

SADE KARBONLU ÇELİKLERİN MİNERAL ORTAMLARDA ABRASİF AŞINMASINDA MALZEME SERTLİĞİNİN AŞINMA ÜZERİNE ETKİSİ

Adnan GÜVEN *

M.Tunç ÖZCAN **

Aşınma, mekanik etkenler sonucu malzeme yüzeyinden küçük parçacıkların ayrılmasıyla oluşan hasar olayıdır. Aşınma miktarı, genel olarak aşınan ve aşındıran malzemenin cinsine, sertliğine, yüzeyin biçimine, çevrenin fiziksel ve kimyasal etkileri gibi çok sayıda faktöre bağlıdır. Aşınmayı tamamen önlemek olanaksızdır. Bu olayı yakından tanımının ve etkileyen faktörleri en iyi şekilde saptamanın yararı, aşınmayı düşük düzeyde tutmak ve ekonomik kayıpları da en aza indirmektir.

Bu çalışmada, sade karbonlu çeliklerin toprak türü metal dışı mineral aşındırıcı ortamda, sürtünme yoluyla oluşan abrasif aşınması incelenmiştir. Aşınmanın incelenmesinde, aşınmayı en çok etkileyen aşınma malzemesi sertliği dikkate alınmıştır. Bu faktörün etkisinin bulunması için aşınma deneyleri yapılmıştır. Tasarlanan aşındırma test cihazı deney sonuçları esas alınarak, yapılan istatistiksel çalışma sonucu bir sertlik indeksi elde edilmiş olup, bu indeks ile aşınma miktarının nasıl değiştiği incelenmiştir.

Anahtar sözcükler : Aşınma, abrasif aşınma, sade karbonlu çeliklerde aşınma, aşındırma test cihazı

Wear is a kind of damage caused by the removal of small particles from the surface of the material as a result of mechanical interaction. The amount of wear generally depends on several factors such as the kind of material, hardness of the metal sample and the abrasive material; the shape of the surface, and the effects of the physical and chemical environment. It is not possible to prevent the wear completely. The benefit of examining closely and finding out the factors that affect this case is to keep the wear at minimum level and reduce financial loss.

In this paper, the abrasive wear of plain carbon steel which is caused by friction in an atmosphere suitable for nonmetal material wear has been examined. In examining this wear, hardness of metal sample which are highly influential on wear have been taken into consideration. Experiments have been done in order to find out the effect of this factor. In one of these experiments, the results through the use of designed wear machine have been stated, and Hardness Index has been formed after some statistical studies. It is examined that how changes wear quantity with this index.

Keywords : Wear, abrasive wear, wear of plain carbon steels, wear test machine

* Dr., ÇİMSA Çimento San. ve Tic. A.Ş.

** Prof.Dr., Çukurova Üniversitesi Tarım Makinaları Bölümü

GİRİŞ

Sürtünme-Aşınma ve Aşınma Türleri

Sürtünme; katı bir cismin, temas ettiği bir başka cisme göre teğetsel olarak hareket ettiğinde veya böyle bir hareketi ürettiği anda, bu harekete karşı oluşan dirençtir.

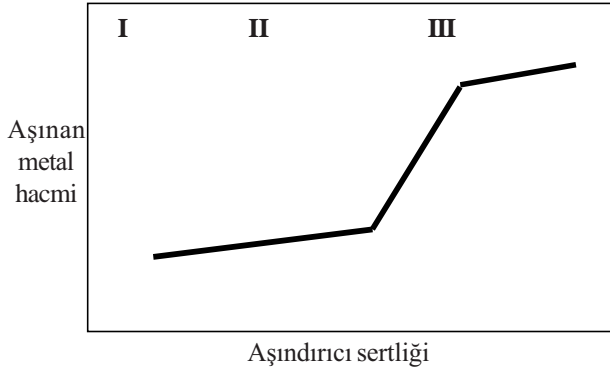
1976'da yayınlanan DIN 50320' ye göre aşınma, "Katı cismin yüzeyinden, tribolojik zorlanma sonucu sürekli ilerleyen malzeme kaybıdır" şeklinde tanımlanır (Karamış, 1985).

Malzeme kaybına neden olan dört tür aşınma vardır (Sevim,1997; Czichos, 1978; Ulusoy,1981). Bunlar: Adhesif aşınma, Abrasif aşınma, Korozyon aşınması veya Tribokimyasal aşınma ve Yüzey yorulması veya Yorulma aşınmasıdır.

Bu çalışmanın kapsamına giren Abrasif Aşınma, sert bir parçacığın yumuşak bir malzeme yüzeyinden çizerek veya kazıyarak mikroskopik parça koparmasına denir. Abrasif aşınma iki ve üç cisimli olmak üzere ikiye ayrılır. İki cisimli abrasif aşınmada; doğrudan sert malzeme yumuşak malzemedan parça koparırken, üç cisimli abrasif aşınmada, iki cisim arasında talaş kırıntuları, toz gibi iki cisimden farklı üçüncü bir cisim mevcuttur (Sarkar, 1976). Endüstride üretim teknolojisinde bundan yararlanılır. Örneğin taşlama ve parlatma işlemleri bu tür aşındırmayla gerçekleştirilir.

Aşınan Malzeme Sertliği ve Aşındırıcı Sertliğinin Abrasif Aşınmaya Etkisi

Her ne kadar aşınma üzerinde, gerek aşınan malzemeye, gerek aşındırıcıya bağlı birçok parametre etkili ise de, bunların içinde aşınmayı birincil derecede etkileyen parametre, hem aşınan, hem de aşındırıcının sertliğidir. Abrasif aşınmada Aşındırıcı sertliği H_a , metalin sertliği H_m ise metal malzemenin ve aşındırıcı sertliğinin aşınma rejimi üzerine etkisi Şekil 1'de görülmektedir (Czichos,1978).



Şekil 1. Metaldeki Aşınma Üzerine Aşındırıcı Sertliğinin Etkisi

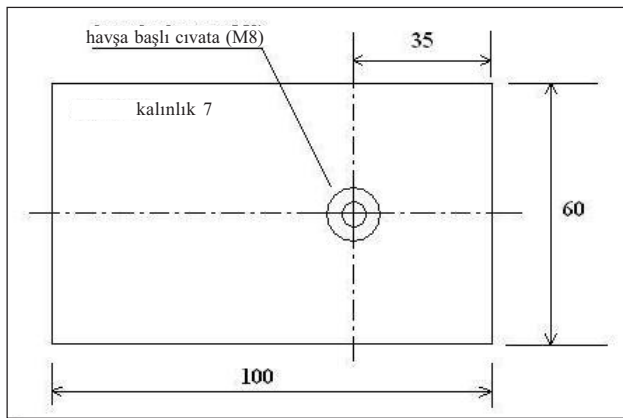
Şekilde I, II ve III bölgeleri aşınma miktarına bağlı olarak aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Czichos,1978).

1. Eğer $H_a < H_m$ ise; (I konumu) Düşük aşınma rejimi
2. Eğer $H_a \gg H_m$ ise (II konumu) Geçiş rejimi
3. Eğer $H_a > H_m$ ise (III konumu) Yüksek aşınma rejimi

MATERYAL VE YÖNTEM

Materyal

1. Aşınma Malzemesi Örnekleri: Tasarlanan deneysel çalışmaya en uygun aşınma malzemesi olarak, lama türü sade karbonlu çelikler kullanılmış olup, deneylerde kullanılan aşınma malzemelerinin ölçüleri Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Aşındırma Deneylerinde Kullanılan Aşınma Malzemesi Örneklerinin Boyutları

Deneylerde kullanılan aşınma malzemesi örnekleri Kroman mamulü kütüklerden sıcak haddeleme ile lama şeklinde imalatı yapılmış olup, kimyasal analizi Tablo 1'de verilmiştir.

Tablo 1'de verilen analize göre MKE normunda çeliğin tanımı çizelgede en alt satırda yazılmış olup, SAE normunda da bunlar sırasıyla 1010-1030-1040-1050-1060 çeliklerine karşılık gelmektedir (MKE Kataloğu, 1972).

Aşınma malzemelerinden Ç1040, Ç1050, Ç1060 çelikleri, ısıtma işlemi yapılmadan orijinal sertliğinden başka, en az iki sertlik seviyesine çıkarılmaları için ısıtma işlemi tabii tutulmuştur. Çeliklere uygulanan ısıtma işlemi, tavlama - sertleştirme - menevişleme şeklindeki aşamalardan oluşmuş olup, aşınma malzemeleri, ısıtma işlemi sırasında aşağıdaki aşamalardan geçmiştir.

Tablo 1. Deneylerde Kullanılan Aşınma Malzemesi Örnekleri Analizleri

Analiz	Aşınma Malzemesi Örneği No				
	1	2	3	4	5
% C	0,126	0,250	0,410	0,527	0,609
% Mn	0,662	0,805	0,708	0,682	0,737
% Si	0,192	0,230	0,260	0,236	0,303
% P	0,026	0,029	0,015	0,014	0,014
% S	0,032	0,038	0,029	0,041	0,045
% Cr	0,155	0,157	0,209	0,084	0,071
% Ni	0,120	0,131	0,178	0,113	0,102
% Mo	0,010	0,019	0,025	0,013	0,009
% V	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000
% Cu	0,244	0,220	0,240	0,283	0,181
% Ti	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001
% Sn	0,011	0,011	0,009	0,012	0,009
% Al	0,003	0,052	0,004	0,004	0,003
% Zr	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001
Çelik Tanımı	Ç1010	Ç1030	Ç1040	Ç1050	Ç1060

1. **Ön ısıtma işlemi :** Fuel-Oil yakıtlı fırında 350-400 °C de 2 saat bekletilmiştir.
2. **Tavlama İşlemi :** Fuel-Oil yakıtlı Fırında 840-860 °C'de 40-60 dakika bekletilmiştir.

Tavlama işlemi tuz banyosu olarak da adlandırılmakta olup, yaklaşık 800 °C de ergiyen tuz karışımı içinde yapılmaktadır.

3. Sertleştirme İşlemi :Yağ içinde 1-1,5 saat bekletilerek yapılmıştır.

Ç1050, Ç1060 malzemeleri her seviye sertlikte ve Ç1040 ise 35 HRC'ye kadarki sertlikte, yukarıda bahsedilen yağ içinde; Ç1040 için daha yüksek sertlik gerektiğinde 200 °C'de ergiyen tuz banyosunda sertleştirmeye tabi tutulmaktadır.

4. Menevişleme İşlemi : Elektrikli fırında 3 saat boyunca bekletilmekte olup, malzemede istenen sertliğe göre fırın sıcaklığı ayarlanmaktadır.

5. Soğuma İşlemi : Serbest halde havada soğumaya bırakılmaktadır.

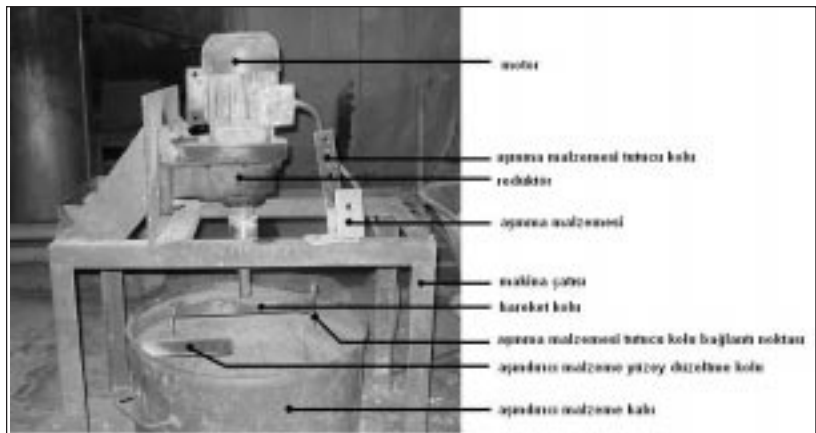
Deneylerde kullanılan, Isıl işleme tabi tutulan veya tutulmayan, aşınma malzemeleri ve sertlik değerleri Tablo 2'de verilmiştir. Tabloda 300 °C den daha düşük sıcaklıklarda menevişlenen malzemeler (k) ile, 300 °C den daha yüksek sıcaklıklarda menevişlenen malzemeler (s) ile belirtilmiştir.

200 °C altında yapılan menevişleme işleminde, martenzit yapının içerisindeki karbonun bir kısmı demir karbür (sementit) oluşturarak ayrılır. Böylelikle, martenzitin karbon oranı düşürülmüş olur. Bu durum, malzemenin sertliğini biraz düşürmektedir. Ancak, gerilimler azaldığından, malzemenin tokluğu artar. 200-400 °C arası menevişleme sıcaklığı sonucunda, düşük karbonlu martenzit, ferrit yapıya dönüşmeye başlar ve sementit miktarı artar. Oluşan bu yapı ile malzemenin sertliği ve tokluğu azalır. 400-650 °C arası menevişleme sıcaklığı sonucunda ise, sementit taneleri büyür. Bu esnada malzemenin sertliği oldukça düşerken tokluğu da artar (Güngör, 2001).

Tablo 2. Deneylerde Kullanılan Aşınma Malzemesi Örnekleri Genel Listesi

Malzeme	Sertlik (HB)	Isıl işleme ilgili açıklamalar
Ç1010	143	Isıl işlem görmemiş (y)
Ç1030	187	Isıl işlem görmemiş (y)
Ç1040	217	Isıl işlem görmemiş (y)
	268	Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş (s)
	400	Düşük sıcaklıkta menevişlenmiş (k)
	522	Düşük sıcaklıkta menevişlenmiş (k)
Ç1050	241	Isıl işlem görmemiş (y)
	376	Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş (s)
	412	Düşük sıcaklıkta menevişlenmiş (k)
	450	Düşük sıcaklıkta menevişlenmiş (k)
Ç1060	262	Isıl işlem görmemiş (y)
	317	Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş (s)
	386	Yüksek sıcaklıkta menevişlenmiş (s)

2. Aşındırma Test Cihazı : Deneylerde kullanılmak üzere tasarlanan ve fotoğrafı Şekil 3'de verilmiş olan aşındırma test cihazının ana elemanları, makina çatısı, motor- redüktör grubu, aşınma malzemesi örneği, hareket kolu, aşınma malzemesi örneği tutucu kolu ve aşındırıcı malzeme kabından oluşmaktadır.



Şekil 3. Aşındırma Test Cihazı

Aşındırma makinası motoru 1,5 kW -2,5 A etiket değerine sahip 380 V ile çalışan bir elektrik motorudur. Redüktör çıkışı 42 dev/dak olup, aşınma malzemesinin çizgisel hızı 0,88 m/s dir.

3. Aşındırıcı Malzemeler: Aşındırıcı malzeme olarak kırma taş, profillit ve klinker kullanılmış olup fiziksel analizleri Tablo 3'de, kimyasal analizler ise Tablo 4'de verilmiştir.

Deneylerde kullanılan kt1, kl1 ve pr1 (kırma taş, klinker ve profillit) kısaltması 0-5,5 mm ince boyutlu malzemeleri; kt2, kl2 ve pr2 5,5-11 mm orta boyutlu malzemeleri; kt3, kl3 ve pr3 ise 11-31 mm iri boyutlu malzemeleri temsil etmektedir.

Kırma taş : Kırma taş olarak bilinen aşındırıcı, normalde rekristalize kireç taşı olarak bilinen bir karbonat kayası olup permiyen (260 milyon yıl) yaşlı bir türdür (İlker, 1975).

Profillit : Talk'a benzeyen; ancak talktaki magnezyumun yerini alüminyumun aldığı bir mineraldir. Profillit içinde kuvars, disten gibi sertliği oldukça yüksek mineraller bulunur. Bu mineraller, profilliti yüksek aşındırıcı malzeme sınıfına katmaktadır (Uygun ve Solakoğlu, 2001).

Klinker: Belirli oranlarda karıştırılmış kalker ve kil

karışımının yaklaşık 90 mikron inceliğinde öğütüldükten sonra çimento döner fırınlarında 1400 °C' de pişirilmesi (sinterlenmesiyle) ile oluşan bir üründür. Çimento Sanayinde Yarı Mamul olarak da bilinen klinker, yaklaşık 0-5 cm çapında ve genelde küresel şekildedir (Duda, 1977).

Tablodaki sertlik değerleri Tablo 4'de verilen analiz dikkate alınarak buradaki minerallerin yüzde oranları ve bu mineralin Mohs sertlik skalasındaki sertliği dikkate alınarak hesaplanmıştır (Anonymous, 2003).

4. Elek: Deneylerde, aşındırıcı malzemelerin istenen boyut aralığına getirilmesi için, (1- 2,5- 5,5- 11 ve 31 mm) elekler kullanılmıştır.

Yöntem

Deney süreleri kronometreyle takip edilmiş olup, aşınma malzemesi örneği, aşındırma makinası aparatına yatayla 10° lik bir açıyla bağlanmıştır.

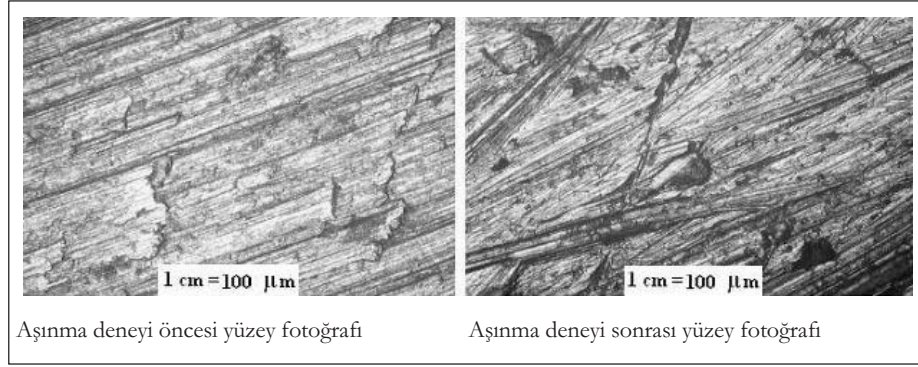
Aşağıdaki Şekil 4, deneyden önce (henüz aşınmamış bir yüzey) ve deney sonrası aşınma malzemesi örneğinin yüzey fotoğrafını göstermektedir. Fotoğraf, ÇİMSA Kalite Kontrol Laboratuvarındaki mikroskopta çekilmiş olup 100 kez büyütme yapılmıştır.

Tablo 3. Deneylerde Kullanılan Aşındırıcıların Fiziksel Analizi

Analiz	Kırma Taş			Klinker			Profillit		
	kt1	kt2	kt3	kl1	kl2	kl3	pr1	pr2	pr3
Ortalama tane boyutu (mm)	1,99	7,63	18,42	1,03	7,27	20,91	1,01	8,13	19,75
Sertlik (mohs)	3,03	3,03	3,03	4,23	4,23	4,23	7,23	7,23	7,23

Tablo 4. Aşındırıcıların Kimyasal Analizi

Analiz değeri (%)	Kırma Taş	Profillit	Klinker
SiO ₂	0,44	68,55	20,97
Al ₂ O ₃	0,17	24,79	5,66
Fe ₂ O ₃	0,06	0,02	2,74
CaCO ₃	98,34	5,11	65,32
MgO	0,56	0,18	1,95
Diğer	0,43	1,35	3,36



Şekil 4. Aşındırma Deneyi Öncesi ve Sonrası Malzeme Yüzey Fotoğrafı

Deney öncesi ve sonrası yapılan tartımlarla, her bir aşınma malzemesi örneğinin ağırlık kaybı bulunmuştur. Bulunan ağırlık kayıp değerleri kullanılarak, $\text{mg}/\text{cm}^2\text{-h}$ cinsinden birim aşınma miktarları elde edilmiştir. Tartımlarda kullanılan duyarlı terazi, 0,01 hata ile ölçüm yapmakta olup, ÇİMSA laboratuvarlarında mevcuttur.

Aşındırıcı malzemeler için kimyasal analizler ÇİMSA Kalite Kontrol Laboratuvarında x-ışınları analiz cihazıyla yapılmıştır. Yapılan analiz sonuçları materyal bölümünde Tablo 4'de verilmiştir.

Aşındırma test cihazındaki deneylerde kullanılan aşındırıcı malzeme örnekleri, belli boyut aralığına materyal bölümünde bahsedilen elekler yardımıyla getirilmiş ve deneyler yapılmıştır.

BULGULAR VE TARTIŞMA

Aşınma Deney Sonuçları

Aşınma malzemesi sertliği - aşınma miktarı ilişkisinin araştırıldığı deneylerde elde edilen sonuçlar, aşağıdaki Tablo 5 de verilmiştir. Tablodaki deney sonuçları, her bir deneyin üç kez tekrarının ortalamasıdır. Isıl işlem

Tablo 5. Aşınma Malzemesi Sertliğine Göre Deney Sonuçları

Sertlik (HB)	Çelik Malzeme		Aşındırıcı Malzeme ve Aşınma Miktarı ($\text{mg}/\text{cm}^2\text{-h}$)								
	malzeme	Isıl işlem durumu	kt1	kt2	kt3	kl1	kl2	kl3	pr1	pr2	pr3
143	Ç1010	y	11,14	8,48	5,75	86,22	30,87	25,73	279,33	69,67	53,57
187	Ç1030	y	10,42	7,80	5,12	74,85	29,13	24,37	237,13	63,42	44,19
217	Ç1040	y	9,78	6,83	4,64	72,08	25,11	21,01	215,71	59,59	39,16
241	Ç1050	y	8,25	6,65	3,83	66,72	22,09	18,49	197,37	56,53	32,18
262	Ç1060	y	7,52	5,95	3,75	54,62	17,92	13,87	180,26	49,76	26,95
268	Ç1040	s	7,70	5,10	3,79	55,46	17,49	13,66	176,99	44,73	19,83
317	Ç1060	s	7,05	4,93	3,41	43,87	17,60	14,29	124,11	42,40	17,02
376	Ç1050	s	6,87	4,55	3,36	50,25	17,19	8,40	128,50	42,37	16,83
386	Ç1060	s	6,26	4,17	2,76	37,05	13,13	3,57	106,75	39,11	13,24
400	Ç1040	k	5,88	4,25	2,84	12,27	3,36	1,26	126,05	27,17	7,44
412	Ç1050	k	6,13	4,12	2,18	10,56	1,74	1,47	127,40	36,19	4,58
450	Ç1050	k	5,63	3,77	2,20	6,97	1,36	0,89	96,62	28,78	3,79
522	Ç1040	k	4,42	3,28	1,99	5,71	2,70	1,05	109,21	25,14	5,76

bilgilerindeki kısaltmalar, Tablo 2’de verilmiştir. Deney süreleri 20 dakika tutulmuştur.

Tablo 5’den bazı karşılaştırma kriterleri dikkate alınarak aşağıdaki Tablo 6 oluşturulmuştur.

Tablo 6’dan görüleceği üzere, (1) nolu karşılaştırma bölümü, yukarıda aşınma malzemesi sertliği arttıkça aşınma miktarının düştüğünü, aşındırıcı tane boyutu arttıkça aşınma miktarının azaldığını ve aşındırıcı tane sertliği arttıkça aşınma miktarında artış olduğunu göstermektedir.

(2), (3), (4), (5), (6) karşılaştırma bölümleri, aynı

karbon içeriğinde farklı sertliklerde yapılan deneylere ait karşılaştırmalardır. Bu karşılaştırmalardan izleneceği üzere aynı sonuç olarak aşınma malzemesi sertliğine bağlı olarak aşınma miktarı azalmaktadır. Ancak burada (5) nolu bölümde, klinker aşındırıcı ortamındaki aşınma miktarına dikkat edildiğinde, diğerlerinden farklı olarak, yüksek sıcaklıkta menevişlenen 376 HB sertliğindeki malzemede oluşan aşınma miktarı ile düşük sıcaklıkta menevişlenen 412 HB sertliğindeki malzemede oluşan aşınma miktarı karşılaştırıldığında, ikinci malzemede oluşan aşınma miktarı, birinci malzemeye göre tahmin edilen seviyenin altındadır.

Tablo 6. Deney Sonuçlarının Karşılaştırması

No	Karbon içeriği-sertlik-ısıtım şekli karşılaştırmalı aşınma miktarları (mg/cm²-h)											
	çelik	Sertlik k (HB)	ısıtım işlem	kt1	kt2	kt3	kl1	kl2	kl3	pr1	pr2	pr3
1	Isıtım işlem uygulanmamış çeliklerde karbon içeriğine göre sertlik ve elde edilen aşınma miktarları											
	1010	143	y	11,14	8,48	5,75	86,22	30,87	25,73	279,33	69,67	53,57
	1030	187	y	10,42	7,80	5,12	74,85	29,13	24,37	237,13	63,42	44,19
	1040	217	y	9,78	6,83	4,64	72,08	25,11	21,01	215,71	59,59	39,16
	1050	241	y	8,25	6,65	3,83	66,72	22,09	18,49	197,37	56,53	32,18
	1060	262	y	7,52	5,95	3,75	54,62	17,92	13,87	180,26	49,76	26,95
2	aynı malzemede aynı ısıtım işlem durumunda ve farklı sertlikte aşınma miktarı											
	1040	400	k	5,88	4,25	2,84	12,27	3,36	1,26	126,05	27,17	7,44
	1040	522	k	4,42	3,28	1,99	5,71	2,70	1,05	109,21	25,14	5,76
3	aynı malzemede farklı ısıtım işlem durumunda ve farklı sertlikte aşınma miktarı											
	1040	217	y	9,78	6,83	4,64	72,08	25,11	21,01	215,71	59,59	39,16
	1040	268	s	7,70	5,10	3,79	55,46	17,49	13,66	176,99	44,73	19,83
4	aynı malzemede aynı ısıtım işlem durumunda ve farklı sertlikte aşınma miktarı											
	1060	317	s	7,05	4,93	3,41	43,87	17,60	14,29	124,11	42,40	17,02
	1060	386	s	6,26	4,17	2,76	37,05	13,13	3,57	106,75	39,11	13,24
5	aynı malzemede farklı ısıtım işlem durumunda ve farklı sertlikte aşınma miktarı											
	1050	412	k	6,13	4,12	2,18	10,56	1,74	1,47	127,40	36,19	4,58
	1050	376	s	6,87	4,55	3,36	50,25	17,19	8,40	128,50	42,37	16,83
6	aynı malzemede aynı ısıtım işlem durumunda ve farklı sertlikte aşınma miktarı											
	1050	412	k	6,13	4,12	2,18	10,56	1,74	1,47	127,40	36,19	4,58
	1050	450	k	5,63	3,77	2,20	6,97	1,36	0,89	96,62	28,78	3,79

Aşınma Malzemesi Sertliğinin Etkisi

Temas halindeki iki yüzeyden biri, diğeri üzerinde kayarsa, aşınma oluşacaktır. Aşınmaya ait basit ve teorik bir analiz, "Archard Aşınma Denklemi" adı altında Archard tarafından verilmiştir (Hutchings,1992, Anonymous 2004). Ancak, oldukça genel ve basite indirgenmiş bu teorik denklem yerine, her bir etken tek tek ele alınıp, her bir etkenin etki derecesi deneysel çalışmalar ışığında oluşturulmalıdır.

Aşınmaya etki eden faktörlerden Aşınma Malzemesi Sertliğinin aşınmaya etkisinin incelenmesi için, Tablo 5'deki sonuçlar kullanılarak Aşınma Malzemesi Sertlik İndeksi oluşturulmuştur. Bunun için aşağıda açıklanan yöntem izlenmiştir.

Deney sonuçlarının verildiği Tablo 5 dikkate alındığında, her bir çelik cinsiyle elde edilen aşınma miktarı, Ç1010 ile elde edilen aşınmaya oranlandığında,

Tablo 7 elde edilmiştir. Bu çizelgenin son sütunundaki ortalamalar ise, her bir satırdaki değerlerin aritmetik ortalamasıdır.

Tablo 7'de 1.sütündeki malzeme sertliği (x) eksenine, son sütun ortalamalar (y) eksenine konulup eğrisi çizildiğinde, elde edilen grafik ve eğri denklemi Şekil 5'de görülmektedir.

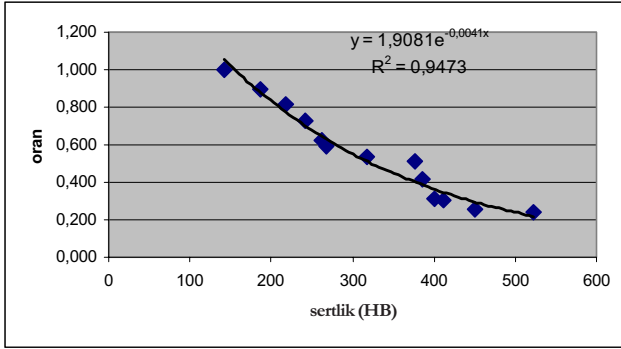
Bu grafikte elde edilen denklem, "Aşınma Malzemesi Sertlik İndeksi" olarak adlandırılmış olup (1) nolu eşitlikte verilmiştir. Bu eğri ve formülasyon için excell'de mevcut olan özellikten faydalanılmıştır (Akkurt, 1999).

$$I_{Hm} = 1,9081 \cdot e^{-0,0041 Hm} \tag{1}$$

I_{Hm} değerini veren ifadede, ısıtım işlem görmüş veya görmemiş herhangi bir karbonlu çeliğin sertliği HB cinsinden yazıldığında, Aşınma Malzemesi Sertlik İndeksi elde edilebilir.

Tablo 7. Deney Sonuçlarına Göre Isıl İşlem Görmemiş Çeliklerin Aşınma Miktarlarının Ç1010 Çeliği Aşınma Miktarına Oran

Malzeme cinsi Sertlik (HB)	Aşındırıcı Malzemeler									Ort.
	kt1	kt2	kt3	kl1	kl2	kl3	pr1	pr2	pr3	
Ç1010 y-143	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Ç1030 y-187	0,935	0,920	0,891	0,868	0,944	0,947	0,849	0,910	0,825	0,899
Ç1040 y-217	0,878	0,806	0,808	0,836	0,813	0,817	0,772	0,855	0,731	0,813
Ç1050 y-241	0,741	0,785	0,665	0,774	0,716	0,719	0,707	0,811	0,601	0,724
Ç1060 y-262	0,675	0,702	0,653	0,634	0,581	0,539	0,645	0,714	0,503	0,627
Ç1040 s-268	0,692	0,602	0,659	0,643	0,567	0,531	0,634	0,642	0,370	0,593
Ç1060 s-317	0,633	0,582	0,593	0,509	0,570	0,555	0,444	0,609	0,318	0,535
Ç1050 s-376	0,616	0,537	0,585	0,583	0,557	0,327	0,460	0,608	0,314	0,510
Ç1060 s-386	0,562	0,492	0,481	0,430	0,425	0,139	0,382	0,561	0,247	0,413
Ç1040 k-400	0,528	0,501	0,493	0,142	0,109	0,049	0,451	0,390	0,139	0,311
Ç1050 k-412	0,551	0,486	0,378	0,123	0,056	0,057	0,456	0,519	0,086	0,301
Ç1050 k-450	0,505	0,445	0,382	0,081	0,044	0,035	0,346	0,413	0,071	0,258
Ç1040 k-522	0,397	0,387	0,346	0,066	0,088	0,041	0,391	0,361	0,107	0,243



Şekil 5. Tablo 7'ye Ait Grafik

Genel Sonuçlar ve İrdeme

Aşındırma makinasında yapılan deneyler sonrasında deney sonuçlarının toplu olarak aşındırıcı bazında görüldüğü Tablo 5'den aşağıdaki sonuçlar çıkarılabilir:

1. Aşındırıcı malzeme boyutu arttıkça, aşınma miktarı azalmaktadır.
2. Aşındırıcı malzeme sertliği arttıkça, aşınma miktarı artmaktadır.
3. Tablo 5'den görüldüğü üzere, aşınma malzemesi sertliği, aşınma miktarında önemli rol oynamış olup, aşınma malzemesi sertliği arttıkça, aşınma miktarı azalmaktadır. Aşınma miktarıyla aşınma malzemesi sertliği arasında Şekil 5'de gösterilen bir ilişki vardır.

(1) denklemleriyle verilen aşınma malzemesi sertlik indeksi, aşınma malzemesi sertliğinin denklemde (HB) olarak yazılmasıyla elde edilen bir değerdir. Aşınma malzemesi sertliğinin artmasıyla, aşınma miktarında azalma görüleceği literatürde de belirtilmekle beraber, bu etkinin bu denklem sonucunda sayısal büyüklüğüyle verilmesi, aşınma miktarının önceden tahmin edilebilmesine fayda sağlayacaktır.

Bu çalışma kapsamına giren sade karbonlu çeliklerden, sertliği bilinen bir örnekle (örneğin Ç1010) yapılacak aşınma testi sonrası oluşan aşınma miktarı ile, oluşacak aşınma miktarı tahmin edilecek malzemenin bu denklemle elde edilen sertlik indeksi değerinin çarpımı, aşınma malzemesine ait oluşacak yaklaşık aşınma miktarını

verecektir. Ayrıca, farklı sertlikteki sade karbonlu çelikler için elde edilen I_{Hm} ler ile, oluşacak aşınmayı önceden tahmin edebilmek için kıyaslama yapılabilecektir.

KAYNAKÇA

1. Anonymous, 2003. Testing Hardness of a Mineral <http://zircon.mcli.dist.maricopa.edu/aaim/linear/>
2. Anonymous, 2004. Abrasive Wear of Metals <http://users.ox.ac.uk/~roberts/srggroup/lectures/tribology/wear.pdf>
3. Akkurt, M., 1999. Bilgisayar (Excel) Destekli Uygulamalı İstatistik. Birsen Yayınevi, İstanbul, 296s.
4. Czichos, H., 1978. Tribology. Elsevier Scientific Publishing Co., Newyork. DIN 50320, 1976
5. Duda, W., H., 1977. Cement Data-Book. Bauverlag GmbH, Berlin, 539 s
6. Güngör, Y., 2001. Malzeme Bilgisi. Beta Basım A.Ş., İstanbul, 141s.
7. Hutchings, I.M., 1992. Tribology-Friction and Wear of Engineering Materials. Arnold a Member of the Hodder Headline Group, London
8. İlker, S., 1975. Adana Baseni Kuzeybatısının Jeolojisi ve Petrol Olanakları. TPAO Arama Arşiv No: 973.206, Ankara (Yayınlanmamış)
9. Karamış, B., 1985. Toprak İşleme Aletlerinde İş Organının Aşınmasının Etüdü. Erciyes Üniversitesi Doktora Tezi, Kayseri, 120s. (yayınlanmamış). MKE Çelik Türleri Kataloğu, 1972, Ankara
10. Sarkar, A.D., 1976. Wear of Metals. Pergamon Press Ltd., Oxford, 163s
11. Sevim, İ., 1997. Çeliklerin Abrasiv Aşınmasında Aşındırıcı Tane Büyüklüğünün Aşınma Direncine Etkisi. İTÜ Doktora Tezi, İstanbul, 169s. (yayınlanmamış)
12. Ulusoy, E., 1981. Bazı Toprak İşleme Alet ve Makinalarında İş Organlarının Aşınması Üzerine Araştırmalar. E.Ü. Ziraat Fakültesi Ofset Atölyesi, İzmir, 103s.
13. Uygun, A., Solakoğlu, E., 2001. Pütürge (Malatya) Masifindeki Profilit Yataklarının Jeolojisi ve Kökeni. MTA Dergisi, Sayı 123-124, 13-19s.