

## Isıl Çevrim Uygulanmış Al-Bronz Alaşımında Mikroyapı ve Aşınma Özelliklerinin Araştırılması

Zülküf Balalan<sup>1</sup>, Furkan Sarsılmaz<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bingöl Üniversitesi Makine Mühendisliği Bölümü

<sup>2</sup>Fırat Üniversitesi Mekatronik Mühendisliği Bölümü

zbalalan34@gmail.com

(Geliş/Received: 05.04.2017; Kabul/Accepted: 10.05.2017)

### Özet

Bu çalışmada yaygın olarak deniz ve gemi inşaatında yatak ve burç malzemesi olarak kullanılan alüminyum bronz (CuAl10Fe) alaşımı numunelerine suni yaşlandırma işlemi yapılmıştır. Numuneler, 950 °C de ısıl işlem fırınında 30 dakika bekletilerek 100 ve 150 °C sıcaklıklarda 8-10-12 saatlik periyotlarda ısıl çevrimlere maruz bırakılmışlardır. Daha sonra işlem görmüş numunelerde mikroyapısal dönüşüme bağlı olarak değişen sertlik ve aşınma direnci verileri, yaşlandırma işlemi uygulanmayan esas numune ile karşılaştırılmıştır. Sonuç olarak yaşlandırma uygulanmış numunelerin işlem görmeyen malzemeye kıyasla sertlik ve aşınma direnci kabiliyetinde önemli miktarda artış meydana geldiği belirlenmiştir.

**Anahtar Kelimeler:** Al bronz, Aşınma, Mikrosertlik.

## The Investigation of Tribological and Microstructural Properties of Thermal Cycles Applied Al-Bronze Alloys

### Abstract

In this work, thermal cycles were applied to samples of CuAl10Fe aluminum bronze alloy which are commonly used in marine hardware, shipping and journal bearings. The samples were maintained in heat treatment furnace at 950 °C (for 30 minutes) and cooled after than subjected to aging process by storing in heat treatment furnace (at 100 °C and 150 °C) for different times (8, 10 and 12 hours). Therefore, aged samples of the data on microhardness and wear resistance values were compared to non-aged base sample depending on the microstructural transformation. As a consequence of this, there is an important increasing at aged samples of microhardness and wear resistance values when comparing with non-aged base sample.

**Keywords:** Al bronze, Wear, Microhardness.

### 1. Giriş

Günümüzde imalat endüstrisi her geçen yıl demirdışı metal alaşımı üretim kapasitesini artırırken bu alaşımlar içinde bakır ve alaşımlarına olan talep de artmaktadır[1]. Endüstride en yaygın kullanım alanı bulan metallerin başında bakır alaşımları gelmektedir. Saf bakıra alüminyum, nikel, demir, kurşun, mangan, kobalt, silisyum, gümüş, kalay, berilyum ve zirkonyum gibi elementler tek olarak veya bu elementlerin birlikte oluşturdukları alaşımlar ilave edilebilmektedirler. Bu alaşım elementlerinin saf bakıra katkısı ile işlem şartlarına bağlı olarak mekanik, kimyasal ve fiziksel özelliklerin geliştirilmesi mümkün olabilmektedir[2]. Bu alaşımlar sektörde üstün ısı ve elektriksel iletkenlik özellikleri göstermesinin

yanında çok iyi aşınma ve yağlayıcılık özelliklerine de sahip olmaları nedeniyle pek çok tribolojik uygulamalarda kullanılmaktadır[1,2]. Demir ve çelik endüstrisinde en yaygın kullanım alanı bulan bakır alaşımlarından biri de yatak malzemesi olarak çoğunlukla tercih edilen bronz alaşımlarıdır[3]. En yaygın tercih edilen yatak malzemeleri alüminyum ile bakırın birlikte oluşturdukları alüminyum bronzundan yapılmaktadır. Bu alaşımlarda ana alaşım elemanı alüminyum elementinin yanında demir, nikel silisyum ve mangan elementleri bulunmaktadır. Özellikle %2-4 arası demir içeren alüminyum bronzları ötektoid dönüşüm noktasının sıcaklığını düşürürken %3 e kadar nikel ilavesiyle de mekanik özellikler oldukça iyileştirilebilmektedir[4]. Özellikle endüstrinin çok kullandığı CuAl10Fe alaşımları buna örnek olarak verilebilir. Bu

malzemelerden üretilmiş yataklar yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini korur ve 250° C üzerinde çalışan ekipman yataklarında yağlamanın yeterli olduğu, yüksek yük ve düşük hız uygulamalarında daha çok tercih edilirler [5-7] Ayrıca bu alaşımın diğer Al-bronzlarına kıyasla önemli bir özelliği de nikel ve demir katkıları ile iç yapıda soğuma esnasında istenmeyen ikincil bileşik fazların oluşumunu engellemesidir. Bununla birlikte bakır alaşımlarına alaşım elemanı katkılarının ilavesiyle birlikte mukavemet artışı sağlanırken, diğer yandan çökeltme sertleştirilmesi (yaşlandırma) ile de maksimum sertlik, mukavemet ve tokluk gibi mekanik özelliklere ek olarak iyi korozyon ve aşınma dirençleri arttırılabilmektedir[7,8].

Bu nedenle çalışmamızda CuAl10Fe alüminyum bronzunun endüstride yaygın kullanımı göz önüne alınarak mevcut alaşımın performanslarının belirlenmesi ve karşılaştırılması hedeflenmiştir. Al,Fe,Mn ve Ni elementlerini içeren alüminyum bronzları yüksek sertlik özellikleri sergilerler. Ancak mekanik özelliklerinin de belirli bir ömür süreleri bulunmaktadır. Bu ömür sürelerini aşınma direncinin iyileştirilmesiyle arttırmak mümkündür. Bu sebeple CuAl10Fe alaşımının aşınma kabiliyetinin iyileştirilebilmesi amacıyla çeşitli sıcaklıklarda suni yaşlandırma ısıl işlemleri uygulanmış ve bu amaçla alaşımda mikro yapı, mekanik özellikler ve aşınma özellikleri araştırılmıştır.

## 2. Materyal ve Metot

Deneysel çalışmada, Tablo 1. de kimyasal içeriği verilen CuAl10Fe alüminyum bronzu ticari olarak temin edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan alüminyum bronzu alaşımlarına daha önceden herhangi bir ısıl işlem uygulanmamıştır. Bu alaşımlar 20 mm çapında ve 8 mm yüksekliğinde kesilerek yaşlandırma öncesi yüzeyleri temizlenip metalografik olarak elmas pasta ile parlatılmış ve asit solüsyonu ile dağlanmışır. Yaşlandırma öncesi numunelerin baz numune üzerinden esas mikroyapı fotoğrafları elektron mikroskobu yardımıyla belirlenmiştir. Daha sonra numuneler, 950 °C de ısıl işlem fırınında 30 dakika bekletilerek hızla

oda sıcaklığına soğutulmuş ve akabinde Tablo 2 de verilen sıcaklık (100 ve 150 °C) ve sürelerde (8-10-12 saat) altı adet numuneye ısıl işlem fırınında argon gazı altında ısıl çevrimler uygulanmıştır. Aşağıdaki tabloda yaşlandırma işlemi uygulanan numunelere ait bekleme süresi ve sıcaklık değerleri görülmektedir (Tablo 2). Bütün suni yaşlandırma işlemleri sıcaklık ve zaman kontrollü ısıl işlem fırınında (Protherm marka) yapılmıştır. Deneysel çalışmada seçilen yaşlandırma işlemine ilişkin parametreler literatür ışığında elde edilen verilerle incelenerek ve yorumlanarak seçilmiştir [6-8]. Yaşlandırma işlemi uygulanan bu numunelere mekanik sertlik testleri ve aşınma testleri uygulanmıştır. Deneyde kullanılan sertlik ve aşınma deney numuneleri, farklı parametrelerde yaşlandırma yapılan numunelerden seçilerek standartlara uygun olarak hazırlanmıştır. Her farklı yaşlandırma süresi için en az üç numune seçilerek bu numuneler üzerinde ilgili testler/deney yapılarak ortalama veriler elde edilmiştir. Farklı yaşlandırma parametreleri uygulanan numunelerin mikrosertlik testleri için öncelikle yüzeyleri 120-1200 gritlik zımparalarla zımparalanarak temizlenmiş ve parlatılmıştır[9]. Daha sonra numunelerin yüzeylerinde 1 mm eşit aralıklarla 6 farklı noktadan ölçüm yapılmış ve sertlik test grafikleri elde edilmiştir. Mikrosertlik testleri Vickers MHT 10 tipi mikrosertlik ölçüm test cihazıyla 5 gr yük ve 10 saniye bekleme süresi altında yapılmıştır.

Aşınma deneyleri oda sıcaklığında pin on disk tipi test cihazı kullanılarak kuru ortam şartlarına göre adhesiv olarak gerçekleştirilmiştir. Deneylerde 10 mm çapında ve 40 mm uzunluğundaki silindirik geometride numuneler kullanılmıştır. Deneyde aşındırıcı karşı malzeme olarak SAE 1050 çelik çeliğinden disk kullanılmıştır. Tablo 3'de SAE 1050 çelik aşındırıcıya ait kimyasal içerik verilmiştir. Aşındırıcı disk, genişliği 100mm çapında ve 5mm kalınlığında torna tezgâhında imal edilmiş ve ardından yüzeyleri taşlanmıştır. Numunelerin alın yüzeyleri ise 1200 gritlik zımpara ile zımparalanarak, her iki temas yüzeyler asetonla temizlenmiş ve kurutulmuştur. Tablo 4'de ise aşınma işlemlerinde kullanılan numunelerin test parametreleri verilmiştir. Aşınma deneyleri torna tezgâhında 190 dev/dak'lık sabit bir devirde ve toplam aşınma yolu 500 m olarak deney numuneleri üzerine sırasıyla 30 N, 60 N' luk

yükler uygulanmış olup, deney numuneleri her 50 m aşınma yolu sonunda sökülüp yüzeyindeki aşınma artık partikül ve tozlar alkol ile temizlenmiş ve  $10^{-4}$  hassasiyetli elektronik bir terazi yardımıyla ağırlık kayıpları tespit edilmiştir. Ayrıca numunelerin aşınmış yüzeylerinin modifikasyonları SEM ile incelenmiş ve yüzey fotoğrafları alınmıştır. Aşınma işlemleri sonrası numunelerin ağırlık kayıpları belirlenerek ( $\Delta G$ ), tipik aşınma oranları ( $W_a$ ) hesaplanmıştır.

$$W_a = \frac{\Delta G}{dMs} = (m^3/Nm)$$

Burada;  $W_a$ : Aşınma Oranı,  $\Delta G$ : ağırlık kaybı (gr),  $s$ : kayma mesafesi,  $M$ : Uygulanan yük, ve  $d$ : malzemenin yoğunluğu olarak belirlenmiştir [10].

**Tablo 1.** Deney çalışmalarında kullanılan malzemelerin kimyasal içerikleri

Malzeme	Alaşım Elementleri,% Ağırlık				
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu
CuAl10Fe	8-11	2-4	1	3	Kalan

**Tablo 2.** CuAl10Fe alaşımına uygulanan ısı çevrimler

Numune No	Yaşlandırma Sıcaklığı	Yaşlandırma Süresi
N1	150	8
N2	150	10
N3	150	12
N4	100	8
N5	100	10
N6	100	12

**Tablo 3.** SAE 1050 çelik mile ait milin kimyasal bileşenleri

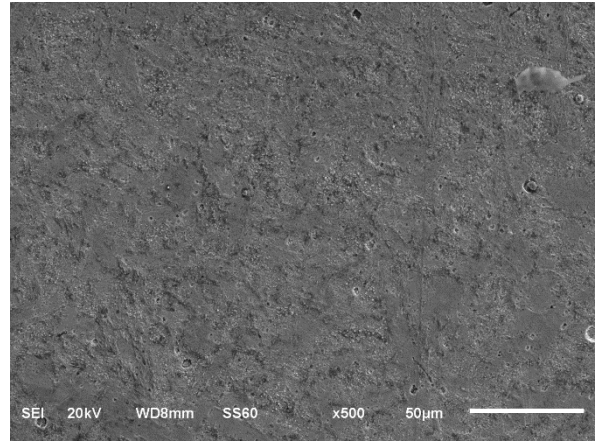
Malzeme	Alaşım Elementleri,% Ağırlık					
	C	Si	Mn	P	S	Fe
SAE 1050	0,51	0,25	0,75	0,04	0,05	Kalan

### 3. Deneysel Sonuçlar ve Tartışma

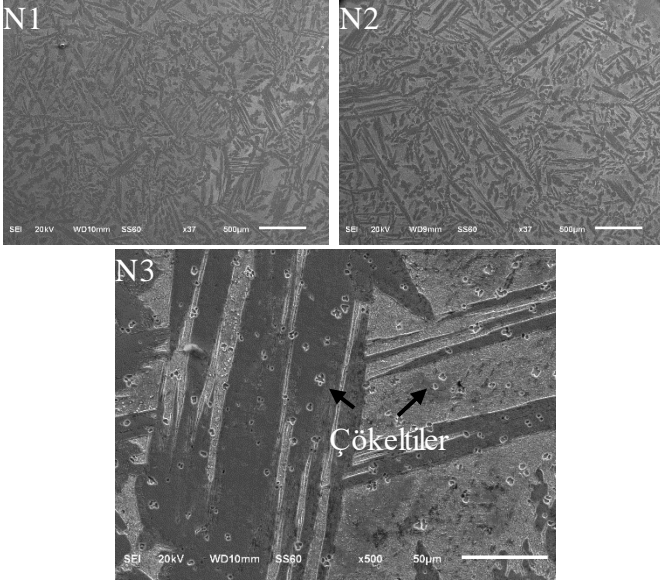
#### 3.1 Mikroyapı incelemeleri

Endüstriyel alüminyum bronzlarının tane yapısını inceltmek, sertliği ve dayanımı arttırmak için % 1-4 arasında Fe ilave edilmektedir. % 8-10 Al içeren bu malzemelerde bileşimde % 3-5 arasında Ni bulunmadığı takdirde ısı işlem

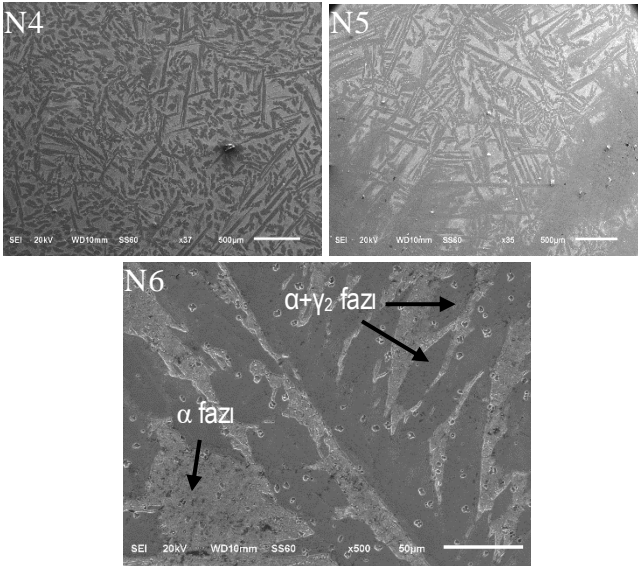
yapmak mümkün değildir.[4]. Bu nedenle alüminyum bronzları içerisinde nikel-alüminyum alaşımlarının özel bir yeri bulunmaktadır. Bu malzemelerde mikro yapıda uygulanan ısı işleme bağlı olarak  $\alpha$  ve  $\beta$  fazları bulunmaktadır. Ancak ısı işlem sıcaklığından yavaş soğutma ile  $565^\circ\text{C}$  de  $\beta$  fazı dönüşüme uğratarak  $\alpha+\gamma_2$  yapısına dönüşür ve bu yapı oda sıcaklığına kadar devam eder.  $\gamma_2$  fazı gevrek ve kırılğan bir faz olduğundan Al bronzlarında istenmez.  $\beta$  fazının engellenmesi için alaşım, ötektoid sıcaklığının üstüne kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta çok hızlı soğutma işlemi uygulanır[4,5]. Böylece faz dönüşümü engellenerek alaşım yapısı oda sıcaklığına kadar  $\alpha$  ve  $\beta$  olarak kendini korumaktadır. Bu nedenle özellikle CuAl10Fe bronzları için çalışmamızda I. aşama yaşlandırma işlemlerinde hızlı soğutma işlemi uygulanmıştır. Aşağıdaki şekilde yaşlandırma işlemi uygulanmamış CuAl10Fe alaşımına ait SEM fotoğrafından alaşımın oldukça ince taneli bir yapıda olduğu görülmektedir.



**Şekil 1.** Yaşlandırma yapılmayan baz CuAl10Fe alaşımına ait SEM mikroyapı fotoğrafı



Şekil 2. 150 °C de yaşlandırma yapılan N1,N2,N3 numunelerine ait SEM mikroyapı fotoğrafı



Şekil 3. 100 °C de yaşlandırma yapılan N4,N5,N6 numunelerine ait SEM mikroyapı fotoğrafı

Yaşlandırma işlemi sonrası numunelerde oluşan mikroyapısal dönüşümler Şekil 2 ve Şekil 3 de sırasıyla verilmiştir. Yaşlandırma işlemi yapılmayan numune ile karşılaştırıldığında bütün resimlerde hızlı soğuma işleminden kalan  $\alpha$  fazında Fe içeriğine bağlı martenzit dönüşümünün kalıntılarına rastlanmıştır. Bu durum yaşlandırma sıcaklığının yeterli olmaması nedeniyle  $\alpha$  fazında çubuk formdaki martenzitin, daha küresel  $\alpha+\beta$  fazına dönüşmemesine bağlı

olduğu düşünülmektedir. Ancak mikroyapıda martenzit çubuklardan ayrılan ve çökelti özelliği gösteren küçük ada şeklindeki  $\alpha+\gamma_2$  fazlı yapıların varlığı görülmektedir. Numunelerin yaşlandırma sıcaklığı irdelendiğinde 100 °C ile 150 °C arasında çok bariz bir yapısal dönüşüm farkının görülmeyeceği ancak bekleme süreleri kendi sıcaklık grubunda değerlendirildiğinde 12 saatlik bekleme süresiyle tane yapılarının ve çökelti miktarlarının gözle görülür düzeyde değişim gösterdiği tespit edilmiştir.

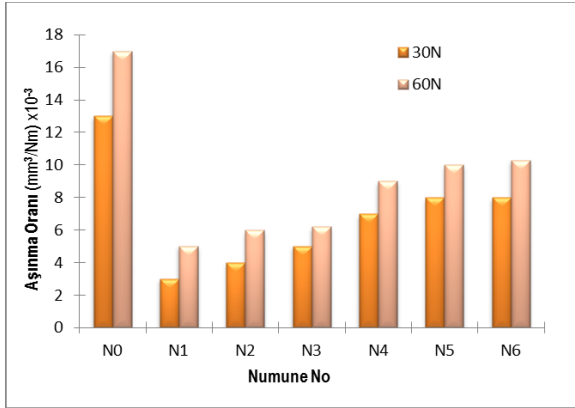
### 3.2 Aşınma ve mikrosertlik incelemeleri

Aşınma deneylerinde, her bir numunenin aşınma miktarları, iki farklı yük ve altı farklı yaşlanma şartlarına göre incelenmiştir. Her bir kaymalı yatak numunesine uygulanan yük ve numunelerde oluşan ağırlık kaybına bağlı aşınma oranları ( $W_a$ ) yaşlanma uygulanmayan esas malzemeye ve yaşlanma uygulanan numunelere göre değişimi Şekil 4’de verilmiştir.

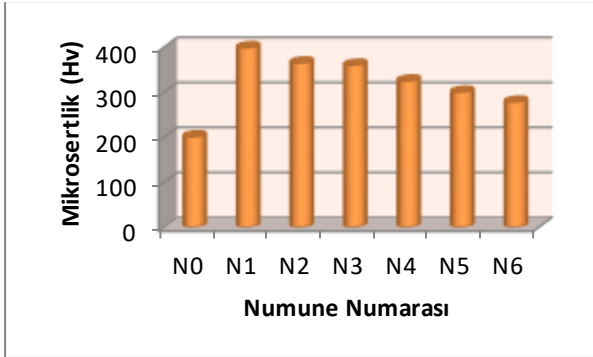
Bütün numunelerin yük miktarı arttıkça ağırlık kaybının arttığı gözlemlenmiştir. Genel olarak en yüksek ağırlık kaybının 60 N yükte, 100 °C de 12 saat bekleme süresi altında yaşlandırma yapılan N6 numunesinde gerçekleştiği belirlenmiştir. Her numunenin farklı yaşlanma şartları altında malzeme kaybı, uygulanan yükün artmasıyla lineer olarak artmaktadır. Yüksek yükte kuru ortam çalışma şartlarının da etkisiyle yatağın sıcaklığın artması yatağın yük taşıma kapasitesini azaltmaktadır. Sürtünme sonucu oluşan sıcaklık ve basıncın etkisiyle numune temas yüzeylerinden kopan malzeme miktarları yüksek ağırlık kayıplarına neden olmuştur. Bu nedenle kaymalı yataklarda uygun basınç ve yük değerinin seçilmesi önemli bir faktör olduğu açıklar.

Şekil 4’de görüldüğü gibi iki farklı yaşlanma sıcaklıkları, birbiriyle karşılaştırıldığında 150 °C de yaşlandırma yapılan numunelerin aşınma ağırlık kayıpları ve aşınma oranının, 100 °C de yaşlandırma yapılan numunelere kıyasla bir miktar azaldığı ve buna karşın mikrosertlik değerlerinin yükseldiği görülmüştür. Bununla birlikte esas baz malzemeye göre de yaşlandırma etkisinin önemli derecede ağırlık kayıplarını azaltarak mikrosertlik değerlerini yükselttiği kolayca fark edilmektedir (Şekil 5) Ayrıca bütün numunelerin 8, 10 ve 12 saatlik üç farklı yaşlandırma sürelerinin artışı ile birlikte

numunelerdeki kütle kaybı da artmaktadır. Bu durum 8 saatlik yaşlandırma süresinin üzerindeki sıcaklıklarda malzemenin genel mukavemet karakteri üzerinde olumsuz etkiye yol açtığı söylenebilir. Aynı sıcaklıkta tutulan numunelerde yaşlandırma sürelerinin artmasıyla beraber mikrosertlik değerlerinin de düşüş gösterdiği Şekil 5 den görülmektedir. Bu aşamada elde edilen aşınma kaybı miktarları ile mikrosertlik ölçümleri sonuçları birbirini destekler niteliktedir.



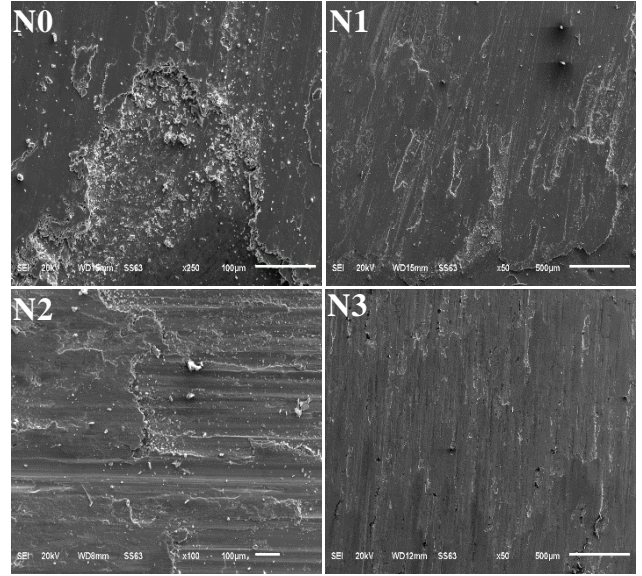
Şekil 4. Numunelere uygulanan ısı çevrim sonucu oluşan aşınma oranları (Wa)



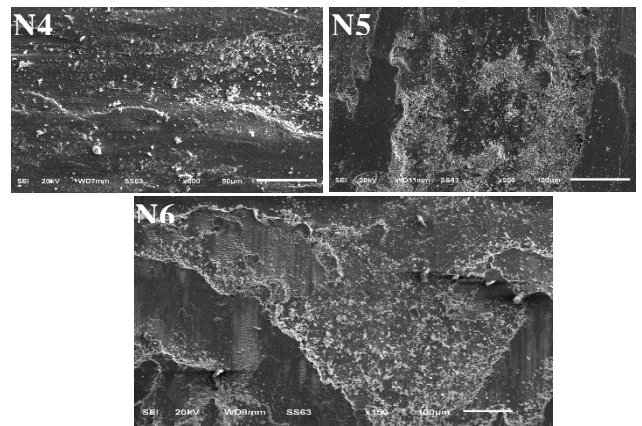
Şekil 5. Numunelerin mikrosertlik değerleri

Bütün numunelerin aşınma yüzey fotoğraflarının SEM görüntüleri Şekil 6 ve Şekil 7 de sırasıyla verilmiştir. Numunelerin farklı deney parametreleri altında (yaşlanma süresi, sıcaklığı ve yüklerde) gerçekleştirilen aşınma testi sonucunda çıkan SEM görüntülerinden, sürtünme yüzeylerinde farklı derinliklerde aşınma çizikleri net olarak görülebilmektedir. Şekil 6 da özellikle yaşlandırma uygulanmayan N0 numaralı numunede diğer numunelere kıyasla aşınma çiziklerinin derinliğinin arttığı gözlenmiştir. Bu durum numunelerden elde edilen aşınma oranları değerlerindeki değişimin

bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Ayrıca bütün numunelerin aşınma yüzeyleri karşılaştırıldığında, aşınma verileri ve mikrosertlik verilerine paralel, aşınma yüzey çiziklerinin 150 °C de daha yüzeysel derinlikte ve daha az debris içerdiği fotoğraflardan görülmektedir. Bu durum ise özellikle 150 °C de ve düşük bekleme sürelerinde aşındırma yapılan numunelerin karşılık mil üzerindeki etkisinin az olduğunu dolayısıyla mili daha az aşındırdığını söyleyebiliriz.



Şekil 6. Yaşlanma yapılmayan (N0) ve 150 °C de yaşlandırma uygulanan (N1,N2 ve N3) numunelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri



Şekil 7. 100 °C de yaşlandırma uygulanan (N4,N5 ve N6) numunelerin aşınma yüzeyi SEM görüntüleri

#### 4. Genel Sonuçlar

Yapılan bütün deneyler sonucunda farklı yaşlanma şartları altında CuAl10Fe alaşımının mikroyapı ve mekanik aşınma özellikleri incelenmiş ve karşılaştırılmıştır. Buna göre elde edilen sonuçlarla beraber kaymalı yatakların aşınma özellikleri hakkında aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- 1.) Yaşlandırma yapılan ve yapılmayan CuAl10Fe alaşımlarında, uygulanan yük arttıkça ağırlık kayıplarının arttığı ve buna bağlı olarak bulunan aşınma oranlarının  $W_a$  arttığı tespit edilmiştir. En yüksek aşınma oranı değeri yaşlandırma yapılmayan numune dışında 100 °C de 12 saat bekleme süresinde yaşlandırılan N6 numunesinde % 10,2 olarak belirlenmiştir.
- 2.) İki farklı sıcaklık altında yapılan yaşlandırma işlemleri birbiriyle karşılaştırıldığında 100 °C ile yaşlandırılan numunelerin 150 °C da yaşlandırılan numunelere göre daha fazla kütle kaybına maruz kaldığı belirlenmiştir. 150 °C de,  $\beta$  fazının dönüşümü ile intermetalik bileşiklerin çökmesi içyapıda mukavemet artışına neden olmaktadır. Buna karşın, aşırı uzun bekleme süreleri ise içyapıda çökelti miktarını azaltarak yaşlandırma işlemlerinden istenen sertlik ve aşınma dirençlerini sağlamadığı görülmüştür. Bu nedenle en yüksek mikrosertlik değerleri N1 numunede 390 hv olarak elde edilmiştir.
- 3.) Numunelerin aşınma testi sonucunda elde edilen SEM görüntülerinden, sürtünme yüzeylerinde farklı derinliklerde aşınma izleri net olarak belirlenmiştir. Yaşlandırma uygulanmayan N0 numaralı numunede diğer numunelere kıyasla aşınma yüzey tabakası derinliğinin arttığı belirlenmiştir. Numunelerin aşınma oranlarının artışına paralel aşınma iz derinliklerinin arttığı net olarak anlaşılmaktadır. Bu durum

numunelerden elde edilen aşınma oranları değerlerindeki değişimin bir sonucu olduğu düşünülmektedir. Bu aşamada elde edilen aşınma kaybı miktarları, mikrosertlik ölçümleri sonuçları ve aşınma iz derinliği birbirini destekler niteliktedir.

#### 5. Kaynaklar

1. Ünlü, B. S., Köksal, N. S., Atik, E., Meriç, C. (2005). CuSn10 yatak malzemesinin tribolojik özelliklerinin incelenmesi. *Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, **11** (1), 41-45.
2. Özçelik, S. (2007). Cu ve Fe esaslı t/m yatak malzemelerinin aşınma özelliklerinin deneysel incelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi*, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya
3. Atik, E., Ünlü, B., S., Meriç, C. (2001). Radyal Kaymalı Yatak Aşınması Deney Cihazı Tasarımı. *Makine Malzemeleri ve Teknolojisi (MAMTEK) Sempozyumu*, Manisa, 98-103.
4. Ünal M. (1999). Alüminyum Bronzunda Farklı Katılma Hızlarının Mikroyapı ve Mekanik Özelliklerine Etkisi. *Doktora Tezi*, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
5. Koçak, T.Ü., Yanar, H., Pürçek, G., Birol, F. (2014). Bir nikel alüminyum bronz (CuAl10Ni5Fe4) ile kalay bronzunun (CuSn11) sürtünme ve aşınma özellikleri açısından karşılaştırılması. *2.Uluslararası Demir Çelik Sempozyumu (IISS'15)*, Karabük, Türkiye.
6. Thossatheppitak, B., Suranuntchai, S., Uthaisangsuk, V., Manonukul, A., Mugsuntisuk, P., (2014). Microstructure evolution of nickel aluminum bronze alloy during compression at elevated temperatures: *Advanced Materials Research*, **893**, 365-370.
7. Ping, H., Lopez, H.F., E. Athermal (1999). Martensite in a Co-Cr-Mo Alloy: Grain Size Effects. *Materials Letters* **39** 249-253.
8. Davim, P. J. (2000). An Experimental Study of the Tribological Behaviour of the Brass/Steel Pair: *Materials Processing Technology*, **100** 273-277.
9. Varol, R. (2001). Cu ve Fe Esaslı T/M Yatak Malzemelerinin Aşınma Özellikleri: *DEÜ Müh. Fak. Fen ve Müh. Dergisi*, **3**, 81-90.
10. Özdemir, N., Sarsılmaz, F., Orhan, N. (2008). The Effect of Cementite Size and Morphology on the Abrasive Wear Behavior of UHC Steel: *Journal of Tribology, ASME* **130**, 021602.1- 021602.5.