



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
LABORATUAR FÖYÜ

**AŞINMA DENEYİ**

**Doç. Dr. Temel VAROL**

Ekim 2022

Trabzon

**Deneyin Amacı:** Birbirleri ile temas halindeki sürtünmeli eleman çiftlerinde oluşan aşınmayı incelemek ve aşınma miktarını hesaplayarak metalik malzemelerin aşınma özelliklerini belirlemektir.

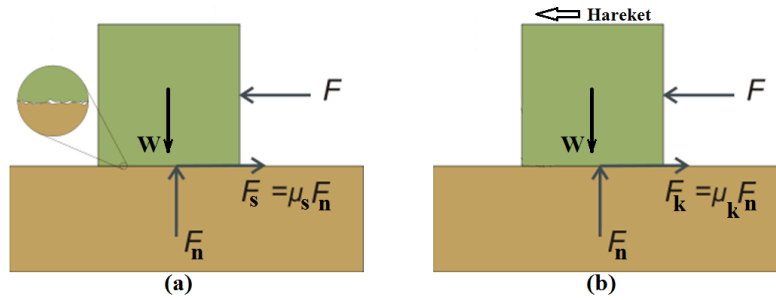
## 1. Giriş

Tasarım ve malzeme seçimi kıstaslarının iyi bir şekilde uygulanmasına rağmen günlük hayatımızın farklı alanlarında kullandığımız ve çeşitli malzemelerden yapılmış cihazlarda veya teknolojik uygulamalarda kullanılan makine parçalarında çalışma esnasında oluşan çeşitli hasar tiplerinden dolayı beklenen performans oldukça altında bir çalışma verimi ile karşılaşabilmektedir. Hasar sebepleri incelendiğinde oluşan hasarların yanlış malzeme seçimi, tasarım ve üretim hataları, hatalı ısıl işlem, beklenmeyen ve uygun olmayan çalışma şartları ve kalite kontrol hatalarından kaynaklandığı anlaşılmaktadır. Makine elemanlarının çalışma verimini düşüren ve üretim maliyetlerini artıran hasar tiplerinden biri de aşınmadır [1]. Geçmişten günümüze artan teknolojiyle birlikte makine elemanlarındaki çalışma toleranslarının oldukça azalması, daha karmaşık ve hassas parçalara ihtiyaç duyulması, havacılık, uzay ve savunma alanlarında düşük hata ile çalışma zorunluluğu sonucunda aşınmadan kaynaklı hasar incelemeleri oldukça önemli bir konuma gelmiştir

## 2. Sürtünme ve Aşınma

### 2.1 Sürtünme

İki malzeme birbirleri ile temas halinde olacak şekilde konumlandırılıp malzemelerden biri diğer malzeme üzerinde kaydırılmak istendiğinde uygulanan kaydırma kuvvetine zıt yönde bir sürtünme kuvveti meydana gelmektedir (Şekil 1).



**Şekil 1.** (a) Statik sürtünme ve (b) Dinamik sürtünme esnasında cisme etki eden kuvvetler  
Kaymayı oluşturan kuvvet ( $F_s$ ) ile temas yüzeyine etki eden normal kuvvet ( $F_n$ ) arasında;

$$F_s = \mu_s \cdot F_n \quad (1)$$

bağıntısı mevcuttur. Burada  $\mu_s$  statik sürtünme katsayısıdır.

Kayma hareketi başladıktan sonra, sürtünme kuvvetinde bir azalma olur ve bu durumda;

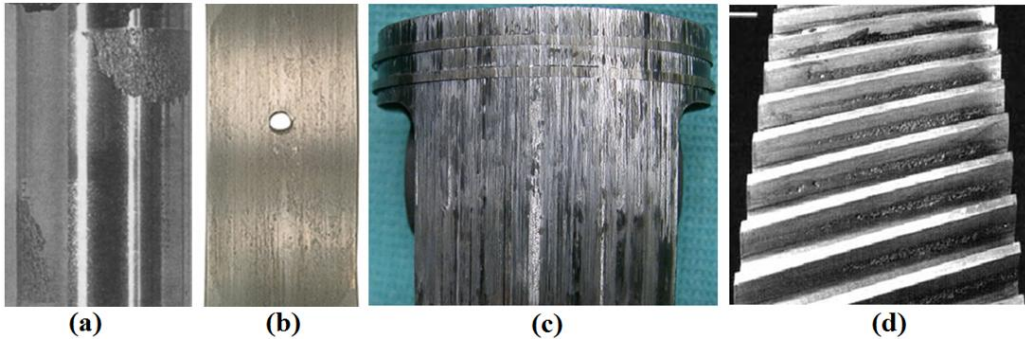
$$F_k = \mu_k \cdot F_n \quad (2)$$

bağıntısı yazılabilir. Burada  $\mu_k$  ( $< \mu_s$ ) kinetik sürtünme katsayısıdır [2].

Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına, aşınma ise çalışma toleranslarının kötüleşmesine sebep olmaktadır. Günlük hayatımıza baktığımızda fren sistemleri gibi sürtünmenin gerekli olduğu durumlar olmasına rağmen aşınma istenmeyen bir hasar türüdür. Ayrıca talaşlı işlem uygulamalarında en asgari sürtünme ile en yüksek aşınma (talaş kaldırma) sağlanarak parça işlenmesi amaçlanmaktadır.

## 2.2. Aşınma

Aşınma, temas eden yüzeylerden mekanik etkiler sebebiyle mikro parçacıkların ayrılması sonucu malzemede istenilmeyen bir değişikliğin meydana gelmesi olayıdır. Temas halindeki yüzeylerde, sürtünme kuvvetleri güç kaybına neden olmakta, aşınma ise çalışma toleranslarının bozulmasına ve makine parçalarının fonksiyonlarını tam olarak yerine getirmesine engel olmaktadır. Aşınma olayı genellikle; hareket aktarım elemanı olarak kullanılan millerde, kaymalı ve rulmanlı yataklarda, fren balatalarında, motor pistonu ve silindirlere, dişlilerde ve türbin kanatlarında görülmektedir (Şekil 2). Farklı türdeki mühendislik malzemelerinin ve makine elemanlarının verimli ömürlerine önemli oranda etki eden aşınma kaybı, aşınma ortamı, aşınma mekanizması, malzeme cinsi, yük miktarı, aşınma hızı, sürtünme esnasında oluşan yüzey film özellikleri ve sıcaklık gibi birçok faktöre bağlıdır. Aşınma olayını bir malzeme özelliği olarak düşünmektense olayı bir bütün olarak sistem içinde değerlendirmek gerekir. Bu sisteme tribolojik sistem denilmektedir. Triboloji sürtünme, yağlama ve aşınma olaylarını kapsamaktadır. Tribolojik sistem ise karşılıklı etkileşen elemanlarda hız, termal şartlar ve yükün bileşimiyle meydana gelen aşınma olayını inceler [3].



Şekil 2. Aşınma izleri; (a) mil, (b) yatak, (c) piston, (d) dişli çark [4-7]

Aşınma, diğer hasar tiplerine göre tahmin başarısı daha yüksek ve gerekli önlemlerin alınabileceği bir hasar tipidir. Birbirleri ile temasta olan malzeme yüzeyleri yağlayıcı kullanımı, yüzey sertleştirme ve oksit tabakası oluşturma gibi önlemler alınarak korunabilir, mekanik yüklemeler ve oluşan ısı etkisi ile yağlayıcı film veya oksit tabakasının

bozulması, iki yüzeyin birbiriyle direkt temasına sebep olabilir. Bu temas sonucunda ortaya çıkan sürtünme malzemenin kullanım yerindeki ömrünü ve performansını olumsuz bir şekilde etkiler. Aşınmadan dolayı oluşan hasarlar malzeme çiftinin uygun seçimi, etkin yağlama (Şekil 3a), uygun tasarım, kendinden yağlamalı yatak kullanımı (Şekil 3b) ve filtreleme gibi faktörlerle en aza indirilebilir, fakat kesinlikle önlenemez.



Şekil 3. Makine elemanları ve yağlayıcılar [8, 9]

Aşınmayı etkileyen faktörleri dört ana grup halinde toplayabiliriz.

#### **1-Ana Malzemeye Bağlı Faktörler**

Malzemenin kristal yapısı, sertliği, elastisite modülü, deformasyon davranışı, yüzey pürüzlülüğü ve boyutu

#### **2- Karşı Malzemeye Bağlı Faktörler ve Aşındırıcının Etkisi**

#### **3- Ortam Şartları**

Sıcaklık, Nem, Atmosfer

#### **4-Servis Şartları**

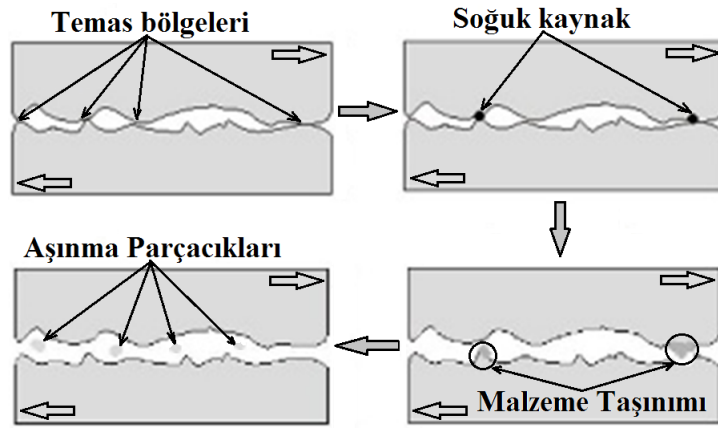
Basınç, hız ve kayma yolu [10]

### **2.3. Aşınma Türleri**

#### **2.3.1. Adhesiv Aşınma**

Adhesiv aşınma, birbirleriyle kayma sürtünmesi yapan yüzeylerde soğuk kaynak ya da bölgesel bağlanmalar sonucu bir yüzeyden diğerine malzeme transferi ve daha sonra kayma hareketi sonucunda malzeme kaybı şeklinde gerçekleşmektedir (Şekil 4). Temas halindeki yüzeylerdeki yüzey pürüzlülükleri üzerindeki basıncın bölgesel plastik deformasyona yetecek kadar yükselmesi durumunda küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç etkir. Bu noktalardaki gerilme, pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyon, pürüzlerin birbirini çizmesi ve sıvanıp kaynaklaşma olayları başlar. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur [11]. Adhesiv

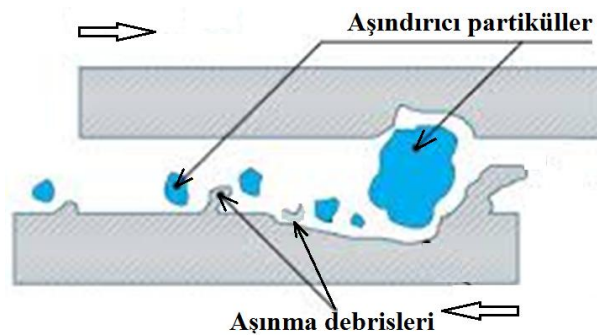
aşınmaya karşı yüzey sertleştirme yöntemleri ile temas yüzeylerinin sertleştirilmesi ve yağlayıcı kullanımı önerilmektedir.



Şekil 4. Adhesiv Aşınma [11]

### 2.3.2. Abrasiv Aşınma

Çizilme yâda yırtılma aşınması olarak da adlandırılabilen abrasiv aşınma, birbiri ile eş çalışan malzeme çiftinde hızlı ve büyük oranda hasar oluşturabilecek oldukça önemli bir aşınma türüdür. Bu aşınma türü, malzeme yüzeylerinin kendisinden daha sert olan parçacıklarla basınç altında etkileşmesi ile sert parçacıkların malzeme yüzeylerinden parçacık kaldırılması şeklinde tanımlanabilir (Şekil 5). Bu aşınma türüne yatak malzemesi içersine olumsuz çalışma koşulları nedeniyle giren toz parçacıklarının oluşturduğu aşınma örnek gösterilebilir. Eğer aşınma olayı malzeme çifti arasındaki sertlik farkından meydana geliyorsa iki cisimli aşınma, diğer taraftan ilave aşındırıcı partiküller de aşınmayı etkiliyorsa bu aşınma türü de üç cisimli aşınma olarak tanımlanmaktadır [11].

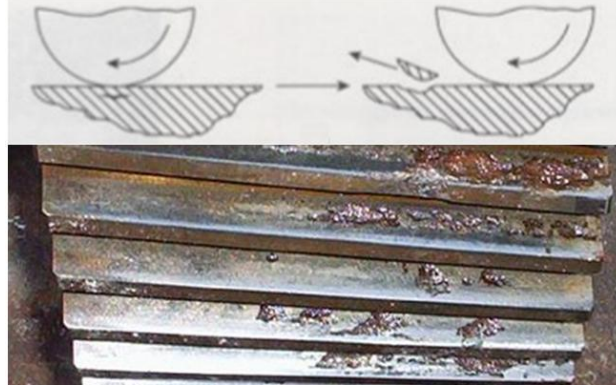


Şekil 5. Abrasiv Aşınma [11]

### 2.3.3. Yorulma Aşınması

Yorulma (pitting) aşınması, dişli çarklar, rulmanlı yataklar ve kam mekanizmaları gibi birbirleriyle sürekli temas halinde olan yüzeylerde yaygın olarak görülen bir aşınma türüdür

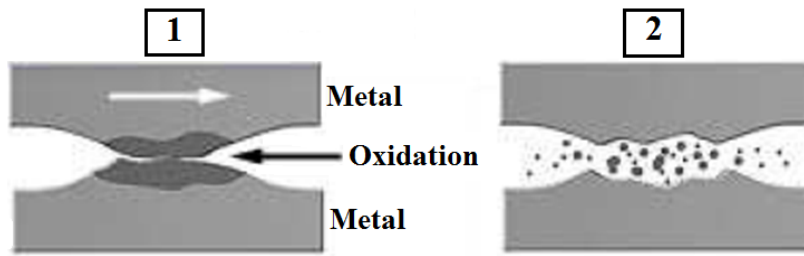
(Şekil 6). Bu tür makine elemanlarında temas alanları çok küçük olduğundan temas yüzeylerinde Hertz basınçları oluşmaktadır. Bu basınçların etkisinde yüzeyin hemen altında kayma gerilmeleri meydana gelmektedir. Kayma gerilmelerinin maksimum olduğu noktada plastik deformasyon oluşmakta ve bu deformasyon zamanla yüzeye ilerleyerek yüzeyde çukurcuklar meydana gelmektedir [12].



**Şekil 6.** Yorulma Aşınması

#### **2.3.4. Korozi Aşınma**

Aşınan yüzeyler, aynı zamanda korozi etkilere de maruz kalırsa bu durumda korozi aşınma oluşmaktadır (Şekil 7). Kimyasal korozyon kendi başına oluşabildiği gibi diğer aşınma türleriyle birlikte oluşabilir. Temas eden yüzeylerde görülen yüzey filmi tarafından oluşturulan kimyasal reaksiyonlar yüzey aşınmasını engellemektedir. Fakat oluşan yüzey filmi kırılabilir ve arayüzey bağı zayıfsa ise sürtünme esnasında filmler çatlayarak yüzeyden ayrılır ve aşınma hızı artar [12].

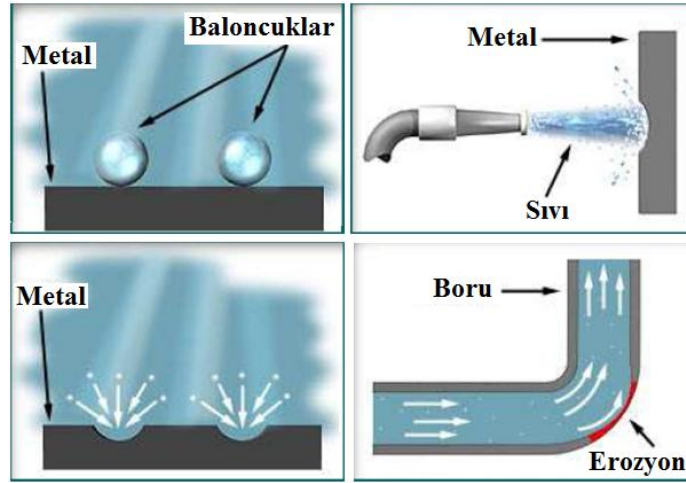


**Şekil 7.** Korozi Aşınma

#### **2.3.5. Erozyon Aşınması**

Erozyon aşınması, akışkan içerisinde bulunan aşındırıcı partiküller, yüksek hızla hareket eden sıvı damlacıkları ve yüksek hızdaki gaz kabarcıkları tarafından oluşturulan bir aşınma türüdür (Şekil 8). Sıvılar ve gazlar akış esnasında temas halinde oldukları parçanın sınır yüzeylerine çarpma etkisi yaparak yüzeyden parçacıklar koparılır ve girdaplar etkisiyle dalgalı yüzey

meydana getirirler. Böylece aşınma daha da hızlanır. Genellikle pompalarda, pervanelerde, fanlarda, nozullarda ve boru ve tüplerin dirsek kısımlarında görülmektedir [12, 13].



Şekil 8. Erozyon aşınması türleri

### 3. Aşınma Kaybı Ölçüm Yöntemleri

#### 3.1. Ağırlık Farkı Metodu

Aşınma kaybı ölçüm yöntemleri arasında en ekonomik yöntem olan ağırlık farkı metodu hassas sonuçlar elde edilmesi sebebiyle en çok kullanılan yöntemdir. Ağırlık kaybı genellikle  $10^{-3}$  veya  $10^{-4}$  hassasiyete sahip teraziler kullanılarak belirlenmektedir. Bu yöntemde aşınma sonucu meydana gelen ağırlık kaybı; aşınma miktarı gram veya miligram olarak ifade edildiğinde sürtünme mesafesine karşılık olarak gr/km veya mgr/km cinsinden, birim alan için hesap edilecekse gr/cm<sup>2</sup> cinsinden ifade edilmektedir. Aşınma miktarı hacimsel olarak hesaplanmak istendiğinde malzemenin yoğunluğu ve numune üzerine uygulanan yük dikkate alınarak, birim yol ve birim yükleme ağırlığına karşılık gelen hacim kaybı kullanılarak ağırlık kaybı belirlenebilir. Özgül aşınma miktarı aşağıdaki eşitlikler yardımıyla hesaplanabilir [14];

$$W_s = \frac{\Delta m}{d F_n S} = \frac{\Delta v}{F_n S} \quad (3)$$

Burada;  $W_s$ : Özgül aşınma miktarı (mm<sup>3</sup>/Nm),  $\Delta m$ : Ağırlık kaybı (mgr),  $d$ : yoğunluk (mgr/mm<sup>3</sup>),  $F_n$ : Uygulanan normal kuvvet (N) ve  $S$ : Aşınma mesafesi (m)'ni ifade etmektedir.

#### 3.2. Kalınlık Farkı Metodu

Bu yöntemde aşınma miktarı, aşınma sonucunda meydana gelen boyut değişikliğinin ölçülmesi ve ilk değerler ile karşılaştırılması suretiyle belirlenmektedir. Elde edilen kalınlık farkı değerleri kullanılarak hacimsel kayıp değeri ve dolayısıyla birim hacimdeki aşınma

miktarı bulunabilir. Bu yöntemde ölçüm hassasiyetini arttırmak için hassas kalınlık ölçü aletleri (+1 µm duyarlılıkta) ile ölçüm yapılmalıdır [14].

### 3.3. İz Değişim Metodu

Bu yöntemde, aşınma yüzeyinde plastik deformasyon kullanılarak geometrisi belirli bir iz oluşturulur. Bu izin oluşumu için Brinell veya Vickers sertlik ölçme uçları kullanılır. Deney boyunca oluşturulan iz boyutlarının değişimi mikroskop vasıtasıyla ölçülerek değerlendirilir [14].

## 4. Deney Uygulaması

- Yüzeyi ayna parlaklığında hazırlanmış deney numunelerinin başlangıç ağırlığı hassas terazi yardımıyla ölçülür.
- Deney numunesi Pin-on-Disk aşınma test cihazına yerleştirilir.
- Deney esnasında kullanılacak aşınma parametreleri (Yük, devir sayısı ve aşınma mesafesi) belirlenir.
- Aşınma test cihazı çalıştırılarak planlanan test işlemleri gerçekleştirilir.
- Deney sonucunda numunede meydana gelen ağırlık kayıpları ölçülerek özgül aşınma miktarları belirlenir.

## 5. Deney Raporunun Hazırlanması

- Deney raporunun ilk kısmında Aşınma ile ilgili **teorik bilgiler** verilecektir. Bu bölüm 1 sayfayı aşmayacak şekilde hazırlanmalıdır.
- Deney raporunun ikinci kısmında **deneyin yapılışı** adım adım anlatılacak ve her bir adımda kullanılan malzemeler, seçilen deney parametreleri ve kullanılan cihazlar (resimleri ile birlikte) belirtilecektir.
- Deney raporunun son kısmını **Bulgular ve Tartışma** bölümü oluşturmaktadır. Bu bölümde
  - ▶ Elde edilen sonuçlar Tablo halinde birleştirilecektir.
  - ▶ Özgül aşınma miktarının uygulanan yük ile değişim grafiği
  - ▶ Özgül aşınma miktarının devir sayısı ile değişim grafiği
  - ▶ Özgül aşınma miktarının aşınma mesafesi (kayma yolu) ile değişim grafiği olmak üzere üç adet grafik oluşturularak sonuçlar tartışılacaktır.

## 6. Kaynaklar

[1] N. Axén, S. Hogmark and S. Jacobson, “Friction and Wear Measurement Techniques” Modern Tribology Handbook, 2001.



- [2] P. Blau, “ASM Handbook on Friction, Lubrication and Wear Technology Technology” ASM International, 1992.
- [3] H. Czichos, “Tribology-A System Approach to the Science and Technology of Friction, Lubrication and Wear”, Elsevier, Amsterdam, 1987.
- [4] K.A. Esakul, “Handbook of Case Histories in Failure Analysis”, International, 1992.
- [5] <http://www.knowyourparts.com/technical-articles/types-of-engine-bearing-damage/>
- [6] B.T. Kuhnell, How Age and Contamination Affect Rolling Bearings and Gears
- [7] [http://www.madsens1.com/saw\\_piston\\_fail.htm](http://www.madsens1.com/saw_piston_fail.htm)
- [8] <http://ncheurope.com/tr/solutions/lubricants-fuel-additives/greases-oils/gear-oils>
- [9] <http://www.sinterteknik.com.tr>
- [10] Y.C. Chiou, K. Kato, T. Kayaba, “Effect of Normal Stiffness in Loading System on Wear of Carbon Steel-part 1: Severe-Mild Wear Transition”, J. Tribology, 491-495, 1985.
- [11] T. Varol, “Nano Partikül Takviyeli Bakır Esaslı Fonksiyonel Derecelendirilmiş Elektrik Kontak Malzemelerinin Üretimi ve Karakterizasyonu” Karadeniz Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora tezi, 2016.
- [12] K. Kato, K. Adachi, “Wear Mechanism”, Modern Tribology Handbook, 2001.
- [13] T. Yıldız, A.K. Gür, “Aşınma Sistemleri”, Doğu Anadolu Bölgesi Araştırmaları, 86-91, 2006.
- [14] M. Karabaşoğlu (2008) “Aşınma Deney Cihazı Tasarımı ve İmalatı” Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 2008.