

T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI KİRİŞİN
BAĞLANTILARINDA ALTERNATİF OLARAK KULLANILAN
POLİOKSİMETİLEN (POM) MALZEMELERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

CİHAN GÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

GEBZE
2019

**T.C.
GEBZE TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GÜNEŞ TAKİP SİSTEMLERİNDE TAŞIYICI
KİRİŞİN BAĞLANTILARINDA ALTERNATİF
OLARAK KULLANILAN POLİOKSİMETİLEN
(POM) MALZEMELERİN AŞINMA
DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

**CIHAN GÜNEŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**DANIŞMANI
PROF.DR. FEVZİ BEDİR**

**GEBZE
2019**

T.R.
GEBZE TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

**INVESTIGATION OF THE ABRASION
BEHAVIOR OF POLYOXYMETHYLENE (POM)
MATERIALS USED AS ALTERNATIVE IN
CONNECTIONS OF CARRIER BEAM IN
SOLAR TRACKING SYSTEMS**

CIHAN GÜNEŞ
**A THESIS SUBMITTED FOR DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING**

THESIS SUPERVISOR
PROF.DR. FEVZİ BEDİR

GEBZE

2019



YÜKSEK LİSANS JÜRİ ONAY FORMU

GTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun 19/06/2019 tarih ve 2019 / 27 sayılı kararıyla oluşturulan jüri tarafından 28/06/2019 tarihinde tez savunma sınavı yapılan Cihan GÜNEŞ 'in tez çalışması Makine Mühendisliği Bölümü Anabilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

JÜRİ

ÜYE

(TEZ DANIŞMANI) : Prof. Dr. Fevzi BEDİR

ÜYE

: Prof. Dr. Babür ÖZÇELİK

ÜYE

: Prof. Dr. Mehmet Ali ARSLAN

ONAY

Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun

...../...../..... tarih ve/..... sayılı kararı.

ÖZET

Aşınma, makine imalatında çalışma ömrünü etkileyen önemli bir faktördür. Makinelerin uzun süreler çalışabilmesi için aşınabilecek parçaların tasarım aşamasında düşünülmesi gerekmektedir. Aşınmanın kritik önem taşıdığı yerlerde doğru malzeme seçimi önemli bir unsurdur. Özellikle aşınma, yüzey temasının fazla olduğu rulman yataklarında üstünde durulması gereken bir konudur.

Bu tez çalışmasında, güneş takip sistemlerinde taşıyıcı kirişin bağlantılarında alternatif olarak kullanılan polioksimetilen (POM) malzemenin aşınma davranışları incelenmiştir. Gerekli incelemenin yapılabilmesi için pin on disk aşınma test düzeneği tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. Yapılan pin on disk mekanizmasında polioksimetilen (POM) malzemenin değişken pürüzlülükteki yüzeylerde, değişken yüklerde ve değişken hızlarda aşınma deneyi yapılmıştır. Alınan birim yolda aşınan hacim kriteri baz alınarak malzemenin farklı koşullardaki aşınma davranışı yorumlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Aşınma, Pin on disk, Polioksimetilen (POM).

SUMMARY

The wear is an important factor affecting machine life. In order for the machines to work for long periods, wearable parts must be considered during the design phase. Choosing the right material is an important where wear is critical. Especially wear, bearing surfaces in which the surface contact is high should be considered.

In this thesis, the wear behavior of the polyoxymethylene (POM) material which can be used as an alternative in the bearing system of the carrier beam in solar tracking systems is investigated. Pin on disk abrasion test system was designed and manufactured in order to carry out the required inspection. In the pin on disk mechanism, polyoxymethylene (POM) abrasion test was performed on surfaces with variable roughness, variable loads and variable speeds. The wear behavior of the material under different conditions was interpreted based on the volume criterion worn on the unit path taken.

Key words: Wear, Pin on Disk, Polyoxymethylene (POM).

TEŞEKKÜR

Tez konusunu belirlerken isteklerimi dikkate alan ve bu zorlu süreçte desteğini esirgemeyen danışmanım Sayın Prof.Dr. Fevzi BEDİR'e teőekkürlerimi sunarım.

Bugünlere gelebilmemde büyük emeği geçen ve bütün eğitim hayatım boyunca olduğu gibi yüksek lisans eğitimimde de maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen ve sürekli yanımda olan sevgili aileme teőekkürlerimi bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖZET	v
SUMMARY	vi
TEŞEKKÜR	vii
İÇİNDEKİLER	viii
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği	2
2. LİTERATÜR TARAMASI	3
3. TEMEL KAVRAMLAR	11
3.1. Polimer Yapılı Mühendislik Malzemeleri	11
3.2. Rulman Yataklamalarında Kullanılan Mühendislik Polimerleri	12
3.3. Güneş Takip Sistemlerinde Kullanılan Polimer Yapılı Yataklama Sistemleri	14
3.4. Güneş Takip Sistemlerine Etki Eden Yüklerin Hesaplanması	17
4. PIN ON DISK DENEY DÜZENEĞİNİN TASARIMI VE İMALATI	22
5. DENEYSEL ÇALIŞMA	25
6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER	34
KAYNAKLAR	38
ÖZGEÇMİŞ	40

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler ve Açıklamalar

Kısaltmalar

POM	: Polioksimetilen
Ca	: Sürüklenme katsayısı
m	: Metre
sn	: Saniye
°C	: Santigrat
F	: Kuvvet
ρ	: Yoğunluk
m	: Kütle
g	: Yerçekimi ivmesi
km	: Kilometre
kg	: Kilogram
T	: Sıcaklık
atm	: Atmosfer basıncı
TS	: Türk standardı
mm	: Milimetre
DC	: Doğru akım
AC	: Alternatif akım

ŞEKİLLER DİZİNİ

<u>Sekil No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Performans ve özelliklerine göre polimer piramidi.	3
2.2: Aşınma test cihazı.	5
2.3: Pin on disk test cihazı hareket diyagramı.	6
2.4: Çevre şartları kontrol edilebilen aşınma test cihazı modeli.	7
2.5: Çevre şartları kontrol edilebilen aşınma test cihazı	7
2.6: Pin on disk sistemi çalışma şematiği.	8
2.7: Disk taşlama ünitesi.	9
2.8: Değişken pürüzlülükteki taşlama diskleri	9
2.9: Yük hücreli pin on disk düzeneği.	10
3.1: Etilen polimerinin yapısı	11
3.2: Tek eksen güneş takip sistemi profil görüntüsü.	14
3.3: Ana giriş profili kesit görüntüsü.	14
3.4: Kullanılan yataklama sistemi.	15
3.5: Kullanılan yataklama sistemi-demonte hali-.	16
3.6: Kullanılan yataklama sistemi-2-.	16
3.7: Tasarlanan sistem modeli.	17
3.8: Yatak sisteminin mesh yapısı.	20
3.9: Analiz sonuçları.	20
4.1: Pin on disk deney düzeneği.	23
4.2: Pin on disk deney düzeneği kontrol panosu.	23
5.1: Deney numunesi.	25
5.2: Hassas terazi.	25
5.3: Kullanılan zımpara örneği.	26
5.4: Optik takometre ile açısal hızın ölçülmesi.	27
5.5: Numunenin merkeze göre mesafesi	27
5.6: 50 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.	29
5.7: 100 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.	31
5.8: 150 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.	33
6.1: Parametrelerin ana etki grafikleri	35
6.2: Parametrelerin çoklu etki grafikleri	35

TABLolar DİZİNİ

<u>Tablo No:</u>	<u>Sayfa</u>
2.1: Polimerlerin dinamik sürtünme katsayıları	3
2.2: Polioksümetilen (POM) karakteristik zellikleri	4
3.1: Kestamid'in mekanik zellikleri	12
3.2: Sistem üzerinde oluşan yükler tablosu	19
5.1: 50 devir/dakika hızdaki deney sonuçları	28
5.2: 100 devir/dakika hızdaki deney sonuçları	30
5.3: 150 devir/dakika hızdaki deney sonuçları	32
5.3: 150 devir/dakika hızdaki deney sonuçları	32
6.1: Varyans Analizi Sonuçları	36

1. GİRİŞ

Aşınma, hareket halindeki yüzeylerle temastan kaynaklanan malzeme kaybıdır. Yorulma ve korozyon ile birlikte aşınma, bir mühendislik bileşenin ve bir mühendislik sisteminin ömrünü ve performansını sınırlayan üç ana faktörlerden biri olarak bilinmektedir. Öncelikle, temas eden yüzeydeki malzemelerin kaybı, bileşenin boyutunu azaltır. Bu genellikle hareketli parçalar arasında zamanla daha fazla boşluk olmasına neden olur ve sonuç olarak yüksek titreşim, yüksek gürültü, düşük verimlilik ve sistem arızası ile sonuçlanır. Dinamik yükleme söz konusuysa, aşınmadan dolayı bileşen boyutunun değişmesi yorulmadan dolayı kırılmaya neden olarak sistemin çalışamaz hale gelmesine yol açabilir [1].

Aşınma bazen, katı yüzeylerin temas etkileşimi tipleri açısından da incelenir. Uygulamada birçok farklı temas konfigürasyonu vardır. Normal veya eğimli sıkıştırma, tek yönlü kayar, tek yönlü yuvarlanma, karşılıklı kayma, karşılıklı yuvarlanma, karşılıklı kayma, karşılıklı yuvarlanma ve kayma ile yuvarlanma temas eden cisimlerin hareketleri açısından sınıflandırılan farklı temas konfigürasyonlarıdır [2].

Pin on disk testinde, belirli bir yüke maruz kalan bir pim dönen bir diske bastırılır ve yüzeyde oluşan aşınma miktarı belirlenir. Diske temas eden pimin ucu belirli bir yarıçap mesafesinde disk üzerine bağlanır. Bu, pim ve disk arasında bir temas yüzeyi olması sağlanır ve zaman içerisinde temas yüzeyinde aşınmalar artar ve bu aşınmalar değişken yük, değişken malzeme, temas yarıçapının değiştirilmesi... vb. gibi parametreler altında incelenerek numunelerin karakteristik özellikleri hakkında fikir sahibi olunmuş olur. Aşınma miktarını belirlemek için aşınma hacmi, pimin boyunun kısalması gibi değişken numune geometrisi, disk üzerinde oluşan aşınma izinin belirlenmesi, diskin hacminin belirlenmesi veya numunelerin kütleli olarak değişiminin incelenmesi metotlarıyla aşınma miktarları belirlenebilir ve malzemelerin belirli koşullar altında aşınma davranışları incelenebilmektedir. Bu test yöntemi ile metallerin, seramiklerin, kaplanmış malzemelerin, plastiklerin, polimerlerin ve kompozit malzemelerin aşınma testleri yapılabilmektedir [3].

1.1. Tezin Amacı, Katkısı ve İçeriği

Bu tez çalışmasında güneş takip sistemleri için kullanılan rulman yataklarında kullanılan malzemeler incelenmiştir. Genellikle yatak malzemesi olarak, mühendislik plastikleri olarak bilinen polimerler kullanılmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucunda bu sistemlerde en çok kullanılan plastik malzemenin döküm poliamid olduğu anlaşılmaktadır. Bu tez çalışmasında döküm poliamid yerine kullanılacak alternatif mühendislik plastikleri araştırılmıştır. Yapısal olarak en yakın özelliklere sahip plastiklerden biri olan polioksimetilenin incelenmesi uygun görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında kullanılan polioksimetilen malzemenin aşınma testinin yapılabilmesi için pin on disk aşınma deney düzeneği tasarlanmış ve imalatı gerçekleştirilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen bu düzeneğe yardımıyla malzemenin aşınma testleri yapılmış ve elde edilen bulgular yorumlanmaya çalışılmıştır.

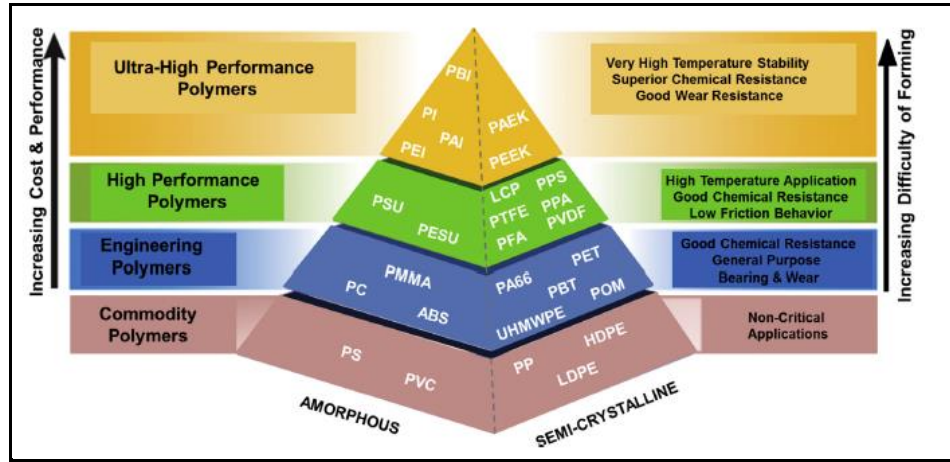
Bu tez çalışmasının ilk bölümünde literatür taraması yapılmıştır. İkinci bölümde mevcut uygulamalar araştırılarak tanıtımı yapılmış ve yataklama sistemi üzerine gelecek yük çeşitleri tanıtılmış ve örnekler ile anlatılmaya çalışılmıştır. Üçüncü bölümde tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen deney düzeneği tanıtılmış ve yapım aşaması anlatılmıştır. Son bölümde yapılan deney düzeneğinde polioksimetilen malzemenin aşınma testinin yapılması anlatılmış ve bulgular yorumlanmaya çalışılmıştır.

Bu tez çalışmasında yapılan araştırmalar, hesaplar ve yapılan düzeneğe ile gerçekleştirilen deney sonuçları, mevcut olan tasarımlar ve yeni yapılacak sistemlerin tasarım aşamasında, rulman yatakları için kullanılacak alternatif malzemeler için yapılan çalışmalarda geliştirilebilecek bir model olması amaçlanmıştır.

2. LİTERATÜR TARAMASI

Birçok araştırmacı polimer malzemelerin aşınma konusundaki avantajlarını araştırmak ve mevcut malzemeleri geliştirmek için uzun yıllardır araştırma yapmaktadır.

K.Friedrich, yaptığı çalışmada polimer esaslı malzemelerin kendi kendini yağlama kabiliyeti, kabul edilebilir aşınma direnci, düşük sürtünme katsayısı ve korozyona karşı dayanıklılık gibi önemli özelliklerden dolayı çeşitli tribolojik uygulamalarda uygun bir çözüm olduğunu belirtmiştir. Aynı çalışmada polimerlerin uygulama alanlarına göre gruplandırılması Şekil 2.1’de paylaşılmıştır. Çalışmaya göre dünya üzerindeki enerji tüketiminin yaklaşık 23%’ü tribolojik kontaklardan olmaktadır ve bu tüketimin azaltılması için sürtünme kayıplarının azaltılması gerekmektedir [4].



Şekil 2.1: Performans ve özelliklerine göre polimer piramidi.

Sürtünme katsayıları görece düşük olan polimer malzemelerin sürtünme katsayıları Tablo 2.1’de paylaşılmıştır [4].

Tablo 2.1: Polimerlerin dinamik sürtünme katsayıları.

PTFE	0.10	PVC	0.30
PVDF	0.24	HDPE	0.28
UHMWPE	0.12	LDPE	0.60
UHMWPE, oil filled	0.13	PP, homo-pol.	0.26
PA 6	0.26	PA 66	0.25
PA 6, oil filled	0.14	PA 66 + 30% GF	0.31
PA 6, wax filled	0.04		
POM, homo-polymer	0.20	POM, co-polymer	0.18
PEEK	0.18	PEEK + 30% Gr	0.30
PEEK + 30% GF	0.31	PEEK + 30% CF	0.22
PSU	0.37	PPO/PS	0.39

Yongjun Dong ve arkadaşları yüksek mukavemet gerektiren rüzgar türbini için kullanılan rulman yataklarında polioksimetilen (POM) malzeme kullanmış, gerekli testleri gerçekleştirmiş ve karakteristik özelliklerinin Tablo 2.2’de paylaşıldığı polioksimetilen (POM) malzemenin dayanımının uygulamanın ihtiyacını karşılayabildiği sonucuna varmıştır [5].

Tablo 2.2: Polioksimetilen (POM) karakteristik özellikleri.

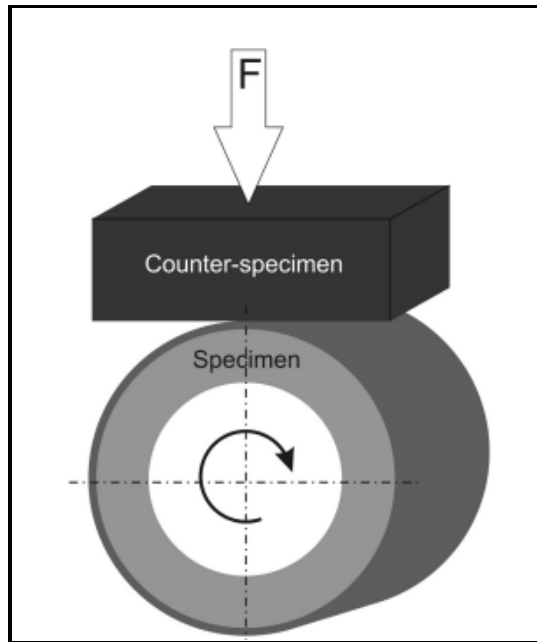
Density	1.42kg cm ⁻³
Melting point	165°C~185°C
Vicat softening temperature	160°C
Thermal deformation temperature	115°C
Hardness	83m
Crystallinity	75%~85%
Deterioration by heat	140°C~110°C
Water absorption	0.2%
Acids resistance	Weak
Friction coefficient	0.14
Flexure resistance	73.57N mm ⁻²
Wear resistance	Medium
Towing endurance	53.95N mm ⁻²
Electricity conductivity	3.7(10 ⁶ Hz)
Pressure endurance	98.10N mm ⁻²
Process ability	Very good
Light conductivity	Normal
Modulus of elasticity (E)	3.0GPa
Linear elongation factor	10(10 ⁻⁵ K ⁻¹)
Contraction	0.0285cm cm ⁻¹
Notched impact resistance	9.0kJm ⁻²
Tensile strength	61.0MPa
Bending strength	63.0MPa

Arash Golchin yaptığı çalışmalarda, polimerlerin su ile yağlanmış yataklara uygulanmasının, geleneksel metalik yatak malzemeleri, kaplamalar veya seramiklerle elde edilemeyen birçok avantaj sağladığı sonucuna varmıştır. Polimerlerin yatak malzemesi olarak uygulanması, hidroelektrik santrallerinde mevcut yağla yağlanmış hidrodinamik kayar yatakların performansını da artırabileceği düşünülmektedir. Bu çalışmaların sonuçları, polimerlerin tribolojik performansları ve su varlığındaki aşınma durumları hakkında fikir vermektedir [6].

Pritesh J.Thoriya ve Prof.B.N.Gelot çalışmalarında, polimer yatak kullanımının, polimer malzemelerin kendi kendini yağlayabilir olmasından dolayı performansı artırabileceğini sonucuna varmışlardır. Günümüzde metal bilyeli yatak yerine polimer yatak kullanımı artmaktadır. Polimerlerin yataklarda kullanımı son yıllarda, kendi kendini yağlama kabiliyetleri ve korozyona dayanıklılıkları da dâhil olmak üzere, bazı önemli tribolojik özellikler nedeniyle artmaktadır. Bu avantajlar, üreticileri aşındırıcı ve kayganlaştırıcı olmayan çalışma ortamlarında ve ayrıca ağırlık azaltılmasının istendiği uygulamalarda polimer yatak kullanmaya teşvik eder [7].

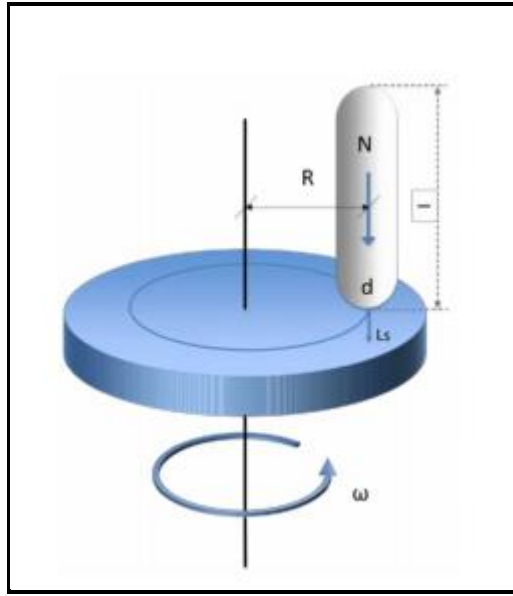
Aşınma test metotları için literatür taraması yapılırken, farklı metotların olduğu ve birçok çalışmanın olduğu göze çarpmıştır. Bu test yöntemleri ve yapılan çalışmalar dikkatlice incelenmiştir.

Adam Piasecki ve arkadaşları çalışmalarında, Inconel 600 alaşımı üzerinde kendi kendini yağlayan borid tabakalarını üretmek için lazer alaşımlama kullanılmıştır. Daha sonra malzemenin aşınma karakteristiğini görebilmek için numuneler test cihazında incelenmiştir. Numuneler silindirik şekilde olup Şekil 2.2'deki gibi aşındırıcı parça üzerine yük uygulanmıştır. Aşınma ölçüm metodu ise ağırlık farkı ölçülerek yapılmıştır [8].



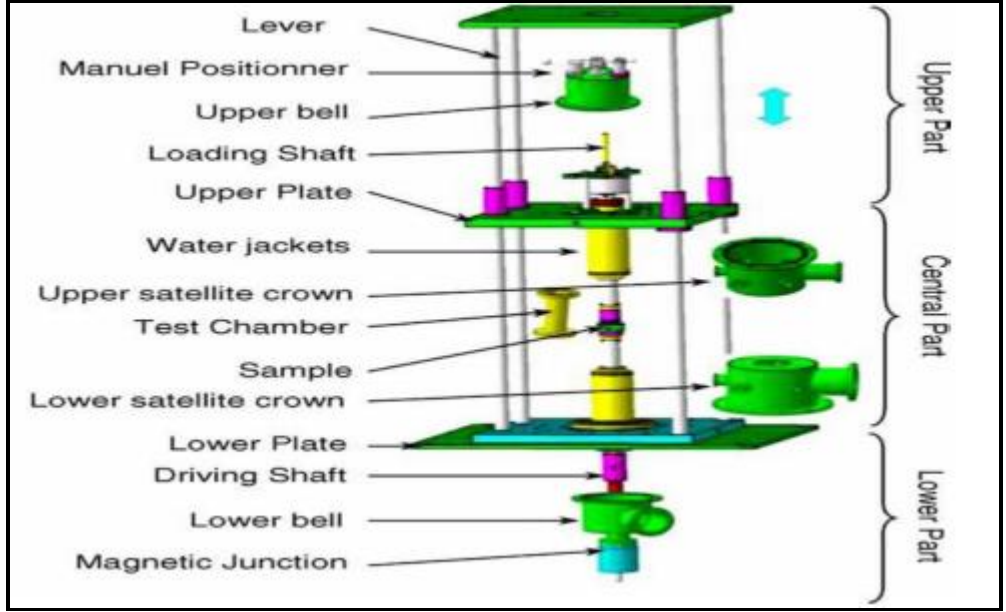
Şekil 2.2: Aşınma test cihazı.

Jorge Salguero ve arkadaşları çalışmalarında, Al-Cu alaşımının aşınma davranışını incelemiştir. Aşınma testini yaparken Şekil 2.3'te görülebileceği gibi pin on disk mekanizmasını kullanmıştır. Uygulanan yük değeri sabit 10 N olarak uygulanmıştır ve disk hızı sabit 1 m/s olarak uygulanmıştır. Alınan yol değişkenlik göstererek 10 m, 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m, 800 m, 900 m ve 1000 m olarak uygulanmıştır. Deney sonucunda oluşan hacim değişiminden alaşımın aşınma karakteristiğini çıkarmış ve sonuçları yorumlamıştır [9].

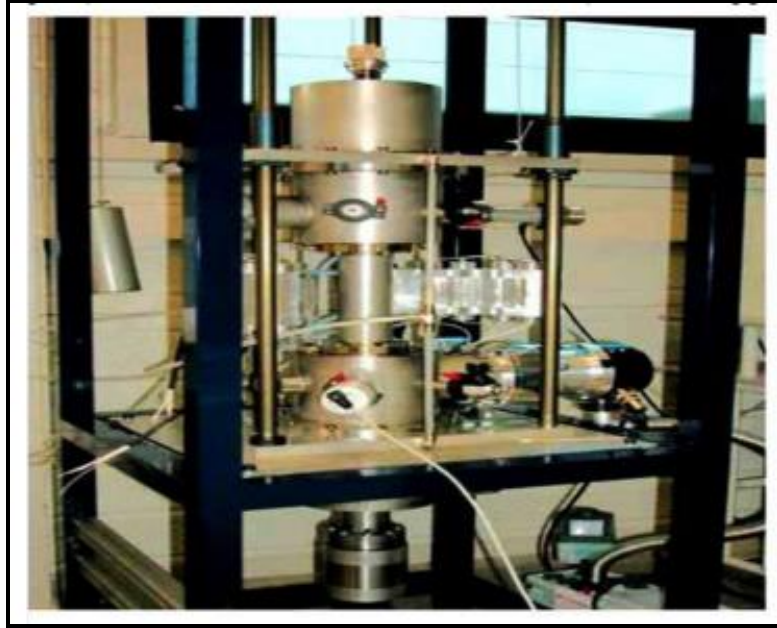


Şekil 2.3: Pin on disk test cihazı hareket diyagramı.

Tejas S. Dol ve arkadaşları aşınma testinin yapıldığı çevre koşullarının da sonuçlara etki edeceğini düşünerek, yapılacak testlerin bulunduğu ortam koşullarının kontrol edilebileceği bir sistem yapılması gerektiğini savunmuştur. Bu amaçla sıcaklık ve atmosfer basıncı gibi parametrelerin kontrol edilebileceği bir düzenek geliştirmiştir. Yapılan sistemde, Şekil 2.4 ve Şekil 2.5'te görülebileceği gibi deney düzeneğinin etrafı dış ortamdaki izole edilecek şekilde kapatılmıştır. Sistem, basınç ve sıcaklık gibi parametreler dışardan kontrol edilebilecek şekilde yapılandırılmıştır. Bu sistem sayesinde değişken sıcaklıklarda ve değişken basınç değerlerinde ve hatta vakumlandırılmış ortamda test yapılabilmesi sağlanmıştır. Bu sistem sayesinde çevre koşullarının test üzerine etkisi minimize edilmiştir [3].

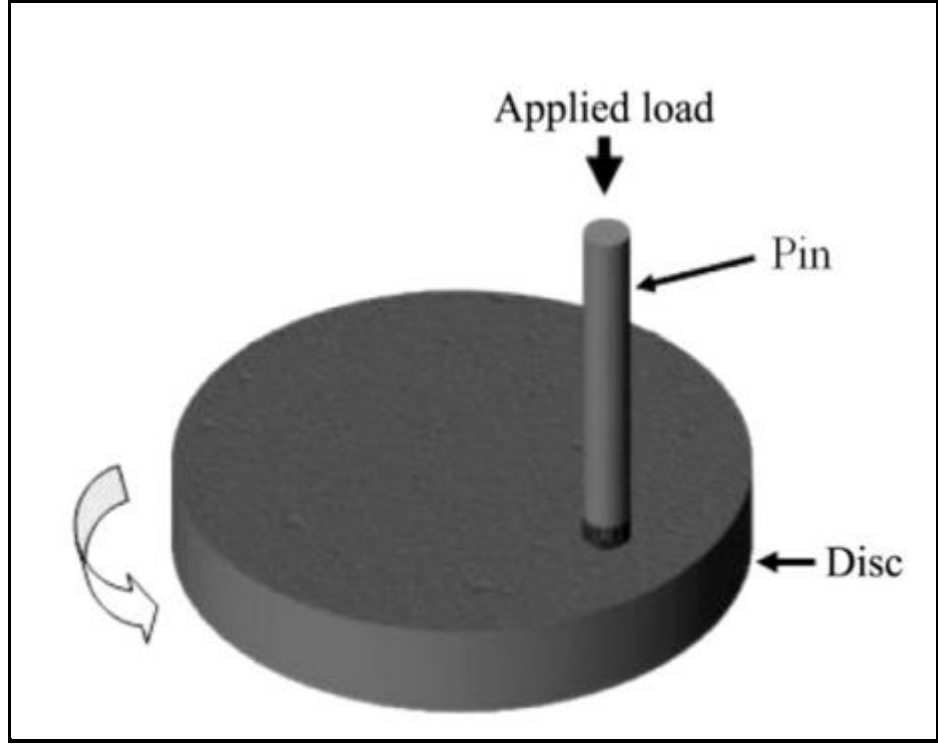


Şekil 2.4: Çevre şartları kontrol edilebilen aşınma test cihazı modeli.



Şekil 2.5: Çevre şartları kontrol edilebilen aşınma test cihazı.

Xinmin Li ve arkadaşlarının yaptığı çalışmalarda, Toz metalürjisi (PM) ile üretilen dişliler, pin on disk test sistemiyle aşınma testi gerçekleştirilmiş ve sonuçlar değerlendirilmiştir. Dişlilerde aşınmayı azaltmak için yağ kullanılmaktadır. Bu çalışmada temas yüzeyi yağlanarak aşınma davranışlarına etkisi incelenmiştir. Şekil 2.6'te sistemin çalışma diyagramı paylaşılmıştır [10].

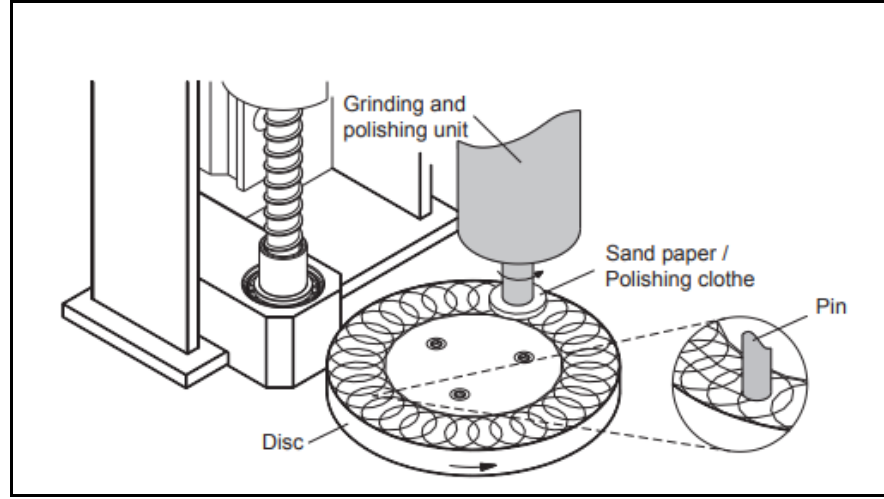


Şekil 2.6: Pin on disk sistemi çalışma şematığı.

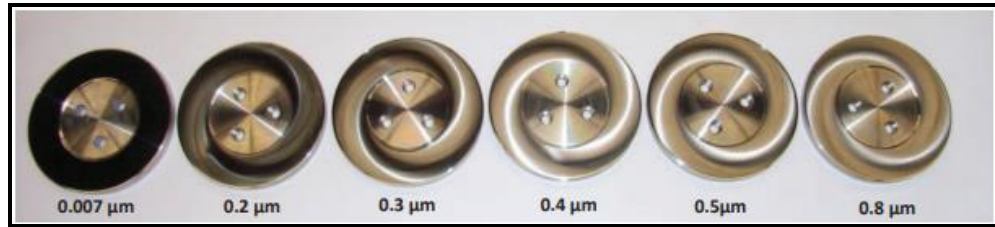
Birbiri üzerinde lineer kayma hareketi yapan parçalar zaman içerisinde aşınmaya uğrarlar. Aşınma miktarı arttıkça çalışma performansları azalır. Bu aşınma miktarını test edebilmek için lineer aşındırıcı pimin yüzey üzerinde sürekli hareketinden oluşan aşınmış alanın boyutları gözlemlenerek aşınma davranışları incelenebilmektedir [11].

Yapılan çalışmalarda ısının aşınma üzerine etkisini inceleyebilmek için pin on disk test düzeneği tasarlanmıştır. Bu düzende disk sıcaklığı 650 °C' ye kadar çıkabilmektedir. Diski tahrik edebilmek için 2,67 beygir gücündeki bir motor kullanılmıştır. Diskin dönme hızı dakikada 2000 devire kadar çıkabilmektedir [12].

Valentino A. M. Cristino ve arkadaşları yaptığı çalışmalarda, pin on disk test mekanizmalarının disk üzerindeki pürüzlülüğü giderebilmek için yeni bir aparat geliştirmiş ve pin on disk test sistemine entegre etmiştir. Bir numune ile yapılan deney sonrasında disk üzerinde pim ile temastan dolayı iz oluşmaktadır. Bu nedenle deney öncesinde ve deney sonrasında disk pürüzlülüğü ve sürtünme katsayısı az miktarda da olsa farklılık gösterecektir. Daha sonra yeni bir numune ile deney tekrarlandığında yüzeyin farklı olmasından dolayı sonuçlar farklılık gösterebilecektir. Her defasında bu durumla karşılaşılacağından Şekil 2.7' deki gibi taşlama aparatı geliştirilmiş ve sisteme entegre edilmiştir [13].



Şekil 2.7: Disk taşlama ünitesi.



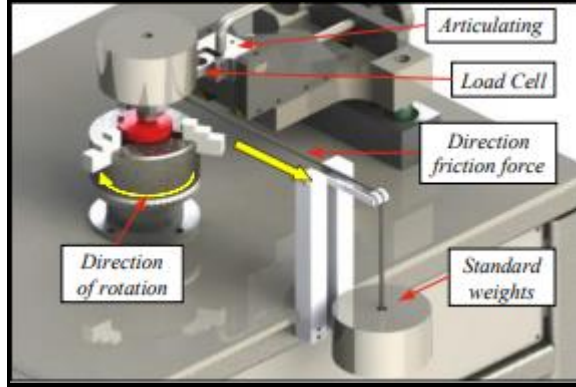
Şekil 2.8: Değişken pürüzlülükteki taşlama diskleri.

Hakan Kaleli çalışmalarında, yeni tasarım universal pin on disk test mekanizmalarında DC motorlar yerine çok hassas hareketlere izin veren ve hassas rotasyon kontrolüne sahip olan servo motorların kullanıldığını belirtmiştir. Aynı çalışmada tasarlanan sistemde uygulama yükü 100 N'a kadar çıkabilmektedir. Aynı zamanda 500 °C 'ye kadar sıcaklık kontrolü sağlanabilmektedir [14].

Danijel Pavkovic ve arkadaşları çalışmalarında, pin on disk mekanizmalarında disk yüzeyinin düzgünlüğünden kaynaklı dikey eksenli titreşimleri engelleyebilmek için süspansiyon sistemi kullanmıştır. Bu sayede önemli miktarda kuvvet dalgalanması olmadan dikey yöndeki pozisyon bozulmalarını emebilmiştir. Yapılan çalışmalarda yaprak yaylı süspansiyon sistemi kullanılmıştır. Pim kısmına monte edilen süspansiyon sistemiyle başarılı sonuçlar elde edilmiştir [15].

Sürtünme ve yerçekimi kuvvetleri mühendislerin sıklıkla karşılaştığı değişkenleridir, ancak yine de doğanın en az anlaşılan kuvvetleridir. Bunun yanı sıra hareket gerektiren sistemlerde sürtünme hayati bir rol oynar. Bundan dolayı malzemelerin sürtünme katsayılarının belirlenmesi önem arz etmektedir. Pin on disk

mekanizmasına Şekil 2.9’de görülebileceği gibi yük hücresi bağlanarak malzemelerin sürtünme katsayıları bulunabilir [16].



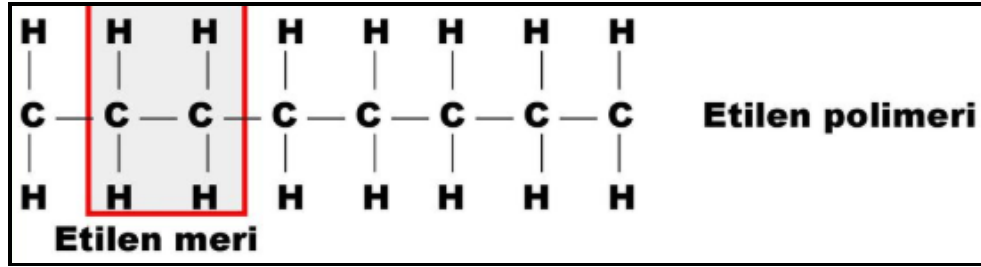
Şekil 2.9: Yük hücreli pin on disk düzeneği.

Sumit Sharma ve arkadaşları yaptığı çalışmalarda alüminyum ve yüksek hız çeliği kullanarak kendi tasarladığı pin on disk düzeneğinde aşınma testleri gerçekleştirmiştir [17].

3. TEMEL KAVRAMLAR

3.1. Polimer Yapılı Mühendislik Malzemeleri

Her bir molekülünün, birbirine bağlanan birimlerinin tekrarından oluştuğu, uzun zincir yapıdaki moleküllerden oluşan bileşiklere polimer denir. İsim olarak Yunanca bir terim olduğu bilinmektedir. Alt birimlere “mer” denmekte ve bu “mer” lerin bir araya gelmesiyle polimerler oluşmaktadır. Şekil 3.1’de etilen polimerinin yapısında da görülebileceği gibi bir polimer molekülünde binlerce tekrar eden alt birim(mer) olabilir. Temelinde karbon atomu olduğu için organik kimyasal madde olarak kabul edilebilir.



Şekil 3.1: Etilen polimerinin yapısı.

Mühendislik plastikleri polimer grubunun bir alt grubudur. Plastikler termo plastikler ve termoset plastikler olarak iki alt gruba ayrılır.

Termo plastikler lineer polimerlerdir ve sıcaklık artınca yumuşarlar. Soğutulduklarında yine eski sertliklerine dönebilirler ve ısıtıldıklarında plastik özelliklerini tekrardan geri kazanabilirler. Selülozikler, poliamitler, vinilikler termo plastiklerin alt grubu olarak söylenebilirler.

Termoset plastikler, polimerizasyon işlemi yapıldıktan sonra sertleşirler ve tekrardan yumuşamazlar. Isıtıldıklarında plastikleşmezler. Sıcaklık gördüklerinde ve sertleştiklerinde o şekilde kalırlar. Poliesterler, aminoplastlar, poliüretanlar termoset plastiklerin alt grubu olarak söylenebilirler [18].

3.2. Rulman Yataklamalarında Kullanılan Mühendislik Polimerleri

Rulman kısımları yapının önemli parçalarından biridir. Sürtünme direnci az olmalıdır. Sistem uzun yıllar çalışacağından ve yağlama imkânı olmadığından, yağlamadan uzun yıllar çalışabilmelidir. Toz ve aşınmaya karşı dirençli olmalıdır ve güneş etkisine karşı dayanıklı olmalıdır. Bu sebeplerden dolayı endüstriyel rulmanlar kullanılamaz olup alternatif çözümlere yoğunlaşmıştır. En iyi çözüm olarak polimer grubunun alt grubu olan mühendislik plastikleri olmuştur. Bu tür endüstrileşmiş mühendislik plastiklerine plastiklere aşağıdaki örnekler verilebilir.

- PA6 G (dökme poliamit)

PA6 G Kestamid, poliamit grubundan bir malzemedir ve döküm yolu ile elde edilir. Sarı renktedir, arzu edilirse siyah ve diğer renklerde üretilebilmektedir. Kestamid'in üstün tarafı aşınma mukavemetinin yüksek olmasıdır. Takım tezgâhlarında ve işleme tezgahlarında kolayca işlenebilirler. Yataklarda, burçlarda, kızaklarda, dişlilerde kullanılmaktadırlar [19]. Kestamid'in mekanik özellikleri Tablo 3.1'de paylaşılmıştır [20].

Tablo 3.1: Kestamid'in mekanik özellikleri.

ÖZELLİKLER	TEST METODU ISO	BİRİM	KESTAMİD
RENK			Sarı
ÖZGÜL AĞIRLIK	1183	gr/cm ³	1,15
SU EMME (DOYMUŞ)	62	%	7
MEKANİK ÖZELLİKLER			
ÇEKME DAYANIMI	527	Mpa	85
ELASTİK MODÜL	527	Mpa	4000
KOPMA UZAMASI	527	%	>20
BASMA DAYANIMI	604	Mpa	95
BASMA MODÜLÜ	604	Mpa	2700
DARBE DAYANIMI (Charpy, Çentiksiz)	179	Kj/m ²	Kırılmadı
DARBE DAYANIMI (Izot, Çentikli)	179	Kj/m ²	5,6
SÜRTÜNME KATSAYISI (Dinamik)			0,39
AŞINMA HIZI		mg/km	0,44
K FAKTÖRÜ		mm ³ /Nm	5.0x10 ⁴

- Polioksimetilen (POM)

Yüksek mekanik sağlamlık ve bükülmezlik, iyi derecede elektriksel izolasyon, düşük sürtünme katsayısı, yüksek elastikiyet ve darbe mukavemeti, organik solventler, petrol ürünleri, mineral yağlar ve alkalilere dayanım gibi özelliklerinin yanında -50/+110 C° çalışma sıcaklık aralığı ile geniş kullanım alanlarına sahiptir. Yataklar, burçlar, pim, sonsuz vida, konveyör sistemleri, pompa donanımları gibi kullanım alanlarına sahiptir [18].

- Poliüretan

Çok iyi ve yüksek mekanik dayanımı, iyi aşınma dayanımı, geniş sıcaklık aralıklarında elastik yapısını koruyabilmesi, mineral yağlarda, greslerde, suda ve su-yağ karışımlarında iyi şişme dayanımına sahiptir [18].

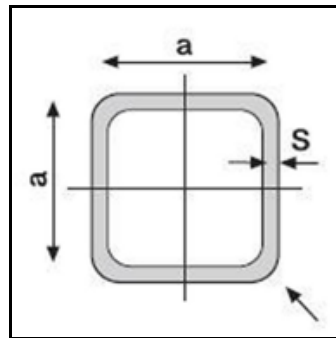
3.3. Güneş Takip Sistemlerinde Kullanılan Polimer Yapılı Yataklama Sistemleri

Güneş takip sistemleri tek eksenli ve çift eksenli olmak üzere iki ayrı gruba ayrılırlar. Tek eksenli güneş takip sistemleri Şekil 3.2’de görülebileceği gibi, tahrik verilen bir ana kiriş yapı üzerine sıralı olarak yerleştirilmiş profillerden oluşur. Bu profiller eğilme yönünde mukavemeti yüksek olmak koşulu ile farklı kesitlerde olabilmektedirler.



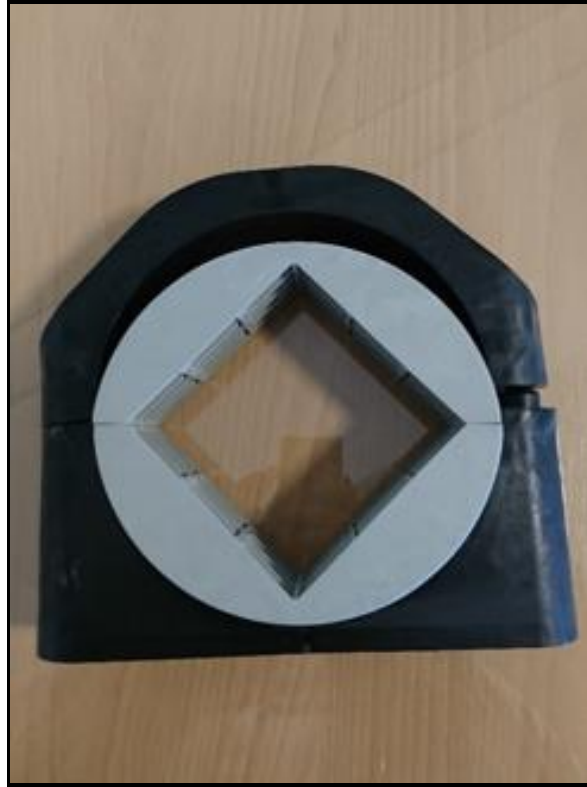
Şekil 3.2: Tek eksen güneş takip sistemi profil görüntüsü.

Ana kiriş profilleri genellikle Şekil 3.3’te görülebileceği gibi kare kesite sahip kutu profillerden olmaktadır. Ana kiriş profilinin üzerine etki eden yük miktarının fazla olması dolayısıyla cidar kalınlığı fazla olmalıdır. Genellikle 4 mm veya 5 mm cidar kalınlığına sahip profiller kullanılmaktadır.



Şekil 3.3: Ana kiriş profili kesit görüntüsü.

Şekil 3.4'te görülebileceği gibi sistemdeki bütün yükü ana kiriş profilini ayak profillerine bağlayan döner yataklar taşımaktadırlar. Bu yataklama sistemleri sürekli olarak sistemin zati ağırlığını taşımakta ve çevresel koşullara bağlı olarak rüzgârın ve kar yükünün oluşturduğu yükü de taşımaktadırlar. Bu sistemler sürekli hareket halinde oldukları için sistemin bu yükler altında sürekli çalışması gerekmektedir. Bu hareket sonucunda yataklarda çok fazla sürtünme kuvveti oluşmaktadır. Bu kuvveti minimize edebilmek için sürtünme katsayısı düşük malzemeler kullanılmalıdır. Aynı zamanda kullanılan malzemelerin bakım gerektirmeyecek malzemelerden yapılması ve yağmur güneş, toz gibi çevre koşullarından etkilenmeyecek malzemelerden yapılması gerekmektedir.

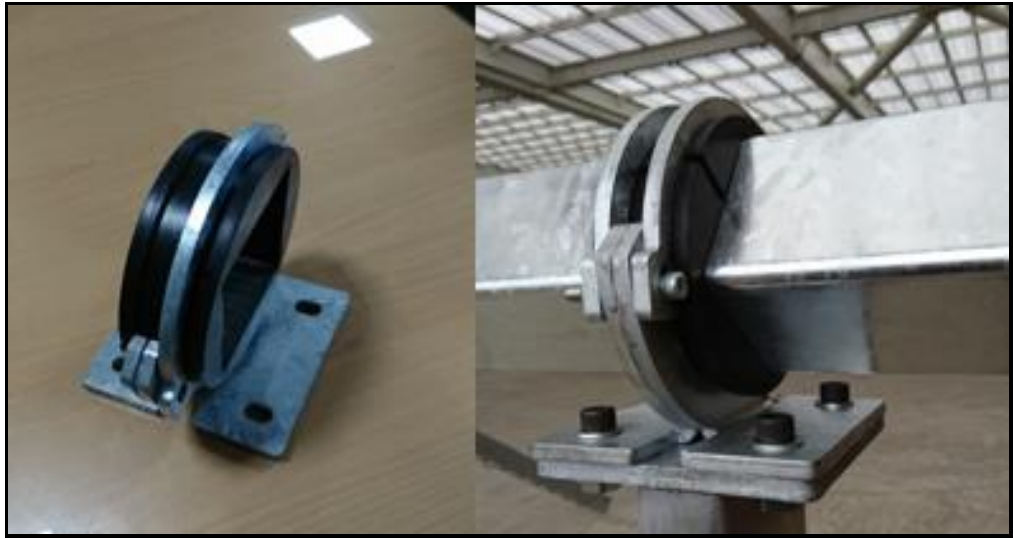


Şekil 3.4: Kullanılan yataklama sistemi.



Şekil 3.5: Kullanılan yataklama sistemi-demonte hali-

Güneş takip sistemleri için kullanılan polimer malzemeden yapılmış diğer yataklama sistemleri Şekil 3.6'da görülebilmektedir.



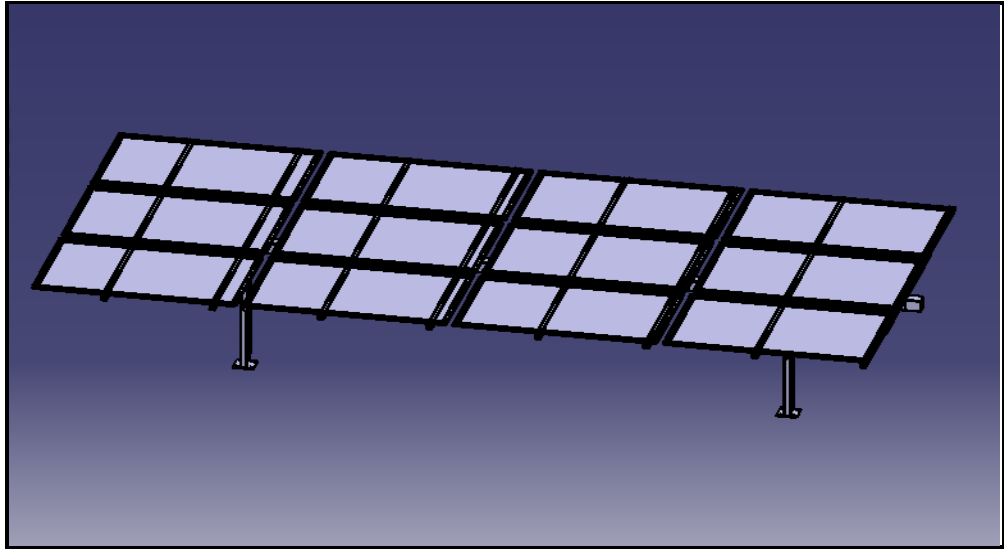
Şekil 3.6: Kullanılan yataklama sistemi-2.

3.4. Güneş Takip Sistemlerine Etki Eden Yüklerin Hesaplanması

Güneş enerjisi sistemleri kurulmadan önce bütün olası dış faktörler detaylı bir şekilde düşünülmeli, coğrafi yapı ve iklim gibi sistemi sürekli etkileyecek dış faktörler iyi hesaplanmalı ve gerekli risk analizleri yapılmalıdır. Her bölgenin ayrı bir karakteristik özelliğe sahip olduğu unutulmamalı ve bölgenin şartlarına uyum sağlayacak şekilde mühendislik hamleleri yapılmalıdır. Bunlara ek olarak, bütün risk faktörlerini minimize edecek hamleler detaylı bir şekilde projelendirilmeli ve sahada sürekli takip edilmelidir.

Sisteme etki edecek ve her saha için düşünülmesi gereken kuvvetleri sistemin zafî ağırlığının dışında rüzgâr yükü ve kar yükü olarak söyleyebiliriz.

Bu dış kuvvetler hesaplanırken, Şekil 3.7’de görülebileceği gibi tasarımı ve kurulumu gerçekleştirilen model boyutları dikkate alınacak ve güneş takip sistemleri için ekstrem koşullara sahip Konya ilinin iklim koşulları baz alınacaktır.



Şekil 3.7: Tasarlanan sistem modeli.

Sisteme etki eden rüzgâr yükünü aşağıdaki sürüklenme kuvveti (drag force) formülünden bulabiliriz [21]. Bu formülde C_d sürüklenme katsayısı “1” olarak alınmıştır.

$$F_{\text{sürüklenme}} = \frac{1}{2} \rho \times C_d \times A \times V^2 \quad (3.1)$$

Bu formülde sembollerin anlamı aşağıdaki gibidir.

- ρ : Havanın yoğunluğu ($\frac{kg}{m^3}$)
- C_d : Sürüklenme katsayısı
- A : Yansıma Alan (m^2)
- V : Rüzgarın Hızı ($\frac{m}{sn}$)

Güneş enerjisi santrallerinde kar yükünün sistem üzerine etkisi de önemli bir faktördür. Doğru hesaplanmadan kurulan santrallerin kış aylarının sert koşullarında istenmeyen durumlar doğurabileceği unutulmamalıdır. Güneş kolektörleri yatay konumunda iken üzerinde toplanan kardan dolayı kar yükü oluşur. Kar yoğunluğu (ρ_k) TS 7046 standardına göre aşağıdaki ifade ile belirlenebilir [22].

$$\rho_k = 300 - 200^{-1.5 \times t} \quad (3.2)$$

- t : kar yüksekliği (m)

Yoğunluk değeri bulunduktan sonra kar yükünü bulabilmemiz için sistem üzerinde bulunan kar hacmi ile çarptığımızda kütle değerini buluruz. Daha sonrasında da yerçekimi ivmesiyle çarpımıyla da sistem üzerindeki toplam kar yükünü bulmuş oluruz.

$$F_{kar} = V \times \rho_k \times g \quad (3.3)$$

- g : Yerçekimi ivmesi
- V : Toplam kar hacmi

Dış yüklerin model üzerindeki etkisinin hesaplamalarını yapabilmek için sistemin doğa koşullarının zor olduğu bir bölgede ve bugüne kadar görülmüş ekstrem haldeki koşullara göre ilerlenmesinin daha doğru olacağı düşünülmüştür. Bu sebeplerden dolayı Konya bölgesinin uygun olacağı düşünülmüştür. Bölgenin karasal iklimin etkisi altında olması ve kış aylarının sert geçmesi bu seçimin yapılmasında önemli etken olmuştur. Rüzgâr hızı ve kar yüksekliği gibi bilgiler meteoroloji genel müdürlüğünün resmi sitesi olan “www.mgm.gov.tr” internet adresinden alınmıştır. Konya ili için kaydedilmiş en yüksek rüzgâr hızı $122,4 \frac{km}{saat}$, en yüksek kar kalınlığı ise 66 cm'dir [23].

Sistemin zatî ağırlığı hesaplanırken sadece ana giriş profiline etki eden yük hesaplanmıştır. Ayak profillerinin ağırlıklarının yataklara etki etmeyeceği düşünüldüğünden dâhil edilmemiştir. Hesaplamalar sonucu bu toplam ağırlık yaklaşık 322 kg bulunmuştur.

Rüzgâr yükünü hesaplarırken birim dönüşümü yapıldığında hız değeri 34 m/sn olarak bulunmuştur. Yansıma alan ise rüzgârın yüzeye dik olarak geldiği alan varsayılmıştır ve yaklaşık 19 m^2 'dir. Hava şartlarına göre yoğunluk değişimi dikkate alınıp sürüklenme kuvveti formülünde yerine yazıldığında 15681 N'luk bir yük elde etmiş oluruz.

En yüksek kar kalınlığının 66 cm olduğunu bilgisine göre gerekli hesaplar yapıldığında 27439 N'luk kar yükü elde etmiş oluruz.

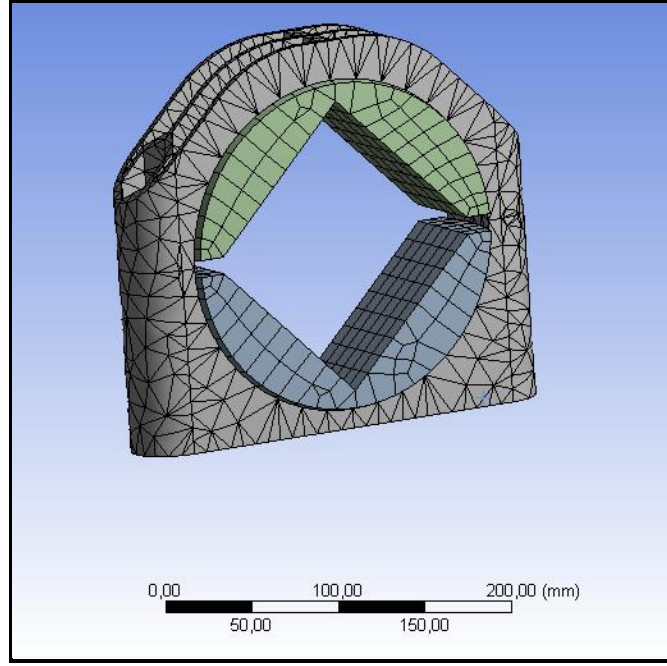
Yatak sistemine etki eden bütün yükler Tablo 3.2'te verilmiştir.

Tablo 3.2: Sistem üzerinde oluşan yükler tablosu.

Kütleden dolayı oluşan kuvvet, Newton	Kardan dolayı oluşan kuvvet, Newton	Sürüklenme Kuvveti (Drag Force), Newton
3166	27439	15681

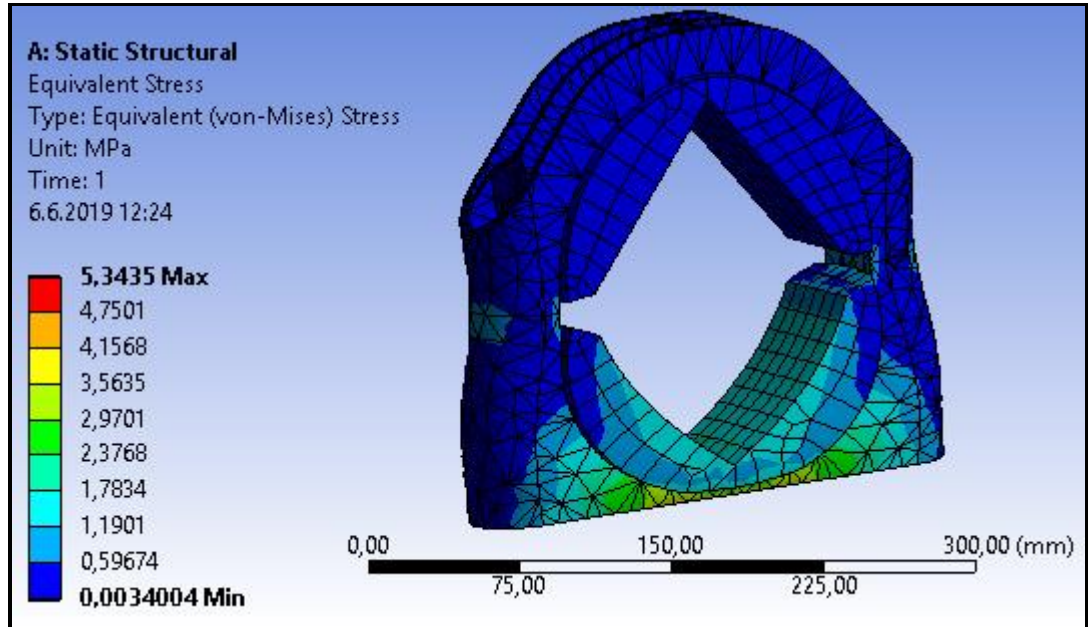
Tasarımı yapılan prototip sistemde ana girişin bağlandığı dört adet yatak bulunmaktadır. Tablo 3.2 incelendiğinde belirtilen ekstrem koşullarda sistem üzerine etki edecek yükler hesaplanmıştır. Bütün yüklerin aynı anda etki ettiği varsayıldığında toplamda 46286 N yük etki etmiş olacaktır. Toplamda tasarlanan sistemde dört adet yatak kullanılmıştı. Bu durumda bir yataklama sistemine etki eden yük 11572 N olacaktır.

Bu yük altında yatağın davranışlarını incelemek için sonlu elemanlar yöntemi kullanılmıştır. ANSYS sonlu elemanlar analiz programı kullanılarak gerçekleştirilen analiz sonuçları Şekil 3.9 ve Şekil 3.10'da paylaşılmıştır. Yapılan bu analiz çalışmasında çalışmada sistemin statik yük altında oluşan gerilim ve gerinim değerlerinin incelenmesi amaçlanmıştır. Yük değeri hesaplanırken yapılan varsayımların en kötü duruma göre yapıldığı unutulmamalıdır. Sistem tasarımı gerçekleştirilirken hesaplanan yüklere göre yatak sayısı artırılarak, yatak adedi üzerine düşecek yüklerin azaltılabileceği unutulmamalıdır.

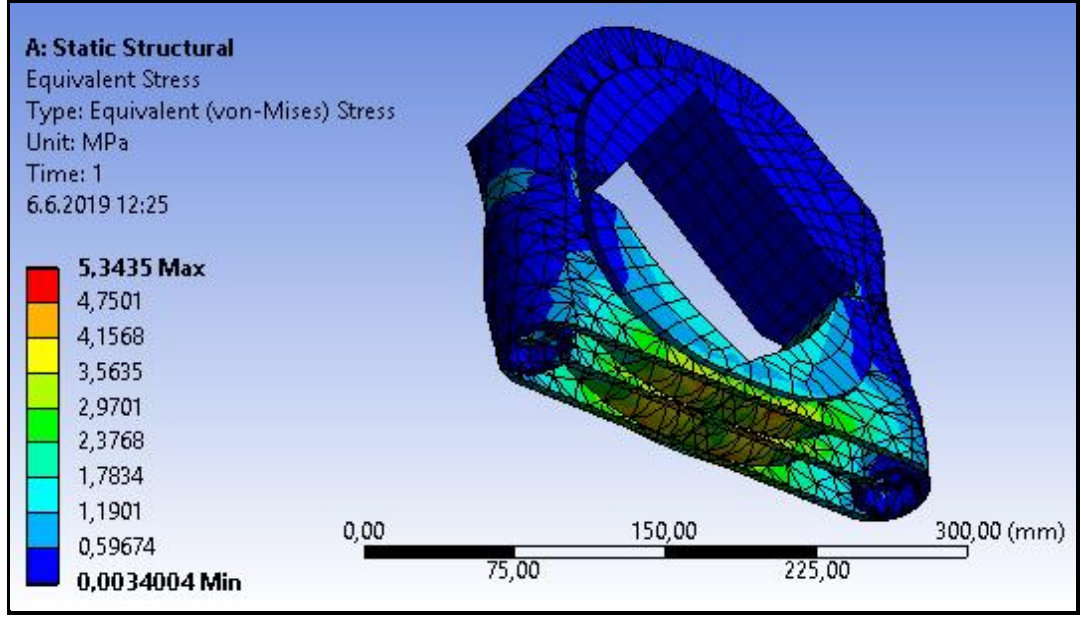


Şekil 3.8: Yatak sisteminin mesh yapısı.

Şekil 3.8'deki mesh modelinde 12313 düğüm noktası (node) bulunmaktadır ve 6008 adet eleman bulunmaktadır. Yatağın iç kısımlarının hacimsel olarak uygun olmasından dolayı sweep mesh modelinde altı yüzlü (hexahedrons) eleman kullanılmıştır. Dış kısımlarda ise dört yüzlü (tetrahedrons) eleman kullanılmıştır.



Şekil 3.9: Analiz sonuçları.



Şekil 3.10: Analiz sonuçları-2.

Şekil 3.10'da görüldüğü gibi yapılan çalışmalarda yatak üzerine etki eden stresler incelenmiştir. Yatak üzerine maksimum 5.3 Mpa stres etki etmektedir. Bu stresler yataklama sisteminin ayak profili ile bağlandığı yerde yoğunlaşmaktadır. Ana kiriş profili üzerine etki eden yükler yatağın alt kısmında yoğunlaşarak ayak profiline iletilmektedir. Bu durum sistemlerde yataklama elemanının kritik parçalar olduğunu göstermektedir. Bu nedenle güneş takip sistemleri tasarlanırken doğru yataklama sistemi seçimi önemli bir konudur.

4. PIN ON DISK DENEY DÜZENEGİNİN TASARIMI VE İMALATI

Tez çalışması kapsamında aşınma testinin yapılabilmesi için uygun test cihazının tasarlanması ve yapılması ihtiyacı doğmuştur. Gerekli literatür araştırmaları yapılmış ve mevcut sistemlerin mevcut şartlarda yapılabilirliği incelenmiştir. Bütün bu araştırmalar sonucunda pin on disk mekanizmasının yapılmasına karar verilmiştir.

Pin on disk mekanizmaları döner bir tabla üzerinde bir kol üzerine sabitlenmiş bir pim' in disk üzerine temas ettirilmesi prensibine dayanmaktadır. Pim' in üzerindeki kola değişken yükler konularak yük koşulları değiştirilebilmektedir. Aynı zamanda döner tablanın hızı da değişken yapılarak aşınma hızı da kontrol edilebilmektedir. Bu tip mekanizmalarda bulunan pimler ve diskler hem aşınan hem de aşındırıcı malzeme olarak kullanılabilir.

Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen düzenekte 0,37 KW gücündeki AC motorun mili yer düzlemine dik olacak şekilde şaseye monte edilmiştir. Bu mile 300 mm çapında ince cidarlı bir disk monte edilmiştir. Şasenin üst kısmına yük kolunun monte edilebileceği lamalar kaynatılmıştır. Daha sonra bu lamalara yaklaşık 700 mm uzunluğundaki yük kolu monte edilmiştir. Yük koluna ağırlık konulmamışken dengede durabilmesi için ters ağırlık bağlanmıştır ve kolun boştayken dengede kalabilmesi sağlanmıştır. Tasarlanan ve imalatı gerçekleştirilen düzenek Şekil 4.1'de bütün detaylarıyla görülebilmektedir.

Düzenekte aşındırıcı malzeme olarak diskin olması uygun görülmüştür. Bu durum hacimsel olarak daha az numune harcanmasından dolayı ve disk üzerinde değişik pürüzlülükteki zımparaların bağlanarak farklı yüzey pürüzlülüklerinin elde edilebilmesinden dolayı tercih edilmiştir. Disk malzemesi olarak soğuk şekillendirme çeliği olarak bilinen DIN 1.2379 kalitede çelik kullanılmıştır. Düzenekte mil çıkışlı motor kullanılmıştır ve disk açılan fatura yardımıyla disk üzerine yerleştirilmiş ve cıvata yardımıyla diskin üzerine sabitlenmiştir. Cıvata başı disk kalınlığının izin verdiği ölçüde havşa açılarak gömülmeye çalışılmıştır. Cıvata başı cidar kalınlığı ince olduğu için istenildiği kadar gömülememiştir.



Şekil 4.1: Pin on disk deney düzeneği.

Dairesel kesite sahip numunelerin kullanılması düşünülmüştür. Bu sebeple iç çapı 10 mm olan tutma aparatları uygun pozisyonlarda sabitlenmiştir. Bu aparatların pozisyonları deney sırasında alınan yolu etkileyeceğinden üç adet yapılmıştır ve disk merkezine göre Şekil 4.1'deki gibi farklı mesafelerde sabitlenmiştir.



Şekil 4.2: Pin on disk deney düzeneği kontrol panosu.

Düzenekte 0.37 KW gücünde ve 1390 devir/dakika nominal dönme hızına sahip AC motor kullanılmıştır. Bu motorun hızının kontrolü deney için önemli bir ihtiyaçtır. Bundan dolayı hız kontrol invertörü kullanılmıştır. Bu invertör sayesinde kontrol panosuna bağlı hız kontrol potu yardımıyla disk hızı kontrol edilebilir hale gelmiştir.

Şekil 4.2’de görülen kontrol panosunun üzerindeki düğmeler sayesinde disk kontrolü kolaylıkla yapılabilmektedir. Panonun üzerinde açma, kapama düğmeleri diski saat yönünde ve saat yönünün tersine döndürebilmek için butonlar bulunmaktadır. Aynı zamanda sistemin otomatik ve manuel olarak çalışmasını sağlayabilmek için buton bulunmaktadır. Otomatik çalışmada butona basıldığında tekrar kapatılana kadar sistem sürekli çalışabilmektedir. Manuel durumda ise butona basılı tutulduğu süre kadar sistem çalışmaktadır. Motor frenli tipte bir motor olmadığı için disk hızını kazandıktan sonra sistem kapatılsa da disk belli bir süre dönmeye devam etmektedir. Bu durum diskin hızına göre 20-30 saniye kadar sürebilmektedir. Son olarak panoda bir adet acil durum butonu bulunmaktadır. İstemeyen bir durumla karşılaşıldığında kullanılarak sistem hızlı bir şekilde durdurulabilmektedir.

5. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu deneyde polimer grubundan polioksimetilen (POM) malzemenin belirli hızlarda ve belirli yüzey mesh tiplerinde aşınma davranışları incelenmiştir. Deney için Şekil 5.1’de de görüldüğü gibi 100 mm uzunluğunda 8 mm çapında malzemedan kesilmiş çubuk numune kullanılmıştır. Deney yapılırken aşınma miktarının ölçülebilmesi için deneyden önce ve deneyden sonra numunenin ağırlığının ölçülmesi gerekmektedir. Bu sebepten dolayı Şekil 5.2’de görüldüğü gibi laboratuvarıda bulunan RADWAG PS 360.R2 modelindeki hassas terazi kullanılmıştır.



Şekil 5.1: Deney numunesi.



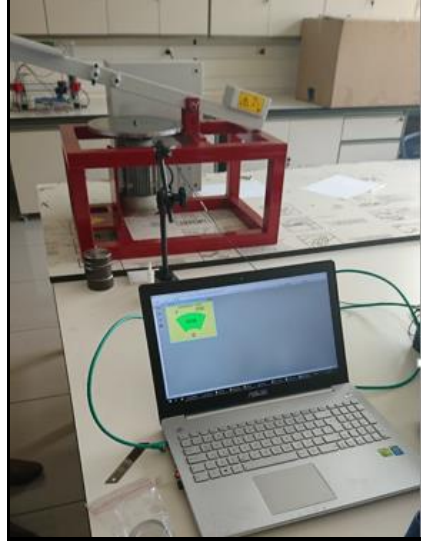
Şekil 5.2: Hassas terazi.

Yüzey pürüzlülüğünü oluşturabilmek için değişken mesh numaralarında NIKON NS marka su zımparaları kullanılmıştır. Bu zımparalar 230x280 mm boyutlarında alınmış daha sonra dairesel şekilde kesilmiştir. Disk yüzeyine yapışmasını sağlamak içinde Şekil 5.3'te görülebildiği gibi çift taraflı bant kullanılmıştır.



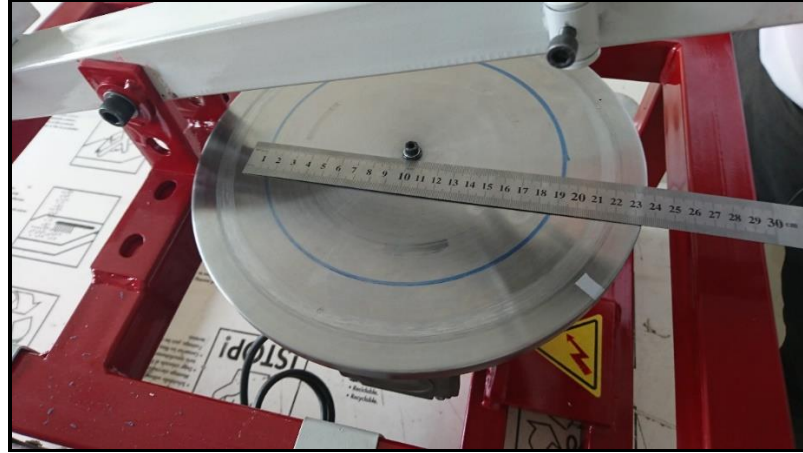
Şekil 5.3: Kullanılan zımpara örneği.

Deneyde aşındırıcı malzeme olarak su zımparası kullanılmıştır. Farklı koşulları değerlendirebilmek için 400'lük, 800'lük, 1200'lük olmak üzere üç farklı kum numarasına sahip zımpara kullanılmıştır. Değişken yük olarak gerekli hesaplamalar sonucunda 250 gr, 500 gr ve 750 gr kütlelerin kullanılması uygun görülmüştür. Bu kütleler yerçekimi ivmesi ile çarpılıp 2.45 N, 4.90 N, 7.35 N ağırlık değeri olarak kullanılmıştır. Bu kütleler yerçekimi ivmesi ile çarpılıp 2.45 N, 4.90 N, 7.35 N ağırlık değeri olarak kullanılmıştır. Başka bir değişken olan dönme hızı ise 50 dev/dak, 100 dev/dak, 150 dev/dak olarak belirlenmiştir. Diskin hızı daha doğru sonuçlar alabilmek için Şekil 5.4'te görülebileceği gibi optik takometre yardımı ile ölçülmüştür. Alınan yolun hesap edilmesi aşamasında gerekli olacağı için numunenin bağlandığı noktadan disk merkezi ölçülmüştür. Bu değer Şekil 5.5'te görülebileceği gibi 90 mm olarak ölçülmüştür.



Şekil 5.4: Optik takometre ile açısal hızın ölçülmesi.

Numunenin disk merkezine olan mesafesinin ölçülebilmesi için, bağlantı aparatına kalem bağlanmış ve disk üzerine iz bırakılması sağlanmıştır. Daha sonrasında Şekil 5.4'te görülebileceği gibi lineer cetvel yardımıyla disk merkezine olan mesafe ölçülmüştür.



Şekil 5.5: Numunenin merkeze göre mesafesi.

Gerekli hazırlıklar tamamlandıktan sonra deneyin uygulamasına geçilmiştir. Uygulama aşamasında öncelikle belirlenen zımpara kâğıdı bant yardımıyla disk üzerine yapıştırılır. Sonrasında numunenin deneyden önceki ağırlığı tartılır ve okunan değer çizelgeye yazılır. Daha sonra numune dikeyde uygun mesafede civata yardımı ile sabitlenir. Bir sonraki aşamada uygulanacak kütle yük haznesine konulur. Düzenek çalıştırılır ve kronometre hazırlanır. Kronometreye bakılarak yük kolu bırakılır. 10 saniye sonra yük kolu kaldırılır ve makine durdurulur. Numune deneyden sonra tekrar

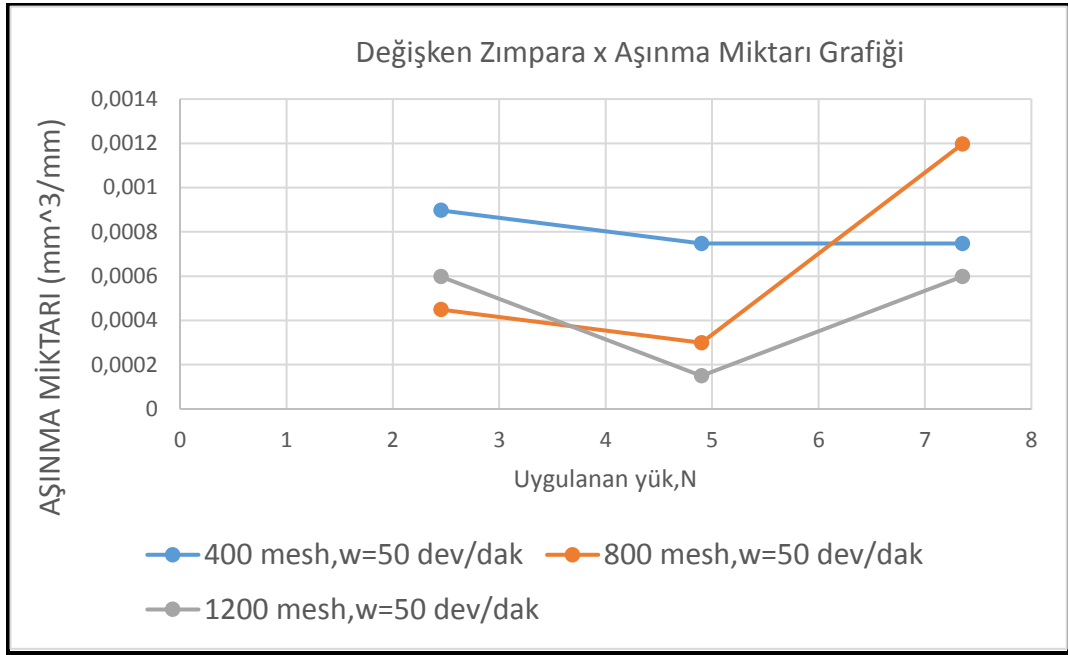
tartılır ve okunan değer çizelgeye yazılır. Bu durum aynı zımpara ve aynı yük için dört kez tekrarlanır ve değerler çizelgeye not alınır. Daha sonra zımpara değiştirilir ve üç farklı yük içinde bu süreç tekrarlanır.

Toplamda 9 numune kullanılmıştır. Her üç setten sonra (1 set = 4 ölçüm) yeni numune kullanılmıştır. Ayrıca her setten sonra yeni zımpara kullanılmıştır. Toplamda 27 adet zımpara kullanılmıştır. Deney üç farklı hız değerinde yapılmıştır ve toplamda 108 farklı ölçüm yapılmıştır. 50 dev/dak hızdaki sonuçlar Tablo 5.1'de görülebilmektedir.

Tablo 5.1: 50 devir/dakika hızdaki deney sonuçları.

AĞIRLIK(N)	SABİTLER	NUMUNE TARTIM SONUÇLARI (gr)			NUMUNE NUMARASI	
		DENEYDEN ÖNCE	DENEYDEN SONRA	FARK(gr)		
2,45	400 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,120	7,114	0,006	Setup-1	
		7,114	7,112	0,002		
		7,112	7,110	0,002		
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI				-
4,90	400 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,107	7,102	0,005	Setup-2	
		7,102	7,099	0,003		
		7,099	7,096	0,003		
		7,096	7,094	0,002		
7,35	400 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,093	7,088	0,005	Setup-3	
		7,088	7,082	0,006		
		7,082	7,078	0,004		
		7,078	7,073	0,005		
					2	
2,45	800 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,125	7,122	0,003	Setup-4	
		7,122	7,120	0,002		
		7,120	7,119	0,001		
		7,119	7,118	0,001		
4,9	800 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,118	7,116	0,002	Setup-5	
		7,116	7,114	0,002		
		7,114	7,112	0,002		
		7,112	7,111	0,001		
7,35	800 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	7,112	7,104	0,008	Setup-6	
		7,104	7,101	0,003		
		7,101	7,099	0,002		
		7,099	7,098	0,001		
					3	
2,45	1200 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	6,979	6,975	0,004	Setup-7	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI				-
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI				-
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI				-
4,90	1200 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	6,976	6,975	0,001	Setup-8	
		6,975	6,974	0,001		
		6,974	6,973	0,001		
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI				-
7,35	1200 mesh n=50 dev/dak t=10 sn	6,974	6,970	0,004	Setup-9	
		6,970	6,969	0,001		
		6,969	6,968	0,001		
		6,968	6,963	0,005		
55 dev/dak ,50 dev/dak olarak kabul edilmiştir.						
g:yerçekimi ivmesi=9,81 m/sn^2 olarak kabul edilmiştir.						

Aşınma miktarı belirlenirken birim yolda aşınan malzemenin hacmi metodu kullanılmaktadır. Devir sayısı ve numunenin disk merkezine olan uzaklıktan alınan mesafe bulunmaktadır. Aşınan hacim ise deney sonucunda oluşan ağırlık farklarından yararlanılarak hesaplanmaktadır. Bu hesaplama yapılırken polioksimetilenin özkütlesi $1.42 \frac{gr}{cm^3}$ olarak alınmıştır. Deneydeki ağırlığı ölçülen ilk değerler için aşınma değerleri hesaplandığında ve diğer hız ve yük parametreleri dikkate alınarak Şekil 5.6'daki gibi grafik çizilebilmektedir.



Şekil 5.6: 50 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.

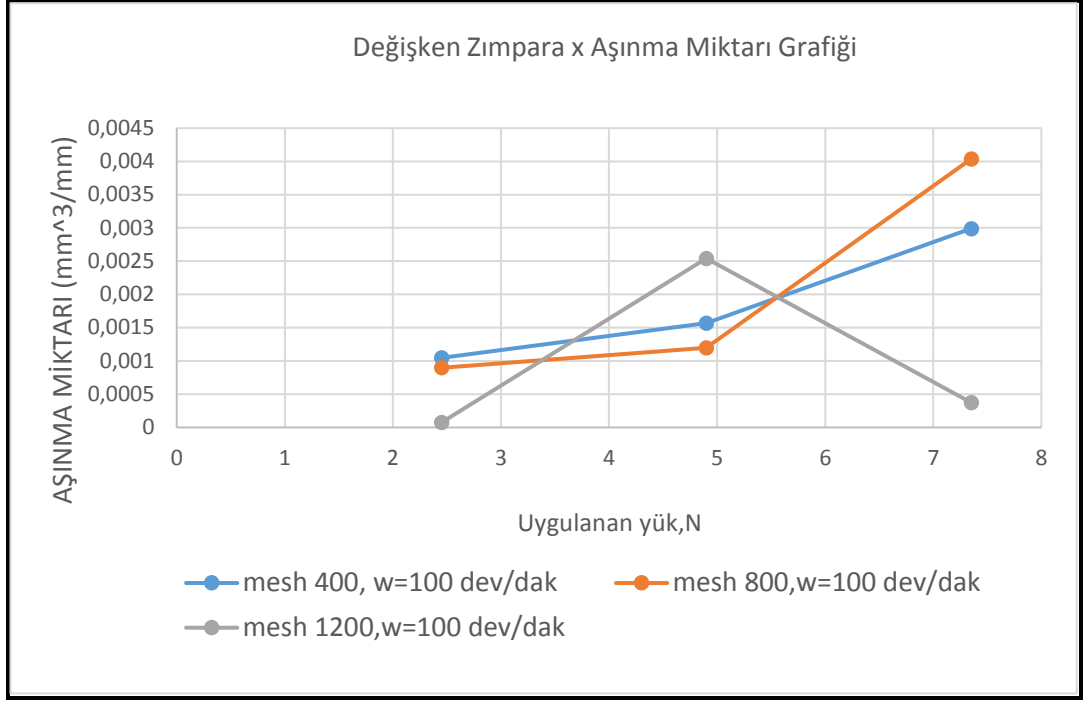
Şekil 5.6'da çizilen grafikte her bir zımpara tipi için aşınma miktarı grafiği çizilmiştir. Aşınma miktarları $0.0002 \frac{mm^3}{mm}$ ile $0.0012 \frac{mm^3}{mm}$ aralığında değişmektedir. Bazı ölçümlerde beklenmeyen sonuçların elde edildiği düşünülmektedir. Örneğin 2.45 N yük altında yapılan deneyde 1200 mesh numarasına sahip zımparada 0,004 gr fark gözlenirken, daha fazla fark olması beklenen 800 mesh numarasına sahip zımparada bu değer 0,003 gr olarak gözlemlenmiştir. Bu durumun terazinin ölçüm şartlarındaki değişimden kaynaklandığı düşünülmektedir. Bu durum tartım anında numunenin üzerine yapışan aşınmış toz malzemenin de kaynaklanıyor olabileceği göz ardı edilmemelidir. Tabloya bakıldığında 1200 mesh numaralı zımparada deney sonrasında sağlıklı verinin alınmadığı durumlar gözlemlenmiştir. Bu durumun deney sırasında terazinin ayarının bozulmuş olmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

Tablo 5.2’de 100 dev/dak hızdaki deney sonuçları görülebilmektedir.

Tablo 5.2: 100 devir/dakika hızdaki deney sonuçları.

AĞIRLIK (N)	SABİTLER	NUMUNE TARTIM SONUÇLARI (gr)			NUMUNE NUMARASI
		DENEYDEN ÖNCE	DENEYDEN SONRA	FARK(gr)	4
2,45	400 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,968	6,954	0,014	Setup-10
		6,954	6,941	0,013	
		6,941	6,931	0,010	
		6,931	6,923	0,008	
4,9	400 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,923	6,902	0,021	Setup-11
		6,902	6,873	0,029	
		6,873	6,862	0,011	
		6,862	6,848	0,014	
7,35	400 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,848	6,808	0,040	Setup-12
		6,808	6,760	0,048	
		6,760	6,744	0,016	
		6,744	6,737	0,007	
					5
2,45	800 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	7,099	7,087	0,012	Setup-13
		7,087	7,081	0,006	
		7,081	7,071	0,010	
		7,071	7,061	0,010	
4,9	800 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	7,061	7,045	0,016	Setup-14
		7,045	7,035	0,010	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI	-	-	
		7,037	7,014	0,023	
7,35	800 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	7,014	6,960	0,054	Setup-15
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI	-	-	
		6,961	6,958	0,003	
		6,958	6,954	0,004	
					6
2,45	1200 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,955	6,954	0,001	Setup-16
		6,954	6,946	0,008	
		6,946	6,939	0,007	
		6,939	6,917	0,022	
4,9	1200 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,917	6,883	0,034	Setup-17
		6,883	6,862	0,021	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI	-	-	
		6,931	6,925	0,006	
7,35	1200 mesh n=100 dev/dak t=10 sn	6,933	6,928	0,005	Setup-18
		6,928	6,923	0,005	
		6,923	6,909	0,014	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI	-	-	
111 dev/dak ,100 dev/dak olarak kabul edilmiştir.					
g:yerçekimi ivmesi=9,81 m/sn^2 olarak kabul edilmiştir.					

50 dev/dak hızdaki yapılan işlemler bu sonuçlar içinde yapıldığında Şekil 5.7’deki gibi grafik oluşmaktadır.



Şekil 5.7: 100 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.

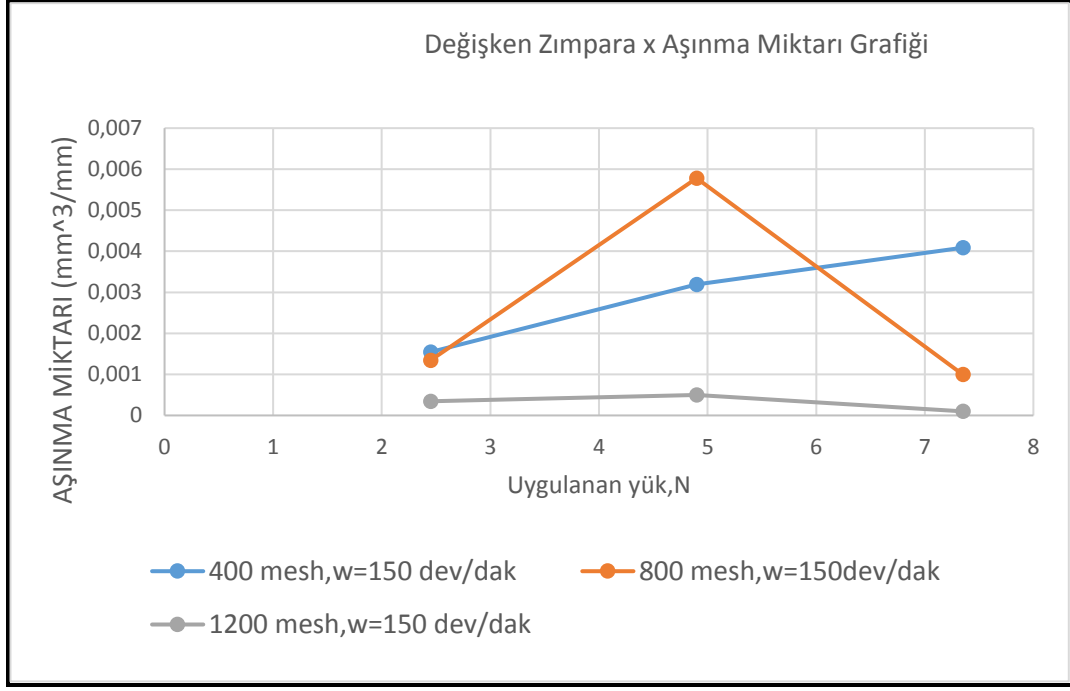
Şekil 5.7'deki grafikte aşınma miktarlarının 50 dev/dak hızdakine göre arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma miktarları $0,0005 \frac{mm^3}{mm}$ ile $0,004 \frac{mm^3}{mm}$ arasında değişmektedir. Bazı ölçümlerde beklenmeyen sonuçların elde edildiği gözlemlenmiştir. Bu durumun deney süresince terazinin ayarlarının bozulmasından veya tartım esnasında temas noktasındaki artan sıcaklıktan dolayı numunenin yüzeyine yapışan toz parçacıklarından kaynaklandığı düşünülmektedir.

Tablo 5.3'te 150 devir/dak hızdaki deney sonuçları görülebilmektedir.

Tablo 5.3: 150 devir/dakika hızdaki deney sonuçları.

AĞIRLIK (N)	SABİTLER	NUMUNE TARTIM SONUÇLARI (gr)			FARK(gr)	NUMUNE NUMARASI
		DENEYDEN ÖNCE	DENEYDEN SONRA			7
2,45	400 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	7,020	6,989		0,031	Setup-19
		6,989	6,974		0,015	
		6,974	6,961		0,013	
		6,961	6,944		0,017	
4,9	400 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	6,944	6,880		0,064	Setup-20
		6,880	6,822		0,058	
		6,822	6,775		0,047	
		6,775	6,766		0,009	
7,35	400 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	6,766	6,684		0,082	Setup-21
		6,684	6,627		0,057	
		6,627	6,579		0,048	
		6,579	6,567		0,012	
					FARK(gr)	8
2,45	800 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	6,998	6,971		0,027	Setup-22
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI			-	
		6,985	6,984		0,001	
		6,984	6,981		0,003	
4,9	800 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	6,981	6,865		0,116	Setup-23
		6,865	6,857		0,008	
		6,857	6,841		0,016	
		6,841	6,831		0,010	
7,35	800 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	6,831	6,811		0,020	Setup-24
		6,811	6,793		0,018	
		6,793	6,781		0,012	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI			-	
					FARK(gr)	9
2,45	1200 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	7,215	7,208		0,007	Setup-25
		7,208	7,203		0,005	
		7,203	7,196		0,007	
		7,203	7,201		0,002	
4,9	1200 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	7,201	7,191		0,010	Setup-26
		7,191	7,189		0,002	
		7,189	7,187		0,002	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI			-	
7,35	1200 mesh n=150 dev/dak t=10 sn	7,185	7,183		0,002	Setup-27
		7,183	7,163		0,020	
		SAĞLIKLI VERİ ALINAMADI			-	
		7,171	7,168		0,003	
NOTLAR:						
g:yerçekimi ivmesi=9,81 m/sn ² olarak kabul edilmiştir.						
155 dev/dak ,150 dev/dak olarak kabul edilmiştir.						

Diğer hızlardaki yapılan işlemler bu sonuçlar içinde yapıldığında Şekil 5.8'deki grafik oluşmaktadır.



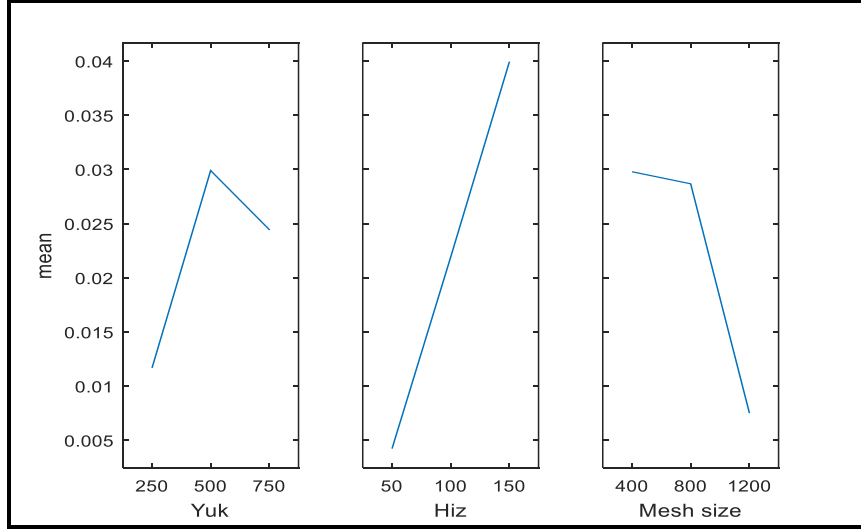
Şekil 5.8: 150 dev/dak hızdaki aşınma grafiği.

Şekil 5.8'deki grafikte aşınma miktarlarının 100 dev/dak hızdakine göre arttığı gözlemlenmiştir. Aşınma miktarları $0,0005 \frac{mm^3}{mm}$ ile $0,006 \frac{mm^3}{mm}$ arasında değişmektedir. Bu deney grubunda diğer deney gruplarından farklı olarak titreşimin deney üzerine etkisi gözle görülür bir biçimde artmıştır. Hızın artmış olmasından dolayı numune, disk üzerine uygun bir şekilde temas edememiştir. Bu durumun aşınma miktarına etki ettiği düşünülmektedir. Ek olarak numunede oluşan titreşimden dolayı çıkan ses teraziyi etkilemiştir. Bu durum fark edildikçe terazi yeniden başlatılarak deneye etkisi azaltılmaya çalışılmıştır. Uygulanan yük miktarı arttıkça bu etkinin daha da arttığı gözlemlenmiştir.

6. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRMELER

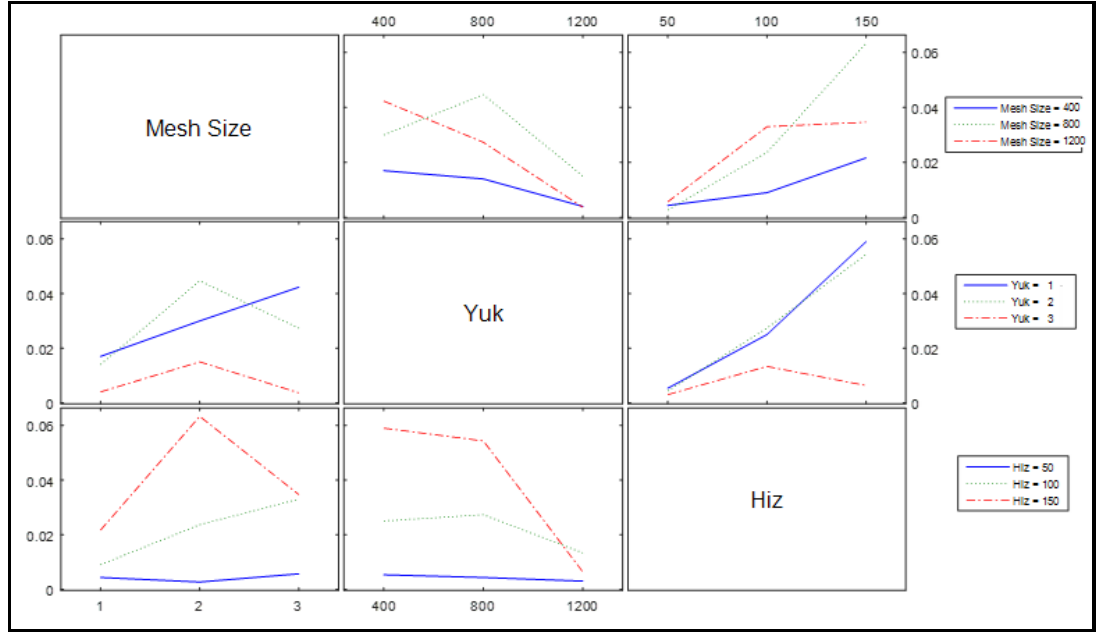
Deney sonucunda polioksümetilen (POM) numunelerin hacimsel aşınma miktarları hesap edilmiştir ve yük değişimi ile aşınma miktarlarında meydana gelen değişim incelenmiştir. Değişken parametre olarak zımpara, uygulanan yük, disk devir sayısı düşünülmüş ve aşınma üzerine etkileri gözlemlenmiştir. Aynı yük altında aşındırıcı zımpara mesh numarası arttıkça aşınma miktarının azaldığı gözlemlenmiştir. Bu durumun zımpara numarası arttıkça aşındırıcı yüzeyin pürüzlülüğünün azalmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Her üç farklı yük değişkenine bakıldığında en fazla aşınmanın 400p mesh numaralı zımparada olduğu gözlemlenmiştir. Bütün deney seterinde bu durumun değişmemesi yüzey pürüzlülüğünün en fazla olduğu zımpara olmasından kaynaklanmaktadır. Yük değerinin artırılmasıyla aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiş ve farklı hızlarda da değişken zımparalara göre aşınma karakteristiğinin benzer olduğu gözlemlenmiştir. Aynı hızda uygulanan yükler değiştirildiğinde 400p olan zımparada aşınma miktarının 1200p olan zımparaya göre yaklaşık iki kat daha fazla olduğu gözlemlenmiştir. Hız parametresinin artması ile aşınma miktarının arttığı gözlemlenmiştir, fakat bu durumun zımparanın mesh numarasıyla lineer bir ilişkisi olmadığı gözlemlenmiştir. Bunun sebebinin hızın artması ile numunenin temas etme mesafesinin artmasından ve zımparanın kalitesinden dolayı zımparada meydana gelen aşınmalardan ve kum kopmalarından meydana geldiği düşünülmektedir.

Aşınma miktarına etki eden en baskın parametrenin hız parametresi olduğu gözlemlenmiştir. Diskin açısal hızının artmasının aşınma miktarına etki eden en önemli faktör olduğu gözlemlenmiştir. İkinci sırada zımparaların mesh numaralarının olduğu söylenebilir. Şekil 6.1'deki deneydeki parametrelerin etki grafiklerine ve Tablo 6.1'deki varyans analizi sonuçlarına bakıldığında en az etki eden ise yük parametresi olduğu görülebilmektedir.



Şekil 6.1: Parametrelerin ana etki grafikleri.

Şekil 6.2' de değişken parametrelerin ayrı ayrı karşılaştırmalı etkileri görülebilmektedir. Burada da hız parametresinin en çok etki parametre olduğu görülebilmektedir.



Şekil 6.2: Parametrelerin çoklu etki grafikleri.

Deney sonuçlarıyla yapılan varyans analizi sonuçlarına Tablo 6.1'den bakıldığında hız faktörünün sigma değerinin 0,05'ten küçük olduğu ve istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu söylenebilir ($0,05 > 0,0119$). Buradan anlaşılacağı gibi deneye etki eden baskın parametre hız parametresidir. Ek olarak mesh büyüklüğünün sigma değerinin $0,088 > 0,5$ olmasından dolayı ve yük parametresinin

0,2398>0,05 olmasından dolayı istatistiksel olarak anlamlı bir fark olduğu söylenemez. Fakat kendi içlerinde F değerlerine bakılarak kıyaslama yapılırsa 2,75>1,53 olmasından dolayı yük parametresinin deneye en az etki eden parametre olduğu sonucu çıkarılabilir.

Tablo 6.1: Varyans analizi sonuçları.

Source	Sum Sq.	d.f.	Mean Sq.	F	Prob>F
Yük	0.00157	2	0.00079	1.53	0.2398
Hız	0.00572	2	0.00286	5.58	0.0119
Mesh Size	0.00282	2	0.00141	2.75	0.088
Error	0.01026	20	0.00051		
Total	0.02038	26			

Deney sonuçlarını içeren tablolarda oluşan değerler incelenirken bazı değerlerin ölçüm öncesi ve ölçüm sonrası değerlerinin beklenenden az bir fark oluşturduğu gözlemlenmiştir. Bu durumun deney sırasında numunenin temas yüzeyinde meydana gelen ısı artışından dolayı aşınan malzemenin yüzeye yapışmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Aynı zamanda deney yapılırken düzenekte oluşan titreşimden kaynaklan ses dalgalarının hassas teraziyi etkilediği görülmüştür, bu etkinin azaltılması için terazinin mümkün olduğu kadar uzağa konumlandırılması sağlanmıştır.

Yapılan çalışmada alınan sonuçlar ilerleyen süreçte konu ile ilgili araştırmaları ilerletmek isteyen araştırmacılar için fikir sahibi olma konusunda fayda sağlayacağı düşünülmektedir. Bu alanda çalışma yapmak isteyenler için deneyde kullanılan hassas terazi olarak mikrogram seviyesinde terazi kullanmaları tavsiye edilmektedir. Bu durum daha hassas sonuçlar elde edilmesini sağlayacaktır. Eğer mümkünse terazinin deney ortamından izole bir ortamda çalıştırılması alınan sonuçlar açısından faydalı olacaktır. Aynı zamanda tartım kısmının atmosfer ile ilişkisini keserek kapalı bir ortam oluşturulması daha doğru sonuçlar elde edilmesi açısından faydalı olacaktır. Yapılan deney sonuçlarına etki etmemesi için numunelerin her tartım öncesinde üzerine yapışabilecek tozların etkisini azaltabilmek için dikkatlice silinmesi tavsiye edilmektedir. Her deneyden sonra zımparanın üzerinde kalan toz taneciklerinin hava yardımıyla zımpara yüzeyinden uzaklaştırılması tavsiye edilmektedir. Bu durum daha doğru sonuçlar alınmasını sağlayacaktır.

Sistem tasarlanırken maliyeti göz önüne alınarak asenkron AC motor kullanılmıştı. Pozisyon kontrollü bir servo motorun kullanılmasının deney için daha doğru bir seçim olacağı düşünülmektedir. Ayrıca tasarım aşamasında oluşan titreşimler içinde önlem alınması doğru bir yaklaşım olacaktır. Hız arttırıldığında oluşan titreşimin deneye etki ettiği görülmüştür.

KAYNAKLAR

- [1] Web 1, (2019), http://emrtk.uni-miskolc.hu/projektek/adveng/home/kurzus/korsz_ananyagtech/1_konzultacio_elemei/wear_and_wear_mechanism.htm, (Eriřim Tarihi: 03/02/2019).
- [2] Kato K., Adachi K., (2001), "Wear Mechanisms", CRC Press LLC.
- [3] Dol T.S., Dhole A.B., Mahamuni T.M., Kumbhar N.A, (2016), "Review of Developments in Pin-On-Disc Tribometer for Environment Control", International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET), 2321-9653.
- [4] Friedrich K., (2018), "Polymer composites for tribological applications", Advanced Industrial and Engineering Polymer Research, (2018) 3-39.
- [5] Dong Y, Zhu W, Zhang X., Guo J, (2015), "Design of Special Plastic Bearings and Their Application in Renewable Energy Conversion System", The Open Materials Science Journal, 2015, 9, 203-209.
- [6] Golchin A, (2015), "Polymeric Materials for Bearing Applications Tribological Studies in Lubricated Conditions", Doctoral Thesis, Luleå University of Technology.
- [7] Thoriya P.J., Gelot B.N., (2014), "Performance Evaluation and Simulation of Polymer Ball Bearing in Electrical Motor & Circulating Pump Applicaion" International Journal of Advance Engineer ing and Research Development (IJAERD), Volume 1, Issue 5, May 2014, e-ISSN: 2348 - 4470 , print-ISSN:2348-6406.
- [8] Piasecki A., Kotkowiak M., Makuch N., Kulka M, (2019), "Wear behavior of self-lubricating boride layers produced on Inconel 600-alloy by laser alloying", 2018-12-026.
- [9] Salguero J., Martinez J.M.V., Sol I.D., Batista M., (2018), "Application of Pin-On-Disc Techniques for the Study of Tribological Interferences in the Dry Machining of A92024-T3 (Al-Cu) Alloys", Materials 2018, 2018-1-1236.
- [10] Li X., Sosa M., Olofsson U., (2015), "A pin-on-disc study of the tribology characteristics of sintered versus standard steel gear materials", 2015.01.0321, SE 100 44.
- [11] Nurdin N.A., Harun D., Tobi A.L.M, (2015), "Characterisation of Ti-6Al-4V Reciprocating Sliding Wear Test Behaviour".

- [12] Web 2, (2019), <http://www.frictionnwear.com/products/pin-on-disc-test-mc>, (Eriřim Tarihi: 13/03/2019).
- [13] Valentino A. M. Cristino, P. A. R. Rosa, P.A.F. Martins, (2010), "On the utilization of pin-on-disc simulative tests for the calibration of friction in metal cutting", Mechanical Engineers Part J Journal of Engineering Tribology (vols 208-210) , February 2010.
- [14] Kaleli H., (2015), "Design of Modern Universal Tribometer with rotating and Reciprocating Movement", Journal of Engineering and Natural Sciences Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi, Sigma 33, 78-84, 2015.
- [15] Pavkovic D., Kranjcevic N., Kostelac M., (2013), "Design of Normal Force Control System for a Pin-on-Disk Tribometer including Active and Passive Suppression of Vertical Vibrations", AUTOMATIKA 54(2013) 3, 364–375.
- [16] Castro R.M., (2016), "Optimization of method a load cell calibration for the measurement of coefficient of friction", J. Phys.: Conf. Ser. 733 012048.
- [17] Sharma S., Sharma A., (2015), "Investigation of Wear Characteristics of Aluminum Disc with Pin on Disc Tribometer", International Journal of Scientific & Engineering Research, Volume 6, Issue 1, January-2015 ISSN 2229-5518.
- [18] Web 3, (2019), <http://www.teknikport.com/2012/04/plastik/>, (Eriřim Tarihi: 12/03/2019).
- [19] Web 4, (2019), <https://www.stemplast.gr/3EB5FB97.en.aspx> , (Eriřim Tarihi: 20/03/2019).
- [20] Web 5, (2019), <http://www.ankarabronz.com.tr/?/kestamid-teknik-ozellikler>, (Eriřim Tarihi: 15/04/2019).
- [21] Kundu P.K., Cohen I.M., (2002), "Fluid Mechanics" Second Edition, Academic Press.
- [22] Çetiner C., (2016), " Parabolik Bir Güneş Kolektörünün Statik Analizi", Gazi University Journal of Science, GU J Sci Part C 4(1):21-29 (2016)
- [23] Web 6, (2019) , www.mgm.gov.tr, (Eriřim Tarihi: 05/03/2019).

ÖZGEÇMİŞ

1991 yılında doğan Cihan GÜNEŞ, 2016 yılında Gaziantep Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünü bölüm dördüncüsü olarak tamamladı. Uygulamalı mühendislik eğitimini TÜBİTAK Ulusal Metroloji Enstitüsünde tamamladıktan sonra aynı yıl Gebze Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda yüksek lisans eğitimine başladı. 2017 yılında makine tasarımı ve imalatı yapan özel bir şirketin ar-ge bölümünde proje mühendisi olarak göreve başladı. Halen aynı pozisyonda çalışma hayatına devam etmektedir.