

**T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AŞINMA DENEY CİHAZI TASARIMI VE
İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KARABAŞOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Tez Danışmanı : Yrd.Doç.Dr.Erdinç İLHAN

Mayıs 2008

T.C.
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**AŞINMA DENEY CİHAZI TASARIMI VE
İMALATI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Mehmet KARABAŞOĞLU

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA EĞİTİMİ

Bu tez 24 / 06 /2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Oybirliği ile kabul edilmiştir.

Yrd.Doç.Dr. Erdiñ İLHAN

.....
Jüri Başkanı

Yrd.Doç.Dr. Vedat ARI

.....
Üye

Yrd.Doç.Dr. Uğur ÖZSARAÇ

.....
Üye

TEŐEKKÜR

Tez çalıőmam sűresince önerilerini, bilgilerini ve desteęini esirgemeyen tez danıőmanım Yrd.Doç.Dr. Erdiņ İLHAN'a ve yine bilgi ve tecrűbelerini benimle paylaőan Doç.Dr. Salim ASLANLAR'a, Yrd.Doç.Dr. Uęur ÖZSARAÇ'a, deney cihazının imalatında desteęini esirgemeyen Atasan Metal San. ve Tic. Ltd. Őti., ve tűm kalıphane personeli ile maddi ve manevi desteęini hiçbir Őekilde esirgemeyen aileme teőekkűrű bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜRLER.....	ii
İÇİNDEKİLER.....	iii
SİMGELER VE KISALTMALARIN LİSTESİ.....	vi
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	vii
TABLolarIN LİSTESİ.....	xi
ÖZET.....	xii
SUMMARY.....	xiii
BÖLÜM 1.	
GİRİŞ.....	1
BÖLÜM 2.	
TRİBOLOJİ.....	4
2.1. Sürtünme.....	4
2.1.1. Kayma sürtünmesi.....	5
2.1.2. Yuvarlanma sürtünmesi.....	5
2.1.3. Kuru sürtünme.....	6
2.1.4. Sınır sürtünmesi.....	7
2.1.5. Sıvı sürtünmesi.....	7
2.2. Sürtünme Kanunları.....	7
2.3. Sürtünme Katsayısı.....	8
2.4. Aşınma.....	10
2.4.1. Aşınmayı etkileyen faktörler.....	10
2.4.1.1. Malzeme secimi.....	11
2.4.1.2. Sürtünme.....	11
2.4.1.3. Yüzeye uygulanan yük.....	11
2.4.1.4. Sürtünme mesafesi.....	11

2.4.1.5. Yüzey sertliği.....	12
2.4.1.6. Yüzey pürüzlülüğü.....	12
2.4.1.7. Yağlama.....	12
2.5. Aşınma Zaman İlişkisi.....	12
2.6. Aşınma Çeşitleri.....	13
2.6.1. Adhesif aşınma.....	13
2.6.2. Abrasif aşınma.....	15
2.6.3. Yüzey yorulması.....	16
2.6.4. Erozyon aşınması.....	17
2.6.4.1. Katı partikül erozyonu.....	17
2.6.4.2. Sıvı su damlası erozyonu.....	18
2.6.4.3. Katı partikül taşıyan akışkan ortam erozyonu.....	18
2.6.4.4. Kavitasyon erozyonu.....	18
2.6.4.5. Elektro erozyon.....	18
2.7. Korozyon Aşınması.....	18
2.8. Aşınmanın Azaltılması İçin Gerekli Önlemler.....	20
2.9. Aşınmanın Kullanım Alanları.....	21
2.10. Aşınma Ölçüm Metodları.....	22
2.10.1. Ağırlık farkı metodu.....	22
2.10.2. Kalınlık farkı metodu.....	23
2.10.3. İz değişimi yöntemi.....	23
2.10.4. Radyoizotop ile ölçme.....	23
2.10.5. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm metodu.....	24
2.11. Tribosistemler.....	24
2.11.1. Tribosistemlerin sınıflandırılması.....	24

BÖLÜM 3.

AŞINMA DENEYLERİ.....	26
3.1. Aşınma Deney Yöntemleri.....	26
3.2. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Bazı Aşınma Deney Cihazları.....	29
3.2.1. Düzlem üzeri çubuk(pin on flat) deney cihazı.....	31
3.2.2. Dört top deney aparatı.....	31
3.2.3. Ball on flat aşınma deney cihazı.....	32

3.2.4. Ball on disk deney cihazı.....	32
3.2.5. Levha- kayış deney cihazı.....	33
3.2.6. Silindir üstü çubuk deney cihazı.....	34
3.2.7. Çapraz silindir deney cihazı.....	35
3.2.8. Plint TE 97 sürtünme ve aşınma deney cihazı.....	36
BÖLÜM 4.	
TASARIM VE İMALAT.....	38
4.1. Tasarım.....	38
4.1.1. Motor, rediktör ve yataklama ünitesi tasarımı.....	39
4.1.2. Yük ünitesi tasarımı.....	40
4.2. Yük Hücresi.....	42
4.3. Sürücü(Hız Kontrol Cihazı).....	43
4.4. İndikatör.....	44
4.4.1. Veri aktarımı.....	45
4.5. Test Numunesinin Bazı Özellikleri.....	46
4.6. Aşınma Test Prosedürü.....	45
BÖLÜM 5.	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	47
5.1. Deneylerde Kullanılan Malzemeler.....	47
5.1.1. Deney numunelerinin hazırlanması.....	47
5.2. Deney Parametreleri.....	48
5.3. Aşınma Deney Sonuçları.....	48
5.4. Sürünme Katsayısı.....	53
BÖLÜM 6.	
SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	61
KAYNAKLAR.....	64
EKLER.....	67
ÖZGEÇMİŞ.....	88

SİMGELER VE KISALTMALARIN LİSTESİ

Ar	: Gerçek temas alanı
ASTM	: American Society for Testing and Materials
d	: Malzeme yoğunluğu
DIN	: Uluslar arası Alman Standardı
G	: Ağırlık kaybı
gr	: Gram
Fr	: Yuvarlanma sırasındaki sürtünme direnci
Fs	: Sürtünme Kuvveti
S	: Aşınma Yolu
Wa	: Aşınma oranı
W(F)	: Uygulanan yük (Normal yük)
μ_k	: Kinetik sürtünme katsayısı
μ_s	: Statik sürtünme katsayısı
μ_T	: Yuvarlanma sürtünme katsayısı

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Birbirine temas eden cisimlerde kayma ve yuvarlanma hareketleri.....	4
Şekil 2.2.	Kuru, sıvı ve yarı sıvı sürtünmeleri.....	6
Şekil 2.3.	Sıvı sürtünmesi.....	7
Şekil 2.4.	Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler.....	8
Şekil 2.5.	Makaralı sürtünme kuvveti ölçüm sistemi.....	8
Şekil 2.6.	Eğik düzlem sürtünme kuvveti ölçüm sistemi.....	9
Şekil 2.7.	Aşınma zaman grafiği.....	13
Şekil 2.8.	Adhesiv aşınma.....	14
Şekil 2.9.	Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme katsayısı-zaman diyagramı.....	15
Şekil 2.10.	Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması.....	16
Şekil 2.11.	Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması.....	16
Şekil 2.12.	Yorulma aşınması oluşum mekanizması.....	17
Şekil 2.13.	Elektro erozyon ve Tel erozyon tezgahı çalışma prensibi.....	21
Şekil 2.14.	Aşındırıcı su jetinin basit şematik görünümü.....	22
Şekil 2.15.	Tribosistemlerin şematik gösterimi.....	25
Şekil 3.1.	Kayma aşınması.....	27
Şekil 3.2.	Deney cihazlarında temas biçimleri.....	27
Şekil 3.3.	Lastik tekerli abrasiv aşınma deney cihazı şematik görünümü..	29
Şekil 3.4.	Abarasiv aşınma deney cihazı şematik görünümü.....	29
Şekil 3.5.	Aşındırıcı partiküllü aşınma deney cihazı.....	30
Şekil 3.6.	Pin on Flat deney cihazı şematik görünümü.....	31
Şekil 3.7.	Dört top aşınma deney aparatı.....	31

Şekil 3.8.	Ball on Flat deney cihazı.....	32
Şekil 3.9.	Ball on Disk deney cihazı.....	33
Şekil 3.10.	Levha-kayış aşınma deney cihazı.....	34
Şekil 3.11.	Silindir üstü çubuk deney cihazı şematik görünümü.....	34
Şekil 3.12.	Saç metal kesimi.....	35
Şekil 3.13.	Çapraz silindir deney düzeneği.....	36
Şekil 3.14.	Plint firmasının ürettiği ilk TE -97 aşınma deney cihazı.....	36
Şekil 3.15.	TE 97 deney cihazı ile yapılabilen aşınma deneylerinin şematik görünümü.....	37
Şekil 3.16.	TE-97 Pin on Disk ve Silindir üstü Çubuk deney cihazı.....	37
Şekil 4.1.	Pin on disc deney cihazı.....	38
Şekil 4.2.	Motor, Rediktör ve yataklama ünitesi.....	39
Şekil 4.3.	Rediktör.....	40
Şekil 4.4.	Oldhom kavrama.....	40
Şekil 4.5.	Yük ünitesi.....	41
Şekil 4.6.	Yük ünitesi detay resmi.....	42
Şekil 4.7.	Wheatstone Köprüsü.....	42
Şekil 4.8.	Enda marka sürücü.....	43
Şekil 4.9.	AD-4406 İndikatör.....	44
Şekil 4.10.	Verilerin Microsoft Excel sayfasına aktarılması.....	45
Şekil 4.11.	Deney verilerinin A&D WinCT programı kullanılarak grafik olarak yazdırılması.....	45
Şekil 5.1.	A grubu(A1,A2,A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerlerinin yüke göre değişimi.....	49
Şekil 5.2.	A grubu (A4, A5, A6) numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi.....	49
Şekil5.3.	A grubu malzemelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarında meydana gelen aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	50
Şekil 5.4.	B grubu (B1 ,B2, B3) numunelerinin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi.....	50

Şekil 5.5.	B grubu (B4, B5, B6) numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi.....	51
Şekil 5.6.	B grubu malzemelerin 0,2m/s ve 0,2 m/s kayma hızında meydana gelen aşınma oranlarının karşılaştırılması.....	51
Şekil 5.7.	A ve B grubu numunelerinin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi.....	52
Şekil 5.8.	A ve B numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi.....	52
Şekil 5.9.	Kalibrasyon eğrisi.....	53
Şekil 5.10.	B6 numunesinin 60 N yük uygulanarak 0,8 m/s kayma hızı ile 500 m kayma mesafesinde elde edilen sürtünme katsayısı grafiği.....	54
Şekil 5.11.	A grubu (A1, A2, A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızında, farklı yüklerde sürtünme katsayısı-zaman diyagramı.....	55
Şekil 5.12.	B grubu (B1, B2, B3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızında, farklı yüklerde ortalama sürtünme katsayısı diyagramı.....	55
Şekil 5.13.	A grubu (A4, A5, A6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yükler de sürtünme katsayısı-zaman diyagramı.....	56
Şekil 5.14.	B grubu (B4, B5, B6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yükler de ortalama sürtünme katsayısı diyagramı.....	56
Şekil 5.15.	B grubu(B1, B2, B3) 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, sürtünme katsayısı-zaman diyagramı.....	57
Şekil 5.16.	A grubu(A1, A2, A3) 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, ortalama sürtünme katsayısı diyagramı.....	57
Şekil 5.17.	B grubu (B4, B5, B6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yüklerde, sürtünme katsayısı-zaman diyagramı.....	58
Şekil 5.18.	A grubu (A4, A5, A6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yüklerde, ortalama sürtünme katsayısı diyagramı.....	58
Şekil 5.19.	A grubu numunelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan	

	deneyler de elde edilen sürtünme katsayılarının karşılaştırılması	59
Şekil 5.20.	B grubu numunelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deneyler de elde edilen sürtünme katsayılarının karşılaştırılması.....	59
Şekil 5.21.	A ve B grubu numunelerin 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, ortalama sürtünme katsayılarının karşılaştırılması.....	60
Şekil 5.22.	A ve B grubu numunelerin 0,8 m/s kayma hızı ile farklı yüklerde ortalama sürtünme katsayılarının karşılaştırılması.....	60

TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 2.1.	Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi.....	14
Tablo 4.1.	Rediktör secim tablosu.....	40
Tablo 4.2.	Sürücü frekans devir tablosu.....	44
Tablo 5.1.	Aşınma deneyinde kullanılan numunelere ait bazı parametreleri..	48
Tablo 5.2.	Yapılan deneyler sonucu elde edilen ortalama sürtünme katsayıları.....	54

ÖZET

Anahtar kelime: Aşınma, Aşınma deney cihazı, Sürtünme

Aşınma ve sürtünme enerji kaybı ile birlikte bir biri ile temas halindeki maddeler arasında zamanla önemli hasarlara sebep olabilmektedir. Bunun için makine elemanları, çalışma şart ve ortamları göz önüne alınarak uygun malzemeden tasarlanarak 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.

Bu araştırma kapsamında Plint firmasının ürettiği TE 97 aşınma deney cihazı model alınarak yeni bir aşınma deney cihazı imal edilmiştir. Bu aşınma deney cihazı üzerinde bazı değişiklikler yapılarak farklı deneyler yapılabilmektedir. 1.2080 ve 1.2842 takım çeliklerinin aşınma deneyleri için pin on disk deney yöntemi kullanılmıştır.

WEAR TEST MACHINE DESIGN AND PRODUCTION

SUMMARY

Keywords: Wear, Wear Test Machine, Friction

Friction and wear occurring in between sliding in contact of materials cause failures and materials lost. Therefore, a proper design should be made to prevent materials and their parts from wear failures. In this study, cold work tool steels having DIN norms of 1.2080 and 1.2842 were used to determine the wear behavior observed these steels.

For this reason, a new wear test machine was designed and produced similar to TE 97 model test machine produced by plint firm. Pin on disc test method was selected in designing wear test machine.

BÖLÜM 1. GİRİŞ

DIN 50320' ye göre aşınma; kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır.

Temasta olan iki cisim birbirine göre izafi hareket ettirildiğinde, bu harekete karşı bir kuvvetle karşılaşılır. Bu kuvvet zamanla cisimler arasında aşınmaya, sıcaklık artışına ve de enerji kaybına neden olabilmektedir.

Makine tasarımcılarını ve imalatçıları yakından ilgilendiren aşınma, zamanla yüzey üzerinde önemli hasarlara sebep olabilmektedir. Bu nedendir ki aşınma ve sürtünme birçok araştırmacı tarafından üzerinde önemle çalışılan konu haline gelmiştir. Özellikle birçok bilim adamı ve birçok çelik firması gerek rekabet ortamının büyümesi gerek karşılaşılan bu aşınma sorununa çözüm üretebilmek için birçok bilimsel deney ve çalışmalar yapmaktadırlar.

Aşınma ve sürtünme deneyleri Society of Automotive Engineers(SAE), American Societies of Standards and Materials(ASTM) firmaları ile ISO ve DIN standartları tarafından standartlaştırılmıştır [1].

Aşınma makine elemanları arasında, kesici takımlarda vb. alanda kendini göstermektedir. Bu yüzden farklı malzemeler üzerinde farklı deneyler yapmak gerekmektedir. Gerçek çalışma şartlarının aşınma deneyine ne kadar fazla uyarlanabilirse aşınma deney sonuçları çok daha tutarlı olacaktır. Bu yüzden yapılan araştırmalara göre aşınma deneyleri için 200'ün üzerinde farklı aşınma deney cihazı kullanıldığı ortaya çıkmıştır. Bazı ticari firmalar tribolojik deney düzenekleri üretmektedir. Birçok araştırmacı farklı malzeme ve çalışma şartları için farklı aşınma deneyleri yapmaktadır.

P, J, Blau ve B, C, Jolly, kamyon frenlerinde kullanılan malzemeler için üç değişik aşınma deneyi yapmışlardır. Birinci deneyde pin on disk aşınma deney cihazı kullanmışlardır. Fakat burada pin olarak kare bir parça kullanılmıştır. İkinci deneyde radyüslü bir pim kullanmışlardır. Üçüncü deneyde ise block on disk deneyi yapmışlardır. Üç değişik deney yaparak ulaşılmak istenen sonuç ise temas geometrilerinin aşınmaya olan etkisini araştırmak olmuştur [2].

E, Atik ve C, Meriç, Polyester Al_2O_3 kompozitlerin aşınma dayanımları üzerine çalışmalarda bulunmuşlardır. Farklı miktarlarda Al_2O_3 partikülleri içeren kompozit malzemelerin aşınma dayanımlarını belirlemek için Pin on disk aşınma deney yöntemi kullanmışlardır. Yapmış oldukları deneylerinde aşındırıcı olarak 400 numara ($30\mu m$) alüminyum oksit zımpara kullanmışlardır. Aşınma deneyinde aşındırıcı disk kendi eksenini etrafında dönerken aynı zamanda numune tutucuda belirlenen dönme hızında kendi eksenini etrafında dönmektedir. Yapılan deneyler sonucunda saf polyestere katılan Al_2O_3 partiküllerinin katılma oranı ile doğru orantılı olarak aşınma dayanımlarının arttığı görülmüştür [3].

K,D, Dwivedi, Al,Si,Mg metal alaşımının ara yüzeyinde meydana gelen sürtünme sonucu oluşan ısının sürtünmeye ve aşınmaya olan etkisini incelemiştir. Aşınma deneyi için ASTM G99 Pin on Disk aşınma deney cihazını kullanmıştır. Dwivedi yaptığı çalışmalar sonucu sıcaklığın aşınma ve sürtünmeyi artırıcı etkiye sahip olduğunu bulmuştur [4].

Y.Şahin test parametrelerinin değişik çeliklerde aşınma davranışları üzerine çalışmalarda bulunmuştur. Üç değişik çelik üzerinde, abrasiv partikül büyüklüğünün, uygulanan yükünün ve sürtünme mesafesinin aşınmaya olan etkisi üzerine, deneysel çalışmalarda bulunmuştur [5].

M, K, Stanford ve V, K. Jain sert kaplamaların aşınma ve sürtünme karakterleri üzerine bir araştırma yapmışlardır. Deneylerinde pin on disk deney cihazı kullanmışlardır [6].

B, J, Johnson, F,E, Kennedy, ve I, Baker., kuru kayma şartlarında NiAl, aşınması üzerine bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Deneylerinde pin on disk aşınma deney cihazı kullanmışlardır. Deney sonucunda NiAl alaşımının aşınmayı büyük oranda azalttığı bulunmuştur [7].

T, Savaşkan ve G, Pürçek, Çinko-Alüminyum esaslı alaşımların ve bu alaşımlardan üretilen kaymalı yatakların aşınma özellikleri üzerine çalışmalar yapmışlardır. Bu çalışmada da iki farklı deney düzeneği kullanılmıştır. Öncelikli olarak üretilen alaşım malzemesinin aşınma ve sürtünme özellikleri pin on disk deneyi ile araştırılmış ve ardından bu alaşım malzemelerinden kaymalı yataklar üretilmiştir. Üretilen kaymalı yataklar gerçek çalışma şartlarına göre tasarlanmış yatak deney düzeneği ile aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir [8].

Yapılan çalışmalara bakıldığında farklı aşınma ortam ve özellikleri için farklı aşınma deney cihazları kullanıldığı görülmektedir.

Tiriboloji ve aşınma deney cihazları üzerinde çalışmalar yapan Plint firması aşınma deneyleri için modelleme yapmadan önce, aşınma işleminin doğru şekilde analiz edilerek tanımlanması gerektiğini vurgulamaktadır. Örneğin abresiv aşınma, adhesiv aşınma, korozyon aşınması, erozyon aşınması vb.

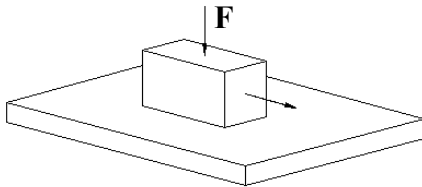
Bizim bu çalışmadaki amacımız, özellikle abrasiv aşınma deneylerinde kullanılmak üzere bir aşınma deney cihazı tasarlayarak imal etmek ve farklı malzemeler üzerinde bazı aşınma parametrelerinin aşınmaya olan etkisini incelemektir. Plint firmasının ürettiği TE- 97 aşınma deney cihazı model olarak alınmıştır. Bu aşınma deney cihazı ile üç elemanlı abrasiv aşınma deneyi, block on disk aşınma deneyi ve hatta çapraz silindir deney cihazı olarak kullanılabilir. Aşınma deneyi ile birlikte sürtünme kuvveti için deneysel çalışmalar yapılabilir. Günümüz ihtiyaçları da göz önüne alındığında, bilgisayar destekli aşınma ve sürtünme deney cihazı tasarımı ve imalatına özenle dikkat edilmiştir.

BÖLÜM 2. TRIBOLOJİ

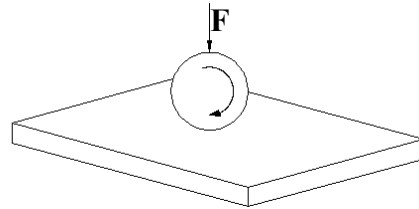
2.1. Sürtünme

Genel manada sürtünme, temasta olan ve birbirine göre bağıl hareket yapan elemanlar arasında harekete karşı ortaya çıkan direnç olarak tanımlanır. Sürtünmenin sayısal değeri bazı durumlarda çok küçük olsa dahi pratikte daima mevcuttur [9].

Hareketli parçalar arasındaki sürtünme, enerji, zaman ve maddi kayıplara yol açması insanları eski tarihlerden beri bu konu ile ilgili hale getirmiştir. Bir biri ile temas halindeki hareketli parçalar arasındaki sürtünmeyi azaltmak kadar belirli sınırlar içerisinde tutmakta o derece önemlidir. Örneğin tren tekerlekleri ile raylar arasındaki sürtünme ile tren tekerlekleri ile fren pabuçları arasındaki sürtünme iki farklı durumu ortaya koymaktadır. Tekerler ile raylar arasındaki sürtünme enerji kaybına sebep olmasından dolayı sistemin verimini düşürürken, teker ile pabuçlar arasındaki sürtünme trenin hareketinin kontrolü için hayati önem taşıması sürtünmenin farklı durumlarda dahi önemini açıkça ortaya koymaktadır. Birbirine temas eden hareketli parçalar arasında kayma, yuvarlanma ve kayma-yuvarlanma meydana gelebilir.



Kayma



Yuvarlanma

Şekil 2.1. Birbirine temas eden cisimlerde kayma ve yuvarlanma hareketleri.

2.1.1. Kayma sürtünmesi

Birbirine temas eden veya birbiri üzerinde kayan iki yüzey ne kadar hassas işlenseler bile gerçek temas alanı görünür temas alanının 0.01 ila 0,1' i kadardır. Gerçek temas sadece küçük pürüz tepeliklerinde meydana gelecektir.

Kayma sırasında teğetsel kuvvet arttırıldığında, temas noktalarındaki birleşmeler kaymaya başlar. Tüm birleşmelerin kesilmesi için gerekli sürtünme kuvveti, birleşmelerde malzemenin gerilmesi ile orantılı olarak değişecektir.

$$F_s : Ar.S \quad (2.1)$$

F_s : Kesme için gerekli sürtünme kuvveti,

Ar : Gerçek temas alanı,

S : Malzemenin kesme gerilmesi.

Pratik uygulamalarda kayma sürtünmesi bazı faktörlerden de etkilenebilmektedir.

2.1.2. Yuvarlanma sürtünmesi

Yuvarlanma sürtünmesi, yüklü bir kürenin veya silindirin, düz bir kütle yüzeyi üzerinde yuvarlanması sırasında oluşur. Yük altındaki silindirin yuvarlanmasında sürtünme direnci, silindirin merkezine uygulanır. Bu sürtünme, aşağıda gösterilen bağıntıya uygun olarak yük ile doğru orantılı (W) ve yuvarlanma elemanın çapı ile ters orantılıdır.

$$F_r = k.W^n / D^m \quad (2.2)$$

Burada;

k : Malzeme ve yüzey şartlarına bağlı sabit,

F_r : Yuvarlanma sırasındaki sürtünme direnci,

W : Yük,

D : Silindir veya kürenin çapı,

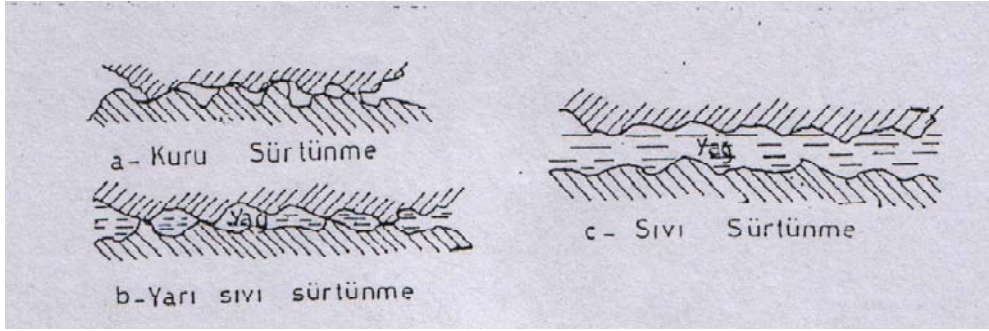
n,m : Deneysel sabitlerdir.

Yuvarlanma sürtünme katsayısı μ_T kayma sürtünmesinde olduğu gibi aynı yöntemlerle bulunur.

$$\mu_T = F_r / W \quad (2.3)$$

Genel olarak yuvarlanma sürtünme katsayısı sürtünme katsayısına göre çok düşüktür. Statik ve kinetik sürtünme katsayıları ile yaklaşık olarak aynıdır [10].

İzafi hareket yapan yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde konulması veya konulmaması bakımından sürtünme kuru, sıvı ve sınır sürtünmesi olarak üç halde incelenir.



Şekil 2.2. Kuru, sıvı ve yarı sıvı sürtünmeleri [11].

2.1.3. Kuru sürtünme

Pratikte sürtünme denilince akla gelen bu sürtünmedir. Aşınma enerji kaybı ve sıcaklık yükselişi gibi olaylar kuru sürtünme sonucu oluşur. Genel anlamda yabancı maddelerden arındırılmış yüzeylerin atmosfer şartlarındaki sürtünme halidir. Teknikte sürtünme hem istenen hem de istenmeyen olaylar olarak ortaya çıkar. Fren, kavrama, sürtünmeli çarklar gibi makine elemanlarında sürtünme istenen bir olaydır. Bu gibi yerlerde sürtünme artırılır. Bunların dışında, bütün izafi hareket yapan yüzeylerde istenmeyen bir olay olarak ortaya çıkan sürtünmenin azaltılması gerekir. Yük uygulanmadan önce temas halindeki tabii tabakalar arasında bir bağlantı oluşur. Yük uygulandıktan sonra tabakanın bir kısmı kopar ve buradaki küçük temas alanlarında metal kaynama meydana gelir. İzafi hareket yapan yüzeylerde sürtünme

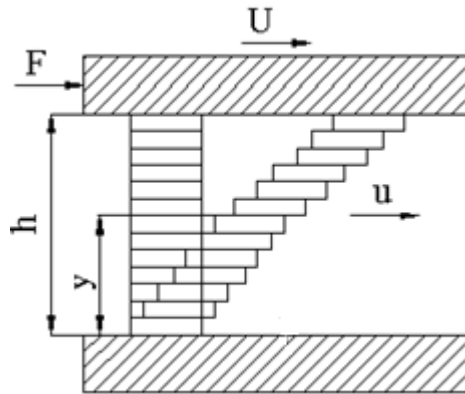
metal kaynak bağlar ile tabakalar arasındaki bağlantıların oluşturduğu dirençtir. Sürtünme kuvveti, hem kaynak bağlarını hem de bağlantıları koparan kuvvettir [12].

2.1.4. Sınır sürtünmesi

Yüzeyler arasında bulunan herhangi bir yağlayıcı maddeye rağmen sıvı sürtünmesi hali oluşmadığı durumlarda sınır sürtünmesi hali ortaya çıkar. Pratikte en çok rastlanan bu sürtünme halinde, sürtünme katsayısı genel olarak 0,02 ile 0,1 arasında değişir.

2.1.5. Sıvı sürtünmesi

Sıvı sürtünmesi, madeni yüzeylerin bir yağ tabakası tarafından tamamen ayrılmış olduğu sürtünme halidir. Madeni yüzeyler ile doğrudan doğruya temasta bulunan yağ tabakaları, adsorpsiyon yolu ile malzemelere tamamen yapışmış olduğu görülür. Şöyle ki; U hızıyla hareket eden yüzeye yapışmış olan tabakanın hızı U , sabit yüzey üzerindeki tabakanın hızı ise sıfırdır. Ara tabakanın hızı y mesafesine bağlı olarak U ile sıfır arasında değişir. Böylece sıvı sürtünmesi halinde sürtünme esas itibarı ile birbiri üzerinde kayan yağ tabakaları arasında oluşmaktadır.



Şekil 2.3. Sıvı sürtünmesi

2.2. Sürtünme Kanunları

Sürtünme kuvveti ile bilinen ilk çalışma (1452-1519) Leonardo da Vinci'ye aittir. Da Vinci'ye göre sürtünme katsayısının sürtünme kuvvetinin normal yüke oranı

olduğunu bulmuştur. Ünlü fizikçi Amontons (1699) sürtünme kuvvetini yeniden keşfetmiştir. Amontons'a göre sürtünme iki ana kurala dayanmaktadır.

1. Sürtünme kuvveti normal kuvvet ile orantılıdır.
2. Sürtünme kuvveti görünür temas alanından bağımsızdır.

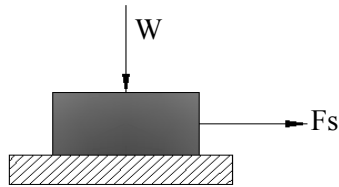
Bu kurallar ünlü fizikçi Coulomb tarafından da kabul edilmiştir. Coulomb bu iki kurala ilaveten üçüncü bir sürtünme kural olarak;

3. Sürtünme kuvvetinin kayama hızından bağımsızdır.

İfadesini ileri sürmüştür. Bu üçüncü kural statik sürtünme ile dinamik sürtünmenin birbirinden farklı olduğunu ortaya koymuştur.

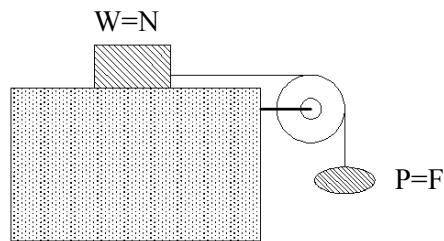
2.3. Sürtünme Katsayısı

Bilindiği gibi iki malzeme birbirine temas edecek şekilde yerleştirilirse, malzemelerin birbiri üzerinde kaymasını sağlamak için uygulanan kuvvete dik yönde olacak şekilde bir sürtünme kuvveti oluşur.



Şekil 2.4. Sürtünme kuvvetini oluşturan kuvvetler

Sürtünme katsayısının ölçümleri için bazı deney düzenekleri kullanılmaktadır. Bu düzeneklerden bir tanesi makaralı sistemdir.



Şekil 2.5. Makaralı sürtünme kuvveti ölçüm sistemi

Bu düzenek ile sürtünme katsayısının ölçümünde, kaymayı başlatmak için (F_s) sürtünme kuvveti ve (N) normal kuvvet olarak iki farklı kuvvet bulunur. Kayma başlayıncaya kadar, yük (F) artırılır ve kayma başladığı andaki uygulanan yük sürtünme kuvveti (F_s) olarak belirlenir. Normal kuvvet ağırlığa eşit ($W = N$) olarak kabul edilir. Kaymayı başlatan kuvvet (F_s) ile temas yüzeyine etki eden kuvvet N arasında;

$$F_s = N \cdot \mu_s \quad (2.4)$$

Bağıntısı mevcuttur. Burada μ_s statik sürtünme katsayısıdır.

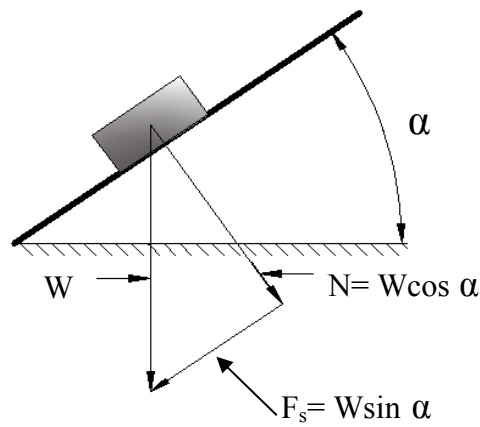
Sürekli kayma durumunda yani kayma hareketini başlatmak için uygulanan (F_s) kuvveti artırılır ve kayma hareketi sürekli olmaya başladığı andaki (F) kuvveti (F_k) olarak belirlenir.

$$F_k = N \cdot \mu_k \quad (2.5)$$

Bağıntısı yazılabilir. Burada (μ_k) kinetik sürtünme katsayısıdır.

$$(\mu_s > \mu_k)$$

Sürtünme ölçümü için kullanılan bir diğer metot olan eğimli yüzey metodu şekil 2.6.'da görülmektedir.



Şekil 2.6. Eğik düzlem sürtünme kuvveti ölçüm sistemi [13].

W : Objenin ağırlığı

N : Kayma yüzeyine dik olan normal kuvvet

F_s : Sürtünme Kuvveti

Eğik yüzey metodunda sürtünme katsayısı α açısına bağlıdır. Eğik yüzey üzerine yerleştirilen blok kaymaya başlayıncaya kadar α açısı artırılır. Kaymaya başlatan açının tanjantı sürtünme kuvvetine eşit olur [13].

$$\mu = \frac{F_s = W \sin \alpha}{N = W \cos \alpha} = \tan \alpha \quad (2.6)$$

2.4. Aşınma

Aşınma için bir çok tanım yapılmakla beraber DIN 50320' ye göre aşınma; “Kullanılan malzemelerin başka malzemelerle (katı, sıvı, gaz) teması neticesinde mekanik etkenlerle yüzeyden küçük parçacıkların ayrılması sonucu meydana gelen istenmeyen yüzey bozulması” şeklinde tanımlanmaktadır. Aşınma sonucunda malzeme kayıpları ile beraber makine parçası üzerinde hasarlar meydana gelir. Bu aşınma hasarları önemli ölçüde maddi kayıplara neden olabilmektedir.

Aşınma olayında beş unsur vardır. Bunlar; ana malzeme (aşınan), karşı malzeme (aşındıran), ara malzeme, yük ve harekettir. Ayrıca sıcaklık faktörü de altıncı parametre olarak değerlendirilebilir. Aşınan malzeme ve aşındıran malzemeler “aşınma çifti” olarak tanımlanmaktadır. Aşınma çifti ile ara malzemeye de beraberce “aşınma kombinasyonu” denilmektedir. Aşınma çifti ile ara malzeme, sert taneli sıvı, gaz ve buhar halinde olabilir. Aşınma sırasında oluşan aşınma parçacıkları da, ara malzeme gibi etki yaparak aşınma olayına katılırlar [14].

2.4.1. Aşınmayı etkileyen faktörler

Aşınmayı etkileyen bir çok değişik faktör bulunmaktadır. JARREL, D.J., BEJBL, F., bu faktörler arasına aşınmaya en çok etki edenleri kısaca aşağıdaki gibi açıklamışlardır.

- a. Malzeme secimi
- b. Sürtünme
- c. Yüzeğe uygulanan yük
- d. Kayma mesafesi
- e. Yüzeğe sertliği
- f. Yüzeğe kalitesi
- g. Yağlama

vb. faktörler etki etmektedir. Bu faktörleri inceleyecek olursak;

2.4.1.1. Malzeme seçimi

Birçok zaman aşınma olayı malzeme secimi ile yakından ilgilidir. Malzeme secimi doğru yapılmadığında beklenen performans elde edilemediği gibi maddi kayıplara da sebep olabilmektedir.

2.4.1.2. Sürtünme

Birçok araştırmacı sürtünme ile aşınma arasındaki ilişkiyi göz önüne almamıştır. Fakat bazı metallerde sürtünme katsayısı düşük olmasına karşın büyük oranlarda aşınma oluşabilmektedir. Bununla birlikte sürtünme katsayısının yüksek olduğu bazı durumlarda aşınmanın çok az olduğu görülebilmektedir.

2.4.1.3. Yüzeğe uygulanan yük

Yüzeğe uygulanan yük ile aşınma çok zaman doğru orantılı olarak artığı deneysel çalışmalar ile gözlenmektedir.

2.5.1.4. Sürtünme mesafesi

Sürtünme mesafesinin artması ile birlikte aşınma miktarında zamana bağlı olarak artış gözlenmektedir.

2.4.1.5. Yüzey sertliği

Yüzey sertliği aşınmayı etkileyen en önemli parametrelerden bir tanesidir. Yüzey sertliği artırılarak aşınma azaltılabilir veya aşınmadan kaynaklanan yüzey deformasyonu sabit tutulabilir.

2.4.1.6. Yüzey pürüzlülüğü

Yüzey pürüzlülüğü 10 ila 70 μm arasında olmalıdır. Eğer yüzey çok temiz ise yüzeyler arasında soğuk kaynak oluşumu artar. Yüzey kaba olarak işlenmiş ise buda aşınmayı daha fazla artmasına sebep olur.

2.4.1.7. Yağlama

Aşınmaya karşı önleyici önlemlerden bir tanesi de yağlamadır. Sürtünen yüzeyler arasındaki yağlama ile metal metal teması ve soğuk kaynaklanma önlenir [15].

2.5. Aşınma Zaman İlişkisi

Aşınma pratikte ikiye ayrılır.

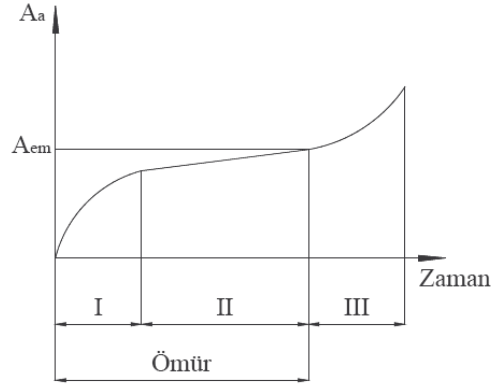
1. Zaman ile gelişen aşınma
2. Aniden meydana gelen aşınma

Zamanla meydana gelen aşınmayı üç safhada incelemek mümkündür.

1. Safha (Rodaj safhası): Bu safha birbirine alıştırma safhasıdır. Bu safhada parçanın ilk çalışması sırasında şiddetli bir aşınma meydana gelir. Bu nedenle parçaların birbirilerine alıştırması iyi yapılması ve kısa sürede gerçekleştirilmesi bu safhaya ait önemli şarttır. Genelde alıştırma, yüksüz normal hızlardan daha düşük hızlarda yapılır. Alıştırmamanın iyi ve kısa sürede tamamlanması için bu safhaya ait özel ağırlıklar kullanılır [11].

2. Safha : Bu safha şekil 2.7' de görüleceği gibi aşınma 1. Safha ya göre daha yavaş ilerler. Fakat zamanla aşınma oranı artmakta ve şiddetli aşınmalar bu safhadan sonra meydana gelmektedir.

3. Safha : Bu safhada artan aşınma hızı ile şiddetli aşınmalar meydana gelir. Sistemde önemli hasarlar oluşabilir.



Şekil 2.7. Aşınma zaman grafiği [16].

Aşınan elamana ait, çalışma şartlarına bağlı olarak müsaade edilen bir aşınma sınırı $A(em)$ tayin edilirse, aşınma zaman diyagramından elemanın normal çalışma zamanı(ömür) tespit edilir. Bu zamandan sonra parça değiştirilmeli veya tamir edilmelidir [16].

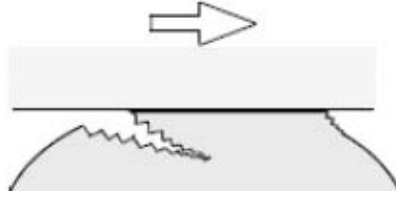
Aniden meydana gelen aşınmada, parçaların yüzeyleri bozulur veya bazı hallerde birbirine kilitlenir ve çalışmaz duruma gelir. Genellikle eş çalışan malzemelerin seçiminde yapılan hatalardan veya yağlamanın yetersiz olmasından meydana gelen bu aşınma şekli, mukavemet alanında statik zorlamanın etkisi altındaki kopmanın benzeridir.

2.6. Aşınma Çeşitleri

2.6.1. Adhesiv aşınma

Adhesif aşınma kayma ve yapışma aşınması olarak ta bilinen bir aşınma türüdür. İki düzgün katı cismin yağlamalı veya yağlamasız ortamda kayma teması ile oluşur. Adhezyon ara yüzeydeki pürüzlerin teması ile meydana gelir ve bu temas noktaları kayma ile kesilir. Bununla birlikte bir yüzeyden kopan parçalar diğer yüzeye yapışabilirler. Kayma devam ettiğinde diğer yüzeye yapışmış olan parçalar tekrar

orijinal yüzeye yapışabilir veya her iki yüzeyden bağımsız aşınma partikülü olabilirler [17].



Şekil 2.8. Adhesiv aşınma

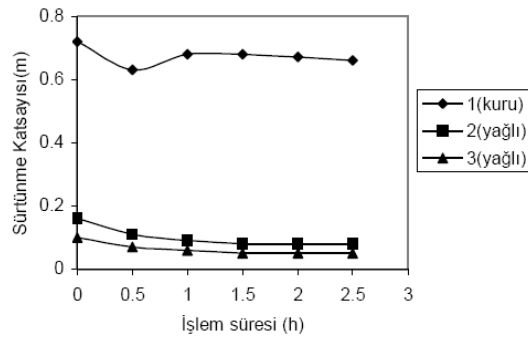
Adhesiv aşınma, temas halinde olan birbirine göre bağıl hareket yapan, pratik manada kuru kayma yüzeylerinde, diğer aşınma unsurları önlenirse dahi daima mevcut olan bir aşınma türüdür [18].

Yüzey ne kadar hassas işlense de gerçek temas alanı görünür temas alanından daima küçüktür. Birbiri üzerine temas eden malzemelere yük uygulandığında temas noktalarında aşırı gerilmeler meydana gelir. Akma sınırı aşıldığında ise küçük kaynak bağları oluşur. Yük ve sıcaklık kaynak bağlarının oluşumunu hızlandırır. Temas halindeki malzemeler de kaynak veya yapışma olmuşsa hareket ile bu bağ kopacak ve temas noktalarında kırılmalar meydana gelecektir. Genel olarak kırılma yani kopma zayıf olan metalde oluşmaktadır.

Tablo 2.1. Malzeme özelliklerinin adhesiv aşınmaya etkisi[10].

Malzeme Özellikleri	Adhesiv Aşınma
Oksitli yüzey	Az
Kübik kırystal yapı	Çok
Hegzogonal kırystal yapı	Az
Yüksek deformasyon sertleşmesi	Çok
Yüksek sertlik	Çok
Yüksek elastik modül	Çok
Yüksek ergime noktası	Çok
Yüksek yeniden kırystalleşme sıcaklığı	Çok
Küçük atom yarıçapı	Çok

Yapılan birçok bilimsel çalışmalar göstermektedir ki metaller arasındaki yağlamanın adhesyon aşınmasına büyük etkisi vardır. Yağlayıcı madde kullanıldığında malzeme transferinin ve sürtünme katsayısında bir azalma meydana geldiği görülmektedir.



Şekil 2.9. Bakır esaslı bronz ve pirinç yataklarda kuru ve yağlı ortamlarda sürtünme katsayısı- zaman diyagramı [19].

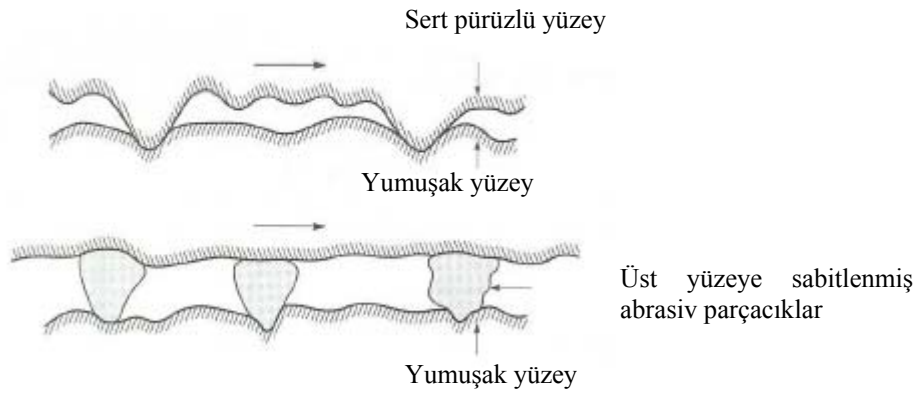
Adhezyon aşınması için aşağıdaki sonuçlar çıkartılabilir.

1. Adhezyon aşınması uygulanan yük ile
2. Kayma mesafesi ile
3. Aşınan malzemenin yüzey sertliği ile doğru orantılıdır.

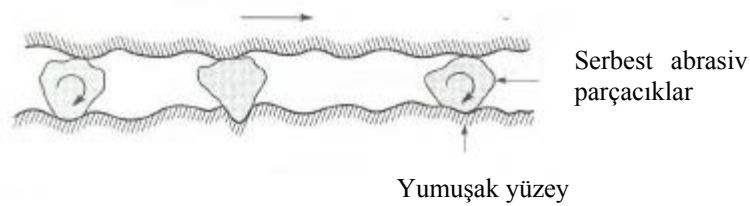
2.6.2. Abrasif aşınma

Birbiri üzerinde kayan yüzeyler arasında sert ve pürüzlü yüzey veya partiküller ile sistemi hasara uğratan bir aşınma türüdür.

Abrasif aşınma için iki genel durum vardır. Birinci durumda sert yüzey iki sürtünen yüzeyin daha sert olanıdır (iki cisimli obrasyon). Bu duruma örnekler öğütme kesme ve talaşlı imalat gibi makine çalışmalarıdır. İkinci durumda sert yüzey üçüncü bir cisimdir, genellikle küçük abrasiv partiküllerdir, diğer iki yüzey arasında bulunur ve yüzeylerden birini veya ikisini de aşındırabilir (üç cisimli abrasyon). Buna örnek serbest abrasif alıştırma ve parlatmadır. Birçok durumda başlangıçta aşınma mekanizması adhesivdir. Adhesif aşınmada aşınma partikülleri oluşur, bu partiküller ara yüzeyde sıkışır ve üç cisimli abrasif aşınmaya neden olur [20].



Şekil 2.10. Pürüzlü sert bir yüzey veya abrasif parçacıkların bir yüzeye yapışık olması [20].



Şekil 2.11. Yüzeylerden en az birinden daha sert abrasif parçacıkların iki yüzey arasında sıkışması [20].

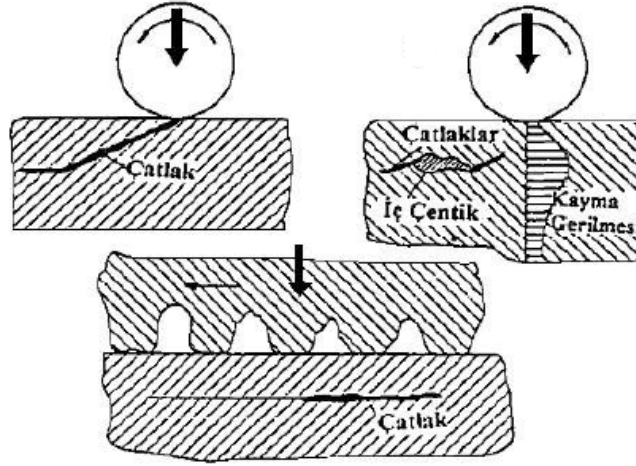
Abrasif aşınma direnci

1. Artan sertlik
2. Azalan deformasyon sertleşme hızı
3. Ana fazdan daha sert, tok, elastik modülü yüksek ve iri boyutlu partiküller aşınma direncini artırır.
4. Yabancı partiküller aşınma direncini arttırabilir [21].

2.6.3. Yüzey yorulması

Yüzey yorulması; yüksek basınç altında çalışan parçalarda fazla sayıda yük tekrarlarının ardından, ya yüzey altında gelişen çatlakların yüzeye doğru büyümesi ya da yüzeydeki çatlakların gelişip yüzey altındaki çatlaklarla birleşmesi sonucu yüzeyden malzeme parçacığının kopup ayrılması ile oluşan bir aşınma şeklidir. Yetersiz yağlama nedeni ile ortaya çıkan aşınma hasarlarından farklıdır. İyi yağlama şartlarında bile görülebilir [22].

Yorulma aşınmasına pitting te denilmektedir. Genellikle dişli çark mekanizmaları, araçların kam mili mekanizmaları, rulmanlı yataklarda, demir yolu raylarında, soğuk ve sıcak haddelemede, sirkülasyon pompaları gibi makine elemanlarında görülmektedir. Şekil 2.12’ de yorulma aşınması oluşum mekanizması görülmektedir [23].



Şekil 2.12. Yorulma aşınması oluşum mekanizması [23].

2.6.4. Erozyon aşınması

Bir sıvı ya da gaz akımı tarafından taşınan farklı geometrik boyut ve yapıdaki taneciklerin, temasta buldukları katı yüzeylerinde sürekli darbe etkisi yaparak oluşturdukları hasar erozyon aşınması olarak tarif edilmektedir [24].

Erozyon aşınması farklı durum ve ortamlarda meydana gelebilmektedir.

2.6.4.1. Katı partikül erozyonu

Akışkan bir ortam (sıvı veya gaz ortam) ile hareketlendirilen aşındırıcı partiküllerin yüksek hızlarla bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu oluşturduğu darbe etkisi ile oluşan bir aşınma türüdür.

2.6.4.2. Sıvı su damlası erozyonu

Yüksek hızlarda hareket halindeki sıvı (su) damlalarının bir katı yüzey üzerine tekrarlı çarpması sonucu oluşan şok dalgalarının tahribatı ile meydana gelen aşınma türüdür.

2.6.4.3. Katı partikül taşıyan akışkan ortam erozyonu

Yüksek hızlarda hareket halindeki bir katının kendisinden çok daha yavaş su damlalarına tekrarlı çarpması sonrası oluşan şok dalgaların tahribatı ile oluşan aşınma türüdür.

2.6.4.4. Kavitasyon erozyonu

Gaz kabarcıklarının yüksek bir basınç ile malzeme yüzeyinde tekrarlı patlaması sonucu oluşan bir aşınma türüdür. Özellikle su ve kalorifer borularında meydana gelen bir aşınma türüdür.

2.6.4.5. Elektro erozyon

Biri anot diğeri katot olmak üzere kutuplanan elektriksel yüklü iki parça arasındaki akımsal boşalım etkisi ile oluşan bir aşınma türüdür.

2.7. Korozyon Aşınması

Korozyon aşınması, düşük ve yüksek korozyon aşınması olarak iki şekilde gerçekleşir.

Metalik malzemeler içerdikleri alaşım elementlerinin miktarına bağlı olarak yüzeylerinde 0,1 mikron kadar doğal bir oksit tabakası bulunur. Bu tabaka sayesinde korozyon ortamlara karşı direnç gösterirler. Aşındırıcı ortam tarafından metal yüzeyine uygulanan tekrarlı darbeler esnasında yüzeyden malzeme ile beraber oksit tabakası da kalkar. Tekrarlı darbelerin sıklığından veya koruyucu tabakayı oluşturan

elementin alaşım içinde zamanla tükemesinden dolayı oksit tabakası tekrar şekillenmez duruma gelir. Korozyonun beraber geliştiği ve korozyonun aşınma hasarına katkıda bulunduğu bu olaya düşük sıcaklık korozyon aşınması denir.

Yüksek korozyon aşınmasına; kimya, maden ve metalürji sektörleri, nükleer reaktörler, dizel motorlar ve birçok sanayi alanında karşılaşılr. Metalik malzemeler birçok uygulamada yüksek sıcaklıklarda korozif ortamlara maruz kalırlar ve malzemenin korozyon direnci bu ortamlardan etkilenir. Sıcaklık ve ortama bağlı olarak aşınma sekiz farklı şekilde meydana gelebilir.

- a. Oksitlenme
- b. Karbürleme ve metal tozlaşması
- c. Nitrürlenme
- d. Halojen korozyonu
- e. Sülfürleme
- f. Kül (tuz) çökeleği korozyonu
- g. Erimiş tuz korozyonu
- h. Sıvı metal korozyonu

Korozif ortamlar oksitleyici ya da redükleyici olarak sınıflandırılır. Oksitleyici atmosfer, yanma için hava veya oksijen girişinin olduğu, yüksek oranda moleküler oksijen (O_2) içeren oksijen aktivitesinin moleküler oksijen konsantrasyonu ile kontrol edildiği ortamlardır. Redükleyici atmosfer ise, oksijen girişinin olmadığı yanmanın oksijensiz şartlarda gerçekleştiği ortamlardır.

En önemli yüksek korozyon aşınma türü oksitlenmedir. Metal ve alaşımlar yüksek sıcaklıklarda hava veya oksitleyici ortama maruz kaldıklarında yüzeylerdeki oksit tabakası doğal olarak büyür. Metalik malzeme ve üzerindeki oksit tabakası farklı ısıl genişleme katsayılarına sahiptirler. Oksit tabakası, çalışma ortamındaki ısınma soğuma çevrimleriyle oluşan iç gerilmeler nedeni ile (metal tabaka ara yüzeyinde) zaman zaman dökülür ve hemen doğal olarak kendini yeniler. Koruyucu oksidin kendini tekrar yenileyemeyecek duruma gelmesi durumunda savunmasız kalan metal ise hızla oksitlenir ve zamanla pul pul dökülerek yüzeyde malzeme kaybı oluşur [22].

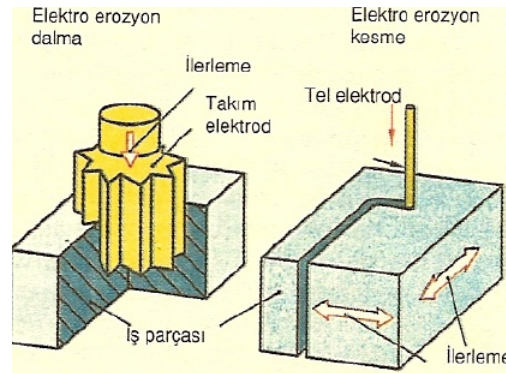
2.8. Aşınmanın Azaltılması İçin Gerekli Önlemler

1. Aşınmaya dayanıklı malzeme seçimi; parçanın çalıştığı ortamdaki mevcut aşınma türü ve şiddeti belirtilerek yapılmalıdır.
2. Parçanın geometrik tasarımı, aşınmayı en aza indirecek şekilde tasarlanmalıdır.
3. Sadece aşındırıcı ortamlarla temas halindeki yüzeyler veya tüm yüzey alanı, esas malzemenin özelliklerinden daha üstün özelliklere sahip ve mevcut aşınma türüne daha dayanıklı bir malzeme ile kaplanmalıdır.
4. Parçanın tamamının aşınmaya dirençli malzemeden üretilmesi yerine, maliyeti azaltmak açısından sadece aşınan yerlerin aşınmaya dirençli malzemelerden üretilmesi daha uygun olacaktır.
5. Parçanın üretim aşamasında herhangi bir imalat hatasına (gözenek, cüruf, çatlak, kalıcı çekme gerilmeleri, istenmeyen mikro yapı, yüksek yüzey pürüzlülüğü vb.) yer verilmemelidir.
6. Parça, dayanım limitlerini aşan yükleme şartlarında (yüksek basınç, yüksek sıcaklık ve yüksek hız vb. gibi) kullanılmamalıdır.
7. Bir yağın vizkozitesi sıcaklığa göre değişir. Vizkozite indeksi büyük olan yağlar, sıcaklık ile özellikleri daha az değişim gösteren yağlardır. Yağlayıcı ile çalışan ortamlarda yüksek vizkozite değerli ve yüksek basınca dayanıklı yağlar (fosfor ve kükürt katkılı) kullanılarak yağ filminin çabuk bozulması önenebilir. Bununla beraber, katkılı yağların oksidasyon aşınmasını arttırıcı bir rol oynadığı da düşünüldüğünde malzeme seçiminde daha dikkatli olunmalıdır.
8. Soğutucu secimi, parçanın çalışma ortamına uygun biçimde olmalıdır.
9. Yağlayıcı ve soğutucunun uygun bir filtreleme işleminden geçirilerek içindeki aşındırıcı partüküllerin sisteme tekrar girmesine engel olunmalıdır.
10. Yağlayıcının kontrolleri düzenli olarak yapılmalı ve en düşük kullanım limiti belirlenerek belli aralıklarla yenilenmelidir.
11. Sürtünme elemanları malzeme açısından bir birine uygun seçilmelidir. Özellikle korozyon aşınmasına maruz kalan parçalarda, parçanın üzerindeki korozyon tabakalarının belli aralıklarla yapılan temizlik işlemleriyle kaldırılması, parçanın ömrünü arttırıcı rol oynayacaktır [22].

2.9. Aşınmanın Kullanım Alanları

Aşınma her ne kadar birçok makine ve makine elemanlarını olumsuz etkilese de tahılların öğütülmesinde (abrasif aşınma) ve teknolojinin bir çok değişik alanında gelişmelere yol açmıştır.

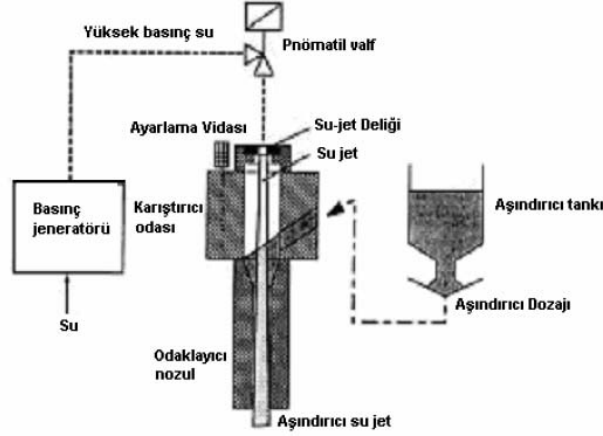
En önemli gelişmelerden bir tanesi de talaşlı imalatta hassas ve işlenmesi zor iş parçalarının işenmesinde kullanılan tezgahların üretilmesi ile yaşanmıştır. Örneğin adından da anlaşılacağı gibi elektro erozyon ve tel erozyon tezgahları elektro erozyon aşınması mantığı ile çalışan tezgahlardır. Burada iş parçası anot (+), elektrot katot (-) yüklü iki parçadır. Elektrot ile iş parçası arasında çok küçük ark boşluğunda kıvılcım atlaması meydana gelir. Burada aşınma sürekli ve uzun zaman almaktadır. Tel erozyon tekniğinde de elektrot yerine özel teller kullanılır. Aşınma mantığı yine aynıdır.



Şekil 2.13. Elektro erozyon ve Tel erozyon tezgahı çalışma prensibi.

Araştırmacılar hareket halindeki suyun yaptığı aşındırma olaylarını yağın yağmurda, yüksek yerden düşen su damlarında, şelalelerden akan suların aşındırma olayından yola çıkarak yine çok önemli bir tezgah olan su jeti tezgahı üretilmiştir.

Bu tezgahın çalışma prensibi katı partiküllü erozyon mantığı ile aynıdır. Öncelikle düşük basınçlı suyun basıncı yükseltilir. Gerektiğinde aşındırıcı partiküllerde karıştırılarak delik çapı 0.08-0.4 mm lüleden geçirilerek yüksek hızlarda kesilecek malzeme üzerine teması ile kontrollü olarak erozyon yöntemi ile kesme işlemi yapılır.



2.14. Aşındırıcı su jetinin basit şematik görünümü

Aşınma olayından birçok farklı alanda yararlanılmaktadır.

2.10. Aşınma Ölçüm Metodları

2.10.1. Ağırlık farkı metodu

Ekonomik olması ve ölçülen büyüklüğün alet duyarlılık kapasitesinde bulunması sebebi ile en çok kullanılan ölçüm metodudur. Ağırlık kaybının ölçülmesi 10^{-4} veya 10^{-5} gr hassasiyetinde oldukça duyarlı terazi ile yapılır.

Aşınma miktarı gram ve miligram cinsinden ifade edilmiş ise, 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 edilir. Ağırlık kaybı birim alanı için hesap edilecekse (gr/cm^2) gibi bir birim ile ifade olunabilir.

Ağırlık farkı ölçme yönteminde en çok kullanılan bağıntılar aşağıdaki gibidir.

$$W_a = \frac{G}{d.M.S} \quad (2.7)$$

- W_a : Aşınma oranı ($\text{mm}^3/\text{N.m}$)
 G : Ağırlık kaybı (gr)
 M : Yükleme ağırlığı (N)
 S : Aşınma yolu (m)
 d : Malzeme yoğunluğu (gr/cm^3)

olarak ifade edilir.

2.10.2. Kalınlık farkı metodu

Aşınma esnasında meydana gelecek boyut değişikliğinin ölçülmesi, başlangıç değeriyle karşılaştırılması sureti ile elde edilir. Kalınlık olarak tespit edilen değer, hacimsel olarak tespit edilip birim hacimdeki aşınma miktarı elde edilir. Kalınlık hassas ölçme aletleri ile $1\mu\text{m}$ duyarlılıkta ölçülebilir. Boyutsal değişimin ölçülmesinde sistemin durdurulması gerekmez. Bunun için mekanik (mikrometre), optik (mikroskop), elektronik (lineer deplasman ölçer) yöntemlerde kullanılabilir.

2.10.3. İz değişimi yöntemi

Sürtünme yüzeyi bölgesi geometrisi belirli bir iz, plastik deformasyon ile oluşturulur. Deney boyunca bu izin karakteristik bir boyutunun değişimi ölçülür. Uygulamalarda en çok kullanılan alet Vickers veya Brinell sertlik ölçme aletidir. Bilya veya elmas pramitin bıraktığı iz çapındaki değişme mikroskop yardımıyla ölçülmesi suretiyle değişim incelenir.

2.10.4. Rasyoizotoplar ile ölçme

Sürtünme yüzey bölgesinin proton, nötron veya yüklü atom parçacıklarıyla bombardıman edilerek radyoaktif hale getirilmesi esasına dayanır. Aşınmanın büyük hassasiyetle ölçülebilmesi ve sistem içerisinde çalışma şartlarını değiştirmeden ölçü alınabilmesi avantajlarıdır. Fakat ekonomik olmaması nedeniyle özel problemlerin çözümü dışında yaygın bir yöntem değildir.

2.10.5. Bilgisayar destekli aşınma ölçüm metodu

Bu yöntemlerde aşınma ve aşınma değişkenlerine ait veriler, esas itibarı ile pim disk aşınma test mekanizmasına ilave edilen uygun sensörler vasıtası ile belirlenmektedir. Aşınma kayıpları ve sürtünme katsayısı verileri bilgisayara A/D-D/A kartlar üzerinden aktarılarak işlenir. Bu veriler, bir paket programla grafik formlara dönüştürülebilir, istatistiksel analizlere tabi tutulabilir ve diğer hesaplamalarda kullanılabilir. Sistemin duyarlılığı, kullanılan sensörlerin ve kontrol kartının voltaj değerindeki lineer sapmaya bağlıdır [25].

2.11. Tribosistemler

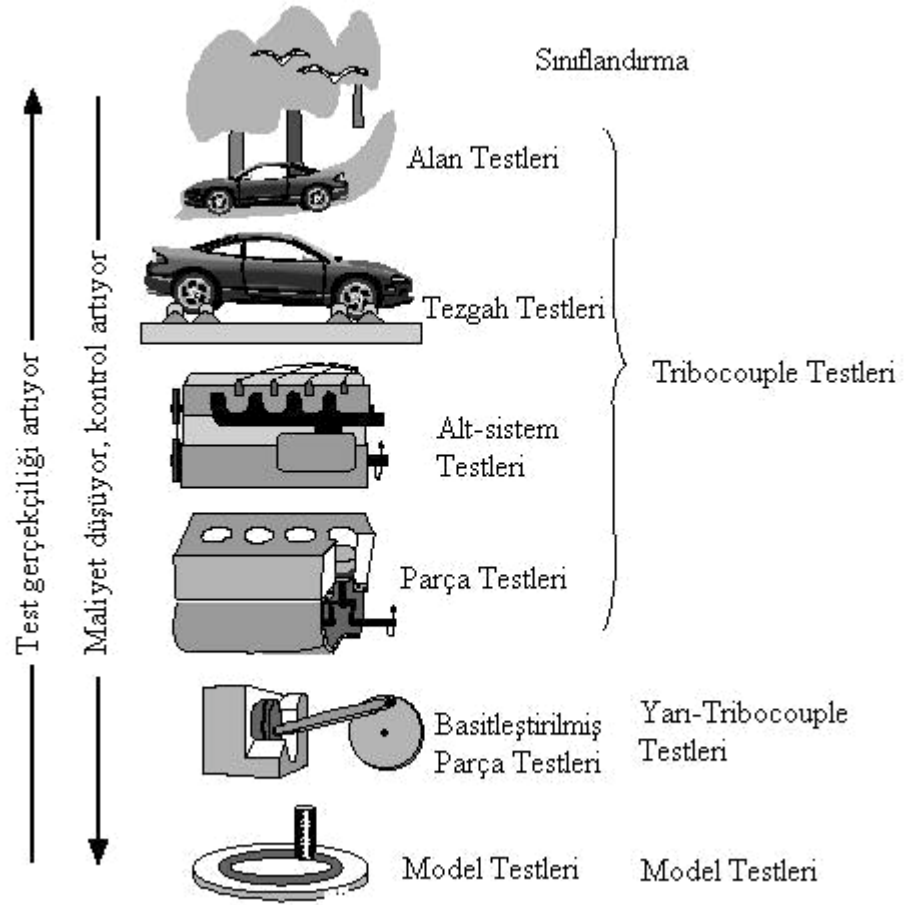
Tribolojinin sözlük anlamı birbiri ile temas eden yüzeyler arasındaki etkileşimi inceleyen bilim ve teknoloji olarak tanımlanmaktadır. Tribolojik araştırmaların amacı yüzey sürtünmelerinin ve aşınmadan kaynaklanan kayıpları azaltmak ve gidermektir.

Aşınma tiplerinin çok çeşitli olması ve birçok farklı durumda aşınma probleminin ortaya çıkması, çok sayıda tribotestin gelişmesine neden olmuştur. Genel olarak aşınma araştırmaları şu amaçlarla yapılır;

- a. Sistemlerin ya da sistem elemanlarının verimliliği, ömrü, güvenirliliği, performansı, fonksiyonu, bakım yapılabilirliğinin değerlendirilmesi
- b. Sistem elemanlarının kalite kontrolü
- c. Malzemelerin ve yağlayıcıların tribolojik davranışlarının karakterize edilmesi
- d. Aşınmanın neden olduğu malzeme kayıplarının araştırılması [26].

2.11.1. Tribotestlerin sınıflandırılması

Tribotestler birçok şekilde gerçekleştirilebilir. Tribolojik test metodlarının en uygun sınıflandırması geçerlilik derecesine göre yapılır. Genellikle testlerde yüksek derecede bir gerçekçilik amaçlanır. Maliyet, test zamanı ve test koşullarının kontrolünün hassasiyeti veya bilimsel çalışmalardan beklenen performansta dikkate alınmalıdır. Birçok değerlendirmede, bir uygulamanın simülasyonu yüksek önceliğe sahip değildir [26].



Şekil 2.15. Tribosistemlerin şematik gösterimi [26].

BÖLÜM 3. AŞINMA DENEYLERİ

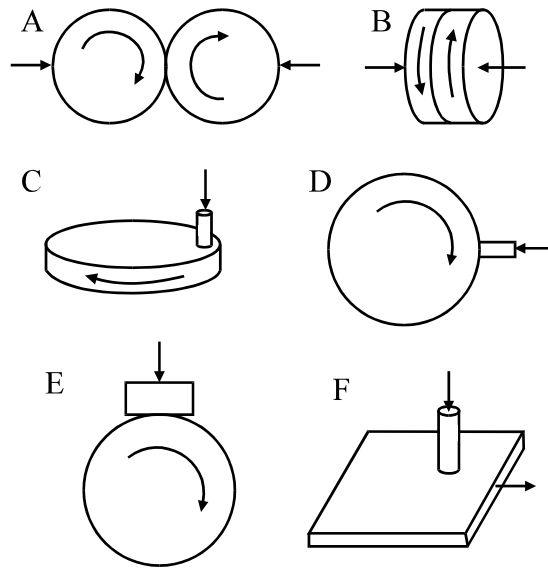
3.1. Aşınma Deney Yöntemleri

Aşınma çalışmalarında birçok değişik deneysel düzenekler kullanılmaktadır. Aşınma için yapılan laboratuvar araştırmaları, genellikle hem oluşan aşınma mekanizmalarının incelenmesini hem de pratik uygulamaların benzeşiminin yapılması ve aşınma oranları ile sürtünme katsayıları için kullanışlı dizayn verilerinin elde edilmesini ortaya çıkarmaktadır. Her iki amaç için de aşınmayı etkileyebilen tüm değişkenlerin kontrol ve ölçümü oldukça önemlidir.

Şekil 3.1’de yaygın olarak kullanılan birkaç tip aşınma ve test aparatlarının geometrik şekilleri görülmektedir. İlk defa 1774 yılında sürtünmeyi ölçmek için kullanılan bir alete isim olarak verilen Tribometre kelimesi bazen birkaç aparat için kullanılmaktadır. Daha fazla son zamanlarda kabaca tibotester ve bunun fiil ile birleşmiş hali oluşan terimler için kullanılmaktadır [27].

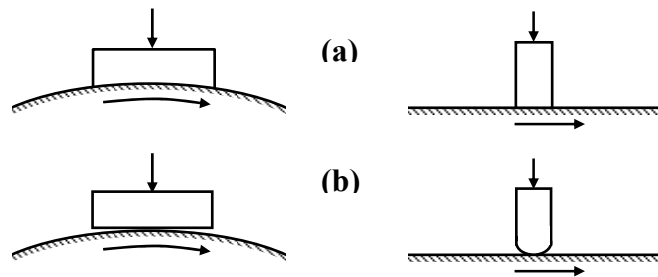
Şekil 3.1’de görülen metotlar iki tipe ayrılabilirler. Bunlardan birincisi aşınma oranının her iki kayma yüzeyinde de aynı malzemedenden olsa bile aşınma oranlarının farklı olduğu asimetric düzendedir.

Simetrik düzen, aşınma çalışmasında pek sık kullanılmaz. Bu düzene Şekil 3.1’deki A ve B düzenleri örnek olarak gösterilebilir. Bu düzen tipinde ya çevreleri boyunca temas halinde olan (A) ya da yüzeyleri boyunca temas eden (B) her ikisi de dönen bilezik veya iki disk bulunur.



Şekil 3.1. Kayma aşınması için kullanılan geometrik düzenekler [28].

Çok yaygın olarak asimetrik cihazlarda bir diske karşı bastırılan pim kullanılır. Bu pim diskin ya düz yüzeyi üzerine (C) ya da kenarına (D) bastırılır. Bu düzen tipi bileziğe karşı bastırılan bir blok (E) veya düz bir yüzey üzerine bastırılan pim (F) şeklinde olabilir. Bu test cihazında temas şekilleri belirli bir alan teması (düz bir disk üzerine düz uçlu bir pim veya bir bilezik üzerine tam yerleşmiş bir blok) veya bir nokta yada çizgi teması (bir disk üzerine düz uçlu bir veya bir bilezik düz bir blok) şeklindedir. Bu temas şekilleri şekil 3.2' de detaylı olarak gösterilmektedir [27].



Şekil 3.2. Deney cihazlarında temas biçimleri [27].

Bazı aşınma test metotları ulusal standartların konusudur. Örneğin bilezik üzeri blok (ASTM G77), çapraz silindir (ASTM G83), disk üstü pim (ASTM G99), disk üstü küre (DIN 50324) ve düz yüzey üzeri döner pim (ASTM G98) [28].

Kayma şartları altındaki aşınma, kayma aralığına ayrıca kayma hızı ve test süresinin her ikisinin birden büyüklüğüne bağlıdır. Kayma hızı sürtünme enerjisinin dağılma oranına ve böylece iç yüzeydeki sıcaklık oranını etkiler. Bir aşınma testinin sonuçları ile bu aşınma testinin yarı süresi, iki kat hız ile elde edilen bir başka aşınma testinin sonuçlarının aynı olması düşünülemez. Kayma hızı değişken aşınma mekanizması ve oranında ani geçişler olabilir. Aşınma ayrıca kayma yüzeyleri arasındaki nominal temas basıncına da bağlıdır. Temas basıncındaki değişmelerin oluşturduğu geçişleri de içerir. Temas basıncından bağımsız olarak numunenin lineer boyutları da önemlidir. Uzun bir numunenin kenarına yakın bir yerdeki aşınma hasarı, temas bölgesinden geçişi esnasında kısa bir numunedeki aşınma hasarına göre daha etkilidir.

Normal yük, temas alanı, kayma hızı ve test süresindeki büyük değişikliklerden başka diğer çeşitli faktörlerde aşınma testinde hesaba katılmalı ve izlenmelidir. Test sıcaklığı malzemenin mekanik özellikleri üzerine ve sıcaklığın hareket geçirdiği işlemler üzerinde etkisinden dolayı önemlidir. Yağlı sistemlerde yağ viskozitesi üzerine olan etkisinden dolayı test sıcaklığı önemlidir. Atmosferik bileşenler de önemlidir. Su buharı ve oksijen gibi reaktif bileşenler tüm malzemelerde aşınma oranını ve mekanizmasını kuvvetli bir şekilde etkiler. Yağlı sistemlerde, yağ filmlerindeki basınç dağılımı ve bunun sonucu film kalınlığı ve yağlayıcı maddenin miktarı da önemli faktörlerdir. Bu etkilerin geniş listesi, bir pratik uygulamanın laboratuvar benzeşimi kurmanın mümkün olmadığı ve sadece aşınma testinin bir servis deneyi olduğu akla gelebilir. Fakat çıkan sonuçların benzeşimi yapılan gerçek şartlardan çok uzak olduğu bilinmelidir. Temas gerilmeleri, temas şartları, kayma hızları ve kimyasal ortam herhangi bir aşınma testinde hepsi çok önemli bileşenlerdir. Sürtünmenin ölçülmesi ile ve testten sonra aşınan yüzeylerin ve aşınma hasarının son muayenesi ile bu önem daha iyi fark edilir. Aşınma mekanizması, servis uygulamalarına olduğu gibi testte de aynıdır. Bir laboratuvar testinin sonuçları güvenle pratik bir probleme uygulanabilir [27].

3.2. Aşınma Deneylerinde Kullanılan Bazı Aşınma Deney Cihazları

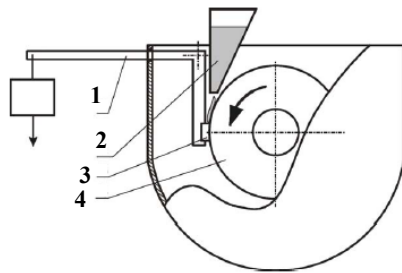
H, Klaasen ve J, Kübarssepp, bazı karpit bileşiklerinin aşınma performansı hakkında deneysel çalışmalar yapmışlardır. Aşınma deneyi için şekil 3.3’ te şematik olarak gösterilen lastik(teker)li abrasiyon (ASTM G65-94) deney cihazını kullanmışlardır. Bu deney cihazı üç partiküllü abrasif aşınma deneyleri için ideal bir tasarım olmakla birlikte disk üstü blok deneyi içinde rahatlıkla kullanılabilir [29].

Ayrıca abrasif aşınma deneyleri ASTM standartlarına göre;

G65 Lastik tekerli abrasiyon testi(aşındırıcı kuru kum)

G 105 Lastik tekerli abrasiyon testi(aşındırıcı ıslak kum)

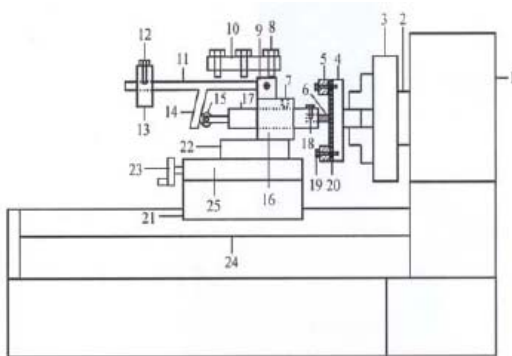
B 611 Yüksek gerilimin olduğu yerlerde çelik teker kullanılır.



- 1- Yük uygulama sistemi
- 2- Aşındırıcı partiküller
- 3- Numune
- 4- Çelik disk

Şekil 3.3. Lastik tekerli abrasif aşınma deney cihazı şematik görünümü [29].

Y, Taşgın ve M, Kaplan, yaptıkları çalışmada dubleks döküm tekniğiyle üretilen FeCrC katkılı malzemenin abrasif aşınma davranışını incelemişlerdir. Bu deneysel çalışmada şekil 3.4’de şematik olarak görünen aşınma deney cihazını kullanmışlardır. Deney cihazı esasen bir torna tezgahı üzerine gerekli aparat ve ölçüm sisteminin monte edilmesi ile oluşturulmuştur [30].

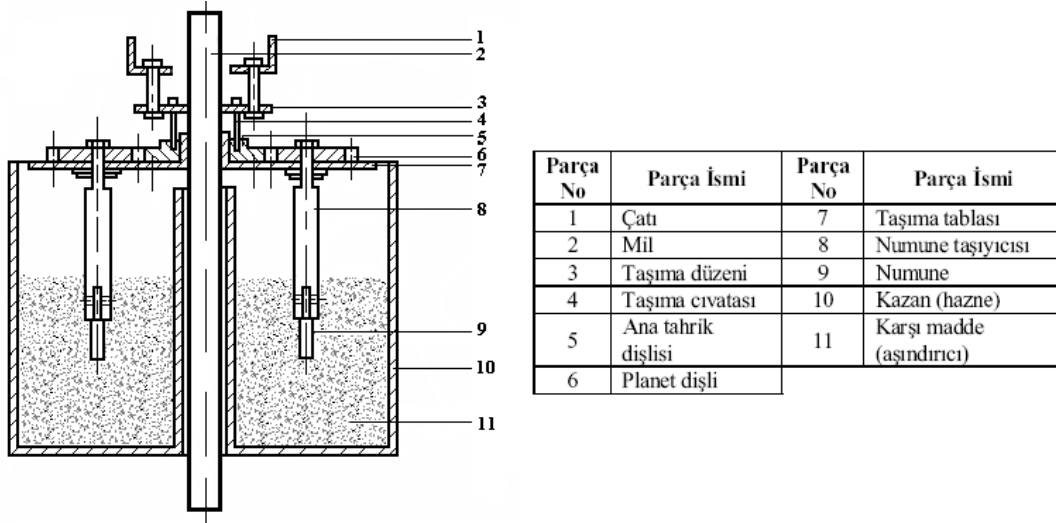


Tezgahın Önemli Kısımları

1. Torna tezgahının tahrik gövdesi
3. Torna aynası
4. Zımpara Kağıdı Bağlama Flanşı
6. Numune
9. Hareketli Mafsal
10. Kalemlik
11. Yük Kolu
13. Yük
14. Baskı kolu
15. Rulman
16. Numune tutucu yatağı
20. Zımpara Kağıdı

Şekil 3.4. Abarasif aşınma deney cihazı şematik görünümü [30].

N, Y, Sarı ve M, Yılmaz, yaptıkları abrasif aşınma deneyinde şekil 3.5’ te ki aşınma deney cihazını kullanmışlardır. Aşındırıcı tanecik olarak 820 Knopp sertlik değerinde çakmak taşı kullanmışlardır. Aşınma makinesi dönme – karıştırma sistemine göre çalışmaktadır. Kazan içerisindeki aşındırıcı tanecikler içinde planet dişli mekanizması ile hem kendi ekseninde hem de ana mil eksenini etrafında dönerek numuneler zaman ile aşınacaklardır [31].

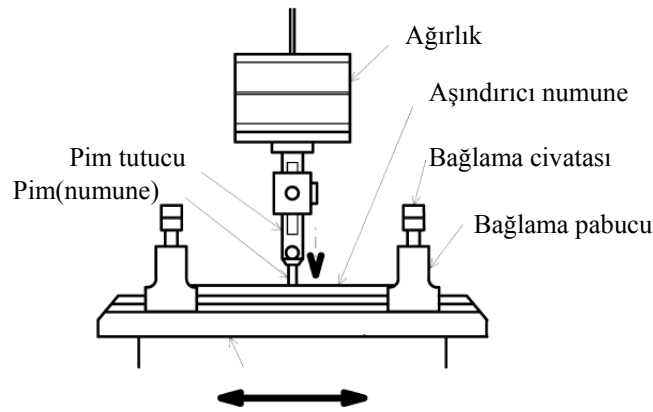


Şekil 3.5 Aşındırıcı partiküllü aşınma deney cihazı [31].

D, Odabaş, ve M, B, Karamış, kaymalı sürtünme yapan malzemelerin aşınana yüzeylerinde meydana gelen plastik deformasyon ısısının hesaplanmasını sağlayan teorik bir model geliştirerek bu teorik modelin geçerliğini araştırmak için çalışmalar yapmıştır. Aşınma deneyleri pim-ring kayma sisteminde değişik yük ve kayma hızı şartları altında gerçekleştirmişlerdir. Kullanılan deney cihazının şematik görünümü şekil 3.11’de görülmektedir. Burada uygulanan normal yük bir hidrolik pompa yardımı ile iç tutucunun üstünde bulunan hazneye gönderilen basınçlı yağın lastik diyaframı şişirmesi ve tutucuyu kaymalı yatağı içinde itmesi şeklinde uygulanmaktadır. Sürtünme ölçülmesinde bir ucu ankastre, diğer ucu serbest olan dikdörtgen kesitli çelik bir kirişin elastik sınır içindeki sehiminden faydalanılmaktadır. Sehim miktarı bir deplasman transduseri ile ölçülmüşlerdir [32].

3.2.1. Düzlem üzeri çubuk(pin on flat) deney cihazı

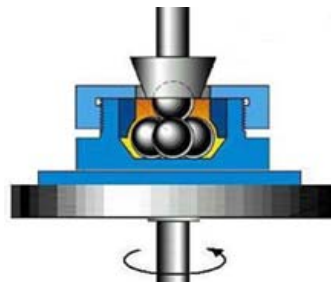
Düzlem üzerinde çubuk aparatında, sabit duran çubuk üzerinde bir düzlem git-gel hareketi yapar. Bazı durumlarda düzlem sabit ve çubuk hareketlidir. Çubuk, bir bilye, yarım küre uçlu bir ilave veya düz uçlu bir silindir olabilir. Yüksek frekansta küçük bir titreşim genliği kullanarak aşınma testleri yapılabilir [20].



Şekil 3.6. Pin on Flat deney cihazı şematik görünümü [33].

3.2.2. Dört top deney aparatı

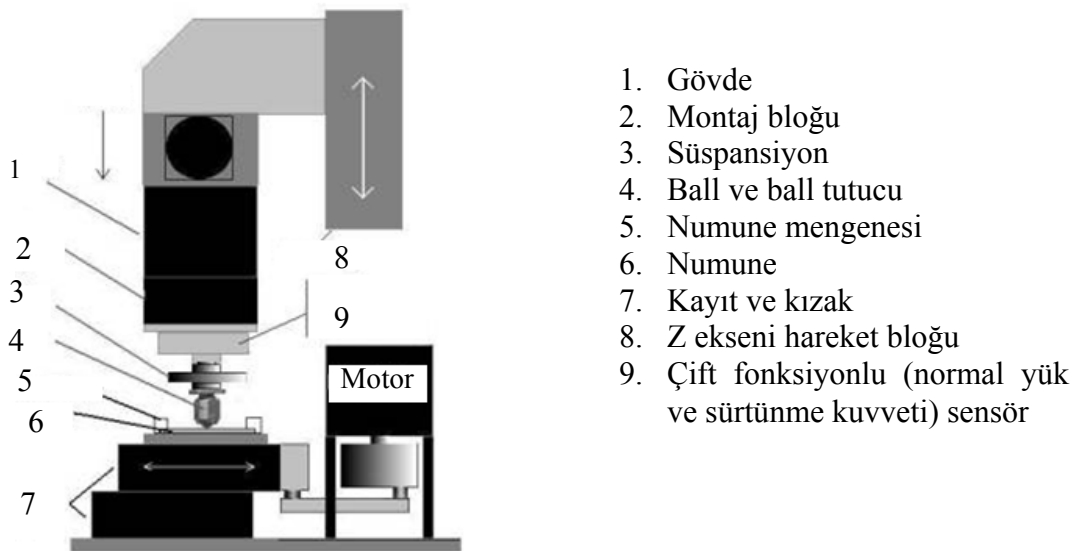
Şekil 3.7’ de şematik olarak dört top test aparatı gösterilmektedir. Alt taraftaki üç top bir taşıyıcı içerisinde hep birlikte döner ve üst taraftaki topa doğru izafi olarak hareket eder. Üstteki top, yerinde sabittir ve aşağıya doğru normal bir yük bastırmaktadır. Bilyeler, standart rulmanlı yatak çeliğinden yapılabilir. Bu test, malzeme davranış çalışmalarından çok yağlama performansının değerlendirilmesinde kullanılan bir metottür.



Şekil 3.7. Dört top aşınma deney aparatı [34].

3.2.3. Ball on flat aşınma deney cihazı

Bu deney liner olarak ileri geri hareket eden düz bir numune yüzeyine belirli bir yük ile temas ettirilen kürenin kayması esasına dayanmaktadır. Şekil 3.8' deki modelde görüldüğü gibi yük küre üzerinden uygulanmaktadır. Ayrıca aşınma deneyi ile birlikte sürtünme kuvveti deneyleri de yapılabilmektedir. Bu deney cihazının çalışma prensibi motordan alınana dairesel hareket ile kızak üzerinde bulunan kayıt lineer olarak ileri geri hareket ettirilmektedir. Kayıt üzerine bağlama aparatları ile bağlanan numune yüzeyine belirli ölçülerdeki bir kürenin belirlenen yük ile temasına dayanmaktadır. Bu deneydeki önemli parametreler uygulanan yük, numunenin hareket uzunluğu, hareket sıklığı ve hızı, test sıcaklığı, test süresi.

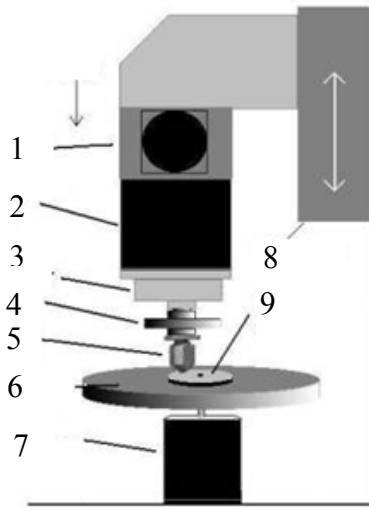


Şekil 3.8. Ball on Flat deney cihazı [35].

3.2.4. Ball on disk deney cihazı

Ball on disk deney cihazı ile pin on disk deney cihazının çalışma prensipleri birbirilerine benzerler. Ball on disk deneyinde numune (disk) yüzeyine bir küre belirlenen yük ile temas ettirilmesi ile aşınma gerçekleştirilir. Motordan alınan dairesel hareket ile disk kendi ekseninde dönmesi sağlanır. Küre, bağlama aparatları ile montaj bloğuna bağlanır. Ayrıca kürenin x veya y ekseninde

hareket etmesi gereklidir. Şekil 3.9'daki modelde yük düşey olarak küre üzerine uygulanmaktadır.

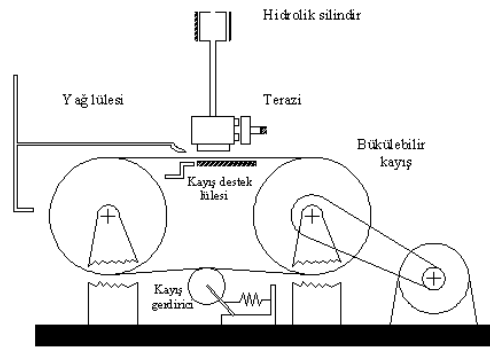


1. X ekseninde hareket
2. Montaj bloğu
3. Çift fonksiyonlu (normal yük ve sürtünme kuvveti) sensör
4. Süspansiyon
5. Ball ve ball tutucu
6. Numune tablası
7. Motor
8. Z ekseninde hareket bloğu
9. Disk (numune)

Şekil 3.9. Ball on Disk deney cihazı [36].

3.2.5. Levha – kayış deney cihazı

Bu sistem, iki geniş silindir ve bu iki silindirin üzerinden geçen, eğilebilme özelliğine sahip bir kayıştan meydana gelmektedir. Bu iki büyük silindirden bir tanesi hızı ayarlıdır. Kayış silindirlerin etrafında dönmekte olup gevşeklik şeklinde görüldüğü gibi basit bir gerdirme tekeri ile düzeltilir. Kayış, kumaş, lastik çelik şerit veya takviye edilmiş kompozit malzemelerden olabilir. Deneylerde kullanılacak yüzey tekstürü ise imalatı esnasında kayışın bir yüzüne zımpara kağıdı yapıştırılarak veya aşındırıcı örtülerek sağlanır. İki silindirin arasında kalan kayışın düz kısmı bir hava veya su yastığıyla desteklenmiştir. Kayışın hızında yaklaşık olarak eşit bir hızda akış hızına sahip olan, su yastığını temin eden kayış destek lülesi vardır. Bu lüleye gelen suyu kontrol eden, elle ayarlanabilen veya silindirin hızıyla kontrol edilen bir vana vardır. Kayış hareketi ve vananın açılmasıyla birlikte üniform bir su tabakası oluşur.

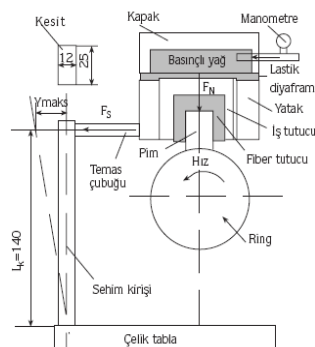


Şekil 3.10. Levha-kayış aşınma deney cihazı [9].

Deneyde kullanılmakta olan test numunesi bir hidrolik silindir vasıtasıyla itilmek suretiyle kayış üzerine bastırılarak bir normal yük meydana getirilir. Kayış ve numunenin arasında oluşan sürtünme kuvveti tesiriyle numune deformasyona uğrar. Numuneyi tutmakta olan kafa sağ ve sol taraftan yataklanmıştır. Kayış hareket yönü tarafında bulunan yatağa sürtünme kuvvetinin ölçülmesi amacıyla bir terazi yerleştirilmiştir. Şekilde görülen B vanası yardımıyla, yağ besleme lülesi kayışın sürtünen yüzeyinde üniform bir su tabakası meydana getirir. Bu düzenek kayış ile numune arasında oluşturulabilecek çok büyük izafi hızları taşıyabilecek kabiliyettedir. Sistemin en büyük avantajı iç ve dış silindirin düzeneğindeki gibi temas yüzeyinde bir eğrinin olmayışıdır [9].

3.2.6. Silindir üstü çubuk deney cihazı

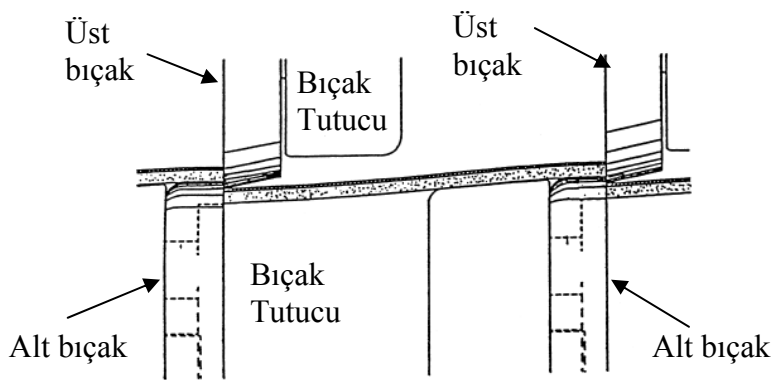
Silindir üzerinde çubuk aparatı pin on disk aparatına benzer. Farkı numunenin yüklemesi dönen silindir üzerine diktir. Numune düzlem veya yarım küresel uç olabilir.



Şekil 3.11. Silindir üstü çubuk deney cihazı şematik görünümü [32].

3.2.7. Çapraz silindir deney cihazı

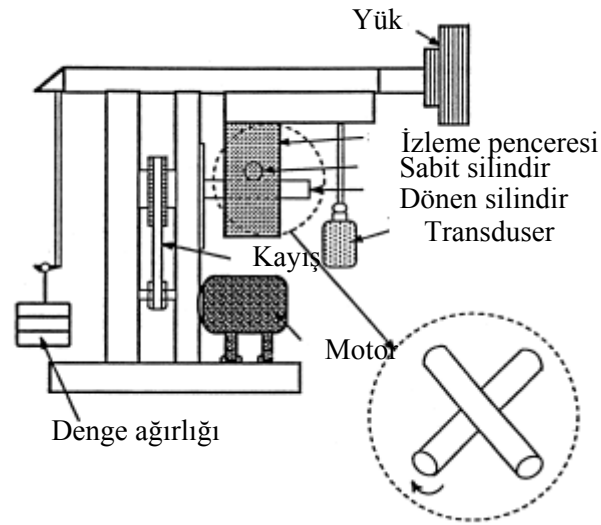
Kağıt kesiminde, kumaş kesiminde, sac metal kesiminde vb. malzemelerin kesiminde aşağıdaki gibi makas sistemi kullanılır. Bu tür kesimlerde bıçakla metal arasında çok küçük temas alanı ve yırtılmalar meydana gelir. Özellikle sac metal kalıplarındaki kesme işlemi buna çok iyi bir örnektir. Bu gibi bıçaklarda aşınma, metal- metal aşınması veya abrasif aşınma şeklinde meydana gelmektedir.



Şekil 3.12. Saç metal kesimi [38].

Bu tür aşınmaların ölçümünde ASTM G78 Çapraz Silindir deney cihazı kullanılır. Çapraz silindir deneylerinde daha çok takım çeliklerinde meydana gelen aşınmalar ile kaplanmış yüzeylerde meydana gelen aşınmalar incelenmektedir [37].

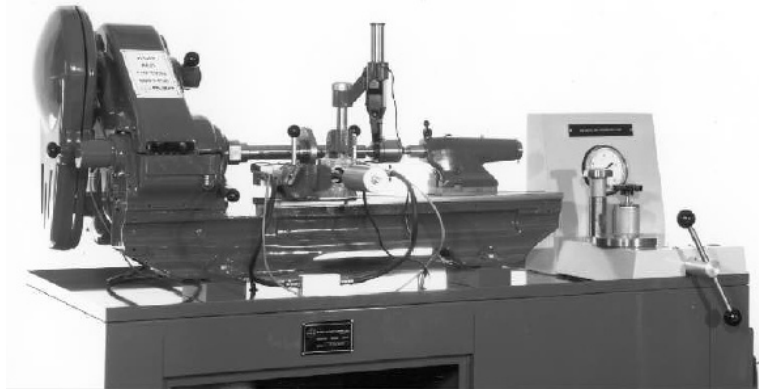
Bu cihazın çalışma prensibi kendi eksenini etrafında dönen bir silindir ve bu silindire çizgisel temas eden çarpı şeklinde konulmuş sabit bir silindirden meydana gelmektedir. Bu deneyde meydana gelen aşınma önce dönen parçanın dış çapında meydana gelen yivnin hacmi ölçülür. Sabit parça üzerinde meydana gelen aşınma lekeleri ölçülür ve bununla birlikte sistemdeki toplam aşınma bulunmuş olur [38].



Şekil 3.13 Çapraz silindir deney düzeneği [38].

3.2.8. Plint TE 97 sürtünme ve aşınma deney cihazı

Plint firmasının ürettiği ilk tribolojik test cihazı TE 97 model test cihazıdır. Bu cihazın tasarımı Dr. Michael Plint ve Prof. Duncan Dowson tarafından yapılmıştır [39].

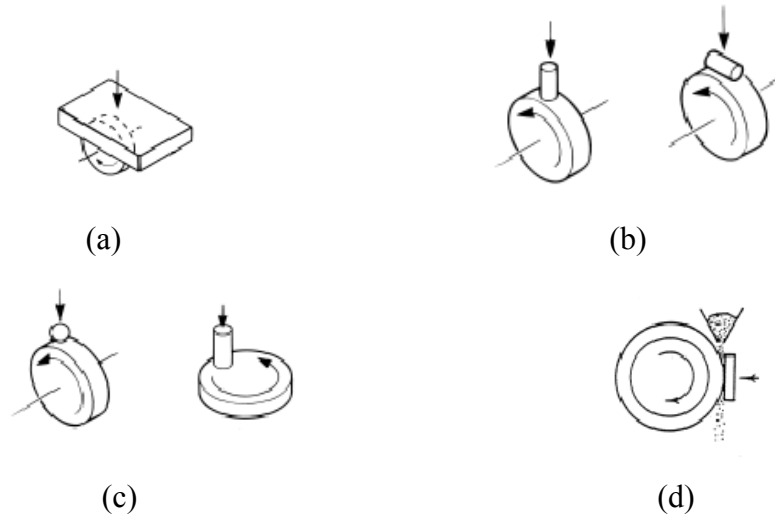


Şekil 3.14. Plint firmasının ürettiği ilk TE -97 aşınma deney cihazı [39].

Sürtünme ve aşınma üzerine eski tarihlerden beri birçok çalışma yapılmış ve insanlar asırlar önce tahılları öğütmek için aşınmayı, sürtünmeyi azaltarak büyük kütleli parçaları daha az kuvvetle itebilmek için yağları kullandıkları bilinmektedir. Özellikle yakın tarihimizde sanayi devrimlerinin başlaması ile birlikte aşınma ve sürtünme daha fazla önem kazanmıştır. Birçok ülkede aşınma ve sürtünme yüzünden milyon dolarlarca zarar ettikleri bilinmektedir. Sürtünme ve aşınma deneyleri için bir

çok deney cihazı kullanılmaktadır. Model aldığımız deney cihazı TE 97 aşınma deney cihazıdır.

TE 97 Sürtünme ve aşınma deney cihazı öğrencilere tıroolojik olayları, kuru ve sıvı kayma, iki ve üç parçalı aşınma, yapışıp bırakma olaylarını incelenmesi için dizayn edilmiştir. Bu cihazın konfigürasyonunda bazı değişiklikler yapılarak değişik deneyler yapılabilir.

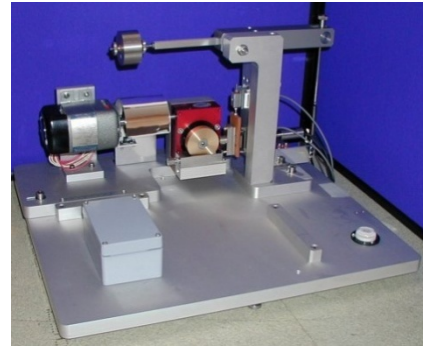


Şekil3.15 TE 97 deney cihazı ile yapılabilen aşınma deneylerinin şematik görünümü.

Şekil 3.16' da görüldüğü gibi şekil (a) da Pin on Disk deneyi yapılmaktadır. Aynı deney cihazı üzerinde motor grubunun yönü değiştirilerek (b) Silindir üstü Çubuk deneyleri yapılabilmektedir.



(a)



(b)

Şekil 3.16. a. TE-97 Pin on Disk deney cihazı.

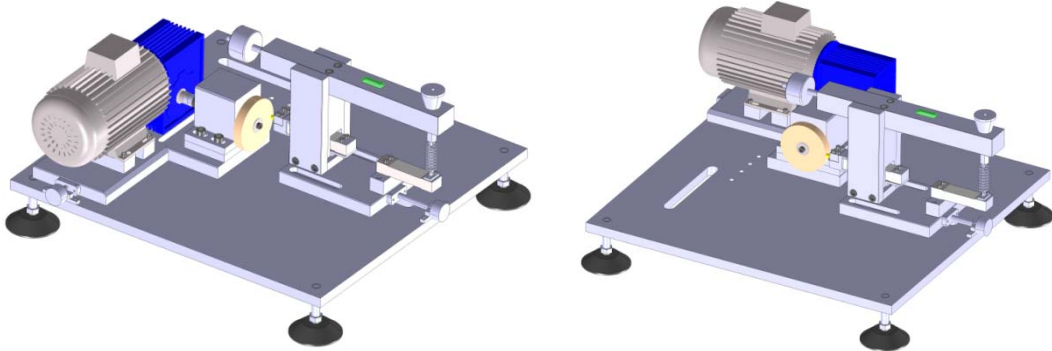
b. Silindir üstü Çubuk deney cihazı [40].

BÖLÜM 4. TASARIM VE İMALAT

4.1. Tasarım

Bu deney cihazının tasarımında öncelikli hedef aşınma ve sürtünme deneylerinde sıkça kullanılan pin on disk aşınma deney cihazı tasarlamak ve imal etmektir.

Bu tasarımı özel kılan ise deney cihazının diğer deney cihazlarına göre farklı ve güvenilir sonuçlar verebilmesidir. Bunun için birçok deney cihazı incelenmiş ve bunların arasında Plint TE 97 pin on disk deney cihazı model alınmıştır. Bu deney cihazını farklı kılan durum ise deneyde kullanılan aşınma diski yere 90° açı yapacak biçimde durarak kendi eksenini etrafında dönmesidir. Ayrıca motor ve rediktör gurubu tabla üzerinde konumu değiştirilerek blok on disk deneyi de rahatlıkla yapılabilmektedir. Bununla birlikte bu deney cihazı üç cisimli abrasyon deneyleri içinde rahatlıkla kullanılabilir.



(a)

Şekil 4.1. a. Pin on Disk aparatı

(b)

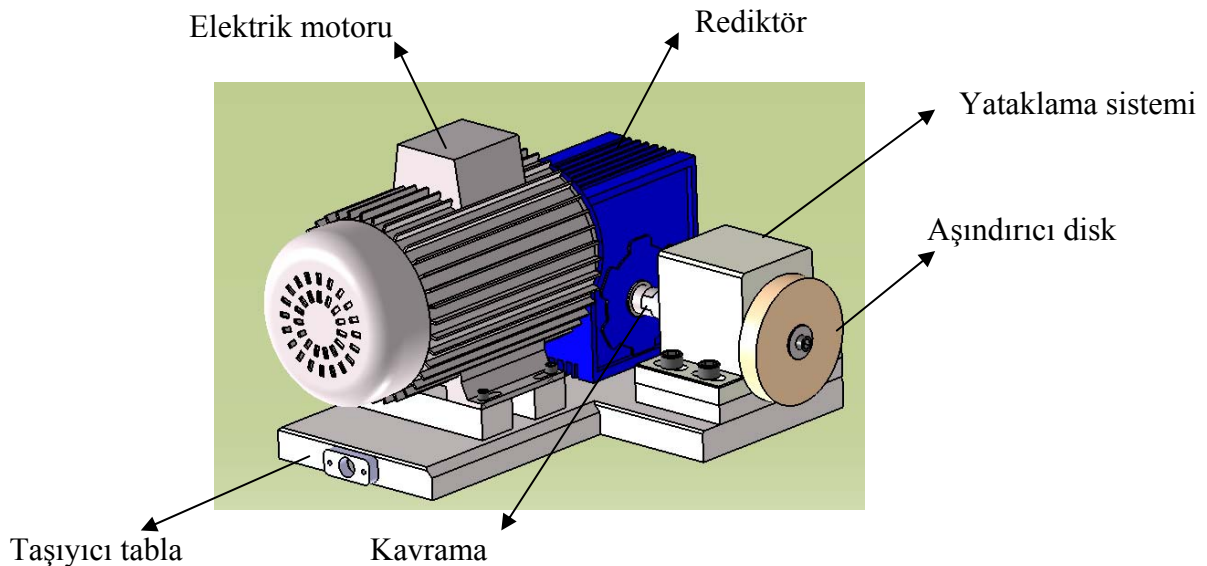
b. Silindir üzeri pim

Bu deney cihazında sürtünme kuvveti metallerdeki strain prensibine göre çalışan loadcell tarafından ölçülerek bu veriler bilgisayara otomatik olarak atılmaktadır.

4.1.2. Motor, rediktör ve yataklama ünitesin tasarımı

Deney cihazı tasarlanırken öncelikli olarak hazır olarak alınacak olan motor, rediktör ve diğer ürünlerin piyasa araştırması yapılarak başlanmıştır. Çünkü motor ve rediktörün mekanik özellikleri kadar fiziksel özellikleri de tasarıma etki etmektedir. Deneyde cihazında aşındırıcı diske dairesel hareketi verebilmek için 0,75 KW elektrik motoru kullanılması uygun olacaktır. Motordan alınan hareket rediktör gurubuna aktarılarak çıkış gücü artırılmıştır. Aşındırıcı disk üzerinde herhangi bir salgı olmaması için çıkış mili özel olarak yataklanmış ve de rediktör çıkış mili ile yataklama ünitesi arasında kavrama sistemi kullanılmıştır. Yataklama ünitesinde konik makaralı yataklar kullanılmıştır. Bu yataklama ünitesine ait detay resimleri ek'te verilmiştir.

Motor, rediktör ve yataklama ünitesi birbirine bağıntılı olarak çalışan bir bütün sistemi oluşturmuştur. Pin on disk deneyi veya disk üstü blok deneyi yapılacağı zaman bu sistem 90 çevirilmesi gerekmektedir. Bu sistemin bir bütün olarak hareket ettirilmesi deney açısından daha sağlıklı hale getirmektedir. Ayrıca pin on disk deneyinde numunenin diskin merkezine olan uzaklığı da taşıyıcı tablanın ileri ve geri hareketleri ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.2. Motor, Rediktör ve yataklama ünitesi

Taşıyıcı tablanın ve sisteme ait detay resimleri ek te bulunmaktadır.

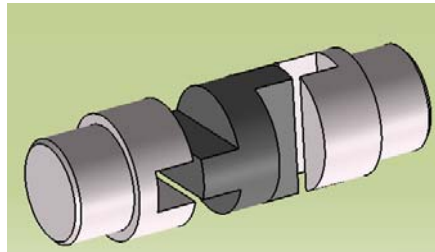
Motordan alınan dairesel hareketin yönünü değiştirmek ve güç iletimini yükselterek montaj kolaylığı sağlamak için redüktör kullanılmıştır. Redüktör olarak AS DİŞLİ REDÜKTÖR firmasının ürettiği S75 tip redüktör kullanılmaktadır.

Tablo 4.1. Rediktör secim tablosu



i	n_2	M_2 (Nm)	KW 1	HP	S.F.
7.5	186.6	182	4	5.50	1.27
10	140	240	4	5.50	0.98
15	93.3	193	2.2	3.00	1.23
20	70	248	2.2	3.00	0.97
25	56	205	1.5	2.00	1.06
30	46.6	235	1.5	2.00	1.06
40	35	217	1.1	1.50	1.17
50	28	217	1.1	1.50	1.07
60	23.3	200	0.75	1.00	1.11
80	17.5	181	0.55	0.75	1.07
100	14	142	0.55	0.75	1.27

Şekil 4.3. Rediktör



Şekil 4.4. Oldhom kavrama

Şekil 4.4' te rediktör çıkış mili ile yataklanan mil arasında Oldhom kavrama kullanılmıştır. Oldhom kavrama iki kavrama parçası arsına birbirine dik açıda tırnaklı disk parçası yerleştirilerek çalıştırılan kavramadır.

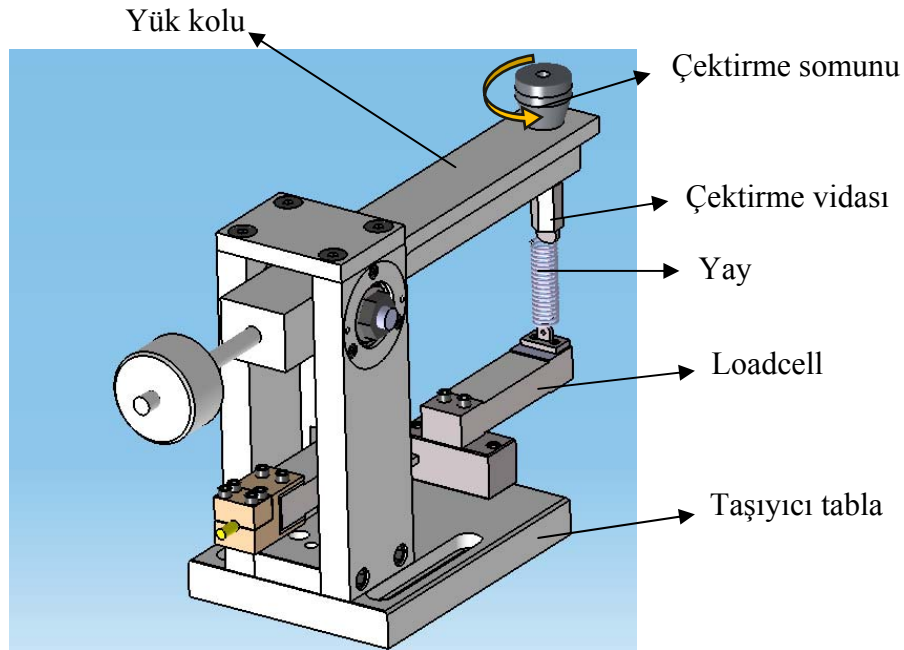
4.1.3. Yük ünitesi tasarımı

Şekil 4.6'da deney cihazına ait yük ünitesinin tasarımı görülmektedir. Şekildeki sistemde yük yay kuvveti ile uygulanmaktadır. Yay çektirme miline bağlanmıştır.

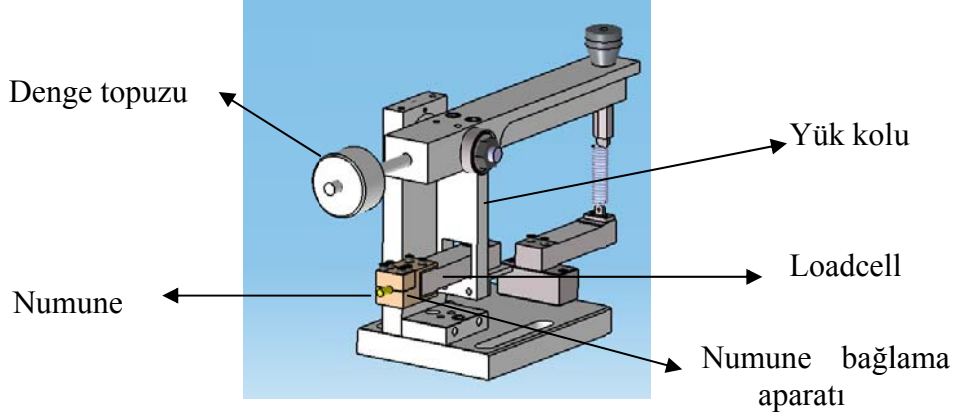
Çektirme somunu sıkıldığında vidalı mil adımı kadar hareket edecek ve yay bu şekilde kurulmuş olacaktır. Bu sayede uygulanan yük Loadcell vasıtası ile ölçülecektir.

Deneye başlanmadan önce yük kolu yere paralel bir şekilde (sıfır yük) ile durması sağlanmalıdır. Bu paralellik su terazisi yardımı ile ayarlanır. Paralelliğin sağlanabilmesi için yük kolunun diğer ucuna bir vidalı denge topuzu kullanılmıştır. Denge topuzu vidalı mil üzerinde çevirildiğinde vidanın adımı kadar yol alacaktır. Yük kolundaki dengeleme olayı moment prensibine göre ayarlanır. Ayrıca yük kollarındaki uzunluk oranından dolayı uygulanan yük, gösterge değerinin 1,8 katına eşittir. Yani gösterge değeri x ise, gerçek uygulanan yük değeri $N = x \cdot 1,8$ dir.

Aşındırılacak numuneyi bağlamak için numune tutucu tasarlanmıştır. Numune tutucu Loadcellin bir ucuna vidalanır. Loadcell in diğer ucu yük koluna bağlanmıştır. Deney başladığında sürtünmeden kaynaklanan kuvvet loadcell üzerine etki eden kuvvet olacaktır. Tüm bu sistem bir taşıyıcı tabla üzerine monte edilmiştir. Bu taşıyıcı tabla tek eksen üzerinde istendiği takdirde ileri ve geri hareket ettirilebilmektedir.



Şekil 4.5. Yük ünitesi

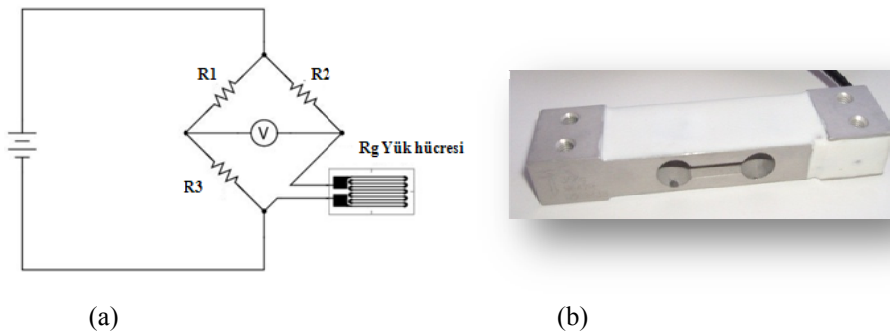


Şekil 4.6. Yük ünitesi detay resmi

4.2. Yük Hücresi

En basit tanımı ile loadcell, üzerine uygulanan fiziksel kuvveti elektrik sinyali olarak çıktılıyan sistemlerdir. Yapı yay elemanı olarak adlandırılan, özel olarak seçilmiş ve şekil verilmiş metal şase ile strain gage ler ile kurulmuş bir wheatstone köprüsünden oluşur.

Yay elemanı üzerine bir fiziksel kuvvet uygulandığında bu bir deformasyona sebep olur, yay elemanında meydana gelen bu deformasyon wheatstone köprüsü üzerinden bir elektrik sinyali olarak çıktı alınır. Elde edilen bu sinyal mikroişlemci tabanlı bir göstergede işlenerek, kuvvet ya da ağırlık bilgisi olarak gösterilir. [41].



Şekil 4.7. a. Wheatstone Köprüsü

b. Deney cihazında kullanılan yük hücresi

Şekil 4.7.'deki resimde görünen Wheatson köprüsünün çalışma prensibi olarak, eğer R_1, R_2, R_3 ve R_g dirençleri birbirine eşitse çıkış terminallerinde herhangi bir voltaj okunmaz. Yani çıkış sıfırdır. Eğer yük hücresinin R_g ' ye bağlı olduğu bacakta uygulanan yükten dolayı strain gauge' nin direnci değişirse çıkış terminalinde voltaj artmaya başlar. Yük hücresi weatson köprüsüne 1 adet bağlanabileceği gibi 2,3, ve 4 bacağı da sabit dirençler yerine yük hücresi bağlanabilir [41].

Strain gaugeler üzerine yapıştırıldığı yüzeyde meydana gelen gerinimi ölçmek için kullanılır. Kuvvet, basınç, tork ve ağırlık ölçümlerinde kullanılmak üzere uygun diyafram ve numunelere monte edilir. Oluşturulan bu numunelere Load cell olarak adlandırılır.

4.3. Sürücü(Hız Kontrol Cihazı)

Aşınma deneylerinde toplam sürtünme mesafesi, hız ve zaman birbirine bağıntılı parametrelerdir. Dolayısı ile bu üç parametre aşınma deneyine önemli derecede etkide bulunmaktadır. Toplam sürtünme mesafesini ve zamanı etkileyen en önemli parametre ise hız parametresidir. Deneyin değişik hızlarda yapılabilmesi dolayısı ile elektrik motorunun çıkış devirlerinin ayarlanabilmesi için invertör kullanılmıştır.

Bu invertörün frekans aralığı 0 ~ 200 Hz arasındadır.



Şekil 4.8. Enda marka sürücü

Tablo 4.2. Sürücü frekans devir tablosu

FREKANS	DEVİR	FREKANS	DEVİR	FREKANS	DEVİR	FREKANS	DEVİR
1	4	15	56	29	108	42	156
2	8	16	60	30	112	43	160
3	11	17	63	31	115	44	164
4	15	18	67	32	119	45	167
5	19	19	71	33	123	46	171
6	22	20	74	34	126	47	175
7	26	21	78	35	130	48	179
8	30	22	82	36	134	49	182
9	33	23	86	37	138	50	186
10	37	24	89	38	141		
11	41	25	93	39	146		
12	45	26	97	40	149		
13	48	27	100	41	153		
14	53	28	104				

4.4. İndikatör

Loadcell ile ölçülen sürtünme kuvvetini çıktı olarak alabilmek için AD – 4406 marka ağırlık göstergesi kullanılmıştır. Bu göstergenin bazı özellikleri aşağıda verilmiştir

- 1/40000 değerinde sonuçlar gösterebilir.
- Montaj kolaylığı
- Ön panel su geçirmez
- Bilgisayara veri aktarımı
- İsteğe bağlı kullanıcı program yapabilme özelliği

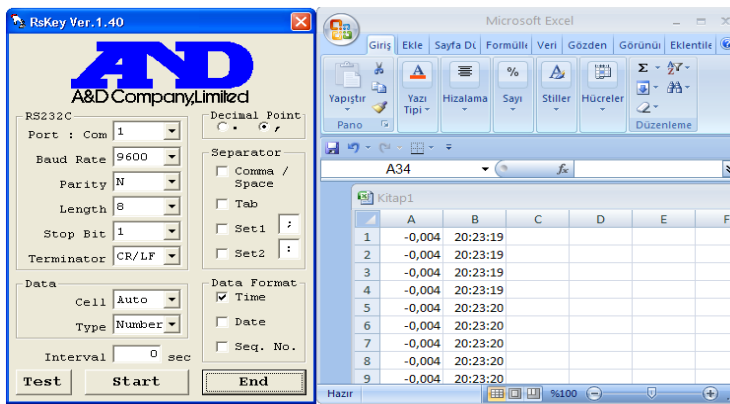


Şekil 4.9. AD-4406 İndikatör

4.4.1. Veri aktarımı

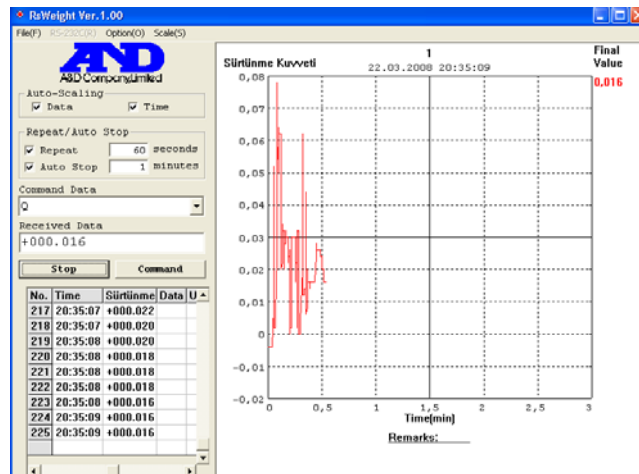
A&D WinCT Programı kullanılarak indikatör ile bilgisayar arasındaki haberleşme sağlanır. Bu program ile indikatördeki veriler bilgisayara aktarılabilmektedir.. A&D WinCT programı içerisinde üç adet değişik veri kaydetme programları vardır.

RsKey programı ile veriler Microsoft Excel dosyasına kaydedilebilir. Excel sayfasındaki veriler grafik olarak hazırlanabilir.



Şekil 4.10. Verilerin Microsoft Excel sayfasına aktarılması

RsWeight programı ile veriler zamana bağlı grafik olarak görüntüleme olanağı sağlamaktadır. Program üzerinde bulunan zaman ayarı yapılırsa verilerin bilgisayara aktarılması istenilen zaman zarfında sonlandırılabilir.



Şekil 4.11. Denei verilerinin A&D WinCT programı kullanılarak grafik olarak yazdırılması

4.5. Test Numuneleri İçin Bazı Özellikleri

Pin on Disc deneylerinde değişik metallere kullanılabilmektedir. Bazı durumlarda numune ölçüleri özel olarak belirlenebilir. Belirlenen ölçülerdeki metallere test süresince oluşacak gerilimlere karşı dayanıklı olmalıdır.

Test numuneleri genel olarak silindirik veya küresel bir yüzeye sahip olabilir. Silindirik veya küresel numunenin çapı 2 ile 10 mm arasında olabilir. Kullanılan diskin çapı 30 ile 100 mm kullanılır. Diskin kalınlığı 2 ile 10 mm arasında kullanılmalıdır. Yüzey pürüzlülük değeri ortalama 0,8 mm olması tavsiye edilir. [42].

4.6. Aşınma Deneyi Prosedürü

1. Pim ve diskin birbiriyle tam olarak teması sağlanmalıdır. Bunun için deney pimleri aşındırıcı kağıtlar yardımıyla tam düz ve pürüzsüz bir yüzey elde edilinceye kadar zımparalanır.
2. Hem test pimleri hem de disk, metil alkol içinde ultrasonik titreşimlerle temizlenir.
3. Kütle kaybını tespit etmek için pimin deneyden önceki ilk ağırlığı tartılarak kaydedilir. Tartımlar, 10^{-4} hassasiyete sahip terazide yapılır.
4. Boyutsal olarak aşınmanın ölçümünde $2,5\mu\text{m}$ hassasiyetinde ölçü aleti kullanılmalıdır.
5. Test pimi, aşınma deney cihazının yük kolu üzerindeki yerine monte edilir.
6. Disk yüzeyi ile pim arasındaki diklik ($\pm 1^\circ$) olarak ayarlanır.
7. Gerekli yük ve hız uygulanır.
8. Sürtünme kuvvetini ölçecek loadcell üzerindeki yük, indikatörde sıfırı gösterecek biçimde ayarlanır. Daha sonra tam yükleme yapılarak deney başlatılır.
9. Gerekli dönme mesafesine erişildiğinde deney durdurulur.
10. Deneylerden sonra pimlerin ağırlığı tekrar tartılarak kaydedilir. Aradaki farktan ağırlık kaybı tespit edilmiş olur.

BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Aşınmayı etkileyen değişik faktörlere daha önceki bölümlerde değinilmişti. Bu deneysel çalışma sürecinde aynı sertliğe sahip farklı malzemelerin, farklı yüklerde ve farklı kayma hızlarının aşınma üzerindeki etkisi araştırılmıştır.

5.1. Deneyselerde Kullanılan Malzemeler

Deneyselerde kullanılan malzemeler saç metal kalıpcılığında kesme ve delme işlemlerinde ve kesici takımların imalatında kullanılan 1,2080 ve 1,2842 malzemeler kullanılmıştır. 1,2080 ve 1,2842 malzemeler özellikle saç metal kalıplarında saç kesme ve delme işlemleri için kullanılan takım çelikleridir.

1.2080 takım çeliği standart, boyutsal stabiliteye ve ledeburitik içyapıya sahip, yüksek karbonlu ve yüksek kromlu(%12) takım çeliğidir.

1.2842 takım çeliği, ihtiva ettiği karbondan dolayı sertleştirme işleminde yüksek sertlik alabilen ve sertleştirme işleminin ardından fazla çarpılmayan, tok bir yapıya sahip olan yağda sertleştirilebilen, yüksek boyutsal stabiliteye sahip soğuk iş takım çeliğidir.

5.1.1. Deney numunelerinin hazırlanışı

Deneyseler aynı şartlar da 1,2080 ve 1,2842 malzemelerden hazırlanan deney pimleri kullanılmışlardır. Deney pimleri 52 HRC sertlik olacak şekilde ısıl işleme tabi tutulmuştur. Deney pimleri 7 mm çapında 30 mm boyunda olacak şekilde hazırlanmıştır.

5.2. Deneysel Parametreleri

Deneysel her iki farklı cins malzeme için üç farklı yük (20 N, 40 N, 60 N) kullanılmıştır. Ayrıca iki farklı kayma hızı (0,2 m/s ve 0,8 m/s) kullanılmıştır. Kayma mesafesi her deney için 500 m dir. Deneyler atmosfer şartlarında gerçekleştirilmiştir.

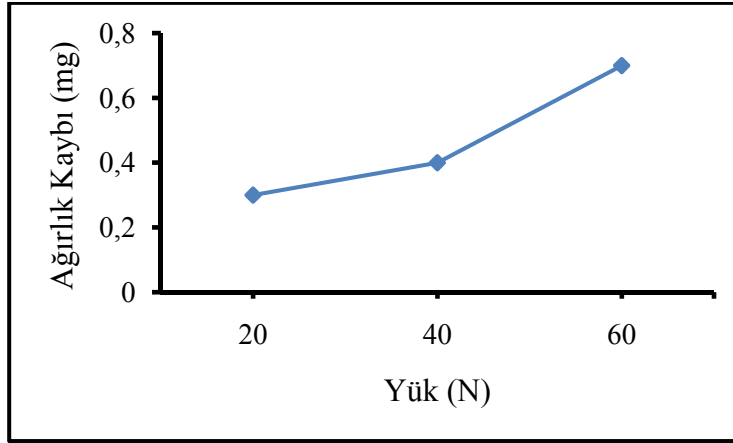
5.3. Aşınma Deneysel Sonuçları

Yapılan deneysel çalışmalar ile iki farklı malzeme arasında, farklı yüklerde ve farklı kayma hızlarında meydana gelen aşınmalar incelenmiştir.

Tablo 5.1 Aşınma deneyselinde kullanılan numunelere ait bazı parametreler

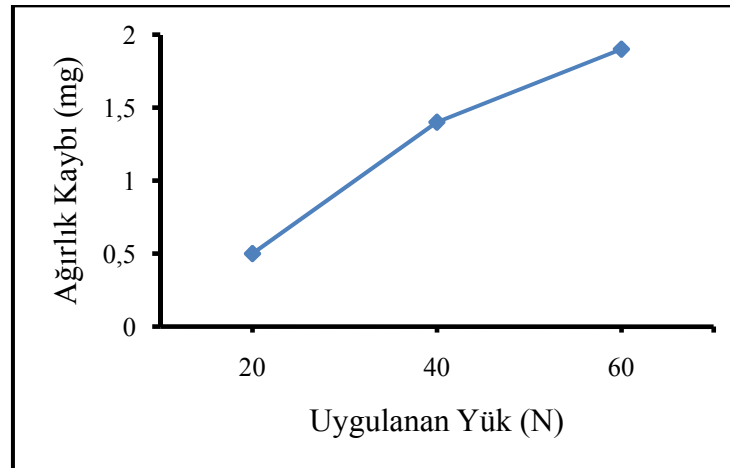
Aşınma deneyselinde kullanılan numunelere ait bazı parametreler					
Numuneler	Kayma Hızı(m/s)	Uygulanan Yük(N)	Numuneler	Kayma Hızı(m/s)	Uygulanan Yük(N)
A1	0,2	20	B1	0,2	20
A2	0,2	40	B2	0,2	40
A3	0,2	60	B3	0,2	60
A4	0,8	20	B4	0,8	20
A5	0,8	40	B5	0,8	40
A6	0,8	60	B6	0,8	60
A Grubu malzemeler:1,2842 B Grubu malzemeler :1,2080 Tüm deneyselde kayma mesafesi 500 m dir.					

Şekil 5.1.' de A grubu numunelerin 0,2 m/s kayma hızında ve 500 m kayma mesafesinde, 20, 40 ve 60 N yükler uygulanarak aşınma deneysel gerçekteştir. Uygulanan her farklı yük için yeni bir numune kullanılmıştır. Yapılan deneysel sonucunda 20 N yük uygulanan A1 numunesinin ağırlık kaybı 0,3 mg olarak ölçülmüştür. A2 numunesi 40 N yük altında ağırlık kaybı 0,4 mg orak ölçülmüştür. A3 numunesi 60 N yük altında ağırlık kaybı 0,7 mg olarak ölçülmüştür.

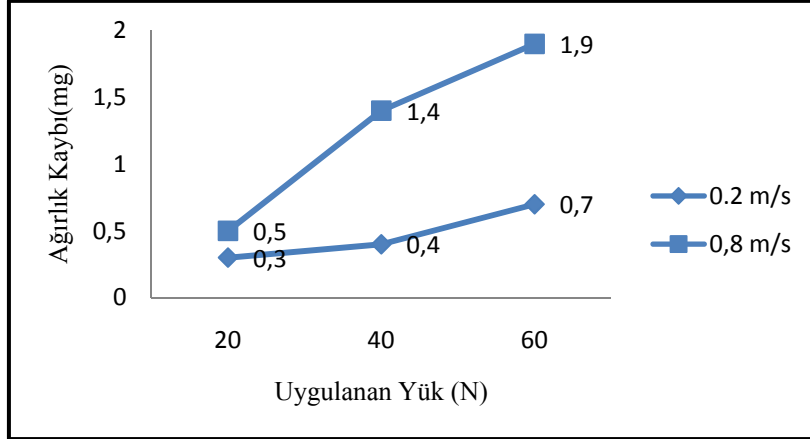


Şekil 5.1. A grubu(A1, A2, A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerlerinin yüke göre değişimi

A grubu(A4, A5, A6) numunelerinin 0,8 m/s kayma hızında yapılan deneyler ile A4 numunesinin 20 N yük uygulanarak yapılan deney sonucu meydana gelen ağırlık kaybı 0,5 mg ,A5 numunesi 40 N uygulanarak elde edilen ağırlık kaybı 1,4 mg, A6 numunesinin 60 N yük uygulanarak elde edilen ağırlık kaybı 1,9 mg olarak bulunmuştur.



Şekil 5.2. A grubu (A4, A5, A6) numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi

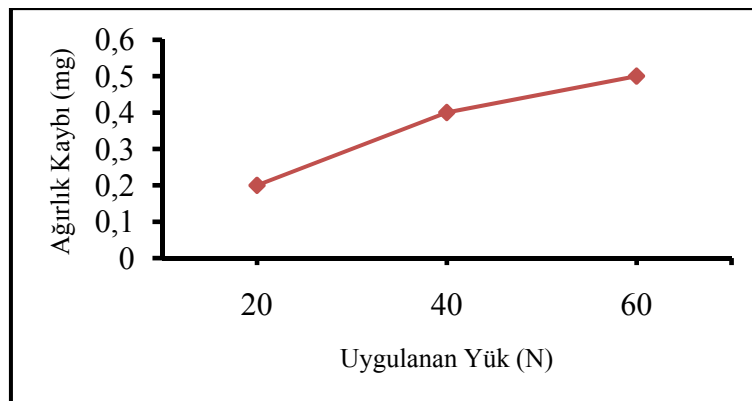


Şekil 5.3. A grubu malzemelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarında meydana gelen aşınma oranlarının karşılaştırılması.

Bu elde edilen verilen sonucunda kayma hızının artması ile birlikte meydana gelen aşınmalarda bir artış olduğu görülmektedir. Ayrıca artan yük ile birlikte aşınmada artışlar meydana gelmektedir.

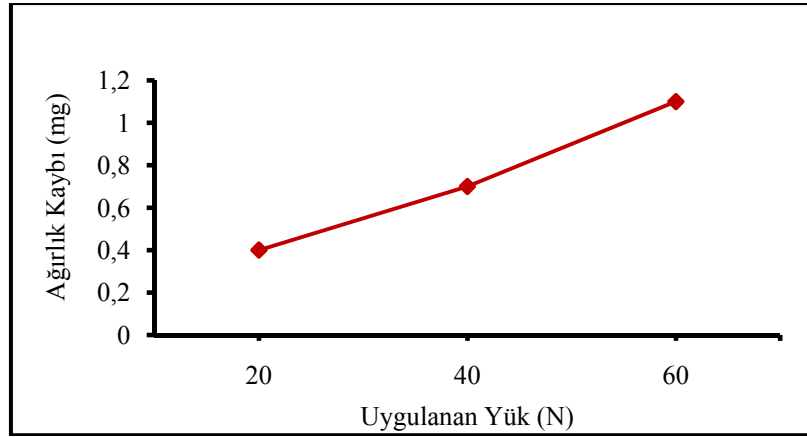
B grubu numuneleri ile yine 500 m kayma yolunda 0,2m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarında 20 N, 40 N, 60 N, yükler altında aşınma deneyleri gerçekleştirilmiştir.

B1 numunesinin 20 N yük altında 0,2 m/s kayma hızı ile meydana gelen ağırlık kaybı 0,2 mg, B2 numunesinin 40 N yük altında 0,2 m/s kayma hızı ile meydana gelen ağırlık kaybı 0,4 mg, B3 numunesinin 60 N yük altında 0,2 m/s kayma hızı ile meydana gelen ağırlık kaybı 0,5 mg olarak ölçülmüştür.



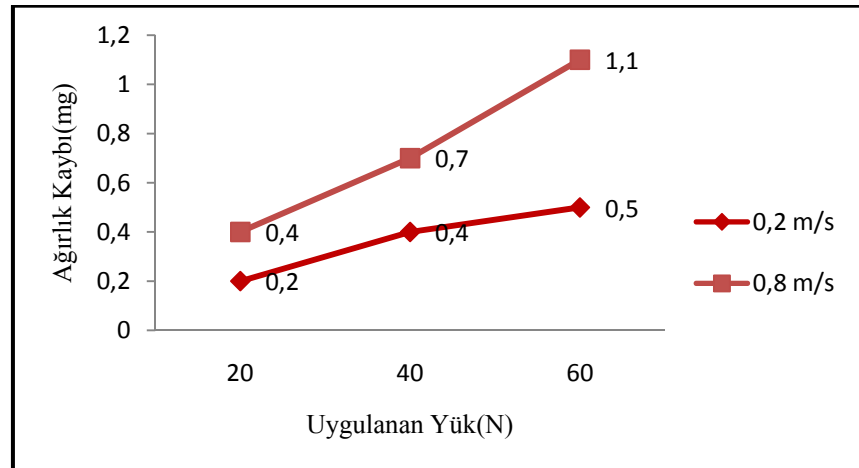
Şekil 5.4. B grubu (B1 ,B2, B3) numunelerinin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi

B4 Numunesi 20 N yük altında 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deney sonucunda elde edilen ağırlık kaybı 0,4 mg, B5 numunesi 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deneyde elde edilen ağırlık kaybı 0,7 mg, B6 numunesinin 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deneyde elde edilen ağırlık kaybı 1,2 mg olarak ölçülmüştür.



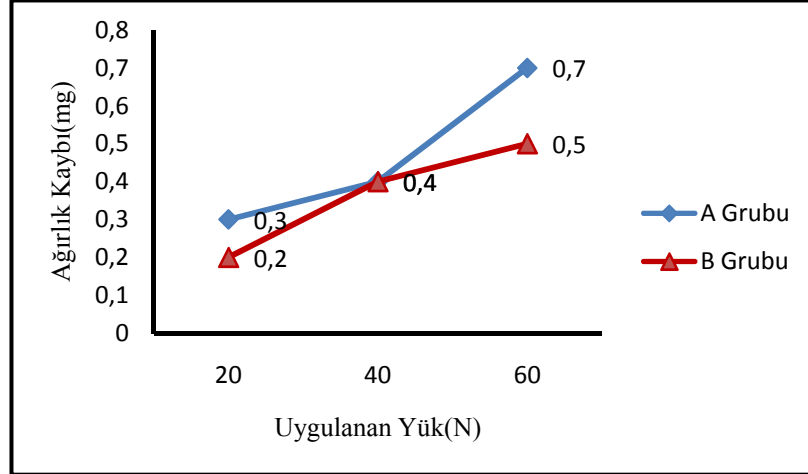
Şekil 5.5. B grubu (B4, B5, B6) numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi

B grubu malzemelerde de kayma hızının artması ile birlikte aşınma miktarlarında artış meydana geldiği ortaya çıkmıştır.



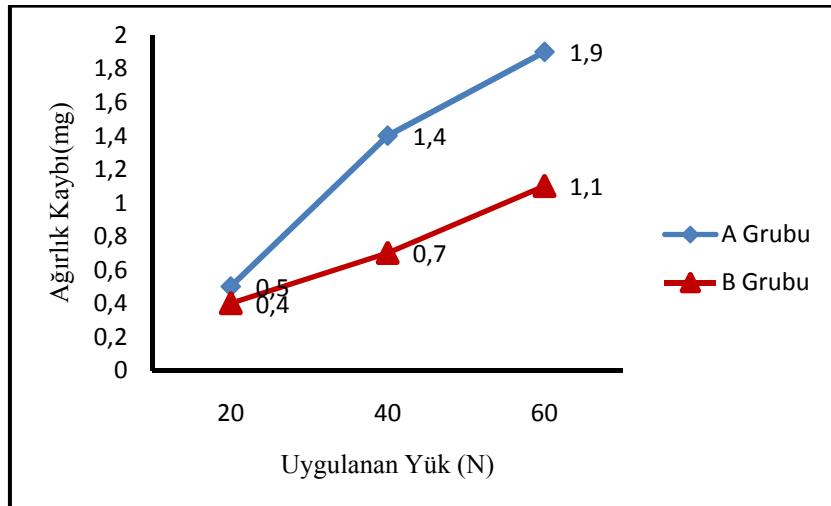
Şekil 5.6. B grubu malzemelerin 0,2m/s ve 0,2 m/s kayma hızında meydana gelen aşınma oranlarının karşılaştırılması

A ve B grubu numuneler ile 0,2 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda B grubu malzemesinin A grubu malzemesine göre aşınma dayanımının daha yüksek olduğu görülmektedir.



Şekil 5.7. A ve B grubu numunelerinin 0,2 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi

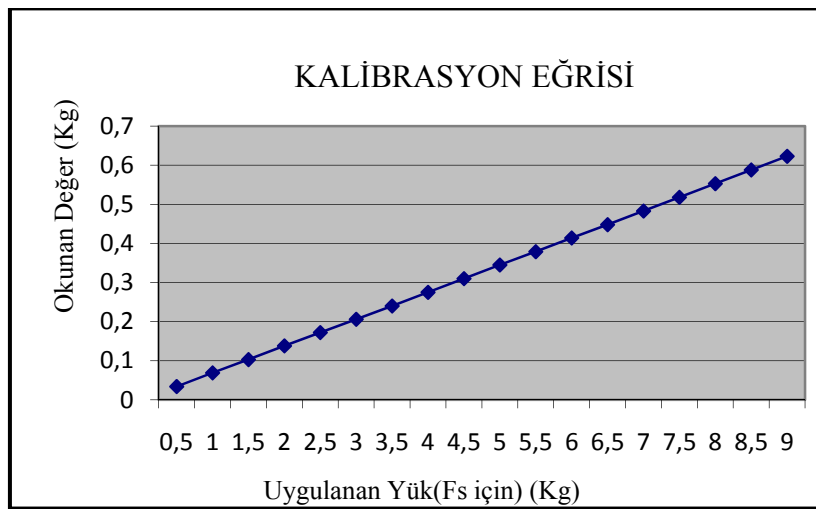
A ve B grubu malzemelerin 0,8 m/s kayma hızında yapılan deneyler karşılaştırıldığında B grubu malzemesinin A grubu malzemesine göre aşınma dayanımının daha yüksek olduğu gözlenmiştir.



Şekil 5.8. A ve B numunelerinin 0,8 m/s kayma hızı ile değişik yüklerde kuru kayma şartlarındaki ağırlık kaybı değerinin yüke göre değişimi

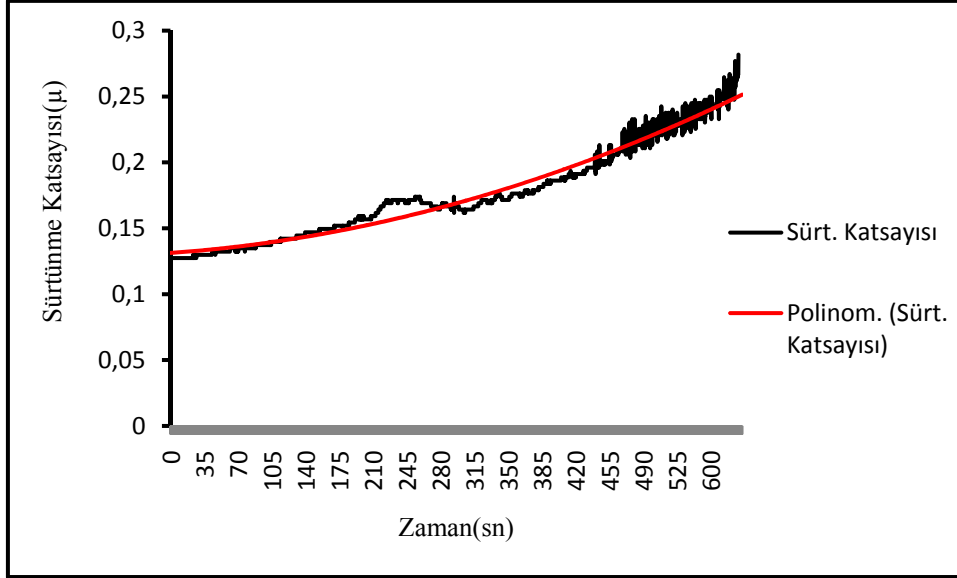
5.4. Sürtünme Katsayısı

Sürtünme kuvvetini bulmak için kullanılan düzenekteki loadcell bağlantısında loadcell'e gelen yük sürtünme kuvvetine karşılık gelmemektedir. Sürtünme kuvvetinin ölçmek için kullanılan loadcell tertibatı farklı yükler altında kalibrasyonu yapılmıştır. Kalibrasyon sonucu loadcell de okunan ağırlık değerinin 14,7 ile çarpılması gerektiği ortaya çıkmıştır. Sürtünme kuvveti için indikatörde okunan tüm veriler 14,7 katsayısı ile çarpılarak sürtünme kuvveti bulunmuştur.



Şekil 5.9. Kalibrasyon eğrisi

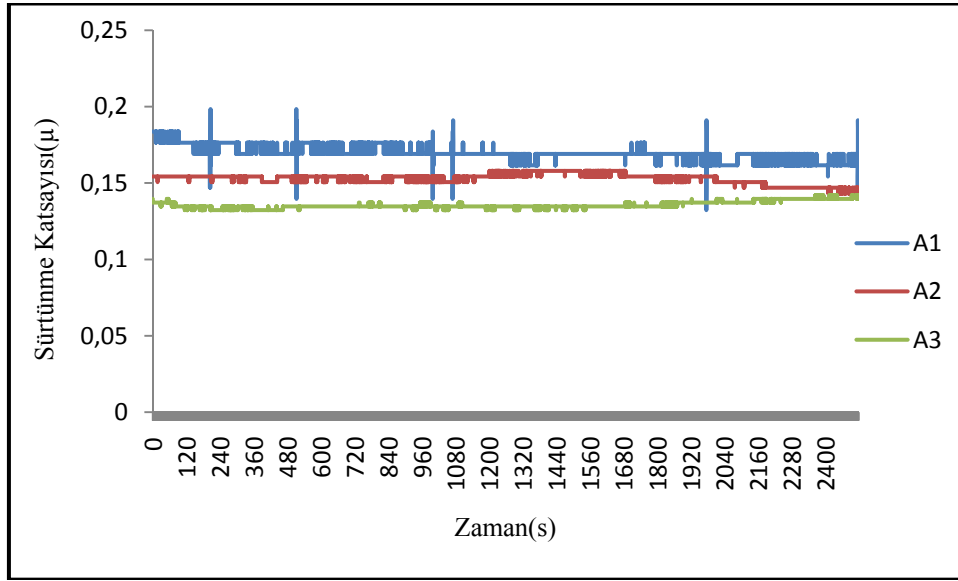
Sürtünme katsayısının bulunabilmesi için sürtünme kuvvetinin bulunması gerekmektedir. Sürtünme kuvveti verileri RsWeight programı ile grafik olarak yazdırılabilmekle beraber aynı program kullanılarak veriler kayıt altına alınabilmektedir. Kayıt altına alınana veriler kullanılarak gerekli düzenlemeler yapıldıktan sonra, sürtünme katsayısı Excel programında Şekil 5.7.'de görüldüğü gibi grafik olarak yazdırılabilmektedir.



Şekil 5.10. B6 numunesinin 60 N yük uygulanarak 0,8 m/s kayma hızı ile 500 m kayma mesafesinde elde edilen sürtünme katsayısı grafiği

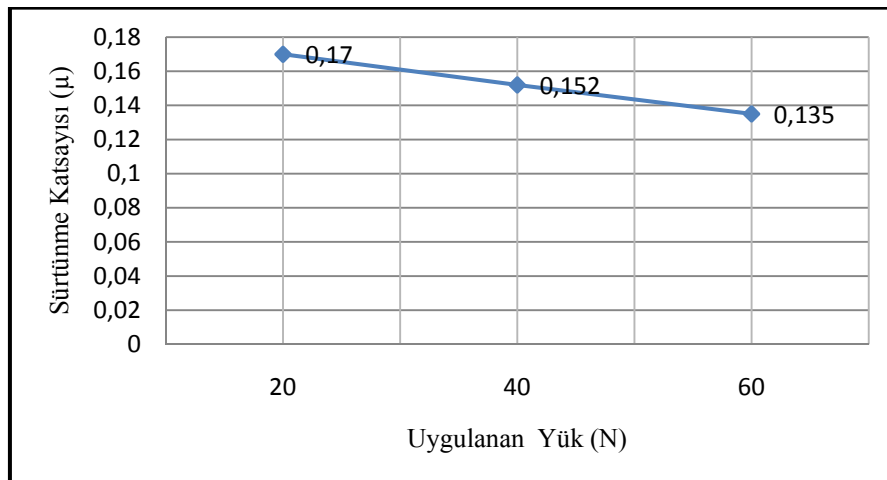
Tablo 5.2 yapılan deneyler sonucu elde edilen ortalama sürtünme katsayıları

Deney numunelerine ait Ort. Sürt.Katsayıları			
Numuneler	Kayma Hızı(m/s)	Uyg. Yük(N)	Ort.Sürt.Katsayısı(μ)
A1	0,2	20	0,17
A2	0,2	40	0,15
A3	0,2	60	0,13
A4	0,8	20	0,21
A5	0,8	40	0,27
A6	0,8	60	0,43
B1	0,2	20	0,28
B2	0,2	40	0,23
B3	0,2	60	0,15
B4	0,8	20	0,20
B5	0,8	40	0,24
B6	0,8	60	0,17
A Grubu malzemeler: 1,2842			
B Grubu malzemeler: 1,2080			
Tüm deneylerde kayma mesafesi 500 m dir.			

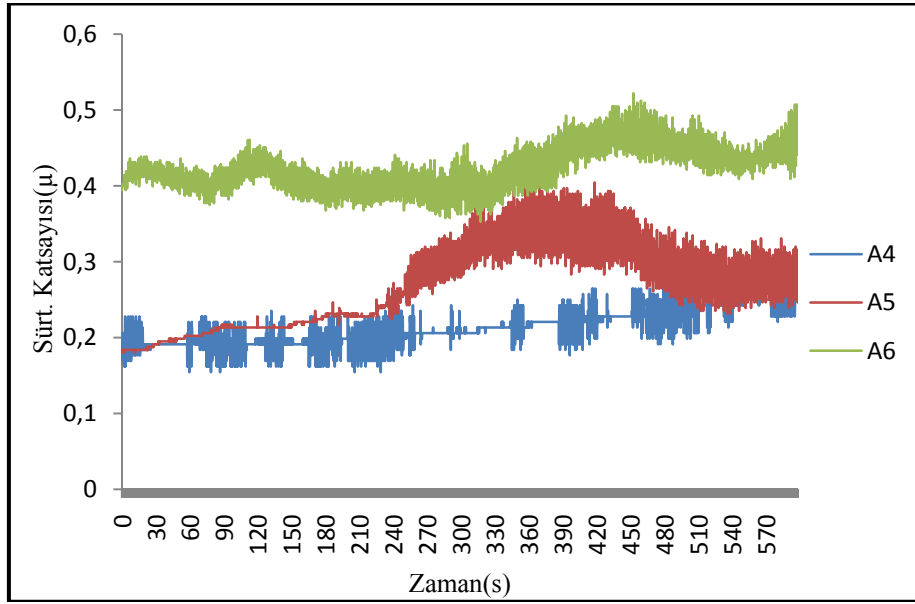


Şekil 5.11. A grubu (A1, A2, A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızında, farklı yüklerde sürtünme katsayısı-zaman diyagramı

Şekil 5.12.'deki grafikte A grubu (A1, A2, A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızında yapılan deneylerde uygulanan yükün artması sürtünme katsayısında küçük oranlarda bir düşüş olduğu görülmektedir.

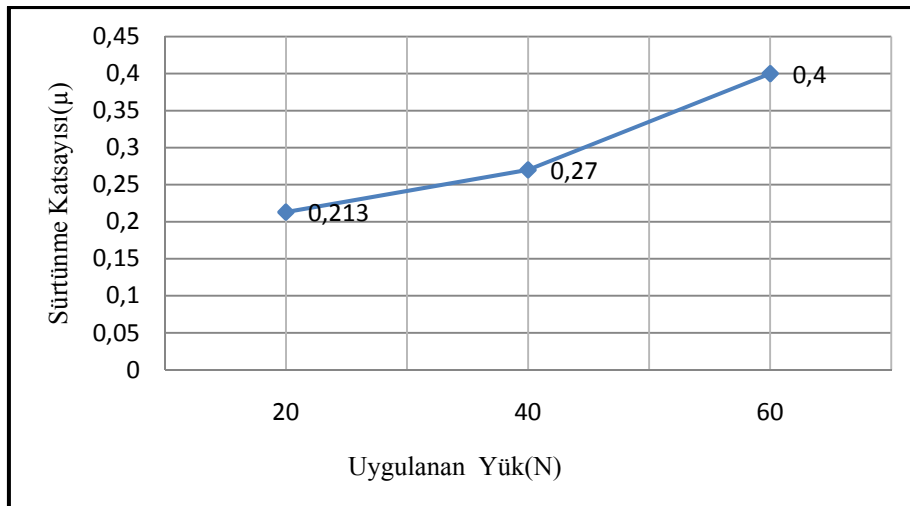


Şekil 5.12. A grubu (A1, A2, A3) numunelerin 0,2 m/s kayma hızında, farklı yüklerde ortalama sürtünme katsayısı diyagramı

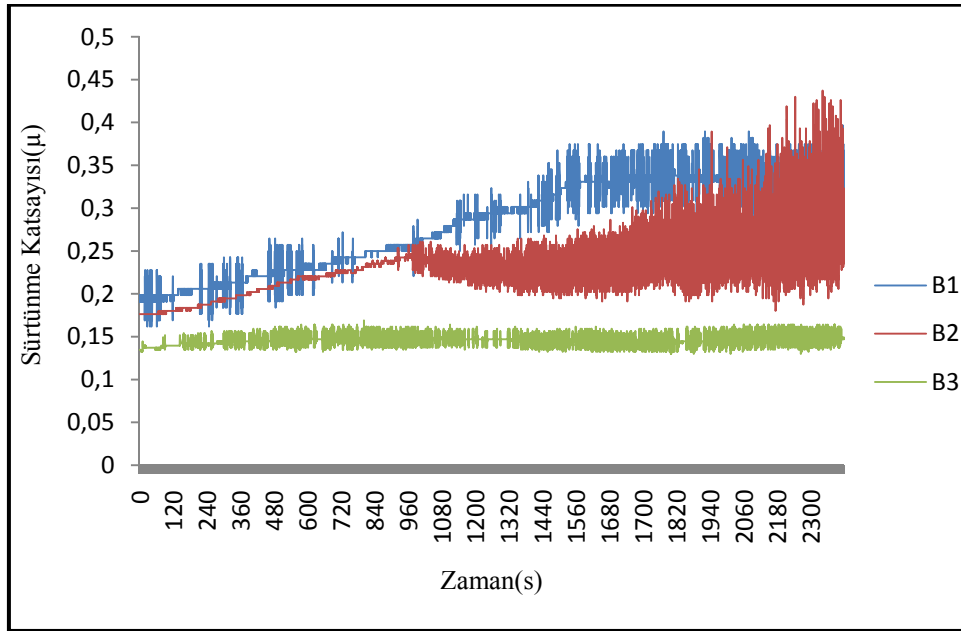


Şekil 5.13. A grubu (A4, A5, A6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yükler de sürtünme katsayısı-zaman diyagramı

Şekil 5.14.'teki grafikte A grubu(A4, A5, A6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında yapılan deneyler sonucunda uygulanan yükün artması ile birlikte sürtünme katsayısının arttığı görülmektedir.

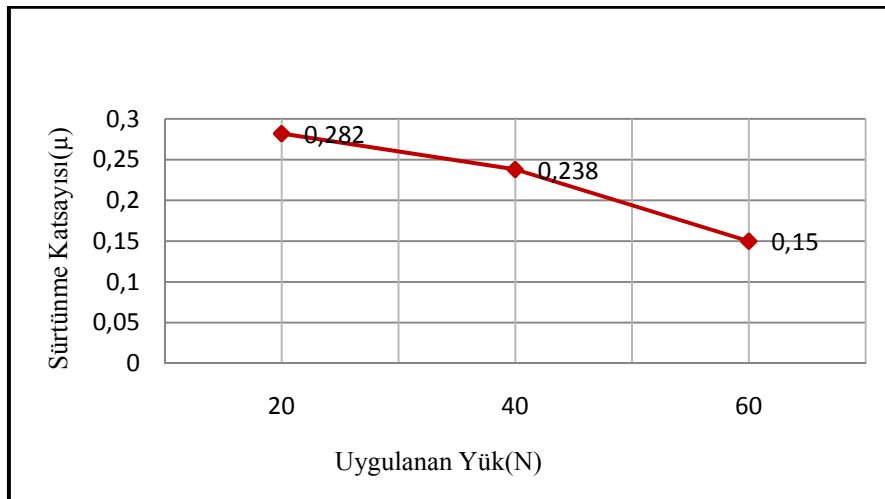


Şekil 5.14. A grubu (A4, A5, A6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yükler de ortalama sürtünme katsayısı diyagramı

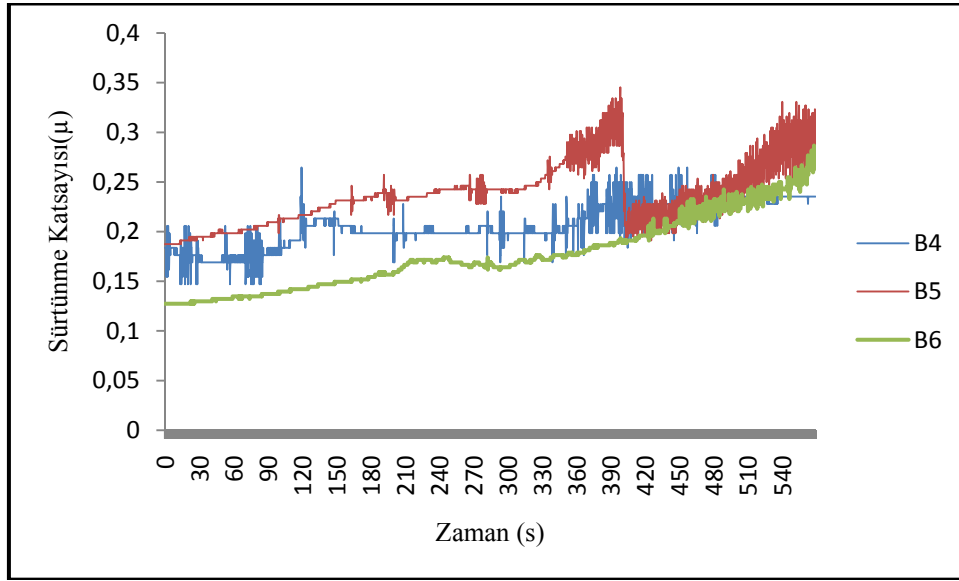


Şekil 5.15. B grubu(B1, B2, B3) 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, sürtünme katsayısı-zaman diyagramı

Şekil 5.16.' da ki grafikte B (B1, B2, B3) grubu numunelerin 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde yapılan deneyler de yükün artması ile birlikte sürtünme katsayısında azalma meydana geldiği görülmektedir.

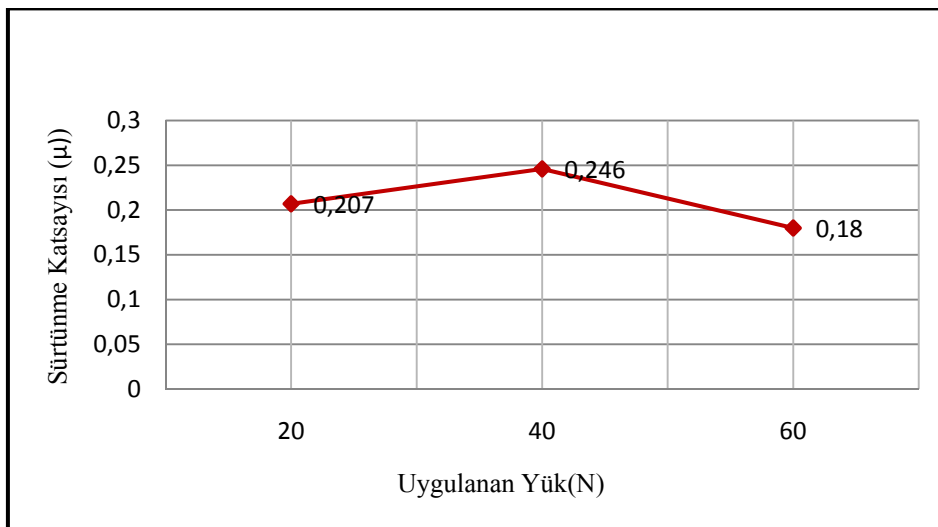


Şekil 5.16. B grubu(B1, B2, B3) 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, ortalama sürtünme katsayısı diyagramı

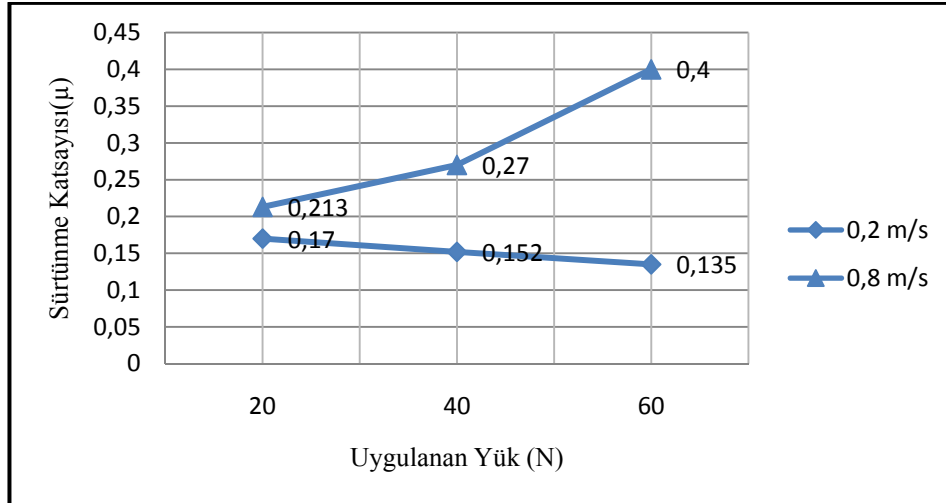


Şekil 5.17. B grubu (B4, B5, B6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yüklerde, sürtünme katsayısı-zaman diyagramı

Şekil 5.18.' de ki grafikte B grubu (B4, B5, B6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yüklerde yapılan deneylerde sürtünme katsayısında fazla bir değişiklik olmadığı görülmektedir.

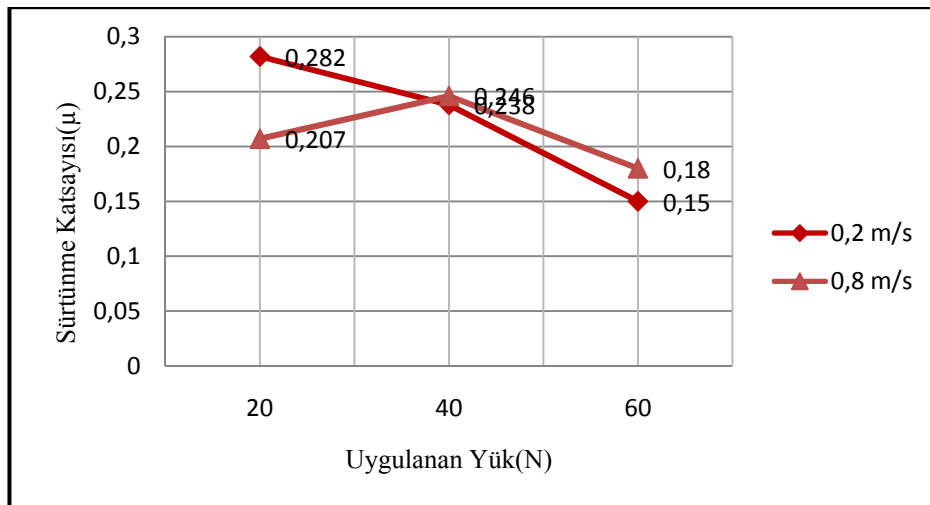


Şekil 5.18. B grubu (B4, B5, B6) numunelerin 0,8 m/s kayma hızında farklı yüklerde, ortalama sürtünme katsayısı diyagramı



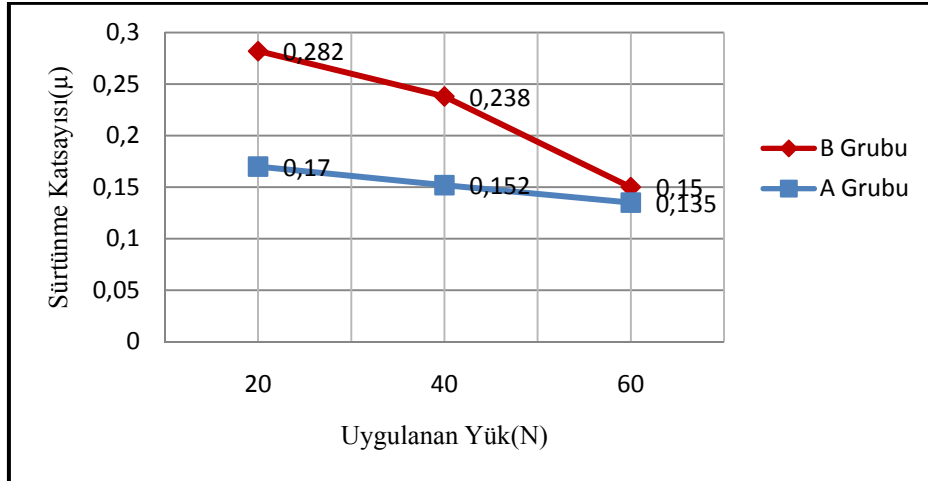
Şekil 5.19. A grubu numunelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deneyler de elde edilen sürtünme katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 5.19.'da ki grafikte kayma hızının artırılması ile birlikte sürtünme katsayısında bir artış olduğu görülmektedir.



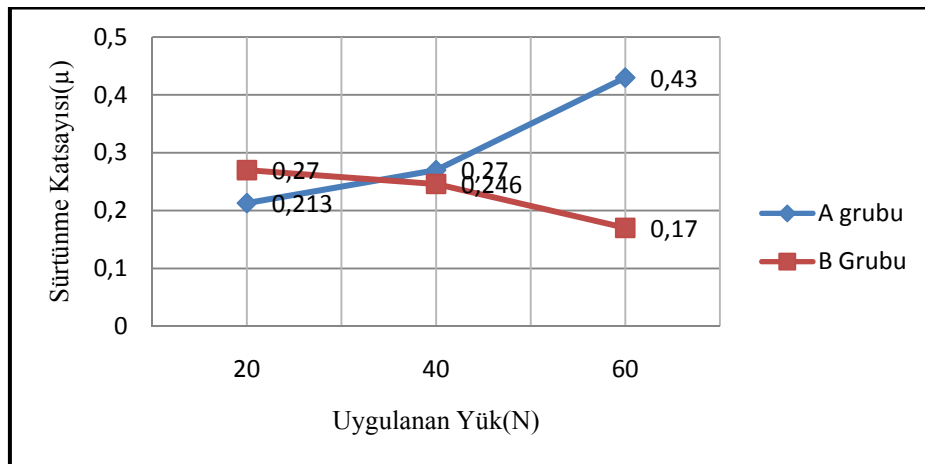
Şekil 5.20. B grubu numunelerin 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızı ile yapılan deneyler de elde edilen sürtünme katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 5.20.'de görülen grafikte B grubu numunelerin 0,2m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarındaki sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. Genel olarak kayma hızının artması ile birlikte sürtünme katsayısında artış olduğu gözlemlenmiştir.



Şekil 5.21. A ve B grubu numunelerin 0,2 m/s kayma hızında farklı yüklerde, sürtünme katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 2.21.' deki grafikte A ve B grubu numunelerinin 0,2 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. 0,2 m/s kayma hızında B grubu numunelerin sürtünme katsayısı A grubu numunelere göre daha yüksektir.



Şekil 5.22. A ve B grubu numunelerin 0,8 m/s kayma hızı ile farklı yüklerde ortalama sürtünme katsayılarının karşılaştırılması

Şekil 5.22.' de ki grafikte A ve B grubu numunelerin 0,8 m/s kayma hızındaki sürtünme katsayıları karşılaştırılmıştır. 0,8 m/s kayma hızında A grubu numunelerin sürtünme katsayılarında artan yüklerle beraber sürtünme katsayılarının arttığı görülmektedir.

BÖLÜM 6. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Birbiri ile temas eden yüzeyler arasındaki etkileşimi inceleyen bilim dalına “Triboloji” denilmektedir. Tribolojik araştırmaların amacı yüzey sürtünmelerinin ve aşınmadan kaynaklanan kayıpları azaltmak ve gidermektir.

Aşınma tiplerinin çok çeşitli olması ve birçok durumda aşınma probleminin ortaya çıkması, çok sayıda tribotestin gelişmesine neden olmuştur. Genellikle tribotestlerde yüksek derecede geçerlilik hedeflenmektedir. Test koşulları, maliyet, test süresi, test koşullarını kontrolünün hassasiyeti tribotestleri etkileyen önemli parametrelerdir.

Şekil 2.15. incelendiğinde alan testlerinden model testlerine doğru gidildikçe testlerin geçerliliği azalırken, maliyet te orantılı olarak azalmakta ve sistemin kontrolü de artmaktadır. Yapılan araştırmalar sonucu 200’ün üzerinde farklı aşınma deney cihazının kullanıldığı görülmektedir.

Çeliklerin aşınma ve sürtünme davranışlarının karakterize edilebilmesi, yeni üretilen malzemelerin aşınma dayanımlarını ve sürtünme kuvvetlerini ölçebilmek için bir aşınma deney cihazı tasarlanarak imal edilmiştir.

İmal edilen aşınma deney cihazı pin-on-disk deneyi yapılmakla beraber farklı aşınma deneyleri için de kullanılabilir. Diğer aşınma deneylerinden farklı olarak aşındırıcı diskin yere 90° açılı pozisyonunda çalışması aşınma süresince oluşan abrasif partiküllerin kendiliğinden sistemi terk etmesine olanak sağlamaktadır.

Deney cihazı ile aşınma deneylerinin yanı sıra sürtünme deneyleri de yapılabilmektedir. Elde edilen sürtünme kuvveti RsWeight programı ile grafik olarak yazdırılabilmektedir. RsWeight programının yanı sıra katsayı sistemini de göz önünde bulundurarak farklı program veya programlar da kullanılabilir.

Aşınma deney cihazı ile pin-on-disk aşınma deneyi ile birlikte, gerekli tertibat üretildiğinde üç elemanlı abrasif aşınma, çapraz silindir, silindir üzeri pim deneyleri yapılabilmektedir.

İmal edilen aşınma deney cihazında pin-on-disk yöntemi kullanılarak farklı malzemeler üzerinde, farklı yük ve farklı kayma hızlarında aşınma deneyleri yapılmıştır.

Yapılan deneylerde 500 m kayma mesafesinde, 0,2 m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarında, 20N, 40N, 60N yükler altında 1,2080 ve 1,2842 takım çeliklerinden üretilen deney numuneleri kullanılmıştır. 0,2 m/s kayma hızlarında yapılan deneylerde A1 numunesindeki ağırlık kaybı (0,3 mg), A2 numunesindeki ağırlık kaybı (0,4 mg), A3 numunesindeki ağırlık kaybı (0,7 mg) olarak ölçülmüştür. Yine 0,2 m/s kayma hızında yapılan deneylerde B1 numunesindeki ağırlık kaybı (0,2 mg), B2 numunesindeki ağırlık kaybı (0,4 mg), B3 numunesindeki ağırlık kaybı (0,5 mg) olarak ölçülmüştür. 0,8 m/s kayma hızında yapılan aşınma deneylerinde A4 numunesindeki ağırlık kaybı (0,5 mg), A5 numunesindeki ağırlık kaybı (1,4 mg), A6 numunesindeki ağırlık kaybı (1,9 mg) ölçülmüştür. B4 numunesindeki ağırlık kaybı (0,4 mg), B5 numunesindeki ağırlık kaybı (0,7 mg), B6 numunesindeki ağırlık kaybı (1,2 mg) olarak ölçülmüştür.

Bu sonuçlara göre;

1. Aşınma deneylerinde her iki farklı malzemeden hazırlanan deney numunelerinin artan yük ile aşınma oranının arttığı görülmektedir.
2. Şekil 5.3.'teki ve şekil 5.6.'da ki grafikler incelendiğinde kayma hızının artması ile birlikte numunelerin aşınma miktarlarında artışlar meydana geldiği görülmektedir.
3. Şekil 5.7.'deki ve şekil 5.8.'deki grafikler incelendiğinde 1,2080 ve 1,2842 takım çeliklerinden hazırlanan numuneler, 1,2080 takım çeliğinin 1,2842 takım çeliğine göre aşınma dayanımının daha iyi olduğu görülmektedir.
4. 1,2080 ve 1,2842 takım çeliklerinin kimyasal bileşiminde içerdikleri (ortalama %) C oranları sırası ile (2,00) ve(0,90) oranındadır. 1,2080 takım çeliğinin (C) oranı kadar yüksek (Cr) içermesi aşınma dayanımını önemli ölçüde arttırdığı görülmektedir.

5. Bu takım çeliklerini seçiminde aşınma dirençleri ile birlikte malzemelerin tokluk oranları da dikkate alınmalıdır.
6. A grubu numunelerin sürtünme katsayıları incelendiğinde, kayma hızının artması sürtünme katsayısını küçük oranlarda arttırdığı görölmektedir. Bu sonuca göre kayma hızının artması ile birlikte sürtünme kuvveti de arttığı sonucuna varılabilir. A grubu numuneler için kayma hızı hem sürtünme kuvvetini hemde aşınmayı artırıcı önemli bir parametre olduğu görölmektedir.
7. B grubu numunelerde de genel olarak aynı durum söz konusudur. Fakat 0,2m/s ve 0,8 m/s kayma hızlarındaki sürtünme kuvvetlerindeki değişim A grubu numunelere göre daha azdır. Bu sonuçlardan sürtünme kuvvetinin aşınma direnci ile ters orantılı olduğu görölmektedir.
8. Genel olarak 1,2080 takım çeliğinin aşınma dayanımı 1,2842 takım çeliğine göre daha yüksek olmasından dolayı, aşınmanın yüksek olduğu yerlerde 1,2080 takım çeliği kullanılmalıdır.
9. Yapılan deneyler, imal edilen aşınma deney cihazının güvenilir şekilde çalıştığını ortaya koymaktadır.

Bu sonuçlar dikkate alınarak;

- a. 1.2080 ve 1.2842 numunelerinin sertliğini arttırılarak aşınma deneyleri yapılabilir.
- b. Yapılan deneylerde kayma mesafesi 500 m olarak belirlenmişti. Kayma mesafesi arttırılarak kayma mesafesinin aşınma miktarına olan etkisi araştırılabilir.
- c. Uygulanan yük ve kayma hızı değiştirilerek bu parametrelerin aşınma üzerindeki etkisi incelenebilir.
- d. Yapılan deneysel çalışmalar kuru kayma şartlarında gerçekleştirilmiştir. Gerekli deney ortamı hazırlanarak sıvı ve sınır sürtünme hallerinde aşınma ve sürtünme deneyleri yapılabilir.

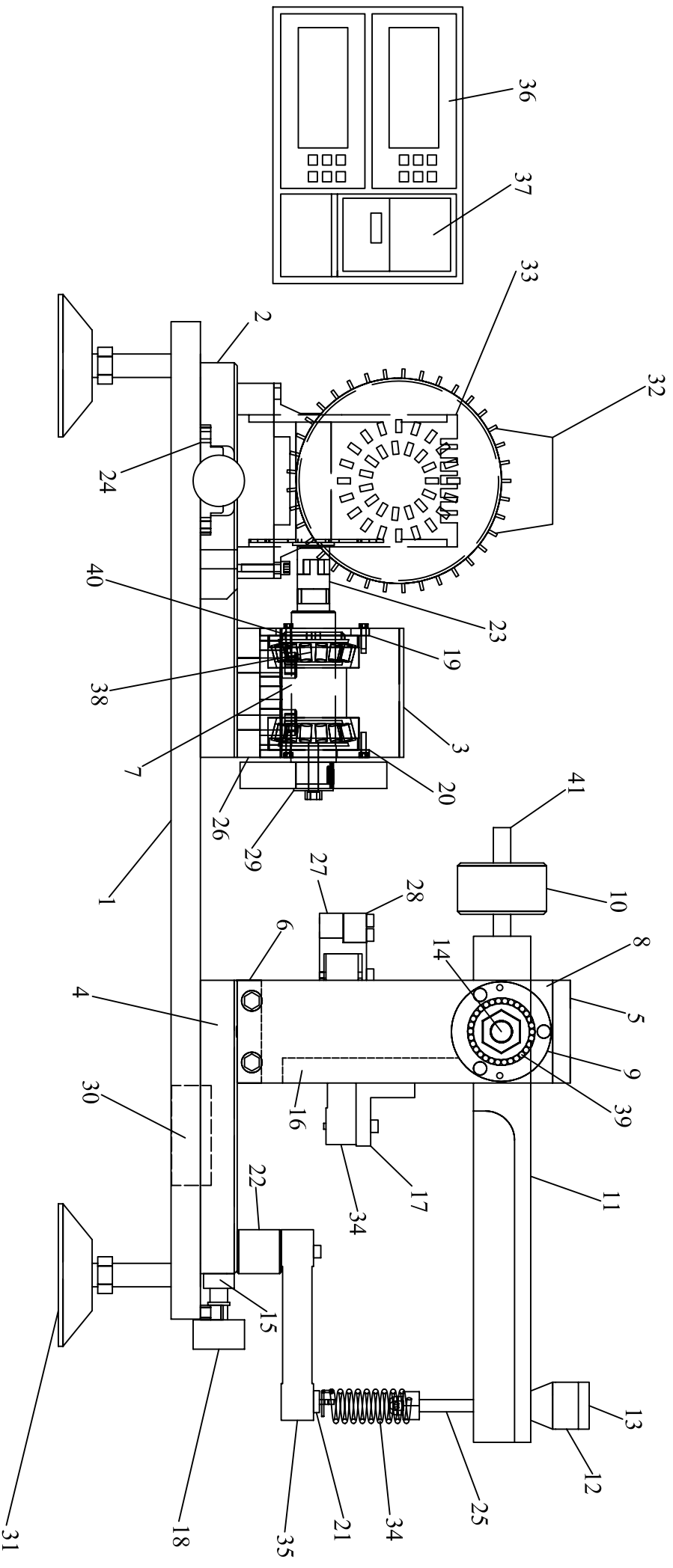
KAYNAKLAR

- [1] LUDEMA, C, K., Friction,Wear, Lubrication A Textbook in Tribology, 107-108;1996
- [2] BLAU, J, P., JOLLY, C, B., Wear of Truck Brake Lining Materials Using Three Different Test Methods, Wear, 259;1022-1030, Ocak 2005
- [3] ATİK, E., MERİÇ, C., PolyesterAl₂O₃Kompozitlerinin Aşınma Dayanımları 4;2:73-78,Mayıs 2002
- [4] DWİVEDİ, K, D., Sliding Temperature and Wear Behaviour of cast AL-Si-Mg Alloys, ScienceDirect,382; 328-334,Ocak 2004
- [5] ŞAHİN, Y., Optimal Testing Parameters on the Wear Behaviour of Various Steels, ScienceDirect,27; 445-446, Mayıs 2004
- [6] STANFORD, K, M., JAIN, K, V., Friction and Wear Characteristics of Hard Coatings,Wear,251; 990-996;2001
- [7] JOHNSON, J, B., KENNEDY, E, F., BAKER, I., Dry Sliding Wear of NiAl.,Wear,192; 241-247, Temmuz 1995
- [8] SAVAŞKAN, T., PÜRÇEK, G., Çinko-Alüminyum Esaslı Alaşımların ve Bu Alaşımlardan Üretilen Kaymalı Yatakların Aşınma Özellikleri,24-34,1998
- [9] SOYDAN, Y., ULAKAN, L., Triboloji,Teknoloji Araştırma ve Geliştirme Merkezi Teknolojik Yayınlar Serisi No;1, 35-40; 2003
- [10] ÖZSARAÇ, U., Endüstriyel Yatak Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının Karakterizasyonu, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 16-17;Ocak 1999
- [11] DEMİRAL, M., C95200 ve C95300 Alüminyum Bronzların Aşınma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Zonguldak Karaelmas Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,3-10; Haziran 2005
- [12] UZUNER, H., Polimerlerin Sürtünme ve Aşınma Davranışları, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,1; 2001
- [13] BHUSHAN, B., Modern Tribology Handbook, Measuring Friction, 1;220,221: 2001

- [14] Çelik Yüzeylerinin Kaplanması, Erdemir,9-11;K.Ereğli,Şubat 2006
- [15] JARREL, D,J., BEJBL, F., Understanding Wear and Friction in Medical-Grade Stainless Steels, *Medical Device & Diagnostic Industry Magazine* MDDI Article Index, Ağustos 1999
- [16] SOYDAŞ, S., Ünlü Aşınma Test Cihazı Tasarımı ve İmalatı, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,21-22;2006,
- [17] BHUSHAN, B., Introductionto Tribology, *Wear* ,332-333;2002
- [18] İLHAN, E., Tanburlu Kurutma Makinalarının Tasarımına Etki Eden Faktörlerin Araştırılması, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 45-46, Aralık 1996
- [19] ÜNLÜ, B, S., KÖKSAL, N, S., ATİK, E., Bakır Esaslı Bronz ve Pirinç Yatakların Tribolojik Özelliklerinin Karşılaştırılması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen ve Mühendislik Dergisi Cilt:5 Sayı:2, 103-108, Mayıs 2003
- [20] ÇELİK YÜREK, İ., Demir Aluminantların Borlanması ve Aşınma Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,107-108; Aralık 2006
- [21] AKBULUT,H., Malzemelerin Sürtünme ve Aşınma Ders Notları, Sakarya Üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Ders Notları,Ekim 2006
- [22] SARIKAYA, Ö., Aşınmaya Karşı Yüzey Mühendisliği Yöntemleri,1-60;2007
- [23] KAŞTAN, A., Grafit Katkılı Nylon6(Poliamid6)nın Aşınma Davranışlarının İncelenmesi,Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21-22; 2005
- [24] YILDIZLI, K., ODABAŞ, D., NAİR, F., Borlanmış AISI 1020 Çeliğinin Eroziv Aşınma Davranışlarının İncelenmesi, BAÜ Fen Bilimleri Dergisi,131-139;2003
- [25] İPEK, R., KARAMIŞ, M, B., Aşınma Test Yöntemleri ve Gelişmeler, Mühendis ve Makina Dergisi, Cilt:40 Sayı: 469;24,29; Şubat 1999
- [26] EŞ, M., Dişli Çark Malzemelerinin Aşınma Karakteristiklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi,Dokuz Eylül Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 15-16; Haziran 2004
- [27] ÖZSARAÇ, U., DURMAN, M., Aşınma Deney Yöntemleri,1-6; 2000

- [28] HUTCHING, I, M., Tribology: Friction and Wear of Engineering. Materials, Materials Science and Metallurgy University of Cambridge, 76-82; 1992
- [29] KLAASEN, H., KÜBARSEPP, J., Abrasive Wear Performance of Carbide Composites, ScienceDirect, Wear ,520-526, Ocak 2006
- [30] TAŞGIN, Y., KAPLAN, M., Dupleks Tekniğiyle Üretilen Fecre Katkılı Malzemenin Abrasiv Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 217-224; 2007
- [31] SARI, Y, N., YILMAZ, M., Ni-Esaslı Kaplamaların Abrasif - Eroziv Aşınma Direncinde Isıl Püskürtme Yönteminin ve WC İlavesinin Etkisi, Mühendis ve Makina, Cilt:46, Sayı:541, Sayfa :16
- [32] ODABAŞ, D., KARAMIŞ, M, B., Kuru Sürtünme Şartlarında Pim-Ring Kayma Sistemi İçin Plastik Deformasyon Isının Teorik ve Deneysel Analizi, Tübitak, 65-76, 1998
- [33] MARUİ, E., ENDO, H., Effect of Reciprocating and Unidirectional Sliding Motion on the Friction and Wear of Copper on Steel, Wear, 582-591; Mart 2001
- [34] <http://www.devicelink.com/mddi/archive/99/08/005.html>, 10.01.2008
- [35] http://www.cetr.com/ASTM_Standard/ASTM_G_133-95.htm, 20.10.2007
- [36] http://www.cetr.com/ASTM_Standard/ASTM_G99-95.htm, 20.10.2007
- [37] BAYER, G, R., Mechanical Wear Fundamentals and Testing, Marcel 280; 2004
- [38] BLAU, P, J., BUDINSKI, K, G., Development And Use of ASTM Standards For Wear Testing, Wear, 1159-1170, 1999
- [39] By George Plint, A Brief History of Plint Tribology Products, Temmuz 2002
- [40] www.gohanmi.com/TE97.htm, 12.08.2007
- [41] <http://www.puls.com.tr>, 22.02.2008
- [42] ASTM, Standard Test Method For Wear Testing With a Pin on Disk Apparatus, 399- 403, Kasım 1990.

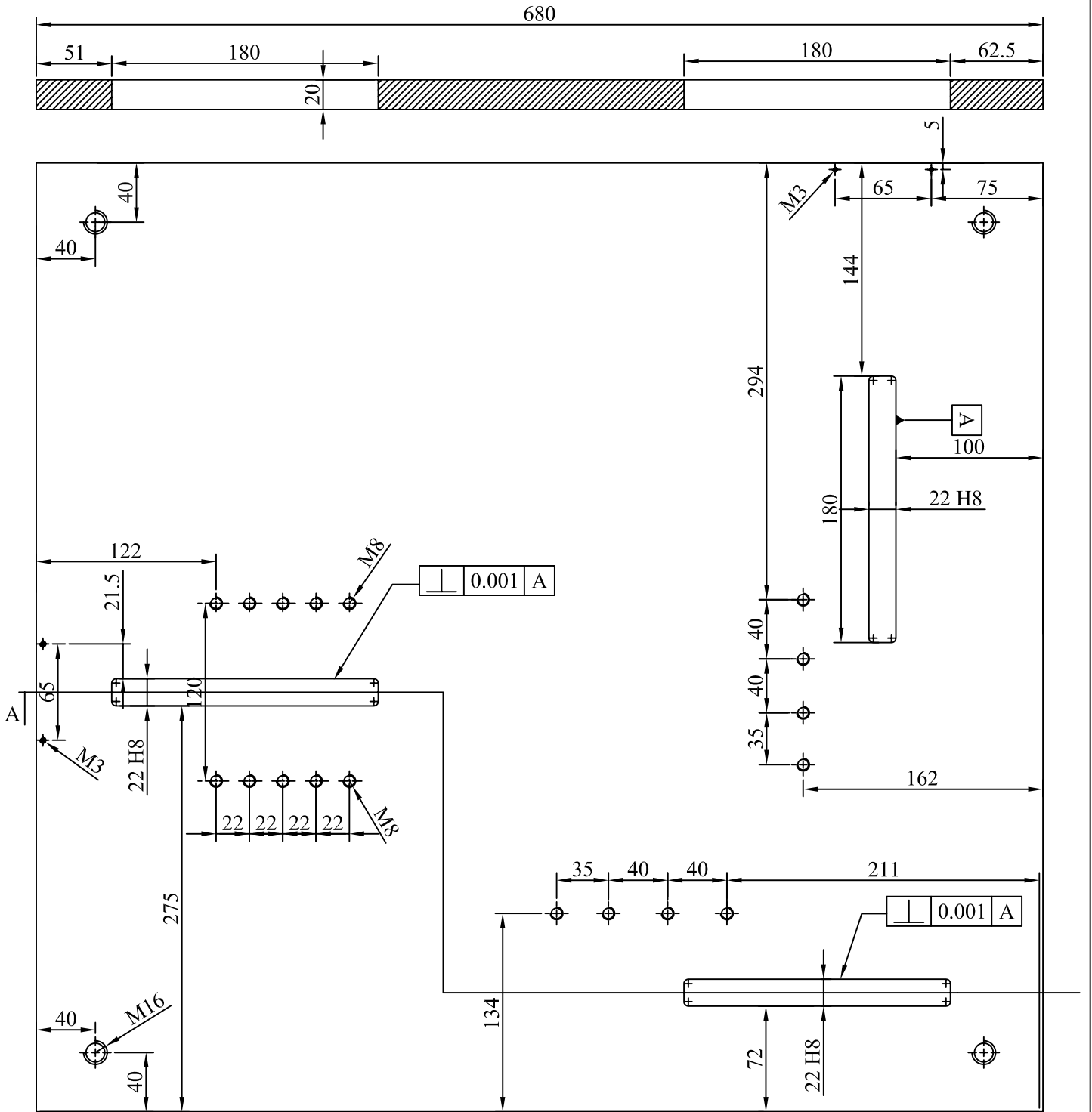
EKLER



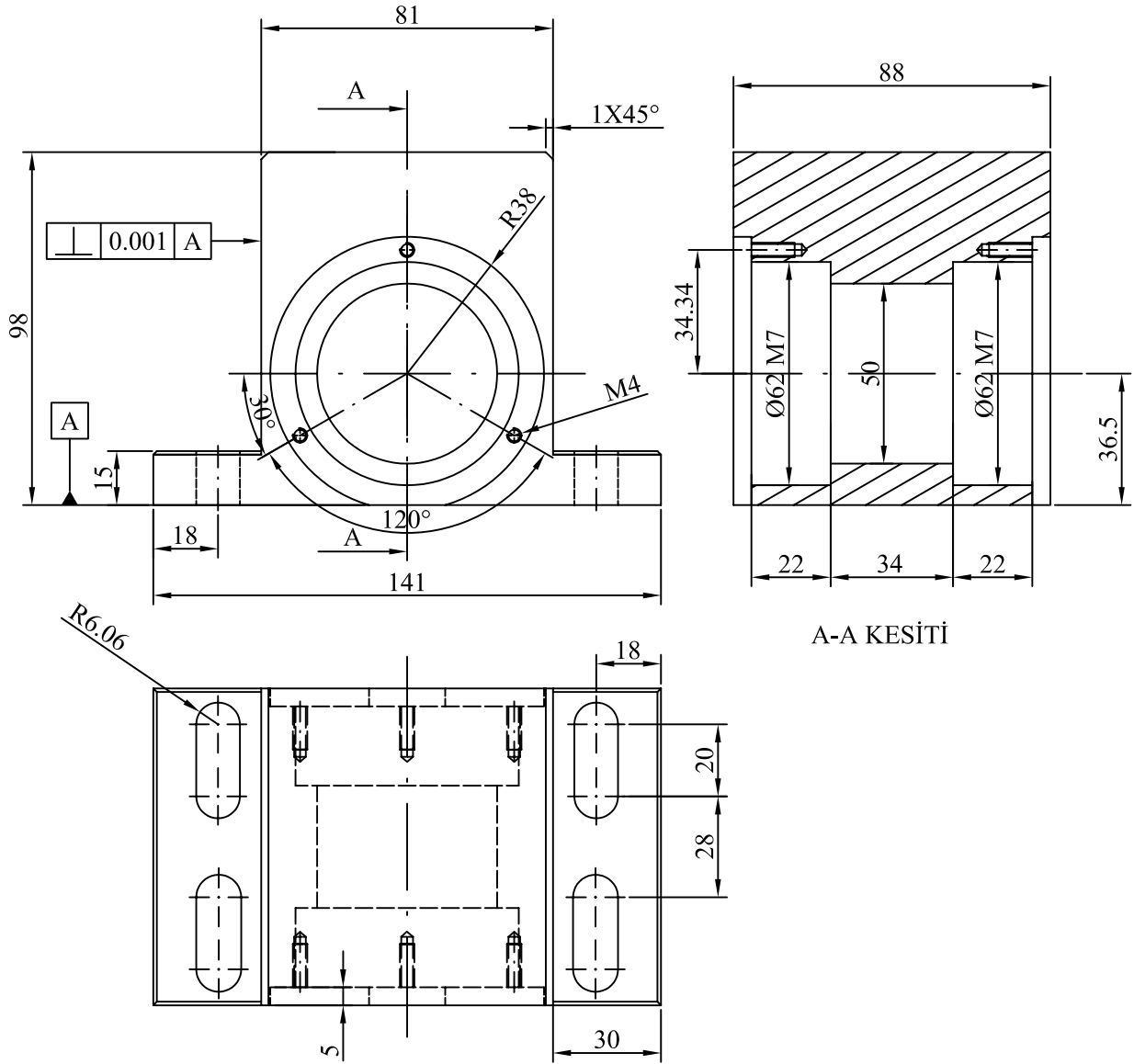
	Tarih	Adı	İmza	Sayı
Çizen	02.03.08	M.Karabaşoğlu		
Kontrol				
Stan.Kont.				
Ölçek				
1/4	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ			
	Resin Nr.			
	AŞINMA DENEY CİHAZI			
	AD-00			

57	Toplam Parça Sayısı				
1	Elastik Dışlı Kaplin	Hazır	42		
1	M14X250 Gijon	Hazır	41		
1	M25X1.5 Yarıklı Somun	Hazır	40		
2	302 02 Konik Bilyalı Rulman	Hazır	39		
2	302 06 Konik Bilyalı Rulman	Hazır	38		
1	Sürücü	Hazır	37		
2	İndikatör	Hazır	36		
2	Loadcell	Hazır	35		
1	Çekme Yayısı	Hazır	34		
1	Rediktör	Hazır	33		
1	Motor	Hazır	32	AC220-380V,0,75KW	1400 dev/dak
4	Kaucuk Tezgah Ayağı	Hazır	31		
2	Slot Kaması	AD-30	30	1.2842	Isıl İşlem
1	Disk Bağlama Pulu	AD-29	29	1.2842	Isıl İşlem
2	Numune Tutucu Bağlama Pabucları	AD-28	28	1.2842	Isıl İşlem
1	Numune Tutucu	AD-27	27	1.2842	Isıl İşlem
1	Yataklama Ünitesi Altlığı	AD-26	26	Ç1040	
1	Çektirme Mili	AD-25	25		
2	Hareket İletme Mil Yatağı	AD-24	24	Ç1040	
1	Oldhom Kavrama	AD-23	23	1.9620	
1	Loadcell Bağlama Altlığı	AD-22	22	Ç1050	
1	Yay Tutucu	AD-21	21	Ç1040	
1	Yataklama Ünitesi Ön Kapak	AD-20	20	Ç1050	
1	Yataklama Ünitesi Arka Kapak	AD-19	19	Ç1050	
2	Hareket Vidası	AD-18	18		
1	Loadcell Bağlama aparatı	AD-17	17	Ç1040	
1	Yük İletme Kolu	AD-16	16	Ç1050	
2	Hareket İlerleme Somunu	AD-15	15		
1	Yük Kolu Yataklama Mili	AD-14	14	1.9620	
1	Kontra Somunu	AD-13	13		
1	Çektirme Somunu	AD-12	12		
1	Yük Kolu	AD-11	11	Ç1050	
2	Dengeleme Topuzu	AD-10	10		
2	Yataklama Kovanı	AD-09	9	Ç1050	
2	Yük Kolu Ayakları	AD-08	8	Ç1050	
1	Yataklama Mili	AD-07	7	1.9620	
1	Yük Ayakları Sabitleme Parçası	AD-06	6	Ç1040	
1	Sabitleme Kapağı	AD-05	5	Ç1040	
1	Yük Ünitesi Taşıyıcı Tabla	AD-04	4	Ç1040	
1	Yataklama Ünitesi	AD-03	3	Ç1050	
1	Motor Ünitesi Taşıyıcı Tabla	AD-02	2	Aliminyum	
1	Tabla	AD-01	1	Ç1040	
Sayı	Adı ve açıklamalar	Resim Nr. Standart Nr.	Parça Nr.	Gereç	Açıklamalar

	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu			
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek					Resin Nr.
	AŞINMA DENEY CİHAZI				AD-00



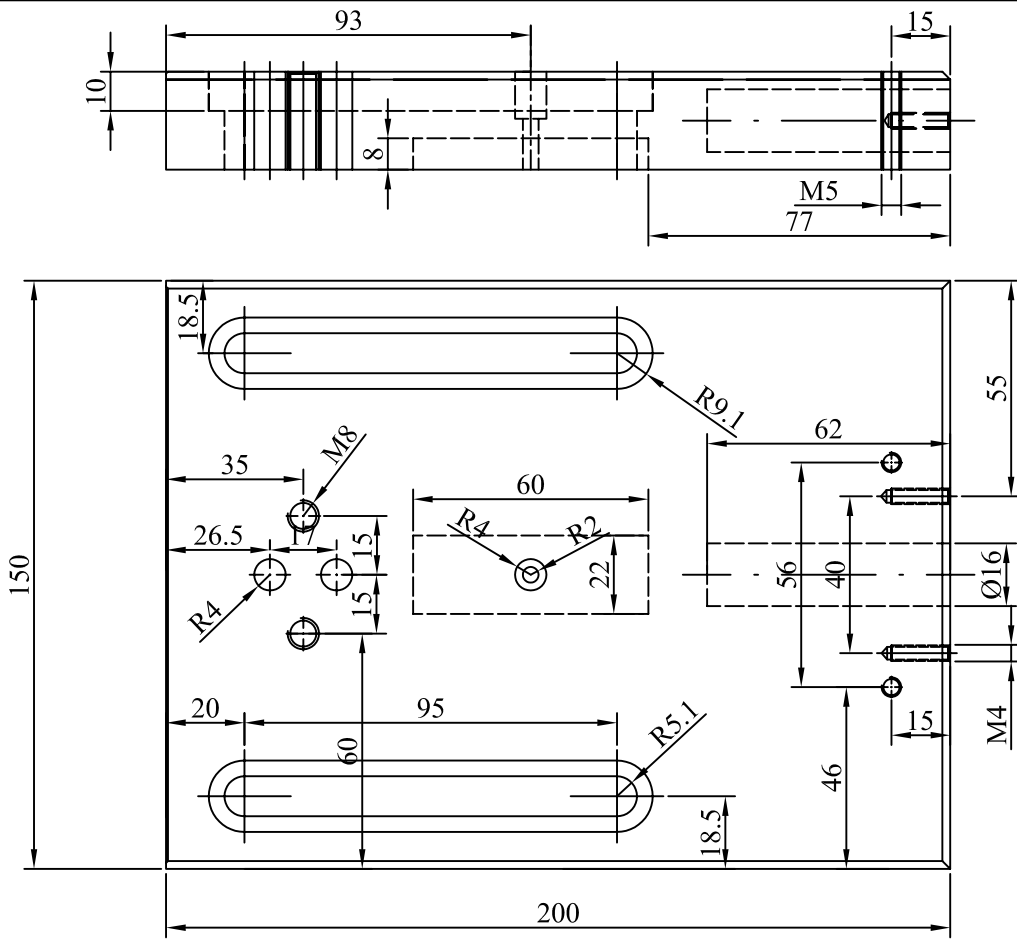
	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu		1	
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek	TABLA				Resin Nr.
1/4					AD-01



A-A KESİTİ

	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu		1	
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek	YATAKLAMA ÜNİTESİ				Resin Nr.
1/2					AD-03

EK-A4



73

Ç 1050

1/2

1

YÜK ÜNİTESİ TAŞIYICI TABLA

M.Karabaşoğlu

AD-04

Gereç

Ölçek

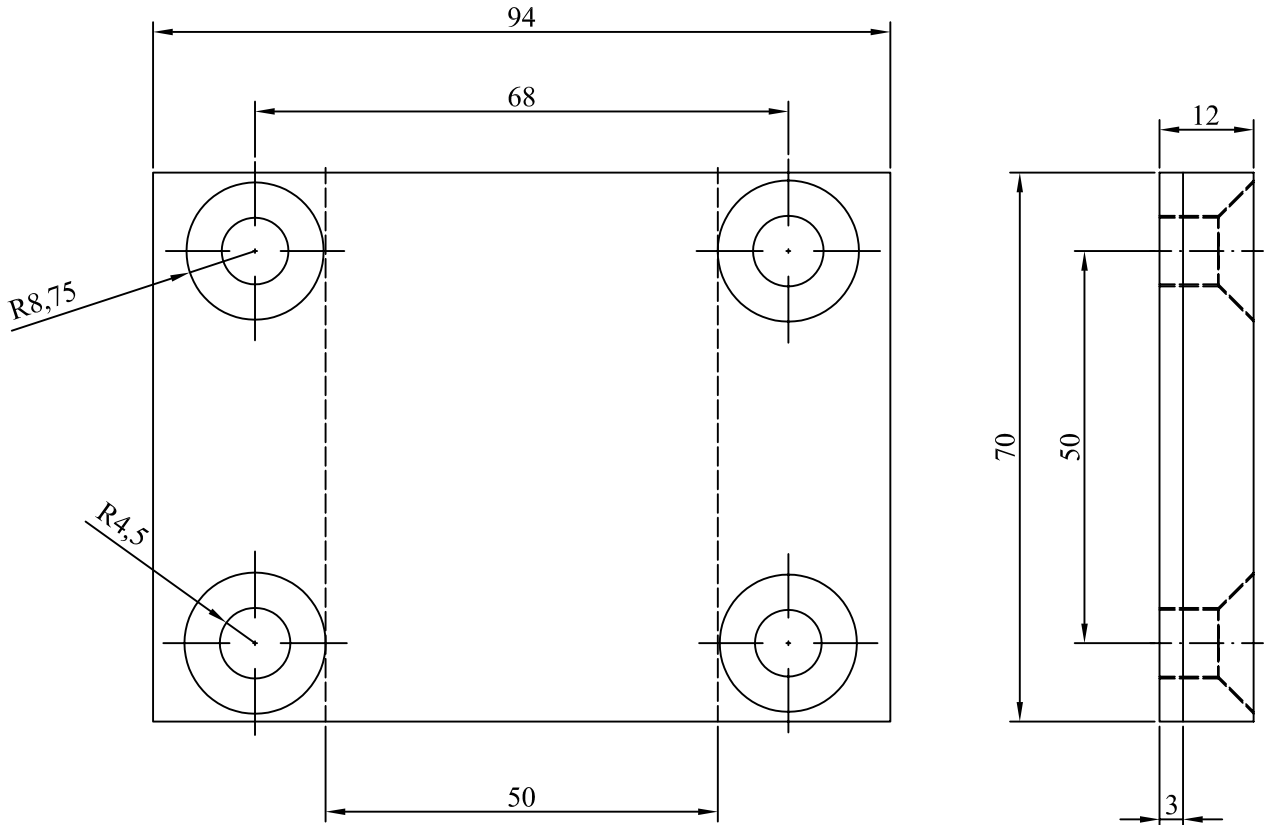
Sayı

Parça Adı

Çizen

Resim Nr.

EK-A5



Ç 1050

1/1

1

SABİTLEME KAPAĞI

M.Karabaşoğlu

AD-05

Gereç

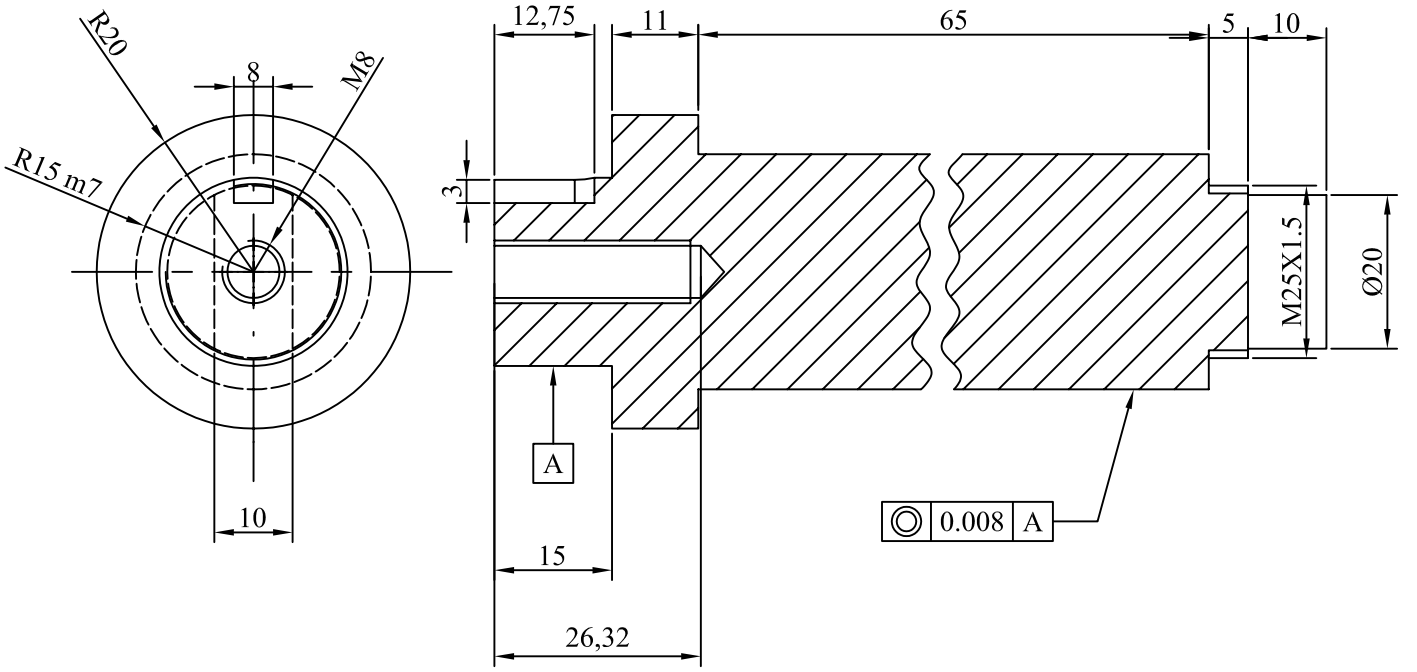
Ölçek

Sayı

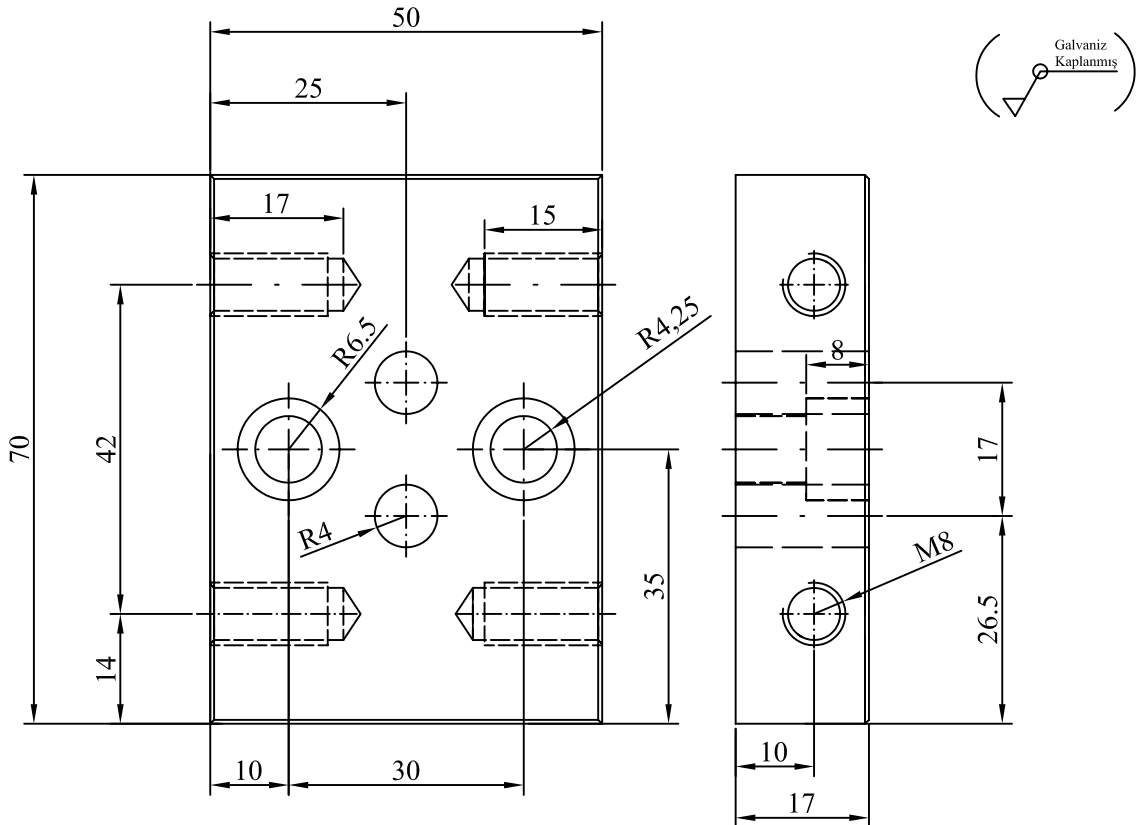
Parça Adı

Çizen

Resim Nr.

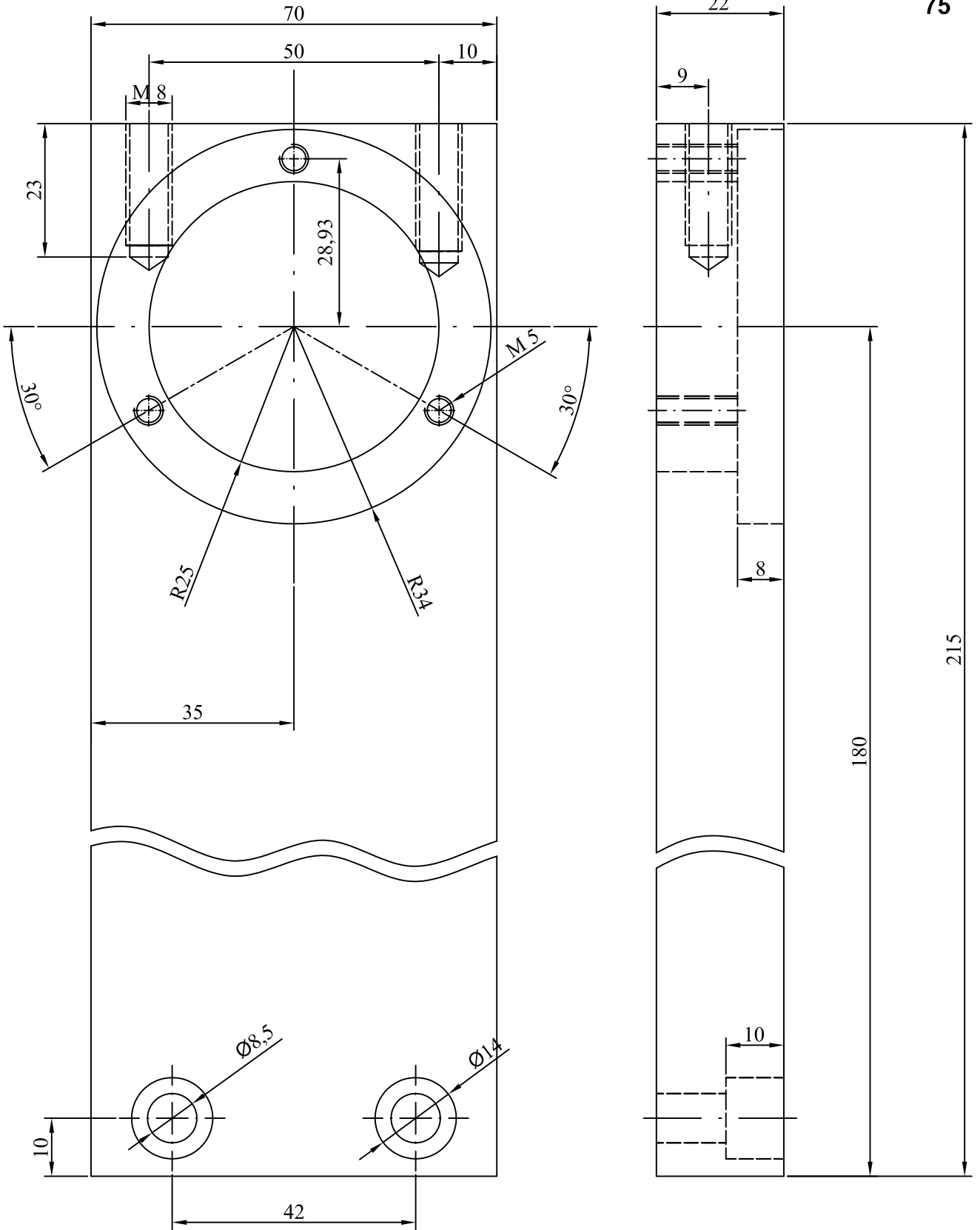


2080	1/1	1	YATAKLAMA MİLİ	M.Karabaşoğlu	AD-06
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



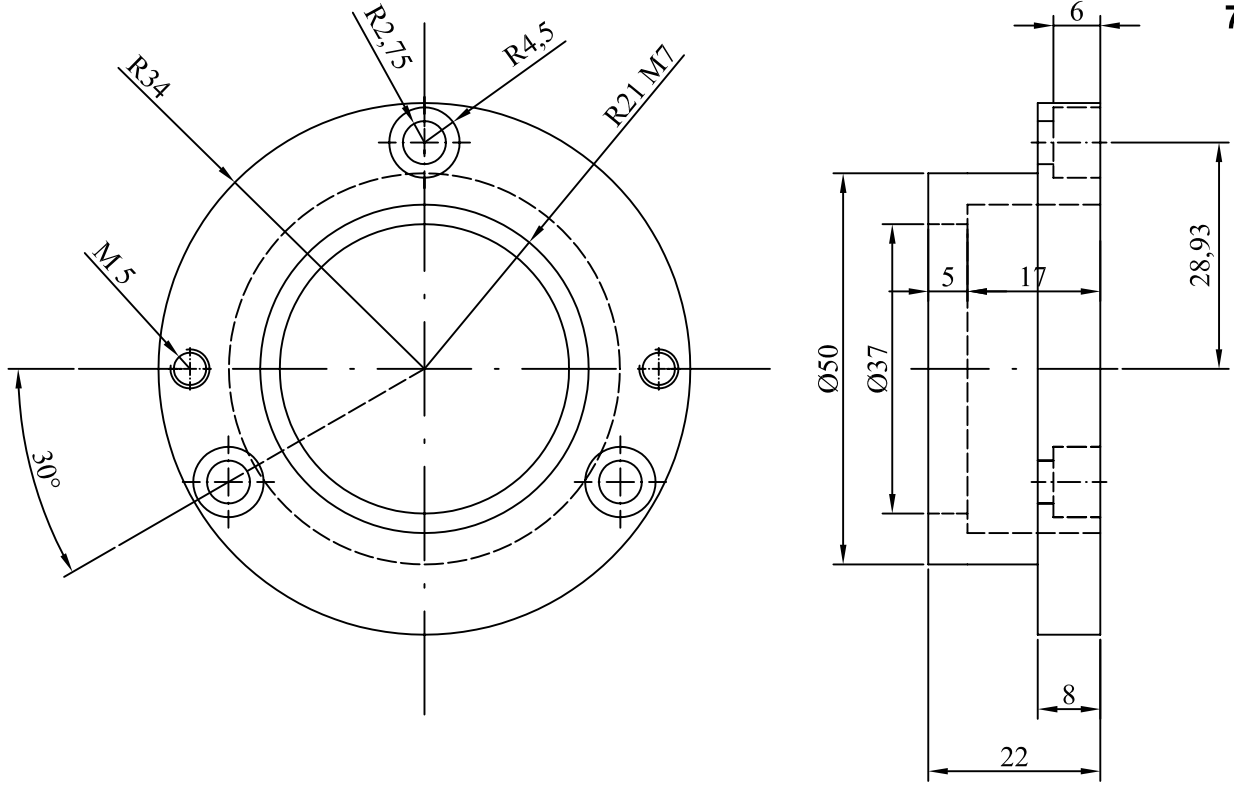
Ç 1050	1/1	1	AYAK SABİTLEME PARÇASI	M.Karabaşoğlu	AD-07
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A8



	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu		2	
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek					Resin Nr.
1/1	YÜK KOLU AYAKLARI				AD-08

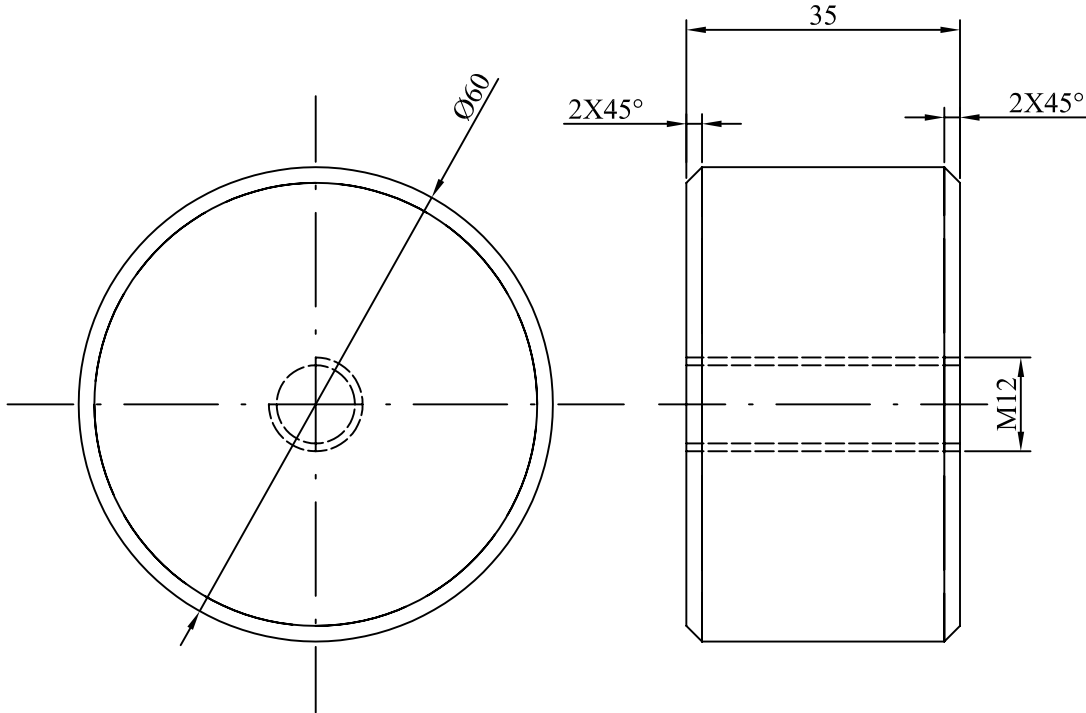
EK-A9



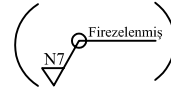
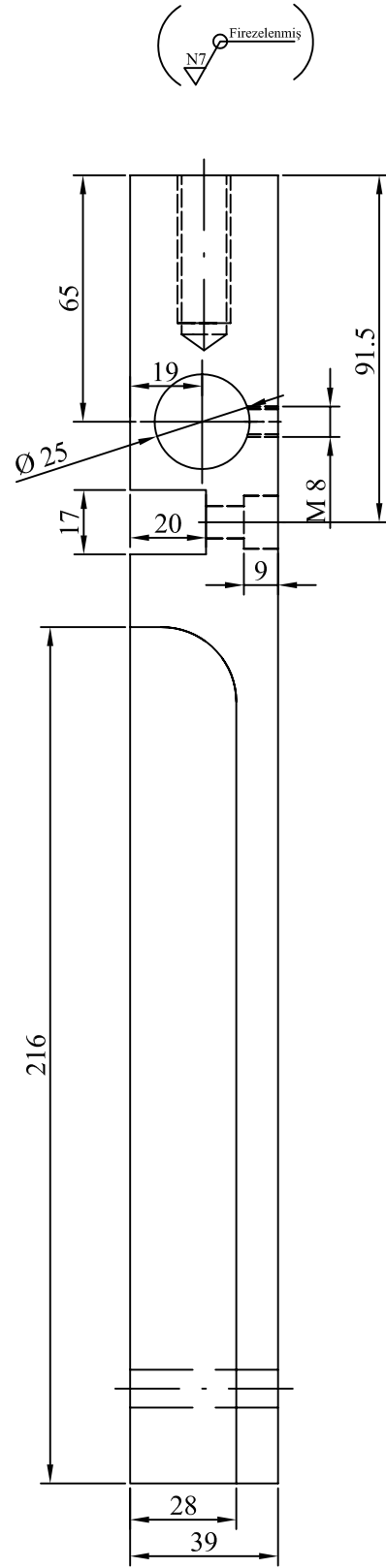
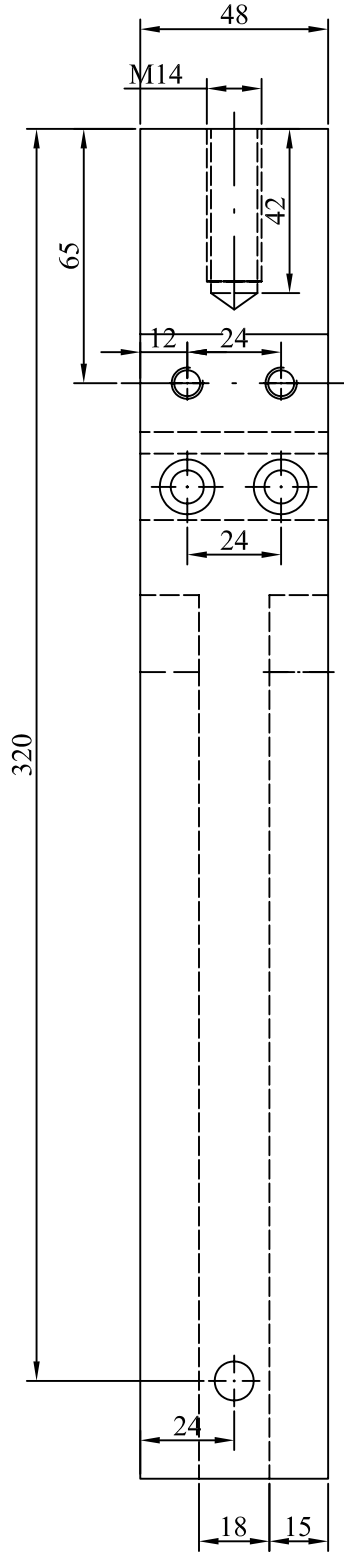
76

Ç 1050	1/1	1	RULMAN KOVANI	M.Karabaşoğlu	AD-09
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

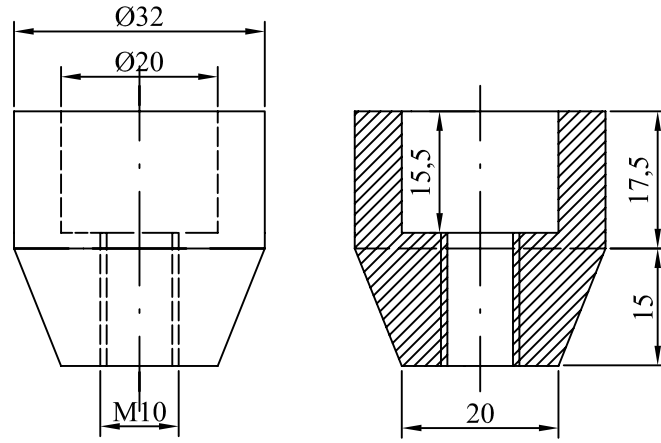
EK-A10



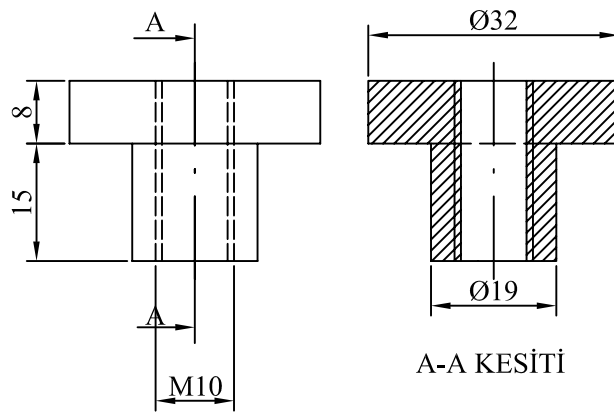
Ç 1050	1/1	1	DENGELEME TOPUZU	M.Karabaşoğlu	AD-10
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



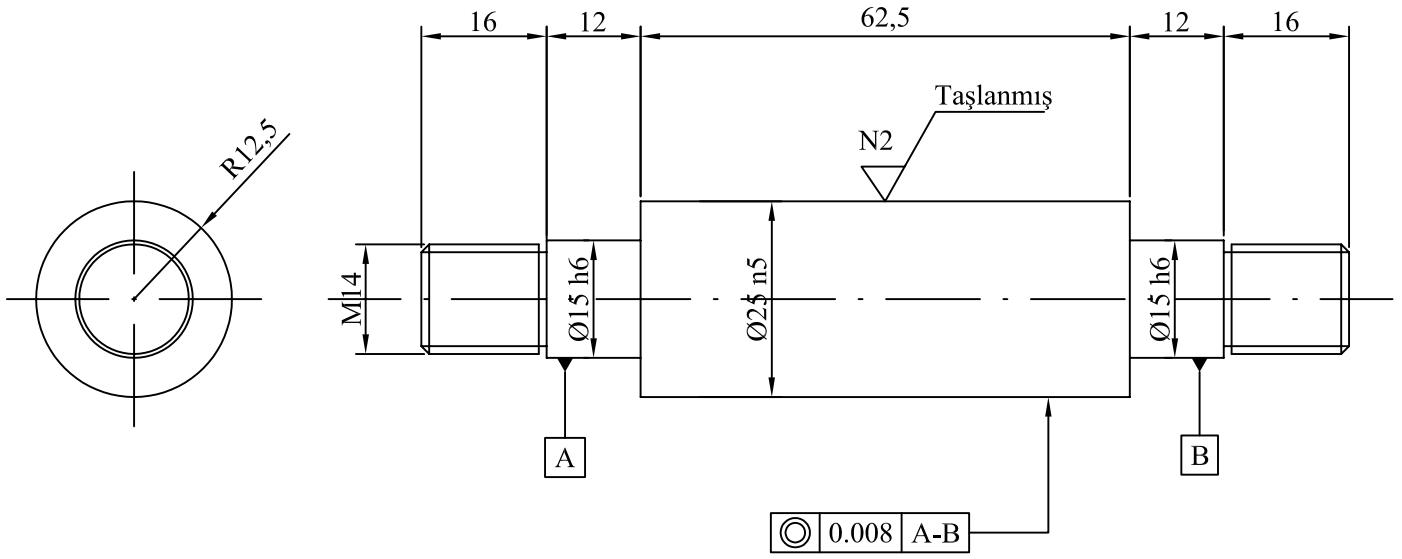
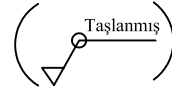
	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu		1	
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek	YÜK KOLU				Resin Nr.
1/2					AD-11



Ç 1050	1/2	1	ÇEKTİRME SOMUNU	M.Karabaşoğlu	AD-12
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

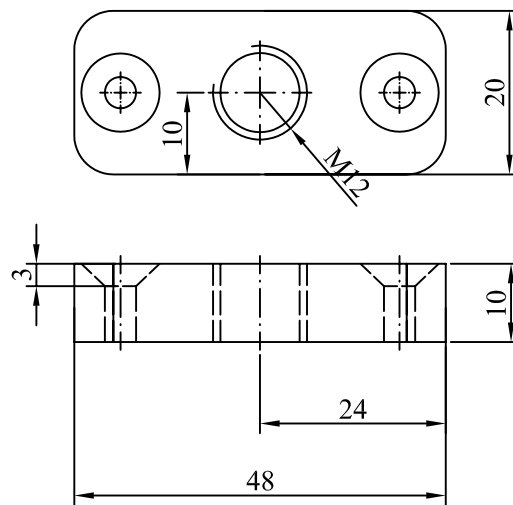


Ç 1050	1/1	1	KONTRA SOMUNU	M.Karabaşoğlu	AD-13
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

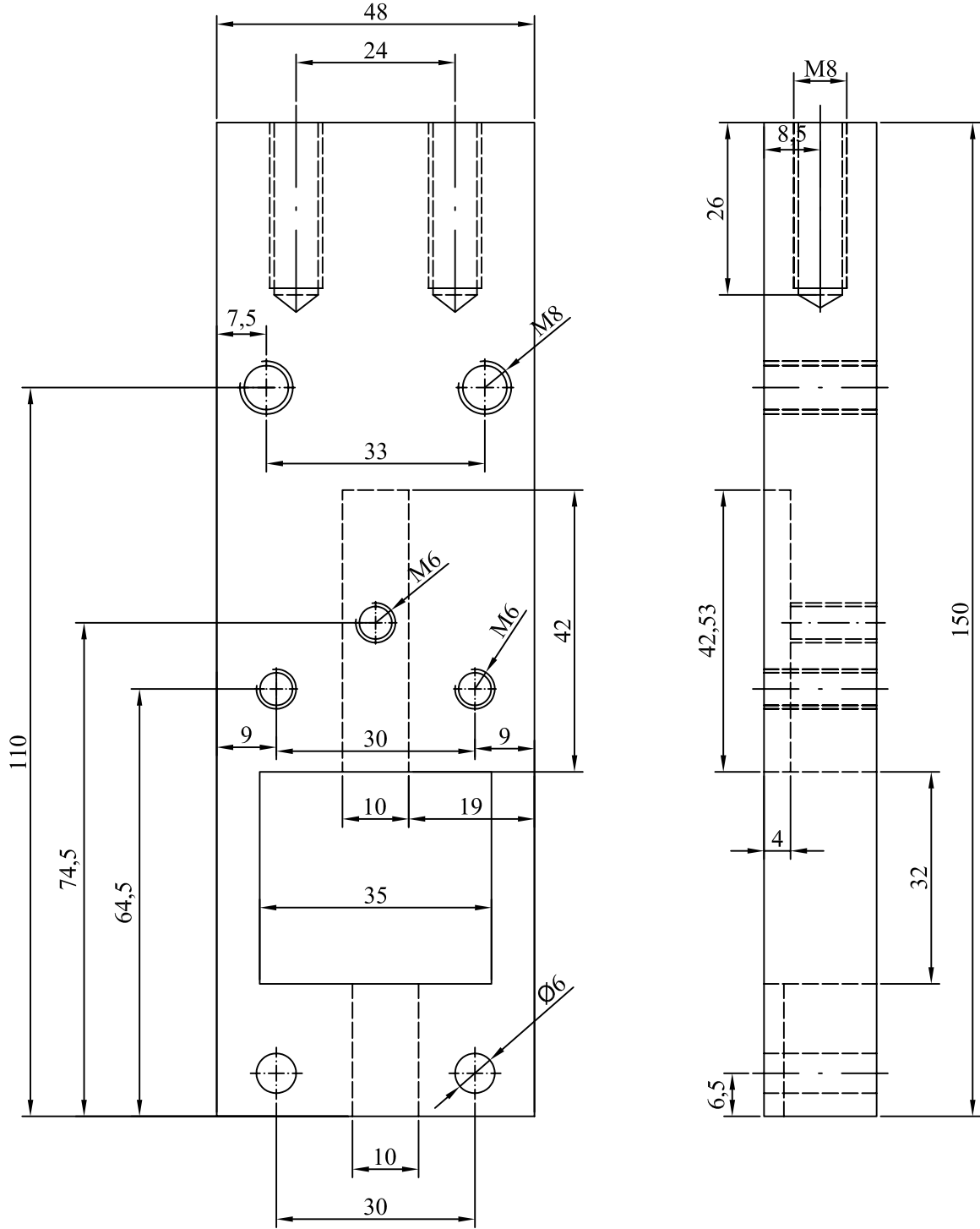


Ç 1050	1/1	1	YATAKLAMA MİLİ	M.Karabaşoğlu	AD-14
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A15

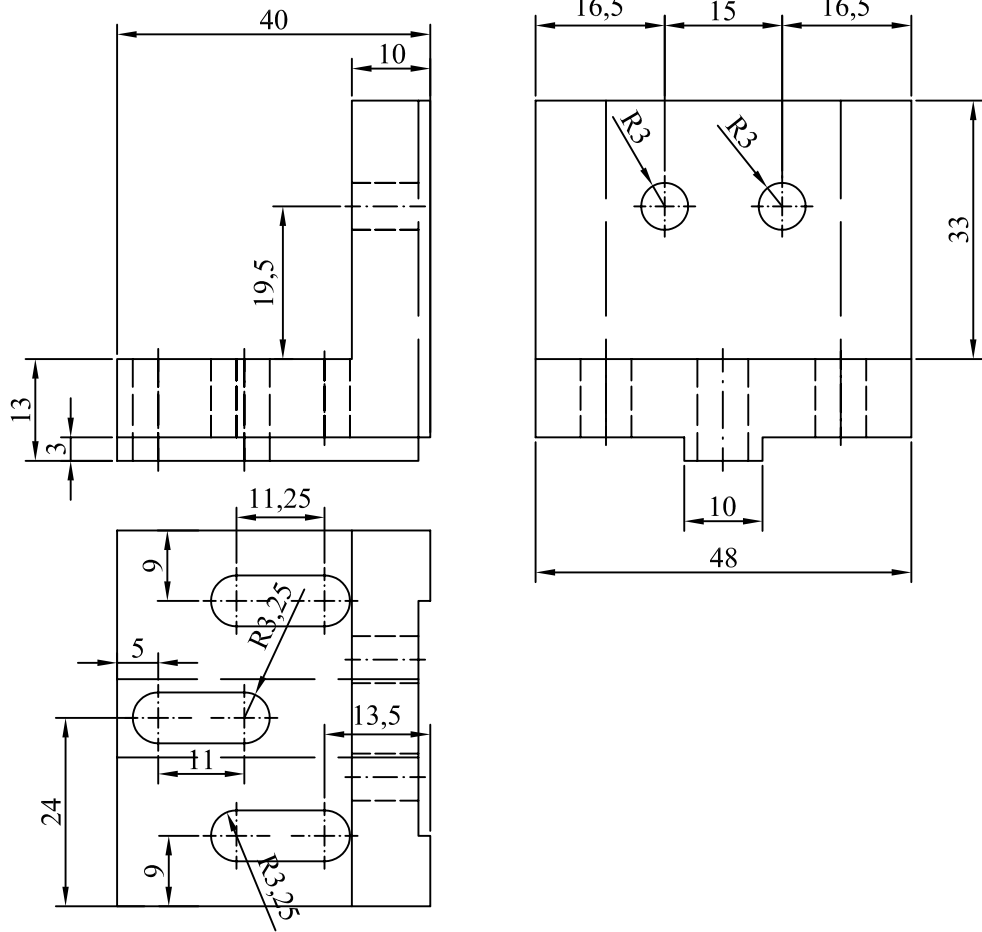


Ç 1050	1/1	1	HAREKET (İLERLEME) SOMUNU	M.Karabaşoğlu	AD-15
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



	Tarih	Adı	İmza	Sayı	SAKARYA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Çizen		M.Karabaşoğlu		1	
Kontrol					
Stan.Kont.					
Ölçek	YÜK İLETME KOLU				Resin Nr.
1/1					AD-16

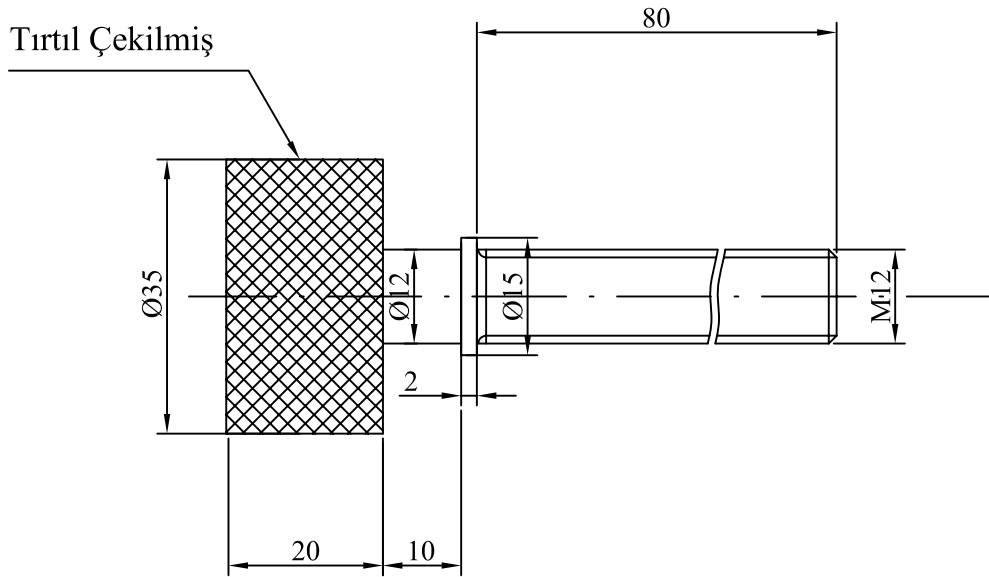
EK-A17



81

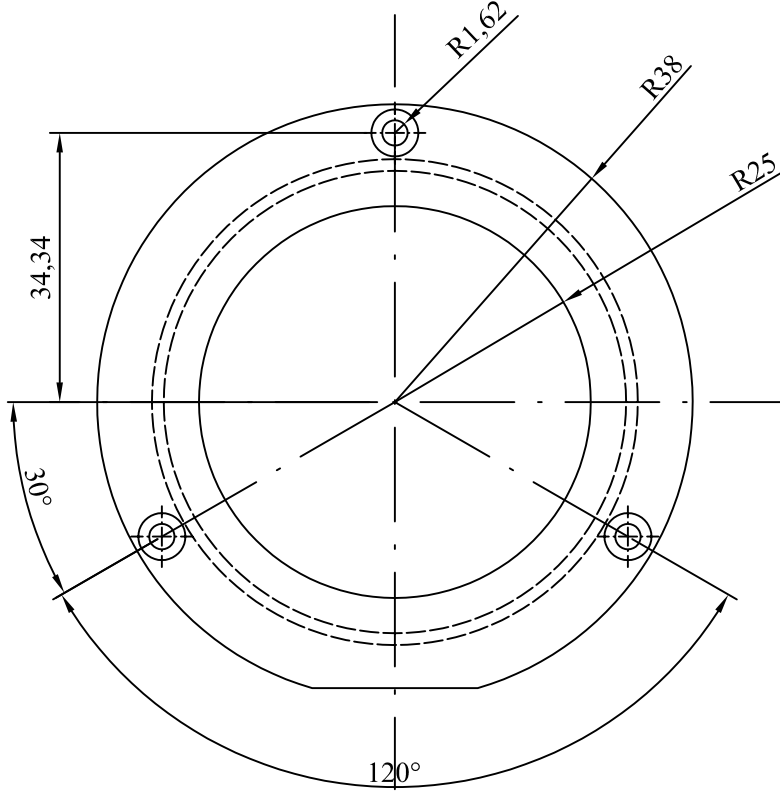
Ç 1050	1/2	1	LOADCELL BAĞLAMA APARATI	M.Karabaşoğlu	AD-17
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A18

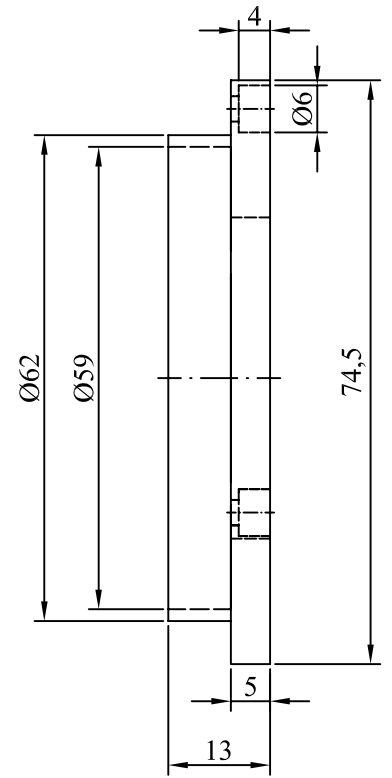


Ç 1050	1/1	2	HAREKET VİDASI	M.Karabaşoğlu	AD-18
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A19



82



Ç 1050

1/1

1

YATAK ARKA KAPAK

M.Karabaşoğlu

AD-19

Gereç

Ölçek

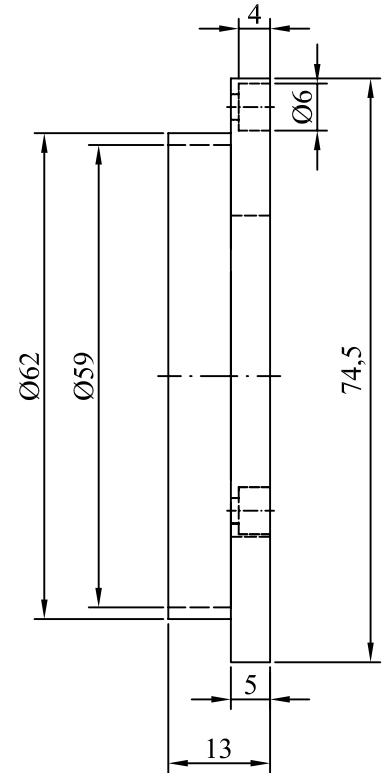
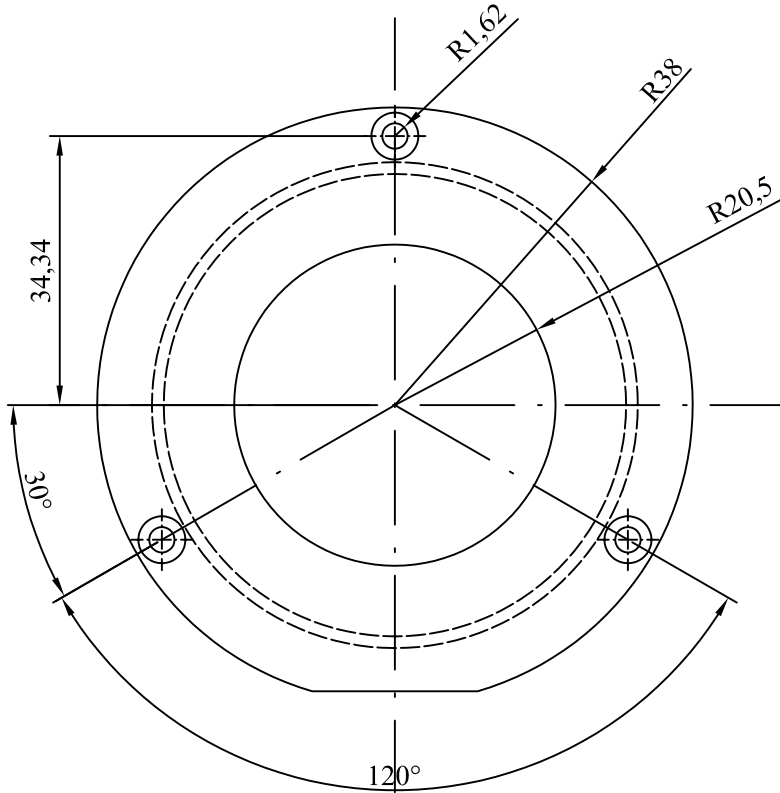
Sayı

Parça Adı

Çizen

Resim Nr.

EK-A20



Ç 1050

1/1

1

YATAK ÖN KAPAK

M.Karabaşoğlu

AD-20

Gereç

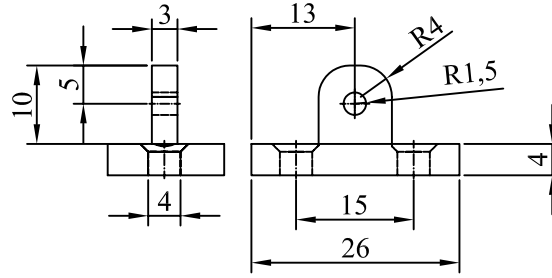
Ölçek

Sayı

Parça Adı

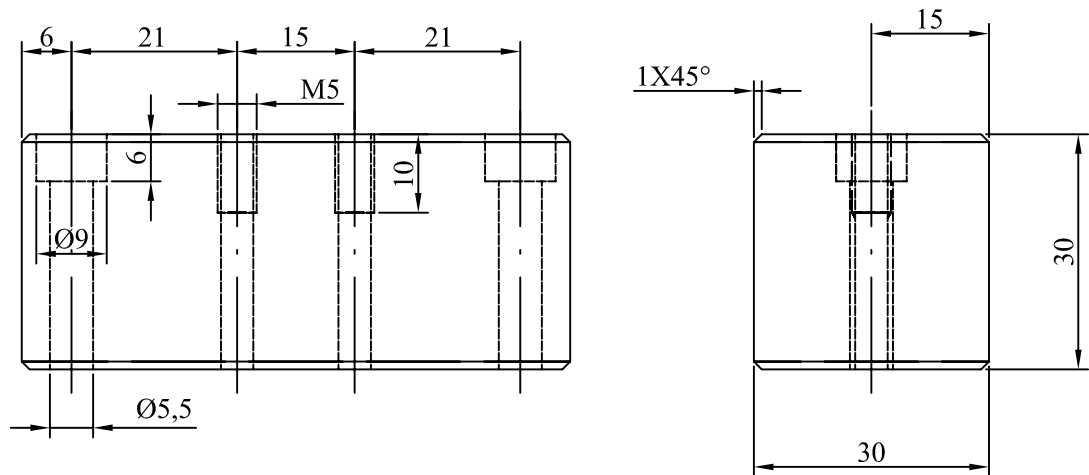
Çizen

Resim Nr.

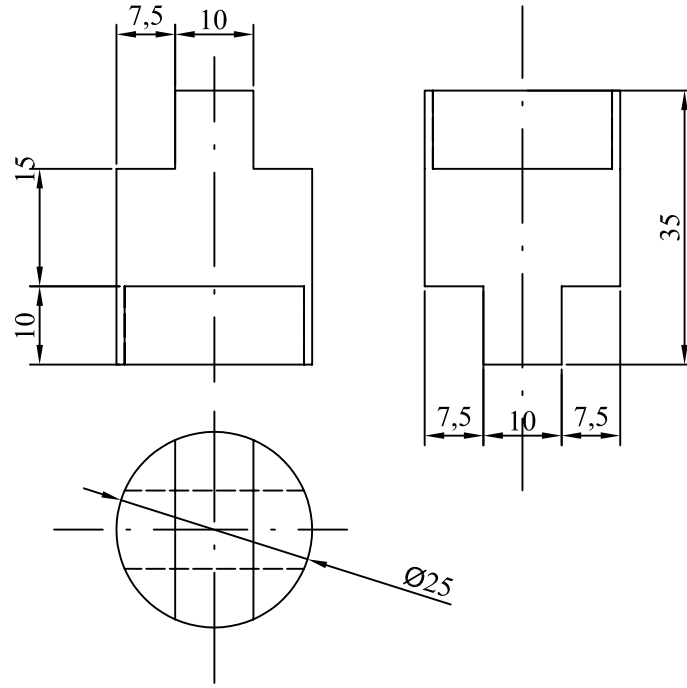


Ç 1050	1/1	1	YAY TUTUCU	M.Karabaşoğlu	AD-21
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

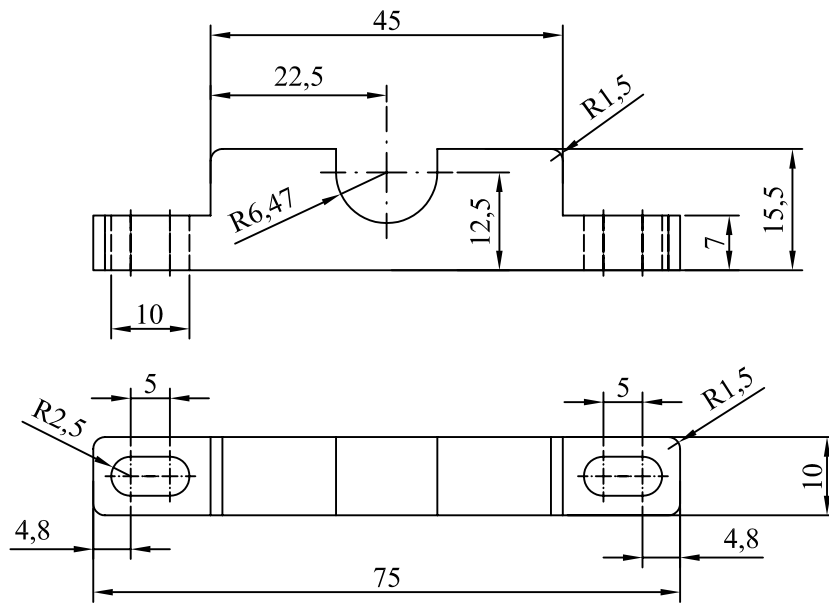
EK-A22



Ç 1050	1/1	1	LOADCELL BAĞLAMA ALTLIĞI	M.Karabaşoğlu	AD-22
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



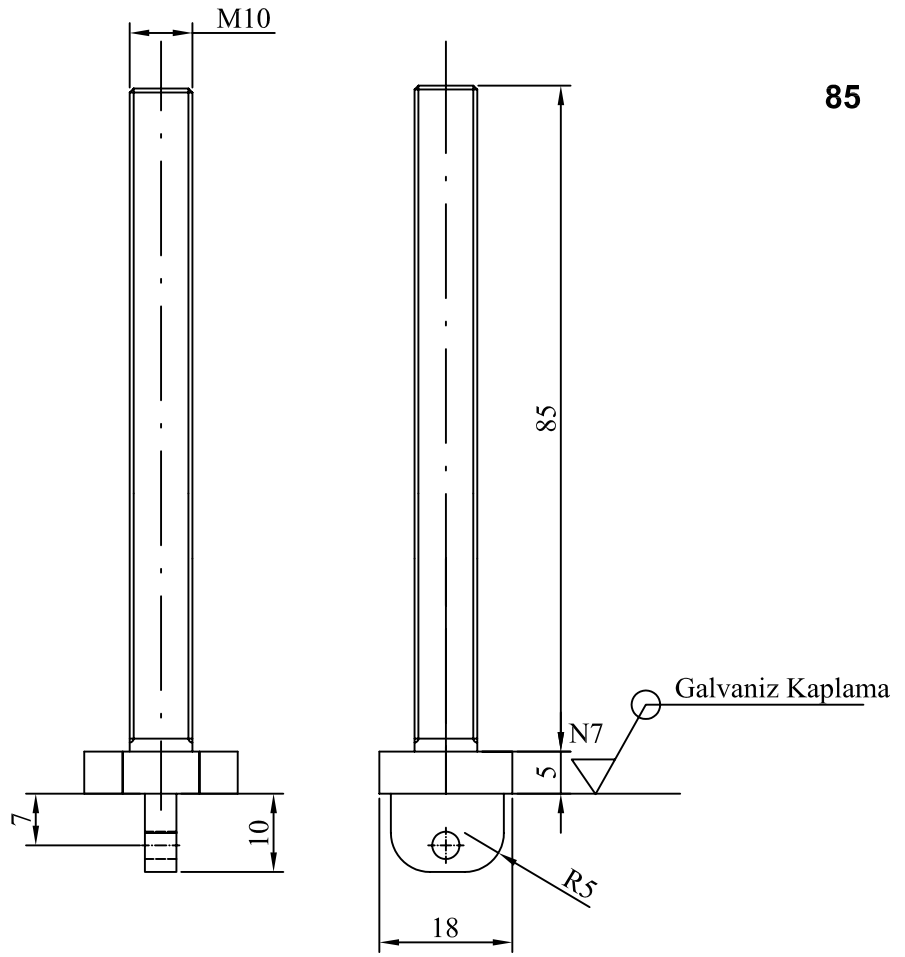
Ç 1050	1/1	1	OLDHOM KAVRAMA	M.Karabaşoğlu	AD-23
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



Ç 1050	1/1	1	HAREKET İLETME MİL YATAğI	M.Karabaşoğlu	AD-24
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

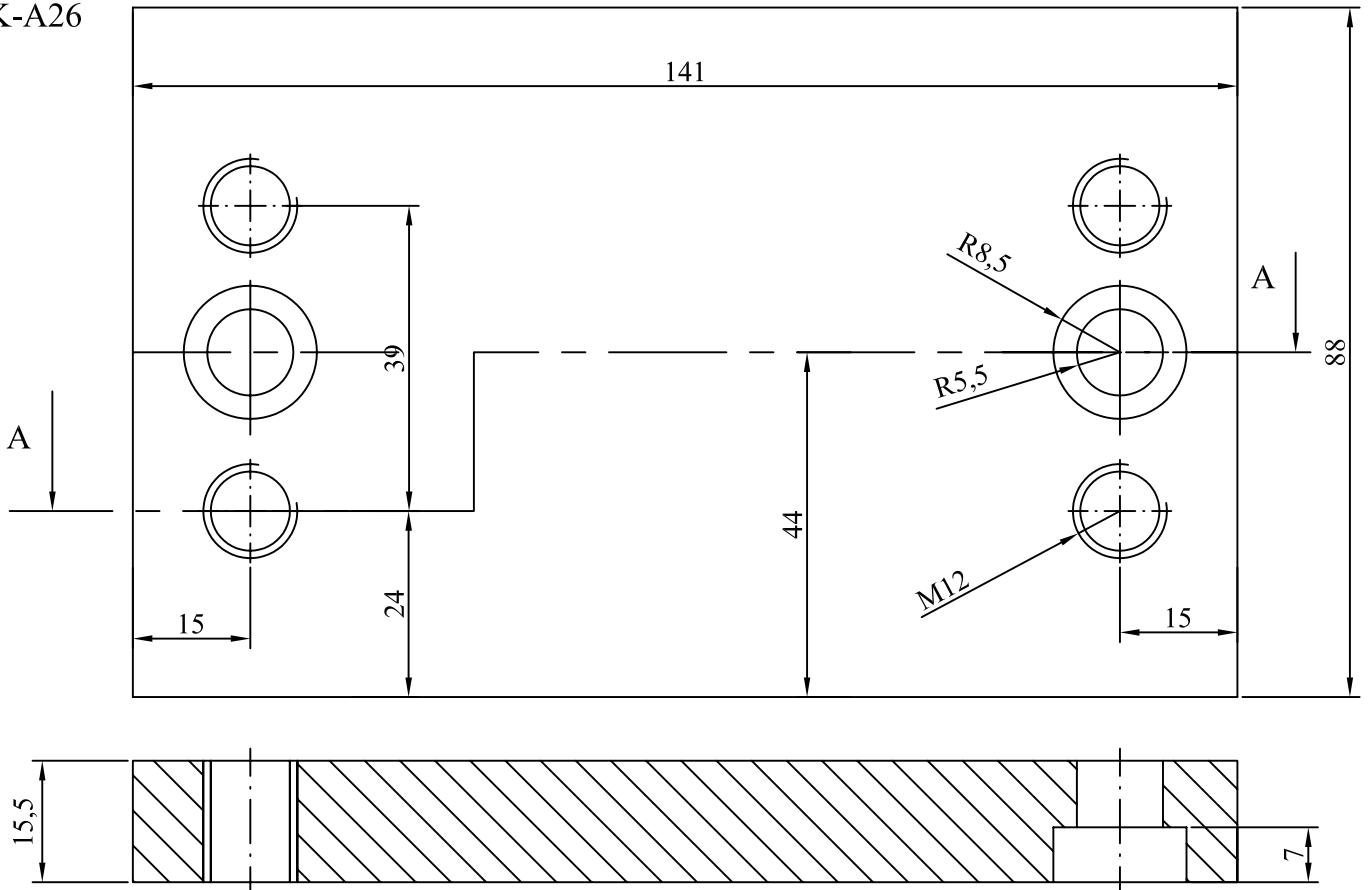
EK-A25

85

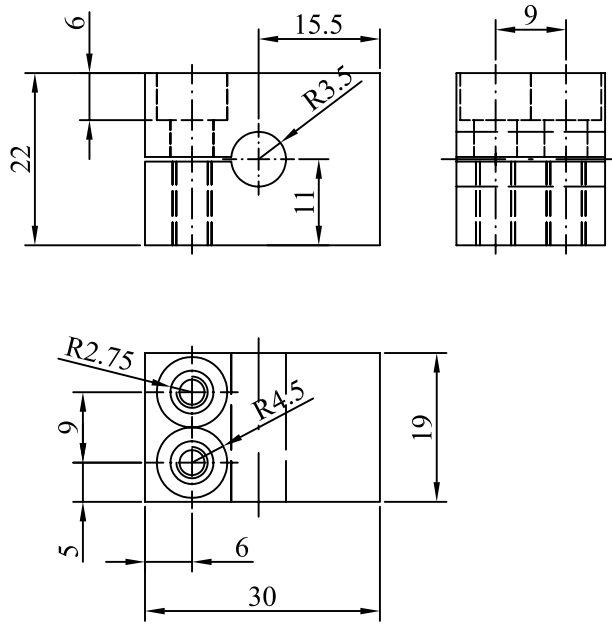


Ç 1050	1/1	1	ÇEKTİRME MİLİ	M.Karabaşoğlu	AD-25
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A26

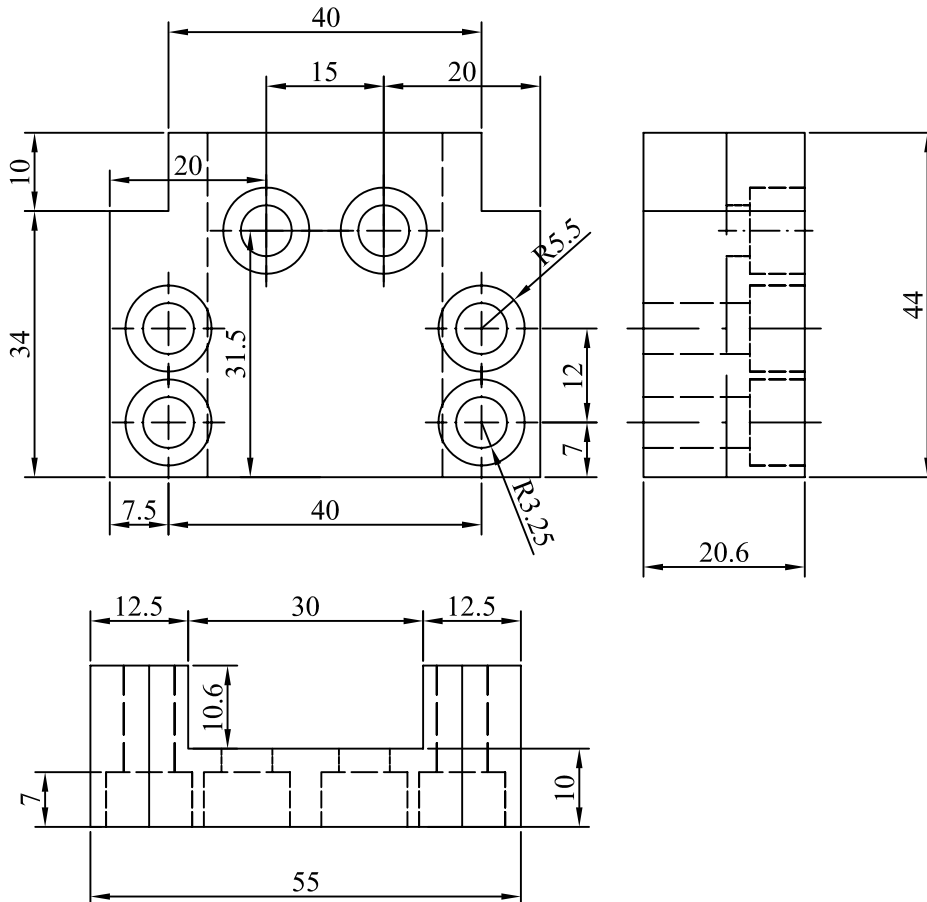


Ç 1050	1/1	1	YATAKLAMA ÜNİTESİ ALTLIĞI	M.Karabaşoğlu	AD-26
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

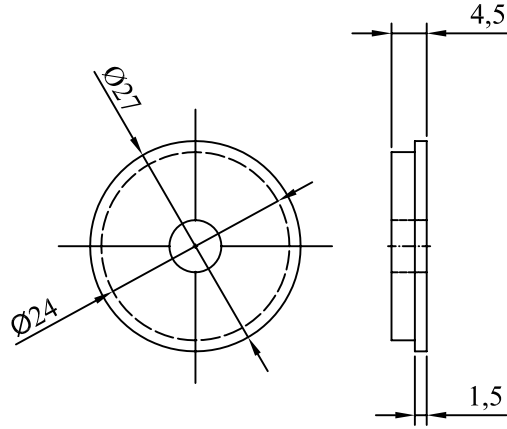


Ç 1050	1/1	1	NUMUNE TUTUCU	M.Karabaşoğlu	AD-21
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A28

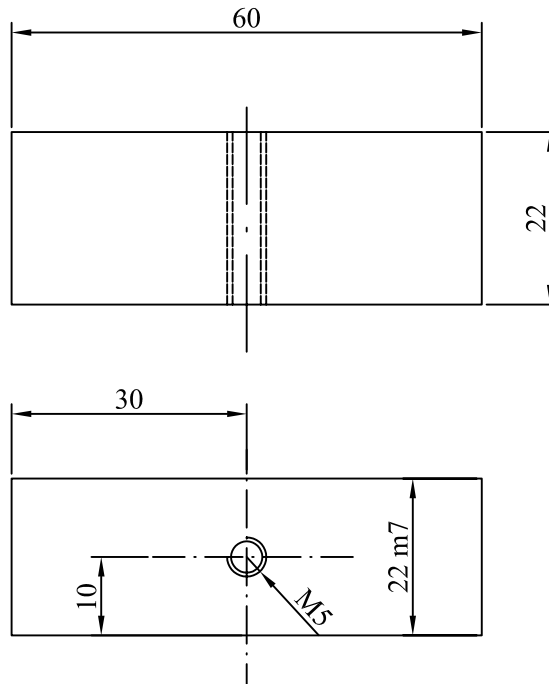


Ç 1050	1/1	2	NUM. TUT. BAĞLAMA PABUCLARI	M.Karabaşoğlu	AD-22
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.



Ç 1050	1/1	1	DİSK BAĞLAMA PULU	M.Karabaşoğlu	AD-29
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

EK-A30



Ç 1050	1/1	2	SLOT KAMASI	M.Karabaşoğlu	AD-30
Gereç	Ölçek	Sayı	Parça Adı	Çizen	Resim Nr.

ÖZGEÇMİŞ

Mehmet Karabaşoğlu, 20.09.1982' de Sakarya'da doğdu. İlk ve orta öğretimini Karasu'da tamamladı. 1999 yılında Karasu Endüstri Meslek Lisesi Tesviye bölümünden mezun oldu. 2001 yılında Dumlupınar Üniversitesi Simav Teknik Eğitim Fakültesi Talaşlı Üretim Öğretmenliğini kazandı. 2005 yılında bu bölümden mezun oldu. Aynı yıl Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Eğitimi anabilim dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2006- 2008 yılları arasında Atasan Metal Sanayi ve Tic. Ltd. Şti.nde Talaşlı imalat ve kalıp hane bölümünde ve Nursan Metal Sanayi ve Tic. Ltd. Şti. talaşlı imalat bölümünde çalıştı. Halen saç metal kalıpları üzerinde çalışmalarda bulunmaktadır.