



**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN
ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEMELERİN
SÜRTÜNME VE AŞINMA KARAKTERİSTİKLERİNİN
DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Oruç Ceyhun DEVECİ

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2019

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIMI MALZEMELERİN SÜRTÜNME VE AŞINMA
KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK
İNCELENMESİ**

Oruç Ceyhun DEVECİ

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

Eylül 2019

BİLİMSEL ETİK BİLDİRİM SAYFASI

Afyon Kocatepe Üniversitesi

**Fen Bilimleri Enstitüsü, tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım
bu tez çalışmada;**

- Tez içindeki bütün bilgi ve belgeleri akademik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Görsel, işitsel ve yazılı tüm bilgi ve sonuçları bilimsel ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda ilgili eserlere bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunduğumu,
- Atıfta bulunduğum eserlerin tümünü kaynak olarak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir tahrifat yapmadığımı,
- Ve bu tezin herhangi bir bölümünü bu üniversite veya başka bir üniversitede başka bir tez çalışması olarak sunmadığımı

beyan ederim.

19/09/2019

Oruç Ceyhun DEVECİ

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV ENDÜSTRİSİNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIMI MALZEMELERİN SÜRTÜNME VE AŞINMA KARAKTERİSTİKLERİNİN DENEYSEL OLARAK İNCELENMESİ

Oruç Ceyhun DEVECİ
Afyon Kocatepe Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Bu araştırmada, otomotiv sektöründe çok tercih edilmesi ve kolay ulaşılabilirliği nedeniyle Etial 140, Etial 171 ve Etial 177 kodlu alüminyum alaşım numuneler kullanılarak aşınma test cihazında aşınma deneyleri yapılmıştır. 1, 2, ve 3 kg lık ağırlıklar ile numunelerin çelik diske 500, 750 ve 1000 d/d'da 10 dakika boyunca sürtünmesi sağlanmıştır. Sürtünme sonucunda numunede oluşan kütle kaybı numuneler tartılarak tespit edilmiştir. Oluşan sürtünme katsayısını ortaya koyabilmek amacıyla, oluşan yanal kuvvet loadcell vasıtası ile ölçülmüştür. Yüzey sıcaklık değişimi dakika başlarında numune yüzeyinden lazerli termometre ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda aşınmanın; sıcaklık, yük, alaşım elementi ve devir sayısı gibi değişkenlere bağlı olduğu sonucuna varılmıştır. Aşınma dayanımı en iyi olarak Etial 140 malzemesi tespit edilmiştir.

2019, xi + 59 sayfa

Anahtar Kelimeler: Alüminyum, Alaşım, Triboloji, Aşınma.

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON FRICTION AND ABRASION (TRIBOLOGICAL) PROPERTIES OF ALUMINIUM ALLOYS USED IN AUTOMOTIVE INDUSTRY

Oruç Ceyhun DEVECİ

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İbrahim YAVUZ

In this study, Etial 140, Etial 171 and Etial 177 aluminum alloy samples were produced and wear tests were performed on the wear test machine. With the weights of 1, 2 and 3 kg, the samples were rubbed for 500, 750 and 1000 rpm. As a result of this friction, the mass loss in the sample was determined by weighing the samples. The surface temperature change was measured with a laser thermometer from each sample surface every minute. As a result of the experiments carried out; it is concluded that it depends on temperature, load, alloy element and variables.

2019, xi + 59 pages

Keywords: Aluminium, Alloy, Tribology, Abrasion.

TEŞEKKÜR

Bu araştırmanın konusu, deneysel çalışmaların yönlendirilmesi, sonuçların değerlendirilmesi ve yazımı aşamasında yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı tez danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ'a, gerek tez yazımı gerekse diğer konularda öneri ve eleştirileriyle çok büyük yardımlarını gördüğüm değerli mesai arkadaşım M. İsmet ERSÖZ'e teşekkür ederim.

Ayrıca, bugünlere gelmemde çok büyük emekleri olan değerli aileme, çalışmalarım boyunca bana destek olup sıkıntılarımı paylaşan değerli eşim Makbule DEVECİ'ye şükranlarımı sunarım.

Oruç Ceyhun DEVECİ

AFYONKARAHİSAR, 2019

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

Sayfa

ÖZET	i
ABSTRACT	i
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	x
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ	2
3. TRİBOLOJİ.....	14
3.1 Sürtünme	14
3.1.1 Kuru Sürtünme.....	15
3.1.2 Sıvı Sürtünme	15
3.1.3 Sınır Sürtünme	16
3.2 Aşınma	17
3.2.1 Adhezyon Aşınması.....	18
3.2.2 Abrazyon Aşınması.....	18
3.2.3 Korozyon Aşınması	18
3.2.4 Yorulma Aşınması (Pitting).....	19
3.2.5 Erozyon aşınması	19
3.3 Aşınma Test Cihazları	20
4. MATERYAL VE METOT	21
4.1 Malzemeler.....	21
4.2 Aşınma Test Cihazı	22
5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	24
5.1 Aşınma testleri.....	24
5.1.1 N1'in 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları	24
5.1.2 N2'nin 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları	25

5.1.3 N3'ün 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları	27
5.1.4 N1'in 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları	28
5.1.5 N2'nin 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları	29
5.1.6 N3'ün 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	30
5.1.7 N1'ün 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları....	31
5.1.8 N2'nin 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları...	32
5.1.9 N3'ün 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları....	33
5.1.10 N1'in 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	34
5.1.11 N1'in 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	35
5.1.12 N1'in 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	36
5.1.13 N2'in 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	37
5.1.14 N2'in 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	38
5.1.15 N2'in 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	39
5.1.16 N3'ün 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	40
5.1.17 N3'ün 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	41
5.1.18 N3'ün 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	42
5.1.19 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	43
5.1.20 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	44
5.1.21 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	45
5.1.22 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	46
5.1.23 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	47
5.1.24 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	48
5.1.25 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları.....	49

5.1.26 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Baēlı Deney Sonuçları.....	50
5.1.27 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Baēlı Deney Sonuçları.....	51
5.2 1, 2 ve 3 kg Sabit Yük ve Farklı Devir Sayılarında Numunelerde Meydana Gelen Aēırlık Kayıp Yüzdeleri	52
6. SONUÇ.....	53
7. KAYNAKLAR.....	54
7.1 İnternet Kaynakları.....	58
ÖZGEÇMİŐ.....	59



SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ

Simgeler

μ	Sürtünme katsayısı
F_n	Normal kuvvet
F_s	Sürtünme kuvveti

Kısaltmalar

Al	Alüminyum
Al ₂ O ₃	Alüminyum oksit
Al-Si	Alüminyum silisyum
B ₄ C	Bor karbür
DIN	Alman norm enstitüsü
EDS	Enerji dağılım spektrometresi
Etial	Eti alüminyum
HRF	Rockwell sertlik değeri
MMK	Metal matrisli kompozit
N1	ETİAL-140
N2	ETİAL-171
N3	ETİAL-177
SEM	Taramalı elektron mikroskobu
SiC	Silisyum karbür
TiB ₂	Titanyum diborür
Ti-B-N	Titanyum bor nitrit
TiN	Titanyum nitrür

ŞEKİLLER DİZİNİ

	Sayfa
Şekil 3.1 Serbest cisim diyagramı.	14
Şekil 3.2 Kuru sürtünme modeli ve sistemin serbest cisim diyagramı (Erdem 2006)...	15
Şekil 3.3 Sıvı sürtünme (İnt.Kyn.1).	16
Şekil 3.4 Sınır sürtünme (İnt.Kyn.2).	17
Şekil 4.1 Hazırlanan deney numunesinin teknik gösterimi.	22
Şekil 5.1 N1'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	24
Şekil 5.2 N2'nin 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	26
Şekil 5.3 N3'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	27
Şekil 5.4 N1'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	28
Şekil 5.5 N2'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	29
Şekil 5.6 N3'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	30
Şekil 5.7 N1'in 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	31
Şekil 5.8 N2'nin 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	32
Şekil 5.9 N3'ün 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.	33
Şekil 5.10 N1'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	34
Şekil 5.11 N1'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	35
Şekil 5.12 N1'in 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	36
Şekil 5.13 N2'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	37
Şekil 5.14 N2'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	38
Şekil 5.15 N2'in 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	39

Şekil 5.16	N3'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	40
Şekil 5.17	N3'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	41
Şekil 5.18	N3'ün 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	42
Şekil 5.19	1 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	43
Şekil 5.20	2 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	44
Şekil 5.21	3 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	45
Şekil 5.22	1 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	46
Şekil 5.23	2 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	47
Şekil 5.24	3 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	48
Şekil 5.25	1 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	49
Şekil 5.26	2 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	50
Şekil 5.27	3 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.....	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 5.1 N1'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).25	
Çizelge 5.2 N2'nin 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	26
Çizelge 5.3 N3'ün 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	27
Çizelge 5.4 N1'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).28	
Çizelge 5.5 N2'nin 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	29
Çizelge 5.6 N3'ün 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	30
Çizelge 5.7 N1'in 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	31
Çizelge 5.8 N2'nin 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	32
Çizelge 5.9 N3'ün 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).	33
Çizelge 5.10 1,2,3 kg Sabit Yük ve Farklı Devir Sayılarında Numunelerde Meydana Gelen Ağırlık Kayıp Yüzdeleri.....	52

RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 4.1 Prototip aşınma test cihazı.	23
Resim 4.2 Arduino kontrol ünitesi.	23



1. GİRİŞ

Son yıllarda alüminyum kullanımı, dünyada en çok bulunan üçüncü element olmasından ziyade, çeliğe göre yoğunluğu düşük olması nedeniyle otomotiv sektörünün en çok tercih ettiği malzemelerden birisi haline gelmesine neden olmuştur. Taşıtların imalatında en önemli unsurlar güvenlik, konfor ve yakıt tüketimidir. Alüminyum daha hafif, daha güvenli ve daha güçlü taşıtlar üretmek için en uygun malzemelerden biridir. Bu koşullar sağlanırken, diğer önemli amaçlardan birisi olan yakıt tasarrufuna da alüminyumun hafifliğinden faydalanılarak katkı sağlanmaktadır.

Alüminyumun çeşitli kullanım şartlarına göre istenen özelliklere uygun olacak şekilde çeşitli elementler ile zenginleştirilerek kullanılmaktadır. Bu alaşım elementleri bakır, silisyum, magnezyum, mangan, çinko, titanyum, demir, nikel, kalay, kurşun, krom ve bor gibi elementlerdir. Alüminyumun otomotiv sektöründe yaygın kullanılan serileri; gövde profilleri için 6xxx ve 7xxx serisi, sızdırmazlık gerektiren parçalar ve jant yapımında 3xxx serisi, şase ve iskeleti oluşturan bir takım parçalarda ve akslarda 5xxx serisi kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, otomotiv sektöründe yaygın olarak kullanılan Etial 140, Etial 171 ve Etial 177 kodlu alüminyum alaşımları üretilmiştir. Üretilen numuneler üzerinde 1 kg, 2 kg ve 3kg'lık üç farklı yük altında ve 500 d/d, 750 d/d ve 1000 d/d olmak üzere üç farklı devir altında sürtünme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deney süresi olarak 10 dk seçilmiş olup sıcaklık değişimi dakikada bir numune yüzeyinden lazer termometre ile ölçülmüştür. Yapılan deneyler sonucunda aşınmanın; sıcaklık, yük, alaşım elementi ve devir sayısı gibi değişkenlere bağlı olduğu sonucuna varılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Ahlatçı (2003), çalışmasında, Alüminyum-Silisyum karbür kompozitlerin mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına takviye boyutunun ve matris bileşiminin etkisini incelemiştir. Aşınmayı, mikroyapısal karakterizasyon, optik ışık ve taramalı elektron mikroskobu ve x-ışını difraksiyonu analizleri ile belirlemiştir. Oda sıcaklığındaki mekanik özellikleri, basma, eğme ve darbe deneyleri ile belirlemiştir. İncelenen kompozit malzemelerin mukavemetinin, matriste bulunan takviye boyutunun azalması ve Mg içeriğinin artması ile arttığını gözlemiştir. Bununla birlikte Si ile alaşımlandırmanın mukavemeti belirgin olarak arttırmadığı ve saf Al matrisli kompozit malzemelerde takviye boyutunun artması ile tokluk düşerken sünekliğin arttığını belirtmiştir.

Soy vd. (2011), çalışmalarında, alüminyum matriks kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını SiC, B₄C ve SiC/B₄C parçacıkları ile güçlendirilmiş bir A360 matrisi ile araştırmışlardır. Çalışma için donatısız alüminyum döküm alaşımı, Al / SiC, Al / B₄C ve Al/SiC/B₄C alüminyum kompozitleri hazırlanmıştır. Alüminyum ve kompozitlerinin AISI 316L paslanmaz çeliğe karşı sürtünme ve aşınma deneyleri, kuru kayma koşulları kullanılan bir pin-on disk aşınma test cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Testler 0,5, 1,0 ve 1,5 ms⁻¹ kayma hızında ve 10, 20 ve 30 N yüklerinde gerçekleştirilmiştir. Mevcut kompozitlerin mikro yapıları elektron tarama mikroskobu ve enerji dağılım spektroskopisi analizi ile incelenmiştir. Güçlendirilmemiş alüminyum 1.73×10⁻¹³ değerine sahipken, Al +% 17 SiC test edilen malzemeler arasında en düşük spesifik aşınma oranı olan 2.25 × 10⁻¹³ m² N⁻¹ aşınma oranına sahip olduğu sonuçlarına ulaşılmıştır. Al +% 17 B₄C, Al +% 17 SiC / B₄C ve Al +% 17 SiC kompozitleri için ortalama spesifik aşınma oranları sırasıyla yaklaşık % 49, 79 ve 160 daha az olduğu tespit edilmiştir.

Natarajan vd. (2006), çalışmalarında, alüminyum metal matriks kompozit bir fren diski imalatı yapmışlar ve bu diski demirle karşılaştırmışlardır. Al MMK diski, A356 alüminyum alaşımı ve % 25 silisyum karbür parçacıkları kullanılarak karıştırma döküm tekniği ile üretilmiş ve istenen boyda işlenmiştir. Al MMK'nin, gri dökme demirin ve

yarı metalik fren balatası sürtünme ve aşınma davranışı farklı kayma hızlarında, yüklerde ve kayma mesafelerinde incelenmiştir. Hem dökme demir hem de Al MMK malzemeleri için uygulanan yükün artmasıyla sürtünme katsayısının kademeli olarak azaldığı gözlenmiştir. Bununla birlikte, tüm testlerde, aynı koşullar altında Al MMK'nin sürtünme katsayısının, dökme demirden % 25 daha fazla olduğu gözlenmiştir. Balatanın aşınması; MMK diskinde doğru kaydırıldığında, kaplama malzemesinin silisyum karbür partikülleri tarafından zorlanması nedeniyle, daha fazla gözlenmiştir. MMK'ye ve dökme demire doğru dönme sırasında kaplama malzemesinde oluşan aşınma kanalları optik mikrograflar kullanılarak analiz edilmiştir.

Elleuch ve Fouvry (2002), çalışmalarında, 52100 çeliğine sürtülen bir alüminyum alaşımının (A357) aşınma analizini yapmışlardır. Pürüzsüz ve yüksek aşınma rejimi arasında geçişi gösteren bir hal değiştirme eşiği tanımlanmıştır. Bu geçişi açıklamak için özgün bir çalışma yapılmıştır. Kayma hızının etkisi araştırılmıştır. Farklı değerler test edilerek, bu aşınma geçişinin, araştırılan koşullar için frekanstan ve kayma hızından bağımsız olarak kritik bir hal değiştirme ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Temas yüzeyinde, çeşitli devir sayılarında olmak üzere yapısal dönüşümler gösteren testler yapılmıştır. Bu dönüşümlerle yer değiştirme genliği arasındaki ilişki araştırılmıştır.

Andersson (1992), çalışmasında suyla yağlanan çeşitli malzeme kombinasyonları, disk üzerinde sürtünme ve aşınma testleri yapılarak incelemiştir. Malzemeler alüminyum, zirkonyum ile sertleştirilmiş alüminyum, magnezyum-kısmen stabilize edilmiş zirkonyum, silisyum karbür (SiC), SiAlON ve paslanmaz çeliktir. Çalışmaları sonunda her alüminyum kayar çiftinin sınır yağlama koşulları altında en iyi performansı bulunmuş ve çok yüksek sürtünme ve aşınma katsayıları ve stabilize edilmiş zirkonyum kendi üzerine kaydırıldığında bol miktarda aşınma kalıntısı oluşmuştur. Tribokimyasal reaksiyonlar, silisyum bazlı seramiklerde çok miktarda aşınmaya neden olduğu gözlenmiştir. Reaksiyon ürünlerinin suda çözöldüğü ve oluşan kayma yüzeylerinin sıvı film yağlamasını mümkün kılacak kadar pürüzsüz olduğu görölmüştür. Seramiklerin eşleştirilmesinden farklı olarak dikkate değer bir tribolojik fayda getirmemiş, ancak sistemin tribolojik performansını ve mekanik özelliklerini optimize etme fırsatı sağlamış olduğu tespit edilmiştir. Seramik-çelik kayma çiftlerinde, güçlü yüzey etkileşimleri

meydana geldiği gözlenmiştir.

Broszeit vd. (1993), çalışmalarında manyetik saçılma yapılan Ti-BN kaplamalarının tribolojik özelliklerini incelemiştir. TiN, Ti (B, N) ve TiB₂ sert kaplamalar, manyetik saçılma ile çeliğin substratlarının üzerine çökelmiştir. Yapının, yapışma, sertlik, iç gerilmeler ve kimyasal bileşim gibi temel kaplama özellikleri belirlenmiştir. Kaplamalar, tribolojik davranışlarına bakılarak, bir ortam atmosferi altında ve ayrıca vakum koşulları altında, yağsız pin-on disk modeli aşınma testleri ile test edilmiştir. Pim malzemesi olarak bilyeli çelik ve yüksek hız çeliğinden yapılan bilyalar kullanılmıştır. Film içindeki baskın kimyasal bağ türünün, pin-on disk test koşulları altında aşınma davranışı açısından önemli bir kaplama özelliği olduğu bulunmuştur. TiB₂ filmlerinin çeliğe karşı kayar bir temasta sınırlı bir yararı olduğu gösterilmiştir. Ti (B, N) ve iyi bilinen TiN, çok daha gelecek vadeden kaplama malzemeleri olduğu anlaşılmıştır.

Gibson vd. (1984), çalışmasında grafit içeren döküm Al-Si alaşımlarının aşınmasını bir pin-on disk aşınma testi ile değerlendirilmiştir. Genel olarak, grafit içeriğindeki bir artışın, aşınma pimindeki sürtünme katsayısını ve sıcaklık artışını azalttığı gözlemlenmiştir. Düşük ekleme seviyelerinde (ağırlıkça % 2) grafit, yüksek yüklerde hafif bir aşınma oranının korunmasını sağlayarak alaşımların aşınma direncini arttırdığı anlaşılmıştır. Bununla birlikte, yüzde ağırlık olarak grafit miktarının artmasının (% 8) verimi azaltarak aşınma miktarının arttığı tespit etmişlerdir.

Zhang vd. (1995), çalışmalarında seramik parçacık takviyeli metal-matris kompozitlerin aşınmasını incelemiştir. Bir dizi metal-matris kompozit içindeki aşınma mekanizmalarını incelemek için pin-on disk kuru kayma testleri yapılmıştır. Hacimce % 10 ila 20 SiC ve Al₂O₃ parçacıkları ile güçlendirilmiş 6061-alüminyum alaşımlarından numuneler üretilmiştir. Karşı yüzey olarak hafif bir çelik disk kullanılmıştır. Mevcut kompozitler için hafif aşınmadan şiddetli aşınmaya geçiş keşfedilmiş; aşınma oranının 102 kat arttığı tespit edilmiştir. Parçacık boyutunun artırılması, hafif aşınmadan yapışmaya geçişi uzatmada olumlu etki göstermiştir Farklı aşınma mekanizmalarının oluşma nedenleri, aşınmış yüzeylerin ve aşınma kalıntılarının analizi ile belirlenmiştir.

Razavizadeh ve Eyre (1982), çalışmalarında oksidatif ve metalik aşınmayı incelemek için pin-on disk deneyleri yapılmıştır. Alüminyum aşınma pimlerinin sıcaklık yükselişinin ölçümü ve bu sonuçlara dayanan hesaplamalar, sıcaklıkların aşınma sırasında üretilen oksidi hesaba katmak için fazla düşük olduğunu göstermiştir. Oksitin katman kalınlığı arttıkça pürüzsüzleştiğini ve aşınma oranının nispeten düşük kaldığını gözlemlemişlerdir.

Hosking vd. (1982), çalışmalarında alüminyum alaşımlı kompozitlerin imalatı için, bu kompozitlerin net şeklini, mikro yapılarını, sürtünme ile aşınma davranışlarını ve mekanik özelliklerini incelemişlerdir. Ağırlıkça % 2 ila % 30, 1 ila 142 μm arasında Al_2O_3 ve SiC parçacıkları içeren işlenmiş (2014 ve 2024) ve bir dökme (201) alüminyum alaşımından oluşan kompozitler hazırlanmıştır. Ardından parçacıklar, örneğin Al_2O_3 partikülleri durumunda MgAl_2O_4 oluşumu gibi etkileşime girene kadar matris içinde tutulmuştur. Bu kompozitler katılaştırılmış ve daha sonra sıvılaştırma sıcaklıklarının üzerinde ısıtılmış, yüksek basınç altında oluşturulmuştur. 5 μm 'den büyük partikül büyüklüğü olan kompozitler homojen yapıya sahiptir; bununla birlikte, büyüklüğü 1 μm olan parçacıklar kümelenmeye meyilli olduğu anlaşılmıştır. Kompozitlerin aşınma davranışı, pin-on disk tipi bir makine kullanılarak incelenmiştir. Çok miktarda ametal içeren, (ağırlıkça yaklaşık % 20) kompozitlerin mükemmel aşınma direnci gösterdiği, ancak küçük ila orta derecede ametal malzemelerin matris alaşımına benzer gerilme özelliklerine sahip olduğu görülmüştür.

Torabian vd. (1994), çalışmalarında ağırlıkça % 2-20 içeren Al-Si alaşımlarının aşınma özelliklerini; oda sıcaklığında, pin-on disk tipinde bir aşınma test cihazı kullanılarak incelemiştir. Alaşım bileşiminin, kayma mesafesinin, kayma hızının ve yükün Al-Si alaşımlarının aşınma hızına etkileri incelenmiştir. Aşınma oranının alaşım bileşimine, uygulanan yüke ve kayma hızına bağlı olduğu bulunmuştur. Alaşımlı malzemenin yük taşıma kapasitesinin artan silisyum içeriği ile birlikte arttığı tespit edilmiştir. Aşınma işleminin yapısının, alaşım bileşimi ve deneysel koşullar ile değiştiği gözlemlenmiştir.

Gonzalez vd. (2005), çalışmalarında Al-Li/SiC metal matriks kompozit alaşımlarını kullanarak; pin on disk cihazı ile farklı yükler ve sıcaklıklarda deneysel bir program

gerçekleştirmişlerdir. Aşınma testlerini simüle etmek için sonlu elemanlar modeli de geliştirilmiştir. Pimin kayma mesafesi, giriş hızına göre birkaç adımda ayrılmıştır. Her adımda pimin geometrisini güncelleyerek aşınma dikkate alınmıştır. Her adımda aşınan malzeme miktarını, Archard yasası ve temas yüzeyine etki eden normal basınç kullanılarak hesaplamışlardır. Temas yüzeyinin düğümleri normal yönde yer değiştirmiş ve pimin geometrisi ve sonlu eleman ağı otomatik olarak güncellenmiştir. Model, Coulombic sürtünme, pimin sıcaklığa bağlı plastiklik davranışı, pimin plastik deformasyonu ile temas yüzeyinde ısı oluşumu gibi diğer bazı önemli özellikleri içerdiği anlaşılmıştır.

Venkataraman ve Sundararajan (1996), çalışmalarında kayma aşınma oranını ve SiC partikül takviyeli Al matris kompozitlerin SiC hacminin bir fonksiyonu olarak sürtünme katsayısını değerlendirmiştir. Bu amaç doğrultusunda, % 10, 20, 30 ve % 40 SiC ve Al hacimli alüminyum, pim şeklinde, iki test yükünde (52 N ve 122 N) ve bir kayar hızda (1 m/s) sertleştirilmiş bir çelik diske karşı aşınma testi yapılmıştır. Al-SiC'nin aşınma oranı SiC oranı arttıkça azalırken, sürtünme katsayısı üzerindeki ilgili etkinin sadece marjinal olduğunu göstermiştir. Alüminyuma % 10'luk bir SiC ilavesinin bile mevcut deneylerde kullanılan yük aralığında hafif ila şiddetli aşınmanın geçişini önlediği gösterilmiştir. Dahası, kesintili ve kesintisiz kayma aşınma testlerinin, özellikle sürtünme katsayısı bakımından zıt sonuçlar sağladığı gözlemlenmiştir.

Singla vd. (2009), çalışmalarında, ağırlıkça % 5, % 10, % 20 ve % 25 oranlarında SiC içeren Al-SiC kompozitleri, sıvı metalurji yöntemiyle üretilmiştir. Üretmiş oldukları Al-SiC kompozitlerin sürtünme ve aşınma davranışlarını, kuru kayma koşulları altında incelemiş ve saf alüminyumun değerleri ile karşılaştırmışlardır. Kuru kayma aşınması testleri, pin-on disk aşınma testi oranı kullanılarak 5, 7, 9 ve 11 kgf normal yüklerinde ve 1,0 m/s sabit kayma hızında gerçekleştirildi. Numunelerin ağırlık kaybı ölçülmüş ve kayma mesafeli kümülatif aşınma kaybının değişiminin hem saf alüminyum hem de kompozitler için doğrusal olduğu bulunmuştur. Aşınma oranının normal yük ile doğrusal olarak değiştiği, ancak kompozitlerde baz malzemeye göre daha düşük olduğu da gözlenmiştir. Deneyde, silisyum karbürün miktarının artışı ile aşınma oranının lineer olarak azaldığı ve ortalama sürtünme katsayısının, lineer olarak azaldığı görülmüştür.

En iyi sonuçlar minimum aşınma için 320 grit büyüklüğündeki SiC partiküllerinin ağırlıkça % 20 oranında elde edilmiştir.

Jasim ve Dwarakadasa (1987), çalışmalarında kuru kayma koşullarında Al-Si alaşımlarında oluşan aşınmayı incelemişlerdir. Ağırlıkça % 3-22 silisyum içeren Al-Si alaşımları, sırasıyla 6-195 kPa ve 58-580 cm/s kayma hızlarında, kuru kayma koşulları altında, sürekli dönen bir çelik disk ile sürtünmeye maruz bırakılmıştır. Sabit durum aşınma oranlarının, keskin bir geçiş noktasıyla işaretlenmiş iki ayrı bölgede yatak basınçları ile doğrusal olarak arttığı sonucuna ulaşılmıştır. Aşınma davranışı ve aşınma oranlarının silisyum yapısının bir fonksiyonu olduğu ve başlangıç yapısına veya silisyum fazının dağılımına bağlı olmadığı görülmüştür. Bunun, silisyum fazının sferoidal parçacıklara ince bir şekilde parçalandığı bir deformasyon tabakasının oluşmasından kaynaklanmakta olduğu tespit edilmiştir. Yüksek silisyumlu alaşımlarda, yüzey altı bölgesinde, kayma yönünde meydana gelen herhangi bir plastik deformasyon belirtisi göstermemiştir. Elde edilen sonuçlar, Al-Si alaşımlarında aşınma sırasında bir metal çıkarma mekanizması önermek için kullanılmıştır.

Bedir vd. (2004), çalışmalarında sıcak presleme yöntemi ile Al-Cu-SiC kompozitler azot atmosferi altında üretimini gerçekleştirmiştir ve aşınma özelliklerini incelemiştir. Elde edilen numuneler 525 °C de 24 saat çözündürme işleminden sonra su banyosuna alınarak ani soğutma yapılmıştır. Numuneler 180 °C'de yağ banyosuna atılarak yaşlandırma ısı işlemi gerçekleştirilmiş ve belirli zaman aralıklarında 1/16 inç çelik bilye ile 60 kg yük altında Rockwell sertlik değerleri ölçülmüştür. Ana yapının sertlik değeri 33 HRF den 10 saat sonra 56 HRF maksimum değerine ulaşırken Al- %30 SiC kompozitin sertliği ise 110 HRF'ye kadar ulaştığı sonucuna varılmıştır. Daha sonra yaşlandırılmış ve yaşlandırılmamış numunelerin abrazyon aşınma özellikleri pin-on disk aşınma test cihazı ile test edilmiştir. Aşınma deneyleri 2, 4, 6, 8 ve 10 N yüklerde, 230 dev/dak dönme hızında ve disk üzerine sabitlenen 100 ve 150 numaralı silisyum karbür abrazyon aşındırıcı kağıtlarla, farklı iki durumda gerçekleştirilmiştir. Aşınma miktarı artan sertlikle ve artan SiC oranı ile azalmakta iken seramik fazı %10'dan sonraki kompozitlerin aşınma miktarlarında ciddi bir azalma görülmediği gözlemlenmiştir.

Özyürek vd. (2009), çalışmalarında toz metalürjisi yöntemi ile üretilen ve daha sonra beş farklı sürede yaşlandırılan A356 alüminyum alaşımında yaşlandırma süresinin aşınma davranışına olan etkisi incelemiştir. Tribolojik özellikleri pin-on disk aşınma cihazı ile belirlenmiştir. Aşınma testlerinde ise 1,5 m/s ve 2 m/s olmak üzere iki farklı kayma hızı ile 10 N ve 40 N yük uygulanmıştır. Aşınma mesafesi olarak 3000 m seçilmiş olup, 600 m aralıklarla ağırlık kayıpları belirlenmiştir. Bu çalışmalara paralel olarak yapılan mikroyapı incelemeleri tarama elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır. Aşınan yüzeylerinin incelenmesinde ise SEM ve enerji dağılım spektrometresi (EDS) kullanılmıştır. Yapılan aşınma deneyleri sonucunda kayma hızı ve yükün aşınma davranışlarına etkisi büyük olduğu görülmüştür. Kayma hızı ve yüklerde aşınma miktarının arttığı gözlenmiştir. En yüksek sertlik değeri 12 saat yaşlandırma işlemi yapılan numunelerde elde edilirken, bu numunelerin aynı zamanda en yüksek aşınma direnci gösterdiği gözlenmiştir.

Mindivan (2007), çalışmasında, basınçlı döküm yöntemi ile üretilen % 50 SiC partikül takviyeli 2618, 6082, 7012, 7075 ve A380 alüminyum matris kompozitlerin mekanik ve korozyon özellikleri ile aşınma direncine matrisin ve yaşlandırma etkisini incelemiştir. Çalışma kapsamında, söz konusu kompozitlerin mikroyapısal karakterizasyonu, mekanik deneyleri, korozyon deneyleri ile kuru ortam koşullarında ve çeşitli sıvılar (koroziv çözeltiler, su ve yağ) içinde aşınma deneyleri yapılmıştır. Mikroyapısal karakterizasyon, mikroyapı incelemeleri ve X-ışını difraksiyonu analizleri ile gerçekleştirilmiştir. Mekanik özellikler, sertlik ölçümü ve darbe deneyleri ile belirlenmiştir. Korozyon deneyleri, bir cam beher içerisinde “30g/l NaCl + 10 ml/l HCl” bileşiminde bir çözelti içerisinde belirli boyutlardaki numuneler daldırarak yapılmıştır. Aşınma deneyleri aşınma test cihazı ile kuru ortam koşullarında ve çeşitli sıvılar (korozyon deneyinin yapıldığı çözelti, su ve yağ) içinde yapılmıştır. Çalışma sonucunda koroziv ortam ve saf su içerisinde yapılan deneylere nazaran yağlı aşınma koşullarında yapılan deneylerde incelenen kompozitler daha düşük aşınma hızı ve sürtünme katsayısı gösterdiği gözlenmiştir.

Qiu vd. (2018), çalışmasında Al_2O_3 içeriğinin, kompozit kaplamaların yüzey pürüzlülüğü, mikroyapı, mikro sertlik ve tribolojik performans üzerindeki etkisi

incelenmiştir. Lazer görüntüleme, optik mikroskopi ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) sonuçları; kaplamadaki Al_2O_3 içeriği arttıkça, yüzey pürüzlülüğü azalırken, deforme olan partiküllerin yassılaşıma oranının çarpışan partiküllerin sıkıştırma etkisine bağlı olarak arttığı tespit edilmiştir. Ayrıca, Al_2O_3 partikülleri, sırasıyla A380 taneciklerinin rafine edilmesi ve sıkıştırma etkisinden dolayı kompozit kaplamalarda mikro sertliğin artması ve düşük gözeneklilik ile sonuçlanmıştır. Al_2O_3 partiküllerinin parçalanma derecesi, kompozitlerdeki Al_2O_3 içeriğinin artmasıyla arttığı anlaşılmıştır. Kompozitlerin gelişmiş aşınma performansı, sürekli olarak değişen yapışkan, delaminasyon ve aşındırıcı aşınma mekanizmalarıyla açıklanmıştır.

Prasad ve Asthana (2004), çalışmalarında sert tanecikler, kısa elyaflar ve katı yağlayıcılar ile güçlendirilmiş Al MMK'lerin tribolojik davranışlarını ve bu yeni malzemelerden otomotiv parçaları üretme teknolojilerini araştırmışlardır. Al MMK'ler yüksek mekanik ve termal yüklere dayanabildiğinden ve Al MMK'lerin düşük termal genleşme katsayısı nedeniyle elde edilebilecek daha yakın oturmaya izin vererek ısı kayıplarını azaltabildiklerinden, artan silindir basınçlarının ve dolayısıyla daha yüksek motor performansı mümkün olduğu sonucuna varılmıştır.

Sarkar ve Clarke (1980), çalışmalarında alüminyum-silisyum alaşımlarının sürtünmesi ve aşınması; metalografik incelemeler, mikro sertlik testi ve taramalı elektron mikroskobu ile birlikte pin-on disk tip aşınma test cihazı kullanılarak incelemiştir. Silisyum içeriği, aşınma direncinde baskın bir faktör olarak görünmemektedir. Ötektik alaşımın, incelenen alaşımların arasında aşınmaya en dayanıklı olduğu görülmüştür. Aşınma kalıntısı için nükleasyon bölgeleri, muhtemelen Hertz gerilmesinin bir sonucu olarak kayan yüzeyin altında oluştuğu anlaşılmıştır.

Haque ve Sharif (2001), çalışmalarında alüminyum-silisyum piston alaşımının aşınma özelliklerini incelemişlerdir. Çalışmada, yerel olarak mevcut otomotiv hurda pistonları temel hammadde olarak kullanılmış ve eritme amacıyla doğal gazla çalışan bir pota ocağı kullanılmıştır. Hem döküm hem de ısıl işlem görmüş numunelerin aşınma davranışı; kuru kayma koşulları altında, oda sıcaklığında, pin-on disk tip aşınma test cihazı kullanılarak incelenmiştir. Aşınma hasarının boyutu ve aşınma tipi, ağırlık kaybı

ölçümü ve optik mikroskopi teknikleri ile araştırılmıştır. Tam ısıtma işlemi, numunelerin aşınma oranını düşürdüğü için alüminyum-silisyum piston alaşımının aşınma özellikleri üzerinde büyük bir etki göstermiştir. Olağanüstü yüksek gerilme mukavemeti ve sertliği, süneklikteki azalmayla ısıtma işlemi durumuna bağlanmıştır. Yapıdaki önemli değişikliklerin özellikle birincil ve ötektik silisyum fazlarında meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Lozano vd. (2009), çalışmalarında, yeni hiperötektik Al-Si-Cu alaşımının aşınma performansını bir pin-on disk aşınma test cihazı kullanarak değerlendirmişlerdir. Bu amaçla, bir V6 alüminyum motor bloğundan alınan örnekler test edilmiştir. Aşınma değerlendirmesi, yağlanmış ve yağlanmamış koşullar altında farklı yüklerde (10, 30, 50, 120 N), farklı kayma hızlarında (0.5, 1.0, 1.5 m/s) ve farklı kayma mesafelerinde (5, 10, 20 km) deneyler yapılmıştır. 5 km kayma mesafesi boyunca hacim kaybının, üç farklı hızda aşınmaya çok benzer olduğu, ancak numunelerin 10 km'de test edildiğinde, 0.5 ve 1.5 m/s hızında hacim kaybında kademeli bir artış gözlemlendiği görülmüştür. Bununla birlikte, 1.0 m/s koşulunda önemli miktarda hacim kaybı artışı olduğu sonucuna varılmıştır. Böylece bu hızda aşınma rejiminde bir değişiklik meydana geldiği anlaşılmıştır. Sürtünme katsayısı açısından, bu değer, 1.0 ve 1.5 m/s için 5-20 km arasında neredeyse sabittir, ancak numuneler 0.5 m/s'de değerlendirildiğinde, sürtünme katsayısı % 100 arttığı tespit edilmiştir.

Seçilmiş (2017), çalışmasında, toz metalürjisi yöntemiyle üretilmiş B4C takviyeli Al matrisli kompozitlerin farklı takviye oranlarının aşınma davranışına olan etkileri incelemiştir. Üretilen malzemelerin aşınmış ve aşınmamış yüzeylerindeki mikroyapısal değişimleri belirlemek için optik mikroskop, SEM, EDS analizleri yapılmıştır. Yapılan deneysel çalışmalar sonucunda Al matrisli kompozitlerde B4C takviye oranının artması sertliğinin artmasına ve aşınma kaybının azalmasına yol açtığı tespit edilmiştir. Ayrıca kayma mesafesi ve uygulanan yükün artması ile aşınma miktarının arttığı görülmüştür. Bu durum, SEM görüntüsü ve EDS analizlerinden de görüldüğü gibi mikroyapıdaki takviye oranının sıklığı ve matris içerisindeki dağılımı ile ilgili olduğu gözlemlenmiştir. Yalçinkaya (2018), çalışmasında, sıcak presleme ile alüminyum matrisli, ağırlıkça % 5, 10 ve 15 alüminyum takviyeli kompozit malzemeler üretmiş ve pin-on disk aşınma test

cihazı ile abrasiv aşınma özellikleri incelemiştir. Takviye malzemesi olarak parçacık boyutu 32 μm ve saflığı % 99,52 olan alüminyum tozu, matris malzemesi olarak 160 μm boyutta ve % 99, 7 saflıkta alüminyum tozu kullanılmıştır. Abrasiv aşınma testleri pin-on disk cihazı kullanılarak 200 m mesafede değişen yükler (2 N - 8 N) altında gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar mekanik karıştırma sonrası matris yapıda alüminyumun homojen olarak dağıldığını göstermiştir ve bu durum kompozit malzemenin mekanik özelliklerine pozitif katkı sağlamıştır. En iyi aşınma testi sonuçları % 15 alüminyum içeren kompozit numuneden elde edilmiştir. Bu malzemenin 8 N yük altındaki aşınma testlerinde matris malzemeye göre ağırlık kaybının % 65-80 aralığında azaldığı ve sertliğinin % 107 artmış olduğu görülmüştür.

Gültaş (1998), çalışmasında kompozit malzemelerin aşınma dirençlerini belirlemek için pin-on disk tipi aşınma cihazı tasarlanıp, imal edilerek sıkıştırılmalı döküm tekniği ile üretilen alüminyum elyaf takviyeli çinko-alüminyum alaşım esaslı kompozitlerin kuru sürtünmeli olarak aşınma davranışları imal edilen bu deney cihazında araştırmıştır. Metal matriksli kompozitlerin ve matriksin aşınma yüzeyleri optik mikroskopta incelenmiştir. Optik mikroskopla yapılan yüzey incelemesi, normal doğrultuda yönlendirilmiş kompozitlerde mikro elyaf kırılmalarının oluştuğu ve matriks içerisine gömüldüğünü gösterirken, rastgele düzlemsel doğrultuda yönlendirilmiş kompozitlerde ise daha büyük ölçekte elyaf çatlamları ve kırılmaların oluştuğu dolayısıyla alt yüzey deformasyonuna sebep olduğu; ayrıca, kazıma aşınmasının daha etkili olduğu gözlenmiştir. Enine dik kesitlerinin incelenmesinde de deformasyon derinliğinin yine normal doğrultuda yönelmiş kompozitlerde daha az olduğu gözlenmiştir.

Ölmez (2016), çalışmasında Al-Si alaşımlarını pin-on disk yöntemiyle 180°C ve oda sıcaklığında aşınma deneyine tabi tutmuştur. Deneyler sonunda, alaşımların aşınma hızının sıcaklığa bağlı olarak arttığı gözlenmiştir. Numuneler, deney öncesi ve deney sonrası tartılarak, aşınma sonucunda meydana gelen ağırlık kaybı ortaya çıkarılmaktadır. Bu çalışmada Al-Si alaşımlarının oda sıcaklığında ve yüksek sıcaklıktaki aşınma davranışlarının incelenmesi amaçlanmıştır.

Pürçek (1994), çalışmasında alaşımlardan imal edilen kaymalı yatakların aşınma davranışlarını, bir aşınma deney düzeneği yardımıyla incelemiştir. İncelemeler

sonucunda, gerek dökülmüş gerekse ısıtıl işlem görmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, geleneksel bir yatak malzemesi olan DIN 1705 bronzundan üretilen yataklardan daha üstün aşınma davranışı sergiledikleri gözlenmiştir. Ayrıca, dökülmüş durumdaki çinko-alüminyum esaslı alaşımlardan imal edilen yatakların, ısıtıl işlem görmüş durumdaki alaşımlardan imal edilen yataklara göre daha üstün aşınma davranışı sergiledikleri belirlenmiştir.

Yüksel (2014), çalışmasında alüminyum matrisli B_4C takviyeli kompozit malzemeler karıştırılmalı döküm yöntemi ile iki farklı hacim oranında üretmiştir. Üretilen kompozit malzemeler karakterize edilmiş ve kuru kayma aşınma davranışı pin-on disk aşınma test cihazı ile incelenmiştir. Aşınma test sonuçları göz önüne alındığında sürtünme katsayısının hacim oranının artması ile arttığı tespit edilmiştir. Aşınma yüzeyinin mikroyapısı incelendiğinde adhesiv, abrasiv ve tabakalı aşınma izlerine rastlanmıştır.

Aktaş (2007), çalışmasında parçacık takviyeli Al esaslı metal matrisli kompozitler (MMK) mekanik alaşımlama yöntemi ile üretmiştir. Takviye elemanı olarak Al_2O_3 parçacıkları kullanılmıştır. Üretilen kompozitlerde Al_2O_3 takviye elemanı oranları ağırlıkça % 5, 10 ve 15 olarak seçilmiştir. Toz metalürjisi yöntemi ile üretilen metal tozları 450 d/d hızla bilyeli dikey değirmende 1,5 ve 3,5 saat sürelerde karıştırılarak hazırlanmıştır. Mekanik alaşımlama sonrası Al- Al_2O_3 tozlar 650 MPa basınç altında preslenerek $\phi 10 \times 15$ mm boyutlarında blok numuneler üretilmiştir. Üretilen blok numuneler 600 °C'de 2 saat Ar atmosferi altında sinterlenmiştir. Kompozit numunelerin mikroyapı incelemeleri optik mikroskop aracılığı ile yapılmış ve matris içindeki Al_2O_3 parçacıklarının dağılımı belirlenmiştir. Yoğunluk, parçacık içeriğinin artmasıyla ve parçacık boyutunun artmasıyla artmıştır fakat az miktarda da porozite olduğu gözlenmiştir. Buna ilaveten, SEM mikroskobu ile aşınmış yüzeylerin incelenmesi sonucu, matris malzemesinde oksidasyon ve kısmi kopmalar baskın iken, MMK'lerde plastik deformasyonun baskın olduğu görülmüştür. Ayrıca MMK'lerde parçacık boyutu küçüldükçe plastik deformasyonun arttığı ve takviye oranı arttıkça düzleşmenin çok az değiştiği gözlenmiştir.

Kılıç (2007), çalışmasında, SiC parçacık takviyeli alüminyum alaşımlı metal matrisli kompozitler toz metalürjisi yöntemiyle SiC oranları, ağırlıkça %5, %10 ve %15 olacak

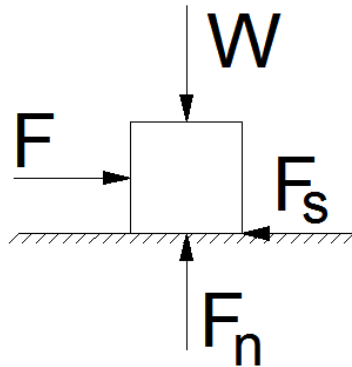
şekilde üretilmiştir. Toz karışımlar 800 MPa'da tek yönlü bir kalıpta preslenerek blok numuneler üretilmiştir. Elde edilen bütün numuneler, 2 saat süreyle 650 °C tüp fırında argon gazı ortamında sinterlenmiştir. Sinterleme sonrası numunelerin mikro yapı incelemeleri, sertlik, yoğunluk ve gözenek ölçümleri yapılmıştır. Bunun dışında, aşınma deneyleri sabit hızda ve farklı yüklerde pin-on disk aşınma test cihazında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca aşınmış yüzeylerin karakterize edilmesi için tarama elektron mikroskobu (SEM) ve noktasal analizi yapılmıştır. Sonuçlar, üretilen kompozitte sertliğin ve yoğunluğun parçacık içeriğine bağlı olarak arttığı görülmüş ve kompozit malzeme içerisindeki seramiğin tane boyutu küçüldükçe aşınma miktarının arttığı kompozit malzeme içerisindeki seramiğin oranı arttıkça aşınma miktarının azaldığı belirlenmiştir. Ayrıca yük arttıkça hem matris hem de kompozitte aşınma miktarı artmıştır.

3. TRİBOLOJİ

Temasta olan ve birbirine göre izafi harekette bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünme ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık yükselişi ile enerji kaybı meydana gelir. Bu olayların etkisini azaltmak için alınması gereken önlemlerin başında yağlama gelir. Sürtünme, aşınma, yağlama konularını ve bunlara bağlı olan olayları inceleyen bilim dalına triboloji denir (Akkurt 1990).

3.1 Sürtünme

Birbiriyle temas halinde bulunan iki malzemenin izafi hareketi esnasında oluşan karşı dirence sürtünme denir. Bir birine göre hareketli çalışan cisimlerde ufakta olsa daima sürtünme vardır. Sürtünme kuvveti F_s ile gösterilir ve hareket yönünün tersinde meydana gelir. Çalışma koşullarına göre sürtünmenin, istendiği ve istenmediği durumlar mevcuttur. Hareket eden bir cisim, ivmeli bir şekilde durdurmak veya yavaşlatmak isteniyorsa sürtünme istenen bir durumken, cismin hareket etmesi isteniyorsa sürtünme istenmeyen bir durumdur. Sürtünme, enerji, zaman ve maddi kayıplara neden olması sebebiyle bu konuyu önemli kılmıştır. Sürtünme kinematik bakımdan temas halindeki cisimler arasında kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma olarak meydana gelmektedir. İzafi hareket yapan cismi etkileyen kuvvetlerin serbest cisim diyagramı Şekil 3.1 de gösterilmiştir.



Şekil 3.1 Serbest cisim diyagramı.

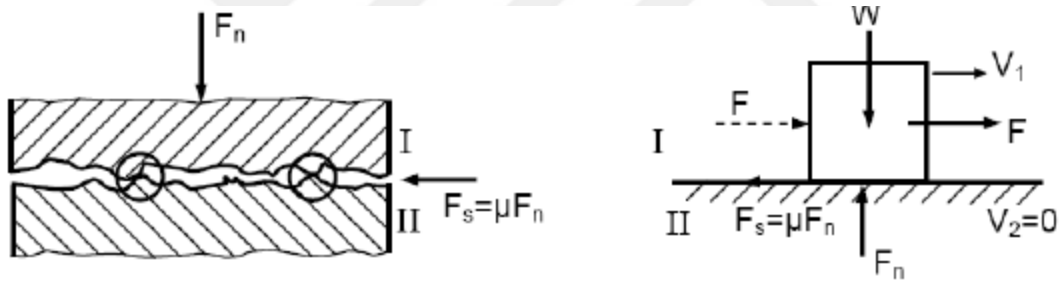
Etki kuvvetleri sonucu meydana gelen sürtünme kuvveti aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$F_s = \mu \times F_n \quad (3.1)$$

Cisimler temas eden yüzeyleri arasında yağlayıcı madde kullanıp kullanmama durumuna göre kuru, sıvı ve sınır (yarı-sıvı) sürtünmesi olarak incelenir.

3.1.1 Kuru Sürtünme

Hareketli iki cismin temas eden yüzeyleri arasında yağlayıcı olmadan hareket ettiği durumudur. Malzeme ve enerji kayıplarının fazla olduğu sürtünme tipidir. Otomotiv sanayinde, frenleme ve kavrama sistemlerinde bu sürtünme şeklinden faydalanılmaktadır. Kuru sürtünmenin gösterimi Şekil 3.2' de verilmiştir.

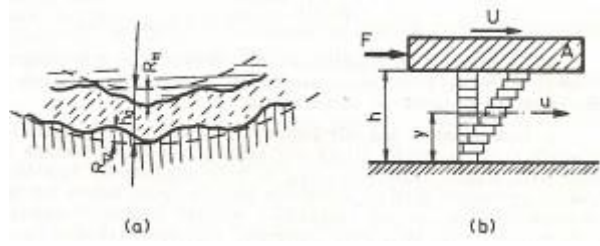


Şekil 3.2 Kuru sürtünme modeli ve sistemin serbest cisim diyagramı (Erdem 2006).

Hareketin kolay sağlanmasının istendiği kızak ve yataklarda bu sürtünme tipi istenmeyen bir durumdur.

3.1.2 Sıvı Sürtünme

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılmış olduğu sürtünme halidir (Şekil 3.3) (İnt.Kyn.1). Hareketli iki cismin yüzeyleri arasında kesintisiz bir yağ tabakası ile yüzeylerin teması her noktada engellenmektedir. Sürtünme cismin yüzeyleri arasında kalan yağın tabakaları arasında meydana gelir.



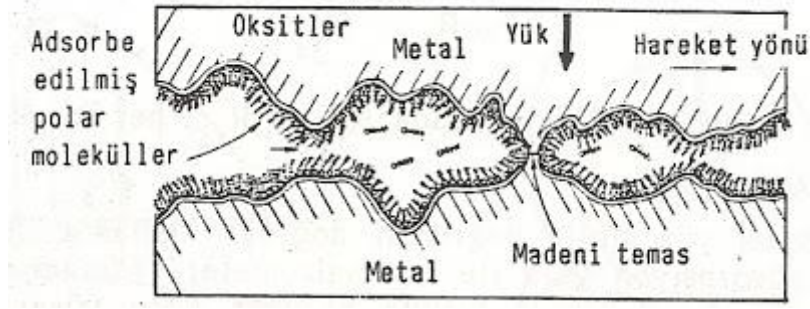
Şekil 3.3 Sıvı sürtünme (İnt.Kyn.1).

Elastohidrodinamik yağlama, hem hidrodinamik etki hem de yüzey deformasyon etkisinin bir arada olduğu bir yağlama tipidir. Bu yağlama tipinde, ince film tabakasından dolayı ilk temasta ve harekette, yüksek sıcaklık ve aşırı yükten dolayı elastik deformasyon gibi zorluklarla karşılaşmaktadır. Elastohidrodinamik yağlama, dişliler, yuvarlanmalı yataklar, kamlarda ve diğer yüksek temas gerilimi olan geometrilerde ortaya çıkmaktadır (Salman 2011).

Hidrodinamik yağlama genel olarak konformal (iç bükey) yüzeylerde oluşan yağlama olayları ile karakterize edilmektedir. Yatak yüzeyleri hem birbirine göre yaklaşmakta hemde yatak yüzeyleri bağlı harekete sahip ve akışkanın viskozitesi olduğu için hidrodinamik bir şekilde yağlanan radyal veya aksel yataklarda meydana gelen pozitif basınç yüzeyleri birbirinden ayırmaktadır Bu pozitif basıncın mevcudiyeti uygulanan normal yükün taşınması ile belirtilmektedir. Basıncın büyüklüğü (genellikle 5 MPa'dan daha küçüktür) genelde yüzeylerin belirli elastik deformasyonlarına neden olacak büyüklüğe sahip değildir (Salman 2011).

3.1.3 Sınır Sürtünme

Hareketli iki cismin temas eden yüzeyleri arasında kesintisiz bir yağ tabakası olmadan hareket ettiği durumdur. Yağ yüzeylere kesintisiz bir yapışma sağlayamadığından bazı noktalarda yüzeyde kuru sürtünme meydana gelir. Uygulamalarda en çok karşılaşılan sürtünme şeklidir. Yapılan deneyler göstermiştir ki, polar karbonlu hidrojenlerin molekülleri aktif karboksil grupları ile madensel yüzeylere bağlanmaktadır (Şekil 3.4). Böylece yüzeyler üzerinde birkaç molekül tabakası kalınlığında adsorpsiyon tabakaları oluşmaktadır, Yağın bu özelliğine yapışma (oilness) kabiliyeti denir (İnt.Kyn.2).



Şekil 3.4 Sınır sürtünme (İnt.Kyn.2).

3.2 Aşınma

Aşınma; malzemeye farklı olarak etkiler neticesinde malzeme yüzey kısmından devamlı olarak kayıplarının meydana gelmesi olarak algılanmaktadır. DIN 50320 veya ASTM G4093 standartlarına göre aşınma olayı; “Kullanılan malzemelerin diğer malzemeler ile (katı, sıvı ve gaz) temas etmesiyle mekanik etkenler ile yüzeyinden ufak parçacıkların ayrılması neticesinde oluşan, istenmeyen yüzey bozulması” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma, mekanik, fiziksel veya kimyasal etkiler neticesinde temas halindeki malzemenin yüzeyinden malzeme ayrılması olarak da tanımlanabilir. Bir aşınma durumunun meydana gelmesini sağlayan başlıca etkenler şunlardır:

- a. Hareket durumu
- b. Yük miktarı
- c. Ara malzeme durumu
- d. Diğer malzeme (aşındıran)
- e. Ana malzeme (aşınmaya maruz kalan)

Aşınan malzemeler ve aşındırıcı malzemeler “aşınma ikilisi” olarak anılmaktadır. Aşınma ikilisiyle ara malzeme “aşınma kombinasyonu” olarak tabir edilir. Bu aşınma ikilisi arasındaki ara malzeme birçok farklı biçimde olabilmektedir. Bu şekiller sert taneli, sıvı hali, gaz hali ve buhar hali biçiminde olmaktadır (Öztürk 2018).

3.2.1 Adhezyon Aşınması

Adezyon aşınması, en yaygın aşınma türüdür. Birbirine temas eden cisimlerin temas yüzeylerinin hareketi anında oluşur. Adezyon aşınması, birbirine benzer veya birbirleriyle kolay alaşım yapan malzemelerin arasında oluşur. Aşınma yüzeylerin bağlı hareketine ve normal kuvvete bağlıdır. Genellikle yüksek hızlarda ve yüksek yüklerde görülen bir aşınma şeklidir. Adezyon aşınması, sürtünmeyi oluşturan bütün kaynak noktalarında meydana gelmez. Oksit veya nemden oluşan tabaka, aşınma üzerinde etkilidir. Temiz yüzeylerde aşınma daha düşük hızlarda ve düşük yüklerde meydana gelir (Seyhan 2018).

3.2.2 Abrazyon Aşınması

Abrazyon aşınması, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle sürtünen iki malzemenin hangisi daha sert ise onun yüzeyindeki pürüzleri daha yumuşak olan diğer malzemeyi çizerek yüzeyinden mikro talaş kaldırılması olayı olarak tanımlamak mümkündür. Dışardan yüzeyler arasına giren toz, talaş veya doğrudan eş çalışan malzemelerin yüzeylerinde oksidasyon sonucu oluşan sert parçacıklar aşındırıcı olarak görev yapabilmektedir. Bu parçacıkların yumuşak yüzeye gömülerek sert yüzeyden sanki eğelercesine veya zımparalarcasına malzeme kaldırmasıyla kendini gösteren bir aşınma türüdür. Sert parçacıklar gömüldükleri yüzeyde de tahribat yaparlar ve yüzeyi hareket yönünde çizerek. Bu aşınmanın önlenmesi için yüzeyler sertleştirilmelidir. Dışardan sert maddelerin yüzeyler arasına girmemesi için iyi bir sızdırmazlık ve iyi bir filtreleme sağlanmalıdır. Makine ve sistemler talaş ve diğer pisliklerden sık sık temizlenmelidir (Salman 2011).

3.2.3 Korozyon Aşınması

Genel olarak bir metalin istenmeyen ve tahrip edici bir reaksiyona (çözünmeye) maruz kalması olarak tanımlanır. Bu, elektrokimyasal bir reaksiyondur ve genellikle yüzeyde başlar. Ekonomik açıdan, metalik korozyon problemi önemli bir orana sahiptir.

Sanayileşmiş bir ülkede milli gelirin yaklaşık %5'inin, korozyon reaksiyonlarının bir sonucu olarak, malzeme kayıpları veya kirlenmiş ürünlerin bakım veya değiştirilmesi ve korozyon önleme için harcandığı tahmin edilmektedir. Korozyonun yol açtığı sonuçlar herkes tarafından bilinecek kadar yaygındır. Otomotiv gövde panellerinin (sacının), radyatörün ve egzozun paslanması bilinen örnekler arasındadır (Callister and Retwisch, 2014). Malzemenin korozyon sonucunda kütle kaybetmesi korozyon aşınması olarak ifade edilebilir.

3.2.4 Yorulma Aşınması (Pitting)

Bu tip aşınma temas yüzeylerinde çok küçük çukurcukların oluşması şeklinde kendini gösterir. Olay özellikle rulman, dişli çarklar, kam mekanizmaları gibi makine elemanlarında, yani, yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde ortaya çıkar ve esas olarak bir malzeme yorulması sonucudur. Bu elemanların temas alanları küçük olduğundan yüzeylerde Hertz yüzey basınçları meydana gelir. Bu çeşit basınçların etkisi altında yüzeylerin hemen altında kayma gerilmesi oluşur. Değişken zorlanma nedeniyle malzemenin yüzeyinde bir yorulma olayı başlar. Maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına da bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Zamanla bu boşluklar yüzeye doğru hareket etmekte, büyümekte ve yüzeyde küçük çukurcuklar meydana getirmektedir. Bu durumda yüzeyler arasındaki yağın etkisi de önemlidir. Yüksek basınç altındaki yağın çatlaklara girmesi, bunların büyümesinden önemli rol oynayabilir. Pitting aşınmasının diğer bir açıklama tarzında ise, çukurcukların plastik deformasyonlar nedeniyle doğrudan doğruya temas yüzeyinde meydana geldiği ve buradan malzemenin iç kısımlarına da yayıldığı ileri sürülmektedir (Akkurt, 1990).

3.2.5 Erozyon aşınması

Erozyon aşınması katı parçacıklar içeren bir akışkanın bir yüzeye çarpması durumunda oluşur. Başka bir tarifile, belirli bir hıza sahip olan katı parçacıkların metal bir yüzeye çarptığı zaman, yüzeyin üst tabakasında malzeme kaybı meydana getirmesi sonucu oluşan aşınmaya erozyon aşınması denilir. Yüzeyin üst tabakasından malzeme kaybının

devam etmesi halinde kullanım yerine bağılı olarak ciddi mekanik olumsuzluklara yol açabilir. Makine elemanlarının erozif ortamlarda bulunması durumunda yüzeylere sıvı damlaları veya katı parçacıklarının çarpması sonucu elemanların ömürlerinde azalmalar meydana gelmektedir.

3.3 Aşınma Test Cihazları

Aşınma ölçümü; hacim kaybı, doğrusal boyut kaybı ve kütle kaybı ile yapılabilir. Elverişli yöntemlerden biri, hacim kaybı yöntemidir. Bu yöntem derinlik, genişlik, aşınma profili veya aşınma izinin diğer boyut verilerinden hesaplanır. Genel olarak, ölçüm için yüzey profili ölçer veya mikroskop kullanılabilir. Bu yöntemin dezavantajı, aşınma izi biçiminde düzensizlik olduğundan, hacim kaybını ölçmenin kolay olmamasıdır.

Diğer metot, aşınmanın doğrusal boyut değiştirme yöntemi ile ölçülmesidir, bu yöntemde aşınma yüzey profil ölçer, mikroskop ve hassas sürgüler ile ölçülür. Uygulanan ünite altındaki mesafe değişimi normal yük veya ünite kayma mesafesi ölçülür.

Bu test sisteminde aşınma ölçümü, uygun bir yöntem olan hassas bir denge ile kütle kaybı ölçümü ile gerçekleştirilir. Bu yöntem, bilinen yoğunluk malzemesi için hacim kaybından hesaplanmak için kullanılır. Ayrıca, bu yöntem aşınan malzemenin çok küçük ağırlığı ve düzensiz veya simetrik olmayan şekli için uygundur. Bu çalışmada, aşınma ölçüm hesaplamaları ve test prosedürleri, kütle kaybı ölçümüne göre incelenmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

4.1 Malzemeler

Bu çalışmada numune malzemesi olarak otomotiv sektöründe yaygın kullanım alanına sahip olan Etial 140, Etial 171 ve Etial 177 alüminyum alaşımları kullanılmıştır. Kullanılan malzemelerin kimyasal bileşim limitleri aşağıdaki Çizelge 4.1’de, üretimle ilgili parametreler ise Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.1 Kullanılan alaşım numunelerinin kimyasal bileşim limitleri (%ağırlık) (İnt.Kyn.3).

Malzeme	Fe	Si	Cu	Mn	Mg	Zn	Ni	Ti	Pb	Sn
ETİAL-140	0.6	11.50-13.50	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	0.15	0.1	0.05
ETİAL-171	0.5	9.00-10.00	0.1	0.40-0.60	0.30-0.45	0.1	0.1	0.15	0.05	0.05
ETİAL-177	0.2	6.60-7.40	0.02	0.03	0.30-0.45	0.04	0.02	0.08-0.14	0.05	0.05

N1 (Etial 140), ince kesitli ve karışık dökümlerde, motor kutularında, ölçme kutularında, pompa parçalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Ayrıca deniz suyuna dayanımı yüksek bir malzemedir.

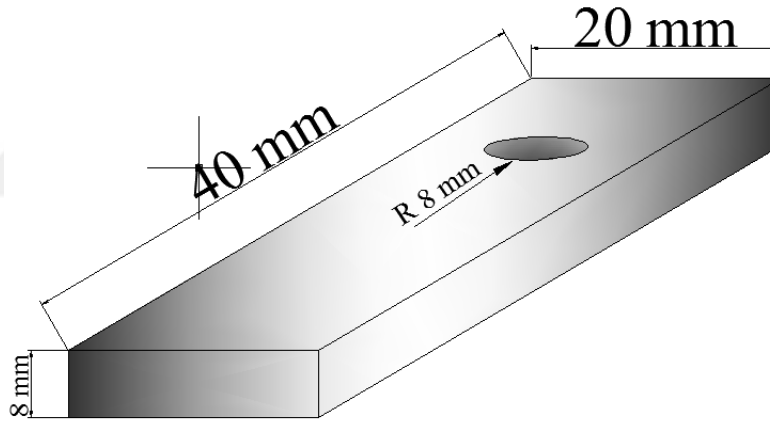
N2 (Etial 171), mukavemet ve kolay dökülebilme özelliği istenen otomotiv parçalarında, korozyona dayanım ve basınçta sızdırmazlık istenen koşullarda tercih edilmektedir.

N3 (Etial 177), otomotiv sanayinde basınçlı sızdırmazlık gerektiren parçalarda ve jant yapımında kullanılır.

Çizelge 4.2 Kullanılan numunelerin tipik özellikleri (İnt.Kyn.3).

Malzeme	ÖZGÜL AĞIRLI K (gr/cm ³)	ERGİME ARALIĞI (°C)	ISISAL İLETKENLİK (cal/cm.s°C)	KOROZYON DAYANIMI	DÖKÜLE BİLİRLİLİK	İŞLENE BİLME	ANODİK OKSİDASYON
ETİAL-140	2,66	575-585	0,37	Çok İyi	Mükemmel	Orta	Sadece Yüzey Korumada
ETİAL-171	2,64	575-595	0,27	Çok İyi	Mükemmel	Orta	Sadece Yüzey Korumada
ETİAL-177	2,68	557-613	0,38	İyi	İyi	Orta	Sadece Yüzey Korumada

Deneylerde kullanılan numuneler, 20x40x8 mm ölçülerinde külçelerden kesilerek hazırlanan lamalardan oluşturulmuştur. Hazırlanan deney numunelerinin teknik çizimi Şekil 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Hazırlanan deney numunesinin teknik gösterimi.

Numunelerden her biri 1,2, ve 3 kg lık ağırlıklardan oluşan yükler altında 500, 750 ve 1000 d/d hızla dönen diske 10 dk süreyle aşınma testine tabi tutulmuştur.

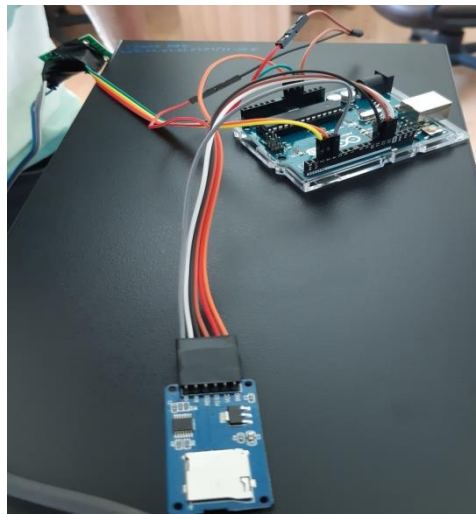
4.2 Aşınma Test Cihazı

Deneyisel çalışmada kullanılacak test cihazı Resim 4.1’de görülen, prototip olarak tasarlanmış disk üzerine pim mantığı ile çalışmaktadır. Aşınma testinde numuneler üzerine yük uygulanarak dönen diske temas ettirilerek uygulanır. Aşınma deneyi

yapılacak numuneler bir tutucu yardımıyla sisteme bağlanmaktadır. Disk tek yönde dönme hareketi gerçekleştirir. Aşınma testleri kuru ortamda yağlayıcı kullanılmadan yapılmıştır. Numuneye uygulanan yük, tutucu üzerine sabitlenmektedir. Deneyler sabit yük altında yapılmaktadır. Sürtünme kuvveti, kuvvet sensörü loadcell üzerinden alınıp arduino kontrol sistemi sayesinde mini sd kart üzerine yazdırılıp deney bitiminde bilgisayar ortamına aktarılmaktadır. Resim 4.2’de arduino kontrol ünitesi görülmektedir.



Resim 4.1 Prototip aşınma test cihazı.



Resim 4.2 Arduino kontrol ünitesi.

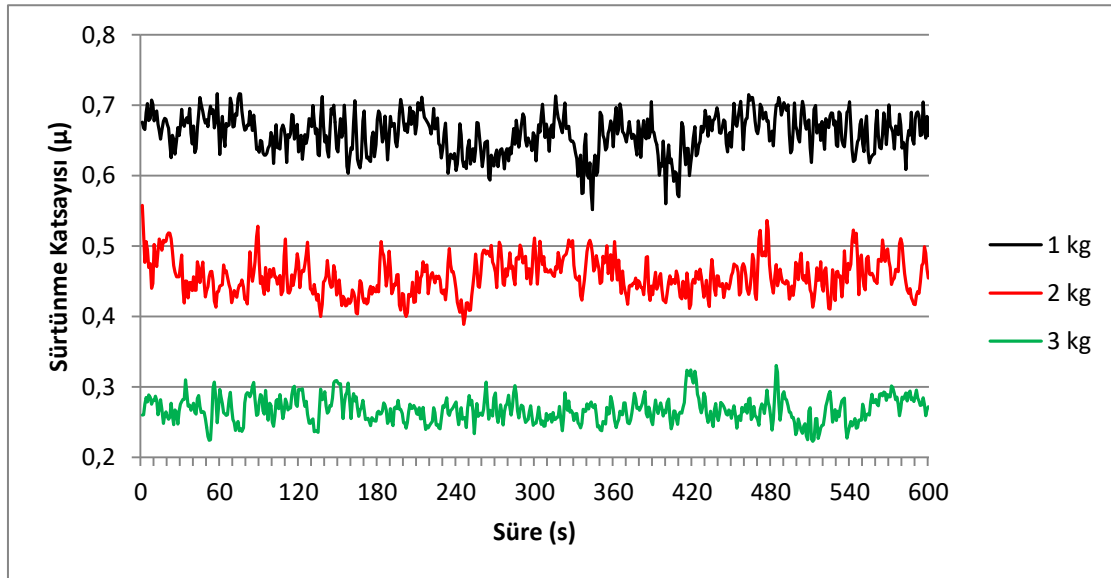
5. BULGULAR VE TARTIŞMA

5.1 Aşınma testleri

Teste tabi tutulan N1, N2 ve N3 numuneleri, 10 dakikalık sabit sürelerde 500, 750 ve 1000 d/d'lık hızlarda testler yapılmış; 1, 2, ve 3 kg'lık kütlelerle yüklenen numunelerin bu yüklere bağlı olarak meydana gelen sürtünme katsayısı değişimleri şekillerde ve aşınma miktarları grafiklerde gösterilmiştir. Test işlemi her bir numune için farklı devir sayısı ve yük olmak üzere dokuz kez tekrarlanmıştır. Aşınma sonucu kütle kayıpları numunelerin teste tabi tutulmadan önceki ağırlıkları ve test bittikten sonraki ağırlıklarının ölçümü ile tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin sürtünen kısmındaki yüzey sıcaklıkları lazer termometre ile her dakika başında ölçülerek, çizelgeler ile belirtilmiştir.

5.1.1 N1'in 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 500 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.1'de verilmiştir.



Şekil 5.1 N1'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.1 N1'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	32.5	34.4	34.9	35.5	35.8	35.4	36.2	35.8	36.1	35.4
2 kg	31.6	36.5	39.9	41.7	44.4	47.3	50.3	50.3	51.2	51.4
3 kg	44.7	47.3	51.1	54	48.7	48.9	48.8	47.7	48.2	48.4

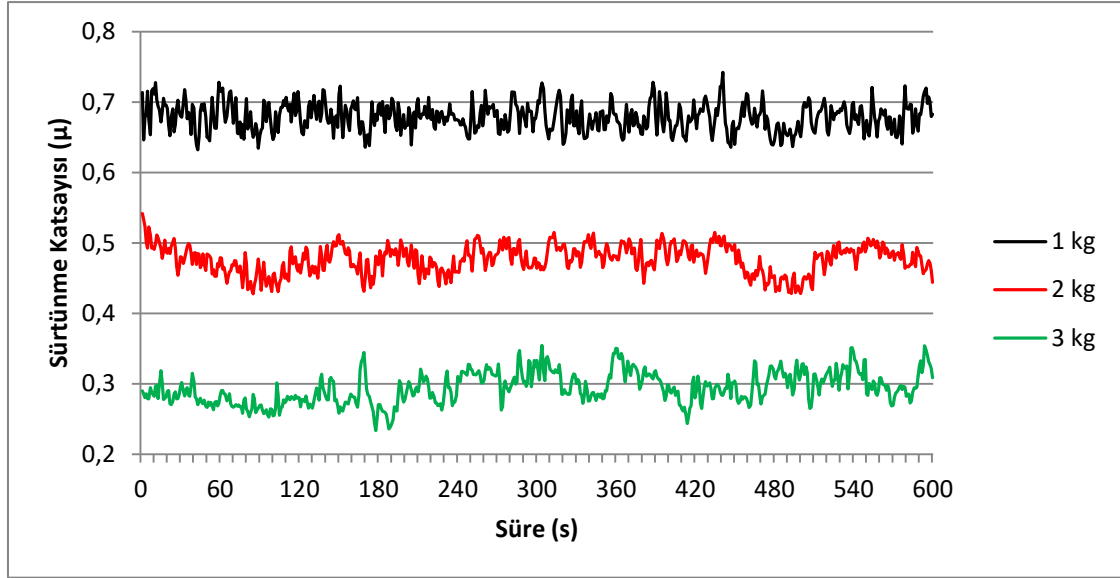
Deneyde 500 d/d'da N1(Etial 140)'in ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,65; 2 kg yük altında 0,45; 3 kg yük altında 0,26 olduğu görülmektedir. 500 d/d, farklı yükler altında sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır.

Grafiklerdeki sürtünme katsayısında meydana gelen dalgalanmaların sürtünen yüzeyde meydana gelen hacim kayıplarından olduğu sonucuna varılabilir. Yük arttıkça dalgalanmanın daha az olduğu özellikle 3 kg yük altında yapılan deney grafiğinde anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.1 de numunenin genel olarak ilk dakika içerisinde sıcaklığında yüksek artış gözlenmiştir. 2 ve 3kg lık yüklerde numune daha yüksek sıcaklıklara ulaşmıştır. N1 numunesi için ağırlık artışı ile sıcaklıklarda daha fazla yükseliş olduğu söylenebilir.

5.1.2 N2'nin 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 500 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 N2'nin 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

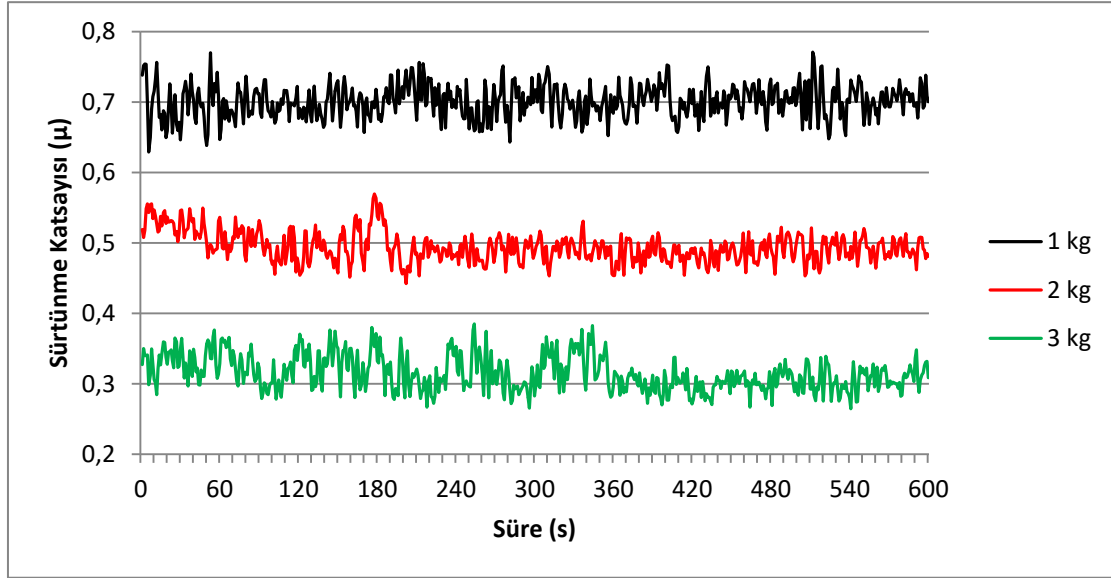
Çizelge 5.2 N2'nin 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	32.7	35.5	37	39.3	38.6	40.3	40.2	35.9	36.2	36.6
2 kg	37.5	41.5	37.1	35.2	34.7	36.5	37.3	38.1	37.4	38.7
3 kg	39.5	50.6	53.6	53.2	48.5	51.5	48.4	54.3	53.6	54.9

Deneyde 500 d/d'da N2(Etial 171)'nin ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,67; 2 kg yük altında 0,47; 3 kg yük altında 0,29 olduğu görülmektedir. N2'de de 500 d/d, farklı yükler altında sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. Çizelge 5.2 deki verilere göre sıcaklıkların 3kg lık yükte en fazla arttığı gözlenmektedir.

5.1.3 N3'ün 500 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 500 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.3'te verilmiştir.



Şekil 5.3 N3'in 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.3 N3'ün 500 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

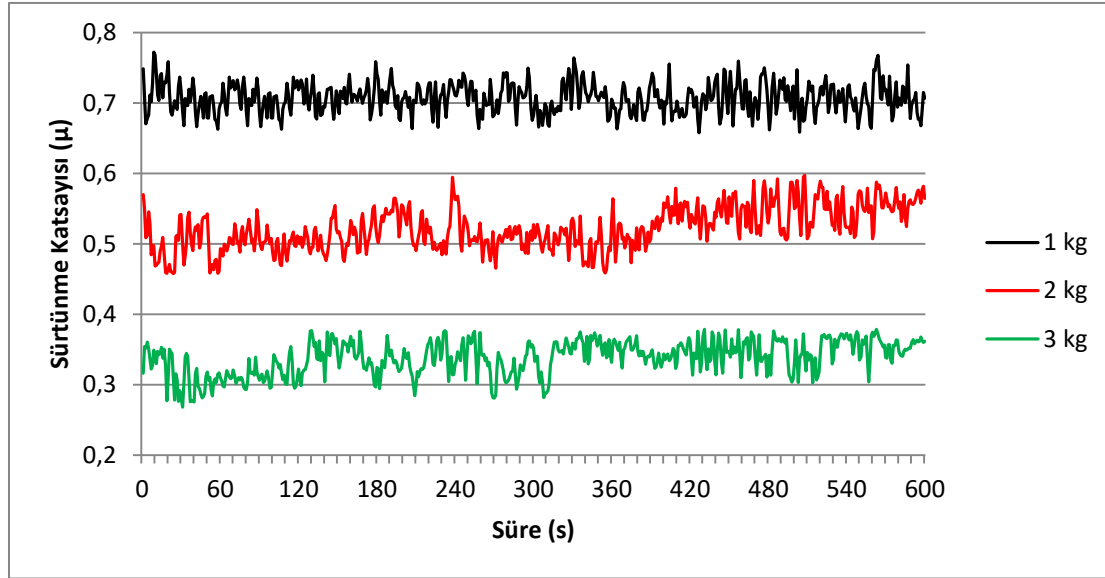
Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	31.1	31.2	31.5	31.1	31.7	31.8	32.4	33.4	32.9	33.6
2 kg	39.9	39.5	40	37	38.2	38.6	38.8	37.6	37.9	37.7
3 kg	39.1	45.7	48.8	48	45.9	43.4	40.6	38.3	38.6	38.9

Deneyde 500 d/d'da N3 (Etial 177)'ün ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,7; 2 kg yük altında 0,49; 3 kg yük altında 0,32 olduğu görülmektedir. N3'te de 500 d/d, sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı gözlenmektedir.

Çizelge 5.3'teki sıcaklık ölçümlerinde 2 ve 3 kg'lık yüklerde numunenin sıcaklıkları sürtünme katsayıları gibi birbirlerine yakın seyretmektedir.

5.1.4 N1'in 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 750 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.4'de verilmiştir.



Şekil 5.4 N1'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.4 N1'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

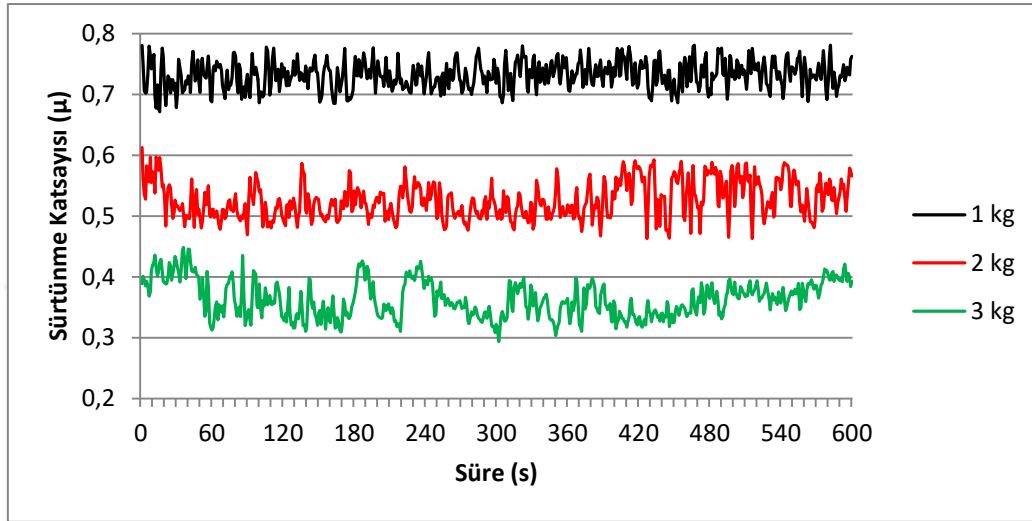
Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	36.4	41.7	45.3	48.5	51.4	51.2	54.3	56	58.7	60.2
2 kg	49.5	53.6	51.5	47.4	50.8	50.5	50.5	51.2	51.1	53.2
3 kg	56.4	61.7	65.3	68.5	71.4	71.2	74.3	76	78.7	80.2

Deneyde 750 d/d'da N1 (Etial 140)'in ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,71; 2 kg yük altında 0,54; 3 kg yük altında 0,35 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 1 kg yük altında numunenin sürtünme katsayısı belli bir ortalama iken 2 ve 3 kg yükler altında sürtünme katsayısında bir miktar artış olduğu görülmektedir.

Sıcaklık artışlarına bakıldığında 1 kg yük altında sıcaklık artışı en fazla 3 kg yük altında gerçekleşmiştir.

5.1.5 N2'nin 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 750 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.5'te verilmiştir.



Şekil 5.5 N2'in 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.5 N2'nin 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

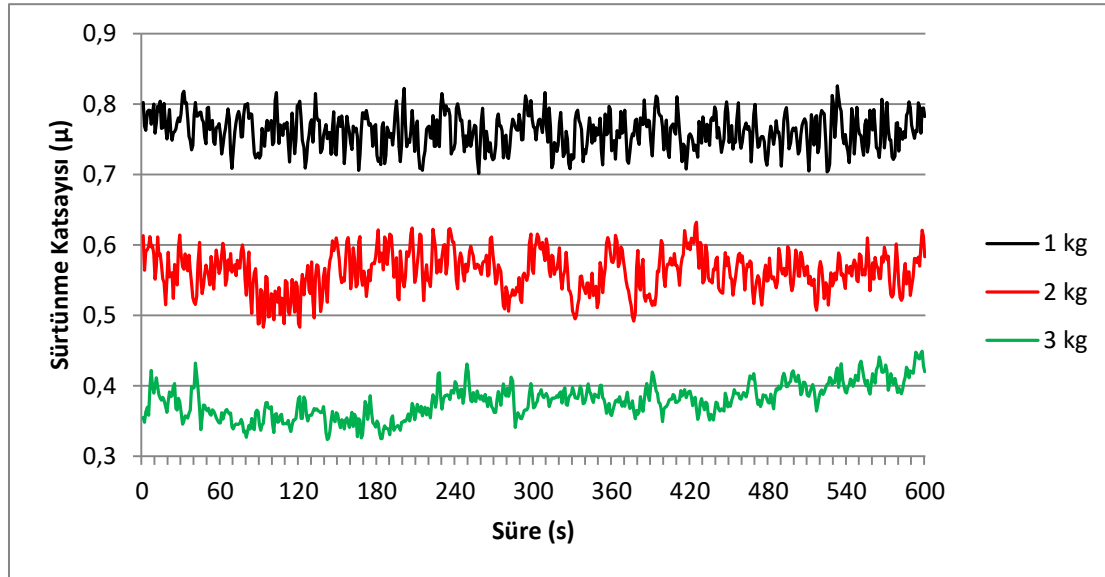
Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	30	33.3	34.4	35.5	36.7	35.8	36.7	36.9	37.3	37
2 kg	32.8	37.7	38.2	41.5	41.7	42.5	43.7	43.4	46.5	43.8
3 kg	57.3	59.2	61.6	55.6	62	64.4	65	67.4	67.7	68.4

Deneyde 750 d/d'da N2 (Etial 171)'nin ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,75; 2 kg yük altında 0,55; 3 kg yük altında 0,37 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 1 kg yük altında numunenin sürtünme katsayısı belli bir ortalamada iken 2 ve 3 kg yük altında sürtünme katsayısında önce kısmi bir azalma sürenin sonlarına doğru bir miktar artış olduğu görülmektedir.

Çizelge 5.5'te görülen değerlerde 3 kg yük varken sıcaklıkların yüksek olarak ortaya çıktığı görülmektedir.

5.1.6 N3'ün 750 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 750 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.6'da verilmiştir.



Şekil 5.6 N3'ün 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

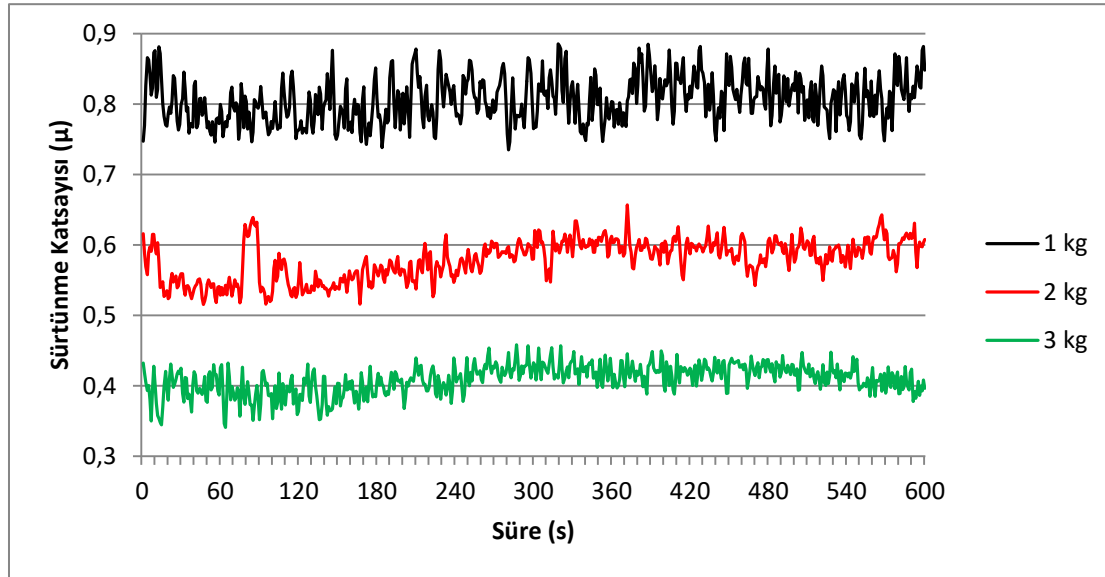
Çizelge 5.6 N3'ün 750 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	35.6	35.4	36.1	36.4	37.6	38.5	36.6	36.8	37.6	38.5
2 kg	37.8	37	38.7	40.1	42.5	45	46	46.1	46.7	46.9
3 kg	46.3	46.3	53.4	58.2	61.6	63.8	65.5	64.6	65.5	68.7

Deneyde 750 d/d'da N3 (Etial 177)'ün ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,75; 2 kg yük altında 0,57; 3 kg yük altında 0,39 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 1 kg yük altında numunenin sürtünme katsayısında önce bir düşüş sonrasında bir artış gözlenirken, diğer iki yükte ortalama sabit kalmıştır. Grafiklerin dalga boylarına bakıldığında 3 kg yük altında yapılan deneyde dalga boylarının kısa olduğu ortaya çıkmaktadır. Çizelge 5.6'da görülen sıcaklıklarda ise ilk dakika ve deney sonunda yük miktarına göre sıcaklık artışının fazla olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

5.1.7 N1'in 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 1000 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.7'de verilmiştir.



Şekil 5.7 N1'in 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.7 N1'in 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

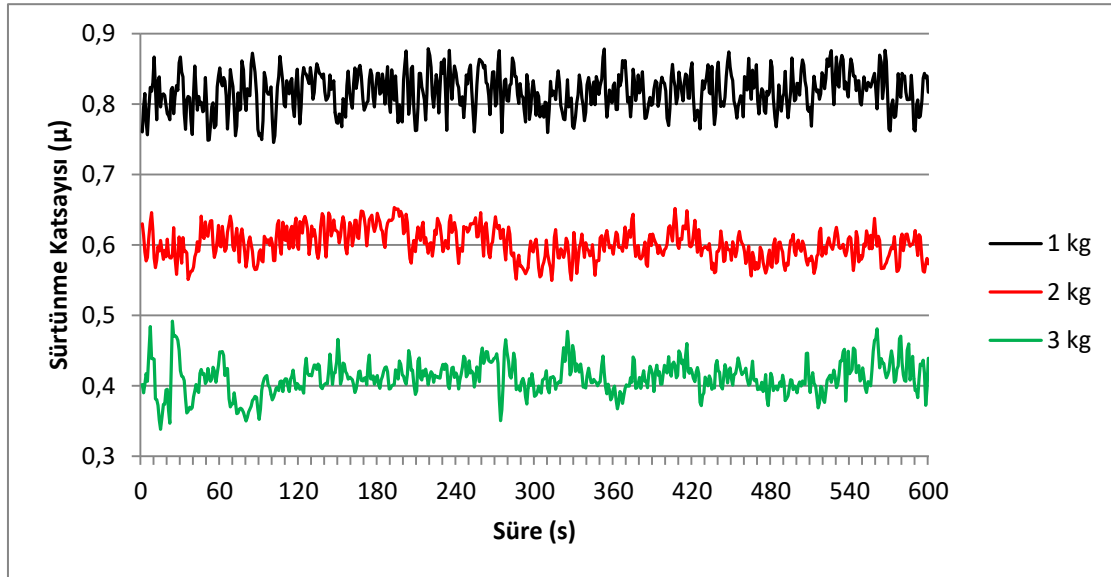
Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	34.5	37.7	40.4	40.8	41.9	42.7	43.1	42.9	43	42.2
2 kg	43.1	45.1	50.3	50.4	53.3	54.2	59	56.7	56.6	56.2
3 kg	46.1	53.4	59.8	64.9	69.5	73.7	73.8	77	76.1	69.5

Deneyde 1000 d/d'da N1 (Etial 140)'in ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,82; 2 kg yük altında 0,57; 3 kg yük altında 0,41 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 2 ve 3 kg yükler altında sürtünme katsayısı ilk 120 saniye içinde azalış gösterirken; sonrasında artış göstermektedir.

Çizelge 5.7'ye bakıldığında yük artışının sıcaklıkları orantılı bir şekilde arttırdığı gözlemlenmiştir.

5.1.8 N2'nin 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 1000 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.8'de verilmiştir.



Şekil 5.8 N2'nin 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

Çizelge 5.8 N2'nin 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

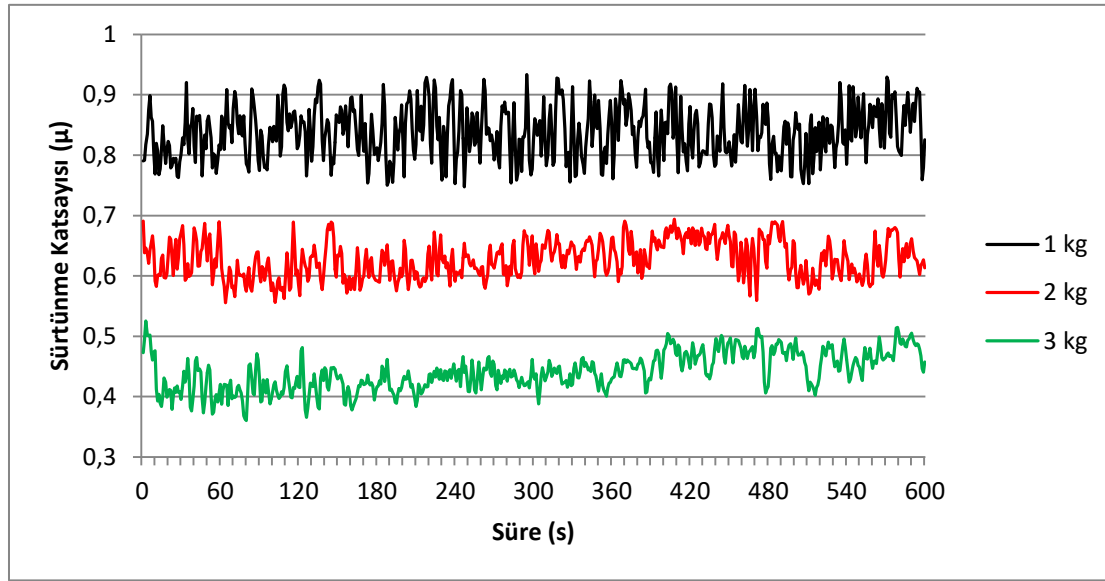
Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	33	36.7	40.7	41.9	44.4	46.1	48	48	51.1	52.8
2 kg	60.9	62	61.9	63.2	65.3	65.6	69.7	71	65.4	62.9
3 kg	57.3	63.3	70.2	73.6	80.6	83.8	83.3	86.3	86.1	83.7

Deneyde 1000 d/d'da N2 (Etial 171)'nin ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,84; 2 kg yük altında 0,60; 3 kg yük altında 0,43 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük arttırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 1 ve 2 kg yükler altında sürtünme katsayısı daha stabil seyrederken, 3 kg yük altında numunede dalgalı bir sürtünme kuvveti katsayısı olduğu gözlenmiştir. Bu durumdan 3kg yük altında numunenin sürtünme yüzeyinden daha fazla miktarda hacim kaybı olduğu sonucu çıkarılabilir.

Çizelge 5.8 de ölçülen sıcaklıklara bakıldığında 2 ve 3 kg yük altında numunenin ilk dakikada sıcaklığının 60 °C civarına arttığı görülmektedir.

5.1.9 N3'ün 1000 d/d'da Farklı Yükler Altında Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 1000 d/d'da 1, 2 ve 3 kg yük altında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.9'da verilmiştir.



Şekil 5.9 N3'ün 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi.

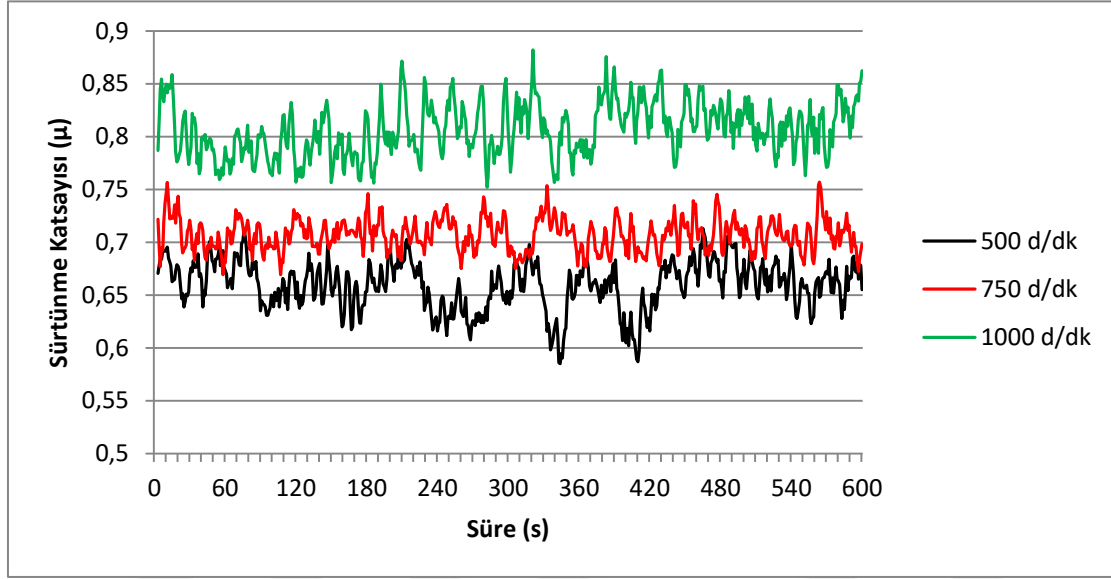
Çizelge 5.9 N3'ün 1000 d/d'da farklı yükler altında zamana bağlı sıcaklık değişimi (C°).

Yük	1. dk	2. dk	3. dk	4. dk	5. dk	6. dk	7. dk	8. dk	9. dk	10. dk
1 kg	36,7	36,9	37,8	39	39,4	39,4	38,4	39,6	39,8	38,2
2 kg	42,9	45,4	47,6	47,5	50,7	48,9	48,1	51	52,3	52,4
3 kg	43,8	52,6	56,8	59,7	61,6	61,4	62,7	60,5	62,9	62,7

Deneyde 1000 d/d'da N3 (Etial 177)'nin ortalama sürtünme katsayısının 1 kg yük altında 0,86; 2 kg yük altında 0,64; 3 kg yük altında 0,45 olduğu görülmektedir. Farklı yükler altında ölçülen sürtünme katsayısının yük artırıldıkça azaldığı anlaşılmaktadır. 3 kg yük altında sürtünme katsayısının deney sonuna doğru artış gösterdiği göze çarpmaktadır.

5.1.10 N1'in 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 1kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.10'da verilmiştir.

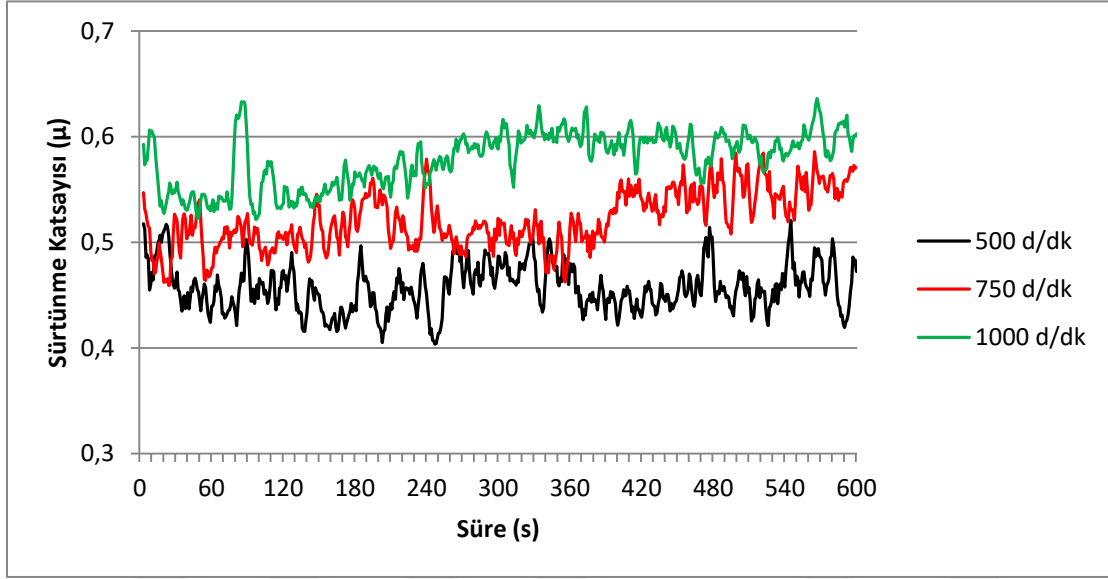


şekil 5.10 N1'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N1 için 1 kg sabit yükte 500 ve 750 d/d lık hızlarda sürtünme katsayısının 0,65 ve 0,7 gibi birbirine yakın çıktığı sonucuna ulaşılırken; 1000 d/d için bu değer 0,82 civarındadır. Bu durum hızın devir sayısının yani alınan yolun artması ile sürtünme katsayısında bir artış olabileceğini göstermiştir.

5.1.11 N1'in 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 2 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.11 'de verilmiştir.

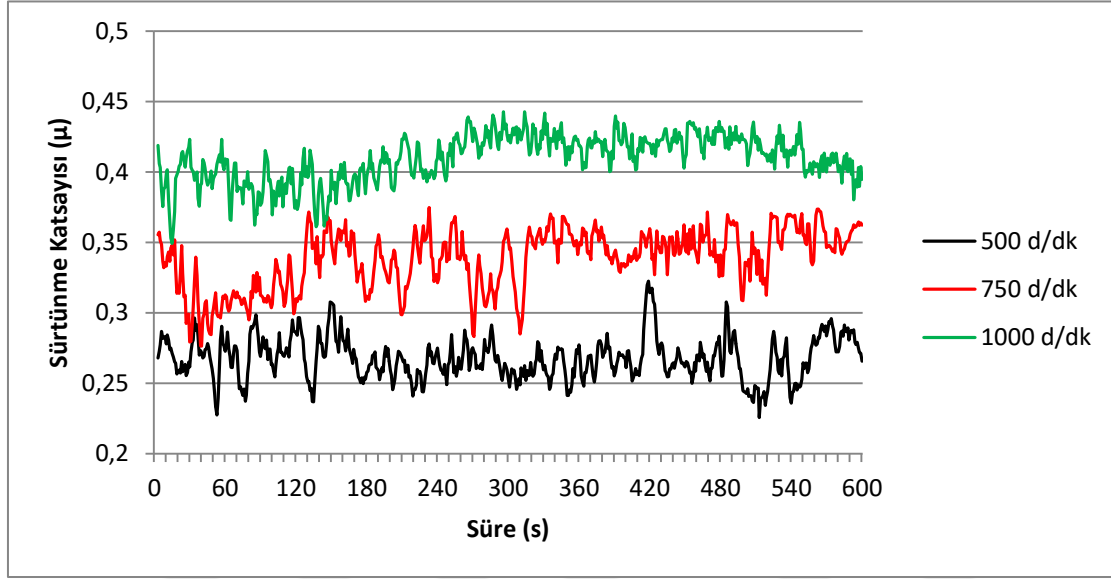


şekil 5.11 N1'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N1'ile 2 kg sabit yük altında yapılan deneyde; 750 ve 1000 d/d hızlarda sürtünme katsayısında artış olduğu gözlenmektedir. N1'in ortalama sürtünme katsayıları 1000 d/d'da 0,57; 750 d/d'da 0,55; 500 d/d'da 0,45 civarında oluşmaktadır.

5.1.12 N1'in 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N1 numunesinin 3 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.12'de verilmiştir.

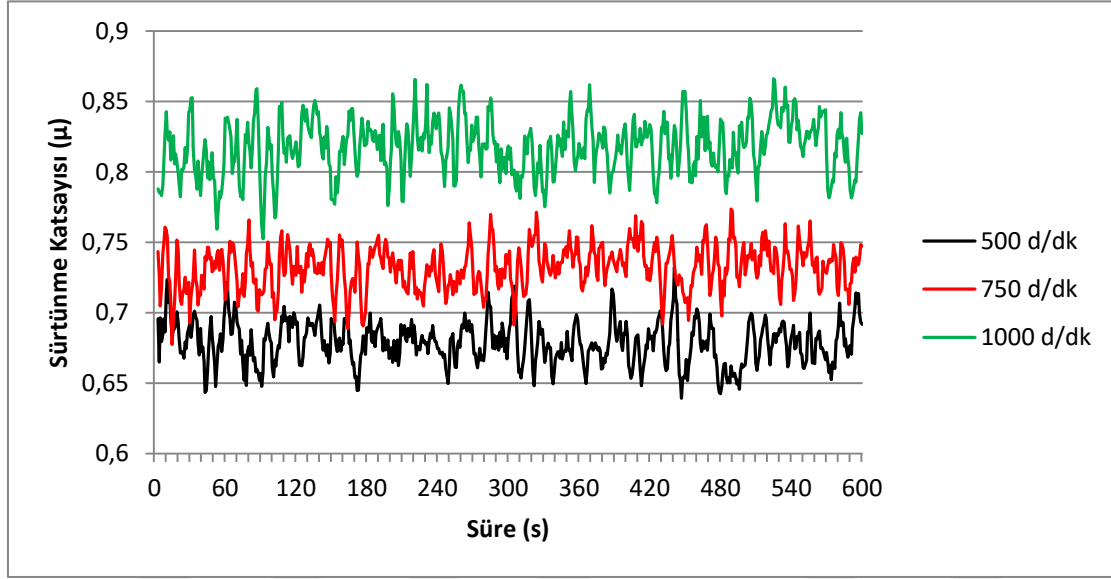


şekil 5.12 N1'in 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N1'in 3kg'lık deneyinde 2kg'lık yük altında gözlenen değerlere yakın grafikler fakat daha düşük değerler elde edilmiştir. Bu durumdan; N1 numunesi için yk arttığı takdirde sürtünme katsayılarının azaldığı sonucu çıkarılabilir.

5.1.13 N2'in 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 1 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.13'te verilmiştir.

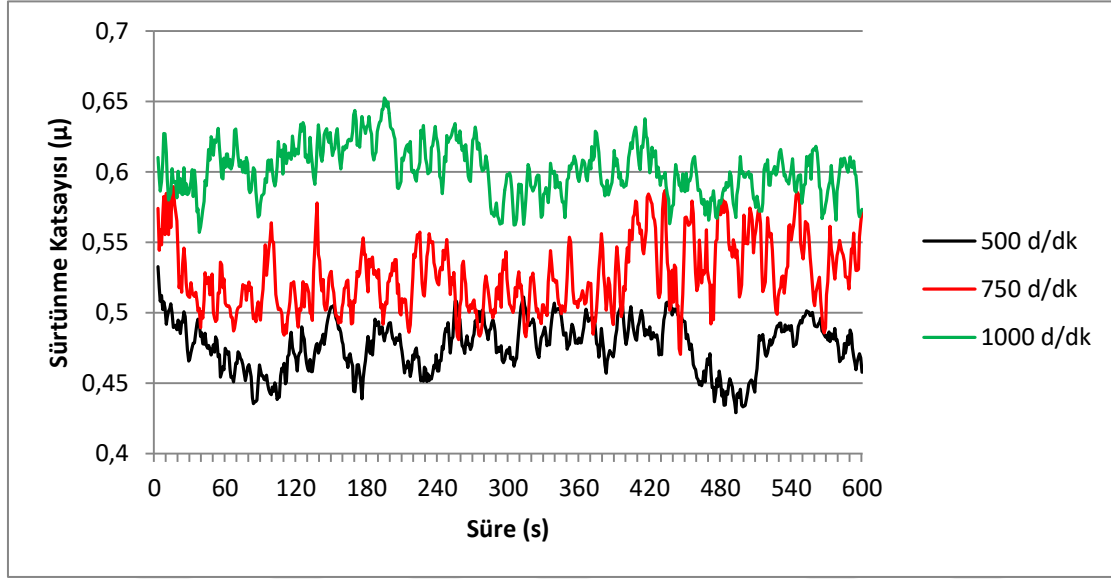


Şekil 5.13 N2'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi

N2 ile 1 kg sabit yük altında yapılan deneyde 1000 d/d için ortalama sürtünme katsayısı 0,83 civarında iken 500 ve 750 d/d'larda ortalama sürtünme katsayısının 0,67 ve 0,73 civarında olduğu görülmektedir. Bu durum devir sayısı veya toplam yolun artması ile sürtünme katsayısının artabileceği şeklinde yorumlanabilir.

5.1.14 N2'in 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 2 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.14'de verilmiştir.

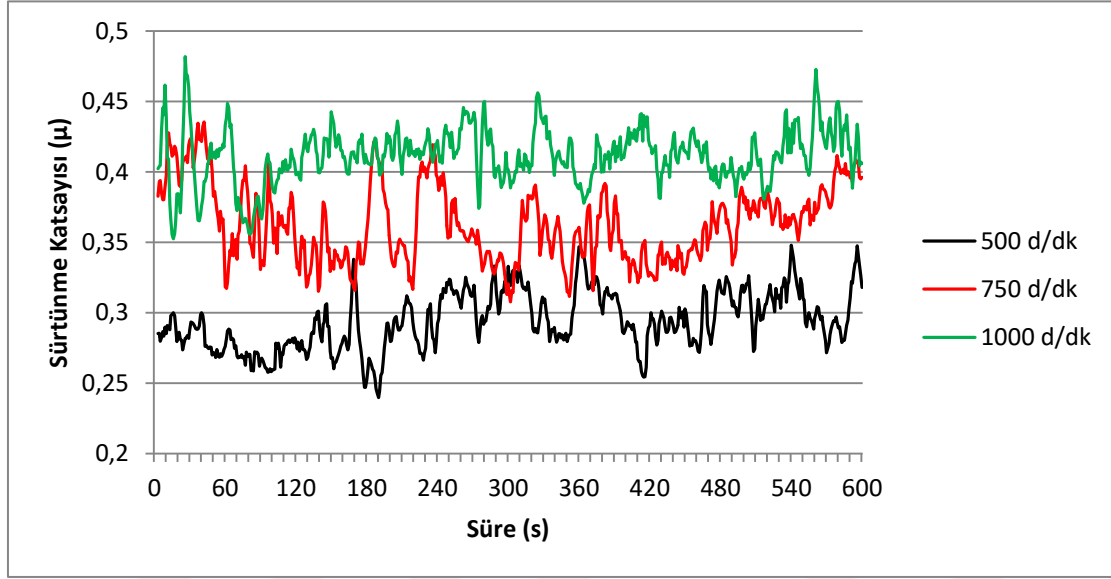


şekil 5.14 N2'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N2'nin 2kg yük altında elde edilen sürtünme katsayılarına bakıldığında 500 d/d için ortalama 0,47; 750 d/d için ortalama 0,54; ve 1000 d/d için ortalama 0,6 civarında meydana geldiği görülmektedir. Devir sayısındaki artış ile sürtünme katsayısında arttığı söylenebilir.

5.1.15 N2'in 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N2 numunesinin 3 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi şekil 5.15'de verilmiştir.

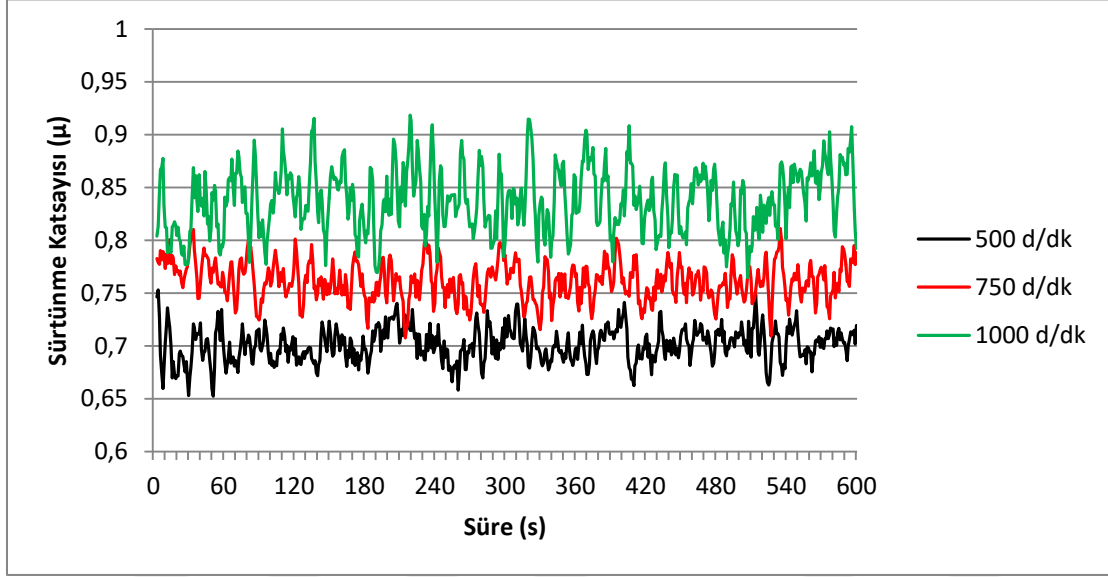


şekil 5.15 N2'in 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N2'nin 3kg yük altındaki sürtünme katsayısı değerlerine bakıldığında tıpkı 2kg'da olduğu gibi 750 ve 1000 d/d hızları daha yüksek sürtünme katsayıları elde edilmiştir. Elde edilen sürtünme katsayılarına bakıldığında 500 d/d için ortalama 0,29; 750 d/d için ortalama 0,35; ve 1000 d/d için ortalama 0,42 civarında meydana geldiği görülmektedir. Her üç devir sayısındaki sürtünme katsayısı grafiğindeki dalgalanmaların malzeme yüzeyinde yaşanan kopmalardan kaynaklı olabileceği düşünülmektedir.

5.1.16 N3'ün 1 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 1 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.16'da verilmiştir.

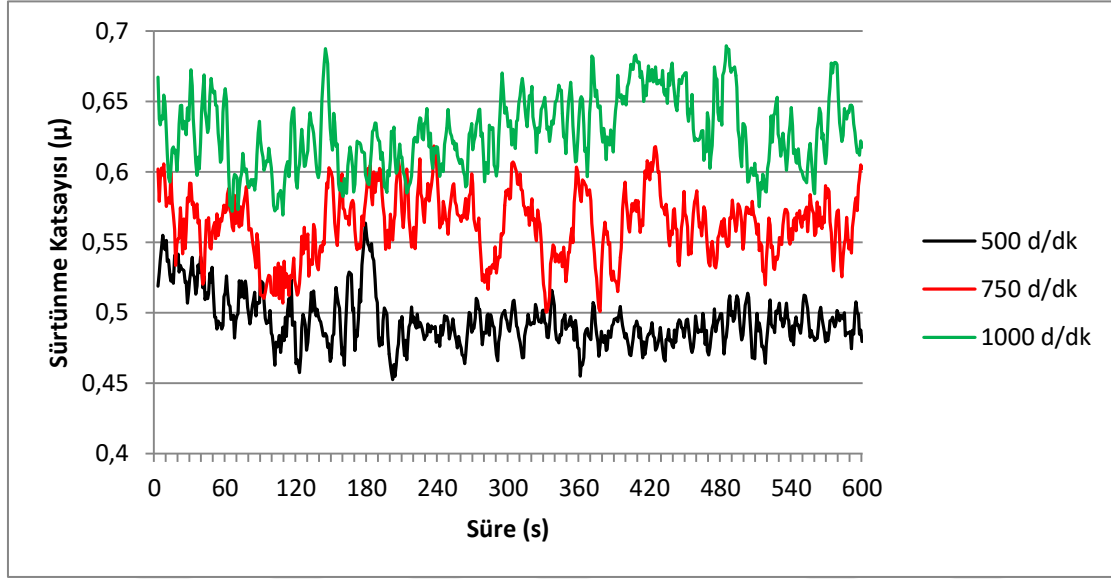


Şekil 5.16 N3'in 1 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N3'ün 1 kg yük altında elde edilen sürtünme katsayılarına bakıldığında 500 d/d için ortalama 0,7; 750 d/d için ortalama 0,76; ve 1000 d/d için ortalama 0,84 civarında meydana geldiği görülmektedir. Artan devir sayısı ile sürtünme katsayısının bir miktar artış gösterdiği söylenebilir.

5.1.17 N3'ün 2 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 2 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.17'de verilmiştir.

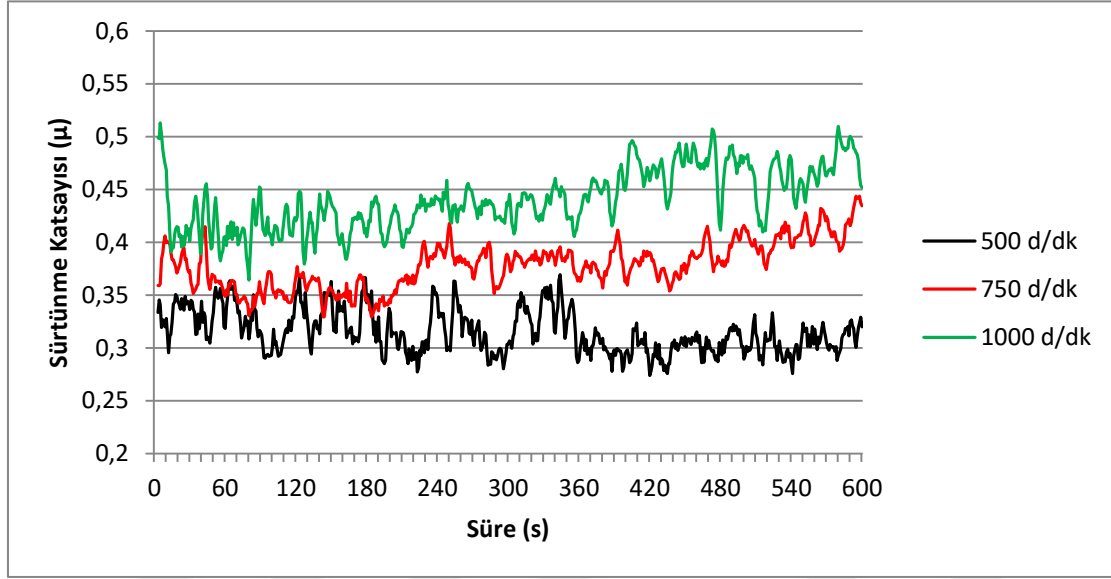


Şekil 5.17 N3'in 2 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N3'ün 2 kg yük altında elde edilen sürtünme katsayılarına bakıldığında 500 d/d için ortalama 0,49; 750 d/d için ortalama 0,55; ve 1000 d/d için ortalama 0,64 civarında meydana geldiği görülmektedir. 500 d/d'da deneyin başlarında sürtünme katsayısında bir düşüş oluşurken; 750 ve 1000 d/d hızlarda ise grafikteki dalgalanma dikkat çekmektedir. Bu durum devir sayıları arttıkça N3 numunesinin sürtünme yüzeyinden 500 d/d'ya göre daha fazla hacim kaybı olduğu şeklinde yorumlanabilir.

5.1.18 N3'ün 3 Kg Sabit Yük Altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık Hızlarda Zamana Bağlı Deney Sonuçları

N3 numunesinin 3 kg sabit yük altında ve farklı devir sayılarında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.18'de verilmiştir.

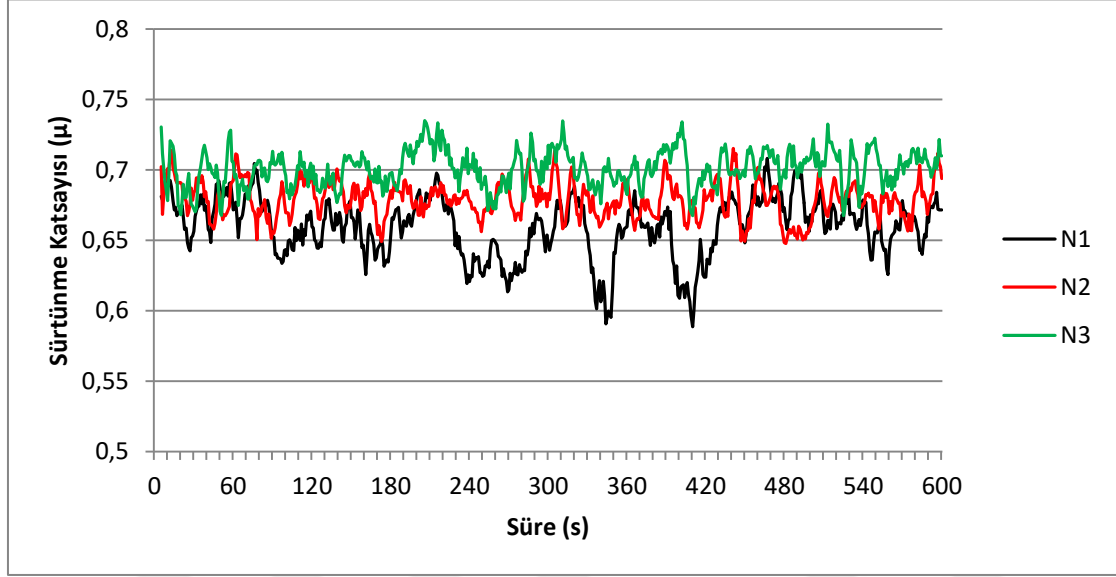


Şekil 5.18 N3'ün 3 kg sabit yük altında 500, 750 ve 1000 d/d'lık farklı hızlarda zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

N3'ün 3 kg yük altında elde edilen sürtünme katsayılarına bakıldığında 500 d/d için ortalama 0,32; 750 d/d için ortalama 0,38; ve 1000 d/d için ortalama 0,45 civarında meydana geldiği görülmektedir. 750 ve 1000 d/d hızlarda sürtünme katsayısında deney sonuna doğru artış olduğu göze çarpmaktadır. Bu durum 500 d/d hızda görülmediğinden 500 d/d hızın bu numune ve yükte kritik bir eşik olduğu düşünülebilir.

5.1.19 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 1 kg sabit yük altında ve sabit devir sayısında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.19'da verilmiştir.

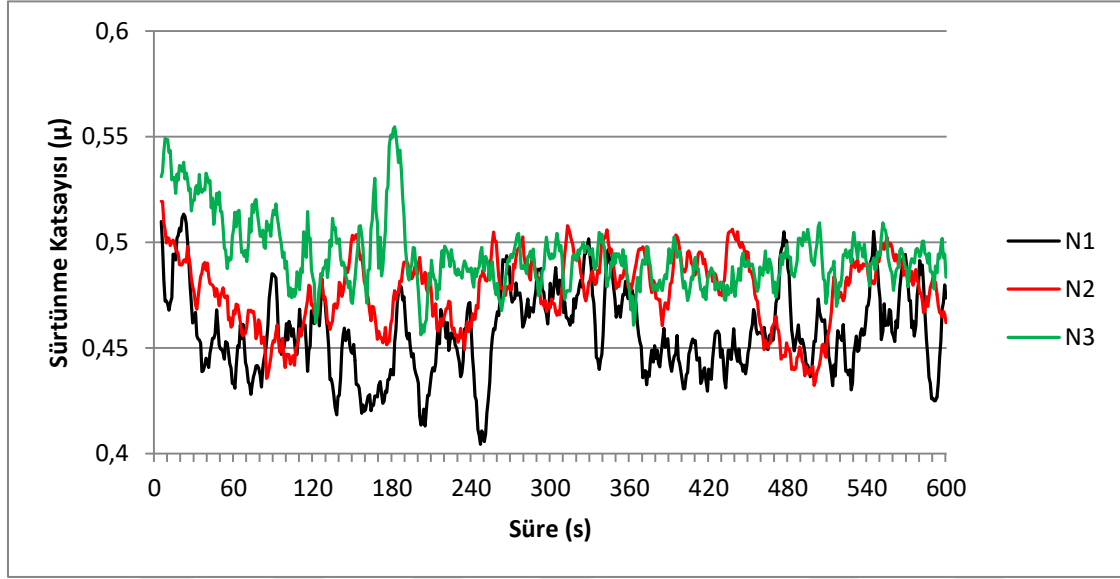


Şekil 5.19 1 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

1kg yük altında ve 500 d/d'da yapılan bu deneyde; N1'in sürtünme katsayısının N2 ve N3'e göre daha düşük çıktığı ve bunda alaşım elementlerinin yüzdelerinin etkisi olduğu düşünülmektedir. N1'de diğer numunelere göre daha fazla (%11,5-13,5) bulunan silisyumun alüminyum alaşımlarının korozyon direncini artırırken, alaşımın akıcılığını ve yüksek sıcaklık dayanımını artırdığı bilinmektedir. Dolayısıyla bu durum grafiklerde; sürtünme katsayısının daha düşük değerlerde oluşmasının nedeni olabilir.

5.1.20 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 2 kg sabit yük altında ve sabit devir sayısında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.20'de verilmiştir.

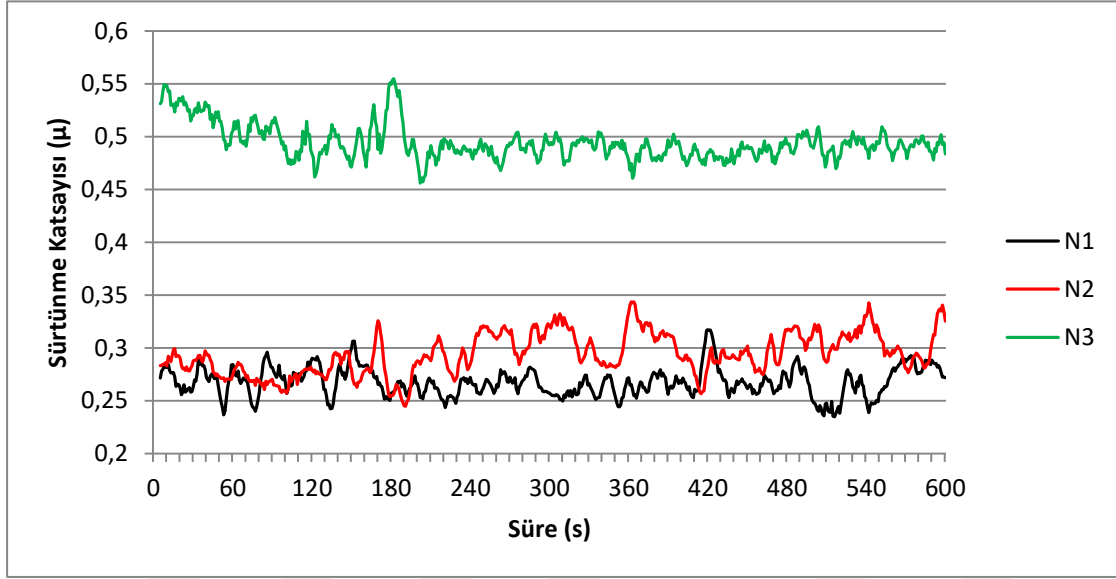


Şekil 5.20 2 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

2 kg yük altında sabit 500 d/d hızda yapılan bu deneyde; N2 ile N3'ün sürtünme katsayılarının yakın değerlerde oluştuğu görülmüştür. N1'in ise sürtünme katsayı grafiği diğerlerinden düşük değerler elde edilmiştir. Ayrıca N1'in grafiğinde görülen dalga boyunun büyüklüğünün nedeni işlenebilirliği zorlaştıran silisyum oranının diğer iki numuneden fazla oluşu ve sertliği artıran bakırın N2'ye göre daha fazla oranda oluşu şeklinde açıklanabilir.

5.1.21 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 500 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 3 kg sabit yük altında ve sabit devir sayısında zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.21'de verilmiştir.

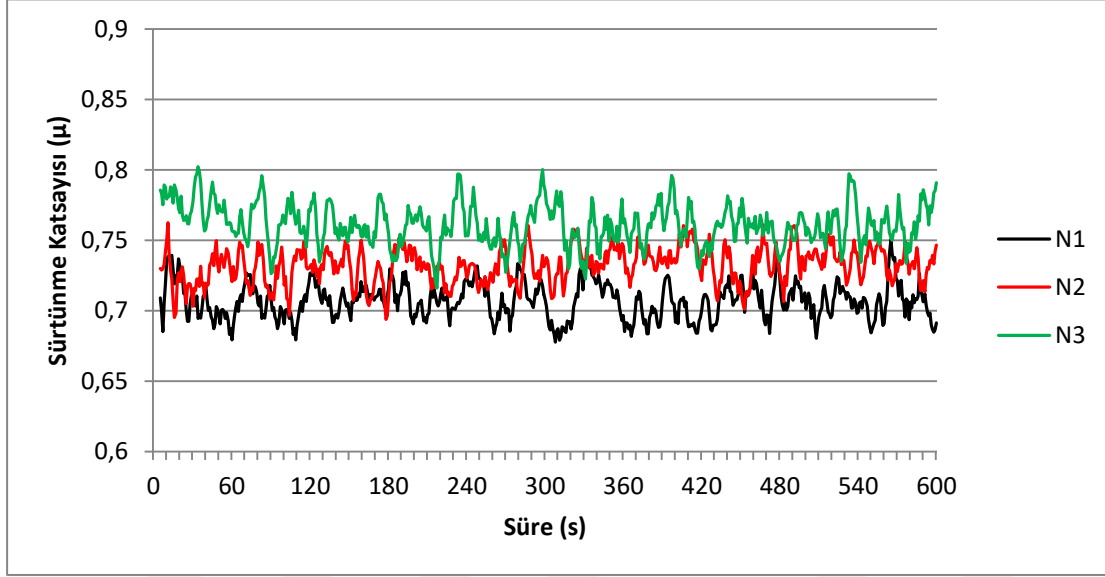


Şekil 5.21 3 kg sabit yük ve 500 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 500 d/d'da 3 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,27; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,30; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,50 civarında ortaya çıkmaktadır. Aynı devir sayısında 2 kg ve 1 kg yüklerle yapılan deneylerdeki sıralamanın korunduğu, ancak yük miktarının artması ile sürtünme katsayılarının daha alt değerlerde oluştuğu anlaşılmaktadır.

5.1.22 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 1 kg sabit yük altında ve 750 d/d zamana bağlı sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.22'de verilmiştir.

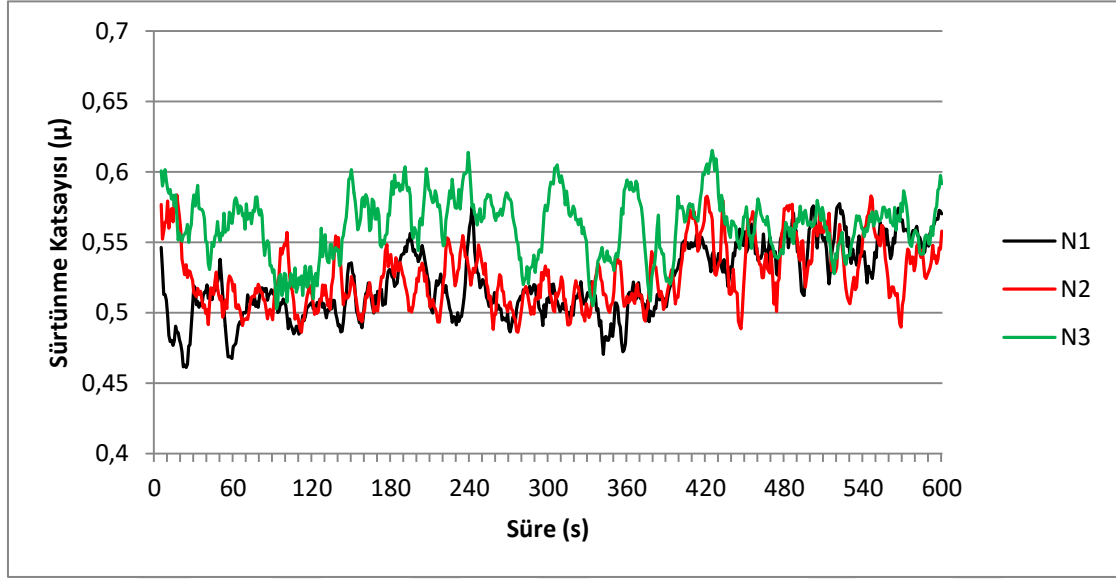


Şekil 5.22 1 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 750 d/d'da 1 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,71; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,74; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,77 civarında ortaya çıkmaktadır. Aynı yükte 500 d/d'da yapılan deneyde olduğu gibi silisyum ve bakırın % artışı işlenebilirliğe etki ettiğinden N1 numunesinin sürtünme katsayısının daha düşük olduğu yorumlanabilir.

5.1.23 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 2 kg sabit yük altında ve 750 d/d'da zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.23'te verilmiştir.

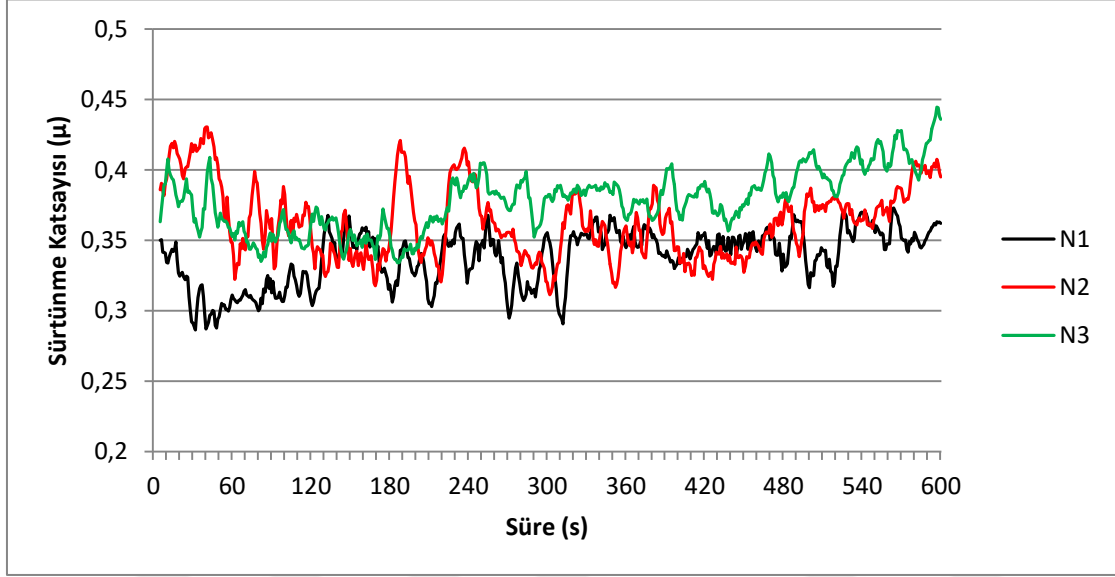


Şekil 5.23 2 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 750 d/d'da 2 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,53; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,54; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,57 civarında ortaya çıkmaktadır. N1 ve N2 numuneleri devir sayısının artışına çok yakın tepki verdiği gözlemlenmektedir. Bu duruma, N3'teki bakır yüzdesinin N1 ve N2 den oldukça düşük olması neden olmuş olabilir.

5.1.24 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 750 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 3 kg sabit yük altında ve 750 d/d zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.24'te verilmiştir.

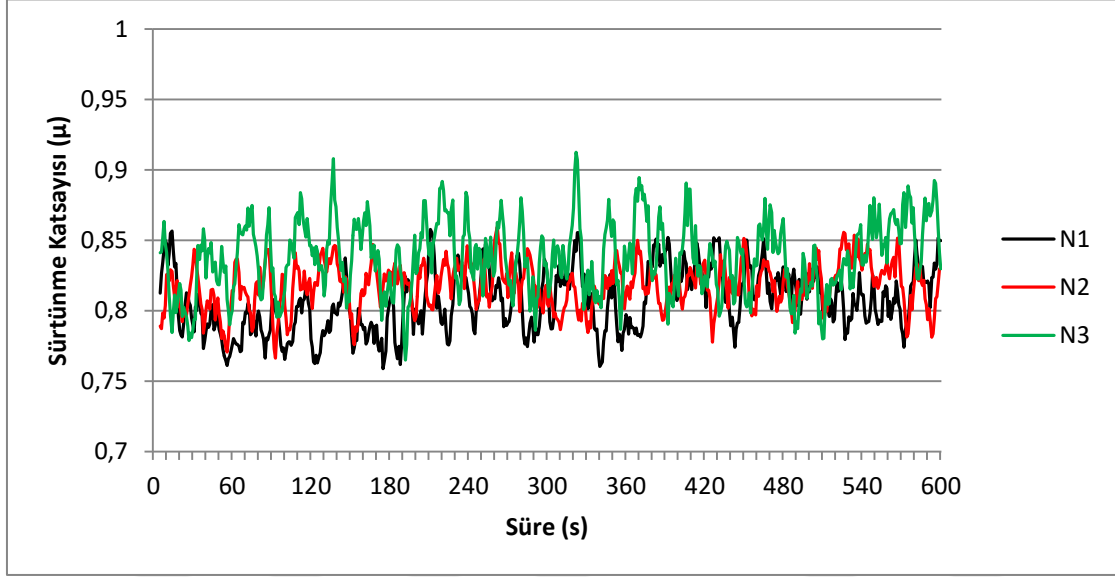


Şekil 5.24 3 kg sabit yük ve 750 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 750 d/d'da 3 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,34; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,37; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,39 civarında ortaya çıkmaktadır. Her üç numunede de deneyin ilk dakikalarında sürtünme katsayısında azalma gözlenirken son dakikalarında artış meydana gelmiştir.

5.1.25 Numunelerin 1 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 1 kg sabit yük altında ve 1000 d/d zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.25'te verilmiştir.

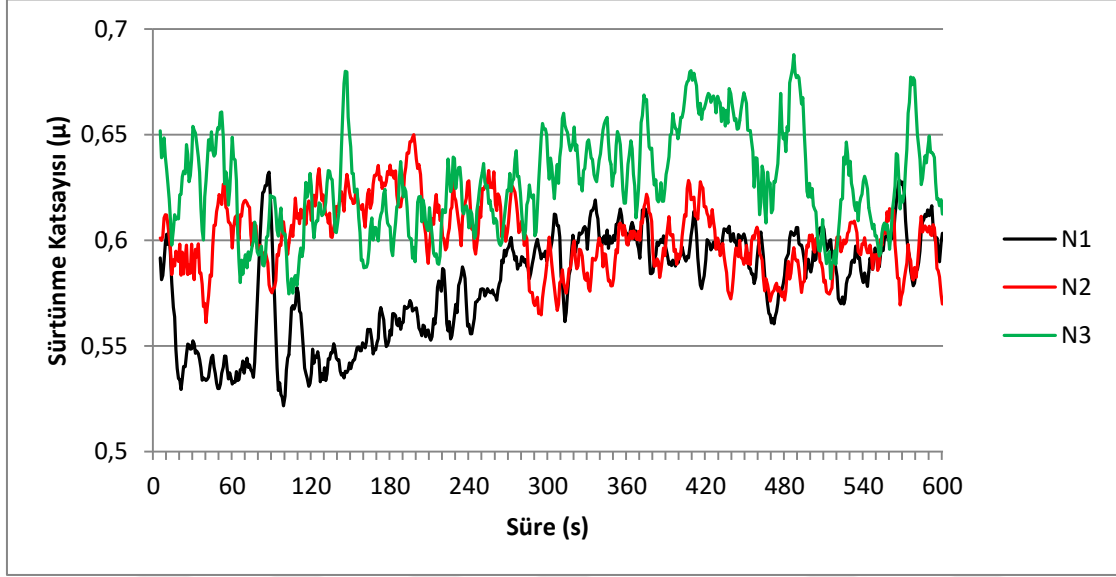


Şekil 5.25 1 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 1000 d/d'da 1 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,80; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,81; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,84 civarında ortaya çıkmaktadır. 1000 d/d'da sürtünme katsayılarının yüksek değerlerde ve birbirine yakın çıktığı gözlenmektedir.

5.1.26 Numunelerin 2 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 2 kg sabit yük altında ve 1000 d/d zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.26'da verilmiştir.

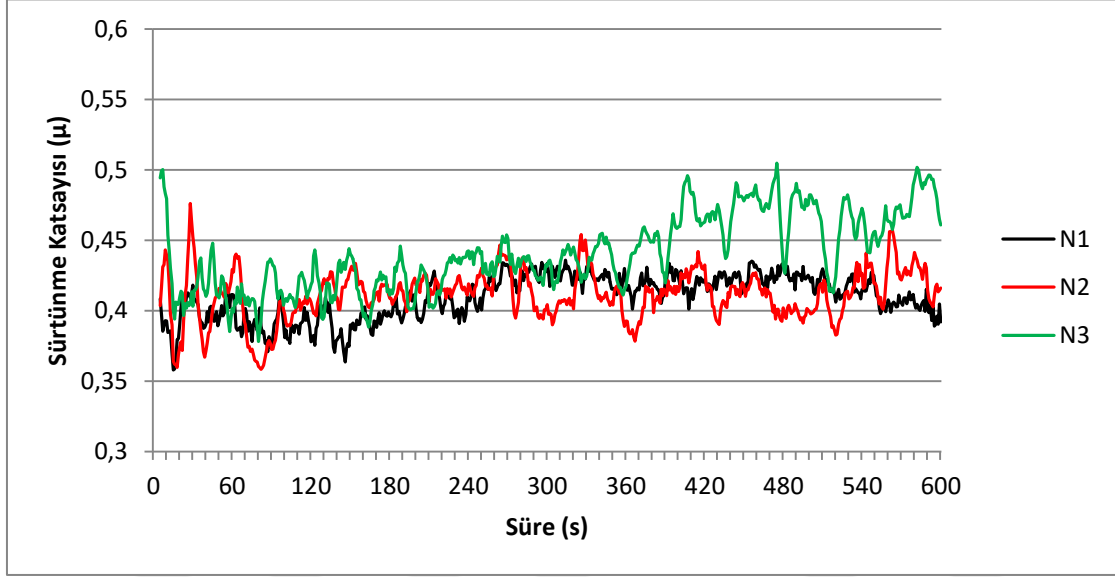


Şekil 5.26 2 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 1000 d/d'da 2 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,57; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,60; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,64 civarında ortaya çıkmaktadır. N1 ve N3 numunelerinin sürtünme katsayılarının deney sonuna doğru arttığı görülmektedir. Bu durum devir sayısının artması ile sürtünme yüzeyinden daha fazla hacim kaybı yaşandığı şeklinde yorumlanabilir. Bir önceki deneydeki sürtünme katsayıları yüksekken, yükün 2 kg'a çıkması ile sürtünme katsayılarının azaldığı görülmektedir.

5.1.27 Numunelerin 3 kg Yük Altında ve 1000 d/d'da Sürtünme Katsayılarının Zamana Bağlı Deney Sonuçları

Numunelerin 3 kg sabit yük altında ve 1000 d/d zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 5.27'de verilmiştir.



Şekil 5.27 3 kg sabit yük ve 1000 d/d'lık hızda, farklı numunelerin zamana bağlı olarak sürtünme katsayısı değişimi.

Bu deneyde 1000 d/d'da 3 kg yük altında N1 numunesinin ortalama sürtünme katsayısı 0,40; N2'nin ortalama sürtünme katsayısı 0,42; N3'ün ortalama sürtünme katsayısı 0,45 civarında ortaya çıkmaktadır. N1 ve N2 numunelerinin sürtünme katsayıları N3'e göre daha düşük olduğu görülmektedir. Bu durumun nedeni N1 ve N2 numunelerinde bakır ve silisyumun yüzde olarak N3'ten fazla olması olabilir.

5.2 1, 2 ve 3 kg Sabit Yük ve Farklı Devir Sayılarında Numunelerde Meydana Gelen Ağırlık Kayıp Yüzdeleri

Numunelerde; toplam devir sayıları sonunda oluşan ağırlık kayıpları, her defasında numuneler temizlenip, hassas terazide ölçülerek belirlenmiştir. Ağırlık kayıp yüzdeleri Çizelge 5.10 de sunulmuştur.

Çizelge 5.10 1,2 ve 3 kg Sabit Yük ve Farklı Devir Sayılarında Numunelerde Meydana Gelen Ağırlık Kayıp Yüzdeleri.

Yük	Numune	500 d/d	750 d/d	1000 d/d
1 kg	N1	0,0676	0,0694	0,0731
	N2	0,0716	0,0729	0,0742
	N3	0,0733	0,0748	0,0761
2 kg	N1	0,0688	0,0701	0,0722
	N2	0,0726	0,0743	0,0756
	N3	0,0746	0,0758	0,0769
3 kg	N1	0,0713	0,0734	0,0755
	N2	0,0736	0,0751	0,0764
	N3	0,0751	0,0763	0,0781

6. SONUÇ

Aşınma test sonuçlarına bakıldığında, yükün artması ile sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği gözlemlenmiştir.

Kullanılan yük miktarına göre malzeme tayininin aşınmaya karşı önemli bir direnç oluşturduğu söylenebilir. Aşınım elementlerinden silisyum ve bakırın alaşımdaki ağırlık yüzdeleri malzeme yüzeyinde ölçülen sürtünme katsayısına doğrudan etki etmektedir. Silisyum miktarının artışı ile sürtünme katsayısının bir miktar azalma gösterdiği sonucuna varılmaktadır.

Sürtünme sonucunda, malzemenin yüzeyinde sıcaklık artışına bağlı olarak kütle kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Buna bağlı olarak sıcaklığın aşınma üzerinde de etkisi olduğu söylenebilir.

Yüzde ağırlık kayıplarına bakıldığında numunelere uygulanan 1 kg yük, 500d/d hızda, en çok aşınma 3. Numunede meydana gelirken en az aşınma 1. numunede meydana gelmektedir. Silisyum, bakır, mangan ve magnezyum gibi kimyasal bileşenlerin etkisi ile malzemenin işlenebilirliğinin değişmesinin bunda rol oynadığı söylenebilir.

750 d/d'ya çıkıldığında sürtünme katsayısında 500 devire göre artış olduğu saptanmıştır. 1000 d/d ise aşınma miktarları daha da arttığından dolayı devir sayısının malzemenin aşınmasında doğru orantılı bir artışa neden olduğu sonucuna varılmıştır.

Kimyasal özelliklerine göre numuneler farklı yükler altında birbirlerine göre aşınma miktarları değişiklik gösterdiği söylenebilir.

7. KAYNAKLAR

- Ahlatçı H. (2003) Alüminyum-Silisyum karbür kompozitlerin mekanik özelliklerine ve aşınma davranışına takviye boyutunun ve matris bileşiminin etkisi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Akkurt M. (1990). Makine Elemanları. Birsan Yayınevi. c:1, s:280-281. İstanbul.
- Aktaş H. (2007). Alüminyum matrisli alüminyum oksit parçacık takviyeli kompozitlerin mekanik alaşımlama yöntemiyle üretimi ve kuru aşınma davranışlarının incelenmesi.Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Andersson, P. (1992). Water-lubricated pin-on-disc tests with ceramics. *Wear*, **154**: 37-47.
- Bayındır M. K. (2009). Katı parçacık erozyon aşınmasının alüminyum alaşımları üzerindeki etkisinin deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- Bedir, F., Ögel B. ve Köksal, F. (2004). Sıcak presleme yöntemi ile al-cu-sicp kompozitlerin üretimi ve aşındırıcı özelliklerinin incelenmesi. *Savunma Bilimleri Dergisi*, **3**: 72-82.
- Broszeit, E., Matthes, B., Herr, W., and Kloos, K. H. (1993). Tribological properties of rf sputtered Ti-BN coatings under various pin-on-disc wear test conditions. *Surface and Coatings Technology*, **58**: 29-35.
- Çakir, E., and Tunay, R. F. (2014). Pim-Disk deney seti tasarımı ve imalatı. *Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi*, 48.
- Callister, W. D., and Retwisch, D. G. (2014). Malzeme bilimi ve Mühendisliği. Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cueva, G., Sinatora, A., Guesser, W. L., and Tschiptschin, A. P. (2003). Wear resistance of cast irons used in brake disc rotors. *Wear*, **255**: 1256-1260.
- Elleuch, K., & Fouvry, S. (2002). Wear analysis of A357 aluminium alloy under fretting. *Wear*, **253**: 662-672.

- Gibson, P. R., Clegg, A. J., and Das, A. A. (1984). Wear of cast Al-Si alloys containing graphite. *Wear*, **95**: 193-198.
- Güldaş A. (1998). Aşınma deney aparatının tasarımı üretimi ve metal matriksli kompozitlerin aşınma davranışlarının deneysel olarak incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Haque, M. M., and Sharif, A. (2001). Study on wear properties of aluminium–silicon piston alloy. *Journal of Materials Processing Technology*, **118**: 69-73.
- Hosking, F. M., Portillo, F. F., Wunderlin, R., and Mehrabian, R. (1982). Composites of aluminium alloys: fabrication and wear behaviour. *Journal of Materials Science*, **17**: 477-498.
- Jasim, K. M., and Dwarakadasa, E. S. (1987). Wear in Al-Si alloys under dry sliding conditions. *Wear*, **119**: 119-130.
- Kahya K. (2017). otomotiv fren balatalarında farklı bağlayıcı malzeme kullanımının frenleme performansına etkisinin araştırılması. Yüksek Lisans Tezi, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Mersin.
- Karabaşoğlu, M. (2008). Aşınma deney cihazı tasarımı ve imalatı. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- Kılıç, E. F. (2007). Alüminyum alaşımlı sic parçacık takviyeli kompozitlerin toz metalurjisi yöntemiyle üretimi ve aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Koç, E. (2006). Makina Elemanları. Nobel Yayınevi, Cilt 2, 2. Baskı, Adana.
- Lozano, D. E., Mercado-Solis, R. D., Perez, A. J., Talamantes, J., Morales, F., & Hernandez-Rodriguez, M. A. L. (2009). Tribological behaviour of cast hypereutectic Al–Si–Cu alloy subjected to sliding wear. *Wear*, **267**: 545-549.
- Mindivan, H. (2007). Silisyum karbür takviyeli alüminyum matris kompozitlerin tribolojik davranışlarının incelenmesi. Doktora Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

- Natarajan, N., Vijayarangan, S. and Rajendran, I., (2006). Wear behaviour of A356/25SiCp aluminium matrix composites sliding against automobile friction material. *Wear*, **261**: 812-822.
- Ölmez S. (2016) Alüminyum alaşımlı malzemelerin yüksek sıcaklık aşınma davranışlarının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Öztürk M. (2018). Bor minerali atığı katkılı polipropilen kompozit malzemelerin mekanik ve tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Özyürek, D., Kibar, E., ve Yılmaz, R. (2009). Toz Metalurjisi ile üretilen A356 alüminyum alaşımının aşınma davranışlarının incelenmesi, 5. Uluslar arası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 963-967.
- Prasad, S. V. and Asthana, R. (2004). Aluminum metal-matrix composites for automotive applications: tribological considerations. *Tribology letters*, **17**: 445-453.
- Prasad, S. V. and Rohatgi, P. K. (1987). Tribological properties of Al alloy particle composites. *JOM*, **39**: 22-26.
- Pürçek G. (1994). Çinko-Alüminyum esaslı alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların tribolojik özelliklerinin incelenmesi Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.
- Qiu, X., Wang, J. Q., Tang, J. R., Gyansah, L., Zhao, Z. P., and Xiong, T. Y. (2018). Microstructure, microhardness and tribological behavior of Al₂O₃ reinforced A380 aluminum alloy composite coatings prepared by cold spray technique. *Surface and Coatings Technology*, **350**: 391-400.
- Razavizadeh, K., and Eyre, T. S. (1982). Oxidative wear of aluminium alloys. *Wear*, **79(3)**: 325-333.
- Salman, Ö., 2011. Yağlama yağı için bitkisel yağların ve esterlerinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.

- Sarkar, A. D., and Clarke, J. (1980). Friction and wear of aluminium-silicon alloys. *Wear*, **61**: 157-167.
- Seçilmiş, K. (2017). Toz metalürjisi yöntemi ile üretilmiş farklı oranlarda B₄C takviyeli Al matrisli kompozitlerin aşınma davranışlarının araştırılması (Master's thesis, Batman Üniversitesi).
- Seyhan İ. (2018). Polyamid 6 ve polipropilen matrisli kompozitlerin farklı tribolojik özelliklerinin incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri.
- Singla, M., Singh, L., and Chawla, V. (2009). Study of wear properties of Al-SiC composites. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, **8**: 813.
- Soy U., Demir A. ve Fındık, F. (2011). Friction and wear behaviors of Al-SiC-B₄C composites produced by pressure infiltration method. *Industrial Lubrication and Tribology*, **63**: 387-393.
- Soydaş, S., and Yılmaz, M. (2006). Ünliversal aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı. Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Torabian, H., Pathak, J. P., and Tiwari, S. N. (1994). Wear characteristics of Al-Si alloys. *Wear*, **172**: 49-58.
- Venkataraman, B., and Sundararajan, G. (1996). The sliding wear behaviour of AlSiC particulate composites—I. Macrobehaviour. *Acta Materialia*, **44**: 451-460.
- Yalçınkaya F. (2018). Toz metalurji metodu ile üretilen alüminyum matrisli ve alümina takviyeli kompozit malzemenin abrasiv aşınma davranışının incelenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Gazı Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Yüksel, F.(2014). Alüminyum matrisli B₄C partikül takviyeli aşınma direnci yüksek kompozit malzemelerinmeslerin aşınma özelliklerinin belirlenmesi. Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Zhang, Z. F., Zhang, L. C., and Mai, Y. W. (1995). Wear of ceramic particle-reinforced metal-matrix composites. *Journal of materials science*, **30**: 1961-1966.

7.1 İnternet Kaynakları

- 1) <http://www.merkezıyaglamasıstemlerı.com/sıvı-surtunmesı/>, 01.05.2019.
- 2) <http://www.merkezıyaglamasıstemlerı.com/sınır-surtunmesı/>, 01.05.2019.
- 3) <http://www.etıalumınyum.com/urunler/ham-alumınyum-urunler/dokumhane-urunlerı/>, 07.05.2019.

