



**16MnCr5'TEN YAPILMIŞ SİLİNDİRLERİN KAYMALI-  
YUVARLANMA KOŞULLARINDA AŞINMA  
KARAKTERİSTİKLERİNİN İNCELENMESİ**

**(INVESTIGATION OF WEAR CHARACTERISTICS OF DISCS  
MANUFACTURED FROM 16MnCr5 UNDER SLIDING - ROLLING  
CONDITIONS)**

**Melih BELEVİ\*, Murat EŞ\***

**ÖZET/ABSTRACT**

Bu çalışmada 16MnCr5 çelikten yapılmış yüzeyi işlem görmemiş ve yüzeyi sementasyonla sertleştirilmiş disklerin, kuru ve yağlı kayma-yuvarlanma koşulları altında aşınma davranışı araştırılmıştır. Aşınma deneyleri farklı kayma-yuvarlanma oranlarıyla ve farklı yükler altında disk/disk test cihazıyla yapılmıştır. Yapılan deneyler sonucunda yüzeyi sertleştirilmiş disklerde kayma oranının artmasıyla aşınmanın kademeli olarak şiddetlendiği görülmüştür. Ayrıca yüzeyi sertleştirilmiş disklerin sertleştirilmemiş disklerle göre çok daha az aşındığı gözlenmiştir. Yüzey sertleştirilmenin aşınma direncini arttırmada etkili bir yöntem olduğu görülmüştür. Yağlı kayma-yuvarlanma temas koşullarında ise, kuru kayma-yuvarlanma koşullarına göre aşınmanın çok daha az olduğu saptanmıştır.

*In this study, the wear behaviour of untreated and carburized discs manufactured from 16MnCr5 steel has been investigated under dry and lubricated sliding-rolling contact conditions. Wear tests with various sliding-rolling ratios and under various loads were carried out using a roller on roller test ring. It has been observed from the tests that wear has become gradually so were in carburized discs by the increase in sliding-ratio. In addition, it has been detected that carburized discs exhibited much lower wear than untreated discs. Another observation was that carburization proved to be an effective method for the improvement of wear resistant. Under lubricated sliding-rolling contact conditions, it has determined that wear was much lower compared to dry sliding-rolling contact conditions.*

**ANAHTAR KELİMELER/KEYWORDS**

Aşınma, Tribotestler, Çelik Disklerin Aşınması, Yuvarlanma-kayma  
Wear, Tribotests, Wear of Steel Discs, Rolling-Sliding

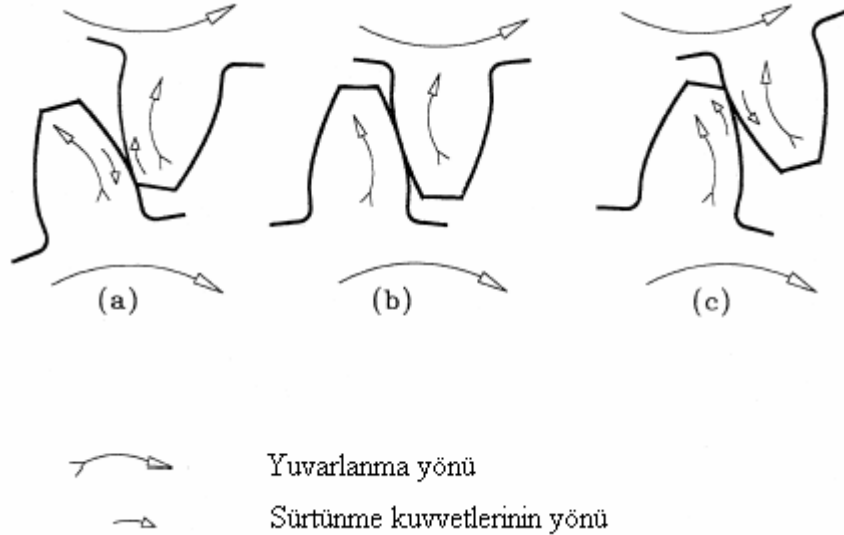
## 1. GİRİŞ

Aşınma, bir yüzeyin karşı yüzeye etkileşimi sonucunda yüzeyden malzeme kalkması olayı olarak tanımlanmaktadır. Hemen hemen tüm makinalar aşınma sonucunda mukavemet ve emniyetlerini kaybederler. Bu yüzden geleceğin ileri ve gelişmiş teknolojisi için aşınma kontrolü en önemli etkenlerden biridir. Bu konuda bilgi birikiminin artırılması için laboratuvar ortamında aşınma deneyleri planlanmakta bu sırada yüzey pürüzlülüğünden, sertliğine; yükten, hıza kadar çeşitli parametrelere bağlı olarak deneyler sonucunda ortaya çıkabilecek fiziksel büyüklüklerin ölçülmesi için gereken düzenlemeler yapılmaktadır (Değerli 1996).

Genellikle güç iletiminde kullanılan çelik dişliler, sertleştirilmiş veya karbürize edilmiş çeliklerden yapılır ve tam yağlı koşullarda çalışmak üzere tasarlanırlar. Buna rağmen yağ kullanımının istenmediği bir çok uygulama vardır ve bu durumda dişliler kuru ortamda “yağsız şekilde” çalışmak zorundadırlar. Bunun dışında keçe bozulması veya dişli kutusu hasarları sonucunda yağın kazara tükenmesi nedeniyle, dişliler kuru ortamda çalışmak zorunda kalabilirler.AGMA Standart 110.03 listelerindeki 22 çeşit dişli hasarını genel dört kategoride toplamıştır. Bunlar; Aşınma, yorulma, plastik akma ve kırılmadır (Connor 1968).

## 2. YUVARLANMA VE KAYMA

Birbirine geçmiş durumdaki iki dişli dişinin temas tipi iki bileşenle basitleştirilebilir; yuvarlanma ve kayma. Her bileşenin büyüklüğü devir başlangıcından sonuna kadar değişkendir. Ayrıca döndüren ve döndürülen dişlilerde de bileşenlerin büyüklüğü değişmektedir. Dişli temas devri boyunca temas koşulları; kayma oranı ( kayma hızı ile yuvarlanma hızının ortalama oranı), yük, eğrilik yarıçapı ve kayma hızına göre tanımlanmıştır. Döndüren ve döndürülen dişlilerin uç ve kök kısmında kayma oranı ve kayma hızı özdeş olarak görünmesine rağmen kayma yönüyle yuvarlanma yönü arasında bağlı bir terslik vardır (Wright, 2001).



Şekil 1. Dişli diş temas mekanizması

(a) ilk temas noktası, (b) yuvarlanma temas noktası, (c) son temas noktası.

Şekil 1’de birbirleriyle temas halindeki dişlilerin yuvarlanma ve kayma hareketleri görülmektedir. İlk temas noktası Şekil 1.(a)’da döndüren dişlinin kökü (diş dibi) ile döndürülen dişlinin uç kısmının (diş başının) birbirine geçmesi ile meydana gelmektedir. Burada yuvarlanma ve kayma hareketlerinin birleşimi görülmektedir (Walton, 1998).

Yuvarlanma yönü döndüren dişli için, kökten uca doğru, döndürülen dişli için ise uçtan köke doğrudur. Ancak, döndüren dişlinin uç kısmında kayma ile yuvarlanma aynı yönde iken kök kısmında zıttır. Döndüren dişlide kayma yönü her zaman temas çizgisinden dışarı doğrudur. Buna zıt olarak, kayma hızı kökten uca doğru, temas çizgisinden içe doğrudur. Kayma hızı yuvarlanmaya zıt ise bu durum, yavaşma hareketi olarak bilinir. Kayma ile yuvarlanma aynı yönlü ise durma hareketi olarak bilinir. Yavaşma hareketi bazen durma hareketinden daha zararlı olabilir. Eğer yavaşma durumu daha zararlı ise döndüren dişlinin kök kısmında uç kısmına göre daha büyük bir aşınma meydana gelmesi beklenir (Wright, 2001).

Döndüren ve döndürülen dişlilerin yan ve yüzey uzunlukları farklı olmasından dolayı, kayma sürekli olarak kök ve uçta meydana gelir. Kayma oranı dişlilerin periyodu boyunca değişir, yalnız yuvarlanma dairesi temas noktasında sıfırdır. Şekil 1.(b)'de yuvarlanma ve kayma tekrar meydana gelir, fakat sürtünme kuvvetleri ilk temas noktasına göre ters yöndedir. Kayma hareketinden dolayı oluşan sürtünme kuvvetlerinin yönleri Şekil 1.(c)'de görülmektedir. Sürtünme kuvvetlerinin yönü üst dişlide (döndürülen) dişlilerin temas noktasına doğrudur, alt dişlide (döndüren) ise temas noktasından dışarı yöndedir (Walton, 1998).

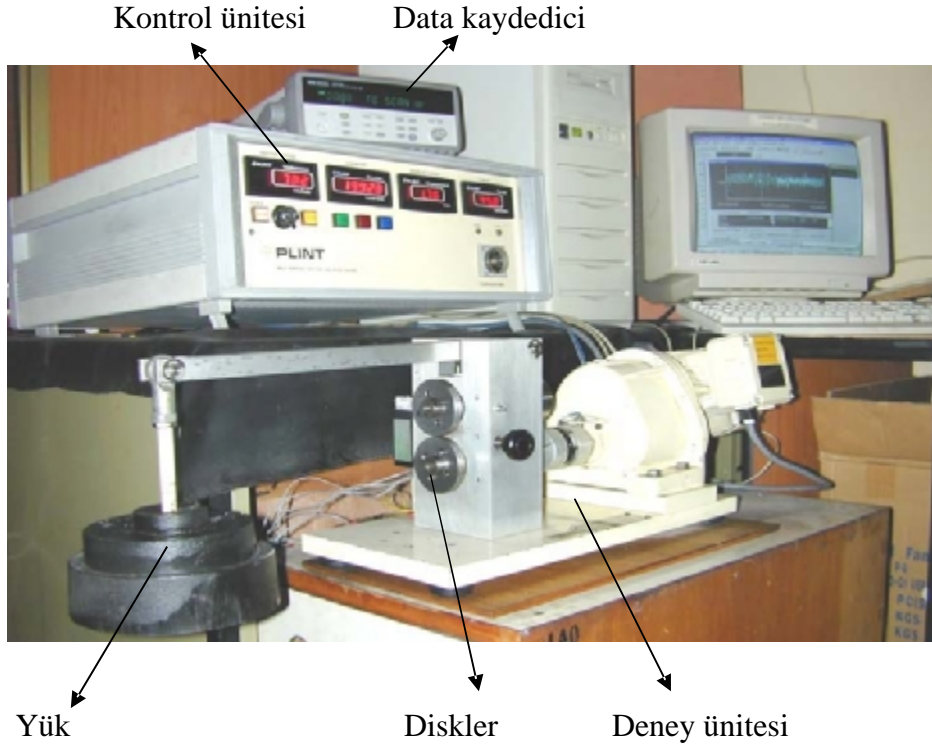
Bir dişli uygulamasında, bir malzemenin tribolojik performansını en iyi anlama yolu yüzey çiftlerinde yuvarlanma ve kayma hareketinin birleşimini sağlamaktır. Bir çok araştırmacı (Hooke ve diğerleri, Kukureka ve diğerleri) bu çalışma koşullarını yaratmak için disk çiftleri kullanmışlardır (Wright, 2001).

### 3. DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu çalışmanın amacı, en çok kullanılan dişli malzemesi olan 16MnCr5 sementasyon çeliğinden yapılmış yüzeyi sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş disklerin kayma-yuvarlanma temasında kuru ve yağlı çalışma şartlarındaki; farklı kayma oranlarında, farklı yüklerde aşınma davranışlarını incelemektir.

#### 3.1. Deney Cihazı

Deneyler Şekil 2'de gösterilen TE53 çok amaçlı sürtünme ve aşınma deney cihazıyla yapılmıştır. Deney cihazı kontrol, deney ünitesi ve veri kaydedici olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır. Kontrol ünitesiyle yuvarlanma hızı ayarlanabilmekte, alınan yol çevrimsel olarak takip edilebilmekte, sürtünme kuvveti (N) ve aşınma miktarı (mm) izlenebilmektedir. Diskler arasında oluşan sürtünme kuvveti bir veri kaydedici kullanılarak bilgisayara kaydedilmektedir. Yükleme ise bir manivela koluyla sağlanmaktadır. Deney ünitesi silindir üzerinde pim (pin on roller) ve iki disk (roller on roller) çalışma özelliklerine sahiptir. Deneylerde iki disk aşınma test özelliği kullanılmıştır. Burada iki disk birbiri üzerinde bir dişli çifti vasıtasıyla dönmekte ve yüklenmektedir. Alt disk doğrudan motor tarafından tahrik edilmektedir, üst disk ise motora bağlı dişlinin üstteki dişliyi tahrik etmesiyle dönmektedir. Bu dişliler arasında sabit bir kayma yuvarlanma oranı vardır. Eğer iki diskten biri daha hızlı dönüyorsa kayma ve yuvarlanma meydana gelir. Diskleri taşıyan millerin diğer ucunda bulunan dişli çiftleri değiştirilerek farklı kayma yuvarlanma oranları elde edilmektedir.

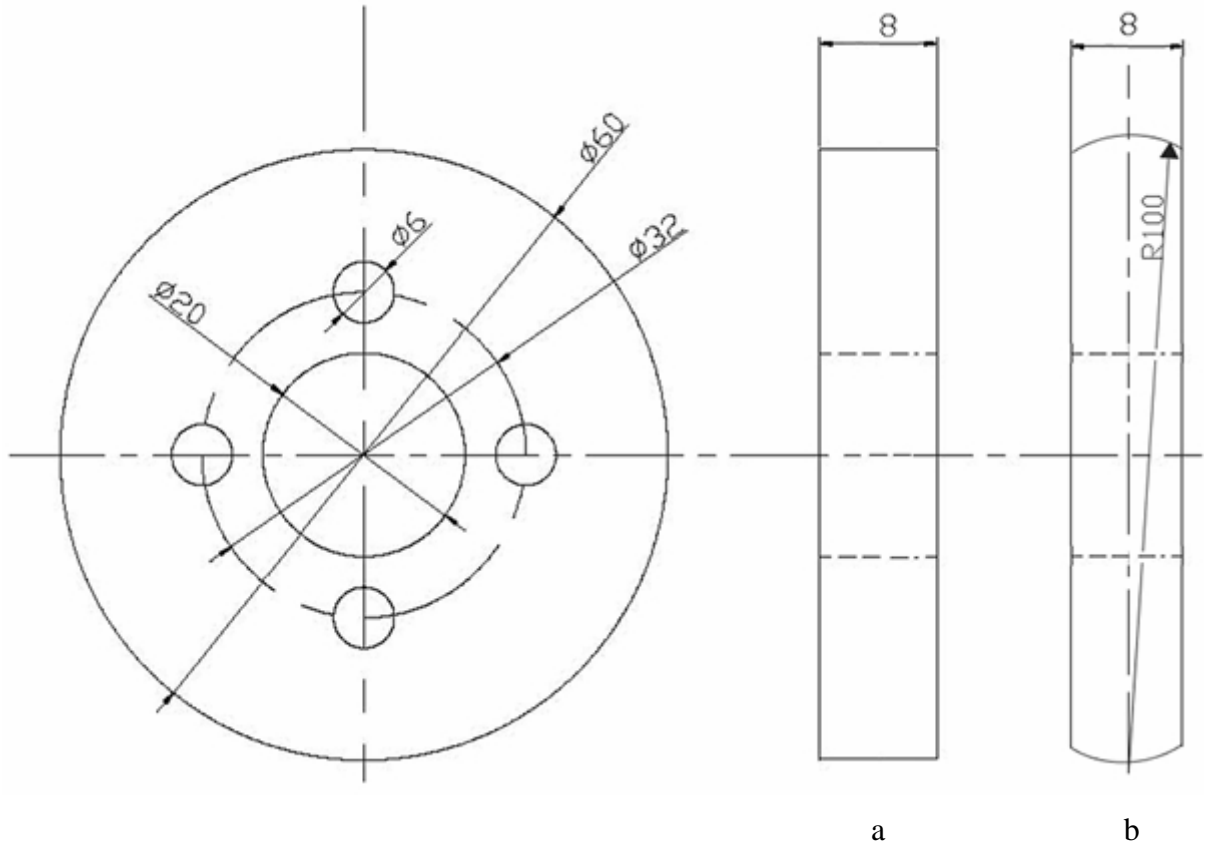


Şekil 2 Deney Cihazı

### 3.2. Deney Numuneleri

Deneylerde 60 mm. çapında, 8 mm. genişliğinde,  $14 \pm 2$  HRC sertlikte, sertleştirilmemiş ve  $60 \pm 2$  HRC yüzey sertliğine ulaştırılan 16MnCr5 sementasyon çeliğinden yapılmış diskler kullanılmıştır. Disklerin birbiri üzerine düzgün bir şekilde oturmasını sağlamak ve aksel hataları ortadan kaldırmak için, alt disk genişliği doğrultusunda doğrusal iken üst disk 100 mm yarı çapında eğrisel yapılmıştır (Şekil 3).

Diskler işlendikten sonra sementasyonla yüzeyleri sertleştirilmiştir. Disk yüzeylerinde 0.7 mm sertlik derinliği elde edilmiştir. Isıl işlem basamakları: diskler önce 10 dakikada  $850$  °C'ye kadar ısıtılıp  $850$  °C'de 5 dakika bekletilmiştir. Daha sonra  $930$  °C'ye ısıtılırken ortama da karbon verilerek diskler üzerine karbon difüzyonu sağlanmıştır. 0.7 mm. sertlik derinliği elde edilecek şekilde bilgisayar kontrollü karbon emdirilmiştir. 0.7 mm. sertlik derinliği elde edildikten sonra  $930$  °C sabit sıcaklıkta, %0.8 C'lu ortamda 60 dakika, %0.70 C'lu ortamda ise 90 dakika bekletilmiştir. Daha sonra %0.70 C oranında diskler  $830$  °C'ye soğutulmuştur, homojen sıcaklığın sağlanması için  $830$  °C'de 60 dakika beklenmiştir. Diskler  $830$  °C su verme sıcaklığından  $100$  °C'deki yağ banyosuna daldırılarak sertleştirme işlemi tamamlanmıştır.



Şekil 3. Disklerin boyutları, (a) alt disk, (b) üst disk

### 3.3. Deneyin Yapılışı

Deneylerimizde ana değişken kayma-yuvarlanma oranı olup bu değişkenle birlikte yük, yüzey sertliği, çalışma süresi ve çalışma tribolojik şartlarının (kuru, yağlı) ağırlık kaybına etkisi incelenmiştir. Deneyler her koşul için üç kez yapılarak eğer büyük sapma yoksa ortalama alınarak, aşırı farklılıkların olması durumunda deneyler yenilenerek elde edilenlere göre Ağırlık kaybı-yol “devir” diyagramları çizilmiştir.

Deneyler yüzeyi sertleştirilmiş disklerle 700 dev/dak sabit yuvarlanma hızında, 300 N yük altında dört değişik kayma-yuvarlanma oranında (% 1.79, % 8.70, % 13.33 ve % 22.22) toplam çevrim 200000 devire ulaşana kadar (~ 5 saat) yapılmıştır. % 8.70 kayma oranında, 300 N yük ile yapılan deneyler 600000 devire kadar sürdürülüp çevrim sayısının etkisi de incelenmiştir. Ayrıca yük etkisini görmek için % 13.33 ve % 22.22 kayma oranlarında 400 N yükte de deneyler yapılmıştır. Karşılaştırma amacıyla işlendikten sonra sertleştirilmemiş (işlem görmemiş) disklerle de aşınma deneyleri yapılmıştır. Disklerin yağlı çalışma koşullarındaki aşınma performansını incelemek için 300 N yük altında % 22.22 kayma oranında deneyler yapılmıştır. Bu deneylerde Shell Tellus 37 yağı kullanılmıştır.

Toplam çevrim sayısının aşınma üzerindeki etkisini görebilmek için deneyler her 20000 devirde bir durdurularak, diskler  $10^{-4}$  g hassasiyetteki teraziyle tartılarak aşınma, ağırlık kaybı cinsinden ölçülmüştür. Diskler deneylerden önce, her tartım öncesi ve sonrası alkol ile temizlenmiştir. Belirli aralıklarda aşınma izlerinin ve aşınma artıklarının mikroskop altında fotoğrafları çekilerek, disklerin aşınma davranışlarındaki değişiklikler araştırılmıştır. Ayrıca disklerin deneyden önce, deneyden sonra ve belirli aralıklarda yüzey pürüzlülükleri ölçülerek yüzey pürüzlülüğünün değişimi de incelenmiştir.

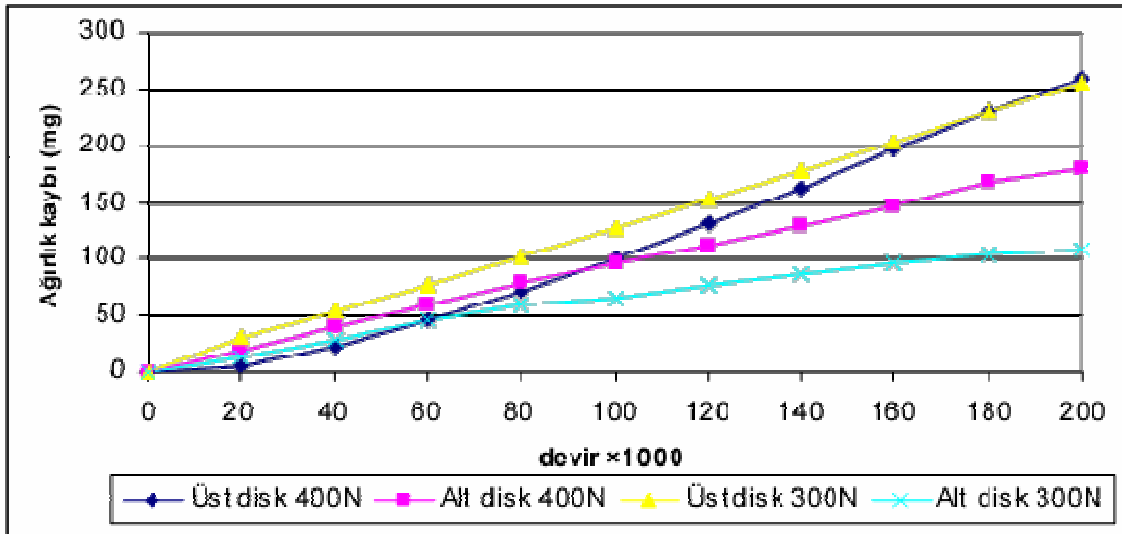
Çizelge 1. Deneysel kullanılan yağın özellikleri

Sıcaklık (°C)	Kinematik Viskozite (cSt)
0	440
40	37
100	5,9
Viskozite indeksi	99
15 °C için Yoğunluk (kg/l)	0.875

#### 4. DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

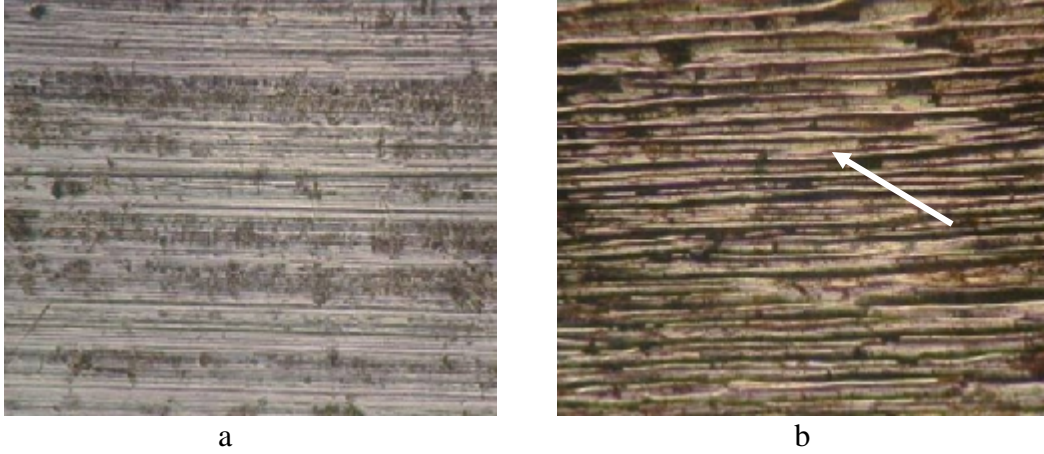
##### 4.1. Yük Etkisi

Sertleştirilmiş disklerde %13.33 kayma oranında 300 N yükte üst diskteki ağırlık kaybı doğrusal olarak artarken, 400 N yükte üst diskte başlangıçta disk yüzeyine yapışan aşınma parçacıklarından dolayı ağırlık kaybı artışı 100000 devire kadar eğriseldir (Şekil 4). Ağırlık kaybına bakarak aşınma aynıdır demek yanlış olur. Yükün artmasıyla üst diske yapışan aşınma parçacıkları artmaktadır.



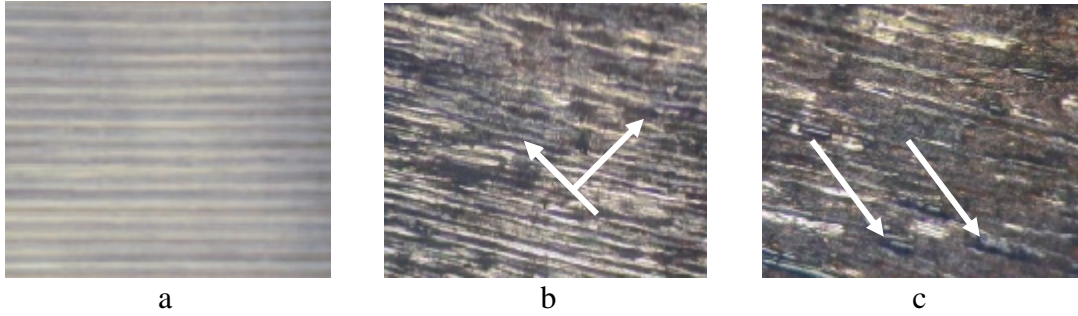
Şekil 4. Sertleştirilmiş disklerle %13.33 kayma oranında 300N ve 400N yüklerde ağırlık kaybı değişimi

Şekil 5'teki aşınma yüzey fotoğraflarından 300N yük uygulandığında üst diskin yüzeyine aşınma parçacıklarının yapışmadığı görülmektedir. Bu yüzden 300 N ve 400 N yükteki ağırlık kayıpları birbirine çok yakındır.



Şekil 5. Sertleştirilmiş disklerde 300 N yükte ve % 13.33 kayma oranında  
a) başlangıç, b) 200000 devir sonundaki üst disk aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Alt diskte de 60000 devirden sonra Şekil 6 (b)'de görüldüğü gibi adhezyon şiddetlenmektedir ve tüm yüzeye disklerden kopan aşınma parçacıkları yapışmaktadır. Kuru sürtünmeden dolayı oluşan yüksek ısı etkisiyle yüzeye yapışan bazı aşınma parçacıkları yüzeyde yanmıştır (Şekil 6 (c)).



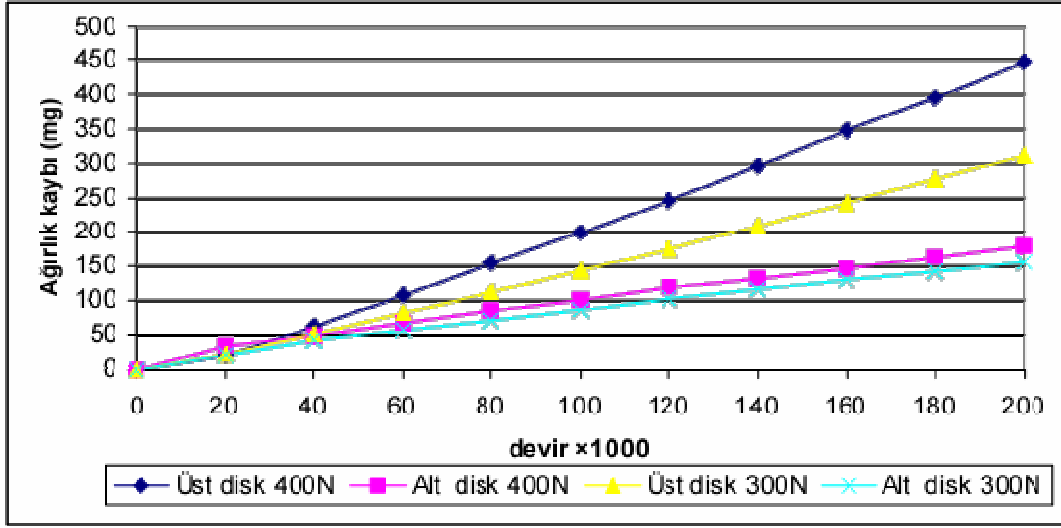
Şekil 6. Sertleştirilmiş disklerde 300 N yükte ve % 13.33 kayma oranında  
a) Başlangıç, b) 60000 devir, c) 200000 devir sonundaki alt disk aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Sertleştirilmiş disklerde %22.22 kayma oranında 300 N ve 400 N yükte üst disklerdeki ağırlık kayıpları doğrusal olarak artmaktadır. 400 N yükte 20000 devirden sonra yüzeye aşınma parçacıkları yapışmakta ancak bu durum ilerleyen çevrimlerde azalmaktadır. Her iki yükte alt disklerin ağırlık kaybı eğrileri birbirine benzemektedir. Yükün artmasıyla ağırlık kaybında artış görülmüştür (Şekil 7).

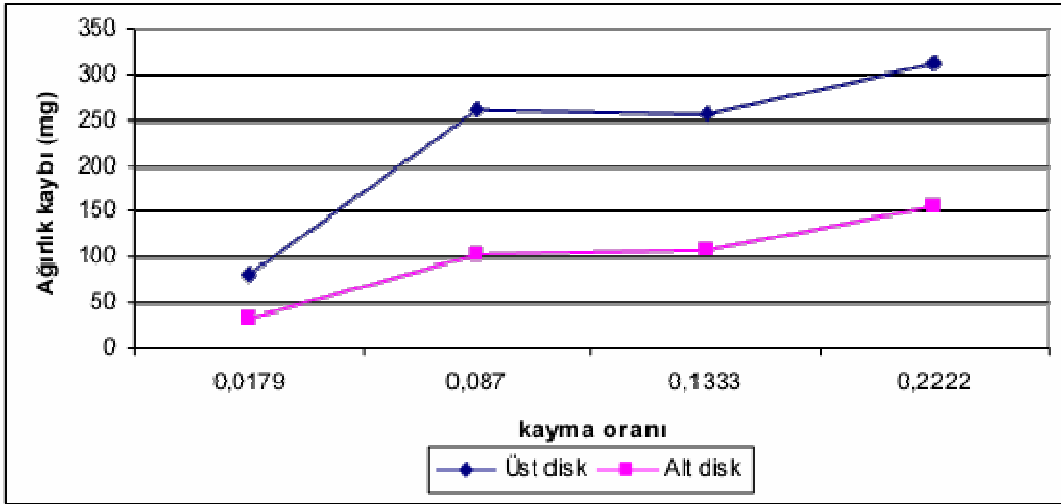
#### 4.2. Kayma Oranının Etkisi

Sabit yük (300 N) ve hızda (700 D/d) değişik kayma oranlarının aşınma üzerindeki etkisi incelenmiştir. Tüm kayma oranlarının 200000 devir sonundaki ağırlık kayıpları Şekil 8'de karşılaştırılmıştır. En yüksek kayma oranında en fazla, en düşük kayma oranında ise en az ağırlık kaybı görülmüştür. %13.33 ve %22.22 kayma oranlarında alt disklerde adhezyonun arttığı görülmüştür. %1.79 ve % 8.70 kayma oranlarında da adhezyon vardır, fakat büyük kayma oranlarındaki kadar şiddetli değildir. Kayma oranının artmasıyla aşınma şiddetlenmektedir.





Şekil 7. Sertleştirilmiş disklerle %22.22 kayma oranında 300N ve 400N yüklerde ağırlık kaybı değişimi.

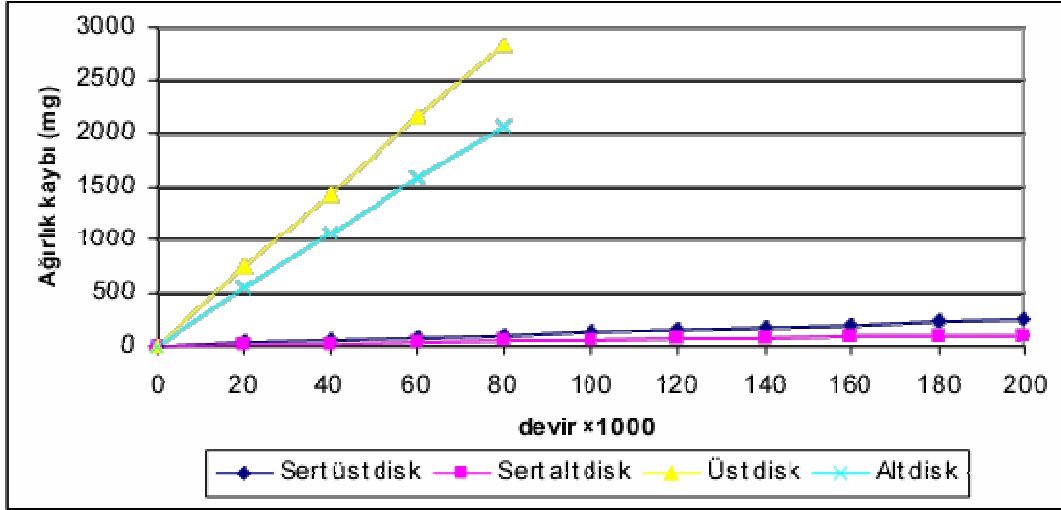


Şekil 8. Sertleştirilmiş disklerle 300N yükte farklı kayma oranlarında ağırlık kaybı değişimi.

### 4.3. Yüzey Sertleştirirmenin Etkisi

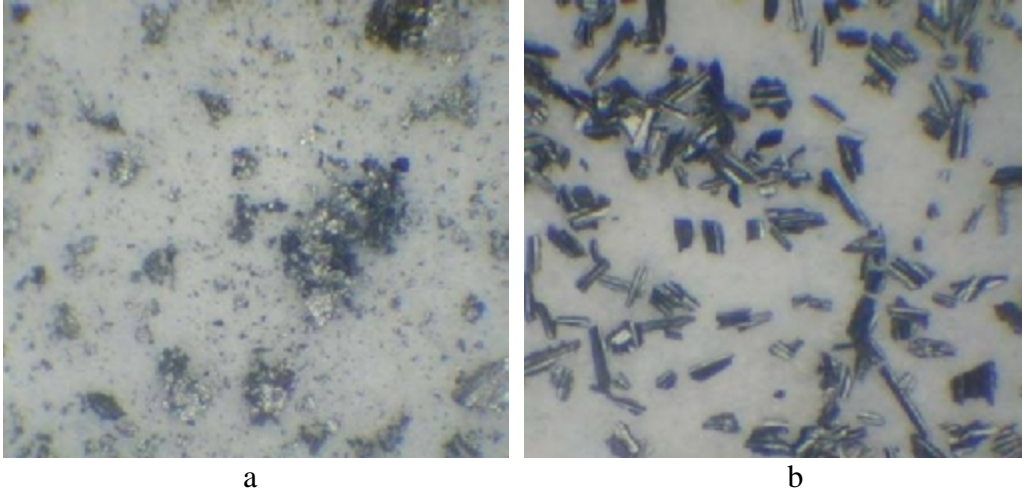
Yüzeyi sertleştirilmemiş diskler, 300 N ve 400 N yük altında %13.33 ve %22.22 kayma oranlarında deneye tabi tutulmuştur. %13.33 kayma oranında Yük 400 N çıkarıldığında yüzeylerdeki aşırı bozulma nedeniyle deneylere 50000 devirden sonra devam edilememiştir. Şekil 9'da yüzey sertleştirirmenin aşınma karakteristiği üzerindeki olumlu etkisinin ne kadar büyük olduğu görülmektedir. Sertleştirilmemiş diskler 20000 devir sonunda, sert disklerin 200000 devir sonundaki ağırlık kaybından daha fazla ağırlık kaybetmiştir. Kayma oranı %22.22 alındığında ise sertleştirilmemiş disklerle deney 20000 devire kadar yapılabilmektedir. Bu disklerdeki ağırlık kayıpları çok yüksek olduğundan grafikte karşılaştırmak amacıyla 80000 devire kadar olan değerleri alınmıştır (Şekil 9).





Şekil 9. Sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş disklerle 300N yükte %13.33 kayma oranında ağırlık kaybı değişimi

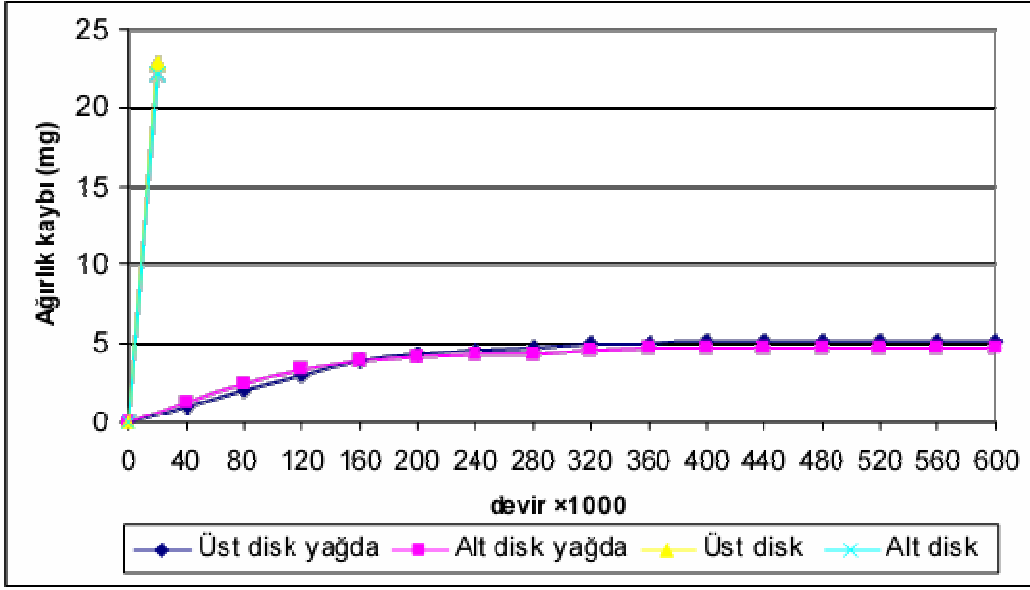
Şekil 10 a'da yüzeyi sertleştirilmemiş disklerin aşınma artıkları görülmektedir, aşınma artıkları toz haldedir ve şekilde görülen büyük yığınlar tozların üst üste kümelenmesi sonucunda oluşmuştur. Şekil 10 b' de yüzeyi sertleştirilmiş disklerin aşınma artıkları görülmektedir, burada yüzeylerden kopan büyük aşınma parçacıkları görülmektedir. Bu parçalar pürüzlüğün alındığı başlangıç safhasında düşen parçalardır.



Şekil 10. 300N yükte %13.33 kayma oranındaki (a)Sertleştirilmemiş, (b)Sertleştirilmiş aşınma artıkları fotoğrafları (40×)

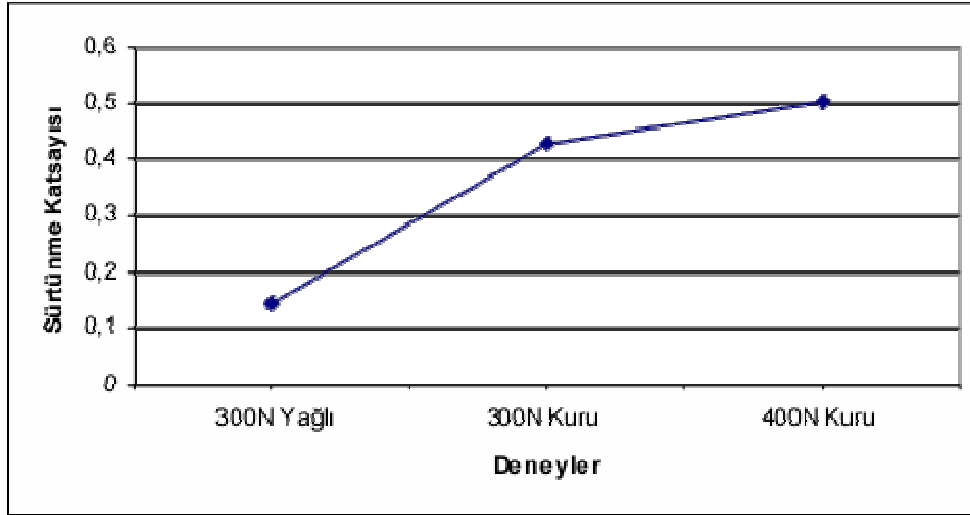
#### 4.4. Yağlamannın Etkisi

Yağlı ortamın etkisi sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş disklerde %22.22 kayma oranında 300 N yükte incelenmiştir. Yağlı ortamın ağırlık kaybına etkisinin çok yüksek olduğu görülmüştür (Şekil 11). Kuru temasta, sertleştirilmiş disklerdeki ağırlık kayıpları çok yüksek olduğundan dolayı grafikte karşılaştırmak amacıyla 20000 devire kadar olan değerleri alınmıştır. Yağlı çalışma şartlarının ağırlık kaybını önemli ölçüde düşürdüğü görülmüştür. Başlangıç devirlerinde pürüzler alındığından bir miktar ağırlık kaybı görülmüştür (Şekil 11).



Şekil 11. Sertleştirilmiş disklerle kuru-yağlı 300N yükte %22.22 kayma oranında ağırlık kaybı değişimi

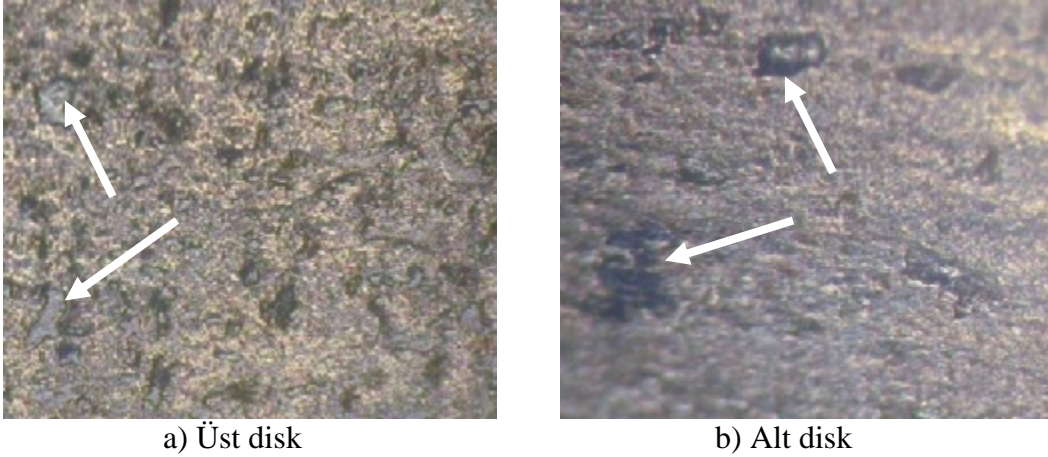
Şekil 12’de görüldüğü gibi yağlı ortamda yapılan deneylerde sürtünme katsayısı aynı koşullardaki kuru deneye göre oldukça düşüktür. Yağ sürtünmeyi azaltarak aşınmayı da, azaltmaktadır. Yağsız temasta ise yükün artmasıyla sürtünme kuvveti de artmaktadır. Bu nedenle aşınmada şiddetlenmektedir.



Şekil 12. Sertleştirilmiş disklerle kuru-yağlı 300-400N yükte %22.22 kayma oranında sürtünme katsayısının değişimi

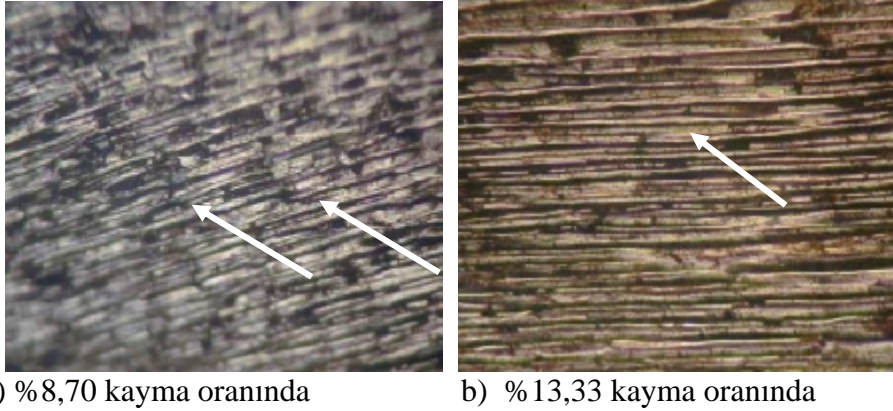
#### 4.5. Aşınma Mekanizmaları

Sert disklerde genel olarak aşınma, başlangıç devirlerinden itibaren disk yüzey pürüzlülüklerinin birbirine yaklaşması ve yüzeylerin birbirine alışması, bu sırada yüzeyden kopan parçacıkların kiminin yüzeye yapışması kiminin ise dökülmesi şeklinde görülmektedir. 300 N yükte %1.79 kayma oranında üst diskte (Şekil 13 a) ve alt diskte (Şekil 13 b) hafif adhezyon aşınması görülmektedir.



Şekil 13. Sertleştirilmiş disklerle 300 N yükte ve %1.79 kayma oranında 200000 devir sonundaki aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Kayma oranı %8.70 (Şekil 14 a) ve %13.33 (Şekil 14 b) alındığında üst diskte adhezyon şiddetli değildir, daha çok alt disk ve alt diske yapışan aşınma parçacıklarının üst diski kazımasıyla yüzeyde kanallar oluşmakta ve abrasif aşınmayla ağırlık kaybında artış görülmektedir. Alt disklerde ise abrasif aşınmayla yüzeyde kanallar oluşmakta ve ilerleyen çevrimlerde yüzeyde hafif adhezyon aşınması görülmektedir.



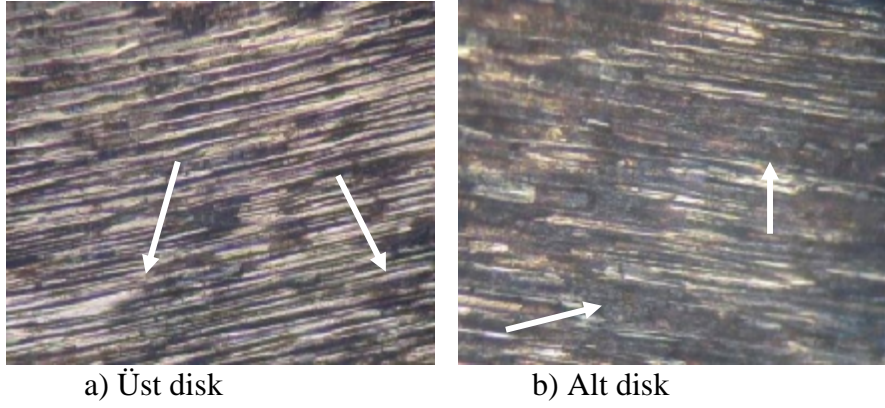
Şekil 14. Sertleştirilmiş disklerle 300 N yükte 200000 devir sonundaki üst disk aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Kayma oranı %22.22 alındığında üst diskteki adhezyon aşınması ve ağırlık kaybı artarak aşınma şiddetlenmektedir (Şekil 15 a). Alt diskte ise daha başlangıç devirlerinde adhezyon görülmektedir ve her geçen çevrimde şiddeti artmaktadır (Şekil 15 b).

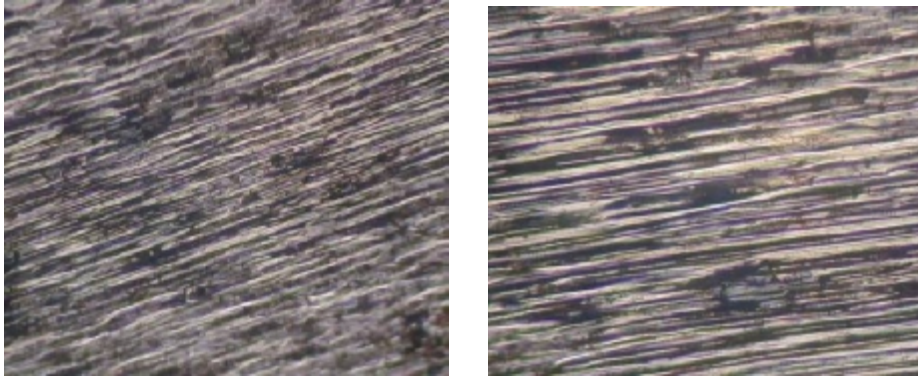
%13.33 ve %22.22 kayma oranlarında yükün 400 N alınmasıyla başlangıç devirlerinde üst disklerde adhezyon meydana gelmektedir (Şekil 16 a, Şekil 16 b).

%22.22 kayma oranında üst disk yüzeyindeki adhezyon daha çabuk temizlenmektedir. Bu durum alt diske yapışan aşınma parçacıklarıyla ilgilidir. %22.22 kayma oranında alt diskte 60000 devirden sonra adhezyon şiddetlenmektedir (Şekil 17 a), yüzeye yapışan aşınma parçacıkları üst disk yüzeyini kazıyarak temizlemektedir (Şekil 17 b).



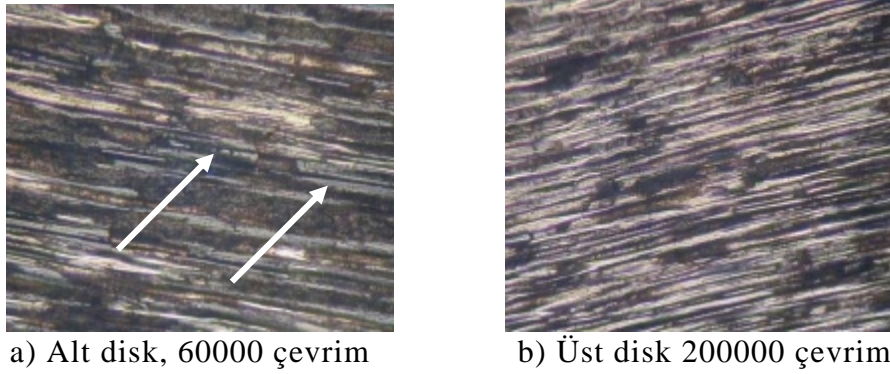


Şekil 15. Sertleştirilmiş disklerle 300 N yükte ve %22.22 kayma oranında 200000 devir sonundaki aşınma yüzey fotoğrafları (100x)



a) %13.33 kayma oranı, 120000 çevrim b) %22.22 kayma oranı, 60000 çevrim

Şekil 16. Sertleştirilmiş disklerde 400 N yükte üst disk aşınma yüzey fotoğrafları (100x)



a) Alt disk, 60000 çevrim

b) Üst disk 200000 çevrim

Şekil 17. Sertleştirilmiş disklerle 400 N yükte ve %22.22 kayma oranındaki aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Bu yüzden Şekil 7'de görüldüğü gibi yük artırıldığında üst diskteki ağırlık kaybı da artmaktadır, alt diskte ise adhezyonun şiddetlenmesi nedeniyle ağırlık kaybında fazla bir değişme görülmemektedir. Şekil 4'te ise üst diskteki adhezyonun geç temizlenmesi nedeniyle yük artırıldığında ağırlık kayıpları arasında fazla bir fark görülmemektedir, alt diskte adhezyonun az olması nedeniyle yük artırıldığında ağırlık kaybında artış görülmektedir.

Yüzeyi sertleştirilmemiş disklerde şiddetli metalik aşınma karakteristiği görülmektedir. Diskler daha başlangıç devirlerinde hızlı bir şekilde aşınmaya maruz kalmaktadır. Disklerden kopan tozlar yüzeylere sıvanmaktadır (Şekil 8.26 (f)).



a) 20000 çevrim



b) 200000 çevrim

Şekil 18. Sertleştirilmemiş disklerle 300 N yükte ve %13.33 kayma oranındaki alt disk aşınma yüzey fotoğrafları (100x)

Deney süresince aşınma şiddetini arttırarak devam etmektedir (Şekil 9). Yük arttırıldığında ise aşınmanın şiddetlenmesiyle yüzeyler bozulup çalışmaya devam edemeyecek duruma gelmişlerdir. Deneyler 50000 çevrimde sonlandırılmıştır.

## 5. SONUÇLAR

16MnCr5 sementasyon çeliğinden yapılan yüzeyi sertleştirilmiş ve sertleştirilmemiş disklerle, kayma-yuvarlanma temasında kuru ve yağlı çalışma şartlarında; farklı kayma oranlarında ve farklı yüklerde yapılan deneylerden şu sonuçlar elde edilmiştir;

- Sertleştirilmiş disklerde kayma oranının %1.79'dan sırasıyla, %8.70, %13.33, %22.22 artmasıyla aşınma aşamalı olarak şiddetlenmektedir.
- 300 N yükte sertleştirilmiş disklerle yapılan tüm deneylerde, üst ve alt disklerin ağırlık kayıpları lineer olarak artmaktadır.
- Sertleştirilmiş disklerde yük arttırıldığında adhezyon artmaktadır.
- Yüzeyi sertleştirilmiş disklerin, sertleştirilmemiş disklerle göre çok daha az aşındığı görülmüştür. Yüzey sertleştirme disklerin aşınma direncini oldukça fazla arttırmaktadır.
- Yağlı kayma-yuvarlanma koşullarında, kuru kayma-yuvarlanma koşullarına göre aşınma çok azalmaktadır.

## KAYNAKLAR

- Connor, J. (1968): "Standard Handbook of Lubrication Engineering", McGraw-Hill Book Company, New York
- Değerli, B. (1996): "Aşınma Deneylerinde Kullanılan Deney Düzenekleri". Mühendis ve Makina, 37, 36-38
- Kukureka, S.N., Chen, Y.K., Hooke, C.J., Liao, P. (1995): "The Wear Mechanisms of Acetal in Unlubricated Rolling-Sliding Contact". Wear, 185, 1-8
- Walton, D. & Goodwin, A.J. (1998): "The Wear of Unlubricated Metallic Spur Gears". Wear, 222, 103-113
- Wright, N.A. & Kukureka, S. N. (2001): "Wear Testing and Measurement Techniques for Polymer Composite Gears". Wear, 251,1567-1568