



**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN
ALÜMİNYUM ALAŞIM MALZEMELERİN FARKLI
VİSKOZİTEDEKİ YAĞLAYICILAR ALTINDA
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Soner Tayfun ŞİRAHANE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2022

AFYON KOCATEPE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM
ALAŞIM MALZEMELERİN FARKLI VİSKOZİTEDEKİ
YAĞLAYICILAR ALTINDA TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN
İNCELENMESİ**

Soner Tayfun ŞİRAHANE

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

OTOMOTİV MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

TEMMUZ 2022

TEZ ONAY SAYFASI

Soner Tayfun ŞİRAHANE tarafından hazırlanan “Otomotiv Sektöründe Kullanılan Alüminyum Alaşım Malzemelerin Farklı Viskozitedeki Yağlayıcılar Altında Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi ” adlı tez çalışması lisansüstü eğitim ve öğretim yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca 19 / 07 / 2022 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından **oy birliği** ile Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı’nda YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Başkan : Prof. Dr. İbrahim MUTLU

Afyon Kocatepe Üniv., Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Afyon Kocatepe Üniv., Teknoloji Fakültesi

Üye : Dr. Öğr. Üyesi Bekir GÜNEY

Karamanoğlu Mehmetbey Üniv.,

Teknik Bilimler M.Y.O

.....

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu’nun

..... /..... /..... tarih ve

..... sayılı kararıyla onaylanmıştır.

.....

Prof. Dr. İbrahim EROL

Enstitü Müdürü

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 / 07 / 2022

Soner Tayfun ŞİRAHANE

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

OTOMOTİV SEKTÖRÜNDE KULLANILAN ALÜMİNYUM ALAŞIM MALZEMELERİN FARKLI VİSKOZİTEDEKİ YAĞLAYICILAR ALTINDA TRİBOLOJİK ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Soner Tayfun ŞİRAHANE

Afyon Kocatepe Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Otomotiv Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim YAVUZ

Bu araştırmada, otomotiv endüstrisinde çokça tercih edilen ve kolaylıkla elde edilebilen Etial 177, Etial 140, Etial 171 Eti normlu alüminyum alaşımlı numuneler kullanılarak tasarlayıp prototip olarak ürettiğim aşınma sürtünme test analizöründe testler yapılmıştır. Testler 1000 N, 5000 N yük altında numunelerin sertleştirilmiş çelik diske 800 ve 1200 devir/dakika sürtünmesi ile sağlanmıştır. Numuneler hassas tartı ile tartılarak test sonucunda oluşan ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Sürtünme katsayısını hesaplayabilmek amacıyla dönüş yönünün karşılığına yük hücresi yerleştirilmiştir ve etkiyen kuvvet bu sayede ölçülmüştür. Yüzeylerde oluşan sıcaklık değişimleri infrared termometre ile 20 cm mesafeden her dakika başı ölçüm yapılarak tespit edilmiştir. Yapılan deneyler sonucunda aşınmanın ve sürtünmenin; yük, sıcaklık, kullanılan malzemelerin alaşımları, devir sayısı, yağlayıcıların viskozitesi gibi değişkenlere direkt olarak bağımlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aşınma dayanımı en yüksek olan alaşım Etial 140 ve aşınmayı en düzgün azaltan yağ 20W50 yağ olarak tespit edilmiştir.

2022, xi + 41 sayfa

Anahtar Kelimeler: Triboloji, Aşınma sürtünme testi, Otomotiv yağları, Alüminyum alaşımlar

ABSTRACT

M.Sc. Thesis

INVESTIGATION OF DIFFERENT VISCOSITY LUBRICANTS UNDER TRIBOLOGICAL PROPERTIES OF ALUMINUM ALLOY MATERIALS USED IN AUTOMOTIVE SECTOR

Soner Tayfun ŞİRAHANE

Afyon Kocatepe University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Automotive Engineering

Supervisor: Asst. Prof. İbrahim YAVUZ

In this research, wear testing has been performed on the wear tester, which I designed and prototype using aluminum alloy samples of Etial 177, Etial 140, Etial 171, which are highly preferred and easy to obtain in the automotive industry. Tests were provided for 1000 N, 5000 N to rub samples against hardened steel disk for 800 and 1200 rpm. The samples were weighed by the precision scale and the weight losses resulting from the test were detected. To calculate the coefficient of friction, the load cell is placed against the direction of rotation and the force that is having influence is measured. Temperature variations on the surfaces are determined by measuring every minute at a distance of 20 cm with a infrared thermometer. As a result of experiments, wear and friction load, temperature, alloys of materials used, number of revolutions, it has been concluded that lubricants are directly dependent on variables such as viscosity. The alloy Etial 140 with the highest wear resistance and the oil that reduces wear to the most smooth has been detected as a 20W50 oil.

2022, xi + 41 pages

Keywords: Tribology, Abrasion friction test, Automotive oils, Aluminum alloys

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, imalat ve kaynaklı montajda emeğini esirgemeyen babam Metal İşleri Öğretmeni Mehmet ŞİRAHANE'ye araştırma ve yazım süresince yardımlarını esirgemeyen Sayın Otomotiv Mühendisi Kerem KOYUNCUOĞLU ve Otomotiv Mühendisi Emre UYAR'a her konuda öneri ve eleştirileriyle yardımlarını gördüğüm hocalarıma ve arkadaşlarıma teşekkür ederim.

Bu araştırma boyunca maddi ve manevi desteklerinden dolayı aileme ve desteklerinden dolayı Biyomedikal Direktörü Doç. Dr. Niyazi ODABAŞIOĞLU'na teşekkür ederim.

Soner Tayfun ŞİRAHANE

Afyonkarahisar 2022

İÇİNDEKİLER DİZİNİ

	Sayfa
ÖZET	i
ABSTRACT	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	iv
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	vi
ŞEKİLLER DİZİNİ	vii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	ix
RESİMLER DİZİNİ	xi
1. GİRİŞ	1
2. LİTERATÜR BİLGİLERİ.....	2
2.1 Triboloji	5
2.1.1 Sürtünme	5
2.1.2 Kuru Sürtünme	6
2.1.3 Sıvı sürtünme.....	6
2.2 Aşınma	7
2.2.1 Adhezyon Aşınması	7
2.2.2 Abrasyon Aşınması	7
2.2.3 Korozyon Aşınması.....	7
2.2.4 Pitting (Yorulma Aşınması)	8
2.2.5 Erozyon aşınması	8
2.3 Aşınma Test Cihazları.....	8
3. MATERYAL VE METOT	10
3.1 Alaşımli Numune Olarak Kullanılan Malzemeler	10
3.2 Aşınma Test Cihazı İmalatı.....	11
3.3 Yağlayıcılar	13
4. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	15
4.1 Kuru Sürtünme Testleri.....	15
4.2 Farklı Devirlerde Yapılan Sürtünme Testleri.....	18
4.2.1 10W40 Yağ ile Yapılan Testler.....	18
4.2.2 20W50 Yağ ile Yapılan Testler.....	21

4.3 Farklı Malzemelerle Yapılan Sürtünme Testleri.....	23
4.3.1 Farklı Malzemelerle 800 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler	24
4.3.2 Farklı Malzemelerle 1200 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler	26
4.4 Farklı Viskozitede Yağlar ile Yapılan Sürtünme Testleri.....	28
4.4.1 800 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler.....	28
4.4.2 1200 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler.....	31
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
6. KAYNAKLAR	35
ÖZGEÇMİŞ.....	41



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 saçılım spektrometresi
Etial	Eti alüminyum
HRF	Rockwell sertlik değeri
MMK	Metal matrisli kompozit
N1	Etial-140
N2	Etial-171
N3	Etial-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 2.1 Serbest cisim diyagramı	5
Şekil 2.2 (a) Kuru sürtünme modeli ve (b) serbest cisim diyagramı.....	6
Şekil 2.3 (a) Sıvı Sürtünme modeli ve (b) sıvı sürtünme diyagramı	6
Şekil 2.4 Pim disk aşınma cihazı şematik görünümü.....	9
Şekil 3.1 Şase Kaynaklı Bağlantı Montaj Resmi.	11
Şekil 3.2 Montaj Resmi	12
Şekil 4.1 Numunelerin kuru sürtünmede zamana bağlı sürtünme katsayı değişimi.	15
Şekil 4.2 N1 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika' da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.	18
Şekil 4.3 N2 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	19
Şekil 4.4 N3 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.	20
Şekil 4.5 N1 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.	21
Şekil 4.6 N2 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.	22
Şekil 4.7 N3 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	23
Şekil 4.8 800 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	24
Şekil 4.9 800 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	25
Şekil 4.10 1200 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	26
Şekil 4.11 1200 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi	27
Şekil 4.12 N1 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	28

Şekil 4.13 N2 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	29
Şekil 4.14 N3 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	30
Şekil 4.15 N1 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	31
Şekil 4.16 N2 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	32
Şekil 4.17 N3 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.	33



ÇİZELGELER DİZİNİ

	Sayfa
Çizelge 3.1 Kullanılan alaşım numunelerinin kimyasal bileşim limitleri	10
Çizelge 3.2 Kullanılan numunelerin tipik özellikleri	10
Çizelge 3.3 Yağlayıcıların normal üretim toleranslarındaki tipik özellik değerleri.....	14
Çizelge 4.1 Numunelerin 800 devir/dakika'da kuru sürtünmede zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	16
Çizelge 4.2 N1 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	19
Çizelge 4.3 N2 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	19
Çizelge 4.4 N3 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	20
Çizelge 4.5 N1 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	21
Çizelge 4.6 N2 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	22
Çizelge 4.7 N3 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	23
Çizelge 4.8 800 devir/dakika'da 10W40 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C)	24
Çizelge 4.9 800 devir/dakika'da 20W50 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C)	25
Çizelge 4.10 800 devir/dakika'da 10W40 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C)	26
Çizelge 4.11 800 devir/dakika'da 20W50 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C)	27
Çizelge 4.12 N1 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	28
Çizelge 4.13 N2 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlar ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).	29
Çizelge 4.14 N3 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).....	30

Çizelge 4.15 N1 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C)	31
Çizelge 4.16 N2 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).	32
Çizelge 4.17 N3 numunesinin 1200 devir/dakika’da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).	33



RESİMLER DİZİNİ

	Sayfa
Resim 4.1 Cihaz Resmi	12
Resim 5.1 Etial 140 (N1) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü	16
Resim 5.2 Etial 170 (N2) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü	17
Resim 5.3 Etial 177 (N3) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü	17



1. GİRİŞ

Birbirleri ile temas eden yüzeylerden, mekanik ve kimyasal etkiler ile malzeme kaybının oluşması mekanizmalarda karşılaşılan mekanik problemlerin en önemli olanlarından biridir. Dünyadaki mekanik enerjinin 1/3'ü nün mekanik kayıplara harcandığı düşünülürse, sürtünme ve aşınmanın önemi ortaya çıkacaktır.

Otomotiv sektöründe alüminyum kullanımının nedeni genel anlamda çeliğe göre yoğunluğunun düşük olmasıdır. Taşıtların imalatında güvenlik, konfor ve yakıt tüketimi önemli unsurlardır. İşte bu noktada alüminyum ve alüminyum alaşımları; hafif olmaları, yüksek ısı iletkenlik ve artırılabilen mukavemet nedeniyle bu unsurları karşılayabilecek en uygun malzemelerden birisidir.

Alüminyum istenilen özelliklere göre çeşitli elementler ile zenginleştirilerek kullanılmaktadır. Bakır, magnezyum, titanyum, demir, nikel, bor, silisyum gibi elementler bu zenginleştirmede kullanılan bazı elementlerdir.

Bir biri ile temas eden mekanizmalarda aşınma kayıpları yüksek önem kazanmaktadır. Bu nedenle alüminyumun aşınma durumlarındaki makine elemanlarının aşınma dayanımlarının incelendiği çalışmalar büyük önem taşımaktadır.

Yapılan çalışmada otomotiv endüstrisinde fazlaca kullanılan Etial 177, Etial 171 ve Etial 140 Eti normundaki alüminyum alaşım numuneler kullanılmıştır. Numunelere 1000 N ve 5000 N yük uygulanmıştır. Yağlayıcı olarak 10W40 ve 20W50 viskozitelerindeki yağlar seçilmiştir. Numuneler ile 800 devir/dakika ve 1200 devir/dakika'lık dönme hızlarında sürtünme ve aşınma testleri uygulanmıştır. Deney süreleri 500 s olarak belirlenmiştir. Deney sürecinde sıcaklık değişimi manuel olarak numune üzerinden sürtünme alanına en yakın noktadan kızıl ötesi termometre ile ölçüm yapılmıştır. Yapılan deneylerin ışığında aşınmanın değişme faktörü olarak, sıcaklık, alaşımlı alüminyum, devir sayısı ve sürtünme yağlayıcısı viskozitesine bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

2. LİTERATÜR BİLGİLERİ

Lingala ve Jayne (2018), araştırmalarında çeşitli yağlayıcıların triboloji üzerine etkilerini gözlemlemektedir. Alüminyum alaşım olarak Al 6061 ve çelik AISI E 52100 malzemelerini kullanmışlardır. Her bir yağlayıcı tipi için, mineral yağ ve tam sentetik yağ için, alüminyum alaşımlı disk üzerinde bilye deneyleri yapılmıştır. Sülfür olefin en düşük sürtünmeyi sağlamıştır.

Sundararajan ve Venkataraman (1996), araştırmalarında aşınma oranını ve silisyum karbür parçacık takviyeli alüminyum matris kompozitlerin silisyum karbür oranının sürtünme katsayısının değişimine olan katkısını gözlemlemiştir. Bu deneyleri yapabilmek için, % 10 ile % 40 silisyum karbür ve alüminyum alaşımının, 52 N ve 122 N yüklerinde, 1 m/s hız ile yüzey sertleştirme yapılmış çelik diske sürtünmesi metoduyla aşınma testleri yapılmıştır. Alüminyum silisyum karbür alaşımlarının aşınma oranları alaşımdaki silisyum karbür oranı arttıkça azaldığı gözlemlenmiştir. Alüminyumda % 10'luk bir SiC ilavesinin bile 52 N ve 122 N yüklerde aşınma değişimini açıkça göstermiştir.

Özyürek ve arkadaşları (2009), incelemelerinde beş farklı sürede yaşlandırma uygulanan A356 alüminyum alaşım numunelerde yaşlandırma sürelerinin aşınmaya etkisini araştırmışlardır. Pin-on disk modeli aşınma cihazı ile aşınma ve tribolojik özellikleri belirlenmiştir. Testlerde 10 N ve 40 N yükler uygulanmış 1,5, 2 m/s hızlarda testler gerçekleştirilmiştir. Mikro yapı incelemelerini gerçekleştirmek amacıyla (SEM) tarama elektron mikroskobu kullanılmıştır. Yüzeylerin aşınan bölgelerini incelemek amacı ile (EDS) enerji dağılım spektrometresi kullanılmıştır. İncelemeler sonucunda yüklerin ve hızların aşınmaya olan etkileri gözlemlenmiştir.

Ölmez (2016), çalışmasında Al-Si (alüminyum silisyum) alaşımlarından oluşturulan numuneler üzerinde pin-on disk metoduyla 180°C ve oda sıcaklığında sürtünme ve aşınma deneyleri yapılmıştır. Deneylerin ışığında alaşımların aşınma tepkilerinin sıcaklıkla doğru orantılı artıp azaldığı anlaşılmıştır. Numuneler tartılarak, aşınma sonucunda meydana gelen kütleli değişim tespit edilmiştir.

Yüksel (2014), çalışmasında numune olarak alüminyum matrisli B₄C takviyeli kompozitlerden iki farklı hacim oranında üretmiştir. Bu numuneler kuru sürtünme ile pin-on disk metoduyla aşınmaya maruz bırakılmıştır. Sonuç olarak sürtünme katsayısının hacim oranı ile doğru orantılı olarak arttığı görülmüştür.

Aktaş (2007), araştırmalarında parçacıklarla desteklenmiş alüminyum metal matrisli kompozit (MMK) numune olarak kullanılmıştır. Ek malzeme olarak Al₂O₃ parçacıkları kullanılmıştır. Elde edilen numunelerde Al₂O₃ ağırlıkça % 5, 10 ve 15 oranlarında üretilmiştir. Numunelerin mikro yapı incelemeleri optik mikroskop kullanılarak yapılmıştır. Yoğunluklar, parçacık boyutlarının artmasıyla artmıştır.

Dwarakadasa ve Jasim (1987), araştırmalarında kuru sürtünme koşullarında alüminyum silisyum alaşımlı numuneler kullanılmıştır. Ağırlıkça % 3 ila % 22 silisyum içerikli alaşımların, 6 kpa, 195 kpa yük altında, 58 ve 580 cm/s hızlarında dönen çelik disk yüzeyi üzerinde sürtünme deneyi yapılmıştır. Aşınmanın silisyum alaşım yapısının bir fonksiyonu olduğu gözlemlenmiştir.

Hosking vd. (1982), çalışmalarında alüminyum alaşımlı kompozitlerin, tribolojik özelliklerini incelemişlerdir. Numune olarak Al₂O₃ ve SiC parçacıkları içeren kompozit numuneler kullanılmıştır. Numunelerin aşınmaları pin-on disk metoduyla tespit edilmiştir. Yüksek ametal ihtiva eden numunelerin aşınma dirençleri iyi olduğu tespit edilmiştir.

Topal (1996), çalışmasında, yüksek hız çeliklerinin tribolojik özelliklerini incelemek maksadı ile yeni bir pim-ring test düzeneği oluşturmuştur. Aşınma deneylerinde 42 m/dak ve 167 m/dak hız ve 50 N, 250 N yük değişiminin tribolojik etkileri kuru sürtünme şartlarında ve bor yağı ile test edilmiştir. Test sonrası pimlerin aşınma kütle kayıpları ölçülmüştür. Aşınma yüzeyleri mikroskop ile incelenmiştir. Düşük kayma hızlarında bor yağlı aşınma kuru şartlara göre fazla çıkmıştır.

Akın (2018), çalışmasında aynı koşullarda testleri yapılan tüm kaplama çeşitleri için sürtünme katsayıları, test esnasındaki parça sıcaklıkları, aşınma bölgesi yüzey

pürüzlülüğü değişimi, aşınma derinliği ve aşınma mekanizması başlıkları altında karşılaştırmalı değerlendirmeler yapılmıştır. Bu değerlendirmeler sonucunda TiN ve CrN kaplamaları, diğer kaplamalara göre daha iyi performans gösterdiği tespit edilmiştir. Bunlarla birlikte MoS2 kaplamaya ait sonuçlarında olumlu olduğu görülmüştür fakat kaplamanın aşınma ömrünün ayrıca değerlendirilmesi gerektiği düşünülmektedir. Sonuç olarak bu tezin çıktısı TiN ve CrN kaplamaların gerçek parçalara uygulanarak performansının test edilebileceği ve diğer kaplama tiplerine göre başarı ihtimallerinin daha yüksek olduğunun tespit edilmiş olmasıdır.

Mutlu vd. (2020), çalışmalarında dişli sistemlerinde meydana gelen hasarları yağ sıcaklığını sabit tutarak devir sayısı, yağlayıcı ve yükleri sabit tutarak incelemiştir. Sıcaklığın artması ile aşınmanın ve yüzey pürüzlülüğünün arttığını tespit etmişlerdir.

Kızılaslan (2007), çalışmasında değişken viskoziteli yağların dişli çarklardaki etkilerini incelemiştir. İmal edilen düz dişli çarklar üzerine elektrik motoru ile yük uygulanmıştır. Dişli malzemesi, devir sayısı, yük ve sıcaklık sabit tutulmuş ve sadece yağlayıcı viskozitesi değiştirilerek testler yapılmıştır. Testler 5 milyon devirde sonlandırılmıştır. Sonuç olarak yağ viskozitesinin düşüşüne bağlı olarak malzeme kaybının ve yüzey pürüzlülüğünün arttığı tespit edilmiştir.

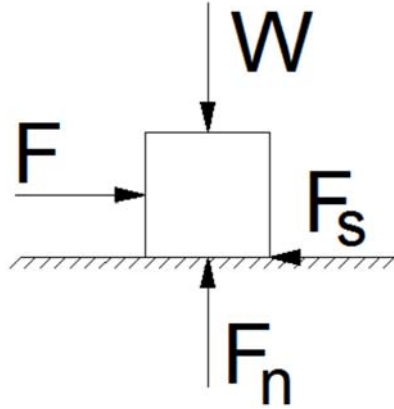
Yalçınkaya (2018), çalışmasında sıcak presleme yöntemi ile elde edilen alüminyum matrisli ve ağırlıkça oranları %15, 10 ve 5 olan alümina takviyeli kompozit numuneler üretilerek pin-on disk aşınma cihazı üzerinde abrasiv aşınmanın incelenmesi sağlanmıştır. Alaşım takviyesi olarak 32 mikrometre parçacık boyutuna sahip %99,52 saflığında alümina tozu ve matris malzemesi 160 mikrometre boyutlu %99,7 saflığa sahip toz alüminyum kullanılmıştır. Yoğunluk, sertlik ve mikroskobik incelemeleri yapılmıştır. Aşınma cihazı ile 200 m sürtünme mesafesi ve 2-8 N yükler ile testler gerçekleştirilmiştir. Sonuçlar ağırlık değişimlerine göre değerlendirilmiştir. Takviyeli kompozit malzemenin, toz alüminyum numuneye göre aşınma direncinin daha iyi olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Aşınma test sonucu en iyi olan kompozit %15 alümina katkılı numune olarak tespit edilmiştir. 8 N yük ile yapılan aşınma testlerinde alüminyum matrisli malzemeye oranla ağırlık değişimin %80 ila %65 arasında azaldığı tespit edilmiştir.

2.1 Triboloji

Bilim dalı olarak kabul edilmekte olan sürtünme, Triboloji olarak ifade edilmektedir. Triboloji Yunancadaki Tribos (Sürtünme) kelimesinden türetilmiştir. Triboloji birbirine temas halinde olan ve nispi hareketli yüzeyler arasındaki, aşınma ve sürtünme olaylarını inceleyen bilim dalıdır (Yüksel 2014).

2.1.1 Sürtünme

Temas eden iki veya daha fazla malzemenin nispi hareketi ile oluşan tepki kuvvetine sürtünme adı verilir. Birbiri ile nispi hareket eden cisimlerde az olsa dahi sürekli bir sürtünme olmaktadır. F_s ile gösterilen sürtünme kuvveti harekete karşı koyma eğilimindedir. Çalışan sistemlere göre sürtünmenin, yüksek olmasının istendiği ve az olmasının istendiği mekanizmalar, durumlar mevcuttur. Hareket eden bir cisim durdurulmak ya da yavaşlatılmak istendiği zaman sürtünme istenen bir durumdur (fren sistemleri), cismin hareket ettirilmesi veya hızlandırılması istenirse sürtünme istenmeyen bir durum halini alır (dişli sistemler, yataklar). Nispi hareket eden cismin serbest cisim diyagramı Şekil 3.1’de verilmiştir.



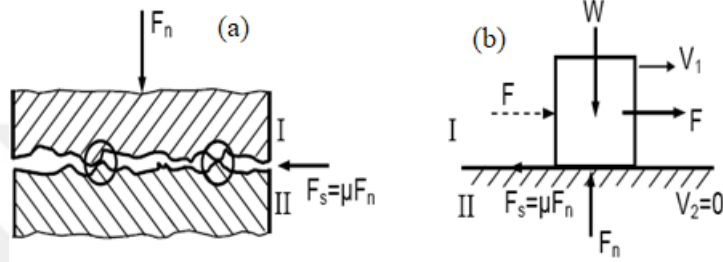
Şekil 2.1 Serbest cisim diyagramı.

Diyagrama göre sürtünme kuvvetinin hesaplanması Eşitlik 2.1’de verilmiştir.

$$F_s = \mu_x F_n \quad (3.1)$$

2.1.2 Kuru Sürtünme

Cisimlerin nispi hareketleri anında temas halinde olan yüzeylerde yağlayıcı maddeler olmadan hareket ettiği durumdur. Sıcaklığın çokça açığa çıktığı enerji ve malzeme kayıplarının olduğu sürtünmedir. Otomotiv sektöründe, fren ve debriyaj sistemlerinde kuru sürtünmeden yararlanılır. Şekil 2.2’de verilmiş olan diyagramda serbest cisim diyagramı ile beraber gösterilmiştir.

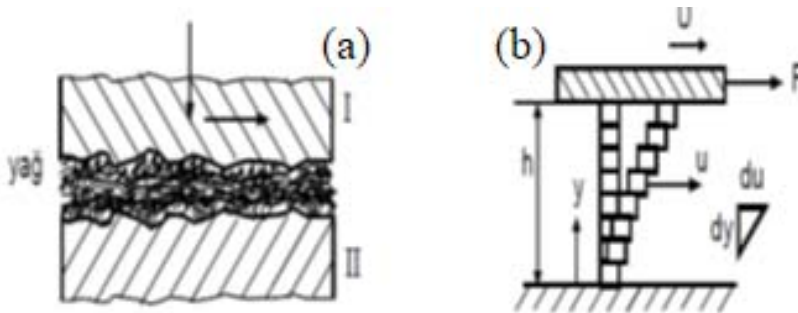


Şekil 2.2 (a) Kuru sürtünme modeli ve (b) serbest cisim diyagramı (Erdem 2006).

Şekil 2.2’de de görüleceği üzere partiküllerin ve yüzey pürüzlerinin birbirine teması ile sıcaklık meydana gelir ve yüzey pürüzleri birbirini aşındırarak malzeme kaybı oluşmaktadır.

2.1.3 Sıvı sürtünme

Nispi hareket eden iki katı cisim arasında yüzey pürüzleri birbiri ile temas etmeyecek şekilde ince bir yağ filmi oluşturulduğunda oluşan sürtünme sıvı sürtünmedir (Şekil 2.3). Bu durumda sürtünme yağlayıcı sıvının tabakaları arasında oluşur.



Şekil 2.3 (a) Sıvı Sürtünme modeli ve (b) sıvı sürtünme diyagramı.

2.2 Aşınma

Sürtünme durumunda bulunan yüzeylerden taneciklerin istemsiz şekilde kopmasıdır. Bu durumda malzemeler şekillerini kaybeder ve boşluklar meydana gelir. Aşınma durumunda genel anlamda beş etkenden bahsetmek mümkündür. Bunlar; aşınan malzeme, aşındıran malzeme, ara malzemeler, hareket ve yüklerdir. Sıcaklık değeri de bir altıncı etmen kabul edilebilir. Aşınma durumu makinanın hassasiyetinin azalmasına ve gürültülerin artmasına yol açar. Başlıca aşınma çeşitlerini; adezyon, abrazyon, yorulma aşınması (pitting) ve mekanik korozyon aşınması olarak sınıflandırılmaktadır (Öztürk 2018).

2.2.1 Adhezyon Aşınması

Birbirine yakın olan ve karışabilen malzemeler arasında kuvvetli kaynama olur. Yüzey pürüzleri dış kuvvet etkisiyle akma sınırının aşılmasıyla plastik deformasyona uğrar, yüzeyde absorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanır. Temas noktalarında mikro kaynak bağları oluşur. Temas yüzeyleri birbirine göre nispi hareket ederse bu bağlar kırılarak malzeme kaybı oluşur (Ölmez 2016).

2.2.2 Abrazyon Aşınması

Hareket ve yüklerin etkisi nedeniyle sürtünen cisimlerden sert olanının yüzeyinde bulunan pürüzleri veya tanecikleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması sonucu oluşan aşınmadır. Çalışma ortamından yüzeyler arasına giren talaş, toz gibi tanecikler aşındırıcı olabilmektedir. Abrazyon aşınmasının önlenmesi için yüzeyler üzerine yüzey sertleştirme uygulanmalıdır. Dışarıdan herhangi bir maddenin yüzeylerin temas alanlarına girmemesi adına sızdırmazlık sağlanmalıdır. Sistemler sürekli temizlenmelidir (Ölmez 2016).

2.2.3 Korozyon Aşınması

Metallerin kimyasal çözünmeye uğraması olarak tanımlanabilir. Kimyasal bir

reaksiyondur ve özellikle malzeme yüzeyinde başlangıç gösterir. Ekonomik açıdan, korozyon problemi önemli bir faktördür. Korozyon sonucu malzeme kayıpları ve bakım maliyeti açısından sanayileşmiş ülkelerde milli gelirlerin % 5 lik kısmının harcandığı tahmin edilmektedir. Herkes tarafından bilinecek kadar yaygın görülen korozyon problemleri otomotiv endüstrisinde kapı saclarının ve egzoz paslanması bu örneklerdendir. Bu aşınma nedeniyle malzemelerin kütle kaybetmesi durumudur (Callister and Retwisch 2014).

2.2.4 Pitting (Yorulma Aşınması)

Yorulma aşınma olayı yüzey bölgesinden başlamakla beraber titreşimli yüklemelerde veya malzemenin tekrarlı gerilmelere uğradığında yüzey kısımlarda mikroskobik çatlaklar oluşur. Bu durumla genellikle rulman yataklarıyla çalışan sistemlerde ve kam mekanizmalı sistemlerde karşılaşılmaktadır (Akkurt 1990).

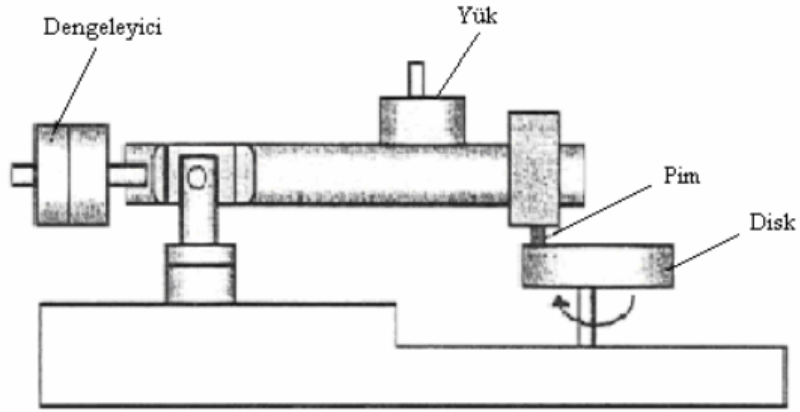
2.2.5 Erozyon aşınması

Malzemelerin yüzeyel kısımları ile ortam arasındaki nispi hızın yüksek olduğu durumlarda görülen ve cismin yüzeyel kısmına katı ya da sıvı parçacıkların hızla çarpması durumunda oluşan aşınma şekli erozyon aşınmasıdır (Ölmez 2016).

2.3 Aşınma Test Cihazları

Sürekli olarak gelişmeye devam eden ve değişen sanayilerde kullanılan makinelerde aranılan önemli özelliklerden biri kullanım ömrüdür. Makine üretimlerinde yüksek kullanım ömrü beklenen yerlerde aşınma direnci fazla olan malzemeler tercih edilmelidir. Kullanılacak malzemelerin belirlenmesi sırasında bir takım testlerin yapılarak kullanılması gereklidir (Aytaç 2007).

Şekil 2.4' de aşınma test yöntemleri arasından en yaygın kullanılan ve en basit mekanizmaya sahip olan pim-disk yöntemi gösterilmiştir.



Şekil 2.4 Pim disk aşınma cihazı şematik görünümü (Koçer 2002).

Laboratuvar ortamında yapılan analizlerde aşınma deneylerini iki ana grupta toplamak mümkündür (Aytaç 2007).

- a) Yağlamalı ve yağlamasız bir ortamda ana ve karşı malzemelerinin adhesiv (metal metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneyler
- b) Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneyler ASLE (American Society Of Lubrication Engineers, 1978) tarafından yüz kadar test sistemi belirlenmiştir.

Bu aşınma testlerinde, aşınma ölçüm yöntemleri olarak bilinen ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişimi ve radyoizotop metotları gibi metotlar kullanılmaktadır. Bir ölçme yönteminde öncelikle yüksek hassasiyet, kolay uygulanabilirlik ve ekonomik olması beklenmektedir (İzciler Öcal 2001).

3. MATERYAL VE METOT

3.1 Alaşım Numune Olarak Kullanılan Malzemeler

Deneylerde numune olarak otomotiv endüstrisinde yaygın kullanım alanına sahip olan Etial 177, Etial 171 ve Etial 140 alüminyum alaşım numuneler incelenmiştir. Kimyasal bileşimlerinin standarttaki oranları Çizelge 3.1 üzerinde, numunelerin üretim özellikleri Çizelge 3.2 üzerinde gösterilmiştir.

Çizelge 3.1 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

Çizelge 3.2 Kullanılan numunelerin tipik özellikleri (İnt.Kyn.3).

Malzeme	Özgül Ağırlık (gr/cm ³)	Ergime Aralığı (°C)	Isısal İletkenlik (cal/cm.s°C)	Korozyon Dayanımı	Dökülebilirlik	İşlenebilme	Anodik Oksidasyon
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

N1 (Etial 140), karışık dökümlerde tercih edilmektedir, motor bloklarının dökümünde, pompa parçalarının döküm yöntemiyle üretiminde yaygın olarak kullanılmaktadır.

N2 (Etial 171), genel anlamda mukavemet istenen parçaların üretiminde, basınç dayanımı ve korozyon dayanımı istenen uygulamalarda kullanılmaktadır.

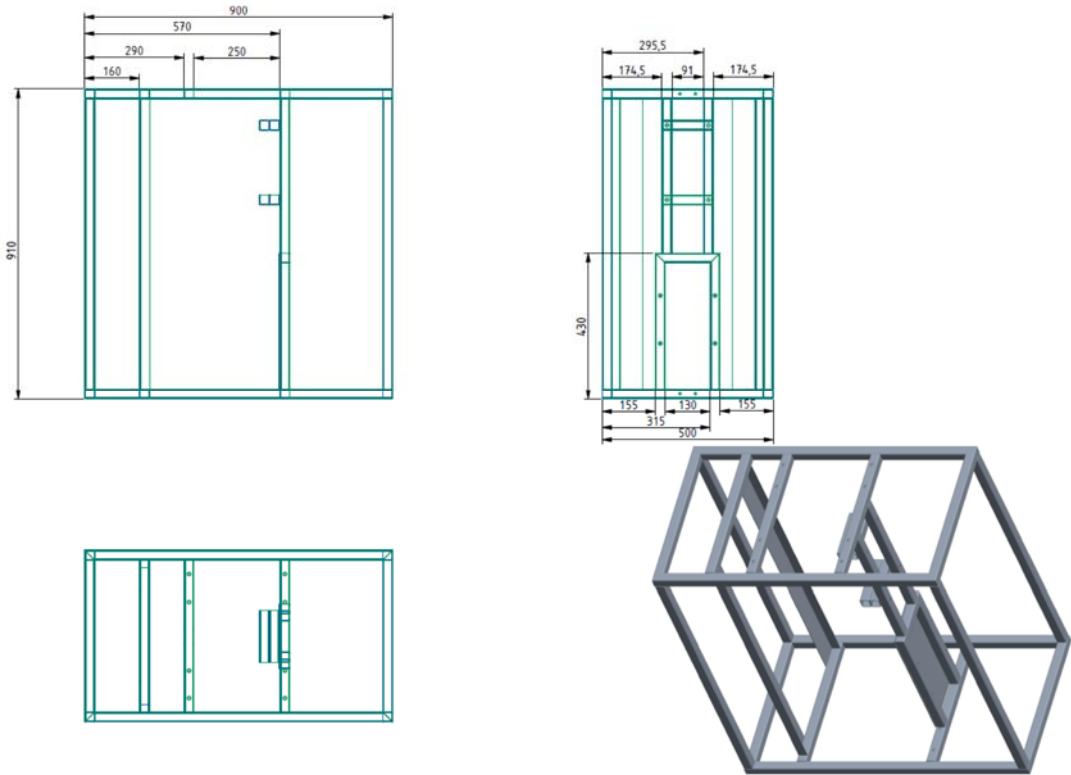
N3 (Etial 177), jant materyali ve basınç dayanımlı sistemlerde kullanılmaktadır.

3.2 Aşınma Test Cihazı İmalatı

Analizlerde kullanılmış olan aşınma test cihazı, prototip olarak tasarlanmış olduğum disk üzerinde pim sürtünmesi mantığıyla çalışan aşınma cihazıdır. Resim 3.1’de görülmektedir. Numuneler yükleme koluna bir tutucu parça ile sabitlenir, yük kolunun üstüne yerleştirilen ağırlıklar ile yük numuneye iletilir. Testler yağsız kuru sürtünme ve farklı viskozitelerdeki yağlar ile yük, devir değiştirilerek tekrar edilmiştir.

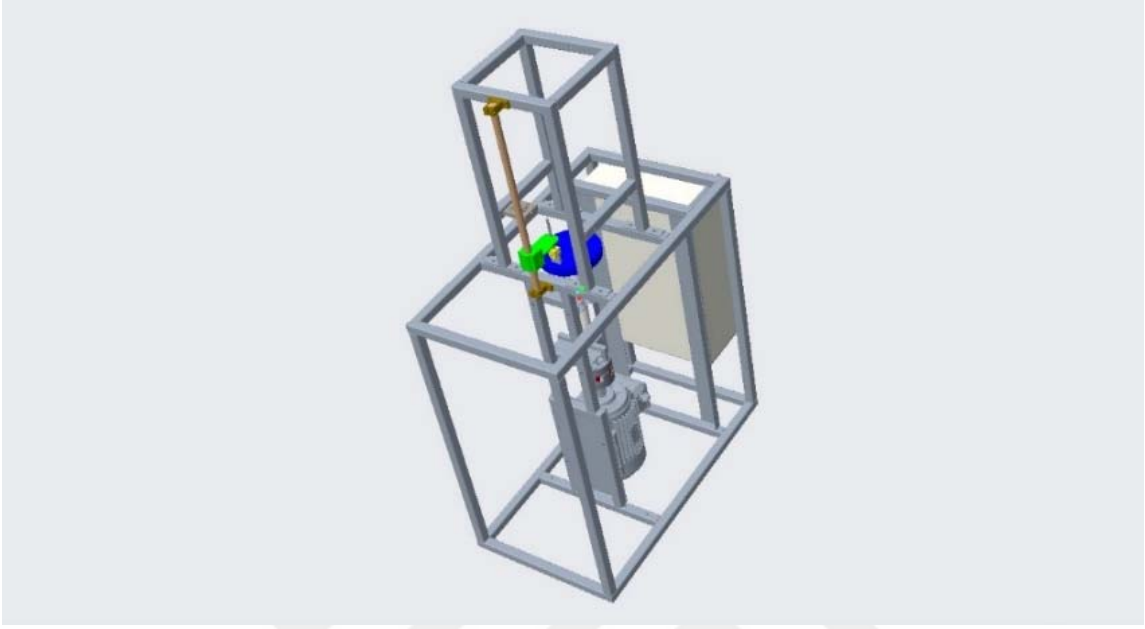
Sürtünme tepki kuvveti bir loadcell ile okunup arduino üzerinden bilgisayar ortamına aktarılmıştır. Excel programına otomatik alınan değerler grafik haline getirilmiştir.

Cihazın tasarımı tamamen kendime ait olup part modül, montaj modülü ve teknik resimler Creo Parametrik programı ile tasarlanmıştır. Şekil 3.1 kaynaklı bağlantı montajı. Şekil 3.2 aşındırma diski imalat resmi. Cihaz kalibrasyonu yük hücresi boş konumda iken yazılım içerisinde yapılmaktadır. Dara alma işlemi aynı şekilde cihaz boş konumdayken yazılım içerisinde yapılmaktadır. Prototipten alınan grafikler literatürde yapılan deney ve grafiklerle uyuma sağlamaktadır.



Şekil 3.1 Şase Kaynaklı Bağlantı Montaj Resmi.

Şekil 3.1’de görülen kaynaklı bağlantı montaj imalat resmi Creo programında çizilmiştir. Ölçülendirme ve toleranslar verilmiştir.



Şekil 3.2 Montaj Resmi



Resim 3.1 Cihaz Resmi.

Resim 3.1’de tasarımın prototip resmi görülmektedir. Tasarımda 30x30x2 mm ölçülerindeki profiller kullanılarak imal edilmiştir. Kaplin ve rulmanlar metrik ölçülere ve firma kataloğuna uygun olarak tasarlanmıştır. Mil taşıyıcı tornada imal edilmiş ve balansı tornada alınmıştır.

3.3 Yağlayıcılar

Yağlayıcılar katı iki cismi birbiri ile olan temasından ayırmak sureti ile sürtünme kuvvetini en aza indirmek ve kolay hareket sağlamak amacı ile kullanılan maddelere ‘yağ’ denir. Cisimler arasındaki yüksek olan sürtünmeyi kendi sürtünme değerleri ile azaltma mantığı ile yağlamayı gerçekleştirirler.

Yağlayıcıların görevleri,

- 1) Aşınmayı azaltmak
- 2) Korozyondan koruma
- 3) Soğutma
- 4) Yüzey kirlerini temizleme

Olarak sıralandırılmaktadır.

Genel anlamda yağları üç sınıfta incelemek mümkündür; bunlar mineral ve sentetik yağlardır. Mineral yağlara bir miktar sentetik maddeler ilave edilerek elde edilen yağlarda yarı sentetik yağlar olarak isimlendirilir.

Mineral yağlar konvansiyonel olarak kullanılmakta olan standart yağlardır. Yer altı kaynağı petrolün distilasyonundan sonra viskozite geliştirici ve aşınmaya etki eden katkıları eklenerek üretimi sağlanır. Maliyeti düşük ve ortalama performanslıdır.

Sentetik yağlar laboratuvar ortamında kimyasal işlemler ile üretilen yağlardır. Maliyeti mineral yağlara göre yüksektir. Performans olarak daha yüksek performansa sahiptir ve daha uzun kullanım ömrü vardır. Ayrıca sıcaklık dayanımı daha yüksektir.

Yarı sentetik yağlar bu iki yağın karışımı neticesinde elde edilen yağlardır. Performans

ve maliyet olarak mineral ve sentetik yağların arasında bir performans göstermektedir. Üretiminde genelde % 20 ila 30 sentetik yağ ile % 70 ila 80 civarında mineral yağ karışımı yapılarak üretilir.

Yağları ayırt etmede kullanılan en önemli özellik viskozitedir. Viskozite akışkanların akmaya karşı gösterdiği dirençtir. Sıcaklıkla ters orantılı olarak değişir. Ölçüm birimi olarak centistoke (cs) kullanılır.

Viskozite sınıflandırmalarından en çok kullanılanı The Society of Automotive Engineers (SAE)'dir. SAE sınıflandırmasında diğer sınıflandırmalara göre fark düşük ve yüksek sıcaklıklardaki viskoziteye göre sınıflandırılmış olmasıdır. Bu sınıflandırmada dereceler "W" harfi ile ayrılan değerlerden oluşur. İngilizce kış (Winter) kelimesinin kısaltmasıdır ve düşük sıcaklıklardaki yağın viskozitesini gösterir. İlk derece ne kadar düşük olursa yağ o kadar akışkan yani ince olmaktadır. İkinci rakam yüksek sıcaklıktaki akışkanlığı göstermektedir.

Bu deneylerde kullanılan yağlar otomotiv sektöründe sık kullanılan 10W40 ve 20W50 viskozitesindeki yağlardır. Kullanılan yağların teknik spesifikasyonları aşağıdaki Çizelge 3.3'de verilmiştir.

Çizelge 3.3 Yağlayıcıların normal üretim toleranslarındaki tipik özellik değerleri (İnt. Kyn. 4).

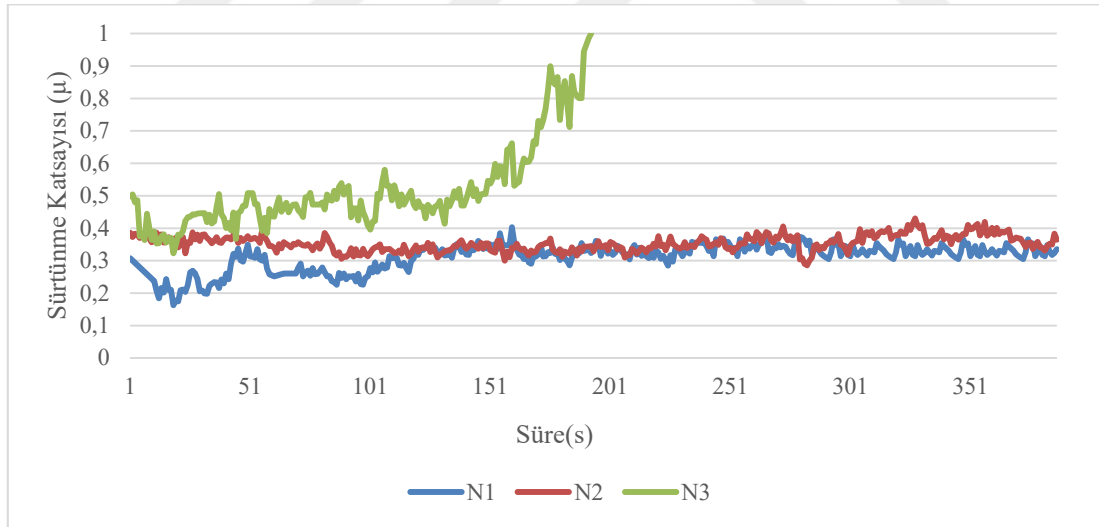
Yağlayıcı Viskozitesi	Yoğunluk 15°C (g/ml)	Viskozite 100°C (mm ² /s)	Viskozite 40°C (mm ² /s)	Viskozite İndeksi	Akma Noktası (°C)	Sülfat Külü (%ağırlık)
10W40	0,868	14,6	101	150	-42	1,2
20W50	0,885	19,8	186,9	122	-30	1,3

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Test uygulanan numunelere kuru sürtünmede cihaz hata verene kadar teste tabi tutulmuştur. Yağlı testlerde 500 s sürede 800 ve 1200 devir/dakika'lık hızlarda test uygulanmıştır. Yağlayıcı olarak aynı markanın 10W40, 20W50 yağları kullanılmıştır. Yük olarak kuru sürtünmede 1000 N ve yağlayıcı ile sürtünmede 5000 N'luk yüke maruz bırakılan numunelerin bu değişken durumlara bağlı ortaya çıkan sürtünme katsayısındaki değişimleri aşağıdaki grafiklerde gösterilmiştir. Numunelerdeki ağırlık değişimleri test başlangıcı ve bitiş ağırlıkları ölçülerek tespit edilmiştir. Sürtünme bölgesindeki yüzey sıcaklıkları lazerli termometre ile ölçülerek grafikler ile gösterilmiştir.

4.1 Kuru Sürtünme Testleri

Numunelerin 800 devir/dakika' da kuru sürtünme şartlarında ve 1000 N yük altında zamana bağlı sürtünme katsayı değişimi deney sonuçları Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 Numunelerin kuru sürtünmede zamana bağlı sürtünme katsayı değişimi.

Testler sonucunda N1 numunesinin sürtünme katsayı ortalaması 0,306, N2 0,353 ve N3 0,509 çıkmıştır.

Çizelge 4.1 Numunelerin 800 devir/dakika’da kuru sürtünmede zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Numune	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk
N1	22,8	23,6	25	28,2	31,4	31,8
N2	21,3	25,2	26	26,4	31,8	34,5
N3	26	33,2	40	46		

Çizelge 4.1’de verilmiş olan verilere göre sıcaklıkların N3 numunesinde çok fazla yükseldiği görülmektedir. Ağırlık kaybı N1 0,004 g, N2 numunesinde 0,1 g ve N3 numunesinde 0,17 g olarak ölçülmüştür. Numunelerin mikroskop altındaki görüntüleri N1 için Resim 4.1, N2 için Resim 4.2 ve N3 için Resim 4.3’de gösterilmiştir.

Not: N3 testi sırasında sürtünmenin aşırı yükselmesi cihazın tolerans sınırlarını aşmasından tedirgin olunması nedeniyle çevreye ve kullanıcıya zarar gelmemesi adına test erken sonlandırılmıştır.



Resim 4.1 Etial 140 (N1) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü.



Resim 4.2 Etial 170 (N2) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü.



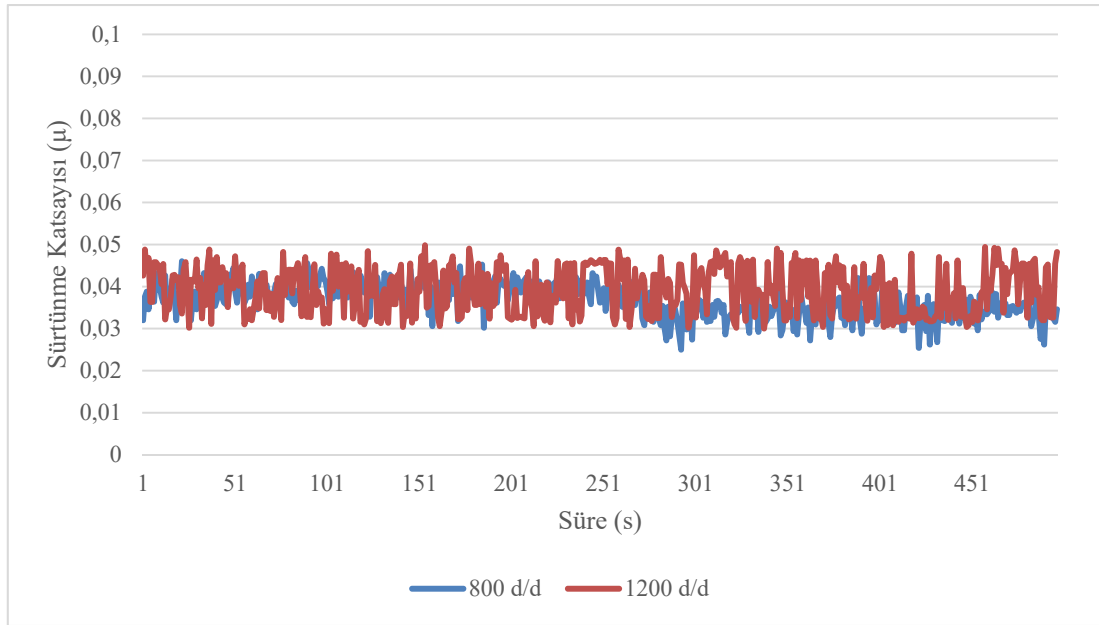
Resim 4.3 Etial 177 (N3) numunesinin kuru sürtünme sonrası mikroskopik görüntüsü.

4.2 Farklı Devirlerde Yapılan Sürtünme Testleri

Bu başlık altındaki testlerde 800 devir/dakika ve 1200 devir/dakika hızlar ile yapılan testler verilmiştir. Yağ kullanılan tüm testler 5000 N yük ile yapılmıştır.

4.2.1 10W40 Yağ ile Yapılan Testler

N1 numunesi için 5000 N yük altında ve farklı devirlerde 10W40 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimleri Şekil 4.2’de verilmiştir.



Şekil 4.2 N1 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika’ da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

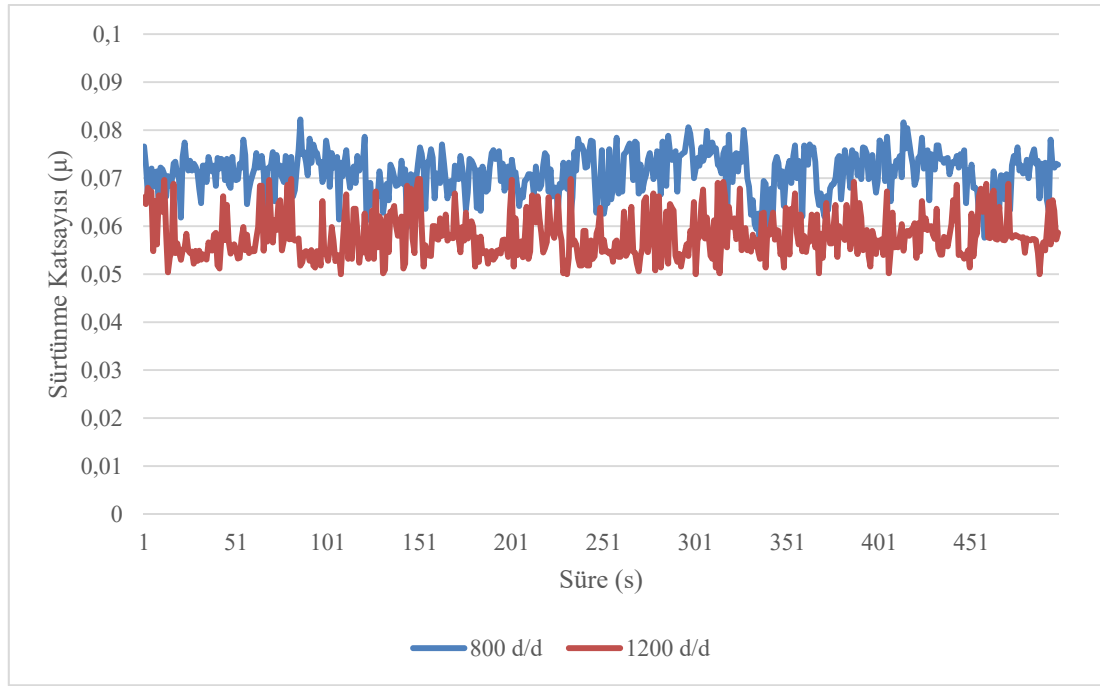
Sürtünme katsayıları 800 devir için 0,0365 ve 1200 devir için 0,0389 çıkmıştır. Bu deneyde görüleceği üzere 1200 devir/dakika’da sürtünme artmaktadır. Buradan anlaşılan hızın artmasına bağlı olarak alınan yolun artması neticesinde sürtünme katsayısında artış olabilmektedir.

Aşağıdaki çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 800 devir/dakika’da gerçekleşmiştir. Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için 0,001 g, 1200 devir/dakika için 0,001 g olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.2 N1 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	21,8	22	22	22,1	22,4	22,6	22,7	23
1200	22,6	23	23,2	23,3	23,5	23,5	23,6	23,7

N2 numunesi için farklı devirlerde 10W40 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3 N2 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika’da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi

Sürtünme katsayıları ortalaması 800 devir için 0,0712 ve 1200 devir için 0,0580 olarak ölçülmüştür. Bu deneyde görüleceği üzere 800 devir/dakika’da sürtünme artmaktadır.

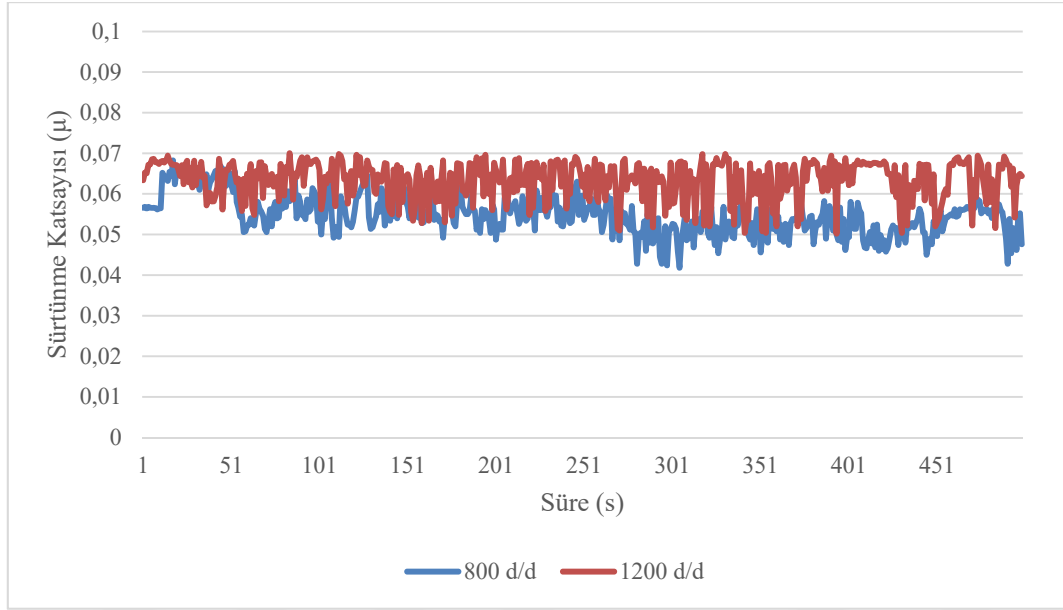
Çizelge 4.3 N2 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	21,9	22,4	22,8	22,9	23,2	23,4	23,5	23,8
1200	22,3	23,2	23,3	23,4	24	24,1	24,2	24,4

Çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 1200 devir/dakika’da gerçekleşmiştir.

Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için 0,001 g ölçülmüş olup, 1200 devir/dakika için ağırlık değişimi görülmemiştir.

N3 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.4’de verilmiştir.



Şekil 4.4 N3 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika’da 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

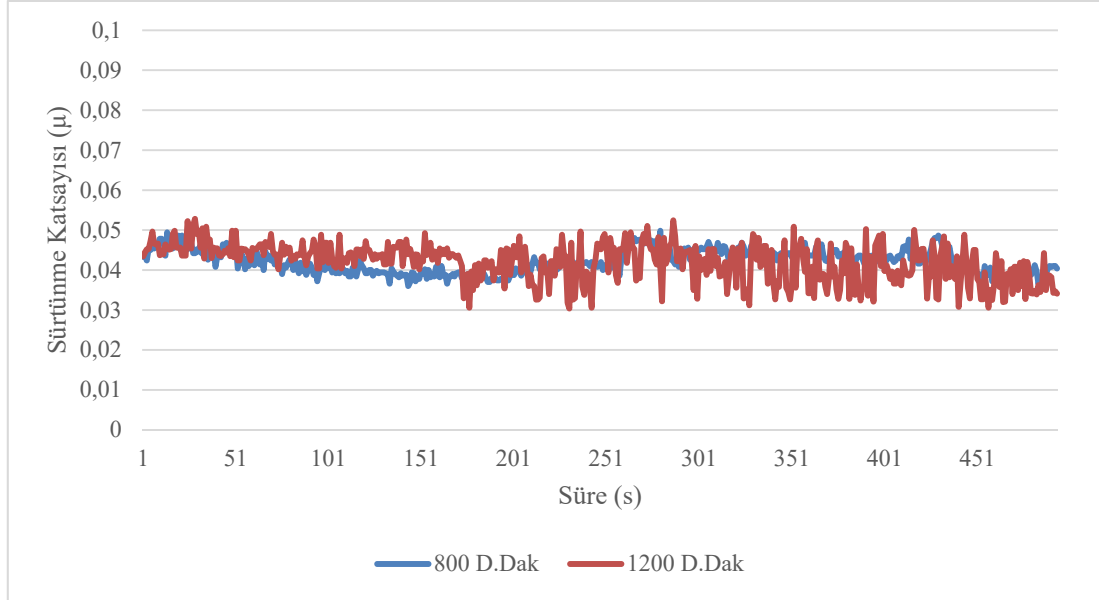
Sürtünme katsayısı 800 devir için 0,0548 ve 1200 devir için 0,0634 olarak ölçülmüştür. Aşağıdaki çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 1200 devir/dakika’da gerçekleşmiştir. Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için ağırlık değişimi meydana gelmemiş olup 1200 devir/dakika için 0,001 g olarak ölçülmüştür.

Çizelge 4.4 N3 numunesinin farklı devirlerde 10W40 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	21,7	22,3	22,7	22,9	23	23,2	23,5	23,7
1200	23,5	24	24,7	25,5	25,9	26	26,2	26,6

4.2.2 20W50 Yağ ile Yapılan Testler

N1 numunesi için farklı devirlerde 20W50 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.5’de verilmiştir.



Şekil 4.5 N1 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika’da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

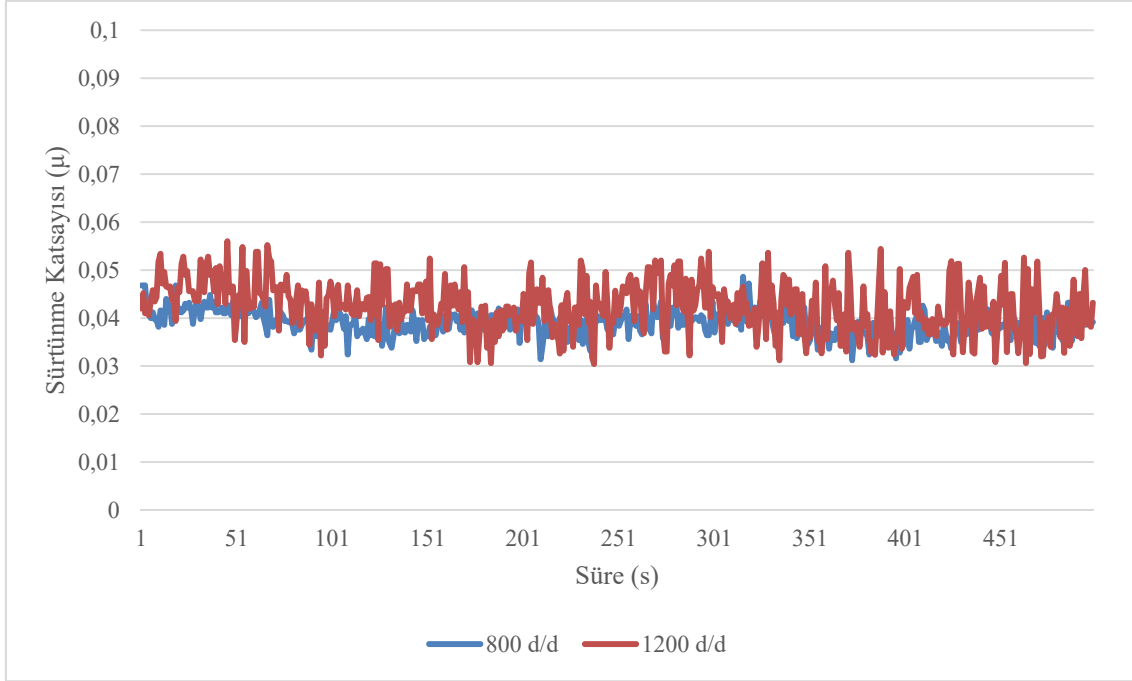
Sürtünme katsayısı 800 devir için 0,0420 ve 1200 devir için 0,0419 çıkmıştır.

Çizelge 4.5 N1 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	20,9	22,5	23,8	23,8	24	24,1	24,1	24,9
1200	21,7	22,5	22,7	23	23,2	23,9	24	24,3

Çizelge 4.5’de görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 800 devir/dakika’da gerçekleşmiştir. Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için 0,002 g, 1200 devir/dakika için 0,001 g olarak ölçülmüştür.

N2 numunesinde farklı devirlerde 20W50 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayılarının değişimleri Şekil 4.6’de gösterilmiştir.



Şekil 4.6 N2 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika’da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

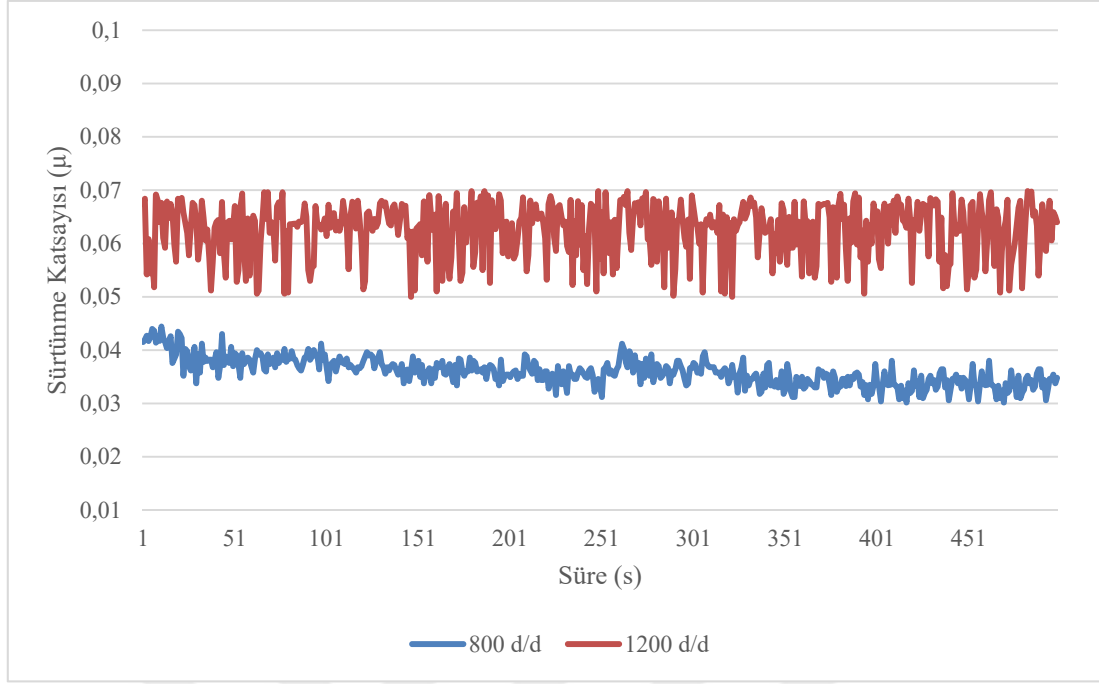
Şekil 4.6’da gösterilmiş olan grafikte sürtünme katsayıları 800 devir/dakika için 0,0390 ve 1200 devir/dakika için 0,0424 olarak ölçülmüştür. Bu deneyde görüleceği üzere 1200 devir/dakika’da ortalama sürtünme katsayısı artmaktadır. Buna göre hızın artmasına bağlı olarak alınan yolun artması ve bunun neticesinde sürtünme katsayısında artış olabilmektedir.

Çizelge 4.6 N2 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	22	22,2	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,6
1200	21,6	22,5	22,9	23,1	23,2	23,9	24	24,3

Çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 1200 devir/dakika’da gerçekleşmiştir. Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için 0,003 g, 1200 devir/dakika için 0,001 g olarak ölçülmüştür.

N3 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.7’de verilmiştir.



Şekil 4.7 N3 numunesinin 800 ve 1200 devir/dakika'da 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

Bu testte ortalama sürtünme katsayısı 800 devir/dakika için 0,0359 ve 1200 devir/dakika için 0,0626 olarak ölçülmüştür. Yüksek viskoziteye sahip yağlayıcılar yüksek devirlerde yüksek sürtünme katsayısına sahiptir denilebilir.

Çizelge 4.7 N3 numunesinin farklı devirlerde 20W50 yağ ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Devir/Dakika	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
800	20,5	20,7	20,9	21	21,5	21,5	21,5	21,5
1200	20,5	21,2	21,6	21,8	22,2	22,4	22,5	22,7

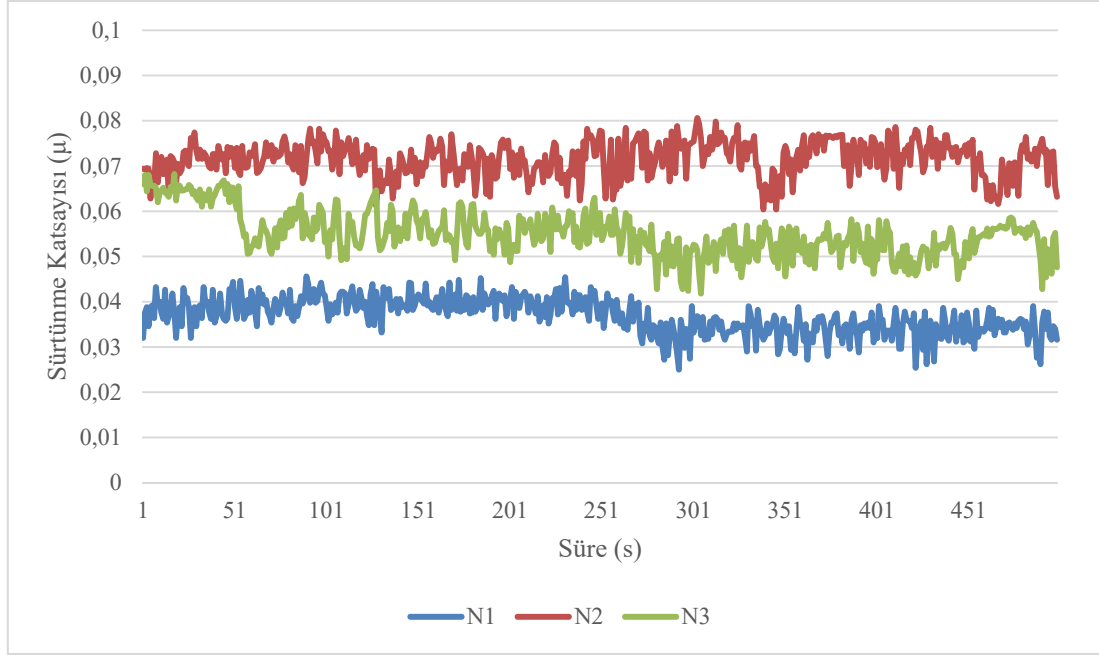
Çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en fazla 1200 devir/dakika'da gerçekleşmiştir. Ağırlık değişimleri 800 devir/dakika için 0,010 g, 1200 devir/dakika için 0,002 g olarak ölçülmüştür.

4.3 Farklı Malzemelerle Yapılan Sürtünme Testleri

Etial 140, Etial 170 ve Etial 171 kullanılarak yapılan testler bu başlık altında verilmiştir.

4.3.1 Farklı Malzemelerle 800 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler

Numunelerin 800 devir/dakika hızla 10W40 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.8’de verilmiştir.



Şekil 4.8 800 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

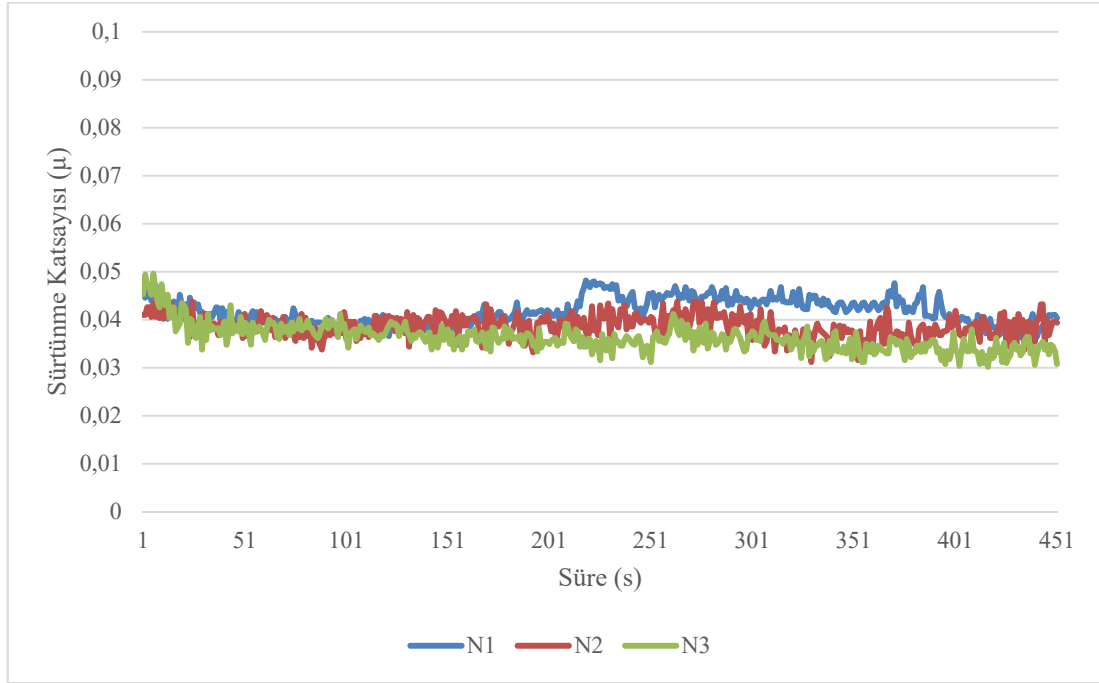
Bu deneyde görüleceği üzere N1 numunesinin sürtünme katsayısı 0,0367, N2 0,0716, N3 0,0550 olarak tespit edilmiştir.

Çizelge 4.8 800 devir/dakika’da 10W40 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Numune	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
N1	21,8	21,9	22	22,1	22,4	22,6	22,7	23
N2	21,9	22,5	22,9	22,9	23,2	23,4	23,5	23,9
N3	21,7	22,3	22,8	22,9	23	23	23,5	23,9

Çizelgede görüleceği üzere sıcaklık artışı en az N1 numunesinde oluşmuştur. Ağırlık değişimleri N1 numunesinde 0,001, N2 0,001 g ölçülmüş olup N3 için ağırlık değişimi görülmemiştir.

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin 800 devir/dakika’ da 20W50 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.9’de verilmiştir.



Şekil 4.9 800 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayısı ortalaması N1 için 0,0416, N2 için 0,0387 ve N3 için 0,0363 olarak tespit edilmiştir. Deney sonucunda N1 numunesinin sürtünme katsayısı diğerlerinden yüksek çıktığı görülmektedir.

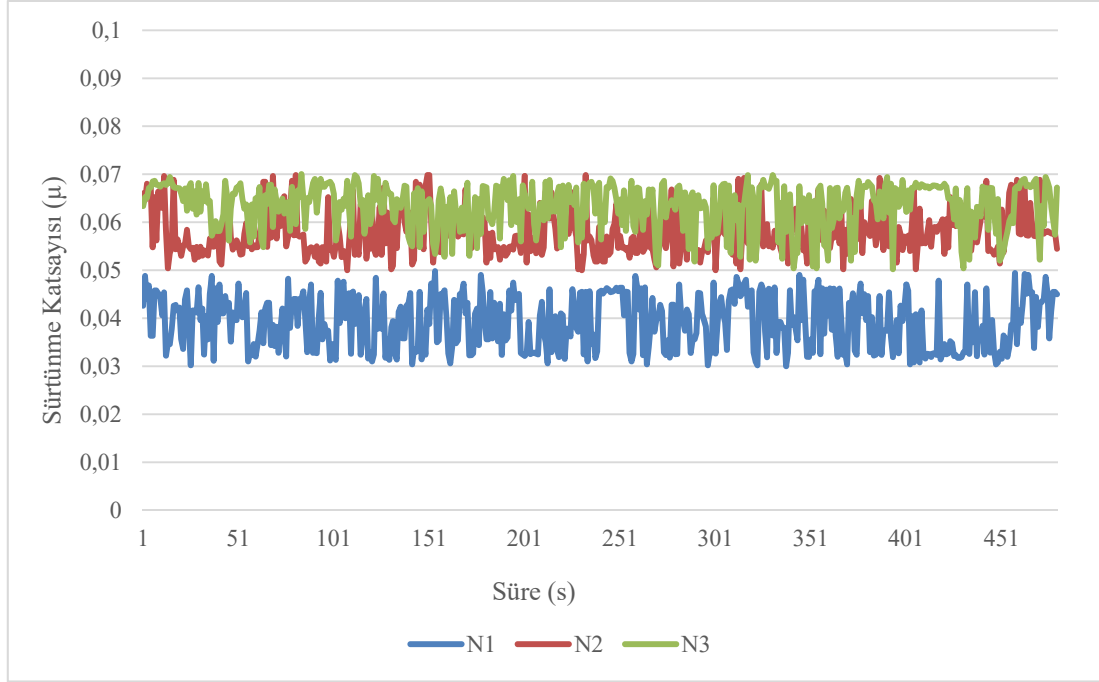
Çizelge 4.9 800 devir/dakika’da 20W50 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Numune	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
N1	20,9	22,5	23,8	23,8	24	24,1	24,7	24,9
N2	21,7	22	22,3	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4
N3	20,5	20,6	20,8	21	21,5	21,5	21,5	21,5

Çizelgeden tespit edildiği üzere sürtünme katsayısının yüksek çıkmasıyla beraber incelendiğinde beklenildiği gibi N1 numunesinin sıcaklık artışı daha fazladır.

4.3.2 Farklı Malzemelerle 1200 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin 1200 devir/dakika' da 10W40 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.10'de verilmiştir.



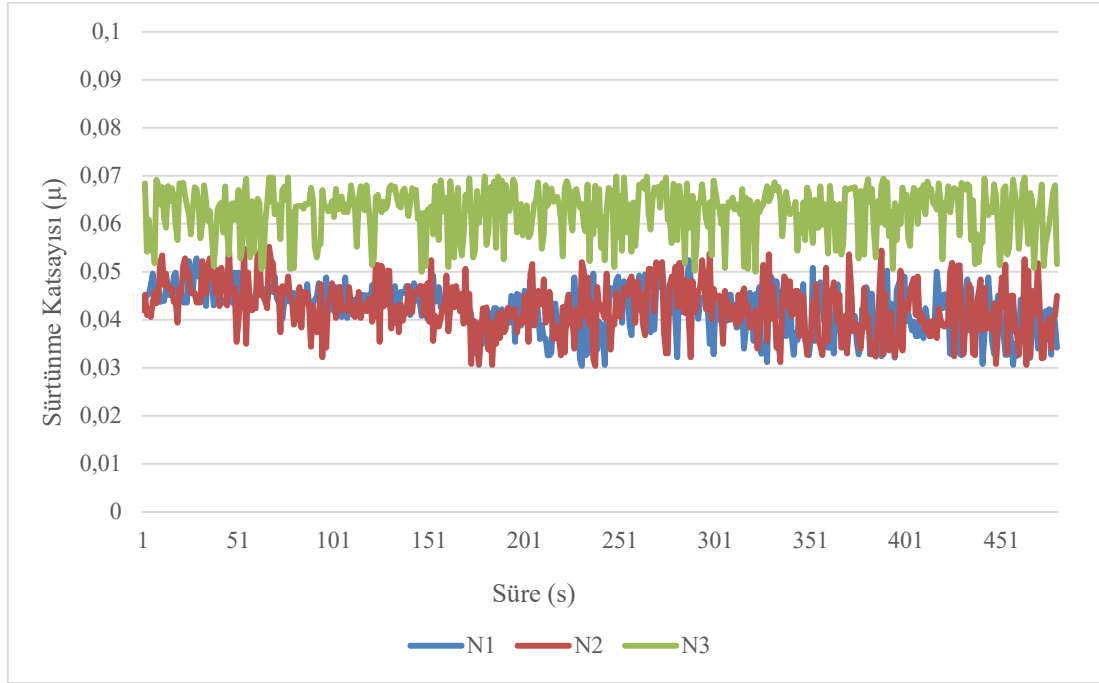
Şekil 4.10 1200 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 10W40 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayısı ortalaması N1 için 0,0391, N2 için 0,0580 ve N3 için 0,0634 olarak tespit edilmiştir. Deney sonucunda N3 numunesinin sürtünme katsayısı diğerlerinden yüksek çıkmaktadır. Ağırlık değişimleri N1 için 0,001 g ve N3 için 0,001 g olarak tespit edilmiş olup N2 için ağırlık değişimi olmamıştır. Sürtünme katsayısının yüksek çıkmasıyla beraber incelendiğinde beklenildiği gibi N1 numunesinin sıcaklık artışı daha fazladır.

Çizelge 4.10 800 devir/dakika'da 10W40 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Numune	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
N1	22,6	22,9	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7
N2	22,3	23	23,3	23,4	24	24,1	24,2	24,4
N3	23,5	24,2	24,7	25,5	25,8	26	26,2	26,6

Deneysel çalışmada kullanılan numunelerin 1200 devir/dakika'da 20W50 yağlayıcı ile oluşturduğu sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.11'de verilmiştir.



Şekil 4.11 1200 devir/dakika hız altında farklı numunelerin 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayısı ortalaması N1 için 0,0419, N2 için 0,0424 ve N3 için 0,0626 olarak tespit edilmiştir. Deney sonucunda N3 numunesinin sürtünme katsayısı diğerlerinden yüksek çıkmaktadır.

Çizelge 4.11 800 devir/dakika'da 20W50 yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Numune	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
N1	21,7	22,5	22,7	23	23,2	23,9	24	24,3
N2	21,6	22,5	22,9	23,1	23,2	23,9	24	24,3
N3	20,5	21,2	21,6	21,8	22,2	22,4	22,5	22,7

Sürtünme katsayısının yüksek çıkmasıyla beraber incelendiğinde beklenildiği gibi N1 numunesinin sıcaklık artışı daha fazladır. Ağırlık değişimleri N1 için 0,001 g, N3 için 0,001 g olarak tespit edilmiş olup N2 için ağırlık değişimi gözlemlenmemiştir.

4.4 Farklı Viskozitede Yağlar ile Yapılan Sürtünme Testleri

10W40 ve 20W50 yağlayıcılar ile yapılan testler bu başlık altında devirlere ayrılarak incelenmiştir.

4.4.1 800 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler

N1 numunesi üzerinde 800 devir hız ile 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri yapılarak sürtünme katsayısındaki değişim Şekil 4.12’de gösterilmiştir.



Şekil 4.12 N1 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayı ortalaması 20W50 yağda 0,0420 ve 10W40 yağda 0,0360 çıkmıştır. 20W50 yağ ile sürtünme katsayısı daha yüksek olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 4.12 N1 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcı	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	21,8	22	22,1	22,1	22,4	22,6	22,7	23
20W50	20,9	22,5	23,8	23,8	24	24,1	24,7	24,9

Çizelge 4.12 deki verilere göre sıcaklıkların 20W50 yağda daha fazla olduğu görülmektedir. Test sonuçlarına göre 20W50 yağ ile N1 numunesinin sürtünme katsayısı yüksek çıkmaktadır.

N2 numunesi üzerinde 800 devir/dakika'da 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri uygulanarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.13'de gösterilmiştir.



Şekil 4.13 N2 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

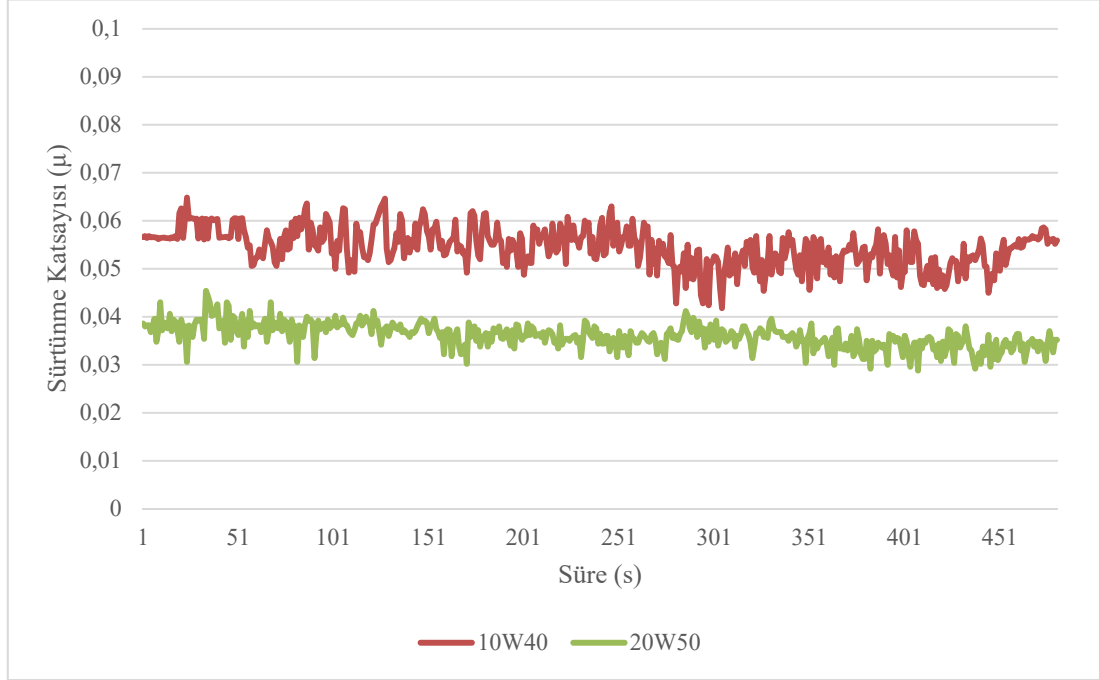
Sürtünme katsayı ortalaması 10W40 yağ için 0,0713 ve 20W50 yağ için 0,0389 olarak tespit edilmiştir. N2 numune alaşımı için 10W40 yağ daha fazla aşınma oluşturmaktadır denilebilir.

Çizelge 4.13 N2 numunesinin 800 devir/dakika'da farklı yağlar ile zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcılar	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	21,9	22,4	22,9	23	23,2	23,4	23,5	23,8
20W50	21,5	22	22,4	22,4	22,4	22,4	22,4	22,5

Çizelgede gösterildiği üzere sıcaklık artışı N2 için en fazla 10W40 yağda oluşmuştur.

N3 numunesi üzerinde 800 devir dakika hızla 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri yapılarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.14’de gösterilmiştir.



Şekil 4.14 N3 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayı ortalaması 10W40 yağ için 0,0544 ve 20W50 yağ için 0,0360 olarak tespit edilmiştir. N3 numunesinin aşınım yapısında aşınmayı azaltan yağ 20W50 yağ olmuştur.

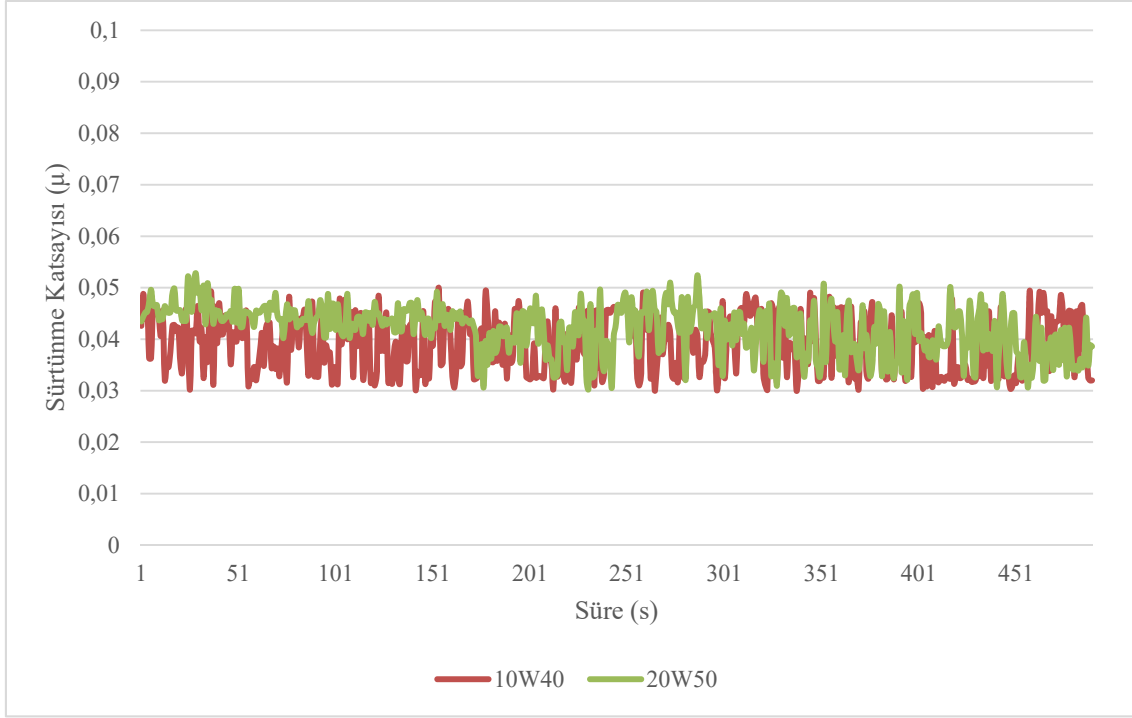
Çizelge 4.14 N3 numunesinin 800 devir/dakika’da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcı	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	21,7	22,3	22,8	22,9	22,9	23	23,5	23,7
20W50	20,5	20,7	20,8	21	21,2	21,5	21,5	21,5

Çizelgede gösterildiği üzere sıcaklık artışı numune 3 için en fazla 10W40 yağda oluşmuştur.

4.4.2 1200 Devir/Dakika Hız ile Yapılan Testler

N1 numunesinin 1200 devir/dakika'da 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri yapılarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.15'de gösterilmiştir.



Şekil 4.15 N1 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

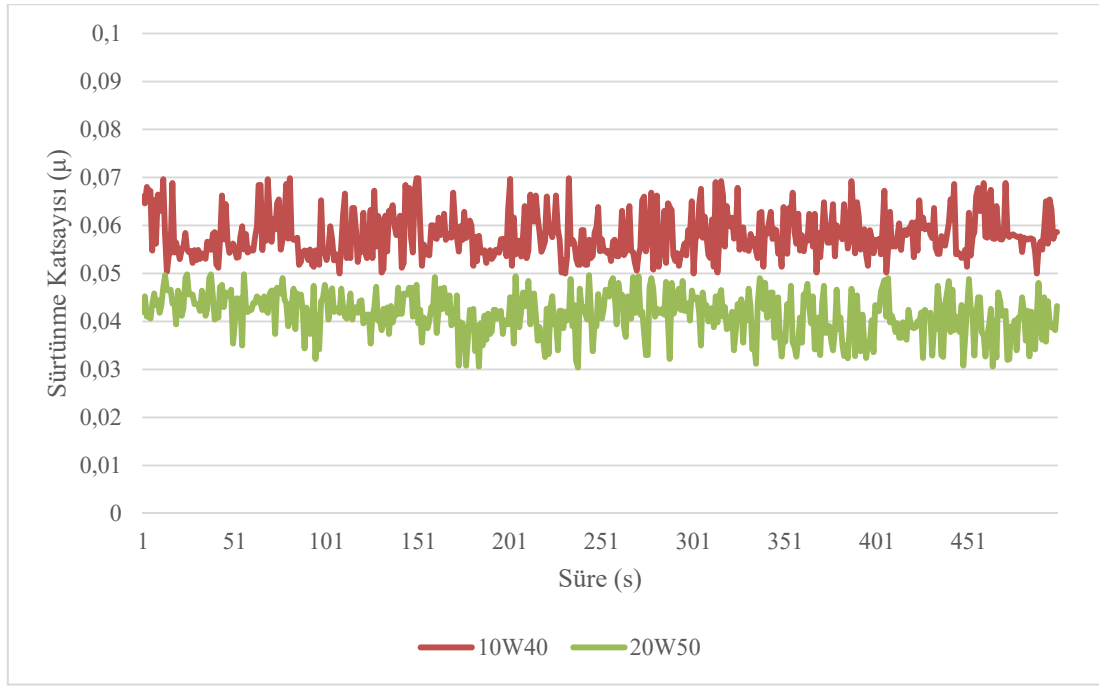
Şekil 4.15 üzerinde verilen grafikten çıkarılan ortalama sürtünme katsayısı 10W40 yağ için 0,0391 ve 20W50 yağ için 0,0419 olarak tespit edilmiştir. 20W50 ve 10W40 yağlayıcıların sürtünme katsayısı ortalaması bir birine çok yakınsak çıkmış olmasına rağmen, N1 numunesinin alaşım yapısında aşınmayı azaltan yağ 10W40 olmuştur. Aşağıdaki çizelge ile ölçümleri alınmış olan sıcaklık değerleri ile N1 alaşımının yağlayıcılarla olan sıcaklık değerleri gösterilmiştir.

Çizelge 4.15 N1 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcı	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	22,6	23	23,2	23,3	23,4	23,5	23,6	23,7
20W50	21,6	22,5	22,9	23	23,2	23,9	24	24,3

Çizelgede gösterildiği üzere sıcaklık artışı N1 için en fazla 20W50 yağda oluşmuştur. Ağırlık değişimi 10W40 yağda 0,001 g ve 20W50 yağda 0,001 g olmuştur.

N2 numunesinin 1200 devir/dakika'da 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri yapılarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.16'de gösterilmiştir.



Şekil 4.16 N2 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayı ortalaması 10W40 yağ için 0,0579 ve 20W50 yağ için 0,0420 olarak tespit edilmiştir. N2 numunesinin aşınım yapısında aşınmayı azaltan yağ 20W50 yağ olmuştur.

Çizelge 4.16 N2 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcı	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	22,3	23,2	23,3	23,4	23,8	24,1	24,2	24,4
20W50	21,6	22,5	22,7	23	23,2	23,9	24	24,3

Çizelgede gösterildiği üzere sıcaklık artışı N2 için en fazla 10W40 yağda oluşmuştur. Ağırlık değişimi 20W50 yağda 0,001 g olup 10W40 yağda ağırlık kaybı oluşmamıştır.

N3 numunesinin 1200 devir/dakika'da 10W40 ve 20W50 yağ ile sürtünme testleri yapılarak sürtünme katsayısı değişimi Şekil 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.17 N3 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla sürtünme katsayısı değişimi.

Sürtünme katsayı ortalaması 10W40 yağ için 0,0634 ve 20W50 yağ için 0,0626 olarak tespit edilmiştir. N3 numunesinin aşınım yapısında aşınmayı azaltan yağ 20W50 yağ olmuştur. Şekil üzerinde gösterildiği üzere N3 numunesinde sürtünme katsayısı birbirine çok yakın çıkmaktadır.

Çizelge 4.17 N3 numunesinin 1200 devir/dakika'da farklı yağlarla zamana bağlı sıcaklık değişimi (°C).

Yağlayıcı	1.dk	2.dk	3.dk	4.dk	5.dk	6.dk	7.dk	8.dk
10W40	23,5	24	24,8	25,5	25,9	26	26,1	26,6
20W50	20,5	21,1	21,6	21,8	22,2	22,4	22,5	22,7

Çizelgede gösterildiği üzere sıcaklık artışı N3 için en fazla 10W40 yağda oluşmuştur. Sürtünme katsayısının yüksek olmasına bağlı beklenen bir durumdur. Ağırlık değişimi 20W50 yağda 0,002 g ve 10W40 yağda ağırlık kaybı 0,001 g olmuştur.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Aşınma test sonuçları incelendiğinde uygulanan yükün miktarına göre malzeme seçiminin aşınmaya etkisi yüksek olduğu ve buna göre kullanılacak yağların tespitinin önemli olduğu görülmektedir.

Sürtünme katsayısına direkt olarak etki eden alaşım elementlerinden silisyum ve bakırın alaşım oranları malzeme yüzeyindeki sürtünme katsayısını değiştirmektedir. Bu bilgilere göre sürtünme katsayısının azaltılması için silisyum miktarının artırılması gerekmektedir.

Sıcaklık artışı ile beraber numune kütlesinin azaldığı görülmüş ve böylelikle sıcaklığın aşınma üzerinde etkisi olduğu tespitine varılmıştır.

1200 devir/dakika hızında sürtünme katsayılarında artış net olarak görülmektedir. Buna göre devir sayısı arttırıldığında alınan yol artışına bağlı olarak aşınmanın artacağı tespitine ulaşılmıştır.

Numunelerin kimyasal özelliklerine bağlı olarak aşınma miktarları değişimi gerçekleştiği gözlemlenmiştir. N3 numunesinde aşınmanın daha yüksek meydana gelme nedeni bakır oranının diğer numunelere göre yüksek olması ve N1 numunesinin daha az aşınmasının literatüre göre silisyum oranının diğer numunelere göre yüksek olmasıdır.

Yağlayıcıların değişimine bağlı olarak 10W40 yağın yüksek sıcaklıklarda çalıştığı ancak yüksek ağırlıklarda performans ve veriminin düştüğü, 20W50 yağın yüksek ağırlıklarda sürtünme katsayısını daha fazla düşürdüğü tespitine varılmıştır. Düşük viskoziteli yağların ağır yükler altında dayanımının düştüğü ve sürtünme katsayısının buna bağlı olarak yüksek çıktığı gözlemlenmiştir.

Yapılan deneyler incelendiğinde aşınmanın değişme faktörü olarak, sıcaklık, alaşımlı alüminyum, devir sayısı ve sürtünme yağlayıcısı viskozitesine bağlı olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Bu bilgiler ve testlerin ışığında her malzemenin alaşım yapısına göre ve yüke göre yağ çeşitlerinin seçilmesi gerektiği bilgisine ulaşılmıştır.

6. KAYNAKLAR

- Ahlatçı H, 2003, Alüminyum-Silisyum Karbür Kompozitlerin Mekanik Özelliklerine ve Aşınma Davranışına Takviye Boyutunun ve Matris Bileşiminin Etkisi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Akın L, 2018, Dizel Yakıt Pompası Kam Takip Mekanizmasının Tribolojik Özelliklerinin Geliştirilmesi, Ege Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İzmir.
- Akkurt M, 1990, Makine Elemanları , Birsen Yayınevi, 1, 280-281, İstanbul.
- Aktaş H, 2007, Alüminyum Matrisli Alüminyum Oksit Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Mekanik Alaşımlama Yöntemiyle Üretimi ve Kuru Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Andersson P, 1992, Water-Lubricated Pin-On-Disc Tests With Ceramics, 154, 37-47.
- Bayındır M K, 2009, Katı Parçacık Erozyon Aşınmasının Alüminyum Alaşımları Üzerindeki Etkisinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Konya.
- Bedir F, Ögel B, Köksal F, 2004, Sıcak Presleme Yöntemi ile Al-Cu-Sicp Kompozitlerin Üretimi ve Aşındırıcı Özelliklerinin İncelenmesi, Savunma Bilimleri Dergisi, 3, 72-82.
- Broszeit E, Matthes B, Herr W, 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.
- Çakır E, Tunay R F, 2014, Pim-Disk Deney Seti Tasarımı ve İmalatı. Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, 48.
- Callister W D, Retwisch D G, 2014, Malzeme Bilimi Ve Mühendisliği, Nobel Akademik Yayıncılık.
- Cueva G, Sinatora A, Guesser W L, Tschiptschin A P, 2003, Wear Resistance of Cast Irons Used In Brake Disc Rotors. 255, 1256-1260.

- Deveci C, 2019 Otomotiv Endüstrisinde Kullanılan Alüminyum Alaşımı Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Karakteristiklerinin Deneysel Olarak İncelenmesi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.
- Elleuch K, Fouvry S, 2002, Wear Analysis of A357 Aluminium Alloy Under Fretting, 253, 662-672.
- Gibso P R, Clegg A J, And Das A A, 1984, Wear Of Cast Al-Si Alloys Containing Graphite, 95, 193-198.
- Gültaş A, 1998, Aşınma Deney Aparatının Tasarımı Üretimi ve Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının Deneysel Olarak İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Haque M M, 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, Mehrabian R, 1982, Composites of Aluminium Alloys, Fabrication and Wear Behaviour, Journal of Materials Science, 17, 477-498.
- Jasim K M, Dwarakadasa E S, 1987, Wear In Al-Si Alloys Under Dry Sliding Conditions, 119, 119-130.
- Kahya K, 2017, Otomotiv Fren Balatalarında Farklı Bağlayıcı Malzeme Kullanımının Frenleme Performansına Etkisinin Araştırılması, Mersin Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Mersin.
- Karabaşoğlu M, 2008, Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Kılıç E F, 2007 Alüminyum Alaşımlı Sic Parçacık Takviyeli Kompozitlerin Toz Metalurjisi Yöntemiyle Üretimi Ve Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Kızılaslan K, 2007, Dişliler İçin Yüzey Yorulması Test Cihazı Geliştirilmesi ve Yağ Viskozitesinin Etkisinin Araştırılması, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Afyonkarahisar.

- Koç E, 2006, Makina Elemanları, Nobel Yayınevi, 2, Adana.
- Koçer T, 2002, Basınçlı İnfiltrasyon Yöntemiyle Üretilen Al₂O₃ ve Sic Partikül Takviyeli Al-Mg Metal Matrisli Kompozitlerin Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Lingala S, Jayne D, Ernst F, 2018, Alüminyum Alaşımının Çeliğe Karşı Tribolojik Davranışı Üzerine Yağlayıcı Katkı Maddelerinin Etkisi, Uluslararası Malzeme Araştırmaları Dergisi, 109, 789-802.
- 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, 267, 545-549.
- Mindivan H, 2007, Silisyum Karbür Takviyeli Alüminyum Matris Kompozitlerin Tribolojik Davranışlarının İncelenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, İstanbul.
- Mutlu İ, Eldoğan O ve Fındık F, 2005, Seramik Katkılı Otomotiv Fren Balatalarının Üretimi ve Frenleme Özelliklerinin Araştırılması, Endüstriyel Yağlama ve Triboloji, 57, 84-92.
- Natarajan N, Vijayarangan S, 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 İncelenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Öztürk M, 2018, Bor Minerali Atığı Katkılı Polipropilen Kompozit Malzemelerin Mekanik Ve Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya.
- Özyürek D, Kibar E, Yılmaz R, 2009, Toz Metalurjisi ile Üretilen A356 Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 5. Uluslar Arası İleri Teknolojiler Sempozyumu, 2009, Karabük, 963-967.

- Prasad S V, Asthana R, 2004, Aluminum Metal-Matrix Composites for Automotive Applications, Tribological Considerations, Tribology Letters, 17, 445
- Prasad S V, 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 İncelenmesi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Trabzon.
- Qiu X, Wang J Q, Tang J R, Gyansah L, Zhao Z P, Xiong T Y, 2018, Microstructure and Microhardness and Tribological Behavior of Al₂O₃ Reinforced A380 Aluminium Alloy Composite Coatings Prepared By Cold Spray Technique, Surface and Coatings Technology, 350, 391-400.
- Razavizadeh K, Eyre T S, 1982, Oxidative Wear of Aluminium Alloys, Wear, 79, 325-333.
- Salman Ö, 2011 Yağlama Yağı için Bitkisel Yağların ve Esterlerinin Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Doktora Tez, Isparta.
- Sarkar A D, 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, Batman Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Batman.
- Seyhan İ, 2018, Polyamid 6 ve Polipropilen Matrisli Kompozitlerin Farklı Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kayseri.
- Singla M, Singh L, 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, 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, Yılmaz M, 2006, Üiversal Aşınma Test Cihazı Tasarımı Ve İmalatı, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli.
- Torabian H, Pathak J P, Tiwari S N, 1994, Wear Characteristics of Al-Si Alloys, Wear, 172, 49-58.
- Venkataraman B, Sundararajan G, 1996, The Sliding Wear Behaviour of Alsic Particulate Composites Macrobehaviour, Acta Materialia, 44, 451-460.
- Yalçınkaya F, 2018, Toz Metalurji Metodu ile Üretilen Alüminyum Matrisli Ve Alümina Takviyeli Kompozit Malzemenin Abrasiv Aşınma Davranışının İncelenmesi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara.
- Yavuz İ, Mutlu İ, Çetkin A, İşel B, 2021, Effect of The Operating Temperature of Oil On Gear Teeth Surface Damages, El-Cezeri Fen ve Mühendislik Dergisi, 8, 495-503.
- Yüksel F, 2014, Alüminyum Matrisli B₄C Partikül Takviyeli Aşınma Direnci Yüksek Kompozit Malzemelerin Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- Zhang Z F, Zhang L C, Mai Y W 1995, Wear of Ceramic Particle-Reinforced Metal Matrix Composites, Journal of Materials Science, 30, 1961-1966.

İnternet Kaynakları

- 1- <http://www.merkezıyaglamasıstemlerı.com/sıvı-surtunmesi/>, 01.05.2019.
- 2- <http://www.merkezıyaglamasıstemlerı.com/sınır-surtunmesi/>, 01.05.2019.
- 3- <http://www.etialuminyum.com/urunler/ham-aluminyum-urunler/dokumhaneurunleri/>, 07.05.2019.
- 4- https://www.castrol.com/tr_tr/turkey/home/car-engine-oil-and-fluids/engine-oils/engine-oil-brands/, 20.03.2022

