

# BİR NİKEL ALUMİNYUM BRONZU (CuAl10Ni5Fe4) İLE KALAY BRONZUNUN (CuSn11) SÜRTÜNME VE AŞINMA ÖZELLİKLERİ AÇISINDAN KARŞILAŞTIRILMASI

## COMPARISON OF WEAR AND FRICTION PROPERTIES OF A NICKEL ALUMINUM BRONZE (CuAl10Ni5Fe4) AND TIN BRONZE (CuSn11)

Turhan Ürün Koçak<sup>a</sup>, Harun Yanar<sup>b</sup>, Gençağa Pürçek<sup>c</sup>, Feriha Birol<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Sağlam Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kocaeli, Türkiye, urun.kocak@saglammetal.com,

<sup>b</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, harun\_yanar@windowslive.com

<sup>c</sup>Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon, Türkiye, purcek@ktu.edu.tr

<sup>d</sup>Sağlam Metal Sanayi ve Ticaret A.Ş., Kocaeli, Türkiye, feriha.birol@saglammetal.com

### Özet

Kalay bronzları (KB) ve nikel-alüminyum bronzları (NAB) yüksek korozyon ve iyi aşınma özellikleri nedeniyle en önemli bakır alaşımları arasında yer almaktadır. KB iyi aşınma direnci ile birlikte yağlayıcılık özelliğine de sahip olmaları nedeniyle pek çok tribolojik uygulama için tercih edilen bakır alaşımlarındandır. NAB ise özellikle ağır yükler altında üstün abrazyon aşınma dayanımı ve yüksek korozyon gerektiren uygulamalar için mükemmel malzemeler olarak kabul edilirler. Sağlam Metal A.Ş. firmasının ürün kataloğunda yer alan nikel- alüminyum bronzu; kalay bronzlarına göre daha pahalı olmasına rağmen daha yüksek sertlik ve daha düşük yoğunlukları nedeniyle bazı uygulamalar için kalay bronzlarına alternatif olarak önerilmektedir. Bu çalışmada, CuAl10Ni5Fe4 nominal bileşimindeki NAB ile CuSn11 nominal bileşimindeki KB'nun kuru ortam atmosferik koşullarında ve yüksek ve düşük yüklemeye şartlarındaki sürtünme ve aşınma özelliklerinin incelenmesi ve bulunan sonuçların karşılaştırılması amaçlanmıştır. Bu amaçla, belli kimyasal bileşimlerde üretilmiş olan alaşımların mikro yapıları optik ve/veya SEM mikroskobu, mekanik özellikleri ise standart çekme ve sertlik testleriyle incelenmiştir. Alaşımların sürtünme ve aşınma testleri ise pin-on-disk esaslı bir deney sisteminde (UTS TRIBOMETER T10/20) gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler sonucunda, her bir alaşımın farklı çalışma şartlarındaki aşınma (hacim) kayıpları, sürtünme katsayısı değişimleri ve aşınma mekanizmaları belirlenerek karşılaştırmalar yapılmıştır. İlk sonuçlara göre, CuAl10Ni5Fe4 bronzunun özellikle yüksek yüklemeye şartlarında CuSn11 bronzuna göre çok daha yüksek aşınma direncine sahip olduğu belirlenmiştir. Ayrıca, CuAl10Ni5Fe4 bronzu bütün yüklemeye şartlarında CuSn11 bronzuna göre daha düşük bir sürtünme katsayısı sergilemiştir. Söz konusu davranışlar her iki bronz malzemenin mikroyapı, mekanik özellik ve etkin aşınma mekanizmalarına dayandırılarak açıklanmıştır.

**Anahtar kelimeler:** Kalay bronzu, nikel-alüminyum bronzu, sürtünme ve aşınma.

### Abstract

Due to their high corrosion and wear resistance, tin bronzes and nickel-aluminum bronzes are among the most

important copper alloys. Because of their good wear resistance as well as lubricating properties, Sn bronzes are the preferred copper alloy group in many tribological applications. Ni-Al bronzes, on the other hand, are accepted to be one of the perfect material for applications requiring superior wear behavior and corrosion resistance under heavy loads. Despite their higher price compared to Sn bronzes, the Ni-Al bronze listed in Sağlam Metal's product catalogue is recommended as an alternative one to the Sn bronzes in some applications due to its higher hardness and lower density. In this study the friction and wear properties of a Ni-Al bronze with CuAl10Ni5Fe4 nominal compound and a Sn bronze with CuSn11 nominal compound were investigated under dry atmospheric condition and compared the same set of the results. For this purpose, the microstructures of the alloys produced with certain chemical compounds are examined under optical and/or SEM microscope, while their mechanical properties are measured with hardness tests. The wear and abrasion resistance were measured using a pin-on-disk type tribometer (UTS T10/20). Based on the test results, the wear (volume) loss, changes in the coefficient of friction and wear mechanisms in each alloy was determined and compared. According to preliminary results, it has been established that especially under heavy loading conditions the CuAl10Ni5Fe4 bronze has much higher wear resistance compared to the CuSn11 bronze. Additionally, under all loading conditions the CuAl10Ni5Fe4 bronze exhibits lower coefficient of friction. Such behavior is explained by means of microstructure, mechanical characteristics and operating wear mechanisms of the material.

**Keywords:** Tin Bronze, nickel aluminum bronze, friction and wear

### 1. Giriş

Türkiye Demir Çelik Sektöründe üretim kapasitesi her geçen yıl artış gösterirken, bu sektörde kullanılan bakır alaşımlara olan ihtiyaç da artmaktadır. Demir çelik sektöründe en yaygın kullanım bulan bakır alaşımlarından biri de yatak malzemesi olarak kullanılan bronz alaşımlarıdır [1]. Yatak malzemesi olarak kullanılan ana bronz alaşımları kalay bronzları, alüminyum bronzları, kurşunlu bronzlar ve berilyum bronzları olarak sayılabilir [2]

Kalay bronzlarının en belirgin özelliği atmosferik ve su korozyonuna karşı dayanımlı ve aşınmaya karşı dirençli olmalarıdır. Aynı zamanda mükemmel yağlama özelliğine de sahiptirler [3]. Kalay bronzları demir çelik endüstrisinde yaygın kullanım bulan bakır alaşımlarıdır.

Alüminyum, demir, mangan, silisyum ve nikel elementlerini içeren alüminyum bronzları ise yüksek sertlik özellikleri ile öne çıkmaktadır. Bu malzemelerden üretilmiş yataklar yüksek darbe ve aşınma dayanımına sahiptir. Bu alaşımlar yüksek sıcaklıklarda mukavemetlerini korur ve 250° C üzerinde çalışan ekipman yataklarında yağlamanın iyi olduğu, yüksek yük ve düşük hız uygulamalarında daha çok tercih edilirler.

Bakır alaşımları üreticisi olan Sağlam Metal; çeşitli bileşim ve özelliklerde kalay ve ağırlıklı olarak alüminyum bronzları üretmektedir. Sağlam Metal ürün gamında yer alan kalay bronzu Cuptin 2 (CuSn11 veya ASTM C90700) ve nikel alüminyum bronzu Cupral 4M (CuAl10Ni5Fe4 veya ASTM C63000) yüksek miktarlarda üretilen bronz alaşımlarıdır. Cupral 4M nikel alüminyum bronzunun Cuptin 2 kalay bronzuna göre daha pahalı olmasına rağmen, daha yüksek sertlik ve daha düşük yoğunluğu nedeniyle bazı uygulamalar için Cuptin 2 kalay bronzuna alternatif olabilmektedir. Bu çalışmada, CuSn11 kalay bronzunun ve buna alternatif gösterilen CuAl10Ni5Fe4 nikel alüminyum bronzunun endüstride kullanımı durumunda olası performansların belirlenmesi ve karşılaştırılması hedeflenmiştir. Bu amaçla her iki alaşımında mikro yapıları incelenmiş, mekanik özellikleri belirlenmiş, kuru ortam atmosferik koşullarında ve yüksek ve düşük yükleme şartlarındaki sürtünme ve aşınma özellikleri araştırılmış, bu özellikler alaşımların etkin aşınma mekanizmalarına dayandırılarak açıklanmıştır.

## 2. Deneysel Çalışma

### 2.1. Deneysel Malzemeleri

Bu deneysel çalışmada, dövme CuAl10Ni5Fe4 CuSn11 alaşımları kullanılmıştır. Alaşımların kimyasal analizleri spektrolab marka optik emisyon spektrometresi kullanılarak belirlenmiş ve Tablo 1'de verilmiştir.

Çizelge 1: Deneysel çalışmada kullanılan alaşımların kimyasal bileşimleri

Alaşım	Kimyasal bileşim (% ağırlık)				
	Al	Sn	Ni	Fe	Cu
CuSn11	-	11	0,19	-	88,2
CuAl10Ni5Fe4	10,12	-	4,84	3,73	80,0

### 2.2. Mikroyapısal incelemeler

Mikroyapı karakterizasyonları Nikon Eplicase MA100 model ters metal mikroskopu ve Zeiss Evo Ls - 10 model taramalı elektron mikroskopu kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Karakterizasyon çalışmalarında dağılayıcı olarak 5 g FeCl<sub>3</sub>, 50 ml HCl, 100 ml H<sub>2</sub>O ile hazırlanan çözeltiler kullanılmıştır.

### 2.3. Mekanik özelliklerin incelenmesi

Alaşımların mekanik özellikleri, sertlik testi yardımıyla karakterize edilmiştir. Sertlik deneyleri Struers Duramin

marka sertlik cihazı ile 500 g yük altında vikers ölçüm tekniğine göre gerçekleştirilmiştir.

### 2.4. Tribolojik davranışın incelenmesi

Alaşımların sürtünme ve aşınma deneyleri pin-on-disk tipi bir Universal sürtünme aşınma test sistemi ( UTS Tribometer T10/20) ile gerçekleştirilmiştir. Hem dönele hem de lineer hareket sistemine sahip söz konusu düzeneğin genel görünümünü veren resim Şekil 1'de gösterilmiştir. Aşınma testleri için 14mmx14mmx4mm boyutlarında numuneler kullanılmıştır. Numuneler; 5N, 15N ve 30N nominal yükler altında ve 0,18 m/s kayma hızında testlere tabi tutulmuştur. Her bir şarttaki test süresi 100 m'ye karşılık gelecek şekilde 90 dak. olarak belirlenmiştir. Aşınma miktarları kütle ve hacim kaybı olarak hesaplanmıştır. Sürtünme katsayısı ise kayma mesafesine göre çizdirilmiştir. Numunelerin aşınma yüzeyleri ve aşınma derinlikleri üç boyutlu tarama özelliğine sahip bir profilometre (Nanofocus uscan) yardımıyla gerçekleştirilmiştir. Aşınma mekanizmaları ise SEM ile yapılan aşınma izi ve aşınma parçacıklarının incelenmesi ile karakterize edilmiştir.



Şekil 1. Sürtünme ve aşınma deneylerinin gerçekleştirildiği tribolojik test sistemi (UTS Tribometer T10/20).

## 3. Bulgular ve İrdeleme

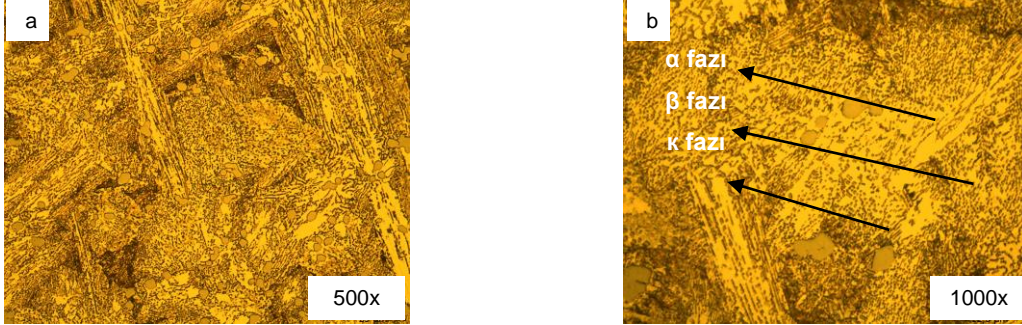
### 3.1. Mikroyapı:

#### 3.1.1. CuAl10Ni5Fe4:

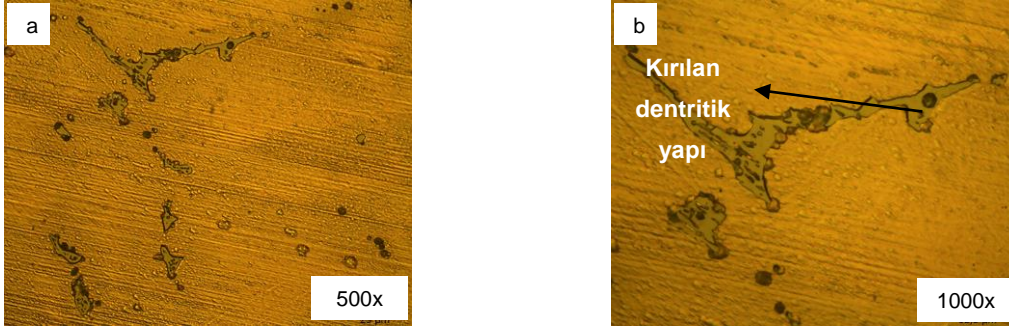
CuAl10Ni5Fe4 alaşımının mikroyapısı görüntüleri Şekil 2'de verilmiştir. Dökülmüş durumdaki nikel-alüminyum bronzlarında tipik olarak bakırca zengin  $\alpha$  matrisi, martenzitik  $\beta$  fazı ve üstün özelliklerde kilit rol oynayan intermetalik  $\kappa$  (kappa) fazı bulunmaktadır[4]. Katılma sırasında ilk olarak sıvı -  $\beta$  geçişi, takiben  $\beta$ -  $\alpha$  dönüşümü, son olarak ise  $\beta$  fazından  $\kappa$  fazının dönüşümü gerçekleşmektedir [5]. Döküm yapısında dört farklı  $\kappa$  fazı bulunmaktadır. Ki fazı %5 üzerinde Fe içerir ve Fe<sub>3</sub>Al yapısındadır, kii fazı %5'ten az Fe içerir. kiii fazı ise nikelce zengin, kiv fazı  $\alpha$  fazı üzerinde demirce zengin

çökelti şeklinde oluşmaktadır[6]. Thossatheptak ve arkadaşları [6] nikel alüminyum bronzlarının sıcak deformasyon koşullarında mikroyapısını çalışmışlar ve, 750 - 800°C aralığında sıcak deformasyonun mikroyapı üzerinde önemli bir etkisinin olmadığını, 850oC üzerinde ise kii, kiii, fazlarının tamamen çözüldüğünü, kiv fazının ise

uygulanan deformasyon miktarına göre azaldığını rapor etmişlerdir. Çalışmada kullanılan ve 800°C'de dövülen CuAl10Ni5Fe4 alaşımına ait tipik dövme mikroyapıları Şekil 2'de verilmiştir. Resimde;  $\alpha$ ,  $\beta$  ve kii fazları olduğu tahmin edilen fazlar ayırt edilebilmektedir.



Şekil 2. CuAl10Ni5Fe4 alaşımına ait (a) düşük, ve (b) yüksek büyültmelerde elde edilen mikro yapı fotoğrafları



Şekil 3. CuSn11 alaşımına ait: (a) düşük ve (b) yüksek büyültmelerde mikro yapı fotoğrafları

### 3.1.2. CuSn11 alaşımı

CuSn11 alaşımının mikroyapısı Şekil 3'de gösterilmiştir. Çukur ve arkadaşları [7] yaptıkları çalışmada farklı oranlarda kalay içeren Cu-Sn alaşımlarının mikroyapısını incelemiş ve dendritik büyüme ile birlikte yapıda yüksek miktarda segregasyon bulunduğunu gözlemlemişlerdir. Ayrıca, dendrit kollarında alfa+delta ötektoid yapısının bulunduğunu da raporlamışlardır. Aşınma özelliği incelenen CuSn11 alaşımının mikroyapı görüntülerinde dövme sonucu kırılan dendritik yapı açıkça görülmektedir (Şekil 3).

### 3.2. Sertlik değerleri

Çalışmada kullanılan kalay bronzunun sertlik değerleri  $167 \pm 10$  Hv olarak ölçülmüş, nikel alüminyum bronzunun ise sertlik açısından kalay bronzuna göre çok daha üstün olduğu ve  $308 \pm 8$  Hv sertliğe sahip olduğu görülmüştür (Tablo 2).

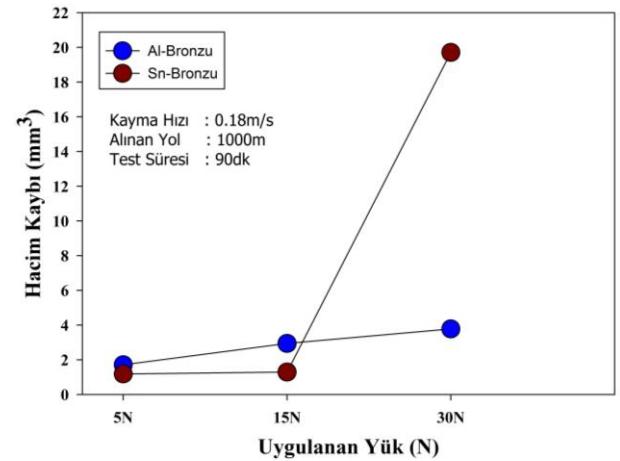
Çizelge 2. Al ve Sn-bronzlarının sertik değerleri.

Malzeme	Sertlik (Hv)
Sn-Bronzu	$167 \pm 10$
Al- Bronzu	$308 \pm 8$

### 3.3 Tribolojik Özellikler:

#### 3.3.1. Aşınma Davranışı

Malzemelerin aşınma davranışları kütle ve hacim kayıpları üzerinden incelenmiştir. Şekil 4'de her iki bronza ait hacim kayıplarının uygulanan yüke göre değişimleri gösterilmiştir.

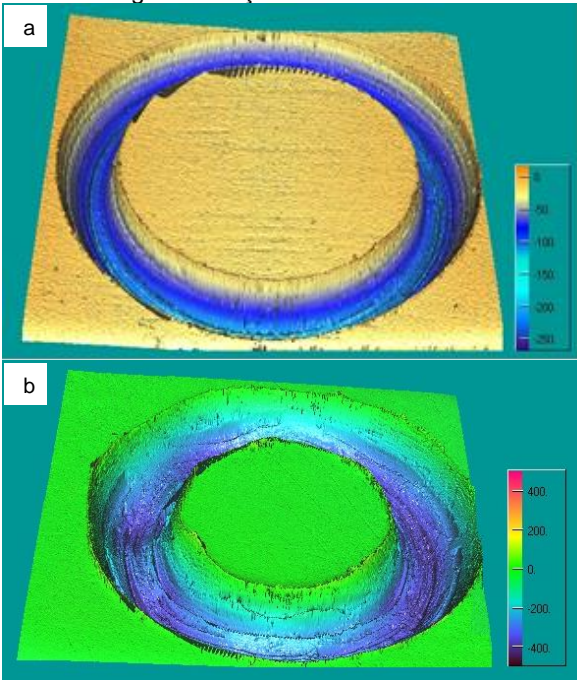


Şekil 4. Ni-Al bronzu ve Sn- bronzu numunelerinin farklı yük değerlerinde sergiledikleri hacim kaybı değerleri.

Çizelge 3. Alaşımların genel özellikleri ve aşınma miktarları.

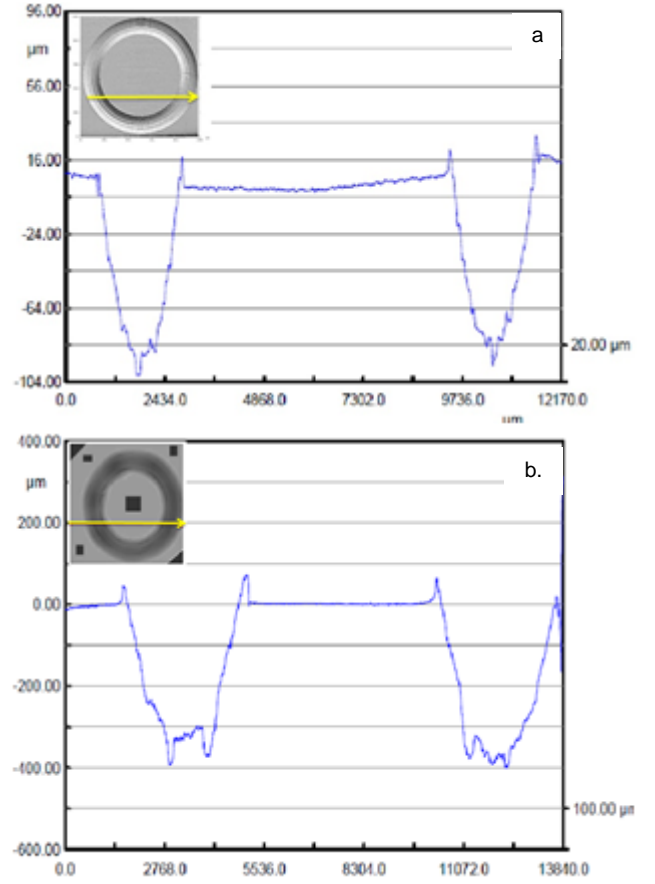
	Genel Özellikler			5N		15N		30N	
	Sertlik (Hv0.5)	Yoğ (g/cm <sup>3</sup> )	μ (ort)	Kütle Kaybı (mg)	Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> )	Kütle Kaybı (mg)	Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> )	Kütle Kaybı (mg)	Hacim Kaybı (mm <sup>3</sup> )
Sn-Bronzu	167Hv±10	8.77	0.7	10.4	1.1858	11.35	1.2942	172.9	19.71
Al-Bronzu	308Hv±8	7.58	0.4	13	1.7150	22.3	2.9419	28.7	3.78

Ayrıca, her iki bronzun farklı yüklerde sergiledikleri ağırlık kaybı değerleri de Çizelge 3'de verilmiştir. Şekil 4'de verilen eğriler incelendiğinde, genel olarak düşük ve orta yük seviyelerinde her iki bronzun yaklaşık bir birine yakın bir aşınma davranışı sergiledikleri görülmektedir. Ancak, bu bölgede kalay bronzunun az da olsa daha yüksek bir aşınma direncine sahip olduğu dikkati çekmektedir. Bu durum Çizelge 3'de verilen ağırlık kaybı değerleriyle de uyumlu gözükmektedir. Ancak, 30 N gibi yüksek yüklenme şartlarında durumun büyük oranda değiştiği ve aşırı yüklenme şartlarında Al bronzunun çok daha düşük hacim ve kütle kaybı gösterdikleri söylenebilir. Nitekim, bu yük değerlerinde kalay bronzunda yaklaşık 20 mm<sup>3</sup>'lük bir hacim kaybı meydana gelirken, bu değer Al bronzunda yaklaşık 4 mm<sup>3</sup>'de kalmıştır. Bu durum, düşük yüklenme şartlarında nispeten daha yumuşak olan kalay bronzunun daha iyi aşınma performansı sergilediğini, ancak bu malzemenin yüksek yüklerde aşırı oranda aşındığını göstermektedir. Bilindiği gibi Al bronzunun sertlik değeri kalay bronzuna göre daha yüksek olup, aşırı yüklenme altında bu yüksek sertlikten dolayı daha az aşınma kaybına neden olmaktadır. Şekil 5'te her iki bronz numunede 30N'luk yükler altında aşınma sonucu oluşan aşınma izlerinin 3D yüzey morfolojisi görülmektedir. Bu görüntüler de kalay bronzunun aşınma izinin daha geniş ve derin olduğunu göstermektedir. Ayrıca, kalay bronzunun aşınma bölgesinde daha fazla yayılma ve sıvama izlerinin mevcut olduğu da anlaşılmaktadır.



Şekil 5. 30N yük altında aşınma testine tabi tutulan numunelerin profilometrik 3D aşınma izi morfolojileri. a. CuAl10Ni5Fe4 alaşımı, b. CuSn11 alaşımı

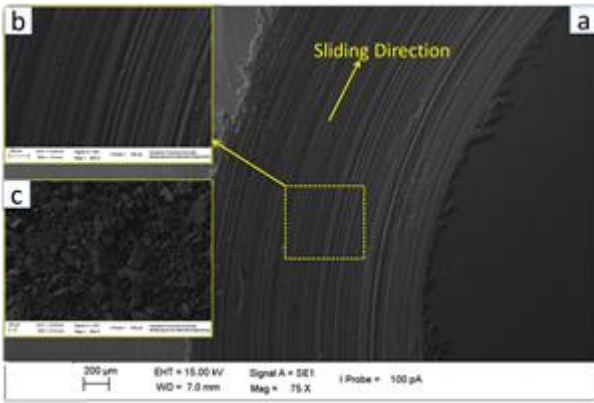
Bu durum, nispeten yumuşak olan matris yapısından kaynaklanmaktadır. Şekil 6'da ise bu aşınma izlerine ait profilometrik görünüm verilmiştir. Bu görünümün incelendiğinde, hacimsel olarak kalay bronzunun daha fazla aşınmış olduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca, Al bronzunun çok daha düzenli aşındığı, aşınma izinin çok fazla saçılmadığı dikkati çekmektedir. Bu ise Al bronzunun özellikle yüksek yüklenme şartlarında bile düşük ve düzenli aşınma davranışını koruduğunu göstermektedir. Bu durum hem alüminyum bronzunun yüksek sertliği hem de daha kararlı bir iç yapıya sahip olmasından kaynaklanmaktadır.



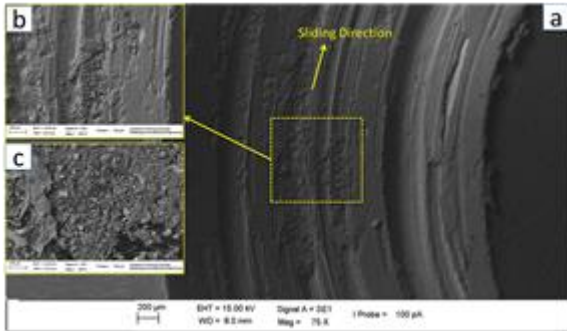
Şekil 6. Al ve Sn bronzu numunelerin aşınma sonrası sergilediği profilometrik görünüm: (a) CuSn11 alaşımı ve (b) CuAl10Ni5Fe4 alaşımı.

Al ve Sn bronzu numunelerin 30N'luk yük altındaki deneyler sonrası aşınma yüzeyleri ve aşınma sırasında oluşturduğu aşınma parçacıkları SEM mikroskobu ile incelenmiş ve bazı seçilmiş resimler Şekil 7' ve Şekil 8'de de gösterilmiştir. Bu resimlere göre, kalay bronzunun aşınma yüzeyinin çok daha etkin bir şekilde plastik

deformasyona uğradığı ve yüzeyde kalın sıvama tabakalarının var olduğu görülmektedir. Bu durum sünek malzemelerin özellikle yüksek yüklemelerde beklenen bir durumdur. Nitekim bu yüzeylerin aşınması sonrası daha çok yapraklı aşınma parçacıklarının oluşması bu gözlemi doğrulamaktadır. Çünkü sünek malzemelerin aşınması sırasında aşınan parçacıklar ara yüzeye yapışmakta ve devam eden kayma periyotları sırasında birbirleriyle birleşerek ve deforme olarak sertleşmekte ve ara yüzeyden ayrılmaktadırlar. Al bronzunun aşınma yüzeyi ise daha farklı bir morfoloji sergilemektedir. Nitekim çok daha düzenli bir aşınma izi ve çok daha ince aşınma parçacıkları bu malzemenin aşınma karakteristiğini oluşturmaktadır. Sıvama durumu ise kalay bronzuna göre yok denecek kadar az oluşmaktadır.



Şekil 7. (a)-(b) Al-bronzu numunenin 30 N yük altında aşınma sonrası sergilediği aşınma izinin görünümü ve (c) Aşınma sırasında ortaya çıkan aşınma parçacıklarının morfolojik görünümü.



Şekil 8. (a)-(b) Sn-bronzu numunenin 30 N yük altında aşınma sonrası sergilediği aşınma izinin görünümü. ve (c) Aşınma sırasında ortaya çıkan aşınma parçacıklarının morfolojik görünümü

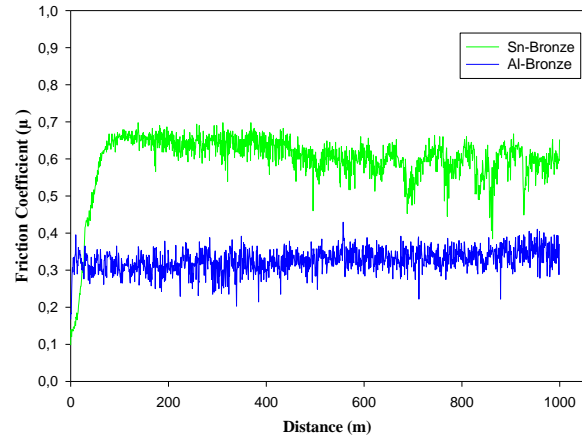
Literatürde yer alan çalışmalarda bakır alaşımlarının aşınma davranışının çoğu zaman sertlikle ilişkili olmadığı raporlanmıştır [8]. Nikel alüminyum bronzunun aşınma özellikleriyle ilgili yapılan çalışmalarda ise bu alaşımın üstün aşınma davranışı sergilediği görülmüştür. Bu alaşımlarda gözlenen yüksek aşınma direncinin, yapıda bulunan  $\kappa$  ve  $\alpha$  fazlarından kaynaklandığı söylenmektedir [4,9]. Weber ve Kuhn [10] bu çalışmada alınan sonuçlarla paralellik gösteren sonuçlar elde etmişler, kalay bronzunun yüksek yüklemelerde aşınma dayanımının düştüğünü raporlamışlardır. Çalışmada kalay bronzlarında oluşan kalay oksit filminin sürtünme katsayısını azaltarak aşınma

dayanımını arttırdığı, ancak yüksek yüklerde bu ince oksit filminin zedelendiği ve buna bağlı olarak, yüksek miktarda sürtünme ve aşınmanın gerçekleştiği belirtilmiştir.

### 3.3.2. Sürtünme Katsayıları

Çalışma kapsamında nikel alüminyum bronzuna ve kalay bronzuna ait sürtünme katsayıları da belirlenmiş ve sürtünme katsayısının mesafe ile değişimi Şekil 9'de verilmiştir. Ayrıca, 30N'luk yük altında ölçülen ortalama sürtünme katsayısı değeri de Tablo 3'de verilmiştir. Beklendiği gibi, kalay bronzu çok daha düşük bir sürtünme katsayısı değeri sergilemiş olup, bu değişim kayma mesafesi boyunca devam etmiştir.

2D Graph 2



Şekil 9. Al-bronzu ve Sn-bronzunun 30 N yük altında sergilediği yola bağlı sürtünme katsayısı değişim grafiği

## 4. Genel Sonuçlar:

1. Nikel Alüminyum Bronzu ( $\text{CuAl10Ni5Fe4}$ ) ve Kalay Bronzunun ( $\text{CuSn11}$ ) aşınma davranışları hacim ve kütle kayıpları üzerinden karşılaştırmalı olarak incelenmiş, sürtünme katsayıları ve sertlikleri belirlenmiştir.
2. 5N ve 15N'luk düşük yüklerde kalay bronzu nispeten daha yüksek aşınma dayanımı sergilemiş, 30N'luk yük altında ise nikel alüminyum bronzu çok daha üstün aşınma dayanımı göstermiştir.
3. Nikel Alüminyum bronzunun üstün aşınma davranışının ve stabilitesinin nedeni literatürde  $\alpha$  ve  $\kappa$  fazlarının varlığı ile açıklanmıştır. Kalay bronzunun 30N yük altında çok daha düşük aşınma direnci sergilemesi ise kısa süre içinde oluşan ve sürtünme katsayısını düşüren kalay oksit filminin yüksek yüklerde varlığını koruyamamasına dayandırılmıştır.
4. Alüminyum bronz alaşımı kalay bronzuna göre daha yüksek maliyetli olmasına rağmen daha düşük yoğunluğu nedeniyle birim maliyeti kalay bronzuna yakın olabilir. Alüminyum bronzu düşük yüklerde nispeten biraz daha yüksek aşınma gösterse de çok düşük sürtünme katsayısı, yüksek yüklemelerde gösterdiği yüksek performans nedeniyle pek çok endüstriyel uygulama için fiyat/performans açısından kalay bronzuna göre daha ekonomik bir seçenek olacaktır.

## KAYNAKLAR:

- [1] Kocak H, Tool Steel Handbook, Bolokur Teknik Yayıncılık. 2009
- [2] Davis. R.J, ASM Specialty Handbook: Copper and Copper Alloys, ASM International. 2001.
- [3] Kocak H, Bakır ve Bakır alaşımları, Bokukur Teknik Yayıncılık.
- [4] Thossatheppitak. B, Suranuntchai. S, Uthaisangsuk. V, Manonukul. A, Mugsuntisuk. P, Mechanical properties at high temperatures and microstructures of a nickel aluminum bronze alloy, Advanced Materails Research, vol. 683, 82-89. 2013
- [5] Pisarek. B.P, Model of Cu-Al-Fe-Ni bronze crystallization, Archives Of Foundry Engineering, vol. 13, 72-79. 2013
- [6] Thossatheppitak. B, Suranuntchai. S, Uthaisangsuk. V, Manonukul. A, Mugsuntisuk. P, Microstructure evolution of nickel aluminum bronze alloy during compression at elevated temperatures, Advanced Materials resarch, vol. 893, 365-370. 2014
- [7] Taslicukur. Z, Altug S. G, Polat. S, Atapek. S.H, \*\*, Türedi. E, A microstructural study on cusn10 bronze produced by sand and investment castinig techniques, Metal 2102, Brno, Czech Republic. 2012
- [8] Meigh. H.J, Cast and wrought aluminium bronzes propertes, procesesses and sructure, Copper Development Association. 2000
- [9] Yuanyuan. L, Ngai T.L, Xia. W, Mechanical, friction and wear behaviors of a novel high-strength wear - resisting aluminum bronze, Wear vol. 197, 130-136.
- [10] Weber. K, Kuhn. H.A, Lead free wrought copper alloys for bushings and sliding elements, Copper Alloys – Early applications and Current Performance, 69-92. 201