

TOPRAK İŞLEME ALETLERİNDE İŞ ORGANININ AŞINMASININ ETÜDÜ

Yük.Müh.Mehmet Baki KARAMIŞ



Erciyes Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü'ne

Makina Anabilim Dalında Doktora tezi olarak

sunulmuştur

Haziran - 1 9 8 5

Erciyes Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğü'ne

Yük.Müh.M.Baki KARAMIŞ tarafından hazırlanan bu çalışma, Jürimiz tarafından makina Anabilim dalında Doktora tezi olarak kabul edilmiştir.

3 / 7 / 1985

Başkan : Prof.Dr.Kutsal TULBENTÇİ

Üye : Prof.Dr.Süner ŞAHİN

Üye : Yrd.Doç.Dr.Erdem KOÇ

ONAY :

Yukarıdaki imzaların adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

3 / 7 / 1985

Prof.Dr.Hüseyin SOYLU

Enstitü Müdürü

## Ö Z G E Ç M İ Ş

Adı Soyadı : Mehmet Baki KARAMIŞ  
Baba Adı : Hasan  
Ana Adı : İrfaniye  
Doğum Yeri ve Yılı :Kayseri,1953

1969 yılında Kayseri Sümer Orta okulunu,1973 yılında Kayseri Teknisyen okulunu bitirdi.1973-74 öğretim yılında İstanbul D.M.M.Akademesi G.M.Y.okulu makina bölümüne girdikten sonra mühendislik öğrenimine,İstanbul D.M.M.Akademesi Makina fakültesinde devam ederken,1977 yılında M.S.Bakanlığı Taşkızak Tersanesinde çalışmaya başladı.1978 yılında lisans öğrenimini tamamlayarak aynı yıl,aynı fakültede yüksek lisans öğrenimine başladı.1980 agustosunda,Kayseri D.M.M.Akademisine uzman olarak girdikten sonra 1981 şubatında,İstanbul D.M.M.Akademisi makina bölümünden imalat yüksek mühendisi olarak mezun oldu. 1981 yılı mart döneminde,kısa dönem askerlik hizmetini ifa etti.

Halen Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina bölümünde öğretim görevlisi olarak çalışmakta olup,evli ve bir çocuk babasıdır.

Çalışmalarımı, sürekli olarak, değerli görüş ve katkılarıyla yönlendiren ve beni teşvik eden sayın hocam Prof.Dr.Kutsal TULBENTÇİ'ye teşekkürü bir borç bilirim.

Çalışmalarında, büyük ilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Prof.Dr.Mehmet İrfan SAYGILI'ya, değerli destek ve ilgisini gördüğüm sayın hocam Prof.Dr.Ulviye ÖZER'e teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca, deney malzemelerinin temini ve kimyasal analizinde yardımcı olan M.K.E.Çelik fabrikası, Asil çelik ve diğer özel sektör yetkilileriyle, Toprak-Su Kayseri bölge müdürlüğüne, yüzey pürüzlülüğü ölçümü için yardımcı olan Mahle Piston fabrikası müdürü sayın Nizamettin MISIRLIOĞLU'na, çalışmalarım sırasında yardım ve ilgisini gördüğüm mesai arkadaşlarım ve diğer kuruluşlarla, büyük sabır ve yardımlarını esirgemeyen aile efradıma burada teşekkür etmek isterim.

## Ö Z E T

Bu Çalışmada, pulluk uç demirleri yapımında kullanılan çeliklerin; toprak, malzeme ve işletmeye bağlı değişkenlere göre aşınma davranışları araştırılmıştır. Bu amaçla, laboratuvarda aşındırma makinası ile çeşitli deneyler yapılmıştır. Deneyler, iki safhada yürütülmüş olup birinci safhada, planet dişliler vasıtasıyla dönme ve karıştırma esasına dayanan sistemle çalışılmıştır. Bu safhada, hadde çıkışı olarak deneye alınan Ç 1040 malzemedan mamul numunelerle; hız, çalışma derinliği, aşındırıcı tane büyüklüğü ve cinsi, nem oranı gibi işletme ve minerale bağlı değişkenlerin aşınmaya etkileri incelenmiştir. Bununla beraber aynı malzemelerle yüzey pürüzlülüğü, temperleme sıcaklığı ve farklı yüzey sertleştirme işlemleri gibi malzemeye bağlı değişkenlerin aşınmaya etkileri tesbit edilmiştir.

İkinci safhada ise aşındırıcı mineralin, Ç 1040 malzemedan mamul numune üzerine hidrostatik olarak yüklenmesi gerçekleştirilerek, yüzey basıncı-aşınma değişimi gözlenmiştir. Deneylerimizde aşındırıcı mineral olarak (karşı madde) farklı tane büyüklüğünde dere kumlarıyla, üç çeşit tarım toprağı kullanılmıştır.

Deneyler neticesinde; hız, çalışma derinliği, basınç, yüzey pürüzlülüğü ve aşındırıcı tane büyüklüğü ile aşınmanın arttığı, değişik nem oranlarında da aşınma miktarının değişiklik gösterdiği tesbit edilmiştir.

Bu çalışma sonucunda, darbe ve aşınmaya dayanıklı olması gereken pulluk uç demirlerinin yapımında kullanılabilecek en uygun malzemenin, endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş veya kaynakla kaplanmış orta karbonlu çelikler olduğu tesbit edilmiştir. Ancak sertleştirme kalınlığının fazla olması gerekmektedir.

## S U M M A R Y

In this study, the wearing behaviour of steels used in the manufacturing of share blades have been investigated taking in to account the effects of factors namely soil, operating conditions and material. For this purpose, various experiments have been carried out in the laboratory conditions by using wearing machine.

The experiments are carried out at two stages. In the first stage, it has been worked with a system which is based on turning and mixing action obtained by planet gears. In this stage of the work, the effects of the variables on the wear have been investigated using specimens prepared from steels without heat treatment (M.K.E. Ç 1040). These variables which are speed, working depth, grit size, the mineral type used and the ratio of moisture in soil, depend on the operation and the mineral. However, the effects of variables such as roughness, tempering temperature and the different surface hardenings depend on the material, are determined on the same mineral.

In the second stage, by loading the mineral hydrostatically on the specimens prepared from M.K.E. Ç 1040 steel, the variation of the wear with surface pressure has been observed.

In our experimental works, stream sands having different grit sizes and three kinds of agricultural soils are used as wearing minerals (Opposing Matter).

The experimental results show that the amount of the wear increases with the speed, operating depth, pressure (load), roughness and the grit size of the mineral. In addition to this, at different moisture ratios in the soil, it has been seen that the amount of the wear tended to vary. Also it has been found that the most suitable materials to be used in manufacturing the share blades which should resist the wear and impact, are the steels having mean carbon and of which the surface hardened by induction or covered by welding. However, the hardened layer of the material must be thick.

## VIII

## S E M B O L L E R

A	: Geometrik Temas Alanı	(mm <sup>2</sup> )
Ag	: Gerçek Temas Alanı	(mm <sup>2</sup> )
a	: Bir Pürüzün Temas Alanı	(mm <sup>2</sup> )
c	: Çeliğin Karbon ve Alaşım Elemanı .Oranıyla Sistematik Olarak Değişen Sabit	(—)
D	: Numune Çapı	(mm)
d	: Abrasiv Tane Çapı	(mm)
d <sub>o</sub>	: Ortalama Tane Çapı	(mm)
E	: Elastiklik Modülü	(Kg/mm <sup>2</sup> )
F	: Yüzey Basıncı	(Kg/cm <sup>2</sup> )
F <sub>N</sub>	: Normal Yük	(Kg)
ΔG	: Ağırlık Olarak Aşınma Miktarı	(mg)
H	: Malzeme Sertliği	(Kg/mm <sup>2</sup> )
Ha	: Abrasiv Sertliği	(Kg/mm <sup>2</sup> )
ha	: Alan Birimi, Hektar	(10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )
h	: Çalışma Derinliği	(mm)
k	: Aşınma Katsayısı	(—)
L	: Sürtünme Yolu	(m, Km)
n	: Şekil Değiştirme Sertleşmesi Exponenti	(—)
R <sub>a</sub>	: Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü	( m )
t	: Ortam Sıcaklığı	(°C)
V	: Aşınma Hacmi	(mm <sup>3</sup> )
ε	: Aşınma Direnci	(Km/mg)
Δε	: Doğrusal Şekil Değiştirme Miktarı	(mm)
σ	: Standart Sapma	(—)
σ <sub>a</sub>	: Akma Gerilmesi	(Kg/mm <sup>2</sup> )
θ <sub>T</sub>	: Koni Kabul Edilen Bir Pürüzün Taban Açısı	(°)
μ	: Sürtünme Katsayısı	(—)
μ̄	: Tane Çap Dağılımı Aritmetik Ortalaması	(mm)
∅	: Toprak Nem Oranı	( % )

# İ Ç İ N D E K İ L E R

## BÖLÜM-I. GİRİŞ

1.1-Aşınma ve Önemi	1
1.2-Toprak ve Toprak İşlemenin Gayesi	3
1.3-Toprak İşleme Aletleri	4
1.4-Toprakta Sürtünme	5
1.5-Toprak İşleme Aletleri İş Organlarında Aşınmanın Önemi	5
1.6-Çalışmanın Gayesi	8

## BÖLÜM-II. AŞINMANIN TANITILMASI

2.1-Aşınmanın Tanımı	9
2.2-Tribolojik Sistemler	12
2.3-Aşınmanın Temel Unsurları	13
2.4-Aşınma Mekanizmaları	18
2.4.1-Adhesiv Aşınma Mekanizması	18
2.4.2-Abrasiv Aşınma Mekanizması	21
2.4.3-Yorulma Mekanizması(Pitting)	23
2.4.4-Tribo Oksidasyon(Sürtünme Oksidasyonu)	23
2.4.5-Ablativ Aşınma Mekanizması	24
2.5-Aşınma Miktarının Ölçülmesi ve Birimleri	24
2.6-Aşınma Faktörleri ve Aşınma Direncine Etkileri	26
2.6.1-Tribolojik Sistem Elemanlarına Bağlı Faktörlerin Aşınmaya Etkisi	27
2.6.1.1-Esas Sürtünme Elemanının Malzemesi	27
2.6.1.2-Malzemenin Kimyasal Terkibi	27
2.6.1.3-Malzemenin Mikro Yapısı	29
2.6.1.4-Malzemenin Hacim ve Yüzey Sertliği	31
2.6.1.5-Elastiklik Modülü	34
2.6.1.6-Akma ve Kırılma Özellikleri	36
2.6.1.7-Yüzey Pürüzlülüğü	38
2.6.1.8-Deney Numunesinin Şekli ve Boyutları	40
2.6.1.9-Soğuk Şekil Vermenin Etkisi	41
2.6.1.10-Isıl İşlemlerin Etkisi	43
2.6.1.11-Aşındırıcı Şekli,Tane Dağılımı ve Büyüklüğü	45
2.6.1.12-Ortama Bağlı Faktörler(Sıcaklık,Nem,Atmosfer)	46



2.6.2-İşletmeye Bağlı Faktörlerin Aşınmaya Etkisi	48
2.6.2.1-Yük (Basınç)	48
2.6.2.2-Hız	50
2.6.2.3-Kayma ve Kayma Mesafesi	52
2.7-Aşınma Deney Metodları ve Düzenekleri	53
BÖLÜM-III. TOPRAK İŞLEME ALETLERİNDE AŞINMA	56
3.1-Toprak İşleme Aletlerinde Aşınma Mekanizması	56
3.2-Toprak İşleme Aletlerinin Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler	58
3.2.1-Toprakla İlgili Faktörler	58
3.2.1.1-Topraktaki Tanelerin Sertliği	58
3.2.1.2-Aşındırıcı Tanelerin Bolut ve Şekli	59
3.2.2-İş Organına Bağlı Faktörler	60
3.2.2.1-İş Organının Malzemesi	60
3.2.2.2-İş Organının Şekli	62
3.2.2.3-İş Organının Alet Üzerindeki Yeri (Sırası)	62
3.2.3-Çeki Kuvvetinin Aşınmaya Etkisi	64
BÖLÜM-IV. DENEYSEL ÇALIŞMA	67
4.1-Giriş	67
4.2-Deney Tesisatının Özellikleri, Konstrüksiyonu ve Tribolojik Yapısı	67
4.3-Sürtünme Çiftlerinin Tarifi	74
4.3.1-Karşı Madde	74
4.3.2-Numune Malzemesi ve Boyutları	78
4.4-Deneylerin Yürütülmesi	80
BÖLÜM-V. DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ	82
5.1-Aşınma Miktarının Teğetsel Hız ile Değişimi	82
5.2-Çalışma Derinliğinin Aşınma Miktarına Etkisi	82
5.3-Hız ve Çalışma Derinliğinin Aşınma Hızına Etkisi	85
5.4-Aşındırıcı Tane Büyüklüğü-Aşınma Miktarı İlişkisi	85
5.5-Karşı Madde Cinslerinin Aşınmaya Etkisi	87
5.6-Aşınma Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü ile Değişimi	89
5.7-Toprak Neminin Aşınmaya Etkisi	91
5.8-Isıl İşlemlerin Aşınma Direncine Etkisi	93
5.8.1-Temperleme Sıcaklığının Aşınma Direncine Etkisi	93

## XI

5.8.2- Değişik Isıl İşlemlerin Aşınma Direncine Etkileri	95
5.9-Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi	100
BÖLÜM - VI. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	102
6.1-Sonuçlar	102
6.2-Öneriler	104
DENEL SONUÇ TABLOLARI	106
KAYNAKLAR	110
EKLER	115



## BÖLÜM I

### G İ R İ Ő

#### 1.1- Aşınma ve Önemi

Çevremizde, herhangi bir cisim, diğer bir veya birkaç cisimle daima temas halinde görevini yerine getirir. Bu sırada bir izafi hareket varsa cisimlerden birinde veya her ikisinde belli bir zaman sonra yavaş yavaş cereyan eden bir aşınma gözlenir. Bu aşınmanın şiddeti, çeşitli etkenlere göre değişir.

Çeşitli makina elemanları ve mühendislik malzemelerinin ömürlerine büyük oranda etki eden aşınma, tamamen ortadan kaldırılamayan bir malzeme hastalığıdır.

Bu konuda, 1970 yılına kadar 40 000 civarında araştırma yapılmasına rağmen[1], hastalığın tedavisi için sistematik bir çözüm getirilememiş olması, olayın kompleks oluşundandır. Ancak hızlı ilerleyen teknoloji ile birlikte aşınma problemi de önemini arttırarak, üzerinde daha nice araştırmalar yapılması gereken bir problem olma özelliğini sürdürmektedir.

Aşınmanın, teknik olduğu kadar, ekonomik yönden de önemle üzerinde durulması gerekmektedir. Endüstride arıza bakımı, büyük ekonomik kayıplara sebep olur. Bu arızaların, başta aşınmadan meydana geldiği bu gün çok iyi anlaşılmıştır. Dolayısıyla dünya endüstrisinde aşınma araştırma çabaları yoğunlaşmıştır [2].

Makina parçalarını değiştirmek için sürekli artan fiyatlar ve

yüksek tamir ücretleri, ekonomide önemli bir yer tutar. Özellikle abrasiv aşınma, endüstrinin bütün dallarında görülür.

Federal Almanya'da, abrasiv aşınmadan dolayı yıllık kaybın 5 milyar DM'dan daha fazla olduğu hesab edilmiştir. Federal Almanya Araştırma ve Teknoloji Bakanlığı'nın raporundaki açıklamalara göre (T 76-38), bu maliyetler yaklaşık şöyledir [3];

Linyit ve Antrasit Madenciliği	1500x10 <sup>6</sup> DM
Ergitme Endüstrisi	2000x10 <sup>6</sup> DM
Plastik Şekillendirme Endüstrisi	500x10 <sup>6</sup> DM
Öğütme, Ziraat, Taş, Maden İşletme ve İnşaat Endüstrisi gibileri	1000x10 <sup>6</sup> DM

Özellikle en yüksek malzeme kaybına sebep olan abrasyon alanında, aşınmayı azaltma tekniğinin sistematik olarak uygulanmasıyla % 10-20 gibi önemli bir tasarruf sağlanabilir [3].

A.B.D. Endüstrisinde de sürtünme ve aşınma yüzünden meydana gelen yıllık kayıpların yaklaşık 100 milyar U.S. doları olduğu tahmin edilmektedir. Sadece malzeme kaybı 20 milyar doları bulmakta ve bu kayıp milli üretimin yaklaşık % 7'sini teşkil etmektedir [4].

Abrasiv aşınma, daha çok madencilik aletlerinde, transport makinalarında, öğütme elemanlarında, sert ve taneli maddelerin işlenmesinde ortaya çıkmaktadır. Ülkemiz ekonomisinde önemli yere sahip maden, çimento, kömür, kireç taşı, tuz, kum, tuğla, seramik sanayileri, inşaat ve tarım sektöründe aşınmadan dolayı uğranılan kayıplar oldukça fazladır.

Birbiriyle çalışan makina elemanlarında aşınma problemi büyük önem arzeder. [1], nolu kaynağın Wirtz ve Hess'e atfen bildirdiğine göre, aşınmanın toplam makina hasarları içindeki payı % 11 dir. Aşınma, makina elemanının ömrünü azalttığı gibi elemanın ait olduğu makina ve bu makinadan gelen iş ile çalışan diğer makinaları da çalışmadan alıkoyar. Böylesi durumlarda düşük kapasiteden dolayı meydana gelen kayıplar çoğu kez tamir ve parça değiştirme masraflarından fazladır.

Görülüyor ki aşınma, ekonomiyi zorlayan teknik bir problemdir. Bu yüzden aşınma miktarını en aza indirmek için, bütün dünya'da olduğu gibi yurdumuzda da büyük çaba sarfedilmeli-

dir.Son yıllarda memleketimizde,konu üzerinde yapılan çalışmaların arttığını görmek sevindirici olmakla beraber,konunun her dalda ve ülkemiz şartlarında incelenmesi gerektiği kanısındayız.

### 1.2- Toprak ve Toprak İşlemenin Gayesi

Toprak,tarımın temelidir[5].Tarım,toprağı işlemekle başlar[6]. Toprak,içindeki taneciklerin büyüklüğüne göre sınıflandırılabilir.% 60'ı 0,01 mm'den küçük tanecikler ihtiva eden toprağa killi,bu büyüklükteki tanecik oranı % 10'a kadarsa kumlu,% 10-60 arasında ise tınlı toprak olarak isimlendirilir.Toprakta bir miktar su ile birlikte çok küçük mikro organizmalar da mevcuttur.

Toprak işlemenin esas gayesi,bitkiye,yaşıyabileceği bir ortam hazırlamaktır.Bitkinin yaşıyabilmesi için canlı bir ortama ihtiyaç vardır.Canlı organizmaların ve dolayısıyla bitkinin büyüüp gelişebilmesi için toprağın oksijenle temas ettirilmesi yani havalandırılması gerekir.Ayrıca organik maddelerin ve suyun sağlanması icabeder.Kumlu toprak iri taneli olduğu için suyu uzun süre tutamaz.Killi ağır topraklar suyu tutar.Rutubet azlığı gibi fazlalığı da zararlıdır.Çünkü canlılar,bu defa oksijenle temas edemezler.Killi ağır toprağı döndürerek işlemek daha faydalı olduğu halde,hafif toprakta bu durum gereksiz su kaybına sebep olacaktır[5].

Bütün bu işlemlerin gayesi,toprağın gözenekliğini,su ve ısı durumunu istenilen şekilde değiştirerek ürün üzerine doğrudan etkimektir.Toprak işlemenin tali gayesi ise ürün artıkları ile yabancı otları ortadan kaldırmaktır.

Toprak işleme,soğuk bölgelerde toprak ısını arttıracak,kurak bölgelerde suyu muhafaza edecek ve erozyonu önleyecek yönde etkili olmalıdır[7].Toprağın iyi özelliklerini geliştirmek,kötü özelliklerini bertaraf etmek[6]suretiyle bitkilerin yetişmesini sağlayan,iklim,toprak şartları ve bitki çeşidine göre çok değişiklik arzeden toprak işlemenin gayesini şöyle toparlayabiliriz;

Toprağı,mümkün olduğu kadar toz haline getirmeden ufalamak,yabani otları imha etmek,toprağın su tutma kabiliyetini art-

tırmak, kabarmasını, havalanmasını ve her türlü organik maddelerin çürümmesini sağlayarak, toprağı verimli kılan, hayatiyetini koruyan, kültür bitkilerinin gelişmesini sağlayan, fiziksel, kimyasal ve biyolojik olaylar için gerekli şartları hazırlamaktır[8].

Tarım arazisi sabit kaldığına göre hızla artan nüfusumuzun besin kaynağının temini verimin arttırılmasına bağlıdır. Verimi etkileyen faktörlerin çokluğu ve çeşitliliği yanında, toprak işleme tekniğinin geliştirilmesi büyük önem arz etmektedir. Toprak işleme, makina ve teçhizatla sağlandığına ve işleme sırasında bazı güçlükler bulunduğuna göre, toprak işlemede kullanılan alet ve makinaların geliştirilmesi ve mevcut problemlerinin giderilmesi veya minimuma indirilmesi gerekmektedir. Konunun önemine rağmen, [5] nolu kaynağın ifadesine göre ülkemizde her tarla için uygulanması imkansız olmakla beraber, hiç olmazsa tipik bölgelere veya toprak-iklim ikilisinin oluşturduğu özel şartlara uygun pulluk tiplerini belirleyen ve bunların uygulanmasını zorunlu kılan bir kuruluş yoktur. Pulluk yapımcıları, Alman veya İngiliz pulluk tiplerinden birini kopya ederek piyasaya sürmektedir.

### 1.3- Toprak İşleme Aletleri

Toprak işleme aletleri, toprağın işlenme gayesini gerçekleştirmek üzere geliştirilmiş aletlerdir. Bu aletler genellikle tarlanın ekime hazırlanmasında kullanılırlar. Ekim için gerekli ortamın hazırlanması, çeşitli usullerde ve belirli bir sıra dahilinde yapılır.

Çeşitli toprak, iklim ve bitki şartları için çok çeşitli toprak işleme aletleri geliştirilmiştir. Bu aletler genellikle aşağıdaki gruplar altında toplanabilir[9];

#### A- Toprağı süren aletler

- 1- Kulaklı pulluklar
- 2- Diskli pulluklar (Vanvey'ler dahil)
- 3- Dipkazanlar (Çizel pulluklar dahil)

#### B- Tohum yatağı hazırlayan aletler

- 1- Kültüvatörler
- 2- Parmaklı tırmıklar

- 3- Diskli tırmıklar (Diskarolar)
- 4- Ot koparanlar
- 5- Yuvaklar (Merdaneler),
- 6- Tarla sürgüleri (Tapanlar)
- 7- Toprak frezeleri (Döner kültüvatörler, Ratovatörler)
- C- Tohum ekildikten sonra toprağı işleyen aletler
  - 1- Traktör çapaları (Çapa makinaları)

Bu aletlerin hepsi traktörle birlikte kullanılan tarım alet ve makinalarıdır. Anlaşılacağı üzere bu alet ve makinaların herbirinin gayesi ayrıdır. Fakat genel gayeleri, toprağı işlemek ve yetiştirilecek bitki için ortam hazırlamaktır.

#### 1.4- Toprakta Sürtünme

Toprak işleme aletlerinin kullanılması sırasında alet iş organıyla toprak arasında bir sürtünme sözkonusudur. Bu sürtünme toprağın direncine sıkı sıkıya bağlıdır. Eğer toprak gevşek ise yani toprak direnci az ise, toprak içindeki taneler arasındaki kohezif kuvvetler zayıf demektir. Yani toprak taneleri birbirinden kolayca uzaklaştırılabilir. Ağır topraklarda kohezyon kuvveti fazla olduğundan toprağın mukavemeti de fazladır.

Toprak, aralarındaki boşluğu, değişik oranlardaki su ve havanın doldurduğu, katı tanelerden meydana gelen karışık bir malzemedir. İlk defa Coulomb, toprağın mekanik özelliklerini tarif etmeye teşebbüs etmiş ve bunun için toprağı, katı, kırılğan ve sürtünmeli bir malzeme gibi kabul etmiştir. Toprağın dayanabileceği maksimum kesme gerilmesini veren Coulomb katsayıları, boşluk hacmi, nem miktarı gibi toprağın değişen şartlarının etkisi altındadır [7].

Toprak işleme aletleri ile toprağın sürtünme katsayısı; tanelerin iç sürtünmesi, aletin şekli ve toprağa uyguladığı basınçla etkilenir. Çünkü toprak sıkıştırılabilir (gevşek) veya sıkıştırılamaz (ağır) durumda olabilir. Gevşek toprakta çalışan bir iş organı üzerine gelen toprak direnci, ağır topraktakine nazaran azdır ve dolayısıyla gevşek topraklarda izafi hareket daha fazladır.



### 1.5- Toprak İşleme Aletleri İş Organlarında Aşınmanın Önemi

Kaliteli tarım ürünlerinin yetiştirilmesi, ancak en uygun ortamın sağlanmasıyla mümkündür. Bu ortam içinde en önemli payı toprak almaktadır. Toprağın iyi işlenmesi verimi ve kaliteyi arttırır. Toprak şartlarını değişmez kabul ettiğimizde, işleme kalitesini etkileyen en önemli faktör, işleme alet ve makinasının şeklidir. Bir toprak işleme aletinin çalışma süresi boyunca şeklini koruması mümkün değildir. Bir ziraat alet ve makinasının ömrü; geniş oranda modeline, imalatında kullanılan malzemenin bünye ve kalitesine, bakım ve tamir durumuna, kullanma entansitesi ve şartlarına göre değişir [10]. Tarım alet ve makinaları çok değişik şartlarda çalışmak mecburiyetinde olduklarından [9], iyi kullanma ve bakımları kadar imalatında kullanılan malzemenin cinsi de önemlidir. Mekanik aşınmalara dayanıklılık bakımından aşınmaya maruz elemanlar kolay aşınmayan malzemedен yapılmalıdır [9]. Toprak işleme makinalarında bu konuda özellikle iş organının malzemesinin seçimine dikkat etmek gereklidir. Mesela anız bozma işi yapıldığı zaman, pulluğun keskin kenarlarının aşınarak 2 mm incélmesi, çeki direncinin % 15-24 oranında artmasına sebep olur [8]. Körleşen uç demiri toprağı kesmeyip sadece öteleme yapacağından pulluk tabanı oluşumunu hızlandırmaktadır. Toprağın sıkışması bitki yetiştirilmesi yönünden önemli pek çok toprak özelliğini olumsuz yönde etkileyerek kök ve bitki gelişmesini dolayısıyla da verimi azaltmaktadır [Barnes, Sack, Schmid ve Soane'ye atfen 1].

Pulluk uç demirinin, toprak şeridini tabana paralel kesmesi gerekir. Bu iş için toplam çeki kuvvetinin % 50'si sarfolunmaktadır. Bu yüzden pulluğun bu parçasına gereken önem verilmelidir [6]. Dolayısıyla bu kısım kolayca aşınıp şeklini kaybetmeyecek bir malzemedен yapılmalıdır.

Tarım aletleri aşınmaya başladıktan itibaren gerekli enerji sarfiyatı artar ve aşınmış parçaların değiştirilmesi kayıp zamanı ve maliyeti arttırır. 1980 yılı itibariyle birkaç devlet ve özel sektör tarafından üretilen 12 525 adet 449 418 000 TL değerindeki muhtelif pulluk [11] ve aynı yılda mevcut 147 436 kültüvator, 86 131 diskli tırmık, 343 397 dişli tırmık



8 794 adet döner tırmık [12] için malzeme masrafları hesaplanırsa çok büyük rakamlar elde edilir.

Toprak işleme aletleri genellikle tamiri, aşınmaları dolayısıyla gerektirir. Mesela pulluk için satın alma bedelinin ortalama yaklaşık % 13'ü [13 nolu kaynağın hesaplamalarından tesbit edilmiştir] kadar yıllık tamir masrafı gerektiği düşünülerek bir hesap yapılırsa, 1980 yılında üretilen pulluklar için üretim bedelleri üzerinden yılda toplam 58 424 340 TL'lik bir tamir ücreti gerektiği bulunur. Türkiyede 1982 yılı itibariyle mevcut 1 377 751 muhtelif pulluk [14] göz önüne alınınca bu değer çok büyük boyutlara ulaştığı görülür.

Görüldüğü gibi toprak işleme aletlerinin yapımında uygun malzeme kullanılmaz ise büyük rakamlara varan ekonomik kayıplar söz konusu olmaktadır. Tarım sektörü için yapılan basit bir başka hesap ta aşınmanın ekonomiyi kemiren bir kurt olduğunu ortaya koymaktadır.

Pulluk uç demirlerindeki ortalama aşınma miktarını 150 g/ha olarak alıp bir yılda 15 milyon ha. tarla arazisinin iki kez sürüldüğü düşünülerek 4 500 000 kg çeliğin aşınma ile kaybolduğu [15] hesaplanmışsa da , bir tarlanın yılda ortalama iki kez sürüldüğü, birer kez de kültivatör, tırmık ve diskaro kullanıldığı kabulüyle yapılan hesaplamada toplam aşınma miktarı oldukça büyük rakamlar vermektedir.

Bornova'da yapılan tarla denemelerini esas alarak ortalama aşınma; pulluk uç demirlerinde 150 g/ha, kültivatör uç demirlerinde 90 g/ha, tırmık dişlerinde 50 g/ha ve diskaro disklerinde 135 g/ha [1] alınıp hektar başına toplam aşınma hesaplanırsa ("), yukarıda sayılan aletlerin yılda toplam 575 g/ha aşındığı bulunur.

---

("): Yukarıda herbir alet için verdiğimiz aşınma değerleri literatürde organ sayıları belirtilen; 3'lü pulluk, 9'lu kültivatör, 80 dişli tırmık ve 28 diskli diskaro için 1 dekar alanın işlenmesinde tesbit edilmiş toplam aşınma sınır değerlerinin aritmetik ortalaması alınarak hesaplanmıştır.

Türkiye'nin 1982 yılında tahıl ekimi için 13 422 000 ha, na-  
das için 6 614 000 ha [14] hububat arazisinin işlenmesinden ha-  
reketle yılda 9 701 850 kg çeliğin aşınarak araziye karıştığı  
hesaplanır. Bu rakama, baklagiller (1 205 000 ha), sını bitkileri  
(1 198 605 ha), yağlı tohumlar (1 237 404 ha), yumrular (266 035  
ha), bağlar (655 000 ha) ve sebze bahçeleri (618 000 ha) [14] nin  
işlenmesinden dolayı meydana gelen aşınma miktarı ilave edi-  
lirse yıllık olarak çok büyük rakamlar elde edilir ki, sadece  
tarımsal gaye için aşınarak kaybolan çelik miktarının milli  
ekonomiye getirdiği yük, milyarlarla ifade edilebilen rakam-  
lara ulaşır.

### 1.6- Çalışmanın Gayesi

Dünya'da yıllardan beri sürdürülen aşınma araştırma çalış-  
maları yanında yurdumuzda yapılan çalışmalar çok az sayıdadır.  
Bu önemli problemten dolayı uğradığımız ekonomik ve teknolojik  
kayıplar göz önüne alınarak bu araştırma, Türk tarımında kul-  
lanılan alet ve makinaların, özellikle pulluk uç demirlerinin  
yapımında kullanılan malzemelerin aşınması üzerine planlan-  
mıştır. Çünkü ülkemizde kullanılan tarım alet ve makinalarının  
iş organlarının büyük bir kısmı kasabalardaki küçük atölye-  
lerde imal edilmektedir. Bunlar her ne kadar standardın öngör-  
düğü şekli vermekte ve standartta belirtilene yakın özellik-  
te malzeme kullanmakta iseler de imalatları (ürünleri), aşın-  
ma açısından uygun özelliklere sahip değildir. Bir tarım ülke-  
si olan ve 28,5 milyon ha. toprağın işlendiği ülkemizde, tarı-  
mın mekanizasyonu ile uç organlarının aşınması milli ekonomi-  
yi zorlayan boyutlara ulaşmıştır.

Araştırmamız, toprak işleme aletleri iş organı malzemeleriyle  
toprak etkileşimini, laboratuvar şartlarında, toprak ve malze-  
meye bağlı bazı faktörlerin aşınma miktarına etkilerini araş-  
tırmayı gaye edinmiştir. Bulunan sonuçlarla, toprak işlemede  
kullanılan kesici uçlara uygun malzeme ve işletmeye bağlı ba-  
zı büyüklüklerin seçimi konusunda, imalatçı ve kullanıcının  
aydınlatılması düşünülmüştür. Aynı zamanda bu çalışmanın, iş-  
letme şartlarına daha yakın yapılabilecek laboratuvar çalış-  
malarına hareket noktası olacağı kanaatindeyiz.

## BÖLÜM II

### AŞINMANIN TANITILMASI

#### 2.1-Aşınmanın Tanımı

Aşınmanın çeşitli tarifleri yapılmasına rağmen konunun oldukça karmaşık oluşu yapılan tariflerin açıklanmasını gerekli kılmıştır.

DİN 50320 de "Teknik anlamda aşınma, cisimlerin yüzeylerinde, mekanik etkenlerle (Mekanik bir sebep veya mekanik bir enerji verilmesi sonucu) mikro taneciklerin kopup ayrılması nedeniyle istenmeyen bir değişikliğin meydana gelmesidir" [1,15,16,17,18 19,20], şeklinde tarif edilmektedir. Bu tarifte konuya açıklık getirmesi bakımından bazı açıklamalar yapılması gereği duyulmuştur. Bu açıklamalarda, tarif içindeki bazı terimlerle nelerin vurgulanmak istendiği ayrıca belirtilmiştir.

Tarifteki "Mekanik etkenler" deyimini, korozyon ile aşınmanın farklı olduğunu belirtmek için kullanılmıştır. Çünkü korozyonda kimyasal ve elektrokimyasal etki söz konusudur.

"Mikro taneciklerin kopması" deyimini ile aşınma olayı dışında meydana gelecek fiziki sebeplerle (Plastik şekil değiştirmeler, kırılmalar, v.b.) malzeme yüzeyinden parçacıkların veya tabakaların ayrılmasının, ve

"İstenmeyen" kelimesiyle de talaşlı şekillendirmede (taşlama, eğeleme, v.b.) ve alıştırma işlemlerinde olduğu gibi (mil/yatak, sekman/silindir alıştırması, v.b.) isteyerek yapılan yüzey veya boyut değişiminin aşınma kapsamı dışında tutulması gereği ifade edilmiştir.

Diğer bazı kaynaklardaki aşınma tarifleri ise şöyledir; "Yüzeylerin, daha ziyade mekanik zorlanma nedeniyle (bazı hal-lerde kimyasal etkenlerle) küçük parçacıkların ayrılması so-nucu değişikliğine aşınma denir" [21]. Bu tarifte ise korozyo-nun aşınma olarak mütaala edildiğini görmekteyiz. Ancak daha çok mekanik etkenlerin sebep olduğu, malzeme yüzeyindeki aşın-malara dikkat çekilmektedir.

Genel olarak aşınmanın "Katı cisimlerin yüzeylerinden ufak par-çacıkların veya ince tabakaların ayrılması ile bir malzeme kay-bı" [17] olarak tarifi daha genel bir ifade olarak ortaya çık-maktadır. Bu durumda meydana gelecek yüzey değişikliğinin, çeşit-li sebeplerden veya parçanın zorlanma durumuna bağlı olarak meydana geldiği ve bir enerji dönüşümü ile ilgili olduğu açık-lanmaktadır. Primer enerji şekillerini veya genel sebepleri de açıklayan bu kaynak; mekanik, fiziki, elektriki veya termik sebep-lerle de aşınma meydana gelebileceğini gösterirken, korozyonu a-şınma dışı bırakmıştır.

Başka bir tarif, "Aşınma, sürtünen yüzeylerde malzemenin mekanik etkenlerle ve istenilmediği halde kopup ayrılmasıdır" [22], şek-lindedir.

Finkın [23] 'a göre aşınma, mekanik bir etkinin sonucunda bir yü-zeyden parçacıkların yavaşça kalkmasıdır. Bu tarif korozyonu kapsamaz ve soyulma bir haddemelema hatasıdır. Bu tarifde de ko-rozyonun; mekanik etki" şartına, soyulmanın ise "yavaş" olma şartına uymadığı gerekçesiyle kapsam dışı bırakıldığı ifade e-dilmektedir.

1976'da yayımlanan DIN 50320'ye göre yeni tarifi "Aşınma, ka-tı cisim yüzey bölgesinden tribolojik zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır" [18], şeklinde olduğu ve aşınmanın malzeme değişimi, şekil değişimi veya küçük malzeme parçacıkla-rının koparak ayrılması şeklinde meydana geleceğine dikkat çe-kildiği ifade edilmektedir.

Aşınmanın, tribolojik sistem içinde bir bütün olarak düşünülme-si ve ona göre çözümlenmesi gerektiğini vurgulayan bir başka görüşte, aşınmayı "Tribolojik sistemi oluşturan eleman ve fak-törlerin karşılıklı etkileşimlerinin ortak bir ürünü" [18], o-larak yorumluyarak, mekanik, kimyasal veya elektrokimyasal etken-lerin tribosistem içinde karşılıklı etkileşimle aşınma sonucu-

nu doğurduğunu açıklamaktadır.

işaret ettiğimiz tariflerden görüleceği üzere hiç bir açıkla-  
ma yapılmadan genel bir tarif yapmak oldukça zordur. Bu bakı-  
dan aşınmayı bir tarif olarak vermek yerine aşınma olayını ni-  
teleyen bazı şartların veya kriterlerin belirtilmesi yerinde  
olacaktır.

Mühendislik malzemelerinde meydana gelen yıpranma olayının a-  
şınma sayılabilmesi için aşağıdaki gerekli ve yeter şartların  
sağlanması zorunludur:

- 1-Mekanik bir etkinin olması
- 2-Sürtünmenin olması (izafi hareket)
- 3-Yavaş fakat devamlı olması
- 4-Malzeme yüzeyinde değişiklik meydana getirmesi
- 5-İstenmediği halde (isteğimiz dışında) meydana gelmesi

Bu şartlardan birini sağlamayan yıpranma olayı mesela genel ko-  
rozyon aşınma olarak mütaala edilmemelidir.çünkü korozyon, diğer  
bütün şartları sağlamasına rağmen sürtünme ve mekanik hareket  
olmaksızın (sadece kimyasal veya elektrokimyasal etki ile) mey-  
dana gelmektedir. Ancak sürtünme sırasında aşınmanın karakteri-  
ne etki eden faktörlerden biri de çevredir.evre şartlarına  
bağlı olarak aşınmanın karakteri de değişebilir. Mekanik etki  
ile birlikte kimyasal veya elektrokimyasal etki ile de malze-  
me yüzeyinden mikro tanecikler kopar veya yüzey bölgesi deği-  
şikliğe uğrar. Böyle durumlarda, hem sürtünme ve hemde korozyon  
birlikte tahribata sebep olabilirler. Sürtünmeyle müşterek o-  
larak kimyasal etkilerle meydana gelen korozyon aşınma kapsa-  
mına alınmalıdır. Nitekim, korozif etkenlerle bile olsa tribolo-  
jik zorlanma sırasında meydana gelen yüzey bölgesi değişiklik-  
leri veya parçacıkların kopması, aşınma kavramı içinde düşünül-  
melidir [18].

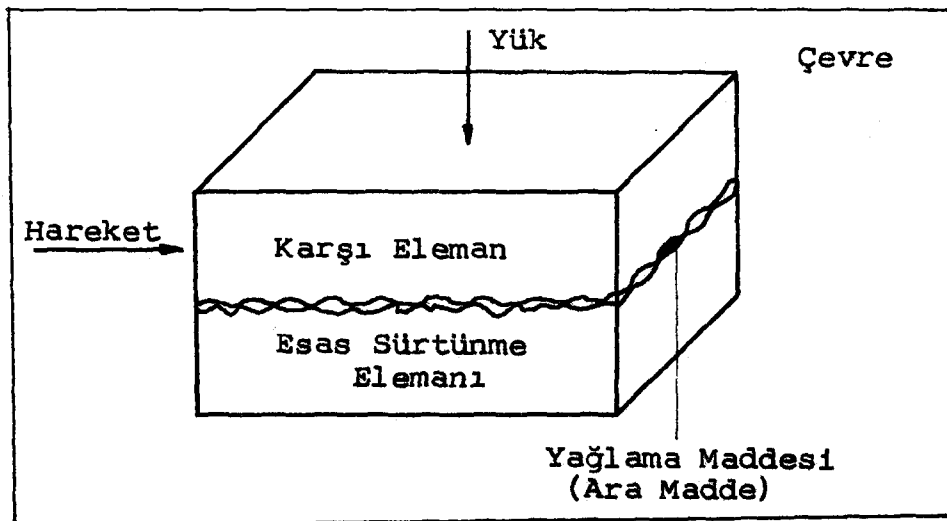
Haddeleme veya dövme sırasında yüzeyden ince tabakaların kalk-  
ması sadece "Yavaş" olma şartını sağlamadığından aşınma sayıl-  
maz. Talaşlı şekillendirme veya alıştırma kapsamına aldığımız  
ve aşındırma esasına dayanarak yaptığımız; taşlama, honlama, ras-  
palama ve eğeleme gibi işlemler "yavaş" olmadıkları gibi iste-  
yerek yaptığımız aşındırmadır.

Gerek ve yeter şart olarak nitelediğimiz bu beş şartın tabii  
sonucu olarak aşınma meydana gelmektedir.

## 2.2-Tribolojik Sistemler

Aşınma olayını, olaya etki eden faktörlerin bileşik etkilerini dikkate alarak incelemek gerekir. Yani aşınma bir sistem bütünlüğü içinde ele alınmalıdır. Aşınma özelliği veya mukavemeti, sertlik veya çekme mukavemeti gibi spesifik bir malzeme özelliği değil, bir sistem özelliğidir [18,24]. Bu sisteme tribolojik sistem denilmektedir. Triboloji; sürtünme, yağlama ve aşınma kavramlarını kapsar [2,18]. Tribolojinin benimsenmesi ile ekonomik kazançlar sağlanmıştır. Triboloji ilk kez 1966 yılında İngiltere'de H.P.Jost'un "Endüstrinin Mevcut Durumu ve İhtiyaçları" hakkındaki "Lubrication (Triboloji)" raporundan sonra kullanılmaya başlanmıştır [2].

Tribolojik sistem, karşılıklı etkileşen elemanlarda (esas cisim, karşı cisim ve ara madde) hız, termal şartlar ve yükün kombine etkisiyle neticelenen aşınma olayını inceler [24]. Tribosistemlerin geliştirilmesi konusunda son yıllarda büyük gayretler sarfedilmektedir. De Gee, aşınma test cihazları ve metodlarının standart hale getirilmesini, uygulamalara yönelik tribometrik metodların geliştirilmesi ve dataların bir yerde toplanmasını önermiştir. De Gee ve Czicnos, uygun aralıklarla bir kataloğun yayınlanmasına ihtiyaç olduğunu vurgulamışlar, uygun malzeme seçilmesinde ve tribolojik uygulamalardaki yüzey işlemleri için bir "Bilgi Bankası" kurulmasının çok faydalı olacağına işaret etmişlerdir [2]. Tribolojik sistem, şematik olarak şekil-2.1'de gösterilmiştir.



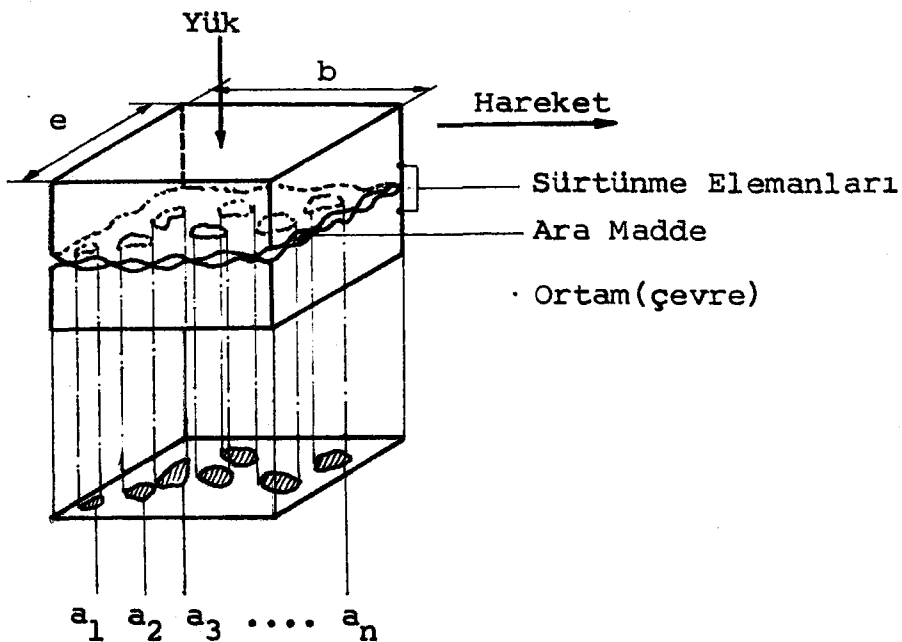
Şekil-2.1-Bir tribolojik Sistemin Elemanları [2].



Sistemi meydana getiren elemanlardan "Esas sürtünme elemanı", aşınması incelenmek istenen elemandır. Bu parça daima katı halindedir. "Karşı eleman" ise aşındıran eleman olup, katı, sıvı veya gaz halinde olabilir. Bu iki eleman, sistemi meydana getirmede yeterli olabilirlerse de bu durumda vakum ortamının tesisi ve sürtünmenin "kuru" olduğu kabul edilmelidir. Gerçekten tam "Kuru Sürtünme" sağlanamaz. Çünkü sürtünme sırasında ara madde olabileceği gibi çok iyi temizlenmeyen yüzeylerde yağlayıcı özellik gösteren ara maddeler olabilir [25]. Mutlak bir "Kuru sürtünme" tabiri yerine, "Teknik kuru sürtünme" terimini kullanmak doğru olacaktır [18]. Vakumsuz ortamda "çevre" devreye girecek ve sistem elemanları uç'e çıkacaktır. Eğer istenerek veya istenmeyerek yağlama da sözkonusu ise sistem dört elemanlı olacaktır.

### 2.3-Aşınmanın Temel Unsurları

Aşınma olayının başlayabilmesi veya devamı için bir sürtünmenin olması gerektiğini daha önce ifade etmiştik. Sürtünen iki cismin temas alanı büyüklüğünün (mekanik etkileşim alanının) aşınmaya büyük etkisi vardır. Şekil-2.2'de sürtünen iki cismin temas durumu ve aşınma olayını belirleyen "Aşınma Temel Unsurları" toplu olarak şematize edilmiştir.



Şekil-2.2-Sürtünen İki Cismin Temas Alanları ve Aşınma Temel Unsurları

Şekilden de izlenebileceği gibi aşınma olayına etki eden faktörler şunlardır:

- 1-Yükleme
- 2-Hareket
- 3-Aşınan ve aşındıran sürtünme elemanları
- 4-Ara madde
- 5-Çevre(Ortam)

Birbirleriyle temas eden iki cismin gerçek temas alanı, görünen temas alanından küçüktür. Çünkü temas yüzeyleri ne kadar düz işlenirse işlensin yüzeyde mutlaka pürüz dediğimiz kabalık ve çıkıntıların bulunduğu bir gerçektir. Bu bakımdan temas halindeki iki cisim bu pürüzler vasıtasıyla temas kururlar. Pürüzlerin arasındaki girintiler ise temas alanı dışında kalır. Şekil-2.2'de görüldüğü gibi görünen temas alanı,  $A = e \times b$  (birim kare) iken gerçek temas alanı, pürüzlerin temas alanlarının toplamıdır. Yani;

$$A_g = a_1 + a_2 + a_3 + \dots + a_n = \sum_{i=1}^n a_i$$

şeklindedir. Anlaşılacağı üzere gerçek temas alanı ( $A_g$ ), geometrik temas alanından ( $A$ ) daima küçüktür. ( $A_g < A$ ).

Yukarıda sıraladığımız aşınma parametrelerinden, yüklemenin şekli ve uygulanan yük miktarı, temas alanını ve dolayısıyla aşınmayı etkileyen çok önemli bir faktördür. Yükün etkisi altındaki iki yüzeyin, pürüzlerinin deforme olması nedeniyle birbirlerine daha da fazla kapandığı ve temas alanının arttığı görülür. Bu alanın artması, uygulanan yük miktarıyla birlikte malzeme özelliği ve yüzey geometrisine de bağlıdır [26]. Uygulanan yük, dinamik, titreşimli, darbeli veya statik olabileceği gibi artan veya azalan şekilde de etki edebilir.

İki cismin birbirine göre yaptığı izafi hareketin cinsi ve şekli de aşınmayı etkileyen bir faktördür. Bu hareket; kayma, yuvarlanma, kaymalı yuvarlanma, çarpma, v.b. şeklinde olabilir. Hareketin yönü ve katettiği yol, aşınma miktarına ve cinsine etki eder. Öte yandan sıcaklık da, aşınma üzerinde büyük etkisi olan bir çevre etkenidir.

Sürtünme elemanları dediğimiz aşınan ve aşındıran cisimlere "Aşınma Çifti" de denilebilir.



Tribosistemi etkileyen bu faktörlerden yük ve hareket, sisteme giren enerjilerdir. Giriş faktörlerinin enerjisi, sistemde faydalı ve kayıp enerjiye dönüştürülür. Tribolojik bir proses sırasında sistemden çıkan faydalı enerji, sisteme giren enerjiden küçüktür. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki fark, sürtünme enerjisine eş değerdir. (Sistemin çalışma sırasındaki enerji kaybı). Sürtünme enerjisi, bir çok enerjiye bölünebilir[24]. Faydalı enerji, sistemden alınan iş ile ölçülür. Giriş ve çıkış enerjileri arasındaki fark ise özellikle sürtünme ve aşınma ile mekanik titreşimler, ısı ve ses şeklinde kayıp büyüklüklerini oluşturan enerjiye dönüşür. Bu durum, şekil-2.3'de şematize edilip, teknik bir sistem vasıtasıyla açıklanmaya çalışılmıştır.

Aşınma olayını karakterize eden bu faktörler o kadar fazla ve karmaşık olabilir ki aşınmanın kontrol altına alınabilmesi güçleşir. Bu faktörlerin değişik kombinasyonları değişik aşınma tiplerine sebep olur. Bu bakımdan aşınma olayını sınıflandırma oldukça güç bir durum arzeder. Buna rağmen çeşitli araştırmacılar, aşınmayı değişik şekillerde sınıflandırmışlardır.

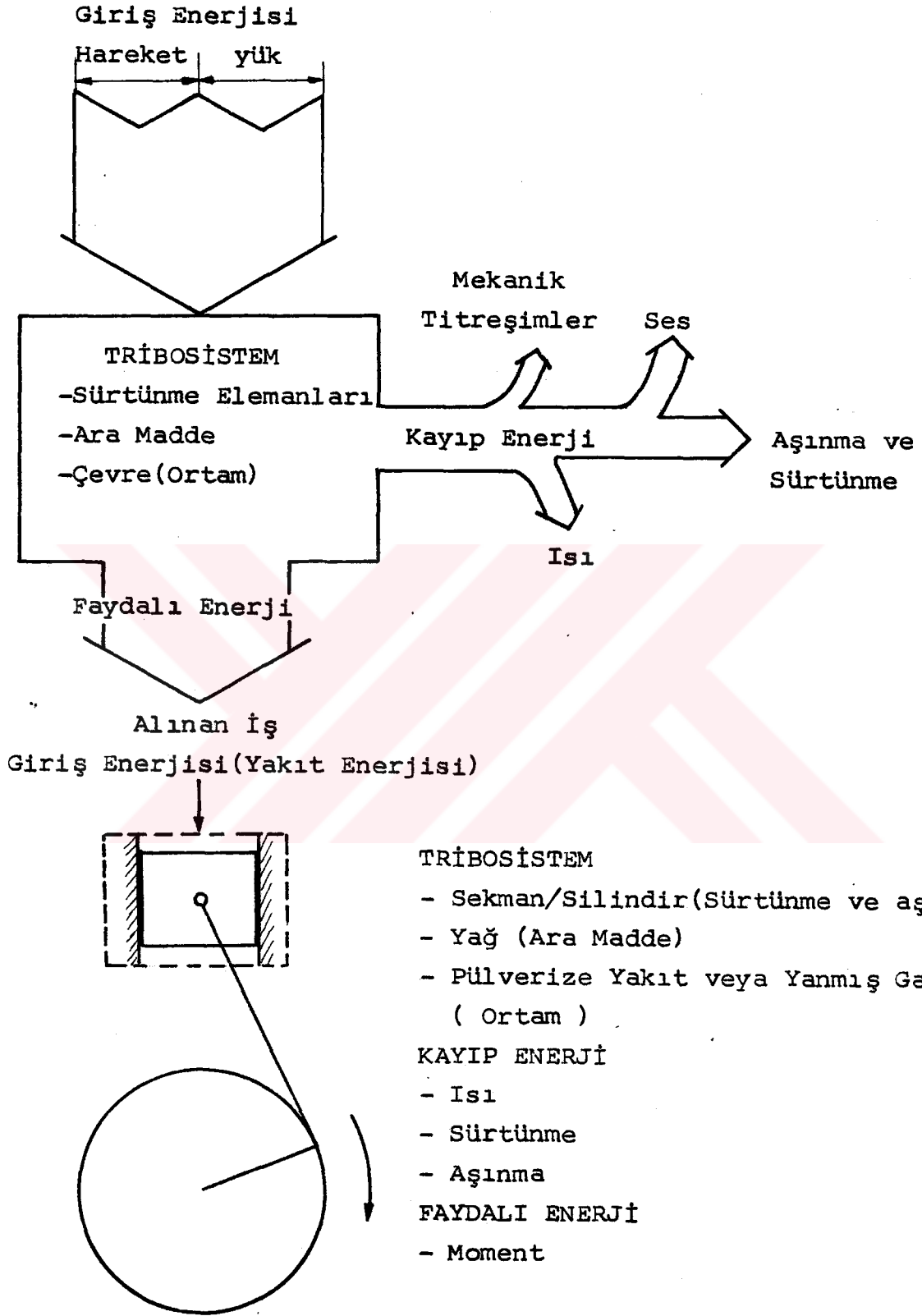
Biz, aşınmayı, tribosisteme giren büyüklüklerin giriş şekline ve bu büyüklüklerin etkisiyle oluşan aşınma mekanizmalarına göre genel bir sınıflamaya tabi tutacağız.

Buna göre;

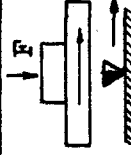
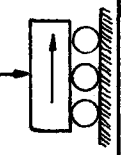
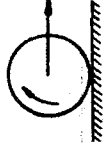
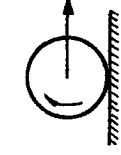
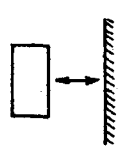
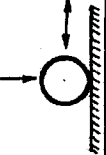
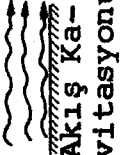
- 1- İzafi Hareketin Şekline Göre Aşınma Çeşitleri
- 2- Mekanizmalarına Göre Aşınma Çeşitleri

şeklinde sınıflama yapmak mümkün olmaktadır.

Aşınma çeşitleri toplu halde tablo-2.1'de verilmiştir.



Şekil-2.3- Tribosisteme Giren Enerjinin Dağılımı ve Krank-Byel Mekanizmasıyla Tribolojik Sistemin izahı ( Şematik )

İzafi Hareketin Adı	Şekli	Tribolojik Sistem		Aşınma Mekanizmaları						Yüzeyin Görünümü
		Sürtünme Elemanları	Aramadde	Adhezyon	Abrasyon	Yüzey Yorulması	Tribo Oksidasyon	Ablativ		
Kayma				++	++	+	++		+	Plastik Deformasyon ve Yenme
Taneli Kayma				+	++	++	+		+	Yarık Oyuk Çizgi
Yuvarlanma				+	↓		↓		↓	Soyulma
Kaymalı Yuvarlanma				++	++	++	++		+	Plastik Deformasyon ve Yenme
Çarpma				↓	↓		++	++	↓	Plastik Deformasyon ve Kırılma
Titreşim Salınım				↓						
Hidro Aşınma			Parçacıklı	-	+	+	↓			Yüzeyde Dalgallılık

Y A Ğ L A M A S I Z

İzafi Hareketlerin ve Aşınma Mekanizmalarının Kombine Etkileri

Tablo-2.1- Aşınma Şekilleri ve Mekanizmaları [2,17,21'den Faydalanarak].

## 2.4- Aşınma Mekanizmaları

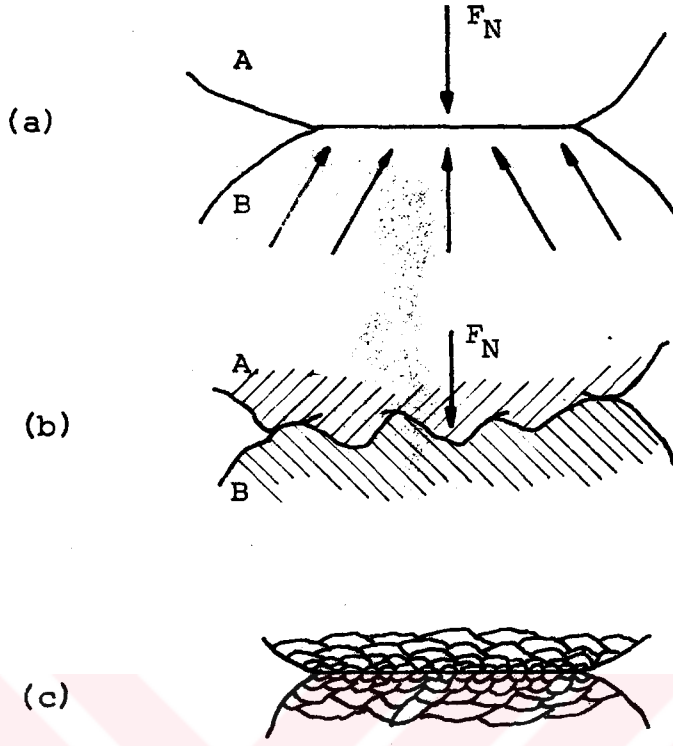
Aşınmanın başlaması ve devamı için gerekli giriş büyüklüklerinin tribolojik sistem içinde yaptığı etkinin iletilmesine göre farklı aşınma mekanizmaları ortaya çıkmaktadır.

- 1- Adhesiv Aşınma Mekanizması
- 2- Abrasiv Aşınma Mekanizması
- 3- Yorulma Mekanizması
- 4- Ablativ Aşınma Mekanizması

### 2.4.1- Adhesiv Aşınma Mekanizması

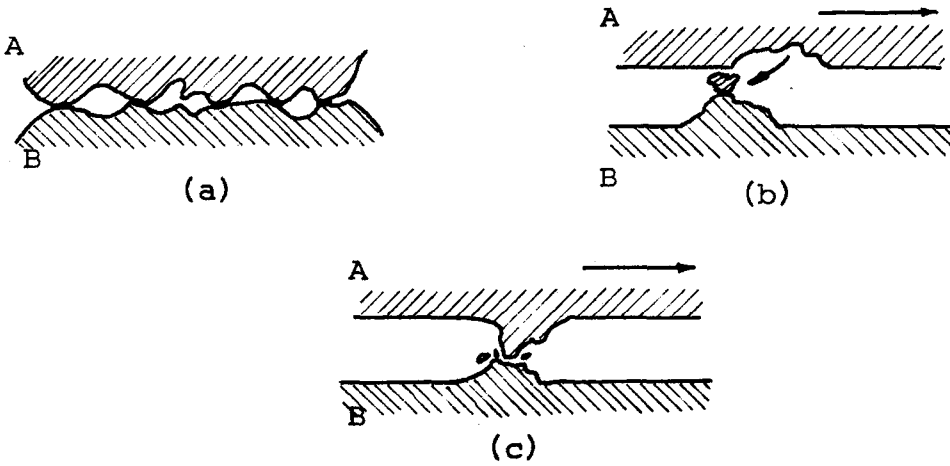
Adhesiv aşınma, moleküler kuvvetlerin etkisi altındaki temas yüzeylerinde oluşan bölgesel kaynak bağlarının kırılması suretiyle meydana gelir[27]. Birbirleriyle temasta bulunan benzer kafes yapılı iki metalik yüzey arasında adhezyon kuvveti dediğimiz bir çekim söz konusudur. Bu kuvveti doğurabilmek için malzemelerin moleküllerini birbirine çok yaklaştırmak gerekmektedir. Zaten temas halindeki iki metal, birbirleriyle yüzeylerindeki pürüzler vasıtasıyla etkileşirler. Teknik anlamda çok düzgün işlenmiş yüzeylerde de bu durum söz konusudur. Metal ağırlığından veya herhangi bir dış kuvvet tesiriyle, çok küçük olan pürüz tepelerine gelecek basınç veya gerilme çok büyük olacaktır. Bu kuvveti taşıyamayan pürüzler plastik deformasyona uğrayacaklardır. Eğer malzemenin deforme olma kabiliyeti yüksek ise, mikro adhezyon alanları şiddetle temas yüzeyine tamamen yayılacaktır. Dolayısıyla yüzeyde adsorbe edilmiş sıvı veya gaz molekülleri ve oksit tabakaları parçalanacaktır.

Adhesiv aşınma sırasındaki oksitlenme olayını, korozif aşınma ile karıştırmamak gerekir[28]. Yukarıda bahsedilen parçalanma malzeme moleküllerinin direk temasa geçmelerine imkan verir. Bunun neticesinde de bölgesel kaynak bağları oluşur[25] (soğuk kaynama). Bu sırada eğer izafi hareket de varsa yüzeydeki sıcaklık yükselir ve ergime noktasına kadar ulaşabilir. Böylece kaynama yerinden veya metal yüzeyinden bir miktar parça kopar. Bu metalik parçacıklar, ara yüzeyde serbest parçacıklar halinde kalabilecekleri gibi metallerden birine bağlı şekilde de bulunabilirler. Her iki durumda da malzeme kaybı (aşınma) meydana gelmekle beraber, ikinci durumda malzemelerin birinden diğerine malzeme transferi söz konusudur.



Şekil-2.4-Pürüzlerin Temas ve Kayma Durumları [17,29].

- (a) -Bir tek temas alanına tesir eden kuvvetler  
 (b) -Pürüzlerin Plastik Deformasyonu  
 (c) -Kaynama



Şekil-2.5-Kaynak Bağları ve Kopma Şekilleri

- (a) -Yüzeyde Kaynak Bağları  
 (b) -A'dan B'ye Malzeme Transferi  
 (c) -Kopan Parçacıkların Serbest Ara Madde Haline Geçişi

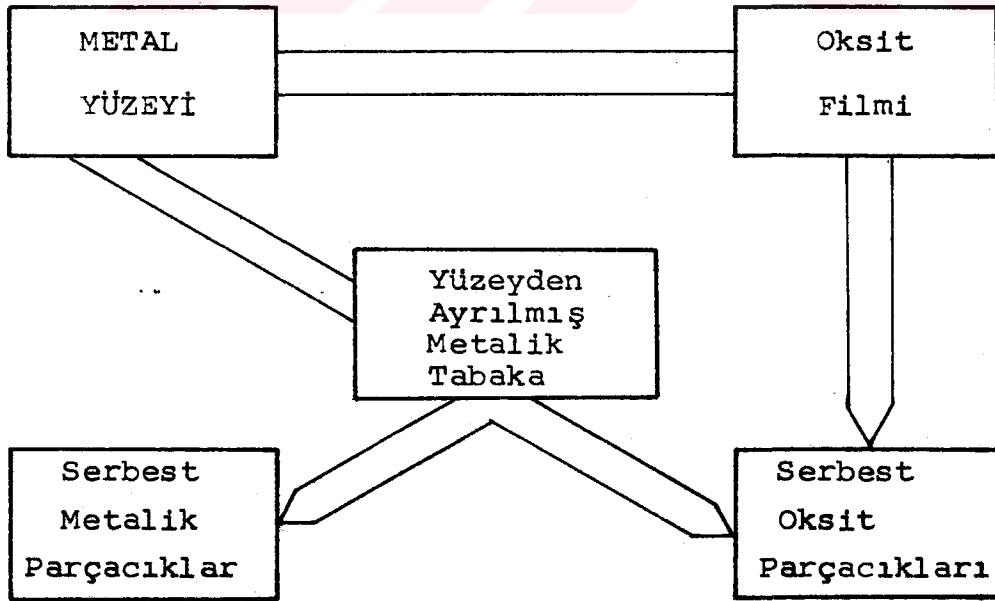
Metaloğrafik olarak benzer kafes yapıllı malzemelerde adhesiv aşınma mekanizmasını bu şekilde açıklayabilmemize rağmen farklı yapıdaki (Mineral malzemeler gibi) malzemeler arasındaki aşınma, adhezyonla başlamaz [20]. Bu gibi malzemelerde şekil-2.4' de görüldüğü gibi yüksek gerilme ve basıncın etkisiyle pürüzler birbirine geçerek plastik şekil değiştirir. İzafi hareket başladığında zayıf olan malzemenin pürüzleri kopar ve serbest taneçikler meydana gelir (şekil-2.5.c). Eğer sıcaklık yükselir ve ısıl diffüzyon fazlalaşursa bölgesel kaynak bağları oluşur. Diffüzyon az ise kaynama olmayacağından kırılan parçacıklar serbest hale geçerler [17].

Çoğu kaynaklarda, adhesiv aşınma için temel sayılabilecek bir eşitlik;

$$V = k \cdot \frac{L \cdot F_N}{\sigma_a}$$

şeklinde verilmektedir.

Şekil-2.6, adhesiv aşınmayı şematik olarak özetlemektedir.



Şekil-2.6-Özet Olarak Adhesiv Aşınma Prosesi (Şematik) [23].

#### 2.4.2-Abrasiv Aşınma Mekanizması

Abrasiv aşınma, uygulanan yük ve hareketin etkisiyle, sürtünen iki cisimden daha sert olanının, pürüzleri veya taneleri vasıtasıyla diğerini çizerek üzerinden mikro talaş kaldırması olayıdır. Bu tarif, katı/katı, katı/mineral, katı/sıvı gibi birçok sürtünme elemanlarında meydana gelen abrasiv aşınmayı kapsar. Sürtünen cisimlerin, direkt olarak karşılıklı etkileşimleri sonunda meydana gelen abrasiv aşınma, "İki Cisimli Abrasiv Aşınma" dır. Eğer arayüzeyde sürtünme elemanlarını çizerek tahrip eden sert tanecikler de bulunuyorsa bu tür abrasiv aşınmaya "Üç Cisimli Aşınma" denir. Bu tanecikler ara yüzeye dışardan girebilecekleri gibi aşınma enkazları da olabilirler [23,28].

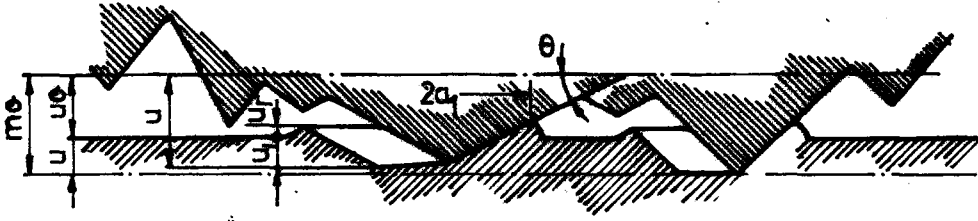
Genellikle aşınma mekanizmaları, metal/metal sürtünmelerinde iki cisimli abrasiv veya adhesiv olarak başlayıp üç cisimli abrasiv olarak devam eder. Üçüncü cisim olarak araya giren toz, mineral taneleri, çizilme sonunda serbest hale geçen mikro talaşlar veya parçalanmış oksit parçacıkları olabilir. Üç cisimli abrasiv aşınma, aşınmayı hızlandırır [30]. Bir sistem içinde yüksek hızlı parçacıkların akışı, bazan, "Erozyon" olarak bilinen abrasiv aşınmanın özel şeklini ortaya çıkarır [28,31].

Khruschov ve Babichev, aşındırıcı tanelerle temas eden yüzeyde iki prosesin meydana geldiğini teşhis etmişlerdir [32].

- 1- Basıncın etkisiyle plastik şekil değiştirme sonucu çiziklerin oluşması (Metal kalkmadan, yüzeyin plastik şekil değiştirmesi),
- 2- Mikro talaş şeklinde metal parçacıkların ayrılması (Yüzeyden mikro talaşların ayrılması).

Abrasiv aşınma, kesilme, kazınma ve tek veya tekrarlanan deformasyon gibi yüzeyi tahribeden çeşitli mekanizmalar ile meydana gelir. Abrasiv aşınma için en önemli bir şart, sürtünme sırasında, abrasivin sertliğinin aşınma malzemesi sertliğinden daha fazla olması gerekir [33]. Yani, sürtünen iki cisimden aşınması izlenen cismin sertliği diğerinkinden daha az ise abrasiv aşınma meydana gelir.

Şekil-2.7, iki cisimli abrasiv aşınmayı göstermektedir. Daha sert olan cismin pürüzleri yumuşak olan malzemeyi çizerek mikro talaş kaldırmaktadır.



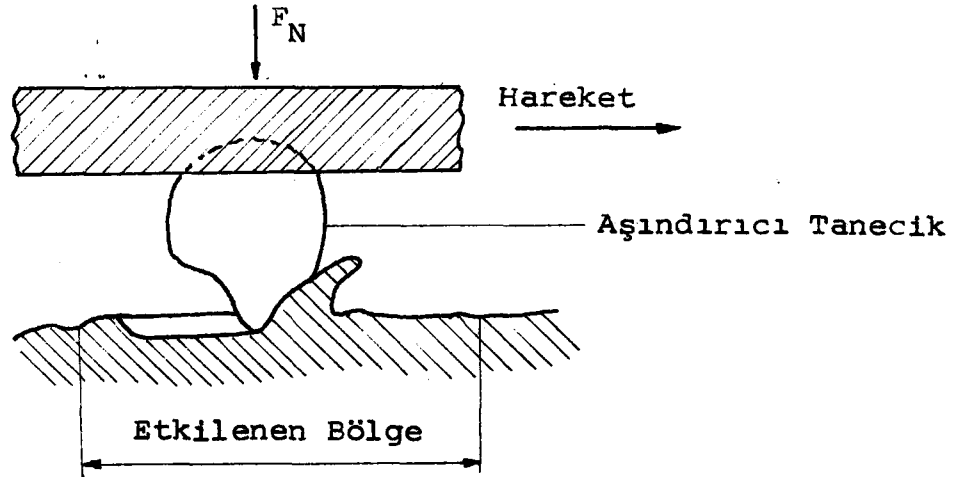
Şekil-2.7- Sert ve kaba bir yüzey tarafından aşındırılan düz ve yumuşak bir yüzeyin deformasyonu [34].

Üç cisimli abrasiv aşınmada ise ara yüzeydeki aşındırıcı tanelerin etkisi kuvvetle görülür. Bu tanecikler her iki yüzey arasında serbest halde bulunacakları gibi yumuşak olana batarak sert olanını da aşındırabilirler. (Yumuşak malzemelerin sert malzemeleri aşındırması).

Çeşitli kaynaklarda basit abrasiv aşınma eşitliği şöyle verilmektedir;

$$V = k \cdot \frac{L \cdot F_N}{\sigma_a}$$

Bu eşitlik, her aşınma probleminde kullanılmaz. Çünkü aynı sertliğe haiz malzemelerin aşınma dirençleri aynı olmaz. Abrasiv aşınma, konumuzu direkt ilgilendirdiğinden ileride etraflıca üzerinde durulacaktır.



Şekil-2.8- Üç Cisimli Abrasiv Aşınma



#### 2.4.3- Yorulma Mekanizması (Pitting)

Mühendislik malzemelerinde yorulma olayı, tekrarlanan zorlamalar altında ve zamanla meydana gelir. Bu olay daima yüzeyden başlar. Yüzey bölgesi titreşimli bir zorlanmaya maruz kaldığında veya sürtünme elemanları tekrarlanan gerilmelerle etkileştiklerinde bu gerilmelerin sebep olduğu mikro çatlaklar vasıtasıyla yorulma aşınması dediğimiz pulcuklar şeklinde malzeme ayrılmaları meydana gelir. Bu olay esnasında iç yapıda parçalanma ve yırtılmalar meydana gelerek yüzeyden kısmi çözümler olur [20].

Maksimum kopma gerilmelerinin bulunduğu yerde plastik deformasyon ve dislokasyon olaylarına bağlı olarak çok küçük boşluklar meydana gelmektedir. Bu boşluklar zamanla yüzeye doğru ilerlemekte, büyümekte ve nihayet yüzeyde küçük çukurlar meydana gelmektedir. Pitting adı verilen bu aşınma tipi, daha çok dişli çarklarda, rulmanlı yataklarda ve kam mekanizmaları gibi yuvarlanma hareketi yapan elemanların yüzeylerinde meydana gelir [22].

#### 2.4.4- Tribo Oksidasyon (Sürtünme Oksidasyonu)

Temas eden iki cismin izafi hareketi sırasında, hareketin başlatılması ve devamı için gerekli kuvvet farklıdır. Bu iki sürtünme hali (kayma ve sükunet sürtünmesi) arasındaki direnç farkı özellikle küçük kayma hızlarında sürtünme titreşimlerinin doğmasına sebep olur [25]. Bu titreşimler, tribolojik zorlanmaların işaretidir. Tribolojik zorlanmalar sırasında birtakım olaylar meydana gelir. Temas yüzeyleri arasındaki küçük genlikli titreşimlerin sebep olduğu bir oksit filmi oluşur [17]. Bu oluşum sürtünme ile hızlanır. Yüzeyde adsorbe edilmiş bazı maddelerin reaksiyonu sonunda meydana gelen oksit tabakası da tribo oksidasyon olarak mütalaa edilir. Gaz veya sıvı bir atmosferdeki oksijenin kısmi basıncı oksit oluşma hızına, mukavemetine ve oksit şekline etki eder. Fakat özel etkileri hakkında detaylı bilgiler tesbit edilememiştir [35].

Malzeme yüzeyinde mevcut olan veya sürtünme olayı esnasında meydana gelen tabaka, ana malzemenin aşınmaya karşı olan direncini önemli ölçüde değiştirir [16]. Bir çok hallerde çok zararlı olabilen adhesiv aşınmaya, reaksiyon tabakası oluşturmak suretiyle engel olma yoluna gidilir [18]. Fakat genel olarak yüzey-

de bu şekilde oluşan tribo oksidasyon tabakası, sürtünme ile parçalanarak abrasiv etkisi gösterir. Dolayısıyla aşınmayı hızlandırıcı rol oynar. Parçalanarak serbest hale geçen oksit parçacıklarının kalktığı bölgede tekrar oksitlenme görülür ve olay süreklilik kazanır.

#### 2.4.5- Ablativ Aşınma Mekanizması

Ablativ aşınma mekanizmasının oluşması, tamamen sürtünme ve diğer reaksiyon ısılarının durumuna bağlıdır. Eğer sürtünme yüzeyindeki bazı bölgelerde sıcaklık çok yüksek noktalara ulaşırsa o yüzey bölgesinde bir değişiklik sözkonusu olur. Bu değişiklik moleküler veya atomal mertebededir. Yeterli sıcaklık ve zaman sonunda sürtünme elemanının molekül veya atomları çevreye veya diğer sürtünme elemanlarına transfer olur. Bu olay tribosüblimasyon ve difüzyon esasına dayanır[18]. Uzay araçları kabuğu ve fren balatalarında bu tür aşınma ortaya çıkar[19].

Açıklamaya çalıştığımız aşınma mekanizmaları, bir sistemin sürtünerek çalışan elemanlarında tek başına ve sade bir şekilde meydana gelmez. Elemanların hasara uğramasına daima birçoğunun kombine etkisi sebeboldur. Bu yüzden aşınma olayını, bir mekanizmanın etkisini dikkate alarak incelemek çok yanlıştır ve hatta ayrı ayrı olayların bir süperpozisyonu şeklinde incelemek yanlıştır[16].

Aşınma olayı komplike bir olay olup önce bahsedildiği şekilde bir sistem bütünlüğü içinde ele alınıp incelenmesi gerekir. Bir çok faktörlerin değişen etkileri, olayı karmakarışık yapmaktadır. Bu faktörler kendi aralarında ve tribosistemin diğer elemanlarıyla karşılıklı etkileşim içinde aşınmanın yön ve miktarını tayin ederler[18]. Bu bakımdan bir araştırma veya deney sonucu, genel uygulama alanı bulamaz. Bu sebeple her problem kendine has araştırma ve deneme suretiyle çözümlenmelidir.

#### 2.5- Aşınma Miktarının Ölçülmesi ve Birimleri

Aşınma olayının incelenmesi kapsamına, aşınan miktarın belirtilmesi de girer. Aşınma miktarının tesbiti, hep değişik birimlerle yapılmıştır. Bu durum deney sonuçlarının mukayesesini zorlaştırmaktadır. Oysa, çoğu kez deney sonuçlarının birbirleriyle mukayesesini gerekir ve faydalı da olur. Bu yüzden hiç değilse aynı ga-

yeye yönelik deneylerden elde edilen sonuçlar, zor da olsa aynı birimlerle ifade edilmelidir. Zaten DIN 50321'de, mukayeselerde yanlış bir hüküm vermeden kaçınılması için müşterek büyüklükler tavsiye edilmektedir [20].

Verilen aşınma miktarları ve birimleri şöyledir;

"Hacımsal Aşınma Miktarı" ( $\text{cm}^3$ ) cinsinden, "Ağırlık Kaybı Olarak Aşınma", (g) veya (mg) cinsinden ifade edilmiştir. Bu miktarların deney şartlarına bağlı olarak, kayma veya sürtünme yoluna, zama- na veya birim alana oranlanması suretiyle de aşınma birimleri belirtilmektedir. Mesela, hacımsal aşınma miktarının kayma mesafesine oranı ( $\text{cm}^3/\text{m}$ ,  $\text{cm}^3/\text{km}$ ), birim kayma yolu başına hacımsal aşınma miktarını verirken, ağırlık kaybı olarak aşınma miktarının yola oranı (g/km, mg/m), birim kayma yolu başına aşınan miktarın ağırlığını verir. Ağırlık kaybının alana oranı ise ( $\text{g}/\text{cm}^2$ , g/ha, v.b) birim alandaki ağırlık kaybını ifade eder.

Ağırlık kaybı olarak aşınma miktarının tesbiti çok kullanılan, bir çok hallerde de en kesin neticeyi veren bir methodur [16]. Ancak makina elemanlarında daha çok boyut değişimi önemli olduğundan ağırlık kaybı aşınması, hacımsal aşınmaya dönüştürülür. Bunun için ağırlık farkının malzemenin yoğunluğuna oranlanması gerekir. Böylece farklı yoğunluktaki malzemelerin (Çelik, alüminyum, v.b.) aşınma miktarının ölçülmesinde en uygun yol seçilmiş olur [17].

Öte yandan radyoaktif elementlerin neşrettiği gamma ışınları ve radyoaktif atomların yardımıyla aşınma miktarları çok büyük bir hassasiyetle ölçülebilir. Radyoaktif izotoplar ile aşınma ölçülmesinin avantajları, özellikle tribolojik sistemlerde görülür. Aşınma, değişen işletme şartlarında ve deney cihazını durdurmadan devamlı surette ölçülebilir. Özellikle kritik aşınma şartlarında bu husus önemlidir. Daha önemlisi ölçüm için parçaları çıkarmak gerekmez. Böylece çalışma şartlarında değişiklik olmadan aşınma miktarı ölçülmüş olur [36].

Deney sonuçlarının değerlendirilmesine yardımcı olmak için aşınma durumu belli olan bir malzeme aynı anda deneye tabi tutulur. Mukayese malzemesi, aynı şartlarda aşındırıldığından, ortamın şartlarına göre yanılığa düşülmeden değerlendirme yapmak mümkün olur. Aşınması incelenen malzemenin aşınma miktarının, mukayese malzemesinin aşınma miktarına oranlanması "İzafi Aşınma Miktarı" nı verir ki buda değerlendirmelerde hata miktarını azaltır.

## 2.6- Aşınma Faktörleri ve Aşınma Direncine Etkileri

Aşınma olayında olaya katılan ve etkileyen pek çok faktör mevcuttur. Bu faktörlerin etkisi yada hangi faktörün sistemi ne şekilde etkileyeceği kesin olarak önceden kestirilemez. Bununla beraber değişkenlerin kendi aralarında birbirlerini etkilemeleri de söz konusu olunca durum tamamen karışır. Bu yüzden her aşınma problemi veya benzer aşınma problemleri tek tek özel çözüm gerektirmektedir.

Aşınma değişkenlerinin sınıflandırılması çeşitli şekillerde yapılabilmekle beraber tribolojik sistem dikkate alınarak bir sınıflama yapmak mümkündür. Bu sınıflama, abrasiv aşınma esas alınarak yapılmıştır.

### A - Tribolojik Sistemin Elemanlarına Bağlı Faktörler

#### a- Esas Sürtünme Elemanına Bağlı Olanlar

- 1- Malzemenin Cinsi
- 2- Kimyasal Terkibi
- 3- Mikro Yapısı
- 4- Hacımsal ve Yüzeysel Sertliği
- 5- Elastiklik Modülü
- 6- Akma ve Kırılma Özellikleri
- 7- Yüzeyin Pürüzlülük Durumu
- 8- Şekli ve Boyutları
- 9- Soğuk Şekillendirme Durumu
- 10- Gördüğü Isıl İşlem

#### b- Karşı Elemana Bağlı Olanlar

- 1- Aşındırıcı Tane Büyüklüğü
- 2- Tane Şekli
- 3- Tane Dağılımı

#### c- Ortama Bağlı Olanlar

- 1- Nem
- 2- Sıcaklık

### B - İşletmeye Bağlı Faktörler

#### a- Yük (kuvvet)

#### b- Hareket

- 1- Kayma Yolu (Sürtünme yolu)
- 2- Zaman

#### c- Kaymanın Cinsi

## 2.6.1- Tribolojik Sistem Elemanlarına Bağlı Faktörlerin Aşınmaya Etkisi

### 2.6.1.1- Esas Sürtünme Elemanlarının Malzemesi

Makina mühendisliğinde acele kararların verilmesi genellikle problemler çıkarır. Öte yandan hesaplamalarda bütün faktörleri dikkate alarak tam ve ilmi bir karar vermek hem uzun zaman alır ve hem de maliyeti arttırır [37]. Buna rağmen makina ve alet yapımında işletme şartları dikkate alınarak malzeme seçimi yapılmak zorundadır.

Malzemenin çalışacağı şartlara göre bazı teknolojik ve mekanik özellikleri önem kazanır. Bir malzeme belli işletme şartlarında iyi aşınma direnci gösterirken, başka şartlarda aşınma direncinde azalma olabilir. Bu yüzden aşınma mekanizması ve şartlar dikkate alınarak malzeme cinsi tayin edilmelidir. Bunun paralelinde bazı araştırmacılar, işletme şartlarını dikkate alarak değişik malzemelerin kullanılabilirliğini tesbite çalışmışlardır.

Krause ve Hammel [38], kardan kavramaları için bakır alaşımı/Çelik ve polyamid/Çelik çiftlerini deneyerek, karbon lifleriyle kuvvetlendirilmiş polyamidlerin iyi aşınma direnci gösterdiklerini tesbit etmişlerdir. Bununla beraber  $MOS_2$ 'nin polyamide ilavesi aynı şartlarda iyi netice vermemiştir.

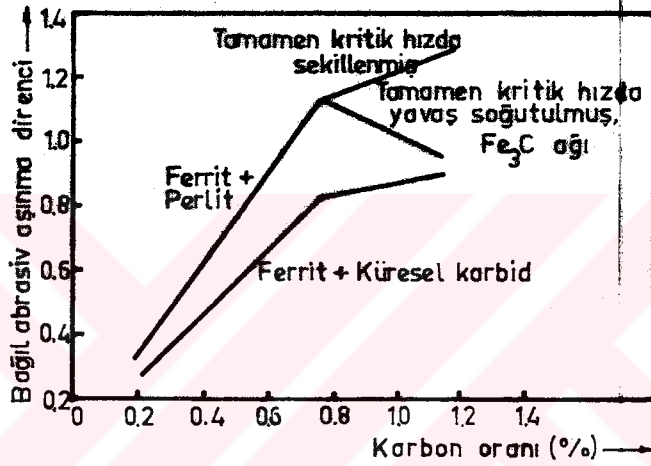
Görülüyor ki aşınma miktarının azaltılabilmesi için çok iyi malzeme seçimi yapmak gerekir. Bu, doğru malzeme seçimiyle aşınmanın mutlaka azaltılacağı anlamına gelmez. Çünkü malzeme cinsi etkenlerden sadece biridir.

### 2.6.1.2- Malzemenin Kimyasal Terkibi

Genel olarak çeliklerde aşınma direnci sert karbitlerle ve çeliklerin birçok tiplerinde de uygun ısıl işlem ile sağlanır. Aşınmaya dayanıklı çelik üretmek için bazı alaşım elemanlarının ilavesi gerekir. Bu alaşım elemanları, çelikte sert karbitler meydana getirerek aşınma direncini arttırırlar.

Vishnyakov ve Vinitskii, kromlu çeliklerde aşınma direncine kübik karbitlerin, trigonal karbitlerden daha fazla etkili olduğunu açıklarken, Popov, oluşan karbitlerin şeklinin ve bileşiminin önemli olduğuna işaret etmektedirler [39].

Çeliklerdeki karbon miktarı, çeliğin mekanik özelliklerini büyük oranda etkiler. Martensitik çeliklerde hacımsal sertlik ve aşınma direnci, ağırlık olarak yüzde karbonun karekökünün lineer bir fonksiyonudur [39]. Karbon aşınma direncini pozitif şekilde etkiler. Bağımsız karbon yüzdesinin artmasıyla karbonlu ve düşük alaşımlı çeliklerin abrasiv aşınma dirençleri genellikle artar. Karbon miktarının artması, alaşımsız çeliklerde perlit miktarının artması ile, alaşımlı çeliklerde ise ince perlitik yapının martenzit-ostenit yapıya dönüşmesi suretiyle aşınma direncini arttıracaktır [28].



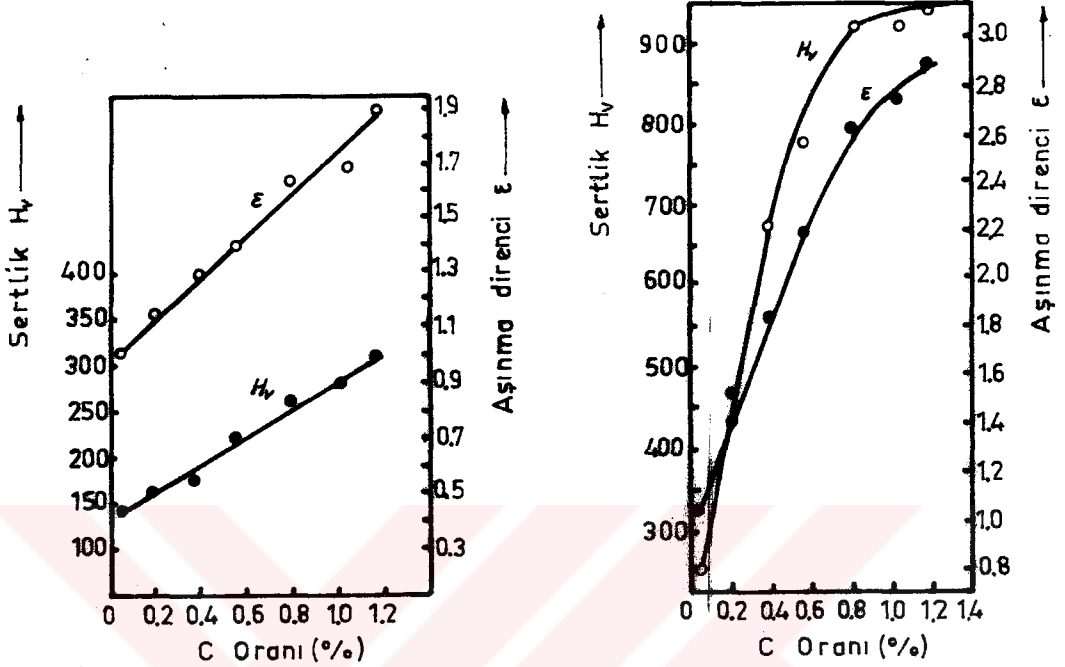
Şekil-2.9-Karbon miktarına göre çeliklerin bağıl aşınma dirençlerinin değişimi [28].

Khruschov ve Babichev, Serpik, Kantor ve Richardson, karbon miktarıyla perlitik çeliklerin aşınma dirençlerinin arttığını tesbit etmişlerdir. Bununla birlikte Serpik ve Kantor, otektoid üstü çelikte de karbon miktarının artmasıyla perlitten ziyade sürekli bir sementit ağının oluşmasından dolayı, aşınma direncindeki artma hızının düştüğünü tesbit etmişlerdir [39].

Martensitik ve temperlenmiş martensitik yapıların aşınma dirençleri, aynı şekilde karbon oranına bağlıdır. Martensitik yapıda karbon oranının yükselmesi ile otektoid altı çeliklerde aşınma direnci yükselir [40]. Aynı sertlikte fakat daha fazla karbon ihtiva eden çelikler, daha yüksek aşınma direncine sahiptir ve karbon oranı ile aşınma direncinin yükselme oranında belli sertlik için sabittir. Karbon ile diğer alaşım elemanları



mukayese edilirse alaşım elemanlarının aşınma direncine etkisi karbona göre daha azdır [39].



Şekil-2.10-Karbon oranının bir fonksiyonu olarak çeliklerde,sertlik ve aşınma direnci değişimi [40].

(a)-Tavlanmış karbonlu çeliklerde

(b)-Sertleştirilmiş karbonlu çeliklerde

### 2.6.1.3-Malzemenin Mikro Yapısı

Bu konuda pek çok araştırma yapılmasına rağmen [32], malzemele-  
rin mikro yapılarının aşınma dirençlerine ne derecede etkidi-  
ği kesin olarak açıklığa kavuşmamıştır. Bu husus üzerindeki  
mevcut çözümler farklılık arzeder [40]. Ancak mikro yapının a-  
şınma direncini etkilediği muhakkaktır.

Mikro yapıdaki tane boyutu ve fazların durumu, bir malzemenin  
mekanik özellikleri üzerinde önemli derecede etkiye sahiptir.  
Khrushov ve Babichev, heterojen yapıdaki malzemelerin aşınma  
dirençlerinin, her bir komponentin aşınma dirençlerinin toplama-  
na eşit olduğu sonucuna varmışlardır [32]. İki fazlı malzeme-  
lerin aşınma dirençleri, komponentlerin aşınma dirençleri top-  
lamı olarak Khrushov tarafından



$$\epsilon = \alpha \epsilon_1 + \beta \epsilon_2$$

şeklinde ifade edilmiştir [31]. Bu eşitlikte  $\alpha$  ve  $\beta$ , komponentlerin hacımsal katılma oranı,  $\epsilon_1$  ve  $\epsilon_2$ , komponentlerin hacımsal aşınma dirençleridir.

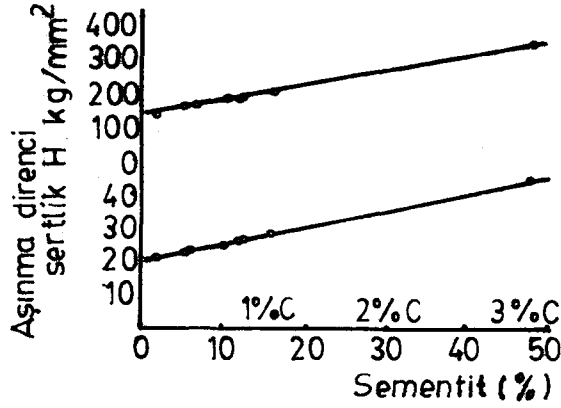
Larsen Badse ve Mathev, otektoid çeliklerin farklı sıcaklıklarda farklı şekilde davranışlarından dolayı meydana gelecek güçlükleri bertaraf etmek amacıyla yukarıdaki eşitliği şöyle düzenlediler [41];

$$\epsilon = c \cdot H \cdot E^n$$

Talanov ve Chelushkin, kır dökme demir gibi heterojen malzemelerde, abrasiv aşınma direncinin, matrikste bulunan mikro yapı elemanlarının sertliklerinin toplamı olarak yazılabileceğini önermektedirler [30].

Tanecikli perlitik yapıya göre, lamel perlitik yapının aşınma direnci biraz daha fazladır. Çeliklerdeki sementit miktarının artmasıyla tavllanmış durumda aşınma direnci de artar. Tane boyutunun artması ile belli karbon oranında abrasiv aşınma azalır [28]. Bazı araştırmacılar, aşınma direncindeki iyileşmeyi yapıdaki trostit'e yorumlarken, bazıları daha çok martenzit'e bağlarlar. Aşınma direnci üzerine artık ostenitin etsini değişik şekilde dile getiren fikirler de vardır. Martenzitik yapılarda artık ostenitin mevcudiyeti, aşınma direncinin daha da arttırılmasında yararlı olur [28], ifadesine karşılık, karbonlu çeliklerde artık ostenitin, abrasiv aşınma direncini azalttığı [40] ifade edilmektedir. M. I. Zamotarin, yaptığı çalışmalarla en fazla aşınma direncinin martenzitik yapıli çeliklerde, en az direncin ise ferritik yapıli çeliklerde olduğunu ortaya koymuştur [40]. Fakat martenzitik ve küresel yapıli çeliklerin aşınma dirençlerinin, aynı sertliğe sahip perlitik yapıli çeliklerden daha az olduğu Moore tarafından bildirilmektedir [39].

Japon bilim adamları Honda ve Yamada, % 0,1 - 1,1'e kadar C ihtiva eden çelikler için; normalize edilmiş bünyede en çok, sorbitik bünyede daha az ve trostitik bünyede en az aşınma meydana geldiğini tesbit etmişlerdir [40].



Şekil-2.11-Bazı çelik ve demirlerde sementit miktarının bağlı aşınma direnci ve hacımsal sertliğe etkisi[32].

Mazemelerin mikro yapılarının aşınma direncine etkileri, aşınmanın kendisi kadar karışık bir konudur. Ancak ısıl işlemlerin gayesi, mikro yapıyı değiştirerek malzemelere belli özellikler kazandırmak olduğuna göre, sertlik arttırıcı bütün ısıl işlemler, belli bir orana kadar aşınma direncini arttıracığından, sertlik lehine değişen mikro yapı, aşınma direncini de arttıracaktır.

#### 2.6.1.4- Malzemenin Hacim ve Yüzey Sertliği

Kuvvet sabit kalmak kaydıyla, sert bir kalem yumuşak kalemden daha soluk yazar. Bunun nedeni sert kalemin daha az aşınarak kağıda soluk iz bırakmasıdır. Bu, sertliğin aşınma direncini arttırdığını gösteren basit bir misaldir.

Genel olarak, abrasiv aşınma direncinin direkt olarak sertliğe bağlı olduğu ve bu direncin verilen denklemlerle önceden tesbit edilebileceği zannedilir. Bu görüş, saf metaller ve tavllanmış çelikler için geçerlidir. Fakat makina parçaları, saf metalden veya tamamen tavllanmış çelikten yapılmazlar[23].

Aşınma direncini etkileyen faktörlerin başında gelen sertlikle aşınma, belli bir orana kadar azalır, fakat bir noktadan sonra sertliğin etkisi, aşınmaya karşı yeterli direnci sağlayamaz. Ticari saf malzemelerde aşınma direnci, hacımsal sertliğin li-

neer bir fonksiyonudur [32,41] ve metalin mukavemetini belirleyen tabii sertliğin artması ile yüksek aşınma direnci elde edilir [24]. Diğer bazı metallerde ise sertlikle aşınma direnci arasında direkt bir ilişki yoktur. Özellikle ferritik malzemelerde sertliğin, aşınma direncinin direkt bir ölçüsü olmadığı, fakat benzer yapıda ve farklı bileşimdeki malzemeler için hacimsal sertlikle aşınma direnci arasında lineer bir ilişkinin varlığı ifade edilmektedir [39]. Khruschov ve Babichev, ısıtılmış bazı çelikler ve bazı metal karbitler için, sertlik ve aşınma direnci arasında lineer bir ilişkinin olduğunu bulmuşlar ve bu ilişkiyi çelikler için;

$$\epsilon = \epsilon_0 + c \cdot (H_0 + H_{V0})$$

şeklinde ifade etmişlerdir [32].

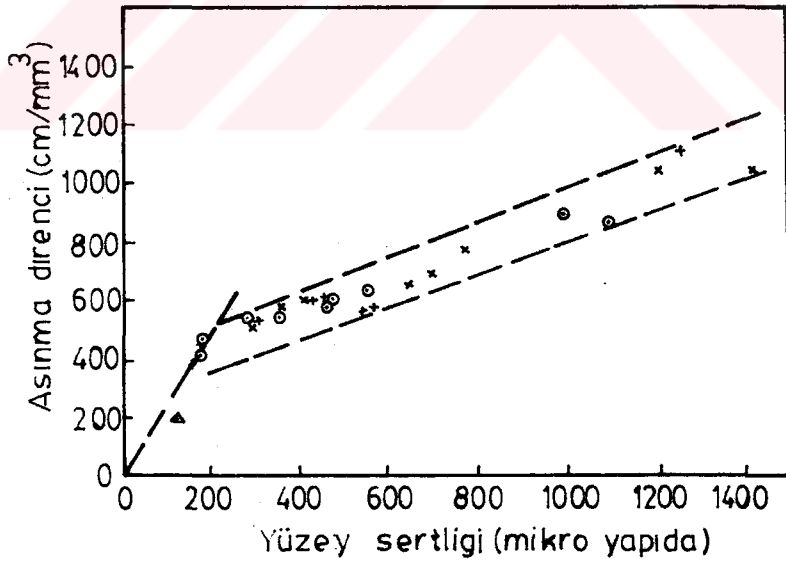
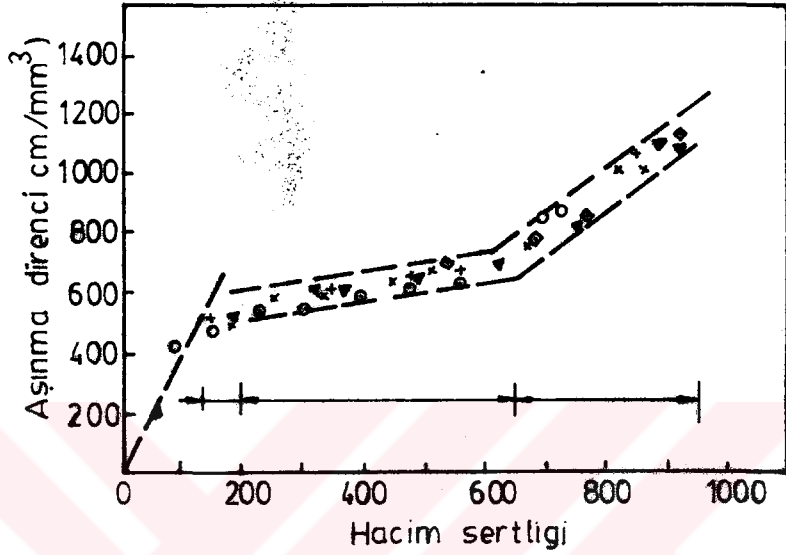
Mutton ve Watson, yaptıkları deneysel çalışmalar neticesinde;

- Aynı sertliğe sahip saf metallere göre ısıtılmış çeliklerin aşınmaya daha az direnç gösterdikleri,
- Aynı çelik, ısıtılmış işlemle farklı sertlik seviyelerine getirildiğinde sertlik ile aşınma direnci arasında lineer bir ilişki olmadığı sonucuna varmışlardır [41].

Sertliğin artması ile abrasiv aşınma direncinin arttığını Khruschov tesbit etmiştir [42]. Yüksek sertlikteki malzemelerin aşınma dirençleri de yüksektir ve sertlikle, hasara karşı yüzey direnci artar [43,44]. Abrasiv aşınma direncinin hemen hemen tamamen sertliğe bağlı olduğu veya sertliğin artması ile düzeldiği kabul edilir [45]. Bu görüşe paralel olarak aşınmaya maruz metallerin aşınma dirençlerini arttırmak üzere, hacimsal sertlik yanında yüzeysel sertlik arttırma işlemleri sık uygulanan ve hatta bazan ön plana çıkan bir durumdur. Metallerin yüzey sertliklerinin arttırılması, ısıtılmış muamelelerle yapıldığı gibi, yüzeye daha sert bir tabakanın kaplanması suretiyle de gerçekleştirilebilir. Yüzey sertliğinin arttırılması, malzemenin çekirdeğinin sünek kalmasını sağlayabildiğinden, darbeli zorlamalara maruz yerlerde avantaj sağlar.

Yüzey kaplama yoluyla metallerin aşınma direncinde bir iyileşme sağlanır. Kadmiyum ve nikel kaplanmış çeliklerin aşınma hızı ile ilgili neticeler göstermiştir ki, 1 mm nikel kaplı, 460 Kg/mm<sup>2</sup> sertliğindeki 4140 çelik numunelerin aşınma hızı çok düşüktür.

En iyi aşınma direnci için kaplama malzemesi, esas malzemeden yumuşak olmalı, kritik kalınlıktan daha ince bir tabaka esas malzemeye kuvvetlice bağlanmalıdır [48].

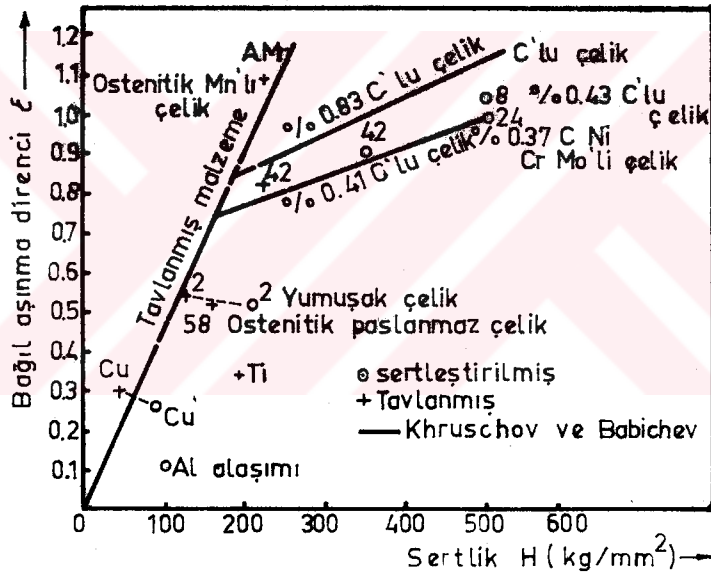


Şekil-2.12- Su verilmiş ve temperlenmiş karbonlu çeliklerin sertliğe bağlı olarak aşınma dirençleri, Larsen-Badse atfen [41].

o: 0,58 C    x: 0,81 C    ▼: 0,29 C  
+ : 1- 1,23 C

Öteyandan sert metal veya sert alaşımların tozları ile yapılan yüzey kaplama işlemleri, aşınma direncini büyük oranda arttırır. Ni, Cr, W ve özellikle bunların Hafniyumla kombinasyonu, nükleer mühendislik için geliştirilmiş kaplama tozlarıdır. Bu kaplama plazma kaynağı veya spray ile başarılı olarak yapılmaktadır [4]. Tungsten karbit ve Krom karbit gibi malzemeler, özellikle patlamalı tabanca ve lazer plazma sprayı ile kaplandığında birçok aşınma problemini elemine eder. Bu uygulama, gaz türbinleri ve tekstil makinaları, v.b. de çok sık kullanılır [49].

Netice olarak sertliğin artması, aşınma direncini de arttırır. Fakat bu artış sürekli değildir. Belli bir sertlik artımı sonunda aşınma direnci etkilenmeyebilir.



Şekil-2.13-Tarlada Richardson ve laboratuvarında Khrushov ve Babichev tarafından ölçülen hacımsal sertlik ve bağıl aşınma direnci ilişkisi [46,47].

#### 2.6.1.5- Elastiklik Modülü

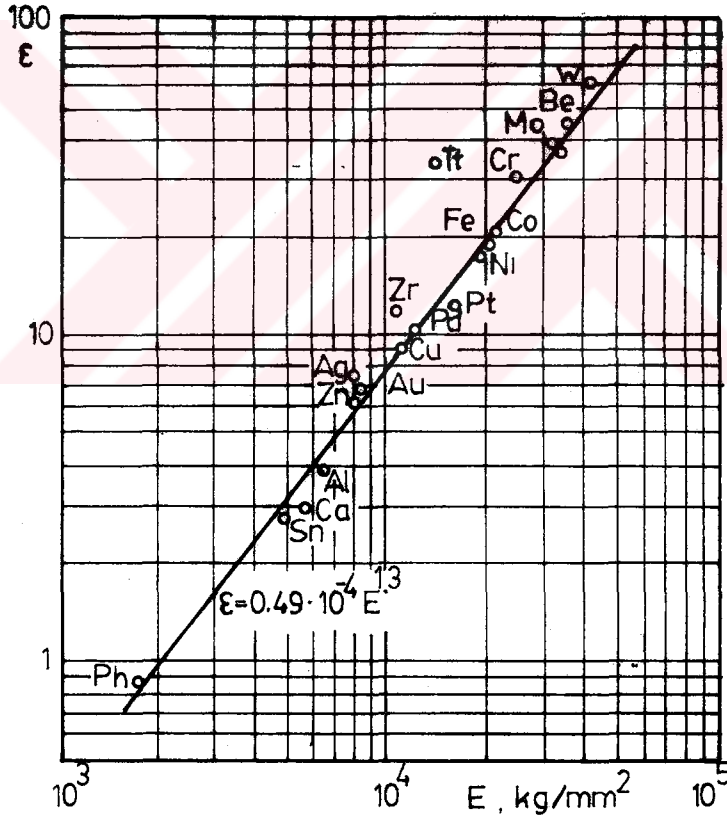
Abrasiv aşınma direncini etkileyen faktörlerden biri de malzemenin elastiklik modülüdür. Çeliklerde, elastiklik modülü sabit kaldığı halde sertliğin artması, aşınma direncini de arttırır. Khrushov ve Babichev'e göre bütün çelikler sertleştirildiklerinde elastiklik modülleri değişmezken bağıl aşınma dirençleri

artar [33] .

1951 yılında Oberle, elastik deformasyon miktarının aşınma direncinin bir ölçüsü olduğunu [32,45] ,ileri sürerken,Khruschov ve Babichev,bu görüşe katılmıyarak saf metallen için aşınma direncinin elastiklik modülüne bağlı olduğunu,fakat bu ilginin ısıll işlem görmüş çelikler için geçerli olmadığını ileri sürmüşlerdir ve saf metaller için bu bağıntıyı;

$$\epsilon = c_1 \cdot E^{1,3}$$

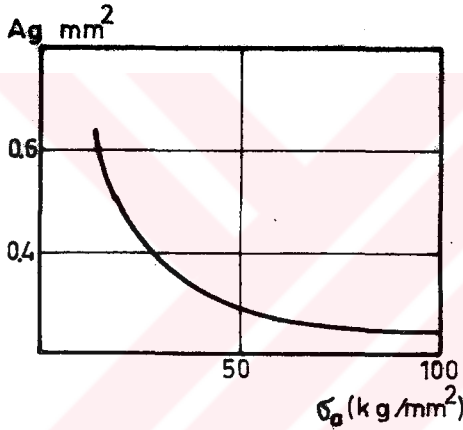
şeklinde vermişlerdir [32] .Aynı araştırmacılara göre sertlik veya elastiklik modülü gibi bazı bağıll özelliklerdeki yükselme, abrasiv aşınma direncini arttırır [42] .



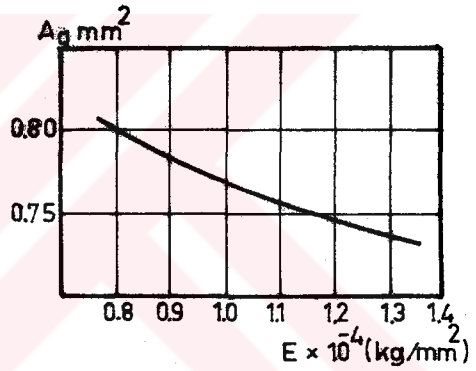
Şekil-2.14- Teknik saf malzemeler için Elastiklik modülü ve bağıll aşınma direnci arasındaki ilişki [23,32,33] .

Elastiklik modülü veya akma sınırı yüksek olan malzemelerde gerçek temas alanı azalmaktadır. Öte yandan yüzey pürüzlülüğü arttıkça da bu durum sözkonusudur [26].

Uygulanan yükün sabit olduğunu kabul edersek pürüzlere gelen gerilme daha fazla olacağından, deformasyonla birlikte kaynak bağları oluşma ihtimali artacaktır. Sertlikleri farklı iki malzemenin sertliği az olanın düşük hızlarda aşınma durumu daha iyi olmaktadır (elastiklik modülünün etkisi) [50], neticesi bu görüşümüze kuvvet kazandırmaktadır. Bir izafi hareket neticesinde kaynak bağlarının kopması ve kesilme ile birlikte deformasyon olmamış pürüzler, çizi aşınması etkisini gösterecek ve dolayısıyla aşınma artacaktır.



(a)



(b)

Şekil-2.15- a) -Gerçek temas alanına akma gerilmesinin etkisi (20 Kg yük ve  $E=2.10^4$  Kg/mm<sup>2</sup> için)

b) -Gerçek temas alanına elastiklik modülünün etkisi (20 Kg yük ve  $\sigma_0=11,5$  Kg/mm<sup>2</sup>) [26].

Özet olarak malzemelerin elastiklik modülleri ve aşınma dirençleri arasında bir ilişki vardır. Bu ilişkinin niteliği, malzemenin elastiklik özellikleriyle açıklanabilir.

#### 2.6.1.6- Akma ve Kırılma Özellikleri

Malzemelerin akma ve kopma noktaları, plastik şekil değiştirme kabiliyetlerinin belirlenmesinde en önemli ölçülerdir. Plastik şekil değiştirme özelliğinin aşınmaya etkisi bilindiğine göre malzemenin akma ve kopma özellikleri de aşınmayı etkileyen birer faktör olarak karşımıza çıkmaktadır.



Aşınma prosesinde meydana gelen gerilme-şekil değiştirme sisteminin teorik analizini yapan Larsen-Badse, saf metaller için aşığıdaki eşıtliliği kullanmıştır [32].

$$\sigma_a = c \cdot \Delta \epsilon^n$$

Aynı araştırmacılar, abrasiv aşınma direncinin hacımsal veya yüzeysel sertlik ve (n), exponentiyle orantılı olduğunu göstermiştir.

Aşınmış yüzeylerde elde edilen mekavemet ile kırılma limitleri ihtimali, Moore tarafından araştırılmıştır. Moore [32], malzemenin metalurjik yapısına ve şekil değiştirme sertleşmesi özelliğine bağlı olarak aşınma süresince sertleşme miktarını tesbit etmiş ve mikro sertlik datalarından istifade ile aşınmış yüzeyin akma gerilmesini sertliğe bağlamıştır.

$$H = c \cdot \sigma_a$$

(c) sabiti, abrasiv gibi kırılğan katılar için 0,1 ve çoğu metalik malzemeler için 2-3 arasındadır.

Aşınma direnci, aşınma öncesi hacımsal sertlikten başka, aşınma sonrası yüzey sertliğine daha sistematik bir bağlılık gösterir.

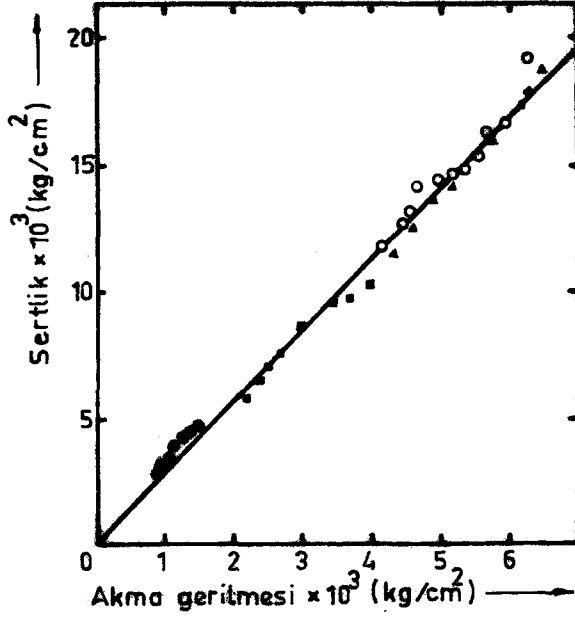
Şekil değiştirme sertleşmesi kabiliyeti en iyi olan malzemelerin aşınma dirençleri fazla olur. Çünkü bu malzemelerin yüzeyleri, aşınmadan sonra iyi sertleşir. Bir malzemenin aşınma direncini belirlemede zorlanmış sertleşme kapasitesi önemlidir [46].

Bowden ve Tabor, abrasiv aşınma direncini;

$$\epsilon = 2 \cdot \sigma_a / F$$

ile ifade etmişler ve sert malzemelerin abrasyona daha dirençli olduğunu vurgulamışlardır [30].

Netice olarak akma gerilmesi ve dolayısıyla kırılma noktası yüksek olan malzemelerin aşınmaya karşı daha dirençli olduğu ifade edilebilir.



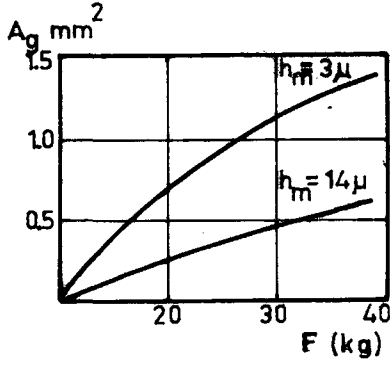
Şekil-2.16-Çeşitli metaller için akma gerilmesi ile sertliğin değişimi [51] .

#### 2.6.1.7- Yüzey Pürüzlülüğü

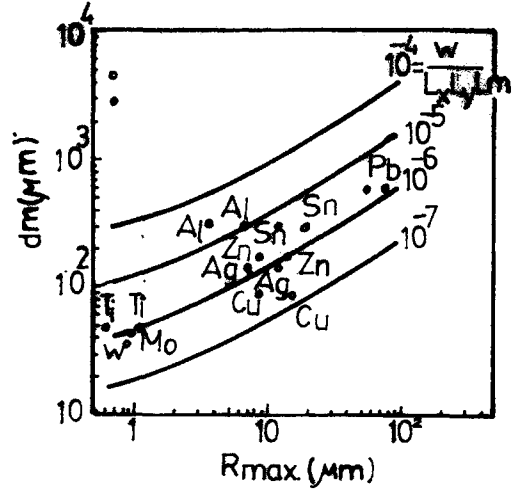
Yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi, çoğu araştırmacılar tarafından dikkatle incelenmiştir. Yüzeylerin temas davranışı üzerine pürüzlülüğün etkisini inceleyen ve teorik olarak başarılı neticeler alan Greenwood ve Williamson, problemin anlaşılmasına çok önemli katkılar yapmışlardır [52] .

Bir yüzeyin şeklini belirlemek için, aşınma ve sürtünme mekanizmasını etkileyen pürüzlerin yüzeydeki yoğunluğu ve yüksekliklerinin dağılım analizinin yapılması gerekir. Bu gerekçeye dayanarak bir çok çalışmalar yapılmış ve pürüzlerin profil eğrilerindeki yükseklik dağılımının gerçek dağılımdan farklı olduğu tesbit edilmiştir [53] .

Esasen, yüzey pürüzlerinin büyüklüğü veya küçüklüğü, daha doğrusu yüzeyin pürüzlülük derecesi, temas davranışını etkileyeceğinden aşınma ve sürtünme olayını etkileyen en önemli faktörlerden biridir. Yüzeylerin kaba işlenmiş olması gerçek temas alanını azaltacağından yüzeyde tek bir pürüze gelen yükün artmasına ve dolayısıyla aşınmanın artmasına sebep olur.



Şekil-2.17-Gerçek temas alanına pürüzlülüğün etkisi(numuneler Pb, Cu ve Al'dur) [26].



Şekil-2.18- $R_{max}$ 'ın fonksiyonu olarak ortalama aşınma partikülü çapı [34].

Yüzeyin alt kısmında meydana gelen maksimum gerilme ile bir kuvvet meydana gelir ve derinlik yükün şiddetine bağlıdır. Böylece etkili gerilmenin değerindeki büyüme, alt yüzeyde hataların büyümesine ve neticede aşınma partiküllerinin boyutlarındaki büyümeye sebep olur. Yani daha büyük aşınma partikülü kalkmasına sebep olur. Yuvarlak kabul edilen pürüzlerin yarı çapı ve pürüzlerin yüzeydeki yoğunlukları, yüzey özelliğini belirleyen en önemli faktörlerdir [34,54].

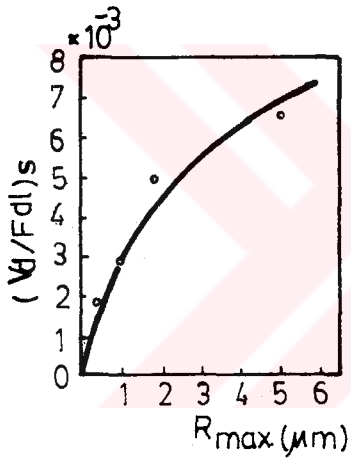
Bos [31], yaptığı teorik çalışmalarla, sert yüzeyin pürüzlülüğü ile aşınmanın doğru orantılı olduğunu ve aşınma hızının, sert yüzey üzerindeki pürüzlerin şekli ile az etkilendiğini tesbit etmiştir. Aynı araştırmacının;

$$\frac{V}{L} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{F}{\sigma_a} \cdot \text{tg } \theta_T$$

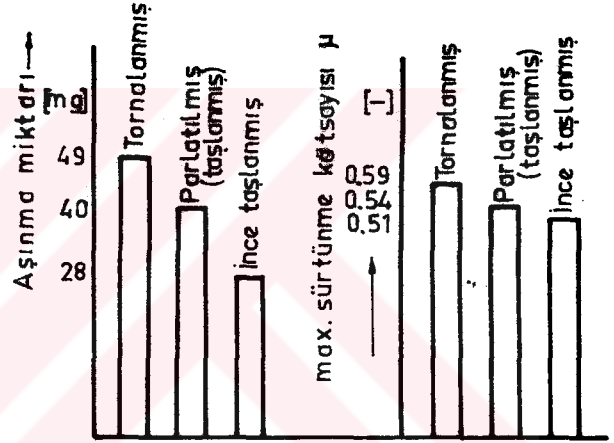
ifadesinden ve Hisakoda [24], tarafından verilen pürüzlülük ve pürüz eğimleri arasındaki amprik ilişkiden;

$$(\text{tg } \theta_T)_m = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{R_{max}}{4,44 \cdot R_{max} + 18,8}$$

maksimum yüzey pürüzlülüğünün artmasıyla aynı yük ve kayma mesafesinde aşınma miktarının arttığı görülür. Benzer ifadeler diğer bazı kaynaklarda da verilmektedir. Verilen ifadelerden anlaşılacağı gibi pürüzlülüğün artması aşınmayı da arttıracaktır. Yüzey kaplama yoluyla arttırılmaya çalışılan aşınma direnci, oldukça iyi neticeler vermiştir. Kaplamanın sıhhatine, yüzey pürüzlülüğünün büyük etkisi vardır. Kayma sırasında orijinal alt tabaka pürüzlerinin kırılması ve deformasyonu ile bağ kuvvetlerinin bozulmasına sebep olur [48]. Bu sonuç makina parçalarının özellikle sürtünerek çalışan parçaların yüzey işleme kalitelerinin aşınma bakımından önemli bir etken olduğunu ortaya koymaktadır.



Şekil-2.19-Maksimum yüzey pürüzlülüğü ile boyutsuz aşınmanın değişimi [34].



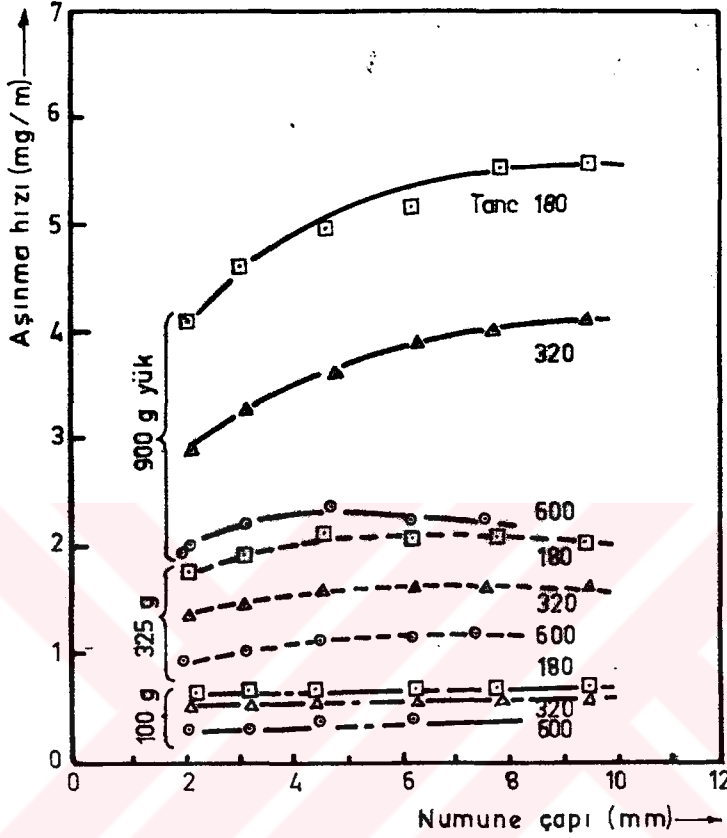
Şekil-2.20-Yüzey pürüzlülüğünün aşınma ve sürtünme katsayısına etkisi [55].

#### 2.6.1.8-Deney Numunesinin Şekli ve Boyutları

Temas yüzeyinin aşınma şekli, eş çalışan elemanların geometrik şekline, hareket tarzına ve basınç uygulamasına bağlıdır. Bu faktörler aşınma direncini etkiler [22]. Numune boyutları, temas alanını etkilediğinden aşınmayı da etkiler.

Richardson [47], toprakla yaptığı deneysel aşınma araştırmalarında, kesici ağızların aşınarak parabolik bir şekil aldığını ve dolayısıyla parabolik ağızların daha az aşındığını, Kantarcı [50],

gemetrik kesiti ideal daireye yakın olan numunelerin daha az aşındığını ve aşınma sonunda ideal daireye yaklaşma olduğunu tesbit etmişlerdir.



Şekil-2.21-Numune çapının aşınma hızına etkisi Larsen-Badse atfen [32].

#### 2.6.1.9-Soğuk Şekil Vermenin Etkisi

Abrasyona dirençte, metalin ilk sertliğinden ziyade soğuk sertleşme kabiliyeti önemli bir faktördür [45]. Birbirlerinden farklı sertlikteki malzeme çiftlerinde, yumuşak parçanın aşırı bir soğuk deformasyona uğraması dolayısıyla aşınmanın azaldığı görülür. Soğuk pekleşme aşınmayı önemli ölçüde azaltır [19].

Malzemelerin soğuk şekil değiştirmeleri sırasında pekleşme nedeniyle bir sertleşme meydana gelir. Bu sertlik artışı, aşınma direncini olumlu yönde etkiler. Çünkü artan sertlikle aşınma direncinin de arttığı bilinmektedir. Fakat deformasyon sertleşmesi, artan deformasyon miktarı ile belli bir alt (sabit) değerine

azalmaktadır. Gerilme ile deformasyon arasında;

$$\sigma_a = c \cdot \Delta \epsilon^n$$

bağıntısı vardır [56]. Yine plastik deformasyon derecesindeki artma ile dislokasyon yoğunluğu artar. Bu gerçek, dislokasyon hareketindeki girişime bağlıdır ve netice olarak metalin mukavemeti artar [56]. Hakiki yüzey basıncının şekil değiştirme mukavemeti civarında olması halinde malzeme pekleşecektir. Eğer hakiki yüzey basıncı ve şekil değiştirme mukavemeti arasında denge meydana gelirse aşınma hızı azalır ve bir müddet sonra sabit kalır. Aşınma olayı sırasında verilen enerjinin bir kısmı, devamlı olarak soğuk deformasyon meydana getirmektedir [19]. Malzemede absorbe edilmiş enerji artık osteniti martenzite dönüştürmede kullanılır. Bu proses bağ tabakasının ağır (fazla) deformasyonu ile sağlanır. Martenzit deformasyonunun meydana gelmesi, ostenitin martenzite dönüşmesi sırasında hacimdeki artma yüzünden meydana gelen artık gerilmelere bağlıdır [24].

Makinanın Yüzeğe Uyguladığı Yük (Kp)	Sertleşme Derinliği (mm)	Yüzeyin Mikro Sertliği (Kp/mm <sup>2</sup> )	Bağlı Aşınma
$F_N = 1$	0,25	350	2
$F_N = 4,5$	0,75	440	1
$F_N = 10$	1	340	1,5
$F_N = 15$	1,1	320	1,67
Taşlanmış	—	—	2-3

Tablo-2.2-Ultraşal ile Sertleştirmenin Aşınmaya Etkisi [57].

Angus'a [45] göre;

- 1-Yumuşak olan Cu, Al, Fe gibi işlem sertleşmesinin mümkün olduğu metallerde sertlik, yalnız haddelene ile üç katına kadar yükseltilebilir. Sert bir yüzey ile sürtünerek oluşan yüzey deformasyonu metalin yüzey sertliğini üç katından beş katına yükseltebilir
- 2-% 12 Mn ihtiva eden çeliğin haddelenmesi sırasında meydana gelen işlem sertleşmesi ile ilk sertliğin yaklaşık üç ka-

tına çıkması bu durumu ıspatlar. (Sertlik 220 den 660 Hv'ye çıkmıştır.) Fakat sertlikte 900 Hv gibi daha ileri bir yükselme, işlem sertleşmesine uğramış ostenitik durumdan martenzitik duruma geçiş yüzünden şiddetli yüzey gerilmesi ile meydana gelir. Sertlikteki toplam artma yaklaşık dört kattır.

#### 2.6.1.10- Isıl İşlemin Etkisi

Çeliklere belli özellikler kazandırmak gayesiyle ısıl işlem uygulanır. Bu özelliklerden biri de sertliktir. Sertleştirme (su verme), çelikte iç yapısının değişmesi suretiyle meydana gelir. Artan sertlikle aşınma direncinin de arttığı bilinmektedir. Sertliğin artmasıyla tokluk gibi bazı özelliklerde kötüleşme izlenir. Bu özelliğin kısmen geri kazanılması ve iç gerilmelerin sebep olduğu kötü neticelerden korunmak için sertleştirilen çelik, özellikle içerdiği karbon yüzdesine göre belli bir sıcaklıkta tavlama tabii tutulur.

Çeliklerde, aşınmaya karşı direncin arttırılması özellikle yüzey sertleştirme metodlarıyla sağlanmaya çalışılmaktadır. Bilindiği gibi yüzey sertleştirme sonrası, malzemenin iç kısımları sünekliğini korumakta, dolayısıyla darbeli aşınmalara daha iyi mukavemet temin edilmektedir. Ancak bir çeliğin ısıl işlemle ulaşabileceği en iyi özellikler, bilgi eksikliği ve önemsmezlikten dolayı elde edilememektedir.

Yüzey sertleştirme işlemi yanında yüzeylerin kaplanması, aşınma direncini arttırmada kullanılan önemli uygulamadır. Fakat burada dikkat edilmesi gereken hususlar vardır. Delaminasyon teorisine göre "kaplanmış malzeme, kaplanan malzemedен yumuşak olmalıdır" görüşü, Jahanmır, Abrahamson II ve Suh'un [48], yaptığı çalışmaların neticesinde, Ni ve Cd kaplı çelik numunelerde varılan sonuçlarla desteklenmiştir.

Stähli ve Beutler [37], yaptıkları deneysel çalışmalarda çeşitli malzemeleri çeşitli ısıl işleme tabi tutarak abrasiv aşınma miktarını tesbit etmişlerdir. Çeşitli ısıl işlem görmüş karbonlu çeliklerin aşınma dirençlerinin, aynı sertlikte olmalarına rağmen saf metallerekinden daha az olduğu [41, 24], ifade edilmektedir.



Malzeme	Isıl İşlem	Sertlik (Kg/mm <sup>2</sup> )	Hacımsal Aşınma (mg)
Ck 15 N	Normal Tavlı	180	165
Ck 15 EH	Semente Edilmiş	820	63
Ck 15 EH	Sert Krom Kaplama(50µ)	1050	23
Ck 15 G	Mat Nikel Kaplama(50µ)	560	106
Ck 15	Kimyasal Kaplama(Ni-P, 50 µ )	850	148
Ck 15	Banyoda Nitrürleme (2h, 570°C, Tenifer)	640	73
Ck 15	Termo Diffüzyon ile sert Yüzey(900°C )	1600	30

Tablo-2.3-Farklı ısıl işlem görmüş Ck 15 çeliğinin aynı ab-rasiv ortamda aşınma miktarları [37] .

Görülüyorki malzemelerin aşınma dirençlerini arttırmada en etkilisi fakat sadece biri ısıl işlemdir. Mutaf ve Ulusoy [15] 'un tarla ve laboratuvar deney neticelerinden anlaşıldığına göre tavlama sıcaklığı arttıkça sertlik düşmekte ve fakat aşınma miktarı artmaktadır. Benzer neticeler, Ulusoy [1], Kantarcı [50], Demirci [18] ve daha birçok araştırmacı tarafından elde edilmiştir.

Aşınma direncini arttırmak için, soğuk deformasyonla sertleştirme, çeşitli sert metallere yüzey kaplama, difüzyon yoluyla yüzey sertleştirme v.b gibi uygulanan işlemler yanında sadece sertliğe bağlı olmayan aşınma direncinin arttırılması, ısıl işlemlerle daha ucuz ve basit bir işlem haline dönüştürülebilir. Çünkü aşınma direnci sadece sertlik artışıyla sağlanacak bir büyüklük değildir. Aşınma davranışı (sırf malzeme özelliği olarak değerlendirilse bile) daha ziyade polikristal olan malzeme sürtünme bölgesinin mevcut fazlarına, kristallerin büyüklük ve şekil dağılımına, kristal yönelmelerine (textur), kafes deformasyon derecelerine ve sürtünen malzemeye ait diğer karakteristiklerin bütününe bağlıdır. Bu karakteristik özellikler ise ısıl işlemlerle büyük ölçüde değiştirilebilir [18].

### 2.6.1.11-Aşındırıcı şekli,Tane Dağılımı ve Büyüklüğü

Aynı aşındırıcı maddenin çeşitli tane büyüklüğü ile yapılan araştırmalar neticesinde,artan tane büyüklüğü ile aşınma miktarının arttığı,yuvarlak taneler ile aşınma miktarının oldukça az ve keskin kenarlı tanelere göre aşınan yüzeyin oldukça düzgün olduğu ve pürüzlerde ezilmelerin görülmediği [16],numaralı kaynak tarafından Wellinger ve Uetz'e atfen bildirilmektedir.Öte yandan bu konuda yapılan araştırmalar, aşındırıcı tane boyutuyla aşınma miktarının arttığını ortaya koymuşlardır.

Kritik tane boyutu ile aşınma hacmi artışında bir anlık görülür,sonra tane boyutundaki artma ile,artış,azalan bir oranda devam eder.Aşınma mukavemetinin azalmasıyla aşınma-tane büyüklüğü eğrisinin lineer kısmının eğimi artar.

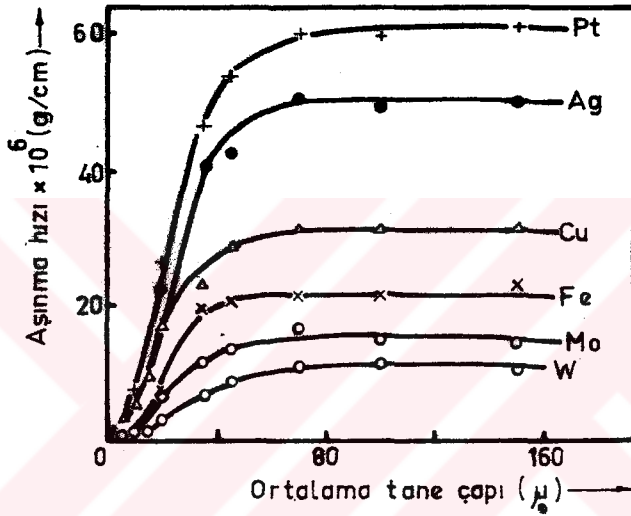
Larsen-Badse,elastik temasla taşınan yük oranının tane boyutu ile değiştiğini ifade etmiştir.Robinowicz ve Mutis,kritik tane boyutu etkisinin adhesiv ve abrasiv parçacıklar arasındaki etkileşimle oluştuğunu tesbit ettiler.Avient,Goddard ve Wilman,aşınma yüzeyine yerleşmiş olan abrasiv parçacıklarının aşınma direncinde kuvvetli bir artışa sebep olduğunu tesbit etmişlerdir [32].Gerçekten tane büyüklüğü dağılımı değiştikçe herbir tane üzerine gelen yük değişik olacağından aşınma miktarı da değişik olacaktır.Tane boyutu arttıkça malzeme üzerinde açılan oluk hacmindeki artış,aşınmanın fazla olduğunu ifade eder.

Date ve Malkın,çeşitli zımpara ile aşınma deneyleri yapmışlar ve başlangıçta abrasyon oranının yaklaşık olarak 100µm tane boyutuna kadar hemen hemen lineer olarak arttığını,bunun üzerindeki tane boyutuyla etkilenmediğini göstermişlerdir [58].

Abrasiv aşınma mekanizması ve tane boyutunun etkileri konusunda birçok araştırma yapılmış ve bunlardan;Sın,Saka ve Suh'un vardıkları neticeler de aşınma hızının,tane büyüklüğü arttıkça arttığını göstermiştir [59].Huffington ise alüminyum PVC ve Perspeks malzemelerle yaptığı deneylerde,abrasiv tane büyüklüğünün malzeme üzerinde açtığı iz profilini değiştir-

diğini ve daha büyük abrasivlerin yüzeyde daha geniş iz bıraktıklarını tesbit etmiştir[60]. Bu neticeden de tane büyüklüğü arttıkça ve dolayısıyla çizilme genişliği büyüdükçe aşınma hacminin de artacağı anlaşılmaktadır.

Richardson, yaptığı tarla denemelerinde, toprak içindeki küçük taşların aşınmayı çok az arttırdığı[46,47], yani aşındırıcı boyutu küçüldükçe aşınmanın da azalacağı neticesine varmıştır. Aynı neticeye zımpara üzerinde değişik metallere deney yapan Goddard ve Wilman [61] ' da varmışlardır.



Şekil-2.22-Kuru Zımpara üzerinde ortalama tane çapı ile aşınmanın değişimi ( yük= 1 Kg) [61].

#### 2.6.1.12- Ortama Bağlı Faktörler ( Sıcaklık,Nem,Atmosfer )

Tribolojik sistemi meydana getiren elemanlardan dördüncüsü olan ortamın nemi,sıcaklığı ve atmosferi,aşınmayı etkileyen önemli faktörlerdir.

Khruschov,Babichev ve Richardson,düşük hızlarda aşınma hızı üzerine küçük etkiye sahip sürtünme ısısı yüzünden abrasiv aşınmada değişiklik olduğu neticesine varmışlardır.Nathan ve Jones,kayma hızının artması ile aşınmadaki artışı,sürtünme ısısına atfettiler.Moore,tane/yüzey temas bölgesinde sıcaklığın 325-900°C arasında olduğunu,bu sıcaklığın abrasiv a-

aşınma üzerindeki etkisinin az olmasına rağmen, fiziksel, kimyasal ve mekanik özellikleri değiştirebileceğini vurgularken [32], Gürleyik [16,20], Ck 15, C 90 ve C 130 malzemelerle, aşındırıcı kuarz taneleriyle yaptığı deneyler neticesinde atmosfer ve sıcaklığın aşınmaya etkisini tesbit etmiş ve bu malzemelerin 350°C civarında farklı neticeler verdiğini görmüştür. 300°C'ye kadar aşınmanın azlığı, yüzey oksidasyonunun kısmen koruyucu rol oynamasına bağlanır. Oda sıcaklığında ve vakumda tesbit edilen aşınma, havada ölçülen değerden % 20 daha azdır. Artan sıcaklıkla aşınma miktarı da artar. 715°C'daki aşınma, oda sıcaklığındaki değerinkinden takriben iki katı olur. Argon gazıyla yapılan deneylerin neticeleri, vakumdakine benzer olup yalnız % 10 daha büyüktür. Öte yandan sürtünme ısı, sürtünme hızıyla ilgilidir. Artan hızlarda, plazma tabakasındaki basıncın azalmasıyla titreşim tesiri azalır ve bununla da aşınma azalacaktır.

Dawhl ve Altmayer [44], çeşitli karbitlerle yaptıkları deneylerde, alüminyum plakaları önceden belli sıcaklıklara ısıtmışlar ve çeliklerle çiftleştirerek aşınmasını incelemişlerdir. Yükselen sıcaklıkla aşınmada bir azalma olduğu, makro plastik bölgeye geçişte ise artan sıcaklıkla aşınmanın da arttığını tesbit etmişlerdir.

Aşındırıcı Malzeme	Atmosfer		
	Hava	Oksijen+Su Buharı	Azot
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + % 0,5 MgO	0,38	0,6	0,16
WC + % 6 Co	0,64	1,6	0,04
WC + TiC + % 8 Co	1,1	2,4	0,02

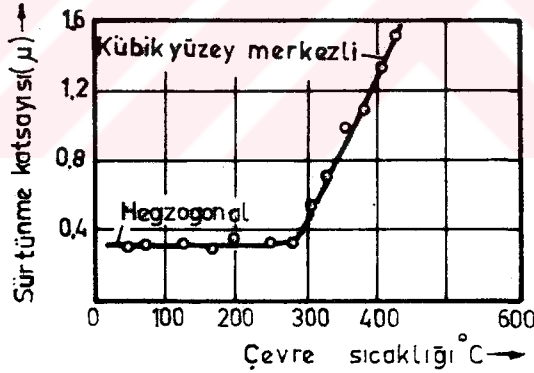
Tablo-2.4- Çeşitli karbitlerin Ck 35'e karşı çeşitli atmosferlerde kayma aşınması davranışları ( mm<sup>3</sup>/m) [44].

Oda sıcaklığından belli bir sıcaklığa kadar aşınma azalmakla beraber o sıcaklık noktası geçildiğinde artan sıcaklıkla aşınma da artmaktadır.

Ortam sıcaklığı ve atmosferin sürtünme katsayısına etkisini çalışmalarının bir bölümünde inceleyen Coffin [62], ortam sıcaklığı ve neminin sürtünme katsayısını etkilediğini tesbit etmiştir.

Bu neticelerden anlaşıldığına göre sıcaklığın, belli bir sınıra kadar artmasıyla sürtünme katsayısı sabit kalırken daha sonra yine artmaktadır. Metal/Metal bağ enerjisi yükseldikçe aşınma direnci de artar. Öte yandan Metal/Metal temasında kaynak bağlarının oluşma ihtimali sıcaklığa, özellikle metalin ergime sıcaklığına bağlı olduğundan, ergime derecesi yüksek olan metallerin aşınma direnci de yüksektir [42,63].

Robinowicz, yüksek nem oranının abrasiv aşınma hızını % 15 arttırdığını ve su buharının diğer yağlayıcılara benzer olarak abrasyon etkisini fazlalaştırdığını belirlemiştir. Khruschov, Babichev ve Richardson, aşınma direnci üzerine nemin sadece düşük intensitelerde etkili olduğunu tesbit etmişlerdir [32].



Şekil-2.23-Co/Co çiftinin sıcaklığa bağlı olarak, vakumda kayma sürtünmesi halinde sürtünme katsayısının değişimi [55].

## 2.6.2- İşletmeye Bağlı Faktörlerin Aşınmaya Etkisi

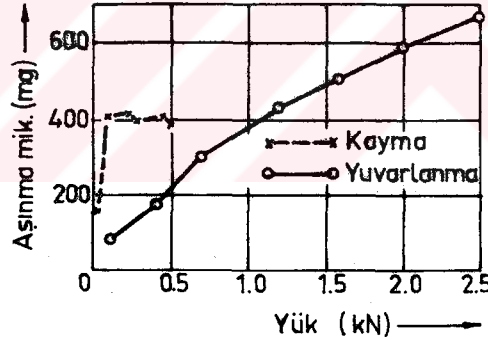
### 2.6.2.1- Yük ( Basınç )

Richardson, hacımsal aşınmanın yük ile lineer olarak arttığını,

yükün artmasıyla birim yük başına düşen aşınmanın azaldığını göstermiştir [32,47].

Bir tebeşirle tahtaya yazı yazarken fazla bastırılırsa, tahta üzerine fazla tebeşir transfer olur. Bu durum yükün artmasıyla aşınmanın da arttığını gösteren basit bir misaldir.

Şekil-2.24'ten de görülebileceği gibi normal yük arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Kayma aşınmasında, yükteki çok az bir artma aşınmayı çok fazla arttırmaktadır. Yük artmaya devam ettikçe aşınmadaki artış hızı azalmaktadır. Yükün artmasıyla temas alanı da artacaktır [26]. Dolayısıyla gerilme veya basınç artımı, pürüzlerin plastik deformasyon miktarına bağlıdır. Yüzeydeki pekleşme ise plastik deformasyonları önleyeceğinden temas alanının artışı yavaşlatacak, dolayısıyla gerilmenin artmasına yardımcı olacaktır. Gerilmenin artması ise yükle orantılı olarak sürecektir.



Şekil-2.24-Aşınmanın normal yüke bağımlılığı [64].

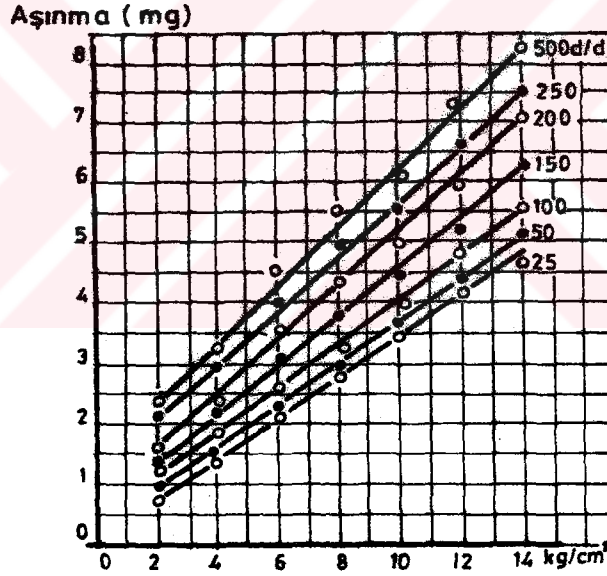
--- 42 Mn V7/M 73 malzemesinin kayma aşınması

— M 73/M 73 malzemesinin yuvarlanma aşınması

Sın, Saka ve Suh [59], çeşitli abrasivlerle yaptıkları incelemede, küçük çaplı ve yoğunluğu fazla olan abrasivlerin artan yük ile temas alanını arttırdıklarını tesbit etmişlerdir. Yani ince taneli abrasivler, daha kaba abrasivlere göre aynı yükte, metal

yüzeyinde daha fazla temas alanı doğururlar. Etkileşen çiftlerin üzerine gelen yükün cinsi, aşınma oranını değişik şekillerde etkiler. Statik yükler, yüzeye sabit bir etki yaparken, dinamik yükler daha değişik etkide bulunurlar. Bakır alaşımları/Çelik sürtünmesinde aşınma, dinamik yükün titreşim genliğinin artması ile azalır [38]. Daha ziyade yataklarda ve çoğu makina elemanlarında kullanılan bu malzeme çifti, dinamik yüke maruzdur. Bu bakımdan bu özelliğin bilinmesi faydalı olacaktır.

Nominal basınç, malzemenin akma mukavemetini geçtiği zaman adhesiv aşınma katsayısı ani olarak yükselir [23]. Bu katsayının yükselmesi demek aşınma miktarının artması demektir. Normal yükün artmasıyla sürtünme katsayısının arttığı çeşitli araştırmacılar tarafından tesbit edilmiştir.



Şekil-2.25-Aşınmanın basınçla değişimi. Singh'a atfen [50].

#### 2.6.2.2- Hız

0-2,5 m/s aralığında kayma hızının artmasıyla hacımsal aşınmanın yavaş olarak arttığı, Khrushov ve Babichev ile Nathan ve Jones tarafından tesbit edilmiştir. Bu artış büyük tane boyutlarında daha da belirgindir. Son iki araştırmacı bu artışı sürtünme sıcaklığına bağlarken Khrushov ve Babichev, % 13 lük



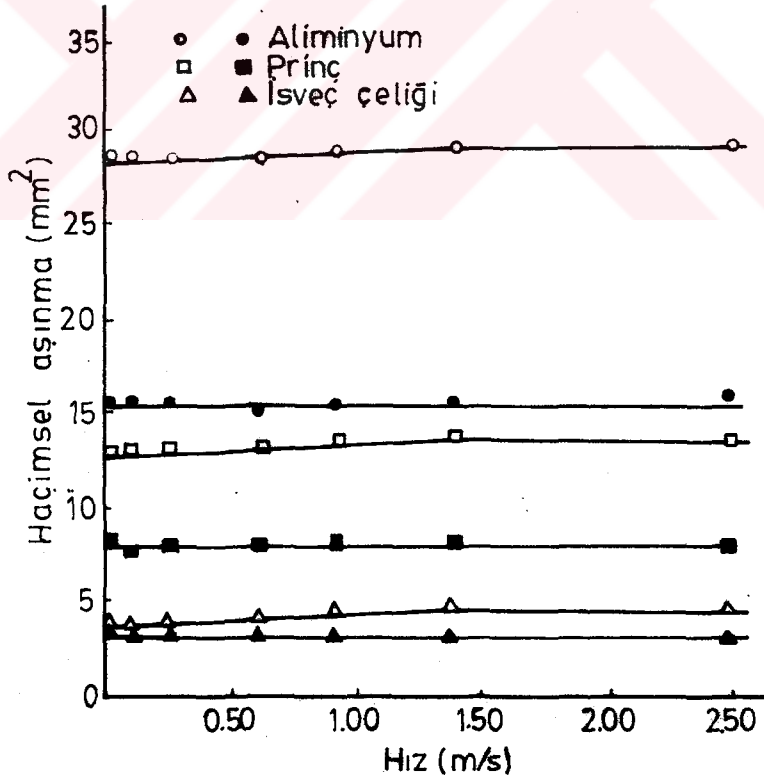
bir artışın,abrasiv özelliklerinde bir değişiklik yapacağına dikkati çekmişlerdir [32] .

Çalışma veya deney süresi,aşınma miktarını büyük oranda etkiler.Çalışma süresi arttıkça,normal olarak aşınma miktarı da artar.Yüzeyde meydana gelecek oksidasyon tabakası zamanla oluşur.Kalınlığı zamanla artar ve aşınmayı etkiler.Öte yandan gerçek elemanlarla yapılan deneylerde abrasiv aşınmanın,çalışma süresiyle arttığı tesbit edilmiştir [22] .

[50] numaralı kaynağın Singh'a atfen bildirdiğine göre;

- Düşük yükleme ve hızlarda,hızın aşınmaya etkisi yoktur.
- Düşük hız ve büyük yüklerde aşınma,hız ile artar.
- Aşınmanın farkedilir bir şekilde artmaya başladığı kritik hızda yükün artmasıyla düşer.

Aşınma oranının,başlangıçta yükselmesine rağmen daha fazla kayma hızıyla azaldığı [23] bildirilmektedir.



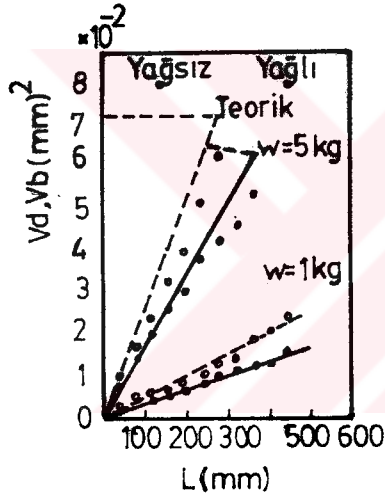
Şekil-2.26-Aşınma miktarına hızın etkisi.

Nathan ve Jones'e atfen [32] .

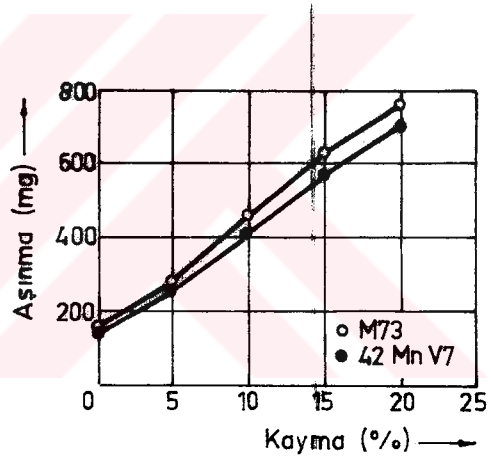
### 2.6.2.3- Kayma ve Kayma Mesafesi

Yağlamalı ve yağlamasız şartlarda aşınma hacmi, kayma mesafesiyle orantılıdır [34]. Kayma mesafesi arttıkça aşınma da artar. Bütün hacımsal aşınma eşitliklerinde kayma yolu, aşınma ile orantılı olarak ifade edilmiştir.

Hisakado [34] 'nun deneysel ve teorik çalışmaları büyük bir uyum göstererek, kayma mesafesi ile aşınmanın orantılı olduğunu sergilemektedir (Şekil-2.27). Teorik hesapları deneysel neticelerine göre aynı kayma mesafesinde aşınmanın daha fazla olacağını göstermişse de çok az farklılıkla neticeler benzeşmektedir.

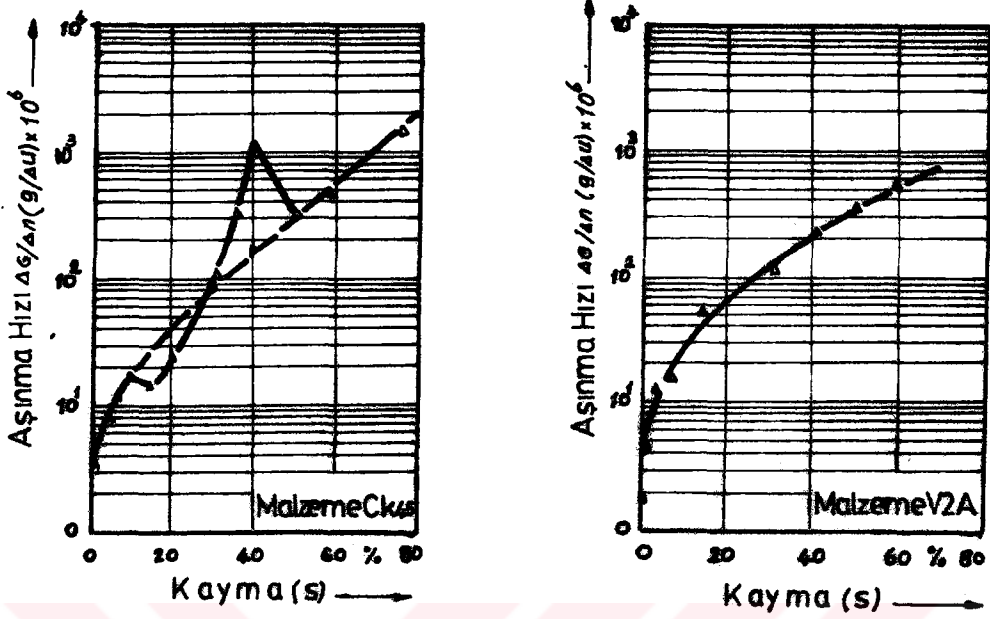


Şekil-2.27-Kayma yolu ile aşınma miktarının değişimi [34].



Şekil-2.28-Kaymanın aşınmaya etkisi [64].

Avienti, Ossaddard ve Wilman, abrasyon sırasında sürtünme katsayısının, uzun bir kayma yolundan sonra bir dengeye geldiğini tesbit etmişlerdir [32]. Krause ve Hammel, yaptıkları deneysel çalışmalarda yağlamalı durumda Bakır alaşımları/Çelik çiftinde, kayma yolunun artmasıyla bakır alaşımlarının aşınmasının da arttığını [38], Pigors [64], kaymanın artması ile çeşitli malzemelerde aşınmanın artacağını ifade ederlerken, Demirci [55], aşınma hızının kayma ile üstel olarak arttığını tesbit etmiştir.



Şekil- 2.29-Kaymanın fonksiyonu olarak aşınma hızındaki değişme [55].

### 2.7- Aşınma Deney Metodları ve Düzenekleri

Aşınma araştırmaları, çeşitli model denemelerle yapılabildiği gibi gerçek işletme şartlarında da yapılabilmektedir. İşletmelerde, ya aşınmaya maruz elemanın kendisi üzerinde bizzat belli süre boyunca gözlem yapılmakta veya o şartlarda kullanılacak boyut ve özelliğe haiz diğer malzemelerin aşınması gözlenebilmektedir. İşletme şartlarının devamlı değişkenliği göz önünde tutulursa, bu tür denemelerin tekrarlanabilirliği oldukça zayıf ihtimaldir. Dolayısıyla neticelerin mukayese-sinde bir güçlük ortaya çıkmaktadır.

Mevzuuyu özelleştirerek toprak işleme ve toprak kazıcı aletlerin aşınmasının, işletme şartlarında araştırılması, her bölge ve hatta her arazinin değişik toprak özelliği göstermesi nedeniyle mukayese imkanı vermeyen sonuçlara götürürki bu araştırmanın "Çok Özel" olduğunun bir işaretidir.

Richardson, Moore [46], Mutaf ve Ulusoy [1,15], çeşitli toprak işleme aletlerinin ve bu aletlere benzer modellerin tarla

şartlarında aşınmalarını gözlemişlerdir. Aynı araştırmacılar tarla denemelerine paralel olarak laboratuvar da aynı şartları simülaze edip model denemelerde bulunmuşlardır. Model denemelerde, belli aşınma probleminin araştırılması yapılmakla beraber aşınma değişkenlerinin etkilerini kalitatif olarak tesbit etmekten öteye gidemez. Üstelik elde edilen neticelerin işletme şartlarına göre değerlendirilmesi hayli güçtür. Ancak bu tür deneyler, işletme şartlarına benzer şartları laboratuvar da tesis ederek, hangi değişkenlerin aşınmayı nasıl etkilediğini tesbit edip, bu sonuçların uygulamaya aktarılmasını sağlayabilirler. Sonuçların uygulamaya aktarılma zorluğu, deney düzeneğinde işletme şartlarına yaklaşıldığı oranda azalır.

Laboratuvar model denemeleri, aşınma probleminin şartlarını sağlayan düzener veya makinalar ile yapılır. Bu düzenerler çeşitli olmakla beraber göz önüne alınan problem için özel olarak imal edilirler.

Amsler aşınma makinası, Metal/Metal aşınma deneyleri için kullanılabilir çok elverişli bir makinedir. Brinell deney aletinden Metal/Gayri Metal aşınma deneyleri için yararlanılabilir [65].

Coffin [62], bir diskin çevre yüzeyine sürtündüğü yarım küre bir elemanla, aşınma üzerine, atmosfer ve ortam sıcaklığının etkisini incelemiştir. Mutton ve Watson [41], Date ve Malkin [58], zımpara bezi kaplanmış bir kasa üzerine helisel olarak sürtünen bir pim sistemini kullanmışlardır. Pigors [64], birbiri üzerinde yuvarlanan iki silindir ve düz bir yüzey üzerinde dönen silindir arasına abrasiv mineralleri akıtılarak denemelerde bulunmuşlardır. Dawohl ve Altmayer [44], 800°C'ye kadar ısıtılan silindirik bir yüzey içinde gidip-gelme hareketi yapan ve her gidiş sonunda su haznesine dalan numunenin aşınmasıyla, abrasiv taneciklerle dolu bir aşınma kabında, dairesel bir yörünge üzerinde ve kendi eksenleri etrafında da dönerek yol alan numunelerin aşınmasını araştırmışlardır. Howes [43], belli bir açı altında numune üzerine silikon karbit tozlarını, cam bir tüp yardımıyla düşürerek yumuşak çeliklerde çarpma aşınmasını incelerken, Khruschov [33],

1910 yılında Robin'in ilk kez kullandığı 150 dev./dak.lık bir hızla dönen ve düz yüzeyi abrasiv beziyle kaplı bir diskin üzerine belli bir yükü bastırıldığı silindirik bir numunenin aşınma durumunu incelemiştir. Silindirik numune, düz yüzey üzerinde bir spiral yörünge izlemektedir. Bu temel üzerine geliştirilmiş bir Kh 4-B makinası aynı amaçla kullanılmıştır.

Krause ve Hammel [38], kardan kavramaları için uygun malzeme araştırmalarında, gidip-gelme hareketi yapan sistemle, alt numune üzerine belli bir yükü üst numuneyi bastırılmış ve ara yüzeydeki aşınmayı incelemiştir. Gürleyik [16,20], gidip-gelme hareketi yapan ve üzerinde belirli yük bulunan silindirik numuneyi, zımpara kağıdıyla kaplı ve numunenin bir gitmesinden sonra bu harekete dik yönde numune çapı kadar hareket eden bir masa ile abrasiv aşınma deneyi yaparken, bazı malzemeleri de direnç ısıtmalı, vakumlu aşınma kabı tesisatında denemiştir. Mutaf ve Ulusoy [1,15], Stahli ve Beutler [37], Kantarcı [50], aşındırıcı tane dolu bir kap içinde (aşındırma kabı), hem kendi ekseninde etrafında ve hemde dairesel bir yörüngede dönen numunelerdeki aşınma miktarını, ilk iki araştırmacı bunun paralelinde, kum dolu bir kanalda (aşındırma kanalı), doğrusal hareket yapan numunelerin aşınma dirençlerini incelemiştir.

Demirci [55], Almanya'da yaptığı doktora çalışmalarında birbiri üzerinde yuvarlanan iki diskin aşınmasını, Türkiye'de yaptığı doçentlik tezinde ise Krause ve Hammel'in kullandığı sisteme benzer sistemi [18], Metal/Metal aşınma denemeleri için kullanmıştır.

Görülüyor ki aşınma araştırmalarında, belli şartlar için geliştirilmiş bir deney düzeneğinin kullanılması gerekir. Birbirine benzer şartlarda, benzer düzeneklerin kullanılması uygun olabilir. Fakat genel olarak her aşınma probleminin şartlarını simüle eden bir deney cihazı yoktur. Demirci [18]'nin Dahl'a atfen bildirdiğine göre 1976'da yayınlanan bir raporda 200 çeşit deney tesisatından bahsedilmektedir.

Deney düzeneklerinden en çok kullanılanlarının prensip şekilleri şematik olarak ekte verilmiştir.

## B Ö L Ü M III

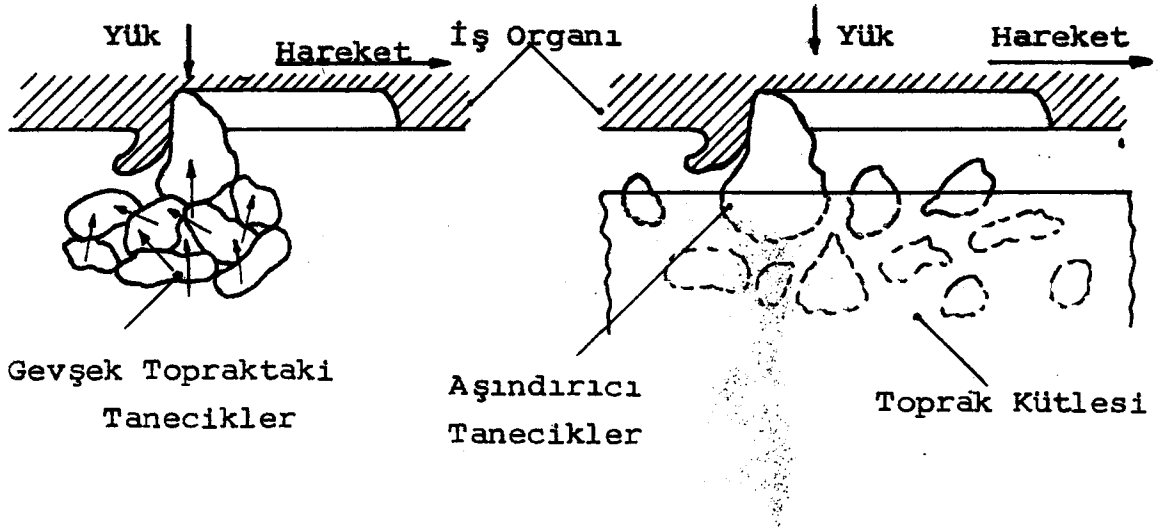
### TOPRAK İŞLEME ALETLERİNDE AŞINMA

#### 3.1- Toprak İşleme Aletlerinde Aşınma Mekanizması

Toprak işleme aletlerinin iş organları, belli bir süre sonra görevlerini yerine getiremez duruma düşerler. Bunun başlıca sebebi iş organlarının yıpranmasıdır. Bu yıpranma, genellikle kırılma ve aşınma olarak kendini gösterir. Kırılma olayları genellikle aşınarak körlenmiş ve incelmış uçların çalışma esnasında zorlanması nadiren de iş organının toprak içindeki sert ve büyük kütleli kaya parçalarına çarpması sonucunda ortaya çıkar. Aşınma, toprak içindeki sert taneciklerin özellikle küçük taş parçalarının iş organını yavaş yavaş yemesi suretiyle meydana gelir.

Toprakta çalışan aletlerde aşınma, özellikle "Abrasive Aşınma Mekanizması" ile meydana gelir. Adhesiv ve kohezif aşınma tiplerine özel durumlarda çok az da olsa rastlanabilir.

Toprakta, abrasive aşınma mekanizması, bazan iki cisimli (Organ yüzeyi/Toprak tanecikleri), bazan da üç cisimli (Organ yüzeyi/Toprak tanecikleri/Toprak kütlesi) olarak ortaya çıkar. Yumuşak topraklarda taneler birbirine bağlı olmadıklarından ve her bir tane ayrı bir karşı madde gibi davranacağından, iki cisimli abrasive aşınma söz konusudur. Buna mukabil özellikle nemli topraklarda bir toprak kütlesi içine gömülmüş taş parçacıkları organ yüzeyini çizerek aşındırırlar.



Şekil-3.1-Toprakta iki ve üç cisimli abrasiv aşınma mekanizmaları

Abrasiv aşınma mekanizmasında hareket ve yük, taneciğin belli bir geometrik şekle sahip olmamasından dolayı çeşitli doğrularda etkir. Bu karmaşıklık içinden yükün normal bileşeninin abrasivi malzemeye bastırmaya, yatay bileşeninin ise yüzeyi çizmeye ve derin izler meydana getirmeye çalışacağı kesin olarak söylenebilir.

Abrasiv tane büyüklüğü ve şekli, tanelerin hızı ve uygulanan yükün şiddetine göre abrasiv aşınma mekanizması aşağıdaki şekillerde ortaya çıkar [29].

a- Oyulma ve Kazınma;

Kaya parçaları gibi kaba, sert ve sivri köşeli taneler, metale yeterli basınçta sürtündükleri zaman oyuk ve kazınmış bölgeler oluşur. Yüzeyler düzgün olmayıp pürüzlüdür.

b- Yüksek Zorlanma altında Abrasyon;

Abrasiv maddeler yüzeyden basınç altında sürtünerek geçerlerken ufalanırlar. Yüzeyden metal kalkması, mikroskopik veya makroskopik ölçüde olur. Aşınmış yüzey, genellikle yeknesak ve düzgündür.

c- Erezyon;

Abrasiv maddenin, korunması söz konusu parça üzerinde az çok serbestçe hareket ettiği zaman meydana gelen aşınma türüdür.

d- Darbe Abrasyonu;

Bu tür aşınma genellikle büyük hız veya basınçla abrasiv



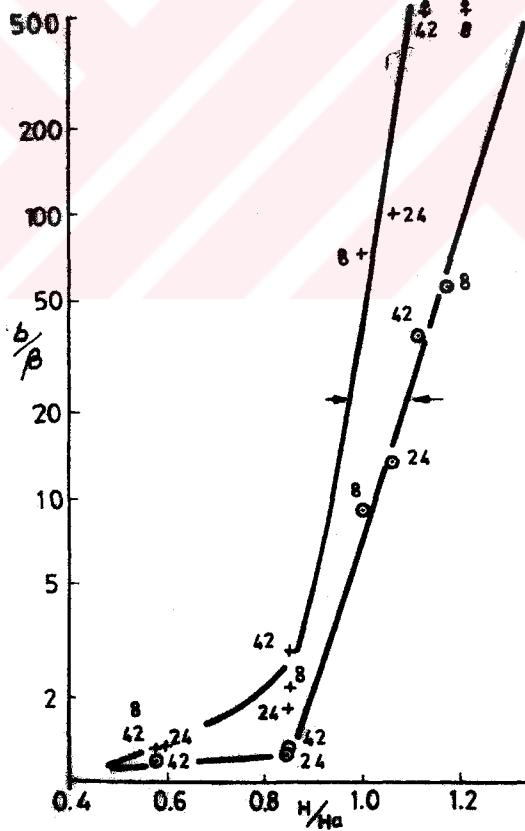
parçalara temas eden malzemelerde görülür. Konkasörlerde karşılaşılan bu halde, sünek ve darbelere dayanıklı malzeme kullanılmalıdır.

### 3.2- Toprak İşleme Aletlerinin Aşınma Direncini Etkileyen Faktörler

#### 3.2.1- Toprakla İlgili Faktörler

##### 3.2.1.1- Topraktaki Tanelerin Sertliği

Abrasiv maddenin özellikleri, aşınma üzerinde önemli role sahiptir. Abrasivin sertliği, aşınmanın şekil ve miktarını belirleyen önemli bir faktördür. Fakat işletme sırasında toprak tanelerinin iş organının aşınmasına etkilerini ölçmek zordur.



Şekil-3.2-Aşındırıcı tane sertliğinin bağıl aşınma direncine etkisi [32,47].

Topraktaki ana aşındırıcı malzemeler; quartz, flint veya çakmak taşı gibi değişik silikatlardır.

Richardson [47] 'in yaptığı laboratuvar deney neticelerine göre (H) malzeme sertliğinin, ( $H_a$ ) abrasiv sertliğine oranı yaklaşık 0,85'i geçtiği zaman ( $H/H_a > 0,85$ ) malzemenin aşınma hacmi hızlı olarak azalır. Fakat  $H/H_a = 1$  iken abrasivler aşınma malzemesini sürekli çizerler. Aşınan malzemenin ve abrasivin akma mukavemetleri eşit olursa çizilme olmaz.

### 3.2.1.2- Aşındırıcı Tanelerin Boyut ve Şekli

Topraktaki aşındırıcıların şekli ve boyutu çok farklıdır. Toprak farklı büyüklükte ve şekilde çok sayıda abrasiv parçacıklarla doludur. Abrasiv parçacıklarının boyutu, aşınma hacmi üzerinde önemli bir etkiye sahiptir.

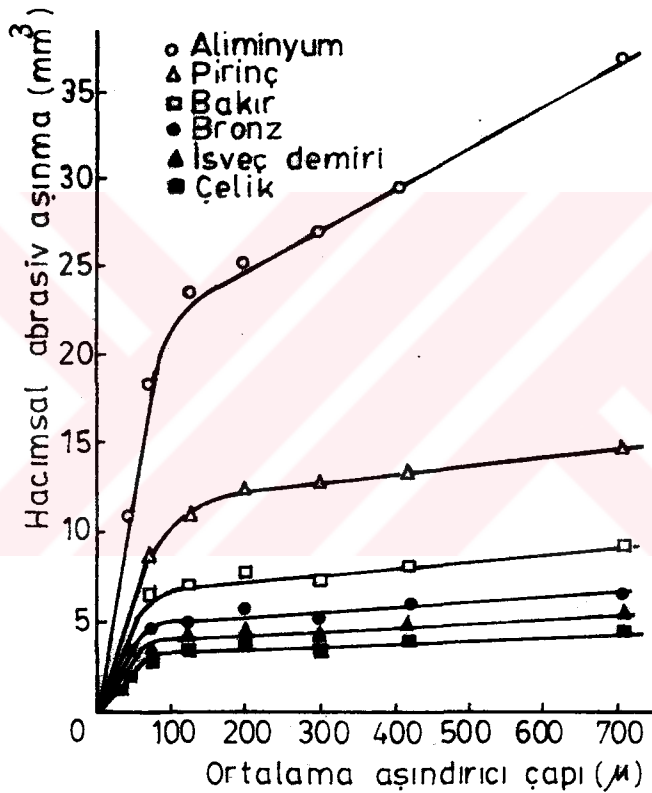
Moore [46], laboratuvarında yaptığı deneylerde, yük sabit iken, tane boyutunun artmasıyla aşınmanın da arttığını tesbit etmiştir. Aynı araştırmacı,  $H/H_a < 0,85$  iken, tane boyutu ve aşınma miktarı arasında yaklaşık lineer bir ilişki bulmuştur. Bu durumda bağıl aşınma direnci, tane boyutundan hemen hemen bağımsızdır.  $H/H_a > 0,85$  iken bu lineerlik kaybolmaktadır. Aşınma direnci tane boyutundan çok etkilenir. Aşınmadaki hızlı azalma ve tane boyutundan etkilenme, plastik şekil değişimi, abrasiv parçaların körlenmesi ve kırılmasından dolayıdır.

Taş Boyutu (Çap-mm)	Toprak Hacmine Oranı	Toplam Aşınma Oranı (%)	
		f = 0,15 mm	f = 0,34 mm
38	0,0012	11,0	10,5
19-38	0,0135	56,6	56,2
9,5-19	0,0169	26,4	26,1
4,8-9,5	0,0059	4,7	5,2
2,4-4,8	0,0025	1,3	2,0

Tablo-3.1- Toprak içindeki taş dağılımının iki parabolik profilde sebep olduğu aşınma miktarları (f; parabol odak uzaklığıdır). [Richardson'a atfen 46].

Topraktaki abrasiv parçacıklar, iş organı üzerinde dönerek hareket ederler. Çok ince toprak parçacıkları, toprağın abrasivliğini azaltırlar. Çünkü büyük parçaları sararak onların etkilerini azaltırlar [46].

Abrasivlerin şekli de aşınma miktarı üzerine etkide bulunur. Sert ve köşeli abrasivler, yuvarlak abrasivlere göre daha etkili olurlar. Çünkü keskin köşeler, uygulanan yükü iş organı yüzeyine batırarak ve hareket halinde de organ yüzeyini çizerekler.



Şekil-3.3-Abrasiv tane boyutunun aşınmaya etkisi Nathan ve Jones'e atfen [32].

### 3.2.2- İş Organına Bağlı Faktörler

#### 3.2.2.1- İş Organının Malzemesi

Toprak işleme aletlerindeki iş organının malzemesi, imalattan önce konstrüktörler tarafından tayin edilmelidir. Bu malzeme çalışma şartlarına bağlı olarak bazı özellikleri taşımak zo-

rundadır. Bu özelliklerin başında, kullanıcı bakımından malzemenin aşınmaya olan direnci, imalatçı açısından ise kolaylıkla şekil verilebilme imkanı gelir. Bu bakımdan iş organları için en uygun malzeme sertleşebilen çeliklerdir. Çünkü normalize halde kolaylıkla şekillendirildikten sonra ısıl işlem yardımı ile sertleştirilip aşınmaya karşı direnci arttırılabilir. Çeliklerin sertleşebilme kabiliyeti, içerdikleri karbon miktarıyla yakından ilgilidir. Bir çeliğin ısıl işlem yardımı ile sertleştirilebilmesi için asgari bir degerin üzerinde karbon içermesi ( % 0,30 C ) gereklidir. % 0,60'dan fazla karbon içeren çeliklerde, ısıl işlem sonucu bir sertlik artması görülemez.

Ulusoy[1]'un yaptığı araştırmalara göre, yurdumuzdaki tarım alet ve makinası imal eden kuruluşlardan pek çoğu uygun malzeme seçmelerine rağmen, malzemenin ısıl işlem kapasitesinden tamamen yararlanamamaktadırlar. Bunun sebebi yeterli bilgiye sahip olmama yanında, imalat masrafını düşürerek fazla kar etme gayesidir.

İş organı yapımında kullanılan malzemenin kolay temin edilebilir ve kolay şekillendirilebilir cinsten olması gereklidir. Bu tür malzemelerin sertleşebilirlik özelliği yanında, özellikle sertleşmeden sonra tokluk özelliğinin iyi olması gerekir. Genellikle sertleştirilen çeliklerin tokluk özellikleri kötüleşir. İşte amaca en uygun malzemenin temini burada önem taşımaktadır. Daha doğrusu bütün bu özellikleri kendinde toplayan ideal bir malzeme bulmak mümkün olmamakla beraber hiç olmazsa optimum çözümü gerçekleştiren malzeme temini ve bu malzemedен iş organı imali şarttır.

Bu özellikler dikkate alındığında toprak işleme aletleri iş organının imalinde, orta karbonlu ( % 0,32- 0,45 C ) çeliklerin kullanılmasının uygun olacağı [15] tavsiye edilmektedir. Öte yandan alaşım elemanlarının çeliğin aşınma direncini arttırdığı bilinmekle beraber, çelik içinde yeterli miktarda karbon bulunmadığı zaman alaşım elemanlarının aşınma direncini arttırmada etkileri şiddetli değildir. Ayrıca iş organı malzemesinde alaşım elemanı miktarı arttıkça maliyet yükselmektedir.

Aşınma savaşında alışıl gelmiş malzeme kullanmak şart değildir. Bazı durumlarda karbonlu çelikler ve dökme demirler iyi aşınma direnci gösterirler. Kısmi olarak keramikler toprağın aşındırmasına karşı bir ümit olabilirlerse de, taş darbeleri bu malzemelerin daha sık kırılmasına sebep olmaktadır. Seçilen malzemeler uygulamada gerekli şeklin verilmesine ve korunmasına da uygunluk göstermelidir [46].

Netice olarak toprak işleme aletleri iş organlarının malzemesi, imalat esnasında kolaylıkla şekil alabilen, sonra sertleştirilerek aşınma direnci arttırılabilen ve darbeler neticesi kolaylıkla kırılmayan türde bir malzeme olmalıdır.

### 3.2.2.2- İş Organının Şekli

Muhakkak ki toprakta çalışan aletlerin şekli, uzun tecrübe ve deneylerin neticesinde tesbit edilmiştir. Fakat mevcut iş organlarının şekillerine bağlı olarak farklı çeki direnci verdikleri araştırmalarla tesbit edilmiş durumdadır. Dolayısıyla çeki direncinin büyük olduğu iş organlarında aşınmanın da fazla olacağı söylenebilir.

Richardson [47] 'in tesbitlerine göre, kesit alanı (projeksiyon alanı) büyümesiyle aşınma da artmaktadır. Dikdörtgen kesitli kesme ağızlarının en çok, üçgen ve trapez kesitli kesme ağızlarının daha az aşındığı, ince uzun kesme kenarlarını haiz iş organlarında lineer aşınma, küt ve kalın kenarlı iş organlarında ağırlık aşınması söz konusu olmaktadır.

### 3.2.2.3- İş Organının Alet Üzerindeki Yeri (Sırası)

Bilindiği gibi toprak işlemede kullanılan tarım aletlerinin iş organları çok sayıdadır. Çok sayıdaki iş organlarının alet üzerine yerleştirilmesinde optimum işleme verimliliği dikkate alınmıştır. İş organının yeri de aşınma açısından önemlidir. Değişik yerlerdeki iş organlarının değişik miktarlarda aşındığı çeşitli araştırmacılar tarafından tesbit edilmiştir.

Mutaf ve Ulusoy [15], çeşitli malzemelerden yapılmış ve değişik ısıl işlem uygulanmış tırmık dişleri ve kütüvatörlerde yaptıkları tarla denemeleri neticesinde tırmık dişleri için

iç ve dış bataryalarda elde edilen aşınma kayıplarının önemli fark göstermediğini, fakat tırmık dış sırasının ise aşınma üzerinde önemli etkisinin olduğunu tesbit etmişlerdir. Bütün çelik cinslerinde ve bütün ısıl işlem kademelerinde, birinci sıradan dördüncü sıraya gidildikçe aşınmanın azaldığını ve bu azalışın yaklaşık doğrusal karakter gösterdiğini gözlemişlerdir. Aynı sonucu kültüvatör için de bulan araştırmacılar, arka sıradaki uç demirlerinin ön sıraya göre daha az aşındığını tesbit etmişlerdir.

Ulusoy[1], ege bölgesinde imal edilen çeşitli iş organları ile yaptığı tarla denemeleri neticesinde, pulluk uç demirlerinin monte edildiği gövdeye göre aşınmanın farklı olduğunu ve önden arkaya gidildikçe azalan bir aşınma miktarıyla karşılaşıldığını ifade etmektedir. Kültüvatör, tırmık ve diskarolarda da aynı neticeye ulaşmıştır.

Çeşitli iş organlarının aşınması üzerine, alet üzerindeki yer veya sırasının etkisi böylece gözler önüne serilmektedir. Netice olarak, sertlik, malzeme cinsi gibi aşınmaya kesin etkili olan unsurların yanında, iş organlarının alet üzerindeki yerinde önemli etkenlerden biri olmaktadır. Ön tarafta daha fazla aşınma tesbit edildiğine göre, burada kullanılan iş organının aşınma direnci arka sıradakilere nazaran fazla olmalıdır. Burada ısıl işlem veya daha uygun malzeme seçimiyle çözümlenecek bir problem olmaktadır.

Ön taraftaki organlar, ham toprakla ilk teması yaparken arkadakiler, gevşemiş veya işlenmiş toprakla çalışmaktadırlar. Dolayısıyla iş organı üzerine gelen dirençler farklı olmakta bu nedenle de aşınma değişik oranda meydana gelmektedir.

Tablo-3.2'den de görüleceği gibi aşınma, önden arkaya gidildikçe azalmaktadır.

Diş Sırası	Batarya Yeri	Aşınma Miktarı (mg/Km)
1	İç	150
	Dış	140
	Ortalama	145
2	İç	93
	Dış	92
	Ortalama	92,5
3	İç	74
	Dış	75
	Ortalama	74,5
4	İç	58
	Dış	67
	Ortalama	62,5

Tablo-3.2- Ck 15 çeliğinden yapılmış tırmık dişlerinin sıraya göre aşınma miktarları [15].

### 3.2.3- Çeki Kuvvetinin Aşınmaya Etkisi

Toprağın kendisine dalan cisme karşı gösterdiği direnç [46], toprak direnci olarak nitelenmektedir. Toprak işleme sırasında iş organı toprak içine belirli derinlikte dalmakta ve toprağı işlemektedir. Toprağın işlenmesi sırasında, toprak taneleri arasındaki kohezyonun [7], ve iş organı ile toprak arasındaki kohezyonun yenilmesi gerekir. Bütün bu kuvvetleri yenmek ve toprağı işlemek için traktör, iş organına bir çeki kuvveti uygulamaktadır. Traktörün çeki kuvveti, çeşitli faktörlere bağlı olarak değişir. Toprak çeşidi ve çalışma esnasındaki durumu, arazi şekli, havanın sıcaklık derecesi ve basıncı çeki kuvvetine etki eden en önemli faktörlerdir. Bir traktörün çeşitli toprak şartlarındaki çeki kuvveti karakteristiğinin bilinmesiyle, traktörün rasyonel bir şekilde kullanılması, alet ve iş makinalarının en ekonomik bir şekilde işletilmesi imkan dahiline girmektedir. Traktörün çeki kuvvetiyle alet veya iş makinasının direnci arasındaki farkın mümkün olduğu kadar küçük olmasına dikkat edilmelidir. Bu fark ne kadar küçük olursa traktör o kadar iyi yüklenmiş ve kullanmada ekonomiklik sağlamış olur [6,8,10]. Fakat çeki gücü değerinin yüksek olduğu noktada, çeki kuvveti



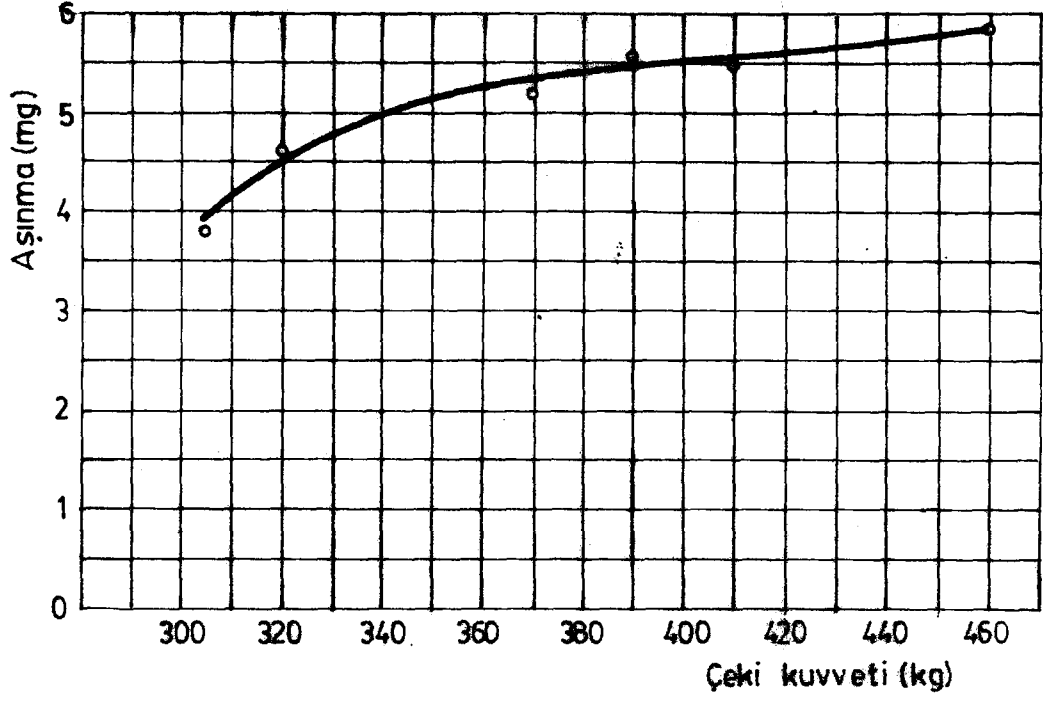
de en yüksek olmaz.Çünkü aynı pullukla,0,5 m/s hızda 800 Kg çeki kuvveti elde edilebilir,ancak 1 m/s'lik hızda ise 500 Kg elde edilmişse en yüksek güç,çeki kuvvetinin daha az olduğu ikinci halde elde edilmektedir[5].

Toprak cinsi,çeki kuvvetini en fazla etkileyen faktördür.Ağır veya gevşek topraklarda çeki kuvveti de farklıdır.İşlenen yerin kesit alanının birim değeri başına Kg cinsinden ifade edilen özgül direnç,toprağın ağır olması halinde büyük,hafif topraklarda ise daha düşük değerlerdedir[5].Hafif topraklarda özgül çeki direnci,20-30 Kg/dm<sup>2</sup>,ağır topraklarda ise 45-85 Kg/dm<sup>2</sup> arasındadır[Mutaf'a atfen 5].

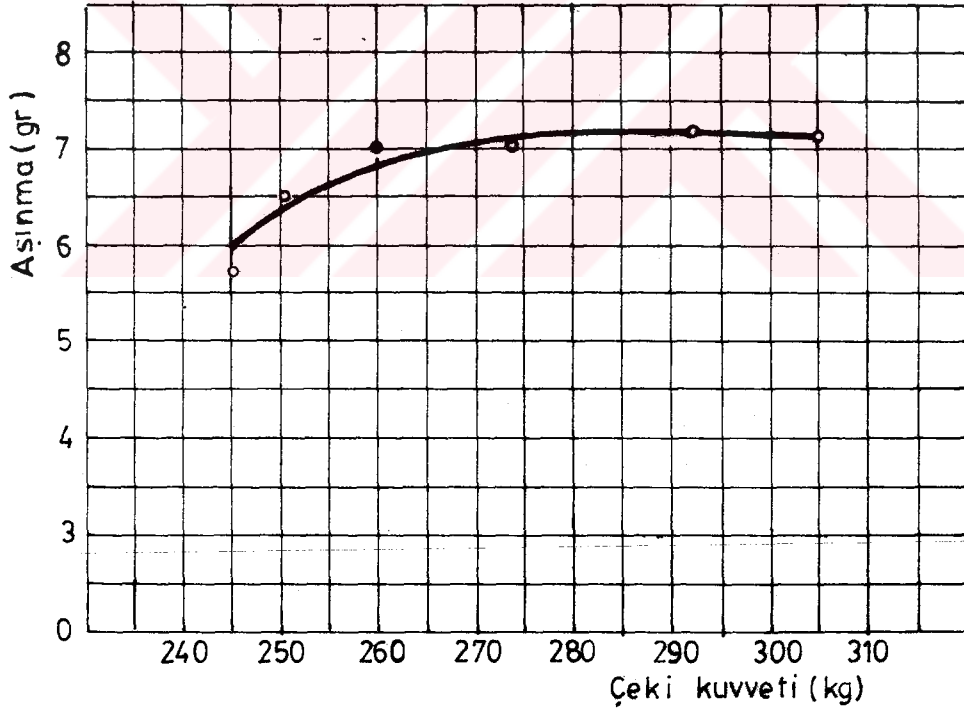
Çeki kuvvetini arttıran toprak direnci,aşınmayı da arttıracaktır.Çünkü özgül direncin yani kuvvetin artmasıyla iş organı yüzeyine gelecek basınç fazla olacak dolayısıyla hıza da bağlı olarak aşınma artacaktır.Bunun tersini söylemekte mümkündür.Aşınmanın artmasıyla çeki direnci de artar [15].

Kohezyon kuvvetinin azlığı nedeniyle,sıkıştırılabilir topraklarda[7] çeki direncinin az olması normaldir.Bu yüzden bu topraklarda aşınma da az olacaktır.Çünkü toprak sıkışmak için bir miktar enerji yutacaktır.

Sonuç olarak,özgül çeki direncinin fazla olduğu ağır topraklarda aşınma fazla,bu direncin az olduğu hafif topraklarda ise az aşınma meydana gelecektir.



(a)



(b)

Şekil-3.4-Çeki kuvvetinin aşınmaya etkisi [Singh'a atfen 50].

a- Pullukta

b- Kültüvatörde

## BÖLÜM IV

### DENEYSEL ÇALIŞMA

#### 4.1- Giriş

Genel olarak deneysel çalışmalar,işletme şartlarında veya işletme şartlarını mümkün olduğu kadar simülize eden model deney tesisatlarıyla,laboratuvarlarda yapılmaktadır.Daha önce bahsedildiği gibi işletme şartlarının kontrolü çoğu zaman güçlükler çıkarır.Model denemelerde,deney şartlarını kontrol edebilmek,sonuçlarını değerlendirmek ve tekrarlanabilirlik mümkünse de alınan sonuçların işletmeye aktarılıp yorumlanması yine bazı güçlükler arzedebilir.Bu yüzden işletme şartlarını iyi karakterize eden,iyi tasarlanmış deney tesisatları kullanmak gerekir.

#### 4.2- Deney Tesisatının Özellikleri,Konstrüksiyonu ve Tribolojik Yapısı

Çalışmamızda,toprak işleme aletleri iş organlarının çalışma şartlarını karakterize eden ve "Aşındırma Makinası" adı verilen,konstrüksiyon yönünden tamamen orijinal,İ.T.Ü. Ziraat Makinaları Enstitüsü yapımı deney tesisatı kullanılmıştır.Bu deney tesisatı,daha önce İ.T.Ü.'de bir doktora çalışmasında da kullanılmıştır.Ancak bu tesisat üzerinde,çalışmamıza uygun hale getirebilmek için,gerekli tadilat yapılmıştır.

Numune, toprak veya dere kumu, atmosfer; deney tesisatında tribo sistemin üç unsurunu teşkil eder. Aşınma partiküllerinin toprak içinde kaybolması ve toprak neminin aşınmayı etkilemeyecek derecede az olmasından dolayı, sistemin dördüncü unsuru (ara madde) yoktur. Böylece sistem, teknik kuru sürtünme sistemi durumundadır.

Aşındırma makinası (625x1250x1750 mm) boyutlarındaki köşebentlerden oluşan bir çatı üzerine tesbit edilmiş, karıştırıcı tip bir deney tesisatıdır. Bu tesisat [1,15,16,20,24] kaynaklardaki deney tesisatlarıyla benzerlik arz etmektedir.

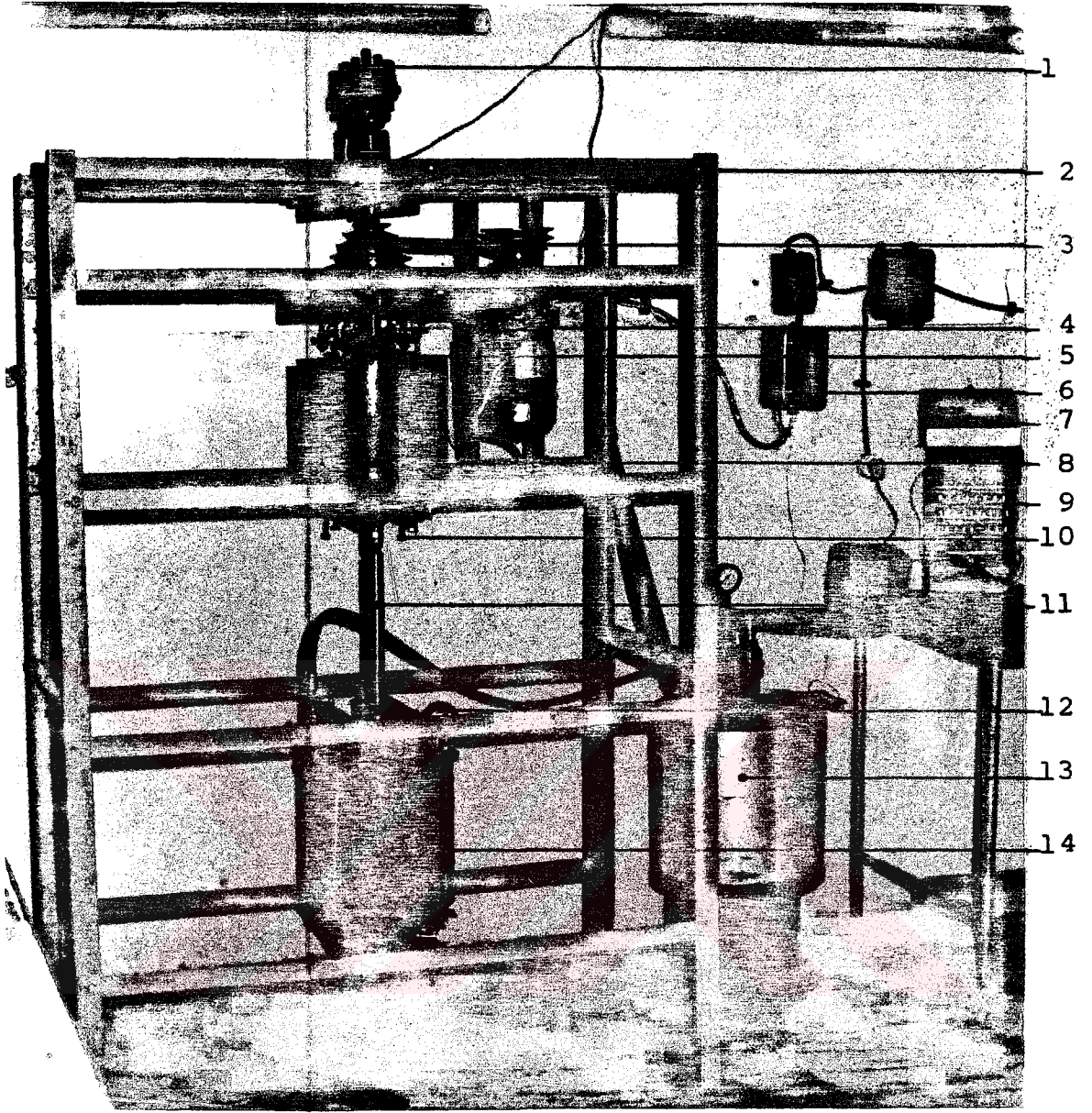
Deney tesisatını meydana getiren elemanlar ve özellikleri şöyledir;

- 1- (0,75 kw, 220-380 V, 50 Hz ve 1395 d/d) lık bir elektrik motoru,
- 2- Redüksiyon gücü 1/10 olan motora bağlı redüktör,
- 3- (85-260 d/d) arasında hız değişimi imkanı veren kademeli kasnak çifti,
- 4- Uydulu dönüştürücü ve tablası,
- 5- Uydulu dönüştürücü ve ana tahrik dişlisini taşıma düzeni,
- 6- İç ölçüleri ( $\emptyset$  290x195 mm) olan çelik kazan (1. kazan diye anılacaktır)
- 7- Derinlik ayarlama civataları,
- 8- İç ve dış cidarı arasına sıvı pompalanabilen, iç cidarı lastik, dış cidarı çelik olan ve numuneyi yükleme imkanı veren ( $\emptyset$  240x240 mm) iç ölçülerine haiz 2. kazan
- 9- 2. kazanda çalışan ve numuneyi taşıyan silindir.
- 10- Hareket mili (parçalı)<sup>x</sup>
- 11- Manyetik kumandalı şalter
- 12- Aşındırma makinasına adapte edilmiş elektronik sayıcı<sup>xx</sup>

---

(x): Hareket mili, ikinci kazanın çalıştırılması için yeterli uzunlukta olmadığından, yapılan ilave ile boyu uzatılmıştır.

(xx): Fakültemiz elektronik bölümünde imal edilen bu sayıcı, tesisatın hareket miline bağlanarak, devir sayısını ölçmek ve deney süresini tesbit etmek için kullanılmıştır.



Parça No	Parça Adı	Parça No	Parça Adı
1	Sayıcı Platini	8	1.Kazan
2	Tesisat Çatısı	9	Numune Dolabı
3	Kademeli Kasnak	10	Derinlik Ayarlama Cıv
4	Motor-Redüktör	11	Parçalı Mil
5	Uydulu Dönüştürücü	12	Manometre
6	Manyetik Şalter	13	Hidrolik Pompa
7	Elektronik Sayıcı	14	Basınçlı Kazan

Resim-4.1- Deney tesisatının genel görünüşü

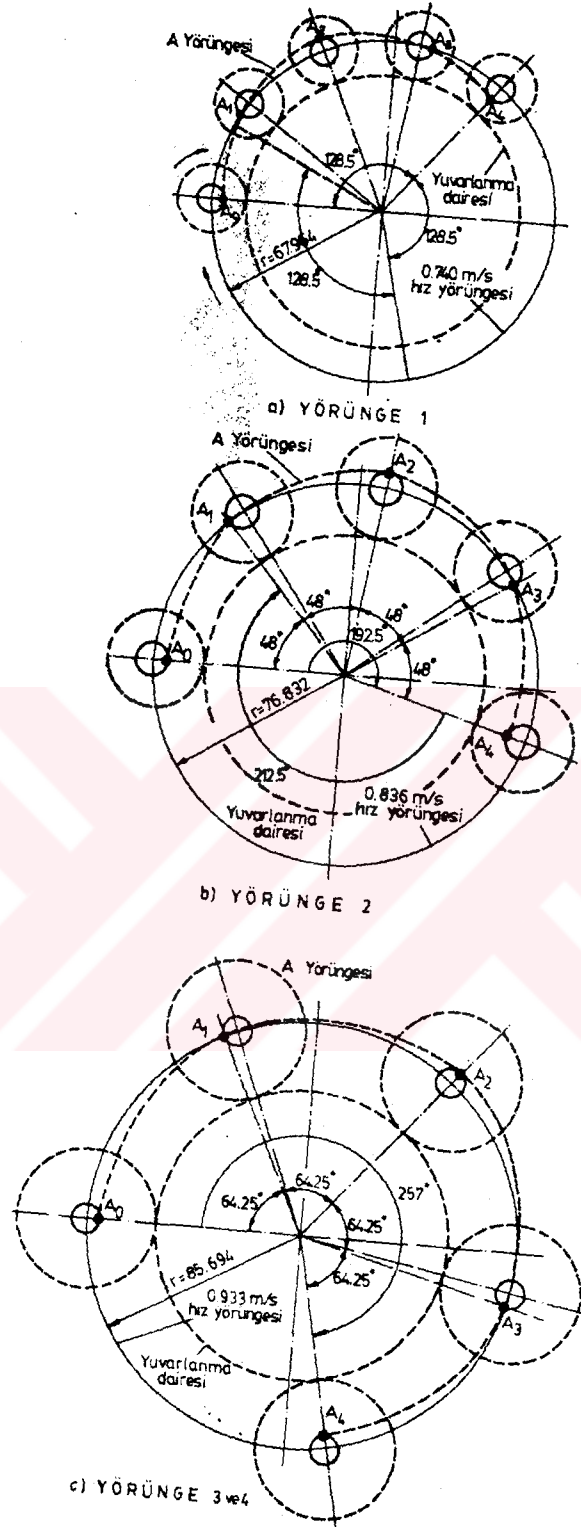


Uydu dişliler, diskle birlikte dönerken, taşıma düzenine tesbit edilmiş olan ve aynı zamanda hareket miline yataklık eden ana tahrik dişlisi etrafında da yuvarlanmaktadırlar. Bu dişlilerden üçü, hareket mili eksenine farklı uzaklıkta olduklarından, aynı anda üç değişik hızda çalışma imkanı vermektedirler. Dördüncü ve üçüncü dişliler aynı hızı verecek şekilde dizayn edilmiştir.

Böylece, dönme ve karıştırma prensibine göre çalışan aşındırma makinasında, uydu dişli merkezine bağlanan, toprak içinde hem mil ve hemde kendi eksenleri etrafında dönen dairesel numunelerin, sadece bir tarafının aşınmasından doğacak şekil değişikliğinin aşınmayı etkilemesi önlenmiş, ayrıca sürtünme yolunun arttırılmasıyla da deneylerin daha kısa zamanda tamamlanması sağlanmış olmaktadır. Numunelerin çizdiği yörüngeler, Şekil-4.1-a, b, c'de gösterilmiştir.

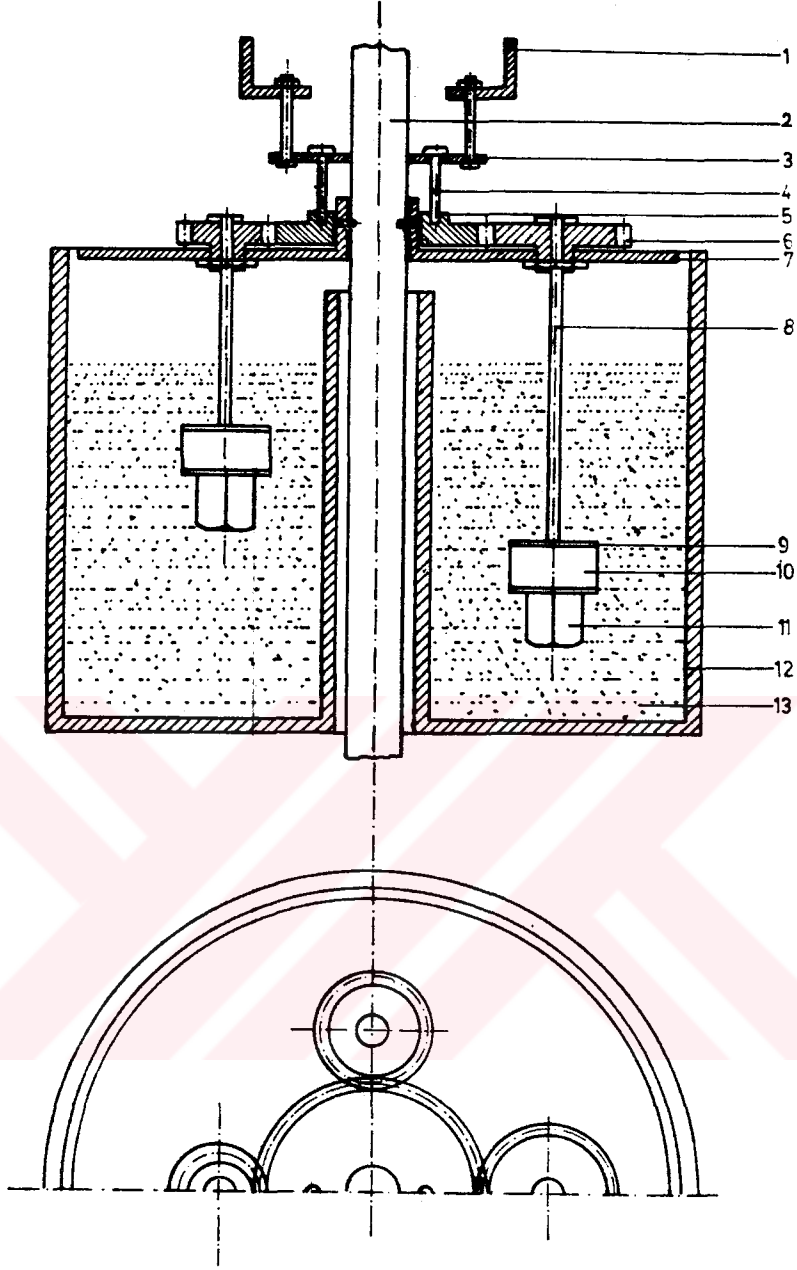
İkinci (basınçlı) kazandaki numuneler ise, toprağa uygulanan hidrostatik basınç altında, kendi eksenleri etrafında ve mil-le birlikte dönmektedirler.

Karşı sürtünme elemanı olan toprak ve dere kumları, kazanlar içinde hareketsiz olup sadece numunelerin hareketi etkisiyle ötelenmektedirler.



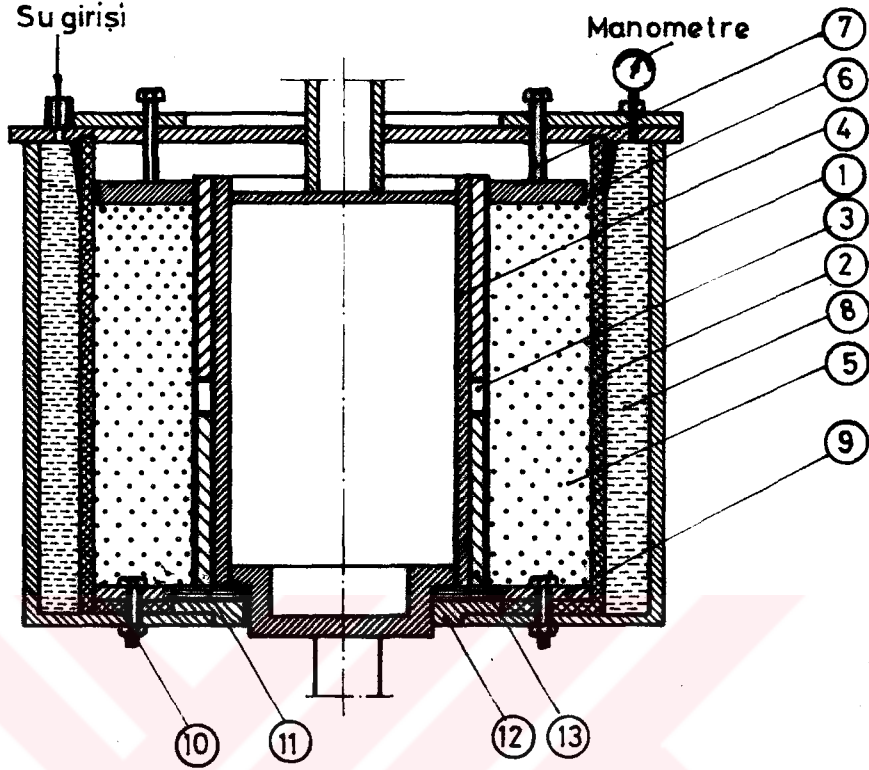
Şekil-4.1- Birinci kazanda çalışan numunelerin hareket yörüngeleri





Parça No	Parça Adı	Parça No	Parça Adı
1	Çatı	8	Numune bağlama sapları
2	Parçalı mil	9	Kapama pulları
3	Taşıma düzeni	10	Numune
4	Taşıma civatası	11	Sıkma somunu
5	Ana tahrik dişlisi	12	Kazan
6	Planet dişli	13	Karşı madde
7	Taşıma tablası		

Şekil-4.2-Numunelerin uydulu sisteme bağlantı pozisyonları



13	Numune tutucu alt gömlek	13	1	
12	Sürtülmeli yatak	12	1	
11	Su	8		
10	Seviye ayarlama civatası	7	4	
9	Toprak sıkıştırma plakası	6	1	
8	Karşı madde	5		
7	Numune	3		
6	Numune tutucu silindir	4	1	
5	Keçe	11	1	
4	Lastik sıkıştırma plakası	9	1	
3	Sıkıştırma civatası	10	6	
2	Lastik cidar	2	1	
1	Çelik cidar	1	1	
Sayı	Parça adı ve anma ölçüleri	P. no:	Adet	Açıklamalar

Şekil-4.3-Basınçlı kazanın kesiti ve numune bağlama pozisyonu

### 4.3- Sürtünme Çiftlerinin Tarifi

Genel olarak aşınma olayı bir tribosistem içinde ele alınmalıdır. Abrasiv aşınma, sadece malzeme veya abrasive bağlı bir özellik değil bir sistem özelliğidir. Bu yüzden aşınma olayının izahı, sistemin tanımıyla sıkı sıkıya ilişkilidir. Sistem elemanlarının tariflenmesi ve özelliklerinin iyi bilinmesi gereklidir. Öte yandan deneylerin tekrarlanabilirliği için yine bu özelliklerin tanımlanması zorunludur.

#### 4.3.1- Karşı Madde

Model denemelerde kullanılan karşı maddeler genellikle saf minerallerdir. Çünkü bu minerallerin çoğu özellikleri bilinmekte veya tayin edilebilmektedir. Olaya daha iyi yaklaşabilmek gayesi ile çalışmamızda karşı madde olarak çeşitli tane büyüklüklerinde dere kumları ve tarımın temeli olan birkaç çeşit toprak kullanılmıştır. Tablo-4.2, 4.3'de deneylerde kullandığımız karşı maddelerin özellikleri, deney kodları ve analizleri verilmiştir.

K 1 deney koduyla gösterdiğimiz kumun tane çap dağılımı (BS) elek serisi ile tesbit edilmiş ve bu kumun tane iriliği, Şekil-4.3'te verilmiştir. İri taneli karşı maddelerin tarifi ise, çap dağılımı için standart elek serisi bulunamayışından sadece ortalama çapların tesbiti ile yapılmıştır.

K 2 ve K 3'ün elde edilmesi için saf dere kumu, delik çapı belli tel eleklerden geçirilerek tane büyüklüklerine göre numaralandırılmıştır. (Şekil-4.4). K 1, K 2 ve K 3'ün özgül ağırlıkları aynıdır. ( $\rho = 2,66 \text{ g/cm}^3$ ).

M.T.A. Enstitüsünde yapılan analiz neticesiyle, deneyde kullandığımız kumların bileşimi ve diğer özellikleri, tablo-4.1'de verilmiştir. Kumların Petroğrafik analizi, detaylı olarak ekte verilmiştir.

Mohs-Skala Sertliği	Bileşim	Formül	Özellikler
3	Calisit	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	Bakırla çizilebilir.
6	Feldspat	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{Cl}, \text{F})$	Bıçakla zor çizilebilir.
7	Quartz	$\text{K}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)\text{SiO}_2$	Camla çizilir

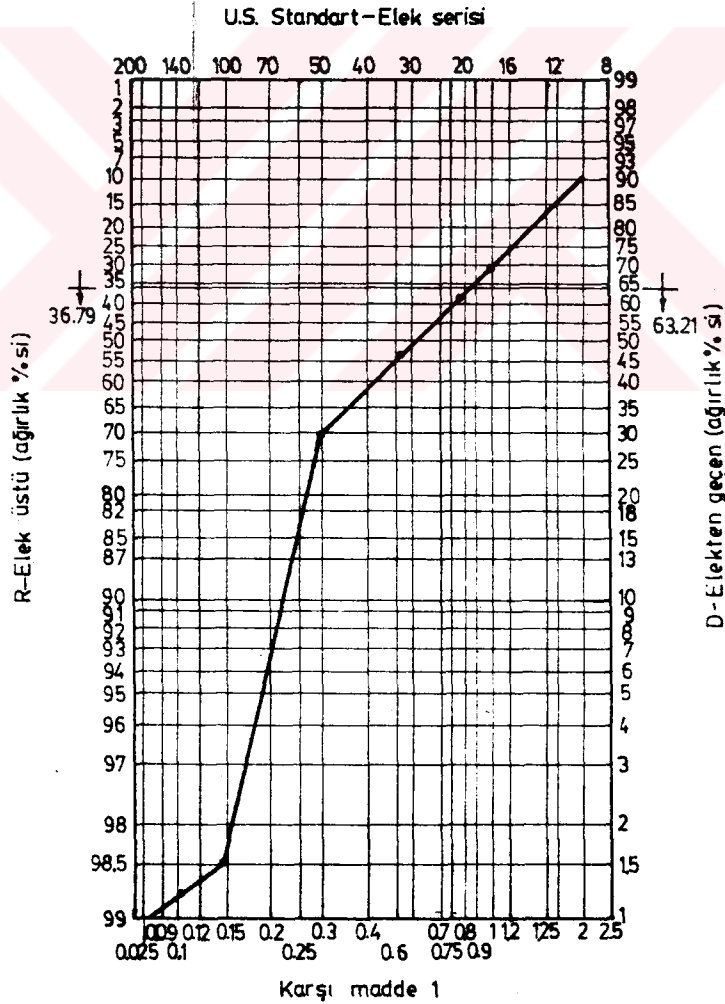
Tablo-4.1-Deneyde kullanılan kumların bileşimi ve özellikleri

Elek No	Elek Çapı (mm)	Tane Çap Dağılımı Aritmetik Ortalaması $\bar{\mu} = 0,752$ Standart Sapma $\sigma = 0,638$	
		Her Elekte Kalan Ağırlık %'si	Elek Çapından Büyük Tanelerin Ağırlık %'si
10	2,00	15,65	15,65
12	1,70	3,70	19,35
18	1,00	11,65	31,00
25	0,71	10,05	41,05
35	0,50	13,15	54,20
50	0,355	16,80	71,00
60	0,250	17,60	88,60
100	0,150	7,95	96,55
140	0,106	1,70	98,25
200	0,075	0,85	99,10
270	0,053	0,35	99,45
	Tava	0,55	100,00

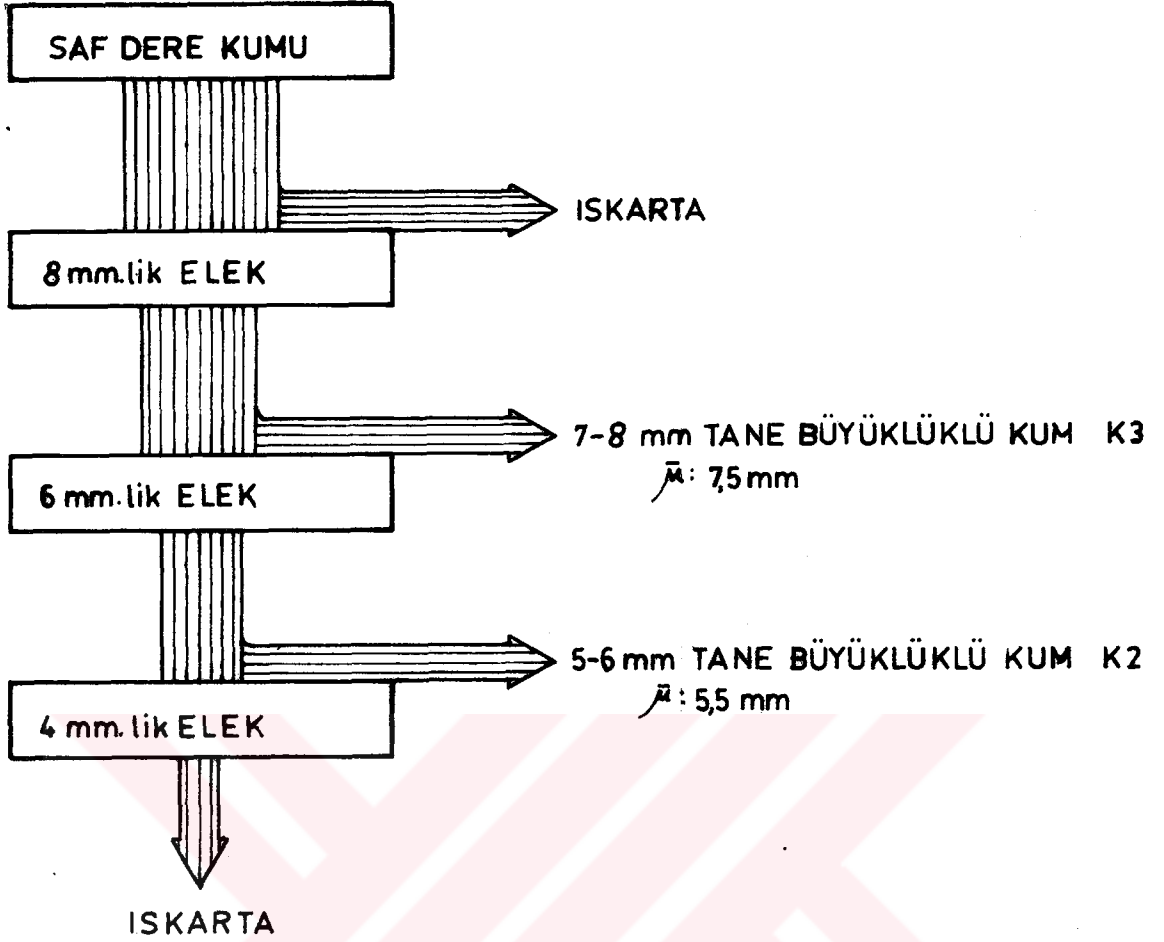
Tablo-4.2-Birinci karşı maddenin(K1) tane çap dağılımı

Yer (Kayseri)	Deney Kodu	Kum Oranı (%)	Silt Oranı (%)	Kil Oranı (%)	Özgül Ağırlık	Düşünceler	
Akin Köyü	T1	29,28	33,28	37,44	1,77	Tınlı Kil	
Germir Kasabası	T2	75,28	11,28	13,44	2,22	Kumlu Tın	
Öbek Köyü	T3	İşba Textur (%)	Tuz (%)	PH Meşbu Toprak (%)	Kireç (%)	Organik Madde (%)	Tınlı Kil (Kireçli)
		55	0,04	7,7	53,76	0,75	

Tablo-4.3-Denemelerde kullanılan toprak bünye analizleri

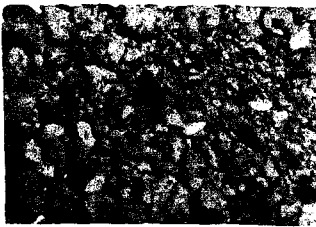


Şekil-4.4-Kl'in tane iriliği tesbit ağı.  
(RRS tane iriliği ağı [20] ile belirlenmiştir.)



Şekil-4.5-İri taneli(K2,K3) karşı maddelerin elde edilmiş şekli

Kumlardan başka karşı madde olarak toprak seçilmiş ve Kayseri civarından temin edilen çeşitli topraklarla deneyler sürdürülmüştür. Toprak seçiminde, genellikle her yörede rastlanan toprak olmasına dikkat edilmiş, bünye analizi, hidrometrik yöntemle, Kayseri Toprak-Su bölge müdürlüğü laboratuvarlarında belirlenmiştir.



K 1



K 2

K 3

Resim-4.2-Deneylerde kullanılan kumların fotoğrafları

#### 4.3.2-Numune Malzemesi ve Boyutları

İşletme şartlarına malzeme yönünden de yaklaşmak gayesi ile deneysel çalışmalarımızda, uygun malzeme seçilmesine dikkat edilmiştir. Deney malzemelerinin, yurdumuzda üretilen ve toprak işleme aletleri iş organlarında kullanılan malzemelerden T.S.Enstitüsü'nün [66] önerileri doğrultusunda, otektoid altı çeliklerden seçilmiştir. Malzemelerin temini için bazı resmi, özel kuruluşlar ve pulluk imalatçılarıyla irtibat kurulmuş, temin edilen malzemelerin kimyasal analizleri, M.K.E.Kırıkka- le çelik fabrikasında yapılmıştır. Malzemelerin deney kodu ve analiz neticeleri, Tablo-4.4'te verilmiştir.

Temin edilen malzemelerden, programlanan çalışmaya ve deney tesisatına uygun olması dikkate alınarak deney parçaları hazırlanmış ve kısmen çeşitli ısıl işlemlere tabi tutulmuştur.

Aynı veya benzeri deney tesisatlarıyla, daha önce yapılan çalışmalarda, silindirik çubuk şeklindeki numuneler kullanılmış ve numune alını da aşınmaya maruz bırakılmıştır. Ancak bu durumda aşınmanın, numunenin neresinde ve ne miktarda meydana geldiğinin tesbiti mümkün değildir. Bu yüzden, birinci kazanda deneye alınan numunelerin şekil ve boyutlarının tayini için sistemin özelliği dikkate alınarak daire kesitli olmaları uygun görülmüştür. Farklı derinliklerde çalışabilmesi ve çok sayıda çalışma derinliği temini için numune yükseklikleri 10 mm olarak alınmış, bu gaye için yapılmış saplara bağlanabilmesi için ortası delinmiş ve aşınmanın sadece yanal yüzeyden olması için de bağlama sırasında her iki alını uygun pullarla kapatılmıştır. Kapamanın sıhhatli olması için numunelerin çevre yüzeyleri ile birlikte her iki alını ve kapama pulları taşlanmıştır.

İkinci kazanda ise, plaka halindeki TE malzemesinden kıvrılarak hazırlanmış deney parçaları kullanılmıştır.

Her iki kazanda denenen numune şekil ve boyutları, Şekil-4.6' da gösterilmiştir.

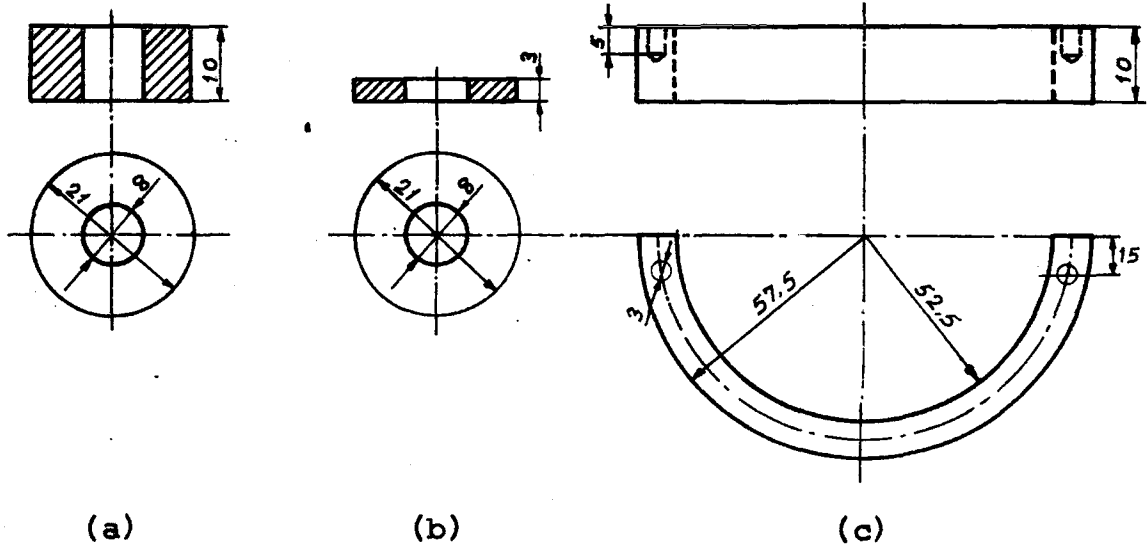


MALZEMENİN		KİMYASAL BİLEŞİM (%)							
Deney Kodu	Standart Kodu	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
AÇ1	Ç 1040	.403	.277	.856	.011	.029	.172	.223	.024
AÇ2	Ç 4140	.410	.275	.721	.018	.033	1,06	.190	.194
AÇ3	Ç 1040	.339	.207	.682	.021	.033	.184	.177	.024
KK2	Ç 1040	.410	.230	.720	.030	.031	-	-	-
TE	Ç 1040	.400	.240	.410	.010	.025	-	-	-
ÖT	Ç 1050	.487	.066	.814	.017	.030	.014	.019	.006

Tablo-4.4- Deney malzemelerinin kimyasal bileşimi

Numunenin Deney Kodu	Normalizasyon Sıcaklığı (°C)	Isıl İşlem Durumu	Sertleştirme Sıcaklığı (°C)	Soğutma Ortamı	Sertlik (Hv)
AÇ1	880-900	Su verme	840-880	Su	710
AÇ2	850-880	Su verme	820-850	Su	690
AÇ3.1	-	Kaynak ile Kaplama	-	-	400
AÇ3.2	-	Kaynak ile Kaplama	-	-	710
KK2.1	880-900	Sementasyon ile yüzey Sertleştirme	820	Su	710
KK2.2	-	Endüksiyonla Yüzey Sertleştirme	850	Su	710
TE	880-900	Su verme	840-880	Su	535
ÖT	840-870	Su verme	820-860	Su	750

Tablo-4.5- Numunelere uygulanan ısıl işlemler.



Şekil-4.6- Numune şekli ve boyutları

- (a)-Birinci kazanda denenen numuneler
- (b)-Kapama pulu
- (c)-İkinci kazanda denenen numuneler

#### 4.4- DeneYlerin Yürütülmesi

DeneYler iki safhada yapılmıştır. İlk safhada, birinci kazanda uydulu dönüştürücülerle tahrik edilen numunelerin, ikinci safhada ise basınçlı kazanda dairesel hareket yapan (numune tutucu silindire sadece kendi eksenini etrafında dönen) numunelerin, çeşitli aşınma faktörlerine göre ağırlık kaybı olarak aşınma miktarları tesbit edilmiştir.

Her iki safhada da numunelerin taşlanmış olan sürtünme yüzeyleri deneyden önce 600 nolu su zımparası ile zımparalanmış ve üniformluk sağlanmıştır. Deney parçaları alkolle temizlenip kurutulmuş ve aşınma öncesi ağırlıkları 0,1 mg hassasiyetli Sauter marka 424 tip elektronik terazi ile tesbit edilmiştir. Bütün ağırlık ölçümleri için, çalışmamız süresince aynı cihazdan faydalanılmıştır. Deney sonunda, ince tabaka halinde numune yüzeyine yapışan karşı maddeler, benzin ve diğer çözücülerle iyice temizlenip kurutulduktan sonra tartıma alınmıştır.

Birinci kazanda uydulu dönüştürücülerle tesis edilen aşınma sisteminde (Şekil-4.2); hız, çalışma derinliği, aşındırıcı tane büyüklüğü, yüzey pürüzlülüğü, ısı işlem çeşidi, toprak nem ora-

nı ve değişik karşı madde cinslerine göre aşınma miktarı tesbiti gaye edinilmiştir.Hız,çalışma derinliği,aşındırıcı tane büyüklüğü,toprak nemi,karşı madde cinsi ve bazı ısıl işlem-aşınma değişimleri için AÇ1,yüzey pürüzlülüğü-aşınma değişimi için KK2 deney koduyla tarif edilen Ç 1040 malzemenin çok sayıda numune(Şekil-4.6.a) hazırlanmıştır.

İkinci kazanda ise numune yüzeyi,basınçla yüklenmiş karşı madde ile sürtünerek çalışmıştır.Bu iş için deney tesisatında gerekli şu tadilatlar yapılmıştır:

Sadece su doldurulabilen ve hiç bir basınç etkisi göstermeyen sistem içerisine,cebri olarak su pompalanabilir hale getirilmiştir.Pompalanan suyun basıncıyla seviyesi yükselerek basıncın düşmesine neden olan toprağın üst yüzeyi,sıkıştırma plakası ile sınırlandırılmıştır.Su,kazana bir emme-basma pompa ile basılmaktadır.

Numunenin,numune taşıyıcı silindire bağlanabilmesi için,numune ile aynı kalınlıkta iki parçalı kalıp yapılmıştır.Numunelerle aynı kalınlıkta olan kalıp parçaları,numune alınlarını aşınmadan korumuş ve böylece sadece yanal yüzeyin basınç altında aşındırılması sağlanmıştır.

Bu kazanda da karşı maddenin numune üzerine uyguladığı basınç şiddeti ile bu durumda çalışma hızının aşınmaya etkileri tesbit edilmiştir.

Birinci safhada,programımızdaki bütün karşı maddeler kullanılmış ve ön denemelerle belirlenen aşınma miktarları dikkate alınarak deney süresi tesbit edilmiştir.Aşınma hızındaki azalma üzerine,K 1 ve K 2,yaklaşık 50 saatte,diğer karşı maddeler ise her deney sonunda değiştirilmiştir.

## BÖLÜM V

### DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

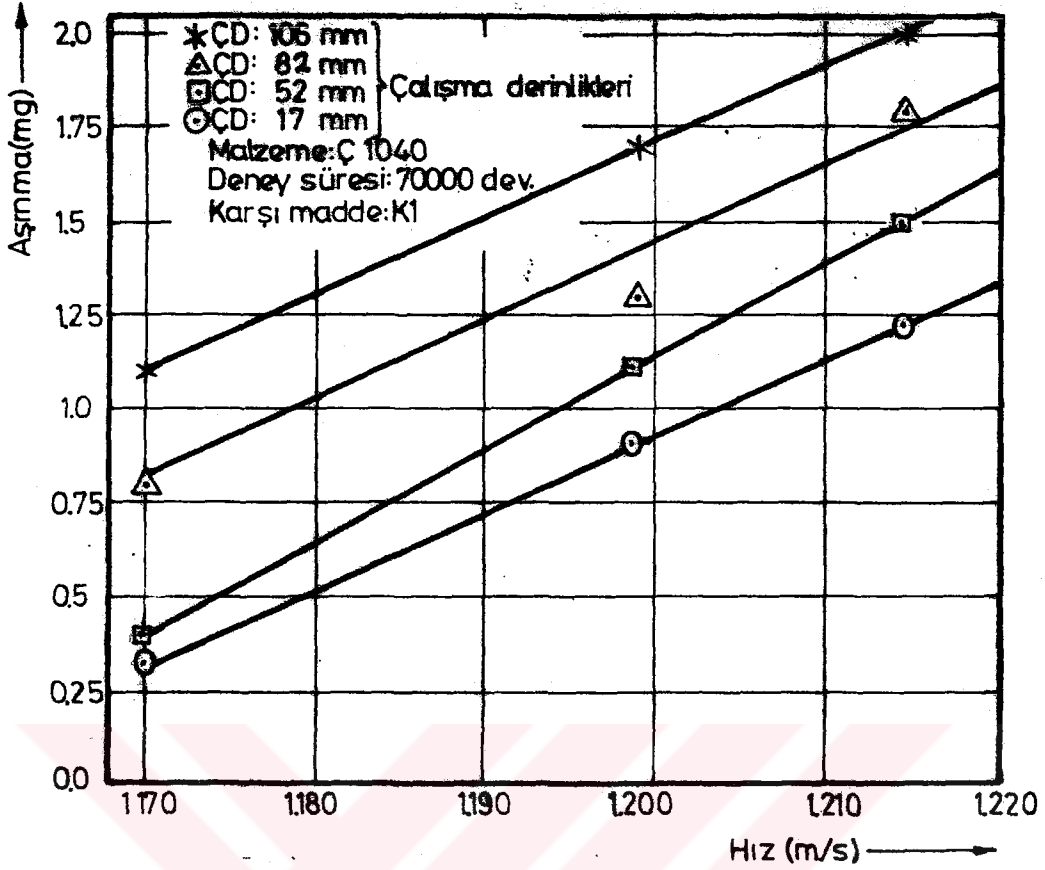
#### 5.1- Aşınma Miktarının Teğetsel Hız ile Değişimi

Hız, aşınma miktarını etkileyen en önemli faktörlerdendir. Hızın artmasıyla birim zamanda alınan yol, yani sürtünme miktarı artmaktadır. Bu artış da aşınma miktarını arttırmaktadır.

Deney sonuçlarımız, aynı şartlarda çalışan, aynı malzemeden mamul, ısıl işlem görmemiş numunelerdeki aşınma miktarının teğetsel hız ile lineer olarak arttığını göstermiştir. Deney sonuçları istatistikî yöntemlerle analiz edilmiş ve neticelerin ( $y = ax + b$ ) denklemini, artan çalışma derinliğine göre sırasıyla; % 99,9 - % 99,9 - % 97,2 - % 99,9 güvenirlikle sağladığı görülmüştür. (Şekil-5.1)

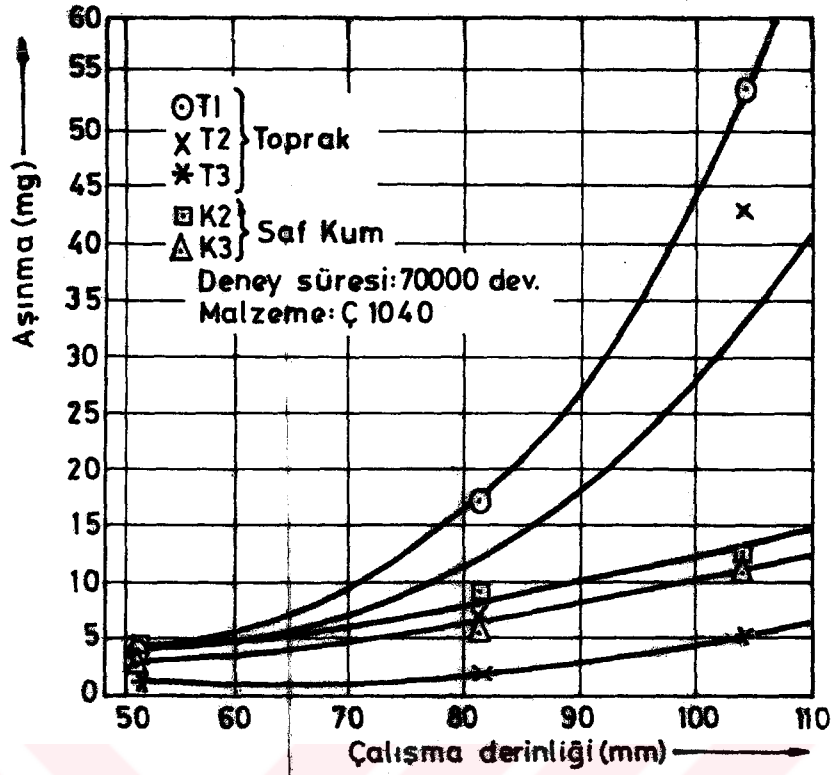
#### 5.2- Çalışma Derinliğinin Aşınma Miktarına Etkisi

Çalışma derinliği, aşınma miktarını önemli oranda etkilemektedir. Çalışma derinliğinin artması, numune üzerinde birim yüzeye gelen basıncın artmasına neden olmaktadır. Öte yandan üst yüzeyi serbest olmak kaydıyla, belli derinliğin üzerinde kalan aşındırıcı tanecikler, derindekilere nazaran daha gevşektirler. Başka bir deyimle toprak yüzeyinden derinlere inildikçe sıkışmadan dolayı tane yoğunluğu artmaktadır. Toprak daha sıkı ve ağır hale gelmektedir.

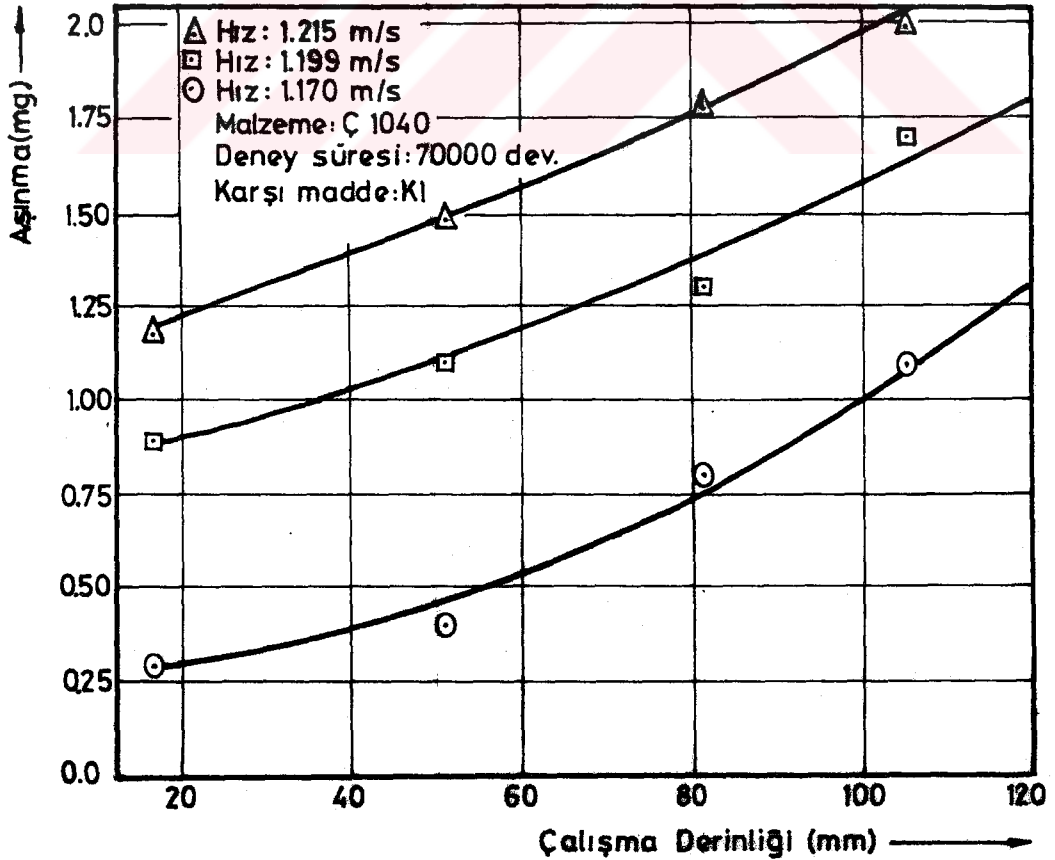


Şekil-5.1- Farklı çalışma derinliklerinde, hız ile aşınma miktarındaki değişme

Ağır topraklarda çeki direncinin fazla olması, toprak şartları ve iş genişliği sabit kaldığı takdirde iş derinliğinin artmasıyla açıklanabilir. Çalışma derinliğinin artmasıyla artan basınç, diğerine nazaran derinliklerde çalışan deney parçasının aşınma miktarını da arttırmaktadır. Yapılan istatistik analiz sonucunda, aşınma miktarının, çalışma derinliği artışıyla exponansiyel olarak arttığı tesbit edilmiştir. Deney sonuçlarımız bu ilişkinin ( $y = a \cdot e^{bx}$ ) denklemine, hız artış sırasına göre % 96,3 - % 97,1 - % 99,4 güvenirlikle uygunluk gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca, değişik karşı maddelerle yaptığımız deneyler, karşı maddeye göre değişen asimtot eğimiyle birlikte, çalışma derinliği ile aşınma miktarının exponansiyel artışını perçinlemiştir. Ancak, kum fazla gevşek karşı madde olduğundan derinlikle aşınmanın artışı lineer'e yakın bir durum göstermesine rağmen (Şekil-5.3), toprak halinde, derinlik artması ile aşınma exponansiyel olarak artmaktadır (Şekil-5.2).



Şekil-5.2-Değişik aşındırıcı cinslerinde çalışma derinliğine bağlı olarak aşınmanın değişimi



Şekil-5.3-Farklı hızlarda, çalışma derinliği ile aşınma miktarındaki değişme

### 5.3- Hız ve Çalışma Derinliğinin Aşınma Hızına Etkisi

Hız ve çalışma derinliğinin birlikte artmaları, aşınmayı belli bir oranda hızlandırmaktadır. Yani bu birlikte artış, aşınmayı arttırmada, tek tek artışa nazaran daha etkili olmaktadır. Ancak çalışma derinliğinin tek başına artması durumunda, hıza göre, aşınma daha fazla etkilenmektedir (Şekil-5.4, 5.5).

Aşındırıcı taneciklerin boyutundaki artış, aşınmayı hızlandırmakta fakat belli bir değerden sonra aşınma, yavaşlıyarak artmaktadır.

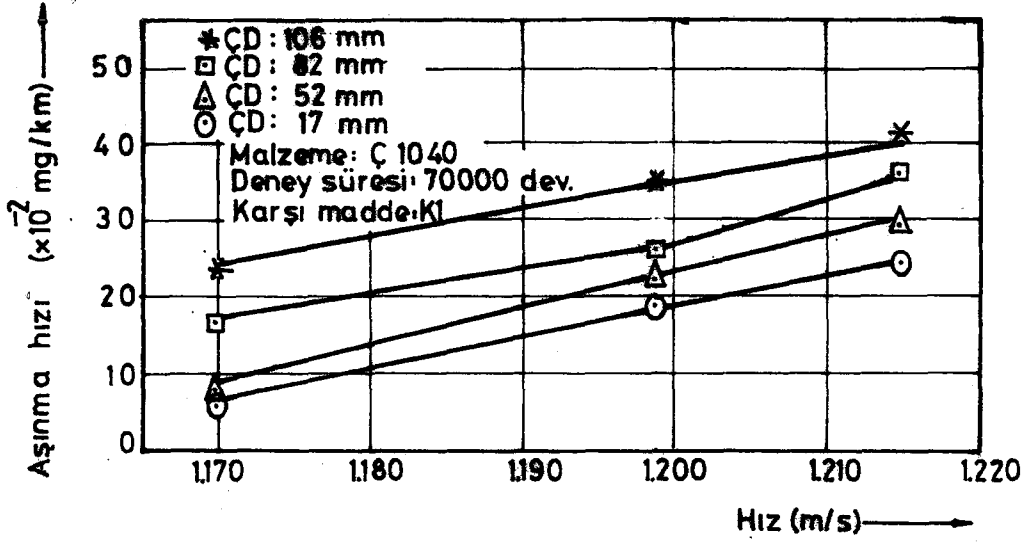
### 5.4- Aşındırıcı Tane Büyüklüğü-Aşınma Miktarı İlişkisi

Toprak işleme aletlerindeki aşınma miktarı, toprak tane büyüklüğü ile yakından ilgilidir. Numune malzemesinin özellikleri sabit kaldığı halde, aşındırıcı içindeki taneciklerin ortalama çapı arttıkça aşınmada da bir artış gözlenmektedir. Bu artışın, çalışma derinliği ve hız ile değişimini incelemek üzere, en az çalışma derinliği ile en yüksek hızda, en büyük çalışma derinliği ile de daha düşük hızlarda çalışılmış ve çalışma derinliğinin aşınma üzerine, hıza göre daha etkili olduğu, ancak deney süresi uzadıkça derindeki numunelerin aşınmasının yavaşladığı tesbit edilmiştir (Şekil-5.6).

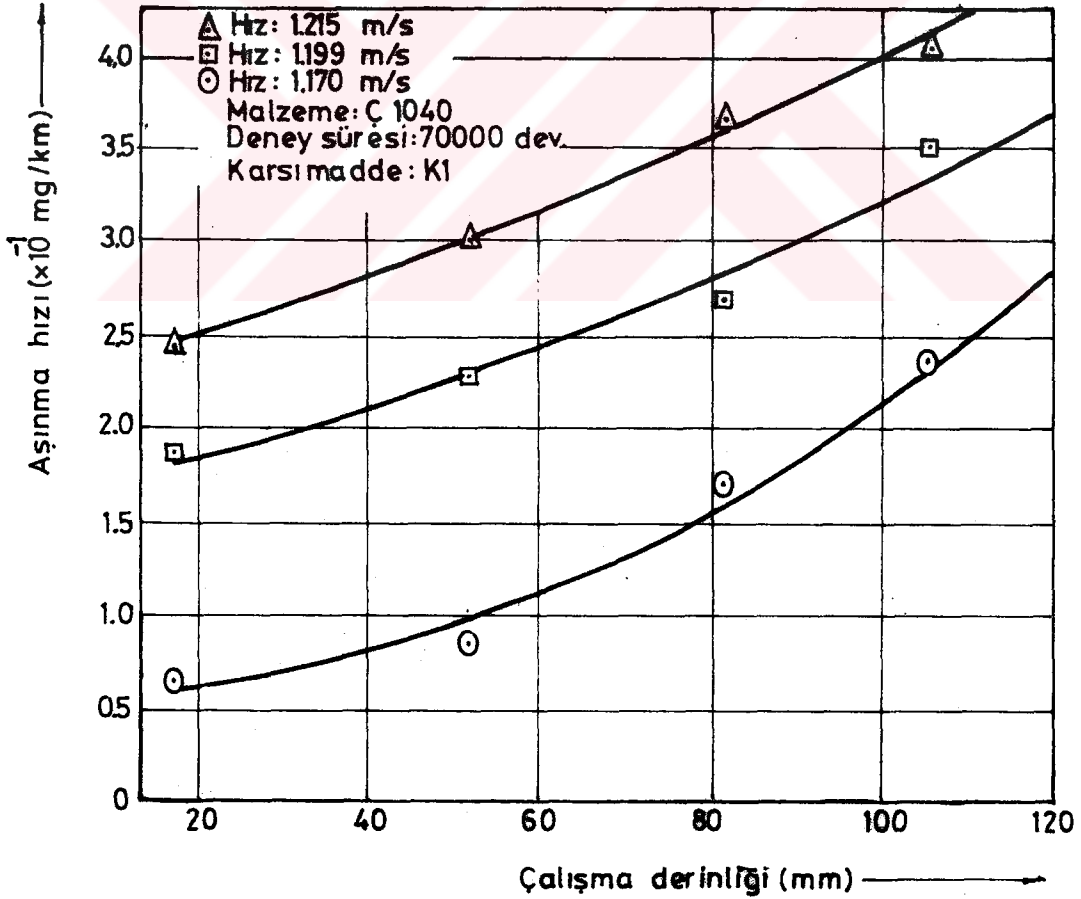
Değişik tane büyüklüğünde karşı maddelerle sürdürülen deneyler göstermiştir ki, köşeli taneler belli bir süre sonunda hız ve tane sertliğine bağlı olarak köşelerini yavaş yavaş kaybetmekte ve küresel forma yaklaşmaktadırlar. Tarla şartlarında iş organı, sürekli yeni tanelerle sürtünerek çalıştığı halde, laboratuvarında deney parçaları, aynı kazan içinde belli miktardaki aşındırıcı tanelerle temas halinde olduğundan aşındırıcı tanelerin etkisi gittikçe azalmaktadır.

Deney şartlarına hakim olmak ve sadece çalışma derinliğinin aşınmaya etkisini tesbit edebilmek için, çalışma derinliğine dayalı deneylerde, deney süresi boyunca her 25 000 devirde bir karşı madde yenilenmiştir. Böylece köşeleri kırılarak körleşen taneler, deney dışı bırakılmaya çalışılarak işletme şartlarına yaklaşılmıştır.

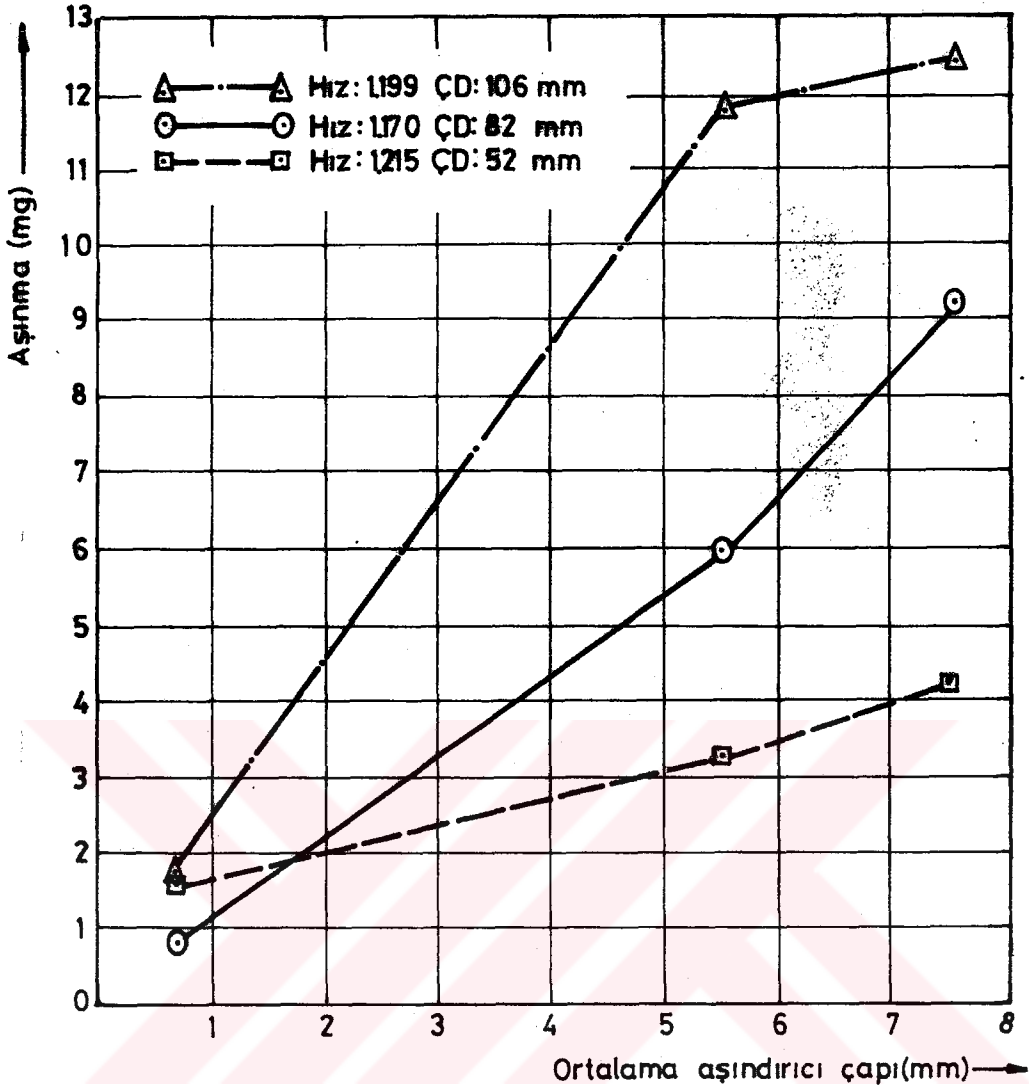




Şekil-5.4-Farklı çalışma derinliklerinde hıza bağlı olarak aşınma hızındaki değişim



Şekil-5.5-Çeşitli hızlarda çalışma derinliğine bağlı olarak aşınma hızındaki değişim

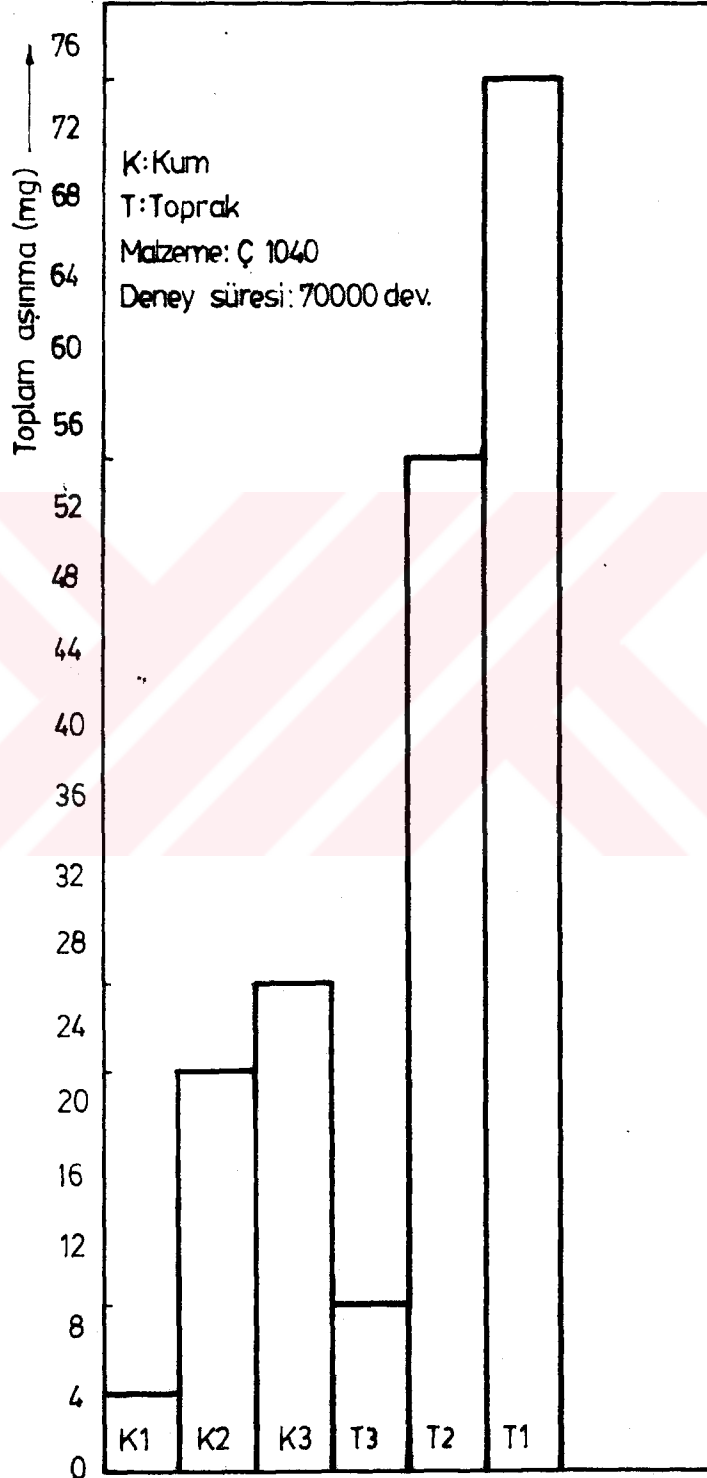


Şekil-5.6-Aşındırıcı(kum) çapına bağlı olarak aşınma miktarındaki değişme

### 5.5- Karşı Madde Cinslerinin Aşınmaya Etkisi

Karşı madde cinslerine göre, aşınma da değişiklik göstermektedir. Saf dere kumlarında aynı şartlarda elde edilen neticeler, kumun tane büyüklüğünün aşınma değişiminde esas olduğunu göstermiştir. Toprak cinslerinde ise, toprak bünyesindeki, kil, kum ve silt oranının aşınmayı ne şekilde etkilediklerini sistematik bir şekilde tesbit etmek mümkün olmamıştır. Ancak saf kumlarda elde edilen aşınma miktarının, toprağa nazaran azlığı, kumun toprağa göre daha gevşek oluşu ile izah edilebilir. (Şekil-5.7). Kumlu toprakların gevşek olması nedeniyle daha az çeki direnci göstermeleri, aşınma miktarının bu topraklarda az o-

lacağına işaretler. Bu işaret doğrultusunda saf kumlarda tesbit edilen aşınma miktarları, topraklarda tesbit edilene nazaran daha azdır.

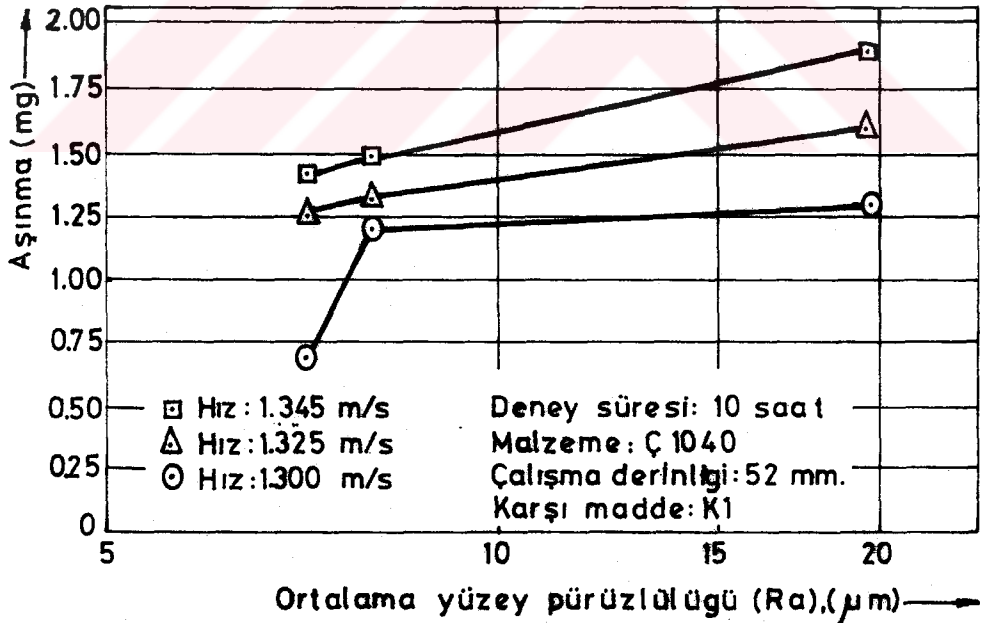


Şekil-5.7-Çeşitli karşımaddelerde aynı şartlarda elde edilen aşınma miktarları.

### 5.6- Aşınma Miktarının Yüzey Pürüzlülüğü ile Değişimi

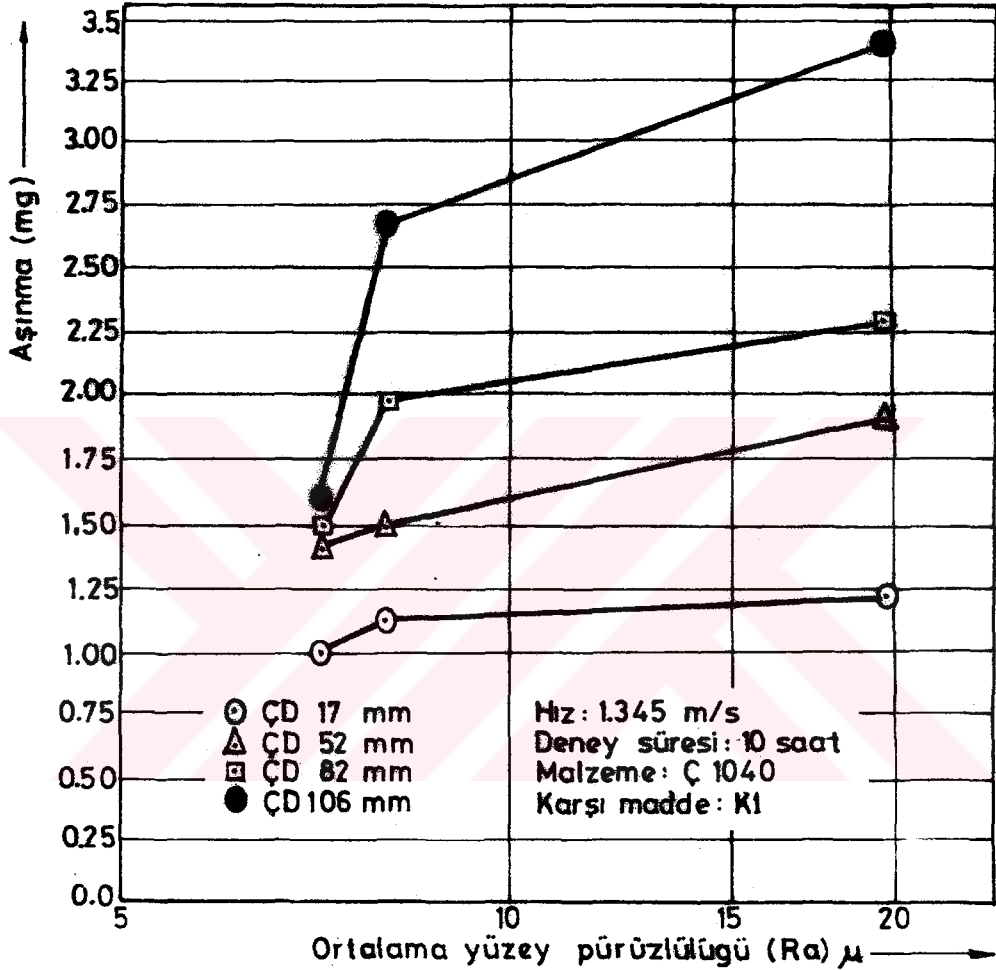
Genel olarak aşınma, yüzey pürüzlülüğü ile yakından ilgilidir. Aşınmanın tarifinde bahsedilen, yüzeyden mekanik etkilerle kopan mikro parçacıkların büyük bir kısmını kırılan pürüzler oluşturur. Sürtünme olayı sırasında meydana gelen teğetsel gerilmelerin etkisi ve diğer etkenlerle pürüz tepeleri kırılmakta, böylece de aşınma olayı hızlanmaktadır.

Pürüz yüksekliği yani pürüzlülük arttıkça, teğetsel kuvvetin uygulandığı pürüz kesiti küçüleceğinden, kuvvet sabit kaldığı halde gerilme artmaktadır. Teğetsel gerilme malzemenin akma gerilmesi altında kaldığı sürece pürüzlerde kırılma zorlaşırsa da abrasyon mekanizmasında triboksidasyon harekete geçerek aşınmaya zemin hazırlar. Gerilmenin akma sınırını aşması durumunda ise, plastik şekil değiştirmeye zorlanan pürüzler ya hemen kırılır veya pekleşme neticesinde kırılarak yüzeyden ayrılırlar. Bu sebepten, yüzey pürüzlülüğünün artması, aşınmayı arttırıcı yönde şekle bağlı etkin bir aşınma faktörüdür.



Şekil-5.8-Farklı hızlarda aşınmanın, yüzey pürüzlülüğü ile değişimi

Bahsedilen teğetsel gerilmelerin şiddeti, teğetsel hız ve çalışma derinliğinin artması ile artar. Bu nedenle artan hız ve çalışma derinliği aynı pürüzlülük değerine sahip numunelerde aşınmayı arttırmaktadır.

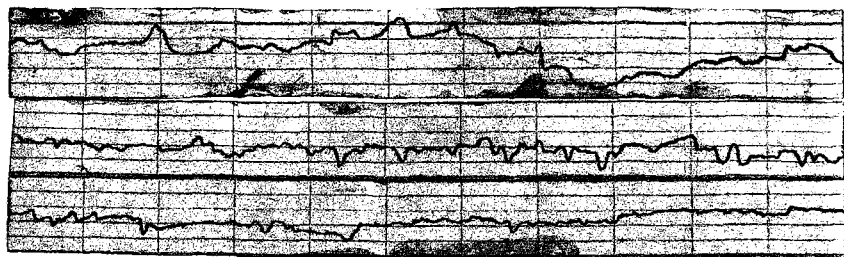


Şekil-5.9-Farklı çalışma derinliklerinde yüzey pürüzlülüğünün aşınmaya etkisi

$$R_a = 19,7 \mu m$$

$$R_a = 8 \mu m$$

$$R_a = 7,2 \mu m$$



Şekil-5.10-Deneylerde kullanılan numunelerin yüzey pürüzlülük profilleri

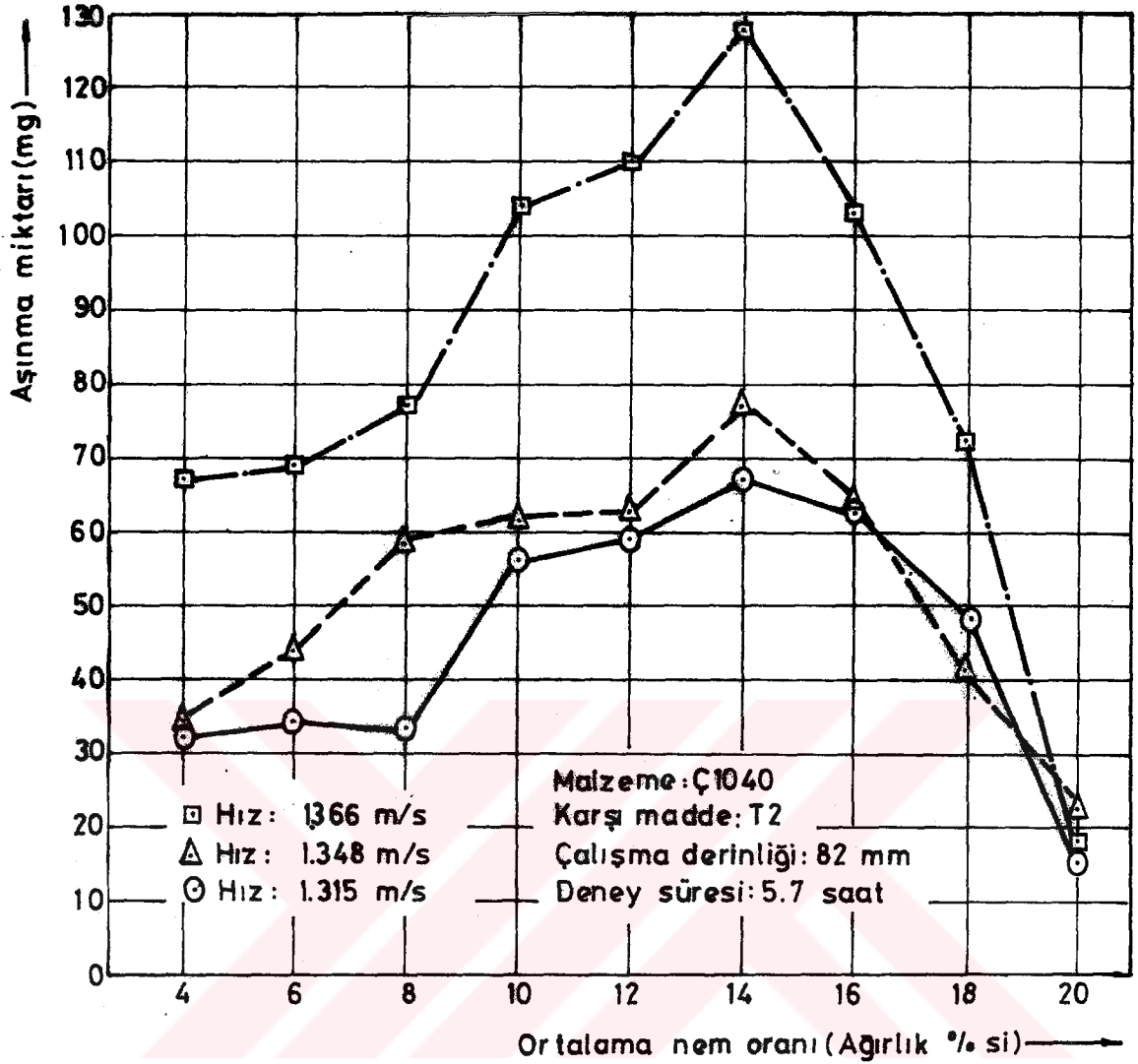
### 5.7- Toprak Neminin Aşınmaya Etkisi

Toprak, aralarındaki boşluğu, değişik oranlarda su ve havanın doldurduğu, katı tanelerden meydana gelen karışık bir malzemedir [67]. Topraktaki nem miktarı, bitkiler açısından fevkalade önemlidir. Bitkilerin büyüüp gelişmesi nem miktarına bağlıdır. Nem miktarının azalması, bitkilerin yeterli suyu alamamasına ve solmasına sebep olur. Toprak yüzeyinde biriken suyun yer çekimi etkisiyle derinliklere inmesi "Doymuşluk derecesi", suyun, toprağın küçük boşluklarında hapsolmesi ve derinlere inememesi "Tarla kapasitesi" diye tanımlanmaktadır.

Toprak neminin aşınmaya etkisi konusunda, literatürde kesin bir sonuca rastlanamamıştır. Ancak tekrar tekrar yaptığımız deneyler, nemin belli bir değere kadar aşınmayı arttırdığını daha sonra azalttığı sonucunu vermiştir (Şekil-5.11).

Toprağın kohezyonu, kesme kuvvetlerine karşı koyabilme özelliği [67], şeklinde tanımlanmaktadır. Bu özellik nemle etkilenmektedir. Tamamen kuru veya suya doymuş kumlu topraklar, kohezyon özelliği göstermezler [67]. Yani kesme kuvvetlerine karşı nemden dolayı bir dirençleri yoktur.

Deneylerimizde, karşı madde olarak seçtiğimiz Kumlu-Tınlı toprakta, % 4-14 nem aralığında, aşınmanın arttığı gözlenmiştir. Öte yandan nemin, tribosistemin üçüncü unsuru (ara madde) olarak devreye girmesi ve yağlama etkisi göstermesi nedeniyle sistemin teknik kuru sürtünme sistemi olma özelliğini yitirmesine ve dolayısıyla bu bölgede, aşınmadaki artışın yavaş seyretmesine neden olmuştur. Bu durum ise nemi artan toprağın plastiklik özelliği göstermesi ile izah edilebilir. Nem, T2 toprağı içindeki % 13,44 oranındaki kil tanelerinin bağlayıcılığını arttırarak, toprak tanelerini bir bütün halinde bir araya getirmiş ve plastik şekillenme kabiliyetini arttırmıştır. Toprak tarafından kazanılan bu özellik, numunenin, toprak kütlesi içerisine yerleşmiş, esnek fakat tamamen serbest olmayan taneciklere sahip bir toprak kütlesiyle sürtünmesine yol açmıştır. Numune hızının etkisiyle fazla yer değiştiremeyen taneler, numune yüzeyini çizerek aşındırmışlardır. Diğer yandan bu sürtünmede, nemin yağlama etkisi, aşınmayı azaltmada tek başına etkili olamamış, ancak yavaşlatmıştır.



Şekil-5.11-Farklı hızlarda toprak nem oranına bağlı olarak aşınma miktarındaki değişim

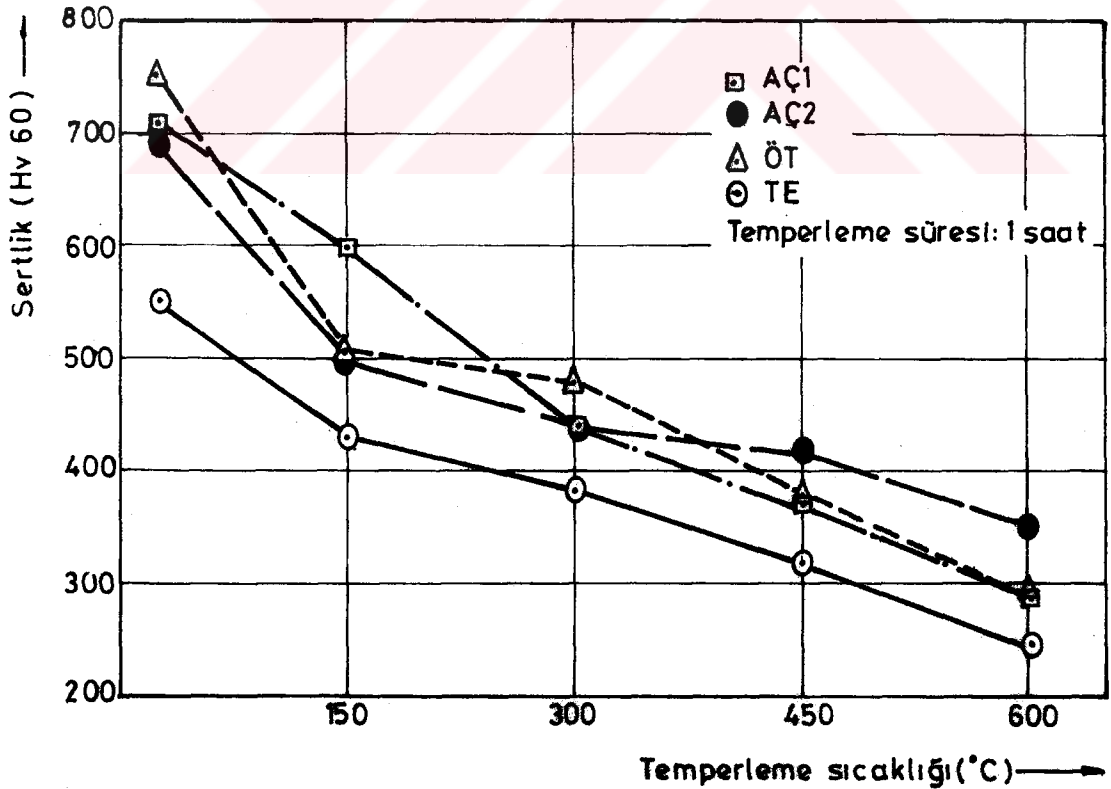
Nem oranı, % 14'ü geçtiğinde toprak tamamen suya doymuş, şekil alabilme özelliği ile kohezyonunu tamamen kaybetmiştir. Bu sebepten, % 14-20 nem aralığında aşınma sürekli azalma göstermiştir. Kohezyonun azalması ve yağlama etkisinin devam etmesi nedeniyle durum, aşınmanın azalması yönünde gelişmiştir. Su oranının artmasıyla toprak sıvılaşmaya yüz tutmuş ve aşındırıcı taneler tekrar serbestlik kazanmıştır. Bu durum, bu bölgede aşınmanın azalmasına yol açmıştır. Aynı şartlarda hız, aşınma miktarı üzerine daha etkili olsaydı da, düşük hızlarda nemin aşınmaya etkisi daha az olmaktadır.



## 5.8- Isıl İşlemlerin Aşınma Direncine Etkisi

### 5.8.1- Temperlme Sıcaklığının Aşınma Direncine Etkisi

Temperlme sıcaklığının yükselmesi veya temperleme süresinin uzaması, bütün az alaşımlı ve sade karbonlu çeliklerde sertliği belli bir oranda düşürmektedir. Sertliğin karbon oranına bağımlılığı yanında, temperleme sonucu sertlik azalması, karbon oranına sıkı sıkıya bağımlı değildir. Nitekim, % 0,40 C'lu TE malzemesinin, % 0,49 C'lu ÖT malzemesine göre sertleştirme sonrası yaklaşık 200 Hv daha az sert olmasına rağmen, 600°C de temperleme sonucu bu fark 45 Hv'e düşmektedir. % 1 Cr, 0,2 Mo ihtiva eden alaşımlı AÇ2 malzemesi, alaşım elemanlarından dolayı, 600°C'de temperleme sonucu, 350 Hv sertlikle en sert malzeme durumundadır. Ancak bu malzemede sertliğini yaklaşık % 50 kaybetmiştir. Öte yandan en yumuşak olan TE malzemesi % 44,5 sertlik azalması gösterirken, ÖT malzemesi % 65, AÇ1 malzemesi % 60 oranında sertliklerini yitirmişlerdir. (Şekil-5.12)

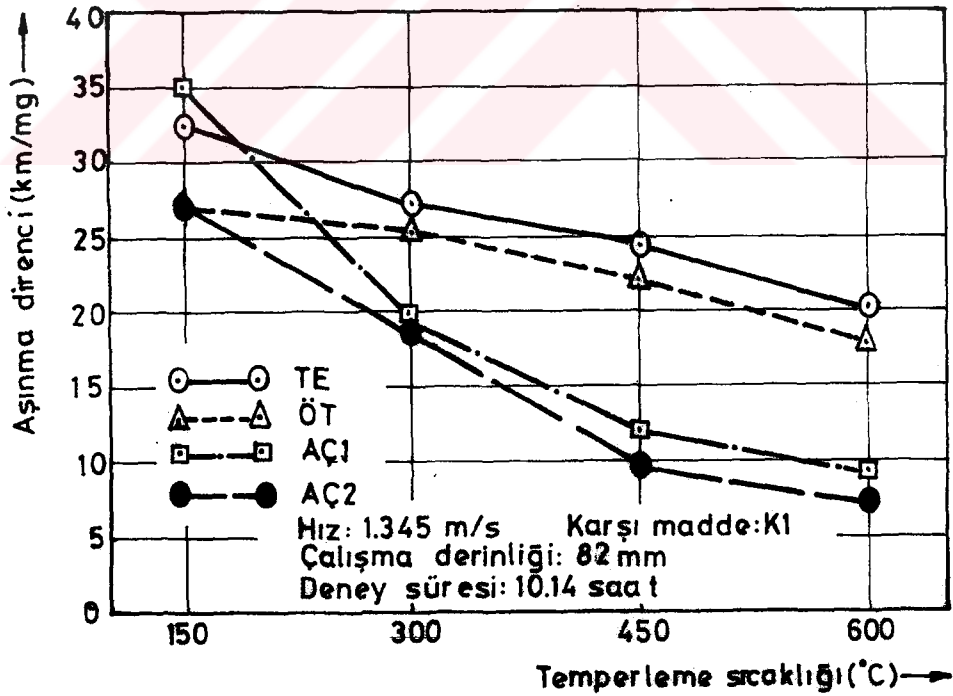


Şekil-5.12 : Deney malzemelerinde Temperlme sıcaklığı ile Sertliğin değişimi.

Deneylerde kullanılan çeşitli malzemelerde, temperleme sıcaklığı-aşınma direnci ilişkisi gözlenerek, aşınma direncinin temperleme sıcaklığındaki artışa bağlı olarak düştüğü tesbit edilmiştir.

150°C'de temperleme sonucu önemli bir iç yapı değişikliği olmadığından, bu sıcaklıktan daha yüksek sıcaklıklarda yapılan temperlemelerde, aşınma direnci, sertliğe bağımlılığını yavaş yavaş kaybetmekte ve malzeme iç yapısının bir fonksiyonu durumuna gelmektedir. Diğer malzeme karakteristikleri göz önüne alınmadan bir sürtünme elemanına uygulanan sertlik yükseltmesi, sistemin durumuna göre olumsuz etki yaparak aşınma miktarını arttırıcı olabilir [Habig'e atfen 18].

150°C'da temperlemede, sertlikleriyle orantılı aşınma direnci gösteren malzemelerin, daha yüksek sıcaklıklarda aşınma direnci, sertlikle orantılı düşmemektedir (Şekil-5.13). Temperleme sıcaklığına bağlı olarak en uniform aşınma direncini TE ve ÖT malzemeleri vermektedirler.



Şekil-5.13-Deney malzemelerinin temperleme sıcaklığı-aşınma direnci ilişkileri

### 5.8.2- Değişik Isıl İşlemlerin Aşınma Direncine Etkileri

Malzemelerin aşınma direncini etkileyen en önemli özellik sertliktir. Ancak sertlik, önemli bir özellik olmasına rağmen aşınma direnci, sadece sertlik artışıyla sağlanabilecek bir özellik değildir. Diğer taraftan artan sertlikle malzemelerin bazı özelliklerinde de kötüleşme görülür. Çalışma şartları, aşınmaya iyi bir direnç yanında, çentik darbe dayanımı, kopma uzaması gibi malzemeye bağlı bazı özelliklerin de iyi olmasını gerektirebilir. Özellikle toprak işleme aletleri iş organlarının aşınmaya ve darbeye dayanıklı olması gerekir. Bunun yanında iyi mukavemet özelliklerini bir arada gerektiren sistemler de mevcuttur.

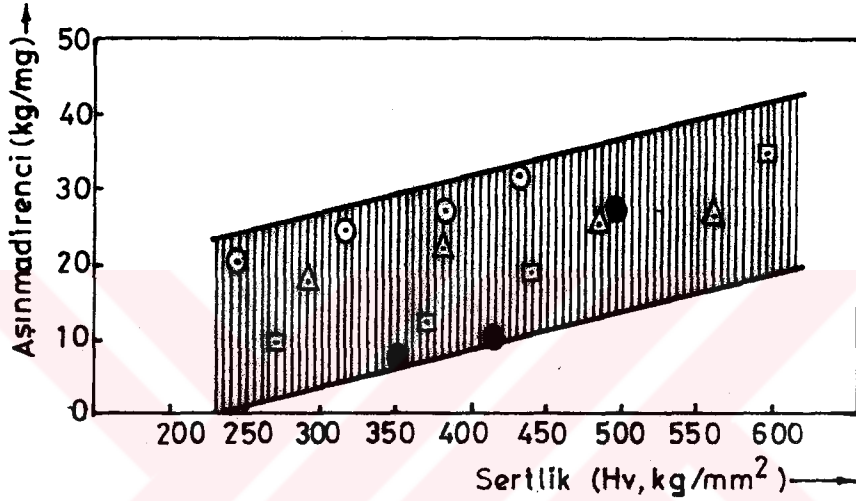
İşletme şartlarına mümkün olduğu kadar hakim olmak ve kontrol etmek verimli bir çalışma için gerekli ise de bazan mümkün olmayabilir. Böylesi durumlarda, malzeme özelliklerinin işletme şartlarına uydurulması gündeme gelmektedir. Bu hususta müracaat edilmesi gereken en ekonomik ve basit bir usul ısıl işlemdir. Isıl işlemlerle malzemelerin çoğu özellikleri istenilen yönde geliştirilebilir. Malzemelerin aşınma direncinin arttırılması, ısıl işlemlerle arttırılan sertlik ve diğer malzeme karakteristikleri ile sağlanmaktaysa da, aşınma olayının yüzeyden başlaması nedeniyle yüzey sertleştirme, kaplama gibi bazı işlemler, aşınma direncinin arttırılması gayesiyle bu gün çoğu sistemlerde uygulanan yöntemlerdir.

Aşınma direncini arttırıcı işlemlerin seçilip uygulanmasında işletme şartları dikkate alınmalıdır. Bu sebepten, toprak işleme aletleri iş organlarının gerektirdiği, yüzeyi sert ve aşınmaya dayanıklı, çekirdeği sünek ve darbeye dayanıklı malzemeler ancak yüzey sertleştirme ve kaplama işlemleriyle sağlanır. Bu gaye ile çalışmamızda, çeşitli yüzey sertleştirme yöntemi uygulanmış ve kaynakla kaplanmış numuneler denenecek aşınma dirençleri tesbit edilmiştir. Bunun yanında su verilmiş numuneler de deneye alınmıştır.

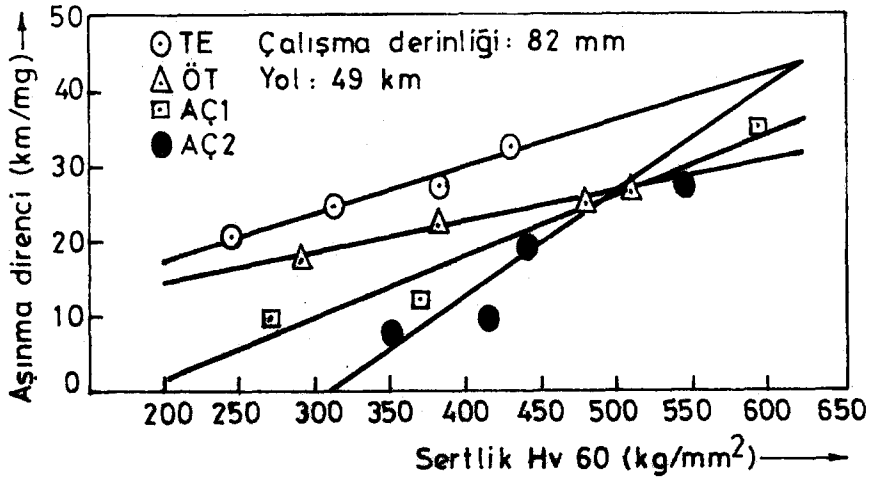
Çoğu araştırmacılar, sertlikle aşınma direnci arasında lineer bir ilişki bulmuşlardır (Bölüm 2). Saf metallerin aşınma direnci, ısıl işlem görmüş çeliklerin aşınma dirençlerine göre eğimi daha fazla olan bir doğru vermektedir.

Denediğimiz malzemelere ait sertlik-aşınma direnci ilişkisi yapılan istatistik analiz neticesinde denklemi ( $y = 0,051x + 0,723$ ), korelasyonu 0,583 ve istatistik güvenirliliği 0,34 olan ortak bir linear doğru vermiştir (Şekil-5.14).

Deneylelerimiz, ısıl işlem görmüş malzemelerde, abrasiv aşınma direnci-sertlik ilişkisi konusunda daha önce tesbit edilenlere benzer şekilde, aşınma direncinin, sertlikle linear olarak arttığını göstermiştir (Şekil-5.14,15).



Şekil-5.14-Deney malzemelerinin ortaklaşa verdikleri abrasiv aşınma direnci-sertlik ilişkisi



Şekil-5.15-Her bir deney malzemesinin abrasiv aşınma direnci-sertlik ilişkisi

Bu lineer ilişki, ( $y = ax + b$ ) denklemini; TE malzemesine göre 0,959, ÖT malzemesine göre 0,998, AÇ1 malzemesine göre 0,953 ve AÇ2 malzemesine göre de 0,875 istatistik güvenirlikle sağlamaktadır.

Çeşitli yüzey sertleştirme uygulanmış ve kaynakla kaplanmış numunelerle yaptığımız deneylerde, hız ve çalışma derinliğine bağlı olarak aşınma direnci değişimi tesbit edilmiştir. Tesbitlerimize göre, genel olarak ısıtılma işlem görmüş malzemelerde teğetsel hız arttıkça aşınma direnci azalmaktadır. Aşınma direncindeki bu azalma, ısıtılma işlem çeşidine ve sertliğe göre değişmektedir.

% 14 Mn'lı dolgu elektroduyla kaplanmış ve yaklaşık 400 Hv sertliği haiz AÇ3.1 malzemesi en yüksek aşınma direncini vermektedir. Burada, sertliği daha düşük bir malzemenin daha düşük hızlarda yüksek aşınma direnci vermesi dikkati çekmektedir. Kaplama yapılmış bu deney parçası ostenitiktir. Ostenit yapılar şekil değiştirme ile sertleşir. Ancak soğuk şekil değiştirme ile sertliğin arttırılması, aşınmaya dayanıklılığı arttırmada ısıtılma işlem kadar etkili olmamaktadır. Bu görüş paralelinde soğuk sertleştirilmiş alaşımların aşınmasının sertlikten bağımsız olduğu [23], Gürleyiğin [16,20], ifadesine göre  $CuBe_2$  alaşımının soğuk şekil değiştirme ile sertliği  $119 Kp/mm^2$ 'den  $400 Kp/mm^2$ 'ye çıkarıldığı halde aşınma direncinin artmadığı belirlenmiştir. Genel olarak deney parçası malzemesinin şekil değiştirme kabiliyetinin artışı ile aşınma direncinin de arttığı kaydedilmektedir. Bu yüzden bu malzemenin aşınma direncinin yüksek olması, sertlikten ziyade tokluk ve diğer mekanik özelliklerine bağlanmalıdır.

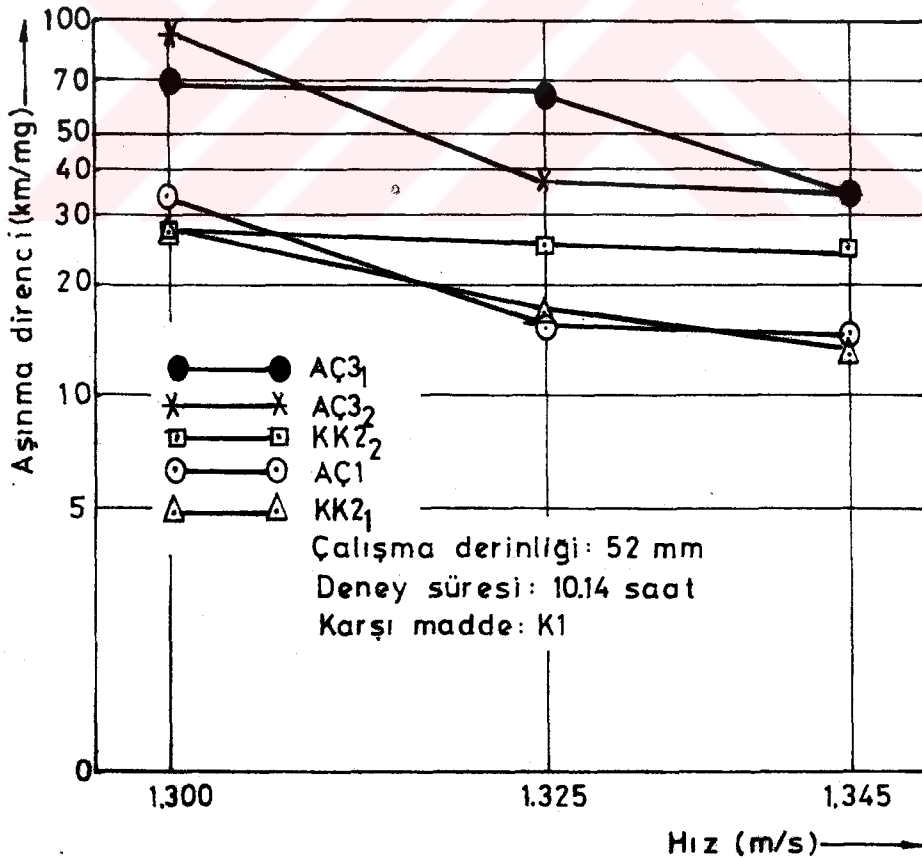
Yaklaşık aynı sertliğe sahip % 0,40 C'lu AÇ1 ve % 0,40 Clu semente edilmiş KK2.1 malzemelerinin aşınma dirençleri aynı olmaktadır. Ancak semente edilmiş malzemenin çekirdeğinin tokluğu nedeniyle darbelere karşı da dayanıklı oluşu, kullanma yönünden bu malzemeyi avantajlı duruma getirmektedir.

Endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş % 0,41 C'lu KK2.2 malzemesi, su verilmiş % 0,40 C'lu AÇ1, semente edilmiş % 0,41 C'lu KK2.1 malzemelerinden daha yüksek, manganlı elektrotla kaplanmış AÇ3.1 ve kromlu elektrotla kaplanmış AÇ3.2 malze-

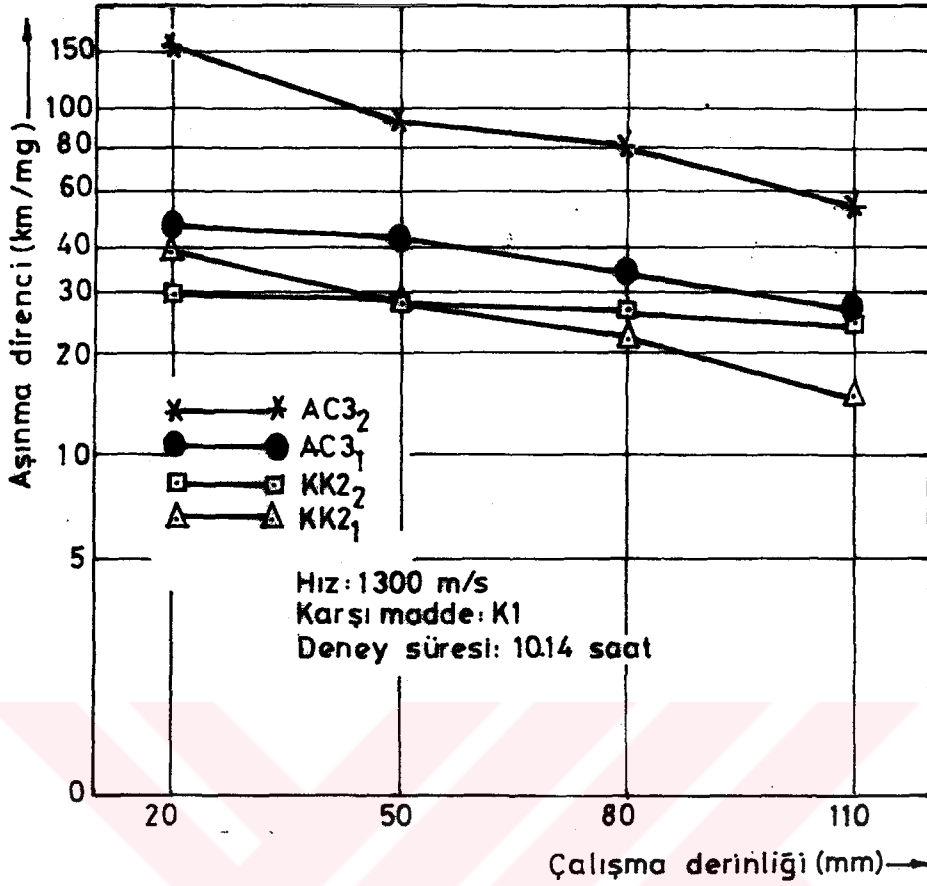
melerinden daha düşük aşınma direnci verirken artan hıza göre aşınma direncinde önemli bir değişme izlenmemektedir. Yine bu malzemenin çekirdeği toktur ve darbelere dayanıklıdır. AÇ3.2 malzemesinin aşınma direnci, yüksek hızlarda daha uniform olmakla beraber AÇ3.1 malzemesininkine yakındır.

Çalışma derinliğinin aşınma direncine etkisi, hızın etkisine benzer şekilde olmaktadır ve aynı malzemeler, çalışma derinliği artışıyla daha az aşınma direnci vermektedirler. Yani çalışma derinliğinin aşınma direnci üzerine etkisi, hıza göre daha fazla olmaktadır. Ancak Cr'lu elektrotla kaplanmış AÇ3.2 malzemesi, farklı çalışma derinliklerinde diğer malzemelere göre en yüksek aşınma direnci vermiştir (Şekil-5.17).

Hız, karşı madde, deney süresi gibi deney parametreleri sabit tutulduğu halde, çalışma derinliğine bağlı olarak, Mn'lı elektrotla kaplanmış AÇ3.1 malzemesi, AÇ3.2 malzemesinden daha düşük, diğerlerinden daha iyi aşınma direnci vermiştir.



Şekil-5.16-Farklı ısıl işlem görmüş çeliklerde teğetsel hıza bağlı olarak aşınma direncindeki değişme



Şekil-5.17-Farklı ısıl işlem görmüş çeşitli çeliklerde çalışma derinliğine bağlı olarak aşınma direncindeki değişme

En derin çalışma derinliğinde, Mn'lı elektrotla kaplanmış AÇ3.1 ve endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş KK2.2 malzemeleri yaklaşık aynı ve semente edilmiş KK2.1 malzemesinden yüksek, en düşük çalışma derinliğinde KK2.2 malzemesi düşük KK2.1 ve AÇ3.1 malzemeleri yaklaşık aynı aşınma direncine sahiptirler. 50 mm lik çalışma derinliğinde KK2.1 ve KK2.2 malzemeleri aynı aşınma direncini göstermişlerdir.

Netice olarak, çalışma derinliğindeki artma, bütün malzemelerde aşınma direncini azaltmakta ve fakat aynı sertliği haiz farklı ısıl işlem görmüş malzemeler farklı aşınma direnci vermektedirler. Endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş KK2.2 malzemesinin aşınma direnci, çalışma derinliği ile çok az etkilenmektedir.



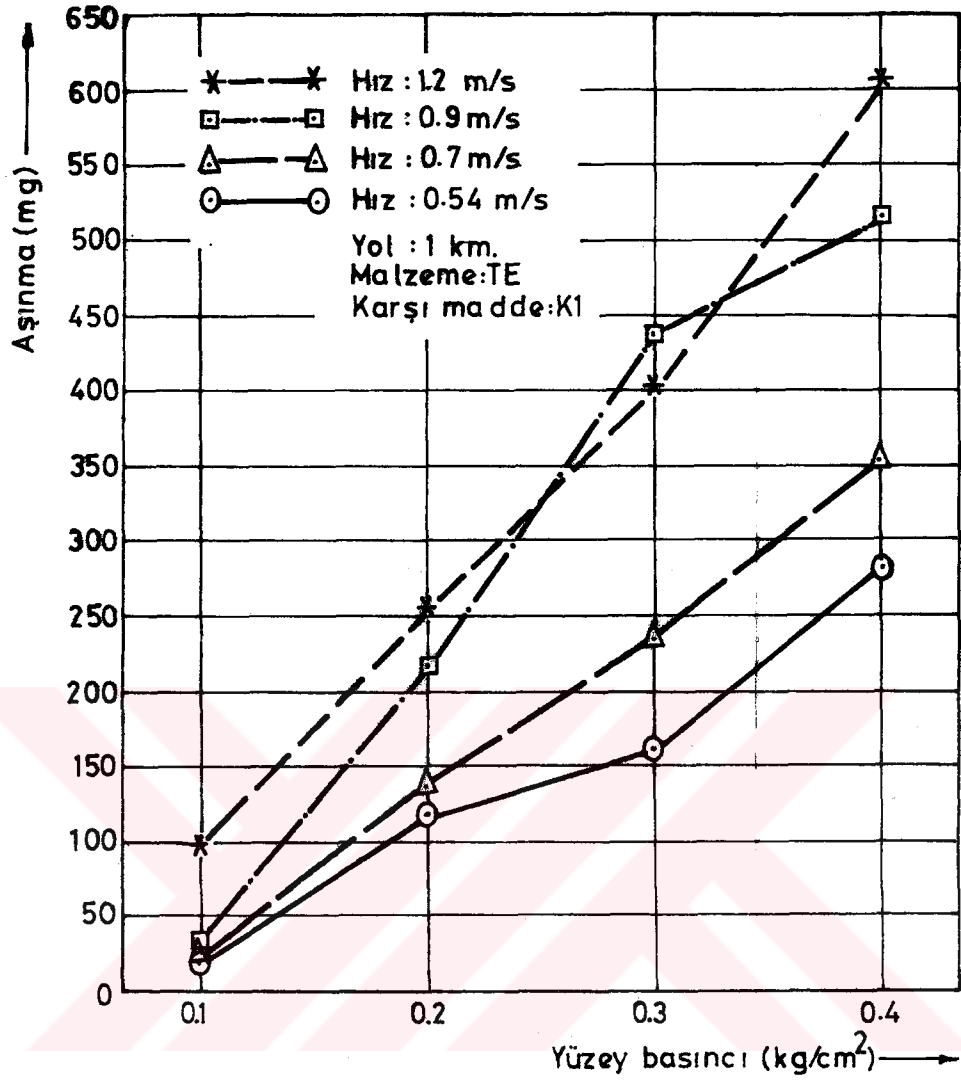
### 5.9- Yüzey Basıncının Aşınmaya Etkisi

İkinci kazanda sürdürülen çalışmalarda, karşı maddeyi yükleyerek numune yüzeyine bir basınç uygulaması gerçekleştirilmiştir (Şekil-4.3). Böylece işletmede karşılaşılan ve aşınma miktarını büyük ölçüde etkileyen iş organı-yüzey basıncı ilişkisi karakterize edilerek laboratuvara aktarılmış olmaktadır.

Yüzey basıncının aşınma miktarına etkisi incelenmiş ve basınçla aşınmanın önemli bir şekilde arttığı tesbit edilmiştir. Deney düzeneğine hareket veren motorun gücü dahilinde, kum, cebri olarak dört değişik hidrostatik basınçla yüklenmiş ve numune yüklenmiş kum taneleriyle sürtünerek çalışmıştır. Kum tanelerinin aşındırıcı özelliğini kaybetmesi endişesiyle hem deney süresi kısa tutulmuş ve hem de kum, aynı deney periyodu içinde zaman zaman karıştırılarak numunenin yeni tanelerle çalışması sağlanmıştır. Böylece çalışılan bütün hız ve basınçlarda şartların aynı kalmasına gayret edilmiştir.

Numuneler, % 0,36 C'lu TE malzemesinden deney şartlarına uygun olarak hazırlanmıştır (Şekil-4.6.c).

Deney neticelerine göre yüzey basıncı arttıkça aşınma miktarı da artmaktadır. Aynı basınçta hızın artması aşınmayı da arttırmaktadır (Şekil-5.18).



Şekil-5.18-Farklı hızlarda yüzey basıncının abrasiv aşınma miktarına etkisi

## BÖLÜM VI

### SONUÇLAR VE ÖNERİLER

#### 6.1- Sonuçlar

Eskiden beri sürdürüleğelen aşınmayı azaltma çalışmaları, günümüzde daha da hızlanarak artmıştır. Olayın kompleks oluşu ve çalışmaların sayıca yetersizliği nedeniyle konuya sistematik bir çözüm getirilememiştir. Bunun paralelinde her sistemin kendine has aşınma özelliği arzemesi konunun daha da ağırlaşmasına neden olmaktadır.

Teknik yönden olduğu kadar ekonomik yönden de büyük kayıpların sebebi sayılması gereken aşınma, tekniğin gelişmesiyle önemi gittikçe artan bir problem olma özelliğini sürdürmektedir. Tarım, sanayi ve diğer bütün iş kollarında ekonomik kayıpların yanı sıra malzemelerin uğradığı hasar neticesi (Bu hasarların çoğuna aşınma sebep olmaktadır) can ve mal kayıplarıyla sonuçlanan hadiseler cereyan etmektedir. Dolayısıyla aşınma, iş güvenliği açısından da son derece önemli bir problemdir.

DeneySEL çalışmalarımızın ortaya koyduğu neticeleri şöyle özetleyebiliriz;

- 1- Farklı bileşimde ve farklı ısıll işlem görmüş çeliklerin aşınmaya dayanıklılıkları farklı olmaktadır. Genel olarak çeliğin sertliğinin arttırılması, aşınmayı azaltıcı yönde etkili olmaktadır.

- Bunun yanı sıra sertliği çok yüksek olmadığı halde(400 Hv), manganlı ostenitik sert çelik çok iyi bir aşınma direnci göstermektedir.
- 2-Uygulanan çeşitli ısıt işlemler sonucunda,çelikler,farklı aşınma direnci göstermektedirler.En yüksek aşınma direncini endüksiyonla yüzeyi sertleştirilmiş çelikler göstermektedir.
  - 3-Denenen her tür çelikte,teğetsel hızın artışına paralel olarak aşınma da artmaktadır.Fakat artış hızı malzemenen malzeme farklılık göstermektedir.Sertliğin artmasıyla,teğetsel hızla şiddetlenen aşınmanın artması,daha az olmaktadır.
  - 4-Çalışma derinliğinin artması,aşınma miktarını arttırmakta ve bu artış exponansiyel bir karakter göstermektedir.Çalışma derinliğine paralel olarak hızın da artması aşınmayı şiddetlendirmektedir.
  - 5-Toprak içindeki sert tane miktar ve büyüklüğünün aşınma üzerine büyük bir etkisi vardır.Sert tanelerin ortalama çapı arttıkça aşınma da hızlı bir şekilde artmaktadır.
  - 6-Sert tanelerin aralarında bağlayıcı olarak toprak bulunması halinde aşınma;sadece sert tanelerden meydana gelmiş bir aşındırma ortamına göre daha şiddetli olmaktadır.Örneğin, kumlu toprak,sade dere kumundan daha fazla aşınma meydana getirmektedir.
  - 7-Aşındırılan malzemenin yüzey pürüzlülüğü,aşınmayı büyük oranda etkilemektedir.Pürüzlülüğün artması aşınmayı da şiddetli olarak arttırmaktadır.
  - 8-Topraktaki nem miktarı,başlangıçta toprağın bağlayıcılık özelliğini arttırdığından aşınmayı arttırıcı yönde etkilemektedir.Nem miktarının belli bir değerden artmasıyla,toprağın bağlayıcılığı azalmakta ve nemin yağlama etkisi de kendini gösterdiğinden aşınma şiddetle azalmaktadır.Örneğin deneylerimizde kullandığımız toprak cinsinde bu sınır % 14 nem miktarı olarak tesbit edilmiştir.
  - 9-Abrasiv ortamın,malzeme üzerine uyguladığı basıncın artması aşınmayı şiddetle arttırmaktadır.Basınçla aşınma miktarı arasında lineer bir bağıntı mevcuttur.

## 6.2- Öneriler

Bu çalışmayla elde edilen sonuçlardan anlaşılacağı üzere, aşınmayı minimuma indirme çalışmalarına ağırlık verilmeli ve yurdumuzda abrasiv aşınma problemi olan, T.K.İ., D.S.İ., T.C.K., Y.S.E. gibi büyük kuruluşlar yanında, Çimento, kireç, seramik, tuğla, madencilik, inşaat ve tarım sektöründe hizmet veren özel veya devlet kuruluşlarının, bu konuda karşılaştıkları problemlerin halli yönünde araştırmalar yönlendirilmelidir.

Araştırmalardan elde edilen sonuçların pratiğe uygulanabilirliği oranında faydalı olacağı kanaatindeyiz. Bu bakımdan araştırmaların pratiğe yönelik ve uygulanabilir bir şekilde planlanması, memleketimiz açısından çok daha yararlı sonuçlar verecektir. Ancak, araştırmacı sanayinin problemini öğrenmekte güçlük çekerken, imalatçı kullandığı malzeme hakkında çok az bilgiye sahiptir. Bu yüzden, araştırmacı, çelik üreticisi, imalatçı ve kullanıcı arasında bir diyalog sağlanmalıdır. Bu diyalog, seminer, konferans veya bölge üniversiteleri-sanayi işbirliği yoluyla sağlanabilir.

Pulluk uç demirlerinin imalatında kullanılabilecek ideal bir malzeme önermek mümkün değildir. Ancak çalışma şartlarına en uygun malzemenin bazı işlemlerden sonra elde edilebileceği unutulmamalıdır. Bu işlemlerin başında ısıtma işlemleri gelmektedir. Bir malzemenin ısıtma işlem kapasitesinden en iyi şekilde yararlanarak, malzemeye, istenilen doğrultuda özellik kazandırmak gerekir. Türk imalatçısı bu teknik bilgiden yoksundur. Dolayısıyla imalatçının bu konuda eğitilmesi şarttır.

Deney sonuçlarımıza göre, pulluk uç demirlerinin imalatında, yurdumuzda bol miktarda üretilen Ç 1040 çeliği kullanılmalıdır. Bu çeliğin şekillendirme gücü olmamakla beraber, su verme yoluyla sertleştirildiğinde darbeye dayanımı azalmaktadır. Bu yüzden, maliyeti biraz arttırmasına rağmen kaynakla kaplanması veya yüzeyinin endüksiyonla sertleştirilmesi, hem aşınma direnci ve hemde darbe dayanımı açısından daha uygun malzeme durumuna getirmektedir. Ekonomi açısından imalatta endüksiyon ile yüzey sertleştirme, tamirde ise sert elektrotlarla doldurma uygun olacaktır. Kaynakla doldurmada, aşınmaya dayanıklı

manganlı elektrotların kullanılması gerekmektedir.Önemli işçilik ve yatırım gerektirmeyen bu hususu, imalatçı rahatça uygulayabilir. Buna karşılık birim maliyet yüksek olacaktır.

Endüksiyonla yüzey sertleştirmede ilk yatırım masraflarının fazla olması dolayısıyla, bu konuda öncülüğü devletin yapması yerinde olacaktır. Ayrıca memleket ekonomisi açısından, gerekli makina parkına sahip olmayan atölyelerin imalatına mani olunmalıdır.

Yüzey işleme kalitesi mümkün olduğunca iyi ve pürüzsüz olmalıdır.

Kullanıcıya düşen görevler ise basit olmasına rağmen toprak ve tarım bilgisini gerektirmektedir. Çiftçi pulluğunu gereğinden fazla derine daldırmamalı ve uygun çalışma hızını seçmelidir. İşleyeceği toprağın nem oranını iyi tahmin etmeli ve sürme en uygun zamanı kollamalıdır. Yetiştireceği bitki için, sürme derinliği, nem oranı gibi bilgileri öğrenmeli yarar yerine zarar getirecek aşırılığa kaçmamalıdır.

Bu çalışma ile bulunan sonuçlara uygun şekilde imal edilmiş toprak işleme aletleri iş organları, ülkemizde ziraat mühendisliği eğitimi yapan kurumların deneme tarlalarında deneyerek, optimum uç organı şekli, malzemesi ve imal yönteminin belirlenmesi ülke ekonomisi açısından çok faydalı olacaktır.

## DENEL SONUÇ TABLOLARI

NUMUNENİN			DENEY ŞARTLARI			NUMUNENİN			DENEY ŞARTLARI			Aşınma
Deneysel Kodu	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Yol (Km)	Karşı Madde No	Aşınma (mg)	Deneysel Kodu	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Yol (Km)	Karşı Madde No	Aşınma (mg)	
AÇ 27		17			0,3	AÇ 17	1,215	52	49,032	K 2	3,3	
22	1,170	52	47,216		0,4	6	1,170	82	47,216		9,2	
31		82			0,8	5	1,200	106	48,386	K 3	12,6	
25		106			1,1	7	1,215	52	49,032		4,2	
21		17			0,9	16	1,170	82	47,216		16,8	
19	1,200	52	48,386	K 1	1,1	15	1,200	106	48,386	T 1	53,4	
24		82			1,3	17	1,215	52	49,032		3,8	
29		106			1,7	3	1,170	82	47,216		7,2	
26		17			1,2	2	1,200	106	48,386	T 2	42,7	
33	1,215	52	49,032		1,5	4	1,215	52	49,032		4,0	
23		82			1,8	6	1,170	82	47,216		2,2	
28		106			2,0	5	1,200	106	48,386	T 3	5,7	
16	1,170	82	47,216	K 2	6,0	7	1,215	52	49,032		1,1	
12	1,200	106	48,386		11,9							

Deneysel Sabitleri: Numuneler Hadde Çıkışı, Deneysel Süresi 11,21 saat



DENEY ŞARTLARI					DENEY ŞARTLARI						
Numune	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Isıl İşlem Durumu	Yol (Km)	Aşınma (mg)	Numune	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Isıl İşlem Durumu	Yol (Km)	Aşınma (mg)
TE 1		82		49	2,4	KK1.3	1,345	52	S	49	8,3
2		82		49	2,0	5	1,325	52	E	48,38	6,2
3		82		49	1,8	6		82	M	47,2	6,3
5		82		49	1,5	7	1,300	17	E	47,2	3,8
ÖT 1		82		49	2,7	8		106	N	47,2	9,5
2		82	S	49	2,2	9		52	T	47,2	4,9
3	1,345	82	U	49	1,9	KK2.3	1,345	52	A	49	3,6
4		82		49	1,8	5	1,300	52	S	47,2	1,7
AÇ1.8		82	V	49	5,2	6	1,325	52	Y	48,38	2,8
9		52	E	49	3,4	7		82	O	47,2	2,1
10		82	R	49	4,0	8	1,300	106	N	47,2	3,1
11		82	M	49	2,5	9		17		47,2	1,2
12		82	E	49	1,4	KK2.10		82		47,2	1,8
13	1,325	52		48,38	3,1	11	1,300	17	E	47,2	1,6
9	1,300	52		47,2	1,4	13		52	Ü	47,2	1,7
AÇ2 1		82		49	6,6	14		106	K	47,2	2,0
2	1,345	82		49	5,1	12	1,325	52	S	48,38	1,9
4		82		49	1,8	16	1,345	52	Y	49	2,0
6		82		49	2,6				O		

DeneY Sabitleri: DeneY Süresi,10,14 saat,Karşı Madde K1

DENEY ŞARTLARI					DENEY ŞARTLARI						
Numune Denei Kodu	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Isıl İşlem Durumu	Yol (Km)	Aşınma (mg)	Numune Denei Kodu	Hız (m/s)	Çalışma Derinliği (mm)	Yüzey Pürüzlülüğü (µ m)	Yol (Km)	Aşınma (mg)
AÇ3.1 1	1,345	52	K A Y N A K	49	1,4	KK2 46	1,348	52	7,2	48,042	1,3
2	1,325	52		48,38	1,2	47	1,315	52		46,866	0,7
3		17		47,2	1,0	48		17		48,684	1,0
4	1,300	52		47,2	1,1	49	1,366	52		48,684	1,4
5		82		47,2	1,4	50		82		48,684	1,5
6		106		47,2	1,8	51		106		48,684	1,6
AÇ3.2 8	1,345	52	K A P L A M A	49	1,4	39	1,348	52	8	48,042	1,3
9	1,325	52		48,38	1,3	40	1,315	52		46,866	1,2
10		17		47,2	0,3	41		17		48,684	1,1
11	1,300	52		47,2	0,5	42	1,366	52		48,684	1,5
12		82		47,2	0,6	43		82		48,684	2,0
13		106		47,2	0,9	44		106		48,684	2,7
						19	1,348	52	19,7	48,042	1,6
						20	1,315	52		46,866	1,3
						18		17		48,684	1,2
						22	1,366	52		48,684	1,9
						23		82		48,684	2,3
						24		106		48,684	3,4

Denei Sabitleri: Denei Süresi, 10,14 saat  
Karşı Madde KI

Denei Sabitleri: Denei Süresi, 9,9 saat

Yol (Km)	Hız (m/s)	N E M O R A N I ( % )								
		4	6	8	10	12	14	16	18	20
		A Ş I N M A ( m g )								
26,98	1,315	32,0	34,1	33,0	56,0	59,0	66,8	63,0	48,3	14,8
27,66	1,348	34,8	44,0	59,0	62,0	63,1	77,0	65,1	41,8	23,0
28,03	1,366	66,9	69,2	77,1	103,8	110,5	127,9	103,0	72,0	18,1

Deneş Sabitleri: Deneş Süresi; 5,7 saat, Çalışma derinliği; 82 mm, Karşı madde; T2, Malzeme; AÇ1

Basınç (Kg/cm <sup>2</sup> )	D E V İ R ( d / d )			
	90	115	150	200
	A Ş I N M A ( m g )			
0,1	19,0	25,0	35,2	97,3
0,2	115,7	140,6	216,7	255,2
0,3	159,8	236,3	437,9	401,7
0,4	281,5	357,6	516,9	607,4

Deneş Sabitleri: Yol; 1 km, Karşı Madde; K1  
Malzeme; TE

## K A Y N A K L A R

- 1- E.Ulusoy, "Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinalarında İş Organlarının Aşınması Üzerinde Araştırmalar", E.Ü.Z.F. Doçentlik Tezi, İzmir, (1977).
- 2- S.Bahadur, "Wear Research and Development", Journal of Lubrication Technology Series F of the ASME Transactions, V.100 A 4, 449-454 (1978).
- 3- K.G.Mauritz, "Abrasion Protection, Slide Promotion, Plastic System Components", Kalenborn-Handbook, West Germany, (1979).
- 4- H.Eschnauer, "Hard Material Powders and Hard Alloy Powders for Plasma Surface Coating", Thin Solid Films 73, 1-17 (1980).
- 5- M.İ.Saygılı, "Türkiye'de Tarımsal Mekanizasyon", İ.T.Ü. Makina Fakültesi Araştırma ve İnceleme Yayınları, Yayın No:6, İstanbul, 1979.
- 6- E.Mutaf, R.Uçucu, "Tarımsal Mekanizasyon", E.Ü.Z.F. Ders Notları, No:4-11, İzmir, 1980, Bölüm 6.
- 7- Y.Özemer, "Minimum Toprak İşleme", Ziraat Tekniğinin Esasları, Zi.M.M.A.M.-İ.T.Ü., Sayı 3, 33-36, İstanbul, 1971.
- 8- N.Sungur, "Tarım Makinaları İşletme Tekniği", E.Ü.Z.F. Yayın No: 215, İzmir, 1974, Bölüm 3-11.
- 9- D.P.T.Müsteşarlığı, "Tarım Alet ve Makinaları Genel Araştırması", Cilt: I, II, İstanbul, 1973.
- 10- S.Kadayıfçılar, G.Yavuzcan, "Ziraat Makinaları İşletmeciliği", Cilt: I, A.Ü.Z.F. Yayın No:364, Ankara, 1969.
- 11- D.İ.E., "İmalat Sanayi, 1980(IV) - 1981(IV)", Ankara, 1982.
- 12- D.İ.E., "Tarımsal Yapı ve Üretim 1980", Yayın No:985 Ankara, 1982.
- 13- G.Harzadın, "Orta Anadolu'da Mekanize Olmuş İşletmelerde Buğday Üretiminde İş İhtiyacı ve İşlemlerin Yapılma Masrafları Üzerinde Bir Araştırma", A.Ü.Z.F. Yayın No:534, Ankara, 1973.

- 14- D.İ.E., "1983 Türkiye İstatistik Yıllığı", Yayın No:1040 Ankara, 1983.
- 15- E.Mutaf, E.Ulusoy, "Toprak İşleme Aletlerinin İş Organlarında Kullanılan Bazı Çeliklerin Farklı Isıl İşlemlere göre Laboratuvar ve Tarla Şartlarında Aşınma Dirençleri", T.B.T.A.K., T.O.A.G. Serisi 61, Ankara, (1977).
- 16- M.Y.Gürleyik, "Metallerin ve Metal Olmayan Sert Malzemelerin Taneli Maddeler Tarafından Sürtünerek Aşındırılması", Mühendis ve Makina, Cilt:19, Sayı:217, Ankara (1975).
- 17- M.Gediktaş, "Sürtünme ve Aşınma", İ.T.Ü.Dergisi, Cilt:28, Sayı:3, İstanbul, (1970).
- 18- A.H.Demirci, "Otektoidaltı Alaşimsız Çeliklerin, Yeni İmal Edilen Bir Sürtünme-Aşınma Deney Standında, Isıl İşlemlere Bağlı Olarak Aşınma Davranışlarının İncelenmesi ve Optimizasyonu", E.Ü.M.F., Doçentlik Tezi, İzmir, (1982).
- 19- M.Y.Gürleyik, "Aşınmanın Azaltılabilmesi için Soğuk Deformasyondan Yararlanma", K.T.Ü. Trabzon, (1978).
- 20- M.Y.Gürleyik, "Geteitverschleiss-Untersuchungen An Metallen und Nichtmetallischen Hartstoffen Unter Wirkung Körniger Gegenstoffe", Ph.D.Thesiss, Stuttgart, (1967).
- 21- M.Y.Gürleyik, "Hasar Bilgisi", K.T.Ü. Yayın No:3, Trabzon 1976, Bölüm 4.
- 22- M.Akkurt, "Makina Konstrüksiyonunda Güvenirliğin Esasları", M.M.O. Yayın No:106, İstanbul, 1977 (116-149).
- 23- E.F.Finkın, "What Happens When Parts Wear", Machine Desing, March 19, 149-154 (1970).
- 24- U.Uetz, J.Föhl, "Wear as an Energy Transformation Process", Wear 49, 253-264 (1978).
- 25- M.Gediktaş, "Sürtünme ve Sürtünme Katsayısı", İ.T.Ü.Dergisi Cilt:29, Sayı:2, İstanbul (1971).
- 26- I.V.Kragelsky, N.B.Demkin, "Contact Area of Rough Surfaces" Wear 3, 170-187 (1960).

- 27- M.Akkurt, "The Reliability of Machine Elements Due to Wear", İ.T.Ü.Dergisi, Cilt:30, Sayı:2, 111-127, İstanbul (1977).
- 28- P.L.Hurricks, "Some Metallurgical Factors Controlling the Adhesive and abrasive Wear Resistance of Steels a Review", Wear 26, 285-304 (1973).
- 29- B.Oğuz, "Dolgu Kaynağı El Kitabı", Oerlikon, İstanbul, 1976 25-67.
- 30- A.D.Sarkar, "Wear of Metals", Pergamon Int.Library, Pergamon Press Oxford, 1976 Chapter 25.
- 31- A.Bos, "A Contribution to the Theory of Wear-The Abrasive Wear of a Soft Surface Against a Rough Hard Surface", Wear 50, 127-144 (1978).
- 32- M.A.Moore, "A Review of Two-Body Abrasive Wear", Wear 27, 1-17 (1974).
- 33- M.M.Khrushov, "Principle of Abrasive Wear", Wear 28, 69-88 (1974).
- 34- T.Hisakado, "The Influence of Surface Roughness on Abrasive Wear", Wear 4, 179-190 (1976).
- 35- C.Ludema Kenneth, "Classes of Wear", Industrial and Engineering Chemistry Product Research and Development, Vol.19, No:3, 335-337 (1980).
- 36- S.Sailer, "Wear Measurement with Radionuclides", Metal Progress Vol.119, 64-67 (1981).
- 37- G.Stähli, H.Beutler, "Evaluating Wearing Performance under Abrasive and Adhesive Sliding by Means of Model Test", Sulzer Technical Review Vol.58, 33-40 (1976).
- 38- H.Krause, C.Hammel, "Wear of Materials", The International Conference on Wear of Materials", Reston, Virginia 1983, page 11-14.
- 39- M.A.Moore, "The Relationship Between The Abrasive Wear Resistance, Hardness and Microstructure of Ferritic Materials", Wear 28, 59-68 (1974).

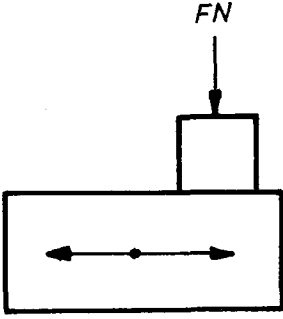
- 40- A.A.Soroko Novitskala, "Friction and Wear in Machinery",  
The American Society of Mechanical Engineering  
Vol. 13, 3-16(1959).
- 41- P.J.Mutton, J.D.Watson, "Some Effects of Microstructure  
on the Abrasion Resistance of Metals", Wear 48,385-398  
(1978).
- 42- K.Vijh Ashok, "The influence of Solid State Cohesion of  
Metals and Non-Metals on the Magnitude of Their Abrasi-  
ve Wear Resistance", Wear 35, 205-209 (1975).
- 43- V.R.Howes, "A Measurement of Surface Resistance to Damage",  
Wear 39, 123-131 (1976).
- 44- W.Dawihl, G.Altmayer, "Grundlagen Des Verschleisses Hoch-  
harter Werkstoffe", Wear 32, 291-308 (1975).
- 45- H.T.Angus, "The Significance of Hardness", Wear 54,33-78  
(1979).
- 46- M.A.Moore, "Abrasive Wear by Soil", Tribology Internati-  
onal, Vol.8, NO:3, 105-110 (1975).
- 47- R.C.D.Richardson, "The Wear of Metal Shares in Agricultu-  
ral Soils", Ph.D.Thesis, London, 1969.
- 48- S.Jahanmır, E.P.Abrahamson II and N.P.Suh, "Sliding Wear  
Resistance of Metallic Coated Surfaces", Wear 40,75-84  
(1976).
- 49- E.P.Cashon, "Wear Resistant Coating Applied by the Deto-  
nation Gun", Tribology İnt.Vol.8, No:3,111-115 (1975).
- 50- M.S.Kantarıcı, "Toprak İşleme Aletlerinde Aşınma", İ.T.Ü.  
Makina Fakültesi Doktora Tezi, İstanbul, 1982.
- 51- J.Halling, "A Contribution to the theory of Mechanical  
Wear", Wear 34, 239-249 (1975).
- 52- K.A.Nurı, "The Contact Behaviour of Surfaces of Small No-  
minal Area", Wear 57, 255-262 (1979).
- 53- P.H.Osanna, "Surfaces Roughness and Size Tolerance", Wear  
57, 227-236 (1979).
- 54- Türkiye Sınai Kalkınma Bankası A.Ş., "Tarıma Dayalı Sana-  
yinin Finansman Sorunu", Rapor,Ankara,1983



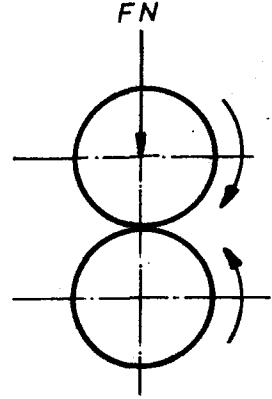
- 55- A.H.Demirci, "Untersuchungen Über Bevorzugte Kristallorientierung(textur) Unter Berücksichtigung der Gesamtheit Werkstofflicher Veränderungen in den Grenzschichten eines Metallischen Wälzsystems", Ph.D.Thesis, Dezember 1977.
- 56- Y.Lakhtin, "Engineering Physical Metallurgy", Translated from the Russian by Nicholas Weinstein, Mirpublishers Moscow, 1977, Chapter 3.
- 57- I.I.Muchanov, "Verfestigung und Fertigbearbeitung von Stahl und Gusseisen durch Ultraschall", Draht, Coburg, 22 Nr. 3, 132-134 (1971).
- 58- S.W.Date, S.Malkin, "Effect of Grit Size on Abrasion with Coated Abrasives", Wear 40, 223-235 (1976).
- 59- H.Sin, N.Saka, N.P.Suh, "Abrasive Wear Mechanisms and the Grit Size Effect", Wear 55, 163-190 (1979).
- 60- J.D.Huffington, "Abrasion Groove Sizes and Shapes in Relation to the Mechanism of Abrasion", Wear 43, 327-337 (1978).
- 61- J.Goddard, H.Wilman, "A Theory of Friction and Wear during the Abrasion of Metals", Wear 5, 114-135 (1962).
- 62- JR.L.F.Coffin, "Some Metallurgical Aspects of Friction and Wear", Friction and Wear of Material, Robert Davies Editör, (36-64), Newyork, 1965.
- 63- K.V.Ashok, "Comparative Tendencies for Metal Loss by Abrasive Wear, Impact Erosion and Arc Erosion", Wear 49 141- 144 (1978).
- 64- O.Pigors, "Abrasiveverschleissverhalten von Stählen Bei Gleit-und Wälzbewegungen", Schmierungstechnik 10, 270-272 (1979).
- 65- D.E.Gücer, "Fiziksel Metallurjinin Esasları", İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 872, İstanbul 1972, Bölüm 6, 9.
- 66- T.S.E., "TS 1137 Uç Demirleri (Kulaklı Traktör Pullukları İçin)", Ankara, 1972.
- 67- T.Kurtay, "Toprağın Nemi ve Kohezyonu Arasındaki Bağıntı", Ziraat Tekniğinin Esasları, Zi.M.M.A.M.- İ.T.Ü., Sayı 3, 120-125, İstanbul, 1971.

## 1-Çeşitli Metal/Metal Aşınma Deney Düzenekleri Prensipleri

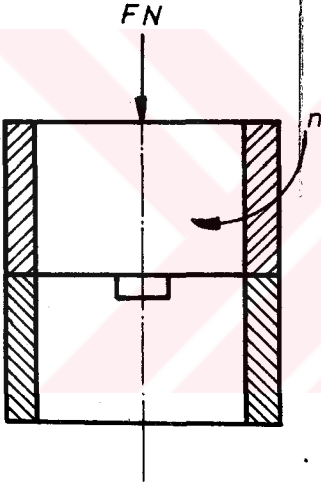
[18,19].



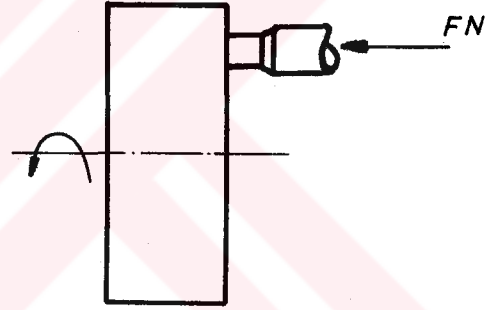
a-Kayma Sistemi



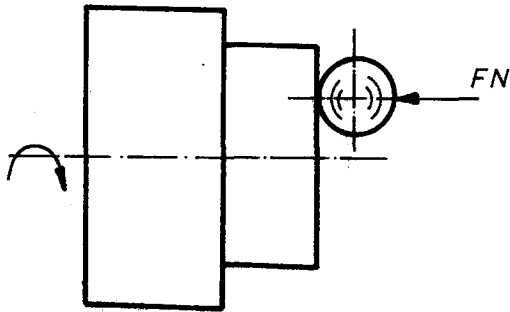
b-Yuvarlanma Sistemi (İki Disk)



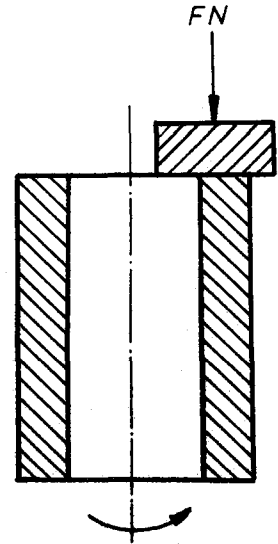
c-Siebel-Kehl Sistemi



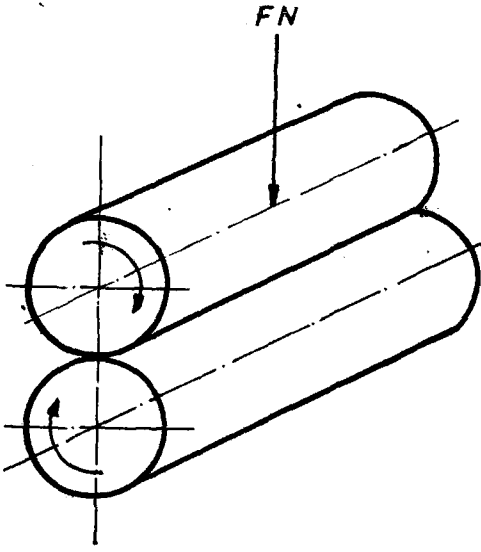
d-Pim-Disk Sistemi



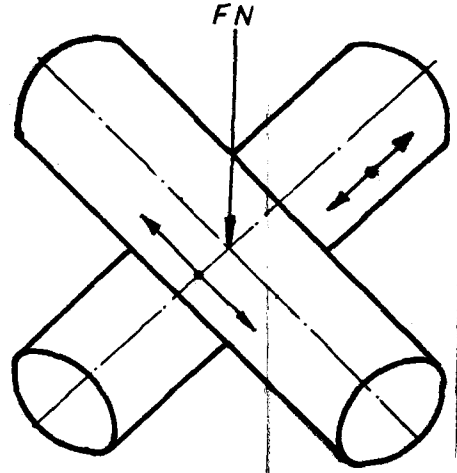
e-Bilye-Disk Sistemi



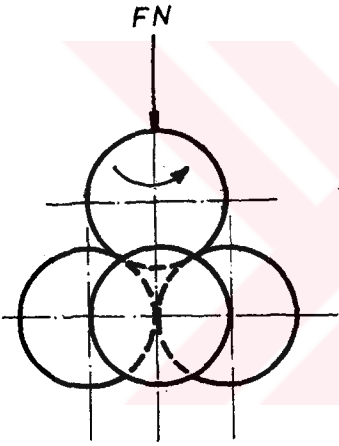
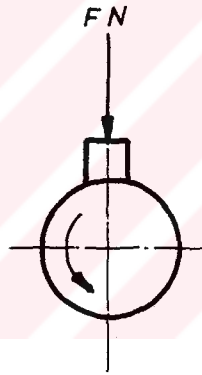
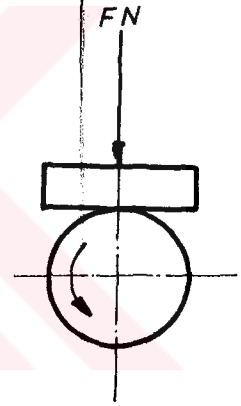
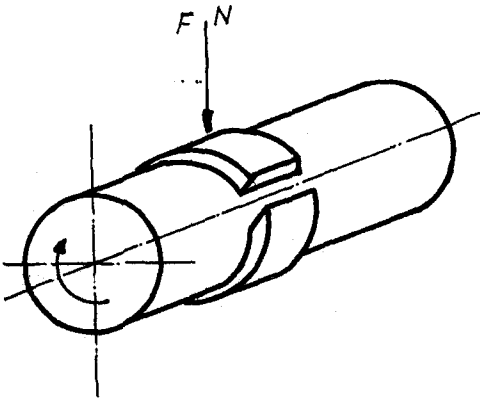
f-Değiştirilmiş Siebel-Kehl Sistemi



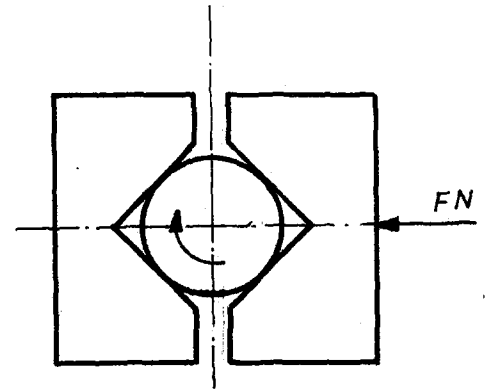
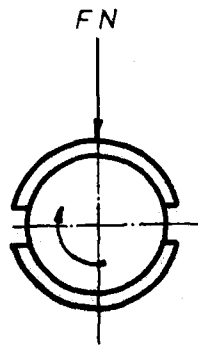
g-Amsler Sistemi



h-Çapraz Silindir Sistemi

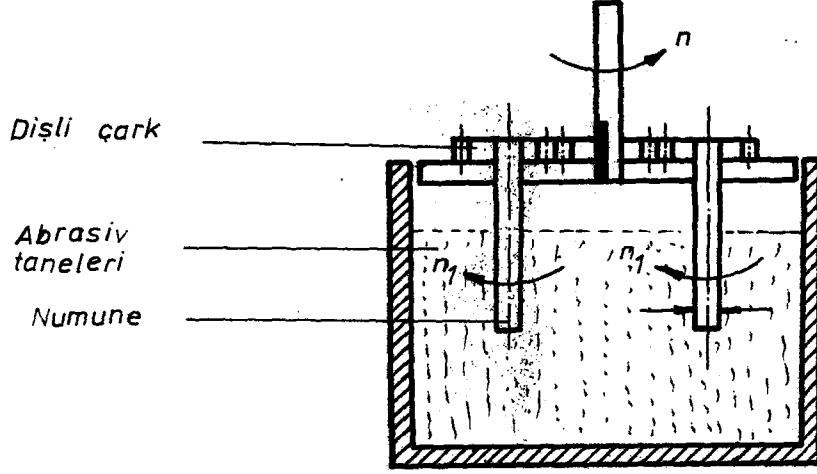
i-Dört Küre  
Sistemii-Pim-Silindir  
Sistemik-Plaka-Silindir  
Sistemi

l-Almen-Wieland Sistemi

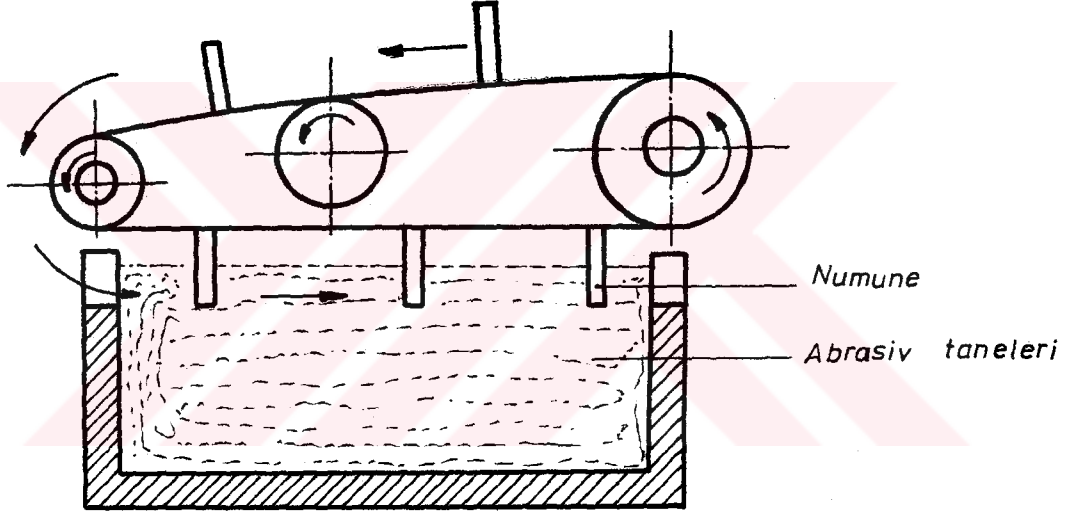


m-Flax Testi

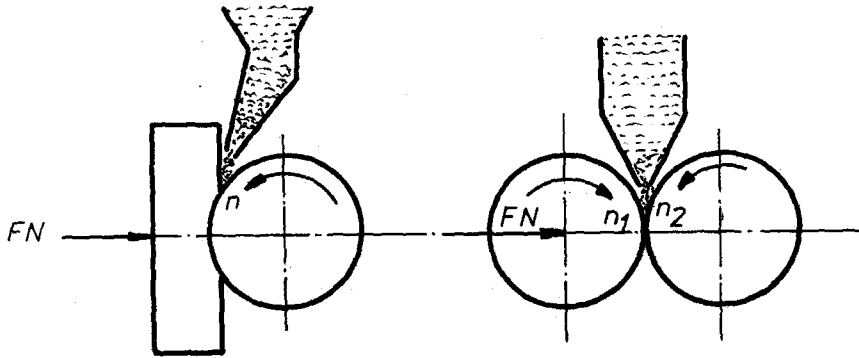
2-Çeşitli Abrasiv Aşınma Deney Düzenekleri Prensip Şekilleri  
[1,5,9,10,23,27,31,33,40,48,53].



a- Aşındırma Kabı

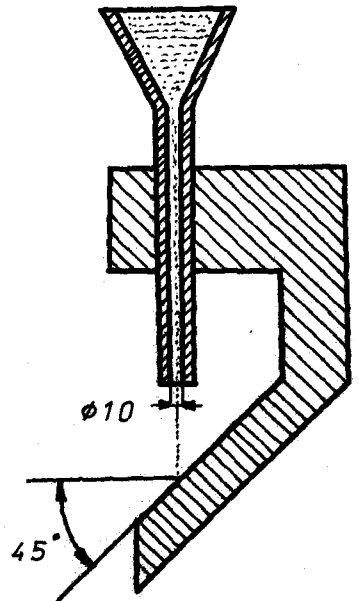


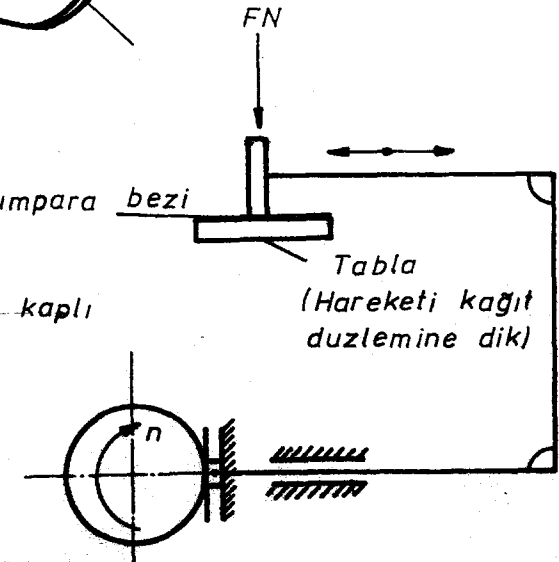
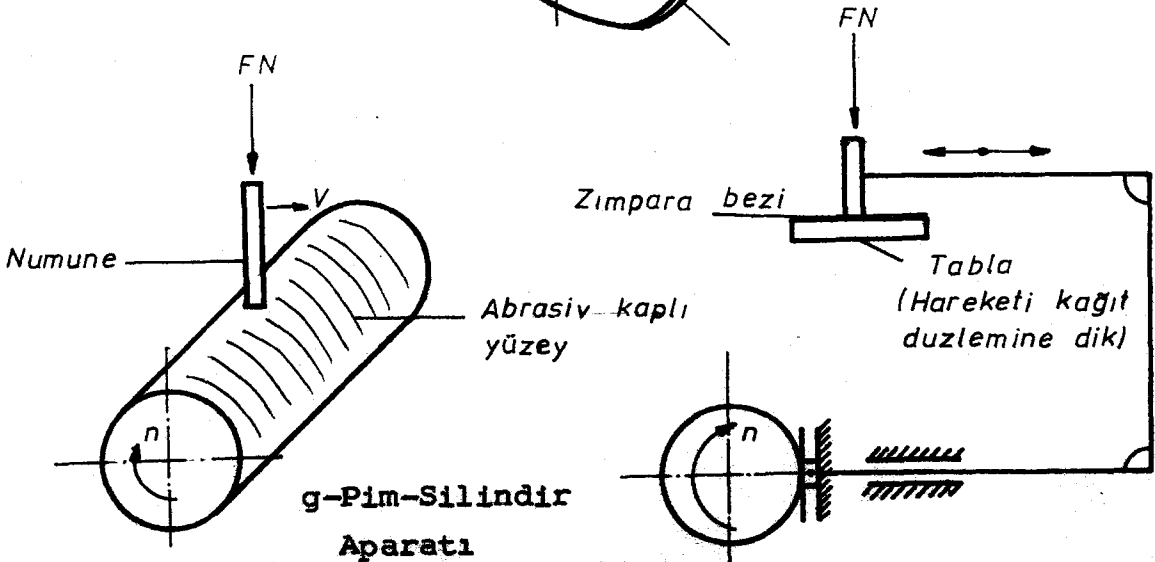
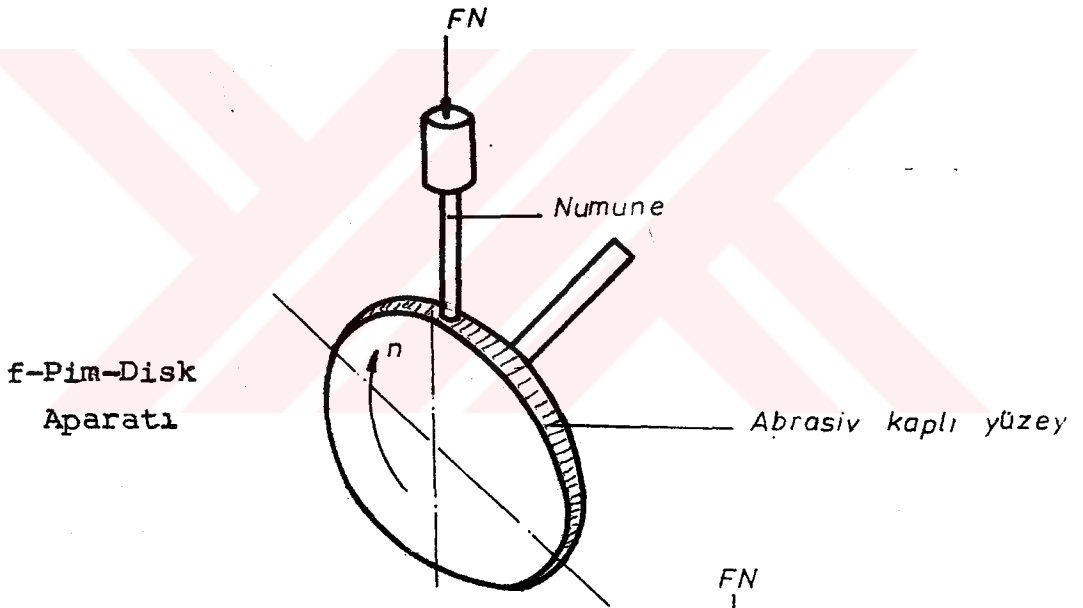
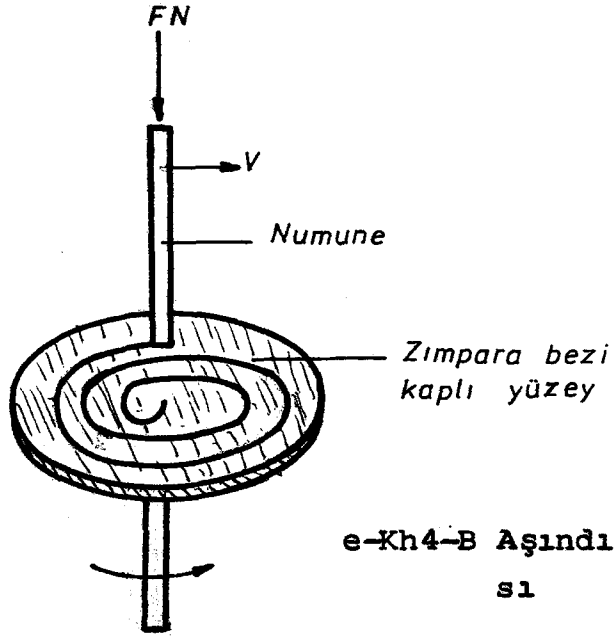
b- Aşındırma Kanalı



c- Üç Cisimli Abrasiv Aşınma Sistemleri  
(Brinell).

d-Toz Düşürme Aparatı





## EK-2

Deneylerde Kullanılan Dere Kumlarının Petrografik Analizi  
( İnce Kesitinde Görülen Mineral ve Topluluklar )

Alterasyona (bozunmaya) maruz kalmış volkanik kayalar ve kriptokristalin kalker topluluğu:

Alterasyona maruz kalmış kayalar: Çört, boynuz taşı, kalsedon topluluğu, gnays, kriptokristalin kalker, diyabaz.

Tamamen serpantinleşmiş ultrabazik kayalar: Peridotit. Ayrıca feldispatlardan, ortoklas, kuvars ve bağımsız olarak kalsit taneleri de mevcuttur.

Çört=Boynuz taşı: Çakmak taşı da denilir. Ana minerali kuvars ( $\text{SiO}_2$ ) dir. Sert bir kaya olarak bilinir.

Kalsedon Topluluğu: Kalsit kristallerinin bir araya gelmesiyle gül şeklinde bir doku arzederler.

Gnays: Orta ve iri taneli olan, paralel doku gösteren metamorfik kayadır. Feldispat miktarı % 20'nin üzerindedir. İçerisinde ortoklas, kuvars ve mikaşist, kloritşist içerir.

Kriptokristalin Kalker: Ancak mikroskop altında görülebilen  $\text{CaCO}_3$  (kalsit) kristallerinden meydana gelmiş kayadır. Tane büyüklüğü 0,01 mm dir.

Diyabaz: Sığ derinliklere yerleşmiş bazik bileşimli mağmadan oluşurlar. Mağmanın yüzey kayacıdır. İçerisinde plajioklas (feldispat çeşidi) ve koyu renkli minerallerden hornblend bulunur.

Peridotit: İçerisinde bol miktarda olivin, proksen ve maden minerallerinden kromit bulunan ultrabazik bir kayadır. Piroksen minerallerinden genellikle, enstatit, hipersten cinsi boldur.

Kuvars ( $\text{SiO}_2$ ): Çoğunlukla renksiz ve camsı renktedir.

Kalsit ( $\text{CaCO}_3$ ): Paralel dilinim gösteren pembemsi renkte bir mineraldir.

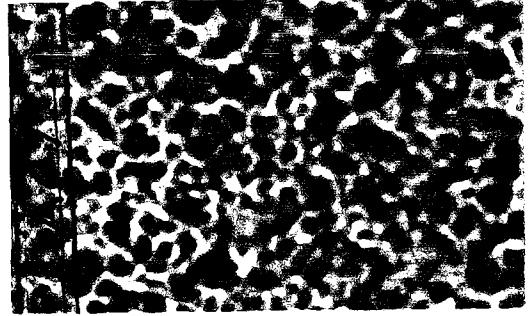


## EK-3

## Deney Malzemelerinin Mikro Yapıları



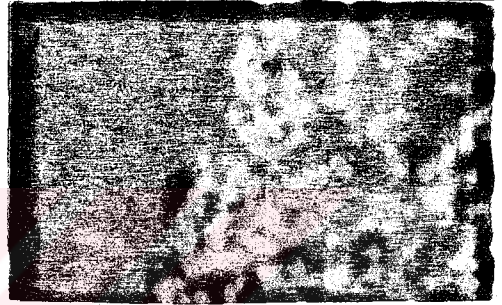
42 Cr Mo 4 (su verilmiş)x100



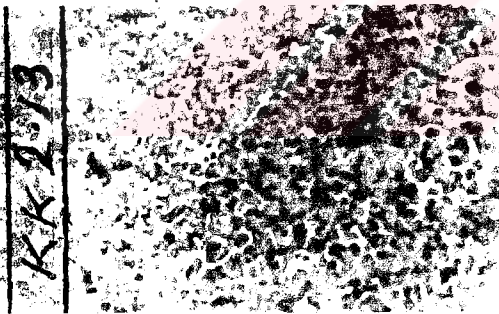
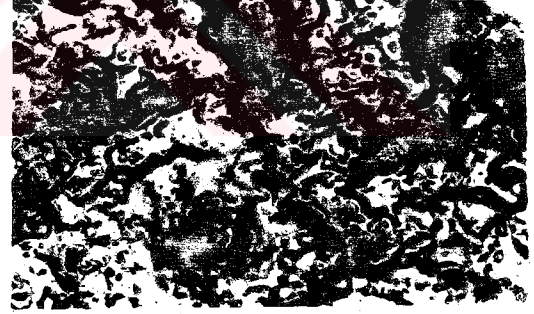
Ç 1040 (su verilmiş)x100



Ç 1040 Semente Bölgesi x100



Ç 1040 Semente Sınırı x100

Ç 1040 İndüksiyon Bölgesi  
x100Ç 1040, % 14 Mn'lı Kaynak  
Kaplanmış x100

Ç 1040 Aşınmış Yüzey x100