



**ADHEZİF AŞINMA TEST CİHAZI
TASARIMI VE İMALATI**

Halit ERCAN

Yüksek Lisans Tezi

**Makine Mühendisliği Anabilim Dalı
Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş
DALMIŞ
2020**

T.C.
TEKİRDAĞ NAMIK KEMAL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

ADHEZİF AŞINMA TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Halit ERCAN

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

DANIŞMAN: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

TEKİRDAĞ-2020

Her hakkı saklıdır.



Bu tezde görsel, işitsel ve yazılı biçimde sunulan tüm bilgi ve sonuçların akademik ve etik kurallara uyularak tarafımdan elde edildiğini, tez içinde yer alan ancak bu çalışmaya özgü olmayan tüm sonuç ve bilgileri tezde eksiksiz biçimde kaynak göstererek belirttiğimi beyan ederim.

Halit ERCAN

İMZA

Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ danışmanlığında, Halit ERCAN tarafından hazırlanan “Adhezif Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı” başlıklı bu çalışma aşağıdaki jüri tarafından 20.01.2020 tarihinde Makine Mühendisliği Anabilim Dalı’nda Yüksek Lisans tezi olarak oy birliği ile kabul edilmiştir.

Jüri Başkanı : Prof. Dr. Serdar Osman YILMAZ

İmza:

Üye : Doç. Dr. Cihan ÖZEL

İmza:

Üye : Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ (Danışman)

İmza:

Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu adına

Doç. Dr. Bahar UYMAZ
Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ADHEZİF AŞINMA TEST CİHAZI TASARIMI VE İMALATI

Halit ERCAN

Tekirdağ Namık Kemal Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ

Malzemelerin aşınma davranışlarını belirleyebilmek amacı ile farklı uluslararası standartlar oluşturulmuştur. Yürütülen bu çalışmada farklı özelliklerdeki metalik ya da polimer malzemelerin adhezif aşınma davranışlarını belirlemek amacı ile prototip bir aşınma test makinesi tasarlanarak üretimi gerçekleştirilmiştir. Çalışmada geliştirilen aşınma test makinesi pim üzeri disk sürtünme yöntemi ile çalışmaktadır. Makine ASTM G99-17, DIN 50324 standartları göz önünde bulundurularak tasarlanmıştır.

Aşındırıcı disk 62 HRC yüzey sertliği ve 1,6 µm yüzey pürüzlülük değerine (Ra) sahip; 1.2379-X155CrVMo12-1 soğuk iş takımı çeliğidir. EN AC-43000 (AlSi10Mg) alüminyum döküm malzemedен üretilen numune ile yapılan testler ile kütle kaybı ve sürtünme katsayısı saptanmıştır. 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında genel kütle kayıpları göz önüne alındığında en az kütle kaybına maruz kalan numuneler sırasıyla 1=3<5<2<4<6'dır.

Anahtar kelimeler: Aşınma, Adhezif aşınma, Aşınma test cihazı

2020, 80 sayfa

ABSTRACT

MSc. Thesis

DESIGN AND MANUFACTURING OF AN ADHESIVE ABRASION TESTING MACHINE

Halit ERCAN

Tekirdağ Namık Kemal University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assist. Prof. Dr. İbrahim Savaş DALMIŞ

Different international standards have been established with the aim to determining wear behaviors of materials. In this study, a prototype wear test machine was designed and manufactured to determine the adhesive wear behaviors of metallic or polymer materials with different properties. In the study the wear test machine developed by pin on disc method. The machine is designed according to ASTM G99-17, DIN 50324 standards.

The abrasive disk has a surface hardness of 62 HRC and a surface roughness of 1.6 W (Ra); 1.2379-X155CrVMo12-1 is cold work tool steel. The mass loss and friction coefficient were determined by the tests made with the sample produced from EN AC-43000 (AlSi10Mg) aluminum casting material. Considering the general mass losses under a load of 1,5; 2,5 and 3,5 kg, the samples respectively exposed to the least mass loss are 1 = 3 <5 <2 <4 <6.

Key words: Wear, Adhesive wear, Wear test device

2020, 80 page

İÇİNDEKİLER

ÖZETİ

ABSTRACT	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
ÇİZELGE DİZİNİ.....	v
ŞEKİL DİZİNİ.....	vi
SİMGELER ve KISALTMALAR.....	ix
TEŞEKKÜR.....	x
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Triboloji	1
1.2. Tribolojik Sistemin Temel Unsurları	3
1.3. Aşınma	4
1.4. Aşınma Mekanizmaları.....	5
1.4.1. Adezyon (Adhezif) Aşınması	5
1.4.2. Abrasyon Aşınması	7
1.4.3. Oksidasyon (Korozyon)Aşınması.....	8
1.4.4. Yorulma Aşınması	10
1.4.5. Erozyon Aşınma	11
1.5. Aşınma Ölçüm Metotları	12
1.5.1. Ağırlık Farkı Metodu	14
1.5.2. Kalınlık Farkı Metodu	14
1.5.3. İz Değişimi Metodu	14
1.5.4. Radyoizotop Metodu	15
2. KAYNAK ÖZETLERİ.....	16
3. MATERYAL ve YÖNTEM	22
3.1. Materyal.....	22
3.1.1. Motor Sürücüsü, Elektrik Motoru ve Redüktör	22
3.1.2. Aşındırıcı Disk ve Ayna	23
3.1.3. Lineer Yataklar	23
3.1.4. Yük Hücresi (Loadcell), İndikatör ve Veri Kaydedici Yazılım (Data Logger).....	24
3.1.5. Torna Tezgâhı.....	25
3.1.6. Numune.....	26
3.1.7. Isıl İşlem Fırını	26

3.1.8. Hassas Terazî	27
3.1.9. Optik Mikroskop.....	27
3.1.10. Yüzey Pürüzlülük Ölçüm Cihazı	28
3.2. Yöntem	28
3.2.1. Aşınma Test Cihazının Amacı.....	28
3.2.2. Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve Çalışma Prensibi	29
3.2.3. Aşınma Test Cihazı İçin Numunelendirme	32
3.2.4. Sürtünme Katsayısı Hesabı.....	33
3.2.5. Aşınma Hesabı.....	34
4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA	36
4.1. Aşınma Testleri.....	36
4.1.1. Numune 1 (160°C sıcaklıkta 2 saat yaşlandırma)	36
4.1.2. Numune 2 (160°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)	39
4.1.3. Numune 3 (160°C sıcaklıkta 6 saat yaşlandırma)	41
4.1.4. Numune 4 (180°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)	44
4.1.5. Numune 5 (200°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)	46
4.1.6. Numune 6 (220°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)	49
4.2. Kütle Kaybı ve Sürtünme Katsayısı “ μ ” Grafikleri.....	51
4.3. Optik İncelemeler	54
4.3.1. Numune 1.....	54
4.3.2. Numune 2.....	55
4.3.3. Numune 3.....	57
4.3.4. Numune 4.....	58
4.3.5. Numune 5.....	60
4.3.6. Numune 6.....	61
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	64
KAYNAKLAR.....	66
EKLER	69
ÖZGEÇMİŞ	70

ÇİZELGE DİZİNİ

Çizelge 3.1. Yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri tablosu	33
Çizelge 4.1. Numune 1'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	36
Çizelge 4.2. Numune 2'nin kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	39
Çizelge 4.3. Numune 3'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	41
Çizelge 4.4. Numune 4'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	44
Çizelge 4.5. Numune 5'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	46
Çizelge 4.6. Numune 6'nın kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi.....	49



ŞEKİL DİZİNİ

Şekil 1.1. Tribolojik sistem	4
Şekil 1.2. Adhezif aşınma.....	6
Şekil 1.3. Adezyon sırasındaki metal transferi	7
Şekil 1.4. Abrazif aşınma mekanizmaları.....	8
Şekil 1.5. Korozyon aşınmasının gelişimi	9
Şekil 1.6. Yorulma sonucu yüzeyde çatlak oluşumu ve büyümesi	10
Şekil 1.7. Erozyon Aşınması	11
Şekil 1.8 Erozyon aşınması mekanizmaları.....	12
Şekil 1.9 Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi.....	13
Şekil 3.1. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen adhezif aşınma test cihazı	22
Şekil 3.2. Sırasıyla motor sürücüsü, elektrik motoru ve redüktör	23
Şekil 3.3. Adhezif aşınma makinesi mekanik elemanları (a.Tutucu kolu b.Numune tutucu, c.Yük hücresi, d.Aşındırıcı disk, e.Ayna, f.Deney ağırlığı, g.Lineer kızak ve raylar, h.Numune)	24
Şekil 3.4. Sırasıyla yük hücresi (loadcell), indikatör ve veri kaydedici yazılım (data logger).25	25
Şekil 3.5. Tezgah üstü torna makinesi	26
Şekil 3.6. Numune ölçüleri	26
Şekil 3.7. Isıl işlem fırını	27
Şekil 3.8. Hassas terazi	27
Şekil 3.9. Optik mikroskop.....	28
Şekil 3.10. Portatif yüzey ölçüm cihazı	28
Şekil 3.11. Ayna bağlantı tablası ve rulman yatağı gövdesi.....	29
Şekil 3.12. Linner ray ve kızak sistemi	30
Şekil 3.13. Tutucu kol ve denge ağırlığı mekanizması.....	30
Şekil 3.14. Numune tutucu	31
Şekil 3.15. Yük hücresi bağlama kolu	32
Şekil 3.16 Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler	Hata! Yer işareti tanımlanmamış.
Şekil 4.1. Numune 1'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı grafiği	37
Şekil 4.2. 1,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	37
Şekil 4.3. 2,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	38
Şekil 4.4. 3,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	38
Şekil 4.5. Numune 2'nin kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	39
Şekil 4.6. 1,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	40
Şekil 4.7. 2,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	40
Şekil 4.8. 3,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği.....	41
Şekil 4.9. Numune 3'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	42
Şekil 4.10. 1,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	42

Şekil 4.11. 2,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	43
Şekil 4.12. 3,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	43
Şekil 4.13. Numune 4'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	44
Şekil 4.14. 1,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	45
Şekil 4.15. 2,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	45
Şekil 4.16. 3,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	46
Şekil 4.17. Numune 5'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	47
Şekil 4.18. 1,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	47
Şekil 4.19. 2,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	48
Şekil 4.20. 3,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	48
Şekil 4.21. Numune 6'nin kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	49
Şekil 4.22. 1,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	50
Şekil 4.23. 2,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	50
Şekil 4.24. 3,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği	51
Şekil 4.25. Tüm numuneler için kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği	52
Şekil 4.26. Aşınma ağırlıkları için kütle kayıplarının numune numaralarına bağlı değişimi...	52
Şekil 4.27. Aşınma ağırlıkları için sürtünme katsayısı "μ" değerlerinin numune numaralarına bağlı değişim grafiği.....	53
Şekil 4.28. Ortalama sürtünme katsayısı "μ" değerlerinin numune numaralarına bağlı değişim grafiği	53
Şekil 4.29. Numune 1'in 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	54
Şekil 4.30. Numune 1'in 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	54
Şekil 4.31. Numune 1'in 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	55
Şekil 4.32. Numune 1'in 50x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	55
Şekil 4.33. Numune 2'nin 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	56
Şekil 4.34. Numune 2'nin 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	56
Şekil 4.35. Numune 2'nin 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	57
Şekil 4.36. Numune 3'ün 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	57
Şekil 4.37. Numune 3'ün 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	58
Şekil 4.38. Numune 3'ün 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	58
Şekil 4.39. Numune 4'ün 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	59
Şekil 4.40. Numune 4'ün 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	59
Şekil 4.41. Numune 4'ün 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri	60
Şekil 4.42. Numune 5'in 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	60
Şekil 4.43. Numune 5'in 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	61

Şekil 4.44. Numune 5'in 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	61
Şekil 4.45. Numune 6'nin 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	62
Şekil 4.46. Numune 6'nin 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	62
Şekil 4.47. Numune 6'nin 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri.....	63



SİMGELER VE KISALTMALAR

cm	: Santimetre
d/d	: Devir Bölü Dakika
F	: Kuvvet
F _{ort}	: Ortalama Kuvvet
g	: Gram
g/cm ²	: Gram Bölü Santimetre Kare
g/km	: Gram Bölü Kilometre
HRC	: Rockwell Sertlik Değeri
HP	: Horse Power (Beygir Gücü)
Hz	: Hertz
Kg	: Kilogram
kW	: Kilowatt
Lt	: Litre
m	: Metre
M	: Kütle
mm	: Milimetre
mg	: Miligram
mg/km	: Miligram Bölü Kilometre
m/sn	: Metre Bölü Saniye
N	: Newton
PLC	: Programlanabilir Mantıksal Denetleyici
Ra	: Yüzey Pürüzlülüğü Birimi
s	: Saniye
V	: Volt
μ	: Sürtünme Katsayısı
μm	: Mikrometre
°	: Derece
°C	: Santigrat Derece

TEŞEKKÜR

Tez sunumumda ve tezin hazırlanmasında, konu ile ilgili çalıőmalarımda beni yönlendiren danışmanım Sayın Dr. Öğr. Üyesi İbrahim Savaş DALMIŞ 'a, Makine Mühendisliği Bölümü öğretim elemanlarına, tasarımında ve imalatında bana yardımcı olan Doğan Mekatronik Firmasından Sayın Mecit YILMAZ ve Sayın Eőref Doğan YILMAZ'a, teőekkürü bir borç bilirim.

Ocak, 2020

Halit ERCAN

Makine Mühendisi



1. GİRİŞ

DIN 50320 ve ASTM G40-17 standartlarına göre aşınma; "kullanılan malzemelerin başka malzemeler ile (katı, sıvı veya gaz) teması neticesinde mekanik etkilerin yüzeyden küçük parçacıklar ayırması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması" şeklinde tanımlanmaktadır (Şenaysoy ve Tunay, 2014).

Tribolojik sistem içerisinde çalışan malzeme çiftinde oluşan yıpranmanın aşınma olarak isimlendirilebilmesi için, mekanik bir etki altında malzeme çiftinin birbirine göre izafi ve yavaş ancak sürekli olarak devam etmesi sonucunda malzemelerin yüzeylerindeki istenmeyen bozukluklardır (Koç, 2010).

Aşınma ve sürtünme malzeme çiftlerinin seçiminde, kullanım amacı ve yerine göre örneğin; fren balatasında sürtünmeyi artırmak amaçlanır iken motor kısmında enerji kayıplarını minimize edebilmek için sürtünmeyi azaltmak amaçlanmaktadır.

Aşınmanın ve sürtünmenin belirlenebilmesi için günümüzde birçok sistem ve standart bulunmaktadır. Bu standartların belirlenmesinde Amerikan Test ve Malzemeler Derneği (ASTM) öncü gösterilmektedir.

Bu çalışmada, malzeme seçiminin optimize edilebilmesi için ASTM G99-17 standardında pim-disk aşınma test cihazı tasarlanmış ve üretimi gerçekleştirilmiştir. Yük hücresi ile aşınma yüzeyinde oluşan sürtünme kuvvetleri saptanmaktadır. Operatör panelinde anlık olarak gözlemlenen veriler, veri kaydedici bir program sayesinde bilgisayara kaydedilip sürtünme katsayıları hesaplanmaktadır.

EN AC-43000 alüminyum döküm malzemedan elde edilen numuneler ile aşındırıcı 1.2379 soğuk iş takımı çeliği malzemesi arasında yapılan testlerde kütle kaybı belirlenmiş ve sürtünme katsayısı hesaplanmıştır.

1.1. Triboloji

Triboloji sürtünme veya kayma anlamına gelen yunan kökenli “tribos” kelimesinden türetilmiştir. Triboloji aşınma, sürtünme ve yağlama olayları ile bilimsel bilgi ve verileri inceleyen çok disiplinli bir bilim dalıdır (Soydan, 2013).

Triboloji biliminin ana konusu, birbirine göre bağıl hareket halinde olan iki yüzeyin etkileşimi esnasında ortaya çıkan sürtünme, aşınma ve bunların etkilerinin azaltılmasına yardımcı olan yağlama ve mühendislik malzemeleridir. Bir makinede birbirleriyle temas halinde çalışan birçok mekanik parça vardır. Hidrolik ve pnömatik sistemler, dişliler, rulmanlar, lineer yataklar, kamlar, miller, pistonlar, teker lastikleri, fren balataları bunlara örnek gösterilebilir. Örneklerdeki sistemlerin, mekanizmaların ve parçaların iki yüzeyi birbirleriyle etkileşim halinde ve birbirine göre bağıl hareket etmektedir (Şafak, 2008).

Triboloji alanında yapılan araştırmalar genellikle malzemelerin sürtünme katsayısının ve aşınma mekanizmalarının belirlenmesi, sürtünme ve aşınmaya neden olan yüzeylerin birbiriyle temaslarını engelleyecek yağlarının seçilmesi gibi konuları içermektedir. Ancak her durumda sistemin sürtünmesinin ve aşınmasının azaltılması istenmemektedir; fren balatalarında sürtünme katsayısını yüksek olması istenirken aynı zamanda aşınma oranının düşük olması istenilmektedir ve silgilerde ise aşınmanın yüksek tutulması buna örnektir (Stachowiak ve Batchelor, 2004).

Triboloji alanında geliştirilen malzeme çifti seçimi için tasarlanan aşınma test cihazları, kayganlaştırıcı ve sürtünmeyi önleyici yağlardaki iyileştirmeler sonucunda; parçaların bakım masraflarında azalma, yedek parça giderlerinde azalma, sistem ve parça ömrünün uzaması, düşük sürtünme direnci sebebiyle enerji tasarrufu ve ekolojik sistem üzerindeki olumsuz etkilerin azaltılması gibi kazanımlar sağlanmaktadır (Olçay ve Özlem, 2014).

Triboloji biliminin 3 temel ögesi bulunmaktadır.

- I. Sürtünme,
- II. Aşınma,
- III. Yağlama.

Triboloji bilimi malzeme çiftlerinin birbirine göre izafi hareketi sonucunda sürtünme katsayılarını ve aşınma oranlarını belirleyerek, uygun yoğunluktaki yağın sisteme entegre edilmesiyle sistem verimliliğini artırmayı amaçlamaktadır (Olçay ve Özlem, 2014).

1.2. Tribolojik Sistemin Temel Unsurları

Aşınma, tribolojik sistemin unsurlarının bir araya gelmesiyle oluşmaktadır. Tribolojik sistemin unsurları 6 ana başlıkta değerlendirilmektedir. Unsurların bir kaçı aşınmayı gerçekleştirirken bazısı da aşınmanın başlayabilmesi için gereklidir. Şekil 1.1'de şematik olarak verilen bu unsurlar şunlardır (Tekin, 2015):

1. Esas Sürtünme Elemanı: Fiziksel ve kimyasal özellikleri (sertlik değeri, içerisindeki element ve bileşik oranı vs.), yüzey yapısı, pürüzlülüğü, şekli, boyutları belirli olan ve aşınması incelenen katı cisimdir.

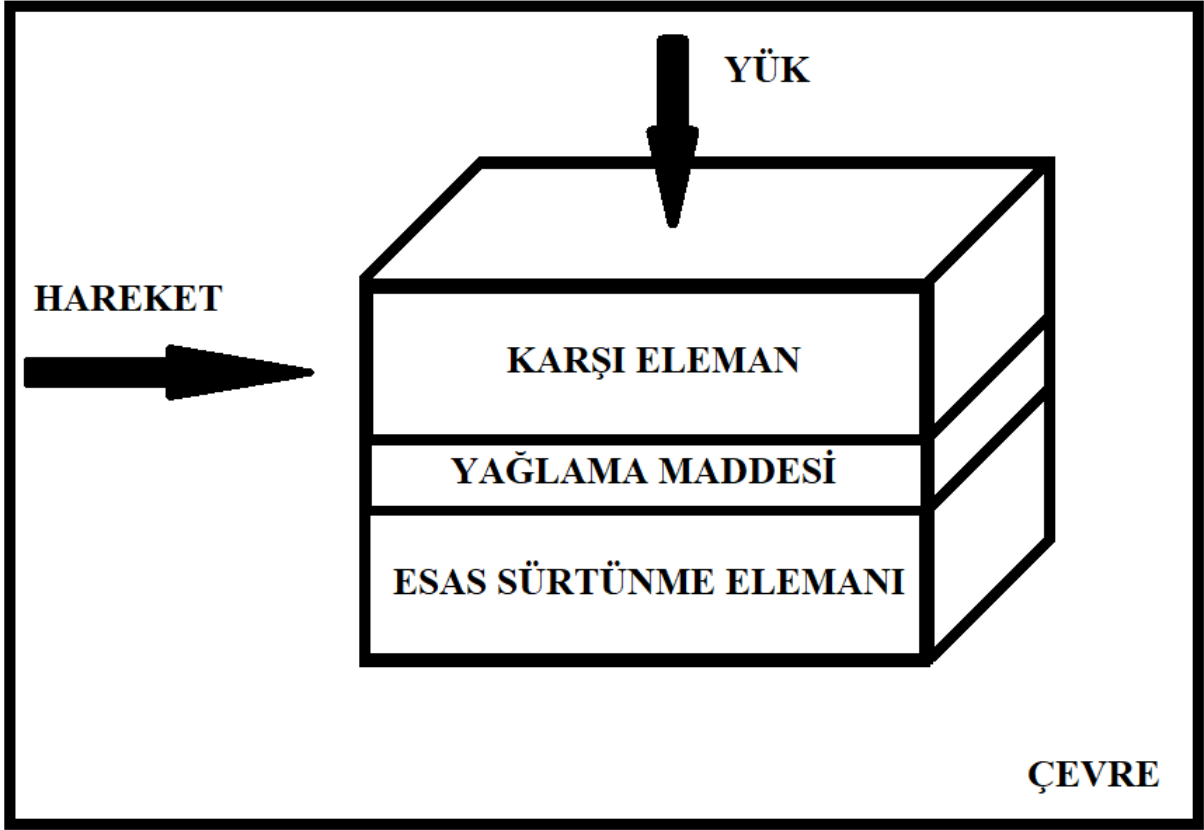
2. Karşı Sürtünme Elemanı: Katı, sıvı veya gaz halinde olabilmektedir. Karşı sürtünme elemanı ile temel sürtünme elemanı bir aşınma çifti oluşturmaktadır. Sürtünme katsayısının belirlenmesinde etkilidir.

3. Ara Maddesi: Temel sürtünme elemanı ile karşı sürtünme elemanı arasında katı, sıvı, gaz, buhar veya bunların karışımı şeklinde bir cisim bulunabilmektedir. Örneğin; aşınma esnasında yüzeylerden kopan parçacıklar da (eğer bunlar yüzey arasında kalıyorsa) ara maddesi olarak düşünülebilir. Genellikle yağlama maddesi olarak sistemde bulunmaktadır.

4. Çevre: Ortam sıcaklığı, nem miktarı, ortam basıncı gibi çevresel faktörler çevre koşullarını belirlemektedir.

5. Yükleme: Etki eden yükün (kuvvetin) büyüklüğü, şekli (statik, dinamik, darbeli, titreşimli vs.) doğrultusu ve zamana göre değişimi yüklemeyi meydana getirmektedir.

6. Hareket: Temel sürtünme elemanının karşı sürtünme elemanına göre bağlı hareketinin cinsi (kayma, yuvarlanma, çarpma vs.) büyüklüğü, doğrultusu ile verilmektedir. Aşınma miktarının belirlenmesinde hareket süresi önemli bir etkidir. Aşınmanın oluşabilmesi için gereklidir.



Şekil 1.1. Tribolojik sistem

1.3. Aşınma

Birbirine göre bağıl hareket yapan ve temas eden cisimlerde oluşan sürtünmeler sonucu, malzeme çiftinin yüzeylerindeki istenmeyen malzeme kaybına aşınma denilmektedir (Akkoyunlu, 2008).

Sistemdeki aşınmanın başlaması ve sürekliliği için sürtünme olmalıdır. Sürtünen iki cismin temas alanı, çıplak göz ile görünen temas alanından küçüktür. En hassas imalat yöntemlerinde dahi işlenen malzemelerin yüzeyini düz ve pürüzsüz işlemek mümkün değildir. Ancak uygun yüzey tolerans değerlerinde imalatı gerçekleştirilir. Yüzeyi elde etmede kullanılan kesici ve yontucu araçlar ne kadar itina ile hazırlanırsa hazırlansın, işlem sonucu elde edilen yüzey üzerinde mutlaka belirli büyüklükte pürüzlülük, yani yüzeyde birkaç mikron yüksekliğinde mikroskobik pürüzler bulunmaktadır (Yılmaz, 2012).

Mikroskobik pürüzlerin teması neticesinde sürtünen makine elemanları giderek aşınır ve fonksiyonlarını uygun şekilde yerine getiremez hale gelmektedir. Aşınma, malzemelerin başka malzemeler ile (katı-sıvı-gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların kopması sonucu meydana gelen ve istenmeyen yüzey bozulması şeklinde de tanımlanmaktadır (Akkoyunlu, 2008).

Aşınma, tasarım aşamasındaki makine, birbiri ile temas halinde olan parçalar ve standart elemanların seçiminde büyük önem teşkil etmektedir. Birbiri ile çalışan yüzeylerde meydana gelen sürtünmeden dolayı güç kayıpları olmaktadır, bunun sonucunda makine verimliliği azalmaktadır ve uzun süreli devam etmesi durumunda makine parçalarının işlevselliğini yitirmesine neden olmaktadır. Tasarımı ve üretimi esnasında ön görülmeyen aşınma mekanizmaları, makine parçaları çalışma toleransından çıkartarak bütün sistemin dağılması gibi büyük maliyetlere neden olmaktadır. Aşınmış ve dolayısıyla kullanılamaz duruma gelmiş parçaların yenilerinin alınması ya da üretilmesi ek bir maliyet ve ek zaman gereksinimi getirmektedir (Timur, 2014).

Aşınma, dış etkiler altında oluşan fiziksel ve kimyasal değişikliklerin sonucu olarak ortaya çıktığından, pratikte bir aşınma hali değil, birçok aşınma halleri başka bir deyişle aşınma mekanizmaları bulunmaktadır. Bunlar adezyon (adhezif) aşınması, abrazyon (abrazif) aşınması, erozyon aşınması, yorulma aşınması, mekanik korozyon aşınması olmak üzere sıralanmaktadır. Bu mekanizmalar, aşınan yüzeylere uygulanan yük, aşındırıcı parçacığın boyutu, türü, temas şekli ve temas geometrisi gibi etkenler dikkate alınarak sınıflandırılmıştır (Anderson, 1995).

1.4. Aşınma Mekanizmaları

1.4.1. Adezyon (Adhezif) Aşınması

Adhezif aşınma kayma ve yapışma aşınması olarak da bilinen bir aşınma türüdür. İki katı cismin yağlı veya yağsız ortamda, bir normal kuvvet etkisi altında izafi hareketi sonucu kayma teması ile oluşmaktadır. Cisimlerin gerçek temas yüzeylerinin, yüzey pürüzlüğü sebebiyle göz ile görünenden daha küçük olduğu için, bu noktalardaki gerilmeler küçük yüklemeler altında dahi akma gerilmesi sınırına erişirler, bu temas noktaları kayma gerilmesi etkisi altında kesilmektedir. Bununla birlikte aşınan yüzeyden kopan parçalar aşındırıcı yüzeye yapışmaktadır. Kayma devam ettiği takdirde aşındırıcı yüzeye yapışmış olan parçalar

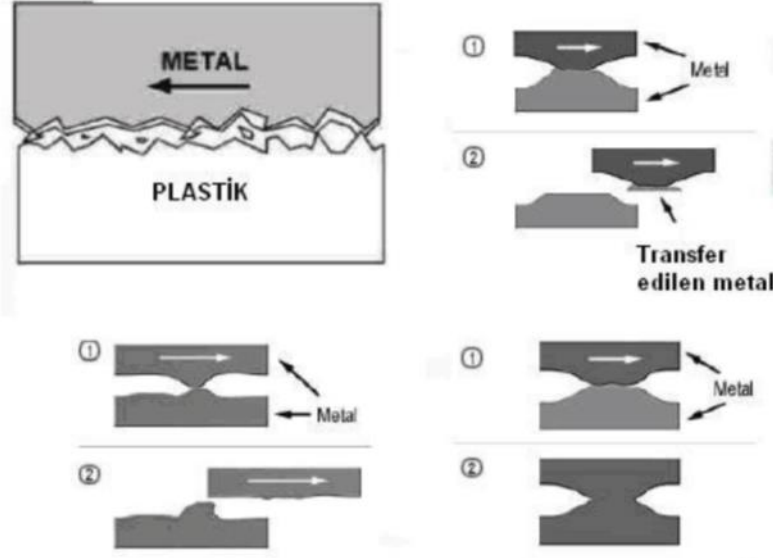
yeniden koparak, aşınmakta olan yüzeye yapışmakta veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma tanecikleri oluşmaktadır (Bhushan, 2003).

Birbiri ile temas halinde çalışan iki metal parçanın bastırılması halinde parçaların yüzeyleri yüksek noktalarda temas etmektedir. Bu durumda temas noktalarında yüksek basınçlar meydana gelmektedir. Bu yüksek basınç nedeniyle metaller akma sınırına ulaşırlar ve temas bölgelerinde mikro kaynaklar oluşmaktadır. Mikro çıkıntılar zamanla birbirini aşındırarak atomlar arasında bağ yapacak kadar mesafeye gelmektedir. Bu noktalarda soğuk mikro kaynaklanmalar oluşmaktadır (Şekil 1.2). Temas yüzeyleri birbirine göre izafi hareket ederlerse mikro kaynaklar kırılır. Diğer bir deyişle mekanik gerilmeler sürtünme elemanı olan malzemenin akma sınırını aştığında yüzey plastik deformasyona uğramaktadır. Birbirlerinin yüzeylerinden çok ufak talaş taneleri kopartmaktadırlar, özellikle de yumuşak yapıya sahip malzemedeki kopmaktadır. Bu şekilde meydana gelen aşınma adezyon aşınması olarak adlandırılmaktadır (Akkoyunlu, 2008).



Şekil 1.2. Adhezif aşınma

Malzeme çiftleri arasında özellikle metalik malzemelerde büyük adezyon aşınmaları meydana gelmektedir. Çeşitli metal kombinasyonlarında yapılan aşınma testleri sonucunda metallerde adhezif aşınmanın malzeme çiftindeki yumuşak malzemedeki sert malzemeye kaynak noktasında transfer olduğunu şekil 1.3'te gösterilmektedir (Akkoyunlu, 2008).



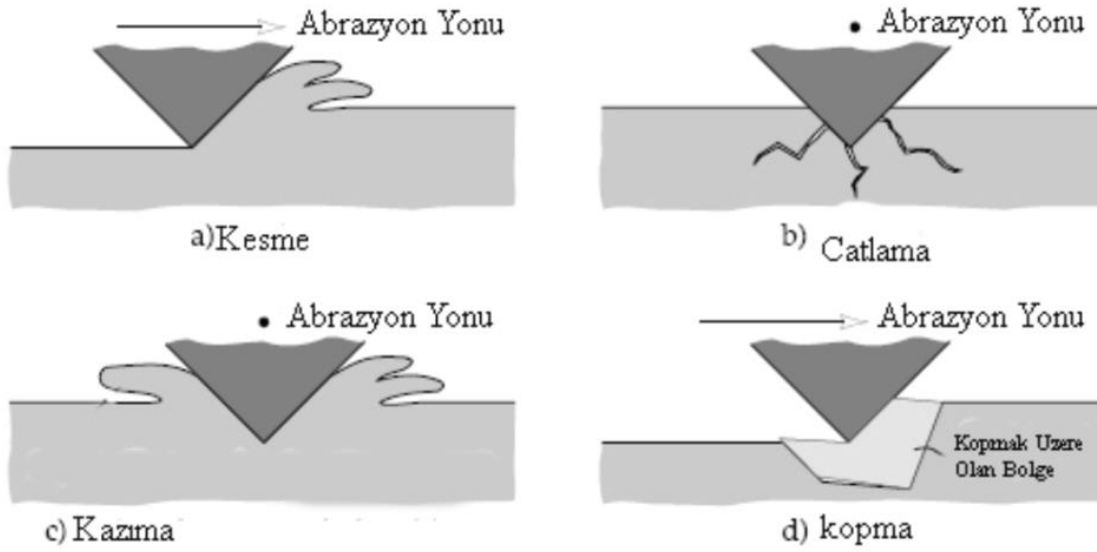
Şekil 1.3. Adezyon sırasındaki metal transferi

1.4.2. Abrazyon Aşınması

Abrazif aşınma, yırtılma veya çizilme aşınması olarak da adlandırılmaktadır. Bu aşınma genel olarak, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan partiküllerle basınç altında etkileşip sert partiküllerin malzeme yüzeyinden parça koparması şeklinde gerçekleşmektedir (Akkurt, 1990).

Abrasif aşınma için iki genel durum bulunmaktadır. Birinci durumda, iki cisimli abrazyon sert yüzey iki sürtünen yüzeyin daha sert olanıdır. Bu duruma örnekler öğütme kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmalarıdır. İkinci durum, üç cisimli abrazyon sert yüzey üçüncü bir cisimdir, genellikle küçük abrazyon partiküllerdir, diğer iki yüzey arasında bulunur ve yüzeylerden birini veya ikisini de aşındırabilmektedir. Buna örnek serbest abrazyon alıştırma ve parlatmadır. Birçok durumda başlangıçta aşınma mekanizması adhezifdir. Adhezif aşınmada aşınma partikülleri oluşur, bu partiküller ara yüzeyde sıkışır ve üç cisimli abrazyon aşınmaya neden olmaktadır (Çelikyürek, 2006).

Abrazif aşınma mekanizmaları (Şekil 1.4) genel olarak malzemenin cinsine ve yüzey yapısına bağlı olarak dört başlıkta toplanmaktadır. Bunlar; kesme, çatlama, kazıma(sürtme), kopma olarak sınıflandırılmaktadır (Akkoyunlu, 2008).



Şekil 1.4. Abrazif aşınma mekanizmaları

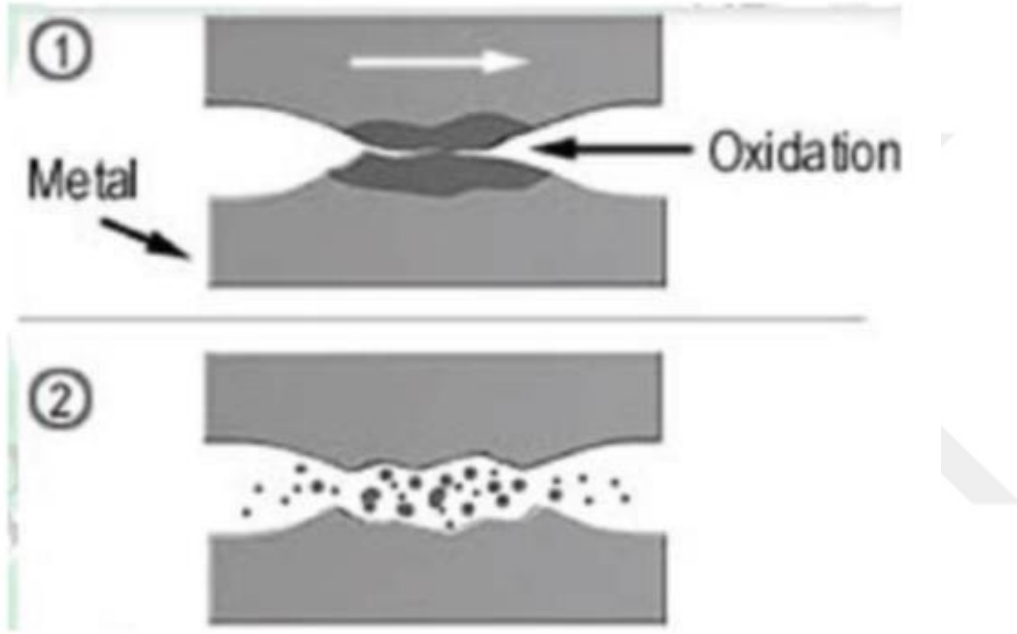
Kesme aşınmasında keskin şekilli uç veya parçacıklar kendine göre daha yumuşak olan yüzeyden talaş halinde malzeme kaldırmaktadır. Aşınan malzemenin kırılğan yapıda olması durumunda (ör. Seramik) ise çatlama meydana gelmektedir. Eğer aşındırılan malzeme yumuşak bir malzemeyse ve keskin köşeli olmayan aşındırıcılarla aşındırılıyorsa, kesme olayı gerçekleşmez ve aşınma yüzeyi birçok kez deforme olmaktadır. Bu durum kazıma ya da sürtme olarak adlandırılır ve aşınma atığı metal yorulması sonucu oluşmaktadır (Akkoyunlu, 2008).

1.4.3. Oksidasyon (Korozyon) Aşınması

Temas yapısı farklı tabakaların oluşması ve sürtünme hareketi ile bu tabakaların parçalanıp yüzeylerinde oluşan mekanik yıpranmaların ayrıca kimyasal ve elektro kimyasal deformasyonların oluşmasına korozyon denilmektedir. Metal veya metal alaşımlarının çevreleri ile (katı, sıvı ve gaz ortamlar) kimyasal veya metalürjik ilişkiden dolayı yüzeylerinde aşınma sonucu meydana gelen hasara korozif aşınma denilmektedir (Yılmaz, 2012).

Korozif aşınma, reaksiyon tabakası aşınması veya kimyasal aşınma olarak da adlandırılmaktadır. Korozyon, dışardan enerji girdisine gerek olmadan, metalik malzemelerin içinde buldukları tribolojik ortamla reaksiyona girmeleri sonucu, kendiliğinden meydana gelmektedir (Akkoyunlu, 2008).

Özellikle korozyon sıvı ve gazlarla temas halinde bulunan malzemelerde bu kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar neticesinde malzeme yüzeylerinde reaksiyonlar oluşmaktadır. Bu reaksiyon yüzeye güçlü bir şekilde bağlandığında yüzey üzerinde ince ancak sert bir tabaka oluşmaktadır. Bu sert tabaka neticesinde esas malzemenin aşınma mekanizmasında değişiklikler meydana gelmektedir. Değişken yük altında bu sert tabaka parçalanır ve sert parçacıklar kırılarak aşınma parçacıklarını meydana getirirler. Temiz kalan temas yüzeylerinde reaksiyon sonucu olarak tekrar bir sert tabaka oluşur, yük altında yeniden kırılır ve olay bu şekilde süre gelmektedir (Kato ve Adachi, 2001).



Şekil 1.5. Korozyon aşınmasının gelişimi

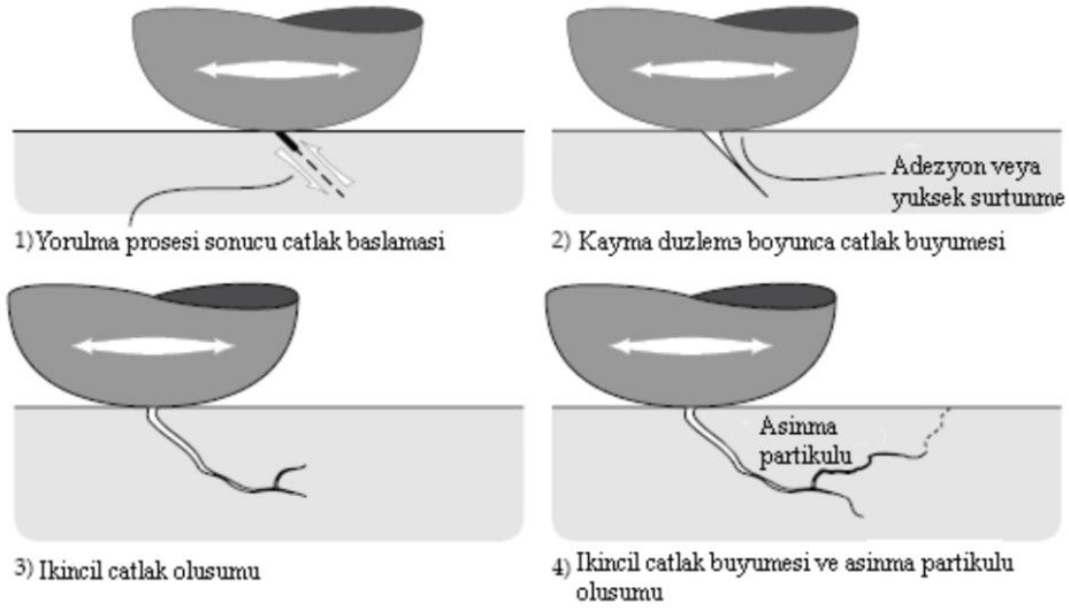
Şekil 1.5'te dayanıklı bir korozyon filmi görülmektedir. Pratikte çok az korozyon filmi dayanıklı yapı göstermektedir, pek çoğu kayma temasları neticesinde çok çabuk kırılabilen oksit veya diğer kırılabilir bileşikler içerir. Bunun sonucu olarak da korozyon tabakası parçalanmaktadır. Korozyon tabakasının parçalanması neticesinde oluşan aşınma parçacıklarının etkisiyle esas malzeme yüzeyinde abrazif aşınma meydana gelmektedir ve son safhada korozyon tabakası tamamen yüzeyden ayrılmaktadır. Korozyon aşınmasını engellemek için malzeme yüzeylerine ısıtma işlemi uygulanır ve oksidasyon önleyici özel yağlayıcı maddeler kullanılmaktadır (Akkoyunlu, 2008).

1.4.4. Yorulma Aşınması

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlanmalar altında ve diğer aşınma türlerinde olduğu gibi yorulma aşınmasında da zamanla meydana gelmektedir. Bu olay daima yüzeyden başlar, mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları oluşmaktadır. Bu olay esnasında iç yapıda parçalanmalar ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi kopmalar, ayrılmalar oluşmaktadır (Yılmaz, 2012).

Genellikle dişli çarklar, kamlar, rulmanlar gibi makine elemanlarında yuvarlanma hareketi yapan parçaların yüzeylerinde oluşur ve zamana bağlı yorulma sonucu zararlı hale gelmektedir (Karabaşoğlu, 2008; Timur, 2014)

Şekil 1.6'da önce ana malzemenin yüzey çatlakları oluşmakta, bir süre sonra küçük parçalar kopmakta ve bunun sonucunda malzemede yorulmaya bağlı olarak çukurcuklar oluşmaktadır (Akkoyunlu, 2008).



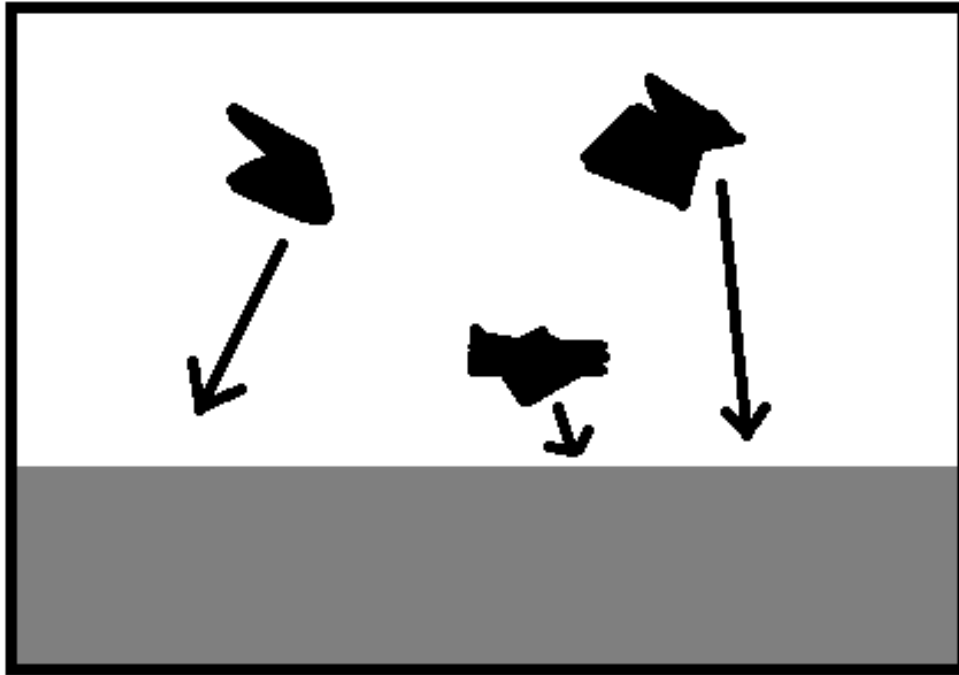
Şekil 1.6. Yorulma sonucu yüzeyde çatlak oluşumu ve büyümesi

Değişken tekrarlı yüklemeler sonucunda maksimum kayma gerilmelerinin bulunduğu yerlerde plastik deformasyon ve dislokasyona bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelir, bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerler ve büyür, yüzeyde küçük çukurların ortaya çıkmasına sebep olurlar, buna yorulma aşınması denilmektedir (Kato ve Adachi, 2001).

Yorulma aşınmasını önlemek için yüksek kayma ve basma mukavemetine sahip malzemeler kullanılmalı ve yüzeyler sertleştirilmelidir (Akkoyunlu, 2008; Stachowiak ve Batchelor, 2004).

1.4.5. Erozyon Aşınma

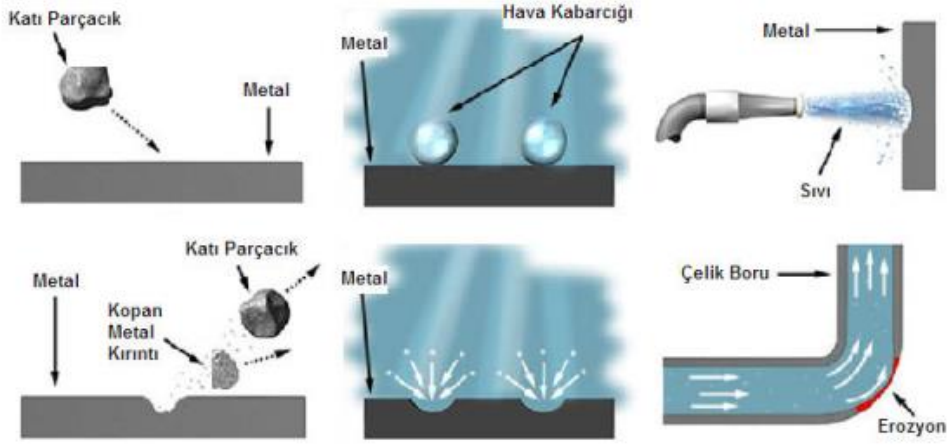
ASTM G76–95 standardında; katı parçacıkların (aşındırıcı), bir yüzeye (aşınan) belirli bir hız ile çarpması durumunda yüzeyin üst katmanında oluşan malzeme kaybı erozyon aşınması olarak şekil 1.7’de tanımlanmaktadır. Ayrıca bir akışkan içerisinde hareket eden sert parçacıkların, malzemenin üst katmanından yüksek hızlarda kaymasına ve yuvarlanmasına bağlı olarak çok sayıda parçacığın ayrılması sonucunda erozyon aşınması meydana gelmektedir (Bağcı, 2010).



Şekil 1.7. Erozyon Aşınması

Erozyon aşınması; aşındıran ve aşınan malzeme türü, çarpışma açısı, aşındırıcı parçacık büyüklüğü ve çarpışma hızına bağlı olarak farklı mekanizmalarla ortaya çıkarmaktadır (Bhushan vd., 2001; Akkoyunlu, 2008).

Bu mekanizmalar şekil 1.8’de gösterilmektedir (Bağcı, 2010).



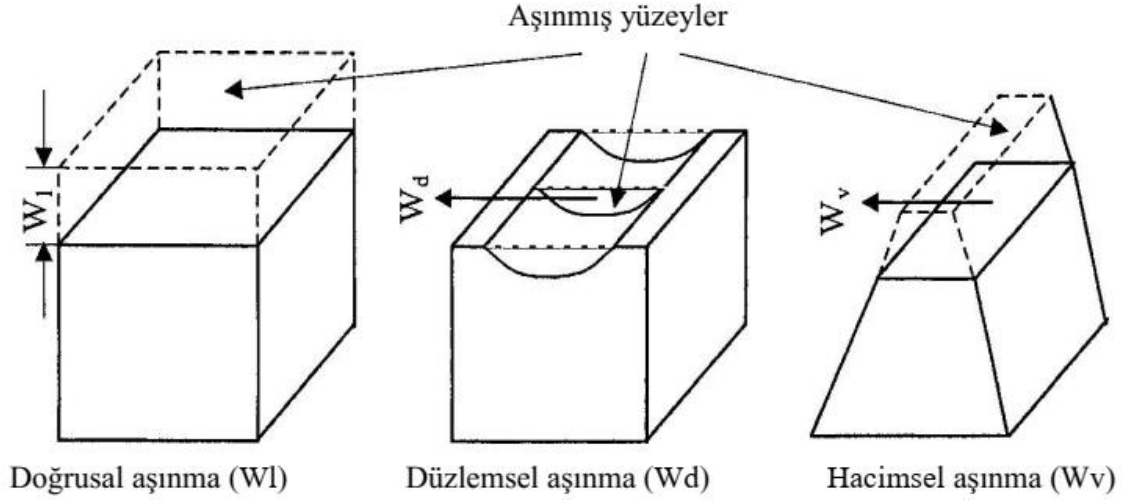
Şekil 1.8 Erozyon aşınması mekanizmaları

Katı, sıvı, gaz veya bu maddelerin birleşimi sonucunda makine parça ve elemanlarının yüzeylerinde oluşan çizik, çatlak, kavitasyon, oyuk ve çukurcuk şeklindeki olumsuzluklarda erozyon aşınması önemli etkiye sahiptir. Yüzeylerde bu olumsuzlukların ortaya çıkmasında birçok parametre bulunmaktadır. Bu parametrelerin başında esas malzeme özellikleri, aşındırıcı partikül özellikleri, çalışma parametreleri ve çevresel faktörler gelmektedir (Bağcı, 2010).

Aşındırıcı parçacıkların hızı erozyon aşınması üzerinde çok büyük etkiye sahiptir. Eğer hız erozyon aşınması için yetersiz ise çarpma anındaki gerilmeler plastik deformasyon sınırının altında kalır bu durumda aşınma türü değişir ve yüzey yorulması şeklinde gerçekleşmektedir. Hız yükseldiğinde elastik deformasyon sınırını geçerek plastik deformasyon oluşmaktadır. Eğer aşındırıcı parçacıklar küresel veya yuvarlak geometrili ise yüksek hızlarda aşırı plastik deformasyon oluşur, parçacıklar sivri ve köşeli geometriye sahipse kesme veya kırılma meydana gelmektedir (Akkoyunlu, 2008).

1.5. Aşınma Ölçüm Metotları

Malzeme kaybı olarak tanımlanan aşınmanın ölçümü, yüzeyleri temas halinde olan parçalardan birinde veya her ikisindeki hacim ya da ağırlık kaybı esas alınarak yapılmaktadır. Aşınma verileri doğrudan veya dolaylı ölçümler ile saptanmaktadır. Aşınma deneyinde kullanılan deney sistemine bağlı olarak Şekil 1.9’da doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınma şematize edilmiştir (Timur, 2014).



Şekil 1.9 Doğrusal, düzlemsel ve hacimsel aşınmanın belirlenmesi

Endüstride kullanılan alet ve ekipmanlarda aranan özelliklerden bir tanesi de servis ömürleridir. Makine parçalarının çabuk aşınması makine verimlilik ve ömrünü azaltarak maliyetini artırdığı gibi, bakım ve onarım için geçen süre de üretimin sekteye uğramasına neden olmaktadır. Bu sebeple makine imalatında aşınmaya maruz kalabilecek yerlerde birbirine göre aşınma direnci yüksek malzeme çifti kullanılmaktadır (Soydaş, 2006).

Uygun malzeme çiftinin tespiti için birçok laboratuvar deneylerinin yapılması gereklidir. Laboratuvar şartlarında yapılan deneylerde, ana malzemenin standart bir modeli ile çalışılmaktadır. Bu model, basit geometrik şekle sahip olup, fazla bir masrafa gerek kalmadan üretilmektedir. Deney cihazına takılarak her türlü aşınma ölçme işlemleri bunun üzerinde yapılmaktadır. Aşınma deney yöntemleri genel olarak iki ana başlıkta toplamaktadır (Soydaş, 2006).

- Yağlamalı veya kuru bir ortamda ana ve karşı malzemenin adhezif (metal-metal) aşınma değerlerinin ölçüldüğü deneylerdir.
- Katı, sıvı ve gaz halindeki maddelerin etkisi altında yalnız karşı malzemenin aşınma değerinin ölçüldüğü deneylerdir.

ASLE (American Society of Lubrication Engineers) tarafından yüz kadar aşınma deney sistemi tanımlanmıştır (Timur, 2014).

Ölçüm yöntemlerinden; ağırlık farkı, kalınlık farkı, iz değişim ve radyo izotop metotları aşağıda sırayla açıklanmıştır .

1.5.1. Ağırlık Farkı Metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün hassas terazi duyarlılık kapasitesinde bulunmasından dolayı en sık yararlanılan ölçüm metodudur. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde duyarlı terazi ile yapılmaktadır. Aşınma miktarı gram ve miligram cinsinden ifade edilmiş ise, sürtünme esnasında alınan yol metre veya kilometre olarak tespit edilmiş bulunan kayma veya sürtünme yoluna göre birim kayma yoluna karşılık gelen ağırlık kaybı miktarı (g/km), (mg/m) ile ifade edilmektedir. (Karabaşoğlu, 2008).

Bu yöntemde hacimsel aşınma miktarı belirtilmek istendiğinde, malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine düşen yük hesaba katıldığında, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybından yola çıkarak ağırlık kaybı hesaplanmaktadır. Ağırlık farkı metodunda en çok kullanılan ölçme yöntemi tartı yöntemidir. Aşındırılan malzeme tartılarak tek bir sayı şeklinde aşınma miktarı bulunmaktadır. Bu yöntemde testin verimliliği için malzemenin aşınma öncesinde ve aşınma sonrasında yüzeyinde tortu kalmamasına dikkat edilmelidir. Tartı yönteminin yanı sıra aşınma miktarını radyoaktif izleyiciler kullanarak ölçmek de mümkündür. Bu ölçüm aşınma öncesinde veya sonrasında değil, aşınmanın meydana geldiği esnada yapılmaktadır (Timur, 2014).

1.5.2. Kalınlık Farkı Metodu

Numunenin başlangıç değeri ile aşınma sonrasında oluşacak boyut değişikliğinin karşılaştırılması ile elde edilmektedir. Kalınlık farkı olarak tespit edilen bu değerden gidilerek, hacimsel kayıp değeri ve birim hacimdeki aşınma miktarı hesaplanmaktadır. Kumpas, mikrometre vb. hassas ölçme aletleri yardımı ile kalınlık farkı ölçülmektedir (Soydaş, 2006).

1.5.3. İz Değişimi Metodu

Sürtünme yüzeyinde plastik deformasyon yöntemi ile geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Deney esnasında bu izin karakteristik bir boyutunun (çapının) değişimi ölçülür. Uygulamalarda genellikle iz bırakıcı olarak kullanılan aşındırıcı vickers veya brinell sertlik

ölçme uçlarıdır. Elmas piramit veya bilyenin bıraktığı iz boyutundaki değişme mikroskop vasıtasıyla ölçülerek belirlenmektedir (Karaoğlu, 2006).

1.5.4. Radyoizotop Metodu

Sürtünmenin yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü α - parçacıkları ile bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınma miktarının yüksek derecede hassasiyetle ölçülmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi en büyük avantajdır. Fakat ekonomik olmaması nedeni ile ancak özel amaçlarda kullanılmaktadır. Özel problemlerin çözümü dışında yaygın olarak kullanılan bir metot değildir (Yılmaz, 2012).



2. KAYNAK ÖZETLERİ

Sıralı (2018), farklı miktarlarda titanyum (Ti) ve zirkonyum (Zr) ilave edilerek üretilen TZM (Titanyum-Zirkonyum-Molibden) alaşımlarının karakterizasyonu ve aşınma performanslarını incelemiştir. Çalışmada aşınma testleri pin-on-disk tipi cihazında farklı yük ve kayma mesafelerinde test edilmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda alaşımın içerisine ilave edilen Ti ve Zr miktarına bağlı olarak sertlik değerlerinde artış görülürken yoğunluk değerlerinde azalma olduğu görülmüştür. Aşınma testleri sonrasında en düşük ağırlık kaybı 10 N yük uygulanan numunelerde elde edilirken, en yüksek ağırlık kaybı 30 N yük uygulanan numunelerde elde edilmiştir. Aşınma yüzeyi SEM ve EDS (haritalama) görüntüleri incelendiğinde oluşan aşınma mekanizmalarının hem adhezif hem de abrazif aşınma olduğu görülmüştür.

6063 alüminyum alaşımının sertliği ve korozyon özelliği üzerine suni yaşlandırmanın etkisi araştırılmıştır. Bu çalışmada alüminyum alaşımının sertliğinin zaman ve sıcaklıktaki değişimler ile değiştiğini göstermektedir. Korozyon testi, alaşımın korozyon direncinin kuvvetli olarak suni yaşlandırma zamanına bağlı olduğunu göstermiştir. Tüm suni yaşlandırma sıcaklıkları için en yüksek korozyon direnci, elde edilen en yüksek sertlik değerinde gözlemlenmiştir (Yüksel, 2017).

Özmen ve Jahanmır (2015), araştırmalarında silisyum nitrür üzerindeki nano yapıların sürtünme ve aşınma testlerini pin-on-disk tribometre kullanarak yapmıştır. Bu deneyler için Rulman kalitesinde silisyum nitrür (NBD-200, Norton Advanced Ceramics), seçilmiştir. Disklerin yüzey pürüzlülüğü çeşitli noktalardan 50x50 µm boyutlarda taranarak bir atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ile ölçülmüştür. 5 N ve 120 mm/s'de, honlanmış yüzey üzerinde, sürtünme katsayısı 600 dakika sonra 0.45 den ortalama 0.01'e düştüğü görülmüştür.

AlSi10Mg alaşımının ikincil yaşlandırma prosesinin sertlik ve abrazif aşınma direncine etkisi araştırılmıştır. T6 ısıl işleminde numuneler 170 °C'de 4 saat yaşlandırılmıştır. İkincil yaşlandırma işleminde 170 °C'de 10 ve 30 dakika yaşlandırılmış olan numuneler 100 °C'de 135 saat yeniden yaşlandırılmıştır. Abrasif aşınma test cihazında 180 mesh zımpara, 20 ve 30 N yük altında 0.2 ms⁻¹ kayma hızında gerçekleştirilmiştir (Gül, 2014).

Çakır ve Tunay (2014) çalışmalarında, birbiriyle eş çalışan farklı malzemelerin farklı yük, hız ve yağlama şartlarında sürtünme kuvveti, sürtünme katsayısı ve aşınma gibi tribolojik

özelliklerini belirleyebilmek amacıyla pim-disk deney seti tasarlamışlar ve imal etmişlerdir. Motorun gücü 0,37 kW, dönme hızı 1500 d/d olup güç kaybı önlenmesi amacı ile elastik kavrama yardımı ile bağlanmıştır. Mil, SAE8620 malzemedan yapılmış olup, sertliği HRC45'dir. Aşındırıcı olarak kullanılan disk SAE8620 çeliğinden üretilmiş olup öncelikle kaba olarak işlenmiş ve daha sonra ıslah etme ısıl işlemine tabi tutulmuştur, sonra net ölçülere yakın değerlerde işlenmiş ve sementasyon işlemi ile yüzeyi sertleştirilmiştir. Sementasyon işlemi sonrasında diskin sertliği HRC55±2 olmuştur. Yükün, doğrudan pimin üzerine uygulanabilmesi amacıyla yük kolu tasarlanmış, imal edilmiş ve bağlantısı gerçekleştirilmiştir. İnverter (frekans değiştirici) yardımıyla motor dönme hızı ayarlanabilmekte ve bu şekilde farklı hızlarda deneyler gerçekleştirilebilmektedir. Ayrıca yük hücresi ve PWD indikatör aracılığıyla deney esnasında alınan veriler anlık olarak bilgisayar ortamına aktarılmaktadır.

Akgün, Özel, Bilgin ve Yurtseven (2012) çalışmalarında klasik ağırlık yükünden kuvvet uygulama metoduna alternatif olarak, yeni bir aşınma deney düzeneği tasarlamış olup imalatını gerçekleştirmişlerdir. Numuneleri sabitleyerek, farklı aşınma yükleri oluşturacak şekilde tasarlanan bu düzenek, uygulama kuvvetini pnömatik baskı kuvveti ile iletmektedir. Ağırlık yükleri sıkıntısı ve kuvvet kolu mekaniğinin titreşimli çalışma şartlarından kaçınılmıştır. Bu adhezif aşınma deney cihazı ile farklı kuvvet aralığında çalışan pnömatik kontrollü pistonların, blok on disk aşınma tipinde uygulanması şeklinde tasarımı gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kuvveti ve sürtünme katsayısı μ_k 'nın hesaplanması için Loadcell olarak bilinen yük hücresinin aşınma deney cihazına entegrasyonu gerçekleştirilmiştir. Sürtünme kuvveti, straingage prensibine göre çalışan loadcell tarafından ölçülerek bir indikatör cihazında birim dönüşümü sağlandıktan sonra bu veriler anlık olarak bilgisayara otomatik olarak aktarılması gerçekleştirilmektedir. Literatürdeki mevcut çalışmalardan farklı olarak sadece numunenin aşındırıcı diske uygulanacak olan kuvvetinin mekanik olarak ağırlık koyarak veya gerdirme ile değil de pnömatik bir sistem ile hava basıncından yararlanılarak yapılmıştır. Düzeneğin baskı kuvveti oluşturan elemanı iki kaymalı rulman yataklarına yerleştirilen ve içerisinden bir mil geçen mekanik elemanların birleştirilmesiyle bağlantısı gerçekleştirilmiştir. Düzenekte yer alan aşındırıcı disk ise, bir elektrik motorunun tahriki ile hareket alan ve arasında bir kaplin vasıtasıyla kavraması gerçekleştirilen transmisyon miline, aşındırıcı disk içerisine açılan kılavuz sayesinde vidalı olarak bağlantısı sağlanmıştır. Elektrik Motorunun Gücü hesaplamalardan 1.5 kW dan büyük seçilmesinin gerektiği belirlenmiştir. Motor 2.2 kW gücünde 1500 d/d seçilmiştir. Buradan hareketle

invertör seçilmiştir. Bu invertörün frekans aralığı 0 - 100 Hz arasındadır. Pnömatik sistemin çalışabilmesi için 1 adet basınç ayarlayıcı, 1 adet pnömatik kumanda yer almıştır. Basınçlı hava akışının sağlanması için 1 adet 25 lt hacminde ve 2 HP gücünde kompresör alınarak, sisteme montajı gerçekleştirilmiştir. Adhezif aşınma deney cihazında kuvvetin iletilebilmesi ve oluşumu için 2 tip pnömatik piston seçilmiştir. Bunlardan ilki 1-10 kg kapasiteli olup diğeri ise 10-50 kg kapasitelidir. Kuvvet iletiminin 1-10 kg için mini pnömatik piston ve 10-50 kg için orta büyüklükte ISO-M serisi pnömatik pistonlu bir sistem, maksimum 100 kg kapasiteli Loadcell ile sürtünme kuvvetinin ölçüm değerlerini kaydeden adhezif tipi aşınma deney cihazı yapılmıştır.

Koç (2010) bu çalışmada makine parçalarındaki sürtünme, aşınma ve malzeme kayıplarını önceden hesaplayabilmek ya da malzeme çiftleri arasındaki sürtünme katsayılarının hesaplanabilmesi için disk üzeri pim test cihazı tasarımı ve imalatı yapmayı amaçlamıştır. Aşınma test cihazını tasarlarken bazı makine ve makine parçaları kullanmıştır. 3kW gücüne sahip, maksimum 1400 d/d ile çalışan motor, 1/10 oranı olan redüktör, redüktör ve diskin arasında bağlantı elemanı olarak kaplin, motor devrini sabitleyebilmek için sürücü hız kontrol ünitesi, ağırlık birimini operatöre gönderebilmek için yük hücresi, yük hücresinden gelen verileri okuması için operatör paneli ile PLC devre ve bütün sistemi kontrol etmek için de kumanda kutusu kullanılmıştır. Deney için belirlenmiş sürenin ardından aşınma miktarı hassas ölçümlü (10^{-4} g) elektronik terazi ile ölçülmüştür.

Özyürek, Kibar ve Yılmaz (2009) toz metalürjisi (TM) yöntemi ile üretilen ve daha sonra beş farklı sürede yaşlandırılan A356 alüminyum alaşımında yaşlandırma süresinin aşınma davranışına olan etkisini incelenmiştir. Çalışmada tribolojik özellikler pin on-disk aşınma cihazı ile belirlenmiştir. Aşınma testlerinde ise $1,5 \text{ ms}^{-1}$ ve 2 ms^{-1} olmak üzere iki farklı kayma hızı ile 10 ve 40 N yük uygulanmıştır. Aşınma mesafesi olarak 3000 m seçilmiş olup, 600 m aralıklarla ağırlık kayıpları belirlenmiştir.

Şafak (2008) kaplamalı malzemelerin sürtünme ve aşınma özelliklerinin tespiti amacıyla proje kapsamında tasarlanıp imal edilen pim-disk aşınma cihaz ile sürtünme, aşınma testleri gerçekleştirmiştir. İncelenen test cihazı Pim-Disk tipi sistem akademik ve endüstriyel laboratuvarlarda kullanılan en yaygın sistemdir. Bu sistemde kiriş sıkıca sabitlenmiş ve ayarlanabilen tabana dik olarak tutturulmuştur. Ayarlanabilen taban, pimin disk ile teması için indirilip ve ikisi arasında normal yük üretilene kadar yaklaştırılmıştır. Disk kendi ekseninde döndürülür iken pime F kuvveti uygulanmaktadır. F kuvveti kirişin kökünün yakınlarında

maksimum gerilme üretecek şekilde kirişi eğmektedir. Kirişin dikey yüzeylerindeki gerilme ölçerler tarafından bu kuvvet ölçülmüştür. Bu konfigürasyonun avantajı tabanı aşağı yukarı bir servo motor ile hareket ettirerek numune yüklemesinin değiştirilebilmesidir. Dezavantajı ise numune yüklenmesinin disk yüzeyi destek şaftına göre dik veya düz olmadığı zaman değişmesidir. Bu çalışmanın konusu olan ve imalatı da gerçekleştirilen pim-disk tipi aşınma test cihazında karşı malzeme olarak test numunesi kullanılır, pim ise aşındırıcıdır. Pim, üzerine asılan yükü veya herhangi bir mekanizma ile numuneye (diske) basınçla temas ettirilmiştir. Temas, çizgisel sayılabilir. Numunenin aşınma profili dairesel olmuştur. Tez çalışması kapsamında aşınma miktarlarının ve sürtünme katsayılarının ölçülmesi amacıyla pim-disk aşınma deney düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Bu düzenek bir disk ve bu diske dik olarak kuvvet uygulayan bilye uçlu pimin arasında oluşan sürtünme ve aşınma özelliklerinin tespiti amacıyla kullanılmaktadır. Disk parçası 30, 40 veya 50 mm çapında dairesel olarak işlenmiş test numuneleridir. Disk şeklindeki test numunelerine temas ettirilen pime farklı ağırlıklar eklenerek uygulanan dikey kuvvetin değiştirilmesi sağlanmaktadır. Pimin disk yüzeyine teması sonucunda disk parçasında oluşan malzeme kayıpları ölçülerek ve yüzey yapısının değişimi gözlemlenerek aşınma miktarı tespit edilmiştir. Sürtünme kuvveti, aşındırıcı pime aktarılan yatay kuvvetin bulunduğu kirişe temas ettirilen 3 kg kapasiteli yük hücresi vasıtasıyla ölçülmüştür. Aşınma deneyleri oda koşullarında kuru sürtünme şartlarında yapılmıştır. Aşındırıcı olarak 6 mm çapında alüminyum oksit bilye kullanılmıştır. Numune üzerinde 24 mm çapında anma izi olacak şekilde bilye tutucu ayarlanmıştır. Numune tutucu döner tabla hız $V = 0,5$ m/s alınmıştır. Yüzeye 5 N' luk normal yük uygulanmıştır. Aşınma testi 750 m boyunca uygulanmıştır. Bu cihaz ile sürtünme kuvveti için istenilen zaman aralıklarında, istenilen sayıda veri elde edilmekte ve Loadcell üreticisi firmadan tedarik edilen bilgisayar programı sayesinde bilgisayara anlık veri olarak işlenebilmiştir.

Bobzin, Lugscheider, Nickel, Bağcivan ve Kramer (2007) manyetik sıçratma tekniğiyle uygulanan $Cr_{1-x}Al_xN$ kaplamada bulunan Al oranına göre kaplama performansının değişimini incelemişlerdir. Üç farklı Al bileşimi (0, 0.23, 1) kuru sürtünme şartlarında bilye-disk deney düzeneğinde test edilmiştir. Aşınma oranları ölçülerek ve aşınma atıklarının analizleri sonucunda 0,23 oranında Al içeren kaplamanın en iyi sonucu verdiği görülmüştür.

Doğal yaşlandırılmış AA2024 alüminyum alaşımına bilyeli dövme işlemi uygulanarak aşınma özelliklerinin nasıl değiştiği araştırılmıştır. Alüminyum numuneler S230 ve S170 çelik

bilyeleri ile S13 cam bilye kullanılarak 16A-28A Almen şiddetlerinde bilyeli dövülmüştür. Numunelerin yüzey pürüzlülükleri ölçülmüştür. Bilye ile dövülmüş yüzeylerde yüzey pürüzlülüğünde artışlar olmuştur ve yüzey sertlik değerleri de yükselmiştir. Bilye ile dövülmüş ve dövülmemiş yüzeylere kuru (adhezif) aşınma deneyleri uygulanmıştır. Deney sonuçlarından yol- aşınma miktarı eğrileri çizilerek; yüzey kalitesi, yüzey sertliği ve baskı kuvveti büyüklüklerinin AA2024 alaşımında aşınma özelliklerine etkisi incelenmiştir. Çelik bilye ile dövme sonrasında cam bilye dövme yapıldığında değerler azalmaktadır (Varol ve Tunay, 2001).

Aşınma, bir birleşme yüzeyi ile etkileşim içinde olan bir yüzeyden materyalin uzaklaştırılmasının olgusu anlamında kabul edilmektedir. Bu çalışmada; aşınma sistemleriyle ilgili bilgi verilmiştir. Bütün makinelerde aşınmayla ilgili olarak emniyet kaybı ve makinaların aşınma problemleri minimuma indirgenmeye çalışılmaktadır (Yıldız ve Gür, 2006).

Tunay (2001), toz metalurjisi ile üretilmiş radyal kaymalı yatakların tam değişken gerilmede aşınma ve sürtünme özelliklerini deneysel olarak inceleyebilmek için bir deney düzeneği tasarlamış ve imal etmiştir.

Karaoğlu (2006), otomotiv sektöründe, hareket halindeki bir taşıtı durdurmak için kullanılan sistemlere fren sistemleri denilmektedir. Frenlerin çalışma prensibi, sistemdeki balata ve diskin birbirinin yüzeylerine sürtünmesi ile oluşturulmaktadır. Sürtünme ve ısınma sonucu malzeme yüzeyindeki istenmeyen malzeme kaybı aşınma olarak adlandırılmaktadır. Bu çalışmada, Sakarya Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi ve Metalürji Mühendisliği Laboratuvarlarında bulunan aşınma test cihazları incelenmiş ve çeşitli malzemelerden üretilmiş fren balatalarının aşınma ve sürtünme dirençlerini incelemek amacı ile bir aşınma test cihazı tasarlanmış, imal edilmiştir. İmalatı gerçekleştirilen cihaz ile çeşitli malzemelerin aşınma ve sürtünme deneyleri yapılmıştır.

Karabaşoğlu (2008), makine elemanları aşınma ve sürtünmenin etkisiyle deformasyona uğramaktadır. Bu sebeple çalışma şart ve ortamları göz önünde bulundurularak uygun malzeme çifti seçilmesi sonucunda tasarlanıp imal edilmelidir. Bu çalışmada soğuk takım çeliği olarak bilinen 1.2080 ile 1.2842 takım çeliklerinde meydana gelen aşınma ve bu çelikler arasındaki aşınma oranları karşılaştırılmıştır. 1.2080 ve 1.2842 takım çeliklerinin aşınma deneyleri için pin on disk deney yöntemi ile çalışan Plint firmasının ürettiği TE 97

aşınma deney cihazı örnek alınarak yeni bir aşınma deney cihazı tasarlanıp imalatı gerçekleştirilmiştir. Bu aşınma deney cihazı üzerinde bazı değişiklikler yapılarak farklı deneyler yapılabilmektedir.



3. MATERYAL VE YÖNTEM

3.1. Materyal

Yürütülen yüksek lisans çalışmasında Şekil 3.1’de sunulan adhezif aşınma test makinesi tasarlanarak imal edilmiş ve EN AC-43000 (AlSi10Mg) alüminyum döküm malzemeden üretilen test numunelerinin aşınma davranışları incelenmiştir.



Şekil 3.1. Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen adhezif aşınma test cihazı

3.1.1. Motor Sürücüsü, Elektrik Motoru ve Redüktör

Basit yapıları, güvenilir ve ucuz olmaları nedeniyle endüstriyel uygulamalarda asenkron üç-fazlı elektrik motorlarının yaygın olarak tercih edilmektedir. Besleme gerilimi frekansı genellikle sabit 50 Hz’dir; dolayısıyla, sabit devirli motorlardır. Eğer asenkron motorlarda farklı devir düzenlemelerine ihtiyaç duyulursa inverter adı verilen motor sürücüler

kullanılmaktadır (Şekil 3.4). Motor sürücüsü şebeke gerilimini ve frekansını, değişken frekans ve değişken gerilime çevirmektedir. Şebeke ile motor arasında monte edilmiştir. Standart bir motoru değişken hızlı tahrik sistemine çevirmek suretiyle sürekli değişken devir ayarı yapılabilmesini sağlamaktadır. Test cihazında motorun frekansı değiştirilerek farklı frekanslarda deneyi gerçekleştirme olanağı sağlamaktadır. Adhezif aşınma test cihazı, 0,37 kW güçte, 50 Hz frekansta 230/400 V gerilimde maksimum 1425 d/d ile çalışan asenkron elektrik motoru ile tahrik edilmektedir. Elektrik motorunun çıkış miline entegre edilen redüktörün iletim oranı 5'tir. Redüktör 90°lik giriş çıkış mili açısına sahiptir. Elektrik motorunun mili ile ayna bağlantı tablası arasındaki iletimi sağlamaktadır (Şekil 3.2).



Şekil 3.2. Sırasıyla motor sürücüsü, elektrik motoru ve redüktör

3.1.2. Aşındırıcı Disk ve Ayna

Makine aşındırıcı diski; 1.2379-X155CrVMo12-1 soğuk iş takımı çeliği malzemeden Ø100x20 mm ölçülerinde imal edilmiştir. Aşındırıcı disk 62 HRC yüzey sertliği ve 1,6 µm yüzey pürüzlülük değerine (Ra) sahiptir. Aşındırıcı diskin maksimum çapını 100 mm olacak şekilde tasarlandığı için ayna çapı da 100 mm olarak seçilmiştir. Çapı 100 mm olan ayna, ayna bağlantı tablasına montajlanarak güç aktarımı, motordan redüktöre, redüktörden de son olarak aynaya aktarılması sağlanmaktadır (Şekil 3.3).

3.1.3. Lineer Yataklar

Numunenin aşındırıcı disk üzerindeki doğrusal hareketini sağlamak için lineer yataklar kullanılmıştır. Kullanılan yataklar SHN 20 A tipi geniş araba ve rayıdır. Lineer yatak sistemleri radyal ve eksenel yüklere olan yüksek dayanımları ve düşük sürtünme-boşluk değerleri nedeni ile tercih edilmiştir (Şekil 3.3).



Şekil 3.3. Adhezif aşınma makinesi mekanik elemanları (a.Tutucu kolu b.Numune tutucu, c.Yük hücresi, d.Aşındırıcı disk, e.Ayna, f.Deney ağırlığı, g.Lineer kızak ve raylar, h.Numune)

3.1.4. Yük Hücresi (Loadcell), İndikatör ve Veri Kaydedici Yazılım (Data Logger)

Uygulamada maksimum 30 kg yüke dayanıklı Esit marka BB-20 yük hücresi kullanılmıştır (Şekil 3.4). Aşındırıcı disk ve test numunesi arasında oluşan sürtünme kuvvetleri numune tutucu üzerinden tutucu kola aktarılır. Tutucu kol ile temas halinde olan yük hücresi oluşan bu kuvvetin değerini, kuvvet (N) ya da ağırlık (gr) cinsinden operatör paneline veya bilgisayar ortamına gönderebilmemizi sağlamaktadır. Taksimat değeri minimum 1gram hassasiyettedir.

Yük hücresinden gelen veriler Esit PWI serisi pano tipi kutulu modeli PWI-P tartı ve kontrol cihazı tarafından gerek kendi göstergesi üzerinden izlenmekte gerekse verdiği analog çıkışlar sayesinde veri toplama programına veri sağlayabilmektedir (Şekil 3.4).

Data logger veya diğer adıyla veri kaydedici yazılım ile indikatörden gelen yük hücresi verileri belirlenen zaman dilimlerinde depolanmaktadır. Program aynı zamanda grafik ekranı sayesinde görsel olarak da verilerin takibine imkan vermektedir (Şekil 3.4).

Ölçüm değerlerinin sayısal olarak kayıt altına alınmasının yanında grafik olarak da ölçümlerin izlenebilmesine olanak sağlaması sayesinde yapılmakta olan işlemi daha kolay algılamamıza yardımcı olmaktadır. Ayrıca ölçüm cihazı ile bilgisayar arası aktarımı sağladığından farklı bir yazılıma gerek duymaksızın uzaktan bilgi izleyebilme imkanı sunmaktadır.



3.1.5. Torna Tezgâhı

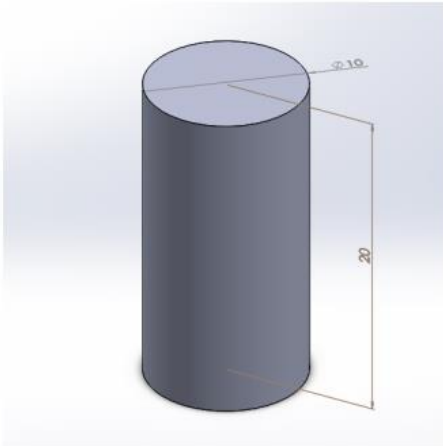
Test numuneleri dökme karter kapağından, 16x12x60 mm boyutlarında 6 adet dikdörtgen prizma olarak kesilmiştir. Bir kenarı torna aynasına bağlanacak kadar eğelenip silindirik form verilmiştir. Daha sonra torna tezgâhında ayna-punta arasında bağlanarak silindirler oluşturulmuştur (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Tezgah üstü torna makinesi

3.1.6. Numune

Geliştirilen adhezif aşınma test makinesi kullanılarak EN AC-43000 (AlSi10Mg) alüminyum döküm malzemedен torna tezgâhında işlenerek üretilen 6 adet $\text{Ø}10$ mm x 20 mm boyutlarındaki silindirik numuneler test edilmiştir (Şekil 3.6). Bu numunelerin adhezif aşınma test sonuçları, araştırma bulguları ve tartışma bölümünde sunulmuştur.



Şekil 3.6. Numune ölçüleri

3.1.7. Isıl İşlem Fırını

Hazırlanan numunelerin homojenleştirme ve yaşlandırması işlemleri ısıl işlem fırını ile yapılmıştır (Şekil 3.7).



Şekil 3.7. Isıl işlem fırını

3.1.8. Hassas Terazi

Numunelerin aşınma işlemi sonrasındaki kütle kayıpları hassas terazi kullanılarak ölçülmüştür (Şekil 3.8). Terazi ölçüm hassasiyeti 0,0001 g' dır.



Şekil 3.8. Hassas terazi

3.1.9. Optik Mikroskop

Numunelerin aşınma işleminden sonra mikro yapılarına bakılıp, mikroskobik fotoğrafları Optika B-500 trinoküler metalurji mikroskobu ile çekilmiştir (Şekil 3.9).



Şekil 3.9. Optik mikroskop

3.1.10. YüzeY Pürüzlülük Ölçüm Cihazı

Aşındırıcı diskin yüzeY pürüzlülük değeri Mitutoyo Surf test SJ-210 portatif yüzeY ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir (Şekil 3.10).



Şekil 3.10. Portatif yüzeY ölçüm cihazı

3.2. Yöntem

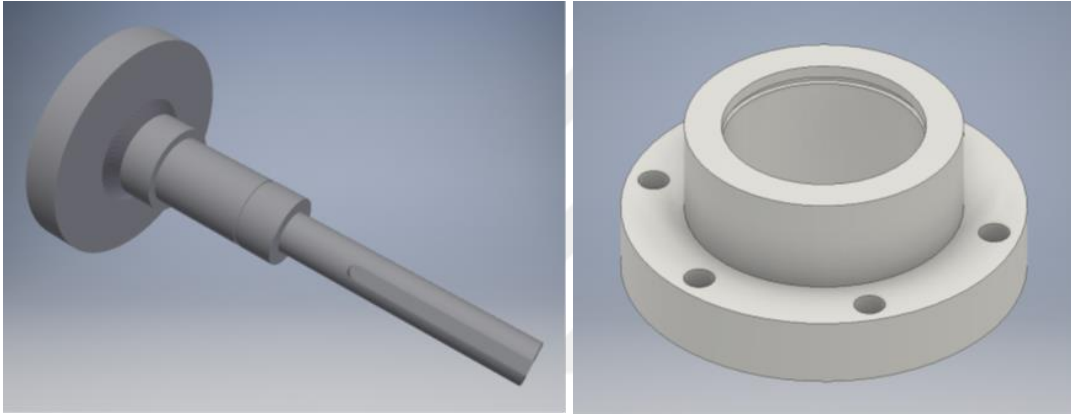
3.2.1. Aşınma Test Cihazının Amacı

Aşınma deneyinin amacı birbiri ile temas eden malzemelerin sürtünme katsayılarını bulmaktır. Bu deney esnasında sürtünme, aşındırıcı disk ve aşınan numune arasında meydana gelir. Birden fazla test modeli bulunmaktadır. Bunlar; pin-plane, pin-ring, pin-disk, mil-yatak gibidir.

Bu araştırma pin-disk deney düzeneği baz alınarak tasarlanmıştır. Tasarım esnasında kullanılan standart ekipmanlar; elektrik motoru, redüktör, yük hücresi (loadcell), ayna, lineer ray ve lineer kızak, indikatör, inventer ve rulmanlardır.

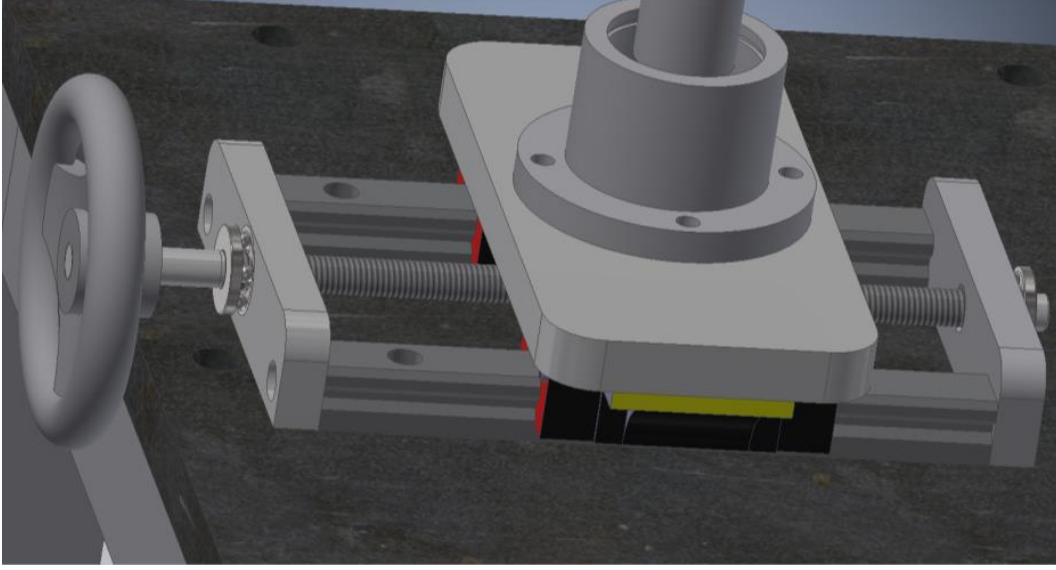
3.2.2. Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve Çalışma Prensibi

Elektrik motorundaki devir, 90 derecelik redüktör sayesinde ayna bağlantı tablasına aktarılmaktadır. Bu sayede aynaya motordan gelen devir aktarımı gerçekleştirilmektedir. Bu aktarımdaki önemli nokta ise ayna bağlantı tablasının tabla sacı üzerine yataklanmasıdır. Ayna ile redüktör arasındaki “ayna bağlantı tablası” aynı eksendeki 2 adet rulman ile rulman yatağı gövdesine yataklanmıştır (Şekil 3.11).



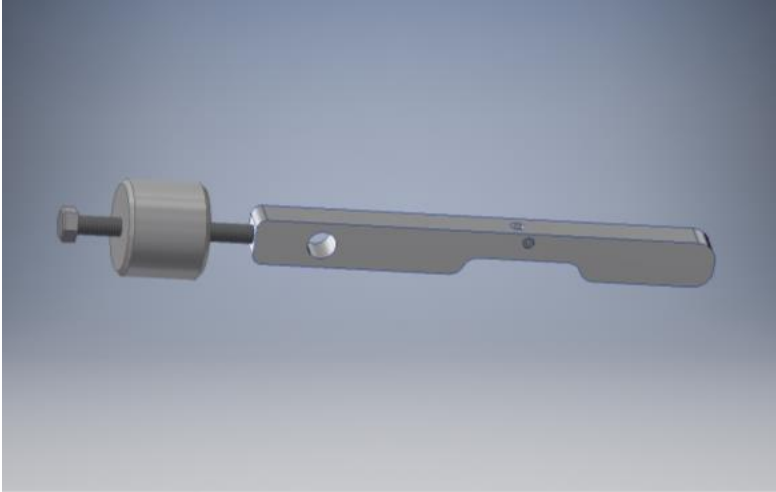
Şekil 3.11. Ayna bağlantı tablası ve rulman yatağı gövdesi

Diğer bir yataklama işlemi ise kol yatak bağlantı plakasında gerçekleşmiştir. Kol yatak bağlantı plakası iki adet lineer ray ve iki adet lineer kızak yardımıyla yataklanmıştır. Bu yataklama işlemi sayesinde numune tutucu kol “X” ekseninde ileri ya da geriye hareket edebilir duruma gelmektedir (Şekil 3.12). Bu sayede ayna üzerindeki farklı noktalarda aşınma testi yapılmaktadır.



Şekil 3.12. Lineer ray ve kızak sistemi

Tutucu kol yatak bağlantı plakası üzerinde 360 derece dönebilecek şekilde tasarlanmış ve yataklanmıştır (Şekil 3.13). Yataklama aynı ayna bağlantı tablasındaki gibi 2 adet rulman ile yapılmaktadır. Bu yataklama işleminin amacı sürtünme esnasında kolun yük hücresi doğrultusunda hareket edebilmesi sağlamaktır.



Şekil 3.13. Tutucu kol ve denge ağırlığı mekanizması

Son yataklama işlemi tutucu kol üzerinde yapılmıştır. Bu yataklama, sistemi çalıştırmadan önce tutucu kol yataklama merkezine göre ağırlıkların dengelenmesi amaçlanmaktadır. Dengeleme işlemi için denge ağırlığı kullanılmaktadır. Numune tutucu

(Şekil 3.14) takıldıktan sonra tutucu kolun vidalı mili üzerinde denge ağırlığının yeri değiştirilerek sistem dengeye getirilmektedir.

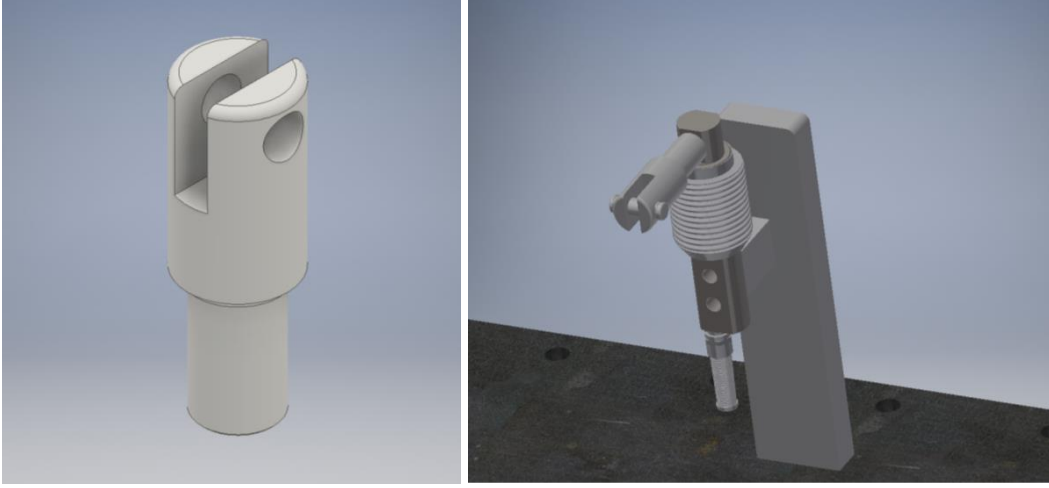
Bu yataklamanın diğer bir amacı, aşındırıcı diske uygulanmak istenen kuvvetin iletilmesini sağlamaktır. Aşındırıcı diske uygulanmak istenilen kuvvet, ağırlık diskleri sayesinde sağlanmaktadır.



Şekil 3.14. Numune tutucu

Numunenin teması, ayna üzerindeki aşındırıcı diske dik olarak sağlanmaktadır. Bu temas sürtünmeye neden olmaktadır. Bunun sonucunda tutucu kol yataklama ekseninin de açısal hareket etmektedir.

Tutucu kolun hareketi kola dik olarak yerleştirilen yük hücre sine baskı mili yardımı ile aktarılır (Şekil 3.15). Yük hücre sine baskı milinin uç kısmına rulman montajlanmıştır. Tutucu kol, montajlanan rulman üzerinde çizgisel bir kuvvet meydana getirmektedir. Bu kuvvetin noktasal olması yerine çizgisel oluşması daha sağlıklı ve doğru sonuçların ortaya çıkmasını sağlamaktadır.



Şekil 3.15. Yük hücresi bağlama kolu

Yük hücresi bu verileri “PLC devre” yardımı ile operatör paneline ve bilgisayara aktarmaktadır. Deney esnasında “Esit Data Logger” programı kullanılarak verilerin grafiksel olarak işlenmesi sağlanmaktadır.

Deney için belirlenen sürenin ardından numune hassas ölçüm cihazı ile ölçülür. Bu ölçüm adhezif aşınma sonucu numuneden kopan ya da aşınan miktarı saptamak için yapılmaktadır.

3.2.3. Aşınma Test Cihazı İçin Numunelendirme

3.2.3.1. Numunelerin oluşturulması

Bu çalışmada kullanılan numuneler, döküm karter kapağından kesilerek çıkartılan 12x16x60 mm dikdörtgen prizma parçaların, torna tezgâhında işlenmesi sonucu oluşturulmuştur. Karter kapağından kesilen dikdörtgen prizma parçalar, simetriden dolayı torna tezgâhı aynasına güzel oturtulamadığından, bir kenarı eğe yardımıyla torna aynasına oturacak kadar eğelenerek silindir şekline getirilmiştir. Torna tezgâhına bağlanan numuneler punta deliği açılıp ayna-punta arasına alındıktan sonra 10 mm çapa gelene kadar tormalanmıştır. Tormalama işleminden sonra numuneler 20 mm uzunluğuna getirilmek üzere alın tormalama işlemi uygulanmıştır.

3.2.3.2. Numunelerin Isıl İşlem Reçeteleri

Oluşturulan numunelere homojenleştirme ve yaşlandırma işlemleri uygulanmadan önce homojenleştirme ve yaşlandırma için sıcaklıklar ve süreler belirlenmiştir. Homojenleştirme, fazla metaller arası fazların tümünün ya da çoğunun alüminyum içinde eridiği bir sıcaklığa kadar ısıtma; bu sıcaklıkta tutma işlemidir. Alüminyum alaşımlarda homojenleştirme sıcaklıkları 520-540 °C dolaylarındadır. Daha yüksek sıcaklıklara kontrollü şekilde çıkılması gerekmektedir.

Alüminyumun erime sıcaklığı yaklaşık 660 °C'dir. Numunenin tamamen erimemesi için bu değere çok yaklaşmamız gereklidir. Bunun için alüminyum numunemizde 540 °C sıcaklıkta 2 saatlik homojenleştirme işlemi ile başlamak uygun bulunmuştur. Yaşlandırma işlemi için ise 6 farklı numune için 6 farklı reçete oluşturulmuştur (Çizelge 3.1).

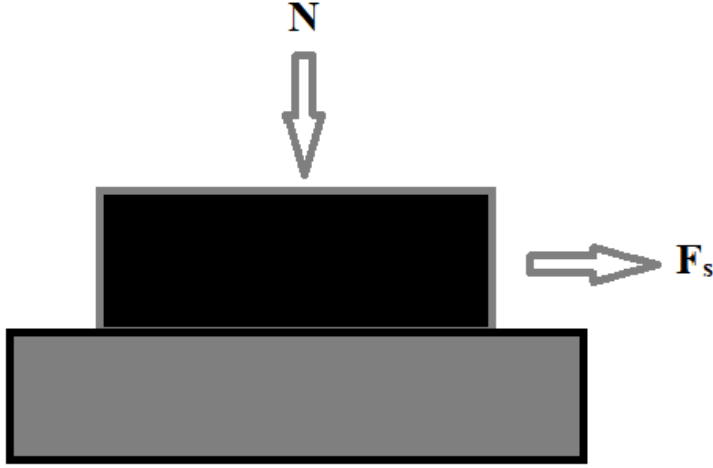
Çizelge 3.1. Yaşlandırma sıcaklıkları ve süreleri tablosu

Numune	Sıcaklık	Süre
1.Numune	160°C	2 saat
2.Numune	160°C	4 saat
3.Numune	160°C	6 saat
4. Numune	180°C	4 saat
5. Numune	200°C	4 saat
6. Numune	220°C	4 saat

Sıcaklıklar ve sürelerin belirlenmesinden sonra numunelerin hepsi 540 °C sıcaklıkta 2 saat homojenleştirme işlemine tabi tutulmuştur. 2 saatin sonunda numuneler soğuması amacı ile suda bekletilmiştir. Fırının 540 °C sıcaklıktan oda sıcaklığına düşmesi için bekletilmiştir. Oda sıcaklığına dönen fırın yaşlandırma işlemi için belirtilen sıcaklık ve sürelerde çalıştırılarak numunelerin ısıl işlem uygulaması tamamlanmıştır.

3.2.4. Sürtünme Katsayısı Hesabı

Numunelerin sürtünme katsayılarının hesaplanmasında yararlanılan, sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler Şekil 3.16'da gösterilmiştir.



Şekil 3.16 Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler

Bu düzende birbiri ile temas halinde olan malzeme çiftlerinin sürtünme katsayısının (μ) hesaplanmasında, kaymayı başlatmak için (F_s) sürtünme kuvveti ve (N) normal kuvvet olarak iki farklı kuvvet bulunmaktadır. Kayma başlayıncaya kadar, yük (F) uygulanmaktadır ve kayma başladığı andaki uygulanan yük, sürtünme kuvveti (F_s) olarak belirlenmektedir. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden dik kuvvet (N) arasında denklem 3.1'deki bağıntı kullanılmaktadır (Karabaşoğlu, 2008).

$$F_s = N \cdot \mu \quad (3.1)$$

F_s : Sürtünme kuvveti (N, kg)

N : Normal kuvvet (N, kg)

μ : Sürtünme katsayısı

olarak verilmiştir. Bu denklemden araştırma bulguları ve tartışma bölümünde yararlanılacaktır.

3.2.5. Aşınma Hesabı

Aşınma, ağırlık kaybının hesaplanmasında en çok kullanılan ölçme metodu, ağırlık farkı metodudur. Ağırlık farkı metodunda kullanılan bağıntılar denklem 3.2'de sunulmuştur (Karaoğlu ve Eldoğan, 2006; Soydaş, 2006; Wahlström, Lyu, Matjeka ve Söderberg, 2017).

$$W_a = \frac{\Delta G}{d.M.S} \text{ (mm}^3\text{/N.m)} \quad (3.2)$$

Burada;

W_a : Aşınma oranı (mm³/N.m),

ΔG : Ağırlık kaybı (mg),

M : Yükleme ağırlığı (N),

S : Aşınma yolu (m),

d : Yoğunluk (gr/cm³)

olarak verilmiştir. Aşınma oranının (W_a) ters değeri de aşınma direnci (W_r) denklem 3.3'te gösterilmiştir (Karaoğlu ve Eldoğan, 2006; Soydaş,2006).

$$W_r = \frac{1}{W_a} \text{ (N.m/mm}^3\text{)} \quad (3.3)$$

4. ARAŞTIRMA BULGULARI ve TARTIŞMA

4.1. Aşınma Testleri

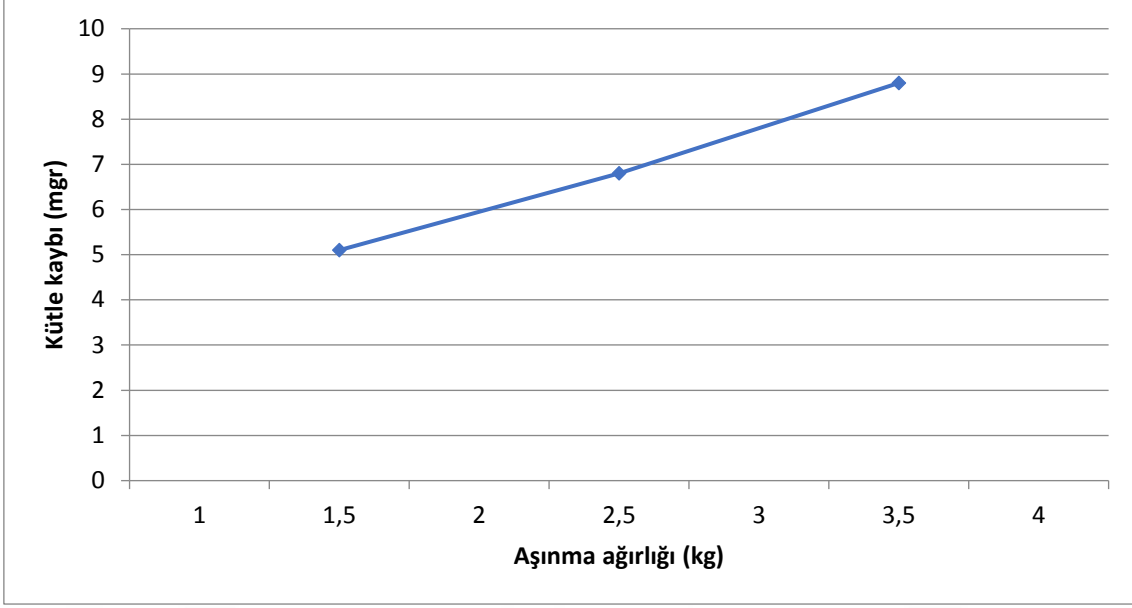
Adhezif aşınma cihazı ağırlık, numune tutucu, denge ağırlığı, döner aşındırıcı yüzey, yük hücresi ve dönüş elemanlarından oluşmaktadır. Döner aşındırıcı disk yüzeyi 62 HRc sertliğinde, 1,2379 soğuk iş takımı çeliğinden oluşturulmuştur. Süre, devir ve ağırlık testlerde kullanılan değişkenlerdir. Aşındırıcı yüzey merkezi ile numune merkezi arasındaki mesafe 30,5 mm olarak ölçülmüştür. Yapılan hesaplamalar sonucunda 15 Hz için cihazın 82,5 d/d ile döndüğü ve 1000 metrelik yolu 3795 sn de aldığı saptanmıştır. Test süresi sabit 15 Hz frekans değerinde 3795 sn olarak belirlenmiştir. Numuneler, yüklenen 1,5 kg; 2,5 kg ve 3,5 kg ağırlıkların her birinde 1000'er metre aşındırılmış ve kütle kayıpları saptanmıştır. Böylelikle numunelerin uygulanan yük değişimine göre ağırlık kaybı üzerinden aşınma davranışları incelenmiştir.

4.1.1. Numune 1 (160°C sıcaklıkta 2 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 3,9253 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 3,9202 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,9134 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,9046 gr olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.1, Şekil 4.1).

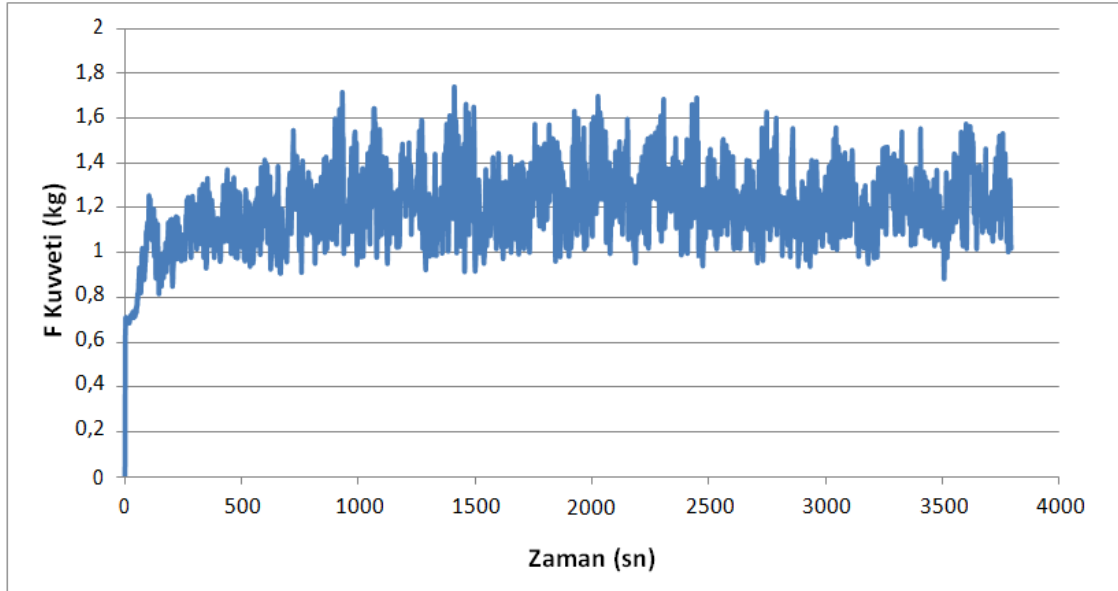
Çizelge 4.1. Numune 1'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	3,9253 gr	3,9202 gr	0,0051 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	3,9202 gr	3,9134 gr	0,0068 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	3,9134 gr	3,9046 gr	0,0088 gr



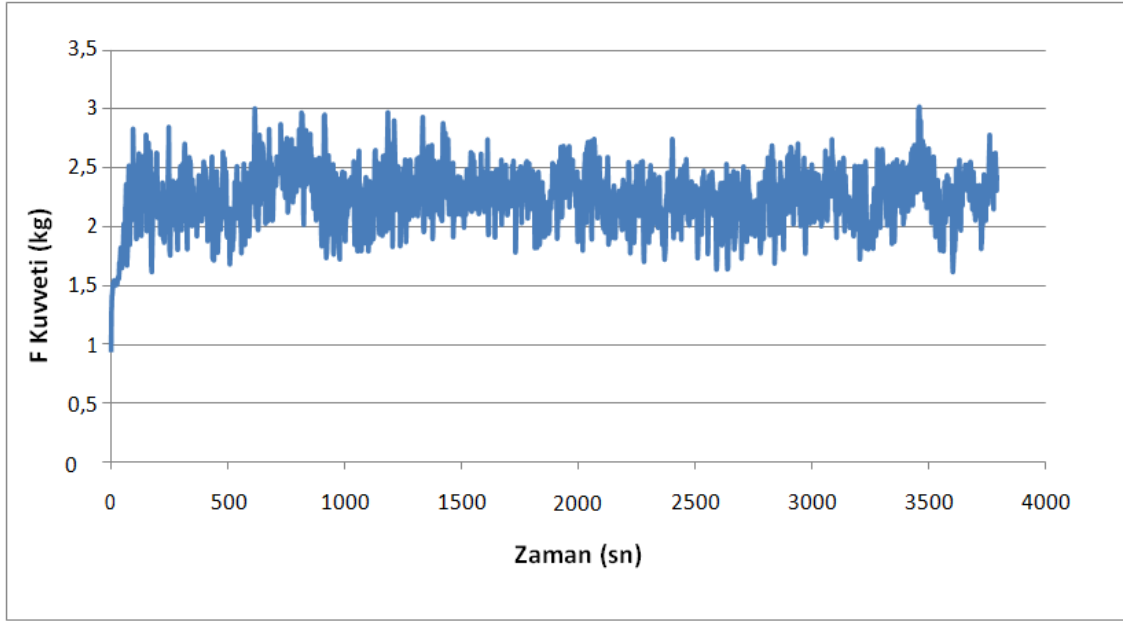
Şekil 4.1. Numune 1'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 1'in aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.2-Şekil 4.4'de sunulmuştur.



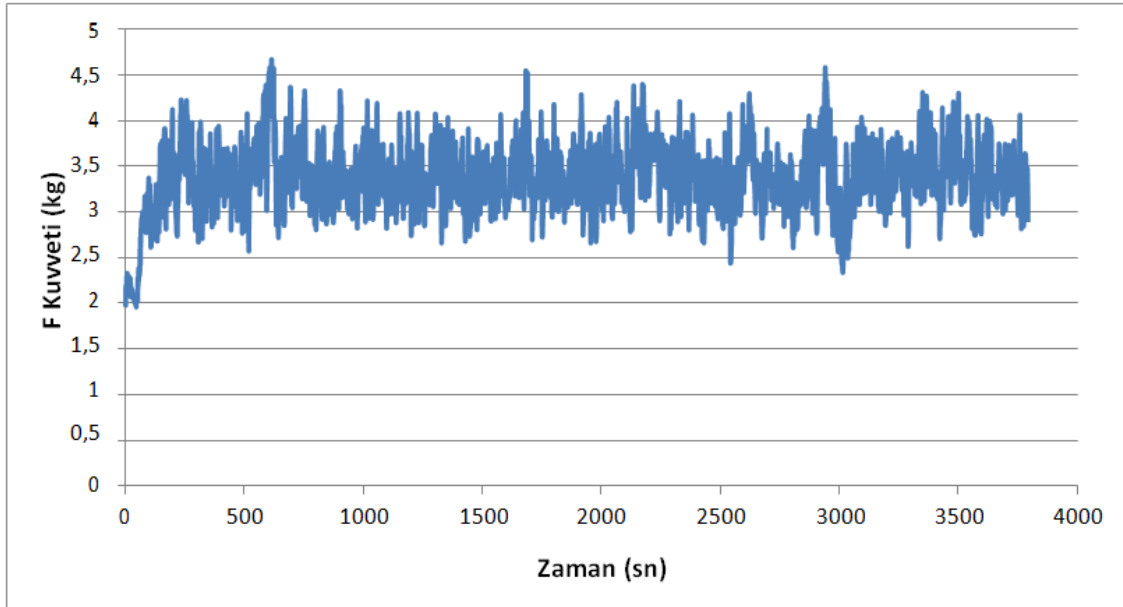
Şekil 4.2. 1,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,206 kg olarak bulunmuştur. $F = \mu \cdot N$ 'den $\mu = 0,804$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.3. 2,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,301 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,9204$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.4. 3,5 kg yük altında numune 1'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

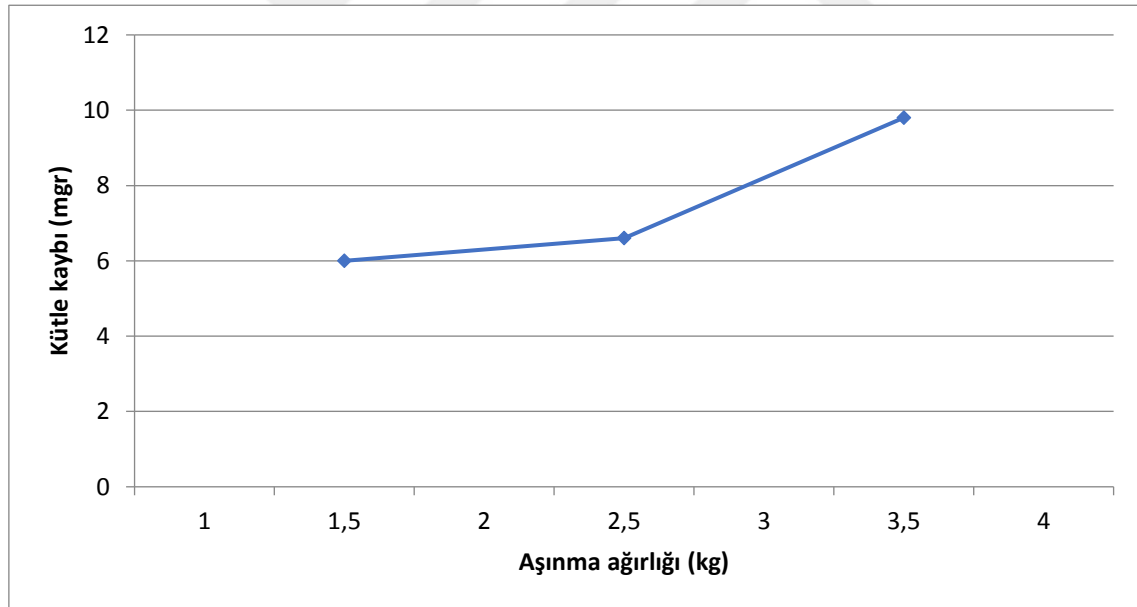
Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 3,390 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,9685$ olarak elde edilmiştir.

4.1.2. Numune 2 (160°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 4,1104 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 4,1044 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,0978 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,0880 gr olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.2, Şekil 4.5).

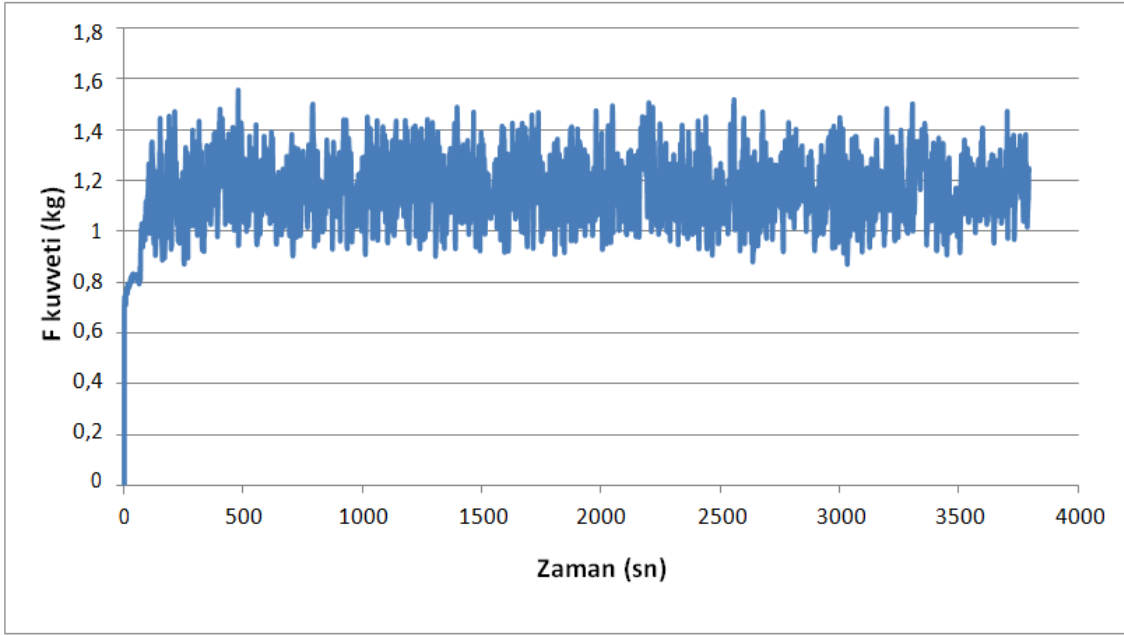
Çizelge 4.2. Numune 2'nin kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	4,1104 gr	4,1044 gr	0,0060 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	4,1044 gr	4,0978 gr	0,0066 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	4,0978 gr	4,0880 gr	0,0098 gr



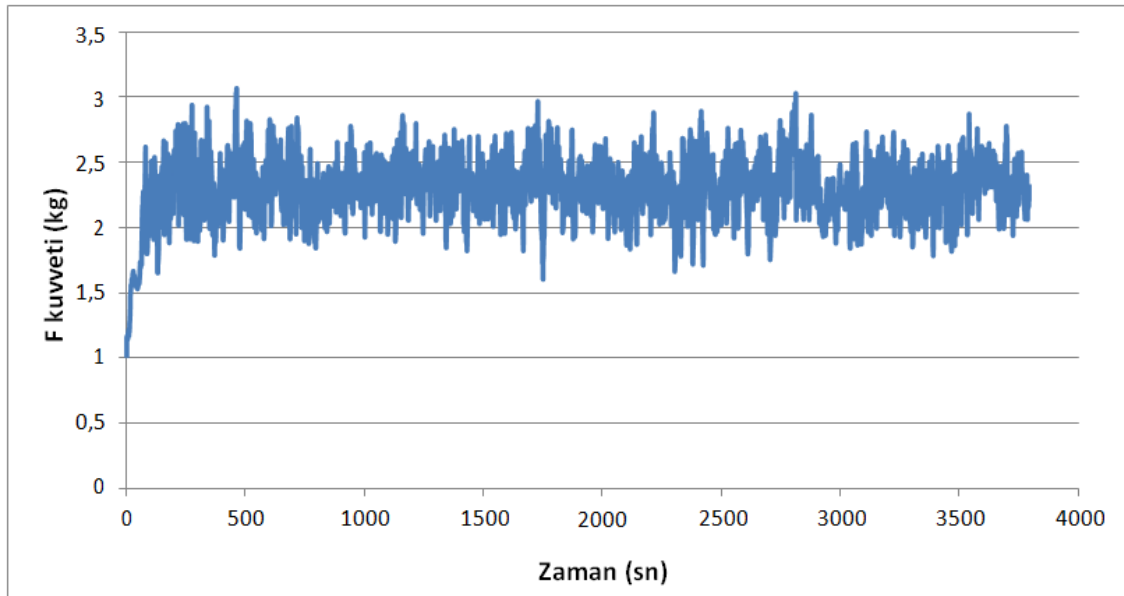
Şekil 4.5. Numune 2'nin kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 2'nin aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.6-Şekil 4.8'de sunulmuştur.



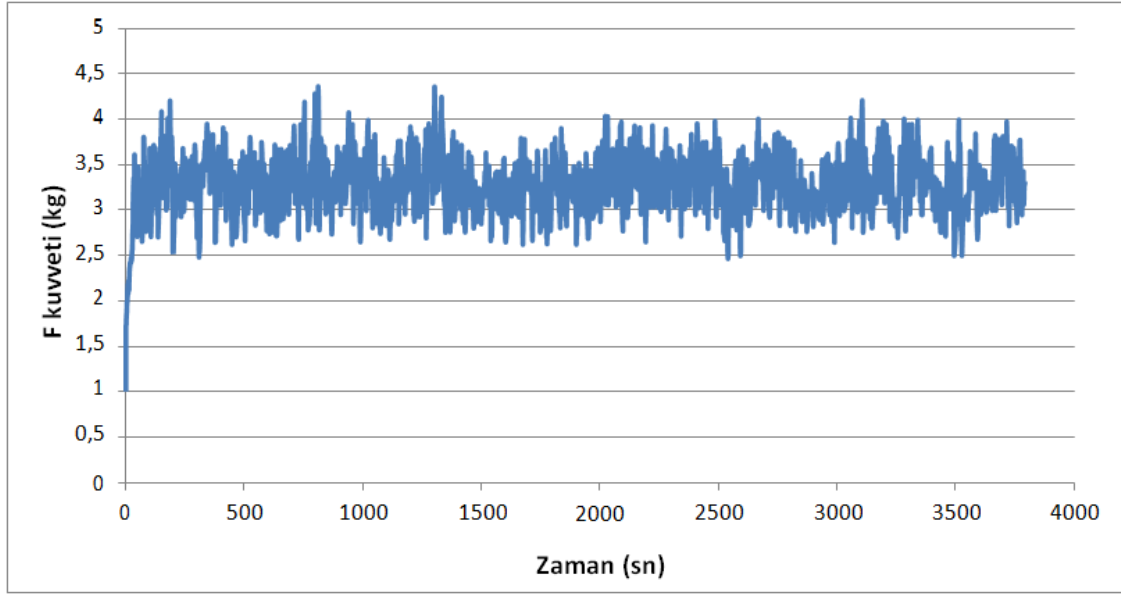
Şekil 4.6. 1,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,1616 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,7744$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.7. 2,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,306 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,9224$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.8. 3,5 kg yük altında numune 2'nin aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı değişim grafiği

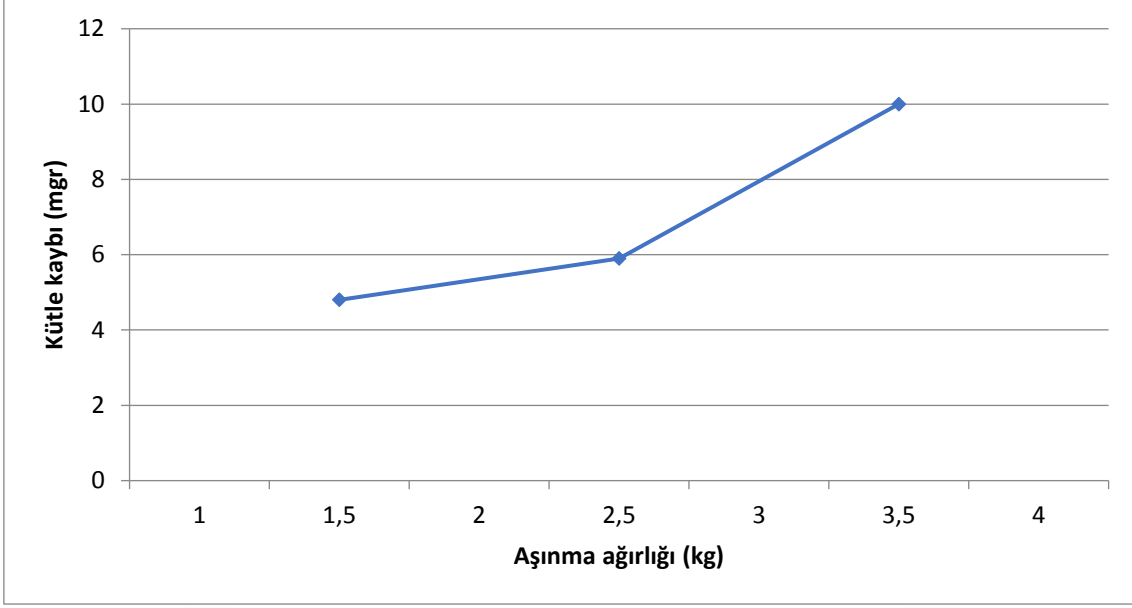
Alınan toplam veriler neticesinde 3,5 kg yük altında F_{ort} değeri 3,286 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,9388$ olarak elde edilmiştir.

4.1.3. Numune 3 (160°C sıcaklıkta 6 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 4,1119 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 4,1071 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,1012 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,0912 gr olduğu belirlenmiştir (Çizelge 4.3, Şekil 4.9).

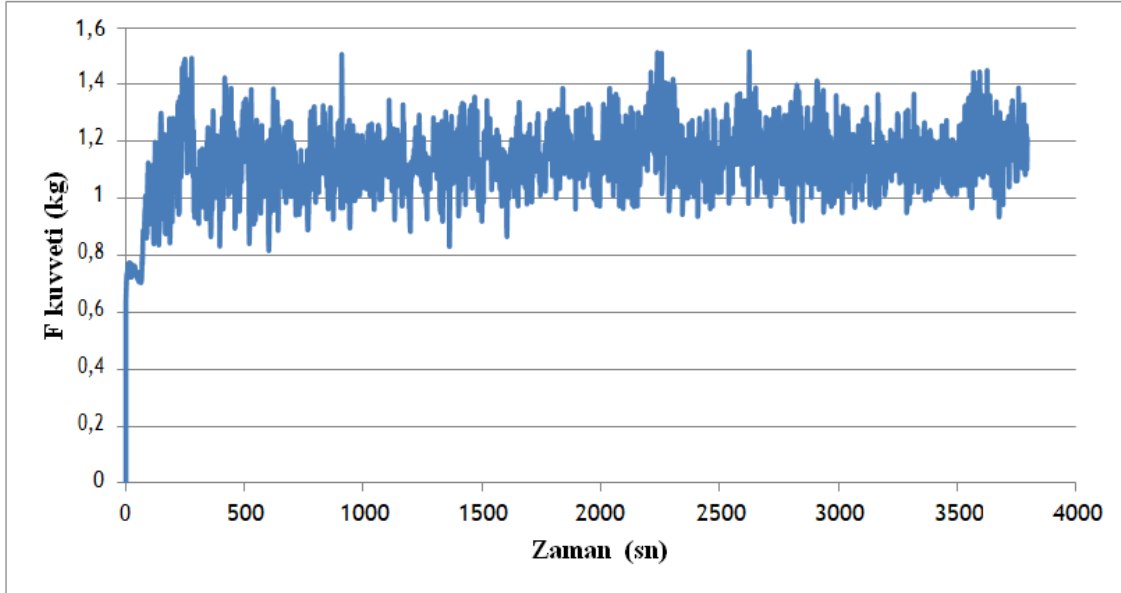
Çizelge 4.3. Numune 3'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	4,1119 gr	4,1071 gr	0,0048 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	4,1071 gr	4,1012 gr	0,0059 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	4,1012 gr	4,0912 gr	0,0100 gr



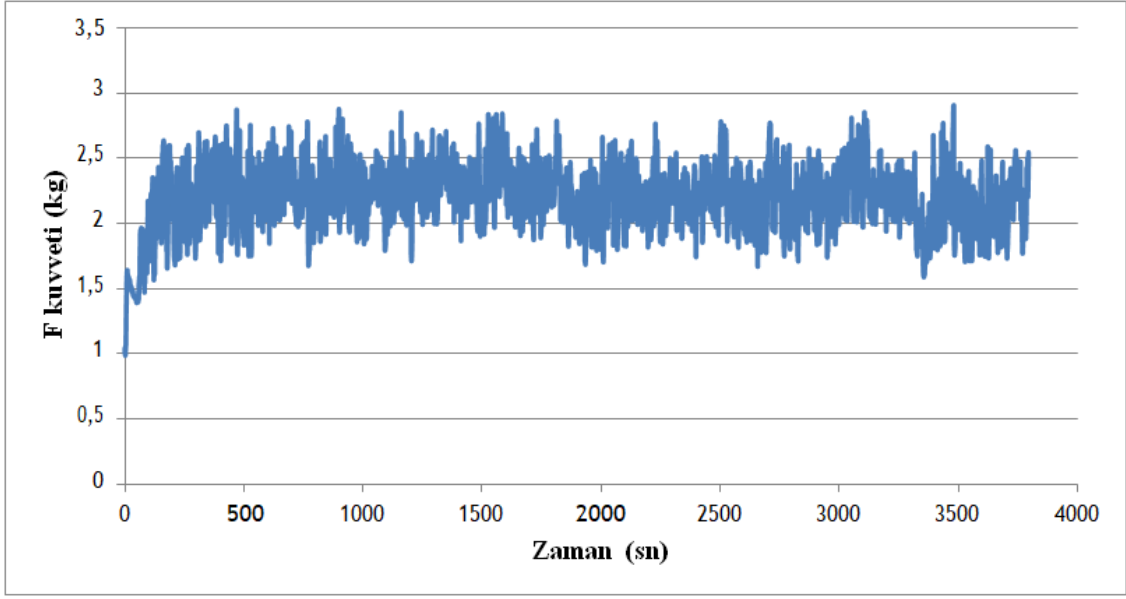
Şekil 4.9. Numune 3'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 3'ün aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.10-Şekil 4.12'de sunulmuştur.



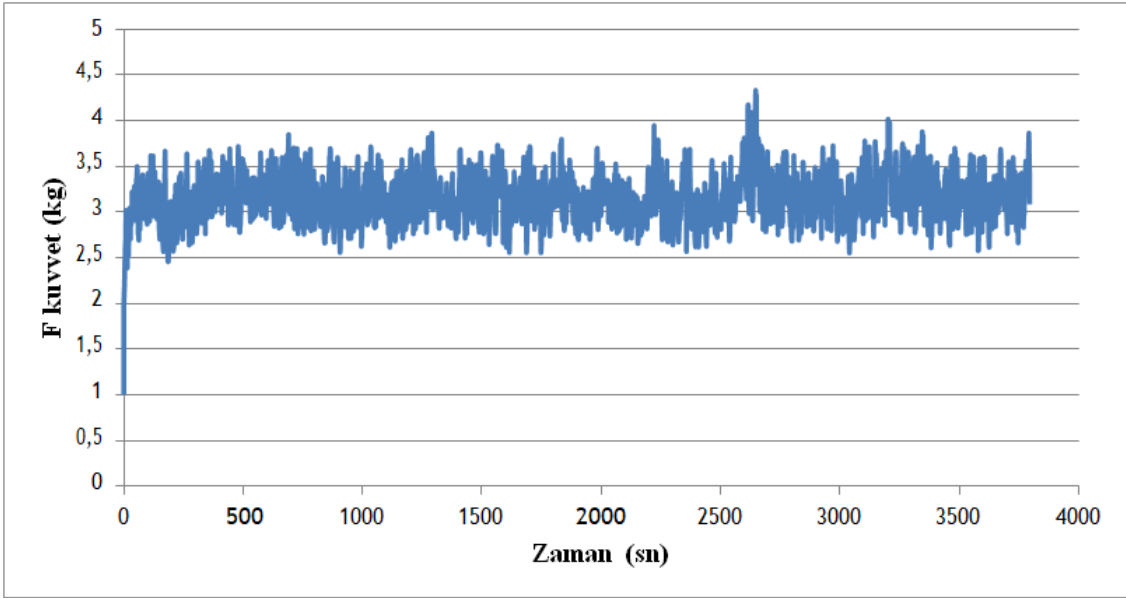
Şekil 4.10. 1,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,135 kg olarak bulunmuştur. $F = \mu \cdot N$ 'den $\mu = 0,7566$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.11. 2,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,203 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,8812$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.12. 3,5 kg yük altında numune 3'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

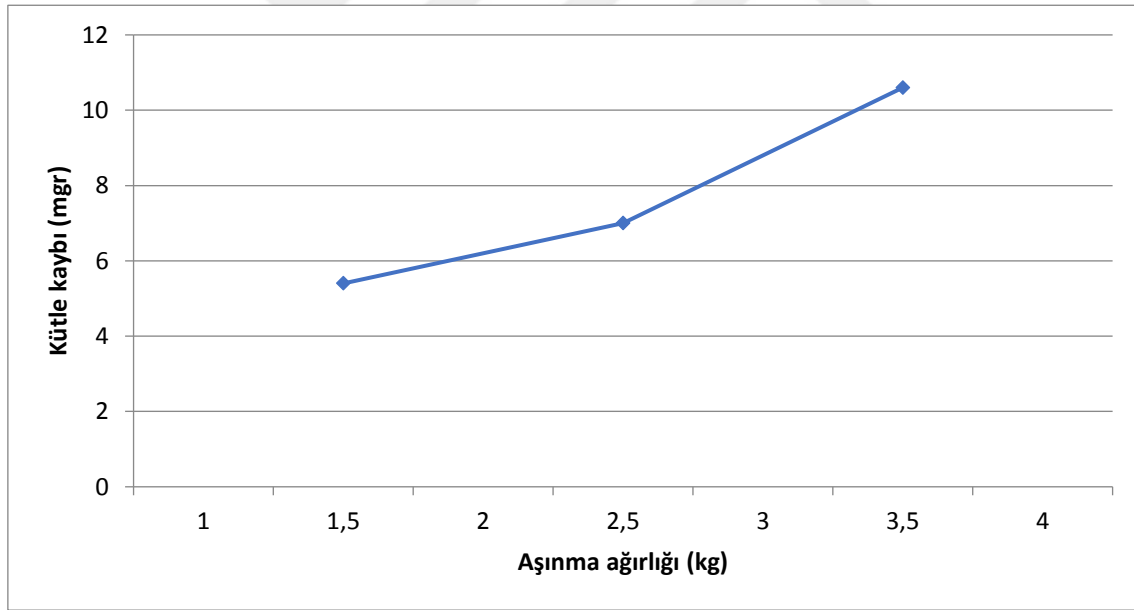
Alınan toplam veriler neticesinde 3,5 kg yük altında F_{ort} değeri 3,151 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,9002$ olarak elde edilmiştir.

4.1.4. Numune 4 (180°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 4,1775 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 4,1721 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,1651 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 4,1545 gr olduğu belirlenmiştir(Çizelge 4.4, Şekil 4.13).

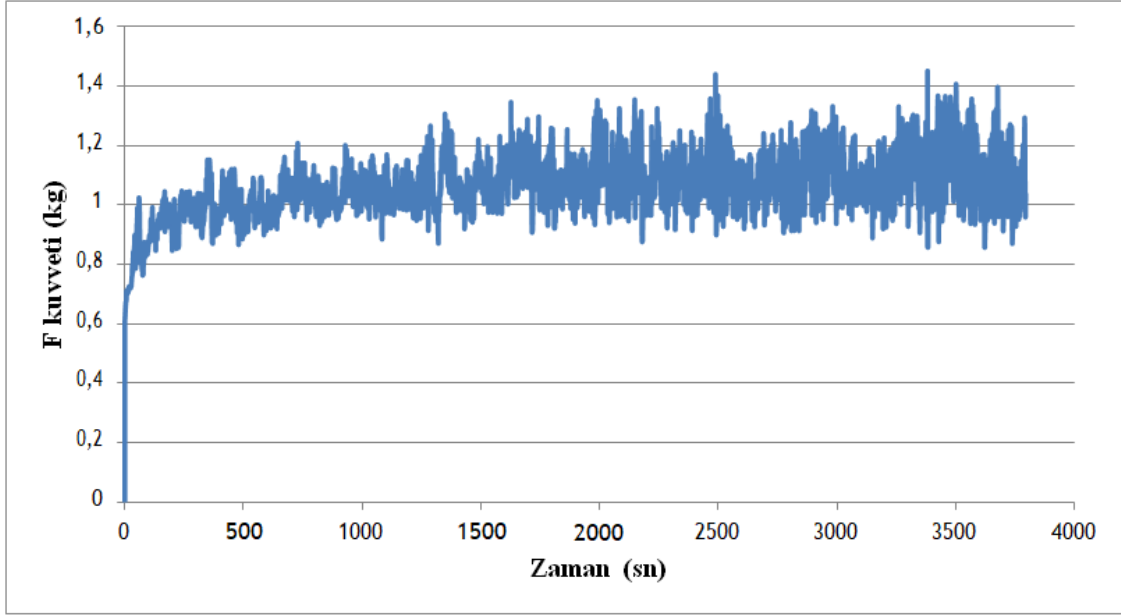
Çizelge 4.4. Numune 4'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	4,1775 gr	4,1721 gr	0,0054 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	4,1721 gr	4,1651 gr	0,0070 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	4,1651 gr	4,1545 gr	0,0106 gr



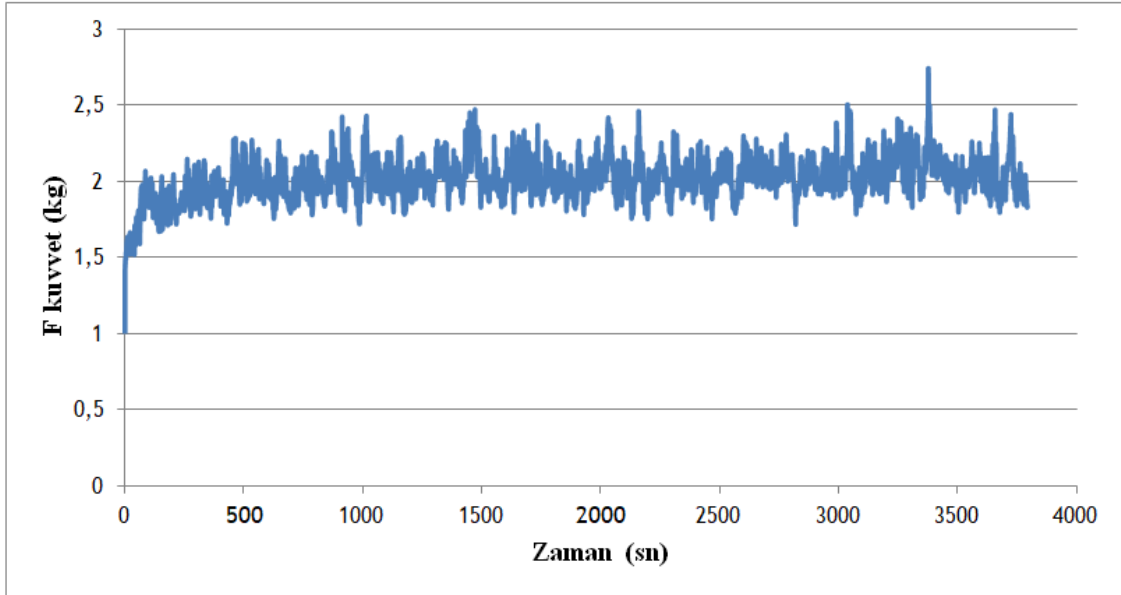
Şekil 4.13. Numune 4'ün kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 4'ün aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.14-Şekil 4.16'de sunulmuştur.



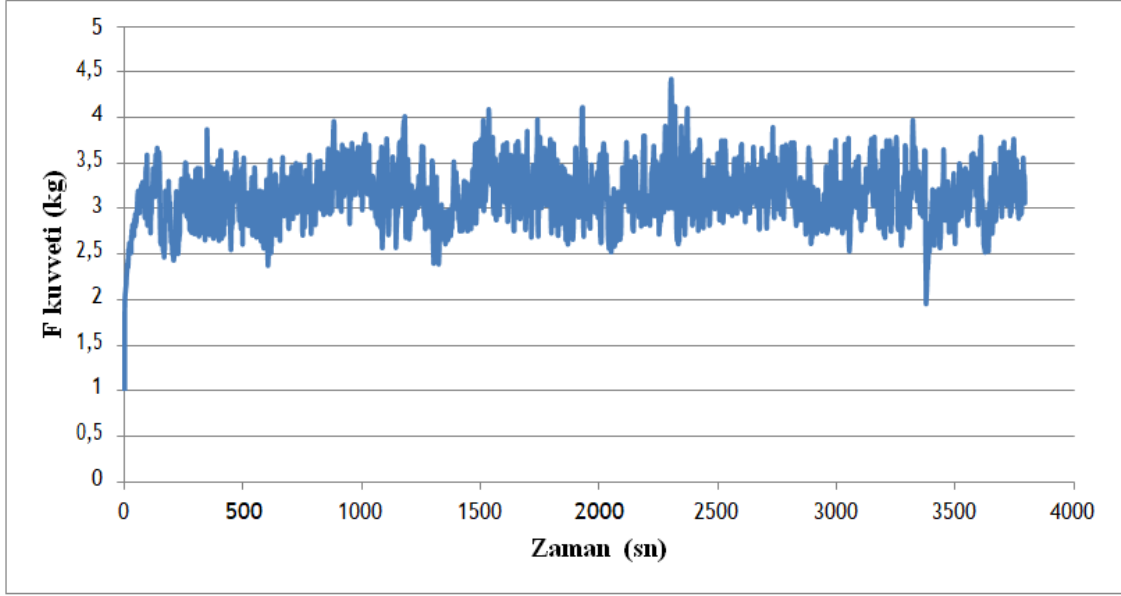
Şekil 4.14. 1,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,064 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,7093$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.15. 2,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,014 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,8056$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.16. 3,5 kg yük altında numune 4'ün aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

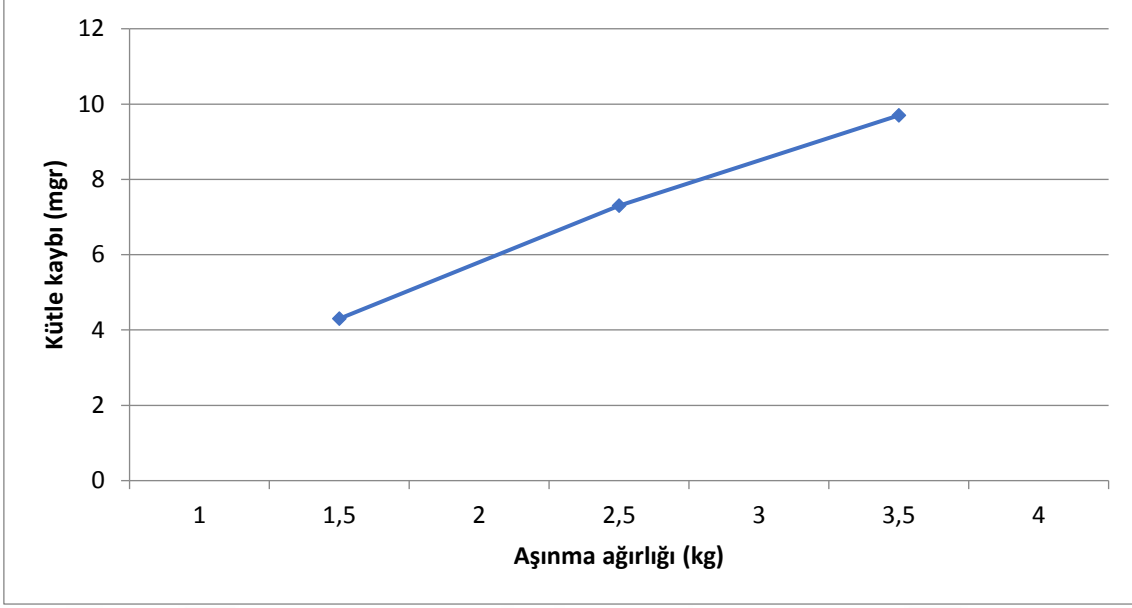
Alınan toplam veriler neticesinde 3,5 kg yük altında F_{ort} değeri 3,150 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,9$ olarak elde edilmiştir.

4.1.5. Numune 5 (200°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 3,7185 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 3,7142 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,7069 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,6972 gr olduğu belirlenmiştir(Çizelge 4.5, Şekil 4.17).

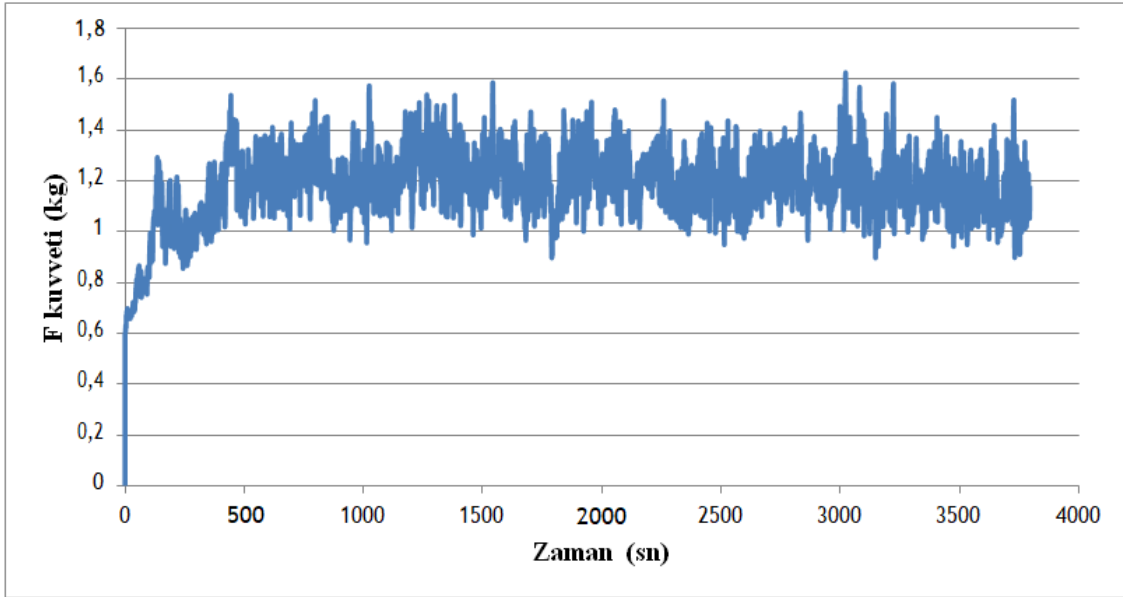
Çizelge 4.5. Numune 5'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	3,7185 gr	3,7142 gr	0,0043 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	3,7142 gr	3,7069 gr	0,0073 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	3,7069 gr	3,6972 gr	0,0097 gr



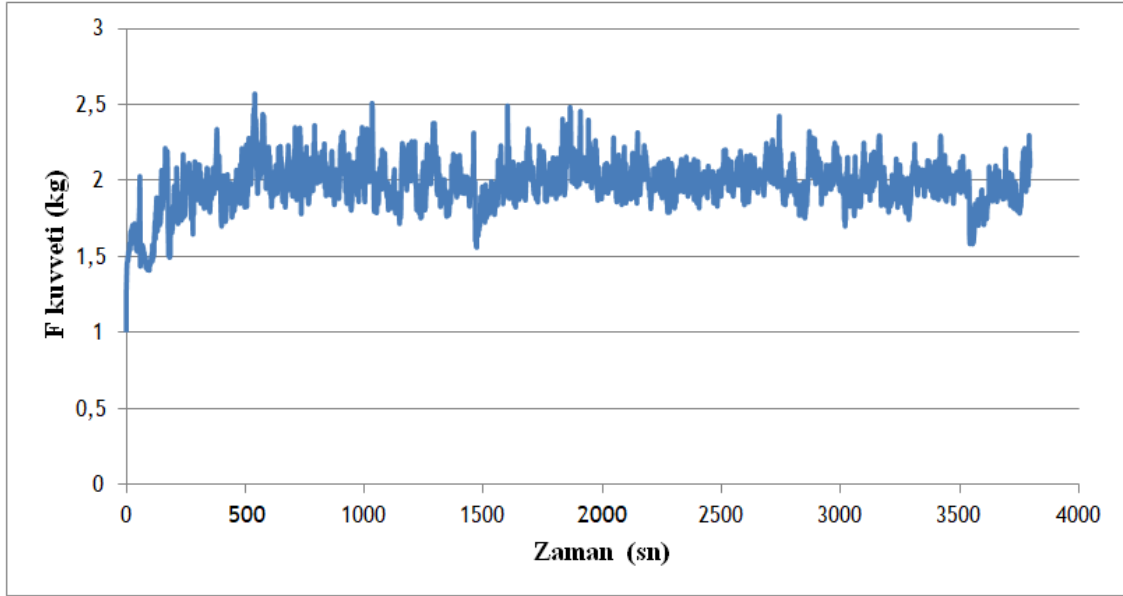
Şekil 4.17. Numune 5'in kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 5'in aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.18-Şekil 4.20'de sunulmuştur.



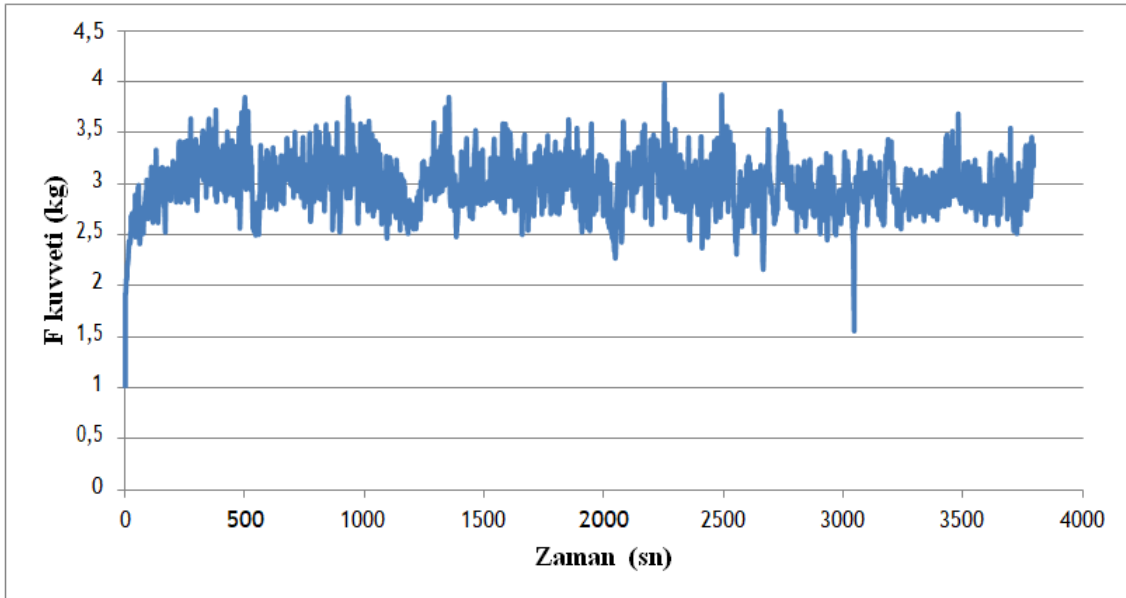
Şekil 4.18. 1,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,185 kg olarak bulunmuştur. $F = \mu \cdot N$ 'den $\mu = 0,79$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.19. 2,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,977 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,7908$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.20. 3,5 kg yük altında numune 5'in aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

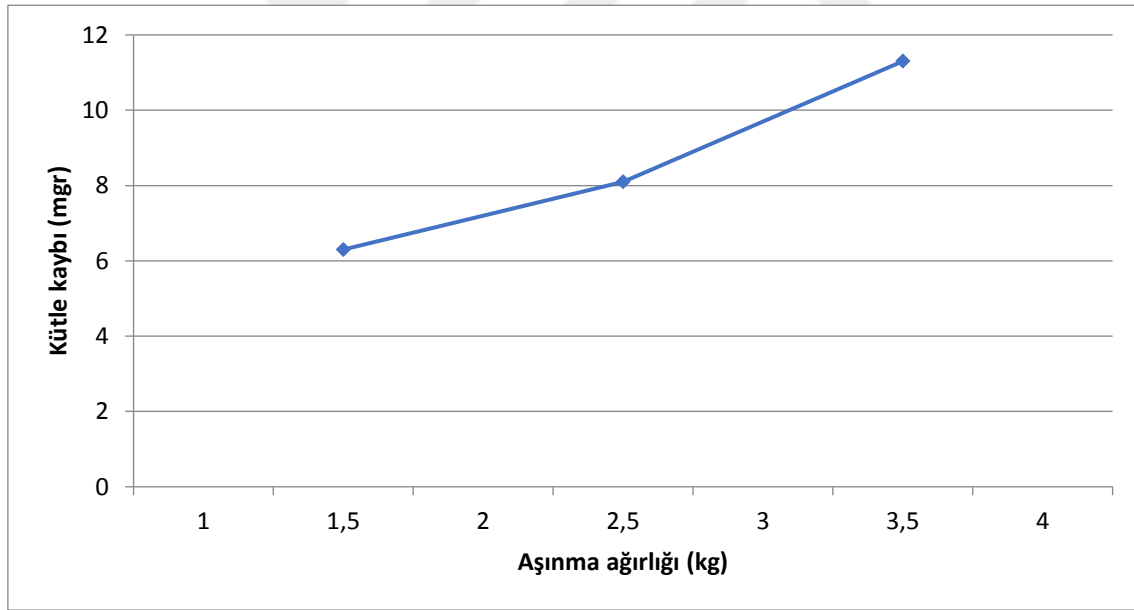
Alınan toplam veriler neticesinde 3,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,996 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,856$ olarak elde edilmiştir.

4.1.6. Numune 6 (220°C sıcaklıkta 4 saat yaşlandırma)

Adhezif aşınma testinden önce numune ağırlığı 3,4425 gr olarak ölçülmüştür. Sonrasında uygulanan 1,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlık 3,4362 gr olarak tespit edilmiştir. Sonrasında uygulanan 2,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,4281 gr olduğu ve son olarak uygulanan 3,5 kg yük altında 1000 m aşınma testi sonucunda yeni ağırlığın 3,4168 gr olduğu belirlenmiştir(Çizelge 4.6, Şekil 4.21).

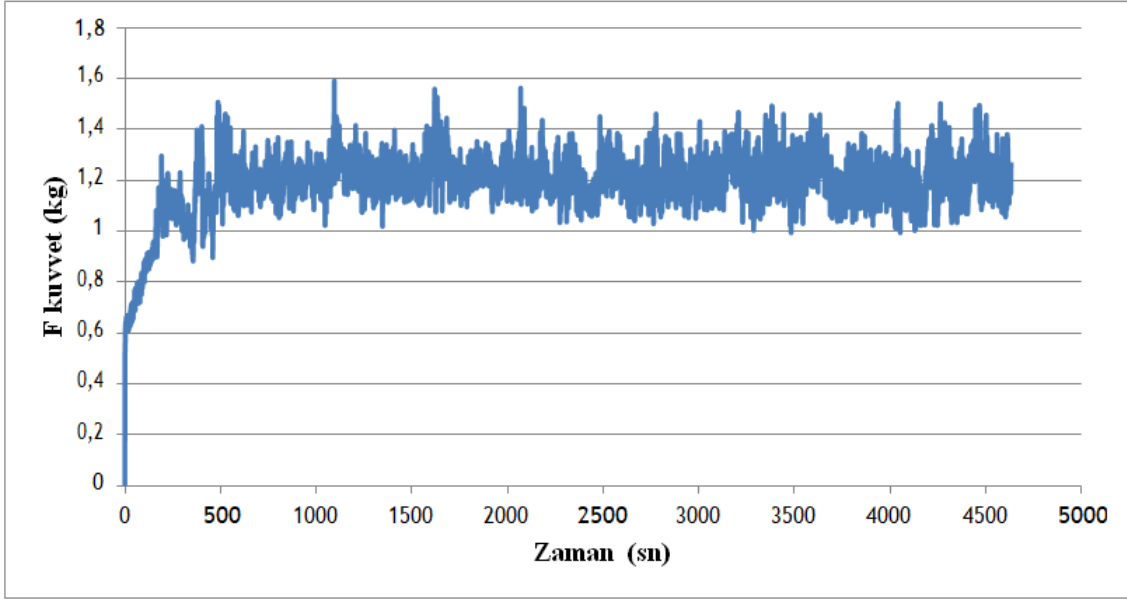
Çizelge 4.6. Numune 6'nın kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı çizelgesi

Uygulanan yük miktarı	İlk ağırlık	Son ağırlık	Kütle kaybı
1,5 kg yük altında numune değerleri	3,4425 gr	3,4362 gr	0,0063 gr
2,5 kg yük altında numune değerleri	3,4362 gr	3,4281 gr	0,0081 gr
3,5 kg yük altında numune değerleri	3,4281 gr	3,4168 gr	0,0113 gr



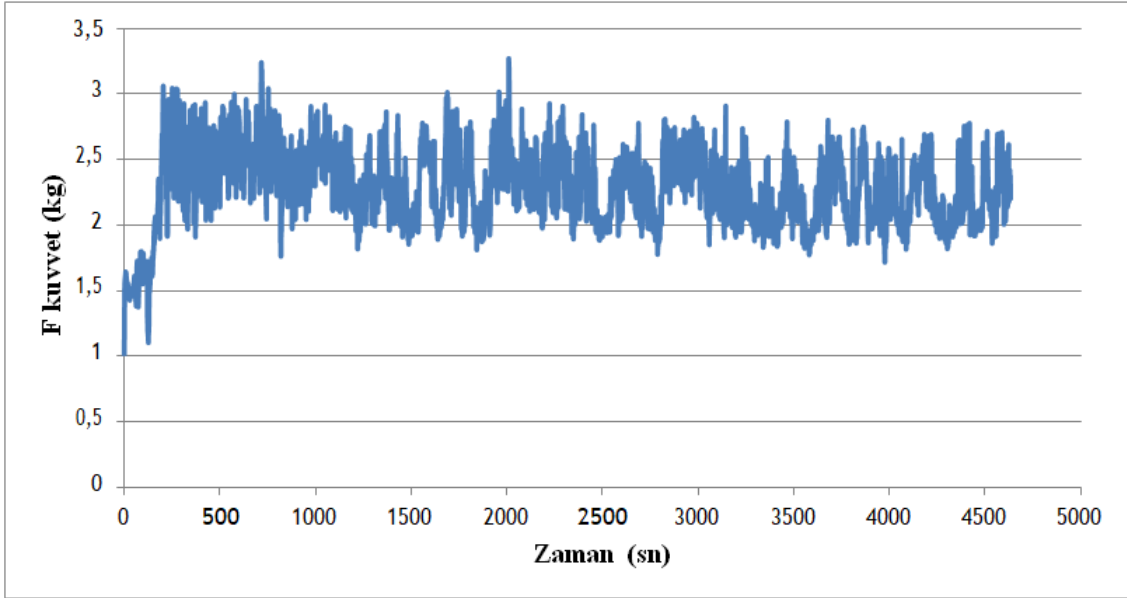
Şekil 4.21. Numune 6'nın kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği

Araştırmada ASTM G99'a göre tasarım ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile 1,5; 2,5 ve 3,5 kg yük altında gerçekleştirilen numune 6'nın aşınma testleri sırasında kaydedilen F değerlerinin zamana bağlı grafikleri sırası ile Şekil 4.22-Şekil 4.24'de sunulmuştur.



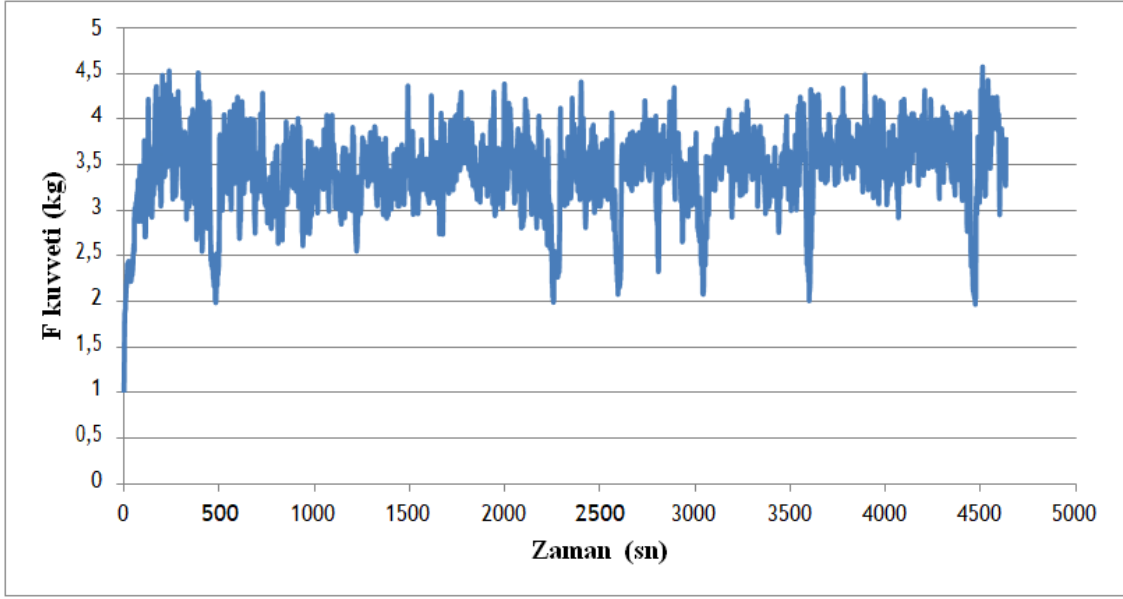
Şekil 4.22. 1,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 1,5 kg yük altında F_{ort} değeri 1,193 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,7953$ olarak elde edilmiştir.



Şekil 4.23. 2,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

Alınan toplam veriler neticesinde 2,5 kg yük altında F_{ort} değeri 2,282 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu.N$ 'den $\mu=0,9128$ olarak elde edilmiştir.

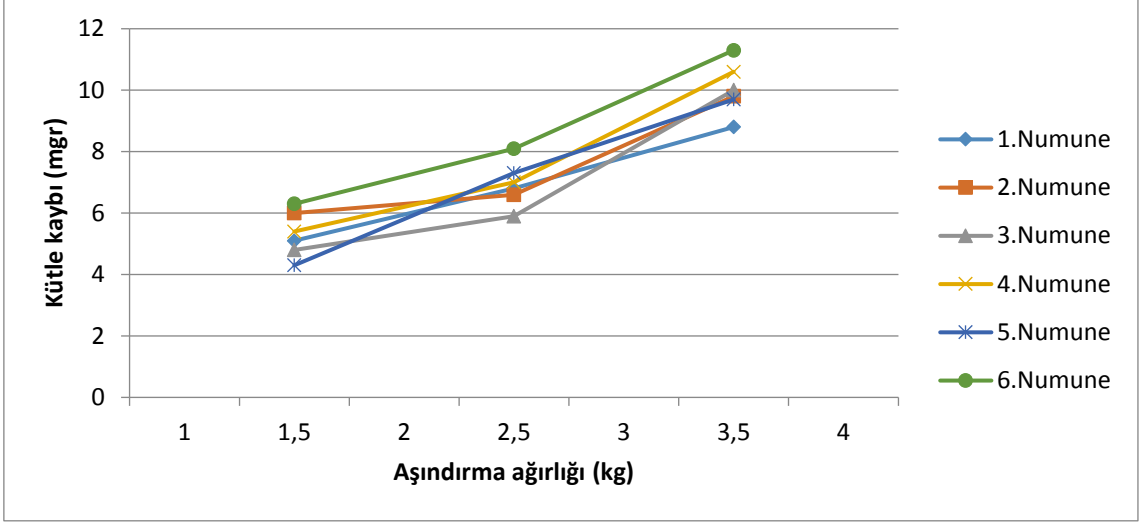


Şekil 4.24. 3,5 kg yük altında numune 6'nın aşınması sırasında alınan F değerlerinin zamana bağlı grafiği

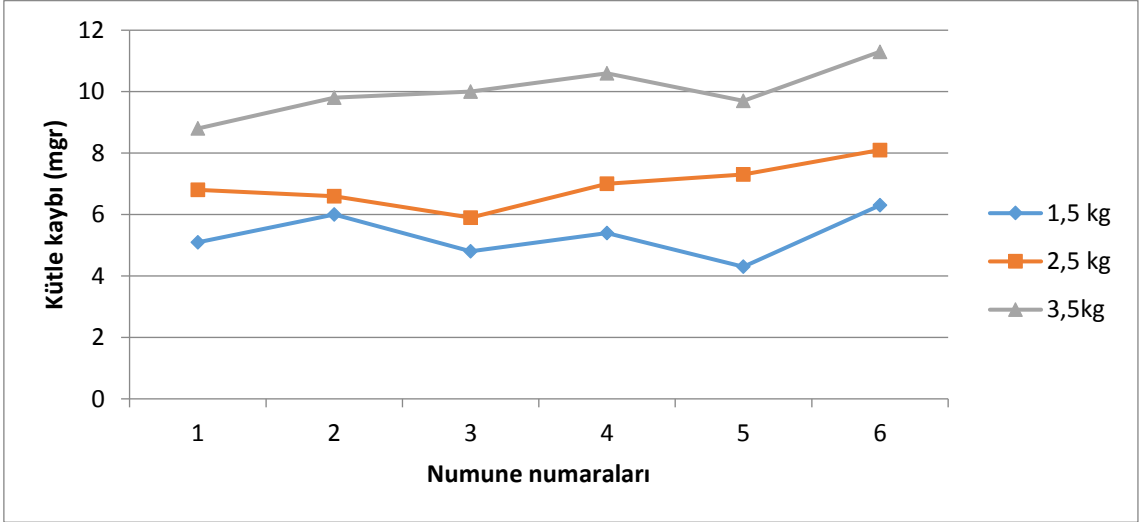
Alınan toplam veriler neticesinde 3,5 kg yük altında F_{ort} değeri 3,430 kg olarak bulunmuştur. $F=\mu \cdot N$ 'den $\mu=0,98$ olarak elde edilmiştir.

4.2. Kütle Kaybı ve Sürtünme Katsayısı “ μ ” Grafikleri

Numunelerden alınan değerler sonucunda oluşturulan grafikler (Şekil 4.25 ve Şekil 4.26) numune 6'nın kütle kaybı diğer numunelere oranla daha fazladır.

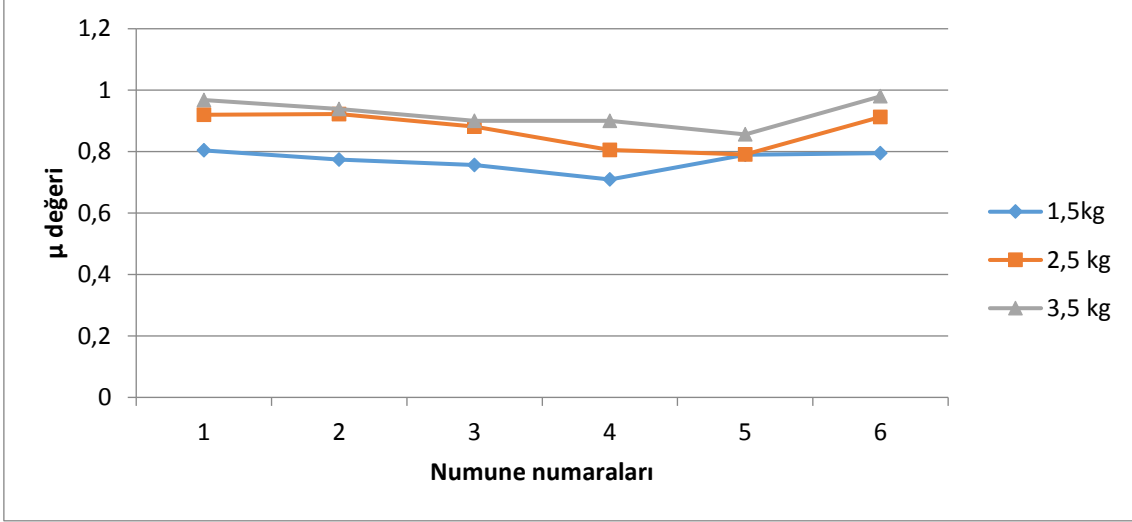


Şekil 4.25. Tüm numuneler için kütle kayıplarının aşınma ağırlıklarına bağlı değişim grafiği



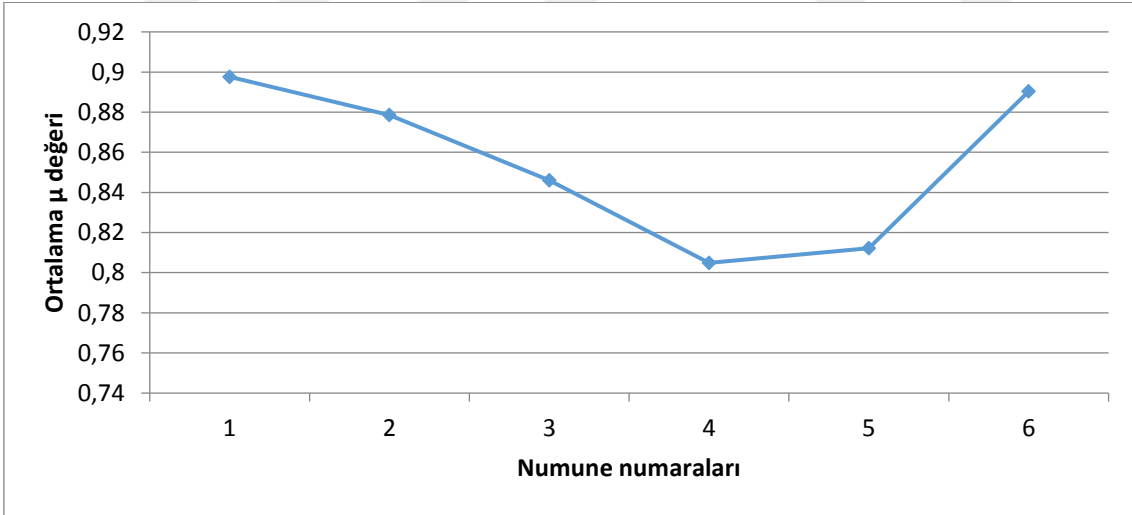
Şekil 4.26. Aşınma ağırlıkları için kütle kayıplarının numune numaralarına bağlı değişimi

Farklı ağırlıklarda her bir numune için yapılan aşınma testleri sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı “ μ ” değerlerinin ağırlık artsa dahi yaklaşık olarak aynı değerler aldığı tespit edilmiştir (Şekil 4.27).



Şekil 4.27. Aşınma ağırlıkları için sürtünme katsayısı “ μ ” değerlerinin numune numaralarına bağlı değişim grafiği

Numunelerin farklı ağırlıklar sonucunda elde edilen sürtünme katsayısı μ değerlerinin ortalamalarının alınması sonucu, en yüksek sürtünme katsayısı “ μ ” değeri ortalaması 0,8976 değeri ile numune 1 de, en düşük sürtünme katsayısı μ değeri ortalaması 0,8049 ile numune 4 te gözükmemektedir (Şekil 4.28).



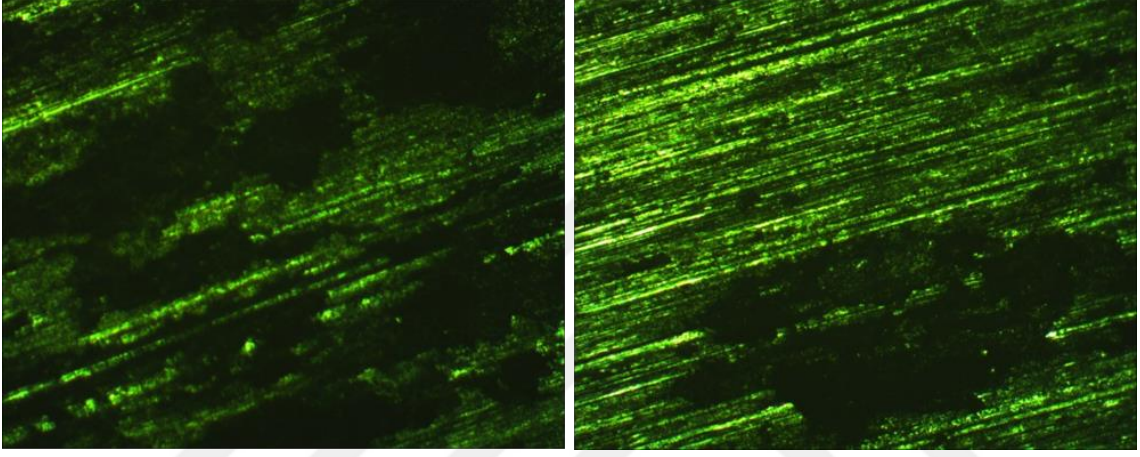
Şekil 4.28. Ortalama sürtünme katsayısı “ μ ” değerlerinin numune numaralarına bağlı değişim grafiği

4.3. Optik İncelemeler

Aşınma testlerinden sonra numunelerin aşınma yüzeyleri optik mikroskop yardımıyla incelenmiş ve fotoğrafları çekilmiştir. İncelemeler her bir numune için 5x, 10x, 20x ve 50x lik lenslerle gerçekleştirilmiştir.

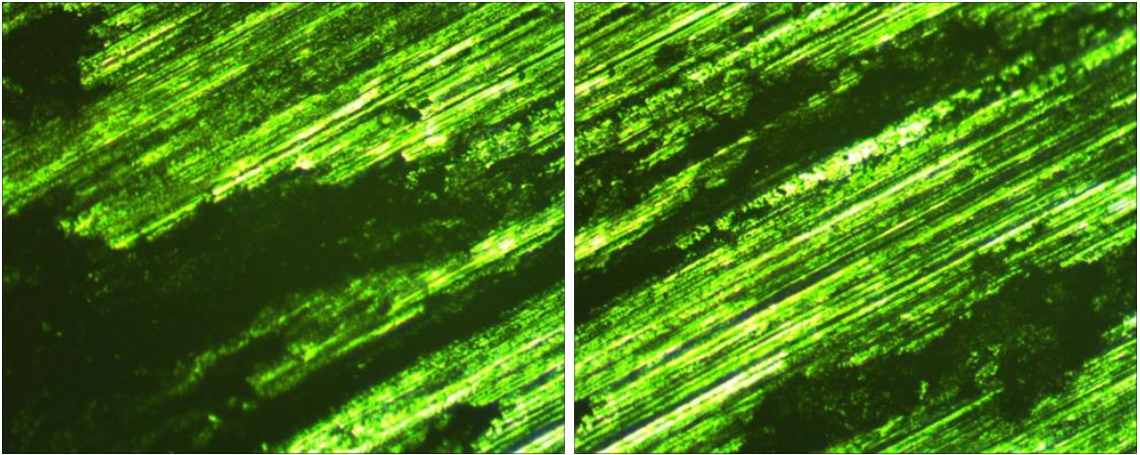
4.3.1. Numune 1

1.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.29'da verilmiştir.



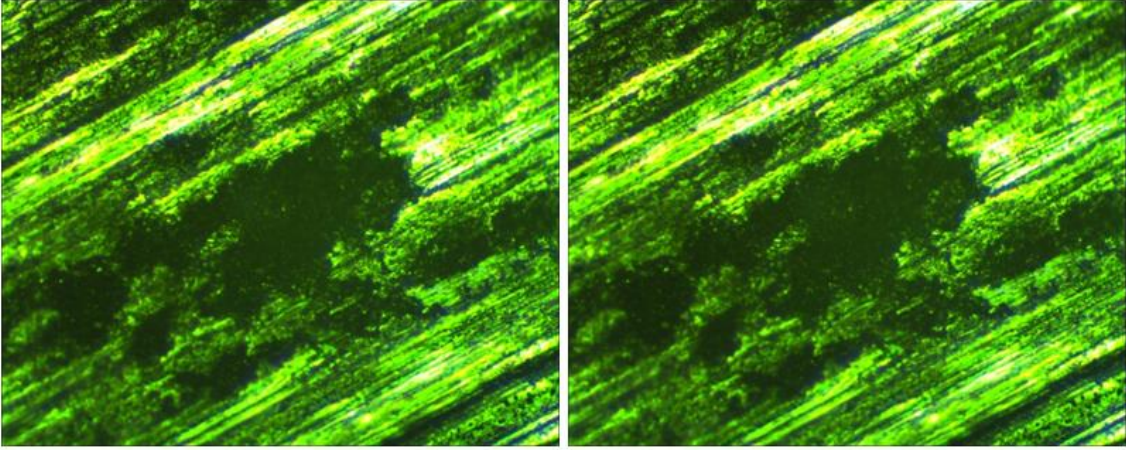
Şekil 4.29. Numune 1'in 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

1.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.30'da verilmiştir.



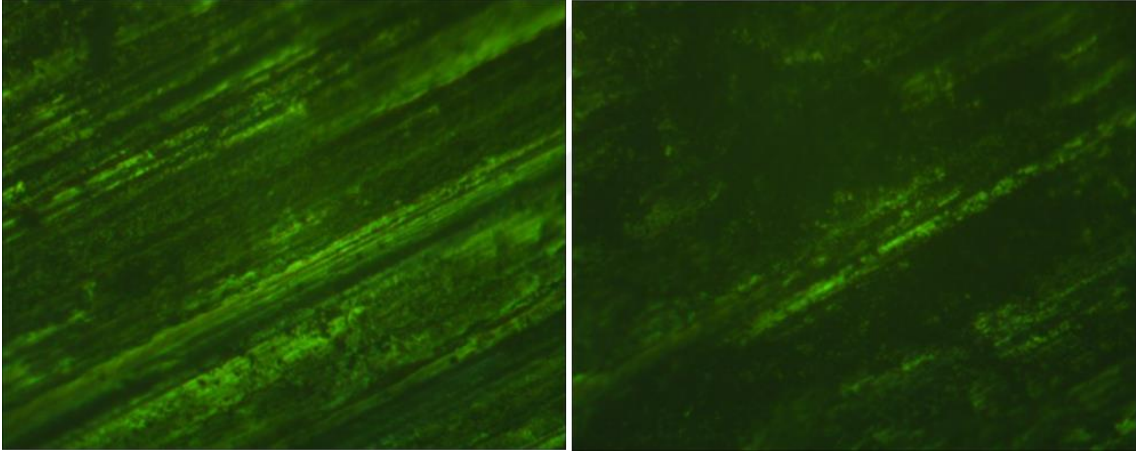
Şekil 4.30. Numune 1'in 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

1.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.31’de verilmiştir.



Şekil 4.31. Numune 1’in 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

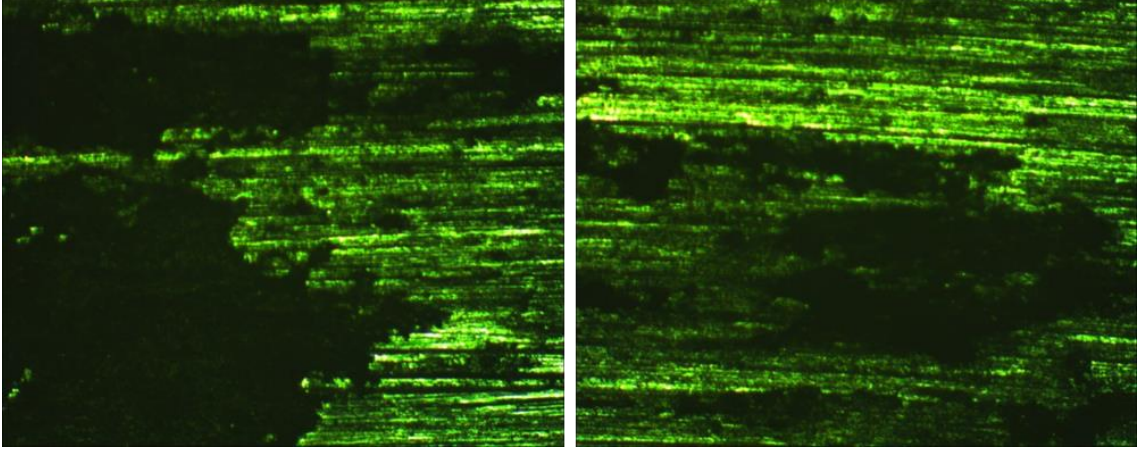
1.numunenin 50 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.32’de verilmiştir.



Şekil 4.32. Numune 1’in 50x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

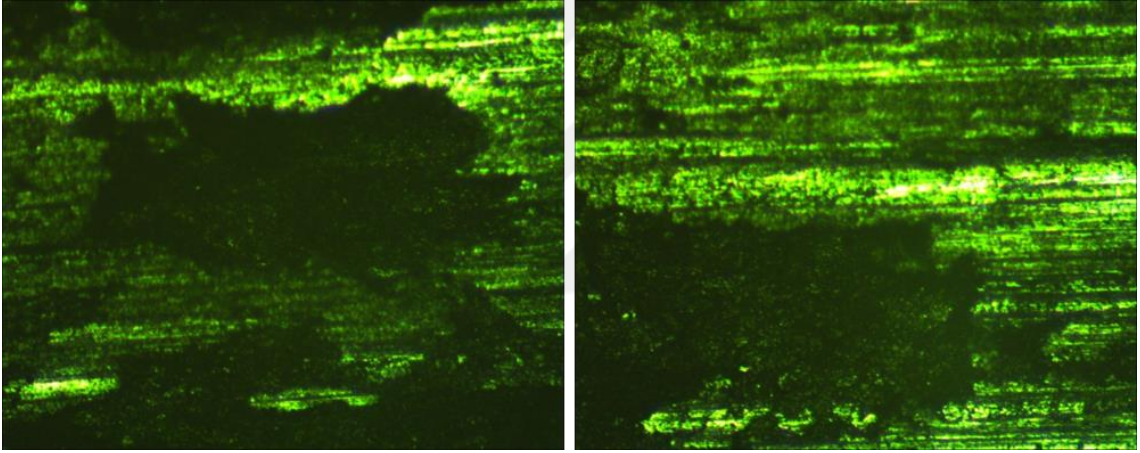
4.3.2. Numune 2

2.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.33’de verilmiştir.



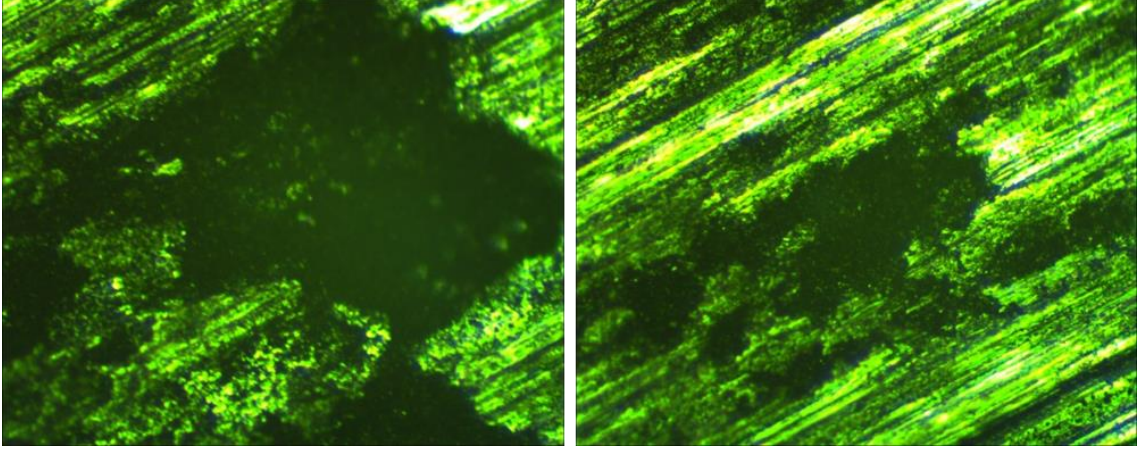
Şekil 4.33. Numune 2'nin 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

2.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.34'de verilmiştir.



Şekil 4.34. Numune 2'nin 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

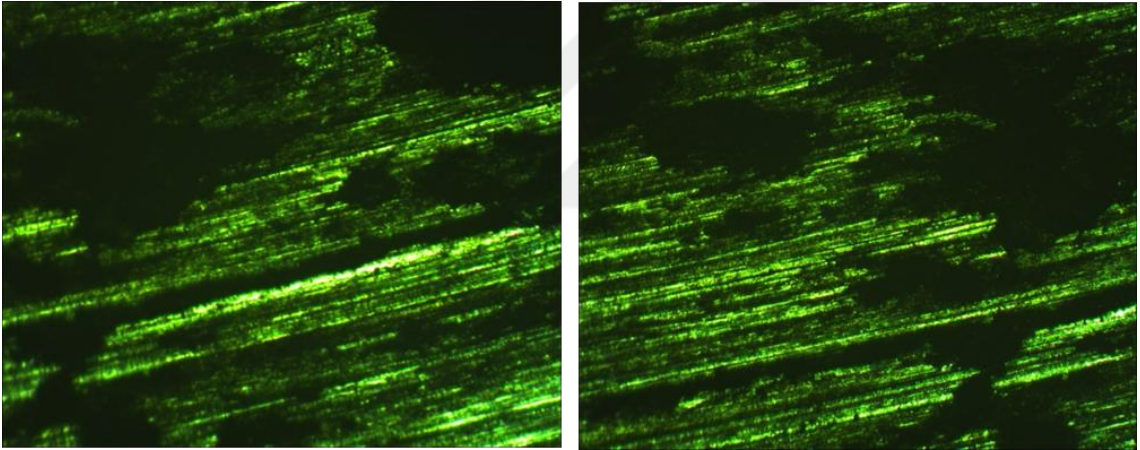
2.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.35'de verilmiştir.



Şekil 4.35. Numune 2'nin 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

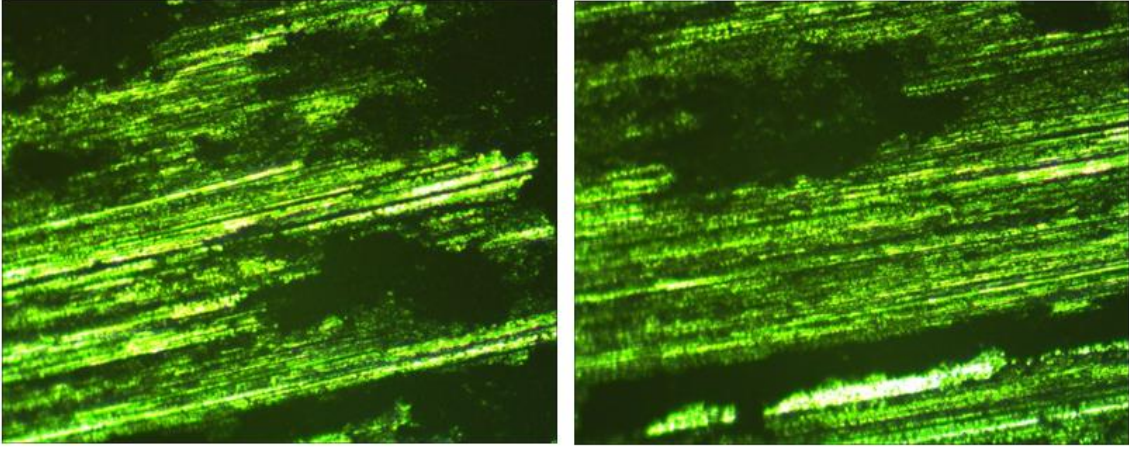
4.3.3. Numune 3

3.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.36'da verilmiştir.



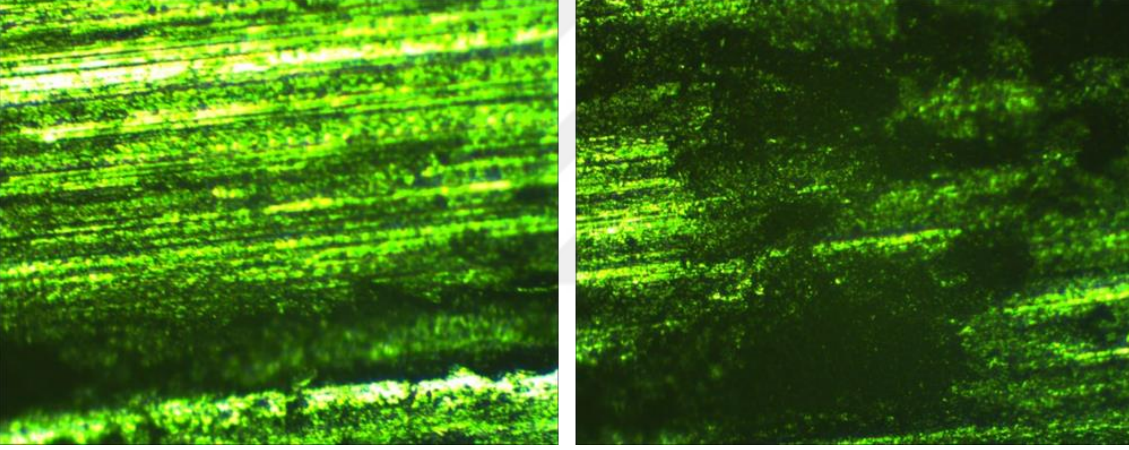
Şekil 4.36. Numune 3'ün 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

3.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.37'de verilmiştir.



Şekil 4.37. Numune 3'ün 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

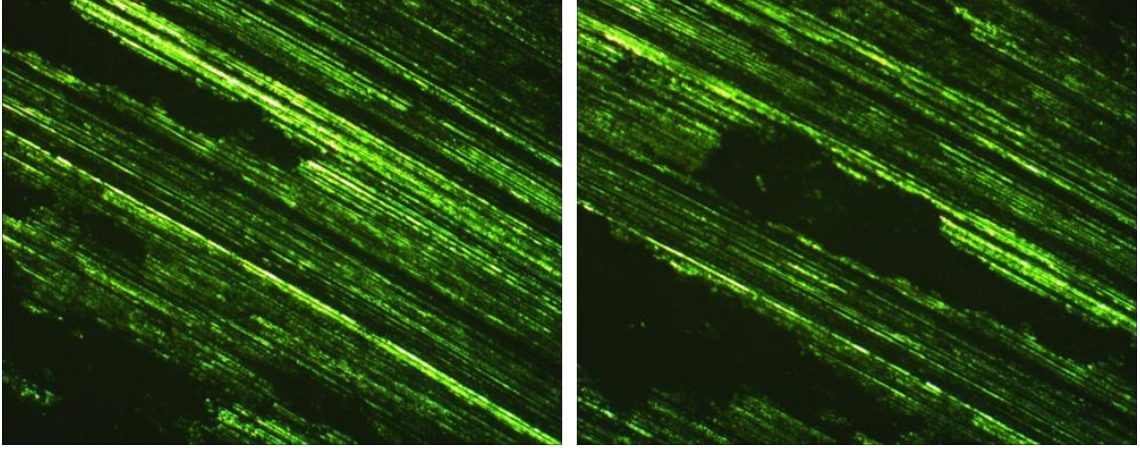
3.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4,38'de verilmiştir.



Şekil 4.38. Numune 3'ün 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

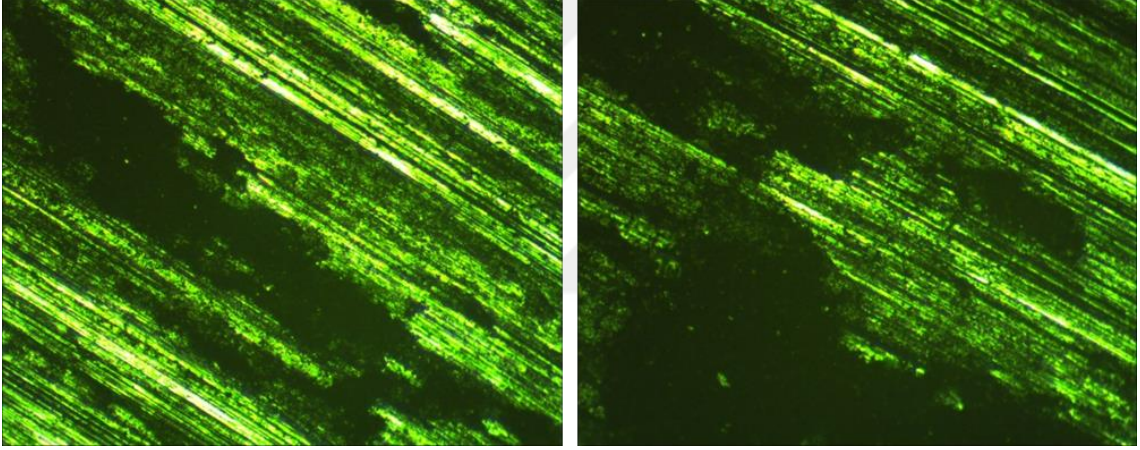
4.3.4. Numune 4

4.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.39'da verilmiştir.



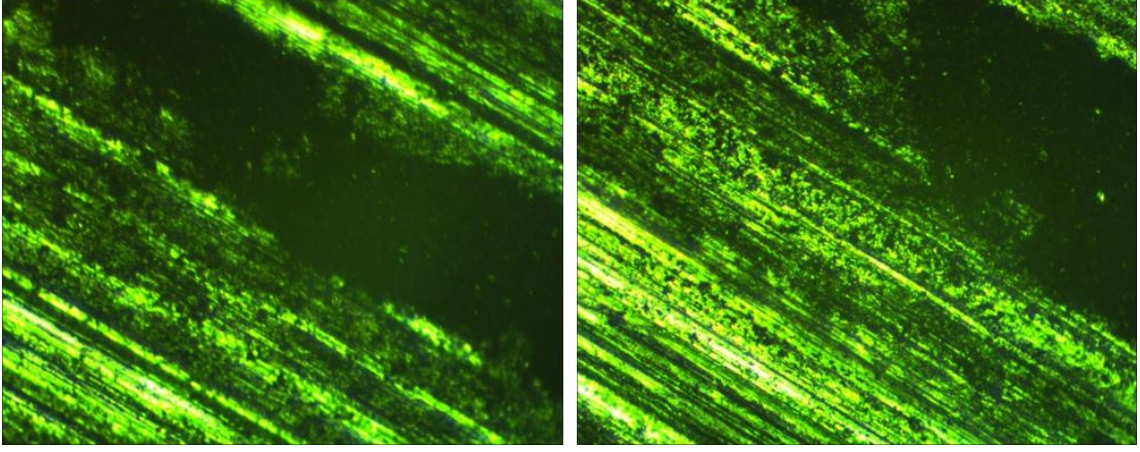
Şekil 4.39. Numune 4'ün 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

4.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.40'da verilmiştir.



Şekil 4.40. Numune 4'ün 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

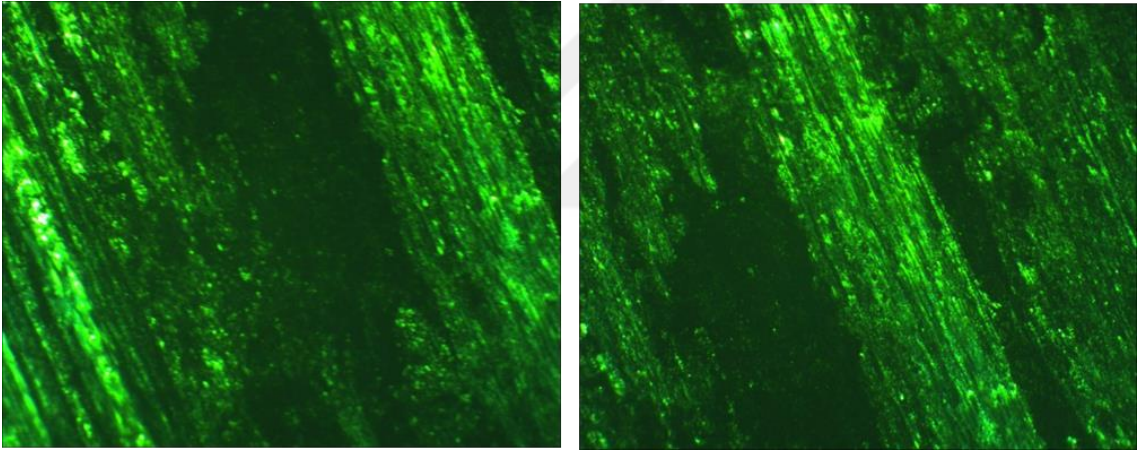
4.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.41'de verilmiştir.



Şekil 4.41. Numune 4'ün 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

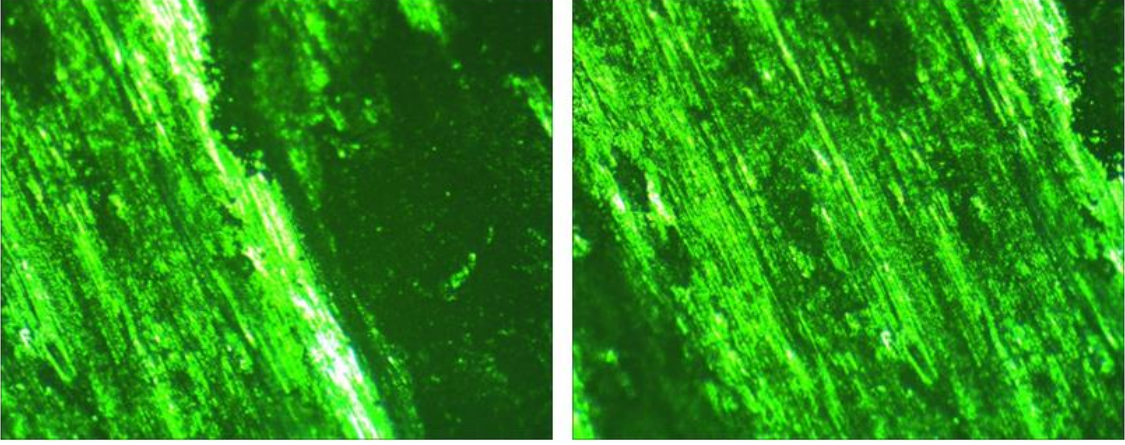
4.3.5. Numune 5

5.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.42'de verilmiştir.



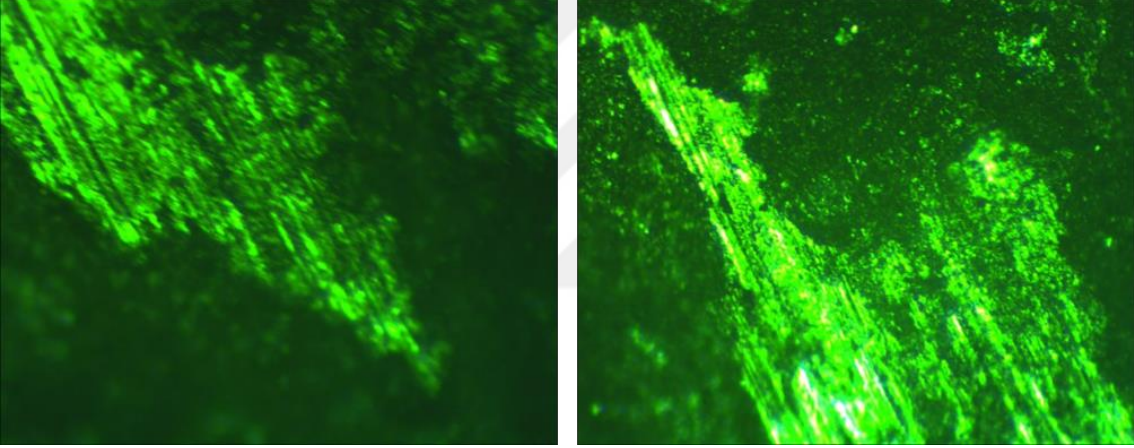
Şekil 4.42. Numune 5'in 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

5.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.43'te verilmiştir.



Şekil 4.43. Numune 5'in 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

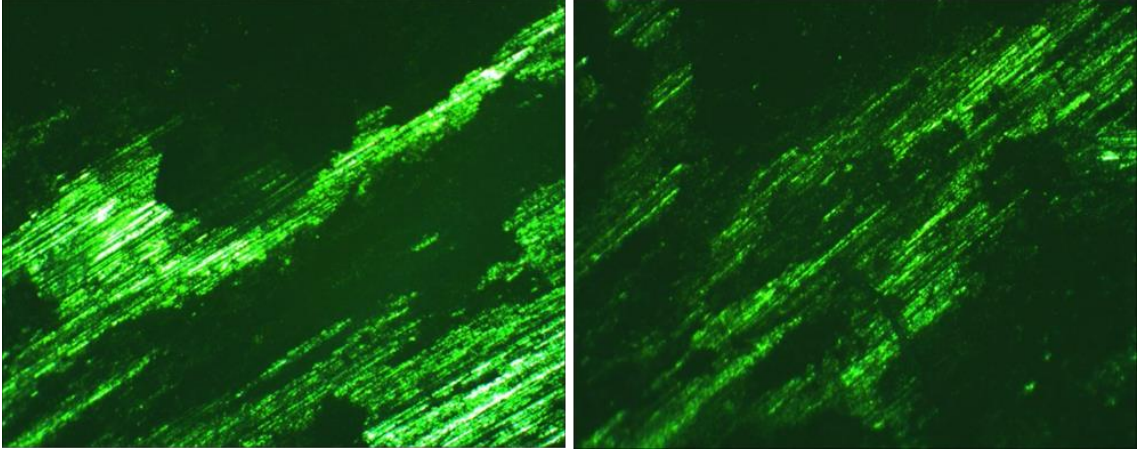
5.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.44'te verilmiştir.



Şekil 4.44. Numune 5'in 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

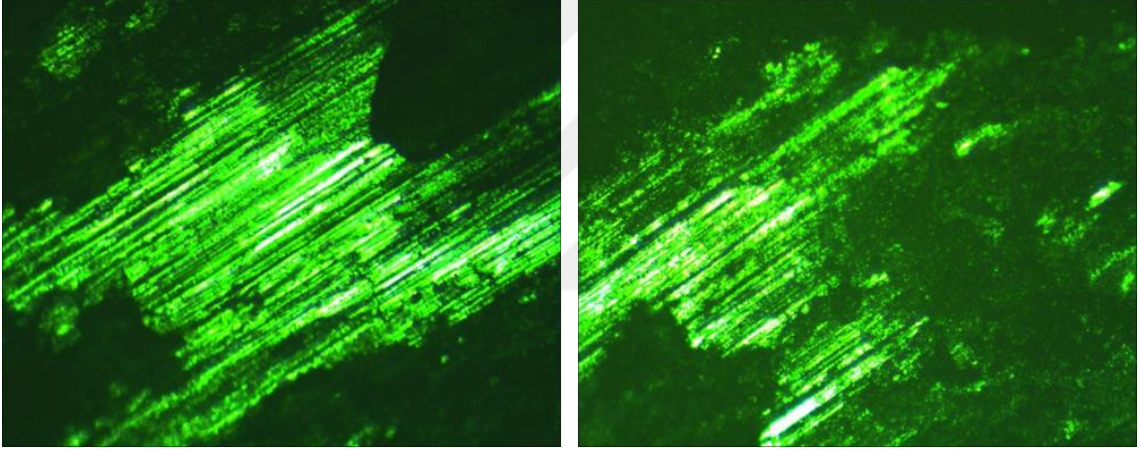
4.3.6. Numune 6

6.numunenin 5 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.45'te verilmiştir.



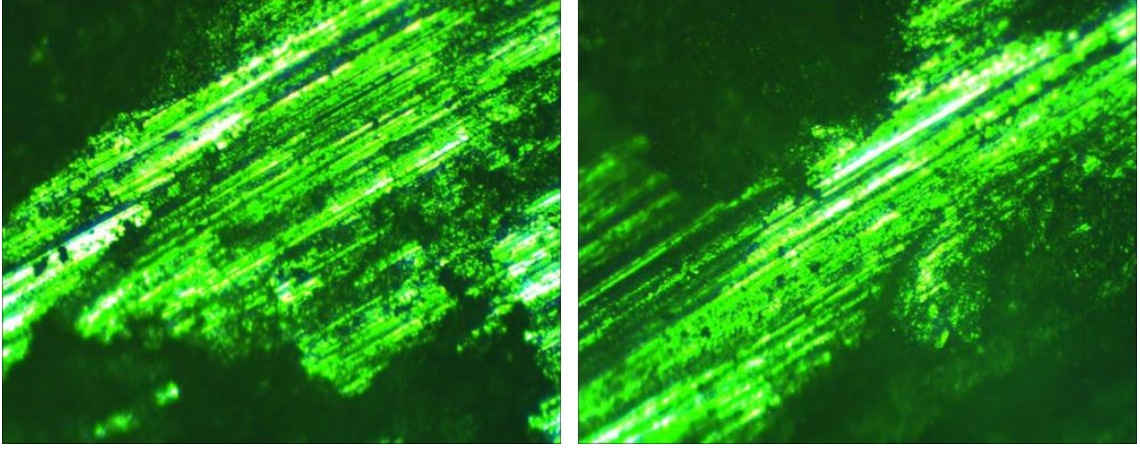
Şekil 4.45. Numune 6'nin 5x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

6.numunenin 10 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.46. Numune 6'nin 10x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

6.numunenin 20 kere büyütülmüş mercekteki görünümü Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. Numune 6'nin 20x lens ile büyütülmüş aşındırılmış yüzeyinin görüntüleri

Şekillerde görülen siyah bölgeler ile parlak bölgeler arasında adhesive kopmalardan dolayı kot farkları bulunmakta olduğu belirlenmiştir. Parlak bölgelerde görülen kayma yönündeki çizgilerin ise aşındırıcı yüzeye yapışmış olan adhezif aşınma kopmalarının oluşturduğu abrazif aşınma çizgileri olduğu gözlemlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Tasarımı Solidworks programında gerçekleştirilerek prototip adhezif aşınma test cihazının üretimi toleranslar dahilinde gerçekleştirilmiştir. Üretim sonrasında imalatı gerçekleştirilen parçalar ve standart olan parçalar montajlanmıştır. Kontrol ünitesinden gerekli kablolar yapılarak elektrik panosu oluşturulmuştur. Elektrik panosunun üzerinden sistemin kontrolü sağlanmaktadır.

Makinede farklı yüzey pürüzlülük ve sertliklerde diskler kullanılabilir. X eksenindeki kızaklar sayesinde aşındırıcı disk yüzeyinin farklı noktalarında deney yapabilmektedir. Makineye mevcut numune tutucular ile 2,6,10 mm çaplarında numuneler bağlanabilir de ihtiyaca göre tasarlanacak farklı tutucular ile değişik geometrideki numuneler de test edilebilir.

Tasarımı ve imalatı gerçekleştirilen test cihazı ile EN AC-43000 (AlSi10Mg) alüminyum döküm malzemesi üzerinde test çalışmaları yapılmıştır. Numunelerden alınan aşınma değerleri sonucu göz önüne alındığı takdirde, numune 6'nın kütle kaybı diğer numunelere oranla daha fazla oluşmaktadır. Buna ilave olarak mikro yapı incelemeleri sonucunda aşınma yüzeylerinde bulunan kopma çukurlarının, adhezif aşınma sonucunda olduğu göz önüne alınırsa en çok adhezif kopmanın yine 6 numaralı numunede olduğu tespit edilmiştir. Mikro yapı sonucunda yapılan gözlemlerde numune 5 ve numune 4 te gözlemlenen derin aşınma çizgileri numunelerin şiddetli abrazif aşınmalara maruz kaldığını da göstermektedir. Adhezif aşınma sonucu, numunelerden kopan parçacıklar aşındırıcı disk yüzeyine kayması sonucu abrazif aşınmaya ve ciddi çizilmelere yol açtığı gözlemlenmiştir. Abrazif aşınmaların önüne geçilmesi amacıyla pim ve disk yatay konuma getirilerek, numuneden aşınıp kopan parçacıkların sistemi terk etmesi sağlanabilir. 1,5 kg ağırlık altında ilk başlanan test sonucunda en az aşınan numunenin 5 numaralı numune olması ve 2,5 kg ağırlık sonrasında ise ciddi bir kütle kaybına maruz kalması adhezif aşınmadan abrazif aşınmaya geçişin burada olduğunu göstermektedir. Genel kütle kayıpları göz önüne alındığında en az kütle kaybına maruz kalan numuneler sırasıyla 1=3<5<2<4<6 dır.

Yapılan testler de μ değeri (Şekil 4.28) düşük çıkan 4 ve 5 numaralı numunelerin maruz kaldığı aşınma çoğunlukla abrazif aşınma olduğu düşünülebilir. 1 numara ve 6 numaralı numunelerde μ değeri yüksek bulunmuş mikro yapılarına da ağırlıklı olarak adhezif

çukur gözlemlendiğinden numunelerin maruz kaldığı aşınma çoğunlukla adhezif aşınma olduğu düşünülmektedir.

Test cihazına güç verildiği takdirde disk ve numune arasında sürtünme oluşacaktır. Sürtünmeden kaynaklı numune üzerinde belirgin ölçünde ısınma meydana gelecektir. Sistem üzerinde deneyi yapılan numunenin tribolojik özelliklerinin daha kolay saptanabilmesi için numunenin sıcaklık artışını gözlemleyebilecek bir tasarım eklenebilir.

Sistemin dış ortamdan yalıtımı sağlanarak sürtünme esnasında, numunenin ve aşındırıcı diskin yanması sonucu ortaya çıkacak gazların saptanması için bir filtre sistemi kullanılabilir. Örneğin; Fren balata sistemi baz alındığında, sürtünmeden dolayı bir ısı oluşacak ve malzemelerde yanma meydana getirecektir. Yanma sonucu ortaya çıkan gazlar sistemdeki filtre yardımı ile saptanması mümkün olacaktır.

Yapılan bu çalışmada, homojenleştirme ve yaşlandırma işleminden önce ve sonra her bir numune için sertlik değerlerinin alınması, her bir numune için aşınma öncesinde mikro yapı incelemesinin yapılması, aşınma sonrasında mikro yapı incelemesi yapılırken çizgi ve çukurlar da ölçek kullanılması ve hassas bir aşınma testi için her bir numunenin, aşındırıcı yüzeyin farklı yerlerinde aşındırılmasının test sonuçlarını doğruluklarını olumlu yönde etkileyecektir.

KAYNAKLAR

- Akgün, G., Özel, C., Bilgin, A., & Yurtseven, G. (2012). Pnömatik Tip Aşınma Deney Cihazının Tasarımı ve İmalatı.
- Akkoyunlu, S. (2008). Küresel mafsallarda aşınma dayanımının incelenmesi ve iyileştirilmesi (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Akkurt, M., 1990. Makine Elemanları Cilt 1, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Anderson, A. (1995). ASM Metals Handbook Volume 18: Friction, Lubrication and Wear.
- ASTM G40-17, Standard Terminology Relating to Wear and Erosion, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- ASTM G99-17, Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2017, www.astm.org
- Bağcı, M. (2010). Cam elyaf takviyeli kompozit malzemelerin erozyon aşınma davranışının incelenmesi (Doctoral dissertation, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Bhushan, B., Axen N., Hogmark S., Jacobson S., Larsson M., Wiklund U., 2001, Modern Triboloji Handbook, Chapters: 13,19,26
- Bhushan, B., & Ko, P. L. (2003). Introduction to tribology. Appl. Mech. Rev., 56(1), B6-B7.
- Bobzin, K., Lugscheider, E., Nickel, R., Bagcivan, N., & Krämer, A. (2007). Wear behavior of Cr1-xAlxN PVD-coatings in dry running conditions. Wear, 263(7-12), 1274-1280.
- Çakır, E., ve Tunay, R. F. (2014). Pim-Disk Deney Seti Tasarımı ve İmalatı. Soma MYO Teknik Bilimler Dergisi, 48.
- Çelikyürek, İ. (2006). Demir Aluminatların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi. (Doktora Tezi), Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir.
- Gül, F. (2014). AlSi10Mg Döküm Alaşımlarının Bazı Mekanik Özellikleri Üzerine İkincil Yaşlandırma İşleminin Etkisi. Journal of Natural & Applied Sciences, 18(1).
- Karabaşoğlu, M. (2008). Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı (Yüksek Lisans Tezi), Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Karaoğlu, Y., & Eldoğan, O. (2006). Bir Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı.

- Kato, K. and Adachi, K., 2001, Modern Tribology Handbook, Chapter7, Wear Mechanisms, CRC Press LLC.
- Koç, R. (2010, Kasım 11-12). Bilgisayar kontrollü aşınma test cihazı tasarımı ve imalatı, 2. Ulusal Tasarım İmalat ve Analiz Kongresinde (TİMAK) sunulan bildiri, Balıkesir.
- Olçay, P. Ö. (2014). Triboloji ve Yağ Biliminin Günlük Hayatımızdaki Yeri ve Önemi (Master's thesis, Namık Kemal Üniversitesi).
- Özmen, Y., ve Jahanmir, S. (2015). Sulu ortamda silisyum nitrür üzerindeki nanoyapılı yüzeylerin çok düşük sürtünme özellikleri. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 21(8), 337-343.
- Özyürek, D., Kibar, E., ve Yılmaz, R. (2009). Toz Metalurjisi ile Üretilen A356 Alüminyum Alaşımının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, 5. Uluslararası İleri Teknolojiler Sempozyumu (IATS'09), 963-967.
- Sıralı, H. (2018). Toz metalurjisi ile üretilen TZM alaşımlarının karakterizasyonu ve aşınma performansının incelenmesi. (Yüksek Lisans Tezi), Karabük Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Karabük.
- Soydan, Y. (2013). Temel Triboloji. Sakarya: Kopisan-Tagem.
- Soydaş, S. (2006). Üiversal Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı (Yüksek Lisans Tezi), Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Stachowiak, G., & Batchelor, A. W. (2004). Experimental methods in tribology (Vol. 44). Elsevier.
- Şafak, H. E. (2008). Yüzeyi PVD Yöntemiyle Kaplanmış Metallerde Tribolojik Özelliklerin Belirlenmesi (Yüksek Lisans Tezi), Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir.
- Şenaysoy, S. ve Tunay, R.F. (2014). Blok-Disk Aşınma Test Cihazının Tasarımı ve İmalatı, I. Uluslararası Endüstriyel Tasarım Mühendisliği Sempozyumu (ISIDE14).
- Tekin, H. (2015). Co₃O₄ katkılı zirkonya (8YSZ) seramiklerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi/The investigation on tribological properties of Co₃O₄-doped zirconia (8YSZ) ceramics (Doctoral dissertation).
- Timur, M. (2014). Otomotiv fren balatalarının sürtünme sonucu oluşan aşınma direncinin ve termal etkileşiminin otomatik test sistemi ile tespit edilmesi. (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.

- Tunay, R.F., (2001). Tam Değişken Gerilmede T/M Esaslı Radyal Yatakların Aşınma ve Sürtünme Özelliklerinin Deneysel İncelenmesi.(Yüksek Lisans Tezi), Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Varol, R., Tunay, R.F. (2001), Bilyalı dövülmüş AA2024 alüminyum alaşımının aşınma özellikleri, Mühendis ve Makine, 42 (497), 40-44.
- Wahlström, J., Lyu, Y., Matjeka, V., & Söderberg, A. (2017). A pin-on-disc tribometer study of disc brake contact pairs with respect to wear and airborne particle emissions. *Wear*, 384, 124-130.
- Yıldız, T. ve Gür, A. K. (2006). Aşınma sistemleri. *Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları*, 86-91.
- Yılmaz, İ. Ö. (2012). Otomotiv sac şekillendirme kalıplarında kullanılan malzemelerin tribolojik özelliklerinin incelenmesi (Master's thesis, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).
- Yüksel, B. (2017). 6063 alüminyum alaşımının sertliği ve taneler arası korozyonu üzerine suni yaşlandırmanın etkisi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 23(4), 395-398.

EKLER



ÖZGEÇMİŞ

1993 yılında Ezine'de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Ezine'de tamamladı. 2007 ile 2011 yılları arasında Ali Haydar Önder Anadolu lisesinde okudu. 2016 yılında Kocaeli Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. 2017 yılında Çorlu'da Cemer Makinada üretim ve planlama mühendisi olarak iş hayatına atıldı. Halen Cemer Makinada CAD/CAM bölümünde çalışmaktadır.

