



## C95200 ve C95300 Al Bronz Alaşımlarının Sertlik, Çekme ve Çentik Darbe Özelliklerinin Karşılaştırılması

Meriç METİN<sup>1</sup>, Mehmet ÜNAL<sup>2</sup> ve Halil Ahmet GÖREN<sup>3</sup>

How to cite: Metin, M., Ünal, M., & Gören, H. A. (2023). C95200 ve C95300 Al Bronz alaşımlarının sertlik, çekme ve çentik darbe özelliklerinin karşılaştırılması. *Sinop Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(2), 216-228. <https://doi.org/10.33484/sinopfbid.1385149>

### Araştırma Makalesi

#### Sorumlu Yazar

Halil Ahmet GÖREN  
agoren@sinop.edu.tr

#### Yazarlara ait ORCID

M.M.: 0000-0001-9200-2633  
M.Ü.: 0000-0003-3836-4566  
H.A.G.: 0000-0003-4455-4024

Received: 03.11.2023

Accepted: 06.12.2023

### Öz

Bu çalışmanın amacı, yüksek mukavemet, korozyon, aşınma ve yorulma özelliklerini bir araya getiren C95300 ve C95200 alaşımlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerini incelemektir. Alüminyum (Al) bronzlarının element miktarları hesaplanıp hazırlandıktan sonra, indüksiyon fırınında eritilmişlerdir. Al bronz standartlarına göre hazırlanan alaşımlar 1150°C'de bir süre bekletildikten sonra 250°C'ye ısıtılmış kalıcı bir kalıba dökülmüştür. Üretilen Al bronz külçelerden numuneler alınmıştır. Optik mikroskop ve SEM (Scanning Electron Microscope) görüntüleme, EDX (Energy Dispersion X-Ray Spectrometer), sertlik, çekme ve darbe testleri de gerçekleştirilmiştir. İncelemeler sonucunda, C95300 alaşımlarında ikincil faz oluşumu gözlenmiş, sertlik ve çekme mukavemeti artmıştır. Çentik darbe testi sonucunda C95300 alaşımı, C95200 alaşımına kıyasla hem darbe enerjisi hem de tokluk için daha düşük değerlere sahiptir.

**Anahtar Kelimeler:** Alüminyum bronz, mikroyapı, mekanik özellikler

## Comparison of the Hardness, Tensile and Notch Impact Properties of C95200 and C95300 Al Bronze Alloys

<sup>1</sup>Karabük Üniversitesi, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği, Karabük, Türkiye

<sup>2</sup>Karabük Üniversitesi, İmalat Mühendisliği, Karabük, Türkiye

<sup>3</sup>Sinop Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu, Mekatronik Programı, Sinop, Türkiye

Bu çalışma Creative Commons Attribution 4.0 International License ile lisanslanmıştır

### Abstract

The aim of this study is to investigate the microstructure and mechanical properties of C95300 and C95200 alloys, which combine high strength, corrosion, wear and fatigue properties. After calculating and preparing the elemental amounts of the aluminium (Al) bronzes, they were melted in an induction furnace. The alloys, prepared to Al bronze standards, were held at 1150°C for some time and then cast in a permanent mould heated to 250°C. Samples were taken from the Al bronze ingots produced. Optical microscope and SEM (Scanning Electron Microscope) imaging, EDX (Energy Dispersion X-Ray Spectrometer), hardness, tensile and impact tests were also carried out. As a result of the investigations, secondary phase formation was observed in the C95300 alloys, increasing hardness and tensile strength. As a result of the notch impact test, the C95300 alloy has lower values for both impact energy and toughness compared to the C95200 alloy.

**Keywords:** Aluminium bronze, microstructure, mechanical properties

## Giriş

Bakırın alüminyum ile yaptığı alaşımlarına (Al) bronzları adı verilir. Yüksek korozyon direncine sahip döküm Al-bronzları mukavemet gerektiren kimya sektöründe, denizcilik ekipmanlarında, pompalarda, valflerde, vinçlerde, dişlilerin gövde ve parçalarında, yataklarda, gemi pervanelerinde, vida dişi ve somun gibi bazı bileşenlerin üretiminde, yaygın olarak kullanılmaktadır [1-3]. Al-bronzları, alüminyuma ek olarak çeşitli miktarlarda demir, manganez, nikel ve silisyum (silikon) içeren bakır bazlı alaşımlardır. Sanayide genellikle en çok %12 sınırına kadar alüminyum içeren Al-bronzları kullanım alanı bulmaktadır. Al-bronzlar içerdikleri ek elementlere göre farklı özellikler gösterirler. Kalay bronzları nispeten daha fazla mukavemete ve sünekliğe sahipken, manganez bronzları basınca karşı iyi direnç gösterir ve mükemmel mekanik özelliklere sahiptir. Kimyasal olarak bileşimdeki element oranlarında bazı değişiklikler yapılarak mekanik özelliklerde olumlu yönde iyileştirmeler gerçekleştirilebilir. Al-bronzlarının güvenilirliği, kimyasal bileşimin ve üretim yönteminin kontrolü ile sağlanabilir [4]. Literatüre göre Al-bronzları %8-14 arasında Al ve yaklaşık %2-4 Mn, Ni ve Fe içermektedir. Ayrıca bu alaşımlar döküm kalıbında büyük yolluk sistemlerine ihtiyaç duyduklarından döküm işlemleri çok kolay yapılamadığı bildirilmiştir. Al-bronzların kimyasal bileşimlerine bağlı olarak mekanik özelliklerinin ısıtma işlemleriyle önemli ölçüde iyileştirilebildiği belirtilmiştir. Örneğin ısıtma işlemi tabii tutulduğunda çekme dayanımı değeri 700 MPa'nın üzerine çıktığı rapor edilmiştir. Öte yandan yaklaşık %8-9.5 oranında Al içeren Al-bronzlarda diğer elementlerin değeri %2'den az olduğunda ısıtma işlemlerinden makul bir sonuç almak mümkün değildir. %9.5-11 Al içeren bronzlar ısıtma işlemlerine tabii tutulabilir ve gerekirse Fe, Ni ve Mg de ilave edilebileceği bildirilmiştir. Literatürde iki farklı kalıpta üretilen alüminyum bronzlarının katılaşma yapısının, çözelti işleminin, temperleme ısıtma işleminin ve kalıp çeşitlerinin mikroyapıya etkileri incelenmiştir. Sonuçlar, ısıtma işlemlerinin numunelerin mekanik özellikleri, mikro yapıları ve faz dönüşüm sıcaklıkları üzerinde bazı ilginç etkilere sahip olduğunu göstermiştir. Hem basınçlı döküme hem de ısıtma işlemlerine bağlı olarak  $\alpha+\beta$ 1 ve  $\alpha+\beta$ 1' faz dönüşümlerinin oluştuğu, buna karşılık kum döküm örneğinde  $\alpha+\beta$ 1 fazının oluştuğu görülmüştür [3]. %8'den fazla alüminyum içeren ticari alaşımlar, neredeyse her zaman kasıtlı olarak demir ilavelerine sahiptir. Al bronzlarında Fe mekanik özellikleri üzerinde tane inceltici etki gösterir [5]. Literatürde, Cu-14Al-X alaşımı (X eser elementlerdir) çözünürlük sınırının üzerinde eser elementler ve alüminyum eklenerek çekme kalıpları için yeni bir alüminyum kompleks bronz alaşımı olarak geliştirilmiştir. Sertlik, çekme dayanımı ve darbe tokluğu gibi mekanik özellikler deneysel olarak değerlendirilmiştir. Deneysel sonuçlar, geliştirilen alaşımın halihazırda kullanılan Al-bronzlara kıyasla daha yüksek çekme mukavemeti ve sertliğine, daha düşük sürtünme katsayısına ve aşınma oranına sahip olduğunu göstermiştir, bu nedenle çekme kalıplarında yaygın olarak kullanılan geleneksel demir bazlı malzemelerin yerini alması beklenmektedir. Cu-14Al-X alaşımının mükemmel sürtünme önleme özelliği ve yüksek taşıma kapasitesine sahip olduğu rapor edilmiştir [6]. Yapılan bir çalışmada, DIN EN 17 665 tarafından tanımlanan bir bileşime sahip alüminyum bronzundan mikro döküm yöntemiyle elde

edilen küçük parçaların mikro yapısı ve mekanik özellikleri üzerindeki döküm parametrelerinin etkisi incelenmiştir. Farklı numuneler, kalıp sıcaklığı 1000°C'den 700°C'ye düşürüldüğünde mikro-çekme test numunelerinin akma geriliminin ve nihai çekme mukavemetinin mikroyapının incelenmesi ile arttığı bildirilmiştir [7]. Literatürde  $\beta$ -dönüşümlü Cu-Al-X (X = Fe, Ni, Mn, Be, Co, Si ve Sn) alaşım türleri için mikroyapı, soğuma-dönüşüm (CT) diyagramları ve mekanik özelliklere karşılık gelen diyagramlar incelenen çalışmada, su verilmiş ve temperlenmiş Cu-Al-Fe-Ni alaşımlarının dökme halde, hem su verme (900°C) hem de meneviş (600°C) işlemleri yoluyla akma dayanımının önemli ölçüde arttığı rapor edilmiştir [8]. Yapılan literatür araştırmaları sonucunda C95200, C95300 Al bronzları ile ilgili çalışmaların az olduğu görülmüştür. Bu çalışmada C95200 ve C95300 Al bronzlarının mikroyapı özelliklerinin incelenmesi, sertlik, çekme, çentik darbe testleri ile mekanik özelliklerinin araştırılması ve bilimsel açıdan sonuçların belirlenerek yorumlanması, hedeflenmiştir.

### **Deneylede Kullanılan Materyaller ve Metotlar**

Alaşımların üretim aşamasında iç kısmına grafit pota konulmuş indüksiyon ocağı kullanıldı. Ocağın ve potanın içindeki sıcaklık kontrollü termokupl vasıtasıyla takip edildi. Saf bakır elementi grafit pota içerisine yüklendi ve sıcaklık 1155°C civarına kadar çıkartıldı. Ardından talaş halde demir ilavesi yapıldı ve karıştırma işleminden sonra sıcaklık tekrar 1150°C civarına yükseltildi, son olarak alüminyum ilavesi yapılarak karıştırma işlemi gerçekleştirildi ve sıcaklık 1200°C civarına çıkartılıp elde edilen ön alaşım lengo içine döküldü. Elde edilen ön alaşım uniform bir mikroyapı elde edilebilmesi için tekrar grafitten yapılmış pota içerisinde ocağa yüklendi ve 1140°C'ye yakın sıcaklığa kadar ergitilip, karıştırıldı. Sıvı metal ile atmosferin temas etmesini önlemek için florür ve klorür içeren flaks kullanıldı. Hazır hale getirilen alaşım 250°C'ye ısıtılan kokil kalıbın içine dökülerek C95200 ve C95300 Al bronzları üretildi.

### **Alaşımların Kompozisyonu**

Bu çalışmada döküm yöntemiyle elde edilen alaşımların kompozisyonunun belirlenmesi XRF testi kullanılarak belirlenmiştir. Uygunluğu (ASTM B148-78a) ASTM standartları ile kontrol edilmiştir [2, 4, 9, 10].

### **Mikroyapı İnceleme Metodu**

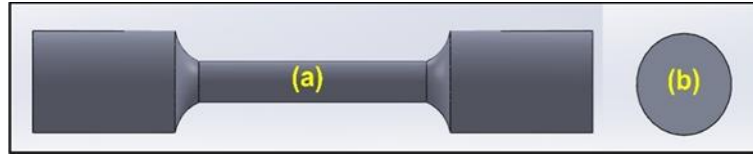
Alaşımların mikroyapılarının incelenmesi için elde edilen Al bronzlarından hazırlanan numuneler 400, 800, 1200, 2000 mesh zımpara ile zımparalandı sonrasında distile su ile temizlendi ve 1  $\mu$ m alümina kullanılarak parlatıldı, sonra tekrar distile su, ardından alkol ile temizlendi ve saç kurutma makinesi ile kurutuldu. Ardından nital solüsyonu (%3 nitrik asit, %97 etil alkol) ile dağlandı ve tekrar distile su, ardından alkol ile yıkandı ve kurutma işlemine tabi tutuldu. Mikroyapı görüntüsü alma işlemleri, Nikon optik mikroskop (OM) ile yapıldı. Carl Zeiss Ultra Plus Gemini, tarayıcı elektron mikroskobu ile (SEM) görüntüsü alma işlemleri yapıldı [2].

### **Sertlik Test Metodu**

Deneydeki sertlik ölçümleri Bulut sertlik test cihazı kullanılarak Brinell sertlik ölçme metoduna göre ölçülmüştür. Alaşımların sertlik testleri için numuneler hazırlanmış ve numuneler 2.5 mm çapında bilye ile 10 s süresince 187.5 kg yük uygulanarak 5 farklı noktadan ölçülmüş ve bu rakamların ortalaması alınarak ortalama sertlik değerleri elde edilmiştir [2].

### **Çekme Testi Metodu**

Alaşımlar itina ile tornalanmış ve çekme test numuneleri ASTM E8 M-04'te belirtilen standartlara göre hazırlanmıştır. Çekme test numuneleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarındaki SHIMADZU çekme testi cihazı ile 0.5 (mm/dk) çekme hızı ile gerçekleştirilmiştir. Her alaşım için 3 adet çekme testi numunesi test edilmiş ve elde edilen değerlerin ortalamaları alınarak sonuca ulaşılmıştır [2]. Çekme testinde kullanılan numune tipinin görüntüsü Şekil 1.'de gösterilmektedir. Şekil 1. ve Şekil 2.'de gösterilen katı modeller Sinop Üniversitesi laboratuvarlarında bulunan lisanslı çizim programında çizilmiştir.



*Şekil 1. Çekme testi numunelerinin katı modeli (a) Ön görünüş (b) Yan görünüş*

### **Darbe çentik testi metodu**

Alaşımların her birinden 3 adet Charpy çentik darbe test numunesinin hazırlanması için, döküm parçalar freze tezgahında TS 269'a uygun ölçülerde işlenmiştir [9]. Hazırlanan numunelerin tipini göstermek amacıyla hazırlanmış hali Şekil 2.'de verilmiştir.



*Şekil 2. Çentik darbe (Charpy) testi numunelerinin katı modeli (a) Ön görünüş (b) Yan görünüş*

### **DeneySEL Sonuçlar ve Tartışma**

#### **Alaşımların Kompozisyon Testi Sonucu**

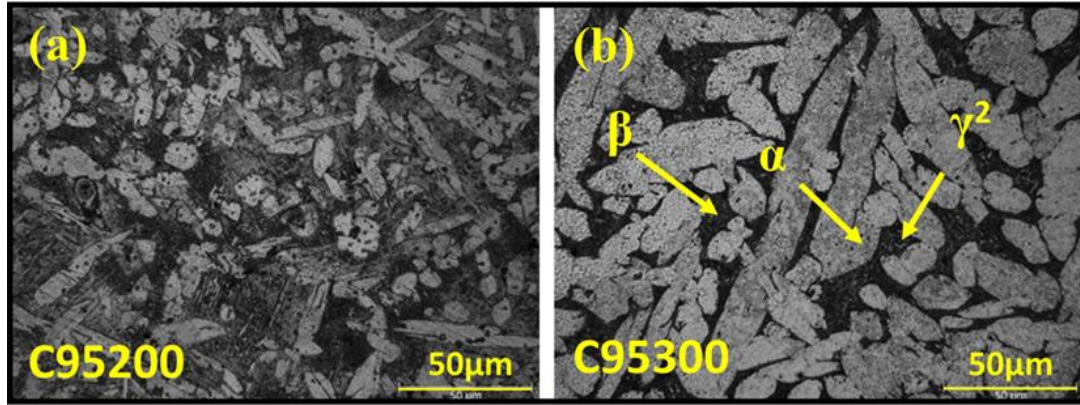
Üretilen alaşımların kompozisyonunun (ASTM B148-78a) ASTM standartları çerçevesinde belirlenen aralığa uygun olduğu tespit edilmiştir. Alaşımlarda bulunan kompozisyon Tablo 1.'de gösterilmektedir.

Tablo 1. Alaşımların kompozisyonu [10]

Alaşım	% Al	% Fe	% Sn	% Ni	% Si	% Pb	% Zn	% Cu
C95200	8.678	2.510	0.043	0.006	0.062	0.016	0.116	Kalan
C95300	10.105	0.983	0.038	0.003	0.073	0.018	0.115	Kalan

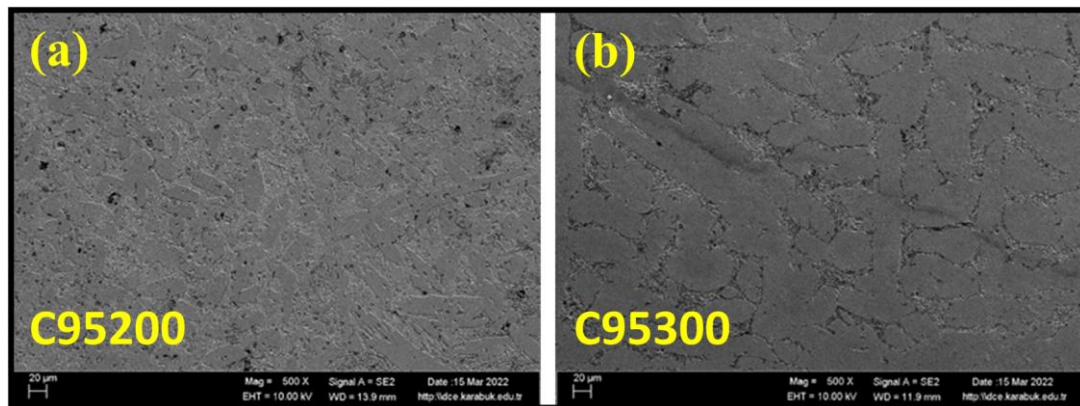
### Mikroyapı Testi Sonucu

Döküm sonrası hazırlanan Al bronz numunelerinden alınan optik mikroskop mikroyapı görüntüleri Şekil 3. (a) ve (b)'de gösterilmektedir. C95200 alaşımı Fe bakımından, C95300 alaşımı Al bakımından daha zengindir. Al miktarının artmasıyla yapıda çift fazlı yapı artar ve alaşımın yoğunluğu düşer. Al bronz mikroyapısı içerisinde birtakım fazlar bulunmaktadır. Bu fazlar  $\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma^2$  olarak sıralanabilir. Bu fazların bulunduğu bölgeler Şekil 3. (b)'de gösterilmektedir.



Şekil 3. (a) C95200 ve (b) C95300 Al bronzlarının mikroyapı görüntüleri

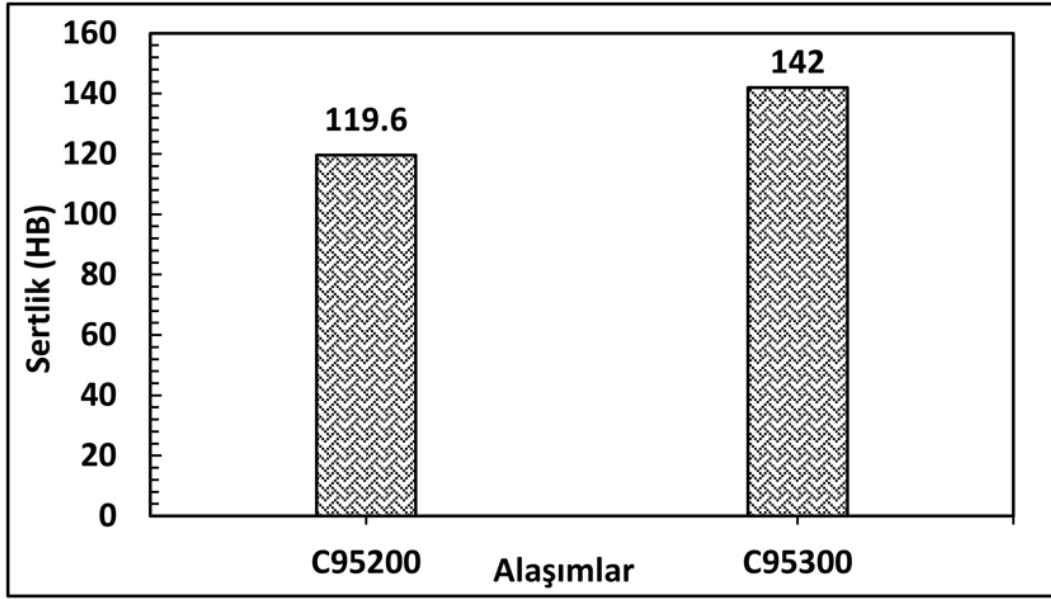
Şekil 4. (a)'da C95200 alaşımı oda sıcaklığında  $\alpha$  fazı halindedir. Şekil 4. (b)'de C95300 alaşımında  $\alpha$  ve tane sınırlarında ikincil faz  $\beta$  olarak bildirilmiştir. Alüminyum bronz perlit olarak anılan  $\beta$  fazı ( $\alpha + \gamma^2$ ) literatürde açıklanmıştır. Perlitik yapılar çeliklerdeki gibi lamellidir. Oda sıcaklığı koşullarında  $\beta$  yapısına sahip ve çift fazlıdır [2, 10, 11, 12]. Bir diğer çalışmada bulunan mikroyapıda görülen, yüksek sertliğe ve düşük süneklığe sahip olan baskın bir  $\beta'$  matrisinde  $\alpha$  çökeltilerinin seyrek dağılımının varlığı bildirilmiştir [13].



Şekil 4. (a) C95200 ve (b) C95300 Al bronzlarının SEM görüntüleri

### Sertlik Testi Sonucu

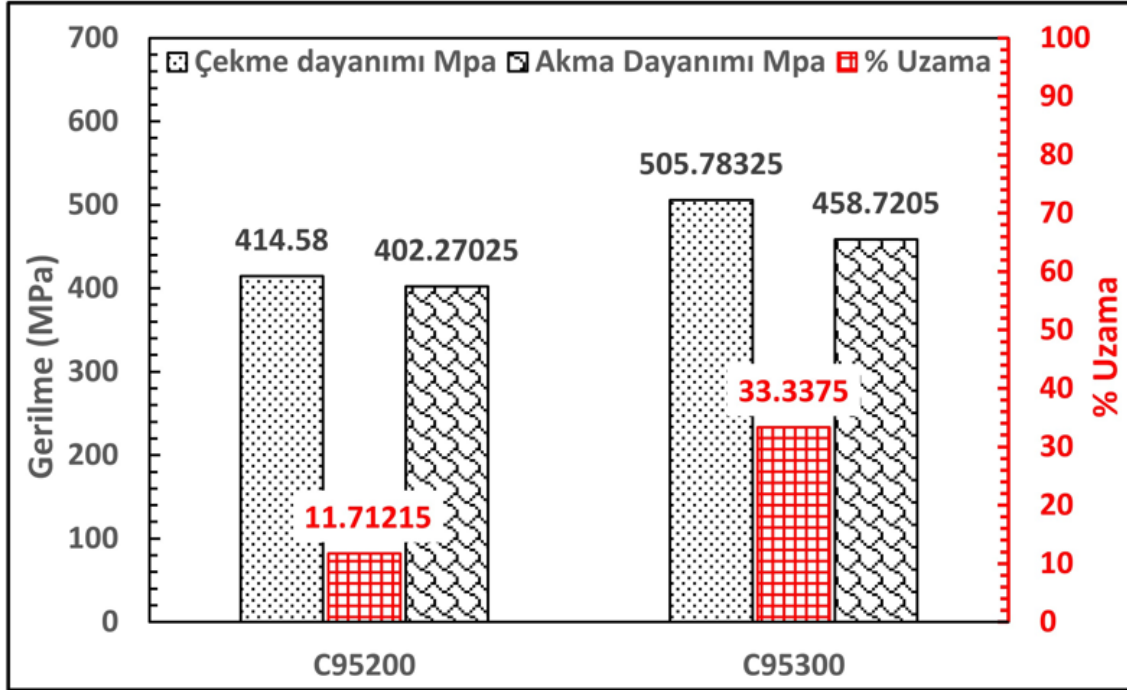
C95200 ve C95300 Al bronzları üzerinden alınan sertlik sonuçlarının ortalamaları Şekil 5.'te verilmiştir. C95300 alaşımının sertliği C95200 alaşımına göre (%18.72) daha yüksek olarak bulunmuştur. C95300 alaşımının sertliğinin mikroyapıda bulunan ve bakır-alüminyum denge diyagramında var olan  $\gamma^2$  fazı oluşması sonrası daha fazla artış gösterdiği görülmektedir. Mikroyapı içerisindeki  $\beta$  fazı  $\alpha$  fazından daha serttir ve matrisin sünekliliğine ve korozyon direncine katkı sunmaktadır [2, 14].



Şekil 5. C95200 ve C95300 Al bronzlarının sertlik sonuçları

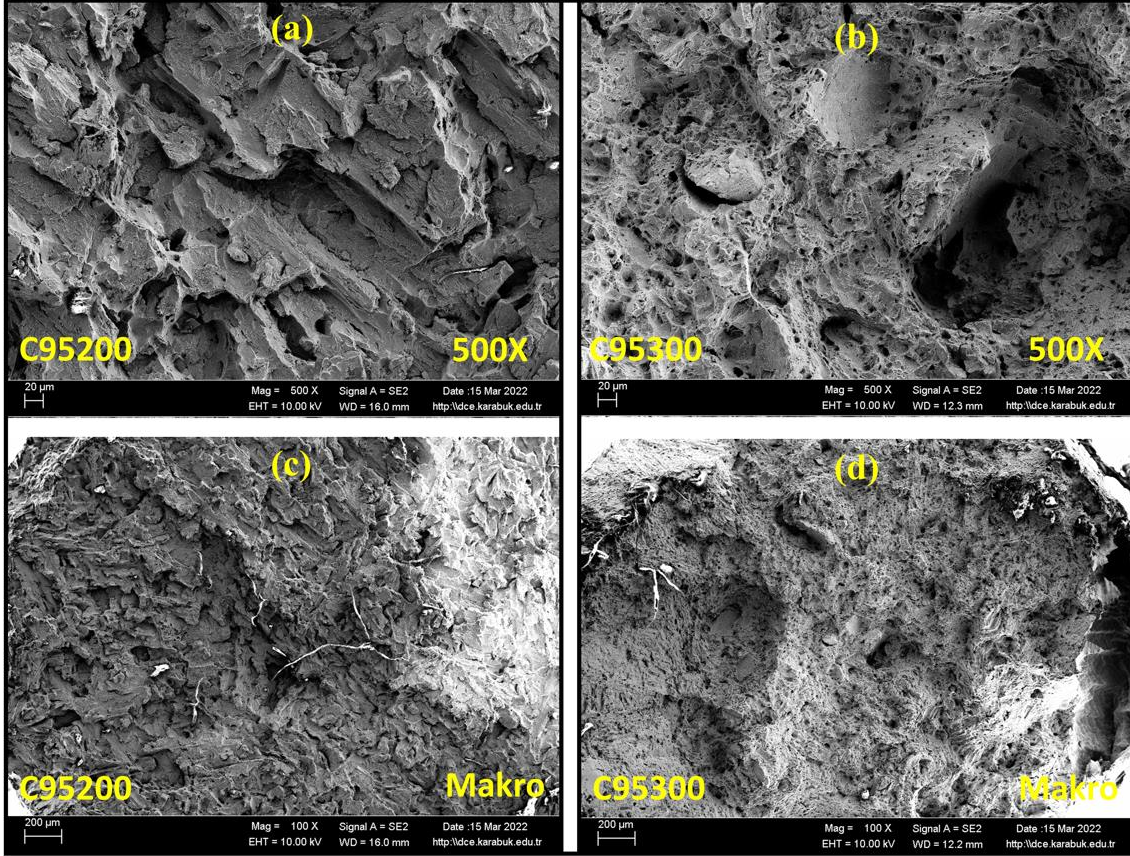
### Çekme Testi Sonucu

Literatürde geleneksel olarak kullanılan yapısal alaşımlara göre alüminyum bronzunun daha iyi mekanik özelliklere ve mikro yapıya sahip alaşımlar olarak üretilebildiği rapor edilmiştir. Özenle seçilmiş (%11) Al içerikli çift fazlı alüminyum bronzun üretiminde kum dökümün, düşük maliyet, kullanım kolaylığı ve esnek avantajları nedeniyle etkili bulunduğu belirtilmiştir. (%11) Al içeren çift fazlı alüminyum bronzu üzerinde yapılan çalışmada, soğuk deformasyon sonrası uygulanan ısı işlemlerle mekanik özelliklerin optimum noktalara geldiği bildirilmiştir [13]. Bakır alüminyum alaşımına silikon ilavesi ile oluşan ikincil faz parçacıklarının çekme ile akma mukavemetini ve sertliği arttırdığı belirtilmiştir [15]. Bu çalışmada Şekil 6. incelendiğinde C95300 alaşımında oluşan ikincil faz, mukavemet değerlerini arttırmıştır. Böylece çekme gerilmesi (%21.99), akma gerilmesi (%14.03), % uzama değerleri (%184.62) oranında C95200 alaşımına göre daha yüksek bulunmuştur.



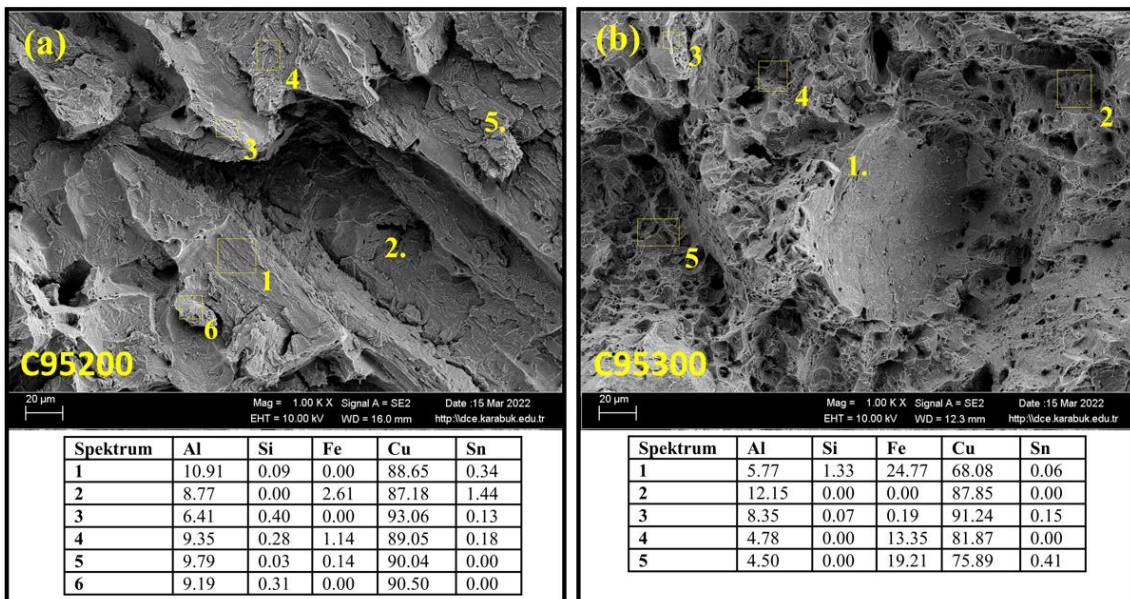
Şekil 6. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çekme testi sonuçları

Şekil 7.'de C95200 ve C95300 Al bronzlarının çekme testi sonrası kırık yüzey görüntüleri görülmektedir. Şekil 7. (a) ve (b) alaşımlarının SEM görüntülerini, Şekil 7. (c) ve (d) alaşımların makro SEM görüntülerini göstermektedir. Al bronzlarındaki mekanik özellikler ilave edilen elementlerin miktarı ile değişiklik gösterir. En önemli element alüminyum olarak göze çarpmaktadır. C95300 alaşımında Al miktarının artmasıyla oluşan  $\beta$  fazı ile çift fazlı bir mikroyapı meydana gelmiştir. Böylece C95300 alaşımı daha sert ve daha düşük yoğunluğa sahip olmuştur. C95200 alaşımında yaklaşık (%2.5) demir, (%8.7) Al içerirken, C95300 alaşımı yaklaşık (%1) demir, (%10) Al içermektedir [2, 10, 13] Şekil 7. (a) ve (b)'deki çekme sonrası oluşan kırık yüzey görüntüleri incelendiğinde oluşan  $\beta$  fazından dolayı C95300 alaşımının daha sık yüzey kopuşları yaşadığı görülmektedir.



Şekil 7. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çekme testi sonrası kırık yüzey SEM resimleri

Şekil 8.'de C95200 ve C95300 Al bronzlarının çekme testi sonrası kırık yüzey EDX analiz sonuçları görülmektedir. Literatürdeki bir çalışmada kalıcı kalıp içine döküm yapılan alüminyum bronzu incelenmiştir. Mikroyapıda demir ile alüminyum içeren intermetalik bileşikler ( $Al_{13}Fe_4$ ,  $Fe_3Al$  ve  $Al_3Fe_2$ ) tespit edilmiştir. Bunun yanında küresel biçimde demir parçacıklarının bulunduğu ve bu parçacıkların alüminyum ile reaksiyona girmediği rapor edilmiştir [16].

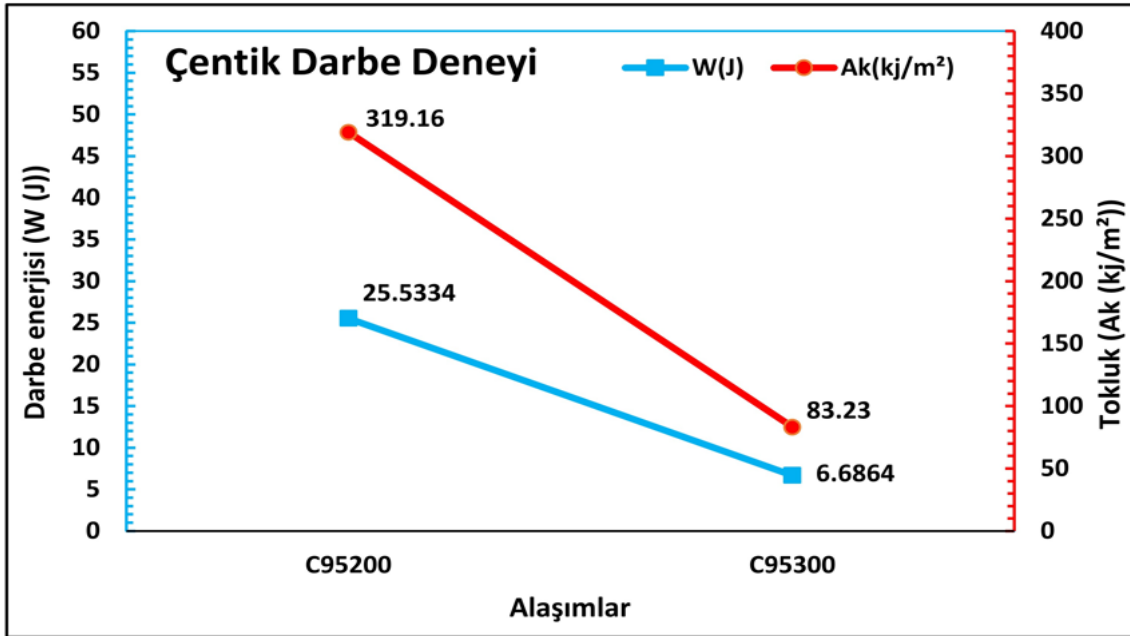


Şekil 8. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çekme testi sonrası kırık yüzey EDX analizi sonuçları



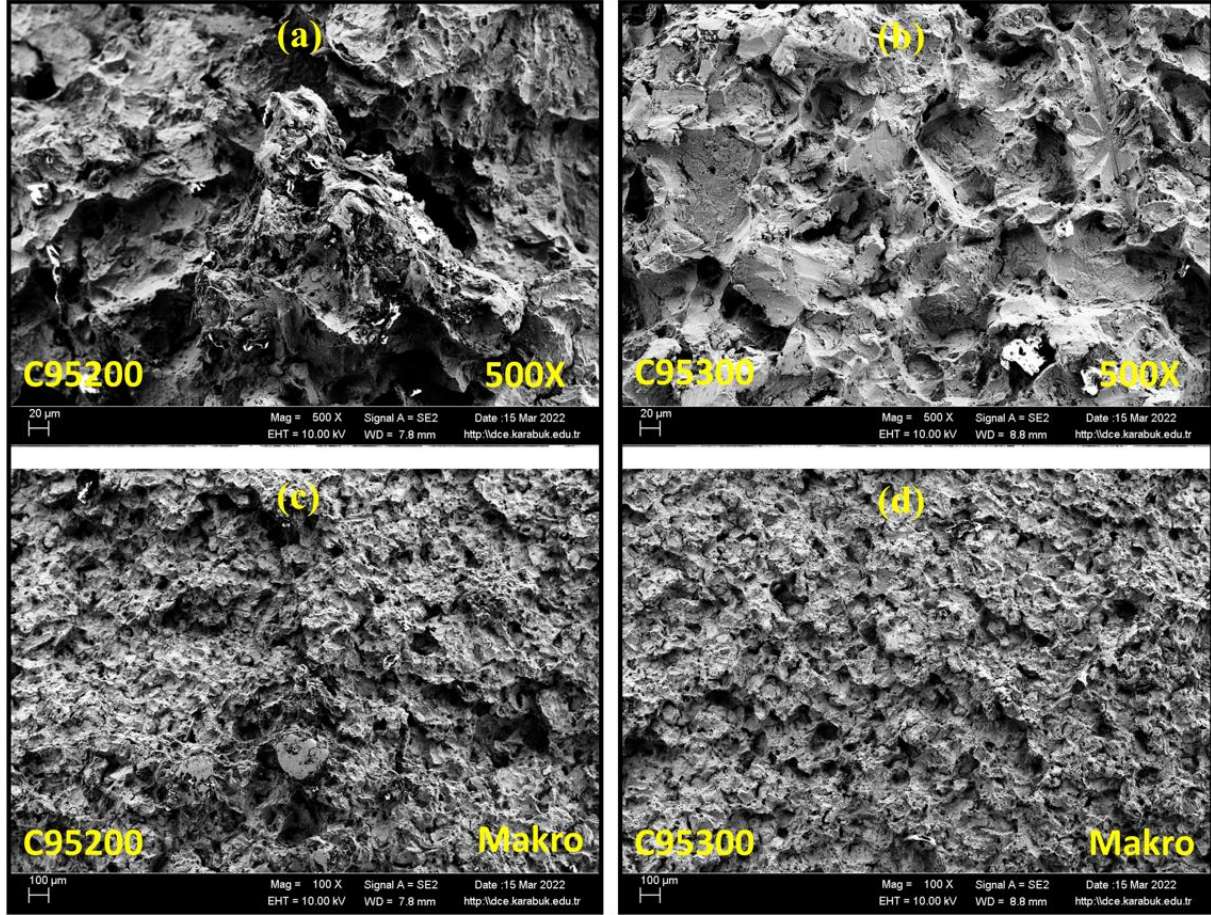
### Çentik Darbe Testi Sonucu

Şekil 9.'da Al bronzlarının çentik darbe testi test sonuçları verilmiştir. Çentik darbe testinde darbe enerjisi joule (j) olarak, tokluk ise ( $\text{kJ}/\text{m}^2$ ) olarak gösterilmiştir. C95300 alaşımının darbe direnci C95200 alaşımına göre daha düşüktür. Bu durum C95300'ün C95200'e göre (%18.72) daha sert olması ile açıklanabilir. Literatürde çift fazlı  $\text{CuAl}_9\text{Fe}_4$  Al bronzlarının deniz suyu dahil sulu ortamlarda iyi bir mukavemete, yüksek yorulma direncine, aşınma, sürtünme ve korozyon direncine sahip olduğu belirtilmektedir. Bu özelliklere sahip  $\text{CuAl}_9\text{Fe}_4$  Al bronzları agresif ortamlarda artan darbeler, değişen yükler altında çalışan kaymalı yatak burçlarının yapımında kullanılır. Al bronzlarından üretilmiş makina bileşenlerinin aşınma direnci büyük ölçüde yüzey bütünlüğüne bağlıdır. Belirlenmesi önemli bir mühendislik görevi olan çentik darbe konusunda bu alaşım özelinde az sayıda çalışma yapılmıştır [17].



Şekil 9. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çentik darbe testi sonuçları

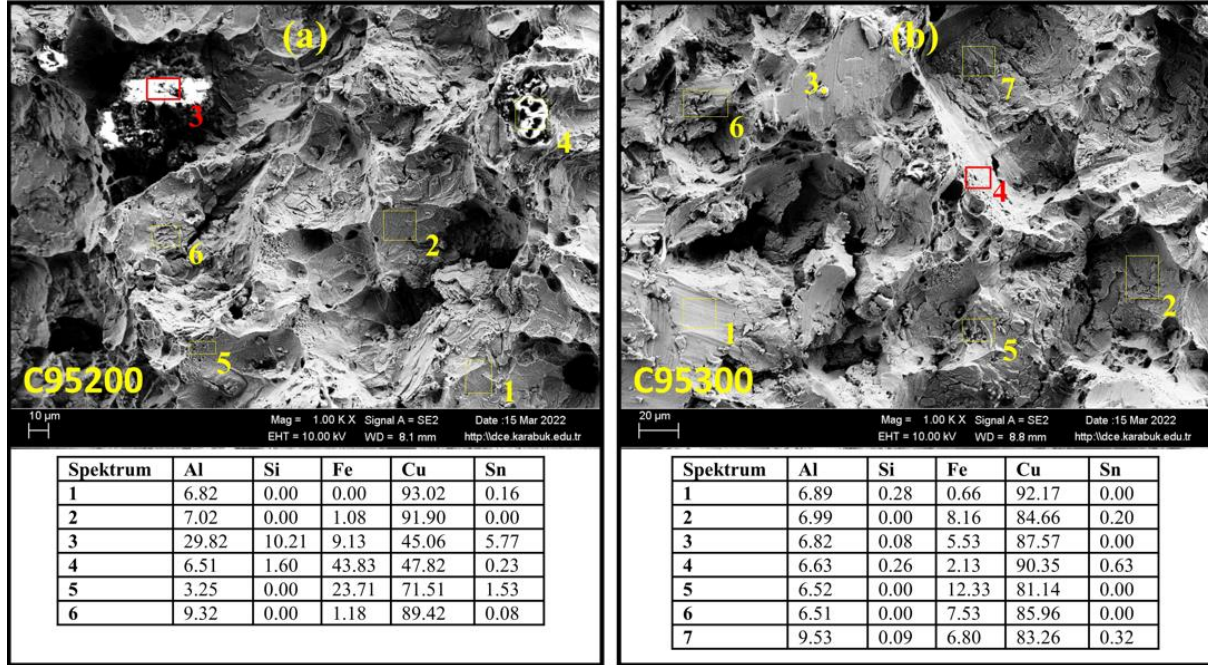
Şekil 10.'da C95200 ve C95300 Al bronzlarının çentik darbe testinde kırık yüzeyin SEM görüntüleri görülmektedir. Şekil 10 (a) ve (b)'de Al bronzlarının 500 X büyütülmüş görüntüsü, Şekil 10 (c) ve (d)'de Al bronzlarının makro görüntüleri sergilenmiştir.



Şekil 10. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çentik darbe testi sonrası SEM görüntüleri

Literatürde  $\text{CuAl}_8\text{Fe}_3$  bronzunun yüzey bütünlüğü açısından kayma ve aşınmaya karşı gösterdiği direncin, yüzey katmanında bulunan iki özellik grubuna bağlı olduğu belirtilmiştir. Bu özelliklerin geometrik olarak yüzey dokusu ve fiziksel-mekanik olarak mikro sertlik ve mikroyapı olduğu rapor edilmiştir [18]. Şekil 11.'de C95200 ve C95300 Al bronzlarının çentik darbe testinde kırık yüzeyin EDX analiz sonuçları görülmektedir. Malzeme yüzeyinde çentik darbe deneyi sonrasında gamze benzeri irili ufaklı çukurlar oluşmuştur. C95200 Alaşımının yüzeyinde oluşan çukurlar daha küçük olduğu görülmektedir. Yüzeyde oluşan çukurlar Al miktarı daha yüksek olan çift fazlı C95300 alaşımında daha büyük ölçekte oluşmuştur. Dökme nikel-alüminyum-bronz (NAB) UNS C95800 bronzu üzerinde yapılan incelemelerde standart Charpy numunesinde 27 Joule ile kırılmanın gerçekleştiği rapor edilmiştir. SEM görüntülerinde bu gevrek kırılma sonucunda farklı boyutlarda çukurların oluştuğu gözlemlenmiştir. Daha büyük çukurların MnS kalıntılarında çekirdeklendiği yani büyük çukurların çoğu manganez sülfür (MnS) olarak tanımlanan metalik olmayan kalıntılar içinde çekirdeklendiği görülmüştür. Çok küçük mikro çukur grubunun ise malzemenin kırılma dayanıklılığıyla ilişkilendirilebileceği bulunmuştur. Ayrıca malzeme, zararlı  $\beta'$  fazını ortadan kaldırmak için ısıtılma tabii tutulmuştur. Ayrıca hacimsel faz yüzdeleri hesapladıklarında (%7.4)  $\text{Fe}_3\text{Al}$  fazının varlığını rapor etmişlerdir [18]. Bu çalışmada alaşım kompozisyonunda Mn bulunmamaktadır fakat çukurların benzer şekilde meydana geldiği görülmüştür.

Tavares ve ark. [19]'daki çalışmalarında benzer şekilde makroskopik kırılğan görünüme rağmen, çekme numunesinin kırılmasının, taramalı elektron mikroskobu (SEM) incelemelerinde mikro çukurlar ile karakterize edildiğini bildirmişlerdir.



Şekil 11. C95200 ve C95300 Al bronzlarının çentik darbe testi sonuçları

## Sonuçlar

Bu çalışmada C95200 ve C95300 Al bronzlarının döküm işlemi sonrasında alınan numunelerden elde edilen optik mikroskop, SEM ve EDX görüntüleri, mekanik özelliklerini belirlemede yardımcı olabilecek sertlik, çekme, çentik darbe testleri kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bu testlerin sonuçları aşağıda değerlendirilmiştir.

Tane boyutu Fe % miktarı daha yüksek olan C95200'de, C95300 alaşımına göre daha küçüktür. Fe miktarı daha az fakat alüminyum miktarı daha fazla olan C95300 alaşımında tane sınırlarında ikincil faz ( $\beta$ ) miktarı artmıştır. Ayrıca tane boyutu daha kaba hale gelmiştir. Sertlik sonuçları incelendiğinde C95300 alaşımının sertlik değeri çift fazlı yapıdan dolayı C95200 alaşımının sertliğine göre (%18.72) daha fazla olarak belirlenmiştir. Çekme testi sonuçlarında ikincil fazın etkisi ile C95300 alaşımının C95200 alaşımına göre çekme gerilmesinde (%21.99), akma gerilmesinde (%14.03), % uzama değerlerinde (%184.62) yükseklik gözlemlenmiştir. Çekme sonrası kırık yüzey SEM görüntüleri incelendiğinde C95300 alaşımının daha sık yüzeye sahip olduğu ve bölgesel gamzeli çukurlardan oluştuğu gözlemlenmiştir. Çentik darbe testi sonuçları incelendiğinde, C95200 alaşımının C95300 alaşımından darbe enerjisi bakımından (%383.46), tokluk açısından (%381.87) daha yüksek değere sahip olduğu bulunmuştur. C95300 alaşımının darbe direnci C95200'e göre daha azdır. C95200

alaşımına göre C95300 alaşımında Al miktarının arttığı, Fe miktarının azaldığı, ikincil fazdan dolayı sertliğinin arttığı ve yoğunluğunun düştüğü belirlenmiştir.

**Teşekkür** Bu çalışma Proje No: KBÜBAP-21-YL-083 numaralı proje ile Karabük Üniversitesi BAP Koordinasyon Birimi tarafından desteklenmiştir.

**Fon/Finansman bilgileri** Çalışmanın, herhangi bir kurum veya kuruluş tarafından mali desteği yoktur.

**Etik Kurul Onayı ve İzinler** Çalışma, etik kurul izni veya herhangi bir özel izin gerektirmemektedir.

**Çıkar çatışmaları/Çatışan çıkarlar** Yazarlar arasında herhangi bir çıkar çatışması yoktur.

**Yazarların Katkısı**-Yazarlar çalışmaya eşit oranda katkı sağlamıştır. Yazarlar makalenin son halini okumuş ve onaylamıştır.

## **Kaynaklar**

- [1] Liang, W., Xiaolei, X., Jiujuun, X., & Zukun, H. (2000). Microstructures and properties of PVD aluminum bronze coatings. *Thin Solid Films*, 376(1-2) 159-163. [https://doi.org/10.1016/S0040-6090\(00\)01213-X](https://doi.org/10.1016/S0040-6090(00)01213-X)
- [2] Metin, M. (2022) *Alüminyum bronzlarının mekanik, yorulma, mikroyapı ve korozyon özelliklerinin incelenmesi*. (Tez no. 755666) [Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi].
- [3] Kaplan, M., & Yildiz, A. K. (2003). The effects of production methods on the microstructures and mechanical properties of an aluminum bronze. *Materials Letters*, 57(28), 4402-4411. [https://doi.org/10.1016/S0167-577X\(03\)00332-X](https://doi.org/10.1016/S0167-577X(03)00332-X)
- [4] Yasar, M., Demiral, M., Özyurek, D., & Ünal, M. (2009). Investigation of wear behaviors of C95200-C95300 Cu-Al-Fe alloys. *Industrial Lubrication and Tribology*, 61(1) 40-46. <https://doi.org/10.1108/00368790910929520>
- [5] Yaşar, M. & Altunpak, Y. (2009). The effect of aging heat treatment on the sliding wear behaviour of Cu-Al-Fe alloys. *Materials & Design*, 30(3) 878-884. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2008.05.041>
- [6] Li, W. S., Wang, Z. P., Lu, Y., Jin, Y. H., Yuan, L. H., & Wang, F. (2006). Mechanical and tribological properties of a novel aluminum bronze material for drawing dies. *Wear*, 261(2), 155-163. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2005.09.032>
- [7] Baumeister, G., Okolo, B., & Rögner, J. (2008). Microcasting of Al bronze: influence of casting parameters on the microstructure and the mechanical properties. *Microsystem Technologies*, 14(9-11), 1647-1655. <https://doi.org/10.1007/s00542-008-0605-4>
- [8] Brezina, P. (1982). Heat treatment of complex aluminium bronzes. *International Metals Reviews*, 27(1), 77-120. <https://doi.org/10.1179/imr.1982.27.1.77>
- [9] Ünal, M. (1999). *Alüminyum bronzunda farklı katılma hızlarının mikroyapı ve mekanik özelliklerine etkisi*. (Tez no. 85910) [Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi].
- [10] Metin, M., Ünal, M., Gören, H. A. (2022). %3,5 NaCl ortamında C95200 ve C95300 alüminyum bronzlarının korozyon davranışları. *Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilim. Dergisi*, 9(2), 939-966. <https://doi.org/10.35193/bseufbd.1134737>

- [11] Doğan, Z. E., Kahrıman, F., & Atapek, Ş. H. (2018). Microstructural and thermal characterization of aluminum bronzes. *Kocaeli Journal of Science and Engineering*, 1(1), 6-10. <https://doi.org/10.34088/kojose.405810>
- [12] Sadykov, F. A., Barykin, N. P., & Aslanyan, I. R. (1999). Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure. *Wear*, 225-229(1), 649-655. [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00374-3](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00374-3)
- [13] Donatus, U., Omotoyinbo, J. A., & Momoh, I. M. (2012). Mechanical properties and microstructures of locally produced aluminium-bronze alloy. *Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering*, 11(10), 1020-1026. doi: 10.4236/jmmce.2012.1110105
- [14] Gohar, G. A., Manzoor, T., & Shah, A. N. (2018). Investigation of thermal and mechanical properties of Cu-Al alloys with silver addition prepared by powder metallurgy. *Journal of Alloys and Compounds*, 735, 802-812. <https://doi.org/10.1016/j.jallcom.2017.11.176>
- [15] Wang, Y., Konovalov, S., Chen, X., Ivanov, Y., Singh, R. A., Jayalakshmi, S., Pan, X. (2021). Microstructure and mechanical properties of cu-al alloy deposited by additive manufacturing. *Materials Highlights*, 2(3), 46. <https://doi.org/10.2991/mathi.k.210318.001>
- [16] Cenoz, I. (2011). Effect of different cooling rates on the microstructure of Cu-Al-Fe alloy. *Canadian Metallurgical Quarterly*, 50(1), 80-84. <https://doi.org/10.1179/000844311X552340>
- [17] Duncheva, G. V., Maximov, J. T., Anchev, A. P., Dunchev, V. P., Argirov, Y. B., & Kandevara-Ivanova M. (2022). Enhancement of the wear resistance of CuAl9Fe4 sliding bearing bushings via diamond burnishing. *Wear*, 510-511, 204491. <https://doi.org/10.1016/j.wear.2022.204491>
- [18] Duncheva, G. V., Maximov, J. T., Anchev, A. P., Dunchev, V. P., & Argirov, Y. B. (2022). Improvement in wear resistance performance of CuAl8Fe3 single-phase aluminum bronze via slide diamond burnishing. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 31(3), 2466-2478. <https://doi.org/10.1007/s11665-021-06389-6>
- [19] Tavares, S. S. M., Mota, N. M., Igreja, H. R da., Barbosa, C., & Pardal, J. M. (2021). Microstructure, mechanical properties, and brittle fracture of a cast nickel-aluminum-bronze (NAB) UNS C95800. *Engineering Failure Analysis*, 128, 105606, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105606>