

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PİRİNÇ ALAŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK VE TUTMA SÜRELERİNDE
ÇİNKOSUZLAŞMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner KARADEMİR

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı

Malzeme Mühendisliği Programı

TEMMUZ 2024

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

**PİRİNÇ ALAŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK VE TUTMA SÜRELERİNDE
ÇİNKOSUZLAŞMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Caner KARADEMİR
(506211403)

Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı
Malzeme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ

TEMMUZ 2024

ISTANBUL TECHNICAL UNIVERSITY ★ GRADUATE SCHOOL

**INVESTIGATION OF DEZINCIFICATION BEHAVIOURS OF BRASS
ALLOYS AT DIFFERENT TEMPERATURES AND HOLDING TIMES**

M.Sc. THESIS

**Caner KARADEMİR
(506211403)**

**Department of Metallurgical and Materials Engineering
Materials Engineering Programme**

Thesis Advisor: Doç. Dr. Necip ÜNLÜ

JULY 2024

İTÜ, Lisansüstü Eğitim Enstitüsü'nün 506211403 numaralı Yüksek Lisans Öğrencisi Caner KARADEMİR, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı “PİRİNÇ ALAŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK VE TUTMA SÜRELERİNDE ÇİNKOSUZLAŞMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ” başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı : **Doç. Dr. Necip ÜNLÜ**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri : **Prof. Dr. Murat BAYDOĞAN**
İstanbul Teknik Üniversitesi

Prof. Dr. Serdar AKTAŞ
Marmara Üniversitesi

Teslim Tarihi : 24 Mayıs 2024

Savunma Tarihi : 10 Temmuz 2024





Eşime ve aileme,

ÖNSÖZ

Yüksek lisans tez çalışmamı yapabilmem için beni öğrencisi olarak kabul eden ve laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan; tez sürecimde benden hiçbir yardımı esirgemeyen Doç. Dr. Necip ÜNLÜ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Lisans ve Yüksek lisans öğrencilik dönemimde mesleğime dair birçok bilgi öğrenmeye destek olan ve bana farklı bakış açıları kazandıran değerli hocam Dr. Nuri SOLAK' a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans öğrencilik ve tez dönemimde yaptığım araştırmalarda beni yönlendiren ve laboratuvar imkanlarını kullanmama olanak sağlayan her koşulda destek olmaya çalışmaktan asla çekinmeyen değerli hocam Dr. Faiz MUHAFFEL' e sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Öğrencilik hayatımda, iş hayatımda ve tez sürecimde karşılaştığım zorluklarda bana desteğini asla esirgemeyen güzel günlerde mutluluğumuzu ve zor günlerimizde yükümüzü paylaştığımız değerli eşim Sümeyye KARADEMİR' e sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Son olarak, bugünlere ulaşmamı sağlayan hayatım boyunca hep yanımda olan ve eğitimim için çokça emek veren; zor anlarımda desteklerini hep hissettiğim annem Nejla KARADEMİR, babam Cemil KARADEMİR ve ablam Av. Büşra KARADEMİR' e sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Mayıs 2024

Caner KARADEMİR
Metalurji ve Malzeme Mühendisi

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
ÖNSÖZ.....	ix
KISALTMALAR	xiii
ÇİZELGE LİSTESİ.....	xv
ŞEKİL LİSTESİ.....	xvii
ÖZET.....	xix
SUMMARY	xxi
1. GİRİŞ VE AMAÇ	i
1.1 Giriş.....	i
1.2 Tezin Amacı.....	2
2. PİRİNÇ ALAŞIMLARI	5
2.1 Pirinç Alaşımlarının Tarihçesi	5
2.2 Mikroyapı.....	6
2.3 Pirinç Alaşımları	8
2.3.1 Alfa Pirinçleri.....	8
2.3.1.1 Sarı Alfa Pirinçleri	9
2.3.1.2 Kızıl Pirinçler	10
2.3.2 Dublex Pirinçler	11
2.3.2.3 Bahriye Pirinci	11
2.3.2.4 Otomat Pirinci	12
2.3.2.5 Dövme Pirinçleri	12
2.3.2.6 Mangan Pirinçleri.....	12
2.3.3 Yüksek Mukavemetli Pirinçler	12
2.4 Alaşım Elementleri ve Etkileri.....	13
2.4.1 Alüminyum (Al).....	13
2.4.2 Demir (Fe) ve Mangan (Mn).....	13
2.4.3 Nikel (Ni)	13
2.4.4 Arsenik (As).....	14
2.4.5 Silisyum (Si)	14
2.4.6 Kalay (Sn)	14
2.4.7 Antimon (Sb) ve Fosfat (P).....	14
2.4.8 Kurşun (Pb)	15
3. KOROZYON.....	17
3.1 Çinkosuzlaşma	18
3.1.1 Çinkosuzlaşma Tipleri	19
3.1.2 Çinkosuzlaşma Mekanizmaları	20
3.1.3 Çinkosuzlaşmadan Korunma	20
3.2 Diğer Korozyon Tipleri.....	21
3.2.1 Gerilmeli Korozyon	21
3.2.2 Taneler Arası Korozyon.....	22

3.2.3 Aralık Korozyonu.....	23
3.2.4 Erozyon Korozyonu	24
3.2.5 Oyuklanma Korozyonu	25
3.2.6 Galvanik Korozyon	25
4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	27
4.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler	27
4.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar	29
4.3 Deneylerin Yapılışı	32
4.3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması	32
4.3.2 CuCl ₂ Çözeltisinin Hazırlanması	32
4.3.3 75°C’ de Korozyon Deneylerinin Yapılması	32
4.3.4 95°C’ de Korozyon Deneylerinin Yapılması	33
5. SONUÇLAR VE İRDELEME	35
5.1 Mikroyapı Analiz Sonuçları	35
5.2 Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları	43
5.2.1 75°C’ ye Ait Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları	43
5.2.2 95°C’ ye Ait Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları	46
5.3 SEM/EDS Sonuçları.....	47
6. GENEL SONUÇLAR	57
KAYNAKLAR.....	61
ÖZGEÇMİŞ.....	63

KISALTMALAR

μm	:Mikrometre
α	:Alfa Fazı
β	:Beta Fazı
γ	:Gama Fazı
CuCl_2	:Bakır Klorür
ISO	:Uluslararası Standartlar Teşkilatı
YMK	:Yüzey Merkezi Kübik
Al	:Alüminyum
Fe	:Demir
Mn	:Mangan
Ni	:Nikel
As	:Arsenik
Si	:Silisyum
Sn	:Kalay
Sb	:Antimon
P	:Fosfat
Pb	:Kurşun



ÇİZELGE LİSTESİ

Çizelge 2.1: Pirinç alaşımlarına eklenen alaşım elementleri (%ağ.).	13
Çizelge 4.1: Deney setleri şeması.	27
Çizelge 4.2: Numune setlerine ait % ağırlıkça kimyasal bileşimler.	28
Çizelge 4.3: Tedarik edilen pirinç çubuk görselleri.....	28
Çizelge 5.1: 75°C' de deney yapılan numunelerin çinkosuzlaşma derinlikleri.	43
Çizelge 5.2: 95°C' de deney yapılan numunelerin çinkosuzlaşma derinlikleri.	46
Çizelge 5.3: CW603N alaşıma ait EDS spektrumunun % ağ.	50
Çizelge 5.4: CW617N Alaşıma Ait EDS Spektrumunun % Ağ.	52
Çizelge 5.5: CW511L alaşıma ait EDS spektrumunun % ağ.	54
Çizelge 5.6: CW625N alaşıma ait EDS spektrumunun % ağ.	56
Çizelge 6.1: 75°C çinkosuzlaşma deneyleri genel sonuçları.	57
Çizelge 6.2: 95°C çinkosuzlaşma deneyleri genel sonuçları.	58



ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1: Cu-Zn faz diyagramı [22].	7
Şekil 2.2: Kızıl alfa pirinç mikroyapı görüntüsü [23].	10
Şekil 2.3: Dublex pirinçler mikroyapı görüntüsü [24].	11
Şekil 2.4: Kurşun içeren pirinç alaşımlarında görülen çökelti şablonu [25].	15
Şekil 3.1: Uniform çinkosuzlaşma örneği.	18
Şekil 3.2: Çinkosuzlaşma reaksiyonları.	19
Şekil 3.3: Seçici çinkosuzlaşma örneği.	19
Şekil 3.4: Gerilmeli korozyon uğramış pirinç malzemesi mikroyapısı [25].	22
Şekil 3.5: Taneler arası korozyona uğramış pirinç malzeme mikroyapısı [25].	22
Şekil 3.6: Aralık korozyonu şematik gösterimi [26].	23
Şekil 3.7: Erozyon korozyonuna uğramış bakır boru kesit görüntüsü.	24
Şekil 4.1: Zımparalama ve parlatma cihazı.	29
Şekil 4.2: Tartı.	29
Şekil 4.3: Merck-Schuchardt marka CuCl_2 tozu ve çözelti.	30
Şekil 4.4: Numune kabı.	30
Şekil 4.5: Etüv.	31
Şekil 4.6: Optik mikroskop.	31
Şekil 4.7: Bakalite alınmış ve parlatılmış numuneler.	32
Şekil 4.8: Korozyon deneyi sonrası numuneler.	33
Şekil 5.1: 75°C' de 6 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	35
Şekil 5.2: 75°C' de 12 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	36
Şekil 5.3: 75°C' de 24 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	37
Şekil 5.4: 75°C' de 48 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	38
Şekil 5.5: 95°C' de 6 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	39
Şekil 5.6: 95°C' de 12 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	40
Şekil 5.7: 95°C' de 24 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	41
Şekil 5.8: 95°C' de 48 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.	42
Şekil 5.9: 75°C sıcaklığında alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinin karşılaştırılması grafiği.	44
Şekil 5.10: 75°C 24h parametresinde alaşımların ortalama çinkosuzlaşma derinlikleri karşılaştırma grafiği.	45
Şekil 5.11: 95°C sıcaklığında alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinin karşılaştırılması grafiği.	47
Şekil 5.12: CW603N alaşımına ait SEM görüntüsü (500X).	48
Şekil 5.13: CW603N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.	48
Şekil 5.14: CW603N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.	49
Şekil 5.15: CW617N alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).	50

Şekil 5.16: CW617N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.....	50
Şekil 5.17: CW617N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4.nokta, e) 5. nokta.....	51
Şekil 5.18: CW511L alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).	52
Şekil 5.19: CW511L alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.	52
Şekil 5.20: CW511L EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.....	53
Şekil 5.21: CW625N alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).	54
Şekil 5.22: CW625N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.....	54
Şekil 5.23: CW625N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.....	55



PİRİNÇ ALAŞIMLARININ FARKLI SICAKLIK VE TUTMA SÜRELERİNDE ÇİNKOSUZLAŞMA DAVRANIŞLARININ İNCELENMESİ

ÖZET

Bakır-çinko alaşımı olan pirinçler, üstün korozyon ve mekanik dayanımları sayesinde özellikle içme suyu sistemlerinde yaygın kullanım alanı bulmaktadır. İçme suyu sistemlerinde pirinçlerin yaygın olarak kullanıldığı ana parçalar; valfler, bağlantı parçaları ve musluklar' dır. Daha iyi korozyon, mekanik ve işlenebilirlik özelliklerinin sağlanması amacı ile pirinç alaşım sistemleri geliştirilmektedir. Pirinç alaşımlarında yaygın olarak kullanılan alaşım elementlerinden biri, malzemenin işlenebilirliğine olumlu yönde katkı bulunduran kurşun' dur. Ancak kurşun içeren pirinç alaşımları, içme suyu sistemlerinde kullanıldığında insan sağlığını tehlikeye atmaktadır. Kurşun içermeyen pirinç alaşımlarının tasarımında kurşun miktarı ağırlıkça yüzde 0.2' den az olarak kullanılmaktadır. Günümüzde çinkosuzlaşma direnci olan ve kurşun barındırmayan pirinç alaşımları geniş bir kullanım alanı bulmakta olup, özellikle içme suyu sektöründe kurşun barındıran pirinç alaşımlarının yerini almaktadırlar. Pirinç malzemelerinde bulunan alaşım elementlerinin; değişken sıcaklık ve tutma sürelerinde, malzemenin çinkosuzlaşma direncine etkisini gösterebilecek sınırlı sayıda çalışma olması, bu çalışmanın özgün değerini yansıtmaktadır. Kurşun içermeyen CW511L, CW724R alaşımları ve kurşun içeren CW602N, CW603N, CW617N, CW625N alaşımları olmak üzere toplam 6 farklı alaşım üzerinde çalışılmıştır. ISO 6509-1 testinin uygulanması yanında farklı sıcaklık ve tutma sürelerinde davranışları da gözlemlenmiştir. Çinkosuzlaşmanın tespiti, korozyon oluşumu ve korozyon mekanizmasının ortaya çıkarılabilmesi için yapılan karakterizasyon çalışmalarında optik mikroskop ve taramalı elektron mikroskobisi (SEM/EDS) kullanılmıştır. Deneylerde her bir alaşım için 75°C-95°C sıcaklıkları ve 6, 12, 24 ve 48 saat zaman süreçleri kullanılmıştır. Numunelerde çinkosuzlaşma derinlikleri ölçülmüş, çinkosuzlaşan bölgeler incelenmiş olup alaşım elementlerinin çinkosuzlaşma dayanımına etkileri irdelenmiştir. İncelemelerde CW603N ve CW617N alaşımlarının çinkosuzlaşma direnci olmadığı ve artan tutma sürelerinde çinkosuzlaşma derinliklerinin arttığı görülmüştür. Diğer alaşımların ISO6509-1 standardına göre çinkosuzlaşma dirençli alaşımlar olduğu tespit edilmiş olup, artan sıcaklıklarda CW625N alaşımında çinkosuzlaşma görülmüştür. Artan kurşun ve kalay miktarlarında malzemelerde beta fazı oluşumu sebebiyle çinkosuzlaşma direncinin azaldığı gözlemlenmiştir. Ek olarak pirinç alaşımlarında alüminyum bulunması sebebiyle beta fazı oluşumu ve dolayısıyla çinkosuzlaşma görüldüğü de belirlenmiştir.



INVESTIGATION OF DEZINCIFICATION BEHAVIORS OF BRASS ALLOYS AT DIFFERENT TEMPERATURES AND HOLDING TIMES

SUMMARY

Brass has held significant importance across various civilizations throughout centuries. Especially in periods before the importation of gold and silver from the New World began, brass was utilized in the jewelry sector and as a construction material for church buildings. In Europe, particularly in Germany and Belgium during the 15th and 16th centuries, brass production saw significant advancements. In England, mass brass production started at Tintern Abbey in 1568, with the industrial distillation method being discovered by William Champion in 1738 and patented by James Emerson in 1781. However, due to economic reasons, this method only became widely used 70 years after its patenting.

Over time, the applications of brass expanded, and various brass alloys were developed after the mid-19th century. For instance, Muntz Metal was discovered in 1832, and in 1846, brass was used in France for military ammunition production (cartridge brass). In America, brass production began after the independence movement, particularly in the Waterbury and Connecticut regions, where clocks, buttons, and lamps were manufactured. The aesthetic qualities of brass facilitated its widespread use in wall clocks, wristwatches, chronometers, and compasses. Even today, brass continues to be a significant material in many industrial and commercial applications.

Copper-zinc alloys known as brasses are widely used in drinking water systems due to their excellent corrosion resistance and mechanical properties. They are commonly used in valves, fittings, and faucets. Brass alloys are developed by varying the amounts of copper, zinc, and other alloying elements, resulting in different properties such as corrosion resistance, mechanical strength, and machinability. Using brass alloys without adequate dezincification resistance in drinking water systems can lead to significant costs due to corrosion-related failures. These costs include water loss, decreased trust in the manufacturer, and mold propagation. A notable example is a case in Nevada, USA, where improper brass alloys led to leaks and failures in water systems affecting over 30,000 homes, resulting in a \$100 million settlement. Over the years, the dezincification issue in drinking water systems was thought to be resolved by using brass alloys with lower zinc content. However, the demand for easily machinable and cost-effective brass alloys has led to the use of high-zinc content alloys, necessitating the addition of other alloying elements to maintain dezincification resistance. Lead has been considered a key alloying element to prevent dezincification, but its introduction into drinking water poses health risks. Lead is an important alloying element in brass materials known to facilitate machining in metalworking. However, its use in alloys intended for drinking water

systems poses risks. To minimize potential effects, global regulations, endorsed by organizations such as WHO and the European Commission, stipulate that lead concentrations should not exceed 10 ppb ($\mu\text{g/L}$). Consequently, brass manufacturers are focusing on developing new lead-free alloys ($< 0.2\%$ wt Pb) that offer good corrosion resistance and machinability.

Dezincification remains a fundamental corrosion issue in brasses used in drinking water systems. Restrictions on lead alloying necessitate the development of new alloys, although challenges persist in ensuring their long-term durability in these systems. This has spurred further research needs into the dezincification behavior of brass materials. ISO 6509-1 is the primary standard for detecting dezincification and measuring dezincification resistance. However, discrepancies between corrosion data obtained from standard tests and laboratory-produced results have raised questions about underlying mechanisms in these new brass classes. Therefore, detailed investigations into the corrosion behavior of lead-free brass alloys are crucial. Such studies will enable these alloys to serve as viable alternatives to leaded brasses, minimizing significant losses in corrosion and mechanical performance.

Brass is a copper-zinc (Cu-Zn) alloy containing 5-40% zinc by weight, with zinc being the primary alloying element. When the zinc concentration is up to 35%, the material, which contains a minimum of 63% copper and has a fine microstructure represented by the α -phase, is characterized. This class of α -brasses, also known as cold-worked brasses, offers good ductility at room temperature, facilitating cold forming processes. Compared to brasses with higher zinc content and a zinc-rich second phase, α -brasses exhibit higher corrosion resistance. However, their workability diminishes at high temperatures, and their high copper content increases costs, thus limiting their applications. Brass alloys used for commercial purposes are classified into two main groups based on their structure: α and $\alpha + \beta$ brasses. This distinction depends on the zinc content of the alloy. For instance, brass alloys containing less than 39% zinc consist solely of the α phase, while those containing around 39% zinc exhibit both α and β phases. The β phase is harder and stronger than the α phase but also more brittle. Increasing zinc content enhances the strength and hardness of the brass alloy but reduces its ductility. Therefore, as the zinc content increases, the mechanical properties of the alloy change. Particularly in alloys containing 39-47% zinc, the presence of the β phase leads to increased tensile strength and hardness but decreased ductility. This influences the preference for different brass alloys depending on their intended applications. β brasses are ideal for applications requiring high strength, although they require hot working due to their lower ductility at low temperatures. β brass is the type with the highest hot working capability and is commonly preferred in industrial applications. A brass alloy containing between 47-51% zinc by weight achieves the highest strength value with a pure β phase. This type of alloy is particularly favored for applications demanding high strength. A brass with approximately 50% zinc can transform to 100% β phase when rapidly cooled from high temperatures. These properties enable the utilization of different brass alloys in various industrial and commercial applications. Brasses are known for their good corrosion resistance due to their high content of the valuable metal Cu. However, brass also contains a significant amount of the less valuable metal Zn. When a valuable metal, in this case, Cu, interacts with a less valuable metal like Zn, Zn will preferentially corrode more quickly and migrate into

the solution. This corrosion mechanism in brass is known as dezincification. Various forms of corrosion such as dezincification (alloy separation), stress corrosion cracking, and intergranular corrosion are observed in brass. This thesis investigates the dezincification behavior of brass alloys used in drinking water systems.

The aim of this thesis is to assess the dezincification resistance and corrosion behavior of six different brass alloys under varying temperatures and holding times. The study identifies alloys that pass ISO 6509-1 standards and examines their behavior under different conditions. It also investigates alloys that fail under standard conditions to assess their performance under lighter and alternative conditions. Experimental durations of 6, 12, 24, and 48 hours at temperatures of 75°C and 95°C were utilized. Depth measurements and chemical composition analysis of dezincified regions were conducted according to ISO 6509-1 standards to determine dezincification behavior. The goal is to classify alloys based on their dezincification resistance and identify the most durable alloy. Factors influencing corrosion resistance are also investigated.

Experiments were conducted on six different brass alloys at two temperatures, 75°C and 95°C, and for four different durations: 6 hours, 12 hours, 24 hours, and 48 hours. In total, 48 samples underwent corrosion testing according to ISO 6509-1 standards. Subsequent characterization studies were performed using optical microscopy and SEM/EDS analyses. The brass rods with different chemical compositions were provided and labeled according to their commercial names. The brass alloys used in the experiment were coded as CW511L, CW602N, CW603N, CW617N, CW625N, and CW724R and were monitored throughout the experiments. The alloys were supplied as rods and hexagonal bars.

The brass materials were cut using a saw to achieve a surface area of 100 mm² according to the ISO 6509-1 standard. The height of each cut sample was 10 mm, resulting in a total of 48 samples. The cut samples were mounted in Bakelite. The samples were then ground sequentially with 60, 300, 600, 1000, and 2400 grit sandpapers and polished using a 1-micron silicon carbide solution.

A solution was prepared by adding 25.4 g of CuCl₂ powder to 2000 cc of DI water. The powder was mixed in a plastic container until fully dissolved in the DI water. Each set of 6 samples was placed in 800 cc of this solution.

The samples were placed in groups of 6 in a container, and 800 cc of the prepared solution was added to each container. The containers were sealed with aluminum foil tape to prevent air from entering. The oven was heated to 95°C, and the first set of 6-hour samples was placed in the oven. After 6 hours, the samples were removed from the oven and allowed to cool. Once cooled, the containers were opened, and the samples were removed with tongs and cleaned with alcohol to remove any acid residues. The containers were then washed. The same procedure was repeated for the 12-hour, 24-hour, and 48-hour sets of samples.

After obtaining optical microscope images of alloy cross-sections, the depths of dezincification were measured using scales. To ensure uniform measurement results for all alloys, dezincification depths were measured at 25 points on the microstructure, and the average and standard deviation of these values were calculated. The average dezincification depths of the alloys were then plotted on a

graph for analysis. Dezincification was observed in CW603N and CW617N alloys during microstructure examinations. SEM/EDS analyses were conducted on CW603N, CW617N, CW511L, and CW625N alloys that underwent a 24-hour corrosion test at 75°C. Due to the depth of the corrosion layer, the CW603N alloy was examined at 500x magnification, while CW617N, CW511L, and CW625N alloys were examined at 1000x magnification. For better understanding, the samples were also supported with EDS analysis.

It has been observed that CW603N and CW617N alloys lack resistance to dezincification, with their matrix undergoing dezincification and reaching the highest depths compared to other alloys. If CW603N and CW617N alloys are used in drinking water systems, they will experience wear due to complete corrosion of the matrix, potentially causing blockages and water leaks in the long term.

CW511L, CW602N, CW625N, and CW724R alloys did not undergo dezincification at any retention time, making them the most reliable alloys for use in drinking water systems. However, CW602N alloy contains lead, making it unsuitable for drinking water systems. Therefore, CW724R alloy, which does not contain lead, is considered the most suitable.

The experiments did not reach a definitive conclusion regarding an increase in dezincification depth with rising temperatures. However, it was observed that increased retention times led to greater depths of dezincification.

The alloys were examined for the effects of elements on dezincification resistance. It was determined that alloys with dezincification resistance typically contain approximately 0.06 wt% arsenic. The presence of 0.10 wt% iron in the alloys was found to be insufficient to form an intermetallic compound with arsenic and did not negate the effect of arsenic on dezincification resistance. In the absence of arsenic, lead was observed to precipitate in the structure, accelerating dezincification.

1. GİRİŞ VE AMAÇ

1.1 Giriş

Bir bakır – çinko alaşımı olan pirinçler iyi korozyon direnci ve mekanik özellikleri sebebiyle içme suyu sistemlerinde yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Pirinçler genel olarak valflerde, bağlantı parçalarında ve musluklarda kullanılmaktadır. Bakır, çinko ve diğer alaşım elementleri miktarları değiştirilerek birçok pirinç alaşımı geliştirilmiştir. Bu durum; korozyon dayanımı, mekanik özellikler, işlenebilirlik açısından farklı özellikler taşıyan alaşımların ortaya çıkmasına sebep olmuştur [1].

Çinkosuzlaşma direnci olmayan pirinç alaşımları içme suyu sistemlerinde kullanıldığında, sistemde korozyon kaynaklı hatalardan dolayı yüksek maliyetlerle karşılaşmaktadır. Bu maliyet kalemleri; su kaybı, müşterinin üretici firmaya güveninin azalması, küflenmenin yayılması olarak gösterilebilir. Maliyet kalemlerine gerçek bir örnek olarak Nevada, Amerika’ da yaşanan bir vaka gösterilebilir. 30.000’ den fazla konutun bulunduğu bir sitede yanlış pirinç alaşımlarının içme suyu sistemlerinde kullanılması kaynaklı 5 yıl içinde su sistemlerinde delinmeler ve kaçaklar meydana gelmiştir. Dava 100 milyon dolarlık bir tazminatla sonuçlanmıştır [2].

Uzun yıllar boyunca içme suyu sistemlerinde kullanılan pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma probleminin, düşük çinko içeren pirinç alaşımlarının kullanılmasıyla çözüldüğü düşünülmüştür. Ancak, üretimde yüksek çinko içeren pirinç alaşımlarının kullanılma ihtiyacı bu problem tekrar doğurmuştur. Yüksek çinko içeren pirinç alaşımları kolay işlenebilir ve ucuz olmaları sebebiyle kullanım talebi oluşturmıştır. Yüksek çinko içeren pirinç alaşımlarında çinko uzlaşma direncinin sağlanabilmesi için farklı alaşım elementlerine yönelme olmuştur. Çinkosuzlaşmanın önüne geçilebilmesi için başlıca alaşım elementi kurşun olarak görülmüştür. Ancak

kurşunun içme suyuna karışmasının insan sağlığı üzerine zararlı etkileri olmaktadır [3].

Pirinç malzemesinin önemli alaşım elementlerinden birisi de kurşundur, kurşun ilavesinin talaşlı imalatı kolaylaştırdığı bilinmektedir. Ancak, kurşun içeren alaşımların içme suyu sistemlerinde kullanılması risk teşkil edebilmektedir. Kurşun kullanımının olası etkilerini en aza indirmek için dünya çapında düzenlemeler yapılmaktadır. WHO örgütü ve Avrupa komisyonları, kurşun konsantrasyonunu 10 ppb (ug/L) geçmemesi gerektiği konusunda mutabık kalmıştır. Bunun sonucunda pirinç üreticileri kurşunsuz ($Pb < 0.2 \%wt$), korozyona dayanıklı ve işlenebilirliği iyi olan yeni pirinç malzemelerinin geliştirilmesi konusunda çalışmalara başlamışlardır [4].

Çinkosuzlaşma, içme suyu sistemlerinde kullanılan pirinçlerin temel korozyon sorunudur. Kurşun alaşım elementinin kısıtlanması, yeni alaşımların geliştirilmesi ihtiyacı doğurmuştur. Ancak geliştirilen yeni alaşım sistemlerinin içme suyu sistemlerinde uzun ömürlü kullanımlarının sağlanamadığı görülmüştür. Bu sebeple pirinç malzemelerinin çinkosulaşma davranışı üzerine ileri araştırma ihtiyaçları doğmuştur [5]. Çinkosuzlaşmanın tespiti ve malzemenin çinkosuzlaşma direncinin ölçülebilmesi için ana standart ISO 6508-1:2014 standartıdır [6]. Ayrıca, standarda uygun yapılan testlerden alınan korozyon verileri ile laboratuvarıda üretilen veriler arasındaki uyumsuzluk, bu yeni pirinç sınıfının korozyonunda yer alan mekanizmalardaki farklılıklar hakkında bazı soruları gündeme getirmiştir. Bu nedenle, kurşunsuz pirinç alaşımlarının korozyon davranışının detaylı incelenmesi önemlidir. İncelemeler, bu kurşunsuz pirinç alaşımlarının, korozyon ve mekanik davranışlarında önemli ölçüde kayıba sebep olmadan, kurşunlu pirinç alaşımlarının mümkün olduğunca iyi birer alternatifi haline getirilmesini sağlayacaktır [4].

1.2 Tezin Amacı

Çinkosuzlaşma direnci olan pirinç alaşımları halihazırda sektörde kullanılmaya devam etmektedir. Buna ek olarak yeni malzeme denemeleri de devam etmekte ve sektöre giriş yapmaktadır. Malzemenin çinkosuzlaşma direncinin belirlenmesi için ISO 6509-1 standardına göre yapılan testler referans olmaktadır. Yüksek lisans

tezinin amacı, 6 farklı pirinç alaşımlarının, değişken sıcaklık ve tutma sürelerinde çinkosuzlaşma dirençlerinin ve korozyon davranışlarının tespit edilmesidir. ISO 6509-1 standardına göre başarılı olan alaşımların tespit edilmesi ve diğer koşullarda davranışlarının incelenmesi; standarda göre başarısız olan alaşımların tespit edilmesi ve daha hafif koşullarda ve diğer koşullarda davranışlarının belirlenmesi hedeflenmiştir. Bu hedef için 6 saat, 12 saat, 24 saat ve 48 saat deney süreleri; 75°C ve 95°C deney sıcaklıkları üzerinde çalışılmıştır.

ISO 6509-1 standardına göre çinkosuzlaşma davranışlarının tespiti için derinlik ölçümü ve çinkosuzlaşan bölgenin kimyasal kompozisyonu tespiti çalışmaları yapılmıştır. Buna göre çinkosuzlaşma direnci olan ve olmayan alaşımları da kendi içinde sınıflandırarak en dayanıklı alaşımların bulunması hedeflenmiştir. Korozyon dayanımına etki eden etmenlerin ortaya konulması amaçlanmıştır.

2. PİRİNÇ ALAŞIMLARI

2.1 Pirinç Alaşımlarının Tarihçesi

Pirinç, insanlık tarihinde köklü bir geçmişe sahip olan ve birçok medeniyetin hayatında önemli bir yere sahip olan bir alaşımdır. M.Ö. 500'lü yıllarda Çin'de başlayan üretim ve kullanımı, Orta Asya'da M.Ö. 300 ve 200'lerde de görülmüştür. Ancak, bu dönemlerde pirinç alaşımları doğrudan alaşım olarak değil, genellikle çinko oranı yüksek bakır cevherlerinin ergitilmesiyle oluşmuştur. Yunan ve Roma kaynaklarında ilk alaşım yapımı hakkında bilgiler bulunmaktadır. M.Ö. 100'lü yıllarda ise modern anlamda pirinç alaşımlarının üretimi için kalamın adı verilen zengin çinko oksit cevheri kullanılarak sementasyon prosesiyle saf pirinç üretimi gerçekleştirilmiştir [7].

Bizans İmparatorluğu döneminde Türkiye topraklarında pirinç alaşımı metal olarak üretilmiş ve bu alaşım özellikle çan ve para üretiminde yaygın olarak kullanılmıştır. Bu dönemde pirinç paralar, Avrupa'nın farklı bölgelerine yayılmıştır. Hindistan'da ise M.Ö. 100'lü yıllarda pirinç üretimi başlamış ve Hintlilerin kullandığı üretim yöntemi, günümüzdeki pirinç üretimine oldukça benzerdir.

Endüstriyel metalik çinko üretimi Hindistan'ın Rajasthan bölgesinde başlamıştır ve bu bölgede ticari boyutta pirinç alaşımlarının üretimi de aynı dönemlerde gerçekleşmiştir. Bu durumu kanıtlayan tarihi belgeler arasında, yaklaşık 1600'lü yıllarda Lahor'da yapılan ve astronomik ölçümler için kullanılan bir usturlap da bulunmaktadır.

Pirinç, yüzyıllar boyunca çeşitli medeniyetlerde önemli bir yere sahip olmuştur. Özellikle yeni dünyadan altın ve gümüş ithalatının henüz başlamadığı dönemlerde, pirinç kuyumculuk sektöründe ve kilise yapılarında inşaat malzemesi olarak kullanılmıştır. Avrupa'da, özellikle Almanya ve Belçika'da 15. ve 16. yüzyıllarda pirinç üretimi önemli bir gelişme göstermiştir. İngiltere'de, 1568'de Tintern Abbey'de toplu pirinç üretimi başlamış ve endüstriyel destilasyon yöntemi 1738'de William

Champion tarafından bulunmuş ve 1781'de James Emerson tarafından patentlenmiştir. Ancak, ekonomik nedenlerden dolayı bu yöntem ancak patentlenmesinden 70 yıl sonra yaygın olarak kullanılmaya başlanmıştır.

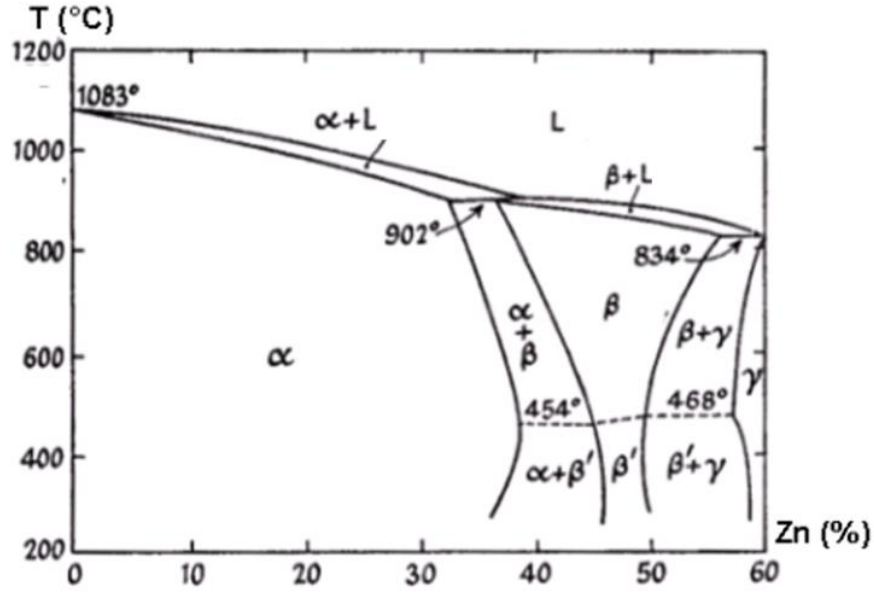
Pirincin uygulama sahaları zamanla genişlemiş ve 19. yüzyılın ortalarından sonra değişik pirinç alaşımları geliştirilmiştir. Örneğin, 1832'de Muntz Metal keşfedilmiş ve 1846'da Fransa'da pirinç metalinden askeri mühimmat yapımı (fişek pirinci) geliştirilmiştir. Amerika'da ise pirinç üretimi bağımsızlık hareketinden sonra başlamış ve özellikle Waterbury ve Connecticut bölgelerinde saatler, düğmeler ve lambalar üretilmiştir. Pirincin estetik özellikleri, duvar saatleri, kol saatleri, kronometreler ve pusulalarda yaygın olarak kullanılmasına olanak sağlamıştır. Bugün bile pirinç, birçok endüstriyel ve ticari alanda önemli bir malzeme olarak kullanılmaya devam etmektedir [8].

2.2 Mikroyapı

Pirinç, %5-40 ağırlıkça Zn içeren ve Zn'nin başlıca alaşım elementi olduğu bir bakır-çinko (Cu-Zn) alaşımıdır. Zn konsantrasyonu %35'e kadar olduğunda, minimum %63 Cu içeren bir malzeme, ymk mikroyapıya sahip olan α -fazı ile temsil edilir [9]. Bu α -faz pirinçleri sınıfı, daha yüksek Zn içeriğine sahip olan ve Zn'de zengin bir ikinci faz içeren pirinçlere kıyasla daha yüksek korozyon direncine sahiptir. α -pirinçleri, soğuk işleme pirinçleri olarak da adlandırılan, oda sıcaklığında iyi bir süneklik sunar, bu da soğuk şekillendirme işlemini kolaylaştırır. Ancak, yüksek sıcaklıklarda işlenebilirlikleri kötüleşir ve yüksek Cu içeriği onları daha pahalı hale getirir, bu nedenle uygulama alanları sınırlıdır [10].

Cu-Zn faz diyagramı göz önüne alındığında, α -faz ile birlikte α -faz arasında bir Zn konsantrasyonunda (%35-45 ağırlıkça) β -fazın oluşabileceği ve var olabileceği görülür. Bu daha ucuz pirinçlere, "hot working brasses" veya duplex $\alpha + \beta$ pirinçler denir. Bunlar, α -pirinçlerle karşılaştırıldığında daha kolay işlenebilirler. Zn-zengin β -fazın bir hacim merkezi kübik (bcc) yapısı vardır. Bu pirinçler, α -pirinçlerden daha az şekillendirilebilir olsa da, sıcaklığın daha yüksek olduğu ortamlarda işlenebilirliği çok daha iyidir. Bununla birlikte, duplex $\alpha + \beta$ pirinçlerde bulunan β -faz, çinkosuzlaşmaya daha yatkındır. β fazının çinkosuzlaşma direnci daha düşük olduğu

için malzemeye ısıtılabilir. 500 °C’ de 2 saat tavlama işlemi β fazının α fazına dönüşmesi için uygulanmaktadır. Pirinç mikroyapısı tanelerde oluşmaktadır, tane sınırları diğer malzemeler gibi tane merkezlerine göre daha düzensizdir ve Pb gibi empüriteler tane sınırlarında çökelmektedir. Zn içeriği %45 ağırlıkça üzerine çıktığında, γ -fazı olarak adlandırılan üçüncü bir faz gelişir. γ -fazı genellikle tane sınırlarında oluşur, bu da pirinç alaşımının kırılma dayanımını artırır ve ticari olarak kullanımını kısıtlıdır [10].



Şekil 2.1: Cu-Zn faz diyagramı [22].

Pirinç alaşımlarının endüstriyel kullanımda birçok avantajları vardır. Bu avantajların en önemlileri aşağıda sıralanmıştır [11].

- Üstün işleme özelliği
- Kolay dövülebilirlik
- İyi korozyon dayanımı
- Aşınma dayanımı
- Geri dönüştürülebilirlik
- İyi elektrik ve ısı iletkenlik
- 200 °C’ ye kadar mekanik özelliklerini koruyabilmesi
- İyi mukavemet özellikleri

2.3 Pirinç Alaşımları

Ticari amaçlarla kullanılan pirinç alaşımları, yapılarına göre iki ana gruba ayrılır: α (alfa) ve $\alpha + \beta$ (alfa artı beta) pirinçleri. Bu ayrım, alaşımın çinko içeriğine bağlı olarak gerçekleşir. Örneğin, %39'dan az çinko içeren pirinç alaşımları yalnızca α fazından oluşurken, %39 civarında çinko içerenlerde α ve β fazları birlikte bulunur. β fazı, α fazına göre daha sert ve güçlüdür, ancak aynı zamanda daha kırılgandır.

Çinko oranının artması, pirinç alaşımının mukavemetini ve sertliğini artırırken, sünekliğini azaltır. Bu nedenle, çinko oranı arttıkça, alaşımın mekanik özellikleri de değişir. Özellikle %39-47 çinko içeren alaşımlarda β fazının oluşması, çekme mukavemeti ve sertliğin artmasına yol açar, ancak süneklik azalır. Bu durum, uygulama alanına bağlı olarak farklı pirinç alaşımlarının tercih edilmesine neden olur.

β pirinçleri, özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalar için idealdir, ancak düşük sıcaklıklarda süneklikleri düşük olduğu için sıcak işleme ihtiyaç duyarlar. β pirinci, en yüksek sıcak işleme kabiliyetine sahip olan pirinç türüdür ve genellikle endüstriyel uygulamalarda tercih edilir.

Ağırlıkça %47-51 arasında çinko içeren bir pirinç, saf β fazına sahip en yüksek mukavemet değerine ulaşır. Bu tür bir alaşım, özellikle yüksek mukavemet gerektiren uygulamalarda tercih edilir.

Yaklaşık %50 çinko içeren bir pirinç, yüksek sıcaklıklardan ani soğutulduğunda %100 β fazına dönüşebilir. Bu özellikler, farklı pirinç alaşımlarının farklı endüstriyel ve ticari uygulamalarda kullanılmasını sağlar.

2.3.1 Alfa Pirinçleri

Katılma sırasında meydana gelen katılma olayı nedeniyle, alfa pirinçlerin döküm yapıları sadece YMK yapıları olan α fazı değil, aynı zamanda β fazını da içerir. Bu durum, alaşım bileşiminin α veya $\alpha + \beta$ sınırına ne kadar yakın olduğuyla ve soğuma hızıyla doğrudan ilişkilidir. Mikroyapı görüntüsü ve kristal kafes yapısı, alfa tipi pirince ait karakteristik özellikleri göstermektedir. Sıcak işlem sırasında β fazı α fazı

içinde çözünür ve renkleri bileşime bağlı olarak sarıdan kıızıla doğru değişir. Bu renk farkı, α pirinçlerini sarı alfa pirinçleri ve kıızıl pirinçler olmak üzere iki ana kategoriye ayırır. Bu ayırım, pirinç alaşımlarının yapısal ve mekanik özelliklerinin anlaşılmasında önemli bir rol oynar [12].

2.3.1.1 Sarı Alfa Pirinçleri

Sarı alfa pirinç alaşımları genellikle %20 ile %36 arasında çinko içerir. Bu oran, alaşımın süneklik ve dayanım özelliklerini iyileştirirken, aynı zamanda soğuk işleme uygun hale getirir. Soğuk haddeleme ve çekme gibi işlemler sonrasında, genellikle sarı alfa pirinçlerin tavlanması gereklidir.

Alfa pirinçler, tavlanma sıcaklıklarına oldukça hassastır. Sıcaklık gereğinden yüksek tutulursa, tane büyümesi gibi bir olgu ortaya çıkabilir. Örneğin, 600°C yerine 750°C'de tavlanan bir alfa alaşımının yüzeyinde portakal kabuğu şeklinde bir görünüm belirebilir. Bu, tanelerin belirgin bir şekilde büyüdüğünün bir işaretidir. Ayrıca, soğuk işlenmiş sarı pirinçlerin tavlanması, iç gerilimlerin neden olduğu gerilim çatlaklarını önlemek için de önemlidir.

Sarı pirinçlerde çinkosuzlaşma gibi bir durum da gözlemlenebilir. Bu durum, deniz suyu veya yüksek oksijen içeren ortamlarda ortaya çıkan bir tür korozyondur. Çinko alaşımdan seçici olarak çözünür ve geriye çinko olmayan bir bakır tabaka kalır. Bu tür korozyonu önlemek için, pirinçlere arsenik, antimon veya fosfor gibi katkı maddeleri eklenebilir.

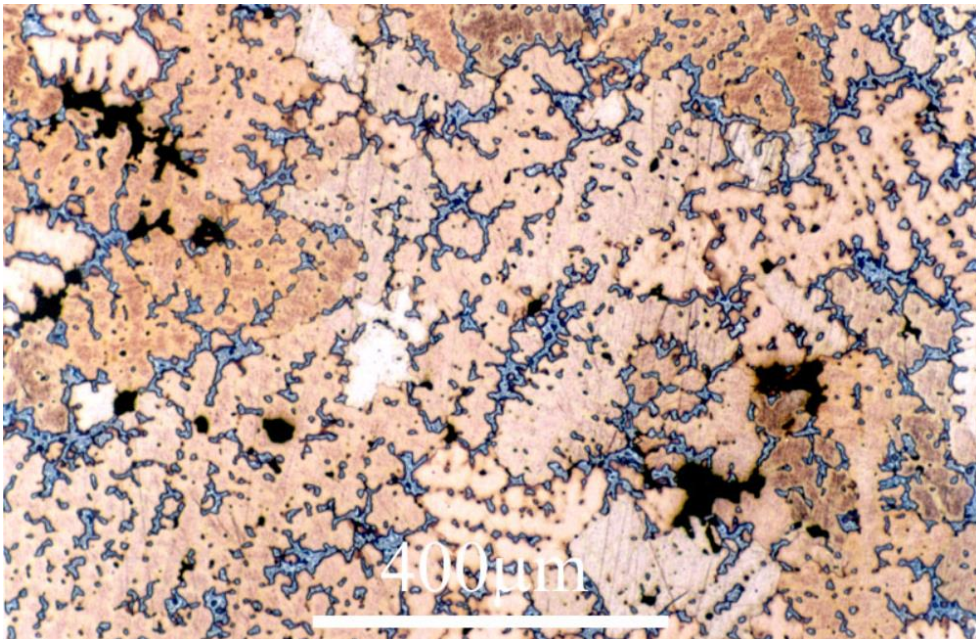
Fişek pirinci (Cartridge brass) ve Donanma metali gibi sarı alfa pirinç türleri, endüstriyel uygulamalarda yaygın olarak kullanılır. Cartridge brass, genellikle %70 Cu ve %30 Zn içeren bir alaşımdır ve kovan pirinci olarak bilinir. Donanma metali ise özel bir tür sarı pirinçtir ve içerisinde %71 Cu, %28 Zn ve %1 Sn bulunur. Bu tür pirinçler, mukavemeti artırmak için kalay katılır ve buharlı santrallerde ısı geçirgen borular için sıkça kullanılır. Ayrıca, alüminyum pirinci adı verilen bir başka tür de bulunur; bu pirinç türü, %76 Cu, %22 Zn ve %2 Al içerir ve yüzeyde oluşturduğu oksit filminden ötürü yenim direnci daha yüksektir.

2.3.1.2 Kızıl Pirinçler

Kızıl pirinçler genellikle %5 ile %20 arasında çinko içerirler ve genellikle gerilim çatlaması veya çinkosuzlaşma gibi sorunlarla karşılaşmaz. Bu özellikleri sayesinde elektrik işleri, kazan boruları gibi çeşitli endüstriyel uygulamalarda tercih edilirler.

Kızıl pirinçler arasında en yaygın olanlar, kaplama pirinci ve tecimsel pirinçtir. Kaplama pirinci genellikle %95 bakır ve %5 çinko içerir ve para, madalya, sigorta kapakları, amblemler gibi ürünlerde ve altın kaplamalı eşyaların üretiminde kullanılır. Tecimsel pirinç ise genellikle %90 bakır ve %10 çinko içerir ve soğuk veya sıcak işleme uygun bir yapıya sahiptir. Bayanların süslenme ve boya kutuları, ruj tüpleri, gemi malzemeleri, dövmele, perçinler ve vidalar gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır. Özellikle ağırlıkça %1.75 kurşun içeren bileşimi, vidalar için çok uygundur.

Süs pirinci ise genellikle %80 bakır ve %20 çinko içerir ve genellikle süs eşyası olarak kullanılan ürünlerde tercih edilir. Madalyalar, termostat körükleri, müzik aletleri ve derin çekme gerektiren diğer uygulamalar için ideal bir malzemedir. Bu tür pirinçler, estetik ve işlevsellik açısından çeşitli endüstrilerde kullanımıyla bilinirler.

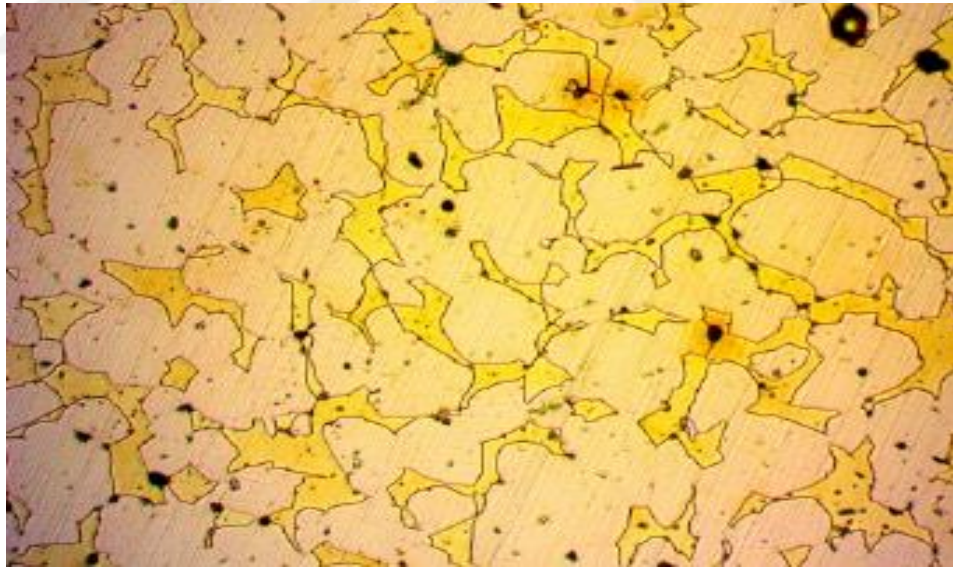


Şekil 2.2: Kızıl alfa pirinç mikroyapı görüntüsü [23].

2.3.2 Dublex Pirinçler

Dublex pirinçler, genellikle %54 ile %62 arasında bakır içerirler. Cu-Zn denge diyagramına bakıldığında, bu bileşimdeki alaşımların α ve β fazlarından oluştuğu görülür. Beta fazı, oda sıcaklığında alfa fazından daha sert ve kırılgandır, bu yüzden $\alpha + \beta$ pirinçlerinin soğuk işlenmesi α pirinçlerinden daha zordur. Ancak yüksek sıcaklıklara çıkıldığında, pirincin yapısında alfa fazı ve kolay işlenebilen β fazı oluşur. Bu nedenle, $\alpha + \beta$ pirinçlerine plastik şekil verme işlemi genellikle yüksek sıcaklıkta uygulanır.

Bu türün temel sıcak işlem alaşımı, %60 bakır ve %40 çinko içeren Muntz metalidir. Muntz metalinin yapısındaki alfa ve beta fazlarının oranı soğuma hızına bağlı olarak değişir. Hızlı soğuma durumunda, alfa fazının çökmesi engellenir ve beta fazı tane sınırlarına çöker. Muntz metalinde en iyi mekanik özellikler, alaşımın beta fazına kadar ısıtılması ve daha sonra yavaş soğutulmasıyla elde edilir. Alfa + beta pirinçlerine dövme, sıcak ekstrüzyon işlemleri uygulanır. Bu tür pirinçlerden civata, somun, conta, musluk gibi çeşitli ürünler elde edilir. Aşağıdaki şekilde dublex pirinç mikroyapısı görülebilir.



Şekil 2.3: Dublex pirinçler mikroyapı görüntüsü [24].

2.3.2.3 Bahriye Pirinci

Bahriye pirinçleri, %60 bakır, %39 çinko ve %1 kalay içeren bir bileşime sahiptir. Dayanımı ve direnci artırmak amacıyla Muntz metaline %1 kalay eklenerek elde

edilmiştir. Bahriye pirinci özellikle deniz suyu korozyonuna karşı dayanıklıdır ve genellikle gemi milleri, piston kolları, vana kapakları, kaynak çubukları, kondansör levhaları gibi denizcilik uygulamalarında kullanılır. Bileşimine %1.75 kurşun katıldığında işlenebilirliği önemli ölçüde artar, bu da çeşitli endüstriyel işlemlerde daha esnek bir kullanım sağlar. Bu özelliklerle, bahriye pirinci endüstriyel ve denizcilik sektörlerinde güvenilir ve etkili bir malzeme olarak kabul edilir.

2.3.2.4 Otomat Pirinci

İşlenebilirliği en yüksek olan pirinç alaşımlarıdır. %61,5 Cu, %5,5 Zn, %3 Pb bileşiminden oluşmaktadır.

2.3.2.5 Dövme Pirinçleri

Pirinç alaşımları arasında en rahat sıcak işlenebilir özellikteki pirinç alaşımlarıdır. Bileşimi %60 Cu, % 9 Zn, %2 Pb'dan oluşur.

2.3.2.6 Mangan Pirinçleri

Mangan pirinçleri yüksek mukavemet ve aşınma dayanımlarıyla bilinirler. Özellikle miller, vana kapakları, ekstrüzyon uygulamaları ve debriyaj balataalarında kullanılırlar. %58,5 Cu, %38 Zn, % 1,4 Fe, %1 Sn ve % 0,1 Mn bileşiminden oluşurlar.

2.3.3 Yüksek Mukavemetli Pirinçler

Pirincin mekanik özelliklerini artırmak için, bakır ve çinko dışında nikel, mangan, demir, kalay veya silisyum gibi elementler eklenerek özel pirinç adı verilen alaşımlar oluşturulabilir. Bu ek elementlerin toplam miktarı genellikle %5'i geçmez. Bu elementler, uzama özelliklerini fazla etkilemeden çekme mukavemetini artırır. Çeşitli elementlerin bir arada bulunduğu bu alaşımlara yüksek mukavemetli pirinçler denir. Örneğin, mangan tuncunda kalay veya alüminyumun katkısı daha yaygındır. Bu tür alaşımlar genellikle gemi uskurları gibi özel uygulama alanlarında kullanılır. Gözeneksiz dökümler ve dövme parçalara eşdeğer mekanik özellikler sunmaları, bu alaşımların önemli bir avantajıdır. Bu nedenle, dayanımın kritik olduğu her türlü uygulamada kullanılabilirler [12].

2.4 Alaşım Elementleri ve Etkileri

Pirinçlerin istenen mekanik ve korozyon dayanımı özelliklerine ulaştırılabilmesi için Cu ve Zn elementlerinin yanında diğer alaşım elementleri de eklenmektedir. Genel sınırları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir.

Çizelge 2.1: Pirinç alaşımlarına eklenen alaşım elementleri (%ağ.).

Sn	Pb	Ni	Mn	Fe	Al	Si	P	Sb	As
≤ 1 %	≤ 3 %	≤ 1 %	≤ 1 %	≤ 1 %	≤ 2 %	≤ 3 %	≤ 0.1 %	≤ 0.1 %	≤ 0.1 %

2.4.1 Alüminyum (Al)

Pirinç alaşımlarına alüminyum ilavesi ağırlıkça %2' ye kadar yapılmaktadır. Mekanik özellikleri etkilemektedir, pirinç alaşımının sertliğinde ve mukavemetinde artışa sebep olmaktadır. β fazının stabilizasyonuna katkı sağlar. Ek olarak tane boyutunu ayarlamak için kullanılır. Alüminyum ilavesi, malzeme yüzeyinde Al_2O_3 oksit filmi oluşturarak korozyon direncini artırır [13].

2.4.2 Demir (Fe) ve Mangan (Mn)

Demir ve mangan elementlerinin kullanımı duplex pirinçlerde yaygındır. Bu elementlerin ilavesi, sünekiği fazla etkilemeden çekme dayanımını ve sertliği artırır. Ancak çok düşük oranlarda demir ilavesinin β fazlı pirinçlerde çinkosuzlaşma korozyonunu hızlandığı görülmüştür. β fazlı demir bulunan pirinçlerde demir bulunmayanlara göre daha fazla korozyona uğradığı bilinmektedir. Benzer bulgular mangan için de geçerlidir. Demir ilavesiyle görülen korozyon miktarına nazaran Manganolu pirinçlerde korozyonun daha az olduğu görülmüştür. Ek olarak demir, arsenik ile intermetalik oluşturur ve korozyondan koruma sağlayabilir [1].

2.4.3 Nikel (Ni)

Nikel, pirinç alaşımlarında süneklığe fazla olumsuz etkisi olmadan sertliği ve çekme dayanımını arttırıcı etki yapar. Ek olarak, pirincin yüksek sıcaklık mekanik

özelliklerini iyileştirir. Nikel pirinç alaşımlarında çinkosuzlaşmanın yavaşlamasına katkı sağlar [14].

2.4.4 Arsenik (As)

Düşük arsenik ilavesinin bile malzemenin korozyon dayanımını ciid oranda arttırdığı bilinmektedir. Arsenik içeren pirinç alaşımları çinkozulaşmaya dirençli pirinç alaşımları olarak bilinmektedir. Arsenik, α fazı içinde çözünmekte ve malzemeyi korozyondan korumaktadır. Arsenik elementinin iyileştirici etkileri duplex pirinçlerde görülmemiştir. Ek olarak arsenik elementi diğer elementlerle intermetalik yaparak çinkosuzlaşma direncine olumsuz etki edebilmektedir [13].

2.4.5 Silisyum (Si)

Pirinç alaşımlarında silisyum ilavesi, sürünme davranışına ve çekme dayanımına arttırıcı etki etmektedir. Pirinç alaşımlarında Mangan ve Silisyum ile alaşımlandırma çok yaygındır. Bu elementler çok sert intermetalik oluşturmaktadır ve malzemenin sürünme dayanımını geliştirmektedir. β fazının stabilizasyonuna yol açar ve çinkosuzlaşmaya negatif etki edebilir. Ancak bu durum pirinç alaşımına, içerdği alaşım elementlerine bağlı olarak değişmektedir. Ek olarak yüksek silisyum ilavesi α , β ve γ fazlarının yanında κ fazının oluşmasına yol açmaktadır. κ fazı hekzagonal yapıda olup silisyumca zengin bir fazdır. Alaşımın çekme dayanımını ve sertliğini arttırmaktadır. Silisyum ilavesi, istenmeyen demir arsenik intermetalığının oluşmasını engellemektedir [9].

2.4.6 Kalay (Sn)

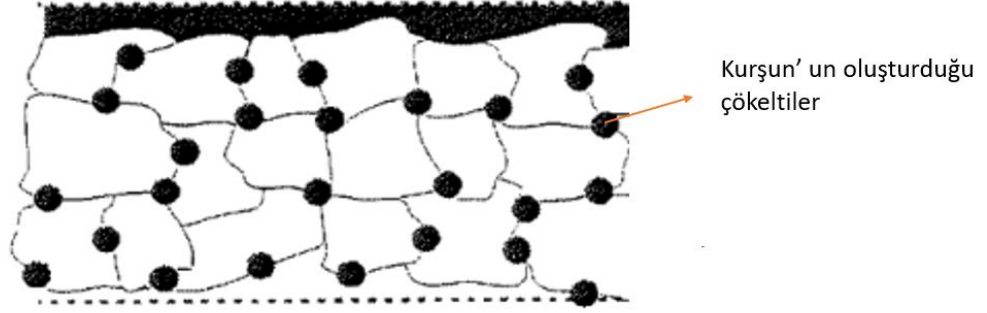
Kalay, pirinç alaşımlarına korozyon dayanımını iyileştirmek için ilave edilir. Malzemenin sertliğini ve çekme mukavemetini artırır [10].

2.4.7 Antimon (Sb) ve Fosfat (P)

Antimon ve fosfat ilaveleri korozyon dayanımını arttırıcı etki yapar. Arsenik ile benzer olarak α fazı içerisinde çözünür ve korozyon dayanımını artırır. Ancak diğer elementlerle intermetalik yapabilir ve korozyon dayanımına negatif etki edebilirler [14].

2.4.8 Kurşun (Pb)

Kurşun pirinç alaşımlarına ilave edilen alaşım elementleri arasında en bilinenlerden biridir. İşlenebilirliği kolaylaştırıcı etki yapar. Kurşun, pirinç alaşımları içerisinde çözünebilir değildir dolayısıyla Cu ve Zn ile katı çözelti oluşturmaz. Bu durum katılaşma sırasında çökeltilerin oluşmasına sebep olur. Pb çökelti hem tane sınırlarında hem de ortalarında bulunur. Pb ilavesi pirincin dökülebilirliğini ve işlenebilirliğini kolaylaştırır ancak sertlik ve çekme dayanımına etki etmez. Pirinç alaşımlarına bağlı olarak değişmekle beraber Pb ilavesi çinkosuzlaşmayı kolaylaştıran ve zorlaştıran etki yapabilmektedir. Ancak, içme suyu sistemlerinde kurşun içeren pirinç alaşımlarının kullanılması sağlık riskleri oluşturduğundan dolayı %0.2' den az olarak alaşımlarda bulunmaktadır [10].



Şekil 2.4: Kurşun içeren pirinç alaşımlarında görülen çökelti şablonu [25].



3. KOROZYON

Korozyon, kimyasal ve elektrokimyasal olmak üzere iki temel şekilde meydana gelir. Kimyasal korozyon, metal ve alaşımların doğrudan ortam veya gazlarla reaksiyonudur ve genellikle kuru bir ortamda gerçekleşir. Bu tip korozyonun en tipik örneği oksitlenme olayıdır. Özellikle yüksek sıcaklıklarda, türbin kanatları gibi yüksek sıcaklıkta çalışan makine elemanları kimyasal korozyona uğrayabilirler. Demirin kimyasal korozyonunda, Fe_3O_4 , Fe_2O_3 ve FeO gibi oksitler belirgin bir rol oynar.

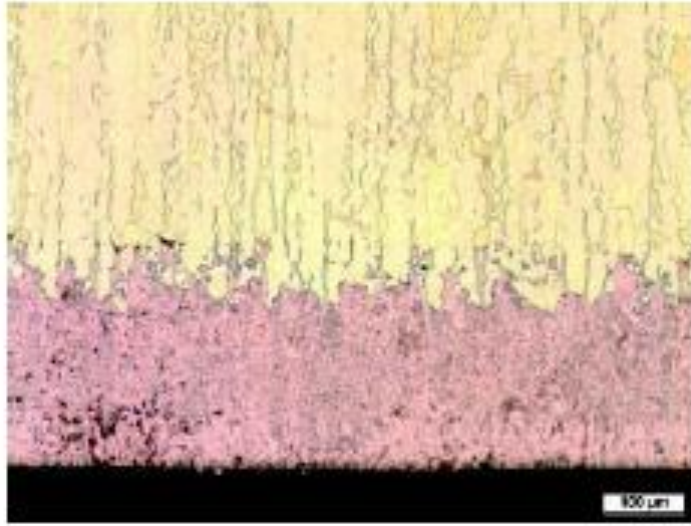
Elektrokimyasal korozyon ise metal ve alaşımların sulu ortamlarda meydana gelen korozyonudur. Bu tür korozyonun gerçekleşebilmesi için elektrik akımının iletebileceği bir elektrolit ortamının bulunması gerekir. Elektrolit, asit, baz ve tuzların suda çözünmüş haliyle bulunabilir. Örneğin, bir metal elektrotun kendi tuzunun sulu çözeltisine daldırılmasıyla atomların dış yörüngesindeki elektronlar serbest hale gelir ve bu da yüklü metal iyonlarının oluşumuna yol açar [15].

Korozyon tepkimeleri, metallerin termodinamik kararsızlığından veya dış akımların etkisiyle gerçekleşir. Metal korozyonu, anodik veya katodik tepkimelerle kontrol edilsin, genellikle korozyon hızı, yük aktarım basamağıyla sınırlıdır. Metal iyonları oluştuğunda, elektrik devresi tamamlanarak sürekli bir akım yolu sağlanır [16].

Pirinçler, yüksek oranda değerli bir metal olan Cu içermeleri nedeniyle iyi bir korozyon direncine sahip oldukları bilinir. Ancak, pirinç aynı zamanda daha az değerli bir metal olan Zn'yi önemli miktarda içerir. Bir değerli metal, bu durumda Cu, daha az değerli bir metal olan Zn ile etkileşime girdiğinde, Zn tercihen daha hızlı korozyona uğrayacak ve çözeltiye göç edecektir. Pirinçte, bu korozyon mekanizması çinkosuzlaşma olarak adlandırılır. Pirinç için çinkosuzlaşma (alaşım ayrışması), gerilme korozyon çatlaması ve taneler arası korozyon gibi farklı korozyon formları gözlemlenir. Bu tezde, içme suyu sistemlerinde kullanılan pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma davranışları incelenmiştir [10].

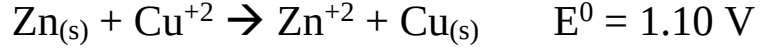
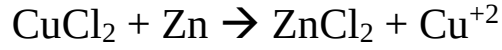
3.1 inkosuzlaşma

Pirincin inkosuzlaşması, zamanla zengin gözenekli bir Cu matrisi bırakır ve Zn' nin malzemedan ayrılmasıyla oluşur. Zn'nin malzemedan ayrılması nedeniyle, bakır oksitleri gibi farklı Cu-zengin korozyon ürünleri, örneğın su sistemlerinde (vanalar ve bağlantı parçaları gibi), yüzeyde yavaş yavaş oluşur ve hakim olur. Sonuç olarak, pembe bir yüzey görünümü gözlemlenebilir ve mekanik özellikler kötü etkilenir, bu da zamanla çatlaklara ve malzemenin başarısızlığına yol açar. inkosuzlaşma, sızıntı yapan muslukların arkasındaki ana nedenlerden biridir ve pirinç alaşımlarının uygulamalarını sınırlar. Alaşımanın içerdığı Zn miktarı ne kadar yüksek olursa, çinkosuzlaşma riski o kadar yüksek olur [10].



Şekil 3.1: Uniform inkosuzlaşma örneğı.

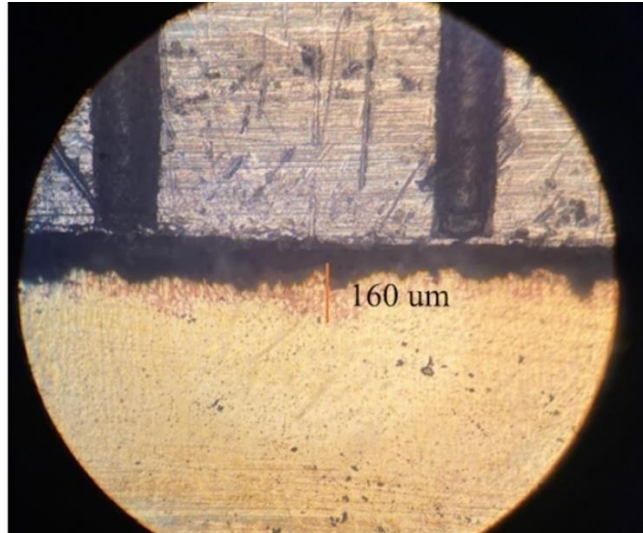
Standart elektrot potansiyeline göre reaksiyon gerçekleşmektedir. Bakırın inkodan daha soy bir metal olduğu ellingham diyagramlarından görülebilir. Bu durumda CuCl_2 çözeltisindeki klor, daha az soy olan çinkoya doğru giderek bakır indirgemektedir. Çinko klor ile bileşik yaparak alaşımdan çinkoyu uzaklaştırmaktadır. Sonrasında serbest kalan bakır malzeme üzerinde birikmekte ve bakırca zengin bir tabaka oluşturmaktadır.



Şekil 3.2: Çinkosuzlaşma reaksiyonları.

3.1.1 Çinkosuzlaşma Tipleri

Çinkosuzlaşma süreçlerinin iki türü vardır: seçici çinkosuzlaşma ve uniform çinkosuzlaşma. Seçici çinkosuzlaşmada, genellikle herhangi bir büyük ölçüde korozyondan etkilenmeyen yüzeylerde meydana gelir ve örneğin vanaların ve bağlantı parçalarının yan yüzeylerinde gözlemlenebilir. Seçici çinkosuzlaşmanın yarattığı problem, yanlardan geçişin su sızıntısına ve malzemenin mekanik dayanıklılığının azalmasına neden olmasıdır. Uniform çinkosuzlaşma, ürünün daha geniş bir yüzey alanından Zn' nin göçünü içerir. Sonuç olarak, vananın veya bağlantı parçasının duvar kalınlığı azalır ve mekanik stres altında kırılma olasılığı artar.



Şekil 3.3: Seçici çinkosuzlaşma örneği.

3.1.2 Çinkosuzlaşma Mekanizmaları

Çinkosuzlaşmanın baskın mekanizmaları ve yapıların karakterizasyonu hakkında birçok teori bulunmaktadır. İki ana mekanizma baskındır: seçici çözünme ve çözünme-yeniden birleşme. Seçici çözünme, Cu'nun elektrokimyasal katılımı olmadan Zn' nin bir sürecini temsil eder. En yaygın seçici çözünme teorileri arasında yüzey difüzyonu, Zn/Cu' nun hacim difüzyonu ve perkolasyon mekanizması bulunmaktadır. Yüksek klorür konsantrasyonuna sahip suya veya CO₂' ye maruz kalan duplex $\alpha + \beta$ pirinç alaşımlarının, bu tür çinkosuzlaşmaya en muhtemel olarak uğradığı düşünülmektedir. Bunun aksine, Cu'nun çözünme-yeniden birleşme teorisi, hem Cu hem de Zn'nin çözünmesini içerir. Bu süreç, daha değerli olan Cu' nun, korozyon ürünleri oluşturarak alaşımın yüzeyine yeniden birikmesiyle oluşur. Sonuç olarak, yetersiz bir Cu tabakası oluşur [17].

3.1.3 Çinkosuzlaşmadan Korunma

Çinkosuzlaşmanın önlenmesi, pirincin metalurjik mikroyapısının tasarlanmasıyla başlıca olarak gerçekleştirilir ve bunun için ilk bölümde bahsedilen bazı alaşım elementlerinin eklenmesi gerekmektedir. As ve P, Cu²⁺ iyonlarını Cu⁺ iyonlarına indirgeyerek Cu'nun yeniden birleşmesini engelleme yetenekleri nedeniyle çinkosuzlaşmaya karşı olumlu etki yaparlar. Bu elementlerin alaşıma eklenmesiyle gözlenen gelişmiş çinkosuzlaşma direnci çoğunlukla α -pirinçlerinde gözlenir. As, duplex $\alpha + \beta$ pirinçlerinde de olumlu etkiler gösterir ve çinkosuzlaşmayı önlemenin başka bir yolu olan Sb'nin eklenmesidir. Ancak, hem As hem de Sb toksik elementlerdir ve bu nedenle çok az miktarlarda kullanılırlar. Sn ve Al eklenmesi, özellikle Sn eklenmesi durumunda Ni ile birlikte, duplex $\alpha + \beta$ pirinçlerinde çinkosuzlaşma direncini artırır. Bu elementlerin olumlu etkisinin nedeni, Sn için koruyucu bir film olan SnO₂ filmi ve Al için Al₂O₃ filmi oluşturmalarıdır. Aynı durum, 0,05 ağırlıkça P içeren ve ağırlıkça %3 ağırlıkça Si içeren kurşunsuz pirinçler için de geçerlidir ve bu durumda Si-zengin koruyucu bir oksit oluşur [9]. Pratik olarak, çinkosuzlaşma yüksek sıcaklıklar, klorürlerin varlığı ve durgun su tarafından teşvik edilir. Bununla birlikte, bu çevresel faktörleri sınırlamak zor olabilir. Çinkosuzlaşmayı önlemenin en basit yolu, çinkosuzlaşmaya dirençli bir pirinç alaşımını seçmektir. Çinkosuzlaşmaya duyarlılık, Zn içeriği ve α -fazının varlığı

tarafından etkilenir. Daha az duyarlı alaşımlar daha az Zn içerir ve %85 ağırlıkça üzerindeki Cu konsantrasyonuna sahip alaşımların çinkosuzlaşmaya karşı bağımsızlık kazandığı iddia edilir. En az duyarlı alaşımlar saf α -faz içerir çünkü β -fazı çinkosuzlaşmaya en duyarlı olanıdır. Yukarıda bahsedilen As, P veya Sb'nin eklenmesi, α -fazını daha az duyarlı hale getirebilir. Her iki fazı da içeren alaşımlar, duplex $\alpha + \beta$ pirinçler, sürekli bir ağ oluşturmak yerine izole parçalar halinde olmalıdır. Bu, korozyon penetrasyonunu sürekli bir β -faz ağıyla engellemek için termomekanik işlemlerle yapılabilir. Son olarak, β fazı içeren pirinç alaşımları ısıtılma işlemi ile α fazına dönüştürülebilir ve malzemenin çinkosuzlaşma direnci artırılabilir [10].

3.2 Diğer Korozyon Tipleri

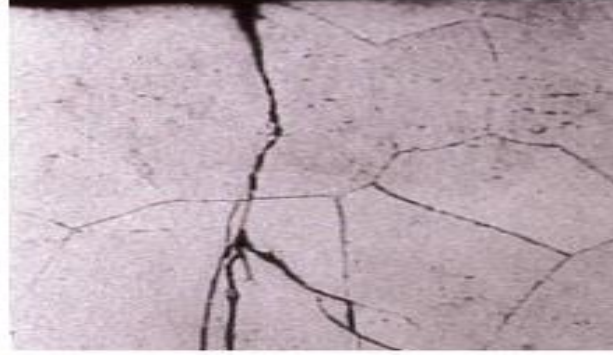
3.2.1 Gerilmeli Korozyon

Gerilmeli korozyon, iç veya dış gerilmelerden kaynaklanır; örneğin, kurulumdan kaynaklanan gerilim stresi veya malzemenin eşitsiz soğumasından kaynaklanan iç stres. Gerilmeli korozyon, strese dik olarak dağılır ve yüzeyde herhangi bir belirti görülmediği için sıklıkla tespit edilmesi zordur.

Soğuk şekillendirilmiş ve yaklaşık % 15'ten fazla çinko içeren α pirinçler, oksijen ve nemin varlığında sınırlı miktarda amonyakla temas ettiğinde gerilmeli korozyon çatlamasına karşı hassas hale gelirler. Bu tür çatlamalar genellikle tane sınırları boyunca meydana gelir ve alfa (α) pirinçlerinde görülür. Alaşım aşırı derecede plastik olarak deforme edildiğinde, çatlaklar tanelerin içine doğru ilerleyebilir. Gerilim çatlaklarını azaltmak için, soğuk şekillendirilmiş pirinçlerde düşük sıcaklıkta gerilim giderme işlemi uygulanabilir.

Bu korozyon türüyle oluşan çatlaklar lekeli veya parlak olabilir ve yavaş veya hızlı bir şekilde meydana gelebilir. Çatlaklar genellikle çekme gerilimi yönünde oluşur. Örneğin, gerilim giderme tavlama yapılmamış içi boş çubuklarda, test sonuçları boyunca çatlaklar görülebilir. Soğuk eğilme yapılmış borularda, eğilmiş yerin yanında yönsüz bir çatlak oluşabilir. Eğer malzeme üzerinde bir işlem yapılıyorsa, işlem yapılan bölgenin yanında gerilmeli korozyon çatlakları oluşabilir

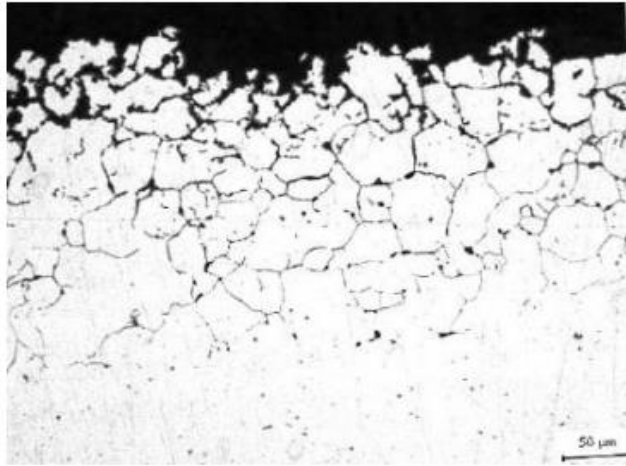
Gerilmeli korozyonu önlemek için malzeme, 350 - 400°C'de iki saat boyunca gerilim giderme tavlamasına tabii tutulabilir. Bu prosedür, iç stres gradyanını düzleştirir [21].



Şekil 3.4: Gerilmeli korozyon uğramış pirinç malzemesi mikroyapısı [25].

3.2.2 Taneler Arası Korozyon

Taneler arası korozyon, korozyonun tane sınırlarında meydana geldiği durumdur. Empüriteler, tane sınırlarında bir araya gelme eğilimindedir ve bu da korozyon direncinin azalmasına neden olur. Örneğin, çinkosuzlaşma direnci olan pirinçte Fe bulunuyorsa, As ile intermetalik bileşikler oluşturabilir ve çinkosuzlaşma direncini azaltabilir. Bu genellikle tane sınırlarında meydana geldiğinden, taneler arası korozyona yani bölgesel çinkosuzlaşmaya sebep olmaktadır.



Şekil 3.5: Taneler arası korozyona uğramış pirinç malzeme mikroyapısı [25].

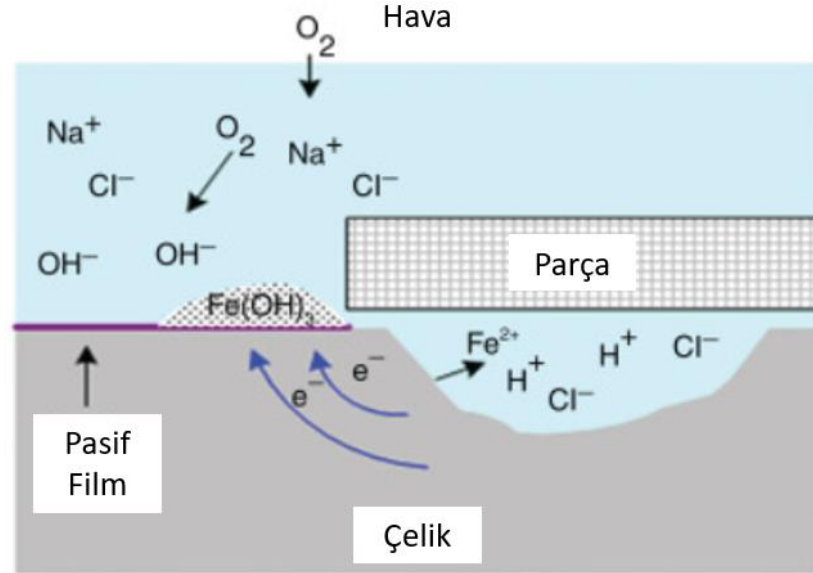
3.2.3 Aralık Korozyonu

Korozyonun belirli dar bölgelerde yoğunlaşmasıyla ortaya çıkan bir bozunma türü, aralık korozyonu olarak bilinir. Dar bölge korozyonu olarak da adlandırılan bu tür korozyonun oluşabilmesi için, aralıkların ortamın girmesine izin verecek kadar geniş olması, ancak gerekli tıkanıklığın da sağlanabilmesi için yeterince dar olması gerekmektedir.

Aralık korozyonu genellikle sızdırmazlığı yetersiz veya zayıf olan boru flanşlarında, cıvata somun bağlantılarında ve sıvı ortamlarda çalışan bağlantılı tesisat ekipmanlarında görülür. Bu tür korozyon, genellikle aralıktaki durgun alanda oluşan korozyon ortamında sürekli kimyasal değişimlerin meydana gelmesiyle tetiklenir.

Bakır alaşımlarında sıkça görülen bir korozyon türü olmasına rağmen, paslanmaz çelikler, alüminyum ve alüminyum alaşımları da deniz suyu ortamında aralık korozyonundan olumsuz etkilenebilirler.

Bu tür korozyonun önlenmesinde en etkili yol, inşaatta aralıkların mümkün olduğunca azaltılması, mümkünse aralıkların tamamen ortadan kaldırılması ve yalıtım yapılmasıdır [20].



Şekil 3.6: Aralık korozyonu şematik gösterimi [26].

3.2.4 Erozyon Korozyonu

Bakır malzemelerde sıkça karşılaşılan bir korozyon tipi olan erozyon korozyonu, genellikle yer yer görülen çıplak bakır yüzeylerinin tipik bir görünümüyle kendini gösterir. Bu korozyon türünde, koruyucu oksit tabakası yüksek akış hızına sahip bir akışkan tarafından sökülür ve çıplak bakır yüzeyi açığa çıkar. Erozyon korozyonu, yüksek akış hızıyla ortaya çıkan ve akışkanın akış hızının azaltılmasıyla engellenebilen bir korozyon tipidir.

Türbülanslı akışla gelişen erozyon korozyonu, metal kaybına neden olur ve bakır ve alaşımları dışında diğer metal alaşımlarında da sıkça görülür. Özellikle koruyucu film tabakasıyla kaplı alaşımlarda, koruyucu tabakanın kendini onarma yeteneğine sahip olmadığı durumlarda erozyon korozyonu ciddi hasarlara yol açabilir. Akışkan hızının artması ve akışkanın katı tanecikler içermesi, erozyon korozyonunu artırıcı faktörlerdir.

Erozyon korozyonu genellikle boru hatlarının dirseklerinde, bükülme noktalarında ve ani çap değişikliklerinin olduğu bölgelerde meydana gelir. Vanalar, pompalar ve pervaneler gibi ekipmanlar bu korozyon tipine sıkça maruz kalır. Erozyon korozyonunu önlemek için, akışkanın türbülanslı akmasını engelleyen tasarım çalışmaları yapmak ve akışkanın katı partiküller içermesini önlemek temel önlemlerdir [19].



Şekil 3.7: Erozyon korozyonuna uğramış bakır boru kesit görüntüsü.

3.2.5 Oyuklanma Korozyonu

Oyuklanma korozyonu, özellikle halojen içeren ortamlarda görülen bir korozyon türüdür. Bu tür korozyon, bakır ve bakır alaşımlarının yüzeyinde çukurcuklar şeklinde gelişir ve oldukça tehlikeli hasarlara neden olabilir. Metal yüzeyinde oluşan çukurcuklar, karıncalanmaya benzer bir görünüm ortaya çıkarır. Bu çukurcukların çapı, derinliği ve sıklığı, korozyon ortamının etkinliğine bağlıdır. Özellikle halojen içeren çözeltiler, atık sular, tuzlu su ve çamaşır suyu gibi kimyasal ağartıcılar, çukurcuk korozyonu oluşumunu hızlandıran etkenlerdir. Oyuklanma korozyonunda, metal kaybı genellikle az olmasına rağmen çukurcuklar hızla derinleşir ve malzeme kısa sürede delinerek veya parçalanarak kullanılamaz hale gelir. Bu tür korozyona özellikle halojen içeren kimyasal maddelerin taşındığı borularda sıkça rastlanır [7].

3.2.6 Galvanik Korozyon

Korozyon ortamları, iyon iletkeni özellikte oldukları için farklı metallerden oluşan malzemeler bir galvanik devre oluşturur ve bu devrede korozyon meydana gelir. Bu pil devresinde anodik davranış gösteren metal korozyona uğrar.

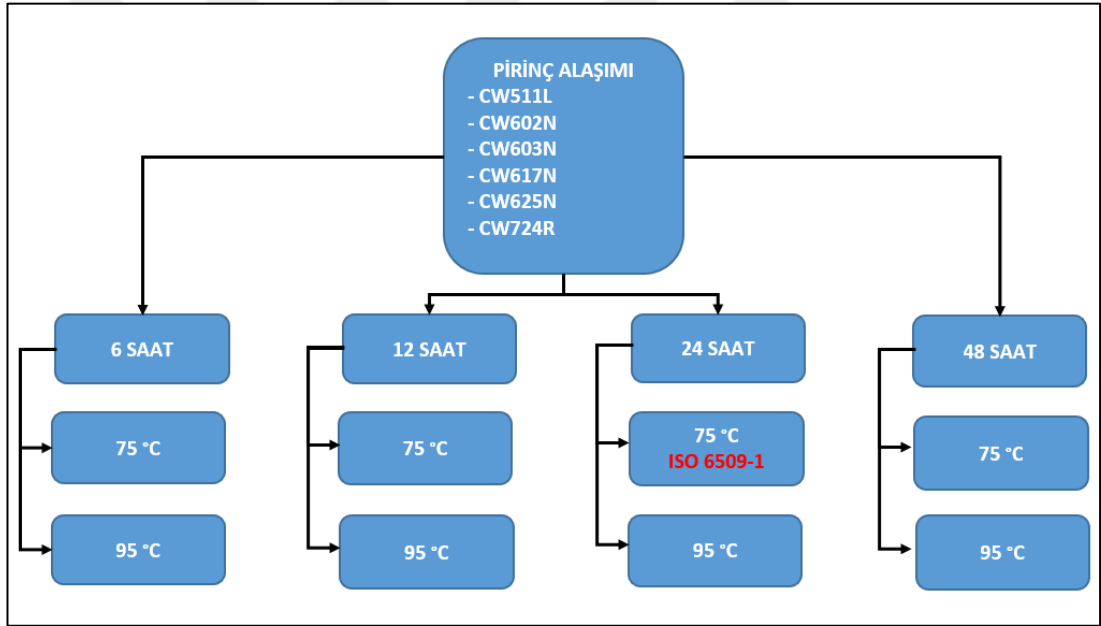
Pil veya galvanik hücre ile hangi metalin korozyona uğrayacağı, metallerin elektromotor kuvvet (EMF) serisinden anlaşılabilir. Galvanik korozyonu önlemek için metalik malzemelerin seçimi önemlidir; yani aralarında en az EMF farkı olan metaller tercih edilmelidir. Bu önlem yeterli olmadığında, metaller arasında iyi bir yalıtım tabakası oluşturulmalı, korozyona maruz kalacak kısımlar daha kalın cidarlı yapılmalı ve kolayca değiştirilebilir tasarımlar tercih edilmelidir. Bu önlemler, galvanik korozyonu önlemek için alınabilecek tedbirler arasındadır [18].



4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

6 farklı pirinç alaşımı üzerinde, 75°C ve 95°C olmak üzere iki farklı sıcaklık ve 6 saat, 12 saat, 24 saat, 48 saat olmak üzere dört farklı süre ile çalışılmıştır. Toplam 48 numuneye ISO 6509-1 standardına göre korozyon deneyleri yapılmıştır. Akabinde optik mikroskop, SEM/EDS deneyleri yapılarak karakterizasyon çalışmaları yapılmıştır. Aşağıdaki çizelgede deney setleri parametreleri verilmiştir.

Çizelge 4.1: Deney setleri şeması.



4.1 Deneylerde Kullanılan Malzemeler

Farklı kimyasal kompozisyonlarda tedarik edilen pirinç çubuklar üzerinde çalışılmıştır. Pirinç alaşımları ticari isimlerine göre isimlendirilmiştir. Deneyde kullanılan pirinç alaşımları CW511L, CW602N, CW603N, CW617N, CW625N, CW724R isimleriyle kodlandırılmış ve deneyde takip edilmiştir. Alaşımlar çubuk ve altı köşe olarak tedarik edilmiştir. Çizelge 4.2’ de deneyde kullanılan pirinç çubukların kimyasal kompozisyonları verilmektedir.

Çizelge 4.2: Numune setlerine ait % ağırlıkça kimyasal bileşimler.

Parametre	% Ağırlıkça Kimyasal Bileşim									
	Cu	Sn	Pb	Zn	Ni	Mn	Fe	Al	Si	As
CW511L	Denge	0.040	0.174	37.850	0.023	0.001	0.106	0.013	0.003	0.097
CW602N	Denge	0.060	1.733	36.530	0.030	0.001	0.110	0.007	0.003	0.062
CW603N	Denge	0.123	2.927	36.800	0.041	0.001	0.136	0.001	0.001	0.006
CW617N	Denge	0.196	1.942	39.980	0.120	0.004	0.263	0.001	0.006	0.007
CW625N	Denge	0.038	1.328	34.180	0.007	0.001	0.029	0.602	0.021	0.044
CW724R	Denge	0.001	0.062	20.190	0.005	0.001	0.033	0.001	3.067	0.001

Deneyler için tedarik edilen pirinç çubuklar, alaşımların isimleriyle birlikte Çizelge 4.3' te verilmiştir.

Çizelge 4.3: Tedarik edilen pirinç çubuk görselleri.

Alaşım İsimleri	Alaşım Görselleri
CW511L	
CW602N	
CW603N	
CW617N	
CW625N	
CW724R	

4.2 Deneylerde Kullanılan Cihazlar

Her bir alaşıma ait çubuk veya altı köşelerden 8 adet 10mm x 10mm x 10mm numune el testeresiyle kesilmiştir. Numuneler sonrasında 6 'lı gruplarla bakalite alınmıştır. Numuneler üzerine numarator ile ait olduğu deney seti ve kimyasal bileşimi yazılmıştır.



Şekil 4.1: Zımparalama ve parlatma cihazı.

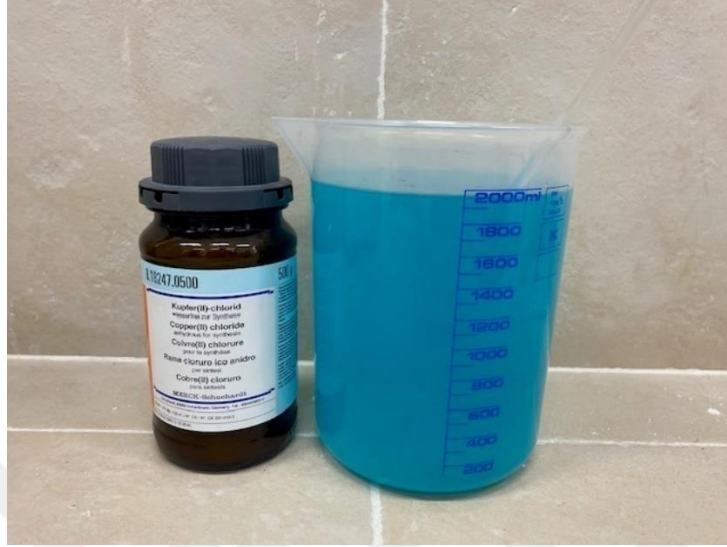
Numuneler MTDI FOBOS-200S marka zımpara makinesiyle sırasıyla 60, 300, 600, 1000, 2400 gridlik zımparalarla 250 ve 500 devir/dk ile zımparalanıp parlatılmıştır.



Şekil 4.2: Tartı.

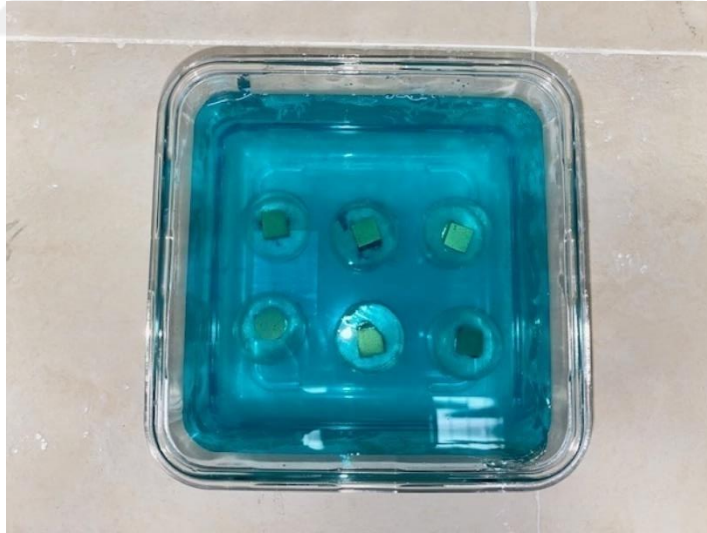
Korozyon deneyleri için ISO 6509-1 standardı referans alınmıştır. Standartta tanımlandığı şekilde çözelti hazırlanmış ve numuneler üzerinde deney yapılmıştır.

Çözelti hazırlamak için saf su ve Merck-Schuchardt marka CuCl_2 tozu kullanılmıştır. Tartımlar Mettler PJ400 marka hassas tartıda yapılmıştır.



Şekil 4.3: Merck-Schuchardt marka CuCl_2 tozu ve çözelti.

Plastik kap içerisinde hazır bulunan DI su içerisine CuCl_2 tozu eklenmiş ve karıştırılmıştır.



Şekil 4.4: Numune kabı.

Her bir deney setinin asit çözeltisi içerisinde etüve konuşabilmesi için 800cc hacminde içerisine hava geçirmeyecek şekilde ağzı kapatılabilecek cam kap kullanılmıştır.



Şekil 4.5: Etüv.

Deney setlerinde bulunan sıcaklıklarda deneyi gerçekleştirebilmek için Heraeus marka laboratuvar tipi etüv kullanılmıştır. Etüv deney öncesinde ısıtılıp deney kabı sıcak etüve konulmuştur. Deney sıcaklıkları 75°C ve 95°C olarak uygulanmıştır.



Şekil 4.6: Optik mikroskop.

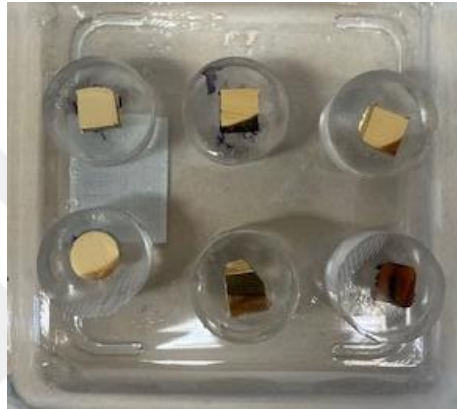
Zeiss marka AX10 optik mikroskopuyla çinkosuzlaşma derinlikleri incelenmiştir. Çinkosuzlaşma derinliğine göre 50X, 100X ve 200X büyütmelerde görüntüler alınarak derinlikler ölçülmüştür.

Çinkosuzlaşmaya uğrayan numunelerin çinkosuzlaşma miktarlarının belirlenmesi, yapıdan uzaklaşan çinko miktarının analizi için İTÜ Metalurji ve Malzeme Mühendisliği bünyesinde bulunan JEOL JSM 7000F marka taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır.

4.3 Deneylerin Yapılışı

4.3.1 Deney Numunelerinin Hazırlanması

Pirinç malzemeler çubuk veya altı köşe olarak tedarik edildikten sonra testereyle ISO 6509-1 standardına göre deney yapılacak yüzey alanı 100 mm² olacak şekilde kesilmiştir. Yüksekliği 10mm olacak şekilde kesilmiştir. Toplam 48 adet numuneyle çalışılmıştır. Kesilen numuneler bakalite alınmıştır. Numuneler sırasıyla 60, 300, 600, 1000, 2400 gridlik zımparalarla zımparalandıktan sonra 1 mikronluk Silisyum karbür solüsyonu kullanılarak parlatılmıştır.



Şekil 4.7: Bakalite alınmış ve parlatılmış numuneler.

4.3.2 CuCl₂ Çözeltisinin Hazırlanması

2000cc DI su içerisine 25,4 g CuCl₂ tozu ilave edilmiştir. Tozlar DI su içerisinde çözünene kadar plastik kap içerisinde karıştırılmıştır. Her 6 numuneye 800cc çözelti kullanılacak şekilde ayarlama yapılmıştır.

4.3.3 75°C’ de Korozyon Deneylerinin Yapılması

Bakalite alınan numuneler 6’ şar gruplar halinde kaba konulmuştur. Kap içerisine hazırlanan çözelti 800cc hacminde konulmuştur. Her deney setinde 6 numune için 800cc çözelti kullanılmıştır. Sonrasında deney kabının kapağı kapatılarak hava almayacak şekilde alüminyum folyo bandı ile sarılmıştır. Etüv 75°C’ ye ısıtılmıştır. 75°C’lik fırına ilk aşamada 6 saatlik deney seti yerleştirilmiştir. 6 saat sonunda numuneler etüvde çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonrasında deney kabı açılmıştır. Numuneler maşa ile içerisinde alınmıştır ve alkol ile yüzeyleri asitten

arındırılmıştır. Sonrasında kap yıkanmıştır. Sonraki aşamalarda aynı işlem 12 saatlik, 24 saatlik ve 48 saatlik deney setleri için yapılmıştır.

4.3.4 95°C’ de Korozyon Deneylerinin Yapılması

Bakalite alınan numuneler 6’ şar gruplar halinde kaba konulmuştur. Kap içerisine hazırlanan çözelti 800cc hacminde konulmuştur. Her deney setinde 6 numune için 800cc çözelti kullanılmıştır. Sonrasında deney kabının kapağı kapatılarak hava almayacak şekilde alüminyum folyo bandı ile sarılmıştır. Etüv 95°C’ ye ısıtılmıştır. 95°C’ lik fırına ilk aşamada 6 saatlik deney seti yerleştirilmiştir. 6 saat sonunda numuneler etüvde çıkarılarak soğumaya bırakılmıştır. Soğuma sonrasında deney kabı açılmıştır. Numuneler maşa ile içerisinde alınmıştır ve alkol ile yüzeyleri asitten arındırılmıştır. Sonrasında kap yıkanmıştır. Sonraki aşamalarda aynı işlem 12 saatlik, 24 saatlik ve 48 saatlik deney setleri için yapılmıştır.



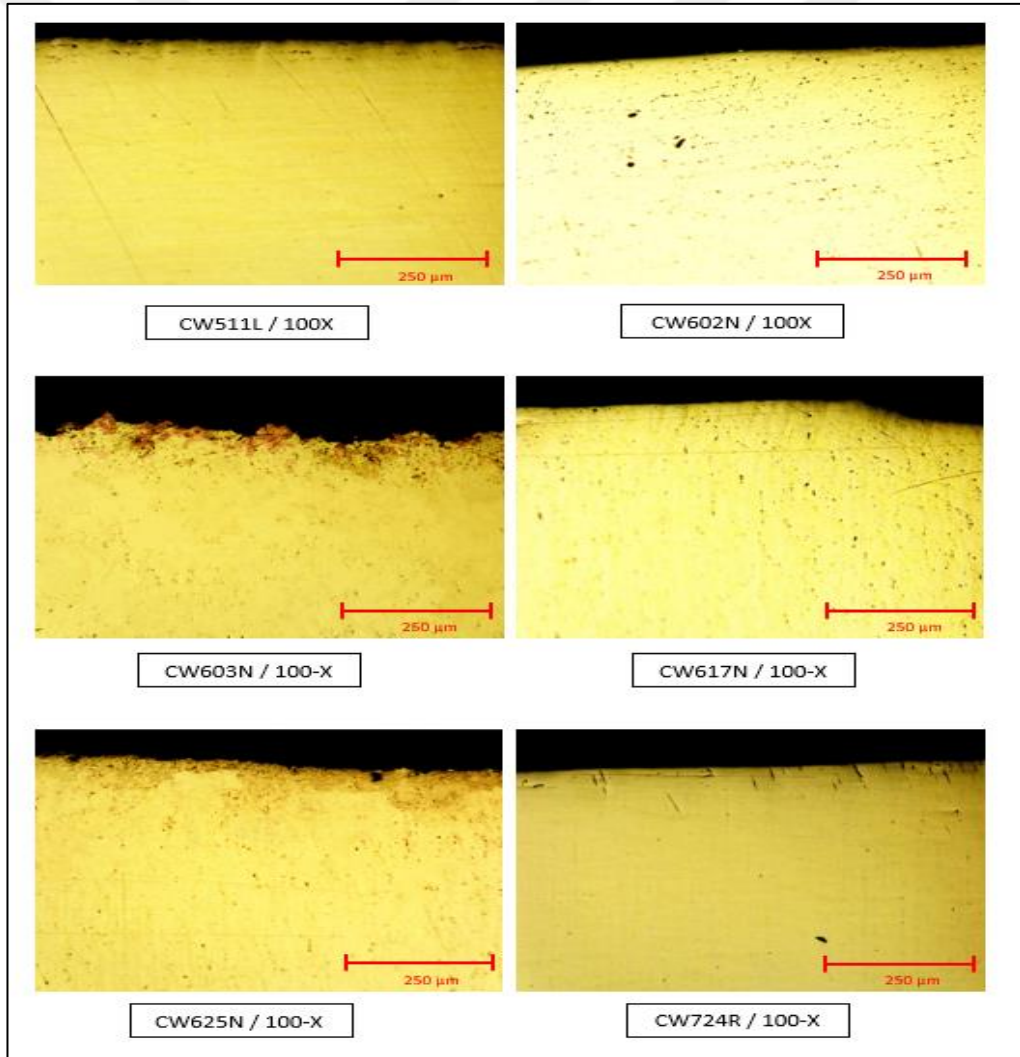
Şekil 4.8: Korozyon deneyi sonrası numuneler.



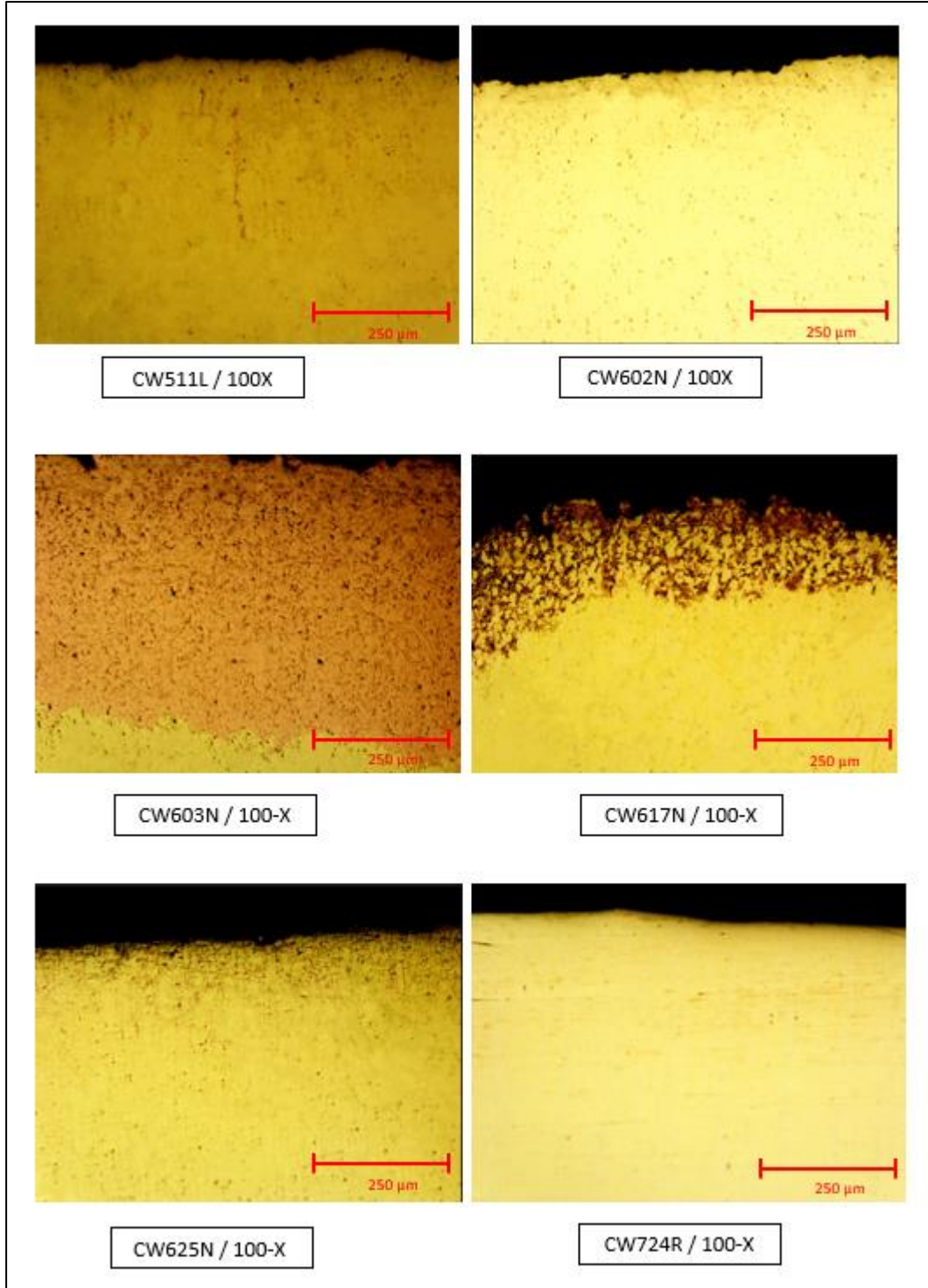
5. SONUÇLAR VE İRDELEME

Bu tez çalışmasında incelenen, 2 farklı sıcaklık ve 4 farklı süre parametresinde yapılan korozyon deneylerinde 6 farklı pirinç alaşımına uygulanan deneyler sonrasında; mikroyapı incelemeleri, çinkosuzlaşma derinlik sonuçları, SEM/EDS sonuçları ilerleyen bölümlerde anlatılmaktadır.

5.1 Mikroyapı Analiz Sonuçları



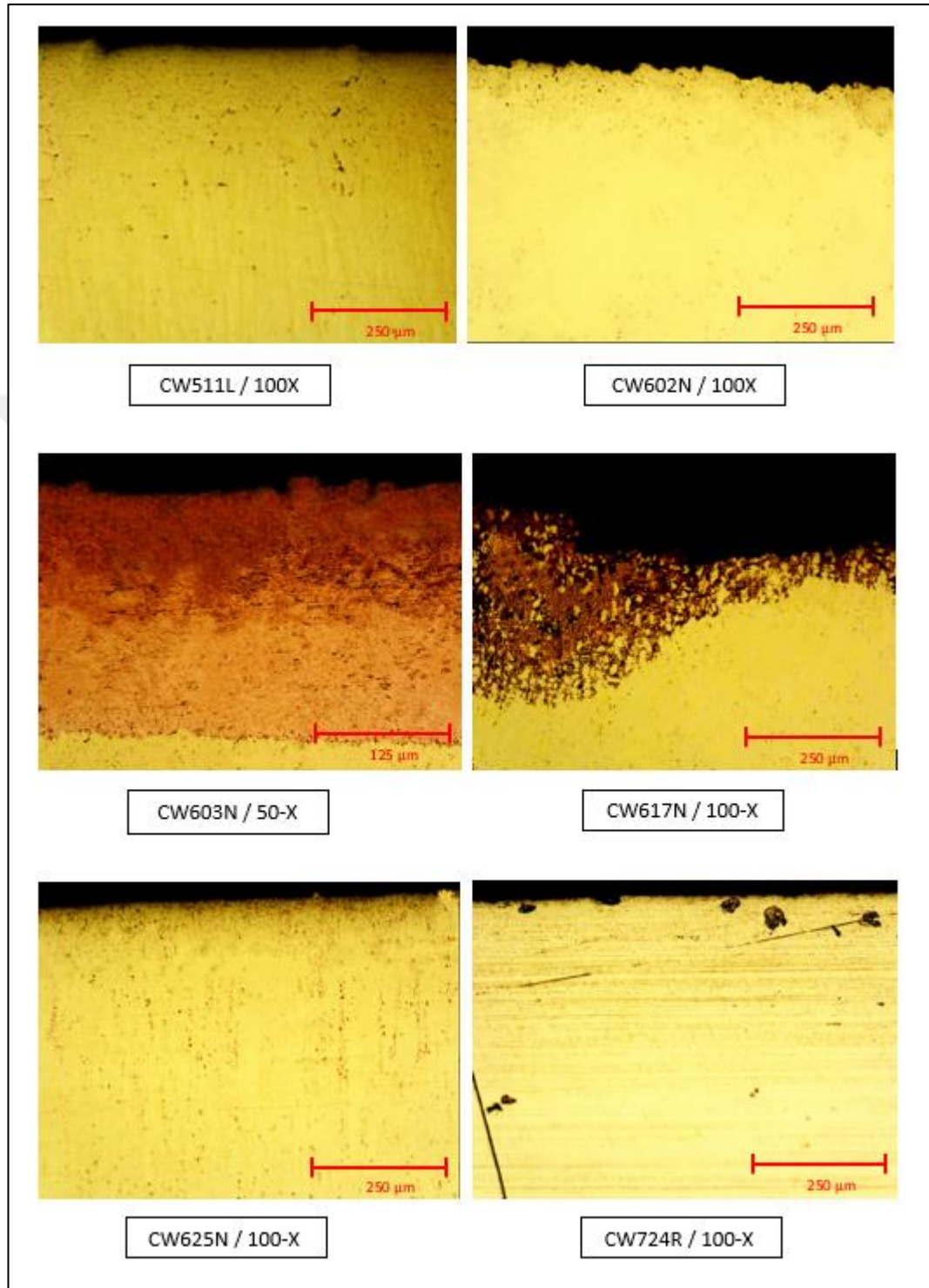
Şekil 5.1: 75°C' de 6 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.



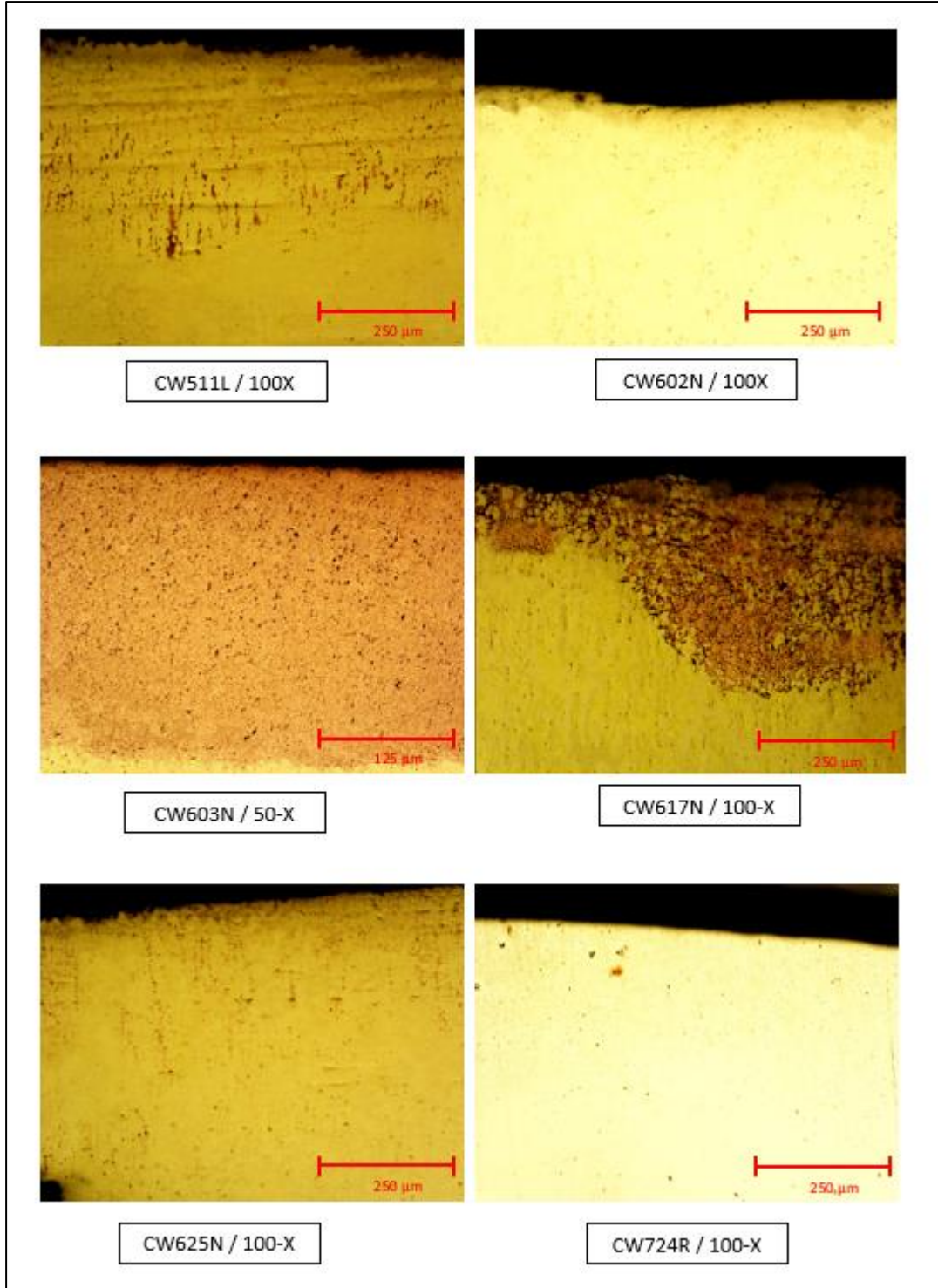
Şekil 5.2: 75°C' de 12 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.

75°C' de 6 saat ve 12 saat parametrelerinde yapılan çinkosuzlaşma deneyleri sonrasında sonuçlar verilmektedir. 6 saat deney sonrası optik mikroskop görüntülerine göre sadece CW603N alaşımında ince bir çinkosuzlaşma bölgesi görülmektedir. 12 saat deney sonrası optik mikroskop görüntülerine göre CW603N

ve CW617N alaşımlarında belirgin çinkosuzlaşma tabakaları tespit edilmiştir. CW511L, CW602N, CW625N, CW724R alaşımlarında mikroyapıda çinkosuzlaşma görülmemiştir. Detaylı inceleme için SEM / EDS incelemesi yapılmıştır.



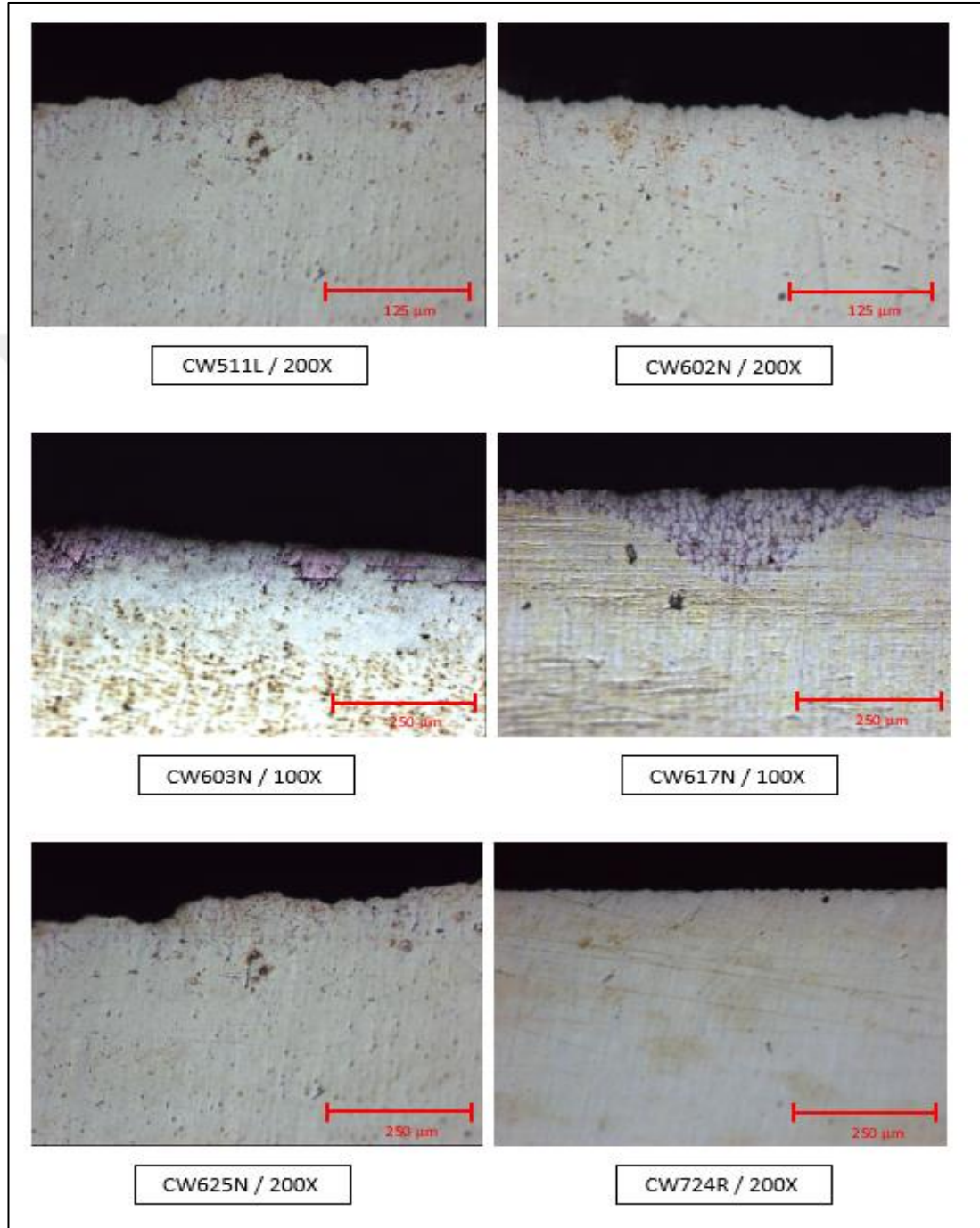
şekil 5.3: 75°C' de 24 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.



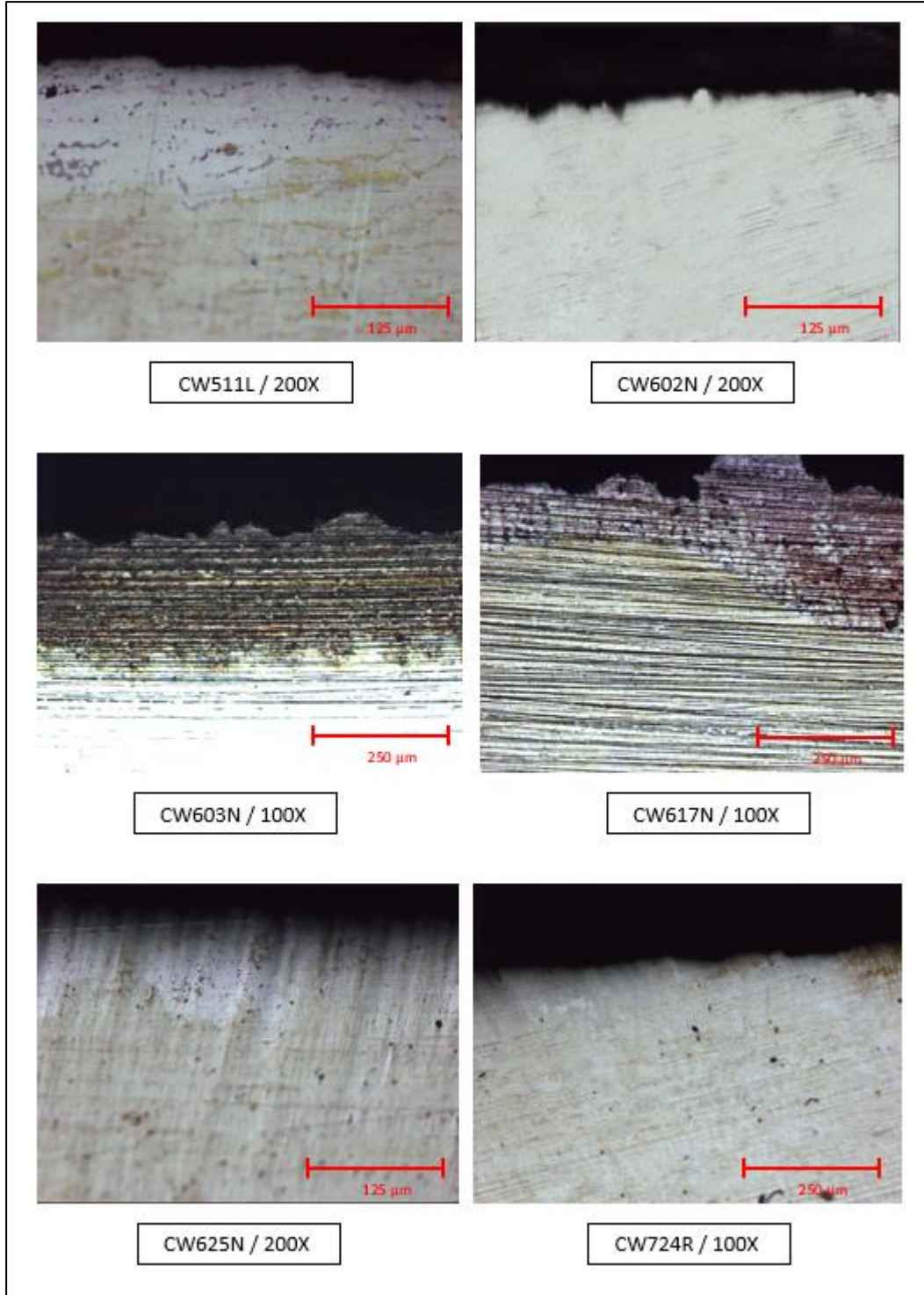
Şekil 5.4: 75°C' de 48 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.

75°C' de 6 farklı pirinç alaşımı üzerinde farklı sürelerde yapılan çinkosuzlaşma deneyinde, artan tutma sürelerine göre alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinde artış olduğu görülmüştür. 75°C' de çinkosuzlaşma derinliği en çok olan alaşım

CW603N iken CW602N ve CW724R alaşımlarında çinkosuzlaşma görülmemiştir. CW603N ve CW617N alaşımlarında görülen çinkosuzlaşmalarda bütün tabakanın çinkosuzlaştığı ve çinkonun tamamen uzaklaştığı görülmektedir. CW511L ve CW625N alaşımlarında mikroyapıda yer yer renk değişiklikleri gözlemlenmiştir.



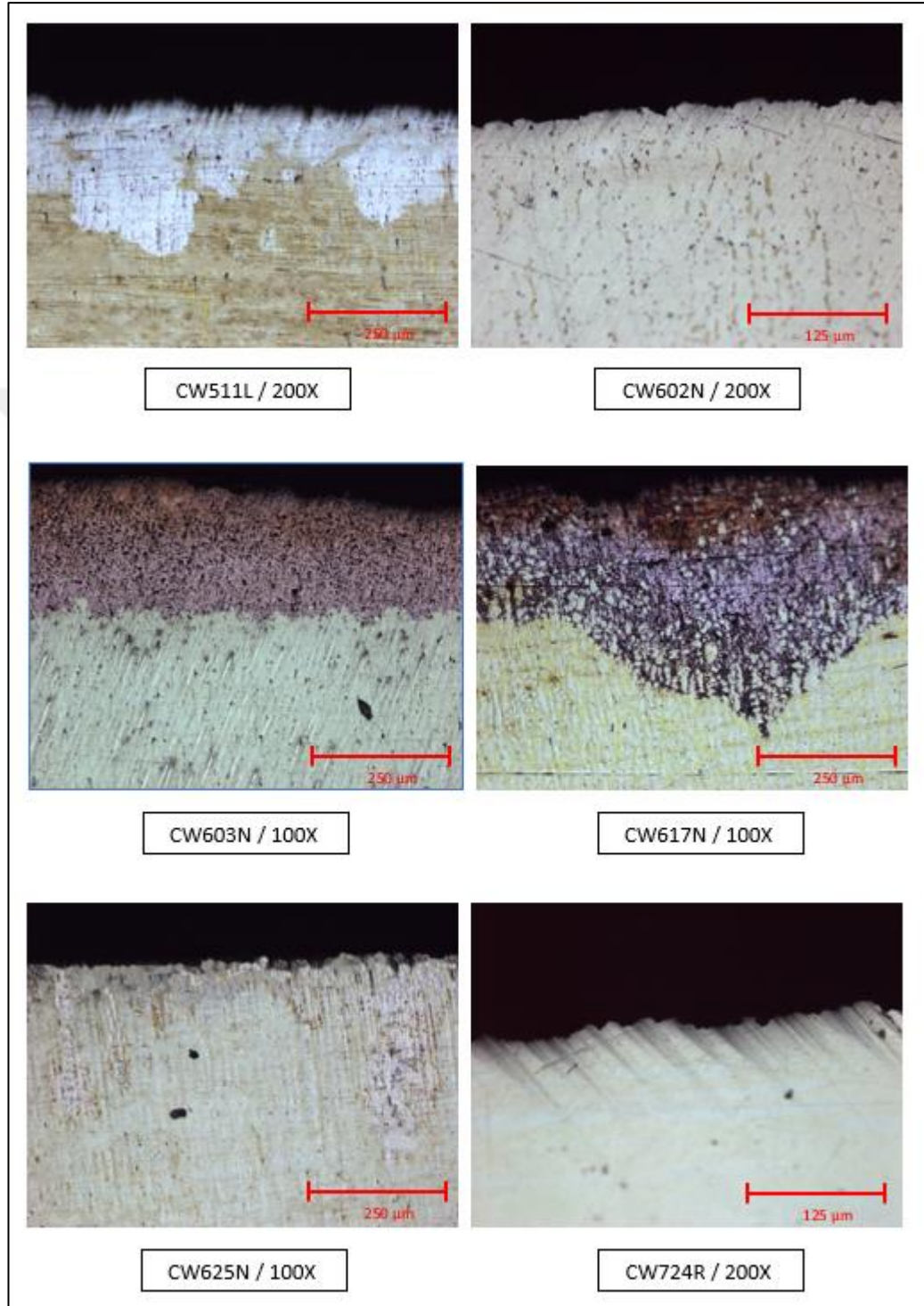
Şekil 5.5: 95°C' de 6 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.



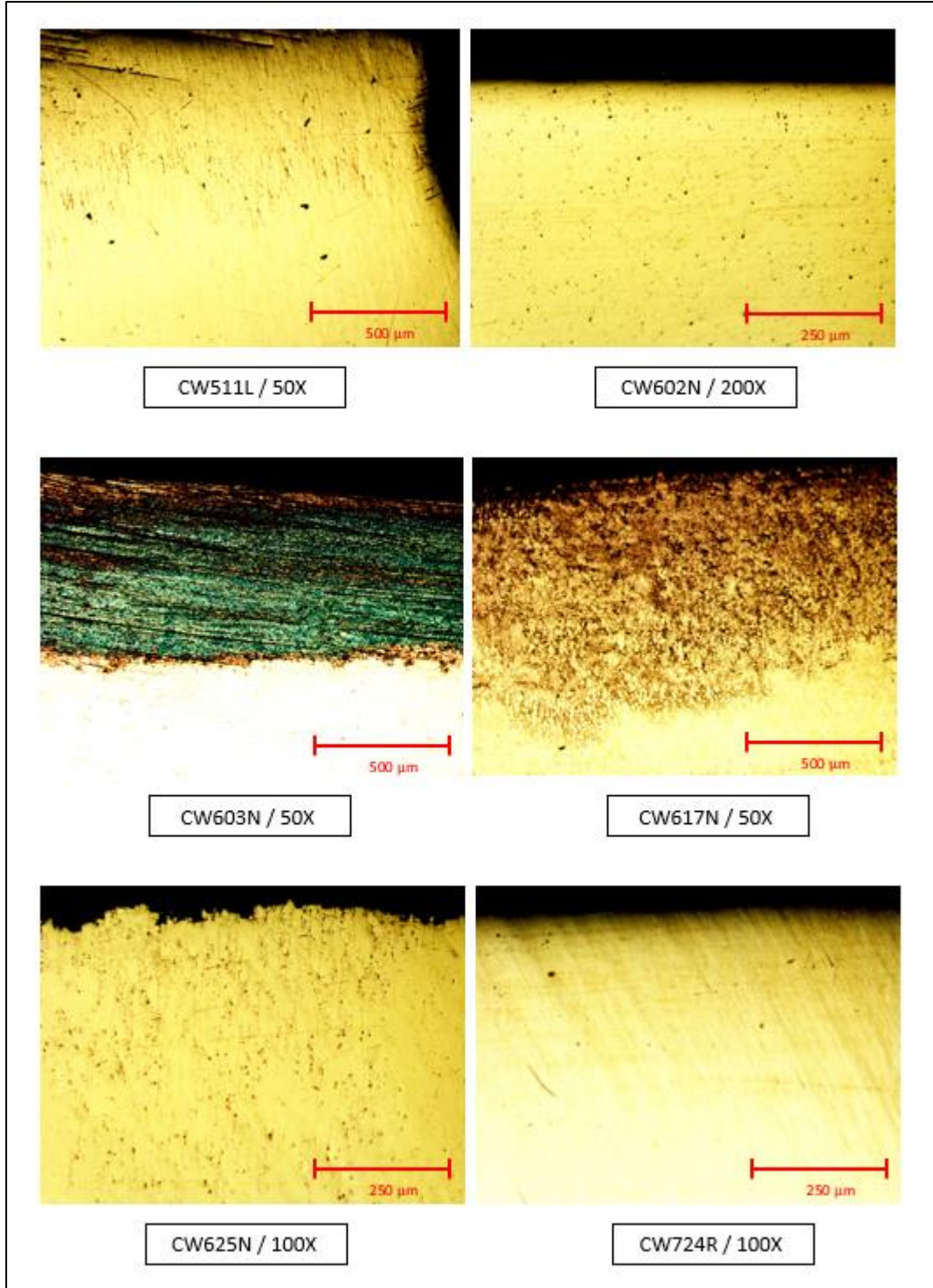
Şekil 5.6: 95°C' de 12 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.

95°C' de 6 saat ve 12 saat parametrelerinde yapılan çinkosuzlaşma deneyleri sonrasında sonuçlar verilmektedir. 6 saat deney sonrası optik mikroskop görüntülerine göre sadece CW603N ve CW617N alaşımlarında ince bir çinkosuzlaşma bölgesi görülmektedir. 12 saat deney sonrası optik mikroskop

görüntülerine göre CW603N ve CW617N alaşımlarında belirgin çinkosuzlaşma tabakaları tespit edilmiştir.



Şekil 5.7: 95°C' de 24 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.



Şekil 5.8: 95°C' de 48 saat korozyona uğratılmış pirinç alaşımlarının kesit görüntüsü.

95°C' de 6 farklı pirinç alaşımı üzerinde farklı sürelerde yapılan çinkosuzlaşma deneyinde, artan tutma sürelerine göre alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinde artış olduğu görülmüştür. 95°C' de çinkosuzlaşma derinliği en çok olan alaşım CW617N iken CW602N ve CW724R alaşımlarında çinkosuzlaşma görülmemiştir.

CW603N ve CW617N alaşımlarında görülen çinkosuzlaşmalarda bütün tabakanın çinkosuzlaştığı ve çinkonun tamamen uzaklaştığı görülmektedir. CW511L ve CW625N alaşımlarında mikroyapıda yer yer renk değişiklikleri gözlemlenmiştir.

5.2 Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları

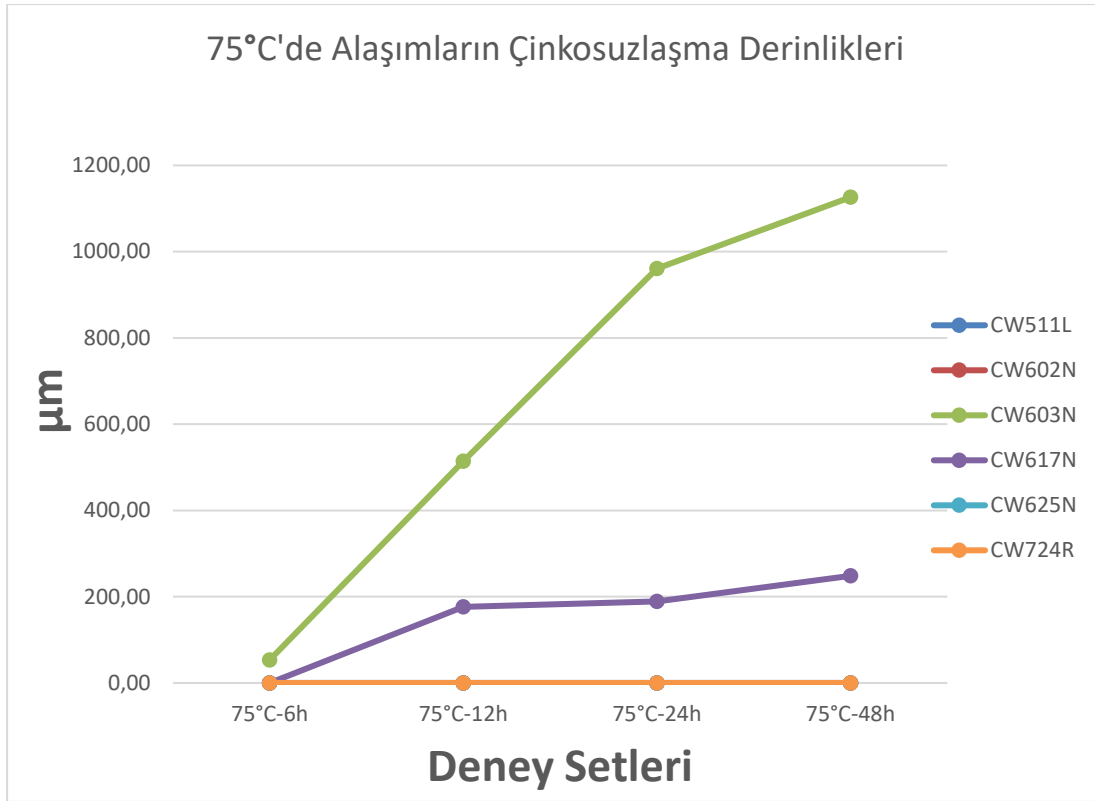
5.2.1 75°C' ye Ait Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları

Alaşımların kesitlerinin optik mikroskop ile mikroyapı görüntüleri alındıktan sonra ölçekler yardımıyla çinkosuzlaşma derinlikleri ölçülmüştür. Çinkosuzlaşma derinliği ölçümünde, bütün alaşımların ölçüm sonuçlarının homojen olabilmesi için mikroyapı üzerinde toplam 25 noktadan ölçüm alındıktan sonra bu verilerin ortalaması ve standart sapması alınmıştır. Alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinin ortalama verileri grafik üzerine dökülerek yorum yapılmıştır.

Çizelge 5.1: 75°C' de deney yapılan numunelerin çinkosuzlaşma derinlikleri.

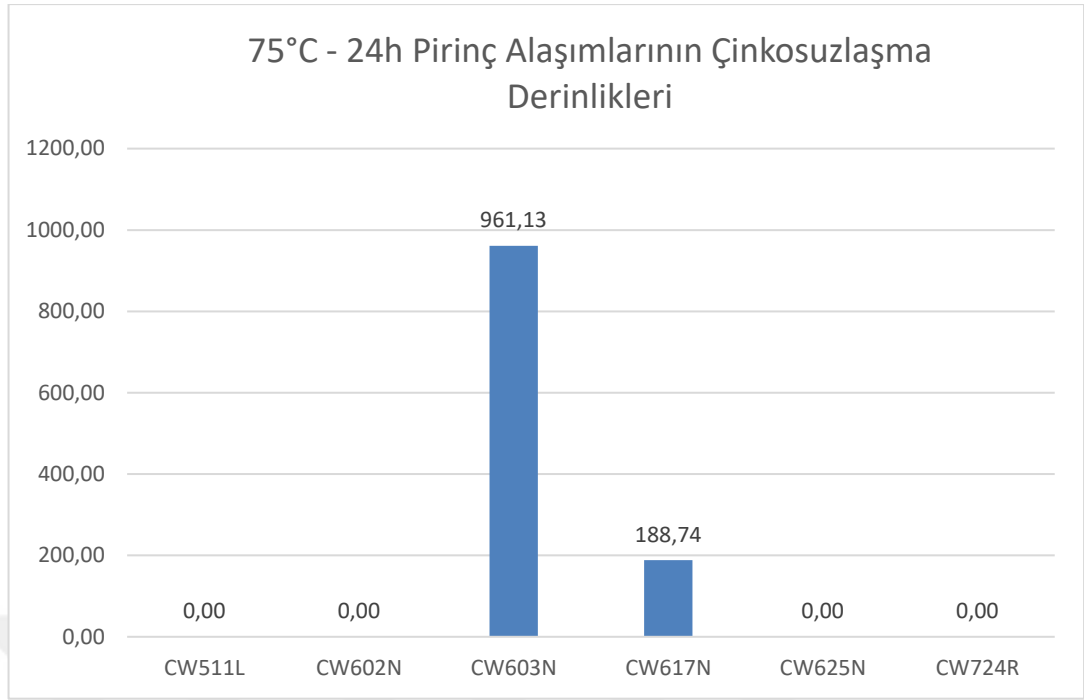
Numune Numarası	75°C-6h	75°C-12h	75°C-24h	75°C-48h
CW511L	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm
CW602N	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm
CW603N	53.63 µm	514.16 µm	961.13 µm	1126.21 µm
CW617N	0.00 µm	176.19 µm	188.74 µm	248.35 µm
CW625N	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm
CW724R	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm	0.00 µm

Çinkosuzlaşma derinlikleri verilerine göre CW617N alaşımı 6 saatte çinkosuzlaşmaya uğramamıştır. Artan tutma sürelerine bağlı olarak çinkosuzlaşma derinlikleri sırasıyla 176.19 µm, 188.74 µm 248.35 µm olarak gerçekleşmiştir. CW603N alaşımı çinkosuzlaşma derinlikleri 53.63 µm, 514.16 µm, 961.13 µm, 1126.21 µm olarak gerçekleşmiştir. Diğer alaşımlarda çalışma parametrelerinde çinkosuzlaşma görülmemiştir.



Şekil 5.9: 75°C sıcaklığında alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinin karşılaştırılması grafiği.

75°C’ de gerçekleştirilen deneylerde artan tutma sürelerinde pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma derinliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. CW724, CW602N, CW511L ve CW625N alaşımları 75°C’ de herhangi bir sıcaklıkta çinkosuzlaşma korozyonuna uğramamıştır. En çok çinkosuzlaşmaya uğrayan pirinç alaşımı 75°C için CW603N olmuştur.



Şekil 5.10: 75°C 24h parametresinde alaşımların ortalama çinkosuzlaşma derinlikleri karşılaştırma grafiği.

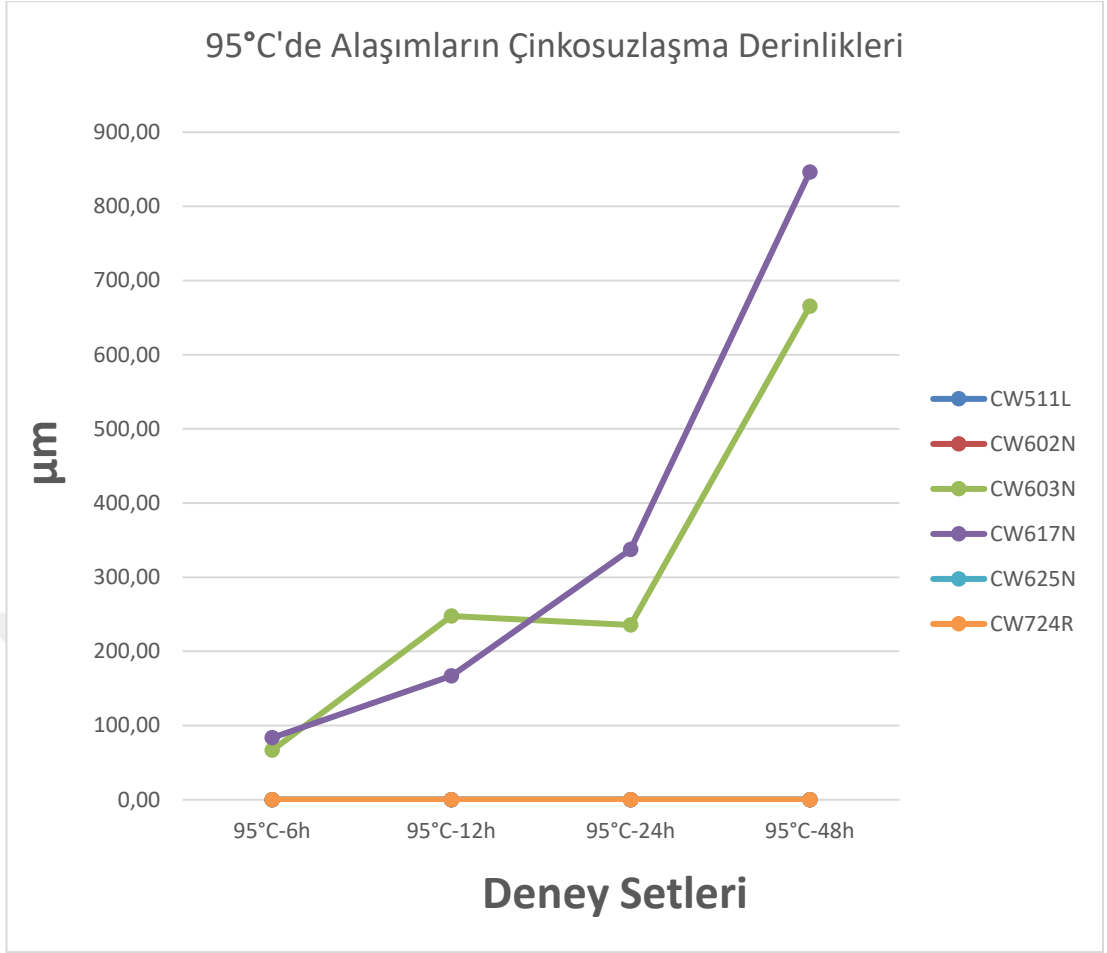
ISO 6509-1 standardına göre yapılan testlerde 75°C’ de 24 saat tutma süresinde en çok çinkosuzlaşma derinliğine ulaşan alaşım 961.13 mikronla CW603N alaşımı olmuştur. CW617N alaşımı 188.74 mikron derinlikte çinkosuzlaşmaya uğramıştır. Bu sonuçlara göre ISO6509 – 1 standardına göre çinkosuzlaşmaya en dayanıksız alaşım CW603N iken bu alaşımı CW617N alaşımı takip etmiştir. CW511L, CW602N, CW625N, CW724R alaşımları çinkosuzlaşmaya uğramamıştır ve çinkosuzlaşma dayanımı olan alaşımlar olarak tespit edilmiştir.

5.2.2 95°C' ye Ait Çinkosuzlaşma Derinlik Sonuçları

Çizelge 5.2: 95°C' de deney yapılan numunelerin çinkosuzlaşma derinlikleri.

Numune Numarası	95°C-6h	95°C-12h	95°C-24h	95°C-48h
CW511L	0.00	0.00	0.00	0.00
CW602N	0.00	0.00	0.00	0.00
CW603N	66.70	247.89	235.78	665.40
CW617N	83.53	166.80	337.45	846.45
CW625N	0.00	0.00	0.00	0.00
CW724R	0.00	0.00	0.00	0.00

Çinkosuzlaşma derinlikleri verilerine göre CW617N alaşımı, artan tutma sürelerine bağlı olarak çinkosuzlaşma derinlikleri sırasıyla 83.53 μm , 166.80 μm , 337.45 μm 846.45 μm olarak gerçekleşmiştir. CW603N alaşımı çinkosuzlaşma derinlikleri 66.70 μm , 247.89 μm , 235.78 μm , 665.40 μm olarak gerçekleşmiştir. Diğer alaşımlarda çalışma parametrelerinde çinkosuzlaşma görülmemiştir.



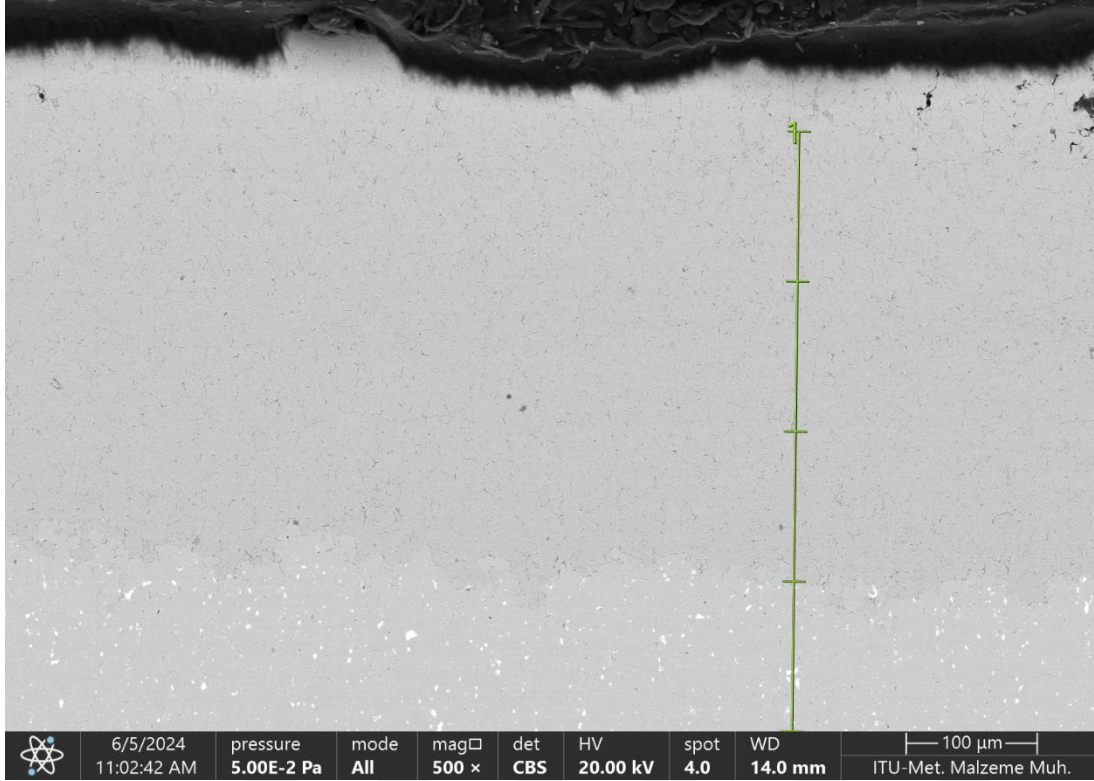
Şekil 5.11: 95°C sıcaklığında alaşımların çinkosuzlaşma derinliklerinin karşılaştırılması grafiği.

95°C’ de gerçekleştirilen deneylerde artan tutma sürelerinde pirinç alaşımlarının çinkosuzlaşma derinliklerinin arttığı gözlemlenmiştir. CW724, CW602N, CW511L ve CW625N alaşımları 95°C’ de herhangi bir sıcaklıkta çinkosuzlaşma korozyonuna uğramamıştır. En çok çinkosuzlaşmaya uğrayan pirinç alaşımı 75°C için CW603N olmuştur. 95°C’ de korozyon deneyi gerçekleştirilen alaşımların ortalama çinkosuzlaşma derinliklerinin karşılaştırması aşağıda verilmiştir.

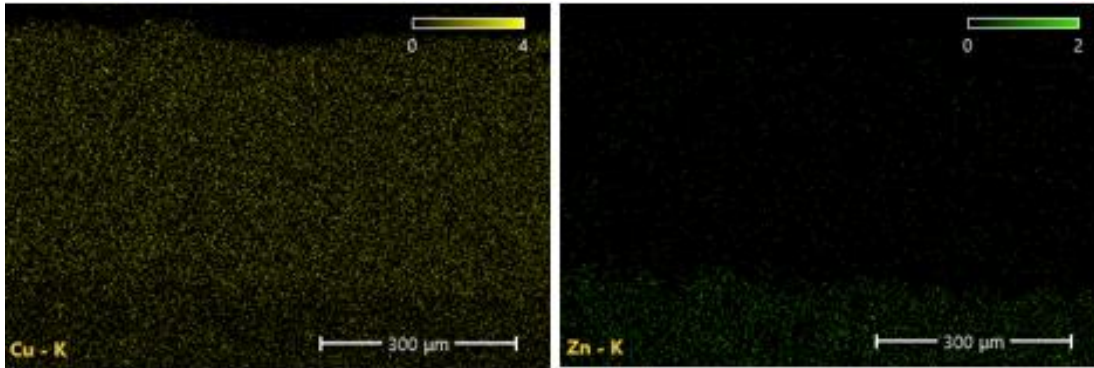
5.3 SEM/EDS Sonuçları

Mikroyapı incelemelerinde çinkosuzlaşma CW603N ve CW617N alaşımlarında görülmüştür. SEM/EDS incelemelerinde 75°C’ de 24 saat korozyon deneyi yapılan CW603N, CW617N, CW511L ve CW625N alaşımları incelenmiştir. Korozyon tabakasının derinliği sebebiyle CW603N alaşımı 500X büyütmede incelenmiştir.

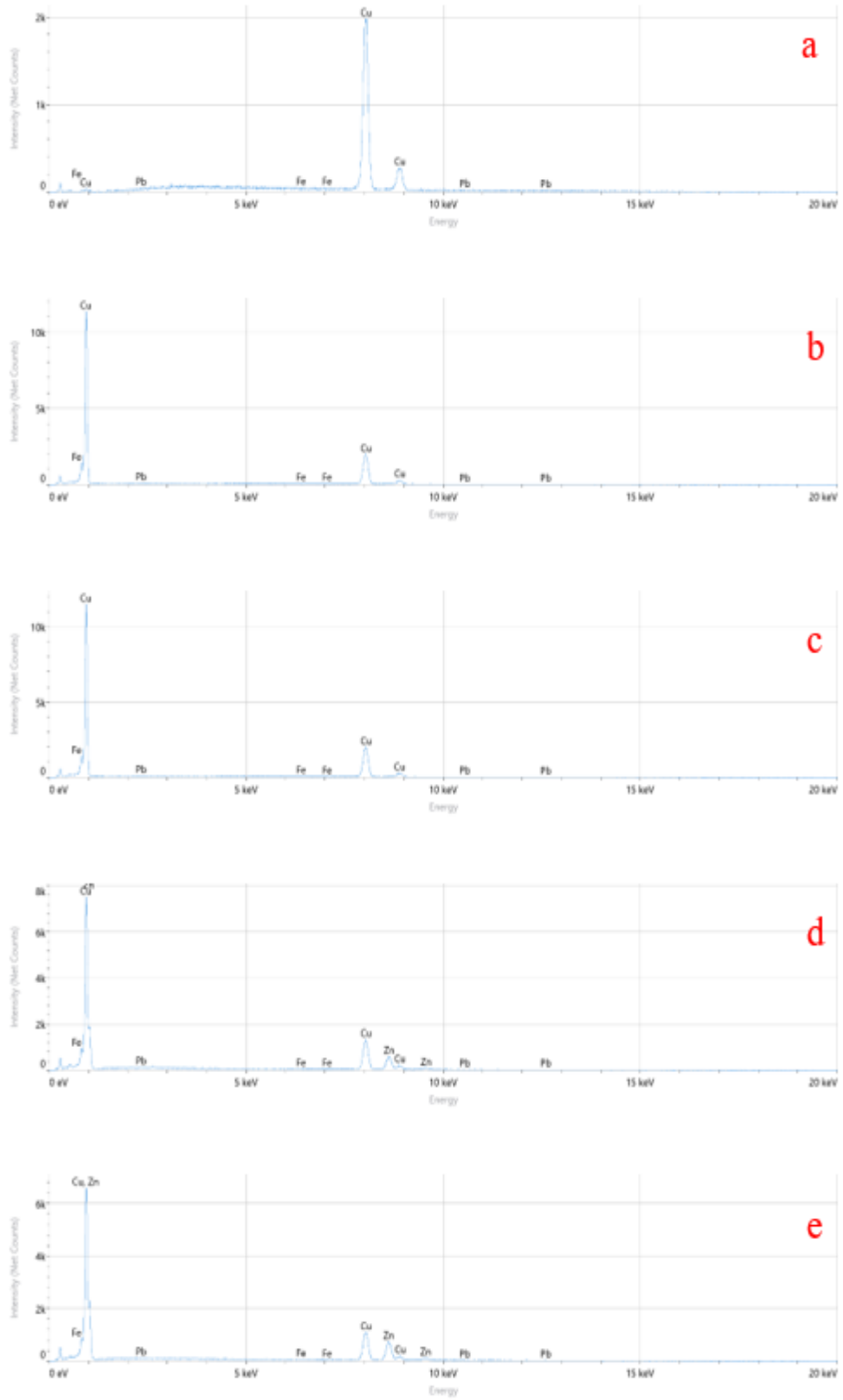
CW617N, CW511L, CW625N alaşımları 1000X büyütmelerde incelenmiştir. Çalışmaların daha iyi anlaşılabilmesi için numuneler EDS ile desteklenmiştir.



şekil 5.12: CW603N alaşımına ait SEM görüntüsü (500X).



şekil 5.13: CW603N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.

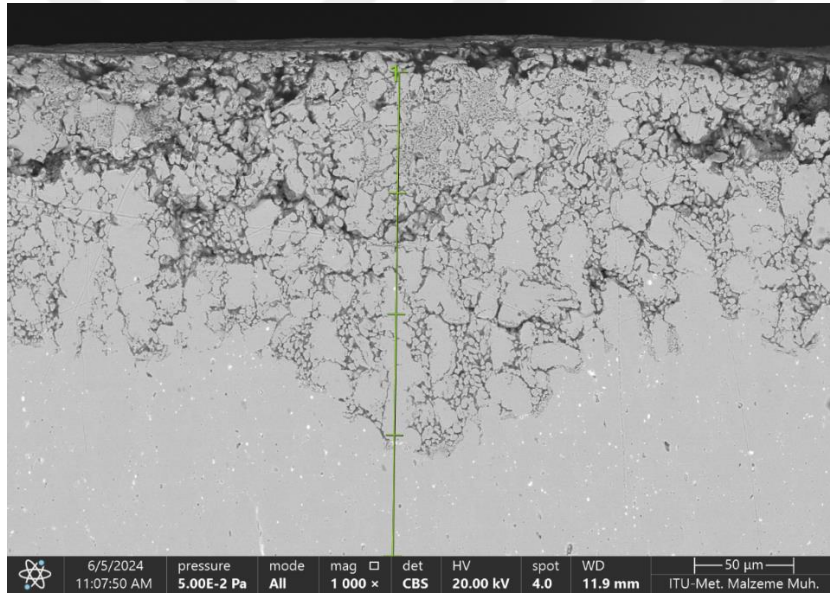


Şekil 5.14: CW603N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.

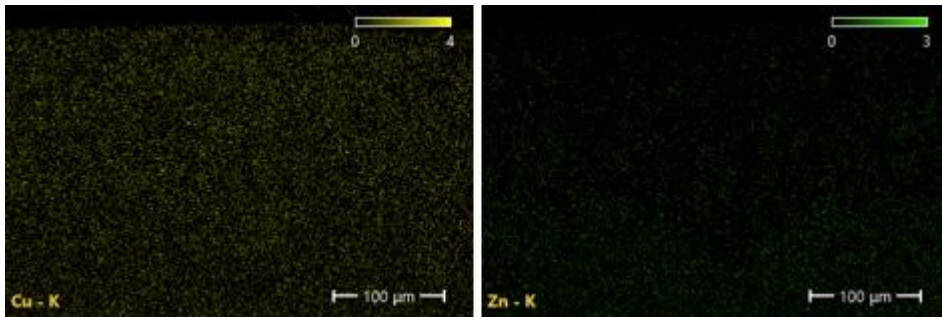
Çizelge 5.3: CW603N alaşıma ait EDS spektrumunun % ağırlıkça.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta
Element	Ağı. %	Ağı. %	Ağı. %	Ağı. %	Ağı. %
Cu	100.0	99.8	100.0	65.7	56.0
Zn	0.0	0.2	0.0	34.3	44.0

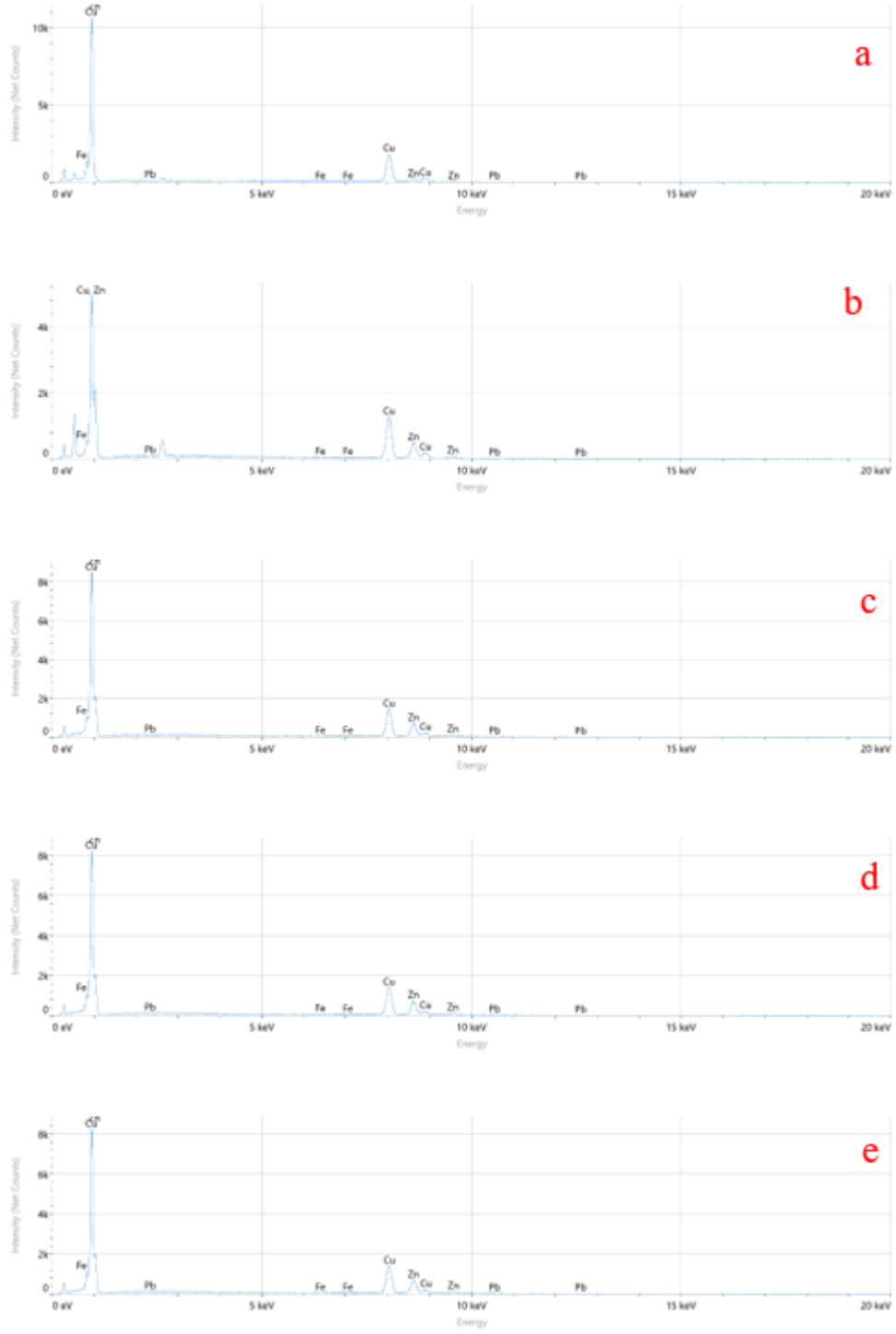
CW603N alaşımında 75°C’ de 24 saatte gerçekleşen korozyon deneyi sonrasında kesit bölgesi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. 1., 2. ve 3. noktalarda çinko miktarı ağırlıkça %0 iken, 4. noktada %34,3 ve 5. noktada %44 olduğu EDS Spektrum sonuçlarına göre görülmüştür. Bu durumda yüzey bölgesinde tamamen çinkosuzlaşma gerçekleşmiştir.



Şekil 5.15: CW617N alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).



Şekil 5.16: CW617N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.

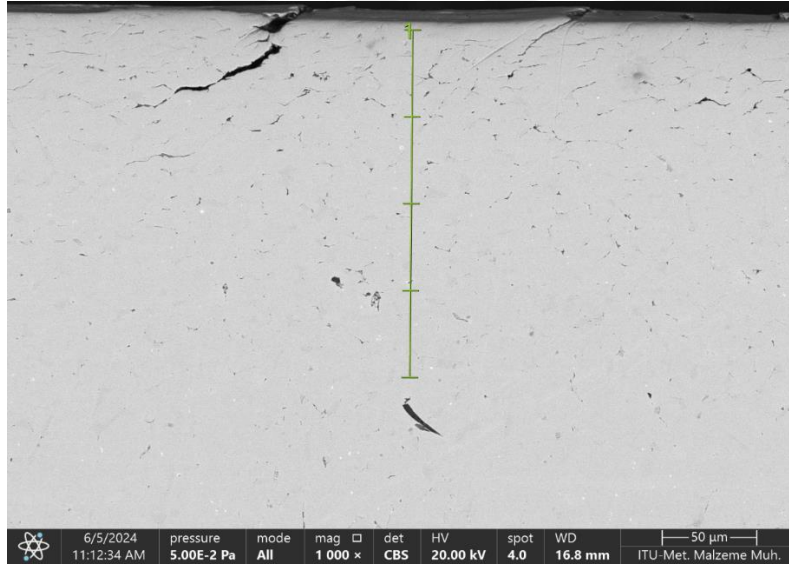


Şekil 5.17: CW617N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.

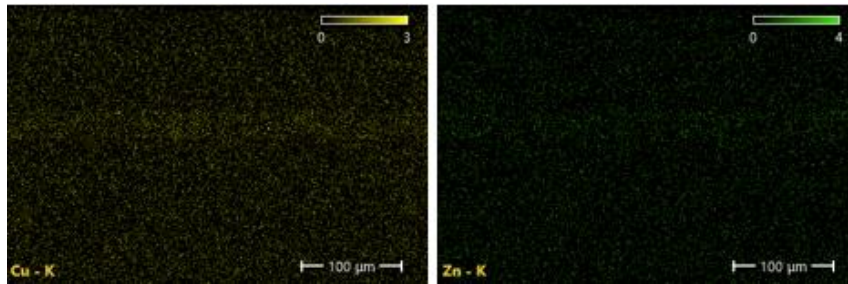
Çizelge 5.4: CW617N Alaşıma Ait EDS Spektrumunun % Ağ.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta
Element	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %
Cu	92.1	69.7	63.4	63.3	62.5
Zn	7.9	30.3	36.6	36.7	37.5

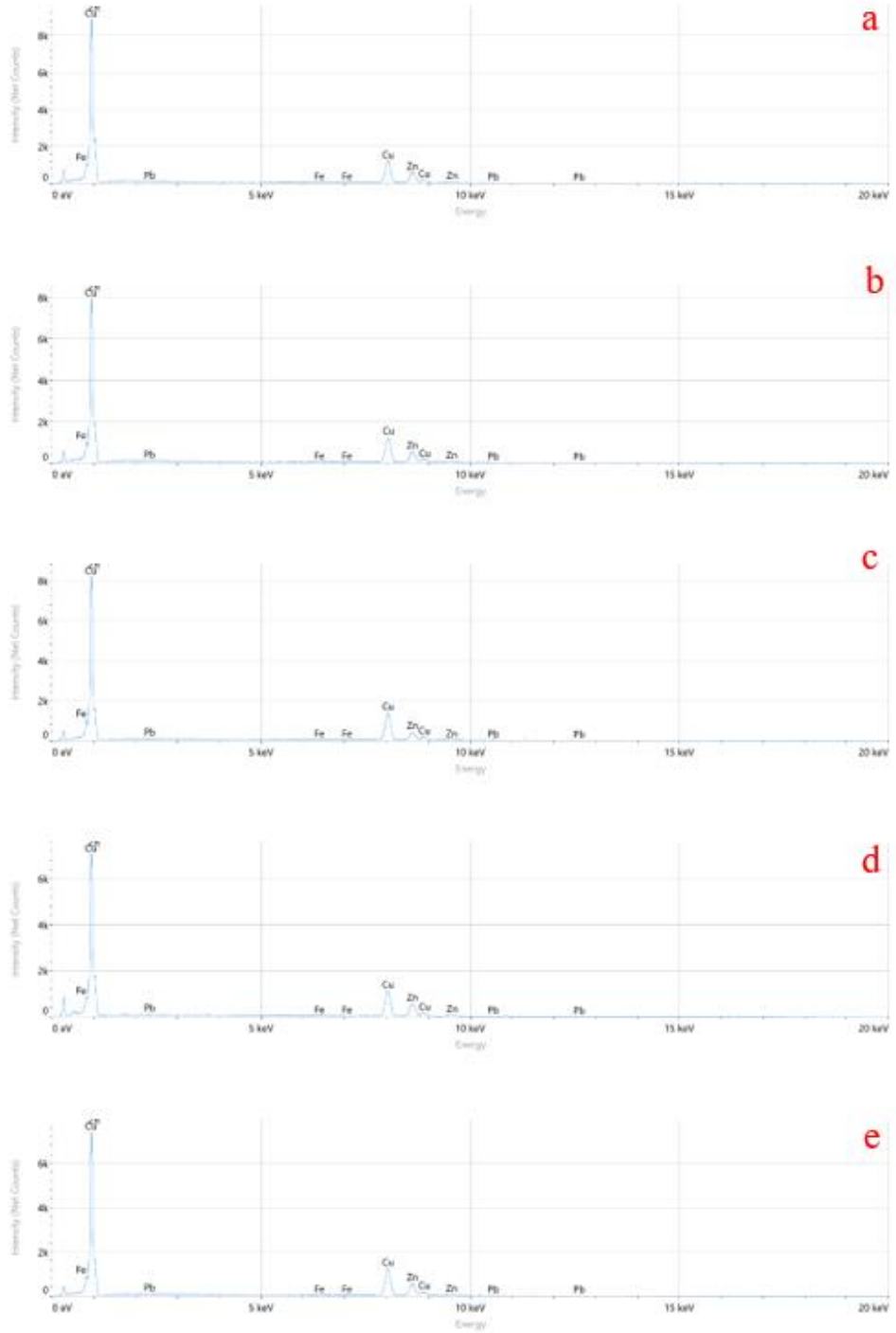
CW617N alaşımında 75°C’ de 24 saatte gerçekleşen korozyon deneyi sonrasında kesit bölgesi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. 1. Noktada ağırlıkça % 7,9, 2. Noktada ağırlıkça % 30,3 ve 3. noktalarda çinko miktarı ağırlıkça %36,6, 4. noktada %36,6 ve 5. noktada %37,5 olduğu EDS Spektrum sonuçlarına göre görülmüştür. Bu sonuçlara göre CW617N alaşımında yüzeyde tamamen çinkosuzlaşma gerçekleşmemiştir ve çinkosuzlaşma derinliği CW603N alaşımına göre daha düşüktür.



Şekil 5.18: CW511L alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).



Şekil 5.19: CW511L alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.

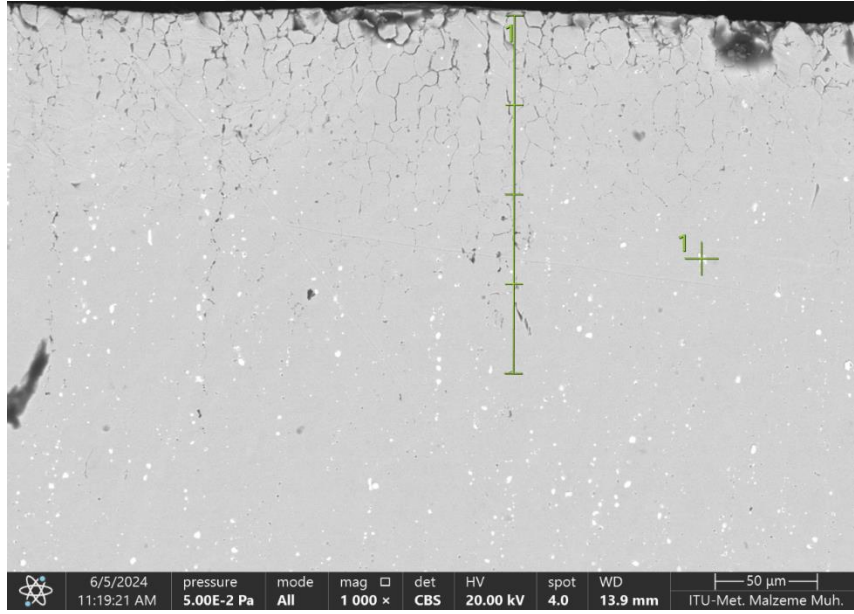


Şekil 5.20: CW511L EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.

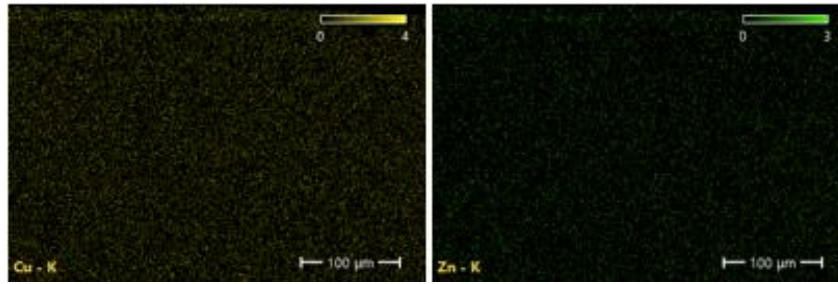
Çizelge 5.5: CW511L alaşıma ait EDS spektrumunun % ağırlıkça.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta
Element	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %
Cu	64.6	64.0	74.5	63.6	65.0
Zn	35.4	36.0	25.5	36.4	35.0

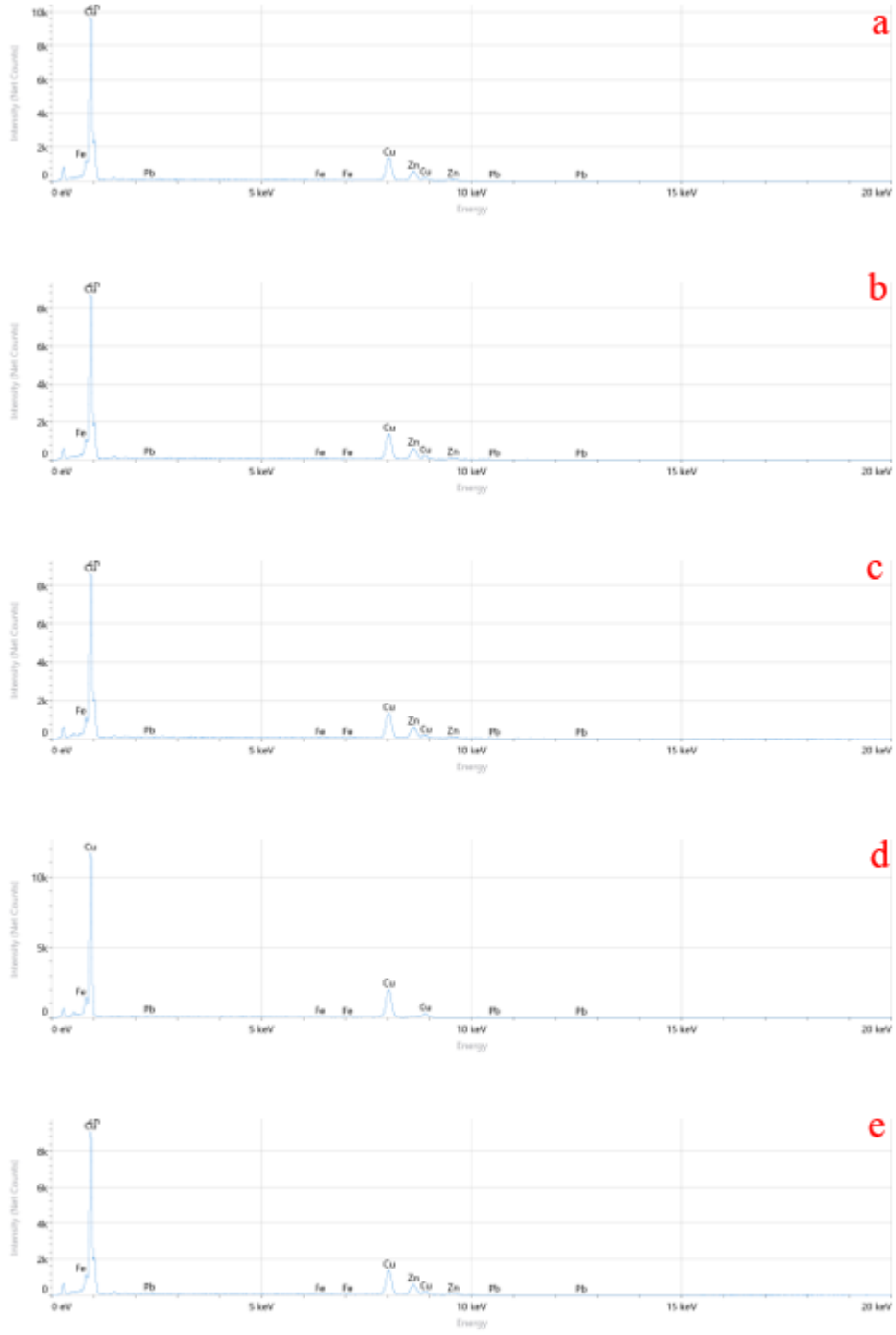
CW511L alaşımında 75°C’ de 24 saatte gerçekleşen korozyon deneyi sonrasında kesit bölgesi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. 1. Noktada ağırlıkça % 35,4, 2. Noktada ağırlıkça % 36 ve 3. noktalarda çinko miktarı ağırlıkça %25,5, 4. noktada %36,4 ve 5. noktada %35 olduğu EDS Spektrum sonuçlarına göre görülmüştür. Bu sonuçlara göre CW511L alaşımında çinko miktarı açısından, yüzeye yakın bir nokta ve merkeze yakın bir nokta arasında fark görülmemiştir.



Şekil 5.21: CW625N alaşımına ait SEM görüntüsü (1000X).



Şekil 5.22: CW625N alaşımına ait Cu-Zn haritalandırma görüntüsü.



Şekil 5.23: CW625N EDS spektrumu a) 1. nokta, b) 2. nokta, c) 3. nokta, d) 4. nokta, e) 5. nokta.

Çizelge 5.6: CW625N alaşıma ait EDS spektrumunun % ağırlıkça.

	1. Nokta	2. Nokta	3. Nokta	4. Nokta	5. Nokta
Element	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %	Ağ. %
Cu	66.0	67.1	64.2	65.7	66.9
Zn	34.0	32.9	35.8	34.3	33.1

CW625N alaşımında 75°C’ de 24 saatte gerçekleşen korozyon deneyi sonrasında kesit bölgesi taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. 1. Noktada ağırlıkça %34 2. Noktada ağırlıkça % 32,9 ve 3. noktalarda çinko miktarı ağırlıkça %35,8 4. noktada %34,3 ve 5. noktada %33,1 olduğu EDS Spektrum sonuçlarına göre görülmüştür. Bu sonuçlara göre CW625N alaşımında çinko miktarı açısından, yüzeye yakın bir nokta ve merkeze yakın bir nokta arasında fark görülmemiştir.

SEM / EDS incelemeleri 75°C ve 24 saat parametrelerinde deney yapılan CW603N, CW617N, CW511L ve CW625N alaşımları üzerinde yapılmıştır. Elde edilen sonuçlara göre CW603N ve CW617N alaşımlarında çinkosuzlaşma mikroyapı görüntüleri ve EDS yardımıyla tespit edilmiştir. CW511L ve CW625N alaşımlarında mikroyapı ve EDS sonuçlarına göre çinkosuzlaşmaya rastlanmamıştır. Çinkosuzlaşma görülen CW603N ve CW617N alaşımları kendi içlerinde incelendiğinde, CW603N alaşımının tabaka halinde çinkosuzlaşmaya uğradığı ve en üst bölgesinde ağırlıkça çinko miktarının %0 olduğu tespit edilmiştir. CW617N alaşımında bölgesel olarak derinleşen bölge görülmüştür. EDS sonuçlarına göre en üst bölgesinde dahi çinko miktarının sıfırlanmadığı ve ağırlıkça %7.9 oranında kaldığı tespit edilmiştir.

6. GENEL SONUÇLAR

Her bir mikroyapıda 25 adet ölçüm sonucundan alınan ortalama ve standart sapma verileri aşağıdaki çizelgelerde verilmiştir.

Çizelge 6.1: 75°C çinkosuzlaşma deneyleri genel sonuçları.

		75°C-6h	75°C-12h	75°C-24h	75°C-48h
CW511L	Ortalama (μm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW602N	Ortalama (μm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW603N	Ortalama (μm)	53.63	514.16	961.13	1126.21
	St. Sapma	22.51	27.39	29.23	21.09
CW617N	Ortalama (μm)	0.00	176.19	188.74	248.35
	St. Sapma	0.00	44.78	126.24	122.30
CW625N	Ortalama (μm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW724R	Ortalama (μm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00

Alaşımın çinkosuzlaşma davranışlarının daha iyi ortaya konulabilmesi için yukarıdaki çizelge hazırlanmıştır. Çizelgede ortalama ve standart sapma verilerine yer verilmiştir. Standart sapma verileri seçici çinkosuzlaşma ve uniform çinkosuzlaşma davranışlarının ortaya konulabilmesi için bir veri sunmaktadır. Buna göre 75°C’ de yapılan deneylerde CW617N alaşımı standart sapması en yüksek olması sebebiyle bölge çinkosuzlaşma derinliklerinin en fazla olduğu ve daha fazla seçici çinkosuzlaşmaya uğradığı yorumu yapılmıştır. Farklı sürelerden alınan ortalama çinkosuzlaşma derinlikleri incelendiğinde 75°C’ de artan sürelerden en çok etkilenen alaşım CW603N olmuştur. CW511L, CW602N, CW625N ve CW724R alaşımlarında herhangi bir tutma süresinde çinkosuzlaşma davranışı gözlemlenmemiştir.

Çizelge 6.2: 95°C çinkosuzlaşma deneyleri genel sonuçları.

		95°C-6h	95°C-12h	95°C-24h	95°C-48h
CW511L	Ortalama (µm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW602N	Ortalama (µm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW603N	Ortalama (µm)	66.70	247.89	235.78	665.40
	St. Sapma	15.12	16.75	25.90	48.39
CW617N	Ortalama (µm)	83.53	166.80	337.45	846.45
	St. Sapma	50.94	68.30	82.40	98.12
CW625N	Ortalama (µm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00
CW724R	Ortalama (µm)	0.00	0.00	0.00	0.00
	St. Sapma	0.00	0.00	0.00	0.00

CW603N ve CW617N alaşımlarında tutma sũreleri arttıka alaşımların standart sapmalarında artış olduğu gũrũlmũştũr. Buna gũre artan tutma sũrelerinde çinkosuzlaşma davranışının uniformdan seçici çinkosuzlaşmaya kaydđđı yorumu yapılmıştır. 95°C’ de ortalama çinkosuzlaşma derinliği en fazla olan alaşım CW617N olduğu tespit edilmiştir. Tutma sıcaklığının artmasıyla çinkosuzlaşma derinliğinin artması arasında bağlantı kurulamamıştır.

Ticari olarak bilinen ve tezde bu adlarıyla isimlendirilen 6 farklı pirinç alaşımının 2 farklı sıcaklık ve 4 farklı tutma sũrelerinde çinkosuzlaşma davranışları incelenmiştir.

inkosuzlaşma davranışları incelenirken ISO6509-1 standardı referans alınmıştır, alaşımların başka parametrelerde davranışlarını gũzlemlemek ve karşılaştırmak için parametreler arttırılmıştır.

CW603N ve CW617N alaşımlarının çinkosuzlaşma dirençlerinin olmadđđı, matris olarak çinkosuzlaşmaya uđradđđı ve diğer alaşımlara gũre en yũksek çinkosuzlaşma derinliklerine ulaştıkları gũzlemlenmiřtir.

CW603N ve CW617N alaşımları içme suyu sistemlerinde kullanılırsa matrisin tamamen korozyona uğraması sebebiyle aşınmaların olacađđı ve uzun vadede sistemde tıkanmalara ve su kaçaklarına sebebiyet verebileceđđi tespit edilmiştir.

CW511L, CW602N, CW625N ve CW724R alaşımlarının herhangi bir tutma sũresinde çinkosuzlaşmaya uđramadđđı tespit edilmiştir. Bu alaşımlar içme suyu sistemlerinde kullanılması en gũvenilir alaşımlar olarak gũrũlmũştũr. Ancak CW602N alaşımı kurşun içerdiğinden dolayı içme suyu sistemlerinde kullanılması gũvenilir değildir. Bu sebeple kurşun içermeyen CW724R alaşımı en uygun alaşım olarak gũrũlmũştũr.

Deneylerde artan sıcaklıklarda çinkosuzlaşma derinliğinin arttığına dair kesin bir sonuca ulaşılamamıştır. Ancak artan tutma sũrelerinin çinkosuzlaşma derinliğini arttırdđđı gũrũlmũştũr.

Alaşımlar elementlerin çinkosuzlaşma direncine etkileri açısından incelenmiştir. Buna gũre çinkosuzlaşma direnci olan alaşımlar yaklaşık %0.06 ağ. seviyelerinde arsenik içeren alaşımlar olduğu tespit edilmiştir. Alaşımlarda %0.10 ağ. demir elementinin bulunması arsenik ile intermetalik yapması için yeterli olmadđđı ve

arsenik elementinin çinkosuzlaşma direncine etkisini ortadan kaldırmadığı tespit edilmiştir. Arsenik elementinin yokluğunda kurşun elementinin çökelerek yapıda bulunduğı ve çinkosuzlaşmayı hızlandırıcı etkide bulunduğı gözlemlenmiştir.



KAYNAKLAR

- [1] **Öhman, M.** (2014). The effect of Group VA-elements as dezincification inhibitors for brass – and their influence for the susceptibility to IGA and SCC. *Swerea KIMAB*.
- [2] **Smith, H.** (2009). Settlement approved in Kitec lawsuit over faulty fixtures. *Las Vegas Review Journal*.
- [3] **Kimbrough, D. E.** (2007). Brass corrosion as a source of lead and copper in traditional and all-plastic distribution systems. *Journal of American Water Works Association*, 70-76.
- [4] **Toulatzis, A. I., Pantazopoulos, G. A., Sagris, D. S., & Paipetis, A. S.** (2018). Machinability of Eco-Friendly Lead-Free Brass Alloys: Cutting-Force and Surface-Roughness Optimization. *Metals*, 250.
- [5] **Moriarty, M., Wu, Y., Murray, T., & Hutchinson, C.** (2021). The effect of phase fraction, size and shape on the dezincification of duplex brasses. *Corrosion Science*.
- [6] **Test Metotu.** (2014). Corrosion of metals and alloys- determination of dezincification resistance of copper alloys with zinc-Part 1. *ISO6509-1*.
- [7] **Açma, M. E., Yazan, A., & Giray, M.** (2013). *Pirinç El Kitabı*. Hadımköy, İstanbul: Orjinal Metal A.Ş.
- [8] **Anonim.** (1998). *The history of brass making in the Naugatuck Valley*. Copper Development Association Inc.
- [9] **Choucri, J., Zanotto, F., Grassi, V., Balbo, A., Ebn Touhami, M., Mansouri, I., & Monticelli, C.** (2019). Corrosion Behavior of Different Brass Alloys for Drinking Water Distribution Systems. *Metals*, 649.
- [10] **Jacobsson, D., Däcker, C.-A., Sundberg, R., & Rod, O. A.** (2010). General Guide for Failure Analysis of Brass. *Swerea KIMAB*.
- [11] **Şentürk, B.** (2007). *Pirinç Alaşımlarının Ekstrüzyonunda Meydana Gelen Üretim Hatalarının Tespiti, Nedenleri ve Çözüm Yolları, Yüksek Lisans Tezi*. İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [12] **Tekin, E.** (1984). *Demirdışı Metaller ve alaşımlarının Uygulamalı Optik Metalografisi, II. Baskı, Yayın No:101*. Ankara: Orta Doğu Teknik Üniversitesi.

- [13] **Callcut, V.** (1996). The Brasses- properties & applications. *Copper Development Association Publication*, No. 117.
- [14] **Davies, D., Chem, D. A., & MIM.** (1993). A note on the dezincification of brass and the inhibiting effect of elemental additions. *Copper Development Association Inc.*
- [15] **Konuş, M.** (2005). *Aluminyum-Bakır-Silisyum Alaşımlarının Sulu Ortamlardaki Korozyonuna Lantanitlerin Etkisi, Yüksek Lisans Tezi.* Ankara: Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü.
- [16] **Aksüt, A.** (1982). İnhibitörler ve Bunların Korozyonu Önleme Mekanizması. *Standart Ekonomik ve Teknik Dergi.*
- [17] **Jones, D. A.** (1992). *Principles and Prevention of Corrosion.* New York: Macmillan Pub. Co.
- [18] **Erden, S., & Değertekin, M.** (2004). *Korozyon ve Katodik Koruma.* Kocaeli: Argem Ltd. Şti., Kocaeli EMO Şubesi.
- [19]. **Arakelyan, A.** (2010). *Sarı Metal Pirinç.* Tekirdağ: Sarbak Metal A.Ş Yayını.
- [20] **Oğuz, B.** (1990). *Demirdışı Metallerin Kaynağı.* Oerlikon Yayınları.
- [21] **Yazan, A.** (2014). *Pirinç Alaşımlarının Çinkosuzlaşma Korozyonuna Alüminyum, Nikel ve Kalay Alaşım Elementlerinin Etkileri. Yüksek Lisans Tezi.* İstanbul: İstanbul Teknik Üniversitesi.
- [22] **Yalçın, M.** (2014). CuZn30 Pirincinin Mikro-ekstrüzyon İşleminde Boyut Etkilerinin İncelenmesi. *Yüksek Lisans Tezi.*
- [23] **Cochrane, R. F.** (2004, September 02). *Dissemination of IT for the Promotion of Material Science.* doitpoms.ac.uk adresinden alındı
- [24] **Kavafaki, S., Bomis, G., Drakaki, K., Varoutoglou, A., Kiourtzidis, K., Kyzas, G., & Mitropoulos, A.** (2021). Investigation of Duplex Brass Membrans with Metallography, Permeability and Treatments: Work Hardening, Annealing and Quenching. *chemengineering.*
- [25] **Johansson, L.** (2012). Methods for assesment of lead release from brass to drinking water. *Yüksek Lisans Tezi.*
- [26] **Yim, M.** (2021). Engineered Barriers for Nuclear Waste Management. *Nuclear Waste Management*, 385-459.
- [27] **Mushtaha, W. B.** (tarih yok). *Tarnish and Corrosion .* Gerardo Dopkins.

ÖZGEÇMİŞ

Ad-Soyad : Caner KARADEMİR

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2021, İstanbul Teknik Üniversitesi, Kimya ve Metalürji Fakültesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü
- **Yüksek Lisans** : 2024, İstanbul Teknik Üniversitesi, Metalürji ve Malzeme Mühendisliği Anabilim Dalı, Malzeme Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2022-2023 yıllarında Federal Mogul Powertrain firmasında Dökümhane Proses Mühendisi olarak çalıştı.
- 2023 yılından itibaren Ford Otosan firmasında Proses Mühendisi olarak çalışmaya devam etmektedir.