



**ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK,
YORULMA, MİKROYAPI VE KOROZYON
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Meriç METİN

**2022
YÜKSEK LİSANS TEZİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÜNAL**

**ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK, YORULMA, MİKROYAPI VE
KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

Meriç METİN

**T.C.
Karabük Üniversitesi
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında
Yüksek Lisans Tezi
Olarak Hazırlanmıştır**

**Tez Danışmanı
Doç. Dr. Mehmet ÜNAL**

**KARABÜK
Temmuz 2022**

Meriç METİN tarafından hazırlanan “ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK, YORULMA, MİKROYAPI VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ” başlıklı bu tezin Yüksek Lisans Tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Mehmet ÜNAL
Tez Danışmanı, Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından Oy Birliği ile Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 28/07/2022

<u>Ünvanı, Adı SOYADI (Kurumu)</u>	<u>İmzası</u>
Başkan : Prof. Dr. Hayrettin AHLATCI (KBÜ)
Üye : Doç.Dr. Mehmet ÜNAL (KBÜ)
Üye : Prof. Dr. Mustafa ACARER (SÜ)	Online

KBÜ Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulu, bu tez ile, Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Hasan SOLMAZ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

“Bu tezdeki tüm bilgilerin akademik kurallara ve etik ilkelere uygun olarak elde edildiğini ve sunulduğunu; ayrıca bu kuralların ve ilkelerin gerektirdiği şekilde, bu çalışmadan kaynaklanmayan bütün atıfları yaptığımı beyan ederim.”

Meriç METİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK, YORULMA, MİKROYAPI VE KOROZYON ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Meriç METİN

Karabük Üniversitesi

Lisansüstü Eğitim Enstitüsü

Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Tez Danışmanı:

Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

Temmuz 2022, 59 sayfa

Bu çalışmada yüksek mukavemet, mükemmel korozyon, aşınma ve yorulma direnci kombinasyonlarına sahip olan C95200 ve C95300 alüminyum bronzlarının (Cu-Al-Fe) mikroyapı, mekanik, aşınma ve korozyon özellikleri araştırılmıştır. Alüminyum bronzlarının element miktarları hesaplanıp hazırlandıktan sonra İndüksiyon ocağında ergitilmiştir. Ardından 1150 °C' deki alaşımlar 250 °C sıcaklık seviyesinde ısıtılan kokil kalıba dökülmüş ve böylece C95200, C95300 alüminyum bronz alaşımları üretilmiştir. Bu alaşımlardan gerekli ölçülerde hazırlanıp elde edilen numunelere Optik mikroskop, SEM, EDX, XRD testleri yapılmıştır. Ayrıca bu alaşımlara sertlik, çekme, çentik darbe, yorulma, aşınma, potansiyodinamik polarizasyon ve daldırma korozyon testleri uygulanmıştır. Alüminyum bronzlarının mikroyapıları incelendiğinde yapıda yarı kararlı β ve γ fazlarının yanı sıra α ve γ_2 fazları da tespit edilmiştir. Kararsız β -fazından dönüşüm mekanizması ile iğnemsî yapıda α -fazının oluştuğu görülmektedir. Çekirdeklenme, β -fazı tane sınırlarında ve demir

parçacıklarının etrafında başladığı görülmüştür. C95200 alaşımı Fe içeriğinin daha fazla olmasından dolayı daha ince tane yapısına sahiptir ve daha az (β) fazına sahiptir. C95300 alaşımı taneleri daha kabadır ve daha fazla (β) fazına sahiptir. XRD sonuçları incelendiğinde ana matris(Cu) dışında Fe_4Cu_3 , Fe_3Al , $CuAl_2$, Cu_9Al_4 , $AlCu_3$ intermetalik fazları tespit edilmiştir. Brinell sertlik test sonuçlarında C95300 alaşımının sertlik sonucu, C95200 alaşımına göre %19,32 daha yüksek bulunmuştur. Çekme sonucu incelendiğinde C95300 alaşımının mukavemet ve sünekliği, C95200'e göre daha yüksektir. C95300 ün darbeye karşı direnci C95200'den daha düşüktür. C95200 alaşımının korozyon direnci C95300 alaşımına göre daha iyi olduğu ağırlık kayıplarından anlaşılmış ve bu değerler daldırma korozyon testi sonrası alınan SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir. Aşınma sonuçları incelendiğinde C95300 alaşımı nispeten daha yüksek aşınma direnci göstermiştir.

Anahtar Sözcükler : Alüminyum Bronzu, Mikro Yapı, Mekanik Özellikler,
Yorulma, Aşınma, Korozyon

Bilim Kodu : 91514

ABSTRACT

M. Sc. Thesis

INVESTIGATION OF MECHANICAL, FATIGUE, MICROSTRUCTURE AND CORROSION PROPERTIES OF ALUMINIUM BRONZES

Meriç METİN

Karabük University

Institute of Graduate Programs

Department of Metallurgical and Materials Engineering

Thesis Advisor:

Doç. Dr. Mehmet ÜNAL

July 2022, 59 pages

In this study, microstructure, mechanical, wear and corrosion properties of C95200 and C95300 aluminum bronzes (Cu-Al-Fe), which have high strength, excellent corrosion, wear and fatigue resistance combinations, were investigated. After the element amounts of the aluminum bronzes were calculated and prepared, they were melted in the induction furnace. Then, the alloys at 1150 °C were poured into a permanent mold heated at 250 °C and thus C95200, C95300 aluminum bronze alloys were produced. Optical microscope, SEM, EDX, XRD tests were performed on the samples prepared and obtained from these alloys in required sizes. In addition, hardness, tensile, notch impact, fatigue, wear, potentiodynamic polarization and immersion corrosion tests were applied to these alloys. When the microstructures of aluminum bronzes were examined, metastable β and γ phases as well as α and γ^2 phases were detected in the structure. It is observed that the α -phase is formed in acicular structure by the mechanism of conversion from the unstable β -phase.

It was observed that nucleation started at the β -phase grain boundaries and around the iron particles. C95200 alloy has finer grain structure and less (β) phase due to higher Fe content. C95300 alloy grains are coarser and have more (β) phase. When the XRD results were examined, Fe_4Cu_3 , Fe_3Al , CuAl_{12} , Cu_9Al_4 , AlCu_3 intermetallic phases were detected apart from the main matrix (Cu). In Brinell hardness test results, the hardness result of the C95300 alloy was found to be 19.32% higher than the C95200 alloy. When the tensile result is examined, the strength and ductility of the C95300 alloy is higher than that of C95200. C95300 has lower impact resistance than C95200. It is understood from the weight losses that the corrosion resistance of the C95200 alloy is better than the C95300 alloy, and these values are also supported by the SEM images taken after the immersion corrosion test. When the wear results were examined, the C95300 alloy showed relatively higher wear resistance.

Key Word : Aluminum bronze, Microstructure, Mechanical properties, Fatigue, Wear, corrosion

Science Code : 91514

TEŞEKKÜR

Bu tez çalıőmasının planlanmasında, araőtırılmasında, yürütülmesinde ve oluşumunda ilgi ve desteğini esirgemeyen, engin bilgi ve tecrübelerinden yararlandığım, yönlendirme ve bilgilendirmeleriyle çalıőmamı bilimsel temeller ışığında őekillendiren sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ÜNAL'a ve alıőlarımda desteklerini esirgemeyen Sinop Üniversitesi Dr. Öğretim Üyesi Halil Ahmet GÖREN'e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Sevgili aileme manevi hiçbir yardımını esirgemedен yanımda oldukları için tüm kalbimle teşekkür ederim.

Bu alıőma Karabük Üniversitesi Bilimsel Araőtırmalar Projeleri Koordinatörlüğü tarafından KBÜBAP-21-YL-083 proje numarası ile desteklendiği için KBÜ-BAP birimine teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
KABUL.....	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	viii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	xii
ÇİZELGELER DİZİNİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ	xv
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
BÖLÜM 2	5
BAKIR VE BAKIR ALAŞIMLARI.....	5
2.1. BAKIR VE ALAŞIMLARI.....	6
2.2. BAKIR ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ.....	7
2.3. BAKIR ALAŞIMLARININ ALAŞIM ELEMENTLERİNE GÖRE ÇEŞİTLERİ.....	7
2.3.1. Bakır-Çinko Alaşımı (Pirinçler)	7
2.4.2. Bakır-Kalay Alaşimleri (Kalay Bronzları)	8
2.4.3. Bakır-Nikel Alaşimleri (Nikel Bronzları).....	8
2.4.3. Bakır-Alüminyum Alaşimleri (Alüminyum Bronzları).....	9
2.5. BAKIR ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ	10
2.5.1. Kokil Kalıba Döküm	10
2.5.2. Kum Kalıba Döküm.....	10
2.5.3. Hassas Döküm	11
2.5.4. Basınçlı Döküm	11

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM 3	12
3.1. ALÜMİNYUM BRONZ ÇEŞİTLERİ VE KULLANIM ALANLARI	12
3.1.1. ASTM Normuma Göre Alüminyum Bronzları.....	12
3.2. ALÜMİNYUM BRONZLARININ ALAŞIM ELEMENTLERİNE ETKİSİ	13
3.2.1. Alüminyum.....	13
3.2.2. Demir	14
3.2.3. Mangan	14
3.2.4. Nikel	14
3.2.5. Silisyum.....	15
3.2.6. Kurşun.....	15
3.3. ALÜMİNYUM BRONZLARINDA BULUNAN FAZLAR.....	15
3.3.1. α fazı	15
3.3.2. β fazı	16
3.3.3. γ_2 fazı	16
3.3.4. $\alpha + \beta$ fazı.....	16
3.4. ALÜMİNYUM BRONZLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ.....	16
3.5. ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ.....	17
3.6. ALÜMİNYUM BRONZLARINDA MİKROYAPILAR	18
3.7. ALÜMİNYUM BRONZLARININ KOROZYON ÖZELLİKLERİ	19
BÖLÜM 4	21
DENEYSEL ÇALIŞMALAR	21
4.1. ALAŞIMLARIN ERGİTİLMESİ VE DÖKÜMÜ	21
4.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU	23
4.2.1. Metalografik Numunelerin Hazırlanması.....	23
4.2.2. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu.....	24
4.2.3. Korozyon Karakterizasyonu	27
4.2.4. Aşınma Karakterizasyonu.....	28
BÖLÜM 5	31
DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA.....	31

	<u>Sayfa</u>
5.1. XRD ANALİZİ	31
5.2. MİKROYAPI SONUÇLARI	32
5.2.1. Optik Mikroskop Sonuçları	32
5.2.2. Sem ve Edx Sonuçları.....	33
5.3. MEKANİK TEST SONUÇLARI.....	35
5.3.1. Sertlik Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	35
5.3.2. Çekme Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi	37
5.3.3. Çentik Darbe Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	38
5.3.4. Yorulma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	40
5.4. KOROZYON TEST SONUÇLARI	41
5.4.1.Daldırma Korozyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi:	41
5.4.2. Potasyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi: ...	43
5.5. AŞINMA TEST SONUÇLARI.....	46
5.5.1. Korozif Aşınma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi	46
5.5.2. Adhezif Aşınma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi.....	50
BÖLÜM 6	31
GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER.....	53
6.1. GENEL SONUÇLAR	53
6.2. ÖNERİLER	53
KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ŞEKİLLER DİZİNİ

Sayfa

Şekil 2.1. Al-Cu denge diyagramı	6
Şekil 3.1. % 90Cu-%10Al alaşımlı alüminyum bronzunun kokil döküm mikroyapısı x100.....	18
Şekil 4.1. İndüksiyon ergitme ocağı.	22
Şekil 4.2. Alaşımların dökümü yapıldığı kokil kalıp.	22
Şekil 4.3. (a) Zımpara cihazı, (b) Metalografik numuneler.....	23
Şekil 4.4. Nikson marka optik mikroskop cihazı.	24
Şekil 4.5. Scanning electron microscopes (Sem) cihazı.....	24
Şekil 4.6. Bulut marka birinell sertlik cihazı.....	25
Şekil 4.7. Çekme numunesi (a) Şematik resmi, (b) İşlenmiş hali.	26
Şekil 4.8. Çentik -darbe numunesi (TS 269) (a) Şematik resmi, (b) İşlenmiş hali.	26
Şekil 4.9. (a) Yorulma test cihazı, (b) Yorulma test numunesi.	27
Şekil 4.10. Koroziif aşınma test cihazı.....	29
Şekil 4.11. (a) Aşınma deney cihazı, (b) Aşınma deney numunesi.	30
Şekil 5.1. XRD sonuçları.....	31
Şekil 5.2. C95200 ve C95300 alüminyum bronz alaşımlarının optik mikroskop görüntüsü.....	33
Şekil 5.3. (a) C95200 ve (b) C95300 sem görüntüsü.	34
Şekil 5.4. C95200 ve C95300 alüminyum bronz alaşımlarının sem ve edx analizleri.....	35
Şekil 5.5. Sertlik sonuçları.....	36
Şekil 5.6. Çekme testi sütun grafiği.....	37
Şekil 5.7. C95200 ve C95300 Çekme testi sem görüntüsü ve edx analizi.	38
Şekil 5.8. Çentik darbe enerjileri.....	38
Şekil 5.9. Çentik darbe sonuç grafiği.	39
Şekil 5.10. C95200 ve C95300 çentik darbe sem görüntüsü ve edx analizi	39
Şekil 5.11. C95200 ve C95300 yorulma sonuç grafiği.	40
Şekil 5.12. Alaşımlarının daldırma korozyon testindeki korozyon hızı.	41
Şekil 5.13. Alaşımlarının daldırma korozyon testindeki (a) 1. gün sonundaki ağırlık kaybı (b) 3. gün sonundaki ağırlık kaybı.....	41

Şekil 5.14. C95200 ve C95300 daldırma korozyon testi sem görüntüsü ve edx analizi.	42
Şekil 5.15. Alaşımlarının (a) Tafel eğrileri (b) I_{corr} ve E_{corr} değerleri.....	44
Şekil 5.16. (a) C95200 ve (b) C95300 korozif aşınma miktarları.....	46
Şekil 5.17. C95200 ve C95300 korozif aşınma sem görüntüsü ve edx analizi.	47
Şekil 5.18. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N korozif aşınma ağırlık kayıpları.....	48
Şekil 5.19. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N korozif aşınma sürtünme katsayıları.....	49
Şekil 5.20. (a) C95200 ve (b) C95300 adhezif aşınma miktarları.	50
Şekil 5.21. C95200 ve C95300 adhezif aşınma sem görüntüleri ve edx analizi.....	51
Şekil 5.22. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N adhezif aşınma ağırlık kayıpları.....	52

ÇİZELGELER DİZİNİ

	<u>Sayfa</u>
Çizelge 4.1. Alaşımların kimyasal kompozisyonları.	22
Çizelge 4.2. Döner diskin kimyasal bileşimi (DIN 1.2379).....	30

SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

SİMGELER

Al	: Alüminyum
Cu	: Bakır
Sn	: Kalay
Si	: Silisyum
Mn	: Mangan
Ni	: Nikel
Zn	: Çinko
Pb	: Kurşun
Ni	: nikel
γ	: Gama fazı
β	: Beta fazı
θ	: Teta fazı
σ	: normal gerilme

KISALTMALAR

AISI	: American Iron and Steel Institute (Amerika Demir ve Çelik Enstitüsü)
ASTM	: American Society for Testing and Materials (Amerika Deneme ve Malzeme Topluluğu)
DIN	: Deutch Industrie Normen (Alman Endüstri Normları)
EN	: European Norm (Avrupa Normu)
TS	: Türk Standardı

BÖLÜM 1

GİRİŞ

Bakır alaşımları termal ve elektriksel olarak mükemmel değerlere sahip ayrıca iyi mekanik özelliğe sahip olduğundan dolayı endüstriyel alanda yoğun şekilde tercih edilmektedir. Bu Bakır alaşımlarından üretilen, Konnektörler, ısı eşanjörleri, saclar, borular, radyatörler gibi bir çok alanda parça üretiminde kullanılmaktadır. Bakır alaşımlarının özelliklerini daha iyi seviyelere doğru geliştirmek amacıyla (Al, Zn Cr, Ni, Sn, Pb, Nb, Be) gibi farklı bir çok alaşım elementi ilave edilmektedir. Alüminyum bronzları bakır bazlı (Cu-Al) alaşımları içinde önemli yer teskil eden bir alaşım grubudur. Alüminyum bronzlarında genellikle ana alaşım elementi olarak alüminyum yüzde %5-%14 aralığında farklı miktarlarda bulunabilir, ayrıca alüminyum bronz uygulamalarında Nikel, Manganez, Silikon ve Kalay gibi alaşım elementleri de eklendiği bildirilmiştir [1].

Bronzlar, farklı tribolojik uygulamalarda yaygın olarak kullanılmaktadır [2]. Literatürde fiziksel, mekanik, tribolojik ve diğer özellikleri daha iyi seviyelere getirmek için arzu edilen bir iç yapının elde edilmesi gerektiği bildirilmiştir [3].

Literatürde Bakır ve alaşımları, yüksek elektrik ve korozyon dayanımına sahip olmalarından, yeterli mukavemetlerinden dolayı endüstriyel alanlarda birçok uygulamada kendine yer bulduğu bir çok kaynakta belirtilmiştir. Toksik olmaması ve mimari estetiğe uygun olmasından dolayı bu alaşımların çok farklı alanlarda kullanılmasına imkan tanımaktadır. Tribolojik olarak da birçok alanda çalışabildiği ve yüksek aşınma direnci sahip olduğu için bakır alaşımları katma değeri yüksek olan bir malzeme grubudur. Bakırın çoğu uygulamada teknik olarak beklentilere cevap vermesi, çoğu zaman mekanik özelliklerinin (sertlik, mukavemet gibi) iyileştirilmesine bağlıdır. Bunu özellikleri iyileştirmek için alaşımlandırma yapılması zorunludur. Fakat bakırın elektrik iletkenliği, ısı iletkenliği gibi fiziksel özellikleri,

bazı durumlarda mukavemet dayanımını artırıcı elementlerin kullanılmasıyla birlikte teknik beklentilerin altında bir değer bölgesine inebilmektedir [4,5].

Alüminyum bronzları, kurşunlu kalay bronzlarındaki kurşun gibi katı yağlayıcı içermezler. Bu nedenle, aşınma davranışları, aynı çalışma koşulları ile kurşunlu kalay bronzlarının aşınma davranışından farklı olmalıdır. Kurşunlu kalay ve alüminyum bronzların literatürde ve sanayide geniş uygulama potansiyeline karşın, teknik ve bilimsel açıdan aşınma davranışlarını araştırmaya yönelik çabaların az olduğu görülmüştür. Literatürde yüksek basınçlı kayma hareketinin sebep olduğu aşınma anormalliğinin bazı bileşenlerde (piston pimi, biyel kolu, burçlar) problem haline geldiği bildirilmiştir. Bu sebeple, aşınma direnci çok iyi bir malzemenin geliştirilmesi talep edilmektedir [2]. Yine literatürde Alüminyum bronzlarının, yüksek mukavemet, iyi korozyon ve iyi aşınma direnci kombinasyonları için kullanıldığı bildirilmiştir. Alüminyum bronzları % 9-12 alüminyum ve % 6'ya kadar demir ve nikel içerdiği belirtilmiştir. Bu bileşim sınırlarındaki alaşımlarda katı çözeltilerin güçlendirilmesi, demir açısından zengin bir fazın çökeltilmesi ile oluşur [6].

Farklı bir çalışmada alüminyum bronzlarının fiziksel, mekanik, tribolojik ve diğer özelliklerini geliştirmek için uygun bir yapı elde etme problemi önemli bir konudur [3]. Literatürde alüminyum bronzları ile ilgili Yaklaşık %8' den daha fazla alüminyum içeren ticari alaşımlara demir ilavesi yapılabildiği belirtilmiştir. Demir katılma esnasında ve yavaş soğutma sırasında taneleri inceltir ve mekanik özellikleri geliştirir [7, 8, 9]. Literatürde tek fazlı alüminyum bronzlarının %9,5'tan daha az Al içerdiği bildirilmiştir [10].

Ayrıca Literatürde Cu-Al-Fe alaşımlarının korozyon ile ilgili yapılan çalışmalar araştırıldığında daha çok Al-Cu-Fe alaşımları üzerindeki çalışmalara rastlandığı bildirilmiştir. Bir çalışmada potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonucunda, Al-Cu-Fe alaşımlarında bulunan Cu ve Fe içerikli yarı kristalli fazın diğer fazlara göre daha iyi korozyon performansı gösterdiği bildirilmiştir [11].

Bakır-alüminyum bronzlarının yalnızca ikili bir alaşım değil, aynı zamanda demir, manganez, nikel veya silikon gibi farklı kombinasyonları bulunan çok bileşenli ve çok

fazlı sistemler olduğu bilinmelidir [12]. Alüminyum bronzlarının korozyon davranışı ile ilgili literatür incelendiğinde bir çalışmada; elektrokimyasal potansiyodinamik polarizasyon testi vasıtasıyla, klorür ortamında üç farklı yapıdaki Cu-Al intermetalik bileşiminin korozyon performansı karşılaştırılmıştır. Bu üç Cu-Al intermetalikleri arasındaki korozyon hızı incelendiğinde sıralama; büyükten küçüğe doğru $Cu_9Al_4 > CuAl_2 > CuAl$ olarak belirtilmiştir. Metaller için korozyon hızına bakıldığında büyükten küçüğe doğru $Cu > Al$ olduğu görülmüştür. Yüzde birkaç Pd elementi ilavesi ile korozyon direncini bir miktar artığı belirtilmiştir [13].

Literatürde yapılan bir başka çalışmada, NaOH ve H₂SO₄ ortamındaki alüminyum bronz numunelerinin, sırasıyla döküm sarı altın renginden kahverengiye, koyu renge kademeli olarak renk bozulması gösterdiği bildirilmiştir. NaCl ortamında, NaOH ve H₂SO₄ ortamına kıyasla korozyona karşı daha yüksek direnç gösterdiği ve artan konsantrasyonda bile hafif renk açma etkisi yaşandığı rapor edilmiştir [14].

Galvanik olarak bağlanmış Nikel-Alüminyum Bronz ve paslanmaz çelik (UNS S31603) üç hafta, doğal deniz suyunda korozyon davranışı açısından incelenmiş ve sonuç olarak; paslanmaz çeliğin Nikel-Alüminyum Bronz ile katodik polarizasyonunun, paslanmaz çeliğin katot verimliliği üzerinde güçlü etkiye sahip olduğu bildirilmiştir [15].

Literatürde (Cu-7Al) bronzunun korozyon davranışı üzerinde yapılan bir başka çalışmada (Cu-7Al) bronzu %3,4 NaCl çözeltisinde uzun süre bekletilmiştir. Bu durum numunelerde kısa sürede aşındırıcı saldırı oluşturmuş, genel ve çukur korozyonlarının birleşmesi ile büyümesi, birden fazla oluk benzeri boşluk oluşmasına ve komşu çukurların bir araya gelmesine sebep olmuştur [16].

Bir başka çalışmada Cenoz; alüminyum bronzunu kalıcı kalıp içine döküm yapmış ve yapıda α ile γ_2 ve yarı kararlı faz β' ve γ' fazlarının meydana geldiğini tespit etmiştir. Ayrıca (Al₃Fe₄, Fe₃Al ve Al₅Fe₂) intermetaliklerinin varlığını bildirmişlerdir. Bunun yanı sıra küresel demir parçacıklarının oluştuğunu ve bu küresel parçacık sisteminin alüminyum ile etkileşime girmediğini ifade etmişlerdir [17].

Bu çalışmada döküm olarak elde edilen C95200 ve C95300 alüminyum bronzlarının mikro yapısal, mekanik, aşınma, korozyon özelliklerinin incelenmesi amaçlanmıştır.

BÖLÜM 2

BAKIR VE BAKIR ALAŞIMLARI

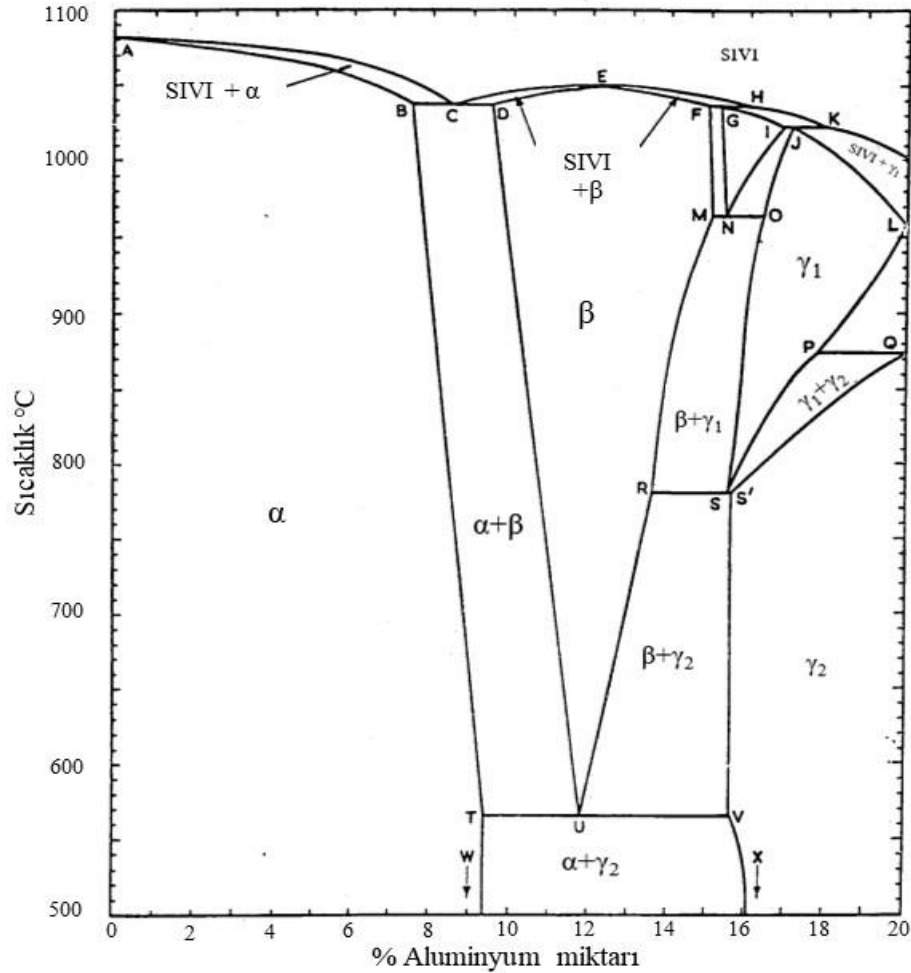
Alüminyum bronzları %14'e kadar alüminyum içerdiği bilinen bakır esaslı alaşımlardır. Başka tür alaşımların sunamadığı mekanik ve kimyasal özellikleri alüminyum bronzları sunarlar. Bu özellikler alüminyum bronzlarına bir çok üstünlükler sağlamaktadır. Sertlikleri 40-42 RC'ye kadar çıkan cinsleri bulunmaktadır [18].

Bakır elementinin en yaygın kullanım alanlarından bir diğeri de metallere yapmış olduğu pirinç, bronz v.s. gibi alaşımlardır. Metal piyasasının gözdesi olan ve büyük bir ihtiyacı karşılayan bu alaşımlar endüstrinin genellikle her dalında aranılmakta ve kullanıldığı görülmüştür.. Alaşımlar arasında kalay ve çinko ile yapılanlar en önemlileridir. Geniş zamanlarda kalay ile yapılan alaşımlar bronz olarak isimlendirilmiş ve tarihte, Bronz Devri'ni doğurmuştur. Bronz saf bakıra nispeten sertliği, dayanıklılığı ve kolay döküm özellikleri ile önem kazandığı gözlemlenmiştir. Göze daha hoş görünen bronz rengi bazı hallerde kırmızı bakır rengine tercih edilmektedir. Kalayın yüksek fiyatı nedeni ile bronz, bakıra nispeten daha pahalıdır. Fakat değerli süs eşyası, anıtlar, çanlar, ve para yapımında tercihen kullanılmaktadır. Bronza iyi dökülebilir kazandırmak için % 0.1 miktarında fosfor ilave edilmektedir. Fosfor niceliği fazla olan alaşımlara fosforlu bronz adı verilir ve bu malzeme yüksek sertlik ve korozyona dayanıklılık gösterdiğinden pompa ve gemi yapımında kullanılır. Çinko bronz, kalay yanında kurşun da içerirse kızıl döküm adını alır ve iyi kayganlık verdiği için makina yataklarında kullanılır. Alüminyum bronz, yüksek korozyon dayanıklılığı ile diğer bakır alaşımlarından daha üstündür. Bu alaşım özellikle madencilik ve kimya sektöründeki fabrikalarda kullanılan dişlilerin yapımında aranan bir malzemedir [19].

Şekil 2.1’de Al-Cu-Fe denge diyagramı incelendiğinde dönüşüm noktalarının azda olsa değiştiği ve intermetalik fazların oluştuğu gözlemlenmektedir.

2.1. BAKIR VE ALAŞIMLARI

Bakır insanoğulunun kullandığı yaklaşık olarak 10.000 yıl öncesine dayanan en eski metaldir. Geçmişte Mısır, Yunan, Roma, Çin’de dahil büyük medeniyetlerin hepsi bakır ve alaşımlarını dekoratif ve Pratik anlamda kullanmıştır. Thomas Edison’un ampülü icadı ve onun elektrik enerjisi üreti tesisini inşa etmesinde bakır elementi çok büyük bir rol oynamıştır. Şekil 2.1’de Cu-Al denge diyagramı gösterilmiştir [20].



Şekil 2.1. Al-Cu denge diyagramı [21].

2.2. BAKIR ALAŞIMLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Endüstriyel alüminyum bronzları iki grupta ele alınabilir. İlk gruptaki alüminyum bronzları yaklaşık olarak %7.5 Al içerirler ve homojen bir yapıya sahiptirler. İkinci gruptaki Alüminyum bronzları ise %8 ile %14 Al içerirler ve çift fazlı yapıya sahiptirler. Bakır-Alüminyum denge diyagramında üçlü faz yada daha kompleks yapılardaki veriler sınırlıdır. Örneğin, birçok kompleks endüstriyel alaşımların ısı işlemlerinde verilerin bilinmesinde eksiklikler mevcuttur [21].

2.3. BAKIR ALAŞIMLARININ ALAŞIM ELEMENTLERİNE GÖRE ÇEŞİTLERİ

2.3.1. Bakır-Çinko Alaşımı (Pirinçler)

Pirinç, geçmişten günümüze mühendislik alanlarında çok sık kullanılan mühendislik malzemelerindendir. Pirinç malzemeler günümüzde imalat ve yeniden kullanılabilme teknolojisi, kullanıcıların ihtiyacı doğrultusunda tasarlanmıştır.

Mühendislik malzemelerinin uygulanma alanlarının başında pirinç malzemeler gelmektedir. İstenilen kimyasal bileşimdeki pirincin seçilmesi ile istenilen mukavemet, süneklik, sertlik, iletkenlik, şekillendirilebilirlik, aşınma dayanımı, renk ve korozyon direnci özelliklerine sahip malzemelerdir.

Pirinç malzemeler iyi dökülebilirlik özelliğine sahip ekstrüzyonla, haddelemeyle, sıcak veya soğuk şekillendirme ile üretilebilmektedir. Bu yüzden pirinçler fiyat olarak seçilebilecek ucuz malzemeler olarak bilinir. Pirinçlerin uygulama alanı çok geniştir.

Bu yüzden pirinçler ihtiyaç halinde kolay bir şekilde temin edilebilir. Pirinç malzemeler darbe karşısında kıvılcım çıkartmazlar; bu nedenle kıvılcım çıkmasının tehlike oluşturduğu durumlarda pirinç malzemelerin kullanılması uygundur [22].

2.4.2. Bakır-Kalay Alaşımları (Kalay Bronzları)

Kalay iyi dövülebilirlik ve süneklik bakımından iyi bir metaldir. Kolayca tel ve levha haline getirilebilmektedir. Güçlü asitlerden, alkalilerden ve asit tuzlarından etkilenmektedir. Havada ısıtıldığında SnO₂ oluşturmaktadır. Klor ve oksijenle birleştiğinde derişik karşıtı asitlerden hidrojeni uzaklaştırır. Oda sıcaklığında dövülebilir olmasına karşılık ısıtıldığında kırılganlaşmaktadır.

Üretilecek olan kalayın yaklaşık %40'ı çelik levhaların kaplanmasında kullanılmaktadır. Böylece yiyecek ve konserve kapları olan teneke, daldırma veya elektroliz yoluyla elde edilmektedir. Teneke ve sert kalaydan yapılmış süs veya kullanım eşyaları siyah vernikle kaplanmakta olup sıkça kullanılmaktadır. Dolayısıyla ergitilmiş kalay veya kalay-bakır alaşımına daldırılan demir veya çelik teneke levhalar çaydanlık, tepsi ve şamdan gibi çeşitli ev eşyaları biçiminde işlenmektedir. Daha sonra bu malzemeler beziryağı, kurutucu maddeler ve boyalarla hazırlanan siyah vernikle cilâlanmaktadır. Kalay mekanik olarak zayıf olmasından dolayı bakır, kurşun, çinko, demir, kadmiyum, antimon, nikel, kobalt, titan ve zirkonyum ile alaşım halinde kullanılmaktadır. Kurşunla kalay birleşimine lehim denilmektedir. Son zamanlarda kalay içermeyen ve alüminyum, silisyum, fosfor, manganez vb. elementlerin bakırla yaptığı ikili alaşımlara bu elementlerin tuncu denir. Bronz (tunç) ismi ile kalay-bakır alaşımı olarak bilinmektedir. Bronzdaki kalay, korozyonu (paslanmayı) önlemekte olup ve bakırın mekanik özelliklerini iyileşmesini sağlamaktadır. Buna antimon da katılarak makina yatakları gibi dayanıklı parça ve eşyaların yapımında kullanılmaktadır. Bronzlar (tunçlar); Bakır, kalay ile çok mühim olan tunçları teşkil etmektedir. Topların tuncu dayanıklılık bakımından önem teşkil etmektedir [23].

2.4.3. Bakır-Nikel Alaşımları (Nikel Bronzları)

Nikel bronzları, geleneksel bakır alaşımlarının dışında kalan ve yüksek oranda Ni ve Al içeren bir dizi bakır alaşımına verilmiş olan genel bir ifadedir. Nikel-alüminyum bronzlarında, ağrılıkça % 8-13 Al, % 3-5 Ni, % 3-5 Fe ve % 0 - 3 Mn

bulunur. Bu alaşımlarda, ikinci derece öneme sahip olan Sn, Zn ve Si elementleri de yer alabilir. Hem Sn hem de Zn kompozisyonda ağırlıkça % 0,2 seviyesinden daha yüksek orandayla alabilmekte olup Si çoğunlukla ağırlıkça % 1,0 seviyesinin üzerindedir. Bulaşımların kompozisyonlarına özellikle sertlik geliştirici olarak Sb, As, Cd, In, P, Ti, V ve Zr gibi elementler, gerilmeli korozyon çatlamaına karşı direnci geliştirici olarak da yine Cd, As ve Zr eklenebilir [24].

Döküm nikel alüminyum bronzlarının mikroyapısı α -Cu fazı, dönüşmemiş β fazı ve Fe-Al ve Ni-Al esaslı κ fazı olarak adlandırılan çeşitli çökeltileri içermektedir. Yüzey merkezli kübik olarak kristallenen α -Cu fazı ortalama ağırlıkça % 7 Cu, % 3 Al ve % 3 Ni bileşimine sahiptir. Diğer taraftan, matriks içerisinde bulunabilen β fazı nikel alüminyum bronzlarında yüksek sıcaklık katı ergiyik fazı olup hacim merkezli kübik yapıya sahiptir. Katılaştan bir bronz yapısında soğutmaya bağlı olarak β fazından farklı morfolojide ve içerikte (kimyasal bileşimde) fazların oluşumu söz konusudur. Hızlı soğuma ile birlikte oldukça sert ve kırılğan bir karakteristikte olan martenzitik bir dönüşüm gözlenmekte olup yapıda dönüşmemiş β fazı da bulunabilir. Yapıda bulunan bu dönüşmemiş yapı çoğunlukla matriks içerisinde heterojen bir mikroyapısal bileşen olarak davranır. Herhangi bir yüklenme altında bu dönüşmemiş yapı martenzite göre daha plastik davranış gösterip malzemenin beklenen yüksek mekanik özellikleri azaltabilir. Tüm bunların dışında bu fazdan doğrudan Ni-Al esaslı çökeltileri de oluşabilmektedir. Bilindiği üzere, martenzit yapısı birçok metalürjik yapıya göre kristal yapısının bir sonucu olarak plastik davranış sergilemeyen bir yapıdır. Tüm bunlar söz konusu iken anlaşılacağı üzere katılaştan bronzlarda oda sıcaklığı yapısı oldukça karmaşık bir yapıda olabilir [25].

2.4.3. Bakır-Alüminyum Alaşımları (Alüminyum Bronzları)

Bakır elementinin alüminyum elementiyle yaptığı alaşımlara alüminyum bronzu adı verilir ve bakır içerisine ağırlıkça % 4-12 seviyesine kadar Al ile alaşımlandırma yapılabilir. Bu alaşımlarda, farklı özelliklere sahip olabilmek için kompozisyona genellikle Fe, Ni, Mn ve Si ilavesi vardır. Bahsi geçen alaşım elementleri ile

mekanik özellikleri daha da arttırılır. Bu alaşımların en karakteristik özelliği, malzemenin ısıtılması halinde yüzeyinde koruyucu bir alüminyum oksit tabakasının meydana gelmesidir. Buna bağlı olarak alüminyum bronzları, orta yüksekliklerdeki sıcaklıklarda kullanılan bakır esaslı alaşımlar içerisinde en iyisi olduğu bilinmektedir. Alaşımlar ayrıca aşınmaya karşı oldukça dirençlidir ve 400 °C gibi bir sıcaklığa kadar dayanımlarını koruyabilir [26].

2.5. BAKIR ALAŞIMLARININ DÖKÜMÜ

2.5.1. Kokil Kalıba Döküm

Bu yöntem endüstride kalıcı kalıp döküm adı verilir ve esas olarak karmaşık şekillere, dar boyut toleranslarına ve üretilecek çok sayıda parçaya sahip parçalar için kullanılır. Kalıp malzemesi olarak genellikle döküm yapılacak metalin gerektirdiği özelliklere sahip olması gereken özel kalitede dökme demir veya çelik kullanılır. Bronz dökümde erimiş metal için kullanılır. Kokil dökümde, 3.000 ila 10.000 parça demir bazlı malzeme ve 100.000 parçaya kadar düşük erime noktalı metaller (alüminyum gibi) tek bir kalıpla dökülebilir. Metal kalıp döküm yönteminin katılaşma oranı kum kalıbına göre daha yüksek olduğu için bu yöntemle dökülen parçaların iç yapısı (ötektik ve diğer fazlar) ince ve tane boyutu küçüktür. Boyutsal doğruluk $\pm 0,25$ mm'dir ve parçaların yüzey düzgünlüğü ek işlem yapılmadan yeterince yüksektir [27].

2.5.2. Kum Kalıba Döküm

Kum kalıba döküm yöntemi diğer döküm yöntemlerine göre en fazla kullanılan döküm yöntemidir. Çok farklı büyüklükteki parçalara uygulanabilir ve kalıplama maliyeti çok az olduğu için daha çok tercih sebebidir. Bu döküm yöntemi el kalıplama ve makine yardımıyla kalıplama olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Döküm işlemi sırasında yer çekimi kuvvetinden yararlanılmaktadır. Bu döküm yönteminde, döküm parçaları tek veya küçük çaplı seri üretimi için uygundur. 400 tona kadar ulaşan parçaların dökümü mümkün olmaktadır.

Makineler yardımıyla gerçekleştirilen kum kalıba döküm yönteminde; kalıp kumuna farklı makineler kullanılarak şekil verilmektedir. Burada da döküm, yerçekimi kuvvetinin etkisiyle gerçekleştirilmektedir. Birkaç gramdan birkaç tona kadar parçaların dökümü mümkün olmaktadır [28].

2.5.3. Hassas Döküm

Öncelikli olarak, metalden dökülecek olan parçanın mum veya benzer bir şekilde malzemeden modeli hazırlanmaktadır. Genelde alüminyum (kuyumculukda ise silikon) bir kalıp imal edilir ve plastik enjeksiyon yöntemi ile istenildiği kadar mum model elde edilebilmektedir.

Parçalara mumdaki yapılmış bir gövdeye yapıştırılarak "mum salkım" hazırlanmaktadır. Mum malzemenin en düşük ergime sıcaklığı 70-90 °C arasında olabilen ve seramik kabuğu çatlatmaması amacıyla düşük ısıl genleşme özelliğine sahip bir malzemedir. Model, seramik banyosuna batırıldıktan sonra (sulu alçı görünümünde bir sıvı) çevresine ince bir tabaka kaplanması sağlanır. Seramik tabaka kuruyup katılaşıncaya kadar bir fırında bekletilmektedir. İstenilen kalınlıkta seramik kaplanıncaya kadar son iki işlem tekrarlanmaktadır. Dış tabakalarda daha kalın seramik toz kullanılır [29].

2.5.4. Basınçlı Döküm

Sıvı metalin basınç altında metal kalıba doldurulmasıyla elde edilen dökümlere basınçlı döküm denilmektedir. Basınçlı döküm, metal kalıba döküm yöntemine çok benzemektedir. Aradaki en önemli fark basınçlı dökümde sıvı metalin kalıba doluşunun basınç altında gerçekleşiyor olmasıdır. Basınçlı dökümde metalin kalıba doluş hızının çok yüksek olması, çok karmaşık parçaların dökülmesine olanak sağlar [28].

BÖLÜM 3

3.1. ALÜMİNYUM BRONZ ÇEŞİTLERİ VE KULLANIM ALANLARI

3.1.1. ASTM Normuma Göre Alüminyum Bronzları

C95200 alaşımı:

Bu alaşımlar; vana yapım elemanlar, biçimlendirme elamanlar, biçimlendirme kalıpları, kıvılcıma direnç gösteren takımlarda ve metalleri şekillendirme işleminde kullanılan merdane papuçlarının yapım işleminde, ayrıca 700°C deki ısıl işlemde sonra çarpma dayanımları artırılarak, sarsıntılı çalışan makine parçalarında kullanılır. Bu alaşımda kullanılan demirin, mikro yapı içindeki görüntüsü normal değerinden %50 fazlaymış gibi görünür. Aside dayanıklı pompalar, yataklar, dişliler, sübap yatağı, kılavuzlar, pompa pistonu, pompa çubuklar ve yatak yapımında kullanılırlar [30, 31].

C95300 alaşımı:

Bu alaşım (DIN standardı) demir ihtiva etmez. ASTM de verilmiş, fakat istenmez. Piyasada genellikle %10 alüminyumlu, alüminyum bronzu olarak bilinirler. Somunlar, deniz ekipmanlar ve kaynak çeneleri yapımında kullanılırlar [31, 32].

C95400 alaşımı:

Bu tür alaşımlar, gemilerde boru bağlantılarında ve gövdeleri yapımında, yataklar, dişliler, sonsuz vida, supap yatakları, kılavuzlar ve kazıma kancası yapımında kullanılırlar[30, 32].

C95500 alaşımı:

Bu alaşımın mekanik özellikleri ve aşınma dirençleri çok yüksektir. Fakat, alaşımda kullanılan yüksek orandaki mangan ve nikel elementlerinin, alaşım ergime sıcaklığı ve yoğunluğu gibi özellikleri arttırması bakımından bazı döküm problemlerini meydana getirir. Sbap yatağı ve uçak motor yataklarının korozyon dirençli parçaları ve dişli yapım esnasında kullanılır[31, 32].

C95600 alaşımı:

Bu alaşım, piyasada silisyum ilaveli alüminyum bronzları olarak bilinmektedir. Yanmalı motor bileşenleri, 316°C ile 390°C deki yüksek sıcaklıkta kullanılan kimyasal aparatların yapımında kullanılırlar[31, 32].

C95700 alaşımı:

Bu alaşım, mangan-nikelli bronz olarak bilinir. Yüksek mangan ihtiva ettiğinden, dökümlerde çok iyi mekaniksel özellikleri elde etmek mümkündür. Mangan-nikelli alüminyum bronzlar gemi pervanelerinde kullanılmak için özellikle tasarlanmıştır. Deniz suyu ortamına karşı korozyon dirençleri çok yüksektir. Asitlere karşı dayanımları düşüktür [21, 33].

3.2. ALÜMİNYUM BRONZLARININ ALAŞIM ELEMENTLERİNE ETKİSİ

3.2.1. Alüminyum

Alüminyum mukavemeti ve sertliği arttırır. Alüminyum bronzunun aşınma direncini yükseltir. Eğer %10'un üzerinde ilave edilirse, sünekliği düşürür. Genellikle tek başına ilave edilmez. Alüminyum bronzlarına, alüminyumun yanında daima tane inceltici olarak demirde katılır. Demir ve nikel birlikte ilave edilirse tane daha fazla incelir [21].

3.2.2. Demir

Önemli bir alaşım elemanıdır. Alüminyum bronzlarında sadece tane inceltici olarak kullanılır. Aşırı miktarda olması zararlıdır. Kurşun ve kalaylı bronzlarda tane inceltmez, tersine kabalaştırır ve kayma özelliğini kötüleştirir. Alüminyum bronzlarında demir %0,5 ile %5 arasında katıldığı zaman, tane küçülmelerini sağlar ve buna bağlı olarak dayanım ve sertliği artırır. Alüminyum bronzları içindeki demir miktarına bağlı olarak 2 demirli 4 demirli gibi isimler alır. Demir ötektoid sıcaklığı yükseltir ve alaşımda sert noktalara neden olmaktadır. Demir alaşımın sertliğini ve gerilme mukavemetini artırır. Demir, alüminyum bronzunda çözünerek %3 demire kadar katı fazda çözünür. Bunun üzerindeki değerlerde ikinci faz halinde şekillenir. %0,75 ile %3 arasındaki miktarda demir ilavesi sıvı sıcaklığını artırır. Ötektoid dönüşümü yükseltir ve döküm kalıbının sıvı metali soğutma hızı faz dönüşümü üzerinde herhangi bir etki yapmadan α ve β fazları oluşur [34, 35].

3.2.3. Mangan

Alüminyum bronzlarına, özellikle korozyon dayanımını ve döküm sağlamlığını arttırmak için katılırlar. Mangan, alüminyum bronzlarında elastikiyet ve mukavemeti yükseltir. Ayrıca bakır alaşımlarında oksijen ve kükürt giderici olarak kullanılır. Deoksidasyon amacı ile yaklaşık olarak %0,2 civarında ilave edilirken, mukavemet arttırmak için bileşime %1-5 mangan kullanılır [21].

3.2.4. Nikel

Alaşım elementlerinden nikel elementi alüminyum bronzlarında demire oranla daha az miktarda kullanılır. Nikel, alüminyum bronzlarında demir gibi dayanım ve sertliği artırır, aşınma direncini, çekme mukavemetini ve elastikiyetini artırır. Tane inceltme etkisi yapar ve alaşıma %5'e kadar ilave edilir. Daha fazla ilavesi metaller arası bileşik oluşturmakta ve alaşımın mekanik özelliklerini bozmaktadır. Nikel ilavesi demir gibi ötektoid sıcaklığı değiştirmekte ve γ_2 fazının oluşmasını

engellemektedir. Nikel, alüminyum bronzlarında mekanik özellikleri iyileştirir. Yüksek miktarlardaki ilaveler (%5 üzeri) ise kompleks fazları oluşturması nedeni ile istenmez. Yüksek miktarda nikel ilavesi, alüminyum bronzlarında ötektoid dönüşümü yükseltir [33, 35, 36].

3.2.5. Silisyum

Akışkanlığı arttırarak yükseltir, sıcak çatlama oranını azaltır. Silisyum oranı %13'den yüksek olan alaşımları işlenmek zordur. Yüksek mukavemete ihtiyaç duyulmayan fakat yüksek korozyon direnci istenilen yerlerde bakırın bulunmadığı alaşımlar kullanılırken, yüksek mukavemetin değerlendirildiği fakat yüksek korozyon direnci istenmeyen yerlerde ise %5 oranına kadar bakır ihtiva eden alaşımlar tercih edilebilmektedir. Silisyum elementi sıvı metal özelliklerine bir yandan akışkanlık kazandırırken öte yandan döküm parça üzerinde çekinti oluşma riskini baskılıyor [37].

3.2.6. Kurşun

Kurşun iyi derecede işlenebilirlik ve yatak kısımlarında iyi derecede kayma özelliği kazandırır. Bundan dolayı dişli çark, volan ve bazı parçaların dökümü kurşun ilavesi ile gerçekleşir. Mikroyapı içinde farklı faz halinde ve yumuşak olarak bulunur [22].

3.3. ALÜMİNYUM BRONZLARINDA BULUNAN FAZLAR

3.3.1. α fazı

Maksimum % 9,4'e kadar alüminyum içerebilmesine rağmen %7,5'ten daha az alüminyum ihtiva eden bileşimler incelendiğinde bu faz, sıvı bölgesinin altındaki tüm sıcaklık noktalarında kararlıdır. Fakat %9 - %9,4 oranları arasında alüminyum içeren kompozisyonlarda alaşımın katılaşması sırasında, ilk etapta β fazı oluşmakta, 1035 °C sıcaklık altında $\alpha+\beta$ ötektik fazı teşekkül eder ve bu $\alpha+\beta$ bölgesinden çıktığında katı fazda α dönüşmüş olur [38].

3.3.2. β fazı

Isıl işlem, su verme gibi işlemler sonucunda %11,8 alüminyum bileşimindeki alaşımların mikro yapısı tek faz halinde elde edilebilir. Ayrıca %11,8'den daha yüksek oranda alüminyum ihtiva eden alaşımlarda 565°C altı ötektoid reaksiyon vasıtasıyla $\alpha+\gamma_2$ yapısına dönüşme ihtimalinden dolayı, yüksek hızda soğuma ile bu reaksiyon gelişmeden martenzitik yapıda β fazı meydana gelebilir [21, 38].

3.3.3. γ_2 fazı

Bakır ve alüminyum atomlarının çapraşık bir tertibi olan kırılğan bir fazdır. %16'dan fazla alüminyum içeren alaşımlarda tek faz olarak görülebilir. Fakat alüminyum bronzlarında, alüminyum maksimum %14'e kadar bulduklarından, γ_2 fazının tek faz halinde endüstriyel alaşımlarda bulunması mümkün değildir [21, 38].

3.3.4. $\alpha+\beta$ fazı

%9,5 - %11,8 alüminyum içeren alaşımların yüksek sıcaklıkta su verilmesi, daha sonra 565 °C üzerine ısıtılması ve hızlı soğutulması sonucu martenzitik β fazından, α fazının çökeltilmesi sonucu elde edilir. Bu yapılar hem parça döküm ve hem de sıcak işlenmiş durumda kullanılabilirler. Bu önemli yanlarından dolayı, bu yapıdaki alaşımlara çelikler gibi ısıl işlem uygulanabilir [24].

3.4. ALÜMİNYUM BRONZLARININ GENEL ÖZELLİKLERİ

Bakır alüminyum alaşımlarına "alüminyum bronzları" ismi verilmektedir [39]. Al-bronzları %3-13 aralığında alüminyum içermektedir. Takribi %9 alüminyum oranına kadar plastik şekillendirilme işlemi uygulanabilir [26].

Alüminyum bronzlarının üstün özellikleri; yüksek mukavemet (düşük alaşımlı çeliklerin özelliği), üstün korozyon direnci (Deniz suyunda Paslanmaz çeliklerden bile iyi olan alüminyum bronzları talep görmektedir), yüksek sıcaklıkta

özelliklerini koruyabilir. Yüksek oranda yorulma dayanımı (Uzun ömürlü çalışma olanağı sağlar). Döküm, dövme ve işleme kolaylığı ve oksidasyon dayanımı yüksek sertlik ve yüksek aşınma dayanımlarının yanı sıra iyi kaynak edilebilme özeliğide vardır [40].

800 °C 'de ısıtılma işlemi alüminyum bronzlarının çekme dayanımı % 25 - % 30 arasında yükseltmektedir. % 10 alüminyum içeren alüminyum bronzu 800 °C 'de ısıtılma işlemi tabii tutulduktan sonra yavaş soğutulmuş olarak sünekliği iyileştirilebilir [41].

%10 alüminyum içeren bir bronz yavaşça oda sıcaklığına soğutulması sonucunda tümüyle α ve γ_2 fazlarına dönüşecektir. Tekrar ısıtılırsa $\alpha + \gamma_2$ ötektoidi, 565°C ötektoid sıcaklığa ulaştığında, β katı ergiyine dönüşecektir; sıcaklık arttığında α fazı, 900°C dolaylarında tümüyle β katı ergiyine dönüşene kadar devam eder. Bu sıcaklık noktasından itibaren suda su verme işlemi, β' fazından ibaret bir yapı ile sonuçlanır. Çeliklerde martenzitin olduğu gibi bu durumda bir denge fazı olmadığı için denge diyagramında görünmez. β fazı, martenzit gibi sert ve gevrek ve mikroyapı görüntüsü olarak benzerdir. 500°C 'de bu β' fazının menevişlenmesi bir ince α ve γ_2 fazları kümesinin çökmesi ile sonuçlanır. Bu durum çeliklerdeki sorbite benzer [42].

3.5. ALÜMİNYUM BRONZLARININ MEKANİK ÖZELLİKLERİ

Alüminyum bronzlarında farklı fazlar birbirinden ayrılmış şekilde bulunur. Isıl işleme ve soğuma hızına göre mikro yapıda değişimler olmaktadır. Özel alaşımlı çeliklerdeki gibi karmaşık bir mikro yapı ihtiva ederler. Genellikle 3 faz bulunur [38].

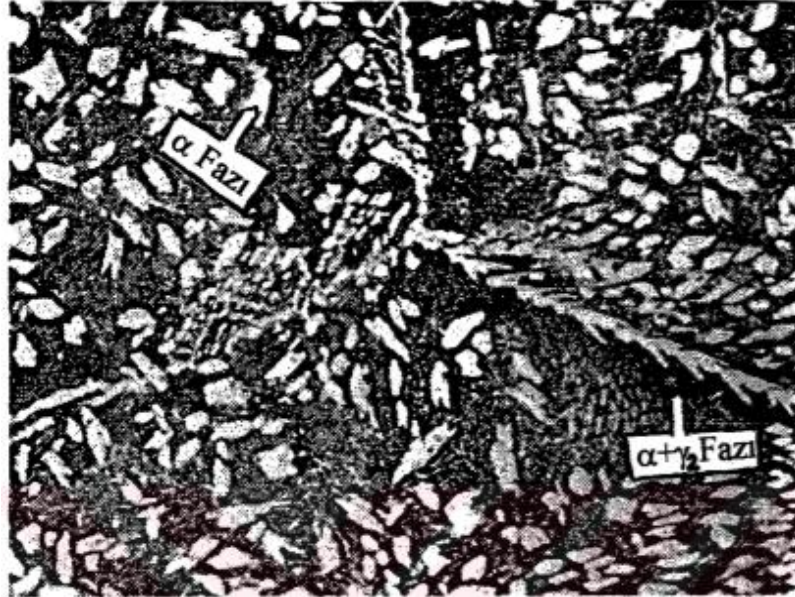
Alfa (α) : Yumuşak, sünek ve çok yüksek korozyona dayanıklı
Beta (β) : Orta sertlikte, sünek ve korozyona dayanıklı
Gama iki (γ_2) : Sert, gevrek, korozyona orta derecede mukavemetli

Burada ki üç ayrı faz ya tek başına ya da ikili (dubleks) ya da üçlü (kompleks) olarak bulunur. Burada ki α % 8 alüminyuma kadar tek faz halinde β ise %8 - 11 alüminyuma kadar (ısıt işlem - su verme halinde) bulunabilir [21].

3.6. ALÜMİNYUM BRONZLARINDA MİKROYAPILAR

Alüminyum bronzlarının mikro yapıları sadece kum döküm ve soğutma şartları ile değil alaşımdaki elementlerle de belirlenir.

Cu-Al alaşımlarında kum döküm veya yavaş soğutulduğu takdirde yapıda bulunan 3 fazı 565 °C'de ötektoid dönüşüm yaparak $\beta \rightarrow \alpha + \gamma_2$ yapısına dönüşür ve bu meydana gelen yapı kendini oda sıcaklığına kadar muhafaza eder. γ_2 fazı gevrek ve kırılğan bir faz olduğu için alüminyum bronzlarında istenmez. Bu ikili alaşımda β fazının dönüşmesini engellemek için, döküm parça ötektoid sıcaklığın üstüne kadar ısıtılır ve bu sıcaklıkta çok hızlı bir soğutma işlemi uygulanır. Böylece faz dönüşümü engellenir ve alaşımın yapısı oda sıcaklığına kadar $\alpha + \beta$ olarak kendini korur. Şekil 3.1'de %90Cu ve %10Al alaşımlı alüminyum bronzunun mikro yapısı verilmiştir. [21].



Şekil 3.1. % 90Cu-%10Al alaşımlı alüminyum bronzunun kokil döküm mikroyapısı x100 [21].

3.7. ALÜMİNYUM BRONZLARININ KOROZYON ÖZELLİKLERİ

Düşük özgül ağırlığı iyi derce elektrik ve ısı iletkenliği, yeterli mekanik dayanım ve iyi plastik şekillendirilebilme kabiliyeti alüminyumunu farklı korozif ortamlarda kullanılabilir kılmıştır. Özellikle korozyon dayanımı istenen durumlarda, alüminyumun saflık oranı % 99,5'in altında olmaması gerekmektedir. Ancak genel olarak alüminyumun mekanik özelliklerini iyileştirebilmek adına yapılan alaşımlamalar alüminyum alaşımlarının korozyon direncini saf alüminyuma göre düşürmektedir. Alüminyumun korozif ortamlara karşı gösterdiği direnç, mevcut koşullarda yüzeyinde meydana gelen, amorf veya kristalin alüminyum oksitten oluşan tabakadan ötürüdür. Atmosferde oluşan yüzey filmi çoğunlukla amorf, su ve su buharında oluşan ise daha çok kristalin yapıda yüzey filmi meydana getirir.

Oluşan tabaka ne denli homojen ise, benzer koşullarda gösterilen korozyon dayanımı da o denli iyidir. Alüminyum malzemeleri atmosfer içinde korozyona karşı oldukça dayanıklıdır. Endüstri atmosferinde (SO₂, kir, toz), deniz atmosferinde otuz yıl sonrasındaki korozif etki sonucu, alüminyum malzemedeki dayanım azalması, yaklaşık olarak % 9- 13 kadardır. Alüminyum malzeme ve imalat çeliğinin karşılaştırmalı atmosferlerde korozyon durumu incelendiğinde Alüminyum ve alaşımlarında meydana gelen korozyon türleri değişiklik gösterebilmektedir. Eğer asit ve bazların etkisi altında özel bir durum yoksa tahribat homojen durumda gelişir ve oksit tabakasında eşit oranda azalma olur. Klorür iyonları ihtiva eden çözeltilerde, çukurcuk korozyonu oluşur. Oksit tabakasının tam oluşmadığı ve gözeneklerin mevcut olması halinde, bölgesel tahribat görülebilir. Çökeltme kabiliyeti olan alaşımlarda, daha çok interkristalin (taneler arası) korozyon gözlemlenir. Tane sınırlarında yığılma oluşturan çökelmeler, tane yüzeyi üzerine göre genellikle soy olmayan potansiyele sahiptir bu bölgelerden çözülme olabilir. Alüminyum-bakır alaşımlarındaki çökelmeler matrise göre daha çok soy olduğu için, katı çözeltilerin tane sınırı kısmında bakır azalması dolayısıyla, interkristalinde korozyon meydana gelir. Isıl işlem yapılırsa, çökelmelerin olumsuz etkisi azalır. Alüminyum malzemelerin korozyon koşulları, anodik oksidasyonla (anoksirleme, eloksal yapma ile) doğal korunmuş oksit tabakasının kalınlığı 10 µm ila 30 µm civarına arttırılarak, iyileştirilebilir. Bu yüzden eloksal yapılacak parçalar, çoğunlukla sülfürik asitli

elektrolitik içerisinde doğru akım altında işlem görür. Anot olarak bağlanan parçalarda oluşan oksijen, alüminyumla reaksiyon yapar ve oksit tabakası oluşturulur. Anoksirleme işlemi, sadece kimyasal dayanımı geliştirmez, aynı anda oksit tabakasının yüksek sertliğinden ötürü aşınma direncini de geliştirir [43].

BÖLÜM 4

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

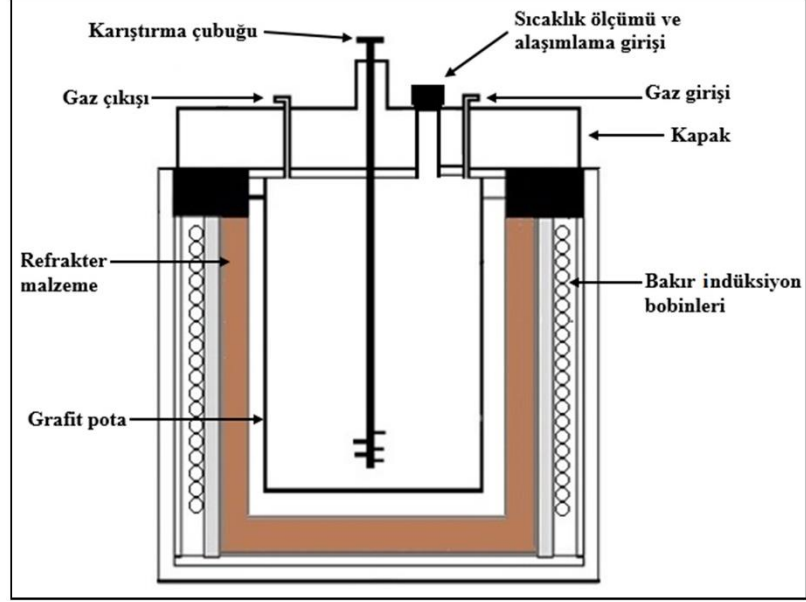
Bu çalışmada C95200 ve C95300 Aliminyum bronz alaşımları kokil kalıba dökümü yapılarak üretilmiştir. Elde edilen döküm alaşımlarının mikroyapı mekanik ve korozyon özellikleri incelenmiştir.

4.1. ALAŞIMLARIN ERGİTİLMESİ VE DÖKÜMÜ

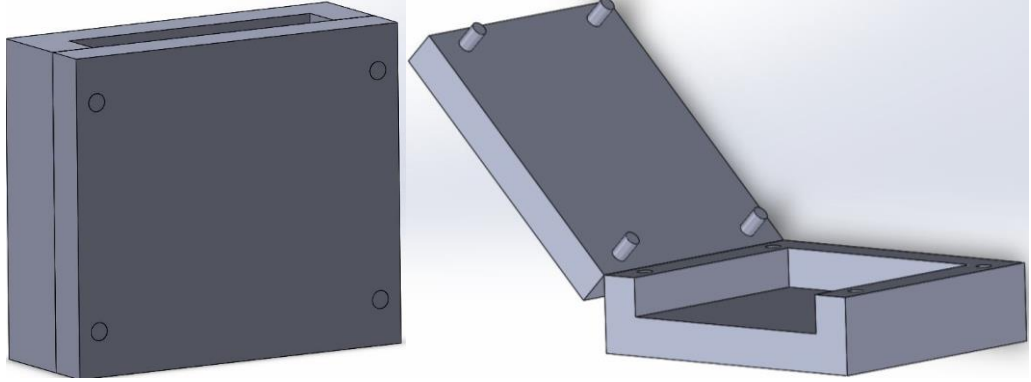
Bu çalışma kapsamında öncelikle C95200 ve C95300 alaşımlarının üretimi için gerekli elementler saf olarak tedarik edilmiştir ve hesaplamaları yapılarak gerekli miktarlar hazırlanmıştır.

Döküm alaşımlarının üretiminde kullanılan indüksiyon döküm sistemi şekil 4.1 'de şematik olarak gösterilmiştir. İndüksiyon döküm ocağının dış gövdesi çelik malzeme ile iç kısmı refrakter tuğla ile kaplıdır. Ocağın içine yerleştirilen grafit pota vasıtasıyla alaşım ergitilip dökümü yapılmıştır. Ocak ve pota iç sıcaklığının kontrolü yerleştirilen termokupul ile gerçekleştirilmiştir. Pota içerisine öncelikle bakır elementleri saf olarak yüklendi ve bakırın sıcaklığı 1150 °C'ye çıkartılarak, bu sıcaklıkta talaş halinde demir ilavesi yapıldı. Pota içerisindeki ergiyik grafitten yapılmış pervaneli bir mil ile karıştırılmıştır. Sıcaklığın tekrar 1150 °C'ye çıkarılmasıyla saf alüminyum ilave edilerek tekrar karıştırma işlemi yapıldı. Sıvı metalin atmosferle temasını kesmek için koruyucu flaks kullanıldı. Sıvı metal sıcaklığı 1200 °C'ye ulaştığında pota ocak içerisine alınarak ön alaşım için lengoya döküldü. Ön alaşım olan malzeme lengodan alınarak ocaktaki grafit pota ile ikinci bir ergitme işlemi yapılarak alaşımın homojen bir şekilde karışması sağlandı. Pota içerisindeki sıvı metal 1150°C sıcaklıkta hazırlanan şekil 4.2'de şematik resmi verilen 125x135x25mm ölçülerinde dökme demirden imal edilmiş 250°C'ye ısıtılmış kokil kalıba bekletilmeden döküm işlemi

yapılarak C95200 ve C95300 alaşımları üretildi. Dökümü yapılan alaşımların kimyasal kompozisyonları çizelge 4.1’de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. İndüksiyon ergitme ocağı.



Şekil 4.2. Alaşımların dökümü yapıldığı kokil kalıp.

Çizelge 4.1. Alaşımların kimyasal kompozisyonları.

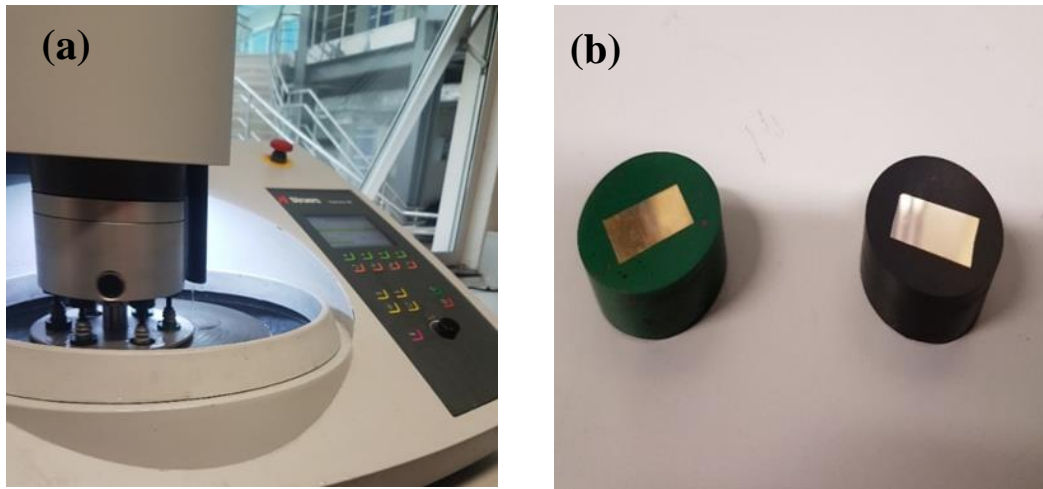
Alaşım	% Al	% Fe	% Sn	% Ni	% Si	% Pb	% Zn	% Cu
C95200	8.678	2.510	0.043	0.006	0.062	0.016	0.116	Kalan
C95300	10.105	0.983	0.038	0.003	0.073	0.018	0.115	Kalan

4.2. ALAŞIMLARIN KARAKTERİZASYONU

Alaşımın üretimi yapıldıktan sonra mikro yapı, sertlik, çekme, darbe çentik, yorulma, daldırma korozyon, potansiyodinamik polarizasyon, korozif aşınma ve adhezif aşınma testleri yapılmıştır.

4.2.1. Metalografik Numunelerin Hazırlanması

Mikroyapı analizlerinde optik mikroskop incelemeleri için numuneler bakalite alınmıştır. Bakalite alınan numunelerin yüzeyleri sırasıyla saf su ile 400, 600, 800,1000,1200 ve 2000 mesh zımparalar ile zımparalanmıştır. Bakalite alınmış numuneler ve zımpara cihazı şekil 4.3’de verilmiştir. Zımparalanan deney numuneleri 1µm alümina kullanılarak numunelerin yüzeyleri parlatılarak saf su ve alkolle numunelerin yüzeyi temiz bir şekilde durularak kurutulmuştur. Yüzeyi kurutulan numuneler nital çözeltisi (%3 nitrik asit, %97 etil alkol) ile dağlama işlemi yapılmış olup numuneler tekrar sırasıyla saf su, alkol ile temizlenip kurutuldu ve şekil 4.4’de görülen Nikon marka optik mikroskopta farklı büyütme ile mikro yapı fotoğrafları alındı. Daha sonra aynı şekilde hazırlanan alaşımların numuneleri şekil 4.5’de görülen Carl Zeiss Ultra Plus Gemini marka cihaz ile SEM (Taramalı Elektron Mikroskobu) görüntüleri alınarak, EDX analizleride yapılmıştır. Döküm sonrası deney numunelerinin XRD profilleri Rigaku Ultima IV marka cihaz ile 10°-90° tarama açısı aralığında ve 3°/dakika tarama hızında yapılmıştır.



Şekil 4.3. (a) Zımpara cihazı, (b) Metalografik numuneler.



Şekil 4.4. Nikson marka optik mikroskop cihazı.



Şekil 4.5. Scanning electron microscopes (Sem) cihazı.

4.2.2. Mekanik Özelliklerin Karakterizasyonu

Döküm alaşımları oda sıcaklığında sertlik, çekme ve darbe çentik testlerinin numuneleri hazırlanarak testler yapılmıştır.

Sertlik Testi:

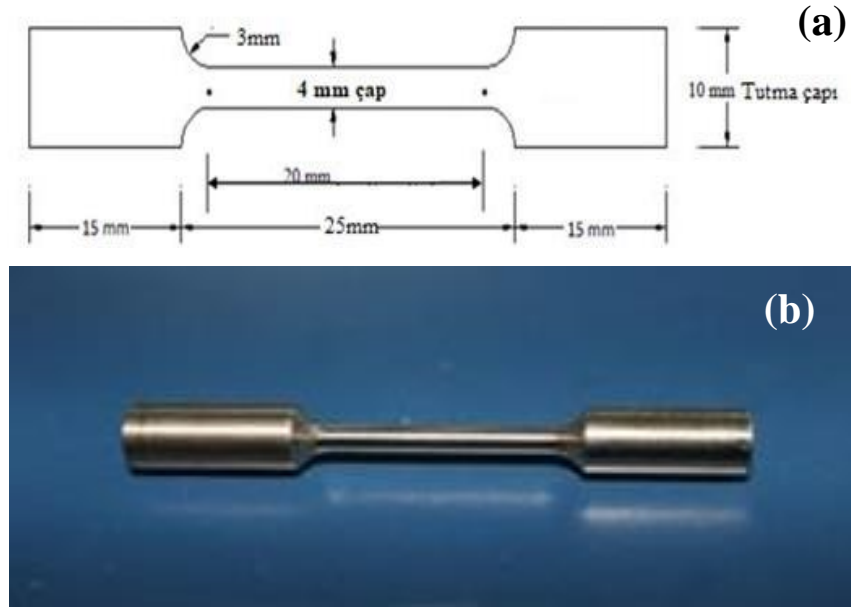
C95200 ve C95300 alaşım numunelerine 2.5mm bilye çapı ve 187.5 kg yük altında 10 sn boyunca Şekil 4.6’da görülen BULUT marka Brinell sertlik test cihazı ile her numunenin 5 noktasından alınan izlerin çapları ölçülmüŐ ve ortalamaları alınarak sertlik değerleri hesaplanmıştır.



Şekil 4.6. Bulut marka birinell sertlik cihazı.

Çekme Testi:

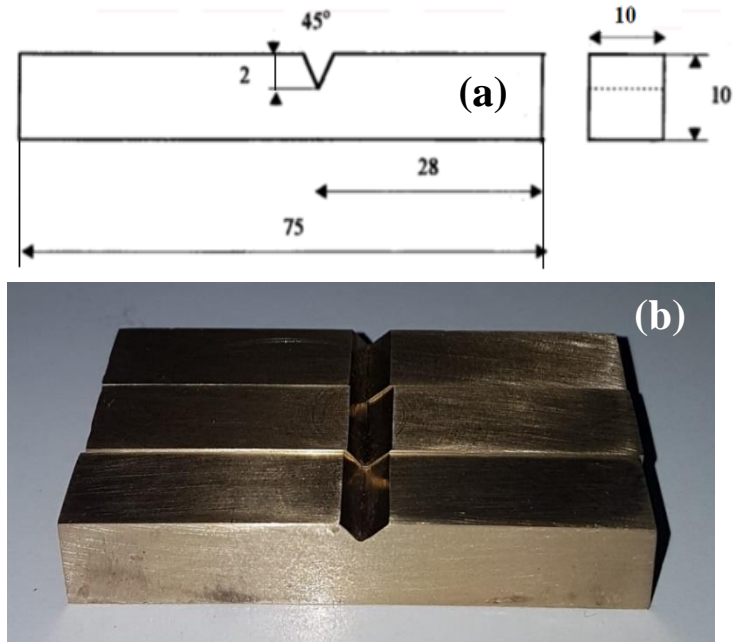
Döküm alaşımlarından ASTM’de belirtilen standard ölçülerinde torna tezgahında 3’er adet çekme deney numuneleri hazırlanmıştır. Hazırlanan ekme test numuneleri Karabük Üniversitesi Teknoloji Fakültesi laboratuvarında SHIMADZU marka çekme cihazında, 0,5 mm/dk çekme hızında yapıldı. Şekil 4.7 ‘de çekme numunesi ölçüleri ve Őekli gösterilmiştir.



Şekil 4.7. Çekme numunesi (a) Şematik resmi, (b) İşlenmiş hali.

Darbe Çentik Testi:

Her bir döküm bloktan 3'er adet charpy çentik- darbe numunesi, freze tezgahında TS 269'a uygun bir şekilde hazırlandı. Hazırlanan numunelerin (a) kesit resmi ve (b) hazırlanmış hali şekil 4.8'de verilmiştir.



Şekil 4.8. Çentik -darbe numunesi (TS 269) (a) Şematik resmi, (b) İşlenmiş hali.

Yorulma Testi:

C95200 ve C95300 alaşım numuneleri ASTM Standardında belirtilen şekil ve ölçülerde hazırlanmıştır. Yorulma testleri MANKSAN marka test makinasında 20 hrz ve farklı yükler altında kırılana kadar devam ettirildi. Şekil 4.9'da yorulma test cihazı ve yorulma test numunesi görülmektedir.



Şekil 4.9. (a) Yorulma test cihazı, (b) Yorulma test numunesi.

4.2.3. Korozyon Karakterizasyonu

Daldırma Korozyon Testi:

Daldırma korozyon testi için C95200 ve C95300 döküm alaşımlarından, 2x10x10 ölçülerinde dikdörtgen prizma şeklinde numuneler hazırlandı. Yüzeyleri zımparalanarak, ultrasonik cihaz içerisinde saf su ile temiz hale getirildi. Numunelerin yüzey alanları hesaplandı ve daldırma öncesi ilk ağırlıkları hassas terazi ile ölçüldü. Numuneler cam kavanozların içindeki %3,5 NaCl çözeltisine file yardımı ile asılı kalacak şekilde konuldu.

Daldırılmış olan bu numuneler belirli saat aralıklarıyla çözeltiden çıkarıldı. Yüzeylerin temizlenmesinden sonra ağırlıkları ölçülüp kaydedildi. Belli saat aralıklarıyla çözeltiden çıkarılan numuneler, 180 gr/L oranındaki saf su içerisinde hazırlanan kromik asit çözeltisi içerisinde ultrasonik olarak 10 dakika bekletilmesi sonucunda yüzeyde oluşan korozyon ürünleri temizlendi. Ardından 5 dk boyunca ultrasonik olarak saf su içerisinde bekletildi. Sonrasında ise alkol ile temizlenip %3,5 NaCl

çözeltisine daldırıldı. Her saat için kaybolan ağırlıklar hesaplandı ve toplamdaki ortalama korozyon hızları belirlendi ve bulunan sonuçların ortalaması alındı. 72 saat daldırma testinden sonra, her numune için korozyona uğramış yüzeylerden SEM ve EDX analizleri yapıldı. Böylelikle korozyon mekanizmaları incelenmiştir.

Potansiyodinamik Polarizasyon Korozyon Testi:

Üretilen C95200 ve C95300 alaşım numuneleri hassas kesim yöntemiyle $8 \times 8 \text{ mm}^2$ yüzey alanlarına sahip numunelerin bir yüzeyi açıkta kalacak şekilde diğer yüzeyi bakır tel ile lehimlenerek epoksi reçine ile bakalite alınmıştır. Epoksi reçine dışında kalan numune yüzeyleri zımparalama işlemi yapılarak temizlendi. Güçlü bir yapışkan bant, $0,25 \text{ cm}^2$ alana sahip bir dairesel atmosfere açık yüzey oluşturulması için numune yüzeyine yapıştırılmış ve nihai durumda tüm numunelerin korozyon testleri standartlaştırılıp epoksi reçineyle kalıplanmış kısımlardan doğacak olası olumsuz etkiler giderilmiştir. Deney hücresi içerisine (Isotherm Boro 3.3, 250ml beherglas), çalışma elektrotu olarak deney numunesi, karşıt elektrot görevini yapan grafit çubuk ve referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (SCE) yerleştirilmiştir. Deney çalışmalarının tümünde, öncelikle sistemden akım geçmeksizin, oda sıcaklığında %3.5 NaCl çözeltisinin içerisine çalışma ve referans elektrodunun daldırılmasından itibaren ikisi arasındaki korozyon potansiyellerinin mV olarak değişimi zamana karşı ölçülmüştür. Denge potansiyeline (Ekor) ulaştıktan sonra potansiyodinamik polarizasyon eğrileri, 1 mV.s^{-1} tarama hızında, $-0,25 \text{ V}$ $+0,25 \text{ V}$ aralığında oluşturularak katodikten anodik yöne doğru kaydedilmiştir. Tafel eğrilerinden korozyon potansiyeli (Ekor) ve korozyon akım yoğunluğu (Ikor) hesaplanmıştır. Tüm parametreler için Gamry Instruments potansiyodinamik polarizasyon test cihazında 2 adet test yapılarak elde edilen sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır.

4.2.4. Aşınma Karakterizasyonu

Korozif Aşınma Testi:

C95200 ve C95300 Döküm numunelerinin aşınma testleri, (ileri geri) aşınma test cihazı ile farklı yükler altında yapılmıştır. Aşınma testleri 10N,20N,40N yükler altında

0.1m/s kayma hızında şekil 4.10’da görülen test cihazında yapılmıştır. C95200 ve C95300 alaşımları 200m’den 1000 m’ye kadar testi yapıldıktan sonra saf su ve alkol ile temizlenip hassas terazide ölçüm yapılmıştır. Aşınma deneyi anlık verileri doğrudan bilgisayara kaydedilmiştir. Batıcı uç malzeme için AISI 52100 kalitede sertliği yüksek çelik bilye kullanıldı.



Şekil 4.10. Korozyon aşınma test cihazı.

Adhezyon Aşınma Testi:

C95200 ve C95300 alüminyum bronz alaşımlarından 25 mm uzunluk ve 6 mm çap ölçüsünde torna edilerek aşınma numuneleri hazırlandı. Hazırlanan numuneler 1000 ve 1200 mesh zımpara ile zımparalandı ve alkolle temizlenerek kurutuldu.

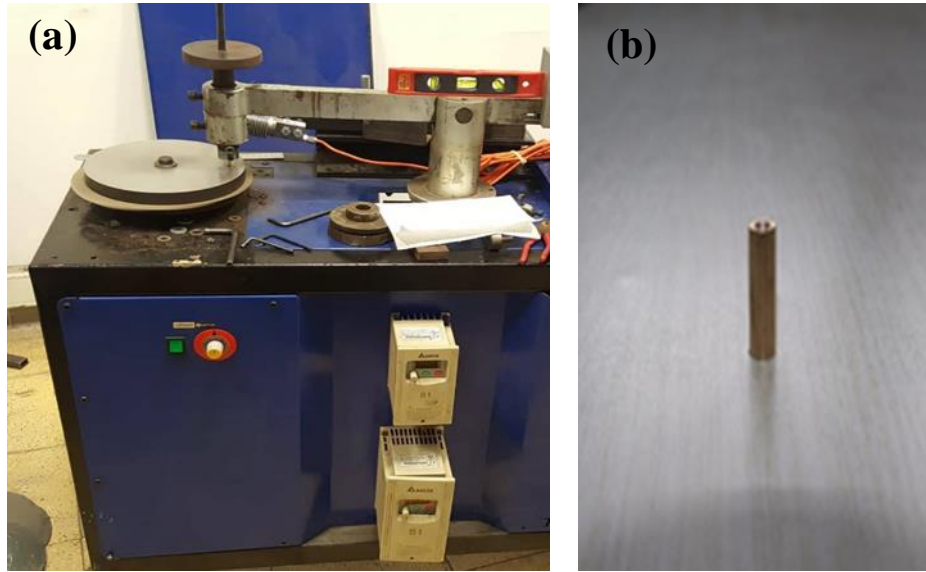
Daha sonra tablo 4.2’de kimyasal bileşimi verilen 7379 sıcak iş takım çeliği olan Pin-on disk üzerinde her iki alaşımda sırasıyla 2000,4000,6000,8000 m ve 10N,20N,40N ağırlık uygulanarak aşınmaya maruz bırakılmıştır. Şekil 4.11’de (a) aşınma deney cihazı ve (b) aşınma deney numunesi görülmektedir.

Çizelge 4.2. Döner diskin kimyasal bileşimi (DIN 1.2379).

% C	% Si	% Mn	% P	% S	% Cr	% Mo	% V
1.45-1.60	0.10-0.60	0.20-0.60	0.03	0.03	11-13	0.60-0.80	0.90-1.10

Aşınma deneyi kuru sürtünmeli olarak yapıldığından döner diskin ve C95200, C95300 alüminyum bronz test numunelerinin yüzeylerinin temiz ve kuru olması gerektiğinden, teste başlamadan önce her numune ve disk yüzeyi temizlenmiştir.

Aşınma deneyi sırasında disk üzerinde numunelerin temas ettiği yerlerde numune çapına eşit kalınlıkta bir iz oluşmuştur. Her bir çalışma arası bir iz boşluk oluşturacak şekilde yerleştirilerek her deney için aynı yüzey kalitesi sağlanmıştır. Şekil 4.11’de aşınma deney cihazı ve aşınma deney numunesi verilmiştir.



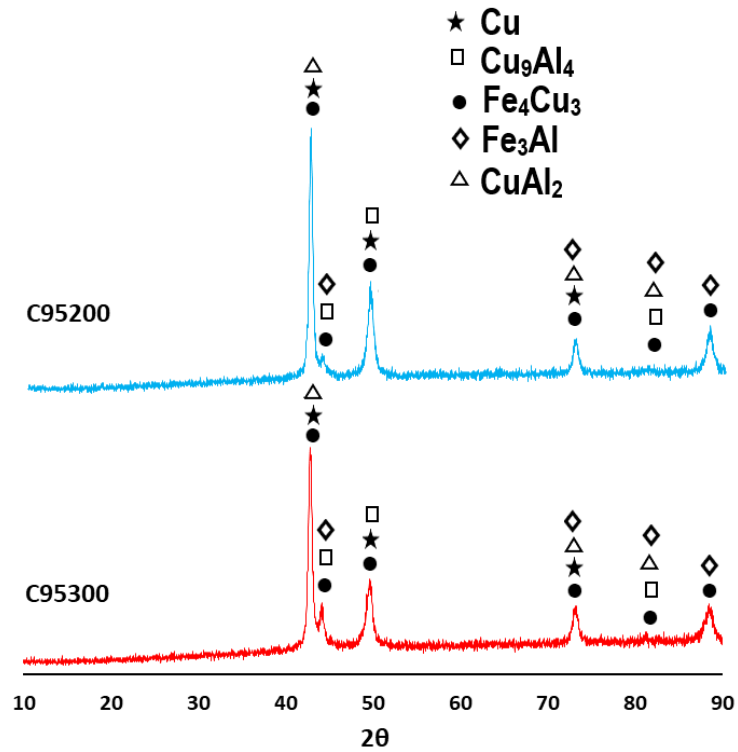
Şekil 4.11. (a) Aşınma deney cihazı, (b) Aşınma deney numunesi.

BÖLÜM 5

DENEYSEL SONUÇLAR VE TARTIŞMA

5.1. XRD ANALİZİ

C95200 ve C95300 alüminyum bronzu şekil 5.1’de verilen XRD sonuçları incelendiğinde ana matris α -Cu fazı dışında Cu_9Al_4 , CuAl_2 , Fe_4Cu_3 , Fe_3Al , AlCu_3 intermetalik fazların varlığı görülmüştür. Literatürde intermetalik fazların miktarlarının mekanik ve diğer özelliklere etkisi olduğu doğrulanmıştır [13, 17, 21].



Şekil 5.1. XRD sonuçları.

5.2. MİKROYAPI SONUÇLARI

5.2.1. Optik Mikroskop Sonuçları

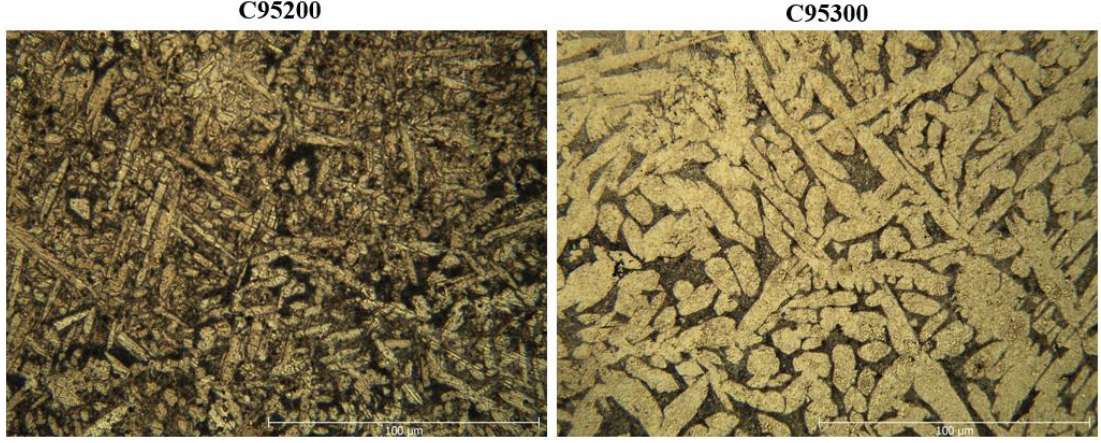
İncelenen Cu-Al-Fe alaşımlarının döküm olarak optik mikroskop görüntüleri Şekil 5.2.'de gösterilmiştir. Alüminyum bronzları mikro yapıları içerisinde çeşitli fazlar bulunmaktadır. Alüminyum bronzlarında temelde üç faz (α , β ve γ_2) sıklıkla görülür ve mekanik özellikler bu fazlar tarafından belirlenmektedir. İlgili fazlar, mikroyapıda birbirinden ayrı yer alabileceği gibi bir arada kompleks bir dağılımda da yer alabilir.

Alüminyum miktarının artmasıyla yapı tek fazdan çok çift faz olarak görülmeye başlar ve bronzun yoğunluğu azalır. Alüminyum bronzları ağırlıkça % 8 alüminyum içeriğine kadar α fazına sahiptir. Diğer faz olan β ise ağırlıkça % 8,0-11,0 alüminyum aralığında, matris içerisinde gözlemlenebilir.

Cu-Al-Fe denge diyagramı incelendiğinde C95200 ve C95300 alaşımlarının soğuması incelendiğinde katılaşma yaklaşık olarak 1048 °C'de başlar ve alüminyum bronzlarının katılaşma aralığı dar olduğundan yaklaşık olarak 1043 °C'de biter. Sıvı fazdan ilk oluşan kristaller β fazına aittir. Yaklaşık olarak 950 °C'ye kadar herhangi bir faz değişikliği oluşmaz. 950 °C'den itibaren σ fazı ve α fazı çöker. Sıcaklığın düşmesi ile alüminyumun bakır içinde erime kabiliyeti yükselir, bakırın β fazı içinde erime kabiliyeti azalır ve α fazı alüminyumca, β fazı da bakırca zenginleşir. Alaşımdaki demir 563 °C'deki ötektoid sıcaklıkta $\alpha + \gamma_2$ fazlarının dönüşmesini engelleyerek β fazının aynı kalmasını sağlar. Katılaşma bittiğinde yapı α , β ve σ fazlarından oluşmaktadır.

Matriste bulunan α fazı yumuşak bir karakteristiğe sahip ve sünekliği ile beraber korozyon direncini geliştirmektedir. Mikroyapıda bulunabilen β fazı sertlik olarak α fazının sertliğinden daha yüksektir ve matrisin sünekliğine ve korozyon direncine katkı sunmaktadır. Fakat γ_2 fazı oldukça sert ve gevrek bir yapıya sahip olarak korozyon direncinde bir miktar azalmaya sebep olabilir. Alüminyum bronzları yüksek sertliğe ve aşınma direncine sahiptir. Bundan dolayı işlenmeleri zordur. Bu bronz türünde alüminyum miktarı alaşımın işlenme kabiliyetini belirler. Alüminyum bronzlarından talaş kaldırmak için yüksek alaşımlı takım çelikleri ve sert metal uçlar

kullanılmaktadır. Alüminyum miktarının % 9'dan fazla olması ile bu bronz türü sıcak işlenebilir [4, 21].



Şekil 5.2. C95200 ve C95300 alüminyum bronz alaşımlarının optik mikroskop görüntüsü.

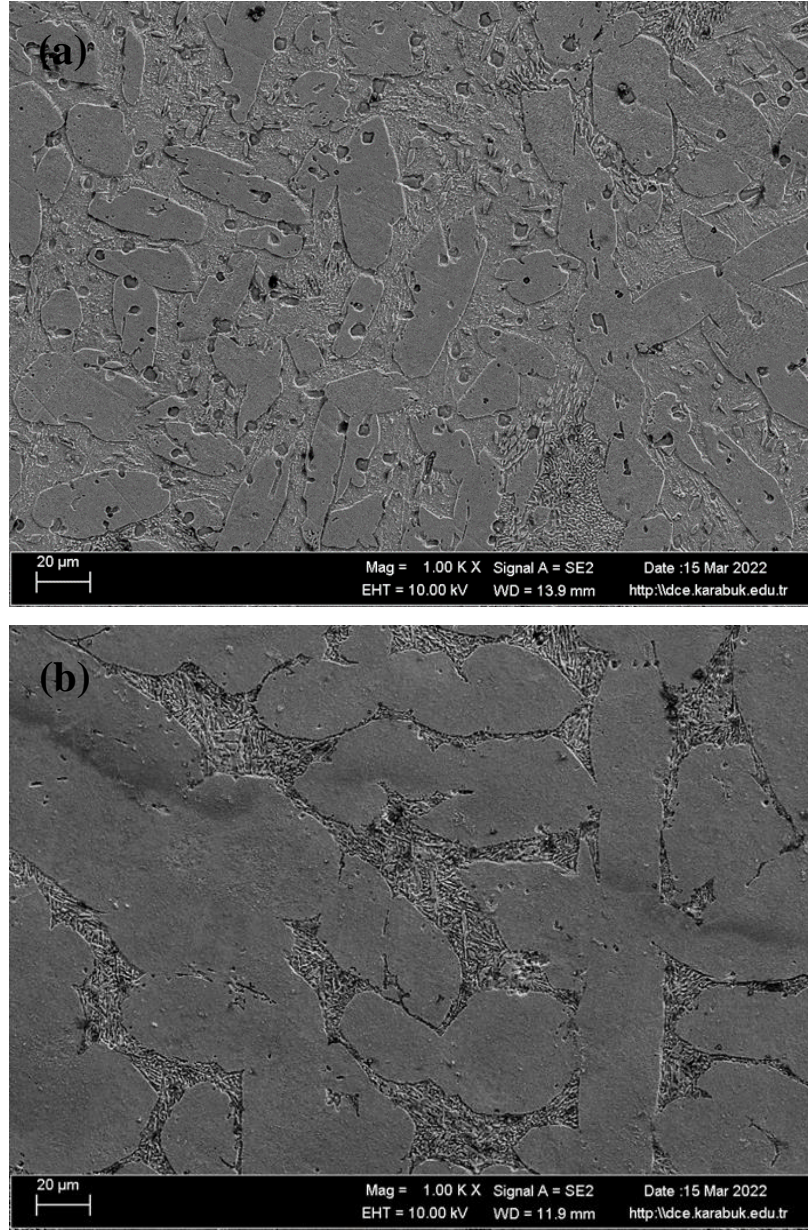
Şekil 5.2'de malzemenin mikroyapıları incelendiğinde sarı olan kısımlar α fazını, α fazları arasında yer alan koyu kısımlar β fazını ve çöktiller ise γ fazını göstermektedir.

5.2.2. Sem ve Edx Sonuçları

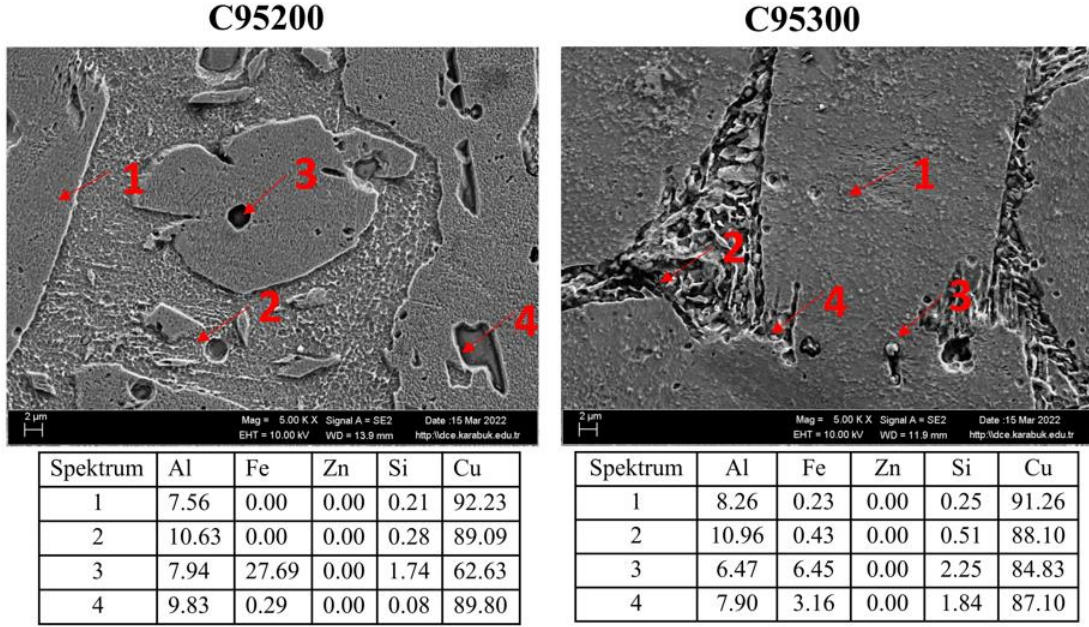
Şekil 5.3'de C95200 alaşımının SEM resimleri incelendiğinde SEM resimlerinde siyah bölgeler birincil α yapısını temsil eder. Tane sınırlarında görüldüğü gibi beyaz odacıklar ikincil fazdır (β)'dir. C95200 alaşımının oda sıcaklığında tamamen α 'dan oluşmaktadır. C95300 alaşımı incelendiğinde α fazı ile birlikte tane sınırlarında boyunca β ikinci fazı rapor edilmiştir. Buna alüminyum bronz perlit ($\alpha + \gamma_2$) de denir. Perlitik yapı çeliklerde olduğu gibi lamellidir. Oda sıcaklığında β yapısına sahiptir ve iki fazlıdır. Alüminyum bronzları yüzde 9,5'ten daha az alüminyum içeriyorsa içeriği tek fazlıdır. C95300, C95200'den daha fazla ve daha büyük beta alanına (β) sahiptir [7, 10].

Cenoz yaptığı çalışmada alüminyum bronzu kalıcı kalıp içine döküm yapılmıştır. α ile γ_2 ve yarı kararlı faz β' ve γ' meydana geldiğini tespit etmişlerdir. γ_2 ve γ' fazları dökümdeki mikrosegregasyonlardan dolayı lokal olarak meydana geldiğini rapor etmişlerdir. Ayrıca demir ve alüminyum intermetalikleri bileşiklerinin ($Al_{13}Fe_4$, Fe_3Al

ve Al_3Fe_2) Oluştuğunu bildirmişlerdir. Ek olarak, küresel bir demir parçacıkları var olduğunu ve bu küresel parçacıkların alüminyum ile etkileşime girmediğini belirtmişlerdir [17].



Şekil 5.3. (a) C95200 ve (b) C95300 sem görüntüsü.

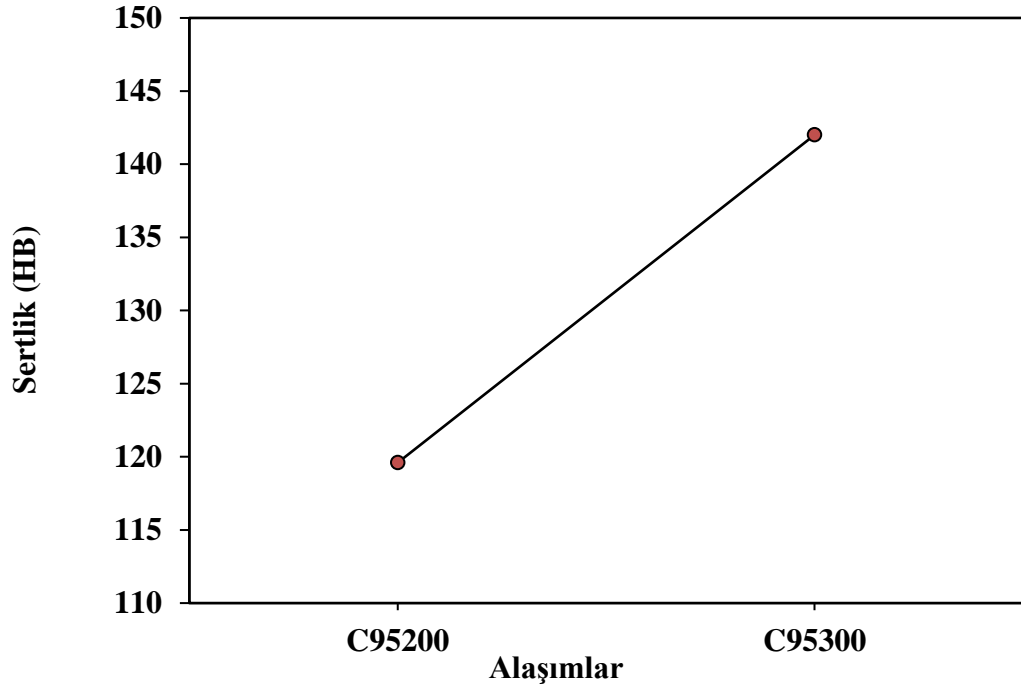


Şekil 5.4. C95200 ve C95300 alüminyum bronz alaşımlarının sem ve edx analizleri.

5.3. MEKANİK TEST SONUÇLARI

5.3.1. Sertlik Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi:

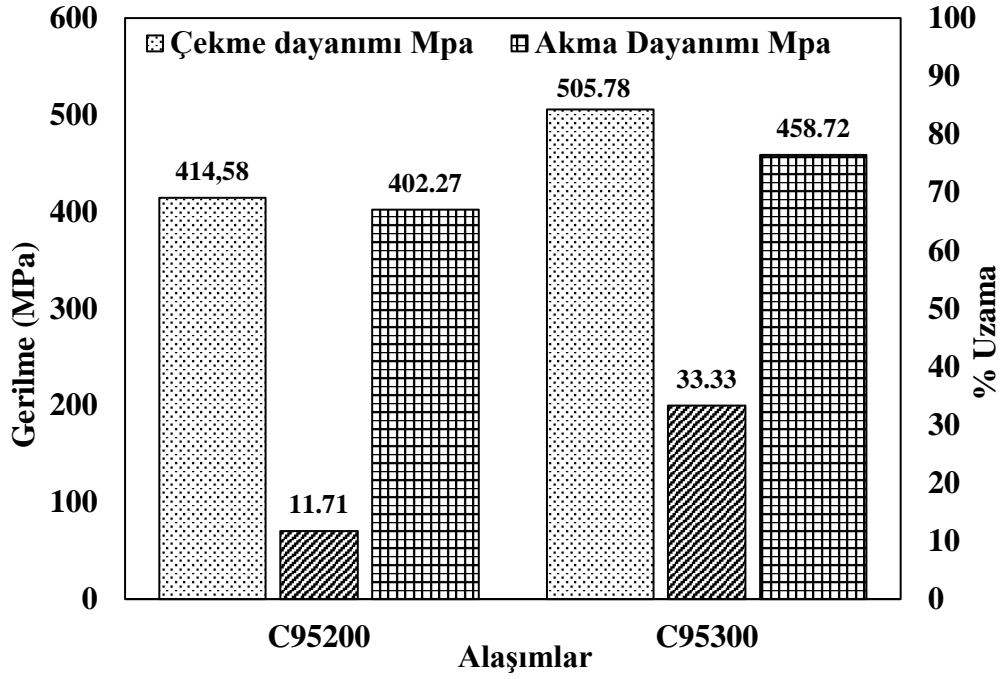
Ölçüsü 10x12x10 mm olan numunelere 5'er noktadan sertlik ölçümü yapıldı. Sertlik testi sonuçları şekil 5.5'de görülmektedir. C95300 alüminyum bronzunun sertlik değeri C95200 alüminyum bronzu sertlik değerlerine kıyasla %19,32 daha üstün sertliğe sahip olduğu anlaşılmıştır. Literatürde de benzer çalışmalar vardır [1].



Şekil 5.5. Sertlik sonuçları.

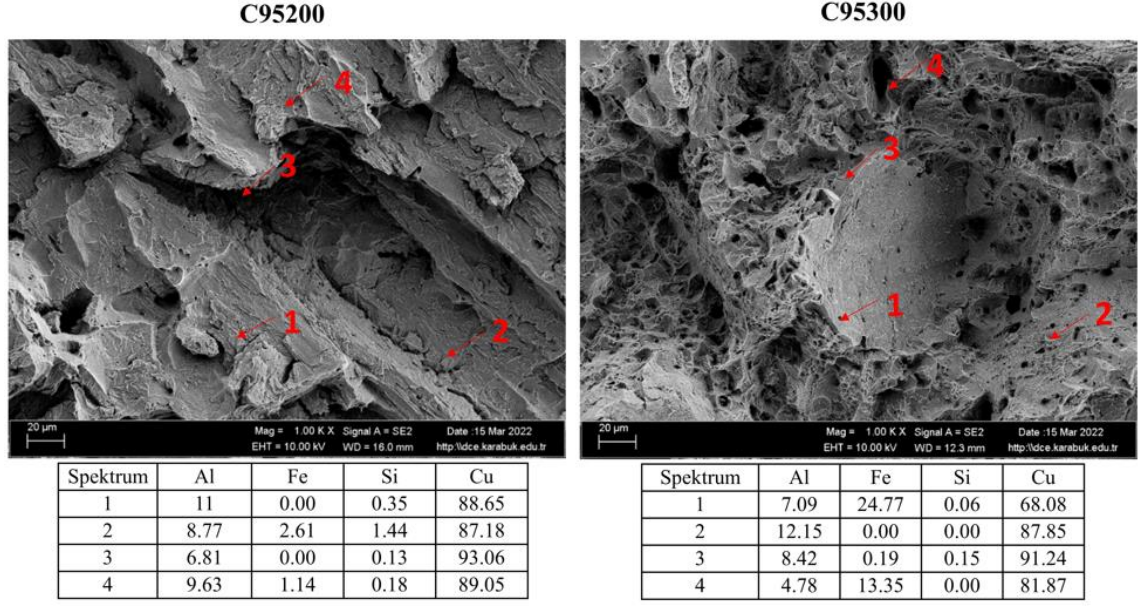
Ortalama olarak C95200 sertlik değeri 119 HB, C95300 için ise 142 HB olarak hesaplanmıştır. C95300 sertlik değerinin yüksek olması mikro yapı incelemesinde ve bakır alüminyum denge diyagramında olduğu gibi γ_2 fazının oluşmasından kaynaklanmış olabileceği düşünülmektedir.

5.3.2. Çekme Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi



Şekil 5.6. Çekme testi sütun grafiği.

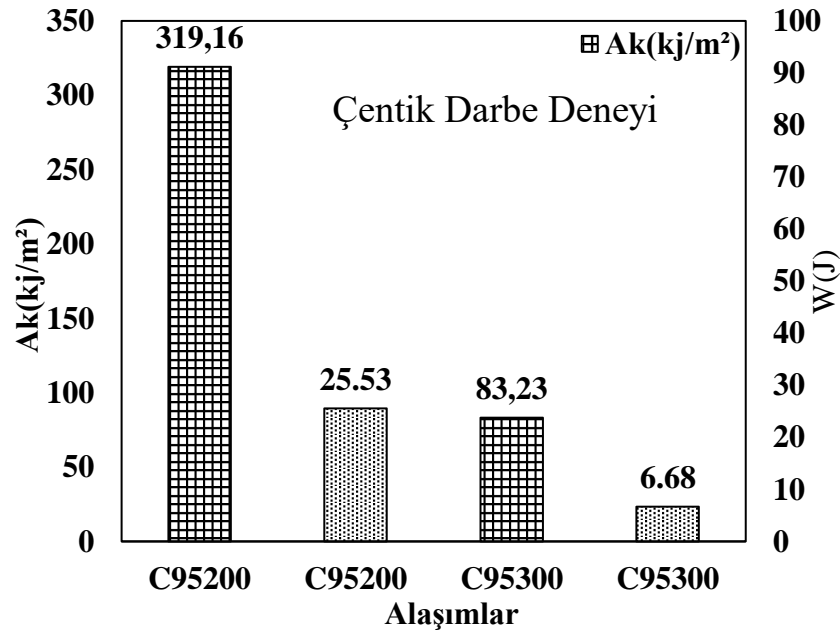
Alüminyum bronzlarının mekanik özellikleri esas olarak başta alüminyum olmak üzere alaşım elementlerinin miktarına bağlıdır. Özellikle C95300 alüminyum bronzunda ötektoid sıcaklıkta alaşımda bulunan β fazı, $\alpha+\gamma_2$ fazlarına dönüşerek yapının kaba ve gevrek olmasına sebebiyet vermektedir. Fakat alüminyum bronzlarında bulunan Fe, ötektoid noktada beta fazının dönüşümünü engelleyebilir. Oda sıcaklığında oluşan $\alpha+\gamma_2$ fazı bu malzemenin çekme dayanımının yüksek çıkmasına sebebiyet verebilir [21].



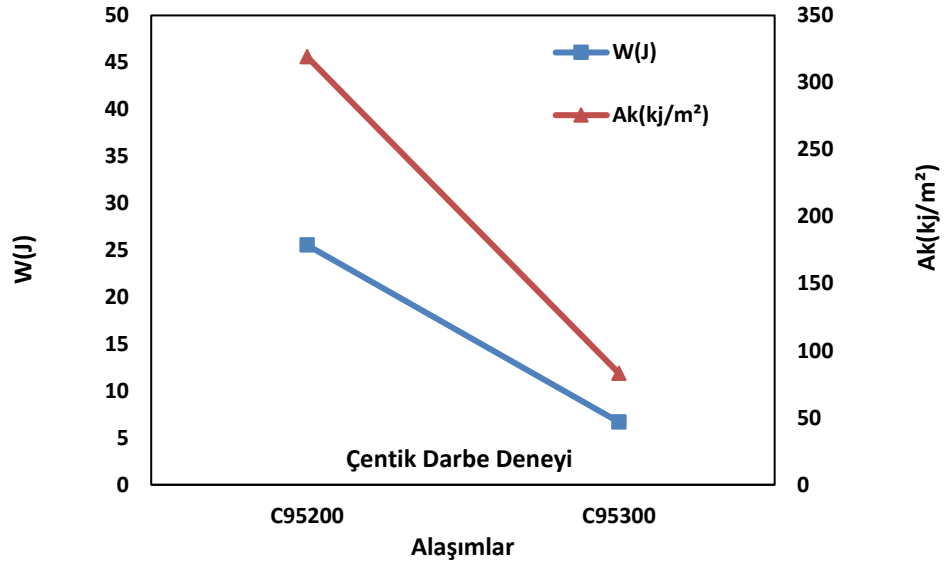
Şekil 5.7. C95200 ve C95300 Çekme testi sem görüntüsü ve edx analizi.

5.3.3. Çentik Darbe Deneş Sonuçları ve Değerlendirilmesi

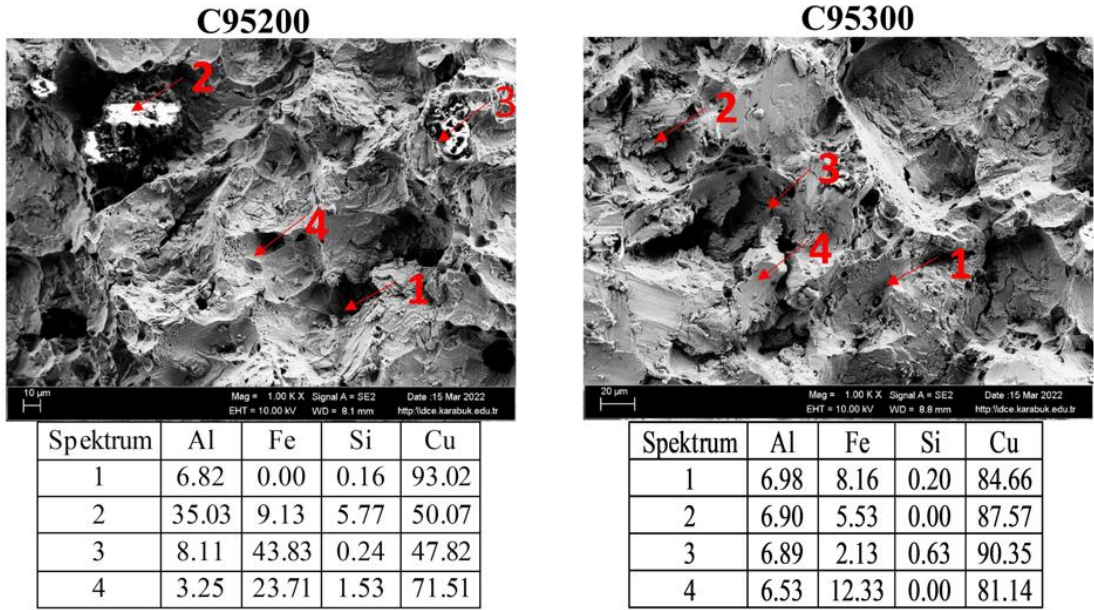
Darbe test sonuçları darbe enerjisi (j) ve tokluk (kj/m²) olarak verilmiştir. C95300'ün darbeye karşı direnci C95200'den daha dūřuk çıkmıştır. Literatürde benzer çalışmalar olduğu görülmektedir [21].



Şekil 5.8. Çentik darbe enerjileri.



Şekil 5.9. Çentik darbe sonuç grafiği.

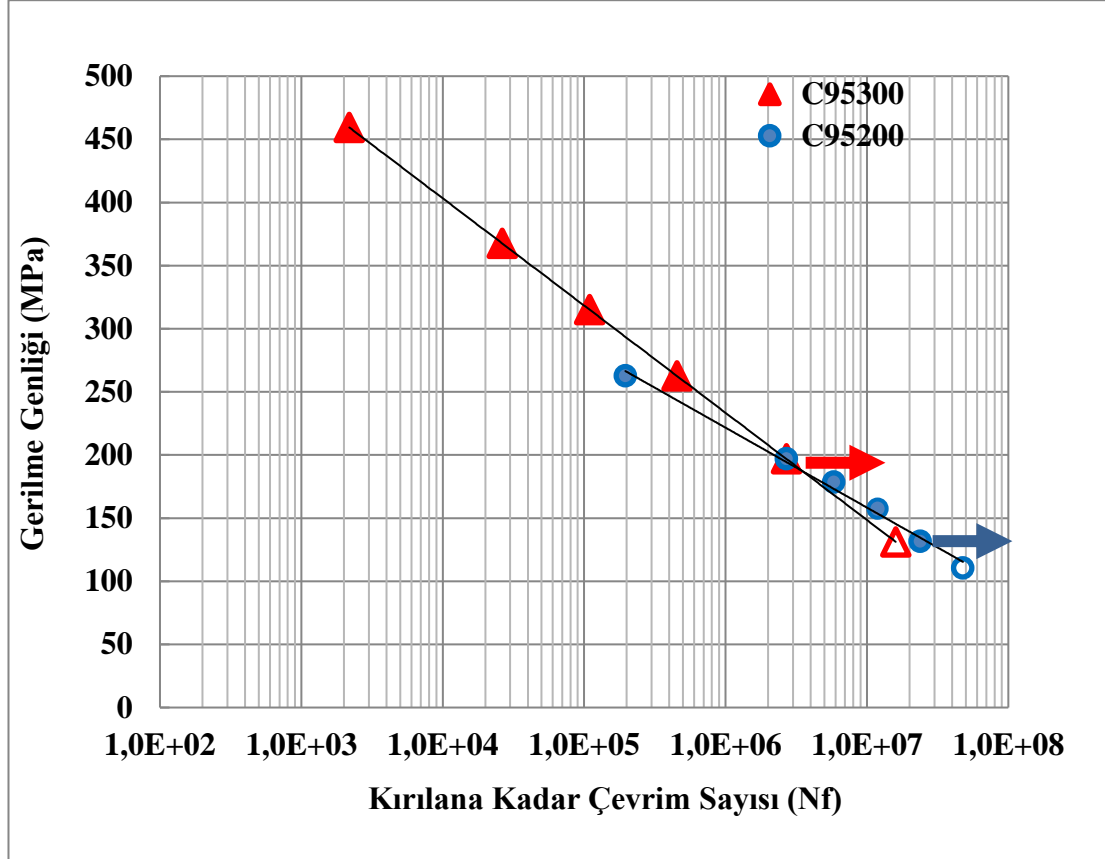


Şekil 5.10. C95200 ve C95300 çentik darbe sem görüntüsü ve edx analizi

C95200 ün kırık yüzey görünümünde plastik deformasyon ve gamze izlerinin yoğunluğu C95300'dekinden fazladır.

5.3.4. Yorulma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi:

C95200 alaşımının C95300 alaşımına göre daha az yorulma dayanımına sahip olduğu anlaşılmıştır. Yapılan testlerde C95300 alaşımının kırılma süresi daha fazladır ve farklı yükler altında da C95300 alaşımının yorulma ömrünün daha fazla olduğu anlaşılmıştır.

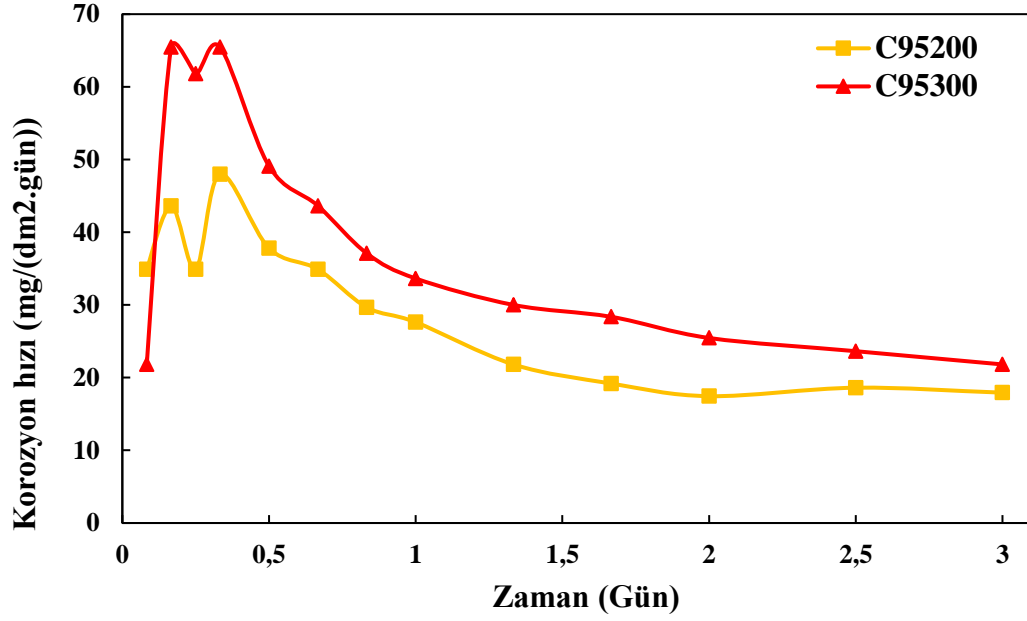


Şekil 5.11. C95200 ve C95300 yorulma sonuç grafiği.

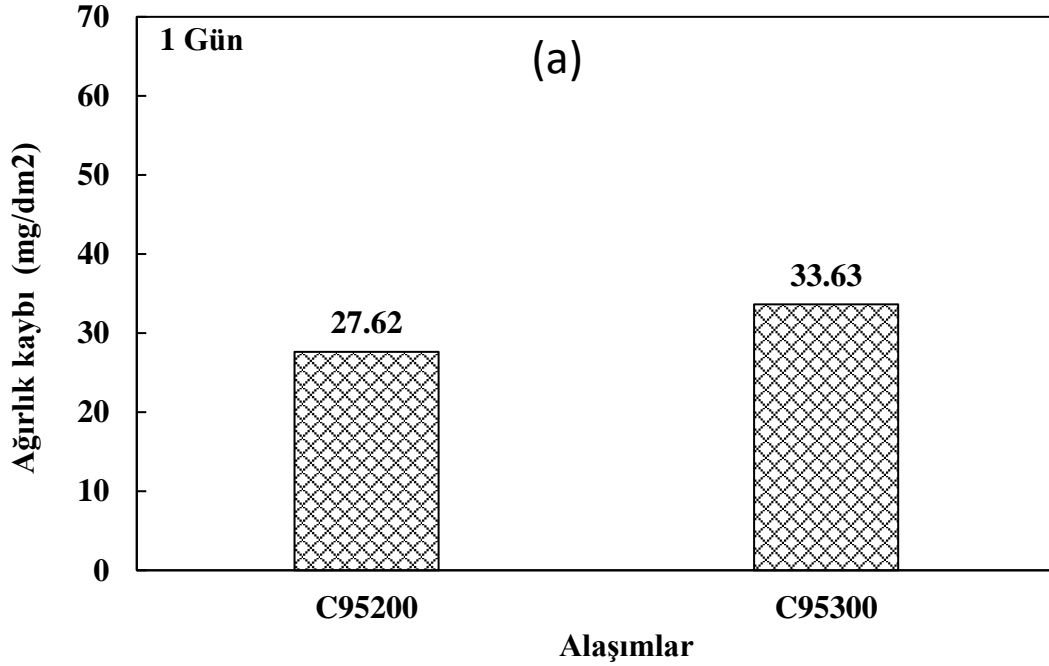
C95300 alaşımının sünek bir şekilde kırıldığı gözlemlenmiştir. C95200 alaşımı ise gevrek kırılma gözlenmiştir. C95300'ün yorulma dayanım sınırı C95200'e göre daha yüksektir.

5.4. KOROZYON TEST SONUÇLARI

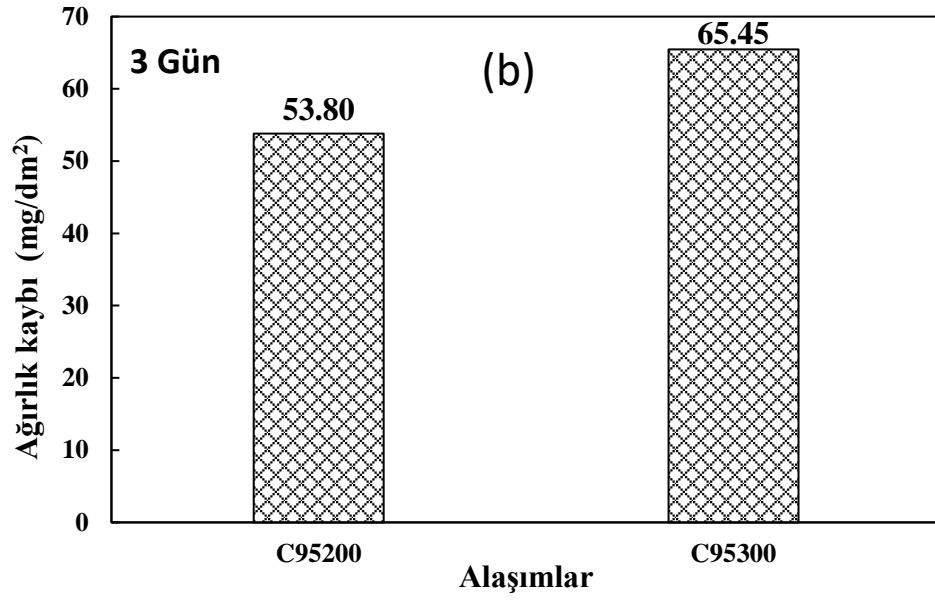
5.4.1. Daldırma Korozyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi:



Şekil 5.12. Alaşımlarının daldırma korozyon testindeki korozyon hızı.

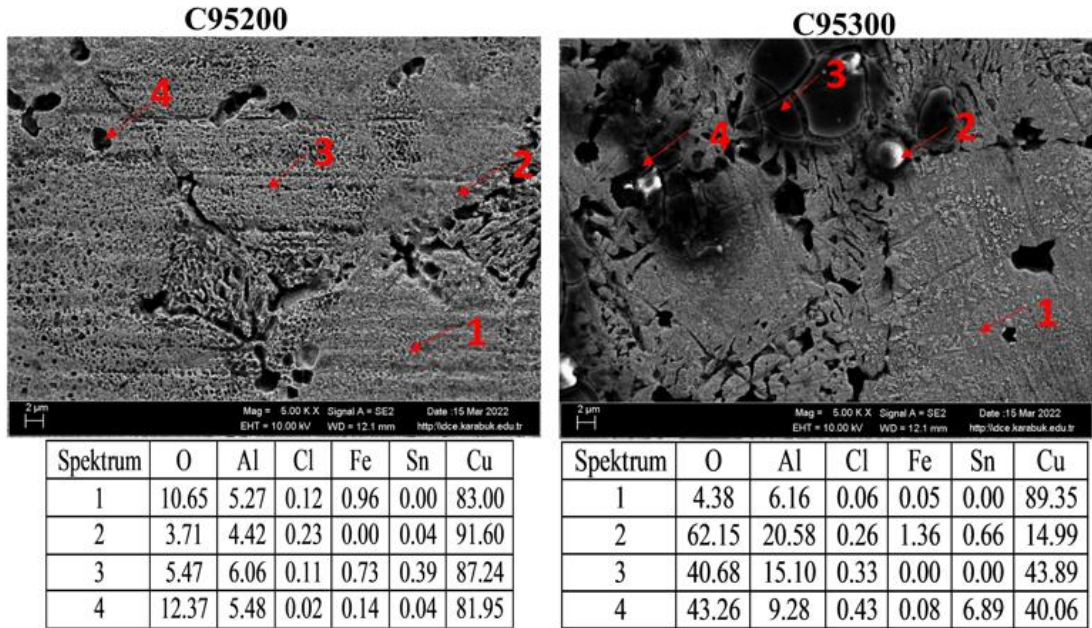


Şekil 5.13. Alaşımlarının daldırma korozyon testindeki (a) 1. gün sonundaki ağırlık kaybı (b) 3. gün sonundaki ağırlık kaybı.



Şekil 5.13. (Devam ediyor).

C95300 alaşımı daha fazla ağırlık kaybı yaşamış ve korozyon direnci daha düşük olduğu tespit edilmiştir. C95200 alaşımı daha az ağırlık kaybı yaşamış ve korozyon direnci daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu durum potansiyodinamik polarizasyon korozyon test sonuçları ile örtüşmektedir.



Şekil 5.14. C95200 ve C95300 daldırma korozyon testi sem görüntüsü ve edx analizi.

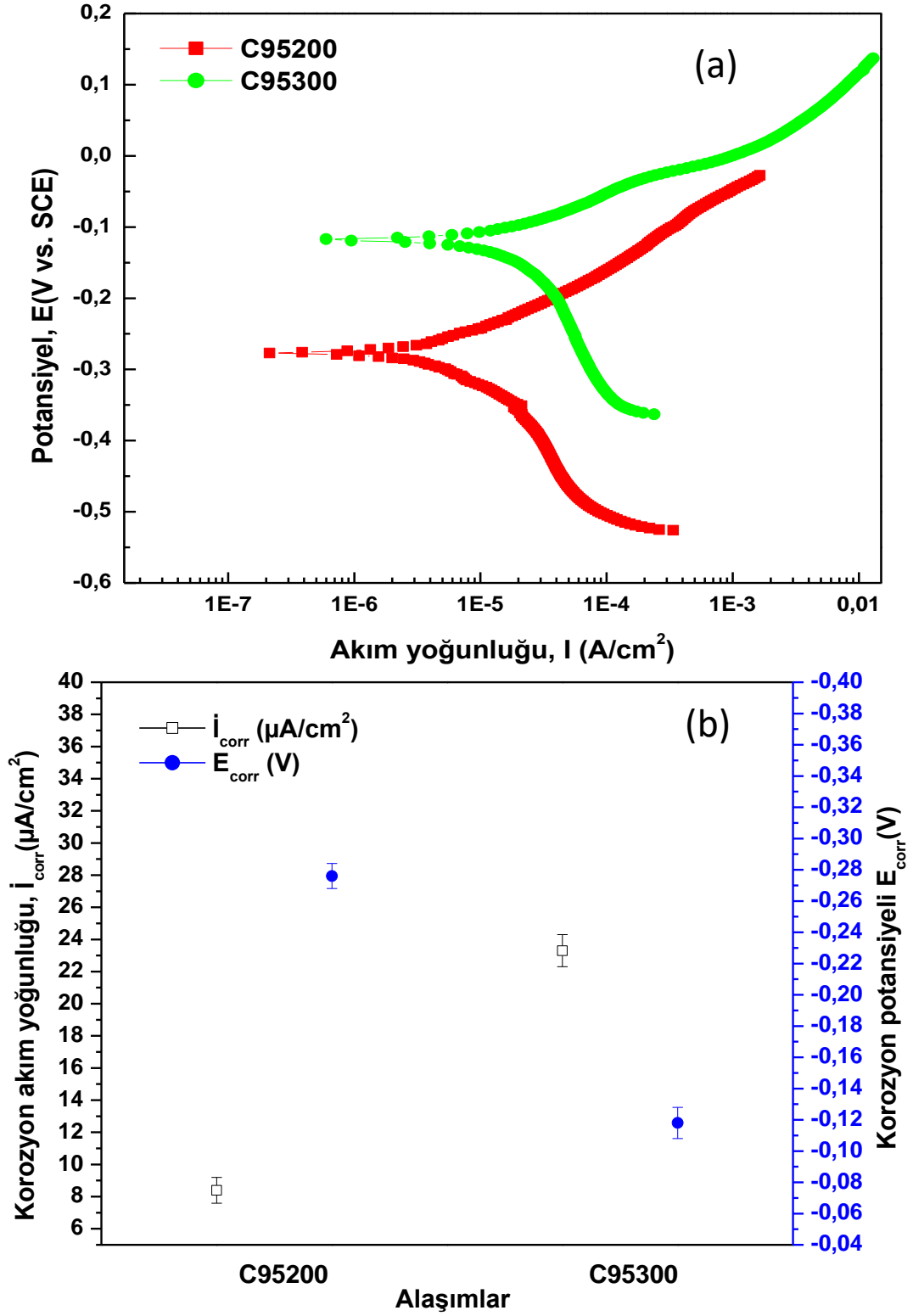
Korozyon hasarı oyuk oluşumu içinde gerçekleşmiştir. C95300 alaşımının oyuk konsantrasyonu C95200 alaşımından daha fazladır. Burda oyuk oluşumuna yol açan faz γ_2 fazı olduğu düşünülmektedir. Korozyonla ilgili literatürde benzer çalışmalara rastlanmıştır [17].

5.4.2. Potansiyodinamik Polarizasyon Testi Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Potansiyodinamik polarizasyon korozyon deneyleri yapılmıştır. Şekil 5.15’de Alaşımının C95200 ve C95300 Alüminyum bronzlarının (a) Tafel eğrileri (b) I_{corr} ve E_{corr} değerleri verilmiştir. Bu eğriler Tafel ekstrapolasyon yöntemi ile incelenerek Şekil üzerinden korozyon potansiyeli (E_{corr}) ve bu potansiyele karşılık gelen korozyon akım yoğunluğu (I_{corr}) ve değerleri çıkarılmıştır. Polarizasyon eğrileri incelendiğinde C95300 alaşımı C95200 alaşımına göre daha pozitif değerde kalmıştır. Bu durumu daha net şekilde açıklamak için I_{corr} ve E_{corr} değerlerindeki incelememiz gerekir.

I_{corr} akım yoğunluğudur, I_{corr} arttıkça malzemenin korozyona karşı direnci zayıflar [44]. Bu tanıma göre C95300 alaşımının I_{kor} değeri C95200 alaşımından daha yüksektir ve korozyon direnci daha zayıftır. Bu göre; I_{corr} değeri düşük olan C95200 alaşımının korozyon direncinin daha fazla olduğu görülmektedir. Bu durum daldırma korozyon testi sonuçları ile örtüşmektedir.

E_{corr} için akımların aşması gereken bariyer tanımlı yapmak doğrudur. E_{corr} pozitif değere yaklaştıkça akımların aşması gereken bariyer artar böylece malzemenin korozyona karşı dayanımı artmaktadır [44]. Burada C95300 alaşımı pozitif değere daha yakın C95200 pozitif değere daha uzak olduğu tespit edilmiştir.



Şekil 5.15. Alaşımlarının (a) Tafel eğrileri (b) i_{corr} ve E_{corr} değerleri.

Cu-Al-Fe alaşımlarının korozyon özellikleri ile ilgili literatür araştırıldığında çalışmaların daha çok Al-Cu-Fe alaşımları üzerinde yoğunlaştığı görülmüştür.

Potansiyodinamik polarizasyon deneyleri sonucunda, nötr ve bazik çözümlerde, incelenen Al-Cu-Fe alaşımlarında bulunan diğer fazlara göre aralıklı Cu ve Fe içerikleriyle yarı kristalli fazın en iyi korozyon performansına sahip olduğunu rapor etmişlerdir [45].

Diğer bir çalışmada, elektrokimyasal potansiyodinamik polarizasyon kullanarak bir klorür ortamında üç tip Cu-Al İntermetalik bileşiklerin korozyon performansı karşılaştırılmıştır. Çalışmada (Paladyum) Pd elementinin İntermetalik bileşiklerin korozyon performansı üzerindeki etkisi de incelenmiştir.

Metaller için Cu'nun en düşük korozyon hızına sahip olduğu ve Al'nin en kolay korozyona uğradığı görülmüştür. Üç CuAl İntermetalik bileşiği arasında Cu₉Al₄'ün en büyük korozyon hızına sahip olduğu gözlemlendi, bunu sırasıyla CuAl₂ ve CuAl izlediği belirtilmiştir. Birkaç yüzde Pd ilavesi, metallerin ve İntermetalik bileşiklerin korozyon direncini bir miktar arttırdığı rapor edilmiştir [13].

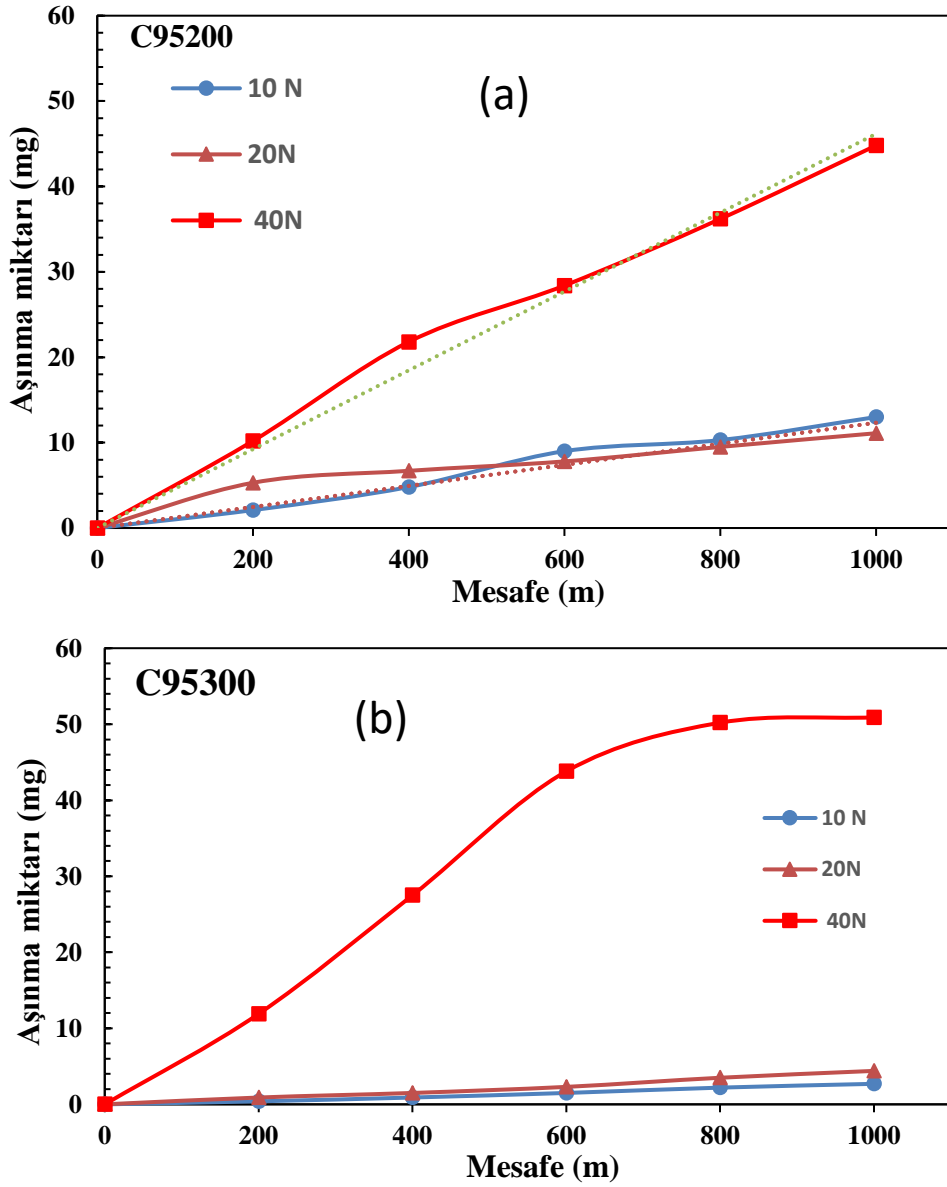
Galvanik olarak bağlanmış Nikel-Alüminyum Bronz ve paslanmaz çeliğin (UNS S31603) üç haftalık doğal deniz suyuna maruz kalması sırasındaki korozyon davranışı araştırılmıştır. Sonuçlar incelendiğinde paslanmaz çeliğin Nikel-Alüminyum Bronz tarafından katodik polarizasyonunun, paslanmaz çeliğin katot verimliliği üzerinde büyük bir etkiye sahip olduğu bildirilmektedir [46].

Literatürde α -Al-bronzun (Cu-7Al) korozyon davranışı incelenmesinde x-ışını kırınımı, x-ışını foto elektron spektroskopisi, optik mikroskop, taramalı elektron mikroskobu ve elektrokimyasal polarizasyon ölçümleri kullanılmıştır. Numuneler %3.4 NaCl çözeltisinde uzun süreler boyunca bekletilmiştir. İşlemin sonucunda numuneler üzerinde aşındırıcı saldırı çok erken meydana gelir ve genel korozyona, çukur çekirdekleşmesine, birleşmesine, büyümesine ve sonunda birden fazla oluk benzeri boşluk oluşturan komşu çukurların bir araya gelmesine sebep olur [16]. Daldırma test sonuçlarıyla uyumlu olarak C95300 alaşımının akım yoğunluğu C95200 alaşımınınkinden daha yüksektir.

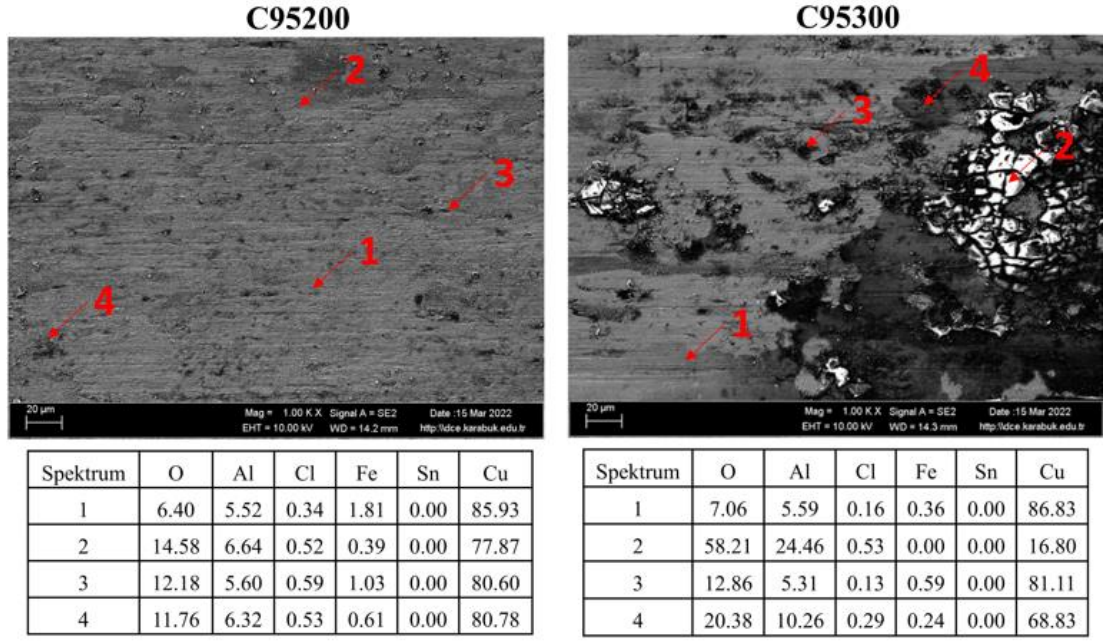
5.5. AŞINMA TEST SONUÇLARI

5.5.1. Korozif Aşınma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

Bu test %3.5 NaCl kullanılarak sulu ortamda yapılmıştır. Bu gözlemden C95200 ve C95300 alaşımlarının korozif ortamda aşınma davranışı incelenmiştir. C95300 alaşımı 10N ve 20N'da C95200 alaşımına göre daha yüksek aşınma direnci göstermiş bu durum 40N yük altında benzer aşınma direnciyle sonuçlanmıştır. Literatürde aşınmayla ilgili çalışmalar mevcuttur [2, 3].

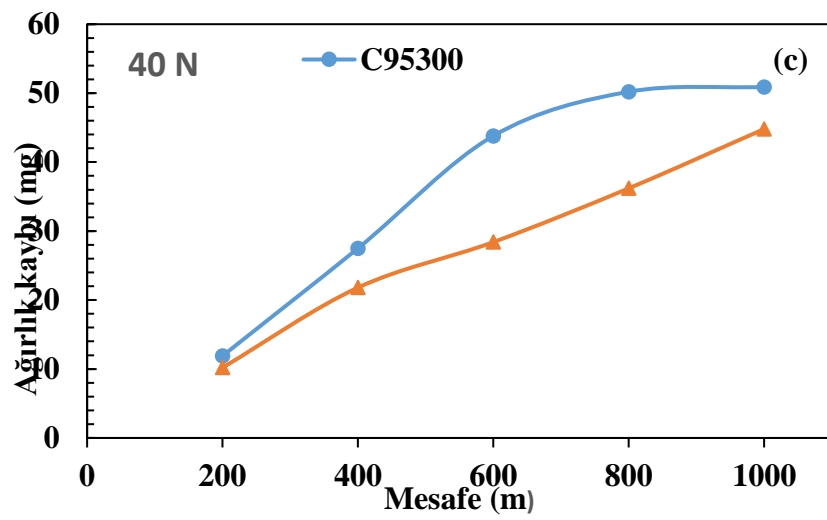
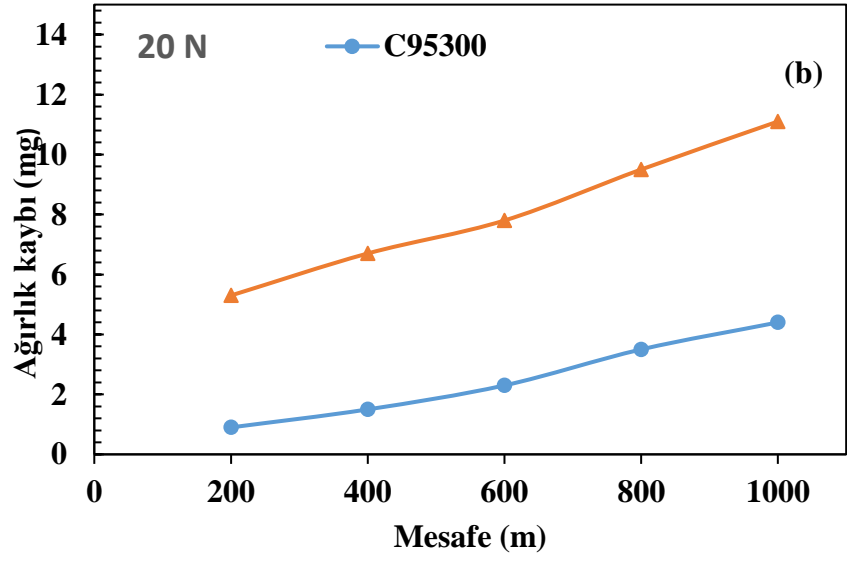
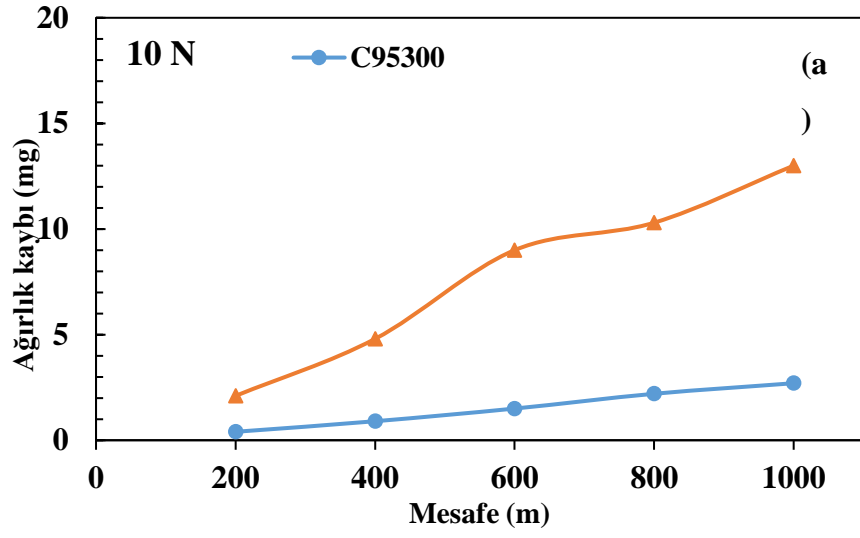


Şekil 5.16. (a) C95200 ve (b) C95300 korozif aşınma miktarları.

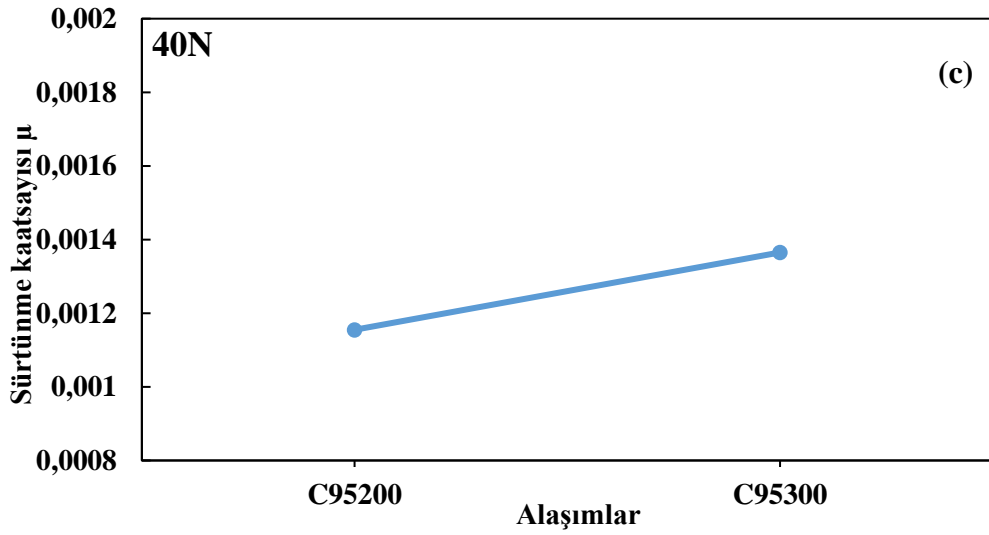
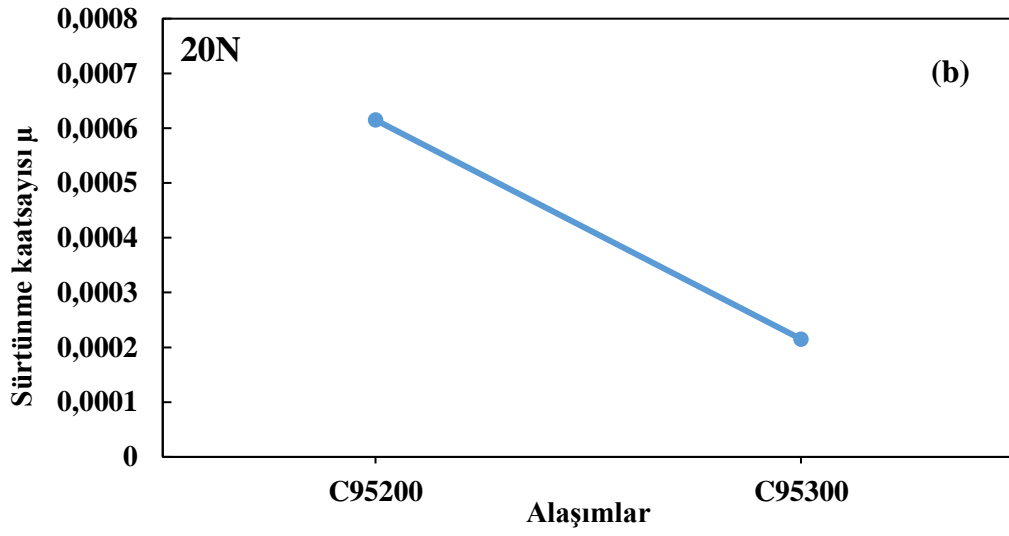
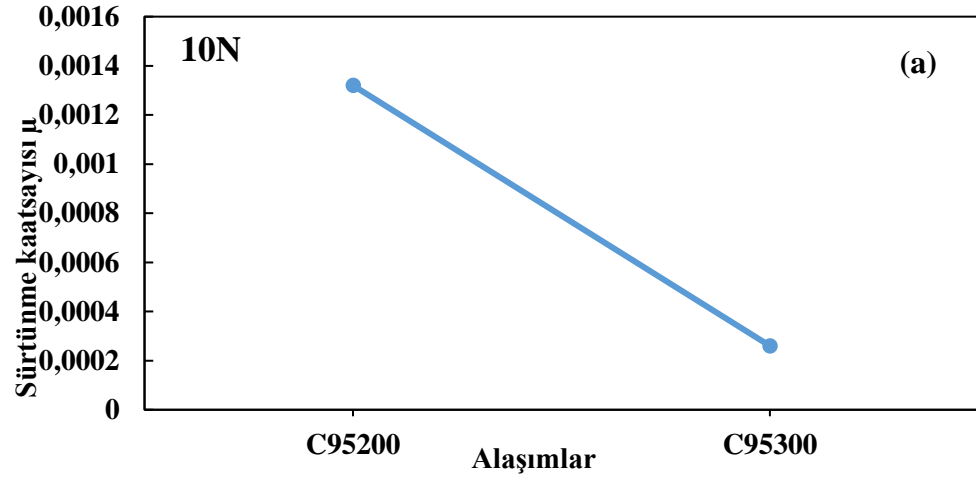


Şekil 5.17. C95200 ve C95300 korozi aşınma sem görüntüsü ve edx analizi.

C95300 alaşımının kırık yüzeyinde kırılmalar olması korozi aşınma kaybını artırmıştır.



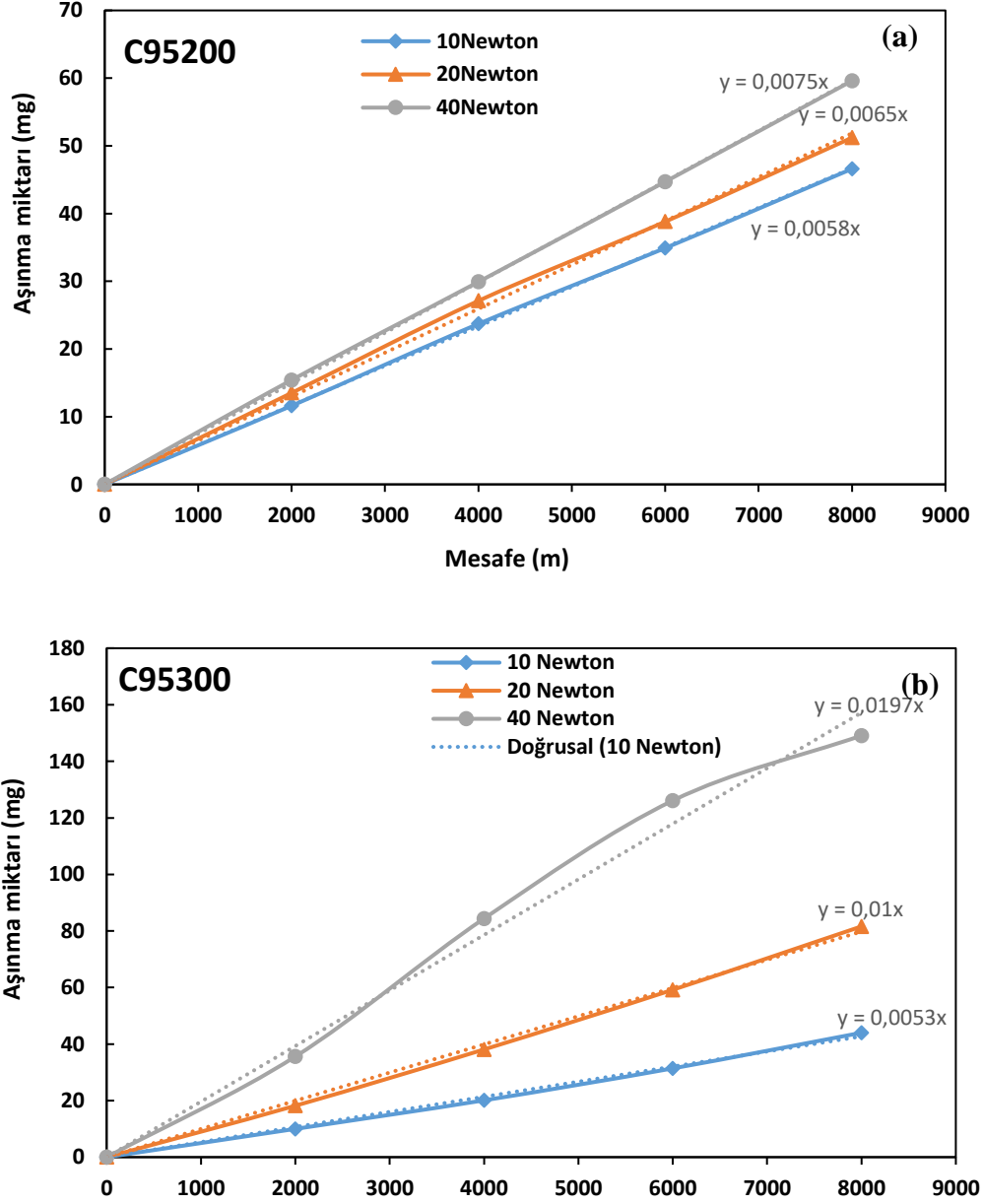
Şekil 5.18. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N korozif aşınma ağırlık kayıpları.



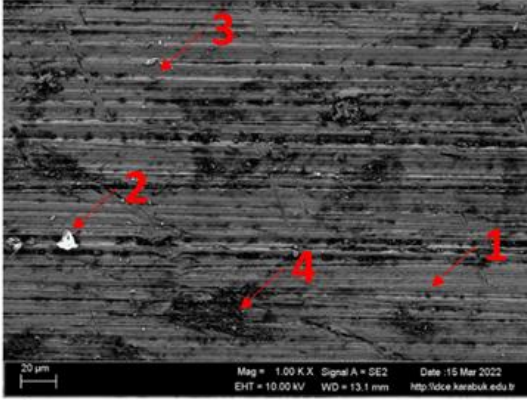
Şekil 5. 19. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N koroziif aşınma sürtünme katsayıları.

5.5.2. Adhezif Aşınma Deney Sonuçları ve Değerlendirilmesi

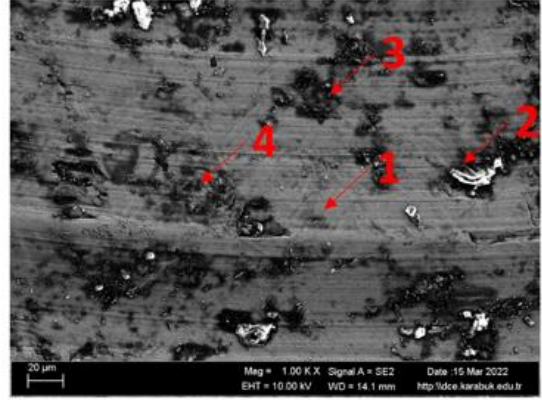
Adhezif aşınmada 10N yük altında C95300 daha az aşınma gösterirken 20 N ve 40 N yük altında daha fazla aşınma göstermiştir. Literatürde benzer çalışmalar vardır [2].



Şekil 5.20. (a) C95200 ve (b) C95300 adhezif aşınma miktarları.

C95200

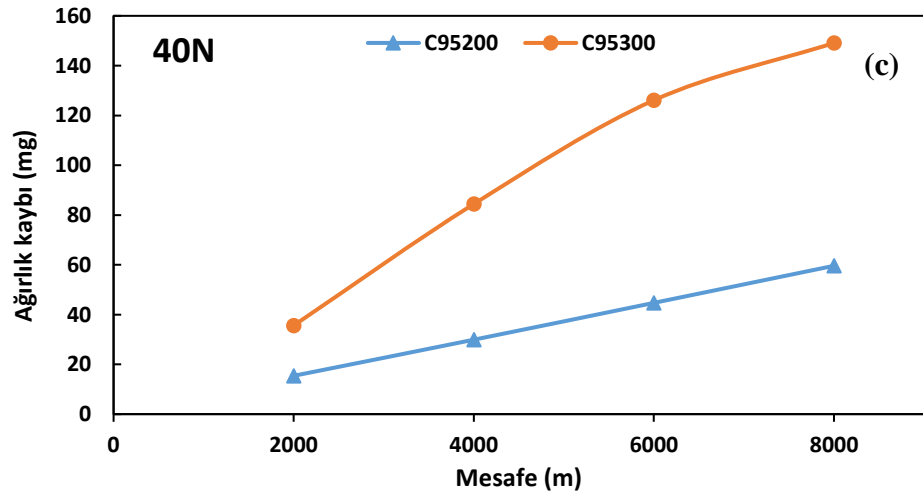
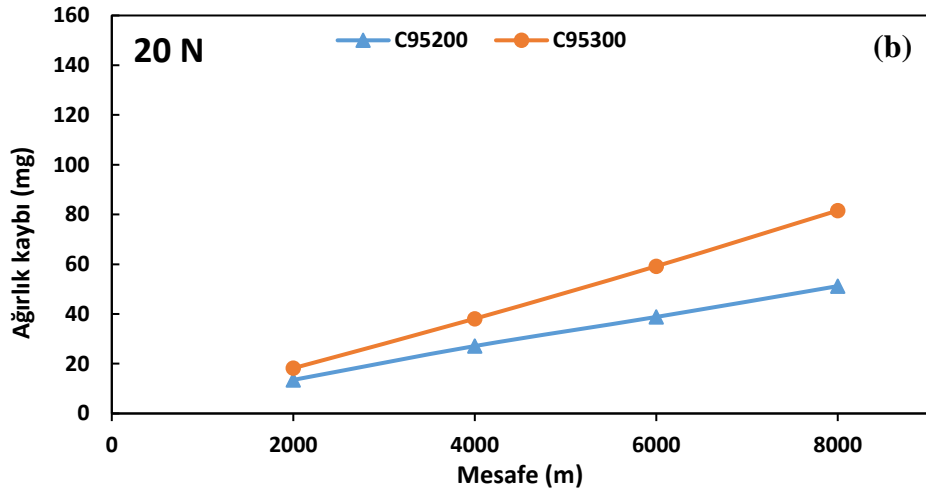
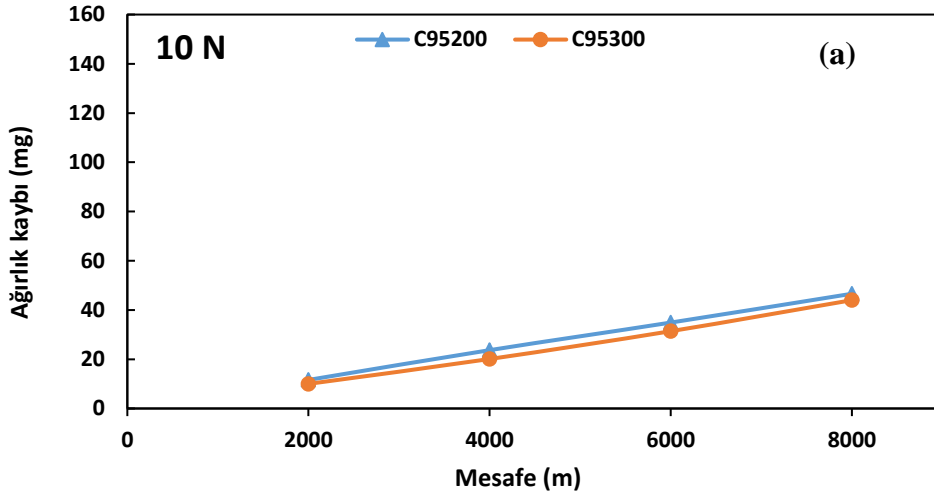
Spektrum	O	Al	Fe	Si	Cu
1	3.52	7.10	0.00	0.00	89.38
2	14.28	5.55	1.91	0.00	78.26
3	5.92	7.45	0.42	0.03	86.19
4	20.39	7.75	2.26	0.22	69.38

C95300

Spektrum	O	Al	Fe	Si	Cu
1	5.85	6.53	0.53	0.00	87.09
2	50.83	13.31	0.00	2.58	33.28
3	21.50	9.85	0.11	0.00	68.54
4	16.18	7.04	0.69	0.07	76.02

Şekil 5.21. C95200 ve C95300 adhezif aşınma sem görüntüleri ve edx analizi.

C95300 alaşımının C95200 alaşımına göre daha fazla aşındığı görülmektedir.



Şekil 5.22. (a) 10N, (b) 20N, (c) 40N adhezif aşınma ağırlık kayıpları.

BÖLÜM 6

GENEL SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. GENEL SONUÇLAR

- Döküm ile üretilen C95200 ve C95300 alaşımlarının mikroyapı ve korozyon davranışlarının karşılaştırılmasının sonuçları aşağıdaki gibi özetlenebilir:
- Siyah bölgeler birincil α yapısını temsil eder. Tane sınırlarında görüldüğü gibi beyaz odacıklar ikincil fazdır (β)'dir. C95200 alaşımı Fe içeriğinin daha fazla olmasından dolayı daha ince tane yapısına sahiptir ve daha az (β) fazına sahiptir. C95300 alaşımı taneleri daha kabadır ve daha fazla (β) fazına sahiptir.
- Potansiyodinamik polarizasyon testinde I_{corr} değeri düşük olan C95200 alaşımının korozyon direncinin daha fazla olduğu görülmektedir. Fe miktarının artmasıyla Cu-Fe içeren fazın korozyon dayanımını geliştirdiği düşünülmektedir.
- Daldırma korozyon testi bir önceki potansiyodinamik polarizasyon testini desteklemektedir. C95200 alaşımının korozyon direnci C95300 alaşımına göre daha iyi olduğu ağırlık kayıplarından anlaşılmış ve bu değerler daldırma korozyon testi sonrası alınan SEM görüntüleriyle de desteklenmektedir.
- XRD sonuçları incelendiğinde alaşımlarda ana matris(Cu) dışında Fe_4Cu_3 , Fe_3Al , $CuAl_2$, Cu_9Al_4 , $AlCu_3$ intermetalik fazların varlığı görülmüştür.
- Brinell sertlik test sonuçlarında C95200 alaşımının sertliği 119HB, C95300 alaşımının sertlik sonucu ise 142 HB ile %19,32 daha yüksek bulunmuştur.
- C95300 alaşımının hem mukavemeti ve hem sünekliği C95200 alaşımından yüksektir.
- Darbe test sonuçları darbe enerjisi(j) ve tokluk (kJ/m^2) olarak verilmiştir. C95300 ün darbeye karşı direnci C95200'den daha düşük çıkmıştır.
- İncelenen alaşımların yorulma eğrilerinde ömür değerleri birbirlerine yakın gibi çıkmasına rağmen yorulma dayanım sınırları farklılık göstermektedir.

- Korozif aşınmada C95300 alaşımı 10N ve 20N’da C95200 alaşımına göre daha yüksek aşınma direnci göstermiş bu durum 40N yük altında benzer aşınma direnciyle sonuçlanmıştır.
- Adhezif aşınmada 10N yük altında C95300 daha az aşınma gösterirken 20 N ve 40 N yük altında daha fazla aşınma göstermiştir.

6.2. ÖNERİLER

- C95200 ve C95300 alaşımlarına farklı elementler ilave edilebilir.
- Bu alaşımlara farklı solüsyonlar ile korozyon testi uygulanabilir.
- Farklı süreler uygulanarak bu alaşımlara korozyon testi uygulanabilir.
- Bu alaşımlardaki elementlerin miktarları değiştirilerek aynı testler uygulanabilir.
- C95200 ve C95300 alaşımlarına ısıl işlem uygulanarak aynı testler yapılabilir.

KAYNAKLAR

1. Gohar G. A., Manzoor T., Shah A. N. “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 (2018).
2. Kimura T., Shimizu K., Terada K. (2007). “Sliding wear characteristic evaluation of copper alloy for bearing”, *Wear*, 263, 1–6, 586-591.
3. Sadykov F.A., Barykin N.P., Aslanyan I.R. “Wear of copper and its alloys with submicrocrystalline structure”, *Wear*, 225–229, 1, 649-655 (1999).
4. Tüfekçi, T., “Cr ve Si katkısı ile modifiye edilmiş alüminyum bronzlarının tribolojisi”, Yüksek Lisans Tezi, *Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Kocaeli, 1(2019).
5. Meigh H., “Cast and Wrought Aluminium Bronzes Properties”, Processes and Structure, Joseph W., 2nd ed., **Maney Publishing**, UK, 233-360, 2008.
6. Brezina, P. “Gefügeumwandlungen und mechanische Eigenschaften der Mehrstoff-Aluminiumbronzen vom Typ CuAl10 Fe5 Ni5”. // **Giesserei-Forschung**, 25, 3 pp. 1-10, (1973).
7. Yaşar M., Altunpak Y., “The effect of aging heat treatment on the sliding wear behaviour of Cu–Al–Fe alloys”, *Materials & Design*, 30 (3) 878-884, (2009).
8. Hasan F., Iqbal J., Ridley N. “Microstructure of as-cast aluminium bronze containing iron”, *Materials Science and Technology (United Kingdom)*, 1 (4), pp. 312-315, (1985).
9. Tekin E, “**Demir dışı Metaller ve Alaşımların Uygulamalı Optik Metalografisi**” 2.Baskı SEGEM;. s 303–308, 1984.
10. Yasar M., Demiral M., Özyurek D. and Ünal M., “**Investigation of wear behaviors of C95200-C95300 Cu-Al-Fe alloys**”, *Industrial Lubrication and Tribology*, 61, 1, 40-46, (2009).
11. Huttunen-Saarivirta E., Tiainen T.), “Corrosion behaviour of Al–Cu–Fe alloys containing a quasicrystalline phase”, *Materials Chemistry and Physics*, 85, 2–3, 383-395, (2004).

12. ASM metals handbook, “**Metallography and microstructures**”; vol. 09, 2005.
13. Lim A. B. Y., Neo W. J., Yauw O., Chylak B., Gan C. L. and Chen Z. “**Evaluation of the corrosion performance of Cu-Al intermetallic compounds and the effect of Pd addition**”, IEEE 17th Electronics Packaging and Technology Conference (EPTC), pp. 1-5 (2015).
14. Babalola B., Bodunrin M., Borode J. and Alaneme K.. “Corrosion Characteristics of As-Cast Aluminium Bronze Alloy in Selected Aggressive Media”, **Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering**, 1 (5), 245-249 (2013).
15. Krogstad H. N., Johnsen R. “Corrosion properties of nickel-aluminium bronze in natural seawater-Effect of galvanic coupling to UNS S31603”, **Corrosion Science**, 121, 43-56 (2017).
16. Ateya, B. G., Ashour, E. A., & Sayed, S. M.. “**Corrosion of α -Al Bronze in Saline Water**”, Journal of The Electrochemical Society, 141(1), 71-78, (1994).
17. Cenoz I. (2011). “Effect of different cooling rates on the microstructure of Cu–Al–Fe alloy”, **Canadian Metallurgical Quarterly**, 50 (1) 80-84.
18. İnternet: Tugra metal, “Alüminyum Bronz” <https://www.tugralmetal.com/bronz/aluminyum-bronzu> (2022).
19. İnternet: Duran Serdar Karahan, “Dünyada ve Türkiye’de Demir, Krom ve Baz Metaller”, Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı Aralık 2019 Fizibilite Etütleri Daire Başkanlığı, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Aralık 2019, <https://www.mta.gov.tr/v3.0/sayfalar/bilgi-merkezi/maden-serisi/img/DEM%C4%B0R-KROM.pdf> (2022).
20. (Joseph R. Davis, “Copper and Copper Alloys”, **ASM Specialty Handbook, Materials Park**, Ohio, USA, August (2001).
21. Ünal, M. (1999) “Alüminyum bronzunda farklı katılma hızlarının mikro yapı ve mekanik özelliklere etkisi”, *Yüksek Lisans Tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara*, s. 40-64.)
22. İnternet: “Prinç alaşımı ve özellikleri”, <https://uslularhadde.com/pirinc-alasimi-ozellikleri>. (2022).
23. İnternet: “Kalay ve kalay alaşımları” <http://eyupyaylaci.com/kalay-ve-kalay-alasimlari/>. (2022)
24. (Hyatt C. V., “**Review of literature related to microstructure development during laser surface engineering of nickel aluminium bronze**”, *DREA*, , **96**(227), 56-60. 1997).

25. Sohi M. H., Hojjatzadeh S.M.H., Khodayar A., Amadeh A., ‘‘**Liquid phase surface alloying of a nickel aluminum bronze alloy with titanium**’’, *Surf. Coat. Tech.*, , **325**(1), 617-626.2017.)
26. (Han Z., He Y.F., Lin H.C., Zhao H., ‘‘Dealloying characterizations of cu-al alloy in marine environment’’, **J. Mater. Sci. Lett.**, 2000, **19**(1), 393-395.)
27. Divrik, İ. (2019), ‘‘**1Si5Cu3Mg alaşımının kokil döküm yöntemi ile üretimi, ısıl işlemler sonrası metalurjik ve mekanik karakterizasyonu**’’, *Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi.*
28. AFS(American Foundrymen’s society): ‘‘Copper Base Alloys’’,1965,**Fundry Practice**, Third Edition, 62-65, USA
29. İnternet: ‘‘Alüminyum ve Alüminyum Alaşımları’’ - Prof. Dr. Ayşegül AKDOĞAN <https://dokumen.tips/documents/al-ve-alasimlar-akdoganlessonsmaalzeme2aluminyumvealuminyum1-28112008.html?page=1> (2022)
30. Sahaoo, M., ‘‘**Mechanical properties characterisation of slow – cooled Aluminum Bronzes**’’, AFS Transaction, vol 97, P 97, 86-22, 97-108 Ottawa, Canada, 1986.
31. Annual Book of ASTM stand, ‘‘**Copper and copper alloys**’’, Part 6, B 148, 257 - 260, Philadelphia, U.S.A, 1974.
32. Boyer, H.E. Gall T.L.; ‘‘Metals handbook’’, **Desk edition, ASM Metals Park**, 7.1- 7.3 Ohio, 44073 U.S.A 1985.
33. Eruslu, N. Altınışoğlu, A., Taptık, Y., ‘‘**Alaşımlar ders notu**’’, 130-137, Maslak, İstanbul. 1990.
34. Yılmaz F. Şen U. ‘‘Alaşımların yapı ve özellikleri’’, *Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi*, Yayın No:8, 92-95, Sakarya, (1996).
35. Ozan, N., 1985 ‘‘**Bakır alaşımlarında alaşım elementlerinin etkisi**’’, T.C. Sanayi Bakanlığı KÜSGET yayınları, 1-4 Ankara
36. Aluminium Bronze, ‘‘Copper Development Association’’, **Seventh edition, England**, 1955.
37. William F. Smith, ‘‘Principles of Materials Science and Engineering’’ **Third Edition Paperback – January 1**, (1999).
38. Demiral. M) ‘‘C95200 ve C95300 Alüminyum bronzlarının aşınma özelliklerinin incelenmesi’’, Bilim Uzmanlığı Tezi, *Zonguldak Karaelmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak*, (2005).
39. B. Galip, ‘‘**Malzeme, MEB Yayınları**’’, Ankara, (1970).

40. KOÇAK H. , “**Bakır ve Bakır Alaşımları**, Metalurji Yüksek Mühendisi”, Bolokur Yayınları, İstanbul, 4. Baskı, 2013.
41. Pecheux, H., “Encyclopedie Industrielle, Precis de Metallurgie”, **4^o Edition**, **New York**, U.S.A, 1931.
42. Burhan Oğuz, “**Demir Dışı Metallerin Kaynağı**”, OERLIKON Yayını, 1990.
43. Rowley, M.T, “**Casting Copper- Base Alloys AFS III**, Chapter 11, Alüminyum Bronze, 157-162, USA, 1984.
44. Kılınç M. “5083 Kalite Al alaşımının mekanik özelliklerine termomekanik ısıtma işleminin etkisi”, ***Yüksek Lisans Tezi, Karabük Üniversitesi, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü, Karabük***, 693794, 2021.
45. Elina Huttunen-Saarivirta, Tuomo Tiainen, “Corrosion behaviour of al–cu–fe alloys containing a quasicrystalline phase”, **Materials Chemistry and Physics, Volume 85, Issues 2–3, Pages 383-395**, 2004.
46. Hedda Nordby Krogstad, Roy Johnsen, “Corrosion properties of nickel-aluminium bronze in natural seawater—**Effect of galvanic coupling to UNS S31603**”, **Corrosion. Science, Volume 121, Pages 43-56**, 2017.

ÖZGEÇMİŞ

Meriç METİN ilk orta ve lise öğrenimini Zonguldak şehrinde tamamladı. Daha sonra 2014 yılında Karabük üniversitesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği % 100 İngilizce bölümünü kazandı ve aynı bölümden 2019'da mezun oldu. Ardından 2020 yılında Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bölümünde yüksek lisansa başladı ve 2022 yılında bitirilmesi hedeflenmektedir.