

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ**

**TSK ENVANTERİNDE BULUNAN ARAÇLARIN SOĞUTMA  
SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İNHİBİTÖRLERİN VE SICAKLIĞIN  
Al-Cu-Fe VE PİRİNÇ' İN KOROZYONUNA ETKİSİ**

**Önder KOÇ**

**KİMYA ANABİLİM DALI**

**ANKARA  
2019**

**Her hakkı saklıdır**

## TEZ ONAYI

Önder Koç tarafından hazırlanan “TSK Envanterinde Bulunan Araçların Soğutma Sistemlerinde Kullanılan İnhibitörlerin ve Sıcaklığın Al-Cu-Fe ve Pirinç’ in Korozyonuna Etkisi” adlı tez çalışması 20/06/2019 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

**Danışman** : Prof. Dr. A. Abbas AKSÜT  
Ankara Üniversitesi / Kimya Anabilim Dalı



### Jüri Üyeleri:

**Başkan:** Prof. Dr. Muzaffer BALBAŞI  
Gazi Üniversitesi / Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı



**Üye** : Prof. Dr. Müşerref ÖNAL  
Ankara Üniversitesi / Kimya Anabilim Dalı



**Üye** : Prof. Dr. A. Abbas AKSÜT  
Ankara Üniversitesi / Kimya Anabilim Dalı



**Yukarıdaki sonucu onaylarım.**

**Prof. Dr. Özlem YILDIRIM**  
Enstitü Müdür Vekili

## ETİK

Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nün tez yazım kurallarına uygun olarak hazırladığım bu tez içindeki bütün bilgilerin doğru ve tam olduğunu, bilgilerin üretilmesi aşamasında bilimsel etiğe uygun davrandığımı, yararlandığım bütün kaynakları atıf yaparak belirttiğimi beyan ederim.

20 Haziran 2019



Önder KOÇ

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### TSK ENVANTERİNDE BULUNAN ARAÇLARIN SOĞUTMA SİSTEMLERİNDE KULLANILAN İNHİBİTÖRLERİN VE SICAKLIĞIN Al-Cu-Fe VE PİRİNÇ' İN KOROZYONUNA ETKİSİ

Önder KOÇ

Ankara Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Kimya Anabilim Dalı

Danışman: Prof. Dr. A. Abbas AKSÜT

Bu çalışma, TSK personeli, Makine ve Sistem Mühendisi Bakım Yüzbaşı Önder KOÇ'un TSK'da gözlemlediği sorun nedeniyle konu edildi. Öyleki, sayın KOÇ özellikle TSK araçlarında kullanılan alüminyum radyatörlerin zaman zaman delindiğini bunun ise araçları çalışamaz hale getirdiğini belirtti. Bu durumun ülke ekonomisine yaptığı zarar da cabası. Bu nedenle ilk olarak TSK'da kullanılan antifrizler araç radyatör alüminyumunun korozyona etkisi bunların derişimine bağı olarak 25°C sıcaklıkta araştırıldı. Ayrıca söz konusu antifrizlerin araçların soğutma sisteminde bulunabilecek bakır, demir, alüminyum ve pirincin korozyonuna etkisi de 25°C ve 88°C sıcaklık % 100 ve saf sudaki %35'lik derişimlerinde elektrokimyasal potansiyel-zaman, AC-empedans ve akım-potansiyel yöntemleriyle araştırıldı. Belirlenen bulgular TSK'daki gözlemler ile uyumlu oldu. Umarız sonuçlar ülke yararına değerlendirilir, korozyona daha dayanıklı antifriz ortamı geliştirilir.

**Haziran 2019, 82 sayfa**

**Anahtar Kelimeler:** Korozyon, Antifriz, Korozyon hızı

## ABSTRACT

Master Thesis

THE EFFECTS OF INHIBITORS AND TEMPERATURE ON THE CORROSION OF  
Al-Cu-Fe AND BRASS USED IN THE COOLING SYSTEMS OF THE VEHICLES  
IN THE TAF INVENTORY

Önder KOÇ

Ankara University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Chemistry

Supervisor : Prof. Dr. A. Abbas AKSÜT

This study was carried out by TAF personnel and Machine and System Engineer Maintenance Captain Önder KOÇ due to the problem observed in TAF. In fact, Mr. KOÇ stated that the aluminum radiators used in TAF vehicles were sometimes punctured from time to time, which made the vehicles inoperable. This is the damage done to the economy of the country. For this reason, the antifreeze used in TAF, the corrosion effect of the vehicle radiator aluminum was investigated at 25 ° C depending on the concentration of them. In addition, the effects of copper, iron, aluminum and brass on the corrosion system of the vehicles were investigated by electrochemical potential-time, AC-impedance and current-potential methods at 25 ° C and 88 ° C, 100% and 35% in pure water. The findings were consistent with TAF observations. We hope the results are evaluated for the benefit of the country, more protected antifreeze environment is developed.

**June 2019, 82 pages**

**Key Words:** Corrosion, antifreeze, corrosion rate

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimi hazırlamam esnasında beni destekleyen, bilgi ve deneyimleriyle bana yol gösteren sevgili hocam Prof. Dr. A. Abbas AKSÜT' e (Ankara Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı), tezin hazırlanmasında fikirleriyle yol gösteren ve gösterdikleri yakın ilgi ile moral veren sayın Dr. Turan YANARDAĞ' a (Ankara Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı), beni her konuda destekleyen, yüreklandiren sevgili aileme ve her zaman yanımda olan biricik eşim Sinem KOÇ' a, sevgi, saygı ve tüm içtenliğimle, teşekkür ederim.

Önder KOÇ  
Ankara, Haziran 2019

## İÇİNDEKİLER

<b>TEZ ONAY SAYFASI</b>	
<b>ETİK.....</b>	<b>i</b>
<b>ÖZET.....</b>	<b>ii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>iii</b>
<b>TEŞEKKÜR .....</b>	<b>iv</b>
<b>SİMGELER DİZİNİ .....</b>	<b>vii</b>
<b>ŞEKİLLER DİZİNİ .....</b>	<b>viii</b>
<b>ÇİZELGELER DİZİNİ .....</b>	<b>ix</b>
<b>1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Korozyon Tanımı .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Korozyonun Önemi.....</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Korozyonun Maddi Boyutu.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Korozyonun Oluşması .....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1 Standart elektrot potansiyelleri.....</b>	<b>5</b>
<b>1.5 Korozyonun Önlenmesi .....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.1 Saf metal kullanımı.....</b>	<b>9</b>
<b>1.5.2 Alaşım elementlerinin ilave edilmesi.....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.3 Isıl işlem .....</b>	<b>10</b>
<b>1.5.4 Katodik koruma.....</b>	<b>11</b>
<b>1.5.5 Korozyon önleyicilerin kullanılması .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6 Korozyon Çeşitleri .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.1 Genel korozyon .....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.2 Metal çifti yada galvanik korozyon.....</b>	<b>12</b>
<b>1.6.3 Aralık korozyonu.....</b>	<b>13</b>
<b>1.6.4 Çukurcuk korozyonu .....</b>	<b>14</b>
<b>1.6.5 Taneler arası korozyon.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6.6 Seçimli aşınma.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6.7 Erozyon korozyonu.....</b>	<b>15</b>
<b>1.6.8 Yorulma ve yorulmalı korozyon.....</b>	<b>17</b>
<b>1.7 Korozyon Hızını Belirleme Metodları.....</b>	<b>17</b>
<b>1.7.1 Kütle kaybı metodu .....</b>	<b>18</b>
<b>1.7.2 Gaz ölçüm metodu .....</b>	<b>18</b>
<b>1.7.3 Tafel ekstrapolasyonu metodu.....</b>	<b>19</b>
<b>1.7.4 Akım-potansiyel eğrisinin katodik bölgesinden korozyon akımını belirleme metodu..</b>	<b>20</b>
<b>1.7.5 Lineer polarizasyon metodu .....</b>	<b>21</b>
<b>1.7.6 Alternatif akım (AC-Empedans) metodu .....</b>	<b>22</b>
<b>1.8 Akım Potansiyel Eğrilerini Bulma Metodları .....</b>	<b>24</b>
<b>1.8.1 Potansiyostatik metot .....</b>	<b>25</b>
<b>1.8.2 Galvanostatik metot.....</b>	<b>25</b>
<b>2. MOTORLARDA SOĞUTMA SİSTEMİ .....</b>	<b>27</b>
<b>2.1 Soğutma Sistemi .....</b>	<b>27</b>
<b>2.2 Motorun Sıcak Çalışmasının Sakıncaları .....</b>	<b>29</b>
<b>2.3 Motorun Soğuk Çalışmasının Sakıncaları.....</b>	<b>30</b>
<b>2.4 İyi Bir Soğutma Sisteminin Özellikleri .....</b>	<b>30</b>
<b>2.5 Su Soğutmalı Motorlar .....</b>	<b>31</b>

2.5.1 Genel yapısı .....	31
2.5.2 Soğutma suyunun devirdaimi.....	33
2.6 Su Soğutma Elemanları .....	34
2.6.1 Su ceketleri .....	34
2.6.2 Radyatör .....	34
2.6.2.1 Görevleri .....	34
2.6.3 Su pompası .....	36
2.6.4 Fan .....	37
2.6.5 Termostat .....	38
3. SOĞUTMA SIVILARI .....	39
3.1 Motor Soğutma Suyu .....	39
3.2 Su ve Antifriz.....	39
3.2.1 Methanol.....	40
3.2.2 Etilen glikol .....	40
3.2.3 Propilen glikol.....	40
3.2.4 Diğer katkıları .....	40
4. MATERYAL VE YÖNTEM .....	42
4.1 Deney Sistemi.....	42
4.2 Korozyon Hücresi.....	43
4.3 Referans Elektrotunun Hazırlanması .....	43
4.4 Çalışma Elektrotunun Hazırlanması .....	43
5. DENEY SONUÇLARI .....	45
5.1 EGE Antifrizi ile Yapılan Deneyler.....	53
5.2 SP Antifriz ile Yapılan Deneyler .....	58
5.3 TSK Özel Antifriz ile Yapılan Deney Sonuçları.....	62
6. TARTIŞMA .....	69
7. SONUÇLAR.....	76
KAYNAKLAR .....	80
ÖZGEÇMİŞ.....	82

## SİMGELER DİZİNİ

$I_{kor}, I_{cor}$	Korozyon Akımı
$E_{kor}, E_{cor}$	Korozyon Potansiyeli
$\beta_a$	Anodik Tafel Eğimi
$\beta_c$	Katodik Tafel Eğimi
$\Delta E$	Potansiyel Değişimi
$\mu$	$10^{-6}$
$A, S$	Yüzey Alanı
$\Delta G$	Serbest Entalpi Değişimi
$M$	Metalin mol kütlesi
$R_p$	Polarizasyon direncini
$C$	Kapasite eşdeğeri
OHP	Dış Helmholtz Tabakası
$W$	Alternatif akım frekansı
$Z$	Empedans

## ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1.1 Metal elektrot ile çözelti ara yüzünün şematik gösterimi .....	6
Şekil 1.2 Çinko ve kalay ile kaplanmış çelik yüzeyde oluşan galvanik korozyon .....	13
Şekil 1.3 Aralık Korozyonu .....	13
Şekil 1.4 Çukurcuk Korozyonu.....	14
Şekil 1.5 Taneler Arası Korozyonu.....	15
Şekil 1.6 a) Evlerdeki sıcak su boruları içinde erozyon korozyonu b) Bir boru içinde erozyon korozyonu.....	16
Şekil 1.7 Hidrojen gazı ölçme deney düzeneğinin şematik gösterimi .....	19
Şekil 1.8 Tafel ekstrapolasyonu yöntemi ile korozyon akımının (icor) bulunuşu .....	20
Şekil 1.9 Korozyonun denge potansiyeli civarında elde edilen lineer polarizasyonu.....	22
Şekil 1.10 a) Metal/Çözelti ara yüzeyindeki potansiyel dağılımı b) Ara yüzün elektronik eşdeğeri olan devre şeması .....	23
Şekil 1.11 Bağıntısına göre çizilen şematik kompleks diyagram .....	24
Şekil 1.12 Potansiyostatik yöntem .....	25
Şekil 1.13 Galvonostatik yöntem .....	26
Şekil 2.1 Araç soğutma sistemi.....	27
Şekil 2.2 Su soğutmalı motor kesidi .....	31
Şekil 2.3 Su soğutmalı sistem .....	31
Şekil 2.4 Soğutma sistemi devresi .....	32
Şekil 2.5 Soğutma sistemi devresi-2 .....	32
Şekil 2.6 Soğutma suyunun sirkülasyon şeması .....	33
Şekil 2.7 Silindir kafasındaki su çeketi .....	34
Şekil 2.8 Radyatör yapısı .....	35
Şekil 2.9 Radyatörde hava akımı .....	35
Şekil 2.10 Su pompası.....	36
Şekil 4.1 Deney sisteminin şematik gösterimi .....	42
Şekil 4.2 Üçlü elektrot sistemi referans elektrot (Ag/AgCl(Cl <sup>-</sup> , doy.)), çalışma elektrotu (Al, Fe, Cu) ve karşıt elektrotun (Pt) şematik gösterimi.....	43
Şekil 4.3 Çalışma elektrotunun (Al, Fe, Cu) şematik gösterimi .....	44
Şekil 5.1 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan EGE antifriz derişimine bağılı olarak 25°C’de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	46
Şekil 5.2 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan TSK Özel antifriz derişimine bağılı olarak 25°C’de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	47
Şekil 5.3 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan Süper antifriz derişimine bağılı olarak 25°C’de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	48
Şekil 5.4 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan %35’lik TSK, EGE ve SP antifriz ortamında 88°C’da elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC-empedans c) Akım-potansiyel eğrileri .....	49
Şekil 5.5 Bakır metali için %35’lik TSK, EGE, SP antifrizlerinin 88°C’de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	50

Şekil 5.6 Alüminyumun Ankara çeşme su ile hazırlanan %35'lik TSK, EGE, SP antifrizlerinin 88°C'de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	51
Şekil 5.7 %35 EGE antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 88°C sıcaklıkta elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	53
Şekil 5.8 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 EGE antifrizinin 88°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	55
Şekil 5.9 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %35 EGE antifrizinin 25°C da elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	56
Şekil 5.10 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 EGE antifrizinin düşük sıcaklıkta 25°C'de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	57
Şekil 5.11 %35 Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 88°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	58
Şekil 5.12 %35 Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 25°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	59
Şekil 5.13 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 SP antifriz ortamında 88°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	60
Şekil 5.14 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 SP antifrizinin 25°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	61
Şekil 5.15 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %35 TSK antifrizinin 88°C elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri ...	62
Şekil 5.16 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 saf TSK antifriz ortamında 88°C'de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	63
Şekil 5.17 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %35'lik TSK antifriz ortamında 25°C'de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	64
Şekil 5.18 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 saf TSK antifriz ortamında 25°C'de elde edilen a) Potansiyel-zaman b) AC Empedans c) Akım-Potansiyel eğrileri .....	65
Şekil 6.1 Alüminyumun 25°C'da EGE antifriz ortamındaki korozyon hızının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) derişimle değişimi.....	69
Şekil 6.2 Alüminyumun 25°C'da SP antifriz ortamındaki korozyon hızının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) derişimle değişimi .....	69
Şekil 6.3 Alüminyumun 25°C'da TSK Özel antifriz ortamındaki korozyon hızının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) derişimle değişimi.....	70
Şekil 6.4 Metallerin 25°C ve 88°C'da %100 EGE antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	71
Şekil 6.5 Metallerin 25°C ve 88°C'da %35 EGE antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	71
Şekil 6.6 Metallerin 25°C ve 88°C'da %100 SP antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	72

Şekil 6.7 Metallerin 25°C ve 88°C’da %35 SP antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	73
Şekil 6.8 Metallerin 25°C ve 88°C’da %100 TSK Özel antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	73
Şekil 6.9 Metallerin 25°C ve 88°C’da %35 TSK Özel antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A.cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması .....	74



## ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Bazı önemli referans elektrotların standart hidrojen elektrotuna göre elektromotor kuvvetleri ve şematik gösterimi.....	7
Çizelge 1.2 Bazı metallerin standart hidrojen elektrotuna göre indirgenme potansiyelleri .....	8
Çizelge 5.1 Alüminyumun saf su ile hazırlanan TSK, EGE ve SP antifrizlerinin yüzde oranları değişimi ile 25°C’de akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen ortalama korozyon hızı(ikor) ve parametreleri.....	52
Çizelge 5.2 Alüminyumun Ankara çeşme suyu ile hazırlanan hacimce %35’lik TSK, EGE ve SP antifrizlerinin 25°C’deki akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen ortalama korozyon hızı(ikor) ve diğer korozyon parametreleri .....	52
Çizelge 5.3 TSK’da kullanılan Etilen glikol esaslı antifriz(EGE) ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı (ikor) ve diğer parametreleri.....	66
Çizelge 5.4 Türk Silahlı Kuvvetlerinde kullanılan Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı (ikor) ve diğer parametreler.....	67
Çizelge 5.5 Türk Silahlı Kuvvetlerde kullanılan TSK özel antifriz ortamında soğutma sistemlerdeki bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı (ikor) ve diğer parametreler .....	68
Çizelge 6.1 25°C’da metallerin farklı derişimlerdeki (%100 ve %35’lik) etilen glikol esaslı (EGE), super antifriz (SP) ve Türk Silahlı Kuvvetleri özel (TSK-özel) antifriz ortamlarında sıcaklıktaki alüminyuma göre potansiyel farkları ( $\Delta E = E(\text{Kor, Me}) - E(\text{Kor, Al})$ ).....	75
Çizelge 6.2 88°C’da metallerin farklı derişimlerdeki (%100 ve %35’lik) etilen glikol esaslı (EGE), super antifriz (SP) ve Türk Silahlı Kuvvetleri özel (TSK-özel) antifriz ortamında alüminyuma göre korozyon potansiyellerinin farkları ( $\Delta E = E(\text{Kor, Me}) - E(\text{Kor, Al})$ ).....	75
Çizelge 6.3 Ankara çeşme suyu bileşimi .....	75

# 1. GİRİŞ

## 1.1 Korozyonun Tanımı

Doğadaki her metal aslına dönme eğilimindedir. Bu eğilimin gerçekleşme sürecine “korozyon” adı verilir. Metal ve alaşımların çevresiyle kimyasal veya elektrokimyasal etkileşimi sonucu ilk kararlı bileşikleri haline dönüşümü korozyonu ifade eder. Dilimize farklı dillerden gelen korozyon kelimesi; aşınma, paslanma, çürüme ve çözülme gibi kelimelerle de ifade edilebilir. Korozyonla metallerin kimyasal, fiziksel, elektriksel veya mekanik özelliklerinde doğası gereği istenmeyen bazı dönüşümler gerçekleşebilir.

## 1.2 Korozyonun Önemi

Dünyada yeraltında boru hatları, motor-düzenleri, depolama tankları, metalik yedek parça ve bağlantı malzemeleri, yapı destekleri, hat kabloları ve daha sayamayacağımız pek çok ortamda metalik malzemeler kullanılmaktadır. Bu metalik malzemeler toprakla direkt temas eder ve korunmaz ise korozyon meydana gelir (Schweitzer, 1983). Metalik yapıların kullanım alanının özelliğine göre korozyon meydana gelir. Korozyon, malzemelerin özelliklerinin değişmesine neden olduğundan, arzu edilmeyen bazı sonuçlara da sebep olur. Sanayinin çoğu dalında kendisinden söz ettiren korozyonun, ekonomik tarafı da çok önemlidir. Önlem alınmayan veya alınamayan metal veya metal malzemelerinin korozyona uğraması önemli bir problemdir. Metal malzemelerin çoğu termodinamik açıdan doğadaki kararlı haldeki bileşiklerine dönmeye eğilimlidir. Aslında, metalik malzemeler çeşitli amaçla kullanılmak üzere üretilir. Elde edilen malzemeler, yeniden korozyona uğrayarak kararlı durumlarına dönerse, bu malzemelerin elde edilmesi için harcanan enerji ve para boşa gider.

Korozyon, metal malzemelerin çevrede buldukları ortamla etkileşime girmeleri neticesinde, haricen enerji vermeye ihtiyaç duyulmadan, tamamen doğal olarak gerçekleşir. İçinde su olan ortamlarda korozyon en fazla olur. Bu tip korozyona "sulu

*ortam korozyonu veya elektrokimyasal korozyon*" denir. Toprak içinde, atmosferde ya da sulu ortamlar içerisinde oluşan korozyon örnek olarak verilebilir. Yüksek sıcaklıktaki, gaz ortamında oluşan korozyona ise "*kuru ya da sıcaklık korozyonu*" adı verilir.

Metallerin, etrafıyla elektrokimyasal veya kimyasal etkileşimi sonucu doğadaki şekline dönüşme süreci olan korozyon, ülke ekonomisinde de maddi açıdan büyük kayıplara sebep olmaktadır. Ülkemiz için rakamsal bir değer veya oran vermek mümkün değilse de, milyarlar ifade edilebilir. Korozyonun sebep olduğu bu kayıpların yanında, başka önemli bir zararı ise doğadaki kısıtlı veya yetersiz kaynakların tükenmesine sebep olmasıdır. Korozyona uğrayan metalin tekrar geri elde edilmesi de, büyük ölçüde enerjinin kullanılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Örnek olarak, korozyon nedeniyle yapısı değişen bir ton demir için dört ton kok kömürüne ihtiyaç duyulur. Böylece kısıtlı olan enerji hammaddesi gereksiz yere harcanmış olur. Bu da çabaların ve maddi unsurların boşa harcanması anlamına gelir. Metal ve metal alaşımların kullanılması sürdükçe, korozyonu engellemeye yönelik gayretlerin önemi de artacaktır.

### **1.3 Korozyonun Maddi Boyutu**

Korozyon sebebiyle oluşan ürün, enerji ya da emek gibi harcamaların yıllık değeri, devletlerin GSMG'lerinin % 3'ü ile %5'i arasında olmaktadır. Bu aralık çok ciddi bir maddi kayıp anlamına gelmektedir. Fakat, bu kayıpların pekçoğu alınacak tedbirlerle önlenabilir veya kısıtlanabilir. Örneğin ülkemizde Devlet İstatistik Enstitüsü tarafından sunulan raporda 1986' da, korozyonun neden olduğu kayıpların GSMG'nin %4.64 değerine denk olduğu ve bu değer %1.65'e kadar düşürülebileceği tespit edilmiştir.

Son yıllarda alınan önlemler metal ve metal alaşımlarını korozyona karşı korumak için daha fazla önem kazanmıştır. Son zamanlarda bilhassa gelişmiş ülkelerde metallerin birbirine teması nedeniyle oluşan aşınma sorunlarına karşı uyguladıkları çözümlerle Gayri Safi Milli Hasıla (GSMH) değerinde yaklaşık %1.6 oranında bir

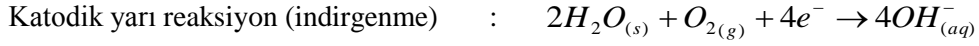
iyileşmeyi sağlanabildiği gözlemlenmiştir. Ek olarak çevremizdeki kirliliğin sebeplerinden biri olan korozyon, insan sağlığını da olumsuz etkiler. Korozyona uğraması kaçınılmaz olan metalik malzemeleri kullanan veya çalışma ortamında bulunan tekniknesyenlerin korozyonun ne olduğunu ve nasıl önleneceği konusunda bilgi sahibi olmaları önemli bir husustur. Korozyonu önlemek için alınacak tedbirler doğru bir şekilde uygulanabilirse kayıplar %30 ile %40 arasında indirilebilir. Korozyonla mücadelede alınması gereken tedbirler konusunda araştırmalar devam etmektedir.

#### 1.4 Korozyonun Oluşması

Metal ve metal alaşımların üzerindeki farklı fazlar arasında potansiyel farkı meydana getirir. Elektrot potansiyeli negatif yani daha aktif ya da yükseltgenme olayın olduğu tarafa, *anodik bölge*, potansiyeli pozitif yani daha soy bölgeyse indirgenme olayın olduğu tarafa, *katodik bölge* adı verilir. Yükseltgenme ya da indirgenme bölgelerinin meydana gelmesiyle korozyon ortaya çıkar. Hem anot hem de katot bölgelerinde oluşan yeni ürünlere "*korozyon ürünü*" adı verilir. Korozyon ürünlerinin de metal yüzeyinde birbirleriyle etkileşmesi olasıdır. Bazen korozyon ürünü görünür durumda olabilir. Ayrıca, aşağıdaki bazı durumlar da korozyon sözkonusu olabilir.

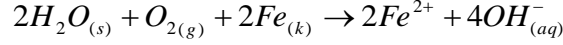
- i) Metal veya metal malzemedeki niteliksel farklar,
- ii) Değişik iki metalin ve metal malzemenin teması,
- iii) Metallerin çeşitli oranlarda olduğu bölgenin meydana gelmesi de potansiyel farkı yaratabilir.

Katodik yerdeki indirgenme neticesinde metalin birikmesi, anodik yerdeki metalin yükseltgenmesiyle iyon haline geçerek aşınması ya da metalin korozyonu söz konusudur. Mesela nötr veya atmosfere açık sulu ortam içindeki demirin korozyonu sonucu meydana gelen anot ve katot yarı reaksiyonları aşağıdaki gibi yazılabilir.



---

Hücre reaksiyonu (toplam reaksiyon) :



Katotta meydana gelen hidroksit ( $OH^{-}$ ) anyonları anot kutbuna doğru giderken, katoda doğru hareketlenen demir ( $Fe^{+2}$ ) iyonlarıyla karşı karşıya gelir. Bu karşılaşan iyon çeşitleri biraraya gelerek demirin hidroksit [ $Fe(OH)_2$ ] bileşiklerini meydana getirir. Meydana gelen demir hidroksit çözelti içinde bulunan oksijenle tepkimeye girerek pas denilen korozyon ürününü meydana getirir.

Anot bölgesinde metalin yükseltgenmesi sonucunda çözünmesi, serbest hareket eden elektronların miktarıyla orantılı şekilde değişmektedir. Anottan katoda giden akım şiddetindeki yavaşlama, metal yüzeyinde meydana gelen korozyonun yavaşladığında gösterir.

Toplam reaksiyon denkleminde, tepkimeye giren bileşenler ve ürünlerin “Standart Serbest Entalpi değişimi  $\Delta G^0 = 0$  ise korozyon hücresi pil gibi iş görmez. Bu durumda korozyon oluşmuyor demektir. Fakat denklemde reaksiyona katılan element ve bileşik türlerin standart serbest entalpi değerleri hesaplanırsa reaksiyona giren maddelerin tümünün serbest entalpileri  $\sum \Delta G_{gir.}^0$ , meydana gelen ürünlerin standart serbest entalpileri  $\sum \Delta G_{ür.}^0$  toplamından büyük ( $\Delta G_{gir.}^0 > \Delta G_{ür.}^0$ ) olduğundan reaksiyon kendiliğinden meydana gelir ve hücredeki standart serbest entalpi değişimi ( $\Delta G_{ür.}^0 < 0$ ) sıfırdan küçüktür. Bu halde demirin paslanması meydana gelir.

$$\sum \Delta G_{kor.}^0 = \sum \Delta G_{ür.}^0 - \sum \Delta G_{gir.}^0$$

Hücre reaksiyonunda oluşan ürünler ve tepkimeye giren maddelerin standart serbest entalpileri arasındaki fark, korozyon reaksiyonunun reaksiyon serbest entalpisi

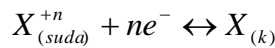
değerini gösterir. Reaksiyon hücresinde n alınan veya verilen elektron sayısını, F Faraday sabitini ve bu hücrenin potansiyeli ( $E_{\text{hücre}}$ ),

$$E_{\text{hücre}} = \frac{-\Delta G_{\text{kor}}}{n.F}$$

şeklinde bir eşitlikle gösterilebilir. Korozyon hücresinde serbest enerji ya da reaksiyon potansiyelinin bir bölümü anodik reaksiyona, bir bölümü katodik reaksiyonla sabit bir hızla oluşması için tüketilirken bir bölümüyse sistem (iç) direncini yenmek için tüketilir. Sistemin direnci yükseldikçe tüketilecek serbest enerji de o denli fazla olur. Böylelikle serbest enerji toplamı hem anodik hem katodik tepkimelerle tüketilen oran daha az olursa, korozyon akımı yani korozyon hızı azalır. Korozyonun oluşumu, çözelti bazikliğine, oksijen miktarına istinaden demir yüzeyinde korozyonun ilerlemesini engelleyecek biçimde uzakta oluşur. Bazen hidrojen gazı katot kısmında metal yüzeyde toplanarak, hidrojen gazından oluşan bir film katmanı ile korozyonun yavaşlamasına sebep olur. Elektrolit içinde çözünen oksijen, metalin yüzey kısmında indirgenince hidrojen iyonlarıyla reaksiyona girerek su meydana getirir. Bu durumda korozyonun ilerlemesi sağlanmış olur. Demir ve suyun film giderme hızı katot bölgesine değen suda çözünecek haldeki oksijenin etkili olan konsantrasyonuna bağlıdır. Bu konsantrasyonun sayısı havalandırma oranı, hareketi, ortam sıcaklığı ve çözünecek tuzların bulunup bulunmadığına da bağlıdır.

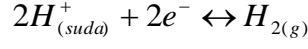
#### 1.4.1 Standart elektrot potansiyelleri

Metaller, çözelti ortamında az veya çok yükseltgenir. Oluşan metal katyonları çözelti ortamına geçer, bu serbest kalan elektronlar ise metal üstünde kalır. Dolayısıyla metal üstünde eksi yükün fazlası meydana gelir ve metal eksi yük ile yüklenmiş olur. Tepkime işlemi denge kurulana dek ilerler.

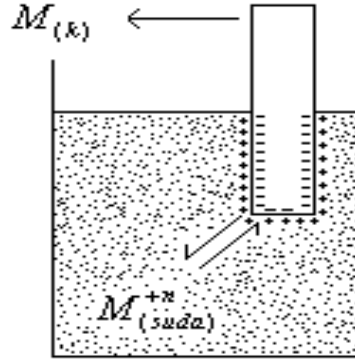


Denge kurulduğunda çözelti ortamındaki (+) yükler ile elektrot yüzeyindeki (-) yükler arasında meydana gelen potansiyel farka “*Elektrot Potansiyeli*” denir. elektrot

potansiyelleri çoğu zaman Standart Hidrojen Elektrotu (SHE) göre verilir. Standart hidrojen elektrotu, sıcaklığı 25°C ve 1M hidrojen iyonu derişimine sahip bir çözeltide platin tel daldırılmak suretiyle, telin üzerine 1 atm basınçta H<sub>2</sub> gazı gönderilerek meydana getirilir. Bu duruma göre, SHE için,



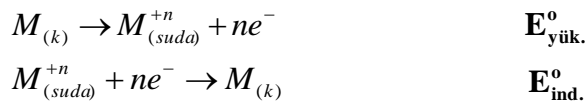
Şeklinde olan tepkimenin potansiyel değeri sıfır kabul edilmektedir. ( $E^o_{SHE} = 0$ ).



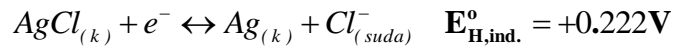
Şekil 1.1 Metal elektrot ile çözelti ara yüzünün gösterimi

M metalinin elektron verme eğilimi standart koşullardaki hidrojen Elektrotuna göre büyükse, elektrotun çözelti ile temas ettiği kısımda metal negatif, çözeltideyse pozitif yüklenmiş olur. Böylelikle metalin potansiyeli çözeltinin potansiyelinden küçük olup, böyle metallere “aktif metallere” denir.

Metalin yükseltgenme eğilimi standart hidrojen elektrotuna göre küçükse, çözünme sonucu oluşan metal katyonları elektrot yüzeyine gelerek elektron alarak elektrot (+), sulu çözelti ise (-) ile yüklenir. Metal elektrotun potansiyel değeri çözeltinin potansiyelinden daha büyüktür. Bu tip metal çeşidine “soy “ veya “yarı soy” adı verilir. Genelde metal elektrotun yükseltgenme ya da indirgenme yarı reaksiyonları aşağıdaki gibi belirtilmiştir. Standart koşullardaki yükseltgenme yarı hücre potansiyeli  $E^o_{yük.}$  ve standart indirgenme yarı potansiyeli  $E^o_{ind.}$  şeklinde belirtilmiştir.



Elektrot potansiyelleri yardımcı bir elektrotla ölçülür. Bu yardımcı metal elektrotlar, potansiyel değeri çok fazla değişiklik göstermeyen türlü referans elektrottur. Bu çalışmadaki referans elektrot olarak doygun gümüş ve gümüş klorür elektrotu kullanılmıştır. Doymuş gümüş/gümüş klorür elektrot, gümüş metaliyle gümüş metaline ait az çözünen klor tuzu ve bu tuzunun iyonunu ihtiva eden çözeltiden meydana gelmektedir. Gümüş ile gümüş klorür referans elektrotun standart elektrot potansiyeli 25°C da +0.222 Volt' tur. Bu elektrota ait yarı tepkime aşağıdaki gibidir.



Standart hidrojen elektrotuna göre, gümüş/gümüş klorür elektrot olmak üzere diğer referans elektrotlar ve potansiyelleri Çizelge 1.1'de verilmiştir.

Çizelge 1.1 Çeşitli referans elektrotların standart hidrojen elektrotuna göre şematik gösterimi ve potansiyelleri

Referans Elektrotlar	Gösterilişi	EMK, Volt (1 atm, 25°C)
Standart Hidrojen Elektrot	Pt, H <sub>2</sub> (1 atm) / H <sup>+</sup> (a=1)	0.000
Doymuş Kalomel Elektrot	Hg / Hg <sub>2</sub> Cl <sub>2</sub> , KCl (doy.)	+0.244
Gümüş / Gümüş Klorür Elektrot	Ag / AgCl, KCl (doygun)	+0.222
Gümüş / Gümüş Klorür Elektrot	Ag / AgCl, Cl <sup>-</sup> (deniz suyu)	+0.266
Bakır / Bakır Sülfat Elektrot	Cu / CuSO <sub>4</sub> /CuSO <sub>4</sub> (doygun)	+0.316

\*Korozyon ve Önlenmesi, Prof. Dr. Saadet ÜNERİ, Korozyon Derneği, 1987 Ankara / Türkiye

Metallerin elektrot potansiyelleri veya elektromotor kuvvetlerinin mutlak değeri tespit edilemediğinden karşıt olarak bağıl büyüklüklerinin tespit edilmesi tercih edilir. Bu sebeple standart şartlarda hidrojen elektrotun potansiyelini 0.000 Volt olarak varsayarak, referans olarak hidrojen elektrot potansiyeli alınmıştır. Standart şartlarda, hidrojen gazının basıncının 1 atm, sıcaklığının 25°C ve hidrojen iyonlarının aktivitesi ise 1'dir. Yapılan deneylerde çoğu zaman Standart Hidrojen Elektrot (SHE) referans elektrot olarak pek tercih edilmez. Sebebi, çözeltideki H<sup>+</sup> iyonlarını birim aktivitede ve hidrojen gazının basıncını 1 atm' de tutmak çok zordur. Bu nedenle çözeltiden devamlı hidrojen gazı geçirilmesini zorunlu kılar. Diğer elektrotların veya

yarı hücrenin potansiyelleri hidrojen elektrotuna karşı ölçülerek, potansiyelleri değerlerine göre düzenlenmiş olan çizelgede verilmiştir. (Çizelge 1.1).

Hidrojen elektrotun pratikte kullanılması durumunda zorluklar çıkardığından, potansiyelleri zamanla pek fazla değişmeyen ve bu nedenle referans elektrot olarak kullanılmaya elverişli, çeşitli referans elektrotlar yapılmış ve standart hidrojen elektrota göre potansiyelleri tespit edilmiştir.

Çizelge 1.2 Bazı metallerin standart hidrojen elektrotuna göre indirgenme potansiyelleri

Elektrot yarı tepkimesi	$E_{ind.}^{\circ}$ (V)
$K_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow K_{(k)}$	-2.93
$Ca_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Ca_{(k)}$	-2.87
$Na_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Na_{(k)}$	-2.71
$Mg_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Mg_{(k)}$	-2.37
$Be_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Be_{(k)}$	-1.70
$Al_{(suda)}^{+3} + 3e^{-} \rightarrow Al_{(k)}$	-1.66
$Mn_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Mn_{(k)}$	-1.18
$2H_2O_{(suda)} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)} + 2OH_{(suda)}^{-}$	-0.83
$Zn_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Zn_{(k)}$	-0.76
$Cr_{(suda)}^{+3} + 3e^{-} \rightarrow Cr_{(k)}$	-0.74
$Ga_{(suda)}^{+3} + 3e^{-} \rightarrow Ga_{(k)}$	-0.42
$Fe_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Fe_{(k)}$	-0.44
$Cd_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Cd_{(k)}$	-0.40
$In_{(suda)}^{+3} + 3e^{-} \rightarrow In_{(k)}$	-0.34
$Ti_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Ti_{(k)}$	-0.33
$Co_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Co_{(k)}$	-0.28
$Ni_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Ni_{(k)}$	-0.25
$Sn_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Sn_{(k)}$	-0.14
$Pb_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Pb_{(k)}$	-0.13
$2H_{(suda)}^{+} + 2e^{-} \rightarrow H_{2(g)}$	0.00
$Cu_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Cu_{(k)}$	+0.34

Çizelge 1.2 Bazı metallerin standart hidrojen elektrotuna göre indirgenme potansiyelleri (devam)

$Cu_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Cu_{(k)}$	+0.52
$Ag_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Ag_{(k)}$	+0.80
$Pd_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Pd_{(k)}$	+0.83
$Hg_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Hg_{(k)}$	+0.85
$Pt_{(suda)}^{+2} + 2e^{-} \rightarrow Pt_{(k)}$	+1.20
$Au_{(suda)}^{+3} + 3e^{-} \rightarrow Au_{(k)}$	+1.50
$Au_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Au_{(k)}$	+1.68

## 1.5 Korozyonun Önlenmesi

Korozyonu durdurmak amacıyla bir çok yöntemler kullanılabilir.

- Metale alaşım elementlerinin ilave edilmesi
- Uygun tasarım yapılarak
- Isıl işleme tabi tutulması
- İnhibitör kullanılması
- Katodik koruma
- Saf metalin kullanılması
- Yüzeyin kaplanması

### 1.5.1 Saf metal elementinin kullanılması

Genellikle uygulamada oldukça safsızlık içermeyen metal malzeme kullanılması sonucu metalin korozyona karşı direnci arttırılabilir. Bu yöntem sayesinde metal yüzeyde meydana gelen ve homojen özellik göstermeyen bölümler minimuma indirilir. Böylelikle yüzeyde potansiyel farkı meydana gelmeyeceğinden korozyon büyük ölçüde azaltılabilir.

### 1.5.2 Alaşım elementlerinin ilave edilmesi

Metal malzemelerin korozyon davranışları farklılık gösterir. Çoğu metaller kolay bir şekilde korozyona maruz kalır. Bu tip metallere aktif metaller adı verilir. Bu tip metal çeşitlerinin kullanım süresini yükseltmek amacıyla birçok alaşım elementi kullanılmaktadır. Meydana gelen metal alaşımlar nedeniyle metal, korozyona karşı dayanıklı olabilmektedir. Örnek olarak, ostenitik paslanmaz çelikler 880°C-1380°C aralığındaki sıcaklıklarda soğutulursa tane sınırlarında krom karbürler çöker. Söz konusu çökme, çelikte taneler arası korozyon oluşumuna daha hassas hale getirir. Bu tür korozyona tedbir almak için ya karbon oranının azaltılması veya karbürlerin daha kararlı bir hale dönüştürülmesi gerekir. Titanyum ve kolombiyum, karbürleri daha kararlı bir şekilde dönüştürebilmek için ilave edilir. Yüksek sıcaklıktaki ostenit fazında çözünmeyen ve kararlı karbürler oluşturan bu elementlerin karbona karşı ilgileri yüksektir. Böylelikle, krom ile bir araya gelmesi için az miktarda karbon kalır ve çelik stabilize hale gelir. Bazı alaşım elementleri metalin üzerinde gözeneği bulunmayan oksit tabakaları meydana getirerek veya oluşumuna sebep olarak metalin korozyonuna karşı direncinin artmasına sebep olurlar. Örnek olarak; bakır alaşımlarına ilave edilen alüminyum ve mangan metalleri, paslanmaz çeliğe ilave edilen molibden ve alüminyum ilave edilen magnezyum metali bu malzemelerin korozyon dirençlerinin artmasına sebep olur.

### 1.5.3 Isıl işlem

Döküm parçalarının hemen hemen hepsinde segregasyon oluşur. Döküm parçalara homojenizasyonlu, çözdürme ya da stabilizasyonlu ısıl işlemler yapılarak içleri bağdaşık şekline getirilir ve korozyona karşı dirençleri fazlalaştırılır. Gerilmeli korozyonuna karşı hassas olan metal ve metal alaşımların dirençlerini artırma amacıyla soğukta şekillendirmeyi müteakip gerilimin azaltma işlemleri yaygın bir şekilde uygulanır.

#### 1.5.4 Katodik koruma

Katodik koruma, esasında elektriksel etkileşim durumundaki bir metal malzemenin aşınmaya maruz kalan kısmıyla bir aktif metalin bağlanması neticesinde sağlanır. Katodik koruma yönteminde, korozyonu engellenmek istenen metal malzeme katot olarak kullanılarak galvaniksel bir pil oluşur. Bu yöntem koruma için, çoğunlukla çinko ve çinko alaşımları, alüminyum veya magnezyum kullanılır. Bu yöntemde kurbanlık anot metoduyla katodik koruma denir. Diğer bir yöntem ise doğru akım gerilim kaynağı vasıtasıyla korunan metale akım uygulanarak sağlanır. Burada karbon, platin veya grafit malzemeler anot olur. Bu metotla yer altında korunacak binlerce borular, iskeleler, tanklar, gemiler ve kablolar vardır. Boru kısımların korozyondan korunabilmesi amacıyla metal anotlar borudan 2,4 - 3,0 metre uzaklığa toprak altına yerleştirilir. Metal anot olarak tespit edilen metal kabloyla boru hattına bağlantı sağlanır.

Katodik koruma yöntemi ilk olarak 1910-1912 yılları arasında İngiltere ve ABD’de uygulanmıştır. Söz konusu tarihlerden sonra katodik koruma Dünya çapında yaygın hale gelmiştir.

Sir Humpey Davy tarafından, 1824’de bakır gövdeli savaş gemilerinin çinko anotlarla korunabileceği belirtilmiştir. Bundan sonra İngiltere’de deniz kuvvetleri komutanlığı ‘*katodik koruma*’ yöntemini gerçekleştirmek maksadıyla bakır plaka ile kaplanmış geminin tekne yerine çinko blokları tutturarak bakırın aşınması önemli bir oranda azaltılmıştır. Fakat uygulanan bu koruma yöntemi sisteminin gövdeye yerleştirilen anotlar nedeniyle gemilerin süratinde bir yavaşlama olduğunu tespit ettikten sonra bu koruma metodundan vazgeçmişlerdir.

Günümüzde gemilerin söz konusu katodik koruma yöntemi ile korunmasından vazgeçilmemiştir. Bu maksatla gemilerin belli bölümlerine magnezyum ve çinko anotların bağlanması katodik koruma yöntemi uygulanmıştır. Ayrıca sanayi ya da evimizde kullandığımız tanklarda ve su ısıtıcılarında katodik koruma maksadıyla, genellikle anot olarak magnezyum metali kullanılır.

### 1.5.5 Korozyon önleyicilerin kullanılması

Korozyon hızını azaltabilmek maksadıyla, sulu koroziv ortama ilave edilen kimyasal maddelere “*inhibitör*” denir. Bu kimyasallar organik veya inorganik maddeler olabilir. Bu kimyasal maddeler, genellikle metal üzerinde koruyucu tabaka filmi oluşturmak suretiyle aşınmayı önler. İnhibitör maddeler seçilirken, çevre ve sağlık açısından zararlı olmamasına önem verilmelidir. Ayrıca inhibitör az miktarda da en güzel korumayı sağlamalıdır. Literatür araştırmasında inhibitör derişimi takriben binde bir molar seviyesindedir. Otomobil radyatörlerindeki antifriz içerisine ya da soğutma sisteminde kullanılan suyun içine binde bir inhibitör katılır.

### 1.6 Korozyonun Çeşitleri

Korozyon çeşitleri olarak en çok karşımıza çıkan korozyon tipleri aşağıda listelenmiştir. Bu korozyon çeşitlerinin bazıları birlikte de olabilir.

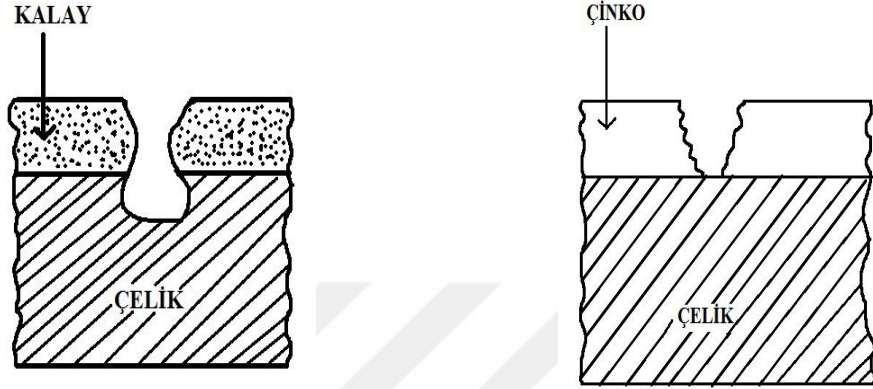
#### 1.6.1 Genel korozyon

Korozyon olayının en genel çeşididir. Metal yüzeyinde her bölgede elektrokimyasal veya kimyasal reaksiyonun aynı şekilde ilerlemesiyle metal yüzeyinin tamamı aynı şekilde korozyona uğrar. Metal giderek incilir ve kullanılamaz duruma gelir. Açık hava şartlarına maruz kalan bir demir parçasının her tarafı eşit oranda pas tutar. Bu korozyon türü aynı zamanda *homojen dağılımlı korozyon* olarak ta isimlendirilir. Bu tip korozyona karşı koruma yöntemleri sırayla, boya ile kaplama, inhibitör kullanımı ve katodik koruma olarak sıralanabilir.

#### 1.6.2 Metal çifti ya da galvanik korozyon

Korozif veya iletkenliği olan bir ortama farklı iki tür metal konulursa aralarında çoğunlukla bir potansiyel fark oluşur. Bu fark durumunda elektronlar bir metalden diğerine geçer. Korozyona dayanıklılığı az olan metalin korozyonu metallerin bir iletken tel ile bağlanmamış duruma göre çoğunlukla artar ve daha dirençli olanın

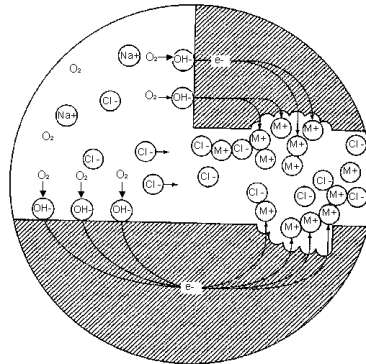
korozyonuysa yavaşlar. *Az dirençli metal anot, daha dirençli metal ise katot elektrot olur.* Bu tip korozyonda katot metali daha az korozyona uğrar. Elektrik akımı farklı metallerle ilişkili olduğu için bu tip korozyona “Metal çifti korozyonu” veya “Galvanik korozyon” denir.



Şekil 1.2 Çinko ve kalay ile kaplanmış çelik yüzeyde oluşan galvanik korozyon

### 1.6.3 Aralık korozyonu

Genellikle sulu ortamdaki metal yüzeyinde yarılmalar, aralık içinde veya metal üzerindeki kapatılmış kısımlarda yerel korozyon oluşur. Bu tür korozyon, genel anlamda durgun korozif ortamdaki conta yüzeyleri, yüzeyde biriken ürünlerin civata ve perçin kafalarının altındaki aralıklarda meydana gelir.



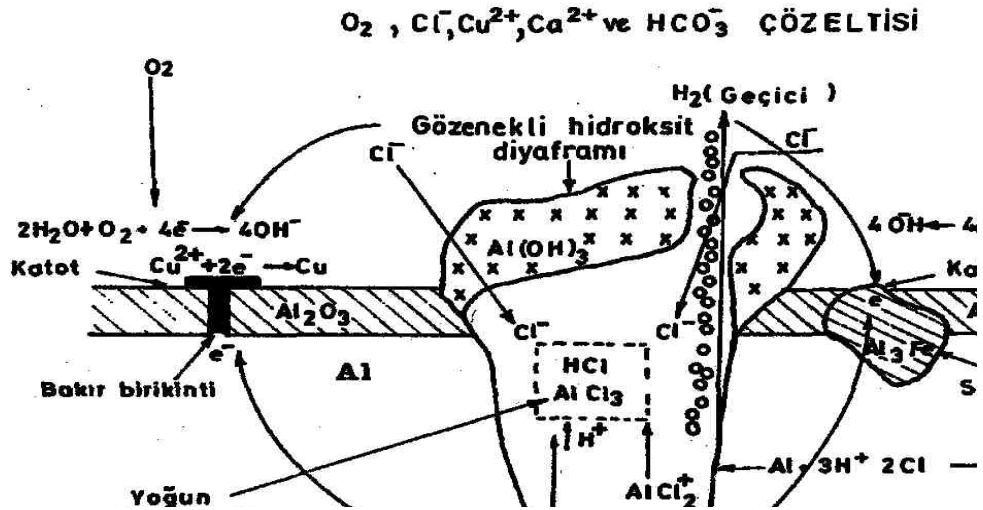
Şekil 1.3 Aralık korozyonu ( Üneri 1987)

### 1.6.4 Çukurcuk korozyonu

Korozyon nedeni ile malzeme yüzeyinde küçük delikler, çukurcuklar meydana gelirse bu tür korozyona *çukur korozyonu* veya *karıncalanma* adı denir. Çukurcukların çapları küçük veya büyük olabilir. Bu küçük noktalar birbirlerine çok uzak ya da çok yakın olabilir.

Küçük noktalar birbirlerine çok yakın olurlar ise pürüzlü bir yüzey görünümü verir. Çukur korozyonu habersiz oluşan ve yok edici bir korozyon tipidir. Malzemenin aşınarak delinmesi sonucu işin aksamasına ya da kazaya sebep olur.

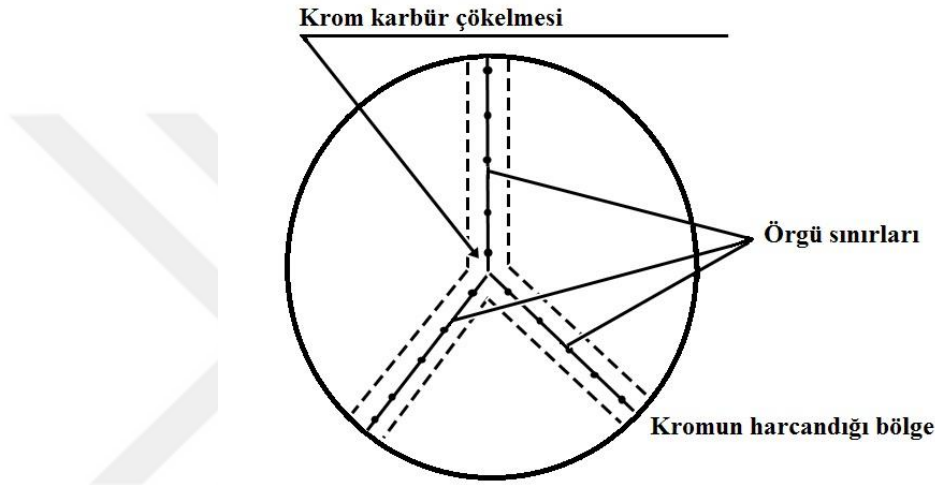
Çoğu kez küçük çukurları tespit etmek, küçüklükleri ve yüzeylerinin korozyon ürünleriyle kapanması sebebiyle çok zor olur. Nicel olarak ölçmek ve çukur korozyonun yayılma oranını karşılaştırmak da güçtür. Çünkü küçük çukurların derinliği ve sayısı zamanla değişip gelişebilir. Laboratuvar testleriyle çukur korozyonunu tahmin etmek oldukça zordur. Çukur korozyonu birkaç ay veya birkaç yıl gibi uzun süre sonra meydana gelebilir.



Şekil 1.4 Çukurcuk korozyonu (Üneri 1987)

### 1.6.5 Taneler arası korozyon

Belli koşullarda taneciklerin ara yüzeyleri reaksiyonlara çok meyilli olur. Bu durumda taneler arası korozyon meydana gelir. Örgüde bulunan taneciklere bağlı korozyon daha az oluşur. Fakat sınırlarda oluşan kopmalara *tanecikler arası ya da taneler arası korozyon* adı verilir. Alaşım dağılıp, var olan dayanma gücünü kaybeder.



Şekil 1.5 Taneler arası korozyonu (Üneri 1987)

### 1.6.6 Seçimli aşınma

Bir metal alaşımda bulunan bir metal bileşenin ayrı olarak aşınmasına *seçimli aşınma* adı verilir. En ünlü örnek korozyon nedeniyle pirinçten çinko ayrılmasıdır. Bu duruma dezinfikasyon denir. Buna benzer olaylar diğer alaşımlarda da gözlemlenir. Seçimli olarak metal alaşımdan krom, kobalt, alüminyum, demir aynı zamanda diğer elementler de uzaklaşır. Seçimli aşınma, dealüminikasyon, dekobaltifikasyon gibi terimler yerine olayın bütünü için kullanılan tamlamadır.

### 1.6.7 Erozyon korozyonu

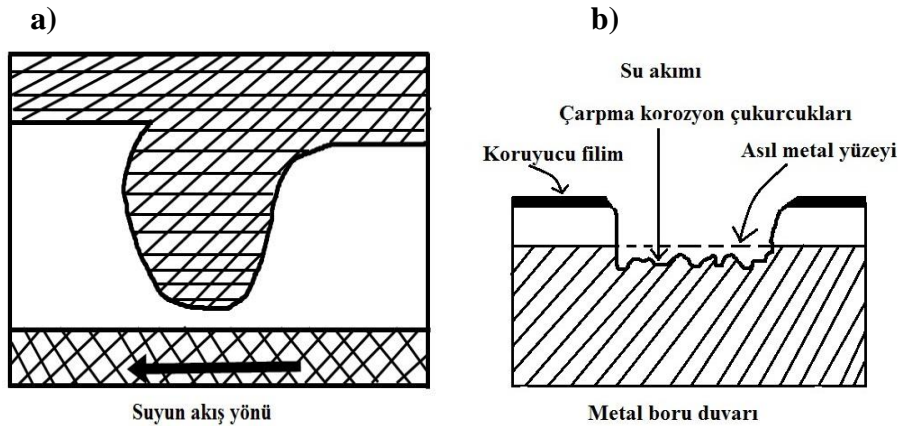
Metal ile sulu ortam arasındaki fiziksel etkileşim sebebiyle metalin aşınma veya parçalanma hızının sürekli artmasına *erozyon korozyonu* adı verilir. Çoğu zaman

erozyon gerçekten hızlıdır ve mekanik aşınma veya yıpranma etkisi de görülür. Metal yüzeyden ya iyon bileşikleri halinde koparak uzaklaşır ya da katı bileşik ürünler meydana getirerek ayrılır. Oluşan korozyon ürünleri mekanik şekilde yüzeyden uzaklaşır. Erozyon korozyonunun görünümü kendine hastır. Bunlar hendek, yiv, dalga, delik ve oluk şeklinde çeşitleri bulunmaktadır.

Metal veya alaşımların birçoğu erozyon korozyonuna karşı hassastır. Çoğunun erozyon korozyonuna karşı hassasiyetleri yüzeylerinde meydana gelen pasif filme bağlıdır. Paslanmaz çelikler, kurşun ve alüminyum yüzeylerinde oluşan pasif filmler buna örnek verilebilir. Metal yüzeydeki koruyucu filmler üzerinde aralıklar oluştuğu veya yıprandığı zaman metal ve metal alaşımlar hızlı bir şekilde erozyon korozyonuna maruz kalırlar.

Erozyon korozyonu farklı ortamlarda meydana gelebilir. Örneğin organik sistemler, sıvı metaller, gaz ortamı veya sulu çözeltilerde meydana gelebilir. Örneğin sıcak gazlar metali oksitleyebilir sonrasında yüksek hıza sahip gazlar ile bu oksitler savrulabilir. Aksi durumdaysa koruyucu film meydana getirir.

Akış halindeki sıvı ile temasta olan her tür metal erozyon korozyonuna maruz kalabilir. Örneğin boru sistemlerindeki bağlantı, T-boruları, dirsek, vanalar, merkezkaç noktaları, ısıtma ve soğutma boruları ve pompalar şeklinde örneklendirilebilir.



Şekil 1.6 a) Evlerdeki sıcak su boruları içinde erozyon korozyonu  
b) Bir boru içinde erozyon korozyonu (Üneri 1987)

### 1.6.8 Yorulma ve yorulmalı korozyon

*Yorulma*, periyodik olarak tekrarlanan bir gerilime maruz herhangi bir metal malzemenin kırılma meyili olarak belirtilir. Yorulma olayında en net görünüş, metalin üzerinin geniş kısmının parlak ve düz az bir kısmının ise pürüzlü ve kristalleşmiş görünüyorsa olmasıdır. Araştırmalarda yorulma çatlaklarının büyümesi sırasında, periyodik olarak sıklıkla verilen gerilimin metal yüzeyine çekiç gibi etki ettiği bulunmuştur.

*Yorulmalı korozyon*, sulu bir çözeltide yorulma dayançının düşmesi olarak söylenebilir. Çoğunlukla yorulmalı korozyonda, korozyon sonucu oluşan ürünler ile kaplanmış geniş bir bölge ve son olarak kırılma sonucunda küçük pürüzlü bölge görülür.

### 1.7 Korozyon Hızını Belirleme Metotları

Herhangi bir metalin korozyona maruz kalması, iletken ortamda yükseltgenmesi demektir. Yükseltgenmenin az veya çok olması, bulunduğu ortamın koşullarına bağlıdır.

#### 1.7.1 Kütle kaybı metodu

Bu metot ile korozyon hızı tespit edilirken, korozyonun homojen ve korozyon ürünlerinin, tamamen çözünür veya bulunduğu ortamda çözünerek metal malzemenin yüzeyinden uzaklaşması lazımdır. Korozyon akımı Faraday kanunlarından yararlanarak aşağıdaki eşitlikle bulunur.

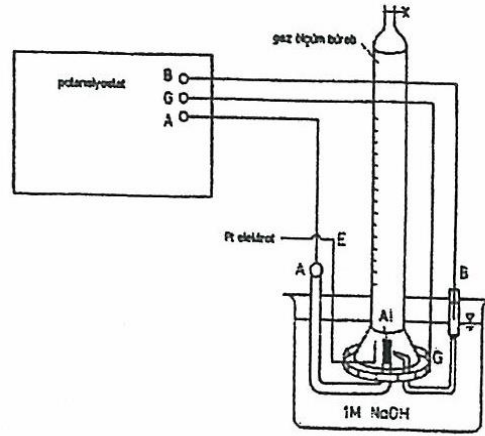
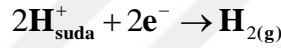
$$i_{kor} = \Delta m \cdot n \cdot F / M \cdot S \cdot \Delta t$$

Bu eşitlikte  $\Delta m$  kütle kaybı,  $n$  korozyona maruz kalan metalin alıp verdiği elektron sayısı,  $F$  Faraday sabiti (96485 Coulomb),  $\Delta t$  zaman değişimi,  $M$  metalin mol kütlesi ve  $S$  yüzey alanı olarak belirtilmiştir. Korozyon hızının kütle kaybı metoduyla tespit edilmesi zaman alır, aynı zamanda kesin sonuç alınmayabilir. Bu sebepten

günümüzde elektrokimyasal metotlarla akım-potansiyel eğrilerinin analiz edilmesi daha önemlidir. Genellikle her hangi bir metal sulu çözeltilerde yılda bir litrede 0.06 miligramdan daha az ürün olarak ortama geçmiş ise korozyona uğramış olduğu kabul edilir (Üneri, 1981).

### 1.7.2 Gaz ölçüm metodu

Korozyon anında meydana gelen gaz ürünlerinin miktarının tespit edilmesiyle reaksiyona giren madde miktarı, buradan da korozyon hızı tespit edilir. Korozyon esnasında meydana gelen hidrojen tespit edilerek korozyon hızı ölçülebilir. Hidrojen gazının ölçülmesinin deney düzeneği şematik olarak Şekil 2.7’de verilmiştir.



Şekil 1.7 Hidrojen gazı ölçme deney düzeneğinin şematik gösterimi (Heitz vd. 1983)

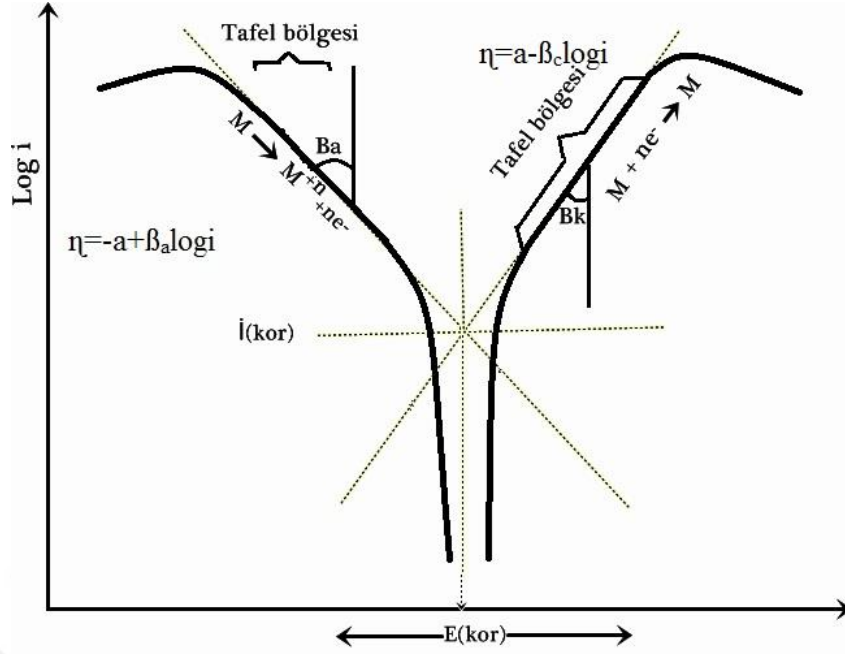
### 1.7.3 Tafel ekstrapolasyonu metodu

Katodik ve anodik polarizasyon eğrilerinin Tafel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesi sonucu korozyon akımı tespit edilir. Eğer katodik ve anodik Tafel bölgeleri bir arada elde edilmezse, bir tepkimenin sadece katodik bölgesinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu da korozyon hızı bulunur. Korozyon olayları sadece çözünme reaksiyonundan oluşmaz. Elektrot yüzeyinde birçok

indirgenme ve yükseltgenme reaksiyonu aynı anda meydana gelebilir. Bilhassa metal alaşımlar için meydana gelen tepkimeler daha komplekstir.

Bu sebepten elektrokimyasal metotlarla korozyon olayı gözlemlenirken bütün sistemin tepkimeleri gösteren karma potansiyel yaklaşımından faydalanılır. Tek bir elektrokimyasal durumda, yükseltgenme ve indirgenme akımının bir birine eşit olduğu potansiyele denge potansiyeli ( $E_d$ ), iki ya da daha çok indirgenme ve yükseltgenme tepkimesinin aynı anda yürüdüğü bir ortamda toplam indirgenme akımının toplam yükseltgenme akımına eşit olduğu potansiyele korozyon potansiyeli ( $E_{cor}$ ) adı verilmektedir. Korozyon potansiyelinde net bir akım vardır. Ancak toplam anodik akım, toplam katodik akıma eşit olduğu için bu akım ampermetrede okunmaz. Direkt ölçülmeyen söz konusu akıma korozyon akımı ( $I_{cor}$ ) denir. Korozyon akımının metal elektrotun yüzey alanına bölünmesiyle bulunan akım ( $i_{cor}$ ) ise o metalin korozyon hızını verir.

Akımın potansiyel ile değişim eğrileri, ya akımın ya da potansiyelde birinin kontrollü olarak değiştirilmesiyle diğesinde oluşan değerlerin grafiğe geçirilmesiyle bulunur. Korozyona maruz kalan her hangi bir metalin anodik ve katodik Tafel eğrileri deneysel yöntemlerle tespit edilir. Deney sonuçları grafiğe geçirildiğinde doğrusal olan kısımlar uzatılarak kesim noktalarında o sistemin korozyon hızı tespit edilir. Bu doğrusal bölgeler, korozyon hızı ( $i_{cor}$ ) ve korozyon potansiyeli ( $E_{cor}$ ) Şekil 1.8'de verilmiştir.



Şekil 1.8 Tafel Ekstrapolasyonu yöntemi ile korozyon akımının ( $i_{kor}$ ) bulunuşu (Üneri 1987)

Şekil 1.8’de korozyon denge potansiyeli etrafında polarizasyon eğrileri lineer bir bölge gösteriyorsa korozyon akımı belirlenebilir. Bu lineer kısımların kesişimi hem korozyon akımını hem de korozyonun denge potansiyelini verir.

#### 1.7.4 Akım-potansiyel eğrisinin katodik bölgesinden korozyon akımını belirleme metodu

Katodik polarizasyon eğrilerinden faydalanılarak korozyon akımını bulma metodu ilk defa 1955’te Stern tarafından sunulmuştur. Bu metotla sadece katodik polarizasyon eğrisi elde edilebilir. Metodun hassasiyeti yüksek olup, çok ufak korozyon hızını kısa zamanda belirlemek ve devamlı olarak denetlemek te mümkün olabilmektedir. Fakat bu metodun uygulamasında birçok sınırlama söz konusudur. Doğru olduğundan ve güvenilirliğinden emin olmak amacıyla Tafel bölgesi on kat bir akım yoğunluğu bölgesinde uzanmalıdır. Pek çok korozyon sisteminde, bu duruma derişim polarizasyonu ve diğer sebepler nedeniyle erişilemez. Ayrıca, bu metot yalnız bir indirgenmenin olduğu sistem için uygulanır. Çünkü birçok indirgenmenin devam ettiği durumlarda Tafel bölgesi sapma gösterir. Bu metot daha çok, direnç

polarizasyonu sebebiyle anodik Tafel bölgesi elde edilemiyorsa korozyon akımının kolayca tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

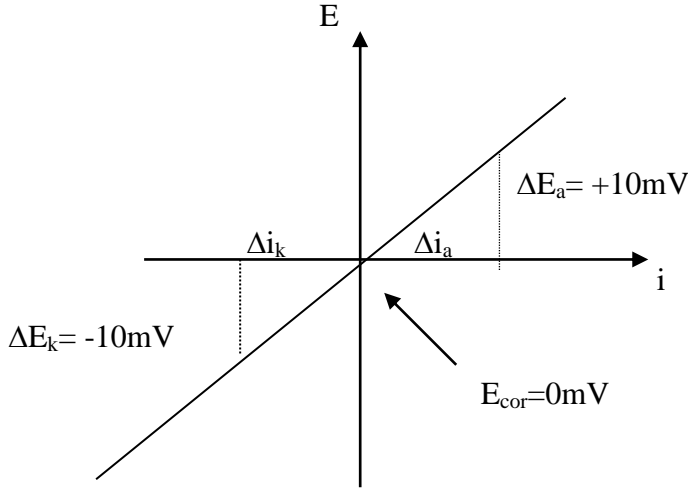
### 1.7.5 Lineer polarizasyon metodu

Korozyon hızının tespit edilmesinde polarizasyon direnci ya da çizgisel polarizasyon metodu sıklıkla kullanılmaktadır. Bu metotla ilk tespiti yapan araştırmacılar, 1955 yılında Simmons, 1957 yılında Skold ve Larson'dur. Söz konusu bilim insanları, yaptıkları deneylerde potansiyelle katodik ve anodik akım arasında lineer bir bağlantının olduğunu ortaya koymuşlardır. Metodun kuramla ilişkili temelleri 1957 yılında Stern ve Geary (Stern ve Geary 1957, Stern 1958, Üneri 1987) tarafından ortaya atılmıştır. Stern ve Geary aktivasyon polarizasyonu ile izlenen bir sistemde, korozyonun denge potansiyeline yakın bölgede uygulanan akıma ( $\Delta I$ ) karşılık gelen potansiyel fark  $\Delta E$  ( $\pm 10\text{mV}$ ) arasında aşağıdaki eşitliğin geçerli olduğunu ortaya koymuşlardır.

$$i_{kor} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{\Delta I}{\Delta E} = \frac{\beta_a \cdot \beta_c}{2,303(\beta_a + \beta_c)} \cdot \frac{1}{R_p} = \frac{B}{R_p}$$

Buradaki  $i_{kor}$  korozyon akımını,  $\beta_a$  anodik,  $\beta_c$  katodik akım-potansiyel doğrularının eğimidir. Burada, akım-potansiyel eğrisine çizilen doğrusal kısmın eğimi polarizasyonu direncinin tersini verir.  $\Delta I/\Delta E=1/R_p$ 'dir. Burada  $R_p$  polarizasyon direncini belirtmektedir.

Akım ile potansiyel eğrisinin korozyonun denge potansiyeli civarındaki doğrusal bölgenin eğiminden polarizasyon direnci bulunarak Stern ve Geary bağıntısında yerine konulmasıyla da korozyon akımı belirlenir.



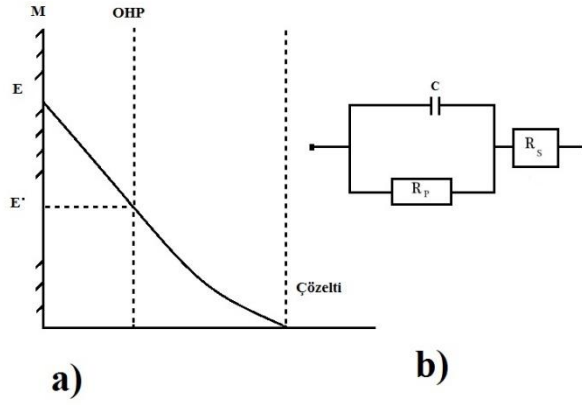
Şekil 1.9 Korozyonun denge potansiyeli civarında elde edilen lineer polarizasyonu

### 1.7.6 Alternatif akım metodu (AC empedans)

Günümüzde birçok kullanım alanı olan empedans ölçme metodu ile korozyon akımı belirlenebilir. Ayrıca metal malzemelerin kaplama direnci, dielektrik ölçümler, elektroorganik sentezde desorpsiyon ve adsorpsiyon mekanizmaları saptanabilir. Empedans yöntemi korozyon akımının tespit edilmesinde Stern-Geary eşitliği kullanılır. Bu eşitlikte polarizasyon direnci  $R_p$ 'nin yerine konmasıyla bulunur.

Metodun temeli, metal ile çözelti arasında ki yüzeyde meydana gelen çift tabakanın alternatif akım empedansının ölçülmesine dayanır. Metodun uygulanmasında, çift tabaka kapasitansı ve metal malzemenin yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasında oluşan dirençlerden bir “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak polarizasyon direnci belirlenebilir. Bulunan polarizasyon direnci ( $R_p$ ) değeri Stern-Geary eşitliğinde yerine konularak, korozyon akımı hesaplanır.

Metoda göre basit bir korozyon hücresinde metal/çözelti ara yüzeyde meydana gelen bir elektrokimyasal çift tabakanın, kapasitesi C olan bir kondansatöre eşdeğer olduğu varsayılarak Şekil 1.10 a, b’de elektronik eşdeğer devreler verilmiştir.



Şekil 1.10 a) Metal/çözelti ara yüzdeki potansiyel dağılımı  
b) Ara yüzün elektronik eşdeğeri olan devre şeması

Şekil 1.10 da M metali, E metalin elektrolit içerisindeki potansiyeli, E' zeta potansiyeli, OHP dış hemholtz tabakası, C çift tabakanın kapasitesini ve R<sub>p</sub> polarizasyon direncini göstermektedir. Şekil 1.10.b'de verilen devreye göre toplam empedans (Z) aşağıda sunulan formülle hesaplanır.

$$Z = R_s + R_p / (1 + j\omega C R_p) \quad (1)$$

Burada R<sub>s</sub> çözelti direncini, ω alternatif akım frekansını ( $\omega = 2\pi f$ ) ve  $j = (-1)^{1/2}$ 'i göstermektedir. Bu formülün düzenlenmesi ile, aşağıdaki bağıntı bulunur.

$$Z = R_s + R_p / [1 + (j\omega C R_p)^2] - j(\omega C R_p^2) / [1 + (j\omega C R_p)^2] \quad (2)$$

Eşitliği elde edilir. Bu eşitlikte sağ taraftaki ilk iki terim empedansın gerçek eksenini (Z'), son terim ise empedansın kompleks eksenini (Z'') olarak alınır,

$$Z' = R_s + R_p / [1 + (\omega C R_p)^2] \quad (3)$$

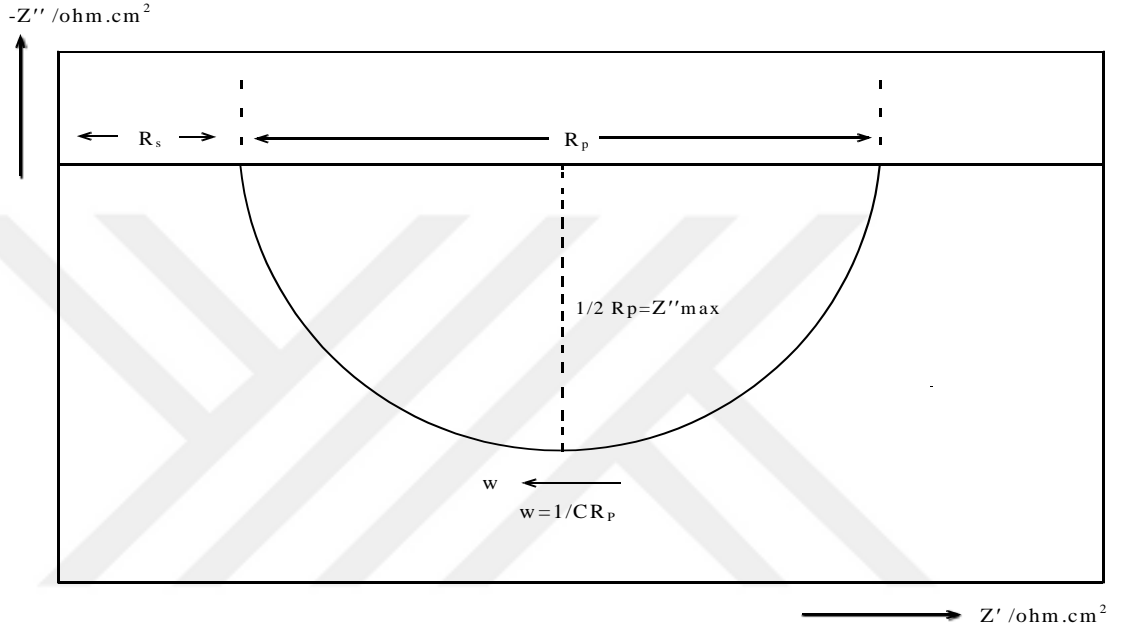
$$Z'' = -j(\omega C R_p^2) / [1 + (\omega C R_p)^2] \quad (4)$$

olarak yazıp (4.2) ve (4.3) eşitlikleri arasında ω niceliğini yok edersek aşağıdaki gibi yarım daire denklemini elde ederiz.

$$Z' - [R_s + R_p/2]^2 + (Z'')^2 = [R_p/2]^2 \quad (5)$$

(5) eşitliğinin ifade ettiği geometrik şekil, Şekil 1.11'de verilmiştir.

Yazılan formüllerde, kompleks diyagramdaki çözeltinin direncini ( $R_s$ ) ve polarizasyon direncini ( $R_p$ ) belirleyebiliriz. Ancak teorik olarak bulunan sonuçlar ile yarım daire formülü ile bulunan değerler gerçekte uyuşmamaktadır. Literatürde bu uyuşmazlıklar bazı düzeltme faktörleri ile düzeltilmeye çalışılmış fakat bir düzeltme faktörü henüz ortaya atılmamıştır (Erbil 1987).



Şekil 1.11 Bağıntısına göre çizilen şematik kompleks diyagram

Bu metodun yüksek dirençli ortamlara da uygulanması bu metoda üstünlük sağlar.

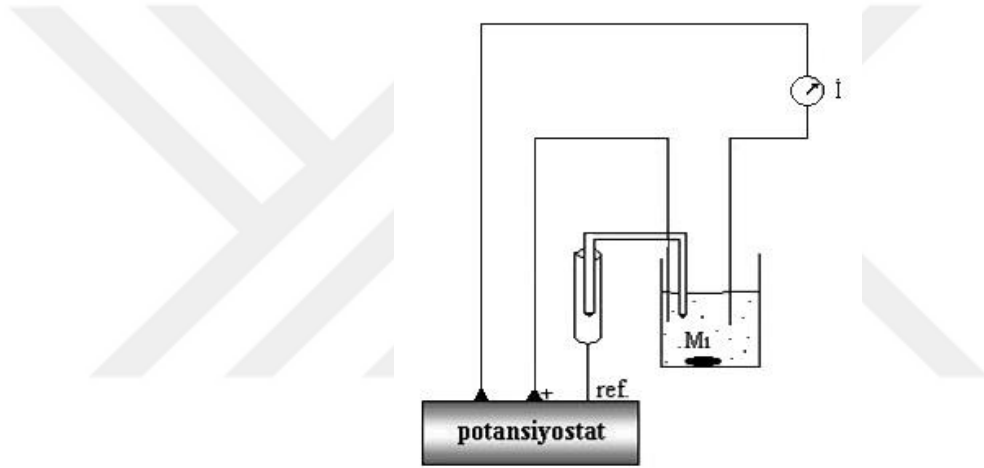
## 1.8 Akım-Potansiyel Eğrilerini Bulma Metotları

Akım ile potansiyel eğrileri galvanostatik ve potansiyostatik metot olmak koşuluyla iki türlü elde edilir.

### 1.8.1 Potansiyostatik metot

Polarizasyon eğrilerini bulmak için genel olarak kullanılan potansiyostatik metot kullanılır. Potansiyostatlar hem elektroliz devresine akım gönderen bir elektrik kaynağını üstlenirken, diğer taraftan elektroliz hücresinde metal malzemenin

potansiyelini önceden belirlenmiş bir değerde sabit tutmak amacıyla gerekli akımı özel regülatör vasıtasıyla ayarlar. Böylelikle potansiyeli test ederek potansiyele bağlı akım şiddetindeki değişimi hesaplar. Potansiyostatik metot potansiyelin değişim hızına göre de sınıflandırılabilir. Potansiyel devamlı sabit bir hızda değiştirilip, buna göre akım değişimi gözlemleniyorsa bu metoda *potansiyodinamik metot*, potansiyel kademeli adımlarla değiştiriliyor ve buna göre gönderilen akım büyüklükleri kaydediliyorsa bu metoda *yarı kararlı potansiyodinamik metot* ve potansiyel sabit miktarda değiştirilip, akımın sabit kalması beklenirse ve akım sabit kalınca, potansiyel tekrar değiştiriliyorsa, bu metoda *kararlı potansiyodinamik metot* denir. Şekil 1.13’de potansiyostatik metot şeması verilmiştir.

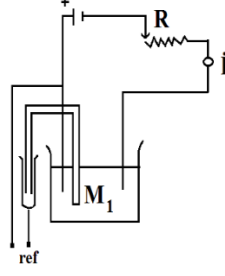


Şekil 1.12 Potansiyostatik yöntem

### 1.8.2 Galvanostatik metot

Polarizasyon eğrilerinin bulmak için ilk zamanlarda galvanostatik metot icra edilmekteydi. Galvanostatik metoda göre katodik veya anodik polarizasyon eğrileri bulmak için gözlemlenen metal anot olarak bağlanmak suretiyle sabit bir akım, R direnci değiştirilip bu Elektrotlara uygulanır ve bunun sonucunda onları karşılayan potansiyeller yüksek dayançlı bir voltmetre ile ölçülür. Kısaca akım sabit tutulunca, potansiyel değişimi gözlemlenir. Galvanostatik metot, yarı kararlı ve kararlı galvanostatik metot olmak üzere iki türlü uygulanır. (Üneri 1998).

Akım-potansiyel eğrileri vasıtasıyla metalin korozyon hızı, anodik koruma potansiyeli, pasifleşme, inhibitör etkinliği, çukur meydana gelme ve kritik çukur oluşma potansiyeli gibi türlü korozyon parametreleri belirlenir. Şekil 1.14'te galvanostatik metodun şeması verilmiştir.



Şekil 1.13 Galvanostatik metot

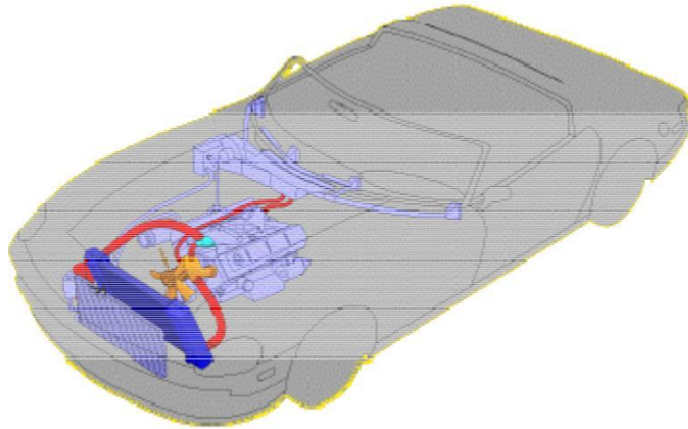
## 2. MOTORLARDA SOĞUTMA SİSTEMLERİ

### 2.1 Soğutma Sistemi

Dizel ve benzinli motorlar her ne kadar çok gelişme gösterebilirler de, kimyasal enerji-mekanik güç dönüşümü hususunda hala yeterli verimi elde edebilmiş değillerdir. Yakıt enerjisinin yaklaşık %70 ısıya çevrilir ve bu oluşan ısı ile soğutma sistemi başa çıkar. Bir aracın yokuştan aşağıya doğru indiğini farz edersek, soğutma sistemi yaklaşık 2 hanenin ısıtma ihtiyacını karşılayabilecek kadar ısıyı dağıtır. Soğutma sisteminin temel görevi motor aşırı ısınmadan oluşan ısıyı havaya yaymak suretiyle sistemi korumaktır, tabi bunun yanında farklı görevler de yapmaktadır.

Araçlardaki motor yüksek hava sıcaklıklarında en iyi şekilde çalışır. Motor soğuksa, motor parçaları daha hızlı aşınarak eskir, motor verimi azalır ve hava kirliliği ortaya çıkar. Bu durumda soğutma sisteminin diğer bir görevi de motorun çalışma ısısına gelmesini sağlayarak en fazla verimi alacak sıcaklıkta sabit tutmaktır. Özetle, en önemlisi motorun en yüksek verimde güvenli bir şekilde çalışmasını sağlamaktır. Bu nedenle soğutma sistemi motorlu araçlarda ana emniyet unsurudur.

#### Soğutma sisteminin gereği ve önemi :



Şekil 2.1 Araç Soğutma Sistemi

Motor, ısı enerjisini mekanik enerjiye dönüştüren sistematik makinedir. Bu işi yaparken inanılmaz ısınırlar. İş zamanında silindir yanma odasındaki sıcaklık 2000 - 2500° C a kadar ulaşabilmektedir. Çok kısa olan bu süreçte bile, motor parçalarının 800° C ye kadar ısınmalarına neden olabilmektedir. Peki motor parçaları soğutulmadığı takdirde neler olabilir?

a) Motor parçalarının mekanik dayanıklılığı azalır.

b) Motor parçalarının üstünde aşırı genleşmeler olur ve hareket eden parçalar arasında bulunan yağ boşluğu incelik ve yok olur. Yağlamanın sağlanamadığı motor parçaları sürtünme sonucu meydana gelen sıcaklığın da etkisiyle birbirine sıkışır ve kitlenir. (Motor yatak sarma olayı.)

c) Motor yağı, evsafını kaybedeceğinden görevini icra edemez. Yağ eksikliği bulunan motor daha çabuk ısınır, bu durumda parçalar birbirine çarparak dağılıbilir.

Açıkladığımız bu kötü etkileri engellemek için, motoru tamamen soğutmaya çalışmamak gereklidir. Çünkü, motorun verimli çalışması için ideal çalışma sıcaklığında veya yakınında kalması gerekir bu durumda motor beklenen gücü üretmez. Şu durumda soğutma sistemi, motoru tam güçle çalışmasını sağlayacak ısıda tutmak, yağlamanın ideal akışkanlığında devirdaim etmesini sağlamakla görevlidir.

Araç motorunda yakıt devamlı yanmaktadır. Bu yanma neticesinde oluşan sıcaklığın çoğu tahliye edilir, ancak bir kısmı motorun içinde kalır ve ısıyı artırır. Motor en iyi 88-93 ° C aralığında çalışır. Bu sıcaklıkta;

- Yanma çevrimi, iyi yanma gerçekleştirmek ve emisyonları azaltmak amacıyla, yakıtı buharlaştıracak derecede yüksek bir ısıdır.

- Motorun birbirine sürtünen ve senkronize çalışması gereken parçaları yağ sayesinde rahat hareket eder ve motor, kendi parçalarını kullanmak için daha az enerji harcamış olur.
- Motorun içinde bulunan metal bileşenlerin ömrü daha uzun olur.

## **2.2 Motorun Sıcak alışmasının Sakıncaları**

- Motordaki hareketli parçaların çabuk ısınmasına, yapılarının bozulmasına ve kırılmalara sebep olabilir.
- Motor silindir içindeki piston ve segman gibi arasından yağ geçen hareketli unsurların arasındaki boşluklar azalması sonucu malzemelerin birbirine kaynaması söz konusu olabilir.
- Aktif olan motor elemanlarının fazla genleşmeleri, yağ filmi aralığını ortadan kaldırarak metallerin birbirine temasına yol açar.
- Motor metal parçalarının mekanik dayanımları azalır. Bu yüzden söz konusu metal parçalarda yorulma meydana gelir.
- Fazla ısınma neticesinde yağ inceldiğinde, yağlama özelliğini kaybeder. Yağ sarfı artar. Sıcaklık 250°C'yi aştığında yağ yanar. Bu durum yanma odasında kurum meydana getirir. Motor vurutulu çalışmaya başlar.
- Yüksek sıcaklık nedeniyle gerçekleşen erken ateşlemeyle piston ayarı bozulur ve vurutu oluşur.
- Silindir kapak contasının erimesine yol açar, silindir kapağının Şekil değiştirip çatlamasına sebep olur.

- Genleşme sonucu silindirlere ulaşan yakıt miktarı azalır, yetersiz gelen yakıt motorun gereken güce ulaşmasını engeller, motorun çalışma senkronu ortadan kalkar.

### **2.3 Motorun Soğuk Çalışmasının Sakıncaları**

- Silindir içerisine ulaşan yakıtın yanma sıcaklığına gelememesi durumunda motor arıza verir veya yanmayan kısmı dışarı atılmak zorunda kalınır. Bu durum motor verimini oldukça düşürür.

- Silindirlere aynı oranda yakıtın gitmesi mümkün olmaz, bu durumda motorun senkronu bozularak titreşimli çalışmaya başlar. Kullanılmaya devam edildiği takdirde motor tümüyle arızalanır.

- Hareketli parçaların yüzeyleri arasındaki yağlama yağına su buharının karışması sonucu motor yağı sulanır. Bu sebeple yağlama düzgün yapılamaz ve korozyon oluşur.

- Soğuk çalışan motor parçalarda normal genleşme olmadığı için:

- a) Kompresyon azalması meydana gelir,
- b) Yağlama uygun gerçekleşmez,
- c) Harcanan yakıt miktarı artar,
- d) Motor gücü azalır ve verim düşer,
- e) Kompresyon azalması karter içindeki yağın akmaya karşı direncini azaltır,
- f) Yanmayan yakıt sebebiyle yanma odasında kurum oluşur,
- g) Araç egzozundan siyah duman atar,
- h) Yakıtın içine yağ karışır ve yağ yakımına sebep olur.

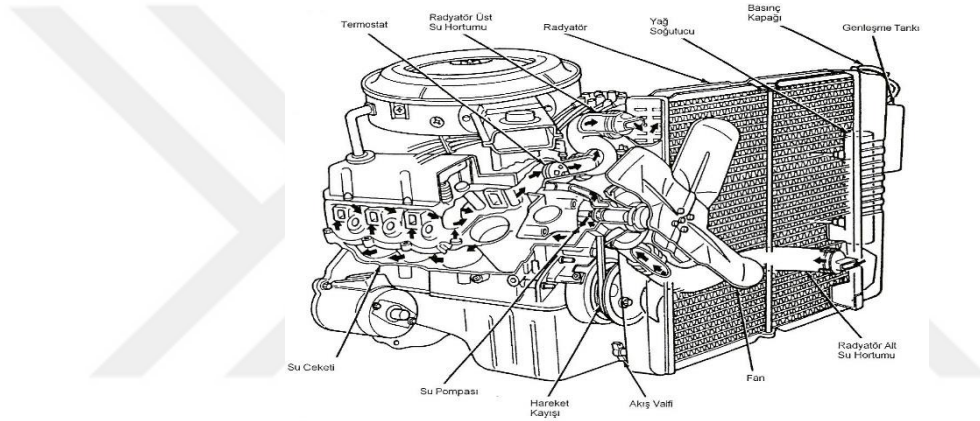
### **2.4 İyi Bir Soğutma Sisteminin Özellikleri**

1. Aracın motor elemanları arasındaki yağlamanın en iyi şekilde olması sağlanmalı,
2. Motorun metal parçalarının mekanik olarak dayanımları stabil tutulabilmeli

3. Maksimum verimin alınması sağlanmalıdır.

Motoru ilk çalıştırdığımızda verim alınabilecek yanma sıcaklığına hemen ulaşması gerekir. Bu durumda motorun soğutma sisteminin devreye girmemesi için motorda bunu engelleyen ek düzenek vardır. Böylece motor yanma sıcaklığına hemen ulaşarak güç vermeye başlar. Ayrıca soğuk şartlarda, motorun verimsiz çalışması engellenmiş olur. Motor, çalışma sıcaklığına eriştiğinde, soğutma sistemi görevine başlar.

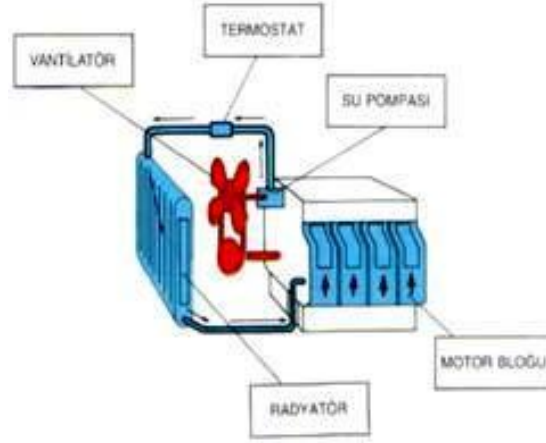
## 2.5 Su Soğutmalı Motorlar



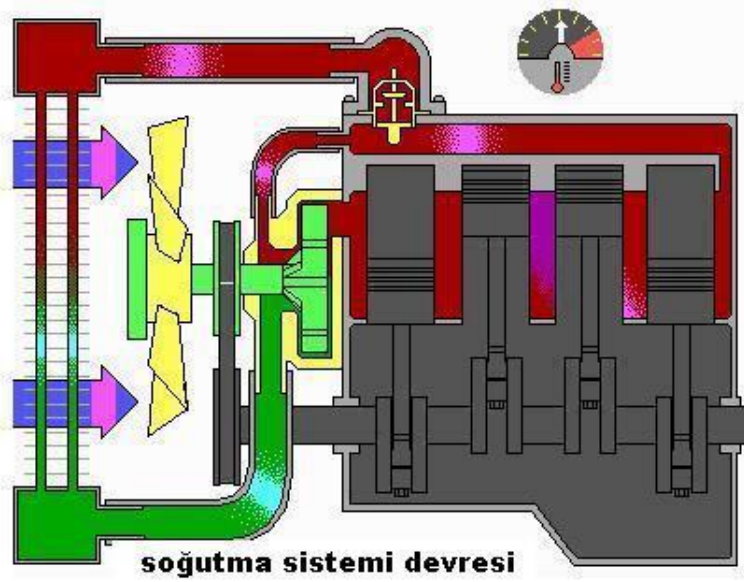
Şekil 2.2 Su soğutmalı motor kesiti

### 2.5.1 Genel yapısı

Sıvı soğutmalı motorlu araçlarda çoğunlukla soğutucu sıvı olarak su kullanılır. Sıvı soğutmalı araç motorlarında, motorun içinde ortaya çıkan ısı, motor soğutma sıvısı marifetiyle alınarak radyatöre ulaştırılarak soğutulur. Soğutma sıvısı, su pompası tarafından ısı oluşan donanımlara doğru pompalanır. Radyatör içine sıcak olarak ulaşan motor soğutma sıvısı, radyatör fanının dönmesi suretiyle ya da aracın havaya karşı ilerlerken faydalandığı hava ile soğutulur.



Şekil 2.3 Su soğutmalı sistem

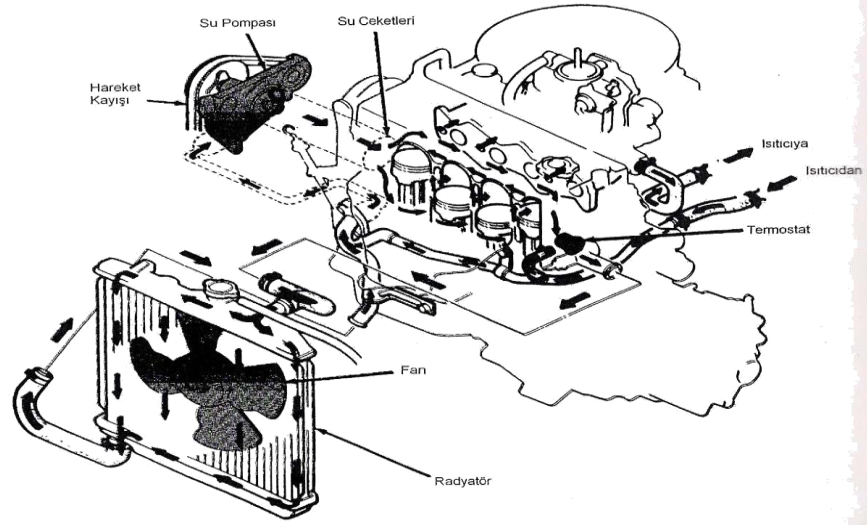


Şekil 2.4 Soğutma sistemi devresi

Soğuk motor çalıştığında, motorun hemen çalışma ısısına ulaşması için, soğutma sıvısının radyatöre ulaşmasını engelleyen termostat marifetiyle soğutma sıvısı sadece motor su ceketlerinde gezmesi sağlanır. Motor ısınınca, termostat açılır ve soğutma sıvısının radyatöre ulaşmasına müsaade eder.

Soğutma sıvısının bir kısmı hava-yakıt karışımının daha verimli buharlaşabilmesi amacıyla emme manifolduna ulaştırılır. Aynı zamanda soğutma sıvısı kalorifer peteklerinin içinde dolaşarak araç ısıtılması amacına da hizmet eder.



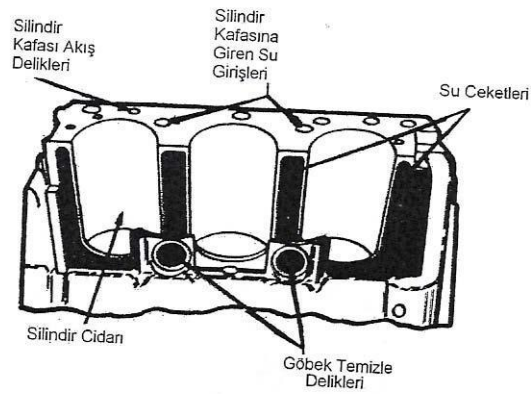


Şekil 2.6 Soğutma Suyunun Sirkülasyon Şeması

## 2.6 Su Soğutma Elemanları

### 2.6.1 Su Ceketleri

Su ceketlerinin bir kısmı silindir bloğunda, bir kısmı da silindirin ucunda bulunur, yanmanın gerçekleştiği bölümler ve valf portlarını çevreler. Alt kısmında giriş, üst kısmında da başlık borusu olarak adlandırılan çıkış bağlantısı bulunur.



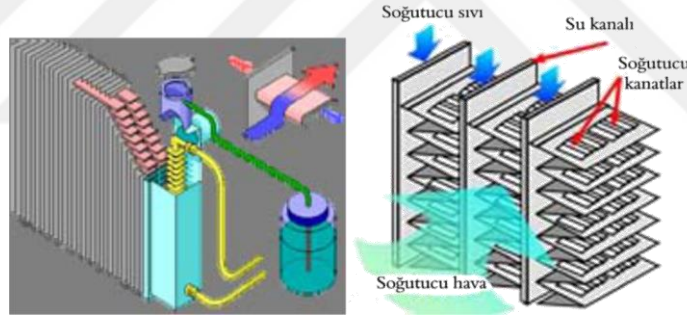
Şekil 2.7 Silindir kafasındaki su ceketleri

## 2.6.2 Radyatör

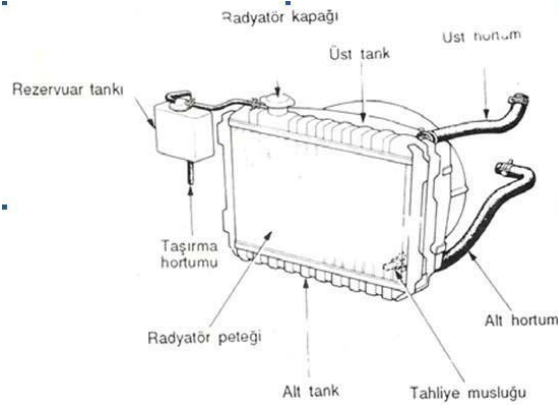
### 2.6.2.1 Görevleri

Motorun tümünde gezen soğutma sıvısının topladığı ısıyı devirdaim yapan su vasıtası ile dışarı aktarır.

Radyatör, motordan toplanan ısıyı dış ortama aktaran elemana verilen addır. Azami miktarda sıvıyı, sıvı kanallarında tutup, atmosferle temas ettirerek soğutma olayını sağlar. Sıvı dolaşım kanallarını içinde bulunduran petek, sıvının girişinin olduğu üst kazan ve sıvının motora geri döndüğü alt kazandan oluşur. Bazı çeşit radyatörlerin kazanı radyatörün yan kısmında bulunur. Çalışma anında motordaki soğutma sıvısı, üst kazana ulaşır ve kanallara üst kısımdan dağılır. Soğutma sıvısı kanallardan alt kısma ilerlerken ısınımsını hava akımı vasıtasıyla kaybederek soğur.



Şekil 2.8 Radyatör yapısı



Şekil 2.9 Radyatörde hava akımı

Radyatör, motordan toplanan sıcak soğutma sıvısını, içinde bulunan havayı petekleri vasıtasıyla yönlendirerek soğutulur.

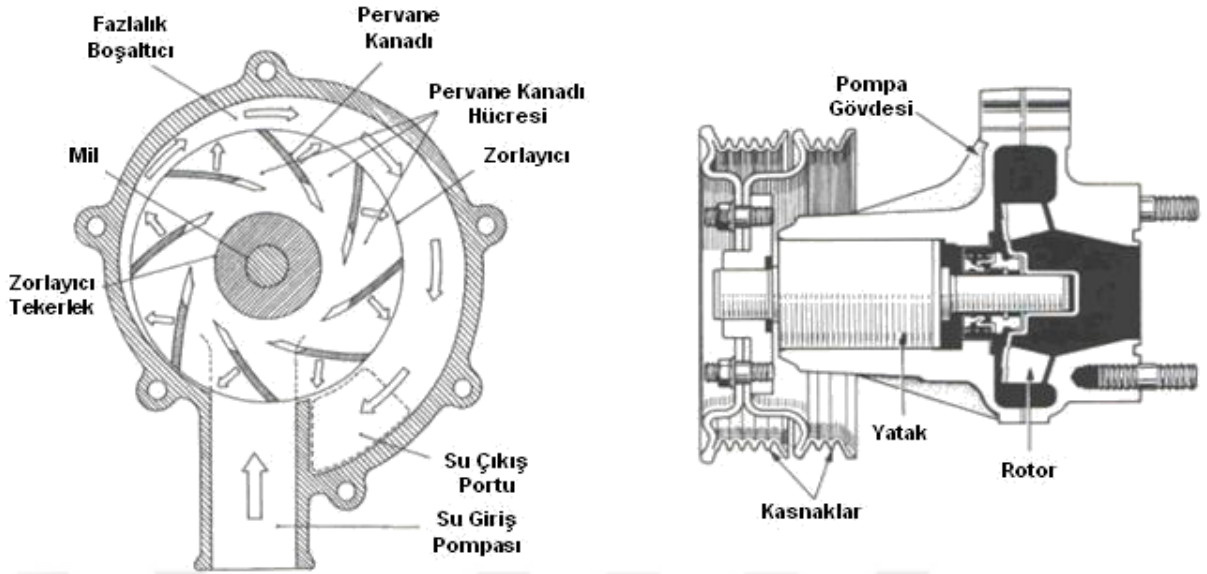
Radyatör içindeki boru ve petek malzemeleri, bakır ve pirincin yanı sıra son zamanlarda alüminyum alaşımından imal edilmektedir. Radyatörlerin bakır, pirinç ve alüminyum malzemeden yapılmasının sebebi; söz konusu malzemeler korozyona karşı dirençlidirler, aynı zamanda ısı iletkenlikleri çok iyidir. Lehim yapılmasının kolay olması da avantajdır. Radyatör, alt ve üst sıvı deposu ve depoları birleştiren soğutma sıvısının içinden geçtiği dikey borulardan meydana gelir. Bu boruların çevresine, soğutma yüzeylerini artırmak amacıyla bakır veya pirinçten imal edilmiş ince hava kanatçıkları bulunur. Motorun su ceketlerinden ısıyı alarak üst depoya ulaşan sıvı, borulardan alt depoya geçerken ısınıp borulara, sonra kanatçıklara, müteakiben de radyatör yüzeyinden hızla geçmekte olan havaya dağıtarak soğur.

Üst depoya sıvı doldurma kapağında sıvı konulur. Bazı radyatörlerin üst depodaki giriş borusunun başına su yönelticileri konmuştur. Söz konusu yönelticiler üst depoya ulaşan sıcak soğutma sıvısının borulara dağıtılmasını sağlar. Radyatör, üst depodan baş aşağı uzanan bir taşıma borusu bulunmaktadır. Alt depoda üzerinde çıkış borusunun yanı sıra, su boşaltma musluğu da bulunmaktadır.

Birtakım radyatörlerde hava akışını düzenleyen panjurlar bulunmaktadır. Söz konusu panjurlar, motorun hemen ısınması gerektiği anlarda kapatılır. Bu durumda hava akışı yeterli olmayacağından radyatör soğutması eksik kalacak ve motor daha hızlı ısınacaktır.

### **2.6.3 Su Pompası**

Su pompası, hareketini krank mili kasnağına bağlı V kayışından alır. Böylelikle soğutma sıvısına basınç sağlayıp, soğutma sıvısını su ceketlerinden dolaşmasını sağlayarak soğuması maksadıyla radyatöre iletir.



Şekil 2.10 Su Pompası

Su pompası millerin yataklandırma durumuna göre, salmastralı, burçlu ve bilyeli yataklı şeklinde üç çeşittir. Günümüzde kullanımı daha rahat olması sebebiyle bilyeli yataklı su pompaları kullanılmaktadır. Pompa içindeki salmastranın çevresine halka geçirilir ve özellikli somunla sıkıştırılır. Salmastra zamanla sıkıştırılır ve bir süre sonra değiştirilir. Bilyeli yataklı su pompasının Şekil 2.10'da kesiti görülmektedir.

Milin yataklandırma şekli ne olursa olsun tümünde soğutma sıvısının sızmasını engelleyen contalar (salmastra) bulunmaktadır. Çoğunlukla burçlu tip su pompasında ayarlanabilen salmastralar ve günümüzdeki güçlü motorlarda daha fazla kullanılan bilyeli tip pompalarda, santrifüj tip pompa olmakla beraber, silindir bloğunun ön kısmına, motor bloğu ile radyatör arasına konuşturulmuştur. Motorda iyi soğutma sağlanması için soğutma sıvısının basınçlı şekilde su ceketlerinde gezdirmek gerekir.

Ortalama bir su pompası saatte 40000 lt soğutma sıvısını devirdaim ettirmesi gerekir. Krank kasnağıyla su pompası kasnağı arası devir oranı 0.8-1.5 aralığındadır.

#### 2.6.4 Fan

Fanın maksadı radyatör döngüsünde, düşük araç hızlarında ve aracın durgun olduğu anlarda veya motorun yeterli çalışmadığı anda gerekli olan hava akışını

gerçekleştirmektedir. Diğer bir ifadeyle fan, doğal hava kullanma yönteminin işlemediği zamanlarda devreye girerek bu görevini üstlenir. Yüksek hızda, aracın hızlı hareketiyle havadan geçerek oluşturduğu etkiyle radyatörde yeterli hava dolaşımına sebep olur.

Fan hızı arttığında pervane gürültüsünü kısmak için rastgele yerleştirilmiş çok pervaneli fan sıvı soğutma sisteminin radyatör fanı uzantısınca açışal akış meydana getirmekte kullanılır. Geleneksel fan, radyatör ve motor arasında fanın içindeki depresyon sayesinde oluşturulan havayı çekmek için çekici şeklindedir. Daha nadir olarak kullanılan zıt açılı itici fanın, havayı motoru arkada bulunan otobüs radyatörlerinde olduğu gibi itmesi gerekebilir.

#### **2.6.5 Termostat**

Motorun gerekli sürede ısınmasını ve ısınmayı müteakip motor ısısının gerekli değerde olmasını sağlar. Başka deyişle soğutma sıvısını en uygun sıcaklıkta kalmasını sağlar.

Termostatın içerisinde, ısı etkisiyle mekanik hareket meydana getiren yüksek genişleme katsayılı madde bulunmaktadır. Motor soğutma sıvısı ısındığı anda termostat da ısınır. Bu ısınmayla içerisindeki madde gaz haline dönüşüp basınç oluşturur bu basınç ana valfi açar. Soğuduğunda gaz yoğunlaşarak vakum oluşturur. Vakum, ana valfi kapatarak termostatın kapanmasını sağlar. By-pass valfi ve ana valf senkronize çalışır, ana valf açıldığı zaman by-pass valfi kapanır.

### 3. SOĞUTMA SIVILARI

Motorun hemen hemen tüm elemanlarını soğutur ve meydana gelen ısıyı dış ortama aktarır.

#### 3.1 Motor Soğutma Sıvısı

Uygun inhibitörlü antifriz sıvılarının kullanımı, dünyada tüm bölgelerde ortak olarak normal mevsim döngüsündeki yıl içerisinde, aşağıda belirtilen olumlu sonuçları sağlar.

1. Soğuk iklime sahip bölgelerde buzlanmayı ve donmayı engeller.
2. Her türlü sıcaklıkta uygun soğutma ile korozyona karşı koruma sağlar.
3. Sıcak iklimlerde suyun kaynama sıcaklığını yükselterek aşırı ısınmalara karşı motoru korur.

#### 3.2 Su ve Antifriz

Soğutma sistemi, yanma sonucu meydana gelen ısıyı taşımakla sorumludur. Soğutma sisteminde saf su kullanılması tercih edilmelidir. Çeşme suları genellikle kireç tortusu birikmesi sonucu ısı iletimini azaltarak arızaların oluşmasına neden olabilirler. Soğutma sistemlerinde tek başına su kullanılmaz. Su standart şartlarda 100 C 'de kaynar ve - 0 C 'de donar. Motor çalışma sıcaklığı, iklim şartlarına ve ortama göre değişebilir. Bu şartlarda motor suyu sıcaklığı 100 C 'yi aşabilir veya -0 C 'nin altına inebilir. Bu durumun önlenmesi için su içerisine katkı sıvısı ilave edilmelidir. Bu katkı sıvısına Antifriz denir. Antifriz suyun kaynama ve donma noktasını değiştirir. Antifrizin donma noktası -12 derecedir. Suyla karıştığında -45 C 'ye kadar donma noktasına etki edebilir. Kaynama noktasını ele aldığımızda, kaynama noktasının artması yüksek hararete sıvı kaynamadan soğutma sirkülasyonunun sürekliliği sağlanır. Çok antifriz eklemek daha fazla dayanıklılığa neden olmaz. Su/antifriz karışım oranı değiştikçe sıcaklık dayanım aralığı değişir. Ülkemiz koşullarında %35 ve %50 'lik karışım yeterli gelmektedir.

Sağlıklı bir soğutma sisteminde antifriz korozyonu, tortu ve aşınmayı engeller. Bu sebeple yılın her döneminde soğutma sıvısı antifriz içermelidir.

Antifrizler çeşitli olup, farklı bileşen veya farklı üretim şekliyle oluşturulurlar. Antifrizi içerdiği maddelere göre incelersek;

### **3.2.1 Methanol**

Yani metil alkol, çok basit yapılı bir alkoldür. Hafif ve uçucudur, dikkat edilmesi gereken renksiz oluşu ve bu yüzden farkedilemeyebilir olması, ayrıca zehirleyici ve yanıcı bir maddedir. Antifriz maksatlı kullanılabilir. Antifriz maksatlı kullanılabilir.

### **3.2.2 Etilen Glikol**

1927 yılı itibariyle tanıtılmış ve kullanılmaya başlanmıştır. Ayrıca kalıcı antifriz de denir. Çünkü her mevsim kullanılabilir. Günümüzde kullanımı çok yaygındır. Rengi tanımlamak için mavi veya yeşil'dir. Çok zehirli bir antifrizdir. Canlılardan bilhassa çocuklardan uzak tutmak gerekir. Tadının tatlı olduğu için çocukların erişemeyeceği bir yerde muhafaza edilmesi daha uygun olur. Bu sebepten son zamanlarda, tadını kötü şekilde değiştirecek katkıları ilave edilmektedir.

### **3.2.3 Propilen Glikol**

Toksin seviyesi çok azdır. Kullanım alanları çoğunlukla insana ve gıdaya yakın sistemlerde kullanılır. Özellikle kozmetik ve ilaç endüstrilerinde yaygın kullanılır. Islak mendillerde veya banyo köpüğü gibi çok kullandığımız şampuan vb. malzemelerin temel kaynağıdır.

### **3.2.4 Diğer Katkılar**

Antifrizde glikolden korozyon engelleyici ve tanımlama maksadıyla renk katkı maddeleri de bulunmaktadır.

## Organik Asit Teknolojisi (OAT) ;

Organik Asit Teknolojili antifrizler eski nesil antifrizlere göre korozyona karşı daha dayanıklıdır. 2 yıl'da bir değiştirilen normal antifrizler karşısında OAT antifriz'ler 5 yıl veya 250.000km de değişmektedir. Ancak aracın soğutma sisteminin bu teknolojiye uygun olması şarttır. Conta arızalarının meydana geldiği gözlemlenmiştir. Son teknoloji OAT antifrizler normal glikol bazlı olan soğutma sistemlerinde kullanılabilir. Çok değişik ve çeşitli katkıları ihtiva eden OAT antifrizler kırmızı veya pembe renkli olup, normal antifrizlerden ayrılırlar.

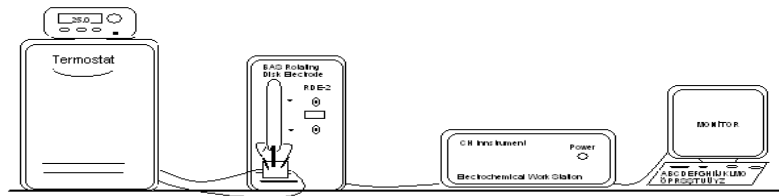


#### 4. MATERYAL VE YÖNTEM

Metallerin açık devre potansiyelinin zamanla değişimi (Open Circuit Potential, OCP), AC-empedans (Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS) ve akım-potansiyel eğrileri elde edildi. Potansiyel- zaman eğrileri, potansiyelin zamanla değişimini izleyerek yüzeyde oluşan ürünler hakkında bilgi verir. AC-empedans eğrileri ise yüzeyde oluşan korozyon ürünlerinin mekanizması hakkında bilgi verir. Kıyaslayabilmek için, birim yüzeyden geçen akımı ve birim yüzeyde okunan direnci hesaplamak amacıyla akım-potansiyel yönteminde y-ekseninin akım değerleri yüzey alanına bölündü ( $A/cm^2$ ). AC-empedans eğrilerinde ise hem sanal eksen hem de gerçek eksenindeki sayısal direnç değerleri yüzey alanı ile çarpıldı ( $ohm.cm^2$ ). Bu çalışmada amaç çalışılan antifriz ortamlarında alüminyum, demir ve bakırın  $25^\circ C$  ve  $88^\circ C$  sıcaklıktaki korozyonunu belirlemektir. Bu nedenle çalışılan ortamda metallerin korozyon hızı ve diğer korozyon parametreleri belirlendi. Korozyon hızı söz konusu metalin, korozyon hücresine yerleştirilip elde edilen akım-potansiyel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile elde edildi.

##### 4.1. Deney Sistemi

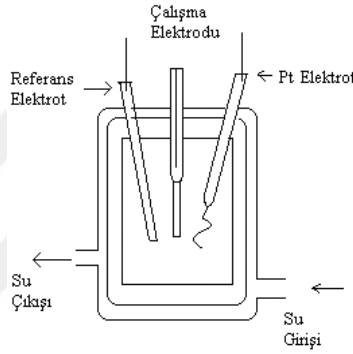
Çalışmalarımız esnasında kullandığımız elektrokimyasal sistemin şekilsel gösterimi şekil 4.1’de verilmiştir. Söz konusu sistem PolyScience Model 9106 Termostat, BAS Döner Disk Elektrot ve CH-instrument 660B Potansiyostat düzeneklerinin bir araya gelmesinden oluşmaktadır.



Şekil 4.1 Deney sisteminin şekilsel gösterimi

## 4.2. Korozyon Hücresi

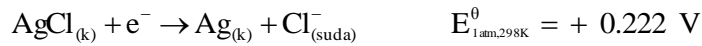
Korozyon reaksiyonunun meydana geldiği korozyon hücresi üçlü Elektrot sisteminden oluşmaktadır. Bu sistemde kullanılan elektrotlar referans elektrot, karşıt elektrot ve çalışma elektrotudur. Deneylerin sabit sıcaklıkta gerçekleşebilmesi amacıyla çift cidarlı korozyon hücresinin dış kısmında sabit sıcaklıktaki suyun dolaşımı sağlanmıştır. Korozyon hücresi şekil 4.2’de şematik olarak verilmiştir.



Şekil 4.2 Üçlü elektrot sisteminin şematik gösterimi, referans Elektrot ( $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{Cl}^-_{\text{doy.}})$ ), çalışma elektrotu ( $\text{Al}$ ,  $\text{Fe}$ ,  $\text{Cu}$ ) ve karşıt elektrotun ( $\text{Pt}$ ) şematik gösterimi verilmiştir.

## 4.3. Referans Elektrotunun Hazırlanması

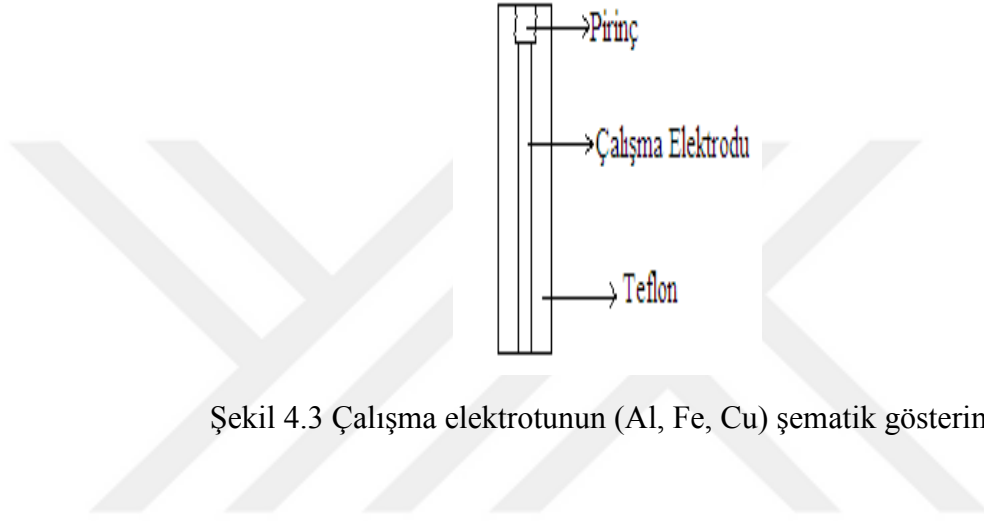
Çalışmamızda referans elektrot olarak gümüş/gümüş klorür elektrotu kullanıldı. Söz konusu elektrot, gümüş metaliyle gümüş metalin az çözünen gümüş klorür tuzu ve tuzun klor anyonunu ihtiva eden çözeltilerden meydana gelmektedir. Hazır hale getirilen  $\text{Ag}/\text{AgCl}(\text{Cl}^-_{\text{doygun}})$  referans elektrotunun standart hidrojen elektrotuna ( $\text{SHE}$ ,  $25^\circ\text{C}$ ) göre standart Elektrot potansiyeli ve yarı tepkimesi aşağıdaki gibidir.



## 4.4. Çalışma Elektrotunun Hazırlanması

Çalışma elektrotu olarak alüminyum, bakır ve demir metalleri kullanıldı. Alüminyum, Türk Silahlı Kuvvetlerinde halihazırda kullanılan araçlardaki radyatörlerden çekip çıkartılarak elektrot haline getirilmiştir. Saf bakır ve demir 3 mm ve 5 mm çapında

olmak üzere dişlisi açılmış pirinç ile lehimlenerek 8 cm uzunluğundaki silindir teflon tüp içine reçine ile kaplanarak tarafımızdan hazırlanmıştır. Çalışma elektrotların yüzey alanları silindir yüzey alanı  $Y = \pi r^2$  den hesaplanarak alüminyum için  $0.22 \text{ cm}^2$ , bakır için  $0.07065 \text{ cm}^2$  ve demir için ise  $0.19625 \text{ cm}^2$  olarak hesaplandı. Hazırlanan Elektrot BAS Döner Disk Elektrota bağlanarak üçlü elektrot sistemi kurulmuştur. Çalışma elektrotunun şematik gösterimi şekil 4.3’de verilmiştir.



Şekil 4.3 Çalışma elektrotunun (Al, Fe, Cu) şematik gösterimi

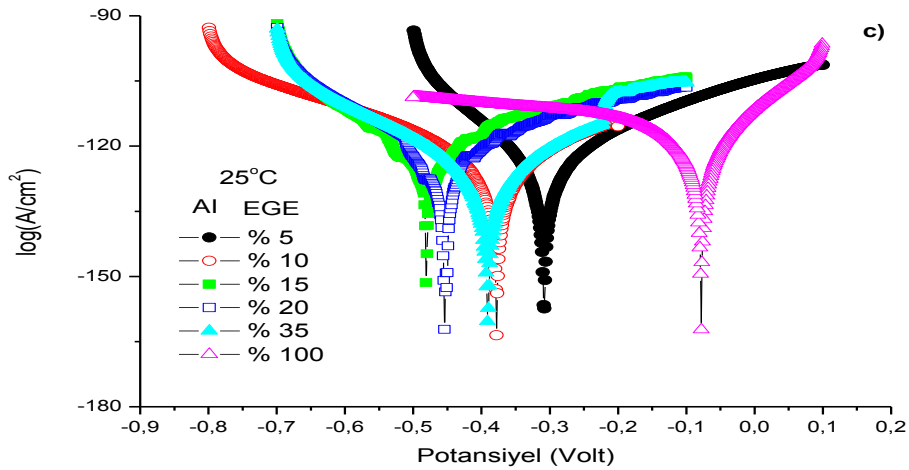
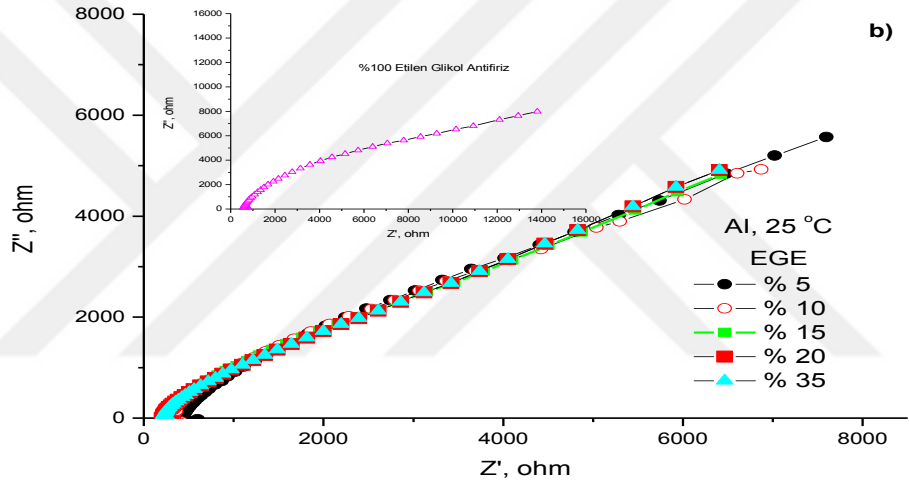
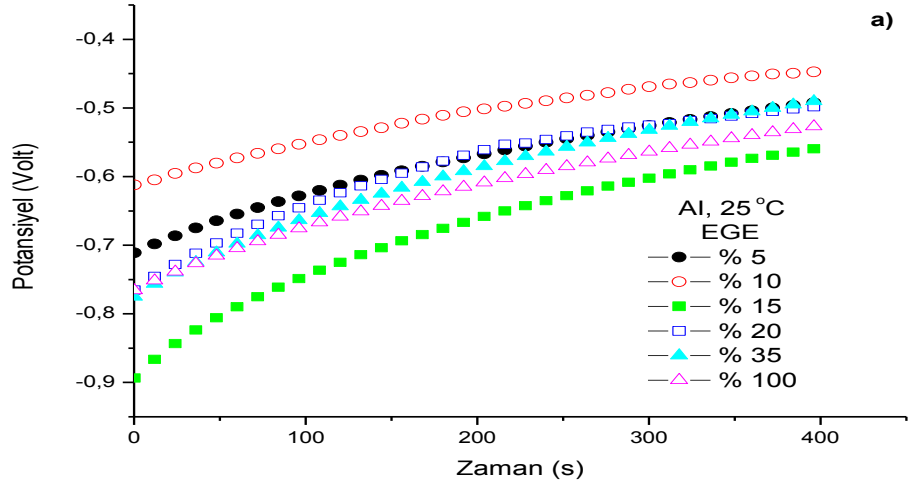
## 5. DENEY SONUÇLARI

Bu çalışmada Türk Silahlı Kuvvetleri'nde kullanılan antifrizlerin tamamen alüminyumdan yapılmış radyatörlerindeki delinme nedeniyle korozyon hızları farklı yöntemlerle belirlendi. Türk Silahlı Kuvvetleri'nde kullanılan tekerlekli araçların motor soğutma sistemlerinde yaygın olarak üç farklı antifriz kullanılmaktadır. Bunlar etilen glikol esaslı (EGE), TSK özel ve super (SP) antifrizlerdir. Soğutma sistemlerinde eskiden petek olarak bakır kullanılırken yeni araçlarda alüminyum kullanılmaktadır. Ancak sistemde alüminyumun yanı sıra bakır, demir ve pirinç de kullanılmaktadır. Araçlar çalışırken sıcaklık 88°C dir. Araçlar park halindeyken garajda tutulduğundan ortalama sıcaklık 25°C'dir. Bu nedenle bu çalışmada tüm deneyler bu iki farklı sıcaklıkta yapılmıştır. Bu araçlarda antifriz çözeltisi oranı %35 olarak kullanılmaktadır. Ancak bazen %100 oranında da kullanıldığından, karşılaştırma amacıyla %100 saflıktaki antifrizler içinde deneyler yapıldı.

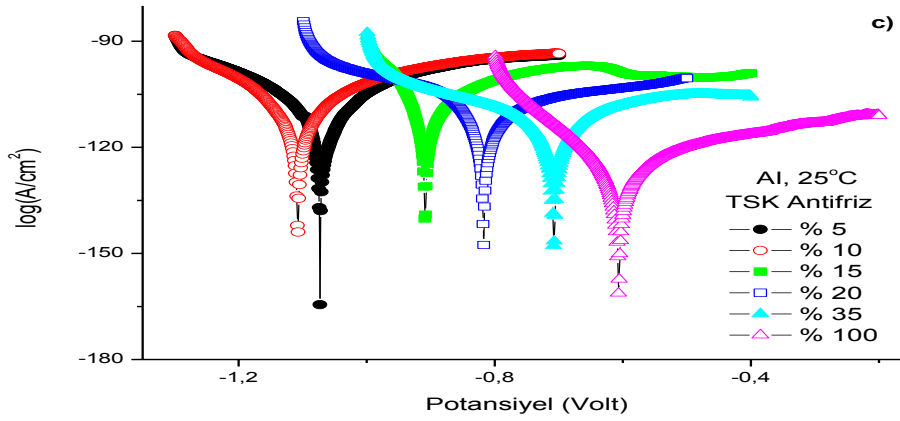
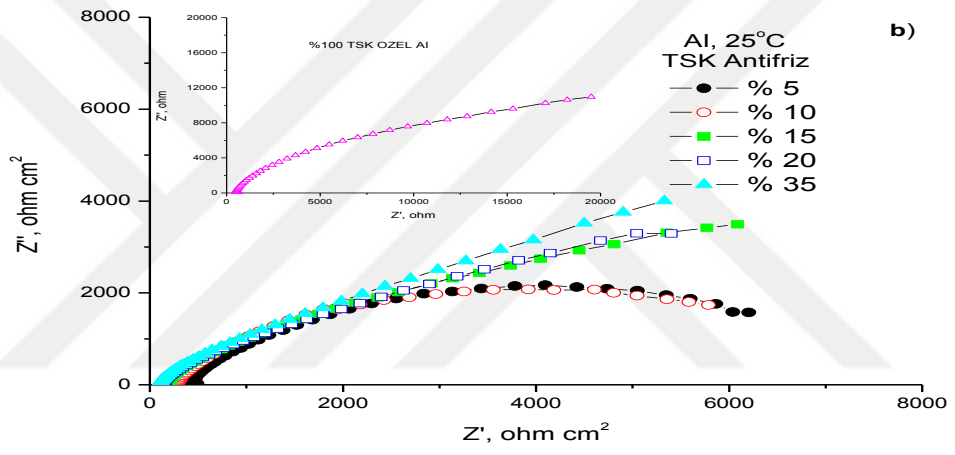
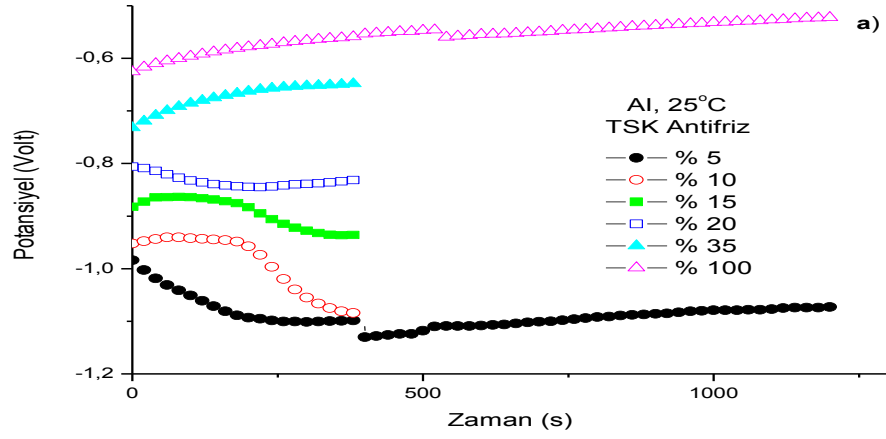
Bu çalışmada amaç TSK'da kullanılan araçların soğutma sisteminde kullanılan metallerin söz konusu ortamlardaki korozyonu araştırmaktır. Bu amaçla kullanılan EGE, SP ve TSK antifrizlerinin %35 ve %100 derişimlerinde radyatör alüminyumu, saf bakır, saf demir, saf alüminyum ve pirincin korozyonuna etkisi elektrokimyasal yöntemler kullanılarak araştırıldı.

Bu çalışmada ilk olarak alüminyum petekteki delinme göz önünde bulundurularak, soğutma sisteminde kullanılan antifrizlerin derişimine bağılı olarak petek alüminyumun korozyonuna etkisi 25°C'da araştırıldı. 25°C'da %5, %10, %15, %20, %35 ve %100 antifriz derişimlerinde sırayla EGE, TSK hem de SP için radyatör alüminyumu üzerine etkisi için yapılan deneylerin potansiyel-zaman, AC-empedans ve akım-potansiyel eğrileri şekil 5.1'de verilmiştir.

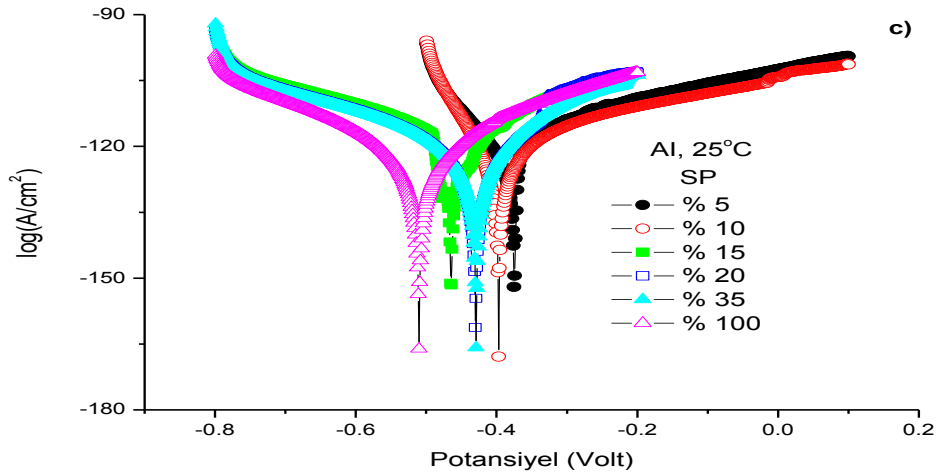
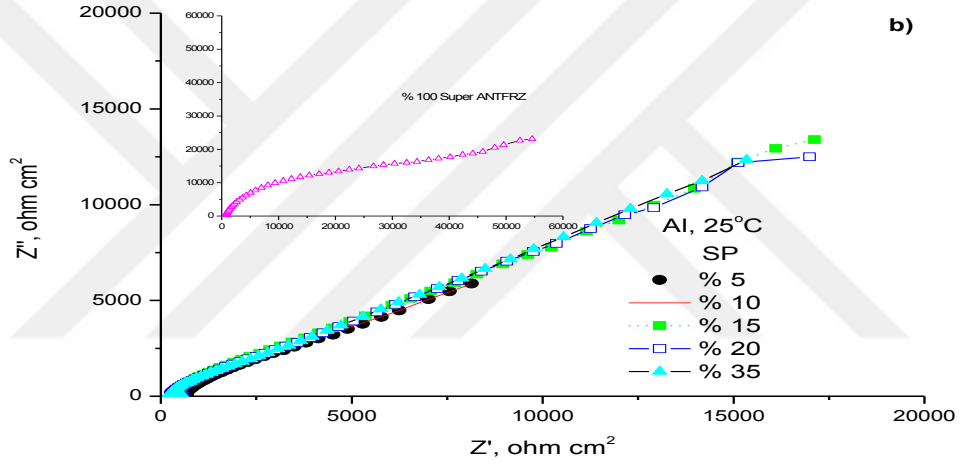
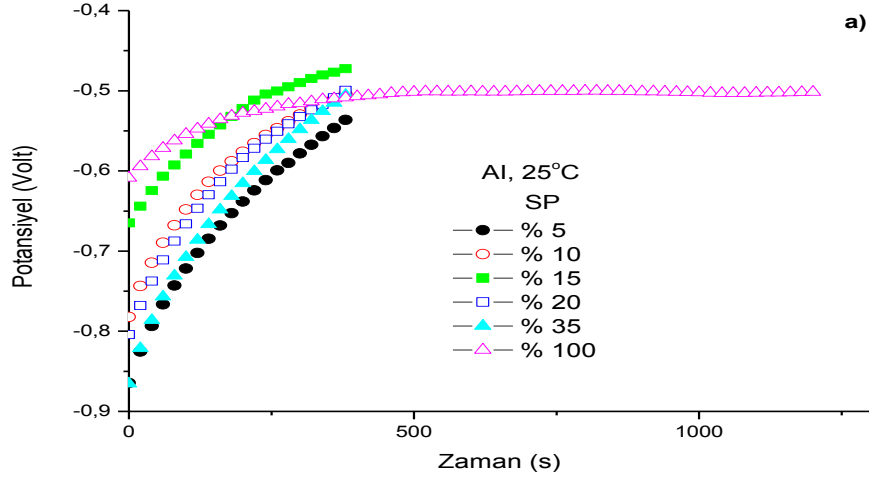
Aynı zamanda bu çalışma alüminyumun delinmesi düşünülerek yapıldı. Çukur korozyonunda önemli olan yerel korozyondur. Ancak başka metallerin korozyonunda da incelendiğinden, belirlenen korozyon hızları, metalde homojen korozyon olsaydı ne olurdu diye düşünülerek çizelgelerde mm/ yıl olarak ta verilmiştir.



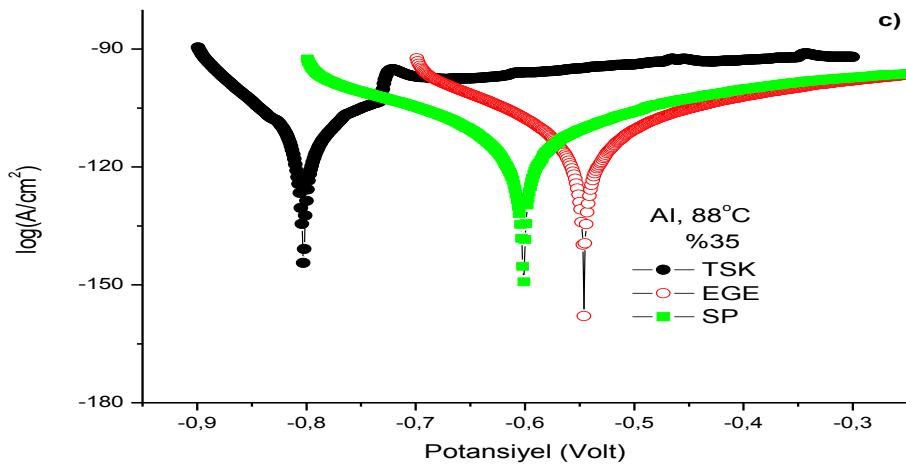
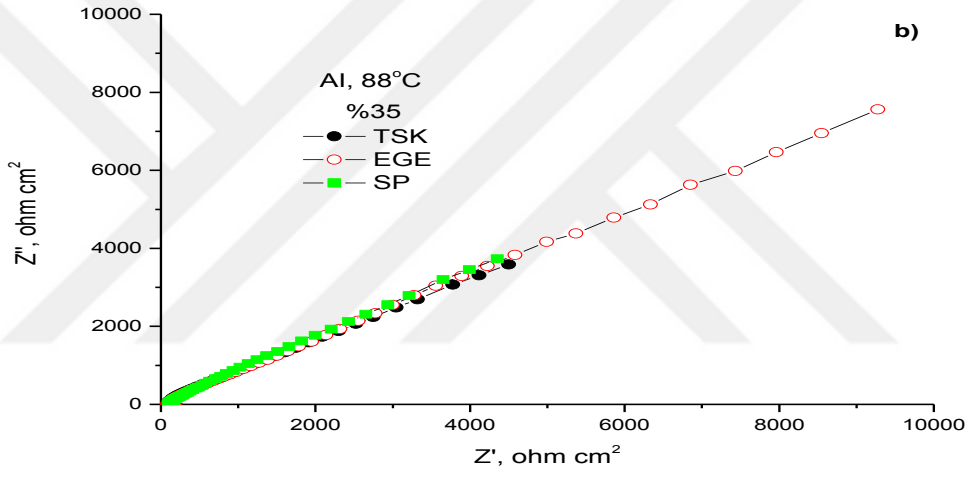
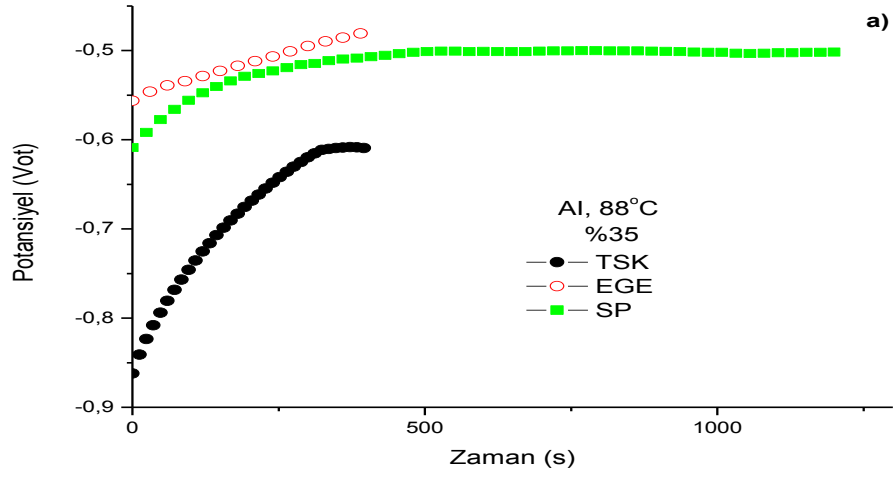
Şekil 5.1 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan EGE antifriz derişimine bağılı olarak 25°C'de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



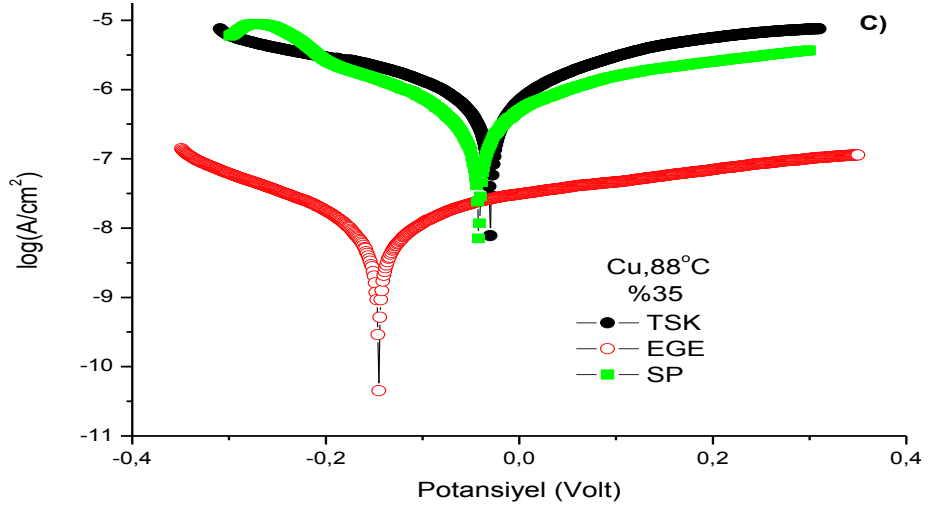
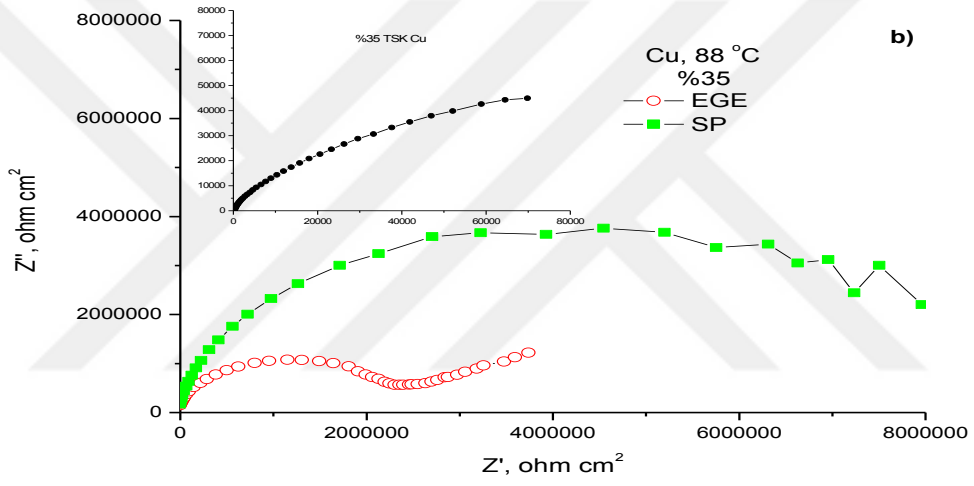
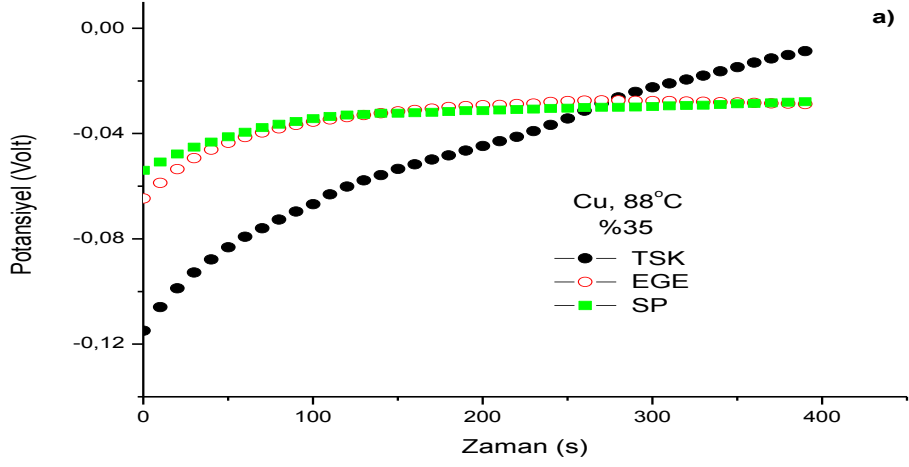
Şekil 5.2 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan TSK özel antifriz derişimine bağılı olarak 25°C'de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



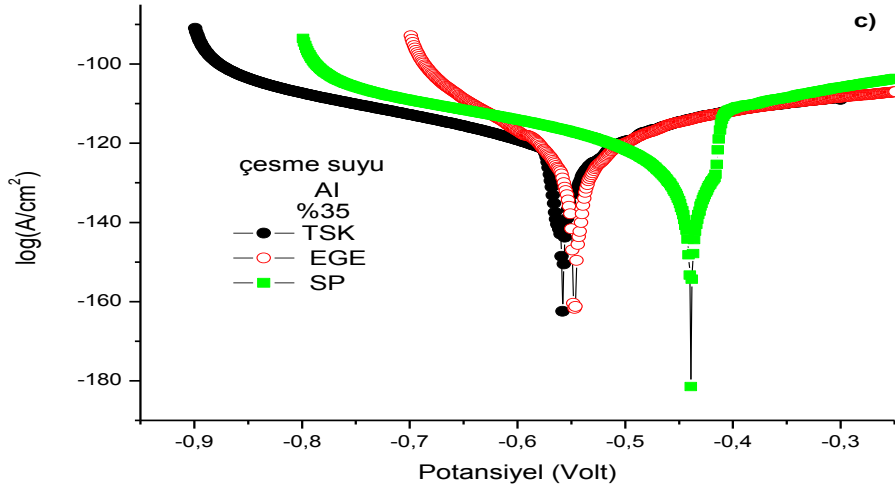
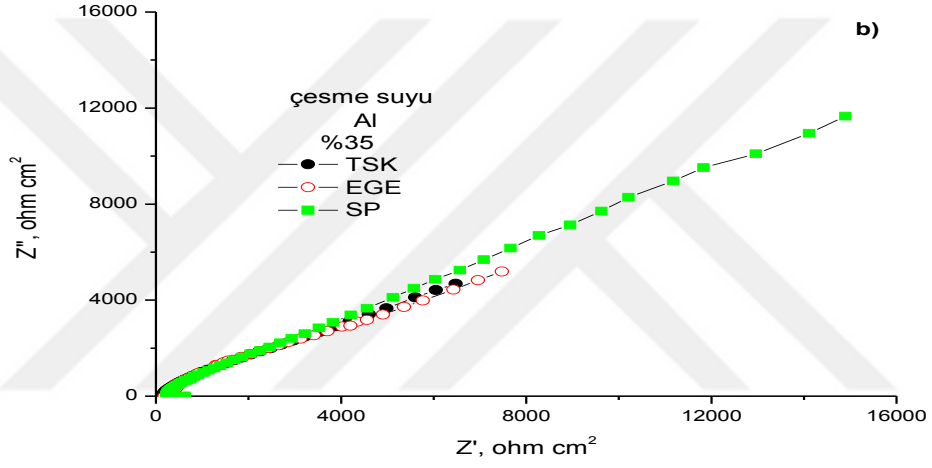
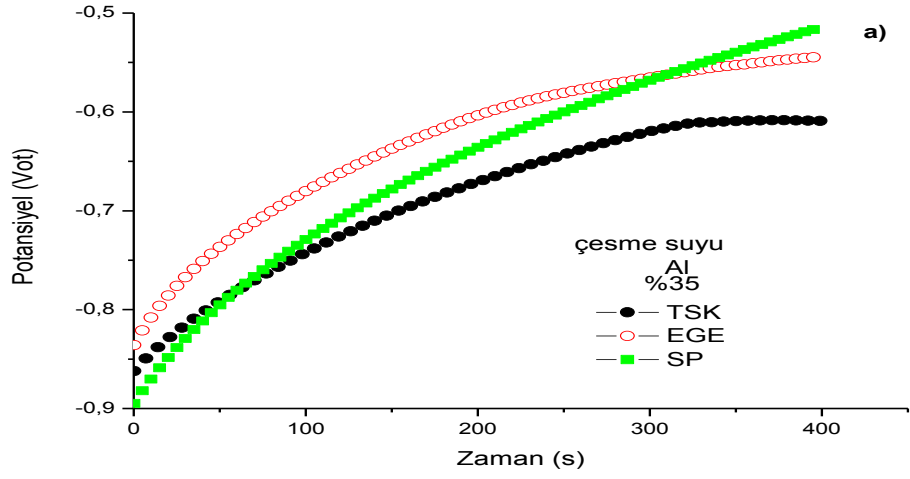
Şekil 5.3 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan SP antifriz derişimine bağılı olarak 25°C'de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



Şekil 5.4 Petek alüminyumun korozyonu için saf su ile hazırlanan %35'lik TSK, EGE ve SP antifriz ortamında 88°C'da alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



Şekil 5.5 Bakır metali için %35'lik TSK, EGE, SP antifrizlerinin 88°C'de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



Şekil 5.6 Alüminyumun Ankara çeşme su ile hazırlanan %35'lik TSK, EGE, SP antifrizlerinin 88°C'de elde edilen a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri

Çizelge 5.1 Alüminyumun saf su ile hazırlanan TSK, EGE ve SP antifrizlerinin yüzde derişimlerinde 25°C’de akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen ortalama korozyon hızı( $i_{kor}$ ) ve parametreleri

Antifriz	Hacimce %	E (Volt)	$B_k$ (mV dec <sup>-1</sup> )	$B_a$ (mV dec <sup>-1</sup> )	$R_p$ (ohm cm <sup>2</sup> )	C F/cm <sup>2</sup>	$i_{kor}$ (μA cm <sup>-2</sup> )	$i_{kor}$ (mm/yıl)
TSK	5	-1.087	216	294	7509	2,6.10 <sup>-10</sup>	7.90	0,09
	10	-1.106	187	273	8905	2,8.10 <sup>-10</sup>	5.5	0,06
	15	-0.865	226	320	12658	2,7.10 <sup>-10</sup>	3.90	0,045
	20	-0.723	293	326	30152	3,1.10 <sup>-10</sup>	3.80	0,044
	35	-0.666	279	334	45545	3,1.10 <sup>-10</sup>	3.10	0,035
	100	-0.576	97	344	52844	8,3.10 <sup>-11</sup>	6.20	0,07
EGE	5	-0.314	121	231	64196	2,1.10 <sup>-10</sup>	0.5	0,006
	10	-0.381	240	221	84883	2,4.10 <sup>-10</sup>	0.6	0,007
	15	-0.484	189	252	25476	2,5.10 <sup>-10</sup>	1.8	0,02
	20	-0.458	244	273	34033	2,5.10 <sup>-10</sup>	2.60	0,03
	35	-0.391	205	172	87505	2,5.10 <sup>-10</sup>	0.45	0,005
	100	-0.088	360	121	37538	1,1.10 <sup>-10</sup>	1.07	0,01
SP	5	-0.383	119	251	40964	2,1.10 <sup>-10</sup>	1.12	0,01
	10	-0.409	53	310	33979	2,1.10 <sup>-10</sup>	0.6	0,007
	15	-0.468	356	208	31878	9,6.10 <sup>-10</sup>	1.8	0,02
	20	-0.454	232	163	51524	9,7.10 <sup>-10</sup>	0.8	0,009
	35	-0.434	258	264	41649	1,1.10 <sup>-10</sup>	2.2	0,02
	100	-0.535	204	216	78914	2,9.10 <sup>-11</sup>	0.6	0,007

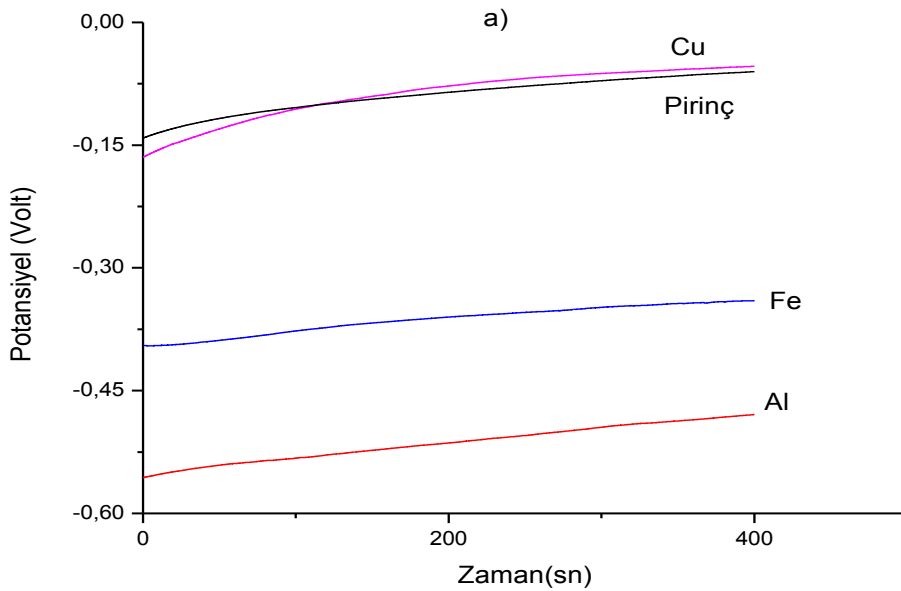
Çizelge 5.2 Alüminyumun Ankara çeşme suyu ile hazırlanan hacimce %35’lik TSK, EGE ve SP yüzde derişimlerinde 25°C’deki akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen ortalama korozyon hızı( $i_{kor}$ ) ve diğer korozyon parametreleri

Antifriz	E (Volt)	$B_k$ (mV dec <sup>-1</sup> )	$B_a$ (mV dec <sup>-1</sup> )	$R_p$ (Ohm cm <sup>2</sup> )	$i_{kor}$ (μA cm <sup>-2</sup> )	$i_{kor}$ (mm/yıl)
TSK	-0.558	305	242	49500	1.2	0,01
EGE	-0.547	85	271	47388	0.6	0,007
SP	-0.440	245	354	70510	0.9	0,01

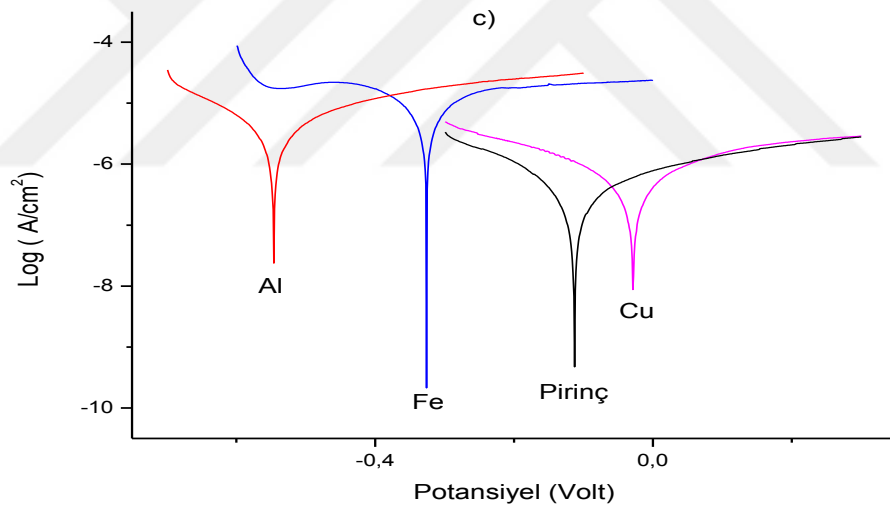
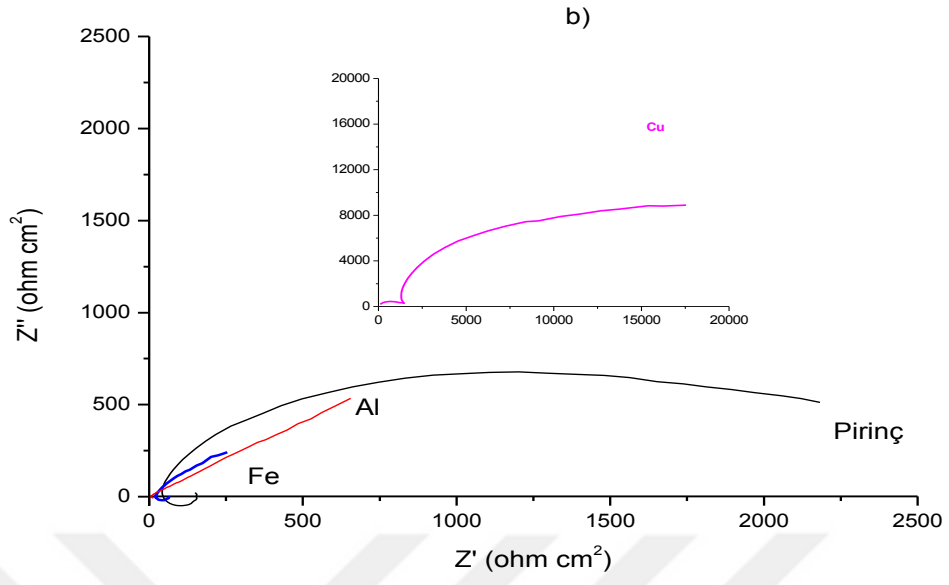
## 5.1 EGE antifrizi ile yapılan deneyler

TSK'da kullanılan araçların soğutma sistemlerinde kullanılan EGE antifrizinin %35, %100 derişim ve 25°C ve 88°C sıcaklıkta bakır, demir, pirinç ve alüminyumun korozyonuna etkisi araştırıldı. Belirlenmiş olan potansiyel ile zaman değişimi, AC empedans ve akım ile potansiyel değişim eğrileri Şekil 5.7-10 ve diğer belirlenmiş veriler ise Çizelge 5.3'de verilmiştir.

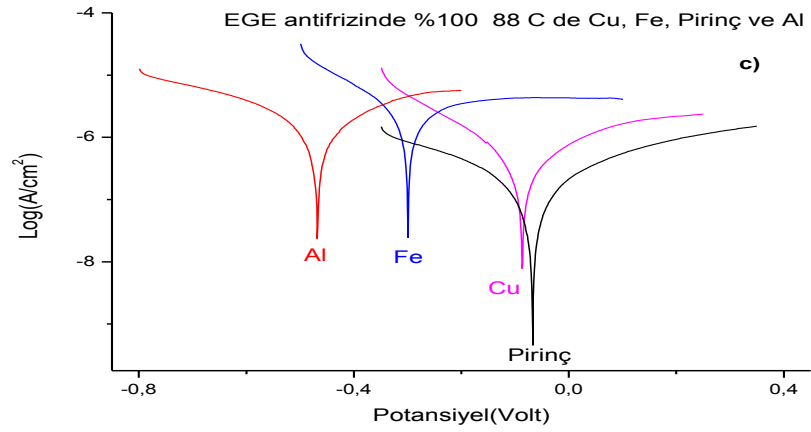
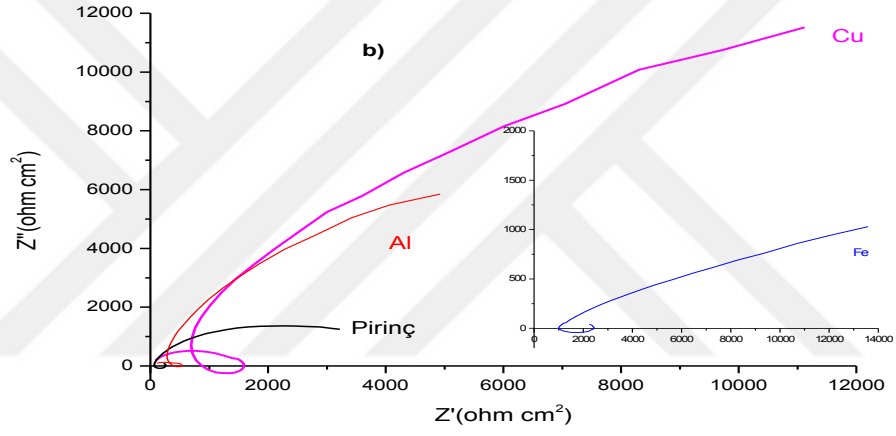
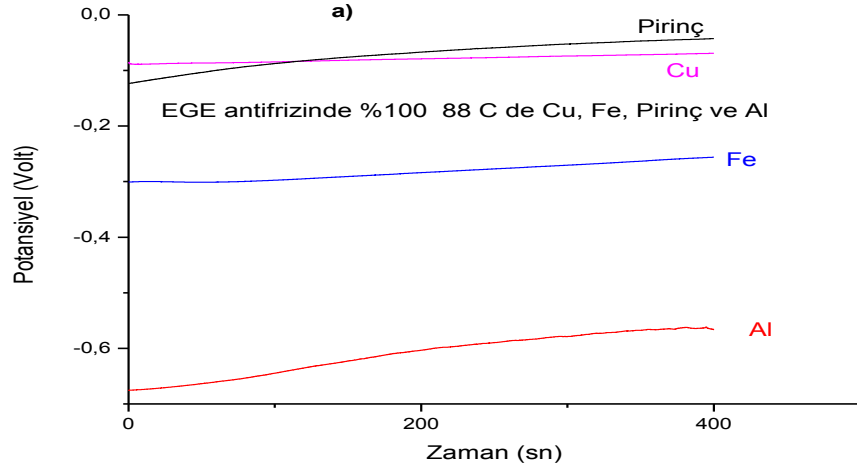
Potansiyelin zamanla değişim grafiklerine bakıldığında metallerin potansiyelleri pozitif yöne kaymaktadır. Bu durum, metallerin çözeltiliye daldırılmasıyla metal yüzeyinin zamanla kaplanmasıyla potansiyeli pozitif yöne kayarak dengeye gelmiştir. Elektrot potansiyeli dengeye geldikten sonra AC empedans ve akım-potansiyel eğrileri alındı. AC empedans eğrilerine bakıldığında en yüksek direncin bakırda elde edildiği görölmektedir. Dirençler yüzey alanı ile çarpılarak grafiğe geçirilmiştir. Akım-potansiyel eğrilerindeki korozyon potansiyeli en fazla bakırda pozitif yöne kaymıştır. Bunu AC-empedans grafikleri de desteklemektedir. En çok negatif yöne kayan metal ise alüminyumdur.



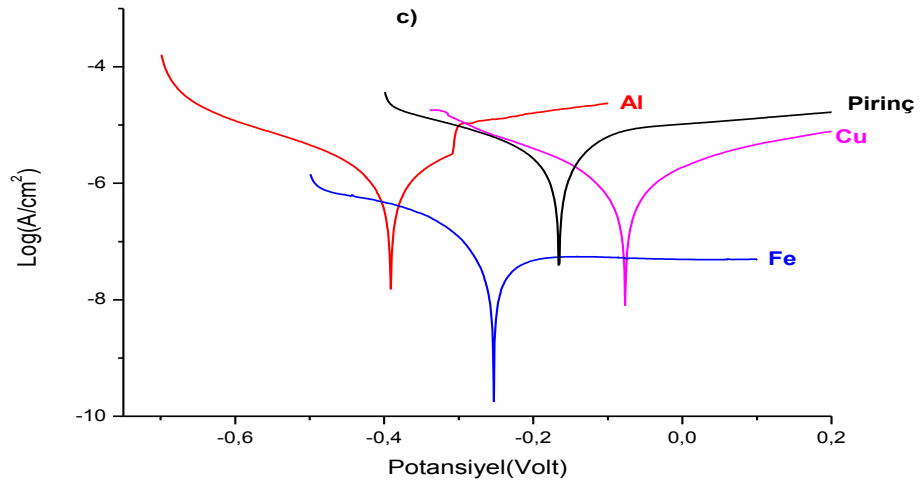
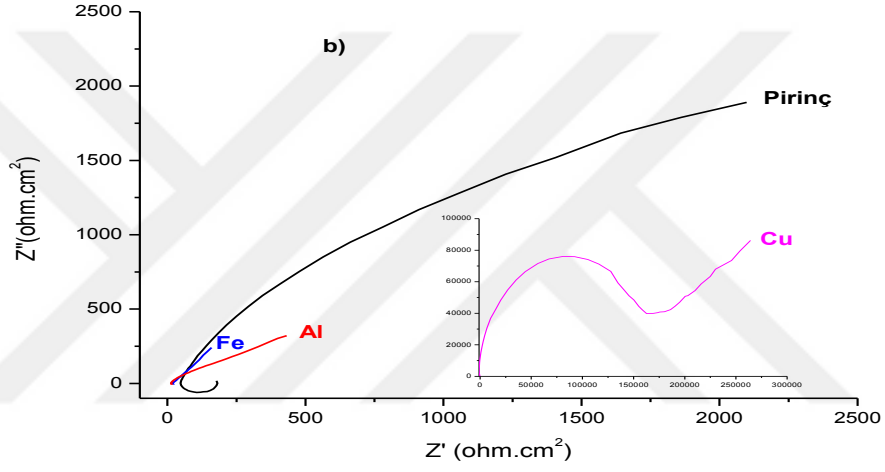
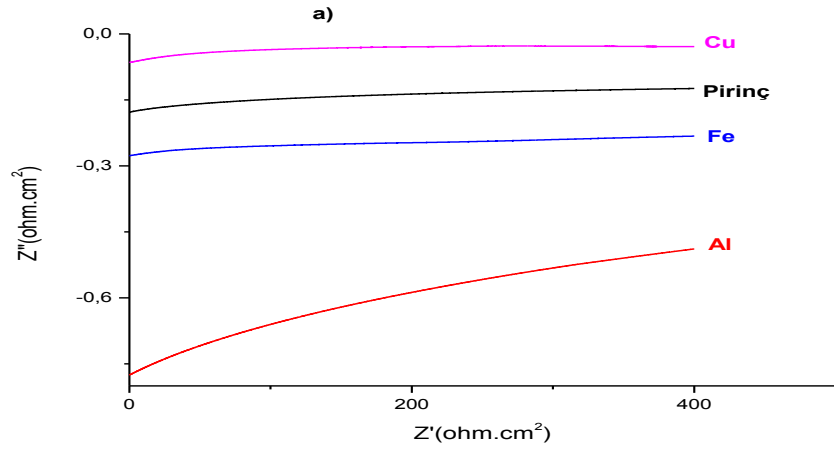
Şekil 5.7 %35 EGE antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 88°C sıcaklıkta alınan a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) akım-potansiyel eğrileri



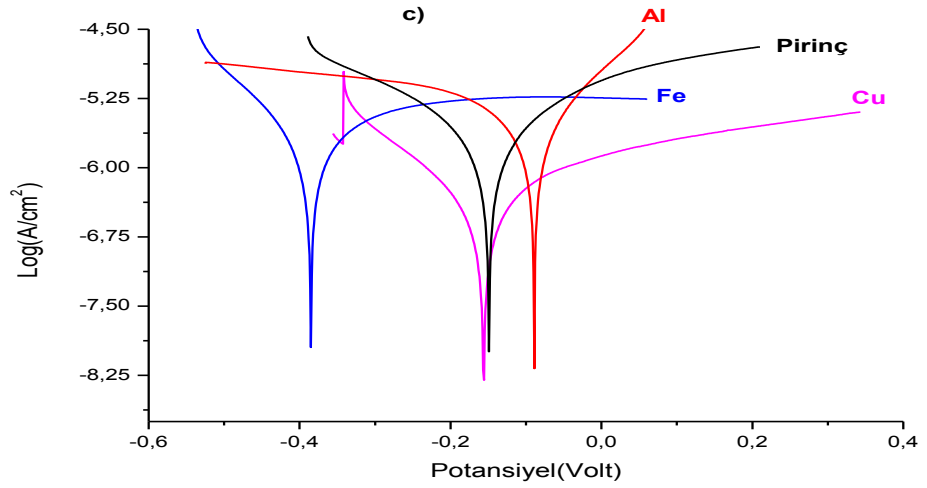
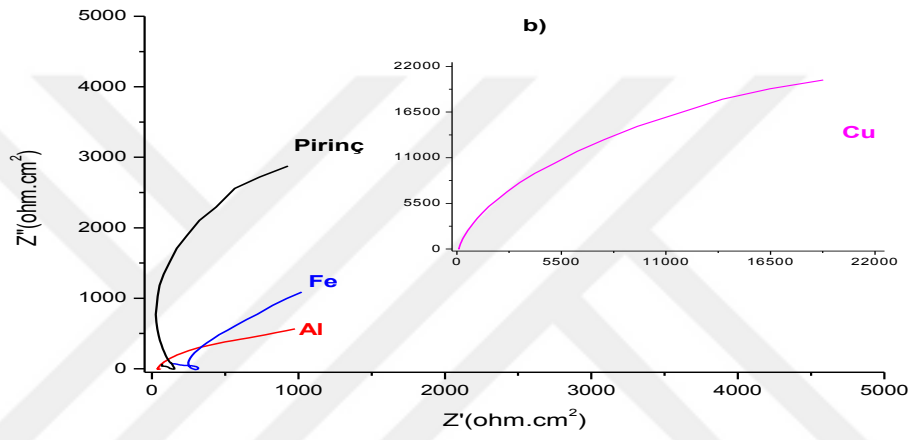
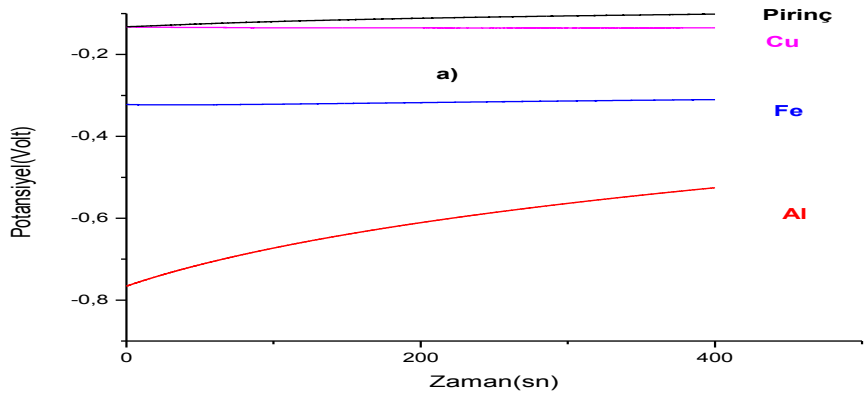
Şekil 5.7 %35 EGE antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 88°C sıcaklıkta alınan a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) akım-potansiyel eğrileri (devam)



Şekil 5.8 Bakır, demir, piriñ ve alüminyumun %100 EGE antifrizinin 88°C elde edilen a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri



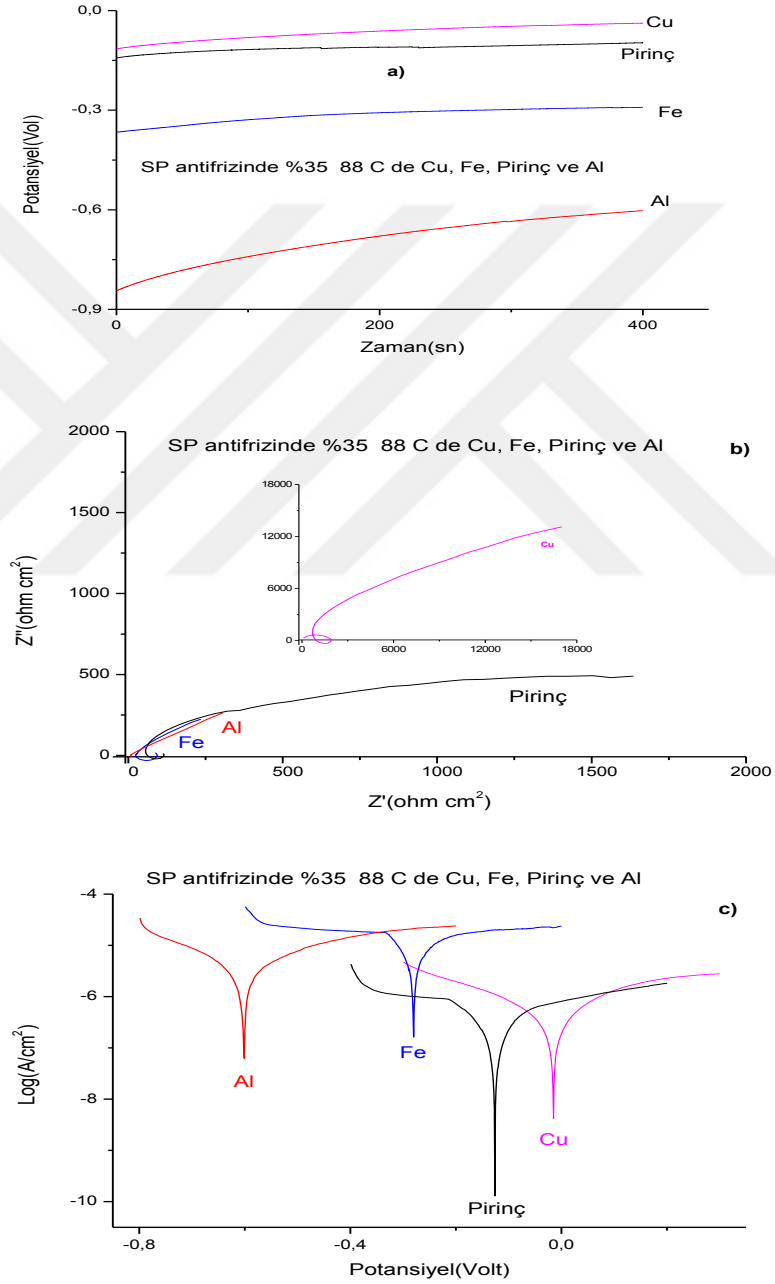
Şekil 5.9 Bakır, demir, piriñ ve alüminyumun %35 EGE antifrizinin 25°C da alınan  
a) Potansiyel-zaman b) AC-empedans c) Akım-potansiyel eğrileri



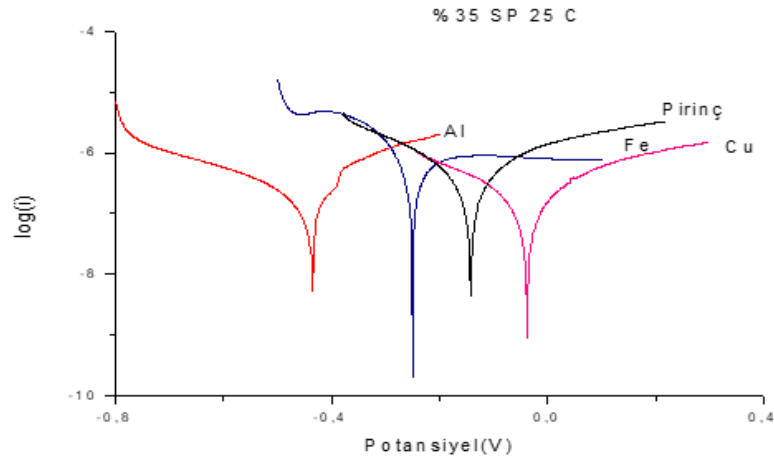
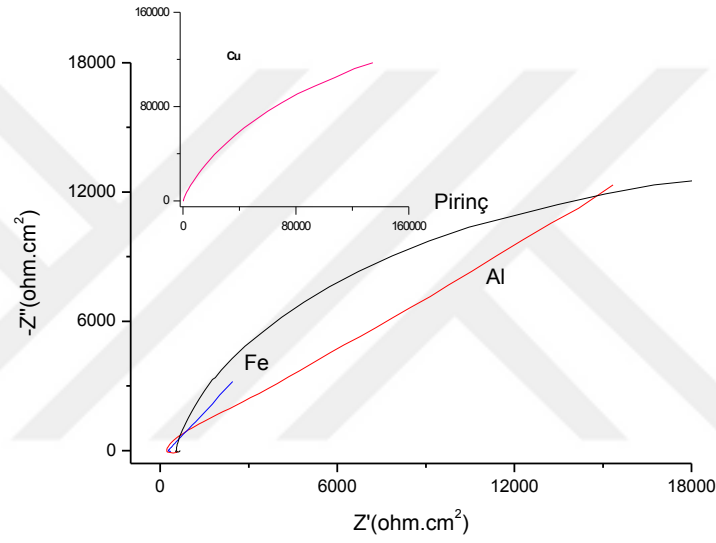
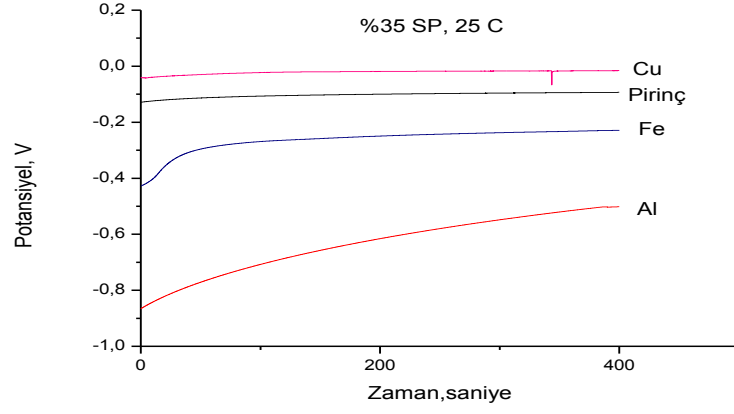
Şekil 5.10 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 EGE antifrizinin düşük sıcaklıkta 25°C'de elde edilen a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri

## 5.2 SP antifrizi ile yapılan deneyler

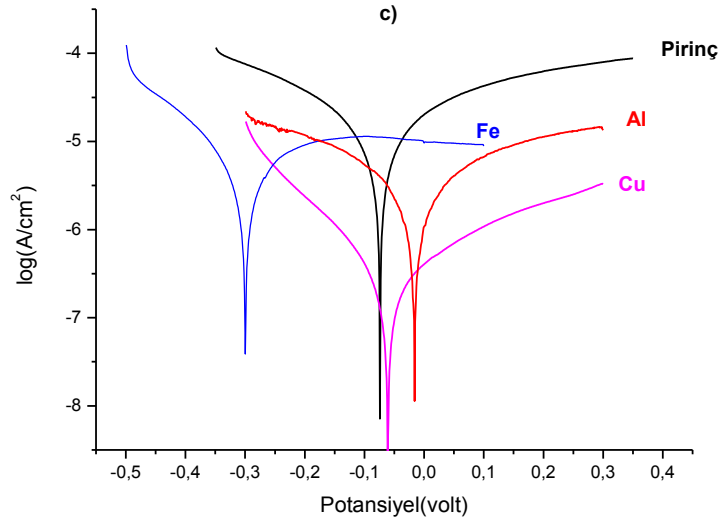
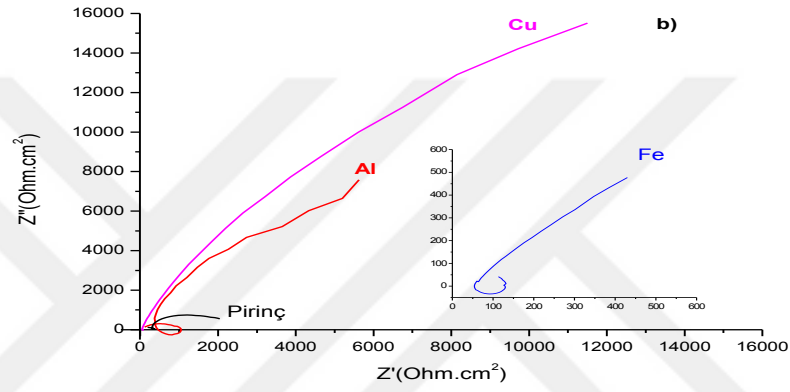
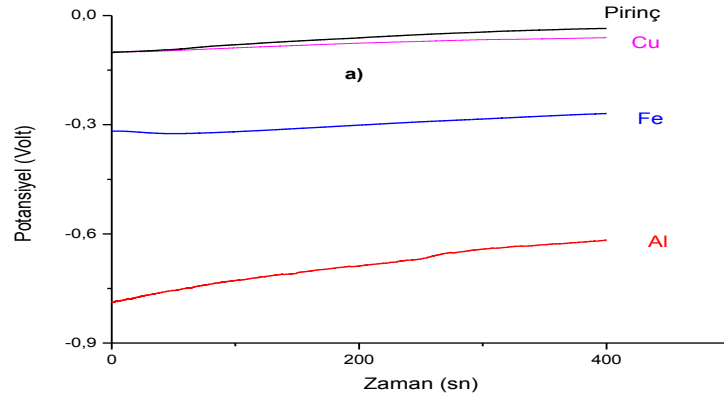
SP antifrizin %35, %100 derişim ve 25°C ve 88°C sıcaklıkta bakır, demir, pirinç ve alüminyumun korozyonuna etkisi araştırıldı. Elde edilen potansiyel-zaman, empedans ve akım-potansiyel eğrileri şekil 5.11-13 ve belirlenmiş olan diğer veriler ise çizelge 5.4'te verilmiştir.



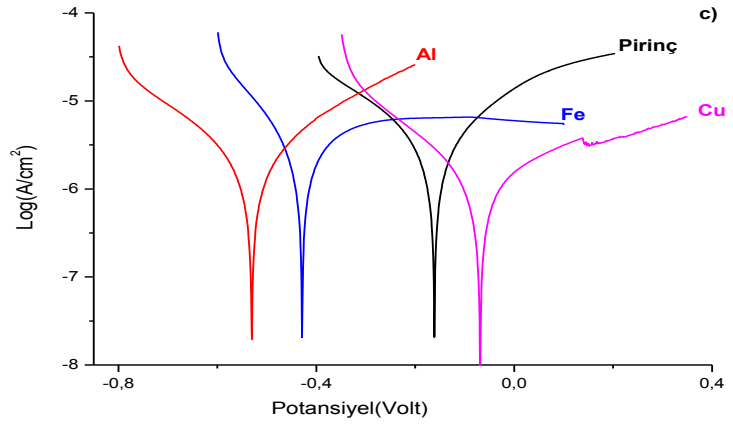
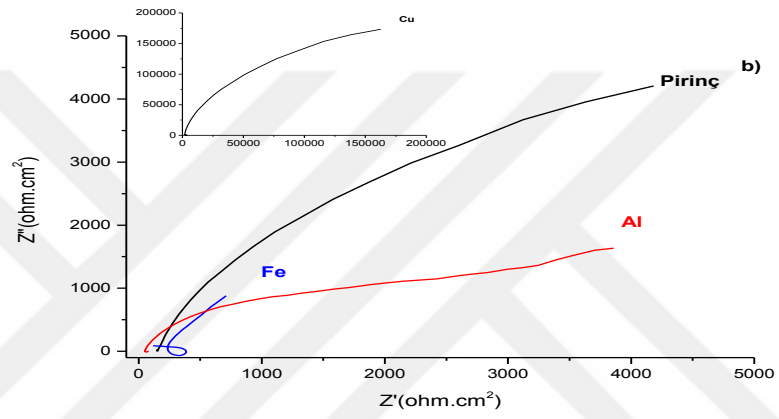
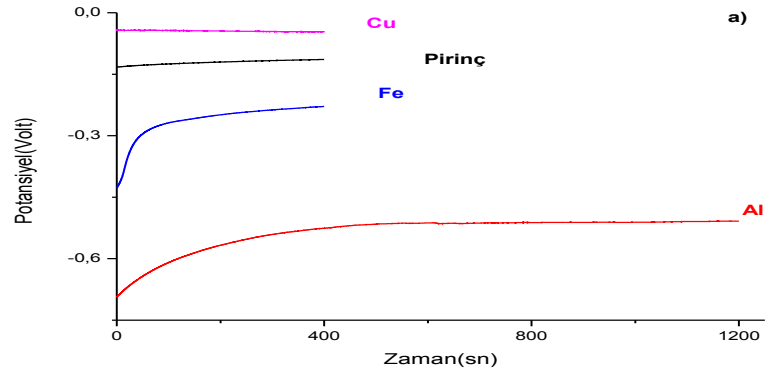
Şekil 5.11 %35 Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 88°C'de alınan a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri



Şekil 5.12 %35 Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyumun 25°C elde edilen a) potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğriler



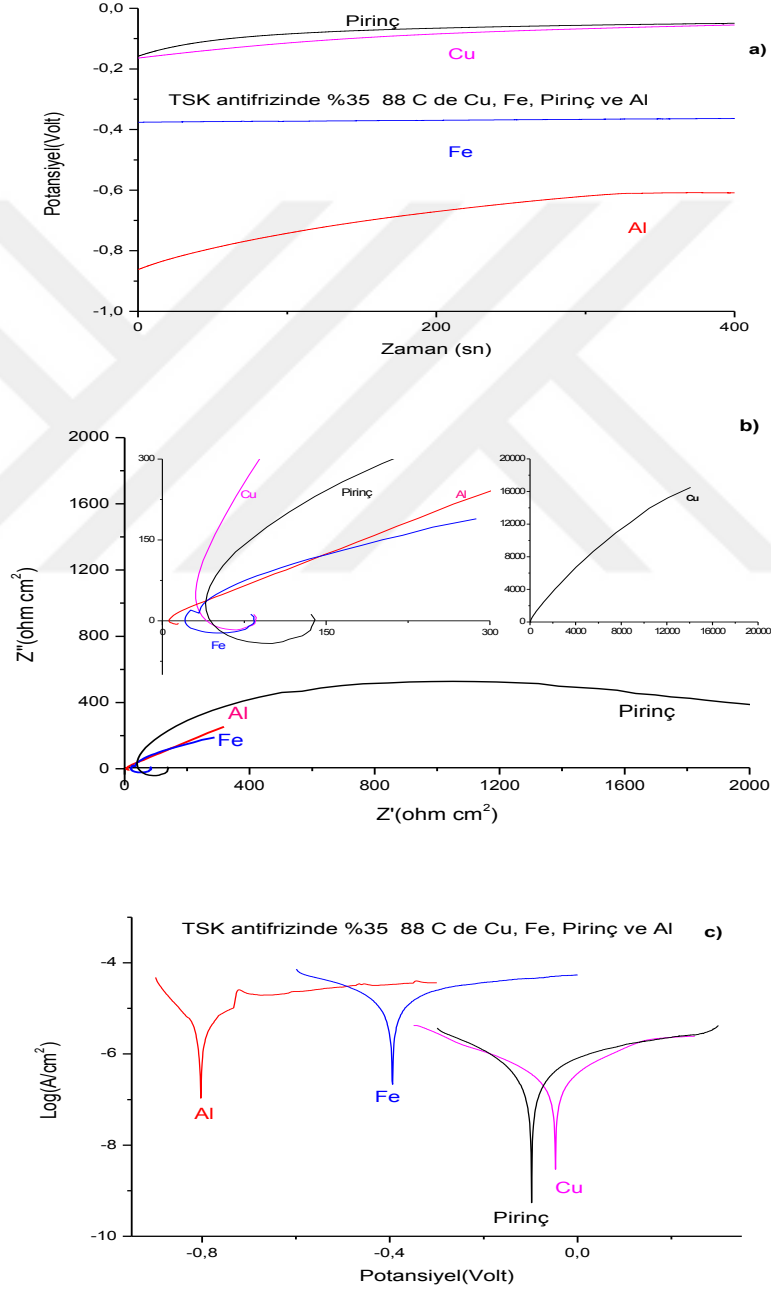
Şekil 5.13 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 SP antifriz ortamında 88°C’de alınan a) Potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri



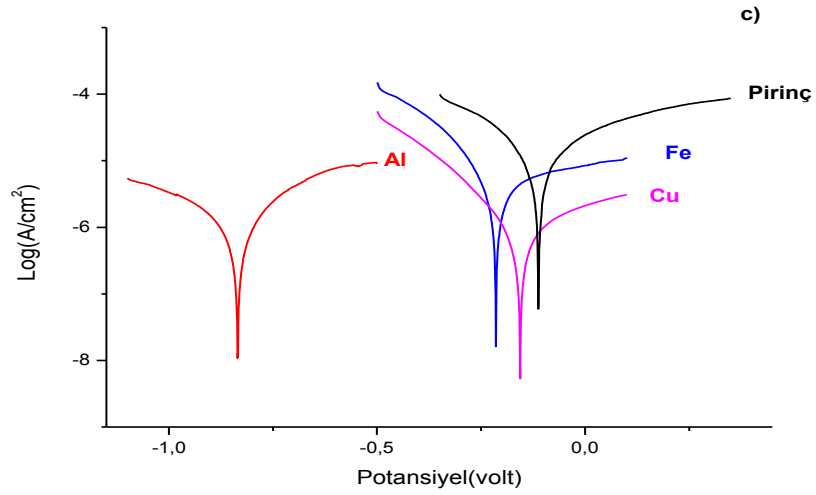
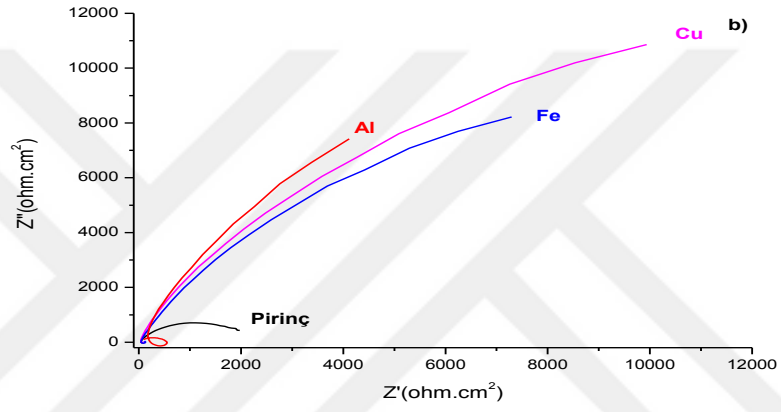
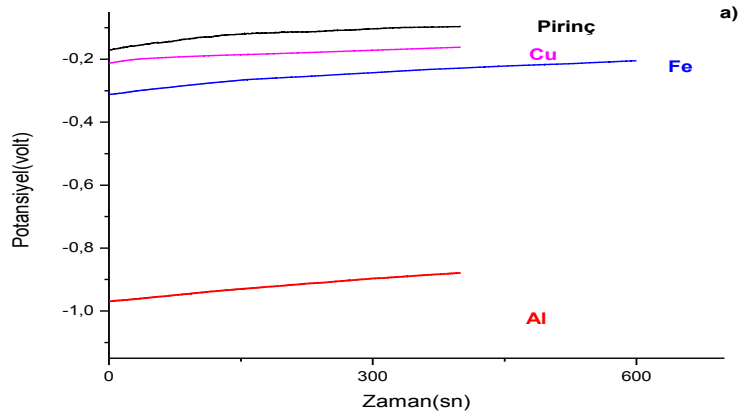
Şekil 5.14 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 SP antifrizinin 25°C’de alınan  
a) Potansiyel-zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri

### 5.3 TSK Özel Antifriz ile yapılan deney sonuçları

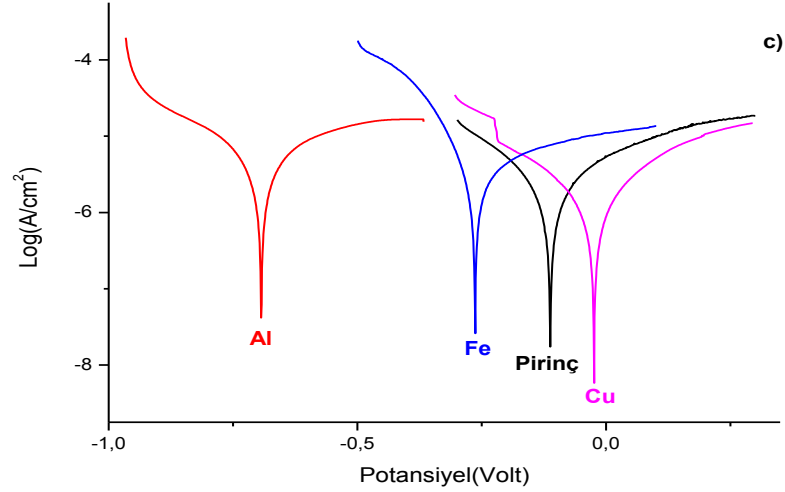
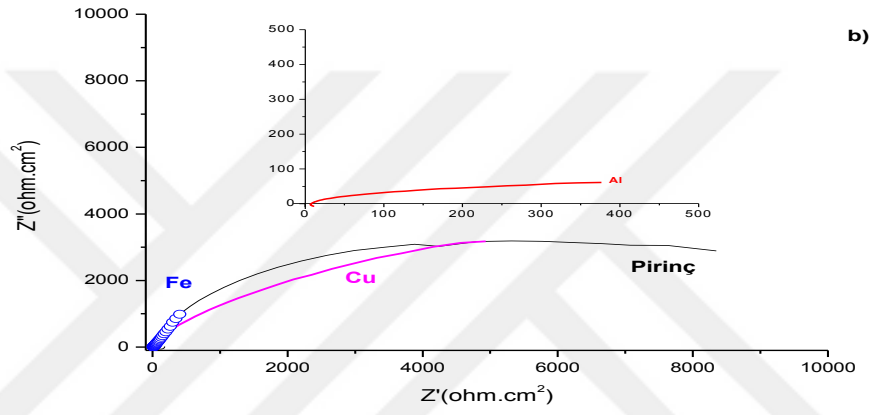
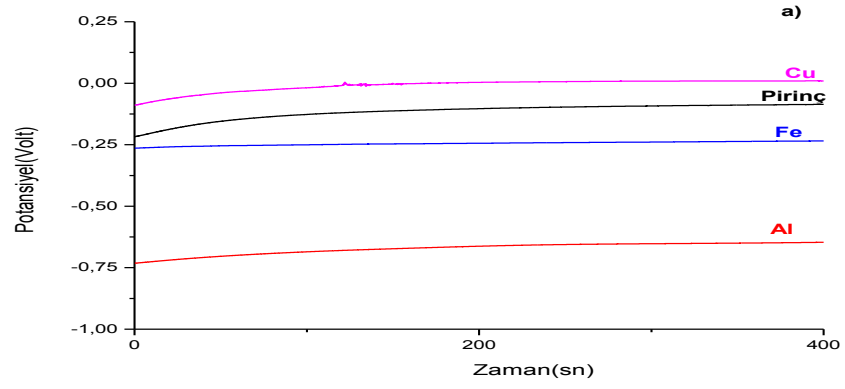
Soğutma sistemlerinde TSK antifriz ortamında %35, %100 ve 25°C, 88°C bakır, demir, pirinç ve alüminyumun korozyonuna etkisi için elde edilmiş olan potansiyelin zamanla değişimi, AC empedans ve akım-potansiyel eğrileri Şekil 5.14-17 ve belirlenmiş olan diğer veriler ise Çizelge 5.5'te verilmiştir.



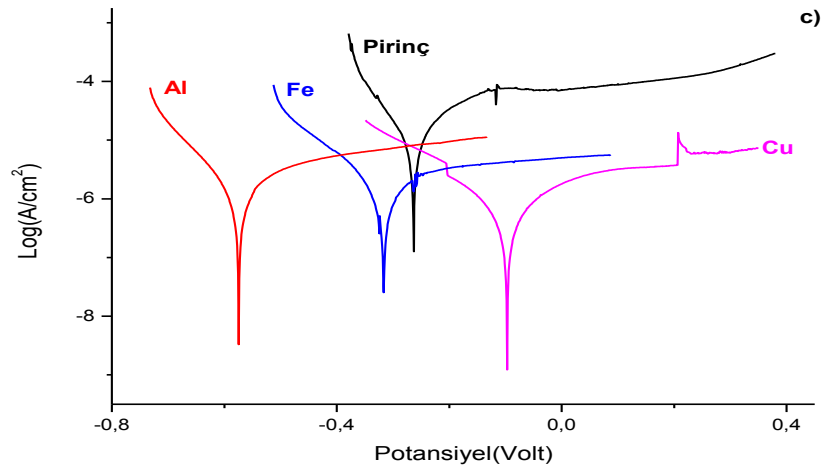
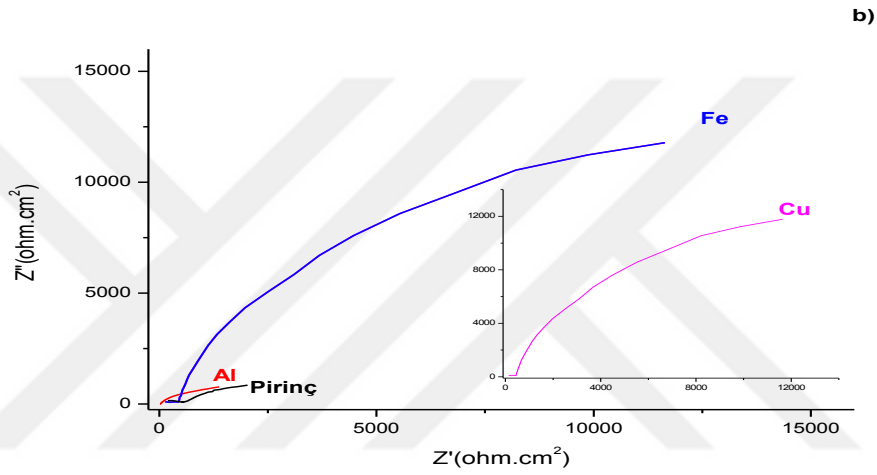
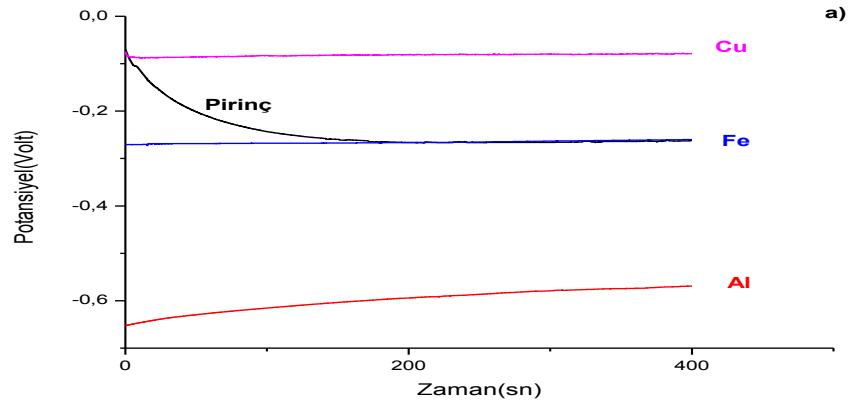
Şekil 5.15 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %35 TSK antifrizinin 88°C elde edilen a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım-potansiyel eğrileri



Şekil 5.16 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %100 saf TSK antifriz ortamında 88°C'de elde edilen a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



Şekil 5.17 Bakır, demir, pirinç ve alüminyumun %35'lik TSK antifriz ortamında 25°C'de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri



Şekil 5.18 Bakır, demir, piriç ve alüminyumun %100 saf TSK antifriz ortamında 25°C’de alınan a) Potansiyel zaman b) AC empedans c) Akım potansiyel eğrileri

Çizelge 5.3 TSK’da kullanılan Etilen glikol esaslı antifriz (EGE) ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı ( $i_{kor}$ ) ve belirlenmiş olan diğer parametreleri

Antifriz (EGE)	Sıcaklık (°C)	Safılık (%)	$E_{kor}$ (volt)	$B_a$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$B_c$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$R_p$ (mΩ.cm <sup>2</sup> )	C (F/cm <sup>2</sup> )	$i_{kor}$ (μA.cm <sup>-2</sup> )	$i_{kor}$ (mm/yıl)
<b>Cu</b>	25	100	-0,205	293	190	644	$8,8 \cdot 10^{-11}$	5,53	0,06
		35	-0,096	185	239	1210	$2,1 \cdot 10^{-11}$	1,12	0,01
	88	100	-0,084	163	218	70,1	$1,5 \cdot 10^{-10}$	0,603	0,007
		35	-0,030	221	23,9	41,7	$9,4 \cdot 10^{-11}$	1,22	0,01
<b>Fe</b>	25	100	-0,389	111	460	16,4	$1,6 \cdot 10^{-9}$	2,48	0,03
		35	-0,253	159	183	3,08	$1,1 \cdot 10^{-9}$	28,8	0,3
	88	100	-0,298	180	438	7,45	$1,2 \cdot 10^{-10}$	7,45	0,086
		35	-0,322	527	647	1,32	$6,5 \cdot 10^{-9}$	98,7	1,14
<b>Pirinç</b>	25	100	-0,149	219	223	18,8	$1,7 \cdot 10^{-9}$	2,56	0,03
		35	-0,165	241	460	11,9	$7,8 \cdot 10^{-10}$	5,8	0,07
	88	100	-0,067	238	267	5,75	$5,1 \cdot 10^{-10}$	10,3	0,1
		35	-0,095	227	286	3,56	$7,5 \cdot 10^{-10}$	16,3	0,2
<b>Al</b>	25	100	-0,088	360	121	37,5	$1,7 \cdot 10^{-9}$	1,07	0,03
		35	-0,391	205	172	87,5	$3,8 \cdot 10^{-9}$	0,45	0,01
	88	100	-0,507	234	261	15,3	$3,3 \cdot 10^{-10}$	3,59	0,1
		35	-0,546	144	260	12,2	$2,5 \cdot 10^{-9}$	3,3	0,1

Çizelge 5.4 Türk Silahlı Kuvvetlerinde kullanılan Süper antifriz ortamında bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı ( $i_{kor}$ ) ve belirlenmiş olan diğer parametreler

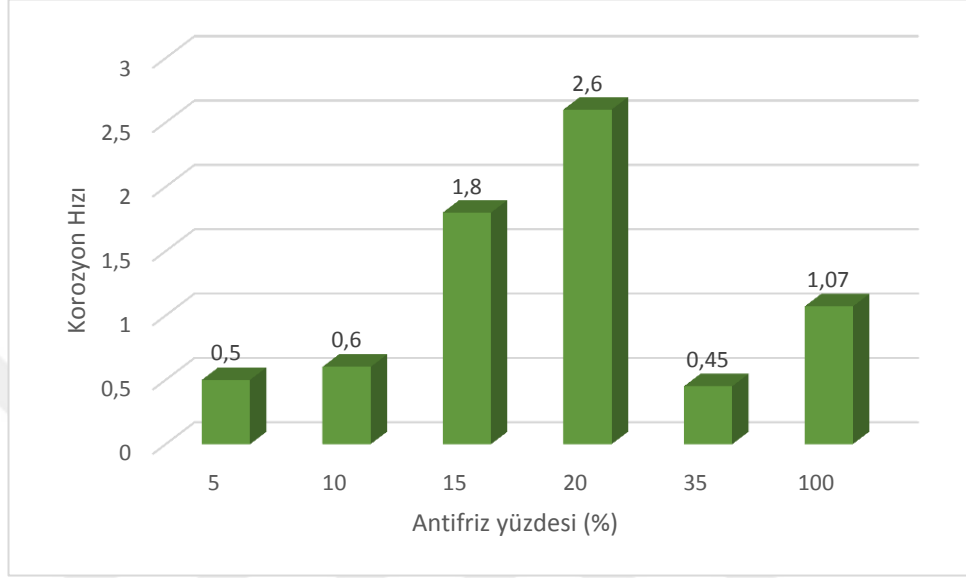
Antifriz (SP)	Sıcaklık (°C)	Safılık (%)	$E_{kor}$ (volt)	$B_a$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$B_c$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$R_p$ (mΩ.cm <sup>2</sup> )	C (F/cm <sup>2</sup> )	$i_{kor}$ (μA.cm <sup>-2</sup> )	$i_{kor}$ (mm/yıl)
<b>Cu</b>	25	100	-0,068	203	312	37,5	1,1.10 <sup>-11</sup>	1,55	0,01
		35	-0,052	199	230	1582	1,2.10 <sup>-10</sup>	3,06	0,03
	88	100	-0,058	150	240	125	1,4.10 <sup>-10</sup>	0,368	0,004
		35	-0,011	203	206	59,4	9,2.10 <sup>-11</sup>	0,751	0,008
<b>Fe</b>	25	100	-0,428	134	461	13,6	2,3.10 <sup>-9</sup>	3,34	0,03
		35	-0,252	257	158	3,35	6,7.10 <sup>-10</sup>	36,2	0,4
	88	100	-0,300	172	509	28,1	3,6.10 <sup>-9</sup>	7,72	0,09
		35	-0,279	1474	589	1,38	7,1.10 <sup>-9</sup>	138	1,6
<b>Pirinç</b>	25	100	-0,161	218	214	26,6	3,9.10 <sup>-10</sup>	1,8	0,02
		35	-0,149	210	252	13	5,1.10 <sup>-11</sup>	3,85	0,04
	88	100	-0,076	230	271	2,03	8,1.10 <sup>-10</sup>	78,0	0,9
		35	-0,111	362	376	1,77	1,1.10 <sup>-10</sup>	47,9	0,5
<b>Al</b>	25	100	-0,535	204	216	78,9	4,2.10 <sup>-10</sup>	0,6	0,01
		35	-0,434	258	264	41,6	1,1.10 <sup>-10</sup>	2,20	0,06
	88	100	-0,540	3,6	3,8	20,1	2,9.10 <sup>-10</sup>	3,28	0,09
		35	-0,601	212	241	13,5	5,3.10 <sup>-9</sup>	3,6	0,1

Çizelge 5.5 Türk Silahlı Kuvvetlerinde kullanılan TSK özel antifriz ortamında soğutma sistemlerdeki bakır, demir, pirinç ve alüminyum malzemelerinin korozyon hızı ( $i_{kor}$ ) ve belirlenmiş olan diğer parametreler

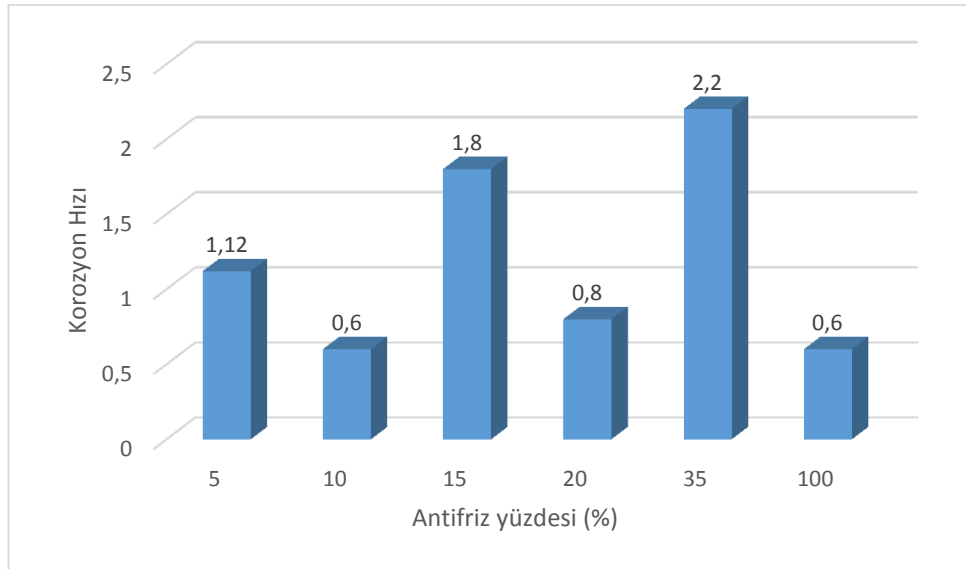
Antifriz (TSK)	Sıcaklık (°C)	Safılık (%)	$E_{kor}$ (volt)	$B_a$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$B_c$ (mV.dec <sup>-1</sup> )	$R_p$ (mΩ.cm <sup>2</sup> )	C (F/cm <sup>2</sup> )	$i_{kor}$ (μA.cm <sup>-2</sup> )	$i_{kor}$ (mm/yıl)
<b>Cu</b>	25	100	-0,098	77	220	232	$1,3 \cdot 10^{-10}$	0,94	0,01
		35	-0,024	213	211	57,8	$3,3 \cdot 10^{-10}$	1,65	0,01
	88	100	-0,155	165	327	45,1	$1,6 \cdot 10^{-10}$	1,08	0,01
		35	-0,035	214	177	81,1	$1,2 \cdot 10^{-10}$	0,52	0,006
<b>Fe</b>	25	100	-0,316	116	644	18,2	$1,4 \cdot 10^{-10}$	2,91	0,03
		35	-0,255	119	357	14,3	$4,1 \cdot 10^{-10}$	4,5	0,05
	88	100	-0,204	140	503	10,9	$2,2 \cdot 10^{-10}$	5,55	0,06
		35	-0,366	609	370	1,08	$5,7 \cdot 10^{-9}$	107	1,2
<b>Pirinç</b>	25	100	-0,266	49	254	11,2	$8,1 \cdot 10^{-10}$	1,84	0,02
		35	-0,112	200	265	10,6	$1,9 \cdot 10^{-10}$	4,69	0,05
	88	100	-0,123	218	300	2,25	$8,3 \cdot 10^{-10}$	25,4	0,3
		35	-0,106	207	288	2,02	$8,2 \cdot 10^{-10}$	26,2	0,3
<b>Al</b>	25	100	-0,576	97	344	52,8	$1,2 \cdot 10^{-9}$	6,2	0,1
		35	-0,666	279	334	45,5	$4,3 \cdot 10^{-9}$	3,1	0,09
	88	100	-0,820	276	186	38,6	$4,1 \cdot 10^{-10}$	1,30	0,03
		35	-0,803	64	621	7,06	$5,1 \cdot 10^{-9}$	3,6	0,1

## 6. TARTIŞMA

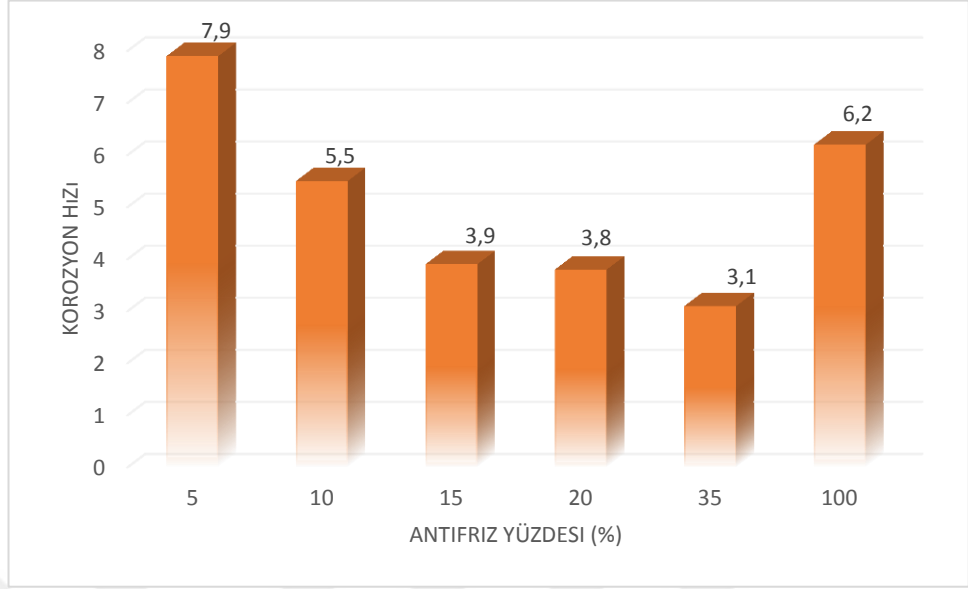
Radyatör alüminyumu ile yapılan deneylerde belirlenen korozyon hızları EGE, SP ve TSK antifriz derişimlerine bağlı olarak Şekil 6.1-6.3' de verilmiştir.



Şekil 6.1 Alüminyumun 25°C'da EGE antifriz ortamındaki korozyon hızının (µA.cm<sup>-2</sup>) derişimle değişimi



Şekil 6.2 Alüminyumun 25°C'da SP antifriz ortamındaki korozyon hızının (µA.cm<sup>-2</sup>) derişimle değişimi

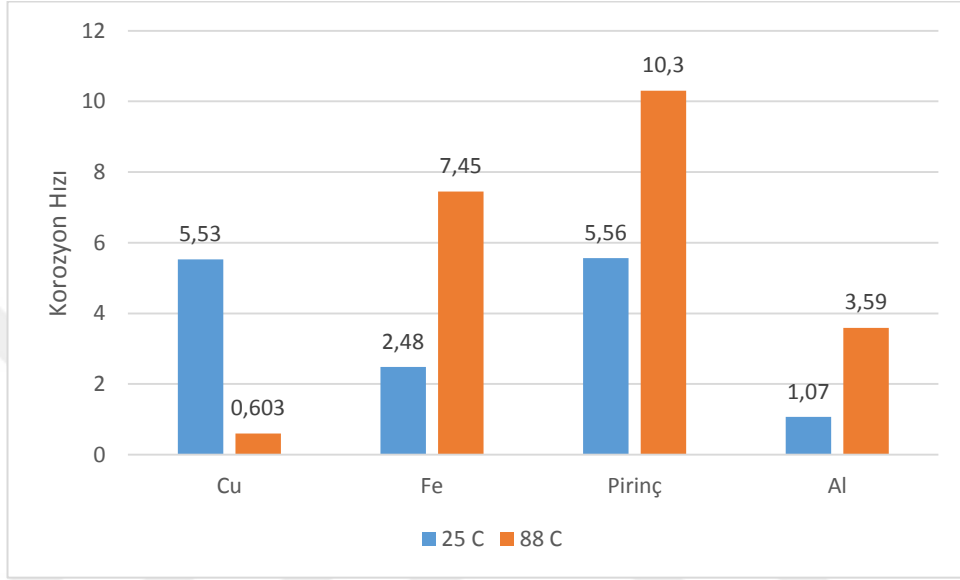


Şekil 6.3 Alüminyum 25°C’da TSK Özel antifriz ortamındaki korozyon hızının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) derişimle değişimi

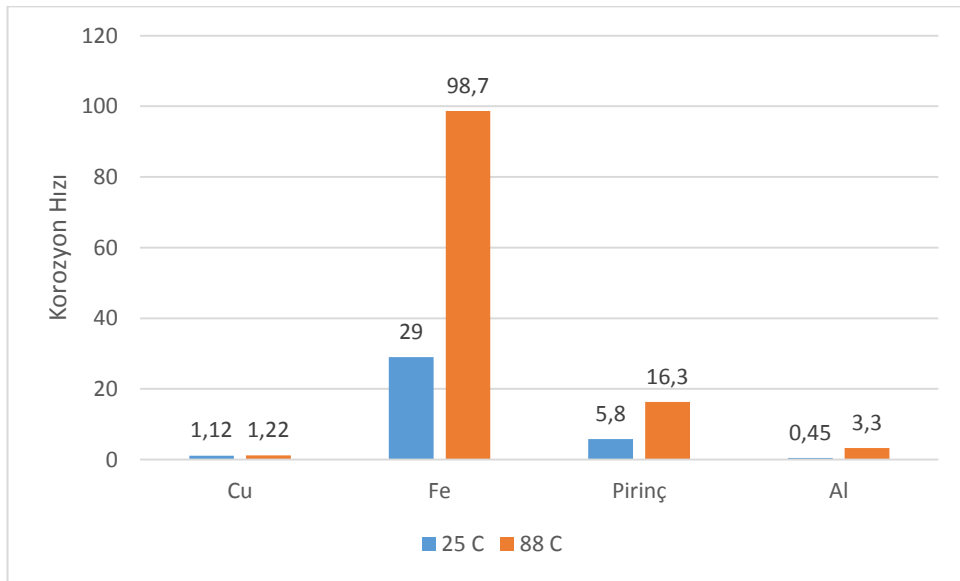
TSK, EGE ve SP antifrizlerin 25°C’de alüminyuma etkisi incelendiğinde, %100 saflıktaki antifrizler haricinde derişim (%5, %10, %15, %20 ve %35) arttıkça korozyon hızı en çok EGE antifrizinde düşmektedir. Korozyon hızı en çok olan ise TSK antifrizidir. Radyatör alüminyumun korozyon hızı  $\text{EGE}(0,45 \mu \text{ A/cm}^2) < \text{SP}(2,2 \mu \text{ A/cm}^2) < \text{TSK}(3,1 \mu \text{ A/cm}^2)$  şeklinde sıralanabilir. Bu durumda en kötü antifriz TSK olmaktadır.

EGE antifriz ile 25°C, 88°C ve %35, %100 derişimde yapılan deneylerde belirlenen korozyon hızları şekil 6.4 ve 6.5’ de verilmiştir. Genel olarak sıcaklık artınca korozyon hızı da artmaktadır. Ancak bu artış metal ve antifriz derişimine bağlı olarak değişmektedir. Ancak en düşük korozyon hızı Al ve Cu’da gözlenmiştir. Bakırın korozyon hızında bir artış söz konusu değildir. Bunun nedeni, olasılıkla düşük sıcaklıkta antifriz içindeki maddelerin bakır ile çözünürlüğü daha düşük bileşikler verebilmesi olarak düşünülebilir. Ayrıca bunun nedeni etilen glikoldeki OH gruplarının meydana getirdiğı hidrojen bağlarının yüksek sıcaklıkta kırılarak daha çok oluşan bakır I ve bakır II iyonlarının etilen glikoldeki ortaklanmamış elektron içeren oksijenler ile çözünürlüğü

daha düşük kompleks bileşikler oluşturduğu da düşünülebilir. Başka bir deyişle saf EGE antifrizde bakırın yüksek sıcaklıkta çözümlenir bileşikler oluşturması ihtimali yüksektir. Buna benzer durum %35'lik EGE antifrizde demir ve pirinçte de olmuştur. Bu durum demirin ve pirincin içindeki çinkonun yüksek sıcaklıkta çözümlenir bileşikler oluşturması ile açıklanabilir.



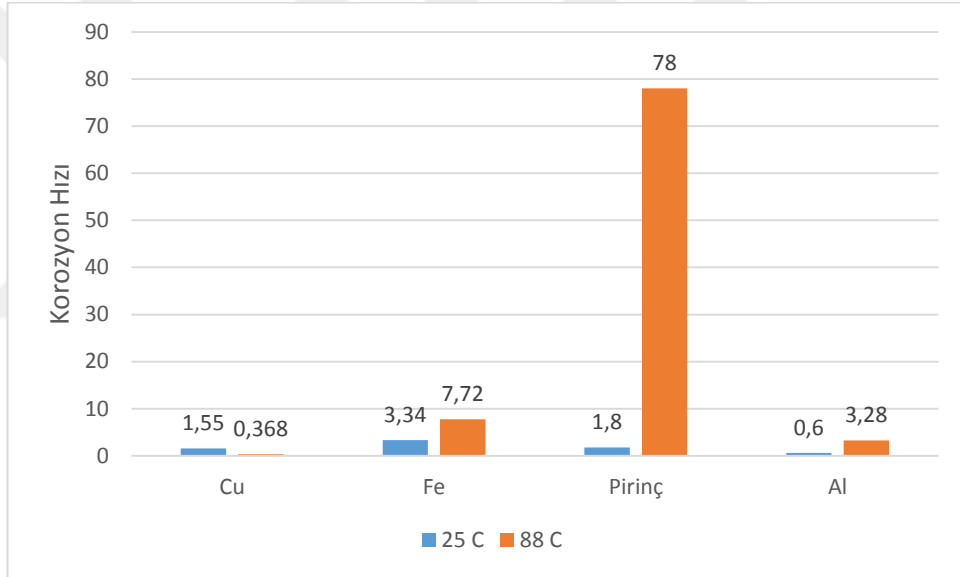
Şekil 6.4 Metallerin 25°C ve 88°C'da %100 EGE antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması



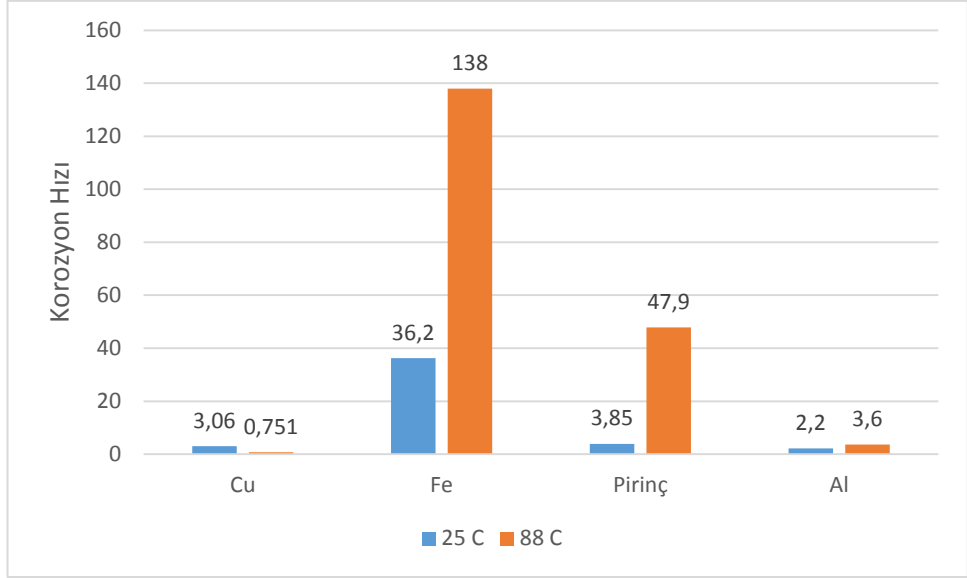
Şekil 6.5 Metallerin 25°C ve 88°C'da %35 EGE antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması

Süper antifrizin %100, %35 ve 25°C, 88°C metallerin korozyonuna etkisi şekil 6.6 ve 6.7' de verilmiştir. Bu antifrizin etkisi daha çok pirinç ve demirin üzerinde görülmüştür. Pirincin korozyon hızı 78  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$  den 47,9  $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$  değerine düşmüş, pirincin korozyon hızını ise %40 oranında azalmıştır.

Sıcaklık arttıkça metallerin korozyon hızında bir artış olduğu görülmektedir. En fazla artış pirinçte söz konusu olup %35'lik süper antifrizde sıcaklık arttıkça korozyon hızındaki artış en çok demirde daha sonra pirinçte gözlenmiştir. En az artış ise alüminyumun korozyon hızında söz konusudur. Bu antifriz içerisinde az da olsa sıcaklık arttıkça bakırın korozyon hızında düşüş meydana gelmiştir.

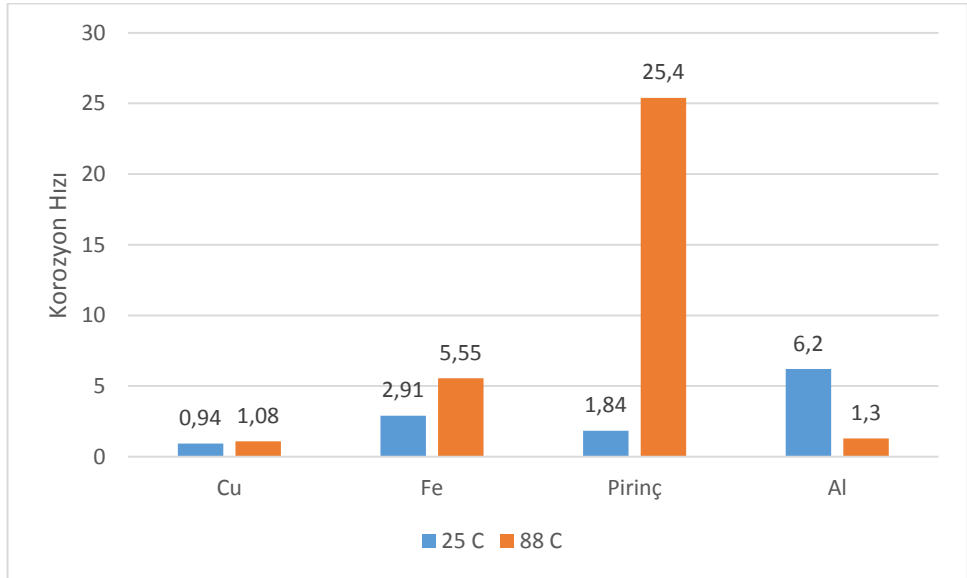


Şekil 6.6 Metallerin 25°C ve 88°C'da %100 SP antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması

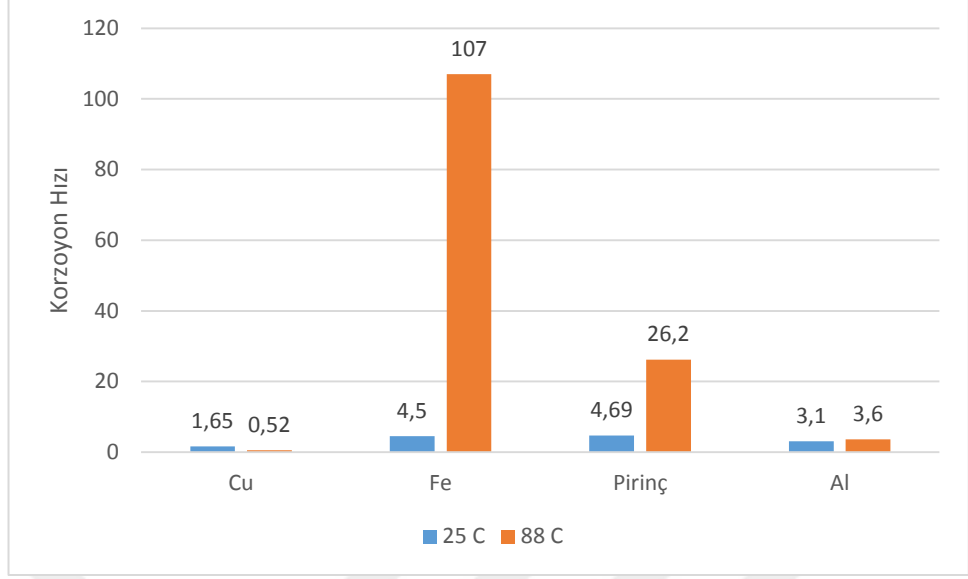


Şekil 6.7 Metallerin 25°C ve 88°C'da %35 SP antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması

TSK antifrizi içerisinde 25°C, 88°C sıcaklık ve %35, %100'lük derişimlerde çalışılan metallerin korozyon hızları şekil 6.8 ve 6.9' da verilmiştir.



Şekil 6.8 Metallerin 25°C ve 88°C'da %100 TSK antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması



Şekil 6.9 Metallerin 25°C ve 88°C'da %35'lik TSK antifriz ortamındaki korozyon hızlarının ( $\mu\text{A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) karşılaştırılması

Metallerin korozyonunda galvanik çift oluşturması çok önemlidir. Bu ise iki metal arasında ölçülen potansiyel farkına bağlı olup potansiyel farkı arttıkça aktif olan metal daha fazla korozyona uğramaktadır. Bu çalışmada kullanılan metallere bakır, demir ve pirincin alüminyuma karşı katot oldukları ölçülen korozyon potansiyellerinden görülmektedir. Bu metaller ile aynı ortamdaki alüminyumun korozyon potansiyelleri arasındaki fark aşağıdaki Tablo 6 ve 7 de verilmiştir. Bu potansiyel farklarına bakıldığında zaman en kötü antifrizin TSK sonra SP en iyisi ise EGE antifrizi olduğu görülmektedir. Ancak eğer galvanik çift oluşturmazsa her üç inhibitörün de etkin olabileceği tahmin edilmektedir. Çünkü korozyon hızları alüminyumdan çok farklı değildir.

Çizelge 6.1 25°C’da metallerin farklı derişimlerdeki (%100 ve %35’lik) etilen glikol esaslı(EGE), super antifriz(SP) ve Türk Silahlı Kuvvetleri özel(TSK-özel) antifriz ortamlarında sıcaklıktaki alüminyuma göre potansiyel farkları ( $\Delta E = E_{(Kor, Me)} - E_{(Kor, Al)}$ )

25°C ( $\Delta E$ )	% 100			% 35		
	EGE (Volt)	SP (Volt)	TSK (Volt)	EGE (Volt)	SP (Volt)	TSK (Volt)
<b>Cu-Al</b>	0,117	0,467	0,478	0,295	0,375	0,642
<b>Fe-Al</b>	0,301	0,107	0,260	0,138	0,182	0,411
<b>Pirinç-Al</b>	0,061	0,374	0,310	0,226	0,285	0,554

Çizelge 6.2 88°C’da metallerin farklı derişimlerindeki (%100 ve %35’lik) etilen glikol esaslı (EGE), super antifriz (SP) ve Türk Silahlı Kuvvetleri özel (TSK-özel) antifriz ortamında alüminyuma göre korozyon potansiyellerinin farkları ( $\Delta E = E_{(Kor, Me)} - E_{(Kor, Al)}$ )

88°C ( $\Delta E$ )	% 100			% 35		
	EGE (Volt)	SP (Volt)	TSK-özel (Volt)	EGE (Volt)	SP (Volt)	TSK-özel (Volt)
<b>Cu-Al</b>	0,423	0,482	0,665	0,516	0,590	0,768
<b>Fe-Al</b>	0,209	0,240	0,616	0,224	0,322	0,437
<b>Pirinç-Al</b>	0,440	0,465	0,696	0,451	0,490	0,697

Çizelge 6.3 Ankara çeşme suyu bileşimi

Ankara şebeke suyu bileşimi	Sülfat (mg/l)	Nitrat (mg/l)	Sodyum (mg/l)	Kalsiyum (mg/l)	Magnezyum (mg/l)	Klorür (mg/l)
		<b>28,9</b>	1,34	7,5	31	8,1

## 7. SONUÇLAR

- Metalden metale farklılık gösterse de söz konusu antifrizler arasında Alüminyum için en uygun olan EGE antifrizidir.
- Tüm derişimler göz önüne alındığında bunlardan en iyisi etilen glikol olmak üzere inhibitör etkinliğinin EGE>SP>TSK şeklinde olduğu anlaşılıyor.
- Fe, Cu, pirinç ve Al'nin korozyonu göz önüne alındığında en kötüsü TSK özel antifriz oluyor. Buda bize sistemdeki metalleri göz önünde bulundurarak karar vermemizi gerektiriyor. (Özellikle delinme olan Al radyatör) eğer ortamdaki  $E_{kor(metal)} - E_{kor(Al)}$  değerleri göz önüne alınırsa (galvanik korozyon) en kötü antifrizinin TSK olduğu görüldü. Sıcaklık 88°C'de ise saflık yüzdeleri %35 ve %100'de TSK<SP<EGE şeklinde olmaktadır.
- Ankara şebeke suyu, radyatör alüminyumunun korozyonuna olumlu etki yapıyor, korozyon akımları ( $i_{kor}$ ) antifriz içermeyenden daha düşük, bu ise ortamdaki sülfat iyonlarından kaynaklandığı değerlendirilmiştir.
- Ankara çeşme suyu ile hazırlanan antifrizlerin korozyon hızı düşük olması çeşme suyundaki sülfat iyonların daha fazla olduğunu ve iletkenliğinin ise düşük olmasından kaynaklanıyor olabilir. Şebeke suyunun bileşimine bakacak olursak, (Çizelge 6.3 ) sülfat iyonlarının daha fazla olduğu görülmektedir. Ankara şebeke suyunun elektriksel iletkenliği sıcaklık 25°C için 23,1 mS m<sup>-1</sup>'dir. Türk Standartları Enstitüsü verilerine (TS 266) göre Ankara şebeke suyun iletkenliği 250 mS m<sup>-1</sup> olması gerektiği belirtilmektedir. Dolayısıyla hem sülfat iyonlarının daha fazla olması hem de iletkenliğinin daha düşük olması, metallerin korozyon hızını düşürmüştür.
- Alüminyum metalinin saf su ile hazırlanan çeşitli derişimlerdeki [5 ml antifriz, 95 ml su %5], [10 ml antifriz, 90 ml su, %10], [15 ml antifriz, 85 ml su, %15], [20 ml antifriz, 80 ml su, %20], [35 ml antifriz, 65 ml su, %35] ve [100 ml antifriz, 0 ml su, %100] antifrizlerin her üçünde de antifriz - su oranında çözünen su miktarı artışıyla,

iletkenliğin artmasıyla, kapasitansta bir azalma ( $C\%5 < C\%10 < C\%15 \approx C\%20 < C\%35 < C\%100$ ) söz konusudur. Diğer bir deyişle derişim arttıkça kapasitans değeri azalmaktadır. Kapasitansın en düşük olduğu ortam su oranının sıfır olduğu saf antifrizken(%100), kapasitansın en yüksek olduğu ortam ise su oranının en yüksek olduğu(%5) ortamda elde edilmiştir. TSK ve EGE için en düşük korozyon hızı elde edilirken, SP için en düşük korozyon hızı %100 saf antifrizde elde edilmiştir. Korozyon hızının en düşük olduğu ortam %35 ortamıdır. Bu sebeple antifriz kullanımı saf su ile hazırlanması şartıyla %35'lik derişim en uygun çalışılacak ortamdır. Eğer antifrizler saf su ile hazırlanmayacaksa kullanılacak her ilin çeşme suyu farklı olacağından suyun bileşimi önceden bilinmeli ve buna göre hesaplama yapılmalıdır. Gelişi güzel hazırlanan antifrizlere çeşme suyu ilave edilirse çatlak korozyonu sebebiyle radyatör zarar görebilir.

- Kullanılan metallerin antifriz ortamında metal-antifriz etkileşim mekanizmasının genellikle yük transfer kontrollü olduğu empedans grafiklerinden anlaşılmaktadır. Bu sebeple metal-çözelti arasındaki direnç ile kapasitans ters orantılı olarak değişmiştir.
- Alüminyum haricindeki metallerde, 88°C'de EGE antifrizinde iletkenlik arttıkça korozyon hızı artmakta direnç ise düşmektedir.
- Bakır, demir ve pirincin 88°C'deki korozyonu, EGE antifrizin derişimi azaldıkça polarizasyon direnci azalmış, korozyon hızı ise artmıştır. Bunun nedeni ise iletkenliğin artmasıdır.
- Sıcaklık 88°C'de %35'lik EGE antifriz ortamında demirin korozyon hızı en yüksek( $98,7 \mu A.cm^{-2}$ ) ve bakırın( $1,12 \mu A.cm^{-2}$ ) ise en düşüktür. Aynı sıcaklıkta %100'lük EGE antifrizinde pirincin korozyon hızı  $10,3 \mu A.cm^{-2}$  olup en yüksek, bakırın ise  $0,6 \mu A.cm^{-2}$  olup en düşük bulunmuştur.
- Sıcaklık 88°C'de %100 hem EGE hem TSK antifrizlerinin %100 derişimde korozyon hızı, pirinç>Fe>Al>Cu, %35 derişimde ise Fe> pirinç>Al>Cu şeklinde sıralanmaktadır.

- Metal yüzeyinde korozyon sonucu oluşan bileşikler metalin denge potansiyelini pozitif yöne doğru kaymasına sebep olmuştur. Bakır ve pirincin yüzeyindeki yük yoğunluğu diğer metallere göre daha fazladır. Bu durumda bakır ve pirinç yüzeyinde oluşan pozitif yükler daha fazladır. Ayrıca bakır ve pirincin yüzeyinde çözünürlüğü daha az bakır ve çinko bileşiklerinin olması da söz konusu olabilir. Etilen glikol esaslı bu antifrizin içinde herhangi bir katkı maddesinin olmadığından yüzeyde oluşan pozitif yükler olasılıkla metallerin etilen glikoldeki hidrojen bağlarının (metallerde zayıf olsa da) moleküler arası bir etkileşimin olduğu söylenebilir. Denge potansiyellerinin pozitif yöne yayması da bize moleküller arası bir etkileşimin olduğunu göstermektedir.

- Yüksek derişim ve sıcaklıkta pirincin korozyon potansiyeli hem pozitif yöne kayıyor hem de korozyon hızı daha çok düşmektedir. Sıcaklık 88°C'de (%100 ve %35 derişimlerde) derişimin artması Cu, Fe, Al metallerinde korozyonu azaltırken pirinçte arttırmıştır. Motor aksamında pirinç olduğu düşünülürse saf antifriz yerine %35lik kullanmak mantıklı olacaktır.

- Metal yüzeyinde korozyon sonucu oluşan bileşikler metalin denge potansiyelini pozitif yöne doğru kaymasına sebep olmuştur. Bakır ve pirincin yüzeyindeki yük yoğunluğu diğer metallere göre daha fazladır. Bu durumda bakır ve pirincin yüzeyinde oluşan pozitif yükler daha fazladır. Ayrıca bakır ve pirincin yüzeyinde çözünürlüğü daha az bakır ve çinko bileşiklerinin olması da söz konusu olabilir. Etilen glikol esaslı antifriz içinde herhangi bir katkı maddesinin bulunmadığından, yüzeyde oluşan pozitif yükler olasılıkla metallerin etilen glikoldeki hidrojen bağlarının (metallerde zayıf olsa da) moleküler arası bir etkileşimin olduğu söylenebilir. Denge potansiyellerinin pozitif yöne kayması bize moleküller arası bir etkileşimin olduğunu göstermektedir.

- Derişim azaldıkça korozyon hızı artmış, direnç ise azalmıştır. Bunun nedeni ise iletkenliğin artmasıdır.

- Bakırın potansiyeli en pozitif, alüminyumun ise en negatif çıkmıştır. Pirinç ve bakırın korozyon akımı alüminyum ve demirden daha düşük çıkmıştır. Pirinç ve bakır bu ortamda korozyona daha dayanıklıdır.

- Sıcaklık 88°C ve %100'lük antifrizler için yapılan deneylerde elde edilen korozyon hızlarına göre EGE, SP ve TSK antifrizlerde çözünme sırası Pirinç>Fe>Al>Cu şeklindedir. Bu durumda en fazla çözünen pirinç, en az çözünen ise bakırdır. Pirinç, en çok süper antifriz (SP)'de çözünmüştür ( $I_{kor} = 78 \mu Acm^{-1}$ ), en az ise EGE' de çözünmüştür ( $I_{kor} = 10,3 \mu Acm^{-1}$ ). Pirincin süper antifrizde çok çözünmesinin nedeni çinkonun fazla çözünmesinden kaynaklı olmalı. Bu ise büyük ihtimalle süper antifrizin içinde bulunan bazı bileşiklerin çinko ile çözünür kompleksler oluşturması ya da çözünürlük çarpımı yüksek olan bileşikler meydana getirmesidir.

- Sıcaklık arttıkça %100 ve %35'lik derişimlerde korozyon hızı artmaktadır. Ancak bazı durumlarda azalma söz konusudur. Eğer söz konusu metaller alüminyum ile metal çifte şeklinde temasta bulunuyorsa alüminyum anot olur.

Potansiyel fark tablosu (Çizelge 6.1 ve 6.2) incelendiğinde en fazla galvanik etkiyi en çok bakırın göstereceği görülmektedir. Çünkü  $\Delta E_{kor}$  en büyük ondadır. Sonra pirinç en az korozyonu artan metal ise demir olmaktadır. Ancak bu durum antifrizle bağlı olmaktadır. En az etkiyi EGE sonra SP göstermekte olup, en kötü etki ise TSK'da görülmektedir. Ancak, eğer galvanik eşleşme yöntemiyle korozyon önlenirse bu kötü etki azaltılabilir. ( $\Delta E = E_{kor(metal)} - E_{kor(Al)}$ )

## KAYNAKLAR

- Abel, 1984. United States Patent, Antifreeze Corrosion Inhibitor Composition for Alumium Engines,
- Ahmad Z., 2006. Principles of Corrosion Engineering and Corrosion Control. Butterworth-Heinemann, 27s, Suudi Arabistan.
- Akdoğan, A., 2009. Demirdışı Metal ve Alaşımlarının Korozyonu.
- Aksüt, A.A. and Büyüksağıs, A., 2003. Protection of metals , 44 , 514-520
- Anonymous. 2005. Web Sitesi: <http://www.awrracing.com/>, Erişim Tarihi: 15.12.2017.
- Başer, T. A., 2012. Mühendis ve Makina, **53**, 635, 51-58.
- Cole, G., Glove, A., Jeryan, R. and Davies, G., 1997. Steel World 2, 1, 75–83.
- Comyn, J., Day, J., Shaw, S., J., 1997. “Durability of aluminium-sealant joints in jet-fuel, water and antifreeze”, Int. J. Adhesion And Adhesives, 17, p. 213 – 221.
- Çengel, Y. A. Boles, M. A., Derbentli, T., 1996. “Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik”, Mc Graw-Hill- Literatür Yayınları, p. 1–867.
- Erbil, M. 1996. Korozyonun Önlenmesi, 5. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Adana, s.223-237.
- Fink, J., 2015. Petroleum Engineer’s to Oil Field Chemical and Fluids, Second Edition, Chapter 14 – Antifreeze agents, 445–453.
- Fink, J., 2016. Chapter 5 – Corrosion in Pipelines, 57–82.
- Hansen, 1988. United States Patent, Metal Corrosion Inhibition in Closed Cooling Systems.
- Huang, K., D., Tzeng, S., C. and Ma, W., P., 2004. “Effects of anti-freeze concentration in the engine coolant on the cavitation temperature of a water pump”, Applied Energy, 79, 261 – 273.
- Igarashi, T., Nakamura, H., Fukuoka, T., 2004. “Pressure Drop and Heat Transfer of Arrays of In-Line Circular Blocks on The Wall of Parallel Channel”, International Journal of Heat and Mass Transfrer, 47, p. 4547–4557.
- Kazdal, Z. H., 2000. MAM-MKTAE/OSD, Alüminyum Raporu, Alüminyum Alaşımları Otomotiv Sektöründe Uygulamaları ve Geleceği.

- Lambert, Jr., 1980. United States Patent, Antifreeze Composition Containing Corrosion Inhibitor Combination.
- Lottin, O., Epiard, C., 2001. “ Dependence of the thermodynamic properties of ice slurries on the characteristics marketed antifreezes”, International journal of refrigeration, 2001, 24, p. 455–467.
- Miller, W.S., 2000. Materials Science and Engineering A, **280**, 37–49.
- Morita, A., 1998. Aluminium alloys for automobile applications, in:Proc. of ICAA-6, Toyohashi, Japan, in: Aluminium Alloys, **1**, 25-32.
- Oğuz, B. 1990. Demir Dışı Metallerin Kaynağı, Burhan Oguz, OERLIKON Yayını.
- Rahmani, Kh., Jadidian, R. and Haghtalab, S., 2016. Desalination, 393,174-185.
- Temel, A., 2001. Dizmetal Üretim Müdürü, Korozyonun Tanımı ve Alüminyumun Korozyonu, Makine & Metal Haziran2001/Sayı 114.
- Ulucak, T., 2003. Metalurji Yüksek Müh. Alüminyum Ekstrüzyonu ve Yüzey İşlemleri, Metalurji Dergisi 80/25
- Ulucak, T., 2003. Metalurji Yüksek Müh., Alüminyum, En Genç Metal, Makale, [www.aluminyumsanayi.com](http://www.aluminyumsanayi.com).
- Üneri, S. 1998. Korozyon ve Önlenmesi, Korozyon Derneği Yayını, Ankara, 413s.
- Van Neste United States Patent, 1988. Corrosion-Inhibited Antifreeze Formulation.
- Vargel, C., 2004. Corrosion of Aluminium, Chapter B.5 – Protection Against Corrosion, 185-207.
- Variyenli, H.İ., 2007. “Antifriz Su Karışımının Eş Merkezli-Borulu Isı Değiştiricideki Isı Transfer Performansının Deneysel İncelenmesi” C.Ü. Fen-Edebiyat Fakültesi Fen Bilimleri Dergisi, Cilt 28 Sayı 1.
- Yanardag, T. 2004. Yayınlanmış doktora tez çalışması (yayınlanmamış deneyler)

## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Önder KOÇ  
Doğum Yeri : Bursa  
Doğum Tarihi : 26.09.1985  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce

### Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Işıklar Askeri Lisesi, 1999-2003.  
Lisans : Kara Harp Okulu, 2003-2007

### Çalıştığı Kurum/Kurumlar ve Yıl

TSK Kara Kuvvetleri Komutanlığı 2007 - Devam

### Uluslararası Kongre Sözlü Sunum

Ö.Koç, D.Altuğ, T. Yanardağ, A.A. Aksüt, (2016) : Corrosion In The Motor Vehicle Radiators Cooling System The XIV. International Corrosion Symposium (KORSEM 2016) Bayburt University, Engineering Faculty 69000 Bayburt