

Tez çalışmamda her türlü katkıları ve yardımları ile beni yönlendiren Doç. Dr. Burhan SELÇUK ve Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR hocalarıma sonsuz teşekkürleri borç bilirim. Ayrıca tez çalışmalarım için ayırdığım zamanları anlayışla karşılayan eşim Nihan ve annem Sultan DİKMEN'e teşekkür ederim

ÖZET

AISI 4140 AISI 1050 ve AISI 8620 ÇELİKLERİ İÇİN SOĞUTMA ORTAMININ AŞINMA DAVRANIŞI ÜZERİNE ETKİSİ

Sertel DİKMEN

Yüksek Lisans Tezi, Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Doç. Dr. Burhan SELÇUK

Yrd. Doç. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2010, 61 sayfa

Bu çalışmada AISI 4140 çeliği, AISI 8620 çeliği ve AISI 1050 çelik türleri farklı ortamlarda (yağ ve su) soğutularak, aşınma davranışı incelendi. Aşınma deneyleri Pin-on-Roller aşınma sisteminde yapıldı. Aşındırıcı eleman olarak nitrürlenmiş GG30 malzeme kullanıldı. Aşınma deneyleri sabit zamanda, farklı devir ve yükler altında yapıldı. Aşınma miktarı ve sürtünme katsayıları belirlendi. Her bir çelik türü için soğutma ortamının etkisi, aşınma miktarı ve sürtünme katsayıları bakımından karşılaştırılmıştır. Optik mikroskop çalışması yapılarak aşınma mekanizması incelendi. Numunelerin aşınma dirençleri farklı olduğu için AISI 4140 çeliğindeki aşınma miktarının AISI 1050 ve AISI 8620 çeliklerine göre daha az fakat sürtünme katsayısının daha fazla olduğu gözlemlenmiştir.

Ayrıca aşınma davranışına etki eden parametreler (yüzey sertliği, devir/dak, ve uygulama kuvveti), Taguchi metodu kullanılarak incelendi. Sırasıyla yüzey sertliği, uygulama kuvveti ve devir/dak parametrelerinin aşınma davranışı üzerine çok etkili olduğu ortaya kondu.

Anahtar Kelimeler: Çelik, Aşınma, Sürtünme Katsayısı, Taguchi Metodu

ABSTRACT

EFFECT OF COOLING MEDIA ON WEAR BEHAVIOR OF AISI 4140 AISI 1050 AND AISI 8620 STEELS

Sertel Dikmen

Cumhuriyet University

Master of Science Thesis, Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Burhan SELÇUK

Assist. Prof. Dr. Mehmet ŞİMŞİR

2010, 61 pages

In this study, wear behavior of AISI 4140, AISI 8620 and AISI 1050 steels cooled in two media (oil and water) were investigated. Wear tests were carried out by Pin-on-Roller wear system. Nitrided GG30 cast iron was used as counter roller. Wear tests were conducted with various RPM (revolution/minute) and applied load under constant wear time for each type of steel. Wear amount of each steel for both condition (oil and water) were measured and also friction coefficients of that were calculated. For each type of steel, effect of cooling media (oil and water) on wear behavior was assessed and compared on the basis of wear amount and friction coefficient. Wear mechanism was investigated by optical microscopy examination. It is concluded that wear resistance of AISI 4140 steel is better than that of AISI 1050 and AISI 8620 steels. However, wear coefficient of AISI 4140 steel is higher than that of AISI 1050 and AISI 8620 steels

Furthermore, effect of parameters (surface hardness of material, applied force and RPM) on wear behavior of steels were determined by Taguchi Method. It is concluded that according to Taguchi Method, surface hardness of material is the most effective parameter on wear resistance and followed by applied load and RPM

Key words: Steel, Wear, Friction Coefficient, Taguchi Method

İÇİNDEKİLER

TEŞEKKÜR.....	i
ÖZET.....	ii
ABSTRACT.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	vi
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	vii
SİMGELER DİZİNİ.....	viii
I. BÖLÜM	
TRİBOLOJİK ÖZELLİKLER	
1.1 Giriş.....	1
1.2 Sürtünme.....	2
1.2.1. Sürtünme Katsayısı ve Ölçümü.....	3
1.3 Aşınma.....	4
1.3.1 Adhesiv Aşınma Mekanizması.....	5
1.3.2 Abrasif Aşınma Mekanizması.....	6
1.3.3 Yorulma Aşaması.....	7
1.3.4 Difüzyon Aşınması.....	7
1.3.5 Tribo-Oksidasyon Aşınması.....	8
1.3.6 Erozyon ve Kavitasyon Aşınması.....	8
1.3.7 Yenme Aşınması.....	8
1.3.8 Aşınma Test Yöntemleri.....	9
1.4 Parametrelerin Optimizasyonu.....	10
II. BÖLÜM	
ÇELİK TÜRLERİ VE ALAŞIM ELEMENTLERİN ÇELİKLERE ETKİSİ	
2.1 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri.....	14
2.2 Islah Çeliği.....	18
2.2.1 Islah İşlemi.....	19
2.3 Sementasyon Çeliği.....	20
2.3.1 Sementasyon İşlemi.....	20
III. BÖLÜM	
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	
3.1 Giriş.....	22
3.2 Deneylerde Kullanılan Numune Türleri ve Numuneler.....	22
3.2.1 AISI 4140 çeliği.....	23
3.2.2 AISI 8620 çeliği.....	23
3.2.3 AISI 1050 çeliği.....	24
3.3 Çelik Numunelerin Hazırlanması ve Sertleştirme İşlemi.....	25
3.4 Mekanik Deneyler.....	26
3.4.1 Sertlik.....	26
3.4.2 Aşınma Deneyleri.....	26
3.5 Deney Tekniği ve Deney Verileri.....	29

IV. BÖLÜM

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

4.1 AISI 1050 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi.....	31
4.1.1 Kayma Süresinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi.....	31
4.1.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi	33
4.2 AISI 4140 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi.....	34
4.2.1 Kayma Süresinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi.....	34
4.2.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi:.....	35
4.3 AISI 8620 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi.....	37
4.3.1 Kayma Süresinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi.....	37
4.3.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi.....	38
4.4 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 Çeliklerinden Elde.....	40
Edilen Deneysel Sonuçların Kıyaslanması	
4.4.1 Sürtünme Katsayısı Temas Kuvveti İlişkisi.....	40
4.4.2 Temas Kuvveti Ağırlık Kaybı İlişkisi:.....	41
4.5 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerinin Aşınmış Yüzeylerin.....	43
İncelenmesi	
4.6 Aşınma parametrelerinin optimizasyonu.....	46
4.7 Taguchi Metodu.....	47
4.7.1 Orthogonal Array Tasarımı.....	47
4.8 Sonuçlar ve Tartışma.....	48
4.8.1 Kontrol Parametrelerinin Analizi.....	48
4.9 Varyans Analizi.....	53
4.10 Geçerlilik Testleri.....	56

V. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Giriş.....	57
5.2 Sonuçlar.....	57
5.3 Öneriler.....	58
6 Kaynaklar.....	59
7 Özgeçmiş.....	64

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 Sürtünme Çeşitleri.....	3
Şekil 2 Statik sürtünme ölçümü için bir tasarım.....	4
Şekil 3 Bazı aşınma yöntemleri.....	10
a) Disk üzerinde pim, b) Silindir üzerinde pim, c) Plaka üzerinde hareket eden pim, d) Tek yönlü aşınma yöntemleri	
Şekil 4 Sertlik-aşınma numunesi örnek şekli.....	27
Şekil 5 PLINT® universal sürtünme ve aşınma cihazı.....	27
Şekil 6 Aşınma cihazının şematik yük uygulama düzeneği.....	28
Şekil 7 AISI 1050 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi.....	32
Şekil 8 AISI 1050 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık Kaybı ilişkisi.....	33
Şekil 9 AISI 4140 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi.....	35
Şekil 10 AISI 4140 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık Kaybı ilişkisi.....	36
Şekil 11 AISI 8620 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi.....	38
Şekil 12 AISI 8620 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık Kaybı ilişkisi.....	39
Şekil 13 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerinin sürtünme katsayısı Temas kuvveti ilişkisi.....	41
Şekil 14 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerinin ağırlık kaybı temas Temas kuvveti ilişkisi.....	42
Şekil 15 Suda Sertleştirilmiş AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	43
Şekil 16 Yağda Sertleştirilmiş AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	44
Şekil 17 Suda Sertleştirilmiş AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	44
Şekil 18 Yağda Sertleştirilmiş AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	44
Şekil 19 Suda Sertleştirilmiş AISI 8620 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	45
Şekil 20 Yağda Sertleştirilmiş AISI 8620 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri.....	45
Şekil 21 Çelikler için S/N ağırlık kaybı grafiği.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 3.1 AISI 4140 çeliğin mekanik özellikleri.....	23
Çizelge 3.2 AISI 4140 çeliğin kimyasal özellikleri.....	23
Çizelge 3.3 AISI 8620 çeliğin kimyasal özellikleri.....	24
Çizelge 3.4 AISI 8620 çeliğin mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 3.5 AISI 1050 çeliğin mekanik özellikleri.....	24
Çizelge 3.6 AISI 1050 çeliğin kimyasal özellikleri.....	25
Çizelge 3.7 Çeliklerin sertleştirme ortamına göre sıcaklık değerleri.....	25
Çizelge 3.8 AISI 1050-4140-8620 çeliklerin sertleştirme ortamlarına bağlı Sertlik değerleri.....	26
Çizelge 3.9 X-n-V Değerleri.....	28
Çizelge 3.10 Sertleştirilmiş numunelere ait aşınma programı ve deney verileri	29
Çizelge 4.1 Numunelere ait yüzey sertlik aralıkları	47
Çizelge 4.2 İşlem parametreleri ve onlara ait seviyeler.....	48
Çizelge 4.3 Deneysel sayısı ve aşınma testi sonuçları.....	49
Çizelge 4.4 Çeliklerin aşınma kaybı için S/N oranları.....	50
Çizelge 4.5 Üç tür çelik için varyans analizi sonuçları.....	55
Çizelge 4.6 Farklı çelikler için geçerlilik testleri ve hesaplanan aşınma miktarları	56

SİMGELER DİZİNİ

RPM	Devir sayısı
F	Sürtünme kuvveti
N	Normal kuvvet
μ^s	Statik sürtünme katsayısı
μ^k	Kinetik sürtünme katsayısı
S/N	Kayıp fonksiyon değerleri
m	Ortogonal tasarımdaki deney sayısı
SST	Toplam işlem parametreleri
SSp	İşlem parametrelerinin doğru sinyallerinin etkisi
SSe	İşlem parametrelerinin hata sinyalleri
P	DeneySEL parametre
J	p parametresinin seviyesi
t	p parametresinin her seviyesinde ki tekrar sayısı
$s_{\eta j}$	p parametresinin j seviyelerindeki toplam S/N oranı
DT	Toplam serbestlik derecesi
DP	Test edilen parametrelerin serbestlik derecesi
VP	Test edilen parametrenin varyansı
Hm	Toplam ortalama S/N oranı
η_i	Optimum seviyelerindeki ortalama S/N oranı
q	Aşınma karakteristiğini etkileyen işlem parametreleri sayısı

I. BÖLÜM

TRIBOLOJİK ÖZELLİKLER

1.1 Giriş

Hiç şüphesiz her cisim bir veya birkaç cisim ile temasta olup birbirlerine göre ya hareketli veya hareketsizdir. Temasta olan ve birbirlerine göre relatif harekette bulunan iki elemanın temas yüzeyleri arasında sürtünmeyle hareketi engelleyici özelliğe sahip şiddeti sınırlı olan sürtünme kuvveti ve buna bağlı olarak aşınma, sıcaklık artışıyla enerji kaybı meydana gelir. Hareketi oluşturan kuvvetler yeterli oranda büyük olursa sürtünme kuvveti harekete engel olamaz. Hareket sonucu sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında oluşan aşınma ise karmaşık bir özelliğe sahiptir ve günümüzde önemi gittikçe artmaktadır. Makine aksamlarında oluşan aşınma, boyut değişikliğine neden olur ve onların hassaslığını bozar. Aşınma ile hassaslığı bozulan bir makinede imal edilen mamulde, istenen kalite ve hassaslıkla olmaz. Karmaşık yapıya aşınmaya sistemli bir çözüm getirilememiştir. Sanayi sektöründe hammadde kaynaklarının sınırlı olması sebebiyle aşınma ile oluşan malzeme kayıplarının azaltılması için yapılan çalışmaların artırılması ve teşvik edilmesi gerekmektedir.

Yapılan araştırmalara ve tutulan istatistiklere göre makine elemanlarının ortalama % 70'inin hurdaya ayrılma sebebi aşınmadır. Bunun sonucu olarak meydana gelen malzeme kayıpları, aşınan parçaların yenileriyle değiştirilmesi zorunluluğu, makinelerin bakım-onarım faaliyetleri için harcanan zaman ve emek ve bu faaliyetler için istihdam edilen teknik personel göz önüne alındığında her yıl milli sermayeye oldukça büyük yükler getirmektedir. Sürtünme sonucu makinelerde ortaya çıkan enerji kaybı ise hesap edilemeyecek boyutlardadır. Bu sebeple makine konstrüksiyonlarında, aşınma ve enerji kaybının önlenmesi için yağlama son derece önemlidir ve üzerinde en hassasiyetle durulması gereken bir konudur.

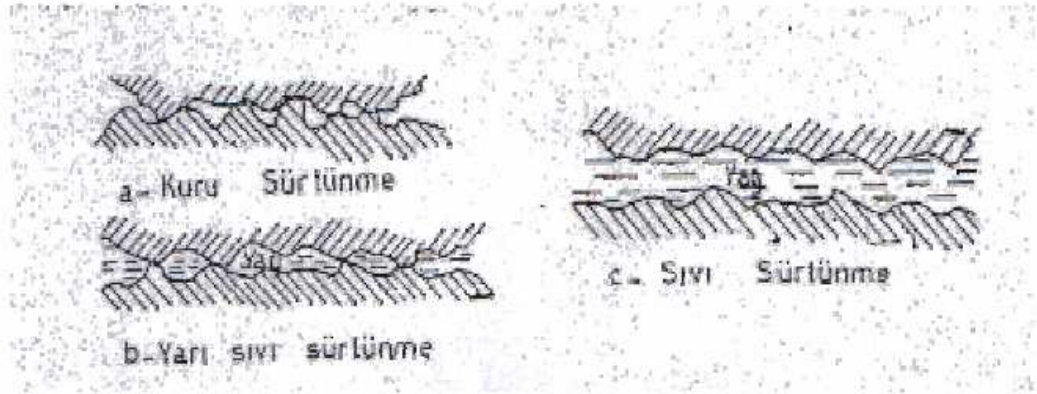
Her ne kadar Triboloji bilimi, genelde makinelerde oluşan aşınma türleriyle, minimum sürtünmeyle çalışabilecek mühendislik malzemeleri ve konstrüksiyonlarla ve aşınma ve sürtünmeyi en aza indirecek yağlama

teknolojileriyle doğrudan ilgili olsa da, özelde günlük yaşamımızda karşılaştığımız pek çok sorunla da dolaylı olarak alakalıdır. Günlük giydiğimiz elbiselerin yıpranması, bıçakların ve diğer kesici aletlerin körelmesi, toprağın erozyona uğraması, metallerin paslanması (korozyon), asfalt sokak ve yolların aşınmaya uğraması, insanların kaygan bir zeminde dengelerini kaybedip düşmeleri, karlı veya ıslak yollarda arabaların kumandalarını yitirerek kazalara neden olmaları da bu bilim dalının dolaylı olarak alanına giren gündelik sorunlardır.

Bu çalışmanın iki amacı vardır. Birinci amacı; AISI 4140 çeliği, AISI 8620 çeliği ve AISI 1050 çelik türleri için soğutma ortamının (yağ ve su) aşınma davranışı üzerine etkisini incelemek. Böylelikle çeliklerde farklı yüzey sertlikleri elde edilmektedir. Bu çalışmanın bir diğer amacı da Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak, uygulanan yük, yüzey sertliği ve aşındırıcının birim dakikadaki devir sayısı (RPM) gibi üç farklı parametrenin, üç farklı çeliğin aşınma davranışları üzerindeki etkisini incelemektir.

1.2 Sürtünme

Bir katı cismin kendisiyle temas eden başka bir katı cismin bağlı hareketine veya hareket ihtimaline karşı gösterdiği dirençtir. Birbiri ile temasta olan yüzeyler arasındaki sürtünme hareketi kayma, yuvarlanma veya bu iki hareketin bileşimi şeklindedir [1]. Bağlı hareket yapan yüzeyler arasında bağlayıcı madde konulup konulmamasına göre sürtünme kuru, sınır ve sıvı olmak üzere üçe ayrılır. Birbirlerine göre bağlı hareketle olan yüzeyler doğrudan doğruya temasta iseler kuru, yüzeyler bir yağlayıcı tarafından ayrılıyorsa sıvı, yağlayıcı yüzeyleri birbirinden tam olarak ayırmıyorsa sınır sürtünme meydana gelir [2] (Şekil 1).



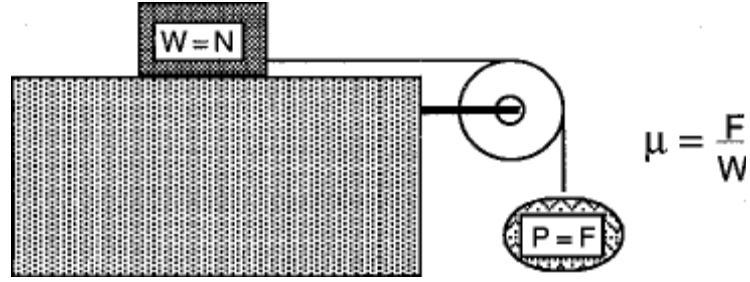
Şekil 1 Sürtünme çeşitleri [2]

1.2.1 Sürtünme Katsayısı ve Ölçümü

Sürtünme katsayısı kuru, sınır ve sıvı sürtünme koşullarında tayin edilebilir. Kuru sürtünme, temasta bulunan elemanların arasında hiçbir yağlayıcı madde bulunmadığı; sınır sürtünme, yüzeyler arasında bir yağlayıcı madde bulunduğu fakat yüzeyleri tamamen ayırmadığı; sıvı sürtünme ise yüzeyleri arasında, yüzeyleri tamamen ayıran bir yağlayıcı madde bulunduğu durumdaki sürtünme halidir. Sürtünme katsayısı ile ilgili ilk çalışmalar kuru sürtünme ve mekanik teori ile ilgilenen Leonardo Da Vinci'nin öncü çalışmaları ile başlamıştır. Da Vinci ilk defa malzeme ağırlığı ve sürtünme katsayısı arasındaki ilişkiyi 0.25 olarak belirlemiştir [3].

Sürtünme katsayısının ölçümünde, kaymayı başlatmak için F sürtünme kuvveti ve N normal kuvvet olarak iki büyüklük bulunur. Sürtünme katsayısının ilk ölçümlerinin bazıları Şekil 2'de görülen ağırlıklar ve makaralı sistem düzenlenerek yapılmıştır. 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. Statik sürtünme katsayısı (μ_s); kinetik sürtünme katsayısı ölçümü için ise, makaralı ipe bir ağırlık ilave edilir ve salıverilir. Eğer kayma durursa, sabit bir kayma hızı elde edilinceye kadar yeni bir deneme için daha fazla ağırlık uygulanır. Bu durumda son yük kinetik sürtünme kuvvetidir (F_k). Kinetik sürtünme katsayısıdır (μ_k).



Şekil 2 Statik sürtünme ölçümü için bir tasarım [4].

1.3 Aşınma

Birbiriyle temas halindeki iki cismin arasında meydana gelen bağıl hareket ile cisimlerin yüzeylerinin birbirini etkilemesi sonucu aşınma meydana gelir. Aşınma, sürtünme halinde bulunan yüzeylerde mekanik etkenler ile istenilmediği halde kopan malzeme kaybıdır. Bu şekilde, yüzeylerin ilk şekilleri bozulur, parçalar arasındaki boşluklar büyür ve amaçlanan fonksiyon normal şekilde yerine getirilemez [2].

Sürtünerek çalışan bütün makine elemanlarında kaçınılmaz olan ve karmaşık bir sistem özelliği gösteren aşınma, sanayide birçok tribolojik sistemlerde görülen korozyonun ve yorulmanın yanı sıra üçüncü büyük problemdir. Bu nedenden günümüz teknik sistemlerindeki araştırmalar sürtünmeyi ve aşınmayı azaltma ve kontrol etme çalışmaları şeklinde yoğunlaşmıştır. Sürtünmenin ve aşınmanın azaltılmasıyla malzeme kaybı önlenerek boyut hassasiyeti sağlanırken enerji israfı da önlenmiş olur. Çeşitli makine elemanlarının, mühendislik malzemelerinin kullanma ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma ömrü ilave edilememekte ve birbiri ile sürtünerek çalışan makine elemanlarının temas yüzeyleri zamanla aşınarak değişikliğe uğramaktadır [2].

Aşınma hakkında tam açıklayıcı bir tanım yapmak zor olmasına rağmen kabul edilen bir kaç tanım ise şunlardır; relatif hareket ve yüzey basıncı altında kalan iki cismin teması sonucu oluşan mekanik enerjinin tesiri ile malzeme yüzeyinden parçacıkların kopması sonucu meydana gelen malzeme yıpranmasıdır. Katı cismin yüzey bölgesinden tribolojik zorlamalar sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır [5]. Mekanik etkenler ile cisimlerin yüzeyinde zamanla oluşan malzeme kaybıdır [6].

Malzemelerde meydana gelen yıpranma olayının aşınma sayılabilmesi için aşağıdaki kriterlerin oluşması gerekmektedir.

1. Mekanik bir etkinin olması
2. Sürtünmenin olması
3. Yavaş yavaş fakat devamlı olması
4. Malzeme yüzeyinde değişiklik getirmesi
5. İstenmediği halde meydana gelmesi

Kullanılan malzemelerin sertliği aşınmayı etkilemektedir. Genellikle sertliği yüksek olan malzemeler, sertliği az olanlara göre daha az aşınmaktadır. Aşınım elemanları genel olarak malzemenin sertliği ve mukavemetlerini arttırdıkları için aşınmaya karşı dirençlerini olumlu yönde etkilemektedir.

Aşınmanın meydana gelmesi ve sürekliliği için gerekli faktörlerin tribolojik sistem içerisinde yaptığı kimyasal ve fiziksel etkilerinin iletilmesine göre yedi çeşit aşınma mekanizması vardır [7]. Bunlar;

1. Adhesiv aşınma
2. Abrasif aşınma
3. Yorulma aşınması
4. Difüzyon aşınması
5. Tribo-oksidasyon aşınması
6. Erozyon ve kavitasyon aşınması
7. Yenme aşınması

1.3.1 Adhesiv Aşınma Mekanizması

Kayma sürtünmesi yapan, metalografik yapıları birbirine benzeyen iki metalin yüzeyleri arasında adhesiv çekim kuvveti söz konusudur. Bu kuvvetin oluşması moleküllerin yaklaştırılmasına bağlıdır. Temas halindeki yüzeyler pürüzlerle etkileştiklerinden, metal ağırlığı veya etkiyen bir kuvvet, temasta olan çok küçük pürüz tepelerine çok yüksek basınç olarak etkir. Bu basınç, yani bu noktadaki gerilme pürüzlerin akma sınırını aşınca plastik deformasyona, pürüzlerin birbirini çizmesine, yarmasına ve sıvanıp kaynaklaşmalarına neden olurlar. Ayrıca pürüzlerin deformasyonu ile oluşan mikro adhesiv temas yüzeyi

boyunca yayılır. Çiftin karşılıklı hareket etmesi halinde de yüzeyde bulunan absorbe olmuş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanarak aşınma çiftinde soğuk kaynaklaşmayı oluşturur. Kayma hareketi sırasında bu noktalar koparak yenme ve aşınmaya neden olurlar. Bu tip malzeme kaybı adhesiv aşınmayı oluşturur [6, 7]. Yapılan deneysel çalışmalar; birçok kayma şartlarında adhesiv aşınmanın temel aşınma mekanizması olarak ortaya çıktığını göstermektedir [8].

1.3.2 Abrasif Aşınma Mekanizması

Çok hızlı bir şekilde gelişen, etkisini anında belli eden ve çok yüksek aşınma hızına sahip olan ve de sistemin hasarına sebep olacak şekilde gelişen bir aşınma türüdür. Abrasif aşınma, yük altında ve hareket eden sert parçacıklar veya sert çıkıntılar tarafından bir katı yüzeyinde meydana getirilen aşınmadır [9].

Aşınma oranı, tortu, kirlilik ve hareket eden parçacıkların abrasif özellikleriyle ilgilidir. Aşınma, aşınma parçacıklarının oranına, şekillerine, sertliklerine dinamik mukavemet ve aşınmaya maruz kalan malzemelerin fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlıdır [10].

Abrasif aşınma, iki cisimli ve üç cisimli olmak üzere iki şekilde meydana gelir. İki cisimli abrasif aşınma, sert ve pürüzlü bir yüzeyin kendinden daha yumuşak bir malzeme ile temas ettiği durumda, kuvvet ve basıncın etkisiyle yumuşak malzeme yüzeyinde oluşan çizilme ve küçük parçacıkların kaldırılması suretiyle meydana gelen deformasyondur. Üç cisimli abrasif aşınma metal-metal sürtünmesi durumunda adhesiv veya iki cisimli abrasif olarak başlayıp üç cisimli abrasif aşınma olarak devam eder. Bu aşınma, iki metal arasına sert tanecikler girerek, malzeme yüzeyinde çizikler oluşturarak aşınmayı meydana getirir. Araya giren tanecikler toz, kum, mikro taşlar ve parçalanmış oksit tabakaları v.b. olabilir. Üç cisimli abrasif aşınmanın aşınmayı hızlandığı tespit edilmiştir. Bu nedenle sert malzemelerin araya girmesine engel olunmalıdır [11]. Düzensiz şekilli aşınma partiküllerinin artışında önemli bir kavram olarak kabul edilmiştir. Elastik ve plastik gerilmenin bir fonksiyonu gibi sürtünme alanı yüklerle birlikte deformasyona sebep olacaktır. Bağlanmada oksidasyon derecesi ve malzemenin doğal yapısının derecesi prensipte sürtünme alanı ile ilgilidir. Eğer maddelerin

sürtünmeleri aynı ise, bağlanma ortak yüzeydeki pürüzlerle kolaylaşır ve deformasyon eşit olur. Mikro yapıda karbür gibi sert faz varsa karşı yüzeyi abrasif aşınma ile aşındırabilir, bu yumuşak fazların oyuklaşmasına sebep olur. Sert makine çeliklerindeki yıpranma iki malzemeye ilişkin karbür alanı etki eder. Karbür alanına ikinci malzemede küçük ve düzenli yayılmışsa; bu küçük ortak karbür alanlara sahip olan çalışan yüzeyde pürüzlülüğe sebep olur. Karbür alanı çalışan yüzeyde, ikinci malzemede daha küçük ise çalışan yüzeyde yıpranma artar. Bir malzemenin diğer bir malzeme tarafından önemli ölçüde aşındırılması için ikinci malzemedan çok daha yumuşak olması gerekir. Bu sebeple abrasif aşınmayı minimuma indirmek için aşınmaya uğrayan malzemenin diğer malzemeye göre çok daha sert olması istenir. Bu özellik değişik metotlarla sağlanabilir [12].

Metotlar şunlardır;

1. Alaşımlama ile malzemelerin sertlikleri iyi bir şekilde artırılabilir.
2. Isıl işlem uygulamaları malzemenin sertlikleri önemli ölçüde değiştirebilir.
3. Malzemenin yüzeylerine dışarıdan müdahale ederek sert yüzey tabakası oluşturulabilir.

1.3.3 Yorulma Aşınması

Makine parçalarında tekrarlanan yüklerden veya düşük genlikli titreşimlerden dolayı zamanla yorulma meydana gelir. Özellikle yüzeylerin sürekli ve değişken yüklere maruz kalmaları, yüzeyin hemen altında yorulma çatlakları oluşmasına neden olur. Bu mikro çatlaklar zamanla ilerleyerek, malzemenin yüzeyinden pulcuk şeklinde parçaların kopmasına sebep olur. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya yorulma aşınması denir [7].

1.3.4 Difüzyon Aşınması

Birbiriyle temas halinde bulunan yüzeyler arasında sürtünmeden dolayı bir sıcaklık yükselmesi ile birlikte temas yüzeyinde bulunan atomların kristal kafes içinde yoğunluğu yüksek olan bölgelerden düşük olan bölgelere doğru hareket ederek difüzyon meydana gelir. Yapılan araştırmalarda pullanmayı başlatan çatlağın bazen yüzeyde bazen de yüzeyin altında kendini gösterdiği tespit edilmiştir [13].

1.3.5 Tribo-oksidasyon Aşınması

Temas yüzeylerinde en az birinin çalışma ortamında korozyona uğraması ve izafi hareket sebebiyle meydana gelen korozyon tabakasının ve bunun devamlı olan tekrarı ile meydana gelen aşınmadır.

Malzemenin izafi hareketi sırasında statik ve dinamik sürtünme kuvvetlerinin farklılık göstermesi sebebiyle düşük kayma hızlarında yüzeyler arasında titreşimler meydana gelir. Bu titreşimler yüzeyler arasında bir oksit filminin oluşmasına yol açar. Bu olay tribolojik zorlanma esnasında meydana gelir [7].

Sürtünen elemanlar arasında oluşan oksit tabakası ana malzemenin aşınma direncini önemli ölçüde etkiler. Meydana gelen oksit filmi adhesiv aşınmaya karşı direncini arttırmasına rağmen, izafi hareketin devam etmesiyle birlikte, parçalanmış oksit filmi malzemeler arasında aşındırıcı tane oluşturarak abrasif aşınmayı hızlandırır.

1.3.6 Erozyon ve Kaviteasyon Aşınması

Erozyon, ortam ile malzeme yüzeyi arasındaki hızın çok yüksek olması nedeniyle meydana gelen bozunma olayı olarak tarif edilebilir. Gaz ve sıvı ortamında taşınan abrasif tanelerinin yüzeye belli bir açıda çarpmasıyla oluşan enerji, katı cismin basınç mukavemetini aştığı zaman, cismin yüzeyinde plastik deformasyon meydana getirerek yüzeyde kırılmalara sebep olur. Bunun sonucu yüzey aşınır. Bu şekilde meydana gelen aşınmaya erozyon aşınması denir. Aşındırıcı parçaların hızı, şekli, büyüklüğü, sertliği ve çarpma açısının değeri erozyon aşınma mekanizmasını etkileyen önemli faktörlerdir [14].

Kaviteasyon aşınması, izafi hareket halinde bulunan sıvı ile katı bir cisim arasında meydana gelir. Sıvı içerisinde bulunan zerreciklerin, basıncı buharlaşma basıncından daha küçük bir ortamda geçerken, zerreciklerin büyümesi ve patlamasıyla oluşan basınç dalgalarının katı cisim yüzeyine çarpması sonucu kaviteasyon meydana gelir [7].

1.3.7 Yenme Aşınması

Yenme aşınma mekanizması, adhesiv aşınma mekanizmasına benzemektedir. Birbirine kuvvetle bastırılan iki metalin yüzeyinde düşük genlikli

titreşim hareketinden dolayı, yüzeylerde bulunan pürüzler yüzeyden koparak aşınmayı meydana getirirler. Yüzeyden kopan bu parçacıklar oksitlenerek aşındırıcı tane haline gelir ve aşınma miktarını arttırır. Kuvvetli etkileşimden dolayı, temas noktalarında gerilme yığılmaları meydana gelerek titreşim artar. Bu nedenle yüzeyde yorulma çatlakları artarak zararın artmasına neden olur [7].

1.3.8 Aşınma Test Yöntemleri

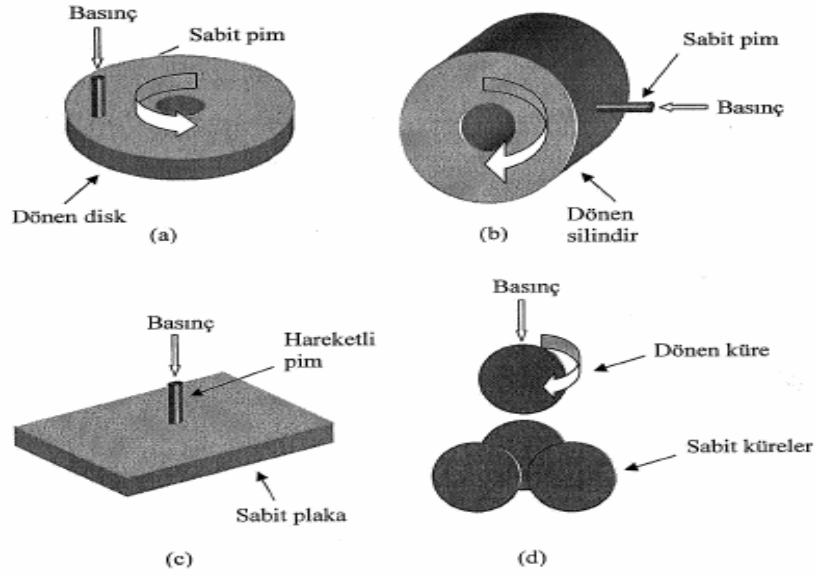
Sürtünme ve aşınma karakteristiklerinin belirlenmesinde uygulanan birçok yöntem vardır. Tribolojik davranışın tespit edilmesinde uygulanan birçok yöntemlerden bazıları Şekil 3. de verilmiştir.

Sertleştirilmiş bir çelik malzemeden yapılmış dönen bir disk üzerindeki genellikle silindirik olarak üretilmiş test numunesinin değişik yükler ve kayma hızlarında sürtünme kayma aşınmasının test edildiği disk üzerinde pim aşınma yöntemi, Şekil 3.a' da verilmiştir.

Sertleştirilmiş bir malzemeden yapılmış yatay konumda dönen silindir eksenini doğrultusunda basınç altında temas ettirilerek pim veya blok şeklindeki numunenin aşınma davranışlarının incelendiği silindir üzerinde pim veya blok silindir üzerinde blok aşınma yöntemi Şekil 3.b' de yer almaktadır.

Yatay konumundaki sabit bir plaka üzerinde dikey bir konumda üzerine basınç uygulanarak doğrusal sıralı hareketler ile aşınma davranışının test edildiği plaka üzerinde sıralı hareket eden pim aşınma yöntemi (Şekil 3.c).

Sabit duran üç küre üzerinde, üzerine basınç uygulanarak döndürülen dördüncü bir küre numunenin aşınma davranışının ölçüldüğü tek yönlü aşınma yöntemlerini kapsamaktadır (Şekil 3.d).



Şekil 3 Bazı aşınma yöntemleri a) Disk üzerinde pim, b) Silindir üzerinde pim, c) Plaka üzerinde hareket eden pim, d) Tek yönlü aşınma yöntemleri [2].

1.4 Parametrelerin Optimizasyonu

Malzemelerin aşınma davranışları incelemek önemli bir alan olup, iki malzemenin birbirlerine temas ettiği durumları gerektiren makine parçalarının ve talaşlı imalatta kullanılan takımların üretiminde önemli bir yer tutmaktadır. Abrasif, adhesive gibi birçok aşınma çeşidi olmasına rağmen, adhesive aşınmada çeşidi de abrasif aşınma kadar önemlidir. Malzemelerin aşınması, malzeme özelliklerine, aşınan/aşındırıcının geometrik şekline, çalışma koşullarına ve çevresel etkiler gibi birçok faktöre bağlıdır. Bunlarla birlikte, özellikle bazı mekanik özellikler çekme dayanımı, elastisite modülü, sertlik, çalışma sertleşmesi, mikro yapı ve kopma gerilimi gibi parametreler de malzemenin aşınması üzerinde etkilidir [15-22]. Araştırmalar özellikle malzemenin aşınma kalitesinin artırılması yönünde daima devam etmektedir.

Çok çeşitli çalışmalar (deneysel ve teorik) demir esaslı malzemelerin aşınma davranışları üzerine devam etmektedir. Aşağıda bu konuyla ilgili çalışmalar literatür incelenerek raporlanmıştır. Estaban ve ark (2003) faktoryel deneysel tasarım metodunu kullanarak, kaplamasız Ni ve yüzeyi WC kaplı Ni metalinin abrasif aşınma davranışını incelemişler [16]. Ni metalinin yüzeyinin

WC ile kaplanmasıyla aşınma direncinin çok arttığını ve aşındırıcı tane büyüklüğünün abrasif aşınma üzerinde son derece etkili olduğunu göstermişler. Ayrıca, NiCrBSi alaşımın yüzeyini WC ile kaplanmasıyla aşınma direncinin arttığını belirlemişler. Zhang ve ark. (1993) kompakt grafitli dökme demirin aşınma dayancının gri ve sünek (ductile) dökme demirinkinden daha iyi olduğunu ortaya koymuşlardır [23]. Liu ve Li (2001) Modifiyeli Archard eşitliğini kullanarak bazı malzemelerin sertlik, elastik modülü ve pseudoelastisite özelliklerine bağlı olarak aşınma miktarını teorik olarak tahmin etmişlerdir [24]. Bu çalışma ile modifiyeli aşınma eşitliğinin aşınma miktarını çok daha doğru olarak hesaplandığını, özellikle yüksek elatisite modülüne ve pseudoelastisiteye sahip malzemeler için kullanılabilir olduğu ispatlanmıştır. Ueda ve ark. (2002) birbirine temas eden iki silindirin aşınma dirençleri üzerinde çalışmışlar [25]. Silindirler farklı iki karbon miktarlarına sahip (0.8 ve 1.0 %C) çeliklerdi. Çelik bileşimindeki karbon miktarı arttıkça mikro yapıdaki perlitik fazın arttığı böylelikle çeliklerin teması ile çalışma sertleşmesinin arttığı bunun sonucunda aşınma direncinin arttığını ortaya koymuşlardır. Selcuk ve ark. (2003) düşük karbonlu (AISI 1020)ve alaşımlı (AISI 5115) çeliklerin yüzeylerine karbonitrüleme ve borlama ısıl işlemi uygulamışlar [26]. Bu malzemelerin sürtünme ve aşınma davranışlarını karakterize ederek, sonuçları karşılaştırmışlardır. Bu çalışma sonucunda, borlama yüzey işlemi yapılmış çeliklerin düşük yükler altında mükemmel aşınma direncine sahip olduklarını ortaya koymuşlardır. Cueva ve ark (2003) fren disklerinde kullanılan üç farklı gri dökme demir ile kompakt grafitli dökme demirin aşınma dirençleri üzerinde çalışmışlar [27]. Kompakt grafitli dökme demirin çalışma yükleri altında daha az aşınma direncine sahip olduklarını göstermiştir. Ceschini ve ark (2006) toz metalürjisi tekniği ile üretilen Fe-C-Me (Me=Cr ve Mo) çeliklerin, sinterleme koşullarının sürtünme ve aşınma davranışları üzerine etkisini incelemişler [28]. Bileşimin ve sinterleme koşullarının aşınma direnci üzerinde çok önemli rol oynadığını ve Fe-C-Mo'li çeliklerde Mo miktarının artmasıyla mikro yapıda beynitik yapının arttığını ve aşınma direncinin çok daha iyileştiğini deneysel

olarak ispatlamışlar. Sert ve ark (2006) GGG50 nodüler dökme demirin aşınma direncinin Ck45 çeliğinkinden daha iyi olduğunu ortaya koymuşlar [29].

Jacobson ve ark (1988) abrasive tipi aşınmanın başlarında aşındırıcının yüzey tane büyüklüğünün (grit size) etkisini matematiksel bir model oluşturarak göstermiştir [30]. Basavarajappa ve ark. (2007) Al/SiCp ve Al/SiCp–Grafit kompozit malzemelerin aşınma davranışlarını, Taguchi deneysel tasarım metodu kullanarak modellemiş ve modelinde aşınma parametreleri olarak, uygulanan yük, kayma hızı ve kayma mesafesini kullanmıştır. Al/SiCp–Grafit kompozit malzemesinin aşınma direncinin yüksek olduğunu tespit etmişler. Bunun sebebi olarak; aşınma esnasında kopan grafit parçacıklarının malzemenin yüzeyine yapışarak koruyucu bir film tabakası oluşturması ve kaymanın kolay olmasını sağladığını göstermişlerdir. Buna ilaveten kayma mesafesinin her iki kompozit malzemesi için malzeme kaybında en önemli parametre olduğunu tespit etmişlerdir [31]. Aşınma kaybının uygulanan yük ile arttığı ancak çevresel etkiler dikkate alındığında bu eğilim belirsizleşmektedir. Faktoryel deneysel tasarım metoduyla, Al₂O₃/SiCp kompozit malzemesinin aşınma davranışı Şahin (2000) tarafından incelenmiştir [32]. Uygulama yükü, kayma mesafesi (sliding distance) ve aşındırıcı tane büyüklüğü deneysel tasarımda parametre olarak ele alınmıştır. Aşındırıcı olarak SiC ve Al₂O₃ zımpara kâğıdı kullanılmış ve abrasif aşınma farklı kayma koşulları altında gerçekleştirilmiştir. SiC zımpara kâğıdı kullanılarak yapılan aşınma durumunda; aşındırıcı tane büyüklüğünün artmasıyla, uygulanan yükün artmasıyla ve kayma mesafesinin artmasıyla, matriks ve kompozit malzemenin aşınma hızları artmakta. Ancak, Al₂O₃ zımpara kâğıdı kullanılarak yapılan aşınma durumunda; aşındırıcı tane büyüklüğü ve uygulanan yükün artmasıyla aşınma hızının artarken, kayma mesafesinin artmasıyla aşınma hızının azaldığı tespit edilmiştir. Sahin (2006) üç farklı çeliğin aşınma davranışını Taguchi metodunu kullanarak modellemiş ve modelinde aşındırıcı tane büyüklüğü, uygulama yükü ve kayma mesafesinin aşınma davranışı üzerine etkisini incelemiştir [20]. AISI 1340 çeliğinin aşınma mekanizmasında, aşındırıcı tane büyüklüğünün en önemli faktör olduğunu ve bunu sırasıyla kayma mesafesi ve uygulanan yükün önemli parametreler olduğunu göstermiş. Ancak, AISI 1020

ve AISI 5150 eliklerinin aşınma mekanizmasında, kayma mesafesinin birinci sırada olduğunu tespit etmiştir.

Yukarıda verilen literatür çalışmasından anlaşılacağı üzere, malzemelerin aşınma davranışı üzerine hem deneysel hem de istatistiki ve matematiksel çalışmalar yapılmaktadır. Ayrıca Taguchi Deneysel Tasarım Metodu, basit, etkili ve sistematik yaklaşımıyla aşınmaya etki eden parametrelerin optimizasyonunda kullanılabilen bir deneysel tasarım metodu olduğu görülmektedir [32–36].

Daha önce belirtildiği gibi, bu çalışmanın bir diğer amacı da Taguchi deneysel tasarım metodu kullanılarak, uygulanan yük, sertlik ve aşındırıcının birim dakikadaki devir sayısı (RPM) gibi üç farklı parametrenin, üç farklı çeliğin aşınma davranışları üzerindeki etkisini incelemektir. Ayrıca, Varyans analizi yapılarak, doğrulama (confirmation) deneyleri yapılacaktır.

II. BÖLÜM

ÇELİK TÜRLERİ VE ALAŞIM ELEMENTLERİN ÇELİKLERE ETKİSİ

2.1 Alaşım Elementlerinin Çeliklere Etkileri

Maksimum % 2,06 karbon içeren demir karbon alaşımları çelik olarak adlandırılır. Çelikler halen günümüzde en yaygın kullanılan malzeme grubunu oluşturmaktadır. Çelikler yalnız karbonlu olabileceği gibi, çeşitli özelliklerin geliştirilebilmesi için bazı alaşım elementleri içerebilirler. Çelik bünyesinde bulunan elementler; istenerek katılan alaşım elementleri ve bunların yanında uzaklaştırılmak istenen, özelliklere kötü yönde etkili elementlerdir. Çeliklerin alaşım elementleri ve etkileri şunlardır:

Karbon (C):

Çeliklerin temel alaşım elementi olan karbon, çeliklerin üretim işlemleri sırasında yapıdaki yerini alır. Karbon miktarı, çeliklerin mekanik özelliklerini en çok etkileyen faktördür. Karbon, çeliğin akma ve çekme mukavemetini artırır, yüzde uzamayı, şekillenebilirliği ve kaynak kabiliyetini azaltır. İşlenebilirliğin ön planda olduğu çeliklerde karbon miktarı düşük tutulmalı, dayanım değerlerinin yüksek olması gerektiği durumlarda ise çeliğin karbon içeriği yüksek olmalıdır.

Düşük karbonlu yumuşak çeliklerin şekillendirilmesi sırasında meydana gelebilecek en önemli problem mavi gevrekliktir. Bu olay karbon (ve/veya azot) atomlarının küçük çaplı olması nedeniyle kolay yayınmalarından kaynaklanır ve işleme sırasında kırılmalık yaratır.

Mavi Gevreklik: Yumuşak çelikler 270–350 °C arasında şekillendirilirse küçük çaplı atomlar hızlı bir şekilde yayılır. Yayınan atomlar dislokasyonları kilitleyerek malzemenin akma sınırı noktasını yükseltir. Dolayısıyla malzeme daha gevrek davranır. Sözü edilen sıcaklıklar arasında çeliğin aldığı renk mavi olduğu için bu olaya mavi gevreklik denir.

Mangan (Mn):

Mangan da karbon gibi üretim işlemlerinde çelik yapısında yer alan bir elementtir ve çeliğin dayanımını arttıran etki gösterir. Bunun yanında sertleşebilme ve kaynak kabiliyetini de artırır, östenit kararlaştırıcı bir elementtir.

Manganın en önemli özelliği kükürtle MnS ve MnO bileşiği yapması ve demir kükürt ile demir oksit bileşiği oluşumunu engellemesidir.

Silisyum (Si):

Silisyum oksijen giderici olarak kullanıldığı için çelik içinde yer alır. Çeliğın akma, çekme dayanımını ve elastikiyetini artırır. Çelik yapısındaki silisyum miktarı azaldıkça tufal yapma oranı artar.

Silisyum ucuz bir alaşım elementidir, yaygın olarak yüksek elastikiyet gerektiren yay çeliklerinde kullanılır. Ayrıca elektriksel akım zayıyatını önleyen bir elementtir.

Silisyum miktarı fazla olan filmaşınler çok küçük çaplara indirilmeleri zordur. Çünkü silisyum, malzeme tel haline getirilirken teli sertleştirir ve kopmalara neden olur.

Fosfor (P):

Fosfor çeliğın akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve eğme özelliklerini çok fazla kötüleştirir, soğuk kırılmalık yaratır, talaşlı şekillendirme kabiliyetini artırır. Fosfor çelik içinde üretim işlemlerinden kalan bir elementtir ve istenmeyen özellikleri nedeniyle mümkün mertebe yapıdan uzaklaştırılır.

Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum fosfor miktarı % 0.045, asal ıslah çeliklerinde ise % 0,035'dir.

Kükürt (S):

Akma ve çekme mukavemetine etkisi yok denecek kadar azdır. Fakat malzemenin yüzde uzamasına ve tokluğuna etkisi çok fazladır. Kükürt malzemenin tokluğunu ve sünekliğini önemli ölçüde azaltır. Ayrıca kaynaklanabilirliğı kötü yönde etkiler. Kükürt demirle birleşerek FeS fazını oluşturur. Bu faz düşük ergime sıcaklığına sahip olduğu için haddeleme sıcaklığında ergiyerek sıcak kırılmalığa sebep olur. Bu olumsuz etki kükürdün manganla birleşmesi sağlanarak önlenir.

Kükürt çelik içinde çeliğın üretiminden kalan bir elementtir ve yukarıda belirtilen istenmeyen özellikleri nedeniyle yapıdan mümkün mertebe uzaklaştırılır. Sadece talaşlı şekillendirilmeye uygun otomat çeliklerinde kükürt miktarı yüksek tutulur.

Kaliteli ıslah çeliklerinde maksimum kükürt miktarı % 0.045, asal ıslah çeliklerinde ise % 0,035 dir.

Krom (Cr):

Krom paslanmaz çeliklerin temel alaşım elementidir. Krom, korozyon ve oksidasyon direnci sağlar. Sertleēebilme kabiliyetini artırır. Yüksek karbonlu çeliklerde aşınma direncini yükseltir. Krom karbon ile tane sınırlarında biriken $Cr_{23}C_6$ bileēini oluşturur. Oluşan bu bileēik paslanmaz çeliklerde tane sınırlarındaki krom miktarını paslanmazlık sınırı olan % 12 nin altına çeker. Bu bileēik yüksek sıcaklıklarda karbon yayınının hızlanması ile kolayca meydana gelir ve kaynaklı paslanmaz çeliklerde, kaynak dikişi yakınlarında kaynak bozulmalarına neden olur.

Nikel (Ni):

Nikelin darbe tokluğunu ve tavlı çeliklerde dayanımı artırır. Nikel östenitik paslanmaz çeliklerin kromdan sonra ikinci en önemli alaşım elementidir. Östenitik paslanmaz çeliklerde ki nikel miktarı % 7–20 arasındadır. Nikel östeniti kararlaştırıcı bir elementtir ve östenitik paslanmaz çeliklerin, adından da anlaşılacağı gibi oda sıcaklığında bile kafes yapısı KYM'dir. KYM kafes yapısı östenitik paslanmaz çeliklere yüksek Őekillendirilebilme özelliği kazandırır.

Molibden (Mo):

Tane büyümesini önler, sertleēebilme kabiliyetini artırır. Meneviş gevrekliğini giderir. Meneviş sıcaklığından yavaş soğumalarda bazı alaşımların tane sınırlarında karbür çökmesi meydana gelir, bu da kırılganlığa neden olur. Molibden bu olumsuz etkiyi ortadan kaldırır. Ayrıca molibden çeliklerin sürünme dayancını ve aşınma direncini yükseltir. Alaşımlı takım çeliklerinde önemli bir alaşım elementidir.

Paslanmaz eliklerde özellikle oyuklanma korozyonunu engellediği için korozyon direncini önemli ölçüde artırır.

Bazı mikro alaşımlı çeliklerde nitrür veya karbonitrür oluşturan alaşım elementi olarak molibden kullanılır.

Kobalt (Co):

Alaşımlı takım çeliklerinde kullanılan bir alaşım elementidir. Takım eliklerinin sıcakta sertliğini muhafaza etmesi için kullanılır.

Tungsten (W):

Aşınma direncini artıran, sıcakta sertliğin muhafazasını sağlayan bir alaşım elementidir. Özellikle hız çeliklerinde olmak üzere alaşımlı takım çeliklerinde yaygın olarak kullanılan bir alaşım elementidir.

Vanadyum (V):

Tane küçültme etkisi yaparak çeliklerin akma ve çekme dayanımlarını oldukça artırır. Ayrıca sertleēebilme kabiliyetini artırır, meneviēleme ve ikinci sertleēmede olumlu etkileri vardır. Alaşımlı takım çeliklerinde kullanım yeri olan bir alaşım elementidir.

Vanadyum, tane küçültücü ve karbür yapıcı etkisi ile mikro alaşımlı çeliklerde niyobyum ve titanyum ile birlikte kullanılan bir mikro alaşım elementidir. Mikro alaşımlı çeliklerde alaşım elementleri toplamı % 0,25 i geçmez. Bu elementler tek, ikili ve üçlü kompozisyonlar halinde mikro yapı içerisinde oluşturdukları karbonitrür okelteleri ile tane boyutunu inceltmelerinin yanı sıra okelti sertleēmesi mekanizmasıyla dayanımı artırır.

Titanyum (Ti):

Vanadyum gibi tane küçültücü etkisi vardır. Ancak bu etkisi vanadyumun etkisinden daha yüksektir. Mikro alaşımlı çeliklerde mikro alaşım elementi olarak kullanılır. Ayrıca paslanmaz çeliklerde krom karbürün olumsuz etkisini giderebilmek için karbür oluşturucu alaşım elementi olarak kullanılır.

Niyobyum (Nb):

Mikro alaşımlı çeliklerde tane küçültme etkisi en yüksek olan mikro alaşım elementidir. Paslanmaz eliklerde titanyumun yaptığı etkiyi yapar ve titanyumla birlikte veya tek başına kullanılır.

Alüminyum (Al):

Oksijen gidermek için kullanılır. Akma dayanımını ve darbe tokluğunu arttırıcı etki gösterir. Yüksek alüminyum miktarı sürekli dökümlerde nozul tıkanmalarına sebep olur.

Ayrıca alüminyumun tane küçültücü etkisi vardır, nitrasyon çeliklerinin temel alaşım elementidir. Bazı mikro alaşımlı çeliklerde de nitrür ve karbonitrür oluşturan mikro alaşım elementi olarak da kullanılır.

Kalay (Sn):

Akma ve çekme dayanımlarını pek etkilemez, fakat sıcak haddelemelerde sorunlar yaratır. Kalay düşük ergime sıcaklığına sahip bileşikler yaparak haddeleme sırasında kopmalara neden olur.

Bakır (Cu):

Akma ve çekme dayanımını artırır, yüzde uzamayı ve şekillenebilirliği azaltır. Soğuk çekilebilirliği kötü yönde etkiler. Korozyon direncini yükselten etki gösterir.

Kurşun (Pb):

Haddelenebilirliği azaltır. Haddeleme esnasında kopmalara neden olur, yüzey kalitesini olumsuz yönde etkiler. Sürekli dökümlerde sorunlara sebebiyet verir. Kurşun çeliklerin talaşlı şekillendirme kabiliyetine artırır, bu yüzden otomat çeliklerinde alaşım elementi olarak kullanılır.

Azot (N):

İstenmeyen bir elementtir. Azot kırılgenliğine neden olur, eğme özelliklerini çok kötüleştirir.

2.2. İslah Çeliği

İslah çelikleri, kimyasal bileşimleri özellikle karbon miktarı bakımından, sertleştirilmeye elverişli olan ve ıslah işlemi sonunda belirli bir çekme dayanımında yüksek tokluk özelliği gösteren, alaşımsız ve alaşımlı makine imalat çelikleridir [9]. İslah çeliklerinin çeşitleri ve kimyasal bileşimlerine göre 4 ana grupta toplanabilirler.

- * Alaşımsız ıslah çelikleri
- * Mangan alaşımlı ıslah çelikleri,
- * Krom alaşımlı ıslah çelikleri,
- * Krom-molibden alaşımlı ıslah çelikleri.

Islah elikleri, ıslah işlemi sonunda kazandıkları üstün mekanik özelliklerinden dolayı, çeşitli makine ve motor parçaları, dövme parçalar, çeşitli cıvata, somun ve saplamalar, krank milleri, akslar, kumanda ve tahrik parçaları, piston kolları, çeşitli miller, dişliler gibi parçaların imalinde olmak üzere geniş bir alanda kullanılırlar. Bu sebepten, ıslah çelikleri inşaat ve alaşımsız çeliklerden sonra, en yüksek oranda üretilen ve kullanılan elik türleridir. Uygun ıslah çeliğinin seçimi ve doğru ıslah işleminin uygulanması çok dikkat ve tecrübeyi gerektirir. Islah işleminin iyi sonuç vermesi (istenilen tokluk veya sertlik değerine ulaşılması), kullanılan çeliğin içyapı temizliğiyle yakından ilgilidir. İçyapı temizliği, sıvı çeliğin bünyesinde erimiş halde bulunan gazlardan (hidrojen, oksijen ve azot) arındırılması ve oksit, sülfür inkluzyonlarından temizlenmesi işlemidir.

2.2.1 Islah İşlemi

Islah etme, iş parçalarına ve yapı elemanlarına büyük dayanım, yüksek bir akma sınırı yüksek süneklilik ve ayrıca plastiklik kazandıran bir işlemdir. nce bir sertleştirme ve arkasından meneviş (genellikle yüksek sıcaklıktaki meneviş) olayları, birbiri peşi sıra uygulandığında Islah işlemi olarak adlandırılır. Islahta seçilen meneviş sıcaklıkları, sertleştirilmiş duruma nazaran sertlikte önemli ölçüde düşme yapar. Islah işlemi, yalnızca konstrüksiyonlarda kullanılan yapı çeliklerine (ıslah çelikleri) değil, bazı takım çeliklerine de uygulanabilir. Uygun ıslah işlemi yapabilmek için, sertleştirme sıcaklığının doğru seçilmesi gerektiğinden, çeliğin karbon miktarı ve alaşım durumu tam bilinmelidir. Malzemede mevcut i gerilmelerin ısınmada sakınca yaratmaması için, çeliğin ostenitleştirme sıcaklığına ısıtılması, dikkatlice yapılmalıdır. Sertleştirme ncesi, gerilim giderme ya da normal tavlama yapılması yararlıdır. Islah etme işleminde, alaşımsız ve alaşımlı çelikler kullanılır. Alaşımsız ıslah çelikleri, % 0,2 ila % 0,6 karbon; alaşımlı ıslah çelikleri ise ilave olarak bir miktar nikel, krom, molibden veya mangan içerir. Islah etme suretiyle erişilebilen dayanımlar, alaşımsız eliklerde 1000 N/mm^2 'ye kadar, alaşımlı çeliklerde ise 1400 N/mm^2 'ye kadar çıkar. Aşırı zorlamalara maruz kalan örneğin akslar, miller, dişli çarklar ve cıvatalar gibi makine elemanları ıslah edilir [14].

2.3 Sementasyon Çeliği

Sementasyonla sertleştirme işlemi makine yapımında yüzey sertliğinde aşınma dayanımında ve sürekli dayanımında artma yaptığı gibi, çekirdek dayanımını ve sünekliğini iyileştirdiği için çok yaygın olarak kullanılır. Böylece büyük kuvvetler taşınabilir ve darbe tarzındaki yükler kırılma olmadan karşılanabilir.

Sementasyonla sertleşebilen takım çelikleri çok iyi parlatılabilir. Sementasyon çeliklerinde karbon miktarı genel olarak % 0,1–0,2 arasındadır. Ancak bazı türlerde % 0.25'e kadar çıkabilir. Alaşimsız ya da düşük alaşımlı olabilirler. Alaşimsız olanlar kaliteli çelik (P ve S her biri max. % 0.045) ve asal çelik (P ve S her biri % 0.035) olarak üretilirler.

Alaşımlı Sementasyon çelikleri Cr, Mn-Cr, Mo-Cr, ve Cr-Ni'li olarak gruplara ayrılırlar. Sünekliği ve çekme dayanımı iyi olan Ni-Cr çelikler TS ve DIN standartlarından çıkarılmıştır. Makine yapımında kullanılan sementasyon çelikleri ve semente edilebilen otomat çelikleri semente (karbon verme) işleminden önce karbon miktarı % 0,1–0,2 arasında; semente işleminden sonra merkezde % 0,8 civarındadır.

Sementasyon çeliklerinin kaynak edilebilirliği oldukça iyidir. Tavlanmış şekilde alaşimsız çelikler ergitme ile iyi kaynak edilebilirler. Alaşımlı sementasyon çeliklerinde ise ön ısıtma ve kaynaktan sonra tavlama gerekir. Talaşlı şekillendirme çelik yapısına bağlıdır. En iyi talaşla şekillendirme, kaba tane tavlama ve normal tavlama.

2.3.1 Sementasyon İşlemi

Önce yüzeye karbon emdirmek, sonra sertleştirmek ve menevişlemekten oluşan ısıtma işlemler toplamına verilen isimdir. Karbon emdirmek için parça karbonca zengin bir ortamda 950°C ısıtılmış bir fırında istenen sertlik derinliğince belirlenmek kaydıyla ortalama 6 saat tutulur. Buradan direk yağa veya suya atılabileceği gibi soğuma sonrası yeniden ısıtılıp soğuma ortamına bırakılabilir. Bu noktada yüzey % 0.60, göbek % 0.20 karbon içerdiğini varsayarsak iki unsur dikkate alınmalıdır.

1. Yüzeyin ulaşabileceği max sertlik 62 HRC iken göbeğin ulaşacağı max sertlik 45 HRC olacaktır.
2. Yüzeyin ostenit dönüşüm sıcaklığı 840°C iken göbeğin ostenit dönüşüm sıcaklığı 900°C olacaktır.

Bu iki veri değerlendirilerek ya direkt sertleştirme ile max göbek max yüzey sertliği oluşturulabileceği gibi, karbon emdirme sonrası oda sıcaklığına yavaş bir hızla soğutulup, 860°C tekrar ısıtılarak su verildiğinde göbek en yumuşak iken yüzey en sert olabilecektir. Bunlardan biri veya bu uç noktaların arasındaki bir seçim nihai kullanımda parçadan beklentiler göz önüne alınarak seçilmektedir.

III. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1 Giriş

Bu çalışma iki aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada; aşınma, temas geometrisi, malzeme çifti, ara eleman aşınma çeşidi gibi tribometrik seçeneklerin çok fazla olması, etkileşim faktörlerinin sınırlı sayıda tutulması, aşınma üzerine yapılan çalışmaların da çok nitelikli olmasına meydan vermiştir. Bu nedenle değişik bir çalışma olması bakımından, birçok faktörün ele alındığı, bir dizi aşınma deneyi yapılmıştır.

Bu deneyler için teknik verileri şöyle sıralayabiliriz;

- Deneylerde teknik kuru sürtünmeli pim-makara sistemindeki noktasal temas sonucu oluşan aşınma türü.
- Kayma süresi sabit tutulmuş, temas yükü, kayma hızı ve sertlik gibi sürtünme faktörleriyle, aşınma miktarı ve sürtünme kuvvetleri arasındaki ilişki.
- Tribometrik büyüklük olarak aşınma miktarı, sürtünme katsayısı ve sürtünme kuvveti gözlenmiştir.
- İkinci aşama ise aşınma parametrelerin (uygulama yükü, sertlik, devir/dakika), Taguchi Metodu kullanılarak optimizasyonunu içermektedir.

3.2 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Bu çalışmada AISI 4140 çeliği (derin sertleşebilen), AISI 8620 çeliği (sıg sertleşebilen) ve yalın karbonlu AISI 1050 çelik türleri kendi aralarında sınıflandırılmak üzere ısıtılma işlemleri yağ ve su ortamlarında soğutulmuş farklı sertlikler elde edildi ve her grup için aşınma deneyleri yapıp ağırlık kaybı ve sürtünme katsayıları karşılaştırarak incelenmiştir. Aşındırıcı eleman olarak nitrürlenmiş GG30 malzeme kullanılmıştır.

3.2.1 AISI 4140 Çeliği

Islah çeliği olan AISI 4140 çeliğinin içerdiği Cr ve Mo elementleri, yüksek sıcaklık dayanımı sağlar. Malzeme yüzeyi, % 0,4 C içeriğine bağlı olarak ısıl işlem ile sertleştirilebilir. Aşınma dayanımı yüksek yüzey tabakası oluşturulup inşaat ve ziraat makineleri, takım tezgâhları, uçak parçaları, akslar, krank kolları, krank milleri, dişliler, cıvata, somun, saplama v.b. parçaların imalinde kullanılmaktadır. Bu çelik aynı zamanda alev veya endüksiyonla yüzeyden serleştirilebilirler [13]. AISI 4140 çeliğine ait mekanik özellikler Çizelge 3.1’de, ve kimyasal bileşimi Çizelge 3.2’de verilmiştir.

3.2.2 AISI 8620 Çeliği

Sementasyon çeliği olan AISI 8620 çeliğinin kullanım alanları; zorlamalı parçalar, miller, ekstrüzyon yoluyla şekillendirilen piston pimleri, zincir baklaları ve dişlileri, çeşitli oto dişlileri ve traktör dişlileri, otomobil vites kutusu, şaftlar, bazı otomobillerin direksiyon mekanizmaları, diferansiyel yüzük dişlileri, uçak motorları, kam mili, kamalı mil v.s. yapımında kullanılmaktadır [14]. AISI 8620 çeliğine ait mekanik özellikler Çizelge 3.3’de, ve kimyasal bileşimi Çizelge 3.4’de verilmiştir.

Çizelge 3. 1 AISI 4140 çeliğin mekanik özellikleri [14]

Malzeme	d (x1000 kg/m ³)	Poisson Oranı	E (GPa)	Max. çekme Muk. (Mpa)	Akma Muk. (Mpa)	Uzama %	Kesit Daralması %	Sertlik (HB)
4140	7.7- 8.03	0.27-0.30	190- 210	655.0	417.1	25.7	56.9	197

Çizelge 3.2 AISI 4140 çeliğin kimyasal bileşimi (% ađ) [14]

Malzeme	C	Si	Mn	Cr	Mo	S	Fe
4140	0,39	0,25	0,78	0,98	0,2	0,012	97,388

Çizelge 3.3 AISI 8620 çeliğin mekanik özellikleri [14]

Malzeme	d 1000 kg/m ³	Poisson Oranı	E (GPa)	Max. Çekme Muk (Mpa)	Akma Muk, (Mpa)	Uzama %	Kesit Daralması %	Sertlik (HB)
8620	7,7- 8,03	0,27- 0,30	190- 210	536,4	385,4	31,3	62,1	149

Çizelge 3.4 AISI 8620 çeliğin kimyasal özellikleri [14]

Malzeme	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Ni	% Cu	% Mo	% S	% P
8620	0,197	0,207	0,714	0,413	0,449	0,205	0,154	0,0081	0,015

3.2.3 AISI 1050 Çeliği

İmalat çeliği olan AISI 1050 çeliği, yüksek mukavemet gerektiren parçaların, dişlilerin, toprak ve kömür sektöründe kırıcı ve kazıcı parçaların yapımında, cer kancaları, dişliler, kazmalar, cıvatalar, miller ve şaftların yapımında kullanılmaktadır. Sertliği yağda 58 HRC, suda 61 HRC' ye kadar çıkabilir. Sertleştirilmiş ve menevişlenmiş (temperlenmiş) durumda, yaklaşık olarak 660–800 MPa çekme mukavemetine, 400 MPa kadar da akma mukavemetine sahip olmaktadır [14]. AISI 1050 çeliğine ait mekanik özellikler Çizelge 3.5'de, ve kimyasal bileşimi Çizelge 3.6'da verilmiştir.

Çizelge 3.5 AISI 1050 çeliğin mekanik özellikleri [14]

Malzeme	d 1000kg/ m ³	Poisson Oranı	E (GPa)	Max. çekme Muk. (Mpa)	Akma Muk. (Mpa)	Uzama %	Kesit Daralması %	Sertlik (HB)
1050	7,7- 8,03	0,27- 0,30	190-210	636	365,4	23,7	39,9	187

Çizelge 3.6 AISI 1050 çeliğin kimyasal özellikleri [14]

Malzeme	% C	% Mn	% S	% P
1050	0,52	0,80	0,03	0,02

3.3 Çelik Numunelerin Hazırlanması ve Isıl İşlem

Deney için Cum. Üniv. Müh. Fak. Mak. Müh. Bölümü laboratuvarındaki sürtünme ve aşınma cihazının teknik verileri ve çalışma özellikleri esas alınmıştır.

Deneylerde kullanılacak numune adedine göre 2 Adet $\phi 16 \times 300$ mm ebadında AISI 1050, AISI 4140, AISI 8620 çelik çubuklar temin edildi. Bu malzemeler tornada işlenerek 12,7mm çap ve 12,7mm yüksekliğe sahip standart deney numuneleri elde edildi. Numunelerin bir kısmı sertleştirilmek üzere ısıtılma işlemine tabi tutuldu. Isıl işlem numuneler her çeliğin özelliğine ve istenen sertlik türlerine göre Çizelge 3,7'deki sıcaklarda 30 dk. bekletilerek uygulandı. Sertleştirme işlemi yağda ve suda soğutularak gerçekleştirildi. Numunelere temperleme işlemi uygulanmadı.

Çizelge 3.7 Çeliklerin sertleştirme ortamına göre sıcaklık değerleri

Malzeme Türü	Sertleştirme Ortamı ve Sıcaklıkları (C°)	
	Yağ	Su
AISI 4140	830–860	820–850
AISI 8620	840–870	840–870
AISI 1050	815–845	805–835

3.4 Mekanik Deneyler

3.4.1 Sertlik

Alaşımların Brinell sertlik deneyleri, 2,5 mm çapındaki elik bilye kullanılarak 100 kg. yükün 10 saniye uygulanması ile gerçekleştirilmiştir. Her bir numuneden en az 5 ölüm alınmış ve ortalama değer malzemenin sertlik değeri olarak kabul edilmiştir. Çizelge 3.8’ de değerler verilmiştir.

3.4.2 Aşınma Deneyleri

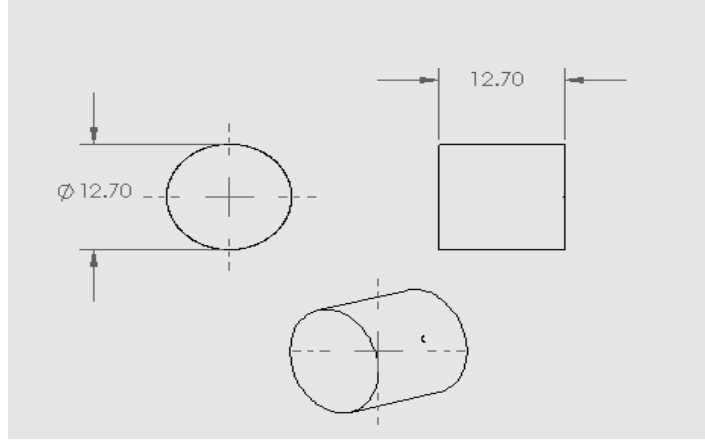
Çeliklerin aşınma deneyleri pin on roller yöntemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Deneyler 12.7 mm çap ve 12.7 mm yüksekliğe sahip standart deney numuneleri kullanılarak oda sıcaklığında yapılmıştır.

Pin on roller aşınma deneyleri 20 dakikalık sabit bir zaman ve 300 devir/dakikalık devirlerde; 62, 72, 82 Newton yükleme şartlarında gerçekleştirilmiştir. Aşınma deney sonuçları ağırlık kaybı olarak belirlenmiş ve deney esnasında da sürtünme katsayıları hesaplanmıştır. Ağırlık kaybı değerlerini belirlemek amacı ile 0.001 gr hassasiyete sahip bir terazi kullanılmıştır. Deney uygulanmış örnek aşınma numuneleri şekil 4’de görülmektedir. şekilde görüldüğü gibi aynı numuneye birden fazla test uygulama imknı bulunmaktadır.

Çizelge 3.8 AISI 1050–4140–8620 eliklerin sertleştirme ortamlarına bağlı sertlik değeri

Sertleştirme Ortamı	AISI 1050		AISI 4140		AISI 8620	
	a	b	a	b	a	b
yağda	1	46	4	46	3	29
	2	43	5	48	4	25
	3	44	6	49	5	28
	4	44	7	45	6	28
	5	46	8	44	7	28
Suda	8	52	9	47	8	38
	9	52	10	52	9	34
	10	55	11	48	10	30
	11	48	12	52	11	37
	12	48			12	34

a) Numune numarası. b) Numune sertliği [HRC]



Şekil 4 Sertlik-aşınma numunesi

Deneyde PLINT® Üniversal Aşınma ve Sürtünme Cihazı kullanılmıştır. Cihaz, dönen bir disk üzerine sabit yerleştirilen numuneye, yük kolu ile belli bir yükü ileterek aşınmayı sağlayan bir düzenekten oluşmaktadır. Cihazda yükleme elle kontrol edilmekte ve dönüş hızı, sürtünme kuvveti, çevrim sayısı gibi değişkenler ise otomatik olarak kumanda edilebilmektedir. Bu değerler, istenirse bilgisayara da aktarılabilmektedir. Şekil 5’de aşınma deney cihazı görülmektedir.



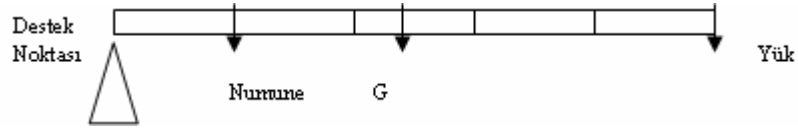
Şekil 5 PLINT® üniversal sürtünme ve aşınma cihazı

- | | | |
|-------------------------|----------------------|-------------------|
| 1-Motor | 2-Devir Ölçer Sensör | 3-Numune Bölmesi, |
| 4-Aşındırıcı Çelik Disk | 5-Yağlayıcı Bölmesi | 6- Yük Kolu |
| 7- Kontrol Panelleri | 8-Numune | 9-Yükseklik Ölçer |
| 10-Yük Tablası | | |

Şekil 6’da şematik olarak gösterilen cihazın yükleme kolunun ağırlığı 42 N olup, üzerindeki ağırlıklarla birlikte numuneye uyguladığı kuvvet aşağıdaki formülle hesaplanmaktadır.

$$\text{Yük} \times \text{Yük Kolu} = \text{Kuvvet} \times \text{Kuvvet Kolu}$$

$$42\text{N} + 5 \text{ br.} \times \text{Yük} = \text{Numuneye Uygulanan Kuvvet} \times 1 \text{ br} \quad [3.1]$$



Şekil 6 Aşınma cihazının şematik yük uygulama düzeneği

Dolayısıyla uygulanan kuvvet 42 N’dan az olamayacağından, kuvvetler 42 N’dan başlayan ve her 2 N’luk artışta, numuneye $42 + 5 \times 2 = 52$, sonrasında da 62, 72 N şeklinde uygulanan kuvvetler kullanarak aşınma deneylerini yapmak mümkün olmaktadır. Deneylerde değerlerin birbirinden uzak olmasını sağlamak için ön çalışmalar yapılmış ve deneylerde 52, 62, 72 N’luk yük kullanılması kararlaştırılmıştır. Deneylerde alınan toplam yol ise; aşındırıcı diskin yarıçapı 50 mm ve n devir/dakika ve aşınma süresi 20 dk olduğundan;

$$(2.\pi.50).n.20= X \text{ [m]}. \quad [3.2]$$

Formülü kullanılarak hesaplanabilir. Buradan kayma hızı ise m/sn cinsinden;

$$X/ (20.60) = V \text{ [m/sn]} \quad [3.3]$$

Olarak bulunur. Değerler Çizelge 3.9’da verilmiştir.

Çizelge 3.9 X-n-V Değerleri

X (m)	n (devir/dakika)	V (m/sn)
1256	200	1,04
1884	300	1,57
2512	400	2,09

3.5 Deney Tekniği ve Deney Verileri

Tüm deneyler tamamlanıncaya kadar her bir numune için deney basamağı şöyle gerçekleştirildi:

- Deney programında belirtilen uygun özellikli numune alınarak, öncelikle alkolle temizlendi.
- Numunenin ilk tartımı yapıldı.
- Numune uygun sürtünme yüzeyi oluşturacak şekilde tutucu makaraya, vida ve destekleme pimi yardımıyla sabitlendi.
- Deney programındaki yük ve devir değeri ayarlandı.
- Deney sonunda cihaz ve diğer ekipmanlar durdurulup numune söküldü.
- Cihaz tekrar çalıştırılıp aşındırıcı makara yüzeyi P400 boyutlu zımpara ile temizlendi.
- Numune alkolle temizlendikten sonra tartılarak aşınma miktarı bulundu.

Yapılan çalışmalara ait, sertleştirilmiş numuneler için deney programı ve sonuç olarak elde edilen aşınma miktarı değeri Çizelge 3.10'da yer almaktadır.

Çizelge 3.10 Sertleştirilmiş numunelere ait aşınma programı ve deney verileri

Temas kuvveti [N]	Devir [d/dk]	Sertleştirme ortamı	Aşınma Miktarı [mg]								
			AISI 1050			AISI 4140			AISI 8620		
			a	b	c	a	b	c	a	b	c
62	300	yağda	4	44	3	4	46	2	6	28	21
72	300	yağda	4	44	3	4	46	2	6	28	25
82	300	yağda	4	44	4	4	46	3	7	28	36
62	300	Suda	10	55	4	10	52	2	12	34	18
72	300	Suda	10	55	4	10	52	3	11	37	21
82	300	Suda	9	52	5	10	52	4	11	37	25

a) Numune numarası. b) Numune sertliği [HRC] . c) Aşınma miktarı [mg].

IV. BÖLÜM

DENEYSEL SONUÇLAR VE İRDELENMESİ

Deney sonuçlarının yorumu için deneylerde ele alınan faktörlerin ayrı ayrı incelenmesi kolaylık sağlayacaktır.

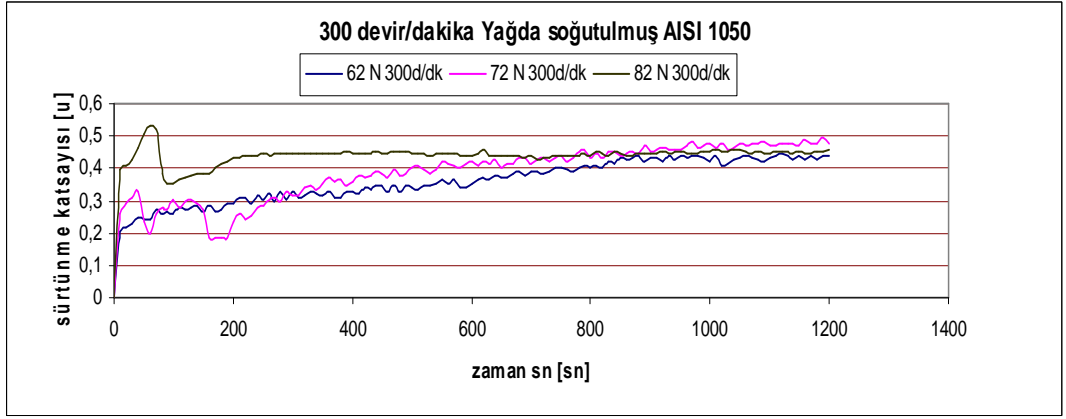
4.1 AISI 1050 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi

4.1.1 Kayma Sürensin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi

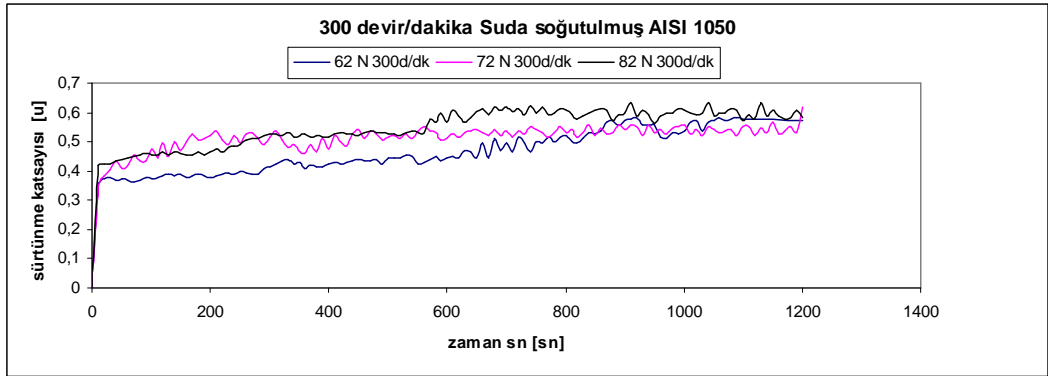
Şekil 7 a ve b'de yağda ve suda soğutulmuş AISI 1050 çeliğine ait grafikte sürtünme katsayısı ile zaman değişimini göstermektedir. Şekil 7 a incelendiğinde aşınmanın ilk anlarında sürtünme kuvveti yükselmekte, bir müddet sonra düşmektedir. Savaşkan, T., Çuvalcı, H (1990) çalışmalarında sürtünmede bir kararsızlık olabileceğini; fakat daha sonra bu kararsız sürtünme, ilerleyen kayma sürelerinde kararlı bir görüntü çizerek belirli oranlarda artacağını ortaya koymuşlardır [37]. İlk bir dakikada sürtünmedeki kararsızlık, noktasal olan sürtünme temas yüzeyinin aşındırıcı tarafından zorlama ile belli bir yüzey haline getirilmeye çalışılmasından kaynaklanmaktadır. Aşınmadan dolayı yüzeyde oluşan malzeme ya koparak uzaklaşmakta ardından yeni yüzey oluşturmakta ya da kopmadan yüzeyde kalarak adhezif aşınmaya malzemeyi zorlamaktadır. 120. saniyeden sonra malzeme zorlanmaya dayanamayarak yüzeyden uzaklaşır ve oluşturulan yeni yüzeyde malzeme sabit hale gelerek, sürtünme kuvvetini nispeten sabitleştirir ve aşınma devam eder.

Şekil 7 b; suda soğutulmuş numunelerin sürtünme katsayısı-zaman grafiği incelendiğinde sürtünme katsayılarında sürekli olarak dalgalanmalar, değişimler gözlenmektedir. Deney sırasında temas yüzey alanlarındaki sürekli değişim, sürtünme katsayısında değişime neden olmaktadır. Grafiğimizden de Yücel, A (1999) çalışmasında elde ettiği sonuç olan; sürtünme katsayısının, artan kayma süresiyle birlikte artış göstermesinin sebebinin artan temas yüzey alanı olduğunu tezini doğrulamaktadır [38]. Ayrıca grafikte 62N altında yapılan aşınma testinin 600. ve 900. saniyelerinde sürtünme katsayısı 0.4 civarında seyrederken birden bire sırasıyla 0.45 ve 0.52'ye sıçramıştır. Bu da sabit yük altında sürtünme kuvvetinin arttığını, yani ya yeni yüzey oluştuğunu ya da bir zorlanma

mekanizmasının (sert partikül, intermetalik, kopan parçanın uzaklaşmaması) aktif hale geldiğini göstermektedir. Aynı şekilde 82N altında yapılan deneyde de deneyin 550. saniyeden önce 0,5'te seyreden sürtünme katsayısının, bu dakikadan sonra 0,6'ya sıçradığı ve burada yine bir zorlanma ile karşı karşıya kalarak dalgalı bir biçimde seyrettiği görülmektedir. Grafikten de anlaşılacağı üzere AISI 1050 çeliği yüksek yüklerde zorlanmaya dayanamayarak yüksek sürtünme katsayısı üretmekte ve çabuk aşınmaya uğramaktadır.



(a)



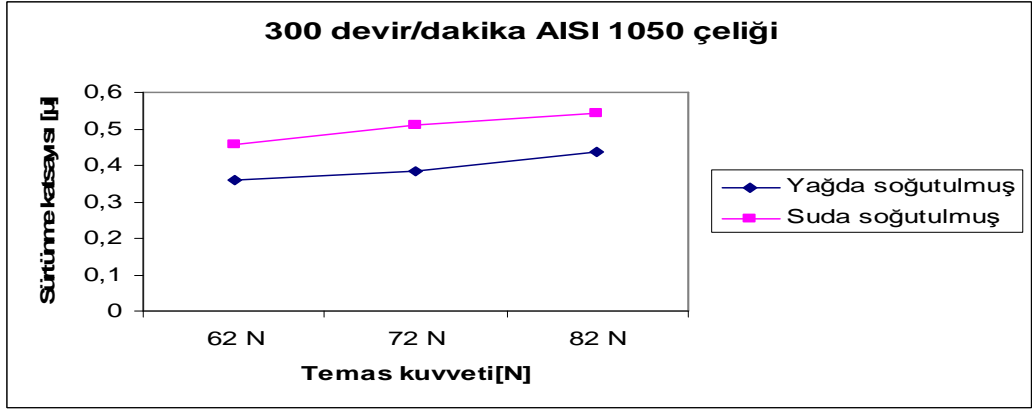
(b)

Şekil 7 AISI 1050 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi
a) yağda soğutulmuş b) suda soğutulmuş

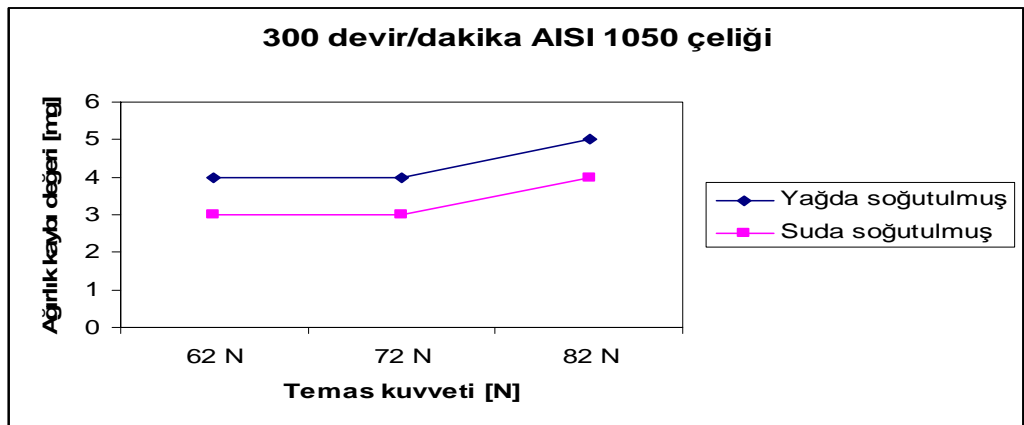
4.1.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi

Şekil 8 a ve b’de görüldüğü gibi sabit devirde artan temas kuvveti ile birlikte sürtünme katsayısı artmaktadır. Özer, A (2006) ZA8 Alaşımına Element İlavesinin Aşınma Özelliklerine Etkisi incelemiştir. Çalışma sonucunda temas kuvveti ile birlikte sürtünme kuvvetinin orantılı olduğunu gözlemlemiştir [39] AISI 1050 çeliğinin 62N ve 72N yük altındaki aşınma miktarları sabit; 82N’luk yük altında artış göstermektedir.

Deney esnasında her 5 saniyede alınan sürtünme katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hazırlanan Şekil 8 a’da görüldüğü üzere sürtünme katsayısı değerleri suda soğutulmuş numunelerde daha yüksektir.



(a)



(b)

Şekil 8 AISI 1050 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı ilişkisi

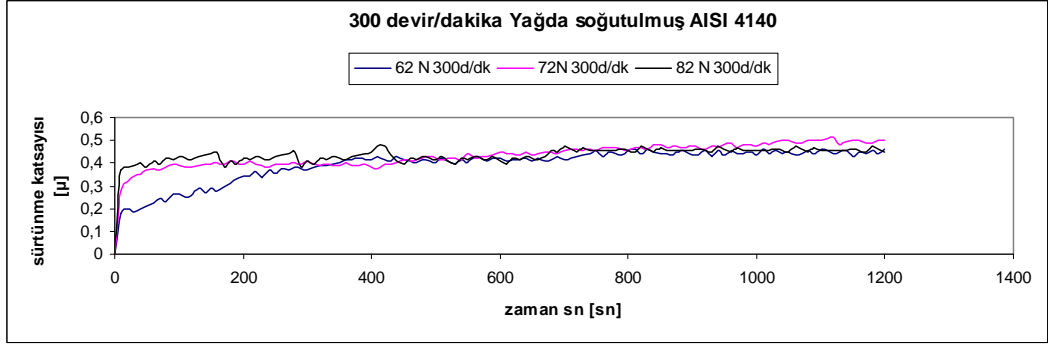
Şekil 8 b’de de suda soğutulmuş numunelerin ağırlık kaybı miktarlarının yağda soğutmaya nazaran daha düşük olduğu gözlemlenmiş bu da Şekil 8 a’yı doğrulamıştır. Yağda soğutulmuş numunelerdeki sertlik farklılıkları numunenin farklı davranışlar göstermesine sebebiyet vermiştir. Bu da ağırlık kaybının artmasına yol açmaktadır.

4.2 AISI 4140 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi

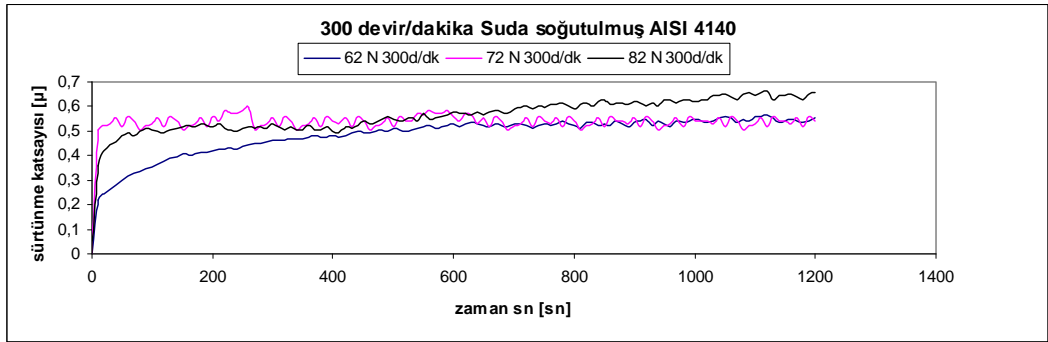
4.2.1 Kayma Süresinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi

Şekil 9 a ve b’de görüldüğü üzere artan kayma süresi ile sürtünme katsayılarında artış olmaktadır. Ancak 72N yük altındaki suda soğutulmuş numunedeki dalgalanmanın yağda soğutulmuş numuneye oranla daha fazla olduğu görülmektedir. Bu da test edilen suda soğutulmuş numunenin orta yüklerle direnç gösterdiği; fakat yüzeyden parça kopmasından dolayı hem zorlanmanın arttığı hem de yüzey alanının artması, dalgalanmalara sebep olmuştur. Boz.M. (1999) Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Bronz –Esaslı Fren Balata Malzemelerin Sürtünme Aşınma Davranışların Araştırılmasında sürtünme esnasında kopan parçacıkların kopma esnasında bir direnç oluşturduğunu tespit etmiştir [40].

Şekil 9 a incelendiği zaman 62N, 72N ve 82N yükler altında AISI 4140 çeliği 400 sn sonrasında birbirlerine yakın sürtünme katsayısı ile direnç göstermişlerdir. Fakat Şekil 9 b’de bu durum değişmiştir ve 82N’luk yükte yapılan deneyde sürtünme katsayısında artış olmuştur. İlk 600 saniyede suda soğutulmuş numune 72 ve 82N’luk yüklerde benzer davranmaktadır bu da ilk andaki malzeme kayıplarının benzer olduğu izlenimini vermektedir. Fakat 72N’luk yüklemenin AISI 4140 çeliği için sınır yükü gibi davrandığı görülmektedir. Çünkü yüzey oluşumuna karşı zorlanma, dolayısıyla sürtünme katsayısında dalgalanmalar gözlemlenmektedir. Fakat 600. saniyeden sonra 62 ve 72N’luk yükler benzer davranırken 82N’luk yüke dayanamayarak yeni büyük bir yüzey oluşmuş ve/veya parça koparak sürtünme katsayısı, bu yüzeyde daha fazla zorlanma olduğundan artış göstermiştir.



(a)

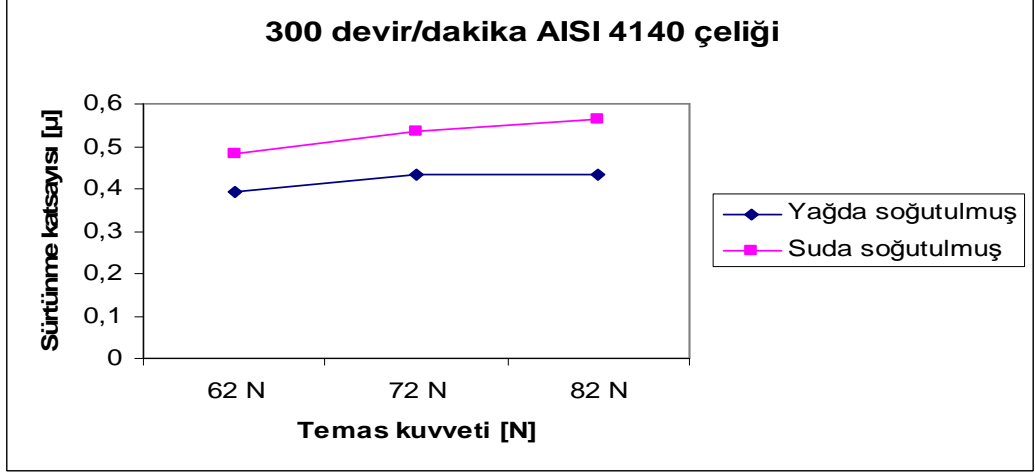


(b)

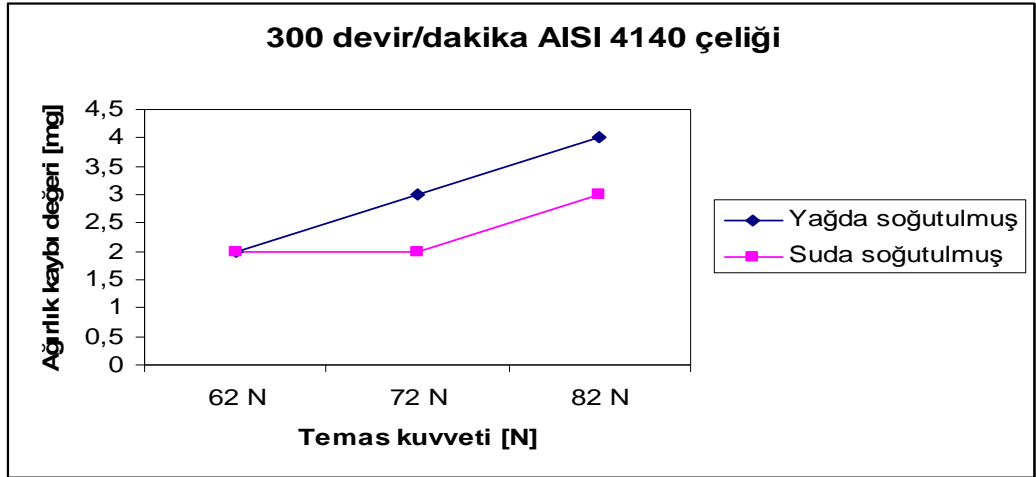
Şekil 9 AISI 4140 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi

4.2.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi:

Şekil 10 a ve b’de görüldüğü üzere artan temas kuvveti ile birlikte sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı değeri artmaktadır. Şekil 10 b’de görüldüğü gibi 62N’luk uygulanan kuvvet altında suda ve yağda soğutulmuş numuneler için ağırlık kaybı değerleri aynı miktardadır.



(a)



(b)

Şekil 10 AISI 4140 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı ilişkisi

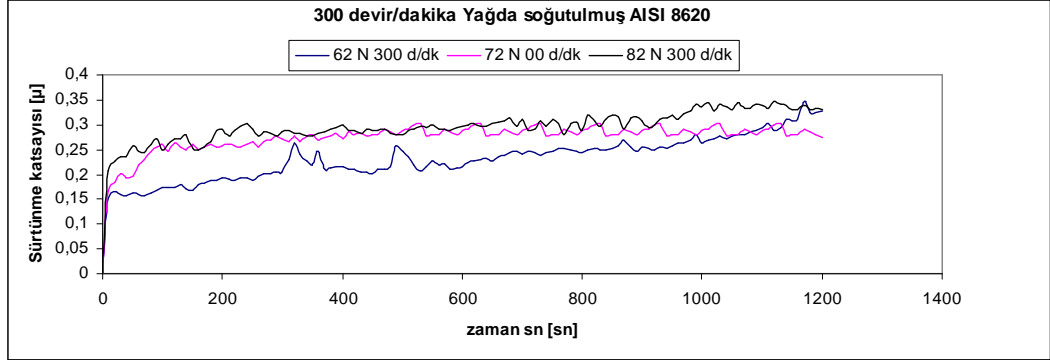
AISI 1050 çeliğinden daha dayanıklı ve alaşımlı olan AISI 4140 çeliği incelendiğinde, ağırlık kaybı değerlerinin genellikle daha düşük olduğu görülmektedir. Bu da AISI 4140 çeliğinin sertleşebilirliğinin daha iyi olmasından; yani sertlik derinliğinin ve homojenliğinin yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Ayrıca AISI 4140 çeliği içinde bulunan Cr, Mo gibi sertliğe katkı sağlayan elementler de aşınma direncinin artmasına neden olmaktadır. Buna karşın AISI 1050 çeliğinde C 'un yanı sıra sertliğe katkı sağlayan sadece az miktardaki Mn elementidir. Genel olarak sertlikle aşınma arasında belli bir oran olmamasına

rağmen, homojen sertliği olan, yani yüzeyde farklı davranış sergilemeyen malzemelerin daha iyi aşınma değerlerine sahip olması beklenir. Burada da yağda soğutulmuş numunede belirttiğimiz üzere farklı sertliklerden dolayı ağırlık kaybı değerleri artan şekilde değişmiş, düşük ve orta yüklerde suda soğutulmuş numune kararlı davranarak çok fazla aşınmamıştır. Fakat 82Nluk yüklemde zorlanmaya dayanamayarak numunedeki sert parçaların kopup yine yüzeyi aşındırması ile ani bir ağırlık kaybı artışı gözlemlenmiştir. Aynı şekilde deney esnasında her 5 saniyede alınan sürtünme katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hazırlanan Şekil 10 a'da sürtünme katsayısı değerleri bakımından suda soğutmanın aşırı zorlanmadan dolayı daha yüksek sürtünme katsayı değerleri gösterdiği görülmektedir ki bu da yukarıdaki açıklamaları desteklemektedir.

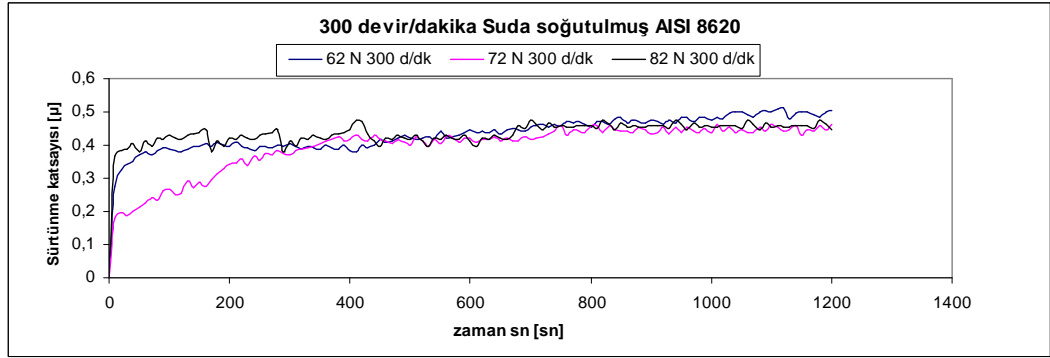
4.3 AISI 8620 Çeliğinin Deneysel Sonuçlarının İrdelenmesi

4.3.1 Kayma Süresin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi

Şekil 11 a ve b'de görüldüğü üzere artan kayma süresi ile birlikte aşınma miktarı artmaktadır. Yağda soğutulmuş numunenin sürtünme katsayısının suda soğutulmuş numuneye oranla daha düşük olduğu ve artan sertlikle sürtünme katsayısının da arttığı görülmüştür [41]. AISI 8620 çeliği çok fazla sertlik alamayan bir çelik olduğundan yağda soğutmada yaklaşık 28 HRC gibi düşük bir değerde kaldığı ve bunun da sadece perlitin sertliğinden ileri geldiği söylenebilir. Farklı bir faz kompozisyonu oluşmadığı için fazla zorlanma meydana gelmemiştir ve sürtünme katsayıları sabit seyretme eğilimindedir. Şekil 11 a'da 62N'luk yükteki aşınma deneyinde 300. ve 500. saniyelerdeki göze çarpan ani pikler bu anlarda malzeme kaybı olduğunun veya ani bir adhesiv-abrasif aşınma mekanizmasının aktif olduğunun göstergesi olabilir. Çünkü buralarda ya yeni bir yüzey oluşmuş ve ani artışla tekrar aşınma devam ettiğinden tekrar katsayı eskiye dönmüş ya da yüzeye bir malzeme sıvanarak bir anlık adhezyon oluşmuştur. Buradan 62N'da ağırlık kaybının belli yerlerde aniden oluştuğu söylenebilir.



(a)



(b)

Şekil 11 AISI 8620 çeliğinde kayma süresi sürtünme katsayısı ilişkisi

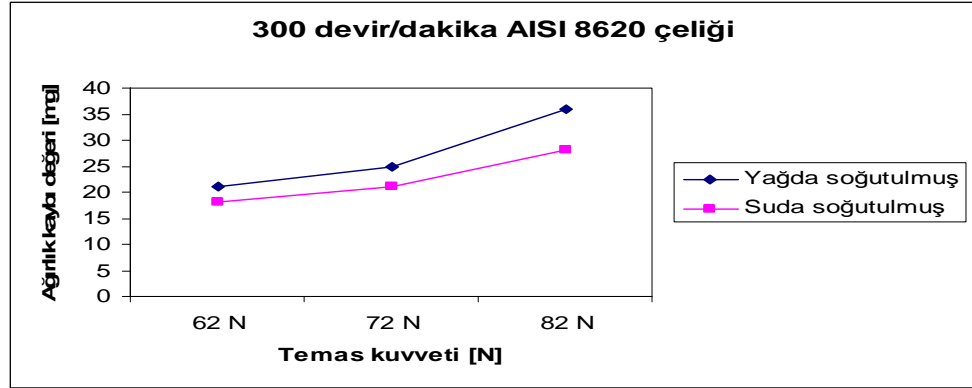
Şekil 11 b’de suda soğutmada görüldüğü üzere, numunede sürtünme katsayısı değerleri belli bir sabitleme süresinden (250 sn.) sonra 0.4–0.45 dolaylarında seyretmiştir. Bunun da sebebi artan belli miktar sertlikle (37 HRC) zorlanmadan dolayı bir miktar sürtünme katsayısını arttırmış olmasıdır. Aşınma deneyi süresince sürtünme katsayısındaki dalgalanmalar tüm yüklerde olmakta buda ağırlık kayıplarının benzer fakat artan miktarda olduğunu göstermektedir (Şekil 12b).

4.3.2 Temas Kuvvetinin Sürtünme Katsayısı Üzerine Etkisi

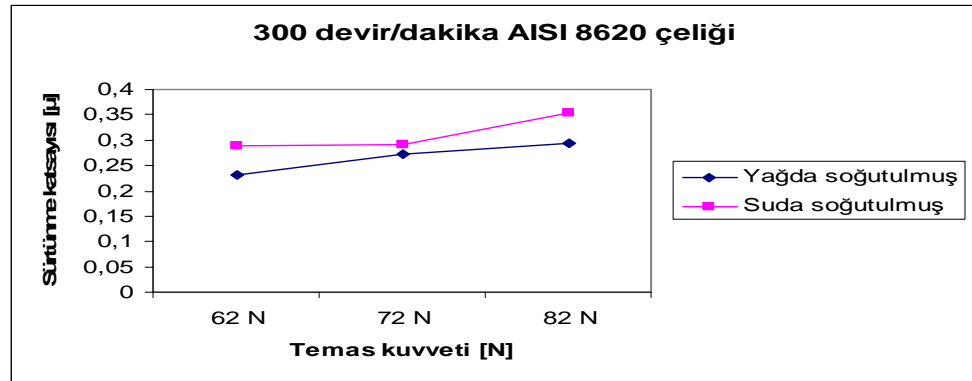
Şekil 12 a ve b’den ve Şekil 11’de ki grafiklerden anlaşılacağı üzere; suda soğutulmuş AISI 8620 çeliği hem ağırlık kaybı değerleri hem de sürtünme katsayısı değerleri bakımından 62 N ve 72 N’luk kuvvetlerde birbirlerine çok yakın sayısal değerler vermektedir. Fakat uygulanan yük arttığı zaman numunede zayıflama meydana gelmektedir.

Deney esnasında her 5 saniyede alınan sürtünme katsayısı değerlerinin ortalaması alınarak hazırlanan Şekil 12 a incelendiğinde AISI 8620'deki ağırlık kaybı artışı diğer çeliklerin yaklaşık 10-15 katı fazladır. Bu da çeliğin AISI 4140 ve AISI 1050'ye nazaran daha düşük sertliğinden, yüzey ve yüzey altındaki faz farklılıklarından kaynaklanmaktadır. Bu da değinildiği gibi yumuşak fazların daha çabuk kopup ayrılarak sert fazları zayıflaştırması olarak ifade edilebilir. Oysaki tamamen sert bir yapı olsa uyumsuzluk olmayacak ve malzeme direnç göstermeye devam edecektir.

Şekil 12 b incelendiğinde, diğer çeliklerden yüksek olmakla beraber AISI 8620'de de suda soğutulmuş numunelerde sürtünme katsayısı değerleri zorlanma ve sertlikten dolayı artmıştır. Yine aynı şekilde suda soğutulmuş numunelerdeki ağırlık kayıpları nispeten yüksek sertlikten dolayı daha düşük çıkmıştır..



(a)



(b)

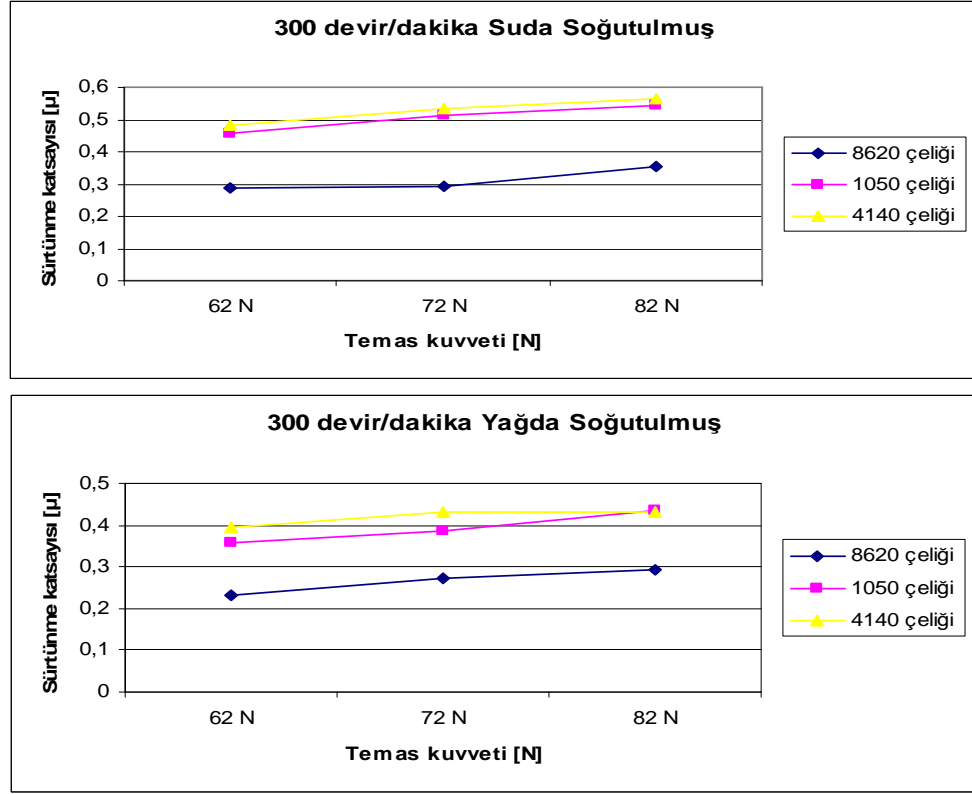
Şekil 12 AISI 8620 çeliğinde temas kuvvetinin sürtünme katsayısı ve ağırlık kaybı ilişkisi

4.4 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 eliklerinden Elde Edilen Deneysel Sonuçların Kendi Aralarında Kıyaslanması

4.4.1 Sürtünme Katsayısı Temas Kuvveti İlişkisi

Şekil 13’de görüldüğü üzere yağda ve suda soğutulmuş AISI 1050 ve AISI 4140 eliklerinin sürtünme kuvvetleri değerleri birbirlerine yakın değerler vermektedir. Fakat AISI 8620 eliğinde ise büyük fark vardır. AISI 1050 ve AISI 4140 eliklerine bakıldığı zaman AISI 4140 eliğinin AISI 1050 eliğine oranla daha yüksek sürtünme katsayısına sahip olduğu gözlenmektedir.

Elde ettiğimiz sonuçlarda önemli bir husus C oranı yüksek olan sertleştirilmiş AISI 1050 malzemelerinin aşınma direncinin, C oranı daha düşük olan sertleştirilmiş AISI 4140 malzemelerine oranla daha düşük oluşudur. Bunun da başlıca sebebi malzemelerin içerisindeki Cr, Mo ve Mn içerikleriyle bağlantılıdır. AISI 4140 malzemesindeki mangan malzemeye iyi bir aşınma direnci kazandırmıştır. AISI 4140 malzemesinin sertleştirmesinde daha iyi bir sonuç elde edilmiştir. AISI 8620’de karbon miktarı az olduğu için gerekli sertleşme sağlanamadığından sürtünme katsayısı düşük olmaktadır.

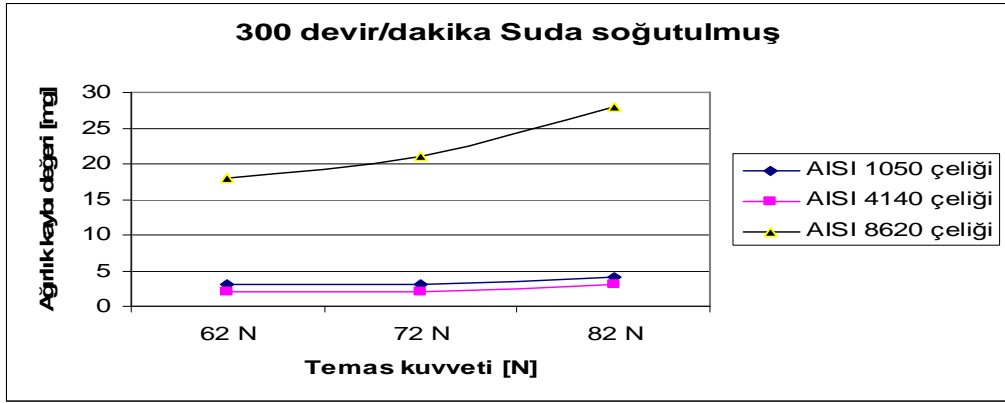
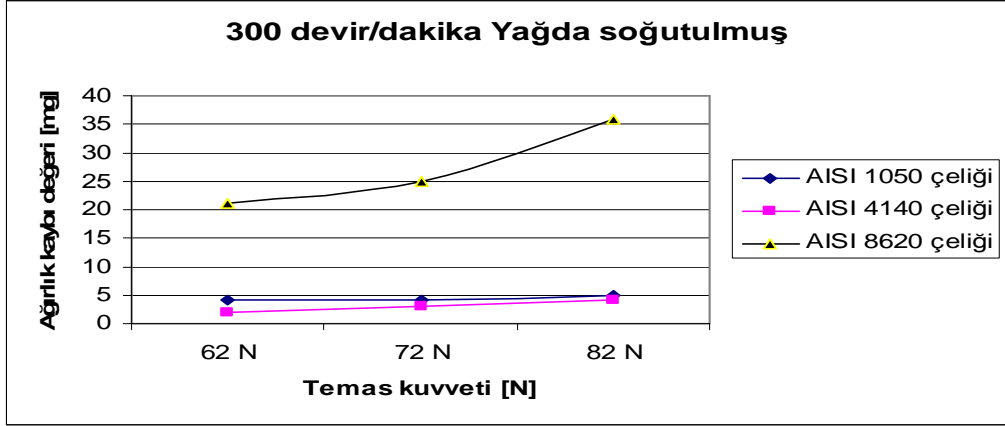


Şekil 13 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerinin sürtünme katsayısı temas kuvveti ilişkisi

4.4.2 Temas Kuvveti Ağırlık Kaybı İlişkisi:

Şekil 14’de görüldüğü üzere en büyük ağırlık kaybı AISI 8620 çeliğinde meydana gelmiştir. En az aşınma kaybı AISI 4140 çeliğinde meydana gelmiştir. AISI 1050 çeliğinin C oranı AISI 4140 çeliğe oranla fazla olmasına rağmen alaşım elemanlarının fazla olmasından dolayı AISI 4140 çeliğini aşınmaya karşı daha çok direnç göstermiştir. Çünkü AISI 4140’daki alaşım elemanları çeliğin merkezine doğrudan sertliği arttırmıştır. Yağda sertleştirilmiş AISI 8620 numunedeki ağırlık kaybı suda sertleştirilmiş numunedekine oranla artmakta fakat diğer iki numunede fazla değişim göstermemiştir.

AISI 4140 çeliği, yüksek mukavemetli ve az alaşımlı bir çeliktir. Bu malzemenin en önemli özelliği, içerdiği Cr ve Mo alaşım elementleri nedeniyle, su verme sonrasında sert martenzitik bir yapı oluşturabilmesi, mukavemet, süneklilik ve tokluk gibi mekanik özelliklerin bir arada sağlanmasına imkân vermektedir



Şekil 14 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerinin ağırlık kaybı temas kuvveti ilişkisi

Tüm bu nedenlerle AISI 4140 çeliği her zaman kullanım alanı yaygın olan bir çeliktir. Karbon ve krom açısından zengin demir esaslı alaşımlar, tribolojik çalışmalarda yüzeyi sertleştirilmiş malzemeler olarak geniş bir kullanım alanı bulmuşlardır.

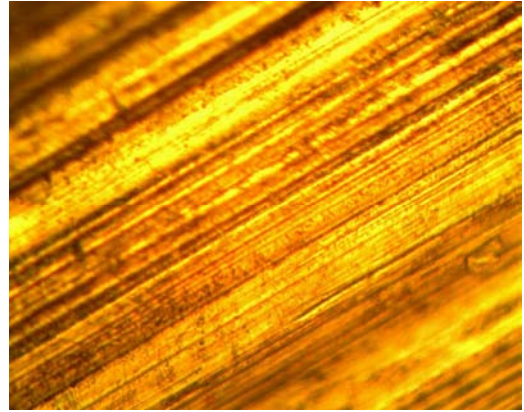
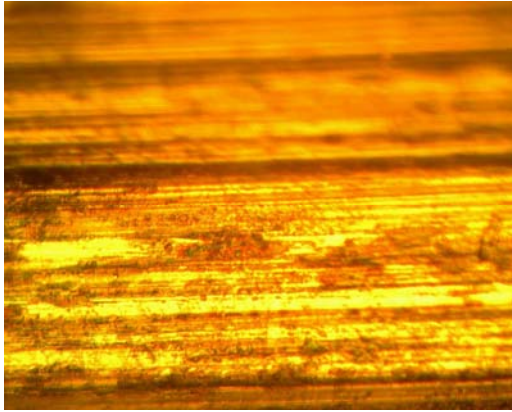
Üçlü karşılaştırma grafiklerinde de görüldüğü üzere, aşınma değerleri açısından en avantajlı malzeme AISI 4140 çeliğidir, buna karşın AISI 8620 çeliği çok yüksek ağırlık kaybına uğramış ve bu hızlarda ve deney yüklerinde uygun olmadığını göstermiştir. Öte yandan AISI 1050 çeliği de bu hız ve yükler altında alaşımlı olmamasına rağmen AISI 4140 kadar direnç gösterebilmiş fakat lineer olarak artan yüklere dayanamamıştır. AISI 8620 çeliği suda sertleştirildiğinde 37 HRC civarında sertleşmekte ve bu da aşınma direncinin yaklaşık olarak % 30 iyileşmesine sebep olmaktadır. Buna karşın suda sertleştirme AISI 4140 ve AISI 1050 çeliklerinde % 10-20 civarında bir iyileştirme göstermiştir. Bunun da sebebi

yapının sertliğinin yağda 55 HRC iken suda çok artmayıp 58-60 HRC civarında seyretmesindedir. Fakat AISI 8620 çeliği yağda 28 HRC iken aşınma direncine paralel olarak % 35lik artışla suda 37 HRC'ye ulaşmıştır.

4.5 AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 Çeliklerinin Aşınmış Yüzeylerin İncelenmesi

Suda ve yağda sertleştirilmiş AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerine sabit süre, değişen yük ve devirlerde kuru ortamda aşındırma deneyi uygulanmıştır. Elde edilen aşınma yüzeylerinden bazıları 40 x mikroskop büyütmesi olarak Şekil 15-20'de verilmiştir.

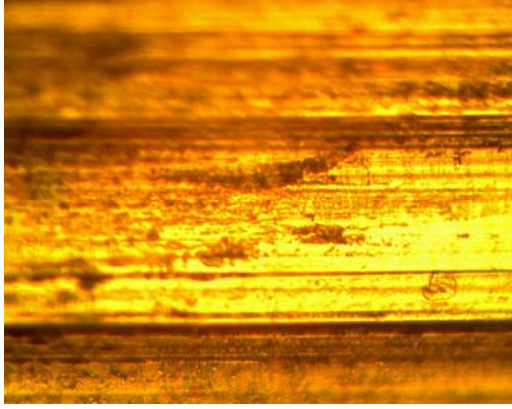
Yapılan deneyler normalde adhesiv aşınma olarak uygulanmasına rağmen abrasif aşınma olarak devam ettiği, adhesiv aşınma sonucu yüzeyde oluşan deformasyon ve deformasyondan etkilenen alanlar, her üç çeliğe ait aşınmış yüzeyler incelendiğinde görülmektedir (Şekil 15-Şekil 20). Farklı aşınmaların oluşumu, karşılıklı iki yüzeyin bir birine atomsal mertebede kaynaklanması ve hareketin devamında yüzeylerin kaynak yerinden ayrılması sonucu aşınan yüzeyden kopan çok küçük parçacıkların aşındırıcı yüzey üzerinde kalarak aşınan yüzeyi çizmesi ile meydana gelmiştir.



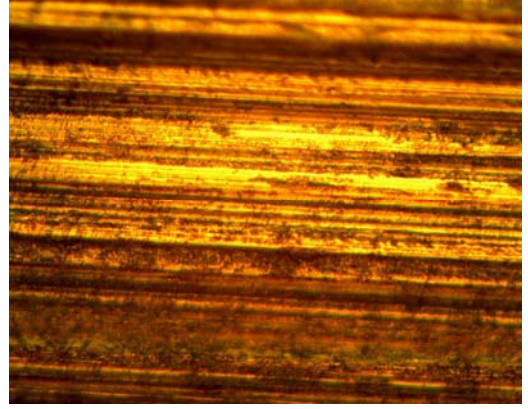
(a) 62 N yük ve 300 d/dk devir

(b) 52 N yük, 400 d/dk devir

Şekil 15 Suda Sertleştirilmiş AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri

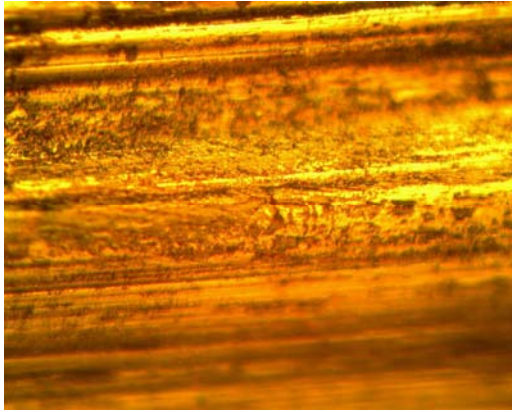


(a) 72 N yük ve 300 d/dk devir

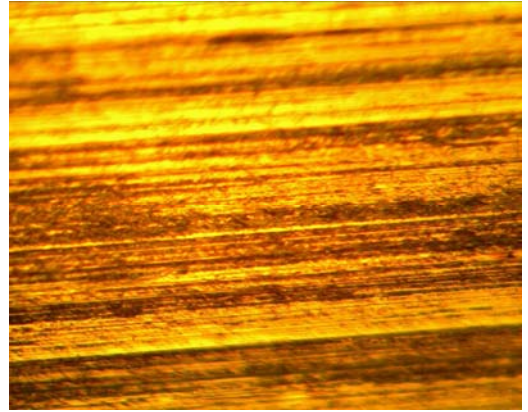


(b) 82 N yük, 200 /dk devir

Şekil 16 Yağda Sertleştirilmiş AISI 1050 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri

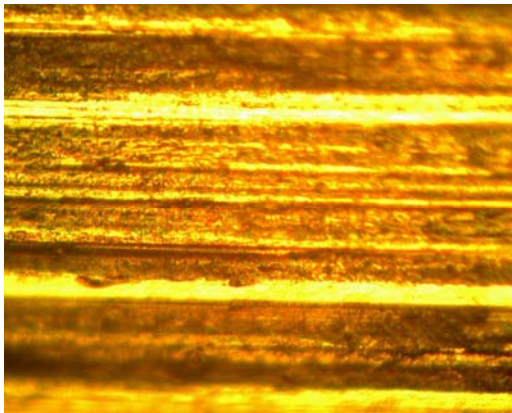


(a) 72 N yük, 300 d/dk devir

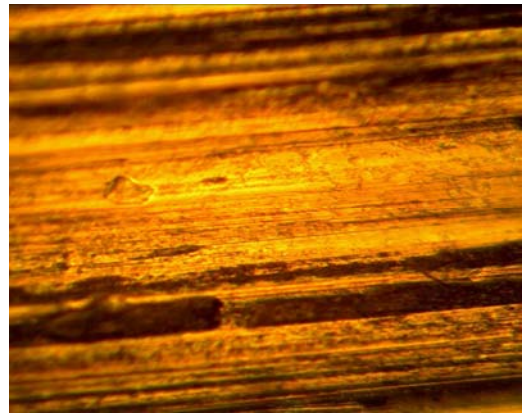


(b) 62 N yük, 300 d/dk devir

Şekil 17 Suda Sertleştirilmiş AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri



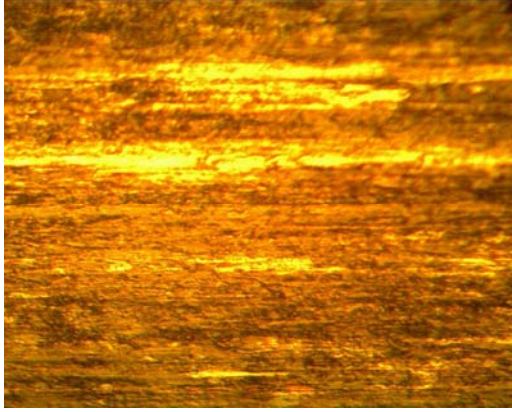
(a) 42 N yük, 300 d/dk devir



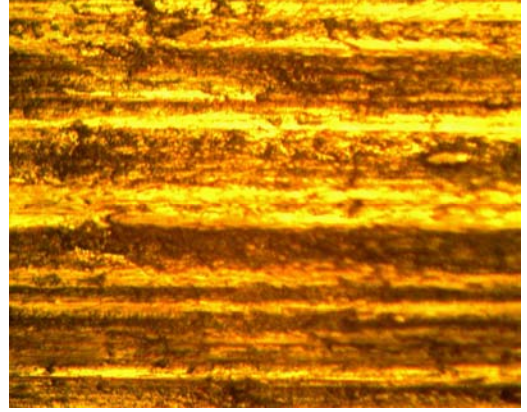
(b) 62 N yük, 200 d/dk devir

Şekil 18 Yağda Sertleştirilmiş AISI 4140 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri

Suda sertleştirilmiş AISI 1050 çeliğinin aşınmış yüzeyinde yüzey yorulması (sürünme), çizik biçiminde yüzey yenmesi ve malzeme kaybı (Şekil 15 a), AISI 4140 çeliğinin aşınmış yüzeyinde yenme ile birlikte plastik deformasyon sonucu malzeme yığılması (Şekil 17 a) ve AISI 8620 çeliğinin aşınmış yüzeyinde ise çok az yenme (Şekil 19 a) meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 15 b, Şekil 17 b ve Şekil 19 b incelendiğinde ilk ikisinde çizilme aşınması, üçüncüde ise plastik deformasyon ve çizilme aşınması bir arada ortaya çıktığı söylenebilir.

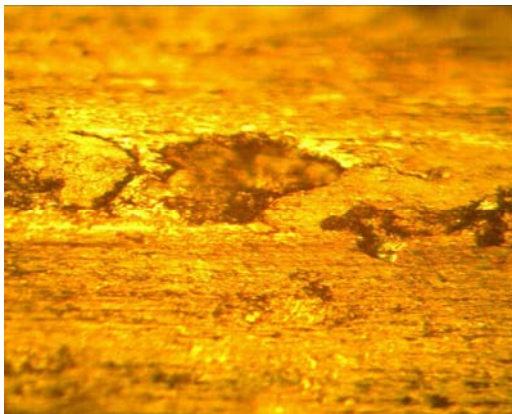


(a) 52 N yük, 400 d/dk devir

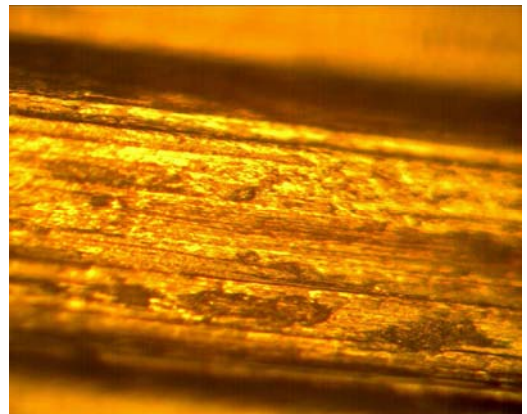


(b) 72 N yük, 200 d/dk devir

Şekil 19 Suda Sertleştirilmiş AISI 8620 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri



(a) 52 N yük, 300 d/dk devir



(b) 62 N yük, 200 d/dk devir

Şekil 20 Yağda Sertleştirilmiş AISI 8620 Çeliğinin Aşınma Yüzeyleri

Yağda sertleştirilmiş AISI 1050 çeliğinin yüzeyinde yüzey yorulması (sürünme) ve yenme (Şekil 16 a), AISI 4140 çeliğinin aşınmış yüzeyinde plastik şekil değişimi ile birlikte yenme ve oyulma (Şekil 18 a) ve AISI 8620 çeliğinin aşınmış yüzeyinde ise yenme ile beraber yüzeyden kopma şeklinde malzeme kaybı (Şekil 20 a) meydana geldiği görülmektedir. Diğer taraftan Şekil 16 b, Şekil 18 b ve Şekil 20 b incelendiğinde ilk ikisinde yüzey yorulması ile birlikte daha derin çizilme aşınması, üçüncüde ise yüzey yorulması, yüzeyden kopma biçiminde çukurcuk oluşumu /malzeme kaybı ve çizilme aşınması bir arada ortaya çıktığını ifade etmek mümkündür.

4.6 Aşınma Parametrelerinin Optimizasyonu

Kimyasal kompozisyonu farklı üç farklı çelik Pin-on-roller cihazı kullanılarak test edildi.

Çalışmada kullanılan çelikler bir tanesi orta-C'lu (AISI 1050) çelik, diğer ikisi düşük alaşımlı çelikler olup; AISI 8620 sıg sertleşebilen ve AISI 4140 derin sertleşebilen çelikler seçildi. Kimyasal kompozisyonu daha önce Çizelge 3.2, 3.4, 3.6'da verilmişti. Makine parçaları, şaftlar, vidalar, somunlar gibi daha birçok parçalar bu çeliklerde yapılmaktadır. Aşınma testi için 12.7 mm çapında ve 12.7 mm boyunda numuneler hazırlandı. Hazırlanan bu numunelere ısıl işlem uygulandı. Bu sayede, farklı yüzey sertlik değerleri elde edildi. Bu amaçla, bütün çelikler, Protherm plf 130/12 marka elektrikle ısıtılan kül fırınına konularak, 25°C/dak ısıtma hızında, normalleştirme sıcaklıklarına ısıtıldı. Normalleştirme sıcaklığında 30 dakika bekletildiler, sonrasında farklı yüzey sertlikleri elde etmek için havada, yağda ve suda soğutuldular. Numunelerin yüzeyleri temizlenerek, 0.3 µm'lik yüzey parlatma işlemi gerçekleştirildi. Her bir numune için sertlik testi yüzeyden minimum 5 defa ölçüm yapılarak, ortalaması alındı. Sertlik çizelgesi oluşturuldu (Çizelge 4.1).

Yukarılarda belirtildiği gibi, çeliklerin aşınma davranışlarını belirlemek için, Plint marka çok amaçlı cihazında, Pin-on-roller düzeneği kullanılarak aşınma testleri yapıldı. Aşınma cihazında yük elle kontrol edilirken, RPM, sürtünme kuvveti otomatik olarak kontrol edilip ve bilgisayara kaydedilmektedir. Aşındırıcı olarak yüzeyi nitrürlenmiş-dökme demir kullanıldı.

Çizelge 4.1 Numunelere ait yüzey sertlik aralıkları

Malzeme	Sertlik aralığı, HRc		
	Düşük	Orta	Yüksek
AISI 1050	29-31	44-46	52-55
AISI 4140	41-42	45-49	52-54
AISI 8620	20-21	28-29	34-37

Her bir numune test edilmeden önce aseton ile temizlendi ve ağırlığı ölçüldü. Ölçüm 1mg hassasiyetine sahip terazide yapıldı. Ağırlık ölçüm işlemi, aşınma testinden sonra, yüzeyi aseton ile temizlenip, tekrarlandı. Böylelikle ağırlık kaybı belirlendi. Her bir test için yeni aşındırıcı (nitürülenmiş- dökme demir) kullanıldı.

4.7 Taguchi Metodu

4.7.1 Orthogonal Array Tasarımı

Klasik parametre tasarım yöntemi Fisher (1925) [42] tarafından geliştirildi, ancak bu yöntem hem kompleks olup, hem de kullanımı kolay değildir. Özellikle bu yöntemde, parametre sayısı arttığı zaman, çok sayıda deney yapılması gerekir.

Bu problemi çözmek için, yani optimum aşınma koşullarını belirlemek için aşınma deney sayısını azaltmak için, Nalbant ve ark (2007) [43] ortogonal array tasarımını kullanarak Taguchi metodunun uygulanması gerektiğini çalışmasında rapor etmiştir. Deneysel değer ile istenilen değer arasındaki sapmayı hesaplamak için kayıp fonksiyonu (loss function) tanımlanarak ve Taguchi metodunda, kayıp fonksiyonun sistemin performans karakteristiğini belirlemek için kullanılması şiddetle tavsiye edilmektedir. Sonrada, kayıp fonksiyon değerleri sinyal/gürültü oranına (Signal-to-Noise ratio) çevrilir.

Bu çalışmada, üç tip çelik numunede test parametrelerinin aşınma kaybı (ağırlık olarak) üzerine etkisini analiz etmek için aşınma deneyleri yapıldı. L18 (6132) olarak gösterilen standart Taguchi deneysel tasarımı seçildi. Kontrol parametrelerin kodları ve seviyeleri Çizelge 4.2'de verilmiştir. Deneysel

çalışmada uygulama yükü altı seviyeli, çelik yüzey sertliği ve RPM üç seviyeli olarak planlandı. Aşınma testi sonuçları S/N ve ANOVA varyans analizi kullanılarak değerlendirildi. S/N oranı istenilen değerden sapma karakteristiğinin ölçüsü olarak tanımlanır. Taguchi metodunda sapma karakteristiği; ne kadar düşük-o kadar iyi (the-lower –the-better), ne kadar orta-o kadar iyi (the-nominal-the-better) ve ne kadar yüksek- o kadar iyi (the-higher-the-better) olarak üç değişik şekilde belirlenir. İşlem parametrelerin her seviyesi için S/N analizi yapılarak, S/N oranları belirlendi. Ayrıca, işlem parametrelerinin hangisinin daha etkin, belirleyici olduğunu tespit etmek için, istatistikî varyans (ANOVA) analizi yapıldı. S/N ve ANOVA analiz sonuçlarına göre optimum aşınma dayanımı için işlem parametreleri belirlendi ve optimum koşulların teyidi için doğrulama deneyleri yapıldı.

4.8 Sonuçlar ve Tartışma

4.8.1 Kontrol Parametrelerinin Analizi

Üç tür çelik için adhesif aşınma test tasarımı ve sonuçları Çizelge 4.3'de verildi. Bu çalışmada, kontrol parametrelerin etkileşimi ihmal edildi. Her kontrol parametresinin aşınma kaybı üzerine etkisi S/N oranı grafikleri ile değerlendirildi. Bu çalışmada, ne kadar düşük-o kadar iyi (the-lower –the-better) sapma karakteristiği seçildi ve bu karakteristiğe göre S/N oranı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplandı.

$$\frac{S}{N} = -10 \log \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad [4.1]$$

Çizelge 4.2 İşlem parametreleri ve onlara ait seviyeler.

Faktörler	Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5	Seviye 6
Uygulanan yük, N	A	42	52	62	72	82	92
Devir , rpm	B	200	300	400	-	-	-
Sertlik , N/mm2	C	Düşük	Orta	Yüksek	-	-	-

Çizelge 4.3 Deney sayısı ve aşınma testi sonuçları

Num. No.	Test değişkenleri			AISI çeliklerin ortalama ağırlık kaybı, (mg)			Farklı çelik oranları için S/N oranları (dB)		
	A	B	C	1050	4140	8620	1050	4140	8620
1	1	1	1	7.1	5.2	43.4	-17.0252	-18.2124	-33.6986
2	1	2	2	2.2	3.1	16.7	-6.8485	-7.3724	-24.4196
3	1	3	3	1.4	2.3	15.4	-2.9226	-5.7971	-22.8364
4	2	1	1	12.3	16.5	48.8	-21.7981	-23.4082	-35.2531
5	2	2	2	3.9	5.2	26.8	-11.8213	-12.5682	-25.9741
6	2	3	3	3.5	2.6	14.6	-10.8814	-10.9929	-24.3910
7	3	1	2	4.5	3.5	17.7	-13.0643	-11.1298	-25.8672
8	3	2	3	2.1	2.7	18.4	-6.4444	-11.2960	-26.6844
9	3	3	1	22.5	20.7	86.6	-27.0437	-23.4022	-36.4546
10	4	1	3	3.2	2.9	20.4	-10.1030	-8.3385	-26.8790
11	4	2	1	24.1	12.5	92.5	-27.6403	-22.1862	-39.0495
12	4	3	2	4.7	2.8	24.5	-13.4420	-9.6047	-27.3702
13	5	1	2	5.5	3.7	28.1	-14.8073	-12.3715	-28.2563
14	5	2	3	3.9	4.1	25.2	-11.8213	-12.5377	-29.0734
15	5	3	1	26.9	19.8	90.9	-28.5950	-24.6438	-38.8437
16	6	1	3	4.1	7.4	35.9	-12.2557	-14.0874	-27.7921
17	6	2	1	31.9	22.2	94.4	-30.0758	-27.9350	-39.9627
18	6	3	2	3.8	4.5	18.7	-11.5957	-15.3535	-28.2834

Deneysel tasarım ortogonal olduğu için, farklı seviyelerdeki kontrol parametrelerinin etkisinin ayrı ayrı incelemek mümkün olmaktadır. Örneğin, 6 seviyeli olan uygulama yükünün her bir seviyesi için, ortalama S/N oranı 1-3, 4-6, 7-9, 10-12, 13-15 ve 16-18 nolu deneylerin ortalaması alınarak hesaplandı. Diğer kontrol parametreleri ve seviyelerine ait ortalama S/N değerleri için aynı işlem yapılarak belirlendi. Çizelge 4.4’de her bir kontrol parametreleri ve onlara ait seviyeleri için, ortalama S/N oranları verildi. Aşınma dayanımı üzerinde en güçlü etkiye sahip kontrol parametresi, maksimum ile minimum arasındaki fark hesaplanarak belirlendi. Parametreye ait fark ne kadar büyük ise, o kadar etkindir. Çizelge 4.4’de en etkin parametreden en zayıf parametreye doğru sıralaması görülmektedir. Her üç tür çelik için, aşınma dayanımı için malzeme yüzey sertliği

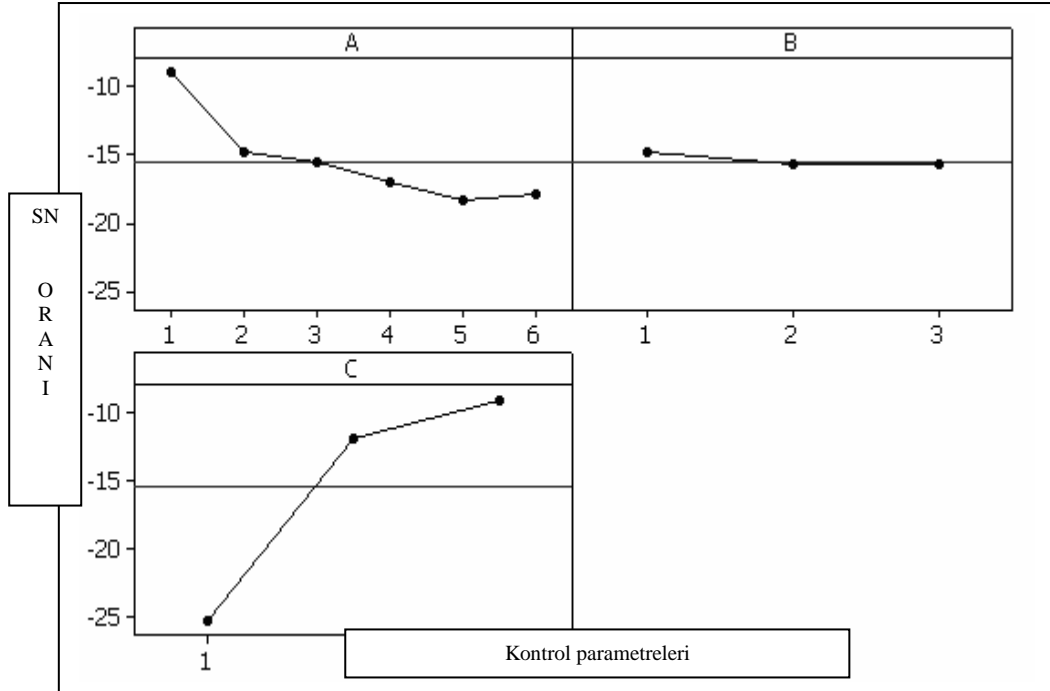
en etkin parametre sonra sırasıyla uygulama yükü ve RPM olduğu tespit edildi. Bu sonuçlar, klasik aşınma teorisi ile uyumlu olduğu görüldü [44]. Bu teoriye göre, malzeme sertliği ve uygulama yükü aşınma direnci için en etkin faktörler olduğu vurgulanmaktadır. Spuzic ve ark. (1997) [15] ve Esteban ve ark. (2003) [16] tarafından yapılan çalışmalarda da benzer sonuçlar elde edilmiş. Onların çalışmalarında faktöriyel tasarım yapılmış, sıcaklık, uygulama yükü, malzeme ve kayma hızı kontrol parametreleri olarak seçilmiş ve çalışma sonucunda uygulama yükü en etkin parametre olarak tespit edilmiş.

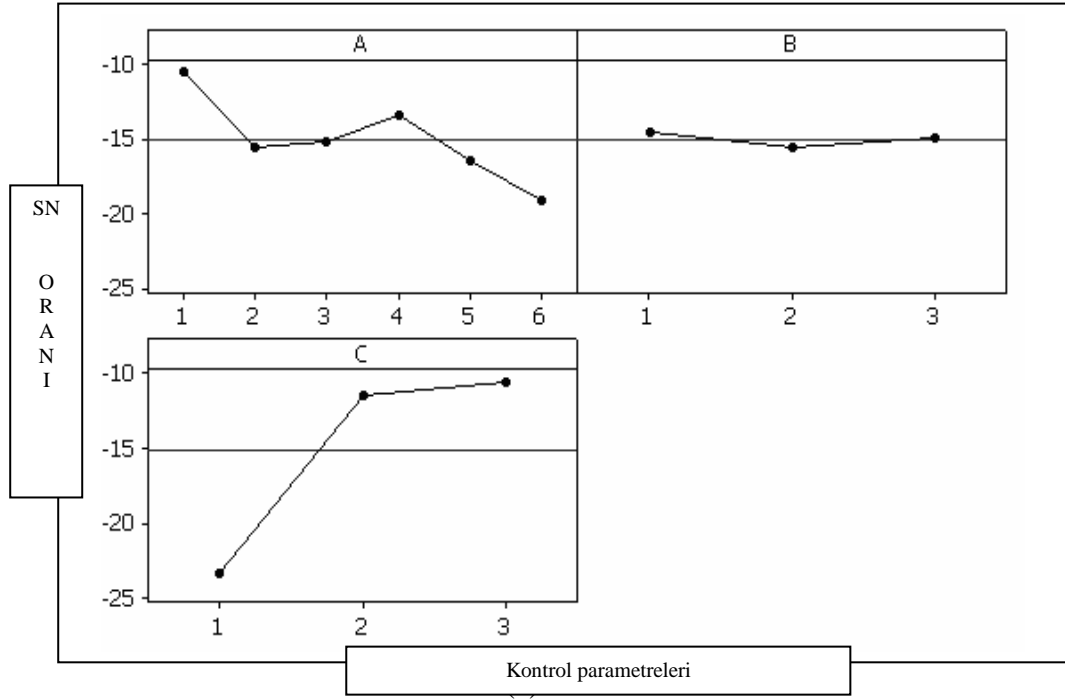
Şekil 21 a-c çelikleri ağırlık kayıplarının S/N oranı ile nasıl değiştiğini ve aynı zamanda temel etkilerini göstermektedir. AISI 1050, AISI 4140 ve AISI 8620 çeliklerine ait kontrol parametrelerin optimum test koşulları, S/N oranını gösteren Şekil 21 a-c grafiğinden kolayca tespit edilebilmektedir. Şekil 21 a-c 'den de görüleceği gibi S/N oranındaki değişimin bir seviyeden, diğer bir seviyeye nasıl değiştiği görülmektedir.

Çizelge 4.4. Çeliklerin aşınma kaybı için S/N oranları.

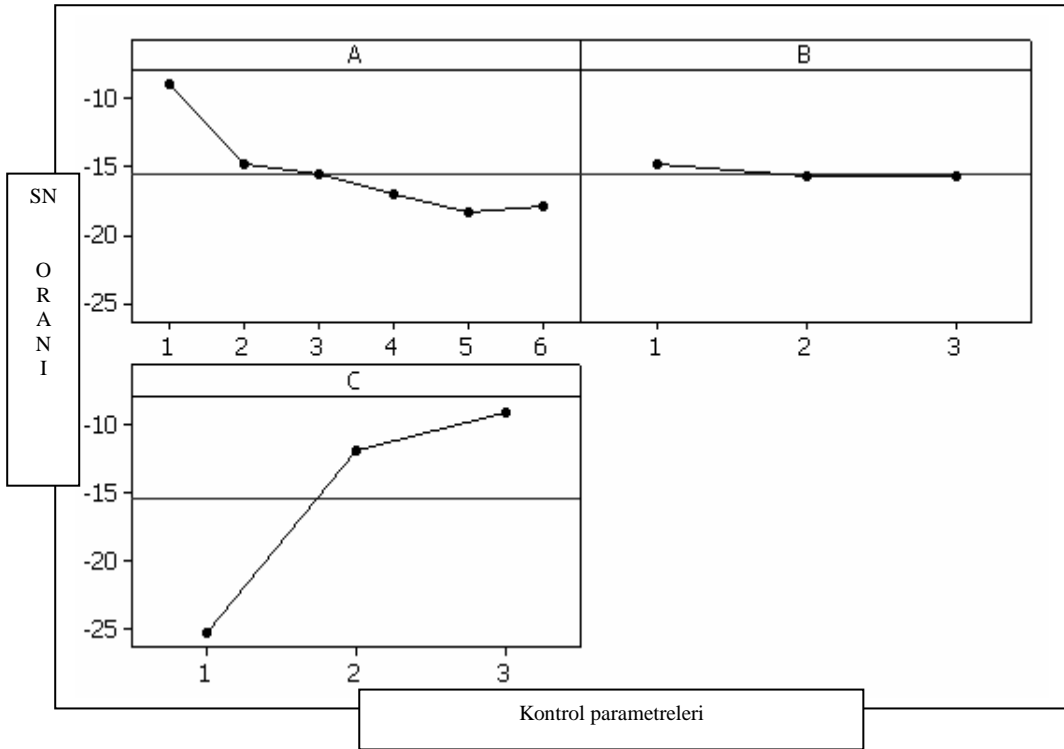
Sembol	Seviye 1	Seviye 2	Seviye 3	Seviye 4	Seviye 5	Seviye 6	Delta	Rank
AISI 1050 çelik için S / N oranı Ortalama (dB)								
A	-8.932	-14.834	-15.517	-17.062	-18.408	-17.976	9.476	2
B	-14.842	-15.775	-15.747				0.933	3
C	-25.363	-11.930	-9.071				16.292	1
AISI 4140 çelik için S / N oranı Ortalama (dB)								
A	-10.46	-15.66	-15.28	-13.38	-16.52	-19.13	8.66	2
B	-14.59	-15.65	-14.97				1.06	3
C	-23.30	-11.40	-10.51				12.79	1
AISI 8620 çelik için S / N oranı Ortalama (dB)								
A	-26.98	-28.54	-29.67	-31.10	-32.06	-32.01	5.07	2
B	-29.62	-30.86	-29.70				1.24	3
C	-37.21	-26.70	-26.28				10.93	1

Minimum ağırlık kaybı yüksek S/N oranında olduğu görülmektedir (Şekil 21 a-c). Malzemenin yüzey sertliği, en uygun test koşullarında en büyük etkiye sahip olduğu sonucu çıkmaktadır. Her üç çelik türü için de malzemenin yüzey sertliğinin 3. seviyesinin optimum değer olduğu anlaşılmaktadır. Açık olarak görülmektedir ki, AISI 1050 çeliği için, malzemenin yüzey sertliği düşük değerden (havada soğutma) yüksek değere (suda soğutma) artarken, ağırlık kaybı 18.54 mg (-25.363 dB)'dan 2.84 mg (-9.071 dB)'a düşmektedir. Benzer sonuçlar AISI 4140 ve AISI 8620 çelikleri içinde bulunmuş, benzer şekilde ağırlık kaybı miktarı, malzemenin yüzey sertliği değeri ile azalmakta olduğu tespit edilmiştir.





(b) AISI 4140



(c) AISI 8620

Şekil 21 Çelikler için S/N ağırlık kaybı grafikleri: (a) AISI 1050; (b) AISI 4140; (c) AISI 8620

4.9 Varyans Analizi

Kalite karakteristiği üzerinde hangi kontrol faktörlerinin belirgin olarak etkili olduğunu tespit etmek için, varyans analizi (ANOVA) yapıldı. Her bir parametrenin pozitif ve negatif katkılarına içeren, toplam S/N oranı hesaplandı. Toplam S/N oranı aşağıdaki [4.2] eşitlik kullanılarak belirlendi [43- 45].

$$SS_T = \sum_{i=1}^m (\eta_i - \bar{\eta})^2 = \sum_{i=1}^m \eta_i^2 - \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^m \eta_i \right]^2 \quad [4.2]$$

m= ortogonal tasarımdaki deney sayısını ifade etmekte olup m=18 dir.

$\eta_i = i$ ' ninci deney için ortalama S/N oranını ifade etmektedir.

SST iki kısımdan oluşmaktadır: birinci kısım, SS_p yani işlem parametrelerinin doğru sinyallerinin etkisini oluşturmakta, ikinci kısım ise SSe yani işlem parametrelerinin hata sinyallerini (noise=gürültü) oluşturmaktadır. SS_p aşağıdaki [4.3] eşitliği kullanılarak hesaplandı.

$$SS_p = \sum_{j=1}^t \frac{(s\eta_j)^2}{t} - \frac{1}{m} \left[\sum_{i=1}^m \eta_i \right]^2 \quad [4.3]$$

p= deneysel parametre

j= p parametresinin seviyesi

t= p parametresinin her seviyesinde ki tekrar sayısını

s η_j = p parametresinin j seviyelerindeki toplam S/N oranı

SSe ise aşağıda verilen [4.4] eşitliği kullanılarak hesaplandı.

$$SS_e = SS_T - (SS_A + SS_B + SS_C) \quad [4.4]$$

Toplam serbestlik derecesi (DoF), DT = m-1 eşitliği ile ifade edilir.

Test edilen parametrelerin serbestlik derecesi ise aşağıdaki DP = t-1 ile ifade edilir.

Test edilen parametrenin varyansı, V_p ise; VP = SSP/DP eşitliği kullanılarak hesaplandı.

Sonrada, her tasarım parametresi için F-değerleri FP = VP/Ve eşitliği kullanılarak hesaplandı;

Doğrultulmuş SP değerleri ise aşağıdaki [4.5] eşitliği kullanılarak hesaplandı;

$$\hat{S}_p = SS_p - D_p V_e \quad [4.5]$$

Yüzde etki değeri ise [4.6] eşitliği kullanılarak hesaplandı;

$$\% - Etki - Değeri(Contribution) = \frac{\hat{S}_p}{SS_T} \times 100 \quad [4.6]$$

İstatistiksel olarak, F- testi uygulandı [42]. Bu test ile hangi işlem parametresinin performans karakteristiği üzerinde çok belirgin bir etkisinin olduğunu tespit etmek için yapıldı. F testin uygulaması ise; her parametre için sapmanın karesinin ortalaması, SSm hesaplandı. SSm ise sapmanın karesinin toplamının SSd, işlem parametrelerinin serbestlik derecesine oranına eşittir. Sonra da her parametrenin F değerleri; SSm/SSe oranı olarak hesaplandı. Genel olarak, F- değerleri ne kadar fazla ise, işlem parametrelerinin performans karakteri üzerine o denli etkisinin fazla olduğu tespit edilmektedir.

Çizelge 4.5 ağırlık kayıpları için ANOVA sonuçlarını göstermektedir. AISI 1050 çeliği için, çeliğin yüzey sertliğinin ve uygulama yükünün aşınma dayanımı üzerine etkisinin çok belirgin olduğu sonucuna varılmaktadır. Çizelge 4.2’de verilen RPM değerlerinin ise çeliğin aşınma dayanımı üzerine çok etkisinin olmadığı ortaya çıkmaktadır. Bundan dolayı, S/N oranı ve ANOVA sonuçları dikkate alınarak yapılan değerlendirmede; Aşınma dayanımı için optimal kontrol faktörleri sırasıyla malzemenin yüzey sertliği 3.seviye, uygulanan yük 1. seviye ve RPM 1. seviye yani A1B1C3 olduğu tespit edildi. AISI 4140 ve AISI 8620 çelikleri için, malzemenin yüzey sertliğinin aşınma dayancı üzerine çok büyük etkisinin olduğu ancak uygulanan yük ve RPM verilen aralık (Çizelge 4.2) için fazla etkili olmadığı sonucuna varılmaktadır. Bundan dolayı, her iki çelik için optimal kontrol parametreleri A1B1C3 olarak tespit edildi. Her kontrol faktörünün yüzde katkı değeri Çizelge 4.5’nün son sütununda verilmektedir. AISI 1050 çeliği için, malzemenin yüzey sertliği (katkısı≈79.9 %), uygulama yükü (katkısı≈% 16.0) ve RPM (katkısı≈% 0.3) değerlerinde etkili olduğu görülmektedir. AISI 4140 ve 8620 çelikleri için; yüzey sertliği için sırasıyla katkıları ≈% 75.0 ve ≈% 80.8 olduğu hesaplandı. AISI 4140 çeliği için, uygulama yükünün ve RPM’in

yüzde katkısı sırasıyla \approx % 15.8 ve % 0.4 olduğu hesaplandı. AISI 8620 çeliği için bu değerlerin yine sıra ile \approx % 10.9, and % 1.0 olarak hesaplandı.

Çizelge 4.5 Üç tür çelik için varyans analizi sonuçları.

Mal.	Sembol	DF	SS	MS	F characteristics	Sertliğin katkısı (%)
AISI 1050	A	5	181.78	36.356	6.88	16.01
	B	2	3.38	1.689	0.32	0.30
	C	2	908.078	454.039	85.91	79.97
	Error	8	42.283	5.285		3.72
	Toplam	17	1135.52			
AISI 4140	A	5	129.127	25.825	2.90	15.83
	B	2	3.453	1.727	0.19	0.42
	C	2	611.865	305.932	34.30	75.00
	Error	8	71.359	8.920		8.75
	Toplam	17	815.804			
AISI 8620	A	5	62.421	12.484	2.20	10.94
	B	2	5.777	2.889	0.56	1.01
	C	2	460.609	230.304	44.30	80.75
	Error	8	41.585	5.198		7.29
	Toplam	17	570.392			

4.10 Geçerlilik Testleri

Son adım olarak, kontrol parametreleri kullanılarak aşınma dayancının geliştirilmesinin teyit edilmesidir. Optimum kontrol parametreleri kullanılarak hesaplanan S/N oranı $\hat{\eta}$, aşağıdaki [4.7] eşitliğine göre hesaplandı [17].

$$\hat{\eta} = \eta_m + \sum_{i=1}^q (\eta_i - \eta_m) \quad [4.7]$$

η_m = toplam ortalama S/N oranı

η_i = optimum seviyelerindeki ortalama S/N oranı

q = aşınma karakteristiğini etkileyen işlem parametreleri sayısı

Optimum tasarım parametrelerinde aşınma dayancı hesaplandıktan sonra, buna bağlı aşınma kaybı miktarı eşitlik [4.1] kullanılarak hesaplandı. Her bir çelik için optimum seviyelerdeki (A1B1C3) aşınma testleri 4 kez tekrarlandı. Çizelge 4.7 kontrol parametrelerinin optimum değerlerindeki hem deneysel hem de tahmin edilen aşınma miktarlarını göstermektedir. Modelle bulunan tahmini değerler ile test sonuçlarının çok uyumlu olduğu görülmektedir. Aralarındaki farkın her çelik için çok küçük olduğu görülmektedir (Çizelge 4.6).

Çizelge 4.6 Farklı çelikler için geçerlilik testleri ve hesaplanan aşınma miktarları

AISI çelik	Doğrulama testi sonuçları						Öngörülen değerler		Fark
	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x _{mean}	$\eta_{i,ver}$	$\eta_{i,cal}$	x _{cal}	
1050	1.3	1.3	1.4	1.4	1.350	-2.607	-1.936	1.2496	-0.671
4140	2.1	2.0	1.9	2.1	2.025	-6.129	-5.423	1.8669	-0.706
8620	15.2	14.5	14.8	15.1	14.900	-23.464	-22.764	13.7472	-0.700

V. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Giriş

Bu çalışmada, teknik kuru sürtünmede noktasal temas için adhezif ve abrasif aşınma incelendi. Çalışmada 3 farklı çelik kullanılarak 2 değişik sertleştirme ortamı kullanılarak 3 değişik kuvvet ve sabit devirde ele alınıp 18 aşınma deneyleri yapıldı.

Pratikte çok kullanılan çeliklerden olan AISI 1050, AISI 4140, AISI 8620 çeliklerinin sertleştirilmiş hali için temas yükü, kayma hızı için aşınma davranışları incelendi. Daha sonra kendi aralarında deney verilerine göre kıyaslamalarda bulunuldu.

5.2 Sonuçlar

Aşınmanın genel karakteristiği üzerinde yapılan deneysel sonuçlar sonucunda, çelik aşınma çiftleri için aşınma miktarı ve sürtünme kuvvetinin, bir kısım faktör ile olan ilişkilerini gözlemlemek mümkündür.

Farklı sertlikteki fazları kapsamayan; yani sertlik değişimi bulunmayan yüzeylerin aşınması daha iyi sonuçlar vermektedir. Faz farklılıkları farklı sertlikler ortaya çıkardığından, kopup ayrılan; yani aşınan faz, etrafındaki sert fazları güçsüzleştirerek onların da aşınmasına ve dolayısıyla aşınmada ters etkiye sebebiyet verebilmektedir.

Numunelerin aşınmalarından elde edilen sonuçlar literatürle uyumluluk göstermektedir. Ayrıca alaşım elementleri de su alma derinliğini C'u bağlamalarından dolayı etkilemektedir. Bu durumda alaşımsız fakat % 0.5 C miktarına sahip bir çelik olan AISI 1050 çeliği sadece yüzeyden sertleşmekte, AISI 4140 çeliği içerisindeki 0.4 C ve Cr, Mn, Mo gibi ferrit yapıcı yani C bağlayarak sert faz oluşturu elementlerden dolayı tüm bünyede sertleşmekte (sertlik alma derinliği en yüksek) ve AISI 8620 çeliği de içerisindeki % 0.2 gibi düşük C oranı ve düşük alaşım elementi miktarlarından dolayı sertleşmemektedir. Ayrıca AISI 8620 çeliği içerisinde östeniti kararlı kılıcı Ni elementinden dolayı da sertlik alması zor bir çeliktir.

AISI 4140 çeliği suda sertleştirme ile yüksek ve homojen sertliklere ulaşabildiğinden aşınma miktarı olarak en düşük, sürtünme katsayısı olarak en yüksek değerlere sahiptir. Bunu takiben yüzeyden belli bir derinliğe kadar sertleşen AISI 1050 çeliğinin aşınma kaybı bir miktar artmıştır fakat belli bir derinliğe kadar homojen sertleştiğinden çok aşırı bir ağırlık kaybı olmamıştır. Fakat şunu da belirtmek gerekir ki, aşınma daha da derinlere inecek olsaydı aşınma miktarında ani bir artış görülebilirdi. Son olarak AISI 8620 çeliği çok zor ve az sertlik alan bir çelik olduğundan dolayı aşınma kaybı çok olmuştur, bu da bize düşük sertlikli malzemelerin genellikle daha çok aşındığını göstermektedir.

AISI 8620'de zorlanma aşırı olmamış ve sürtünme katsayısı değerleri hepsinden daha düşük olmuş fakat ağırlık kaybı maksimum olmuştur. Buna karşın AISI 1050 ve AISI 4140'da zorlanmalar, dalgalanmalar fazlaca görülmekte ve sürtünme katsayısı maksimum fakat ağırlık kaybı minimum olmaktadır. Buradan sürtünme katsayısı ile ağırlık kaybı arasında direk bir ilişki bulunmadığı bunun malzemeden malzemeye değişebileceği sonucuna varılabilir.

Çalışmanın ikinci aşamasında Taguchi Metodu kullanılarak, üç farklı çelik için aşınma dayanımının optimizasyonu araştırıldı. Yüzey sertliği, uygulama yükü ve aşındırıcının dakikadaki devir sayısı (RPM) kontrol parametreleri olarak seçildi ve onların aşınma üzerine etkileri incelendi. Yüzey sertliği, her üç çeliğin aşınma dayanımlarının optimizasyonunda en güçlü etkiye sahip olduğu tespit edildi. Uygulama yükü AISI 1050 çeliğinde az etkiye sahip ancak AISI 8620 ve AISI 4140 çeliklerinde etkili olmadığı sonucuna varıldı. RPM ise her üç çelik için etkili olmayan bir parametre olduğu ortaya çıkarıldı.

Bunlara ek olarak, geçerlilik testleri yapıldı. Optimum değerlerde ki aşınma miktarı ile tahmini değerlerin uyum içinde olduğu tespit edildi.

5.3 Öneriler

Ayrıca SEM, EDX analizlerinin yapılması, aşınma yüzeylerinde sürtünmeden kaynaklanan yenifazların oluşup oluşmadığı incelenmesi, çalışmayı daha güçlü kılacaktır. Yüzey profilometrisi analizi de yapılması yararlı olacaktır.

6 KAYNAKLAR

1. Mustafa D. , Mustafa Y. (2006). 95200-95300 Cu-Al-Fe Alaşımlarının Aşınma Davranışlarının İncelenmesi. Cilt9, Sayı 1, 17-26
www.teknoloji.karabuk.edu.tr/arsiv/1302-0056/2006/Cilt(9)/Sayi(1)/17-26.pdf
2. Bijwe, J. (1997). Composites As A Friction Material: Recent Developments In Non-Asbestos Fiber Reinforced Friction Materials-A Review, Polimer Composites, 18, 3, 378-396.
3. Acılar, M. (2002). Al/Sic Kompozitlerin Vakum İnfiltasyon Yöntemiyle Üretimi ve Aşınma Davranışların Araştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara, 57s.
4. Arslan, F. (1997). Dönmez , A.G., Ayar, H.H, Asbestsiz Fren Balatalarının Üretimi ve Özelliklerinin İncelenmesi, Doktora Tezi, KTÜ Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon. 96s.
5. Trumper.R.L. (1987). Metal Matrix Composites, Applications and Prospects, J.Int. of metals and materials Materials Science and Technology, 663,3-,11p.
6. şahin, Y. (2000). Komposit Malzemelere Giriş, Gazi Kitapevi, Ankara, 79-82s.
7. Easterling, K. (1990) Tomorrows Material, The Institute of Metals, London, 55-57p.
8. Halling, J. (1975). Principles of Tribology, MacMillas Pres, London 214-219p.
9. Eriksson. M., Lundqvist. A., Jacobson. S. A study of the influence of humidity on the friction and squeal generation of automotive brake pads. Proc. Instn. Mech. Engrs. Part D; J. of Automobile Engineering 2001; 215, 329–342
10. Taya,M., Arsenault, R.J. (1988). Metal Matrix Composites-Thermal and Mechanical Behavior, Pergamon press, Newyork, 378-390p.

11. Blau, P.J. (2001). Composition, Functions, and Testing of Friction Brake Materials and Their Additives, Oak Ridge National Laboratory, USA.
12. Lerner, Y.S. (1999) "Wear Resistance of Austempered Ductile Iron", Foundry Management & Technology, 74-80
13. Duman, Ü. (2004). Katı Hal Kaynağı İle Birleştirilen AISI 3343 S 600 AISI 4140 Çeliklerinin Kaynak Kabiliyetinin Araştırılması. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniv., Metalurji ve Malzeme Müh. Bölümü, İstanbul.
14. Sinan, U., Halil A., Galip S. (2006). 4 Farklı Çeliğin Bazı Mekanik Özelliklerine Fe-FeC Faz Diyagramında A₁-A₃ Arasında Yapılan Isıl İşlemlerin Etkisi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü, Afyonkarahisar. 145s.
15. Spuzic, S., Zee M., Abhay, K., Ghomasch, R., and Reid, I. (1997). Fractional design of experiments applied to a wear simulation, Wear, 212p, 131–139p.
16. Esteban, F.J., Fernandez, M.R., Vijande, D.R., and Tucho, N.R. (2003). Abrasive wear analysis using factorial experiment design, Wear, 255, 38–43p.
17. Sahin, Y. (2003). Wear behaviour of aluminum alloy and its composites reinforced by SiC particles using statistical analysis, Materials & Design, 24, 95–103p.
18. Bateni, M.R., Szpunar, J.A., Wang, X., and Li, D.Y. (2005). The effect of wear and corrosion on internal crystalline texture of carbon steel and stainless steel, Wear, 259 (1-6), 400-404p.
19. Myung, L.K., and Andreas A.P. (2005). Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels, Wear, 259 (1-6), 391-399p.
20. Sahin, Y. (2006). Optimal testing parameters on the wear behaviour of various steels. Materials & Design, 27p, 455–460p.
21. Groche, P., and Nitzsche, G. (2007). Influence of temperature on the initiation of adhesive wear with respect to deep drawing of aluminum-

- alloys, *Journal of Materials Processing Technology*, 191(1-3), 314-316p.
22. Louaisil, K., Dubar, M., Deltombe R., Dubois, A., and Dubar, L. (2009). Analysis of interface temperature, forward slip and lubricant influence on friction and wear in cold rolling, *Wear*, 266(1-2), 119-128p.
 23. Zhang, Y., Chen, Y., He, R. and Shen, B. (1993). Investigation of tribological properties of brake shoe materials phosphorous cast iron with different morphologies, *Wear*, 166, 179-186p.
 24. Liu, R., and Li., D.Y. (2001). Modified of Archard's equation by taking account of elastic-plastic properties of materials, *Wear*, 251, 956-964p.
 25. Ueda, M., Koichi, U., and Koabyashi, A. (2002). Effects of carbon contents on wear property in pearlitic steels. *Wear*, 253, 107-113p.
 26. Selçuk, B., Ipek, R., and Karamis, M.B. (2003). A study on friction and wear behaviour of carburized, carbonitrided and borided AISI 1020 and 5115 steels, *Journal of Materials Processing Technology*, 141, 189-196p.
 27. Cueva G., Sinatora, A., Guessser, W.L., and Tschiptsch, A.P. (2003). Wear resistance of cast iron used in brake disc rotors, *Wear*, 255, 1256-1260p.
 28. Ceschini, L., Palombarini, G., Sambogna, G., Firrao, D., Scavino, G. and Ubertalli, G. (2006). Friction and wear behaviour of sintered steels submitted to sliding and abrasion tests, *Tribology International*, 39(8), 748-755p.
 29. Sert, H., Can, A., Arıkan, H., Selcuk, B., and Toprak, H. (2006). Wear behavior of different surface treated cam spindles, *Wear*, 260, 1013-1019p.
 30. Jacobson, S., Wallen, P., and Hogmark, S. (1998). Fundamental aspects of abrasion wear studied by a new numerical simulation model, *Wear*, 123, 207-223p.

31. Basavarajappa, S., Chandramohan, G. and Davim, J.P. (2007). Application of Taguchi techniques to study dry sliding wear behaviour of metal matrix composites, *Materials and Design*, 28, 1393–1398p.
32. Prasad, B.K., Das, S., Jha, A.K., Modi, O.P., Dasgupta, R. and Yegneswaran, A.H. (1997). Factors controlling the abrasive wear response of zinc based alloys silicon carbide particle composite, *Composites Part A*, 28A, 301–308p.
33. Chua, M.S., Rahman, M., Wong, Y.S. and Loh, H.T. (1993). Determination of optimal cutting conditions using design of experiments and optimization techniques, *Int J Mach Tools Manuf*, 32, 297–305p.
34. Taguchi, G. (1990). *Introduction to quality engineering*, Tokyo: Asian Productivity Organization.
35. Yang, W.H. and Tarn, Y.S. (1998). Design optimization of cutting parameters for turning operations based on the Taguchi method, *J Mater Process Technol*, 84, 121–129p.
36. Phadke, M.S. (1989) *Quality engineering using Robust design*. In: AT&T, Bell Laboratories Report. New Jersey, Prentice-Hall International Editions.
37. Savaşkan, T., Çuvalcı, H. (1990). Çinko-Alüminyum Esaslı Yatak Alaşımlarının Tribolojik Özelliklerinin İncelenmesi, 4. Ulusal Tasarım ve İmalat Kongresi, ODTÜ, Ankara.
38. Yücel, A. (1999). Çeliklerde Aşınmaya Etki Eden Faktörlerin İncelenmesi, Cum. Üniv. Fen Bil. Ens Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
39. Özer, A. (2006). ZA8 Alaşımına Element İlavesinin Aşınma Özelliklerine Etkisi, Sakarya Üniv. Fen Bil. Ens Yüksek Lisans Tezi, Sivas.
40. Boz, M. (1999). Toz Metalurjisi ile Üretilmiş Bronz –Esaslı Fren Balata Malzemelerin Sürtünme Aşınma Davranışlarının Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniv. Fen Bilimler Enstitüsü, Ankara, 18-22p.

41. Dowson, D. (1979) History of Tribology, Longman, London.
42. Fisher, R.A. (1925) Statistical methods for research worker, Oliver & Boyd, London.
43. Nalbant, M. Gökkaya, H., and Sur, G. (2007). Application of Taguchi method in the optimization of cutting parameters for surface roughness in turning, Materials and Design, 28p, 1379–1385p.
44. Rabinowicz, E.D. (1965). Friction and wear of work-hardening in the design of wear resistant materials, Wiley, New York, 168–74p.
45. Lin, T.R. (2002). Experimental design and performance analysis of TiN coated carbide tool in face milling stainless steel, J Mater Process Technology, 127, 1–7p.

7.ÖZGEÇMİŞ

Kişisel bilgiler

Adı Soyadı	Sertel Dikmen
Doğum Yeri ve Tarihi	İzmit, 25/11/1980
Medeni Hali	Evli
Yabancı Dil	İngilizce
İletişim Adresi	Uğur mumcu bul. Billur apt. 7/21Çukurova /ADANA
E-posta Adresi	sertel@zahit.com.tr

Eğitim ve Akademik Durumu

Lise	Kabataş Erkek Lisesi,1998
Lisans	Selçuk Üniversitesi, 2004
Yüksek Lisans	Cumhuriyet Üniversitesi, 2010

İş Tecrübesi

Kurşunel kalıpcılık	Makine mühendisi, 2004-2005
Zahit Alüminyum ve Plastik	Teknik Müdür