

## YÜKSEK KROMLU BEYAZ DÖKME DEMİR MALZEMELERİN $Al_2O_3$ İLE AŞINMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

Cemil ÇETİNKAYA  
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Metal Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

### ÖZET

Bu çalışmada, kuşlama makinelerinde kullanılan yüksek kromlu beyaz dökme demirden üretilmiş olan türbin paletlerinin  $Al_2O_3$  abrasiv aşındırıcı kağıdı karşısındaki aşınma davranışları incelenmiştir. Kimyasal bileşimleri farklı olan 5 farklı türbin paletlerinden elde edilen numuneler; 200 dev/dak sabit hızda, 10, 25 ve 40 N'luk yüklerde, 60, 90 ve 120 m'lik yollarda aşındırılmış ve aşınma davranışları belirlenmiştir. Deneysel çalışmalar sonucunda yük artışı ve aşındırma mesafesine bağlı olarak %3,3 C, % 15,1 Cr ve % 2,5 Mo içeren numune ile %3,38 C, % 18,5 Cr ve % 1,5 Mo içeren numunenin en az aşındığı, buna karşın en fazla aşınmanın %2,94 C, %16,7 Cr ve %1,2 Mo içeren numunede olduğu gözlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Yüksek kromlu dökme demir, beyaz dökme demir, aşınma.

## INVESTIGATION OF ABRASIVE WEAR BEHAVIOUR OF HIGH CHROMIUM WHITE CAST IRONS

### ABSTRACT

In this study, wear behaviour of high chromium white cast iron turbine plates used in sand blasting machines was investigated against  $Al_2O_3$  abrasive paper. Turbine plate specimens of 5 materials differing in chemical composition were subjected to wear test under the loads of 10, 25 and 40 N and with the distance of 60, 90 and 120 m using. The results show that depending on the load and wear distance the two specimens one of which containing %3,3 C, % 15,1 Cr and % 2,5 Mo and the other containing %3,38 C, % 18,5 Cr and % 1,5 Mo, exhibited the least wear rate. However, the specimen containing %2,94 C, %16,7 Cr and %1,2 Mo was exhibited the highest wear.

**Key Words:** High Chromium Cast Iron, White Cast Iron, Wear.

### 1. GİRİŞ

Aşınma ve korozyon direnci gibi yüzey özellikleri gerektiren malzemelerin, takımların ve makine parçalarının üretiminde yüzey mühendisliği önemli bir alandır. Korozyon, sürtünme, aşınma, ısı, radyasyon gibi yüzeyde meydana gelen hareketler nedeniyle malzeme yüzeyinin korunması ve malzemenin bu olaylara karşı direncinin artırılması büyük öneme sahiptir (1).

Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerin aşınma direnci ve tokluk özellikleri iyidir. Genellikle bu grup dökme demirler çamur pompalarında, tuğla kalıplarında, çeşitli mineral delme, sert kayalar işleme ekipmanlarında ve benzeri alanlarda kullanılmaktadır [2,3]. Yüksek kromlu dökme demir alaşımların tokluğu, düşük kromlu alaşımlardan daha yüksektir. Tokluk, özellikle kırma ve öğütme işlemlerinde kazaları önleyici bir faktör olarak değerlendirildiğinden önemi büyüktür. Yüksek kromlu beyaz dökme demirler, yüksek aşınma dayanımlarından dolayı geniş kullanım alanına sahiptirler. Beyaz dökme demirlerin aşınmaya dayanıklı ticari malzemeler olarak ilk kullanımları, yüz yıllık bir geçişe sahip olup, dövüle-

bilir döküm malzemelerin üretiminin geliştirilmesi ve alaşımlandırma parametrelerinin zenginleşmesi ile daha da yaygınlaşmıştır. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlere mekanik dayanım ve aşınma direnci sağlayan en önemli faktörün yapıda bulunan krom karbürler olduğu bilinmektedir (4). Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde matris yapı, sert ötektik  $M_7C_3$  tipi karbürleri aşınma esnasında yerinde tutar. Matris aşındığında desteksiz kalan karbürler, gerilmeler altında kırılır. Kırılan karbürler bazı durumlarda yumuşak matrise gömülerek sert bir yüzey tabakası oluşturur. Bu durum özellikle ferritik matriste etkili olmaktadır. Perlitik matris düşük aşınma direncine sahip olduğu için, beyaz dökme demirlerde perlitik yapı istenmez. Yapıdaki karbon oranı arttıkça sertlik ve buna bağlı olarak aşınma direnci de artar. Ancak düşük gerilmeli aşınma ortamlarında, sertlik belli bir değere geldikten sonra mikro sertlik artışı aşınma direncini etkilemez. (5-7).

Aşınmaya neden olan gerilmeler yüksek olursa martenzitik yapı, östenitik yapıya göre, iki üç kat daha iyi aşınma direnci gösterir. Martenzitik yapı östenitleme işlemi ile sağlandığı için bu işlem

esnasındaki reaksiyonlar martenzitin yapısı için önemlidir. Martenzit oluşumu başlangıç sıcaklığı ile beraber, bitiş sıcaklığını da düşüreceği için mikroyapıdaki kalıntı östenit miktarı, hacimsel genleşmelerin oluşmasına ve bunun sonucu oluşan gerilmeler nedeni ile mikro çatlaklara neden olur (8,9).

Aşınma direnci ve tokluğun yüksek olabilmesi için beyaz dökme demirin mikroyapısında uygun karbür ve matrisin bulunması gereklidir. Matris için yapılabilecek optimum seçim, ikincil karbürlerle sertleştirilmiş yüksek karbonlu sert martenzittir. Diğer bir alternatif ısıl işlemle sertleştirilebilen östenittir (10). Karbon artışı ile birlikte martenzitin aşınma direnci artar. Isıl işlem sonucu martenzitik matrise dağılan ikincil karbürler aşınma direncinde artışa neden olur. Temperleme ile aşınma direnci düşmektedir. Yüksek kromlu beyaz dökme demirlerde karbürler matris içerisinde dağılmıştır. Matris yumuşak olduğunda aşınır ve karbürler matristen kopar. Bu durumda karbürlerin aşınma dirençlerinin yalnızca bir kısmından yararlanılabilmiş olunur. Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirler mikroyapıda bulunan krom karbürlerin etkisi ile mikroyapısında sementit içeren dökme demirlerden daha serttir ve aşınmaya daha dirençlidir. Yüksek krom-molibdenli beyaz dökme demirlerde mikroyapıda süreksiz ötektik karbürler ve ikincil karbürler olmak üzere iki çeşit karbür bulunmaktadır. Karbürlerin bileşimine göre sertlikleri ise şöyledir;  $M_3C$  840-1100 HV,  $M_7C_3$  1200-1800 HV,  $Mo_2C$  ise yaklaşık 1500 HV (3,11). Görüldüğü üzere  $M_7C_3$  tipi karbürler en yüksek sertliğe sahiptir.

Bu çalışmada beş farklı beyaz dökme demir alaşımı, 80 gritlik  $Al_2O_3$  abrasiv aşındırıcı üzerinde aşındırılarak malzeme bileşimi ve mikroyapısının, aşınma dirençleri üzerine etkileri incelenmiştir.

## 2. MATERYAL VE METOD

### 2.1. Materyal

Bu çalışmada kullanılan numuneler, Erkunt A.Ş. döküm fabrikasında bulunan, kumlama makinelerinin bilya püskürten türbin paletlerinden temin edilmiştir. Deneylerde elektro erozyon yöntemiyle kesilen 6 mm çapında 5 farklı türbin paletinden elde edilen 15 adet numune kullanılmıştır. Kullanılan bu türbin paletlerinin spektral analiz sonuçları Çizelge 1’de, bu sonuçlara göre Cr/C oranı Çizelge 2’de, ve hazırlanan numunelerin en

az 4 ayrı bölgesinden alınan sertlik değerlerinin ortalamaları ise Çizelge 3’de verilmektedir

Çizelge 1. Deney numunelerinin spektral analiz sonuçları

Element %	Numune no				
	1	2	3	4	5
C	2,711	2,941	3,339	3,380	3,300
Cr	8,824	16,656	18,338	18,487	15,084
Mo	0,440	1,204	1,459	1,473	2,522
Si	1,643	0,691	0,724	0,717	0,827
Mn	0,949	0,414	0,377	0,376	0,522
P	0,030	0,025	0,034	0,034	0,038
S	0,047	0,025	0,040	0,042	0,051
Ni	4,186	0,089	0,114	0,113	0,546
Mg	0,0002	0,0001	0,0005	0,0005	0,0001
Cu	0,155	0,069	0,082	0,081	0,162
V	0,040	0,036	0,035	0,035	0,060
Ti	0,026	0,013	0,009	0,009	0,013
Al	0,012	0,002	0,003	0,002	-
Sn	0,008	0,003	0,003	0,003	0,006

Çizelge 2. Deneylerde kullanılan numunelerin Cr/C oranları

Numune no	1	2	3	4	5
Cr/C	3,25	5,66	5,49	5,46	4,57

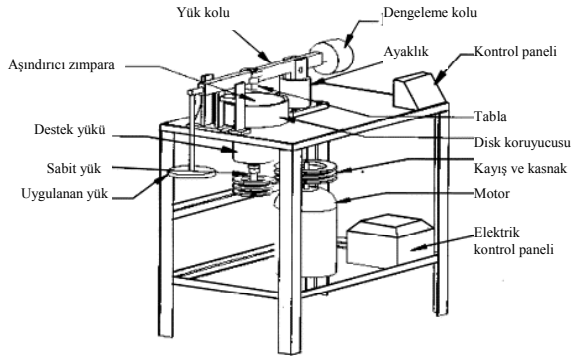
Çizelge 3. Deney numunelerinin ortalama sertlik değerleri

Numune no	1	2	3	4	5
Sertlik (HRc)	55	60	66	60	58

### 2.2 Deneysel Metot

Aşınma deneyleri Şekil 1’de şematik olarak gösterilen pin-on disk aşındırma deney cihazında, 80 gritlik  $Al_2O_3$  (zımpara kağıdı) abrasiv aşındırıcı üzerinde 200 dev/dakikalık sabit hızda 10, 25 ve 40 N ‘luk sabit yük uygulanarak 60, 90, 120 metrelik yollarda yapılmıştır. Numuneler bu yükler altında her 60, 90, 120 metre aşındırma mesafesi sonunda durdurulup, 1/10000g hassasiyetli dijital terazide tartılarak aşınma kayıpları ağırlık cinsinden ölçülmüş ve ortalama değerler alınmıştır. Metalografik numuneler 220-1200  $\mu m$  arasındaki zımparalar ile zımparalandıktan sonra, %2 Nital ile dağılanan numunelerin mikroskop görüntüleri Prior marka mikroskop ile çekilmiş, sertlik ölçümleri ise Instron Wolpert marka Brinell sertlik

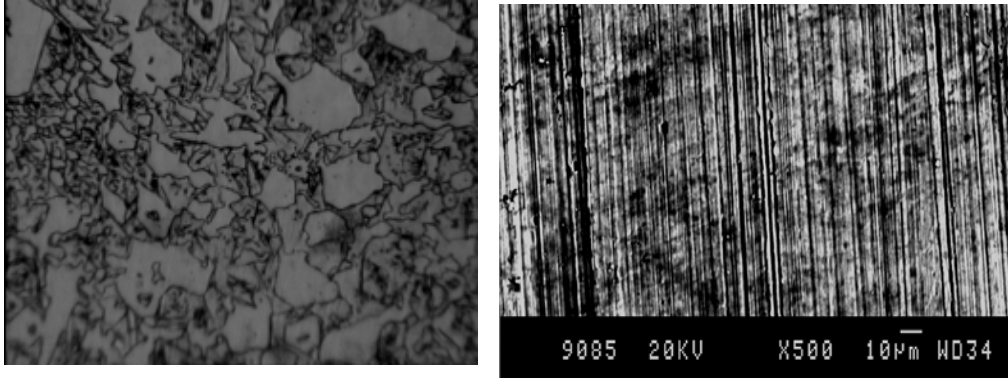
ölçüm cihazı ile yapılmıştır. Deney numunelerine ait aşınma görüntü fotoğrafları ise JEOL JSM-840 A model SEM elektron mikroskobu ile çekilmiştir.



Şekil 1. Pin-on disk aşındırma deney cihazının şematik gösterimi (12).

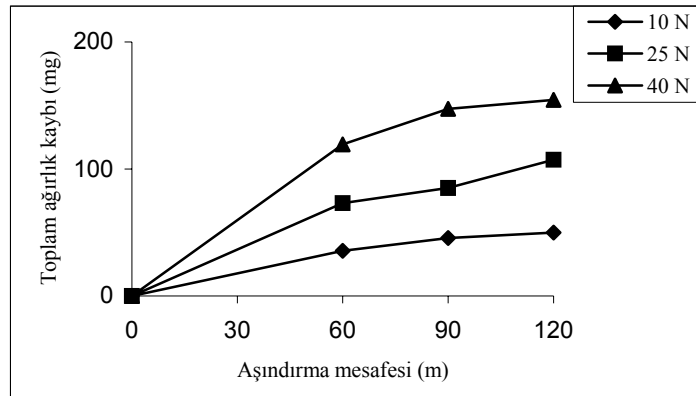
Deneylerde kullanılan malzemelere ait optik mikroskop, aşınma yüzeyi SEM görüntüsü ve aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi sırası ile Şekil 1-5 arasında verilmiş ve malzemelerde meydana gelen aşınma kayıplarına mikroyapı, kimyasal bileşimin etkisi tartışılmıştır.

Şekil 2a'da verilen 1 No'lu numunenin mikroyapı fotoğrafı incelediğinde iri sementit tanelerinin bulunduğu ve bu sementit taneleri arasında da krom karbürlerin olduğu görülmektedir. Aynı numunenin (b) SEM görüntüsünü incelediğimizde de aşınma izlerinin oldukça sık ve dar olduğu, (c)'de verilen aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisini gösteren grafiğini incelediğimizde de 120 m'lik aşındırma mesafesinde sırasıyla, 10 N'luk yük altındaki 50 mg, 25 N yükte altında 107.2 mg ve 40 N'luk yük altında 154.3 mg'lık aşınma kayıplarının olduğu gözlenmiştir.



(a)

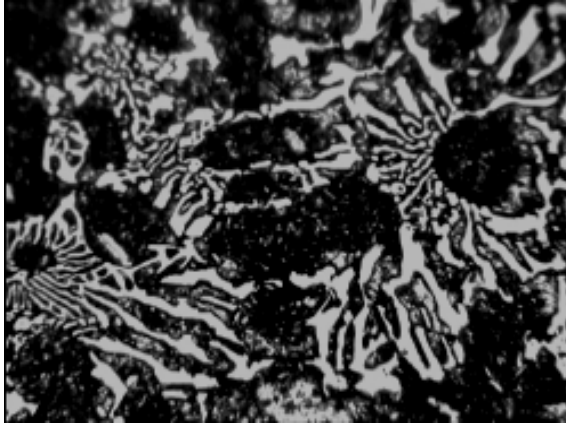
(b)



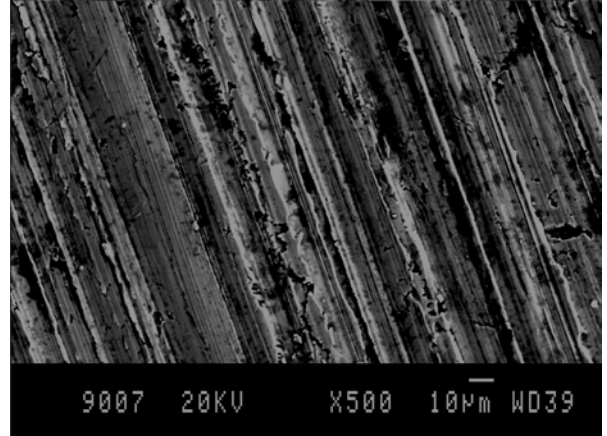
(c)

Şekil 2. 1 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280, b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500, c-) Aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

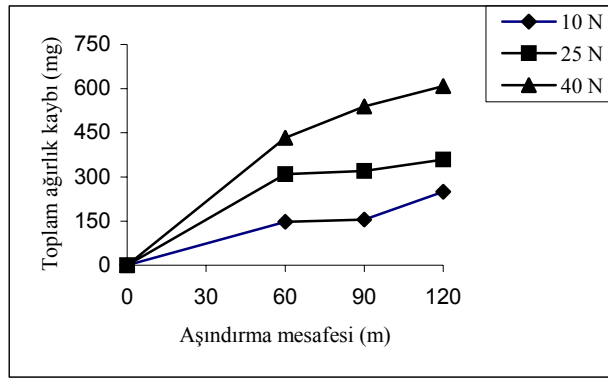
### 3. DENEY SONUÇLARI VE TARTIŞMA



(a)



(b)

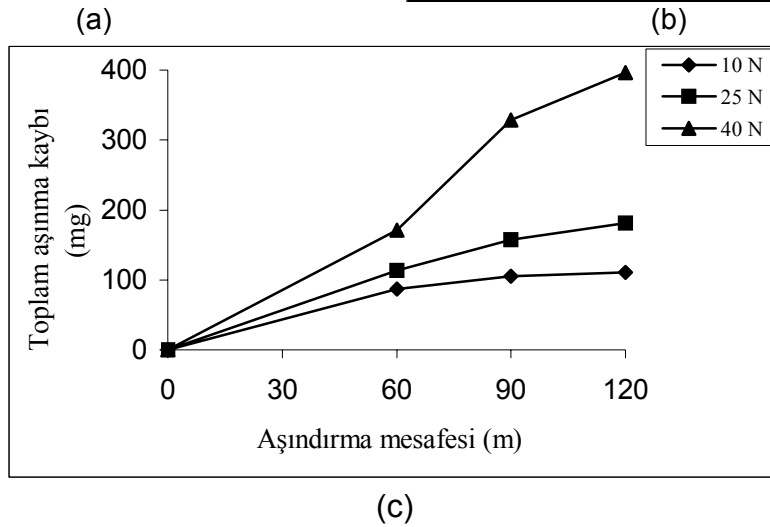
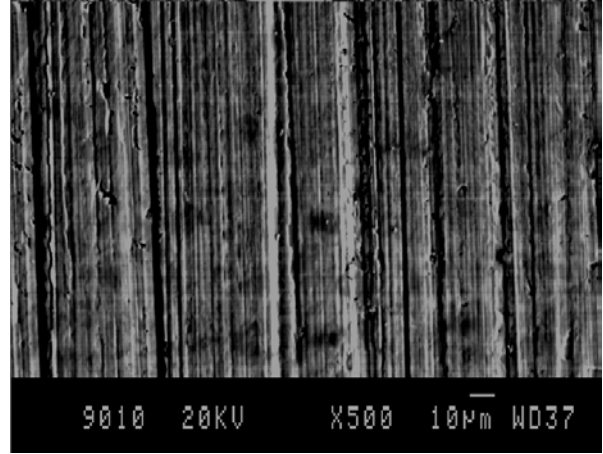
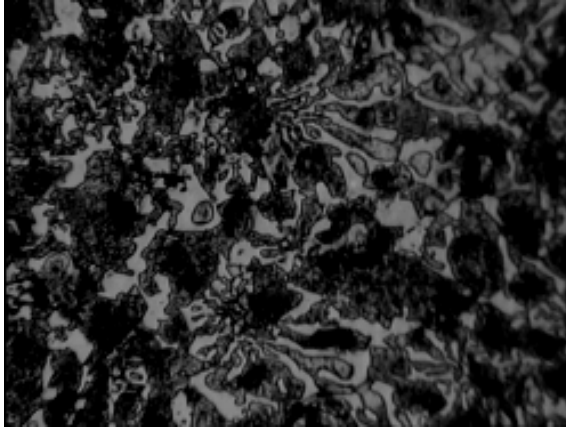


(c)

Şekil 3. 2 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280, b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500, c-) Aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

Deney numuneleri içerisinde en fazla aşınmaya uğrayan ve Şekil 3a'da optik fotoğrafı verilen mikroyapıyı incelediğimizde martenzitik yapı içerisindeki krom karbürlerin (beyaz bölgeler) sütunsal halde olduğu, ayrıca (b)'de verilen yüzey aşınımının SEM görüntüsü ile 1 No'lu numuneye ait SEM görüntüsü karşılaştırılacak olursa 2 No'lu numunede aşınma izlerinin çok daha geniş olduğu

gözlenmektedir. Yine aynı numunenin aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğini (c) incelediğimizde, 120m'lik aşındırma mesafesinde, 10 N'luk yük altında 249.2 mg, 25 N yük altında 359.5 mg aşınmanın meydana geldiği, yükün artması ile birlikte aşınmanın da arttığı dolayısıyla, 40 N'luk yük altında 609.1 mg'lık aşınma kayıplarının olduğu belirlenmiştir.

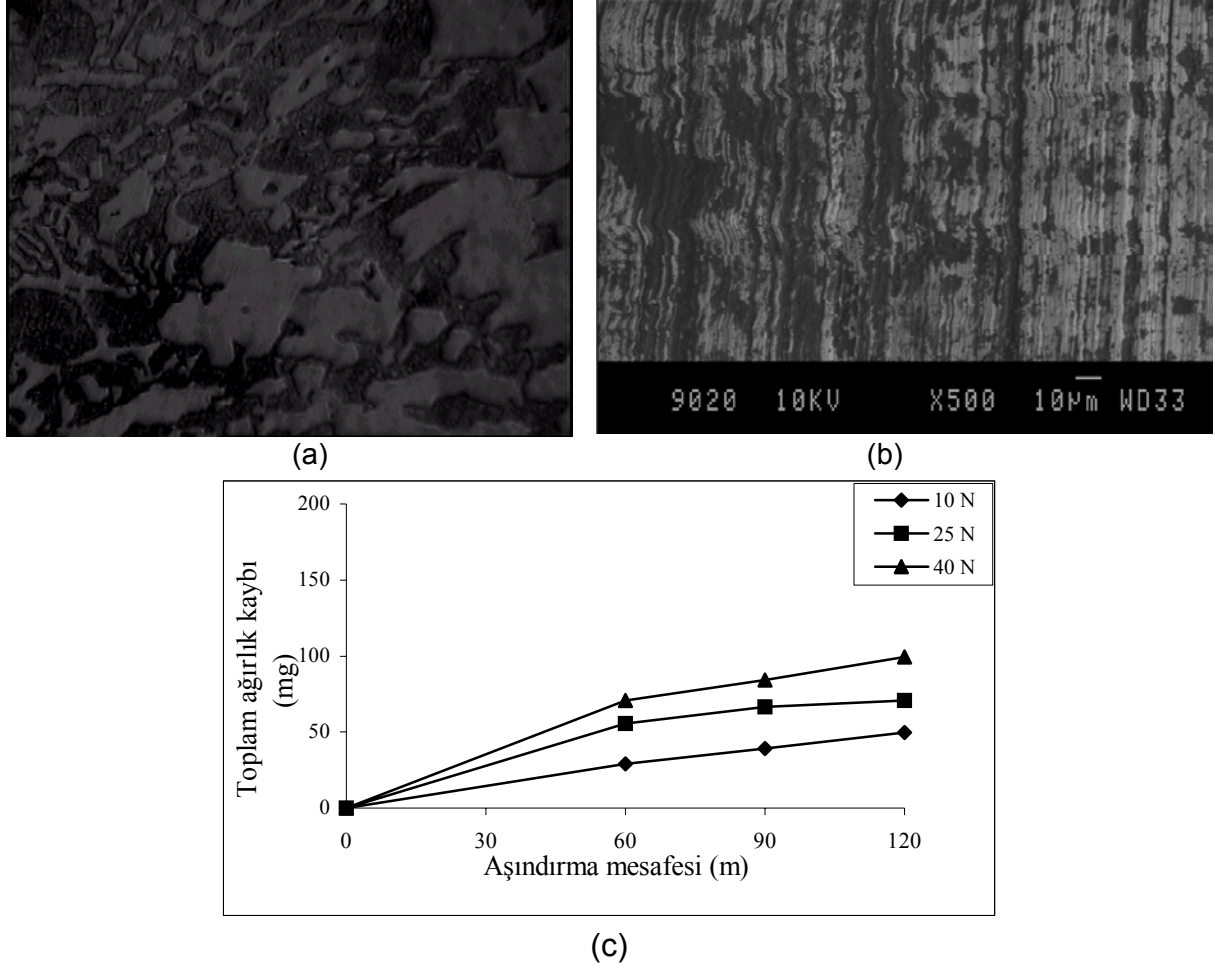


Şekil 4. 3 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280, b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500, c-) Aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

Şekil 4a'da sertlik değeri en yüksek olan (66 HRC) 3 No'lu numunenin mikroyapısındaki karbürlerin (beyaz bölgeler) süreksiz sütunsal halde ve matris içersinde düzenli dağıldıkları görülmektedir. (b)'de aşınan yüzey SEM görüntüsünde aşınma izlerinin 2 No'lu numuneye nazaran daha dar olduğu, (c)'de verilen aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği incelediğinde ise

dığı ve 40 N'luk yük uygulamasında da 396.2 mg aşınma kaybının olduğu tespit edilmiştir. Sertliği en yüksek olmasına rağmen deney numuneleri içerisinde aşınma performansı yönünden dördüncü sırada yer alabilmiştir.

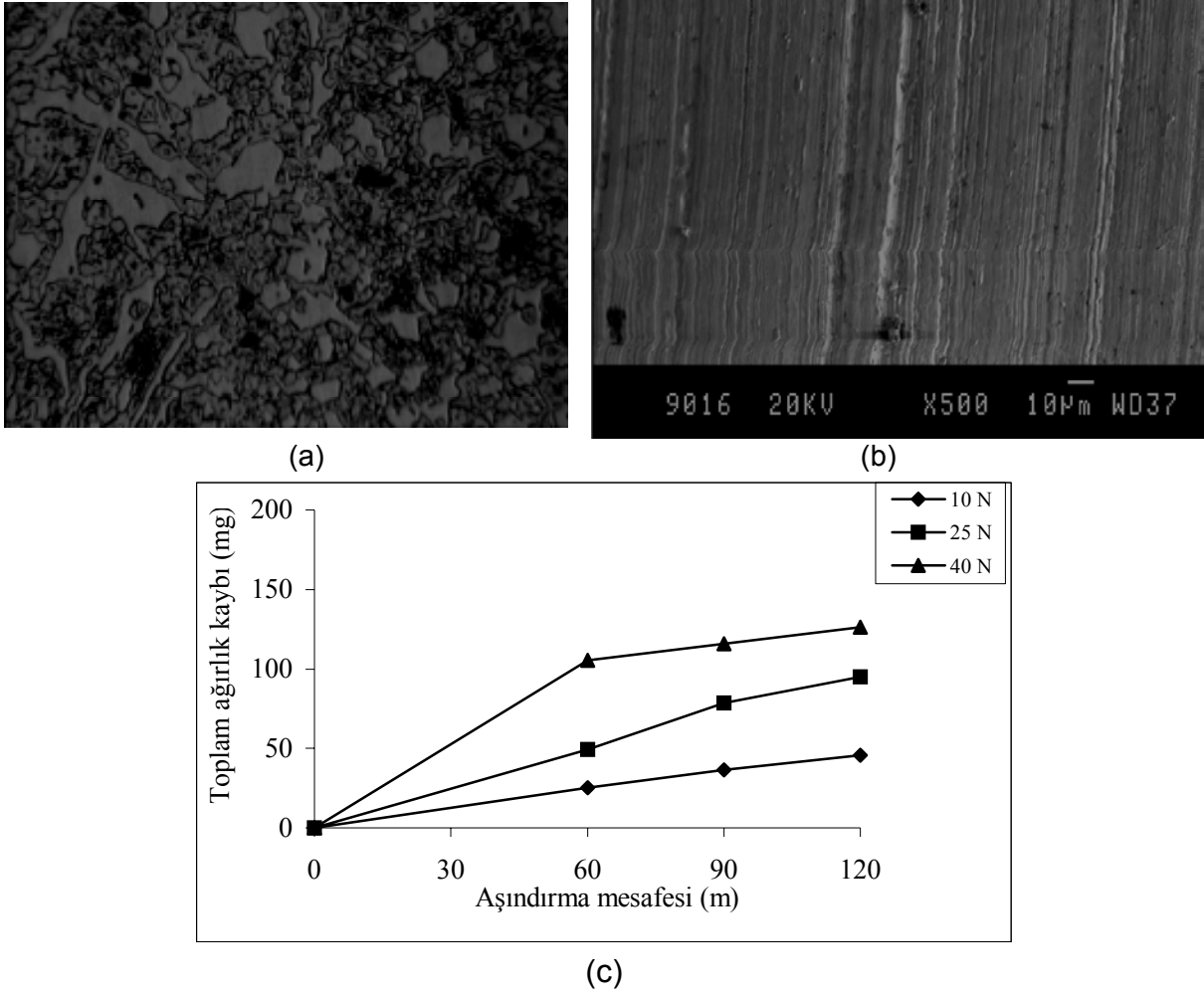
120 m'lik aşındırma mesafesinde, 10 N'luk yük altında 110.6 mg ve 25 N'luk yükte 186.2 mg aşın-



Şekil 5. 4 No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280, b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500, c-) Aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği

Şekil 5a'da optik mikroskop fotoğrafı görülen 4 No'lu numunenin mikroyapısı 1 No'lu numunenin mikroyapısına benzemekle beraber burada martenzitik yapı içerisinde ince krom karbür parçalarının yanı sıra büyük (beyaz) krom karbür parçalarının da yer aldığı açıkça görülmektedir. Malzemenin ana matris mikroyapısında bulunan büyük krom karbür parçalarının malzemenin aşınma dayanımına önemli oranda katkı sağladığı düşünülmektedir. Aynı numunenin (b)'de verilen aşınan yüzeyinin SEM görüntüsünü incelediğimizde diğer numunelere nazaran daha ince aşınma izlerinin oluştuğu ve bu numunenin aşınan yüze

yinde diğer numunelerden farklı olarak yer yer parçacık şeklinde kopmaların olduğu görülmektedir. (c)'deki aşındırma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğini incelediğimizde, 60, 90, 120 m'lik aşındırma mesafelerinde, 10 N'luk yük altında sırasıyla 29.1, 39.1 ve 49.6 mg, 25 N'luk yük altında aynı şartlarda 55.6, 66.6 ve 70.8 mg ve 40 N'luk yük altında da sırasıyla 70.8, 84.1 ve 99.5 mg'lık aşınma kayıplarının olduğu tespit edilmiştir. Bu numune düşük yük ve kısa aşındırma mesafelerinde 5 No'lu numuneye oranla daha fazla aşınırken, yükün ve aşındırma mesafesinin arttığında daha az aşındığı gözlenmiştir.

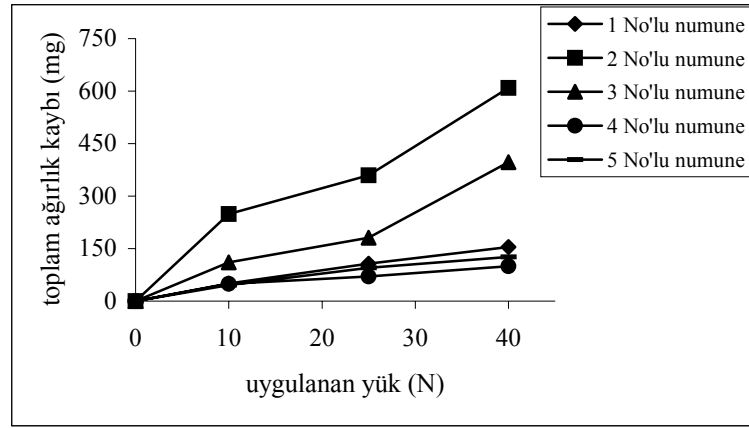


Şekil 6. 5. No'lu numunenin a-) Optik mikroskop fotoğrafı x280, b-) Aşınan yüzey SEM görüntüsü, x500, c-) Aşınma mesafesi-toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiği.

Şekil 6a'da 5 No'lu numunenin optik mikroskop altındaki fotoğrafı incelendiğinde yapının sementit içerisinde krom karbürlerden meydana geldiği, diğer numunelere nazaran bu numunedeki krom karbürlerin matris yapı içerisinde daha fazla ve daha homojen dağılım sergilediği görülmektedir. Aynı numunenin SEM görüntüsünde sadece aşındırıcı zımparanın malzemeyi ince çizikler halinde aşındırdığı ve aşınma izlerinin çok derin olmadığı ve malzemede yüzeysel bir aşınmanın meydana geldiği görülmektedir. Bu numuneye ait

aşındırma mesafesi toplam ağırlık kaybı ilişkisi grafiğinden (Şekil 5c), 60, 90 ve 120 m'lik aşındırma mesafelerinde sırasıyla, 10 N'luk yük altında 25.2, 36.6 ve 45.6 mg, 25 N'luk yük altında 49.4, 78.5 ve 95.1 mg, 40 N'luk yük altında da 105.6, 115.8 ve 126.1 mg'lık aşınma kayıplarının olduğu belirlenmiştir.

Yukarıda verilen 5 farklı deney numunesinin 120 m'lik aşındırma mesafesindeki 10, 25 ve 40 N'luk yükler altındaki aşınma kayıplarının toplu gösterimi şekil 7'de verilmektedir.



Şekil 7. Deney numunelerinin 120 m'lik aşındırma mesafesindeki aşınma kaybı grafiği.

Şekil 7'de verilen grafiği incelediğimizde 2 No'lu numunenin en fazla, 4 No'lu numunenin ise en az aşınan numune olduğu görülmektedir. Ancak Şekil 4 ve Şekil 5 birlikte incelendiğinde 10 N'lük yük altında 60, 90 ve 120 m'lik aşındırma mesafelerinde ayrıca 25 N'lük yükte 60 m'lik aşındırma mesafesinde 5 No'lu numunenin daha iyi aşınma performansı sergileyerek bu yük ve yollarda en az aşınan numune olduğu görülmüştür. 4 ve 5 No'lu numuneler arasındaki bu aşınma performansı farklılığının sebebinin 4 No'lu numunedeki büyük krom karbür parçacıklarının ilk aşınma esnasında malzemeden koparak aşınma miktarında artış meydana getirirken, yapıda kalan düzenli ve ince dağılım gösteren krom karbür parçacıklarının artan yük ve aşındırma mesafelerinde aşınma miktarını azalttığı düşünülmektedir (3). 2 No'lu numunenin en fazla aşınan numune olmasının nedeninin Çizelge 2'de verilen Cr/C oranı ile yakından ilgili olduğu düşünülmektedir. Çizelgeye göre 2 No'lu numunenin en yüksek Cr/C oranına sahip olduğu görülmektedir. Ancak Cr/C oranının yanında malzemedeki %Cr ve %Mo miktarının önemi de göz ardı edilmemelidir. Örneğin düşük yük altında, kısa aşındırma mesafelerinde en az aşınan 5 No'lu numunenin %Mo oranı 2,522 olması bu numunenin aşınma direncinin yüksek olmasını sağlayan nedenlerden biri olduğu düşünülmektedir. Bunun yanı sıra iyi aşınma direnci gösteren 4 No'lu numunenin de Çizelge 1'e göre en yüksek %Cr oranına sahip olduğu ve bunun da aşınma direncine olumlu katkı sağladığı düşünülmektedir. Beyaz dökme demir malzemelerin aşınma dirençlerine olumlu yönde etki eden diğer bir element de nikelidir. Yine Çizelge 1'de 1 No'lu numunenin kimyasal bileşiminde %Cr miktarı diğer numunelere göre

çok az olurken, (% 4,186) Ni oranının ise önemli derecede fazla olduğu görülmektedir. Beyaz dökme demir içerisinde nikelin abrasiv aşınma direncini arttırdığı bilinmektedir (2). Cr oranının azlığına göre en fazla aşınan numune olması beklenirken, malzemedeki nikel oranı malzemenin aşınma direncini artırarak bu numunenin aşınma performansının orta seviyelere yükselmesini sağladığı düşünülmektedir. Ayrıca malzemelerin yapılarında bulunan krom karbürlerin miktarları, büyüklüğü ve dağılımı da yüke ve zamana bağlı aşınmada önemli rol oynadığı gözlenmiştir.

#### 4. SONUÇLAR

Bu çalışmada; yüksek kromlu beyaz dökme demirden üretilmiş türbin paletlerindeki değişik şartlar altında aşınma davranışları incelenmiş ve aşağıdaki genel sonuçlar elde edilmiştir.

1. Yüksek kromlu beyaz dökme demir malzemelerin aşınmasına Cr/C oranının önemli rol oynadığı ve deney numunelerinin içinde en yüksek Cr/C'e sahip olan 2 No'lu numunenin en fazla aşındığı gözlenmiştir.

2. Cr, Mo ve Ni'in malzemelerin özellikle abrasiv aşınma dirençlerine olumlu yönde katkı sağlarken, malzeme yapısında görülen krom karbürlerin oranı, büyüklüğü ve dağılımlarının aşınma direncine önemli oranda etki ettiği görülmüştür.

3. Malzemelerin aşınma dirençlerinin tek bir faktöre bağlı olmayıp aynı zamanda malzemelerin kimyasal bileşimindeki değişimlere, mikroyapılarına, aşındırmada uygulanan yüke ve aşındırma mesafesi gibi farklı değişkenlere de bağlı olduğu görülmüştür.



**TEŞEKKÜR**

Deney numunelerinin temininde ve deneye hazır hale getirilmesinde yardımcı olan Yaşar ŞAHİN'e teşekkür ederim.

**5. KAYNAKLAR**

1. Kahraman, N., Gülenç, B., Abrasive Wear Behaviour of Powder Flame Sprayed Coatings on Steel Substrates, *Materials and Design*, vol. 23, s. 721-725, 2002.
2. Fairhurst, W., Rohrig, K., Abrasion – Resistance High – Chromium White Cast Irons, 1989.
3. *Metals Handbook*, 9 th Edition Vol. 15 Casting, 1988.
4. Şahin, Yaşar., *Kumlama Makinası Türbin Paletlerindeki Aşınma Ve Mikroyapının İncelenmesi*. G. Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2001.
5. Bedolla Jacuinde, A., Rainforth, W.M., The wear behaviour of high-chromium white cast irons as a function of silicon and Mischmetal content, *Wear*, 250, 449-461, 2001.
6. Hanlon, D.N., Rainforth, W.M. Rainforth, C.M., Cellars, The rolling/sliding wear response of conventionally processed and spray formed high chromium content cast iron at ambient and elevated temperature, *Wear*, 225–229, 1999.
7. Dogan, O.N., Hawk, J.A., Laird II, G., Solidification Structure and Abrasion Resistance of High Chromium White Irons, *Metallurgical and Materials Transactions A*, Volume 28A, Issue 6, Pages 1315-1328, June 1997,
8. Mutaf, E., E. Ulusoy, *Toprak İşleme Aletlerinin İş Organlarında Kullanılan Bazı Çeliklerin Farklı Isıl İşlemlere Göre Laboratuvar ve Tarla Şartlarında Aşınma Dirençleri*, TÜBİTAK Yayınları No: 337, TOAG Seri No 61, Ankara, 1977.
9. Tabrett, C. P., Sare, I.R., The Effect of Heat Treatment on the Abrasion Resistance of Alloy White Irons, *Wear* 203-204, Pages 206-219, 1997.
10. Chen, X. H., Cang, C. Z., Lu, Z. C., Lin, H. T., Effect Of Niobium on Wear Resistance Of 15%Cr White Cast Iron, 166. 1993.
11. Minkoff, I., *The Physical Metallurgy Of Cast Iron*, A Wiley Interscience Publication, 1983.
12. Sahin, Y., Wear behaviour of aluminium alloy and its composites reinforced by SiC particles using statistical analysis, *Materials & Design*, Volume 24, Issue 2, Pages 95-103, April 2003