

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTROLİTİK YÖNTEMLE ÇİNKO KAPLANAN
ÇELİKLERİN KOROZYON DAYANIMININ
İNCELENMESİ**

**HAZIRLAYAN
Mustafa MAŞLAK**

**Danışman
Doç. Dr. Şengül DANIŞMAN**

Yüksek Lisans Tezi

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI**

**ELEKTROLİTİK YÖNTEMLE ÇİNKO KAPLANAN
ÇELİKLERİN KOROZYON DAYANIMININ
İNCELENMESİ**

(Yüksek Lisans Tezi)

**Hazırlayan
Mustafa MAŞLAK**

**Danışman
Doç. Dr. Şengül DANIŞMAN**

**Temmuz 2019
KAYSERİ**

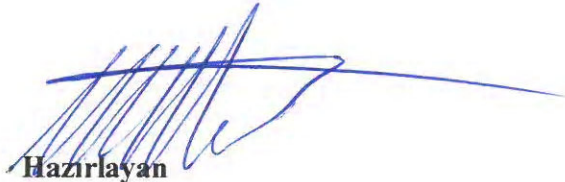
BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.



Mustafa MAŞLAK

“Elektrolitik Yöntemle Çinko Kaplanan Çeliklerin Korozyon Dayanımının İncelenmesi” adlı Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi’ ne uygun olarak hazırlanmıştır.



Hazırlayan

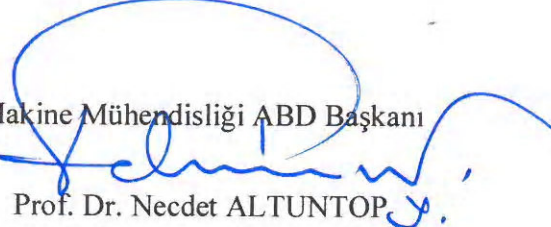
Mustafa MAŞLAK



Danışman

Doc. Dr. Şengül DANIŞMAN

Makine Mühendisliği ABD Başkanı



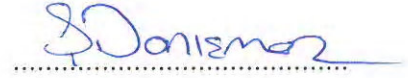
Prof. Dr. Necdet ALTUNTOPRAK

Doc. Dr. Şengül DANIŞMAN danışmanlığında **Mustafa MAŞLAK** tarafından hazırlanan “**Elektrolitik Yöntemle Çinko Kaplanan Çeliklerin Korozyon Dayanımının İncelenmesi**” adlı bu çalışma jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü **Makine Mühendisliği** Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

12 / 06 / 2019

JÜRİ:

Danışman : Doç. Dr. Şengül DANIŞMAN



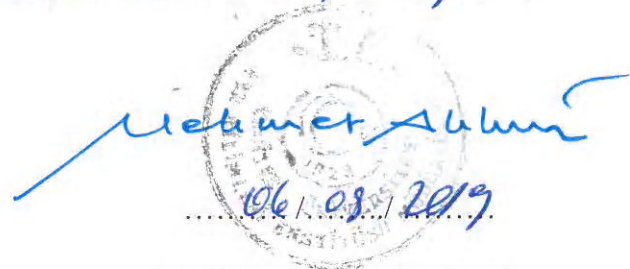
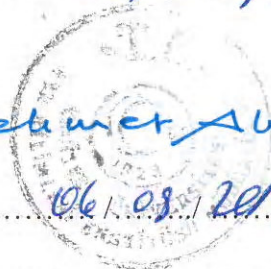
Üye : Doç. Dr. Serkan TOROS



Üye : Doç. Dr. Durmuş ODABAŞ

**ONAY:**

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 06/08/2019 tarih ve 2019/57/4 sayılı kararı ile onaylanmıştır.



06 / 08 / 2019

Prof. Dr. Mehmet AKKURT

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Bana çalıŐmalarım sűresince her tűrlű yardımı ve fedakârlığı sađlayan, deđerli hocam Doç. Dr. Őengűl DANIŐMAN'a, deneysel çalıŐma aŐamasında her tűrlű yardımı ve ilgisini ersirgemeyen Ankara Őniversitesi Fen Fakűltesi Kimya Bűlűműn'den Dr. Turan YANARDAĐ'a ve manevi olarak her tűrlű desteđi ve fedakârlığı sađlayan deđerli annem Őerife MAŐLAK'a en içten teŐekkűrlerimi sunarım.

Mustafa MAŞLAK

Temmuz 2019, KAYSERİ

ELEKTROLİTİK YÖNTEMLE ÇİNKO KAPLANAN ÇELİKLERİN KOROZYON DAYANIMININ İNCELENMESİ

Mustafa MAŞLAK

Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Temmuz 2019
Danışman: Doc. Dr. Şengül DANIŞMAN

ÖZET

Korozyonu “azaltmak” ve “kontrol altına” almak için yüksek oranda direnç ve iyi mekanik özelliklere sahip çinko esaslı elektrogalvaniz kaplamalar otomobil ve çelik endüstrisinde gittikçe artan bir ilgi ile kullanılmaktadır.

Bu çalışmada, farklı kalınlıkta elektrolitik çinko kaplama yapılmış otomat SAE 1212 ve yay SAE 1080 çeliğinin sulu ortamdaki korozyonu elektrokimyasal yöntemler kullanılarak araştırıldı. Bu yöntemler sırasıyla potansiyel–zaman değişimi, AC empedans ve akım–potansiyel eğrileri alınarak yapıldı. Akım–potansiyel eğrilerinden yola çıkarak korozyon potansiyeli (E_{kor}), korozyon akımı (i_{kor}) ve diğer korozyon parametreleri belirlendi. Çelik numunelere siyanürlü banyoda iki farklı işlem süresi uygulayarak bazik siyanürlü çinko kaplama banyosunda sırayla 10 μ m ve 20 μ m kalınlıkta kaplama yapıldı. Bu kaplamadan sonra numuneler, %20 CrO_3 + %3 H_2SO_4 + %3 HNO_3 çözeltisine 60 saniye daldırılarak pasivasyon uygulandı. Kaplanmış çelik numunelerin sulu ortamda akım–potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki bileşiminin değişimi SEM/EDX analizleri yapılarak örneklerin korozyonu aydınlatılmaya çalışılmıştır. Kaplanmış çelik örneklerin sulu ortamdaki korozyon hızları üç farklı yöntemle tespit edilmiştir. Sonuç olarak 20 μ m çinko kaplı çeliklere pasivasyon işlemi uygulandıktan sonra korozyon, nötr ortamda yay çeliği için % 68, SAE 1112 çeliği için % 96 gibi çok önemli bir oranda önlediği ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Elektrolitik Çinko Kaplama, Korozyon, Korozyon hızı, Pasivasyo

THE INVESTIGATION OF CORROSION RESISTANCE OF STEELS COATED BY ELECTROPLATING METHODE

Mustafa MAŞLAK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

Master Thesis, July 2019

Agents: Assoc. Prof. Dr. Şengül DANIŞMAN

ABSTRACT

In the automobile and steel industry, zinc-based electro-galvanized coatings have an increasing interest as they have excellent resistance to corrosion and mechanical properties.

In this study, the corrosion behaviour of free cutting SAE 1212 steel and spring SAE 1080 steel in different thickness of electrolytic zinc plating was investigated using electrochemical methods. In these methods, potential ve time change, AC impedance and current – potential curves were taken into account respectively. Corrosion potential (E_{cor}), corrosion current (i_{cor}) and other corrosion parameters were determined from current-potential curves. Steel samples coated in cyanide baths were obtained in thicknesses of 10 μm and 20 μm . Two different processing times were used for this. After this coating, samples were passivated by immersion in solution % 20 CrO_3 + % 3 H_2SO_4 + % 3 HNO_3 for 60 seconds. After the current-potential curves of the coated steel samples were taken in aqueous medium, the change in the composition of the surface was investigated by SEM / EDX and XRD analyzes. The corrosion behaviour and corrosion rates of coated steel samples in aqueous medium were determined by three different methods. As a result, it was shown that the corrosion of 20 μm zinc coated spring and SAE 1212 steels samples in neutral environment decreased by 68 % and by 96 % respectively after the passivation process.

Keywords:Electrolytic Zinc Plated, Corrosion, Corrosion rate, Passivation

İÇİNDEKİLER

ELEKTROLİTİK YÖNTEMLE ÇİNKO KAPLANAN ÇELİKLERİN KOROZYON DAYANIMININ İNCELENMESİ

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK.....	i
YÖNERGEYE UYGUNLUK.....	ii
KABUL VE ONAY	iii
TEŞEKKÜR	iv
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu.....	1
1.2. Tezin Amacı	1
1.3. Tezin Önemi	2

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1.Literatür Araştırması	3
---------------------------------	---

3. BÖLÜM

KOROZYON

3.1.Giriş.....	21
3.1.1. Genel (Üniform) Korozyon	21
3.1.2. Galvanik (Metal Çifti) Korozyonu	22
3.2.Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	28
3.2.1. Katodik koruma	29
3.2.2. Yüzey Kaplama	29
3.2.3. Uygun Malzeme Seçimi (Saf metal veya alaşım kullanımı).....	31
3.2.4. Isıl İşlem Uygulama	31
3.2.5. Uygun Tasarım.....	31
3.2.6. İnhibitör kullanımı.....	32
3.2.7. Pasivasyon	33
3.3.Korozyonun Hızının İncelenmesi ve Ölçüm Yöntemleri	34
3.3.1. Potansiyostatik Yöntem	34
3.3.1.1. Tafel-ekstrapolasyonu yöntemi	35
3.3.1.2. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi.....	37
3.3.1.3. Polarizasyon direnci yöntemi	38
3.3.1.4. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi.....	41
3.4. Elektrolitik Metal kaplama.....	41
3.5. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesine Etki Eden Faktörler	44
3.5.1. Akım Yoğunluğu	45
3.5.2. Konsantrasyon	46
3.5.3. Sıcaklık	46
3.5.4. Dağılma Gücü (Throwing Power)	46
3.5.5. Elektrolit Özelliği	46
3.5.6. pH.....	48
3.6. Elektrolitik Çinko Kaplama	49
3.6.1.Kaplama Banyoları.....	49
3.6.2.Çinko Kaplama Prosesinde İş Akışı.....	54
3.7. Metal Kaplama Öncesi Metale Uygulanması Gereken İşlemler	57
3.7.1. Parça yüzünün düzeltilmesi ve temizlenmesi.....	57
3.7.2. Yağ, Cila Artıklarından Temizleme	58
3.7.3. Oksit tabakasının kaldırılması	58

4. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Giriş.....	59
4.2. Numunelerin Hazırlanması.....	60
4.2.1. Elektrolitik Çinko Kaplama	64
4.2.2. Pasivasyon Banyosu	67
4.3. Numunelere Uygulanan Analizler	68
4.3.1. Tafel ve OCP Analizi	68
4.3.2. SEM ve EDX Analizi.....	72
4.3.3. XRD Analizi	73
4.3.4. AFM Analizi.....	74

5. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

5.1. Otomat Çeliği İle Yapılan KorozyonDeneyleri	75
5.1.1. Otomat Çeliği (Ç-1113) Asidik Ortam Korozyon Bulguları	75
5.1.2. Otomat Çeliği (Ç-1113) Asidik Ortam Korozyon Sonuçlar	78
5.1.3. Otomat Çeliği (Ç-1113) Nötür Ortam Korozyon Bulgular	81
5.1.4. Otomat Çeliği (Ç-1113) Nötür Ortam Korozyon Sonuçlar	84
5.2. Yay Çeliği (SH) İle Yapılan KorozyonDeneyleri	97
5.2.1. Yay Çeliği (SH) Asidik Ortam Korozyon Bulguları	97
5.2.2. Yay Çeliği (SH) Asidik Ortam Korozyon Sonuçları.....	100
5.2.3. Yay Çeliği (SH) Nötr Ortam Korozyon Bulguları	112
5.2.4. Yay Çeliği (SH) Nötr Ortam Korozyon Sonuçlar.....	115

6. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar ve Öneriler.....	122
KAYNAKLAR.....	124
ÖZGEÇMİŞ	132

KISALTMALAR

IF : İnterstisyel Serbest

CCC : Kimyasal Dönüşüm Kaplama

CCC : Kimyasal Dönüşüm Kaplama

AFM : Atomik Kuvvet Mikroskobu

PMMA : PolimetilMetakrilat

HER : Hidrojen Evrim Reaksiyonu

PP : Polipropilen

EDX : Enerji Dağılımlı Spektroskopisi

XRD : X-ışını kırınımı

FT-IR : Fourier-Dönüşümü Kızılötesi

SEM : Elektron Mikroskobu

AFM : Atomik Kuvvet Mikroskobu

HER : Hidrojen Evrim Reaksiyonu

EIS : Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi

XPS : X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi

FBG : FiberBragg Izgarasını

EDX : X-ışını mikroanalizleri

TEM : Transmisyon Elektron Mikroskopisi

OM : OptikMikroskopi

PPY : ElektrosentezlenmişPolipirol

CTAB : Cetiltrimetilamonyum Bromür

SAL : Salisilalkdehit

AA: Asetik Asit

IFP : İnterstisyel-Serbest Yeniden Fosfor Katımlı

VPD : Voltaj Potansiyel Farkı

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 3.1. Metallerin standart elektrot potansiyeli.....	24
Tablo 3.2. En çok kullanılan kaplama banyoları.....	50
Tablo 3.3. Çeşitli siyanür çinko banyolarının dataları.....	51
Tablo 3.4. Çinko Banyosunda Meydana Gelen Hatalar, Sebepleri ve Giderilmesi	56
Tablo 4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Otomat (Ç-1113) ve yay (SH) ve çeliklerinin Kimyasal Bileşimi.	60
Tablo 4.2. Ç1113 / SAE 1112 Soğuk Çekilmiş Otomat Çeliği İçin Mekanik Özellikleri.....	62
Tablo 4.3. Ç1113 / SAE 1112 Normal Tavlanmış Otomat Çeliği İçin Mekanik Özellikler.....	63
Tablo 4.4. Tavlı-Soğuk Çekilmiş-Alaşımsız Yaylık Çelik Tel.	64
Tablo 4.5. Elektrolitik çinko kaplama parametreleri..	65
Tablo 4.6. Kaplama kalınlığına göre çinko kaplama işlem parametreleri	68
Tablo 4.7. Sarı pasivasyon için kaplama bileşimi	68
Tablo 4.8. Sarı pasivasyon süresi	69
Tablo 5.1. SAE 1212 çeliğinin asidik (0.05M HCl) ortamında ve 25°C sıcaklıkta akım- potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (İKor) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,01)	78
Tablo 5.2. Kaplanmış Ç-1113 çeliği örneklerin nötr ortamda (0.5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (İKor) ve diğer korozyon parametreleri	84
Tablo 5.3. Yay Çeliğinin asidik (0.05M HCl) ortamında ve 25°C sıcaklıkta akım- potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (İKor) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,001)	100
Tablo 5.4. Yay çeliğinin (SH) nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım- potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (ikor) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,01)	115

Tablo 5.5. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri.....	120
Tablo 5.6. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri.....	120
Tablo 5.7. Kaplanmış Ç-1113 Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri.....	120
Tablo 5.8. Kaplanmış Yay Çeliği(Ç-1113) örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri.....	121

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 3.1. Galvanik korozyon.....	23
Şekil 3.2. Çelikte (a-f) aşama aşama korozyon oluşumu	26
Şekil 3.3. Galvanizli çelikte (g-k) aşama aşama korozyon oluşumu	27
Şekil 3.4. Tafel eğrisi.....	36
Şekil 3.5. Polarizasyon eğrisi.....	39
Şekil 3.6. Şematik elektrokimyasal hücre.	42
Şekil 3.7. Çinko kaplama tesisi	54
Şekil 3.8. Genel bir çinko kaplama prosesinde iş akış şeması	55
Şekil 4.1. Deney numunelerinin teknik resmi	60
Şekil 4.2. (a) Kaplamasız Ç 1113 çeliği numunesine ait, (b) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait, (c) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu Ç 1113 çeliği numunesine ait görüntüler.....	64
Şekil 4.3. (a) Kaplamasız yay çeliği numunesine ait, (b) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait, (c) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait görüntüler.....	65
Şekil 4.4. Çinko kaplama iş akışı	67
Şekil 4.5. Üçlü elektrot sisteminden oluşan elektrokimyasal hücre	70
Şekil 4.6. Elektrokimyasal sistem ve çalışma düzeneği.....	71
Şekil 4.7. Üçlü elektrot sisteminden oluşan elektrokimyasal hücre çizimi.....	71
Şekil 4.8. Elektrokimyasal sistem ve şematik çalışma düzeneği.....	72
Şekil 4.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)	73
Şekil 4.10. X - Işınları Toz Difraksiyon Cihazı (XRD).....	74
Şekil 4.11. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)	74
Şekil 5.1. 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç-1113 çeliğin asidik ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri.....	77

- Şekil 5.2. Ç 1113 çeliği ile asidik ortamda (a=kaplamasız, b= 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri..... 77
- Şekil 5.3. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri..... 79
- Şekil 5.4. Kaplanmamış Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri. 80
- Şekil 5.5 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri..... 81
- Şekil 5.6 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış pasivasyonlu Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri.. 81
- Şekil 5.7. 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç 1113 çeliğin nötr ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri 83
- Şekil 5.8. Ç 1113 çeliği ile tuz ortamında (a=kaplamasız, b= 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri..... 83
- Şekil 5.9. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x

büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.....	85
Şekil 5.10. Bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	86
Şekil 5.11.Şekil 5.10'daki A noktasının EDX analiz sonuçları	86
Şekil 5.12. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri ve EDX analiz sonuçları, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu ultrasonik yıkama yapılmış Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.....	87
Şekil 5.13. Bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.	88
Şekil 5.14. Şekil 5.13'deki A, noktasının EDX analiz sonuçları	88
Şekil 5.15. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	89
Şekil 5.16. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir	90
Şekil 5.17. Şekil 5.16'daki A noktalarının EDX analiz sonuçları	90
Şekil 5.18. Şekil 5.16'daki B noktalarının EDX analiz sonuçları	91
Şekil 5.19. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliğinin XRD analiz grafiği. ..	92
Şekil 5.20. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu Ç 1113 çeliğinin XRD analizi grafiği.....	92
Şekil 5.21. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x büyüme) 20 µm elektrolitik	

çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	93
Şekil 5.22. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplama + pasivasyon yapılan SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüler.	94
Şekil 5.23. Şekil 5.22'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları.	94
Şekil 5.24. (A) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	95
Şekil 5.25. Şekil 5.24'deki A noktasının EDX analiz sonuçları.	95
Şekil 5.26. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) kaplamasız Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) kaplamasız ultrasonik yıkama Ç 1113 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	96
Şekil 5.27. Kaplamasız Ç 1113 çeliği XRD analizi grafiği.	97
Şekil 5.28. 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin asidik ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri	99
Şekil 5.29. Yay Çeliği ile asidik ortamında (a=kaplamasız, b= 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri.	99
Şekil 5.30. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplama yapılmış yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız ultrasonik yıkama yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	101
Şekil 5.31. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x	

Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	102
Şekil 5.32. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) kaplamasız ultrasonik yıkama yapılan yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	103
Şekil 5.33. Kaplamasız yay çeliğine ait XRD analizi grafiği.....	104
Şekil 5.34. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplama kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.....	105
Şekil 5.35. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.....	105
Şekil 5.36. Şekil 5.35'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları.....	106
Şekil 5.37. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliğinin XRD analizi grafiği.....	107
Şekil 5.38. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500xBüyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000xBüyütme), B2 (2500xBüyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri	108
Şekil 5.39. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.....	108
Şekil 5.40. Şekil 5.39'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları.....	109
Şekil 5.41. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği XRD Analizi grafiği.....	110
Şekil 5.42. Kaplanmamış yay (SH) çeliğinin numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax'un AFM analiz sonucu görüntüleri.....	111

- Şekil 5.43. 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış yay çeliğinin numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax'un AFM analiz sonucu görüntüleri..... 111
- Şekil 5.44. 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış pasivasyonlu yay çeliği numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax'ın AFM analiz sonucu görüntüleri..... 112
- Şekil 5.45. 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin tuz ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri 114
- Şekil 5.46. Yay Çeliği ile tuz ortamında (a=kaplamasız, b= 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri 114
- Şekil 5.47. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda kaplamasız Ultrasonik Yıkamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri 116
- Şekil 5.48. (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri..... 117
- Şekil 5.49. Şekil 5.48'deki A noktasının EDX analiz sonuçları..... 117
- Şekil 5.50. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri..... 118
- Şekil 5.51. (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri..... 119
- Şekil 5.52. Şekil 5.51'deki A noktasının EDX analiz sonuçları..... 119

1. BÖLÜM

GİRİŞ

1.1. Tezin Konusu

Bir malzemenin yüzeyini başka bir malzeme ile kaplayarak malzemenin çeşitli özelliklerini geliştirmek, son zamanlarda önemini arttırarak koruyan ve güncel ismiyle yüzey teknolojileri arasında sayılan bir kavramdır. Malzemede olması istenen özellikleri sağlamak için malzemenin tümünü modifiye etmektense yüzey özelliklerinin geliştirilmesi hem daha pratik hem de daha az maliyetli şekilde mümkün olmaktadır. Mühendislikte kullanılan malzemelerin belirli özelliklere sahip olması istenir. Malzemenin kullanım süresini etkileyen bu özelliklerin başında oksitlenme direnci, korozyon ve aşınma direnci gibi özellikler gelir. Yüzey özelliklerinin geliştirilmesine yönelik olarak en yaygın kullanılan yöntemlerden biri kaplama işlemleridir.

1.2. Tezin Amacı

Bu çalışmanın amacı, endüstriyel birçok uygulamada önemli olan elektrolitik çinko kaplama yönteminin işlem parametrelerine bağlı olarak, seçilen malzemeler üzerinde korozyon davranışına etkisini araştırmaktır. Çalışmada endüstride kullanımı önemli olan SAE 1212 ve Yay çelikleri (SAE 1080) üzerinde çinko kaplama gerçekleştirilip kaplama parametrelerine bağlı olarak korozyon davranışlarının değişimi incelenmiştir. Elektrolitik kaplama için önemli parametre olan kaplama kalınlığı ve pasivasyon işleminin etkisi potansiyodinamik polarizasyon deneyleriyle araştırılmıştır.

1.3. Tezin Önemi

Tez çalışmasında kaplama yöntemi olarak elektrolitik çinko kaplama yöntemi kullanılmıştır. Endüstride farklı çinko kaplama yöntemleri mevcuttur. Çinko kaplama atmosferik şartlarda korozyona karşı korumada etkin yöntemlerden biridir. Bununla birlikte literatürde kaplama metodu ve kaplama parametreleri değişiminin korozyon davranışı üzerine etkilerinin araştırılmasına yönelik çalışmalar yeterli değildir.

Bu çalışmada seçilen çelik malzemelerin korozyon dayanımlarını incelemek için 10 farklı numune grubu oluşturulmuştur. Korozyon dayanımına kaplama kalınlığının etkisini araştırmak için 10 ve 20 µm kalınlıklar kriter alınmıştır. Ayrıca numunelerin bir bölümüne çinko kaplama sonrası sarı pasivasyon uygulaması yapılarak korozyon dayanımına etkisi araştırılmıştır. Kaplama işlemi tamamlanan deney numuneleri üzerinde kaplama karakterizasyonu kapsamında kalınlık ölçümü, yüzey pürüzlülükleri ölçümü, SEM, AFM ve XRD analizleri yapılmıştır. Korozyon davranışlarını incelemek için her gruptaki deney numuneleri ayrı ayrı Potansiyodinamik polarizasyon testlerine tabi tutulmuştur. Potansiyodinamik polarizasyon tekniği ile, belirli bir potansiyel aralığında bir metal elektrolit sisteminin kısmen kısa bir süre içindeki genel korozyon profilinin belirlenmesi sağlanarak, numunelerin korozyon dayanımları deneyler ile kıyaslanmış, sonuçlar karşılaştırılmıştır. Korozyon testleri neticesinde elde edilen veriler doğrultusunda polarizasyon eğrileri çizilmiştir. Tafel analizleri ile korozyon akımı, korozyon potansiyeli ve korozyon hızı hakkında bilgiler elde edilmiştir. Otomat (SAE 1212) ve yay çeliğine (SH) uygulanan 10 µm ve 20 µm kaplama üzerine yapılan pasivasyon işleminin korozyon direncine etkileri deneyler ile karşılaştırılarak hangi ortamda hangi malzemelerin hangi kalınlıkta kullanılmasının daha faydalı olacağı ortaya konulmuştur.

2. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER ve LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Literatür Araştırması

Kim [1] ve arkadaşları, çinko elektro kaplanmış çelik levhanın koloidal silika kullanılarak kimyasal dönüşümünü kromat dönüşümüne alternatif olarak incelemiştir. Çinko elektro kaplanmış çelik sacın bu işlemle ve bu işlemsiz korozyon direnci, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, %3 kütle NaCl çözeltisinde açık devre potansiyeli ve tuz püskürtme testinden tahmin edilmiştir. Koloidal silika kaplama için kullanılan çözelti, koloidal silika, titanyum sülfat, kobalt sülfat ve süksinik asitten oluşmuştur. Titanyum iyonlarının eklenmesi, filmlerin özelliklerini geliştirmiştir. Bu çözelti bir yapışkan film üretmiş ve iyi bir korozyon direncini korumuştur. Koloidal silika solüsyonuna kobalt iyonları eklemek, silika film ile çelik levha üzerinde elektrolize edilen çinko tabakası arasındaki yapışmayı arttırmıştır. Elektrokimyasal empedans analizinde, koloidal silika filmi tarafından sağlanan korozyon koruması, normal bir çinko-elektrolizle çelik sacdan yaklaşık beş kat daha fazla olmuş, ancak bir kromat filmininki kadar iyi olmadığı görülmüştür.

Lei [2] ve arkadaşları, serbest (IF) çelik levhalar üzerine biriktirilen çinko kaplamaların morfolojisi ve dokusunu, taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve yönlendirme dağılımı fonksiyonu ile incelemiştir. Kaplamaların mikro yapısının, altlık malzemeyüzeyine göre eğilmiş ince altıgen trombositlerden oluştuğu gösterilmiştir. Çinko kaplamalar, iki boyutlu (2D) nükleasyon yoluyla epitaksiyal büyümeden sonuçlanan düşük açılı piramidal {11.5} elyafsız doku bileşeni sergilemiştir. 2D nükleasyon, üç boyutlu (3D) nükleasyonu inhibe edebilen ve lifsiz dokuyu destekleyen nükleasyon safhasında altlık

malzeme yüzeyi üzerinde şiddetli çinko hidroksit adsorpsiyonuna bağlanmıştır. Piramidal doku, çinko kaplamaların plastik deformasyonu için yararlı olduğu çünkü tek eksenli stres uygulandığında önemli miktarda çözülmüş kesme gerilmesi elde edilebildiği görülmüştür.

Yang [3] ve arkadaşları, katkı maddesi [3-(2-furil) akrolein] 'in asit sülfat çözeltisinde çinko elektro kaplama üzerindeki etkisini, çekirdeklenme mekanizmasına vurgu yapan döngüsel voltametri, kronoamperometri ve atomik kuvvet mikroskobu kullanarak incelemişlerdir. Deneysel ve teorik modelleme sonuçları çinko elektrokristalizasyonunun 3- (2-furil) akrolein varlığında ilerleyici bir çekirdeklenme süreci altında olduğunu ortaya çıkarmıştır. Elde edilen Zn kaplama tabakaları düzgün, kompakt ve ince taneli bir yapıya sahip olduğu görülmüştür.

Hamlaoui [4] ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, yüzey kusurları (gözenekler) üretmek için kimyasal olarak kazınmış bir elektroliz kaplı (EP) Zn kaplamanın korozyon direnci araştırılmıştır.Çeşitli korozif ortamlardaki (NaCl, NaOH ve yağmursuyu) bu kaplamanın davranışını incelemek için empedans ve DC polarizasyon ölçümleri kullanılmıştır. D.C. polarizasyon testleri ile EIS tekniği kullanılarak, gözenekli Zn-elektrolitik çeliğin çözeltinin anodik reaksiyonlarının alt tabakaya ulaşmadığı gösterilmiştir. Zn kaplamaların NAOH ve doğal yağmur suyunda çeliğe yeterli korozyona karşı koruma sağladığı görülmüştür.

Czerwinski [5] ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, çinko-demir alaşımları, Sn^{2+} iyonları ilavesi ile sülfat elektrolitten çelik yüzeyler üzerine elektro kaplama elde edilmiştir. Çökelti, bir altıgen sütun kristallerinin morfolojisini ve büyüme yönüne dik olarak sıralanmış düzlemlerinin güçlü bir kristalografik dokusunu sergilemiştir. Atomik kuvvet mikroskopisi topografik analizi, altıgen düzlemlerin hem yan makro hem de çok sayıda nonasize büyüme adımlarından oluştuğunu göstermiştir.

Czerwinski [6] ve arkadaşlarının yaptıkları diğer çalışmada soğuk haddelenmiş çelik substratlar üzerinde elektrolitik olarak biriktirilen Zn-Fe alaşımlarının büyüme yüzeyini

karakterize etmek için X-ışını doku ölçümleri ve atomik kuvvet mikroskobu topografik analizleri incelenmiştir.

Gu ve Marder [7] yaptıkları çalışmada, kaplama yapılmış Zn kristallerinin düzlemsel yüzey morfolojisini, tercihli yönelime sahip bulmuş, Zn-Fe kaplamaların ise nodüler morfoloji gösterdiğini ortaya koymuştur. Bu nodüller, çok küçük çok yüzlü kristallerden oluşan kümelerdir. Zn ve Zn-Fe kaplamalarının yüzey morfolojisi, kritik bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında değişmemiştir. Bu sıcaklığın üstünde ısıtmada yüzey bulaşmaya başlamıştır. Bu kritik sıcaklığın kaplamadaki ortalama Fe içeriği ile arttığı bulunmuştur.

Zhang [8] ve arkadaşlarının yaptıkları çalışmada, süperhidrofobik kompozit tabaka, bir elektrokimyasal çökeltme işlemi ile başarıyla üretilmiş ve daha sonra bir polipropilen (PP) film ile modifiye edilmiştir. Yüzey morfolojileri ve kimyasal kompozisyonları sırasıyla, enerji dağılımlı spektroskopi (EDX), X-ışını kırınımı (XRD) ve fourier-dönüşümü kızılötesi (FT-IR) ile donatılmış taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar, PP modifiye edilmiş çinko yatakları, hidrofobik süperhidrofobik performansdan ıslanabilme davranışını ortaya koyan çinko çökeltilere ($120^{\circ} \pm 2^{\circ}$) göre su içeriği daha yüksek ($170^{\circ} \pm 2^{\circ}$) bir orana sahip olduğu görülmüştür. Süperhidrofobik yüzeyin anti korozyonu da incelenmiştir. Bulgular, süperhidrofobik yüzeyin çinko tortularının anti korozyon performansını önemli ölçüde geliştirdiğini ortaya koymuştur.

Carvalho [9] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, sac levhaların çinko kaplanmasında kullanılan asitli ve siyanürlü banyolarda akım yoğunluğu, işlem süresi ve banyo sıcaklığının kaplama kalınlığı ve kalitesine etkisini incelemişlerdir. Numuneler mekanik ve kimyasal ön işlemlerden geçirildikten sonra, 25°C ve 35°C banyo sıcaklıklarında, dört farklı akım yoğunluğu ve işlem süreleri kullanılarak elektroliz yöntemiyle kaplanmıştır. Her iki banyoda da işlem zamanı, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu arttıkça kaplama kalınlığı artmıştır. Ancak, aynı şartlar altında asitli banyolarda kalın fakat kalitesiz, siyanürlü banyolarda ise, daha kaliteli fakat ince kaplama tabakası elde edilmiştir.

Panossian [10] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çinko (elektrokaplama, sıcak daldırma, kesikli sıcak daldırma) ve çinkobakımından zengin alaşımlı kaplamalarda (Zn/5Al (sıcak daldırma) ve Zn/15Al (alev püskürtme) kaplamaların doğal olarak atmosfer içinde aktif kaldıkları için çelik tabakaya katodik koruma sağlayabildiklerini göstermişlerdir. Ancak alüminyum (alev püskürtme) ve alüminyum bakımından zengin alaşım kaplamaları, % 55 Al / Zn (sıcak daldırma) çelik tabakaya etkili katodik koruma sağlayamamıştır. Çok yüksek klorür iyonu konsantrasyonlarının varlığı içinde onlar aktif hale geldikçe, sadece çok yüksek klorür iyonu kirliliğine sahip atmosferlerde bu kaplamalar katodik çelik alt katmanın korunmasını sağlamıştır.

Okido [11] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kimyasal dönüşüm kaplama (CCC) filmlerine alternatif olarak korozyon koruma özelliği ve koloidal silika dönüşüm filmlerinin morfolojisini incelemişlerdir. Korozyon davranışı, % 3 NaCl çözeltisinde elektrokimyasal teknikler kullanılarak araştırılmıştır. Örnek yüzeyindeki kırmızı pasın ortaya çıkması korozyonu ima etmiştir. Sonuçlar, % 3 NaCl çözeltisinde, kırmızı pasın, sırasıyla Zn-elektrolizli çelik, koloidal silika dönüşüm kaplamalı numuneler ve kimyasal dönüşüm kaplamalı örnekler üzerinde 15-20, 55-70 ve 75-85 d'de görüldüğünü göstermiştir. Tuz püskürtme testinde, koloidal silika filmi, CCC filminden daha iyi bir korozyon koruması sağlamış, yani Zn elektrolizli çelik sacda 96 saat, CCC filmlerde 432 saatte ve 888 saatte silika dönüşüm kaplamasında kırmızı pas görünmüştür.

Khorsand [12] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çinko elektrolitik kaplamaların korozyon davranışını incelemişlerdir. Çinko elektrolitik-kaplamaların korozyon direncinin, agresif çözeltilere maruz kalan kristalografik düzlemlerle ve sadece doku bileşenlerinin düzlemleriyle ilişkili olmadığı gözlenmiştir. Elde edilen bulgular, suyun akım yoğunluğunun değişiminin kaplamaların yüzey morfolojisinin rolünü ve bunun korozyon direncine olan etkisini vurgulamıştır. Oksalat anyonlarının varlığında çinko kaplamanın yüzey morfolojisi, altıgen trombositlerden granüler yapıya dönüşmüştür. Sn^{2+} içeren banyodan elde edilen çinko kaplamaların yüzey morfolojisi, altlık malzeme yüzeyine paralel çok sayıda altıgen trombosit içermiştir. Trombositler, elektrolitik parlatılmış yüzeye birleştiğinde mekanik olarak parlatılmış yüzey üzerinde ayrı ayrı

düzenlenmiştir. Çinko elektrolitik-kaplamaların korozyon direncinde dokunun önemli bir rol oynadığı görülmüştür.

Park ve Szpunar [13] yaptıkları çalışmada, elektrogalvanizli çinko, çinko-demir ve çinko-nikel kaplamalarda mikroyapı ile korozyon davranışı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Korozyon davranışı potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinden tafel ekstrapolasyon yöntemi ile analiz edilmiştir. Kaplama özelliklerinin elektroliz mikroyapılarıyla yakından ilişkili olduğu görülmüştür. Kaplamaların dokusunun korozyon direncini kuvvetli etkilediği bulunmuştur.

Raeıssı [14] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, kaplama parametreleri olan sıcaklık, pH ve akım yoğunluğunun, çelik üzerine elektrolitik çinko kaplamanın morfolojisi ve dokusu üzerindeki etkisini incelemiştir. Çinko kaplamanın morfolojisi ve dokusunda meydana gelen değişim, nükleasyon ve büyüme mekanizması ile açıklanabilmiştir, pH 2'de çinko elektro kaplama sırasında anlık nükleasyon (çekirdeklenme) baskın olmuştur. Kaplama banyosunun pH 'ını arttırmak, çinko hidroksit adsorpsiyonuna bağlı olarak çelik altlık malzeme üzerindeki nükleasyon için aktif bölgeleri azaltmış ve bu muhtemelen ilerleyici nükleasyona doğru kaymanın sebebi olmuştur. pH 2'de daha yüksek bir bazal düzlem oryantasyonu yüzdesi elde edilmiş ve artan aşırı voltaj (artan akım yoğunluğu veya azalan sıcaklık), yüzeye paralel bazal düzlem yüzdesini azaltmış ve ayrıca çinko kristal boyutunu azaltmıştır, pH 4'te, bazal düzlem yüzdesi, pH 2'deki orandan daha düşük olmuş, pH 4'te ve 40 mA cm^{-2} 'lik bir akım yoğunluğunda, yüksek açılı ve prizma düzlemlerinin yüksek yüzdeleri alt-tabakaya paralel olmuştur. Bu, yüzeyde çinko hidroksitin adsorpsiyonunun neden olduğu rahatsızlığa atfedilmiş, akım yoğunluğunun artmasıyla bazal düzlem yüzdesi artmış, artan akım yoğunluğu da çinko kristal boyutunu artırmıştır.

Xia [15] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, jelatinin morfoloji, çinko kaplamaların kristalografik yönlendirilmesi ve kompozit Zn-YSZ kaplamaların birikim mekanizması üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Elektrolite jelatin ilavesi, çinko tortularının mikroyapı ve kristalografik yönlendirmesini önemli ölçüde değiştirmiş ve kaplamanın mikro sertliğini geliştirmiştir. Kompozit kaplama birlikte çöktürme işlemi durumunda,

YSZ (yttria stabilize zirkonya) parçacıklarının çökelmiş “çinko kristallerinin kenarlarında veya makro adımlarında öncelikli olarak dayandığı bulunmuştur. YSZ parçacıklarının kompozit kaplamaya dahil edilmesi, çözelti pH'sının düşürülmesi ve jelatin ilavesi ile arttırılmıştır. Geleneksel çinko kaplamaların mekanik ve elektrokimyasal özellikleri, YSZ parçacıklarının dahil edilmesi ile önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Kondo [16] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada çinko elektro kaplamanın nano boyutlu büyümesini, atomik kuvvet mikroskobu (AFM) kullanarak incelemişlerdir.

Ciubotaru [17] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, çinko (metal matriks) ile elektrolitik-kaplanmış epoksi reçine (dağıtma fazı) kullanarak, kompozit tabakaların elde edilmesini ve karakterizasyonunu amaçlamışlardır. Epoksi reçine/Zn tabakaları, iki farklı akım yoğunluğu değerinde (3 A/dm^2 ve 5 A/dm^2) elektrolitik-kaplanmıştır: Sulu çinko sülfat elektrolitinde ortalama iki farklı çapa sahip parçacıklarla ($0.1 - 5.0 \mu$ ve $6 - 10 \mu$) bir epoksi reçine partikül süspansiyonu elde edilmiştir. Süspansiyon, 10 g/l epoksi reçine parçacıklarının elektrolit çözeltisine eklenmesiyle hazırlanmıştır. Katmanların morfolojisi taramalı elektron mikroskobu yöntemi ile araştırılmıştır. Elektrolitik çinko tabakaların düzenli kristal yapı özelliği, elektro kaplama sırasında çinko gelişimini bozan epoksi reçine partikülleri tarafından bozulmuştur. Korozif çözeltideki tabakaların korozyon davranışı potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ile araştırılmıştır. Korozyon testi çözeltisi olarak 0.5 M Sodyum Klorür kullanılmıştır. 3A/dm^2 'de elde edilen tabakalar için korozyon oranı, sırasıyla $6 - 10 \mu$ çaplı parçacık boyutu olan katmanlar için $16.18 \mu/\text{yıl}$, çapları $0.1 - 5.0 \mu$ arasında olan tabakalar için $6.21\mu/\text{yıl}$ olmuştur. Akım yoğunluğunun 5A/dm^2 'ye arttırılmasının katmanlar için korozyon oranını arttırdığı sırasıyla $6 - 10 \mu$ çaplı parçacık boyutu olan katmanlar için $24.37\mu/\text{yıl}$, $0,1 - 5,0 \mu$ çaplı parçacık boyutu olan katmanlar için $16.11 \mu / \text{yıl}$ olduğu gözlenmiştir.

Tafreshi [18] ve arkadaşları yapmış oldukları çalışmada, Zn ve Zn-Ni alaşımlı kaplamaları, sülfat esaslı elektrolitlerden elektrolitik yöntemle kaplamışlardır. Ni alaşımlarının etkisi mikro yapı, korozyon özellikleri, mikrosertlik ve tribolojik davranış

üzerine morfolojik içerik araştırılmış ve sonuçlar Zn film ile mukayese edilmiştir. XRD analizine göre difraksiyon desenleri, farklı ara safhalar ($\text{Ni}_3\text{Zn}_{22}$, $\text{Ni}_5\text{Zn}_{21}$, Zn-Ni) göstermiş kaplamaların Ni içeriği ağırlıkça % 11 ila 17 artmıştır. Polarizasyon ve EIS sonuçları, alaşımlı kaplamaların Zn filminden daha iyi korozyon direncine sahip olduklarını ortaya koymuştur. Zn-14 ağırlıkça % Ni kaplamanın en az korozyon akım yoğunluğu ve maksimum polarizasyon direncine sahip olduğu görülmüştür. Kaplamanın mikrosertlik Ni yüzdesini % 17'ye çıkararak geliştirilmiştir. Kaplamalar arasında bununla birlikte, Zn-14 ağırlıkça % Ni kaplama en düşük aşınma kaybı ve sürtünme katsayısına sahipken, Zn filmi en kötü aşınma direncine sahip olmuştur.

Sciscenko [19] ve arkadaşları çinko kaplamalarda daha iyi sonuçlar elde etmek, kimyasalların kullanımını izlemek ve atık suyun güvenli biçimde işleme ve yeniden kullanımını sağlamak için çinko elektroliz banyolarında bulunan ticari katkı maddelerinin belirlenmesi üzerine çalışma yapmışlardır. Çalışmada, ağırlıklı olarak klorobenzaldehitten oluşan ticari bir parlaklaştırıcının potasyum permanganat ile oksitlenmesiyle ölçülenebilmesi için koşulları optimize etmişlerdir. Sonuçlar, bu yöntemi direkt olarak uygulamanın uygun olduğunu göstermiştir.

Furuha [20] ve arkadaşlarının yaptığı çalışmada, ferrit tekli kristal alt tabakalar üzerinde elektrolitik kaplamaların morfolojisi ve kristalografisi incelenmiştir.

Vasilakopoulos ve Bouroushian [21] yaptıkları çalışmada, düşük karbonlu çelik substratlar üzerinde çinko sülfat liginosülfonat çözeltisi içinde, galvanostatik, sabit veya darbe akımı altında, 2 ve 20 A dm^{-2} akım yoğunluklarında elektro-kaplama gerçekleştirmişlerdir. Polimetil Metakrilat (PMMA) parçacıklarını içeren çinko matriks kompozit kaplamalar, bir sulu asidik (pH 2.0 ve 4.0), ortamda elde edilmiştir. Çinko matriksinin kristalografik dokusu ve morfolojisinin, yaygın olarak elde edilen bazal Zn dokusunu prizmatik veya piramidal yönelimler lehine bozan partikül katkısının derecesine bağlı olduğu bulunmuştur.

Raeıssı [22] ve arkadaşları yaptıkları diğer çalışmada, çelik üzerinde pH 2'de yapılan kaplamanın artan aşırı gerilim (yani artan akım yoğunluğu veya azalan sıcaklık) bazal

düzlemin yüzdesini düşürdüğü ve yüzeyine paralel düşük açılı düzlemlerin yüzdesini arttırdığını göstermişlerdir. Artan aşırı gerilim, çinko kristali boyutunu azaltmış. pH 4'te artan akım yoğunluğu, bazal ve alçak açılı yüzeylerin yüzeyine paralel olarak artmasına karşın çinko kristali boyutunu arttırmıştır. pH4'te bu davranış değişikliği, hidroksit adsorpsiyonundan dolayı çekirdeklenme modunda bir değişiklik ile açıklanmıştır. Çekirdeklenme modu, anlık ve ilerleyici çekirdeklenme modelleri ile boyutsuz $(i/im)^2 - (t/tm)$ potansiyostatik güncel-zamanlı geçici grafikleri karşılaştırarak belirlenmiştir. pH 2'de anlık çekirdekleşmenin baskın olduğu gösterilmişken, pH 4'te ilerleyici olduğu görülmüştür.

Sekar and Jayakrishan [23] yapmış olduğu çalışmada, bir asetat elektrolitten çinko kaplama ve bunun sonucunda oluşan çökeltme özelliklerini incelemişlerdir. Kaplama banyosuna Tiamin Hidroklorür ve Jelatin ilavesi, çinko elektrotik kaplamanın korozyon direncini ve yüzey morfolojisini geliştirmiştir. Elektrolitik kaplanmış çinko için elde edilen XRD modeli altıgen bir yapıya sahip bir polikristal yapı göstermiştir. SEM analizi altında üniform ve gözeneksiz bir yüzey gözlenmiştir.

Li [24] ve arkadaşları yaptığı çalışmada, benzalaseton konsantrasyonu ve puls tepe akım yoğunluğunun tane büyüklüğü ve çinko çökeltelerin kristalografik yönelimi üzerindeki etkisini araştırmıştır. Nano kristalin çinko kaplamalar, Tiyoüre ve Benzalaseton katkı maddeleri içeren asit sülfat banyosunda puls elektro kaplama ile üretilmiş ve x-ışını kırınımı ve taramalı elektron mikroskobu teknikleri ile karakterize edilmiştir. Katkısız çözeltilerden ya da iki katkı maddesinden biriyle elektrolize olan çinkonun, nano ölçülü kristallerden ibaret olmadığı görülmüştür. Tiyoüre ve Benzalasetonun karışım katkı maddeleri, (10^1) rastgele yönlendirme ile parçacık benzeri nanokristalin çinko oluşumuna neden olmuştur. Pik akım yoğunluğunun 2 ila 1 A/cm² arasında değişmesi sadece tanecik boyutunu 60 ila 62 nm'ye yükseltmiştir.

Afifi [25] ve arkadaşları yaptığı çalışmada, biriktirmenin temel parametrelerini (akım yoğunluğu, asit konsantrasyonu ve çinko konsantrasyonu gibi) optimize etmişlerdir. Deney verilerine göre 2-5 mg/l aralığındaki konsantrasyonda tek başına jelatin kullanılmasının en iyi seçenek olduğu sonucuna varılabilmektedir. Bununla birlikte,

TAS ın 0.74 mg/l konsantrasyon aralığında daha az etkili olmasına rağmen kullanılabilmesi görülmüştür. İki katkı maddesinin karışımının, test edilen çinko ve asit konsantrasyonları için oda sıcaklığında belirgin bir avantaj sağlamadığı görülmüştür.

Saba ve Elsherief [26] yaptıkları çalışmada, çinko, serbest sülfürik asit konsantrasyonları ve akım yoğunluğunun elektro birikimli çinkonun mevcut verimlilik ve morfolojisine etkisini araştırmışlardır. Konvansiyonel DC elektroliz tekniği, PC ve PCR yöntemleri incelenmiştir. Organik katkı maddelerinin etkisi ve yabancı maddelerin bazıları da araştırılmıştır. DC ve PC teknikleri için 45 mA cm^{-2} ve $25 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de elektrolizlenen asit sülfat çözeltilerinden % 95'ten daha fazla akım verimi elde edilmiştir. Nispeten konsantre çözeltilerden (160 g dm^{-3}) çinkonun elektro-çökmesi, ardışık olarak, 40 g dm^{-3} lük bir konsantrasyona kadar kabul edilebilir akım verimleri ile elde edilebileceği görülmüştür. Bakır katkı maddelerinin mevcut verimi azalttığı ve katot çökeltilerinin kalitesini kötüleştirdiği bulunmuştur. Manganez ve silisyumun çökeltinin mevcut verimliliği ve morfolojisi üzerinde sınırlı etkileri olduğu bulunmuştur. Demirin mevcut verimlilik ve çökelti özellikleri üzerinde olumsuz etkisi olduğu bulunmuştur. Organik katkı maddeleri, jelatin ve tiyoüenin katot çökeltileri üzerinde iyi dengeleyici etkileri olduğu görülmüştür. Jelatinin, özellikle yabancı katyonların bir karışımı varlığında mevcut verimliliği arttırdığı bulunmuştur.

Kondo [27] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, SiO_2 partiküllerinin çinko elektro kaplamaya katılması mekanizmasını incelemişlerdir. SiO_2 partikülleri (00.1) \square çinko elektro kaplama üzerinde: (00.1) \square on üzerindeki yanal olarak büyüyen makro steps boyunca parçacıkları dizerek ve (00.1) \square üzerindeki rastgele dağılmış parçacıklar ile iki şekilde çökeldiği anlaşılmıştır.

Baıh ve Fray [28] yaptığı çalışmada, bir katyon değişimli membran hücresi içinde HCl ile asitleştirilmiş çinko klorür çözeltilerinden, çinkonun elektroliz edilmesini gerçekleştirmişlerdir. Akımın, çökelti morfolojisi ile ilgili olduğu görülmüştür. Hidrojen adsorpsiyonu için aktif alanlar olarak işlev gören daha az yüzey kusuru bulunan çökelti, daha yüksek akım etkinliği sergilemiştir. Yüksek sıcaklık ($40 \text{ }^\circ\text{C}$) ve yüksek akım yoğunluğu mevcut verimliliği ve tercih edilen dokuyu zayıflatmıştır.

Loto [29] ve arkadaşları, asit-klorür çözeltisinde yumuşak çelik üzerinde çinkonun elektrolitik kaplanması sırasında bazı organik katkıların yüzeye etkisini incelemek amacıyla tarama elektron mikroskopisi kullanarak araştırma yapmışlardır. Çalışmada elde edilen sonuçlardan, her katkı maddesinin çinko kaplanmış çeliğin yüzey yapısına benzersiz özellikler kazandırarak farklı davranış gösterdiği görülmüştür. Dekstrin yüzeydeki daha ince taneleri etkilemekle birlikte, glisin çinko kaplanmış yüzeyde daha büyük çinko kristallendirmelerinin oluşumunu etkilemiştir. Tiourea, kaplamalı çinko yüzey yapısını düzleştiren düzleştirici bir madde gibi daha fazla görünür; daha parlak elektro-katmanlı bir yüzeye doğru eğilimi belirgin olmuştur.

Pereira [30] ve arkadaşları yaptığı çalışmada Sorbitolün çeşitli konsantrasyonlarda ilave edildiği yeni bir siyanür içermeyen çinko çökeltme banyosu geliştirmiştir Voltametik çalışmalar indirgeme sürecinin sorbitol konsantrasyonu ile termodinamik ve kinetik olarak etkilendiğini göstermiştir. Ayrıca, 1010 çeliğinde hidrojen evrim reaksiyonu (HER) ile ilişkili bir (dalga), çinko kütlesi azaltılması ile diğeri (zirve), HER ile eşzamanlı olmak üzere iki katodik süreç gözlemlenmiştir. Ayrıca, kaplama işlemi kinetiği toplu taşıma ile kontrol edilmiştir. Banyoda sorbitol varlığı, hidrojen evrim reaksiyonunun da bile çatlaklar ve dendritler olmaksızın açık-gri çinko filmlerin oluşumuna yol açmıştır. Kaplama banyosundaki sorbitol konsantrasyonunun artırılmasıyla kaplama akım verimliliği % 62'den% 43'e düşmüştür. 0,1 M $[Zn(OH)_4]^{2-}$ ve / veya 0,2 M'den yüksek sorbitol konsantrasyonlarının varlığında, Zn elektrod çözülmesi engellenmiştir. Bununla birlikte, çinko elektrodun küçük bir çözünmesi, çinko asitsiz alkalın çözeltide 0.05 M sorbitol için gözlenmiştir. SEM mikrografları, 1010 çelik alt katmanın Zn filmi ile tamamen kaplandığını ve sorbitolün tane rafine edici olarak işlev gören çinko filmlerin morfolojisini etkilediğini göstermiştir.

Mouanga [31] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, ortam koşulları altında 0.6 M NaCl ve 0.5 M NaOH çözeltisi içinde çinko numunesi üzerinde oluşturulan korozyon tabakasını incelemişlerdir. 0.6 M NaCl çözeltisinde, korozyon tabakası SEM mikrograflarında gözlemlendiği gibi gözenekli olmuştur. XRD analizi ile tamamlanan XPS,

çinko hidroksit klorür ve çinko hidroksit karbonatın baskın korozyon ürünleri olduğunu göstermiştir. 0.5 M NaOH çözeltisinde çinko hidroksit, çinko oksit ve çinko hidroksit karbonat baskın ürünler olduğu görülmüştür. İki ortamdaki korozyon davranışını karşılaştırarak, 0.5 M NaOH çözeltisine daldırılmış çinko yüzeyi üzerinde oluşturulan korozyon tabakası, 0.6 M NaCl çözeltisinde oluşturulandan daha kompakt olduğu görülmüştür.

Treacy [32] ve arkadaşları, çinko kaplamalı yumuşak çelikler üzerinde, molibdat dönüşüm kaplamaların korozif klorür ortamlarındaki davranışlarını, Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS), X-ışını Fotoelektron Spektroskopisi (XPS) ve nötr tuz sisi maruziyeti kullanarak araştırmışlardır. Basit bir molibdat kaplamanın varlığının başlangıçta çinko korozyon oranını arttırdığı bulunmuştur. Diğer bir katodik süreç olan bu molibden indirgemesi, bu çalışmalarda gözlemlenen çinko aktivasyonu ile sonuçlanabilmiştir. Nötr tuz sisi maruziyetinin erken safhalarındaki molibdat pasifleştirilmiş yüzeyler için, korozyon ürünlerinin işlenmemiş yüzeylerde gözlemlenenlerden daha az hacimli olduğunu göstermiştir. Ancak, tuz sisine 24 saat maruz kaldıktan sonra, hiçbir molibdenin tespit edilememesi, daha düşük oksidasyon halinde oluşan molibden türlerinin çözünür olduğunu göstermiştir. Bununla birlikte, molibdat çözeltilerinde pasifleştirilmiş yüzeylerin, klorür çözeltilerine daldırılırken ve tuz sisi maruziyetinde, yaklaşık 12 ila 24 saat boyunca, kırmızı pas oluşumunu önlediği ortaya çıkmıştır.

Lindström ve Wallinder [33] yapmış oldukları çalışmada, dış yapılarda kullanılan galvanizli çeliklerden yüzey işlemlili ve işlemsiz örnekleri 10 yıl gibi uzun süredestabil olmayan kentsel koşullara maruz kalma süresince incelemişlerdir. Amaç pas oluşumu/çözünme ve kaplamaların ve yüzey işlemlerinin malzemelerin uzun ömürlü kullanmaya katkılarını incelemek olmuştur. Ayrıca çinko akışı ve malzeme arasındaki etkileşim vurgulanmıştır. Aşağıdaki ana sonuçlar çıkarılmıştır: Temel çinko karbonat hidrozinkit ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$), kentsel test bölgesinde 10 yıl boyunca aralıksız koşullarda maruz kalan sıcak daldırma galvanizli çelik üzerindeki ana pas bileşeni olmuştur. Pas, 10 yıllık maruz kalma süresi $3,3 \text{ g Zn m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ için zamanla iyileştirilmiş bariyer özellikleri ve ortalama korozyon (oksidasyon) oranı ortaya koymuştur. 10 yıllık

maruziyetin ardından kaplama paslanmış toplam korozyona uğramış / oksitlenmiş çinko miktarının yaklaşık % 40'ı tutulmuştur. Pastan salınan çinko miktarı 10 yıl boyunca yataydan güney cephe 45 derece eğimli sıcak daldırma galvanizli çelik maruziyetinden sonra ortalama $2,1 \text{ g Zn m}^{-2} \text{ yıl}^{-1}$ olarak ortalama çürümeye sahip çinko miktarından önemli ölçüde daha az olmuştur. Çinkodaki akma oranlarına dayanan hizmet ömrü hesaplamaları, çelik alt tabaka üzerindeki çinko tabakasının 200 yıldan fazla sürmesi gerektiğini göstermiştir. Sıcak daldırma galvanizli çelik üzerinde 60 mikron kalınlığındaki bir epoksi polyester kaplama, 4 yıllık stabil olmayan kentsel koşullara maruz kalma sırasında etkili bir bariyer görevi görmüş ve alttaki tabakadan çinko serbest bırakılmasını etkili bir şekilde engellemiştir. Küçük miktarlarda salınan çinkonun, kaplama sisteminin ZnO katkı maddelerinden kaynaklandığına inanılmıştır. Pas lekelenmesini önlemek ve yüzeyleri nakliye ve elleçleme sırasında korumak için uygulanan yüzey işlemlerinin (kromat esaslı ve ince organik kaplamalar) varlığı, galvanizli çelikten çıkan çinko miktarını azaltmak için yüksek bir kapasiteyi ortaya çıkarmıştır. Kromat esaslı kaplama, çıplak çinko tabakasına kıyasla 1 yıl maruz kaldıktan sonra açığa çıkan çinko miktarını neredeyse % 40 oranında azaltmıştır. Bu kapasite zamanla azaltılmış ve yaklaşık 5 yıllık maruziyetin ardından kaybedilmiştir. İnce organik kaplamanın bariyer etkisi, 10 yıllık maruziyet sırasında, zamanla kademeli olarak daha az etkili olmakla birlikte, 1 ve 10 yıllık maruziyet sonrasında sırasıyla % 70 ve % 20 oranında kalmıştır.

Ramanauskas [34] ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, Fe grubu metallerle alaşımlama yoluyla çinko elektro-kaplamanın korozyonunun engellenmesinin tam olarak anlaşılmasının nedeni olarak mikro-yapı dahil olmak üzere kaplamanın çeşitli faktörlere bağlı olması görülmüştür. Kristalografik doku ve kafes hücre parametreleri, alkali banyolardan elde edilen kromatlanmamış Zn, Zn-CO, Zn-Fe ve Zn-Ni kaplamaları için belirlenmiş ve sonuçlar, Fe'nin % 0.4'ü kaplama korozyonu açısından hiçbir avantaj sağlamadığı durumda, Zn elektrodpozitlerinin matrisinde % 0.6 Co ve % 12 Ni bulunmasının, havalandırılmış klorür çözeltilerinde ve nötr sprej test koşullarında kaplamanın korozyon direncinin gelişmesini sağladığı görülmüştür. Çinko matrisindeki Ni veya Co'nun varlığı, Zn kaplama korozyon direncini arttırırken, Fe'nin etkisi yok olduğu görülmüştür. Daha düşük Zn-Ni alaşımlı korozyon oranının,

daha yüksek bir paketleme yoğunluğuna sahip olan kristalografik düzlem katmanındaki baskın mevcudiyete bağlı olduğu öne sürülmüştür. Elektro-çökelmiş Zn-Ni kaplamalarının daha yüksek korozyon direnci, daha yüksek bir paketleme yoğunluğuna ve dolayısıyla daha kararlı bir iyonizasyon ortamı ile bu kristalografik düzlem katmanında baskın olan mevcut buluş ile ilişkili olmuştur. Zn-Co'nun saf Zn ve Zn-Fe alaşımına göre daha düşük korozyon oranı, bu daha az bozulmuş bir kafes formasyonunu ve dolayısıyla metal fazı anodik çözünmesi ve oksijenin katodik indirgenmesi için daha az aktif bir yapıyı indükleyen eksen(kafes parametresi) oranının (c / a) daha düşük olan değeri ile açıklanabilmektedir.

Selskis [35] ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışmada, HCO₃ içeren NaCl çözeltisi içinde elektro çöktürülmüş Zn, Zn-Co (% 0,6), Zn-Fe (% 0,4) ve Zn-Ni (% 12) kaplamalarının korozyon davranışı incelenmiştir. Korozyon oranları ve oluşan oksit filmler kaplama mikro yapısına göre analiz edilmiştir. Zn-Ni ve Zn-Co kaplamaları, Zn-Fe ve Zn numuneleri ile karşılaştırıldığında HCO₃ içeren NaCl çözeltisinde daha düşük korozyon oranları sergilemiştir. Bununla birlikte, ilk korozyon işlemi aşamaları haricinde, bir korozyon ürünü olarak oluşan oksit fazı miktarı, daha yüksek korozyon oranlarına sahip olan kaplamalar için daha yüksek olduğu görülmüştür. Elektro-çökelmiş Zn alaşımlarının korozyon süreci yüzey topografyasında daha homojen iken, lokal korozyon saldırısı alaşımsız Zn numuneleri için daha belirgin olmuştur. Korozyon işlemi sırasında yüzey daha pürüzlü hale gelirken, alaşımlar, özellikle Zn-Ni için yüzey, başlangıç durumuna göre daha pürüzsüz hale gelmiştir. Zn ve düşük alaşımlı Zn kaplamalarının korozyonu sırasında kristal şekil modifikasyonu (piramidal şeklin kaybı) gerçekleşmiştir. Zn-Ni ve Zn-CO kaplamalarında düşük indeks düzlem yönelimine sahip daha yüksek kristallitler daha yüksek korozyon direncinin nedenlerinden biri olabileceği düşünülmüştür. İlk korozyon adımları sırasında oksit film oluşumunda çıplak Zn-CO ve Zn-Ni kaplamalarının yüksek yüzey aktivitesi ve bu numunelerin hemen hemen tüm kırınım piklerinin daha yüksek değeri, bu kaplama kafeslerinin daha yüksek sayıda kusurlara sahip olduğunu göstermiştir. Muhtemelen, bu elektro-çöktürülen yapıları daha yüksek bir korozyon direnci ile oksit film formasyonu lehine ve aynı zamanda Zn ve Zn alaşımlı korozyon davranışında tespit edilen farklılıkların sebebi olduğu görülmüştür.

Korobov [36] ve arkadaşları, elektrolitik çinko bazlı alaşımların alkali çözeltilerdeki anodik davranışı üzerinde faz kompozisyonunun etkisini araştırmışlardır. Çalışmada kullanılan materyaller: Zn-Sn alaşımları, hem katı çözeltiler hem de intermetalik bileşiklerden oluşan mekanik bir karışım, Zn-Fe, Zn-Co ve Zn-Ni alaşımlarında sadece Zn ve Sn kristalitlerinden oluşmuştur. Düşük alaşımlı katı çözeltilerin anodik davranışı, saf Zn'ye benzemiştir. Saf çinko anot polarizasyonu için olduğu gibi aynı çinko alaşımlarının dizisi ve pasivasyonu, hem katı çözeltilerin hem de çinko alaşımlarının ara metalik fazlarının anodik polarizasyonu sırasında gözlenmiştir. Alaşımlama, anodik işlemlerin termodinamik ve kinetik özelliklerinde bir değişikliğe yol açmıştır. Geniş bir heterojen Zn-Sn alaşımının voltametri eğrilerinde Zn ve Sn'nin anodik davranışının tipik tepe noktaları gözlenmiştir. Alaşım kompozisyonuna bağlı tepe akımları alaşım faz bileşimi ve ilgili elektrokimyasal davranış arasındaki bağımlılık faz bileşiminin belirlenmesinde kullanılabilmiştir.

Yoo [37] ve arkadaşları yaptığı çalışmada, elektrokimyasal olarak sentezlenmiş çinko korozyon ürünleri tabakası ile kaplanmış olan veya olmayan karbon çeliğinin reaktivitesindeki farklılıkları, farklı başlangıç pH'larında 0.85 M NaCl'de gözlemişlerdir. Katodik akımın (j) büyüklüğü aşağıda görüldüğü gibi artar: $(j(\text{çelik}/\text{Na}_2\text{Zn}_3(\text{CO}_3)_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O})) < (j(\text{çelik}/\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl} \cdot \text{H}_2\text{O})) < (j(\text{çelik}/\text{Zn}_4(\text{OH})_6\text{SO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O})) < (j(\text{çelik}/\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2)) \equiv (j(\text{çelik}/\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}))$ içeren sistemlerde, 2.5'tan 7,5 μ kalınlığa kadar Zn-kaplamalara karşı korozyona karşı direncin benzer olduğu görülmüştür. Zn'nin katodik reaktivitesi üzerine kompleks etki gözlenmiştir. Bariyer etkisinin kökeni ve bunun için demir iyonlarının muhtemel rolü tartışılmıştır.

Culcasi [38] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, farklı ebatlara sahip sıcak daldırma galvanizli çelik sacları haddeleme ve gerginlik ile deforme etmişlerdir. Tercihli kristalografik yönelim ve deformasyona bağlı yüzeysel özelliklerin değişimi, hem X-ışınları kırınımı, hem de optik ve taramalı elektron mikroskopu ile analiz edilmiştir. Bu tür değişimler ile deformasyon modları arasındaki korelasyon yapılması amaçlanmış ve bu modlarda pul büyüklüğü etkisi incelenmiştir. Deformasyona bağlı kaplama reaktivite değişimi, yarı kararlı DC elektrokimyasal testlerle araştırılmıştır. Büyük pullarda

eşleştirme daha önemli olmuş, oysaki küçük çaplı pul kaplamalarda taneler arası çatlama daha önemli olduğu görülmüştür. Doğrusal polarizasyon ölçümlerinde değerlendirilen galvanizli çelik sacların korozyon davranışı, numunelerin uygun mekanik deformasyonu öncesinde ve sonrasında incelenmiştir. Malzeme mikroskopi ve mikroanaliz teknikleri ile mikroyapısal bir bakış açısıyla karakterize edilmiştir. Bu çalışmada aşağıdaki sonuçlar türetilmiştir: Sıcak daldırma galvaniz süreci, deformasyon nedeniyle prizmatik ve piramidal dokulara dönüşen güçlü bir bazal doku oluşturmuştur. Gerilim, daha büyük taneler arası çatlama ve çinko kristallerinin daha az deformasyonunu üretmiştir. Küçük olsa da, korozyon akımı yoğunluğu ve polarizasyon direnci değerleri, kaplama elektrokimyasal reaktivitenin deformasyonla birlikte açık bir artış eğilimine işaret etmiştir. Bu etki, gerilim deformasyonu ile daha dikkat çekici olmuştur.

Alfantazi and Dreisinger [39] yapmış olduğu çalışmada, Kidd Creek çinko elektrolit kullanarak çinko/asit konsantrasyonlarının sabit bir toplam sülfatta, mevcut verim, enerji gereksinimleri ve çinko elektrolizi için fiziksel özelliklerde eş zamanlı olarak değişmesinin etkilerini araştırmışlardır. Yeniden kurma deneyleri 24 ve 30 saatlik kaplama devirlerinde, 500 A m^{-2} akım yoğunluğunda ve $38 \text{ }^\circ\text{C}$ sıcaklıkta bir laboratuvar ölçekli cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu koşullar, Kidd Creek çinko deposunda uygulananlara özgü koşullar olduğu görülmüştür. Halen Kidd Creek'de kullanılan reaktifler, yani stronsiyum karbonat, saponin, dowfroth 250, antimoni ve sodyum silikat, kidd creek uygulamasına benzer seviyelerde hücre elektrolizine sürekli olarak ilave edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu ve X-ışını kırınım teknikleri, morfolojiye ve tercih edilen yönelime göre sırasıyla çökelleri karakterize etmek için kullanılmıştır. Çevrimsel voltametri, çinko/asit konsantrasyonlarının elektrolitin polarizasyon davranışına etkisini incelemek için kullanılmıştır. Buna ek olarak, kidd creek çinko elektrolitin elektrik iletkenliği, diğer endüstriyel sülfat esaslı çinko elektrolitler ile ölçülmüş ve karşılaştırılmıştır.

Li [40] ve arkadaşları, Fiber Bragg Izgarasını (FBG) metalik kaplamış ve ilgili algılama özellikleri test edilmiştir. Metal kaplamada, FBG ilk olarak daha ince bir nikel iletken tabaka ile kimyasal kaplanmış ve daha kalın bir çinko kaplama ile elektrolize edilmiştir.

Metal kaplamalı FBG'lerin yüzeyleri, herhangi bir belirgin kusur olmadan düzgün, tekdüze ve kompakt olmuştur. Sıcaklık ve gerinim algılama sonuçları çinko kaplanmış FBG'nin sıcaklık duyarlılığının çıplak FBG'den yaklaşık 5 kat arttırılabildiğini ve uygulanan yük altındaki dalga boyu kaymasının da doğrusal bir eğilimi görülmüştür. Termal algılama özelliklerini daha fazla incelemek için, üç çinko kaplı FBG ve çıplak bir FBG, geçici olarak değiştirilen sıcaklığa maruz bırakıldıklarında karşılaştırılmıştır. Sonuçlar, çinko kaplanmış FBG'nin bir geçici sıcaklık değişikliğine tepki eğiliminin, küçük kaplamanın küçük termal kapasitesine ve kalınlığına atfedilebilen çıplak FBG'ye benzer olduğunu göstermiştir. Ek olarak, metal kaplı FBG'nin merkezi dalga boyu stabilitesi, yüksek sıcaklık duyarlılığına bağlı olarak çıplak FBG'ninkinden daha düşük olduğu görülmüştür. Çinko kaplamalı FBG'ler için çinko kaplamanın kalınlıkları 166.8 μ , 262.5 μ ve 297.5 μ olduğunda, çinko kaplı FBG'nin sıcaklık duyarlılıkları sırasıyla 38.04 pm/ $^{\circ}$ C, 48.87 pm/ $^{\circ}$ C ve 49.59 pm/ $^{\circ}$ C olmuştur. Çinko kaplı FBG'lerin sıcaklık hassasiyeti yaklaşık 5 kat arttırılabileceği görülmüştür.

Lın [41] ve arkadaşları, galvanizli kaplamaların IF ve IFP çelik levhalar üzerindeki fazlarını ve çeşitli Fe-Zn intermetalik fazlarının büyüme kinetiklerini, X-ışını mikroanalizleri (EDX) ve transmisyon elektron mikroskopisi (TEM), optik mikroskopi (OM), taramalı elektron mikroskopu (SEM) kullanarak incelemişlerdir. Sıcak daldırma simülasyonunun mevcudiyeti ve mikroyapısal karakterizasyon prosedürünün fizibilitesi ile sistematik bir çalışma yapılmıştır. Bu çalışma, galvanizli kaplamalardaki faz evriminin net bir resmini sağlamıştır. Sıcak daldırma simülasyonunun hat içi üretimle elde edilen galvanizli kaplamaların mikroyapılarını çoğalttığı ve sıcak daldırma galvanizleme ve galvanizleme sırasında faz evriminin araştırılmasını kolaylaştırdığı bulunmuştur.

Taouil [42] ve arkadaşları, elektrosentezlenmiş Polipirol (PPY) bazlı çeşitli kaplamaları korozyon koruması açısından incelemişlerdir. Krom bazlı pasivasyonlar korozyona karşı iyi koruma sağlamıştır. Polipirol aynı zamanda sulu sodyum tartarat-molibdat çözeltisinde yüksek frekanslı ultrason ışınlanması olmadan ve çinko kaplı çelik üzerine elektrokimyasal olarak kaplanmıştır. Bu gibi PPY kaplamaları, aşındırıcı türlere karşı fiziksel bir bariyer görevi görmüştür. Ultrason, PPY için daha kompakt ve daha

homojen yüzey yapılarına ve film içindeki doping molibdat anyonlarının daha homojen dağılmasına yol açmıştır bu tür ultrasonik banyoda tutulan filmler için daha iyi korozyon koruması sergilenmiştir.

Nayana ve Venkatesha [43] yapmış oldukları çalışmada, cetiltrimetilamonyum bromür (CTAB), salisilalkdehit (SAL) ve asetik asit (AA) katkı maddelerinin farklı kombinasyonlarındaki etkilerini çinko elektro-kaplamaların yüzey morfolojisi, doku ve tane büyüklükleri açısından taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve X-ışını kırınım modeli (XRD) ile sistematik olarak analiz etmişlerdir. Sonuçlar, kaplama banyosundaki her üç katkı maddesinin birlikte bulunmasının, muntazam, kompakt ve parlak çinko kaplaması oluşturduğunu göstermiştir. Voltametrik çalışmalar, elektro kaplama sırasında kaplama yüzeyindeki katkı maddelerinin kombine etkileşimini ortaya koymuştur. Bu etkileşim, kaplama yüzeyinin yumuşatılması, tanecik büyüklüğünün rafine edilmesi ve kaplamada tercih edilen oryantasyonun geliştirilmesi üzerine sinerjik bir etkiye yol açmıştır. Ayrıca, camı karbon elektrotta çinkonun çekirdeklenme ve büyüme mekanizmaları üzerindeki katkı maddelerinin etkisi kronoamperometrik çalışmalar ile araştırılmıştır.

Lin [44] ve arkadaşları, galvaniz kaplamaların bir dizi kesitinin transmisyon elektron mikroskobu ile verimli ve tekrarlanabilir bir şekilde incelemesini yapmışlardır. İnterstisyel-serbest (IF) ve interstisyel-serbest yeniden fosfor katımlı (IFP) çelik levhalar üzerinde galvaniz kaplamanın mikroyapılarını incelemek için bir dizi simülatör yapımı uygulanmıştır. Çalışmada gözlenen tüm intermetalik fazların elektron kırınımı ile belirgin bir şekilde tespit edildiğidir ve her bir intermetalik fazın karakteristik mikroyapı ile ilişkili olduğu gösterilmiştir. Fazların yalnızca hızlı ve kolay bir şekilde tanımlanmasını sağlayan bir mikroyapı atlasının oluşturulması mümkün olduğu görülmüştür. Sıcak daldırma galvanizleme ile oluşan Fe-Zn intermetalik fazların tane yapıları, Fe-Zn difüzyon çifti ve bunların elektrokimyasal tavlama ile oluşturulanlarla karşılaştırılmıştır.

Yasakau [45] ve arkadaşlarının çalışması, sıcak daldırma galvanizleme işlemi sırasında sıyırma ve soğutma atmosferlerinin çinko galvanizli (Z) ve Zn-Al-Mg galvanizli (ZM)

çelik yüzeylerin yüzey özellikleri, mikroyapı, yapışma ve lokalize korozyon üzerindeki önemli etkisini ortaya koymuştur. Hava ve nitrojen atmosferleri yüzey bileşimini ve mikro yapıyı etkilemiştir. Z (hava) yüzeyi tercihen tane sınırları içerisinde bulunan daha küçük taneler ve alüminyum/oksijen dağılımı göstermiştir. Bunların dökme çinko tanelerine göre daha belirgin bir voltaj potansiyeli olduğu görülmüştür. Z (N₂) örneği metalik matriste daha büyük taneler ve daha düzgün alüminyum ve oksijen dağılımı göstermiştir. Z (N₂) 'deki tane bağlı-elmas bölgeleri de tane sınırları ve yığın matrisi arasında yüksek voltaj potansiyeli farkları göstermiş. Z (hava) numunesinde voltaj potansiyel farkı (VPD) seviyesi Z (N₂) birinden yüksek olduğu görülmüştür. Bu fark, Z (N₂) 'ye karşı Z (hava) yüzeyinde daha kalın bir oksit filmine ve yüksek sıcaklık oksidasyonunun etkisine bağlanmıştır. Hava ve nitrojen atmosferleri, Z'lerin aksine ZM kaplamalarının mikroyapı üzerinde önemli bir değişiklik oluşturmadığı görülmüştür.

Yuan [46] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, katkı maddelerinin yüzey üzerindeki etkilerini ve çinko çökeltilerinin demir substrat üzerindeki alkali çinko çözeltisinde kesit morfolojilerini taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanarak incelemişlerdir. Banyo solüsyonundaki katkı maddesi A muhtevanın artırılmasıyla, çekirdeklenme aşırıgerilimi (NOP) değerinin bariz şekilde arttığı ve inhibisyon etkisinin kuvvetlendirildiği bulunmuştur. Bununla birlikte, herhangi bir katkı maddesi B miktarının NOP değeri üzerinde çok az etkisi olduğu ve inhibisyon etkisi bariz olmadığı görülmüştür. Ayrıca, A ve katkı maddesi B'nin eklenmesi en güçlü inhibisyon etkisini gösterdiği görülmüştür.

Dinakaran [47] ve arkadaşları yaptıkları çalışmada, yumuşak çelik üzerinde siyanür alkali banyosunda elde edilen çinko kaplamaların üzerine yapılan fosfat içerikli pasivasyon kaplama işlemini incelemiştir. Kalay metalin varlığı, hem kaplanmış hem de ısıtılmış işlem görmüş koşullar altında fosfatlanmış yüzeylerin mikro sertlik ve aşınma direncinin iyileştirilmesine önemli ölçüde katkıda bulunduğu görülmüştür. Bu ölçümlerin sonuçları, yeni geliştirilen fosfat dönüşüm kaplamanın, günümüzde kullanılan geleneksel altı değerli kromat (Cr⁶⁺) işlemlerinin yerini alması için umut verici bir aday olduğunu göstermiştir.

3. BÖLÜM

KOROZYON

3.1. Giriş

Korozyon, metal ve alaşımların çevrenin etkisiyle kimyasal veya elektrokimyasal olarak reaksiyona girmesiyle meydana gelen hasar şeklidir. Soy metallerin dışında metallerin çoğu doğada en kararlı halleri olan bileşikler halinde bulunur [49].

- Kimyasal korozyon: Metal ve alaşımların kuru gaz ortamındaki korozyonudur (Kuru korozyon-Oksitlenme).
- Elektrokimyasal korozyon: Metal ve alaşımların sulu ortam şartlarında bozunmasıdır (Islak korozyon).

Korozyon olayları değişik ortamlarda birbirinden farklılık gösterir. Genel (Üniform) korozyon, Galvanik (metal çifti) korozyonu, Oyuklanma (çukurcuk) korozyonu, Taneler arası korozyon, Aralık korozyonu, Seçimli korozyon gibi korozyon çeşitleri sınıflandırılabilir [49].

3.1.1. Genel (Üniform) Korozyon

Metal yüzeyinin her noktasında aynı hızda ve aynı oranda gerçekleşen homojen dağılımlı elektrokimyasal korozyon çeşididir. Metalin kalınlığı her noktada aynı oranda azaldığında, incelik ve zamanla kullanılamaz hale gelir. Örneğin, açık havada duran bir demir levhanın her yanı aynı derecede paslanır. Genel korozyon, homojen dağılım gösterdiği için korozyon hızı birim zamanda aşınan malzeme kalınlığı olarak ifade edilir [60]. Üniform korozyon genellikle Zn, Pb ve Al metallerinde gözlenmektedir [49].

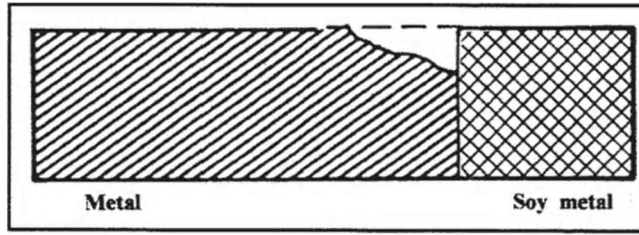
En yaygın korozyon türü olup ortaya çıkan metal kaybı diğer korozyon türlerine göre yüksek olmasına rağmen en az korkulan korozyon türüdür. Bunun sebebi yüzey kaplamaları, katodik koruma, saldırgan ortama ilave edilen inhibitörler gibi farklı koruma yöntemleri uygulayarak başarı ile kontrol edilebilmesidir [49].

3.1.2. Galvanik (Metal Çifti) Korozyonu

İki farklı metal elektrolit içerisinde elektrik kontağı kurduğunda potansiyel fark veya voltaj farkı ortaya çıkmaktadır. Bu potansiyel farktan dolayı ortaya çıkan akım ile birlikte daha az soy veya anodik davranan metal korozyona uğrarken daha soy veya katodik davranan metal korozyondan korunmaktadır. Korozyon hızı bu iki metal arasındaki potansiyel farka bağlıdır [49].

Korozyon, anotta yükseltgenme-oksidasyon, katotta indirgenme-redüksiyon şeklinde aynı anda yürüyen elektrokimyasal reaksiyonlara bağlıdır. Bu açıdan korozyon kendiliğinden reaksiyonların meydana geldiği, akım üreten bir pil olarak düşünülebilir. Korozyonun yürümesi aralarında potansiyel farkın olduğu iki farklı metal çiftinde olabileceği gibi, aynı metalin yalnız başına elektrolit içinde bulunması sırasında da olabilir. Bu durumda potansiyel farkına sebep olan etkenler: Metal veya alaşımın yapısı, bileşimi, elektrolitin özellikleri, derişim farkı gibi nedenlerden kaynaklanabilir. Bundan dolayı metal yüzeyinin bazı bölgeleri katot, bazı bölgeleri de anot olarak davranır bu potansiyel fark mikro veya makro ölçüde korozyonu meydana getirir. Korozyon her zaman metalin yükseltgenmesiyle anotta meydana gelir. Anotta metal elektron vererek iyon halinde çözeltilmeye geçer [52].

Anot reaksiyon hızı katot reaksiyon hızına eşittir. Anotta açığa çıkan elektronlar katot üzerinde elektrolite bağlı olarak harcanır. Bir kaplama banyosunda elektrik akısı esnasında meydana gelen direnç hem anot hem de katot yakınındaki çözeltide anot veya katot polarizasyonuna neden olur. Potansiyeli daha elektronegatif olan metal anot olarak korozyona uğrarken potansiyel farkı, polarizasyon nedeniyle zamanla azalır. Polarizasyon genellikle katot bölgesinde görülür (Şekil 1.1) [50]. Katot polarizasyonu kaplamanın yapısını etkilediğinden anot polarizasyonundan daha önemlidir [62].



Şekil 3.1. Galvanik korozyon

Elektrokimyasal korozyon tepkimesinin yürüyebilmesi için; potansiyel farkı, elektronik ve elektrolitik iletkenler arasında yük transfer reaksiyonu ve sürekli bir akım iletim yolu şartının oluşması gerekir. Korozyon tepkimeleri, çoğu metallerin termodinamik kararsızlığı sonucu veya küçük dış akımların etkisi ile yürüdüğünden bir potansiyel farkı oluşmaktadır. Metal korozyonu ister anodik ister katodik tepkime ile denetlensin, çoğu hallerde hız, yük aktarım basamağı ile sınırlanır. Metal iyonları oluştuğu zaman elektrik devresi tamamlanarak sürekli bir akım yolu sağlanmış olur [52].

Galvanik korozyona eğilim standart elektrot potansiyelleri(emk) ve alaşımlarda galvanik seri ile belirlenmektedir. Birbirine yakın metallerde korozyona eğilimi görülmemektedir. İki metal birbirinden ne kadar uzaksa korozyon eğilimi o kadar artar [49]. Metallerin Standart elektrot potansiyelleri, atmosferik basınçta, 25°C sıcaklıkta metalin kendi iyonlarını içeren 1 molar çözelti içerisinde dengede olduğu anda ölçülen potansiyelidir [49]. Metallerin potansiyelleri karşılaştırma yolu ile başlangıç noktası olarak potansiyeli 0.000 Volt olarak kabul edilen hidrojen elektroda göre belirlenmektedir. Tablo 1.1'de metallerin standart elektrot potansiyelleri verilmiştir [66]. Bu listede yukarıya doğrusallık azalırken, aşağıya doğrusallık artmaktadır.

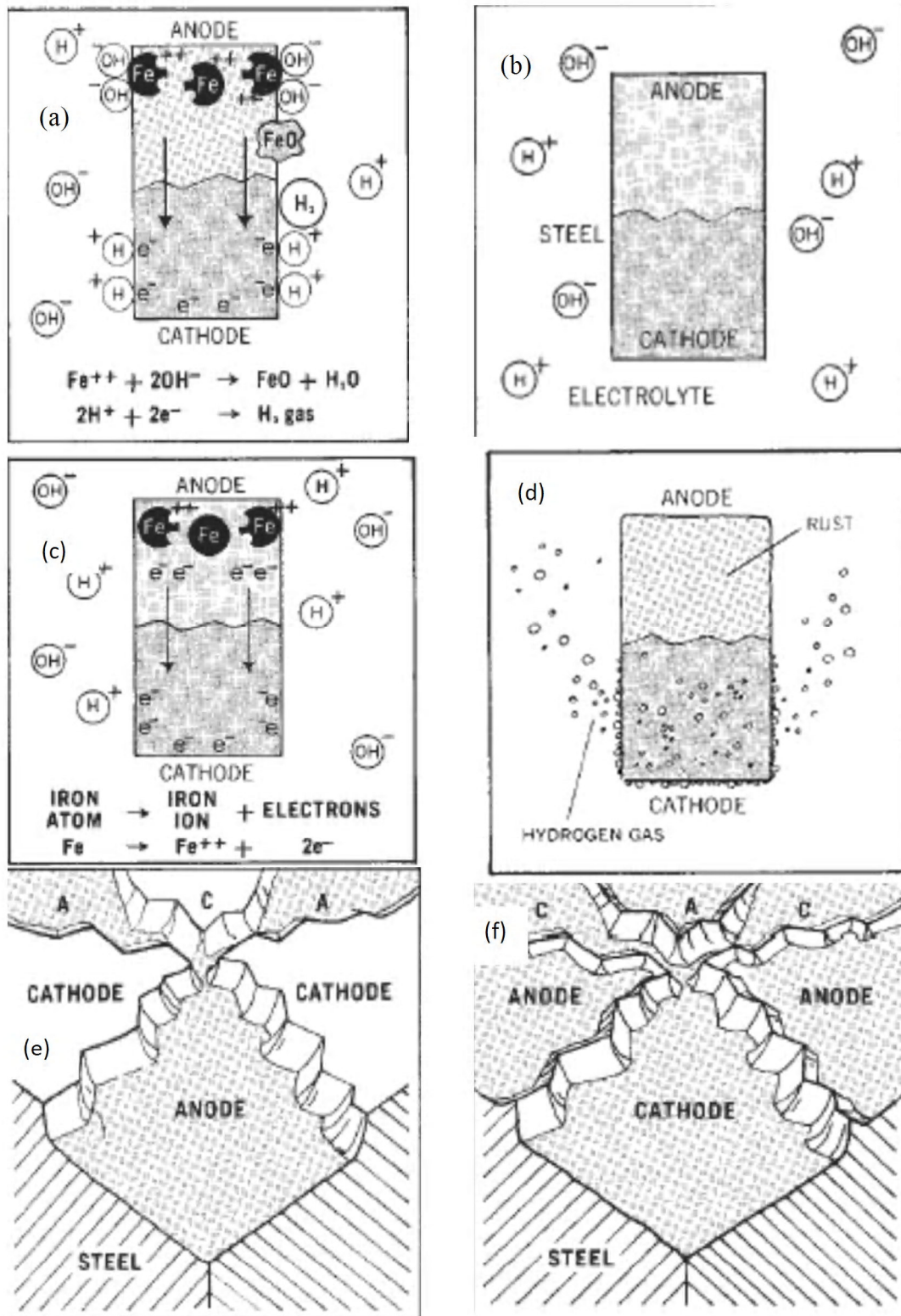
Tablo 3.1:Metallerin standart elektrot potansiyeli

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
$Cu_{(suda)}^{+1} + e^{-} \rightarrow Cu_{(k)}$	+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

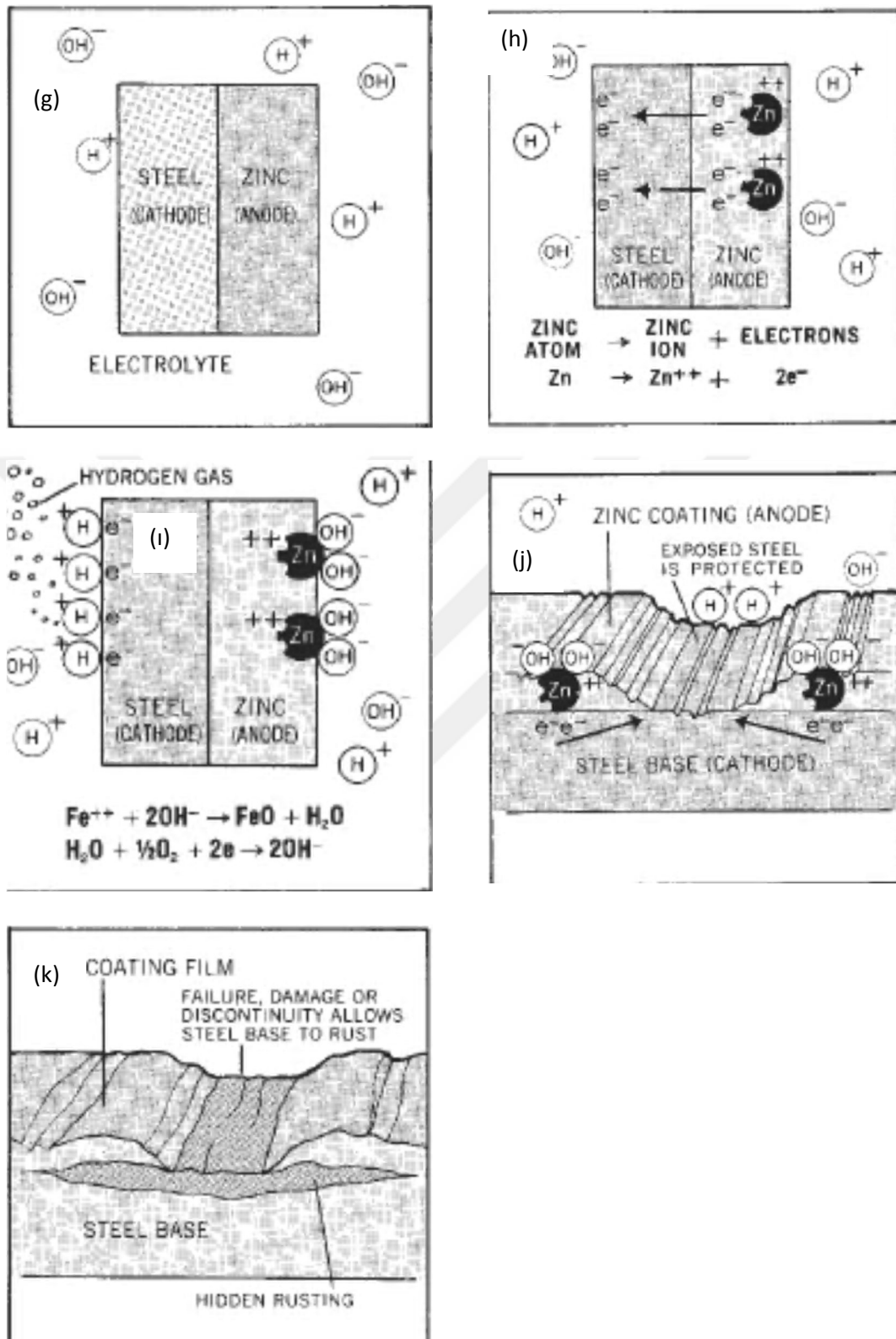
Galvanik Korozyondan Korunmak İçin; Galvanik dizide birbirinden uzak metal veya alaşımların bir arada kullanılması olanaklar ölçüsünde önlenmelidir. Bu tür kullanım kaçınılmaz zorunluluk olarak ortaya çıkarsa ayrı türden metal veya alaşımlar yalıtkan conta veya ara parçaları kullanılarak izole edilmelidir [49].

Katot/anot oranı ne kadar küçükse korunan metal o kadar yavaş korozyona uğrar. Bir arada kullanılan metallere yüzey alanı küçük olanların diğerlerine kıyasla soy olmaları için uygun tasarım tedbirleri alınmalıdır. Sistemin korozyona uğrayan kısımları diğer kısımlarına oranla daha kalın tasarlanabilir [49].

Aşağıda Şekil 1.2 (a-f) arası, çeliğin, Şekil 1.2 (g-k) arası galvanizli çeliğin korozyon oluşumunu aşamalı olarak göstermektedir. Şekil 1.2 a'da, koroziv ortamın etkisi altında malzeme bileşimindeki farklılıklar elektrik potansiyel farklılığına sebep olur. Hücre içindeki elektrik potansiyel farklılığı sonucunda negatif yüklü elektron anottan katoda doğru ilerler ve anot bölgesinde demir atomları pozitif yüklü demir iyonlarına dönüşür (Şekil 1.2 b). Elektrolit içinde anotta pozitif yüklenmiş demir iyonları elektron alarak indirgenen negatif yüklü hidroksil iyonunu çeker ve reaksiyona girer reaksiyon sonucunda demir oksit veya pas oluşur. Anotda açığa çıkan elektronlar katot yüzeyinde pozitif yüklü hidrojen iyonlarıyla reaksiyona girerek elektrolit içinde hidrojen gazı oluşur (Şekil 1.2 c). Şekil 1.2 d'de, korozyon şartları altında her saniye milyarlarca reaksiyon tamamlanır ve bunun sonucunda anot bölgesinde pas tabakası görülür. Çelik parçasının üzerinde çok sayıda anot ve katot bölgelerinin mozaïği görülebilir, makroskobik boyutta oluşur. Korozyon anot bölgesinde oluşur (Şekil 1.2 e). Şekil 1.2 f'de, anot bölgesi paslandığında, farklı kompozisyon ve yapı etkisinde, elektrik potansiyelindeki değişim nedeniyle anotların ve katotların rolleri değişebilir. Bu değişim birden olmaz, öncelikle korozyon oluşmayan bölgeler maruz kalmaya başlar ve çeliğin tamamen tükenmesine kadar devam eder [61].



Şekil 3.2. Çelikte (a-f) aşama aşama korozyon oluşumu [61].



Şekil 3.3. Galvanizli çelikte (g-k) aşama aşama korozyon oluşumu [61].

Korozyona karşı çinko kaplanmış galvanizli sac levhada Şekil 1.2 g'de, aynı elektrolit şartlarında çinko ve çelik etkileştiğinde, elektriksel potansiyel fark sebebiyle elektriksel bir hücre oluşur. Çinko, çelikten daha fazla elektrokimyasal aktifliğe sahiptir. Böylece çeliğe karşı çinko anot olmaya başlar, çelik yüzeyinde küçük anodik ve katodik bölgelerin oluşmasını önler. Hücre içinde elektrik potansiyel farkı sonucunda negatif yüklü elektronlar, çinko anottan çelik katoda doğru ilerler ve anottaki çinko atomları pozitif yüklü çinko iyonlarına dönüşür (Şekil 1.2 h). Şekil 1.2 'de, Elektrolit içindeki katot yüzeyinde negatif yüklü elektronlar pozitif yüklü hidrojen iyonlarını çeker reaksiyona girer, hidrojen gazı açığa çıkar. Çelik katot ve elektrolit arasında hiçbir kimyasal reaksiyon oluşmaz. Çinko kaplanmış çelik katodik olarak korunmuş olur. Anot yüzeyinde pozitif yüklü çinko iyonları elektrolitte negatif yüklü hidroksil iyonlarıyla reaksiyona girer ve çinko yavaşça tükenir [61].

Şekil 3.2 j'de görüldüğü gibi çelik üzerindeki çinko kaplamada bozulma veya süreksizlik olsa bile çinko her zaman anodik olarak harcanmaya devam edeceğinden çelik için katodik koruma devam eder, çelik kesinlikle korozyona uğramaz. Çelik malzemeyi korozyona karşı korumak için çinko kaplama yerine organik kaplama yapılırsa, boyanın tutunabilme kabiliyetine, bazı durumlarda korozyonu önleyici pigmentlere bağlı olarak, kaplama filminde bozulmalar ya da süreksizlikler ortaya çıkabilir. Çelik malzemede korozyon başlar ve kaplamanın tamamına hızlı bir şekilde yayılabilir (Şekil 1.2 k) [61]. Atmosferik şartlarda çinko kaplama daha etkin koruma sağlar.

3.2. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyondan korunma yöntemleri aşağıdaki yedi başlık altında toplanabilir:

- 1) Katodik koruma
- 2) Yüzey kaplama
- 3) Uygun Malzeme Seçimi(Saf metal veya alaşım kullanımı)
- 4) Isıl İşlem Uygulama
- 5) Uygun Tasarım
- 6) İnhibitör kullanımı

7) Pasivasyon

3.2.1. Katodik Koruma

Katodik koruma, temelde bir metalin korozyona uğrayan kısmı ile aktif olan kurban metalin elektriksel birleştirilmesi sonucu sağlanır. Katodik korumada, korozyondan korunmak istenen metal, katot yapılarak galvanik bir pil oluşturulur. Bu tür korumayı sağlamak için kurban anot olarak genelde çinko, çinko alaşımları, magnezyum ve alüminyum kullanılır. Bazı durumlarda ise katodik koruma kurban anot yerine dış gerilim kaynağı ile korunacak malzemeye akım verilerek sağlanır. Bu durumda anot malzemesi karbon, grafit veya platin olabilir. Bu uygulama ile yeraltında korunan binlerce boru, iskele, tank, gemi ve kablo vardır. Boruların korunması için anotlar borudan 2,4-3,0 m uzağa gömülür. Anot olarak seçilen metal veya alaşım bir kablo ile boru hattına bağlanır [66].

Katodik koruma ile bakır gövdeli savaş gemilerinin çinko anotlarla korunabileceği 1824'de ilk olarak Sir Humphrey Davy tarafından açıklanmıştır. İngiltere ve ABD'de 1910-1912 yılları arasında ilk uygulamaları yapılmış gemilerin dümen veya pervane bölgesine çinko ve magnezyum anotlar bağlanarak katodik koruma sağlanmıştır bu tarihten itibaren katodik koruma dünya çapında yaygınlaşmıştır. Endüstriyel su ısıtıcılarında, su tanklarında katodik koruma sırasında yaygın olarak magnezyum anotlar kullanılmaktadır [66].

3.2.2. Yüzey Kaplama

Yüzey kaplamalar; metal ve metal olmayan kaplamalar olmak üzere iki gruba ayrılabilir. Metal kaplamalar sıcak daldırma, elektrolitik kaplama, akımsız kaplama, püskürtme, difüzyon ve mekanik kaplama (duble etme) gibi yöntemlerle yapılır [49].

Uygulamada korozyona karşı en çok çinko ve alüminyum kaplama kullanılsa da, erimiş metale sıcak daldırma yöntemiyle, çeliğin çinko, kalay, kadmiyum, alüminyum veya kurşun ile kaplanması uygulama alanı bulmaktadır [66].

Galvanizleme olarak bilinen çinko kaplama, daha çok çelik malzemelere uygulanır. Atmosfer ve birçok korozif ortamda çinko anodik davranarak çeliği katodik olarak korumaktadır. Çinko kaplamada korozyon, anot/katot oranının çok büyük olmasından dolayı yavaş ilerler [49].

Atmosfere açık ortamda kullanılan çatı malzemeleri, levhalar, tel ve tel ürünleri, çelik sacdan üretilen malzemeler, borular, buhar kazanları ve yapı çelikleri genelde çinko kaplanır. Çeliğin ısıya ve korozyona karşı dayanımını artırmak için alüminyum kaplama kullanılır. Çinko kaplama yerine bazen kadmiyum kaplama yapılsa da ancak bu kaplama atmosfere açık ortamlarda çinko kaplama kadar iyi sonuç vermez. Metali kendisinden daha soy karakterli (nikel ve krom gibi) bir metal ile kaplamak da mümkündür [57].

Bazı makine parçalarının veya çeşitli aletlerin korozyon ve aşınma dirençlerini artırmak ve görünümünü iyileştirmek için krom kaplama yapılır. Krom kaplama daha çok otomobil parçalarına, su tesisatlarına, metal eşyalara ve çeşitli aletlere uygulanır. Nikel kaplamalar esas olarak krom, gümüş, altın ve rodyum kaplamaların altında bir tabaka oluşturmak amacıyla kullanılır. Nikel korozyona karşı dayanıklıdır, ancak atmosferden etkilenecek matlaşır. Bakır kaplama, özellikle çinko esaslı dökümlerde, nikel ve krom kaplamaların altında taban oluşturma amacıyla kullanılır [66].

Boya ve organik maddeler içeren metal olmayan kaplamalar, esas olarak parça yüzeylerinin korunması ve görünümünün iyileştirilmesi için kullanılır. Boya, malzeme yüzeyinde koruyucu bir film oluşturur ve bu film çatlamadığı veya soyulmadığı sürece metal malzemeyi korozyondan korur. Ayrıca metalik malzemelerin içerisinde buldukları korozif ortamla reaksiyona girmeleri sonucunda yüzeylerinde oksit filmleri oluşur. Kimyasal dönüşüm kaplamaları ile elde edilen bu tür filmler de korozyondan korunma amaçlı kullanılır [66].

3.2.3. Uygun Malzeme Seçimi (Saf metal veya alaşım kullanımı)

Malzemenin çalıştığı ortama dayanıklı olması, malzemenin kendinin ve de ortamın zarar görmemesi bakımından ilk akla gelen önlemdir [67].

Çoğu uygulamalarda saf metal kullanımı korozyon direnci sağlar. Bu yöntem ile malzeme yüzeyinde homojen olmayan kısımlar en aza indirildiği için potansiyel farkı oluşmayacağından korozyon büyük ölçüde önlenir. Ancak metallerin korozyona karşı dirençleri birbirinden farklıdır. Bazı metaller kolaylıkla korozyona uğrar. Bu tür metallerin dayanımını arttırmak amacıyla alaşım elementleri katılmaktadır. Örneğin; bakır alaşımlarına katılan mangan ve alüminyum, paslanmaz çeliğe katılan molibden ve alüminyuma katılan magnezyum bu malzemelerin korozyon dirençlerini artırır. Ostenitik paslanmaz çelikler tane sınırı korozyonuna duyarlıdır. Bu tür korozyonu önlemek, karbürleri kararlı bir duruma dönüştürmek için, çeliğe titanyum ve kolombiyum gibi alaşım elementlerinin katılması yüksek sıcaklıkta çeliği stabilize eder korozyona karşı korur Bazı alaşım elementleri de malzemenin yüzeyinde gözeneksiz oksit filmleri oluşturarak veya oluşmasına yardım ederek malzemenin korozyona karşı direncini arttırlar (nikel, krom, titanyum gibi) [66].

3.2.4. Isıl İşlem Uygulama

Döküm parçalarının çoğunda segregasyon (bileşim farkı) meydana gelir. Bu parçalara homojenizasyon, çözündürme veya stabilizasyon gibi ısıl işlemler uygulanarak iç yapıları homojen hale getirilir ve korozyon dirençleri artırılır. Gerilmeli korozyona karşı duyarlı olan metal ve alaşımların korozyon dirençlerini arttırmak için de soğuk şekillendirilmeden sonra gerilim giderme tavlama yaygın olarak uygulanmaktadır [66].

3.2.5. Uygun Tasarım

Malzemenin korozyon eğilimini en aza indirmek için uygun tasarım yapılmalıdır. Birbirleriyle temas halindeki metallerin, galvanik dizide (elektrokimyasal potansiyel dizi) birbirlerinden çok uzak olmaması gerekir. Bu durumun zorunlu olduğu yerde iki

metalin birbiriyle elektrik kontağı olmayacak hassasiyette yalıtılması gerekir, plastik veya kauçuk conta kullanılarak metal malzemelerin birbiriyle teması önlenmelidir. Alüminyum, çeliğe göre daha anot olduğundan, çelik levhaları birleştirmek için alüminyum perçinlerin kullanımı alüminyum perçinlerde galvanik korozyon sonucu, perçinlerin gevşemesine veya işlevini yapamaz hale gelmesine neden olabilir. Metal levhalarla perçinin temas ta olduğu bölge, tasarımda dikkate alınarak plastik veya metal olmayan manşon (bilezik), pul ve sızdırmazlık parçalar ile yalıtılabilir [66].

3.2.6. İnhibitör kullanımı

İnhibitörler (yavaşlatıcılar) bir ortama az miktarda eklendiği zaman korozyon hızını azaltan hatta ihmal edilecek düzeye getirebilen maddeler olarak tanımlanır. Korozyona karşı dayanıklı fakat pahalı bir malzeme kullanmak yerine bazı halde ortama inhibitör katılarak daha ucuz malzemelerin kullanılması yoluna gidilir. İnhibitörlerin korozyon hızı azaltıcı etkileri çeşitli şekillerde gerçekleşir. İnhibitörler, anodik inhibitör veya katodik inhibitör olarak ikiye ayrılır [54].

Bazı inhibitörler metal yüzeyinde ince bir film oluşturarak, metal ile çevresi arasındaki tepkime hızını yavaşlatır. Bazı halde ortamda bulunan korozyon yapıcı bileşenin, örneğin çözünmüş oksijenin inhibitör tarafından kimyasal olarak bağlanması ile korozyon önlenebilir. Etkinin biçimi tamamen yüzey ve ortam koşullarına bağlıdır. Söz konusu ortamlar çok değişken olduğundan her ortamda kullanılacak inhibitörün türü de farklı olmaktadır [48].

Organik veya inorganik yapıda olmak üzere çok çeşitli bileşimde inhibitör vardır. İnhibitörler, metal temizleme banyoları, petrol boru yolları, buhar jeneratörleri gibi çeşitli kapalı sistemlere ilave edilir [60].

3.2.7. Pasivasyon

Pasivasyon, genellikle çinko kaplama sonrası tuzlu sudan korumak amacıyla metal üzerine koruyucu bir kromat tabaka biriktirir. pH=2 değerinde tutulan lityum

kromat banyosuna daldırma ile pasivasyon uygulanır. Çinko kromat tabakası çinkonun anodik çözünmesi ve ardından çinko ve kromat iyonlarının reaksiyonu ile oluşan çinko kromat ile meydana gelir [49]. Kaplama sonrası çinko tabakası mat ve hoş olmayan görüntüde olduğundan, 5-8 ml/l HNO₃ (% 68 lik) içeren renk açma banyosunda rengi açılıp parlaklaşır. Durulama sonrası korozyon direncinin artırılması için pasivasyon yapılır, durulanıp kurutulur. Pasivasyon, genel olarak çinko, kadmiyum ve çinko alaşım kaplamalardan sonra tatbik edilen kimyasal bir proses olup, uygulanan formülasyona göre muhtelif dekoratif renklere sahiptir. Ayrıca pasivasyon tabakasına şeffaf ya da renkli koruma tabakası uygulanarak korozyon mukavemeti biraz daha arttırılabilir. Bu koruma banyoları organik (reçine esaslı) veya inorganik (silikat) esaslıdır [49].

Parça yüzeylerinde gözle görülmeyen çukur ve tümsekleri düzelten, mavi, sarı veya yeşil nüanslı bir rengin oluşumu ile varlığını belirten, 100-150 nanometre kalınlığında bir krom hidroksit tabakasının oluşturulması işlemidir. 15-40 saniye sürede oluşan tabaka, kaplama tabakasının da 0,2-0,5 mikronluk kısmının zayi olmasına sebep olsa da, kaplama ömrünü arttırmaktadır [59].

Çinko kaplamadan çıkan malzemeler hemen sıcaklığı 72° C iletkenliği 1500 microsimens olan pasivasyon havuzuna gönderilerek havuzda saniye veya 1 dk. kadar bekletilmektedir. Pasivasyon havuzu malzemeyi soğutur ve kolayca taşınmasını sağlar. Bunun yanında yüzeyi pasif hale getirir (reaksiyonu azaltır). Pasivasyon içeriği krom veya fosfor içeren özel kimyasallardan oluşur ve işletmeden işletmeye değişir. 6 ay ile 1 yıl arasında malzemeyi beyaz pasa karşı koruyabilir [61].

Pasivasyon parmak izini önlemek, dekoratif bir görünüm kazandırmak ve kaplamanın korozyon dayanımını arttırmak amaçlı kullanılır. Korozyon koruması, oksijenin anyon okside dönüşerek elektrokimyasal reaksiyonların engellenmesi ile sağlanır. Oksijenin anyon okside dönüşmesi aynı zamanda çinkonun iyonizasyonu ile açığa çıkan elektronları harcamaktadır.

Kromatlama (pasivasyon) banyoları krom esaslıdır. Altı değerlikli yani Cr⁶⁺ iyonu içeren işlemler heksavalent pasivasyon, üç değerlikli yani Cr³⁺ iyonu içeren işlemler

trivalent pasivasyon adını alır. Cr^{6+} değerlikli krom atığının bir ön arıtma gerektirmesi ve doğayı zehirlenmesi birçok sanayide yasaklanmasına neden olmuştur [61].

3.3. Korozyonun Hızının İncelenmesi ve Ölçüm Yöntemleri

Korozyon önemli bir hasar şekli olup korozyonun boyutunu, hızını ortaya çıkarmak önemlidir. Bunun için ağırlık kaybı veya malzemede incelmeye kriter olmakla birlikte korozyon hasarını ortaya koymak için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Kütle azalması yöntemi, Galvanostatik yöntem, Potansiyostatik Yöntem, Potansiyodinamik yöntem gibi [56].

3.3.1. Potansiyostatik Yöntem

Günümüzde potansiyostatik yöntem polarizasyon eğrilerini elde etmek için geniş ölçüde kullanılmaktadır. Bu yöntemle deney elektrodunun potansiyeli belli bir potansiyel aralığında taranarak akım kaydedilir. Bu bir potansiyostat sistemi aracılığı ile sağlanır. Referans ve deney elektrodu arasındaki potansiyel kontrol edilir. Deney ve karşı (yardımcı) elektrot arasındaki akım ölçülür. Burada potansiyostatın görevi; elektroliz devresine akım verir ve diğer yandan da metalin potansiyelini istenilen belirli değerlerde sabit tutar. Bu yöntemde, incelenecek metalin potansiyeli ayarlandıktan sonra akımın yönü ve miktarı ölçülerek polarizasyon eğrileri elde edilir. Bu yöntem kullanılarak yapılan deney sonunda, deney elektrodunun anodik ve katodik davranışı incelenerek, korozyon hızı ölçülebilir. Potansiyostatik yöntem üç şekilde uygulanır: [56].

1. Potansiyeli belli bir hızda sürekli değiştirerek akım değişimleri izlenir. Hızlı tarama şeklinde olduğu için akım potansiyel eğrisi elde edilirken elektrot yüzeyinde elektrokimyasal denge kurulamaz.
2. Uygulanan potansiyeller adım adım değiştirilir. Her potansiyel basamağında kısa bir süre beklenir. Elektrokimyasal denge, tam olmasa da bir dereceye kadar kurulur.

3. Potansiyostatla elektroda uygulanan potansiyelde sabit akım değeri elde edilinceye kadar beklenir. Uygulanan potansiyelde yeterince beklendiğinden elektrokimyasal denge tam olarak kurulabilir.

Karma potansiyel kuramı korozyon hızı belirlemesi için uygulanan dört yöntem temel oluşturur [56].

- 1) Tafel-ekstrapolasyonu yöntemi
- 2) Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi
- 3) Çizgisel polarizasyon yöntemi ya da polarizasyon direnci yöntemi
- 4) Elektrokimyasal empedans spektroskopisi

3.3.1.1. Tafel-ekstrapolasyonu yöntemi

Tafel ekstrapolasyonu yönteminde, korozyona uğrayan metal için anodik ve katodik Tafel eğrileri deneysel olarak belirlenir ve bunların çizgisel olan kısımları uzatılarak kesim noktalarından o sistem için korozyon hızı i_{kor} ve korozyon potansiyeli E_{kor} belirlenir [48].

Asitli bir ortama daldırılan M metali hidrojen çıkararak korozyona uğruyorsa, yüksek dirençli bir voltmetre kullanılarak korozyon potansiyeli E_{kor} ölçülebilir. Bu potansiyelden başlayarak metale anodik akım verilirse M metalinin yükseltgenmesini karşılayan ($M \rightarrow M^{+2} + 2e^-$) artı eğilimli anodik Tafel eğrisi elde edilir. Korozyon potansiyelinden başlayarak katodik akım verilirse eksi eğimle gösterilen ve tam çizilen doğru kesimi bölgesi (katodik Tafel eğrisi) elde edilir. Anodik ve katodik Tafel eğrilerinin doğrusal kesimlerinin ekstrapolasyonundan korozyon potansiyeli E_{kor} ve korozyon hızı i_{kor} belirlenir [48].

Bir sistem için denge tepkimesi akım yoğunluğu i_0 sabit olduğundan bağıntı aşağıdaki gibi verilir ($a_a = 2,3 \beta_a \log i_0$ ve $b_a = 2,3 \beta_a$).

$$\eta_a = -a_a + b_a \log i$$

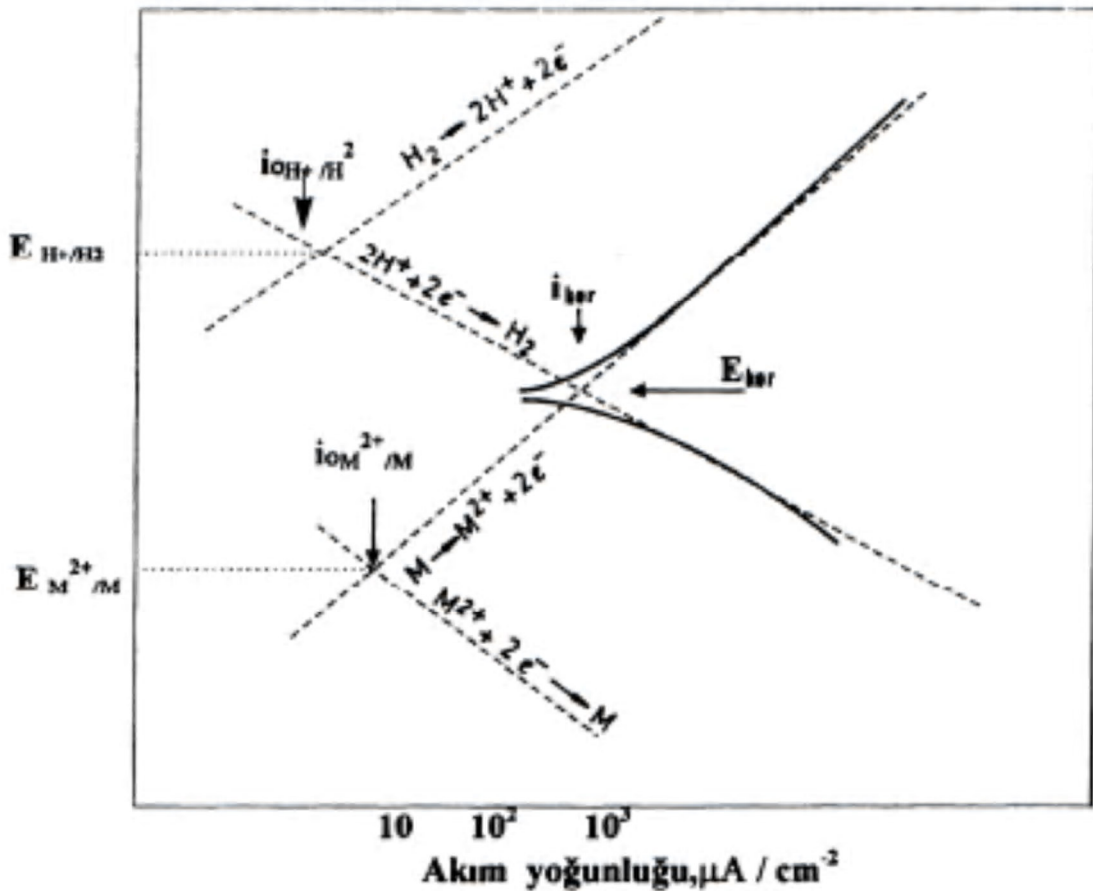
Katodik bağıntı şu şekilde verilir.

$$\eta_c = -2,3 \beta_c \log i/i_0$$

Daha genel biçimiyle aşağıdaki gibi verilir ($b_c = 2,3 \beta_c$ ve $a_c = 2,3 \beta_c \log i_0$)

$$\eta_c = a_c - b_c \log i$$

Aktivasyon aşırı gerilimi ile akım yoğunluğu arasındaki bağıntıları yarı logaritmik olarak veren yukarıdaki bağıntılara Tafel Bağıntıları denir. Tafel sabitleri denilen a_a , a_c , β_a ve β_c elektrotta yürüyen olaylara ve elektrodun bulunduğu ortama göre değişirler. Tafel bağıntılarında 0,052 volttan daha büyük aşırı gerilimlerde, aşırı gerilim η , $\log i$ ile çizgisel olarak değişir. Bu eğrilerin eğimleri β_a ve β_c ye bağlıdır. β_a ve β_c ise aktarım katsayılarına ve alınıp verilen elektron sayısına bağlıdır. Eğrilerin durumları ise a_a ve a_c ile dolayısıyla yük değişimi akım yoğunluğu i_0 , aktarım sayısı α ve alınıp verilen elektron sayısı ile değişir [46].



Şekil 3.4. Tafel eğrisi

3.3.1.2. Katodik Polarizasyon Eğrisinin Korozyon Potansiyeline Ekstrapolasyonu Yöntemi

Bu yöntemde polarizasyon eğrisi yalnız katodik bölüm için elde edilir. Katodik polarizasyon eğrisi tercih edilir, çünkü ölçülmesi daha kolaydır. Katodik polarizasyon eğrileri yardımıyla korozyon hızı belirlenmesi yöntemi 1955'de Stern tarafından önerilmiştir. Katodik polarizasyon eğrisinden yararlanarak korozyon hızı belirlenebilir [48].

Platin gibi inert bir metalden yapılan yardımcı elektrot aracılığıyla, deney elektroduna katodik akım verilir. Devreden geçen akım bir i ampermetresi yardımıyla ölçülür. Bu ölçümler basit galvanostatik yöntemle yapılamaz, potansiyostatik yöntem kullanılır.

Havası uzaklaştırılmış bir çözelti içine daldırılmış M metaline katodik akımuygulamadan önce, metal örneğinin karşılaştırma elektroduna karşı voltmetrede ölçülen potansiyeli korozyon potansiyelidir Ekor. Elektrot potansiyeli katodik yönde değiştirilerek, ölçülen akım yoğunluklarının logaritmaları potansiyele karşı grafiğe geçirilir. Eğri küçük akımlarda çizgisel değildir, ama yüksek akımlarda, yarı logaritmik çizimde, çizgisel olur. Uygulanan katodik akım, indirgenme olayını karşılayan akımla yükseltgenme ya da çözünme olayını karşılayan akım arasındaki farka eşittir. Yüksek akım yoğunluklarında, uygulanan akım gerçek uygulamada katodik akıma yaklaşır, çünkü ilgili anodik akım ihmal edilebilir. Uygulanan polarizasyon eğrisi, korozyon potansiyelinden 50 mV daha aktif bir potansiyelden sonra yarı logaritmik çizimde çizgisel olur [48].

İdeal koşullar altında Tafel ekstrapolasyon yönteminin duyarlılığı kütle azalması yöntemi duyarlılığına eşit ya da ondan büyüktür. Bu teknik ile çok küçük korozyon hızını belirlemek ve sistemin korozyon hızını belirlemek ve sistemin hızını sürekli olarak denetlemek olanaklıdır (bir polarizasyon eğrisi 10 dakika ya da daha kısa sürede elde edilebilir) [48]. Bu yöntemle kısa sürede sonuç alınabilir ve duyarlık derecesi yüksek ise de bu yöntemin uygulanmasında birçok sınırlamalar vardır. Akla yakın bir

doğruluk için Tafel bölgesi en az on kat bir akım yoğunluğu bölgesinde uzanmalıdır. Birçok sistemlerde bu duruma, derişim polarizasyonu ve diğer etkenler nedeniyle erişilemez. Ayrıca, bu yöntem yalnız bir indirgenme olayı içeren sistemlere uygulanır. Çünkü birden çok indirgenme olayının yürüdüğü sistemlerde Tafel bölgesinde sapma olur. Özetle katodik polarizasyon eğrisi Tafel bölgesinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu çok yararlıdır ve korozyon hızının çabuk belirlenmesinde bazı durumlarda kullanılabilir (özellikle direnç polarizasyonu nedeniyle anodik Tafel eğrisi elde edilemiyorsa) [48].

3.3.1.3. Polarizasyon direnci yöntemi

Korozyon hızını belirlemek için “çizgisel polarizasyon yöntemi ya da polarizasyon direnci yöntemi” son zamanlarda oldukça yaygın olarak uygulanmaya başlanmıştır.

Bu yöntem ilk kez 1955’de Simmons ve 1957’de Skold ve Larson tarafından ortaya atılmıştır. Yöntemin kuramsal temelleri 1957’de Stern ve Geary tarafından verilmiştir. Stern ve Geary ‘ye göre aktivasyon polarizasyonu ile denetlenen bir sistemde, korozyon potansiyeli dolayında uygulanan Δi akımı etkisiyle oluşan ΔE potansiyel farkı arasında aşağıda verilen çizgisel bir bağıntı vardır [48].

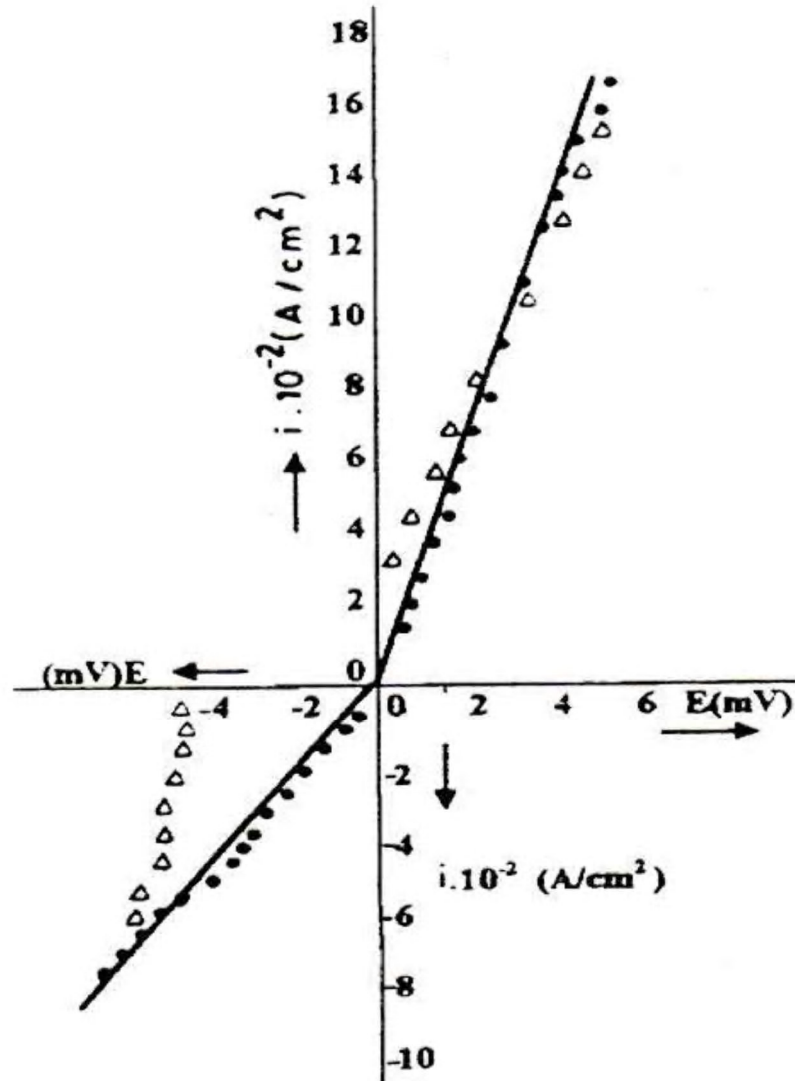
$$\Delta E / \Delta i = (\beta_a \times \beta_c) / 2,3 i_{kor} (\beta_a + \beta_c)$$

Burada β_a ve β_c karşılıklı olarak anodik ve katodik Tafel sabitleridir, i_{kor} , korozyon akım yoğunluğunu gösterir. E (ya da η) ile i arasındaki bağıntı üstel bir bağıntı ise de korozyon potansiyeli dolaylarında, ilgili bağıntılarda bazı ihmaller yaparak yukarıdaki bağıntı çıkarılabilir. Ancak bu çizgisel bağıntı en çok 10 mV a kadar uygulanabilmektedir. Genel olarak 7 mV dan sonra çizgisellikten sapma başlamaktadır. Stern ve Geary denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$i_{kor} = B \Delta i / \Delta E$$

burada,

$$B = (\beta_a \times \beta_c) / 2,3 (\beta_a + \beta_c)$$



Şekil 3.5. Polarizasyon eğrisi

Denkleme göre polarizasyon direncinin tersi korozyon hızı ile orantılıdır ve orantı sabiti B çizgisel E-log i polarizasyon eğimlerinin bir fonksiyonudur. Eğer anodik ve katodik tepkimelerin Tafel sabitleri β_a ve β_c elde edilebilirse korozyon hızı denklemden doğrudan hesaplanabilir. Çok duyarlı belirmeler söz konusu değilse β için literatür değerleri kullanılabilir. Eğer daha duyarlı belirmeler yapmak gerekiyorsa sabitler polarizasyon eğrilerinden belirlenmelidir [48].

Yöntem hem alternatif akım, hem de doğru akım tekniğine göre uygulanmaktadır. Doğru akım tekniğinde, biri karşılaştırma elektrodu olmak üzere üç elektrot tekniği, birbirine benzer metalden yapılmış üç elektrot tekniği ve az çok özdeş iki elektrot tekniği uygulanmaktadır. Korozyon akımı ile kütle azalması arasındaki bağıntı Faraday yasalarına göre şöyle verilebilir [48].

$$i_{kor} = (\Delta P \times F \times n) / (\Delta t \times M)$$

Burada ΔP kütle azalması, F Faraday, n korozyonu söz konusu metalin çözeltiye geçme değeri, M , o metalin iyon gramının kütlesi, Δt zaman aralığı (saatteki). Korozyon hızını hesaplamak için yukarıdaki bağıntı ile Stern ve Geary bağıntısı birleştirilirse;

$$\Delta P = (B \times \Delta i \times \Delta t \times M) / (\Delta E \times F \times n)$$

Polarizasyon direnci yönteminin bugünkü durumu üzerine yapılan araştırmalar bu yöntemin korozyon araştırmalarında ve korozyonla savaşta diğer yöntemlerden üstün olarak kullanılabileceğini, uygulamasının kolay olduğunu, kullanılan aygıtların diğer yöntemlere oranla daha ucuza sağlanabileceği diğer yöntemlerle belirlenmesi olanaklı olmayan çok küçük korozyon hızlarının ölçülebileceğini, ortalama bir korozyon hızı belirlenmesinden başka her hangi bir andaki korozyon hızını belirleme üstünlüğüne sahip olduğunu, korozyon hızı belirlemelerinin çok kısa zamanda yapılabildiğini, incelenmesi söz konusu metalin korozyon hızının bulunduğu yerden alınmaksızın yerinde belirlenebileceğini, sadece korozyon hızı değil bağıl korozyon hızı söz konusu ise bu yöntemle çok duyarlı sonuçlara ulaşabileceğini göstermiştir [48].

Bu yöntem yer altında gömülü bulunan boruların korozyon hızının belirlenmesinde olduğu kadar, canlılara ameliyatlarda kullanılan metallerin korozyon hızına (kırıkları saptamak için kullanılan metal bağlantılar) ve şiddetli nükleer radyasyonlar altındaki korozyon hızı belirlenmelerinde de uygulanabilmektedir [48].

3.3.1.4. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi

Korozyon hızını belirlemede kullanılan diğer bir teknik Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemidir. Yöntemin esası, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım ile empedansının ölçülmesine dayanmaktadır. Yöntemin uygulanmasında, çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir “elektronik eşdeğer devre” tasarlanarak polarizasyon direnci belirlenmeye çalışılmıştır. Bulunan polarizasyon direnci (R_p) değeri Stern-Geary eşitliğinde yerine konularak, korozyon hızı hesaplanır. AC - empedans diyagramından elektrot/çözelti ara yüzeyinin elektriksel direnci ortaya çıkarılır.

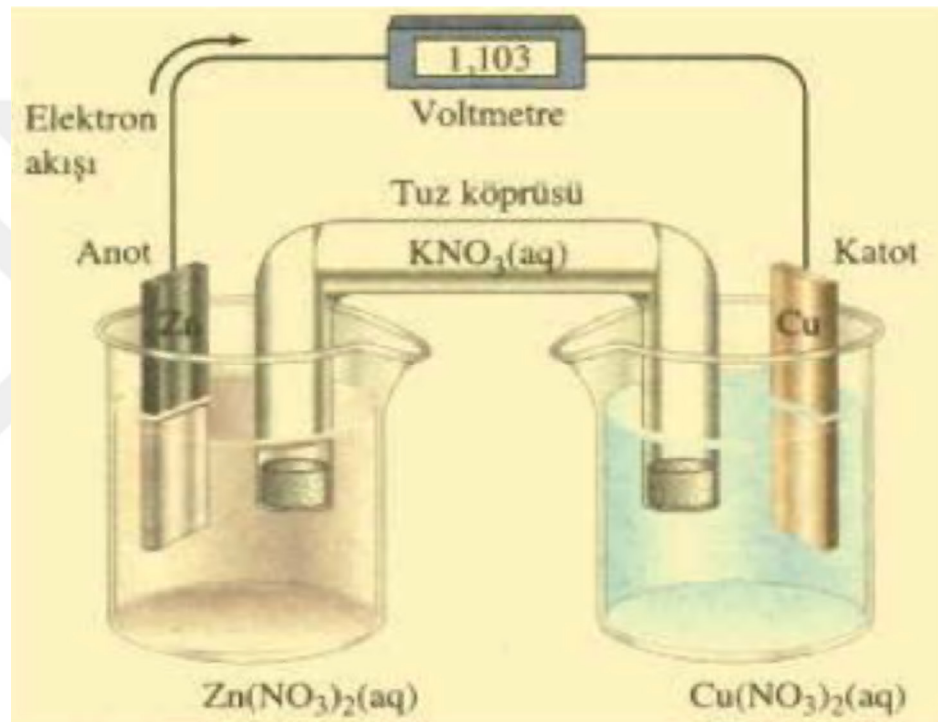
Korozyon hızını ölçmeye yönelik yöntemler arasında, Tafel yöntemi, Alternatif akım empedans ölçme yöntemi önemli ölçüde kullanılmaktadır. Tafel yöntemi günümüzde biyomedikal alanda Ti6Al4V alaşımının vücut içerisinde korozyon direncinin belirlenmesiamacıyla da kullanılmaktadır. Bu alaşıma korozyon direncini artırmak için yapılan TiN, TiAlN gibi kaplamaların korozyon direncine etkileri Tafel yöntemiyle incelenebilmektedir. Korozyon direncini belirlemek için kozyon testleri sonucunda polarizasyon eğrileri çıkarılmaktadır ve korozyon direnci bakımından kaplamaların mukayesesi yapılabilmektedir [63]. Tafel analizleri ile korozyon akımı, korozyon potansiyeli ve korozyon hızı hakkında bilgiler elde edilmektedir [64].

3.4. Elektrolitik Metal Kaplama

Elektrolitik kaplamalar, elektrokimyasal hücreler vasıtasıyla gerçekleştirilir. Metal tuzlarını içeren sulu bir çözelti içerisine yerleştirilen metal, elektrolitten akım geçirildiğinde güçlü bir katodik potansiyel etkisinde elektrolitik kaplanır. Elektrolitik kaplama, metalin çözüldüğü çözeltiden indirgenmesi ile katodik reaksiyonlar tarafından gerçekleşir [49].

Bir elektrokimyasal hücre Şekil 3.6'da görüldüğü üzere, her biri bir elektrolit çözeltisine daldırılmış elektrotlar içerir. İndirgenme reaksiyonu elektrot olarak katotta olurken, yükseltgenme anotta olur. Katodik reaksiyonlardan dolayı elektrolitik kaplamalarda katotta hidrojen çıkışı ile anotta oksijen çıkışı oluşabilir [49].

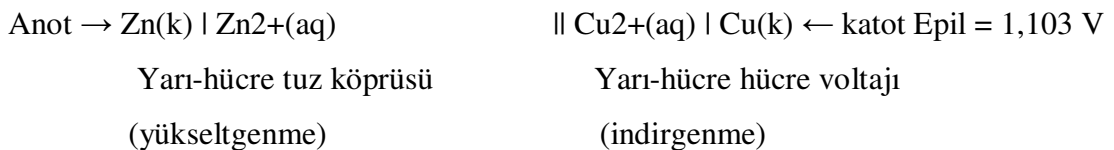
Reaktifler arası doğrudan reaksiyonu engellemek için çözeltiler (hücreler) arasında, içerisinde doygun tuz çözeltisi olan bir tuz köprüsü konulabilir.



Şekil 3.6. Şematik elektrokimyasal hücre.

Elektrokimyasal hücreler galvanik ya da elektrolitiktir. Galvanik hücreler elektrik enerjisini (kendiliğinden) depolayan pillerdir. Bir elektrolitik hücrenin çalışması için dışarıdan elektrik enerjisi verilmesi gereklidir [49].

Zn anot, Cu katot olduğunda hücre kendiliğinden yürürken (galvanik), Zn katot, Cu anot olduğunda hücrenin çalışması için dışarıdan elektrik enerjisi verilmesi gerekir.



Elektrolit bileşimleri farklı iki çözeltinin ara yüzeyinde sıvı-temas potansiyeli oluşur. Oysa tuz köprüsünün iki ucundaki temas potansiyelleri birbirini yok etme eğilimindedir. Böylece sıvı-temas potansiyelinin, hücrenin toplam potansiyeline katkısı ihmal edilecek düzeye iner [49].

Elektrolitik kaplamalarda hidrojen çıkışı kaplamada kırılabilirlik gibi mikroyapı problemlerine yol açabilir. Diğer problem ise elektrolitik kaplamaların üniform olmayışıdır. Köşeler, kenarlar ve çıkıntılarda yüksek elektrik alan oluşur ve düz yüzeylere göre çok daha hızlı bir şekilde kaplanır. Üniform kaplama süresine dikkat edilmezse köşe ve kenarlarda daha kalın kaplamaya neden olabilir [49].

Çok ince olan elektrolitik kaplamalar tek bir tabaka olarak uygulanabildiği gibi farklı metallere çok katlı veya alaşım kaplamalar olarak da gerçekleştirilirler. Örneğin otomobil tamponlarının kaplanması yüzeydeki boşlukları doldurmak ve iyi bir yapışma sağlamak için önce bir kat bakır kaplama, onun üzerine korozyon dayanımı sağlamak amacıyla bir kat nikel ve tampon yüzeyinin arzulanan parlak görünümünü kazanması için de bir kat krom kaplama uygulanır [49].

Elektrolitik kaplamaların özellikleri kaplama koşullarına duyarlıdır. Kaplama banyosunun bileşimi, sıcaklığı ve kaplama akım yoğunluğu önemli etkenlerdir. Bu koşulları kontrol ederek arzulanan sertlik ve parlaklıkta kaplamalar elde edilir. Banyo sıcaklığının artırılması üzerine sertlik düşer. Böylece yumuşak, parlak olmayan ve belirli olasılıklarla çatlaksız kaplamalar elde edilir. En yaygın olan elektrolitik kaplamalar krom, nikel, kalay, çinko ve kadmiyumdur [49].

Elektrolitik metal kaplama, metalik veya metalik olmayan bir malzeme yüzeyine elektrokimyasal metotlarla metalik film oluşturulmasıdır.

Elektrolitik kaplama, elektrolit olarak bilinen ve metal iyonlarından oluşan bir çözelti içinde meydana gelir. Genellikle kaplama metalinden yapılan bir anot ve üzerine kaplama yapılacak bir metalden katot olmak üzere iki elektrot mevcuttur. Sisteme bir elektrik akımı uygulandığında, pozitif kutupdaki anottan çözünen metaller diğer

kutuptaki katot üzerine çökelirler. Çeşitli varyasyonlarla her türlü metal bu temel sistem altında kaplanabilir. Kaplama kalınlığı Faraday kanunu ile hesaplanabilir. Kaplama kalınlığı, kaplama süresi ve akımı ile doğru orantılıdır. Alt malzeme tüm parçanın şekil ve mukavemetini, kaplama ise sertlik, kimyasal direnç ve yüzey parlaklığını tayin eder. Proses basit gözükmeyle birlikte dikkat edilmesi gereken birçok parametre vardır. Elektrik akımı, nadirolarak pilden veya aküden veya alternatif akımı doğru akıma çeviren bir redresörden sağlanabilir.

Bir kaplama çözeltisinin kimyasının karmaşıklığı bazen kaplamadan istenen özelliklerle direk ilişkili olabilmektedir. Örneğin basit bir bakır kaplama çözeltisi, bakır sülfat ve sülfürik asitten oluşmaktadır. Fakat elde edilen kaplama tabakası süngerimsi olup, görüntüsü de donuktur. Bununla birlikte çözeltiliye 50 PPM klorür iyonu ilavesi, daha pürüzsüz bir kaplama elde edilmesini sağlamaktadır. Bu nedenle, çözeltiliye bazı organik bileşiklerin ilavesi ile makul özellikli daha parlak kaplamalar elde edilebilmektedir. Parlak ve pürüzsüz bir kaplama sağlamak için asıl metalin hazırlık aşamasından geçirilmesi ve daha sonra kaplama çözeltisinde kaplanması gerekmektedir [67].

3.5. Elektrolitik Kaplamanın Kalitesine Etki Eden Faktörler

İyi bir elektrolitik kaplama için banyo karışımı, cinsi, elektrolitte kullanılan parlaticı, parlak taşıyıcı ve nemlendirici gibi kimyasalların önemi yanında, hazırlanış sırasında kullanılacak suyun sertliğinin de önemi vardır. Genel anlamda parlaticı ve katkılar, akım yoğunluğunun yüksek olduğu bölgelerde toplanarak kaplama oluşumunu engelleme, esas metallerin en yüksek akım yoğunluğuna sahip alanlarda çökelmelerini geciktiren tabakalarda birikme işlevlerinden birini yerine getirirler. Her iki durumda da mikro yaklaşımla, parlaticılar kaplamanın düzgünlüğünü artırır. Bununla birlikte makro yaklaşımda bir kaplamanın muntazamlığı üzerindeki en büyük etki direkt olarak banyo kimyası ve parametreleri ile ilgilidir. Bu parametreler ve etkileri aşağıda kısaca açıklanmıştır [67].

- a. Akım Yoğunluğu
- b. Konsantrasyon

- c. Sıcaklık
- d. Dağılma Gücü (Throwing Power)
- e. Elektrolit Özelliği
- f. pH

3.5.1. Akım yoğunluğu

Hücre koşullarında katot tepkimesi en düşük negatif değere sahip yük bırakma potansiyelindeki tepkimedir. Benzer şekilde anot tepkimesi en küçük potansiyele sahip tepkimedir. Herhangi bir tepkimenin gerçekleşmesi için uygulanan gerilimin bu iki değer farkından büyük olması gerekir. Elektrotların polarizasyonu akımla değiştiğinden, akım ve gerilim arasındaki ilişki doğrusal değildir, fakat gerilimdeki artış akımda da bir artışa neden olur [55].

Kaplanan yüzeyin gözönüne alması nedeniyle katotdaki akım yoğunluğu önemli bir değişkendir. Belirli bir sürede akım yoğunluğundaki artış, biriken metal miktarındaki artışa neden olur ya da belirli kalınlıktaki birikim için daha hızlı kaplama prosesini sağlar. Elektrolitik kaplamada limit akım yoğunluğu terimi, yeterli birikimin elde edilmediği değerin üzerindeki değeri ifade eder. Bu değerin üzerinde birikim, koyu ve pudramsı ya da süngerimsi görüntüde olabilir [55].

Limit akım yoğunluğu değeri hücre koşullarına ve metal iyonlarının derişimine bağlıdır. Kaplama hızının büyük olması için yüksek derişimler gereklidir. Uygulamada birçok kaplama sistemlerinde katot akım yoğunluğu 1-10 A/dm² aralığındadır. Birikim kalınlığının yüzeyin her bölgesinde aynı olması için, akım yoğunluğunun katodun bütün noktalarında aynı olması gerekir. Bu ancak anodun en yakın noktası ile katodun her noktası arasındaki uzaklık aynı ise olasıdır. Uygulamada ise durum bundan farklıdır ki; anot ve katodun değişik noktaları arasındaki akımla ilgili direnç farklı, bu yüzden de bu noktalardaki akım yoğunluğu farklıdır. Bu tür durumlarda birikimin yoğunluğu her noktada aynı değildir [55].

3.5.2. Konsantrasyon

Kaplamanın yapısı üzerinde konsantrasyonun etkisi büyüktür. Kristallerin oluşum hızı büyük olacağından ince yapılı ve temel metale iyice yapışık, sağlam bir kaplama elde edilir. Katottaki yerel fakirleşmeyi karşılamak amacı ile banyo da kaplanacak malzemeyi hareket ettirmek yararlıdır. Ayrıca banyonun periyodik aralıklarla filtre edilmesi çok faydalıdır. Elektrolite hava ile (düşük basınçta) hareket de verilebilir fakat dipteki tortular, pislik v.s. elektrolitte devamlı sirkülasyon yapacağı için kaplanacak parçaların üzerine yapışma ihtimali vardır [51].

3.5.3. Sıcaklık

Sıcaklığın iki karşıt etkisi vardır. Bir taraftan difüzyonu arttırdığından kristallerin oluşum hızını artırır ve böylece küçük kristalli yapılar elde edilir. Fakat diğer taraftan katot polarizasyonunu azaltır ve böylece büyük kristallerin oluşmasına bunların büyümesine sebep olur. Sıcaklık artışı ile hidrojen çıkışı kolaylaşacak ve kaplama süngerimsi yapıda olacaktır [67].

3.5.4. Dağılma gücü

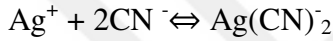
Elektrolitik kaplamada, kaplamanın sadece görünümünün ve özelliklerinin istenilen şekilde olması yeterli değildir. Aynı zamanda kaplamanın, malzemenin tüm yüzeyinde aynı kalınlıkta olması da gereklidir. Ekonomik bakımdan kaplamanın minimum kalınlıkta olması istenir. Düzgün olmayan şekillendirilmiş bir malzeme (dekoratif amaçlı) üzerinde oldukça düzgün bir kaplamanın elde edilmesi için çözeltinin (elektrolitin) gösterdiği özelliğe dağılma gücü (throwing power) denir. Bu adlandırma kaplama gücü (covering power) terimiyle daha iyi mana kazanır [51].

3.5.5. Elektrolit Özelliği

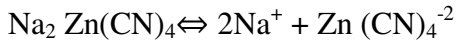
Elektrolit normal olarak kaplanacak metali iyonik halde içeren sulu bir çözeltilerdir. Elektrolitte metali iyonik halde bulundurmanın en basit yolu, o metalin basit bir tuzunun

çözeltisini kullanmaktır. Uygulamada ekonomik yönden başlıca istenen şey yüksek birikim hızıdır, bu ise yüksek akım yoğunluğu demektir. Katotta derişim polarizasyonunun etkisini azaltmak için çözeltildeki metal iyonu derişiminin yüksek olması gerekir. Aynı zamanda çözeltiliye iyi bir iletkenlik sağlamak ve dirençsel kayıpları azaltmak için çözeltildeki toplam iyonik derişiminde yüksek olması gerekir.

Bazı durumlarda metal bir kompleks iyon halinde bulunuyorsa daha iyi bir kaplamanın elde edildiği saptanmıştır. Bir kompleks iyon bir basit metaliyonu ile bazı basit anyonların birleşmesi sonucu verdikleri yeni bir negatif yüklü iyondur. Örneğin, gümüş iyonları ve siyanür iyonları birleşerek gümüş siyanür iyonunu oluştururlar.



Kompleks iyon çok kararlıdır bu nedenle alkali çözeltilde ayrışması çok azdır, ve potasyum gümüş siyanür gibi tuzlar $[\text{KAg}(\text{CN})_2]$ oluştururlar. Altın, çinko ve kadmiyum da siyanürle kompleks tuzlar oluştururlar. Sözü edilen bu kompleks tuzlar kaplamada genellikle kullanılan kompleks tuz türleridir.



Birikimin özelliklerini iyileştirmek amacıyla elektrolite katkı maddeleri de eklenir. Bunlar etkileri deneysel gözlemler sonucu saptanan, genellikle organik maddelerdir, bazıları ise kolloidal maddelerdir. Bu maddeler elektrolit içine çok az olarak katılır (% 0,01). Ancak bu miktar bile birikimin özelliğinde büyük değişimlere yetecek orandadır. Katkı maddelerinin kullanımında ilk uygulamalardabüyük boyuttaki düzensizliklerin giderilmesi amaçlanmıştır. Tutkalın kullanımı sonucu kurşun kaplamada dallanma eğilimini azaltma etkisi gözlenmiş, bu tür birikime yatkın diğer metallerde de aynı etki görülmüştür. Yakın geçmişte, çok daha küçük boyuttaki düzensizlikleri giderici katkı maddeleri bulunmuştur.

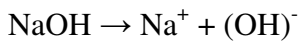
Elektrolitteki safsızlıklar istenmeyen özellikte birikimlerin oluşumuna neden olur. Kaplanacak metalin dışındaki iyonlar, yük bırakma potansiyeline bağlı olarak ya katotta

birikebilirler ya da çözültide kalırlar. Katotta birikmekler bile, birikimin kalitesi üzerinde etkili olurlar. Toz ve metal tanecikleri gibi çözünmeyen safsızlıklar fiziksel olarak katota etki eder ve kaplamada çukur ve deliklerin oluşumuna neden olur. Bu durum özellikle elektrolitin karıştırılması ve çözünmeyen maddelerin dipte çökmesine olanak verilmediği durumlar için söz konusudur.

3.5.6. pH

Bilesiklerin su içinde çözünmesi sonucu elde edilen bütün çözültüler bir miktar hidrojen iyonu içerirler. Çünkü su iki hidrojen ve bir oksijen atomundan oluşur. Hidrojenin oksijene çok sıkı bağlı olusundan ötürü iyonizasyona neden olan kuvvetler çok az etkilidir. Bu sebeple saf su çok az sayıda serbest hidrojen iyonu bulundurur. Bunu bir değerle izah edecek olursak, 10 bin litre suda 1 gram hidrojen iyonu bulunmaktadır. Saf suyun kötü bir iletken olusunun nedeni de budur. Asitler kolayca iyonize olur ve çok sayıda hidrojen iyonu suda çözünür. Hidroklorik asit için bir değer verecek olursak, 1 litre suda 1 grama kadar hidrojen iyonu miktarı artış gösterir.

Asitlerin çoğu (hidrojenin özel bilesikleri) kolayca iyonize olur ve çok sayıda hidrojen iyonu suda çözünür. Eğer bu hidroklorik asit ise (HCl, hidrojen ve klordan oluşur) hidrojen iyonu konsantrasyonu bir litre suda bir grama kadar yükselir. Baz olarak adlandırılan ve hidroksil kökü içeren maddeler (OH⁻) hidrojen iyonlarıyla reaksiyona girerek su (H₂O) meydana getirirler. Bazların çoğu kuvvetli şekilde iyonize olurlar ve bu nedenle de suda çözüldüklerinde iyi iletkenlerdir. Sodyum hidroksit sodyum ile hidroksil kökünden oluşur.



Asitler sahip oldukları hidrojen iyonlarına göre, bazlar da hidroksil iyonlarına göre sınıflandırılırlar. pH'ın 7 olması (ör; saf su) nötr olarak adlandırılır. pH'ın 7'den düşük olması asidik, pH'ın 7'den büyük olması da bazik (alkali) olarak adlandırılır. Kaplama banyosunun pH'ı banyoya asidik madde eklenerek düşürülür, alkali veya bazik madde eklenerek yükseltilir. Tamamıyla iyonize olan asitler kuvvetli asit, çok daha az iyonize

olanlar zayıf asit olarak adlandırılırlar. Sülfürik, nitrik ve hidroklorik asitler suda çözüldüğünde çok yüksek oranda iyonize olduklarından kuvvetli asit sayılırlar. Asetik asit (sirkede bulunur) ve borik asit (gözyaşında bulunur) daha az iyonize olurlar ve zayıf asit olarak mütalaa edilirler [62].

3.6. Elektrolitik Çinko Kaplama

Atmosferin tesiri ile üst tabakada, Karbonat ve Sülfatlar meydana gelir, bu bir tabaka halindedir; kazıma olmadığı müddetçe geçmez ve reaksiyon devam etmez Çinko, Demir ve Çeliğe nazaran elektrokimyasal özelliği bakımından onları korozyona karşı koruyan iyi bir elementtir. Demir ve Çeliğin üzerindeki bir Çinko tabakası, onları paslanmaya karşı koruyucu bir tabaka oluşturur [53].

3.6.1. Kaplama Banyoları

Genellikle ince taneli yapışık ve kaplanacak cismin her yerinde aynı kalınlıkta olan kaplamalar elde edilmek istendiği için akım yoğunluğu, konsantrasyon, sıcaklık, katkı maddeleri bunu gerçekleyecek şekilde ayarlanır [67].

Kaplama banyolarında temel olarak,

- 1 - Metalik iyon veya radikal içeren tuz veya asit,
- 2 - Eğer tuz yeteri kadar iletkenlik sağlamıyorsa iletkenliği arttırmak için ilâve bir tuz,
- 3 - Anot korozyonunu arttıрмаğa yarayan bir madde,
- 4 - Birikintinin yapısını etkileyebilecek az miktarda katkı maddesi,
- 5 - Gerekliyse banyo pH'ını belli bir aralıkta tutmak için tampon bulunmalıdır.

Kaplama banyoları sülfat, siyanür, klorür, perklorat, fosfat banyoları ve değerli metallerin biriktiği çözeltiler olmak üzere çeşitli tiplere ayrılır. Tablo 3.2'de en çok kullanılan kaplama banyoları verilmiştir.

Tablo 3.2 En çok kullanılan kaplama banyoları [67]

Metal	Banyo tipi	Anot	Katotta akım yoğunluğu A/dm ²	Sıcaklık °C	Akım verimi %
Altın	Siyanür	Au	0,1-0,5	60-80	70-90
Bakır	Asit-sülfat	Cu	1-4	25-50	97-100
	Alkali siyanür	Cu	0,3-1,5	35-40	30-60
Çinko	Sülfat	Zn	1-3	20-30	99
	Sülfat (sıcak)	Zn	8-10	50-60	
	Klorür	Zn	4-10	20-40	
	Alkali siyanür	Zn	0,8-2	40-50	85-90
Demir	Klorür	Fe	10-18	90-100	90-98
	Çift sülfat	Fe	2-3	20-30	95-98
Gümüş	Siyanür	Ag	0,3-0,8	15-25	98-100
Kadmiyum	Alkali siyanür	Cd	1-5	20-30	
Kalay	Alkali stannit	Sn	1	50	
	Alkali stannat	Sn	0,5-1,5	60	70-95
Kobalt	Sülfat	Co	3-17	20-30	95-98
Krom	Kromik asit + Sülfat	Pb	10-30	40-50	12-20
Kurşun	Fluoroborat	Pb	0,5-2	20-30	20-93
	Perklorat	Pb	2-3	20-30	95
Nikel	Sülfat	Ni	0,5-2	20-30	94-98
	Çift sülfat	Ni	0,3-0,6	20-30	38-91
	Sülfat klorür	Ni	1,5-5	50	94-98
Palladyum	Klorür	Pd	1		98-100
Platin	Fosfat	Pt	0,1	70	
Prinç	Siyanür	Cu-Zn	0,2-0,3	32-45	80

Bazik Çinko Banyoları; Son yıllarda bu banyolar giderek önemini kaybetmekte olup, daha çok alaşımlı kaplamalar giderek önem kazanmaktadır. Bazik banyolar siyanürlü ve siyanürsüz alkali banyoları şeklinde iki kısımda incelenebilir. Siyanürlü alkali çinko kaplama banyoları, asidik banyoya göre daha düzgün, parlak ve homojen kaplama elde

edilmesi, yüzey çok temiz olmasa da kaplamada problem oluşturmaması nedeni ile tercih edilmektedir. Akım verimlerinin düşük, çukur ve pürüz giderme özelliklerinin zayıf, atıklarının nötrleştirilmesinin zor ve pahalı olması da dezavantajlarıdır. Parlak siyanürlü çinko kaplama banyolarının iki çeşidinin kompozisyon ve işlem şartları aşağıdaki Tablo 3.3’de verilmiştir.

Tablo 3.3 Çeşitli siyanür çinko banyolarının dataları [67]

İçerik	Standart siyanürlü (g/l)	Düşük siyanürlü (g/l)
Çinko siyanür	54-97	7,5-14
Sodyum siyanür	30-41	6-15
Sodyum hidroksit	68-115	52-75
Sodyum karbonat	15-60	15-60
Sodyum polisülfid	2-3	-
Çinko metali	30-48	6-11,3
Topl.Sodyum siyanür	75-113	6-15

Standart siyanürlü çinko kaplama banyoları mükemmel dağıtma gücüne sahip olduğundan kompleks şekilli parçaların kaplanmasında avantaj teşkil eder. Çelikten kaplama teçhizatlarına korozif etki yapmaz. Fakat toksik etkisi olan banyolar olup, siyanür arıtma maliyeti yüksektir. İletkenliği düşük olduğundan enerji tasarrufu açısından klorür banyosu rağbet görür. Düşük siyanürlü banyoların akım verimi başlangıçta aynı olmasına rağmen, akım yoğunluğunun ve banyonun yaşının artması ile düşme eğilimindedir.

Ağır metallerin bu banyolardaki çözünürlüğü, kaplama iktidarları daha düşük olup, özel parlaticı gereksinimi olan banyolardır. Özellikle tel ve telden yapılmış malzemelerin kaplanması için geliştirilmişlerdir. Kirlilikleri gidermek için yapılan sülfürleme işlemi sonucu parlaklıklarının kaybolması söz konusudur.

Siyanür banyolarında % 98.5, 99.5 ve % 99.99 Zn tenörlü anot, ingot şeklinde veya anot

sepetinde küçük parçalar halinde kullanılabilir. Sorunsuz bir kaplama için yüksek çinko içerikli anot kullanılmalıdır. Elektrolitteki çinko anot, çelik anot sepeti ile arasında oluşan galvanik etki sonucu (elektrokimyasal) ve çözeltinin kimyasal çözündürmesi ile çözüldüğünden, indirgeme verimine göre çözünme veriminin yüksekliği sonucu çözeltideki çinko konsantrasyonu artma eğilimindedir. Banyo çalışmadığında anotların çıkarılması veya galvanik çözünmeyi engellemek için çelik kafeslerin çinko ile kaplanması önerilmektedir. 12-55 °C gibi geniş bir sıcaklık aralığında çalışmak mümkünse de genellikle 23-32 °C'ler arası tercih edilmektedir. Bu banyolar 0,002-25 A/dm² akım yoğunlukları arasında % 75-93 katodik akım verimi ile çalışabilmekte, tambur ve askı kaplamada genellikle 2-5 A/dm² tercih edilmektedir.

Banyodaki çinko miktarının çok düşmesi, akım yoğunluğunun çok yükselmesi, toplam siyanür miktarı ve banyo sıcaklığının çok düşük olması kaplamanın yanmasına ve pürüzlenmelere sebep olur. Kaplamanın koyu sarı ve kahverengi olması, katodik akım yoğunluğunun ve parlaticı miktarının fazla, kostik miktarının eksik olduğunu gösterir. Mat kaplama oluşumunu engellemek için ise banyo sıcaklığının 18-20 °C'de tutulması, 0,5-1 ml/l konsantrasyonunda parlaticının temini, askı kaplamada 2-4 volt gerilimde 1,5-2,5 A/dm², dolap kaplamada 10-12 voltta 0,5 A/dm² katodik akım yoğunluğunda çalışılması ve ön temizleme işleminin yeterince yapılması gerekir [67].

Siyanürsüz alkali çinko kaplama banyosu, tüm akım yoğunluklarında iyi bir dağıtma gücü ve parlak kaplama vermesi, yüksek korozyon dayanımı sağlaması, düşük arıtma ve hammadde maliyeti gerekmesi ile dikkati çeken çevre dostu prosesdir. Ayrıca pahalı tesis ve ekipman gerektirmeyen, yüksek akım yoğunluklarında çalışma imkanı veren, esnek çalışma koşullarını sağlayıp, kontrolü kolay olan banyolardır. Bu banyolar, çinko (sodyum zinkat-Na₂Zn(OH)₄ olarak), kostik soda, su şartlandırıcılar ve organik ilavelerden oluşur. Çinko metal konsantrasyonu 10-14 g/l arasında olması tavsiye edilmektedir. Yüksek çinko konsantrasyonu özellikle dolap kaplama uygulamalarında gri renk oluşmasına neden olur [67].

Optimum kostik konsantrasyonu 120-145 g/l olup, anodun çözünmesini ve iyi elektrik iletkenliğini sağlamakta ve düşük akım yoğunluğunda parlak kaplama eldesini temin

etmektedir. Çinko konsantrasyonunun artması, kaplama kalınlığı ve dağıtma gücünün artmasını sağlar. Sert su kullanımının çinko kaplama kalitesini olumsuz etkilemesi nedeni ile, su şartlandırıcıları kullanılmalıdır. Genellikle optimum banyo sıcaklığı 27 °C olup, çeşitli parlaticı türleri için 20-40 °C'lerde çalışılabilir. Düşük çalışma sıcaklığında banyo kaplama yapmamakta ya da beyaz kaplama yapmaktadır. Yüksek sıcaklıkta ise, parlak kaplama teşekkülü için akım yoğunluğu aralığı daralmakta, düşük akım yoğunluğunda matlığa sebep olmaktadır. Katodik akım yoğunluğu 2-3,5, anodik ise 1-3 A/dm² tercih edilir. Çalışma voltajı askı kaplamada 3- 6, dolap kaplamada 8-16 voltur. 3 A/dm² anodik akım yoğunluğunun üstünde çinko yüzeyi oksitlenip, voltaj 34 V birden artar, anot yüzeyi kararır. Anot akım verimi ciddi oksijen çıkışı nedeni ile % 25'lere düşer. İnert çelik kısmen çözünüp çözeltilmeye demir vermesi nedeni ile kısmen, paslanmaz çelik anotlar ise çözeltilmeye +6 değerlikli krom verdiği için asla kullanılamamaktadır. % 99,99 saflıkta çinko anotlar çelik anot sepeti içinde kullanılmalı, fakat anot yüzeyi fazla büyük olmamalıdır. Filtrasyon şart olmasa da fayda sağlamaktadır [67].

Çinko kaplamaların korozyon direncinin iyileştirilmesi amacıyla çinkonun elektrolitik yolla biriktirilmesi 350 A/dm² gibi yüksek akım yoğunluğunda, Zn-Ni, Zn-Co ve Zn-Fe gibi alaşım kaplamaların gerçekleştirilmesi de mümkündür. Şekil 3.7'de çinko kaplama tesisi gösterilmiştir [67].

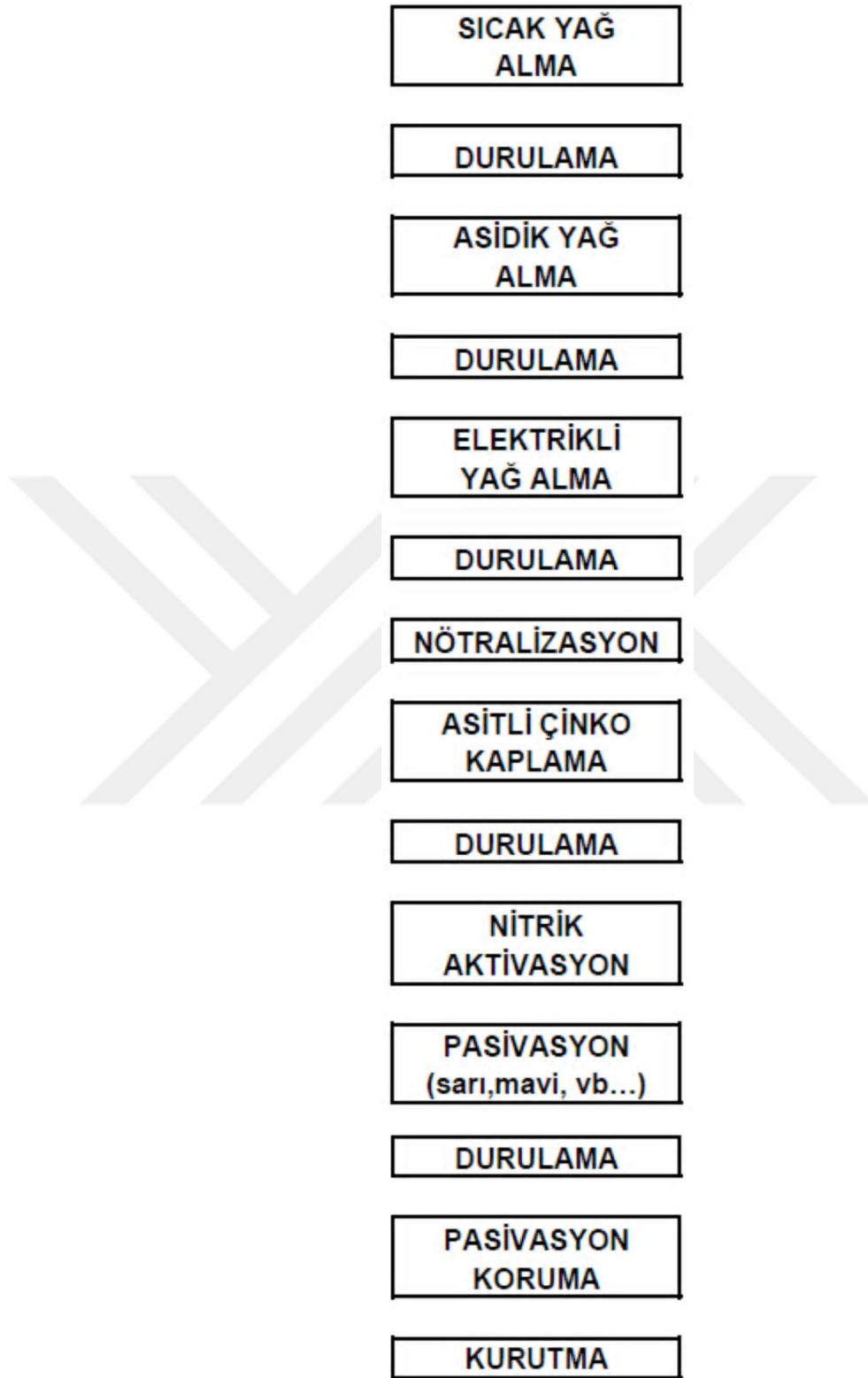


Şekil 3.7. Çinko kaplama tesisi [67]

3.6.2. Çinko Kaplama Prosesinde İş Akışı

Genel amaçlı olarak kurulan çinko kaplama tesislerinde kaplama işlemi sırası Şekil 3.8'de gösterilmiştir. Asitli, siyanürlü, alkali, alaşımli çinko banyolarında da işlem prosesi genel olarak aynı temel üzerine inşa edilmiştir [67].

Çinko banyosunda meydana gelen hatalar, sebepleri ve giderilmesi Tablo 3.4 de verilmiştir. Sac levhaların çinko kaplanmasında kullanılan asitli ve siyanürlü banyolarda akım yoğunluğu, işlem süresi ve banyo sıcaklığının kaplama kalınlığı ve kalitesine etkisi incelenmiştir. Numuneler mekanik ve kimyasal ön işlemlerden geçirildikten sonra, 25 °C ve 35 °C banyo sıcaklıklarında, dört farklı akım yoğunluğu ve işlem süreleri kullanılarak elektroliz yöntemiyle kaplanmıştır. Her iki banyoda da işlem zamanı, banyo sıcaklığı ve akım yoğunluğu arttıkça kaplama kalınlığı artmıştır. Ancak, aynı şartlar altında asitli banyolarda kalın fakat kalitesiz, siyanürlü banyolarda ise, daha kaliteli fakat ince kaplama tabakası elde edilmiştir [58].



Şekil 3.8. Genel bir çinko kaplama prosesinde iş akış şeması [67]

Tablo 3.4 Çinko Banyosunda Meydana Gelen Hatalar, Sebepleri ve Giderilmesi

Çinko Kaplama Banyolarında Görülen Muhtemel Hatalar, Sebepleri ve Giderilmeleri		
Görülen Hata	Muhtemel Sebebi	Hatanın Giderilmesi
Kaplamanın kısa süre sonunda soyulması	a) Ön temizlemenin yetersiz olması b) Asitle dağlama süresinin uzun tutulması.	a) Sıcak ve elektrolitik yağ almalara dikkatedilmelidir. b) Süre kısaltılmalıdır.
Kabarıklı kaplama	a) Kötü (yetersiz) temizleme işlemi. b) Parça üzerinde film tabakası (kirlilik) kalması. c) Elektrolitte fazla miktarda serbest CN veya NaOH mevcudiyeti ve yabancımetaller olması.	a) Ön temizlemelere ve terkiplerine dikkat edilmeli. b) Bol su ile yıkamalı c) Analiz değerleri kontrol edilip ayarlanmalı.
Çalışma esnasında anot yüzeyinin çok siyahlanması	Elektrolitte serbest siyanür miktarı çok düşük.	Analiz yapılarak CN ilave edilmelidir.
Çalışma esnasında anot yüzeyi çok parlaktır	Elektrolitte aşırı siyanür ve NaOH mevcudiyeti.	Analiz yapılmalı, M faktör kontrol edilmeli, Metal iyonları gerekebilir.
Aşırı gaz çıkışı	Fazla serbest CN mevcudiyeti.	Elektrolite Zn(CN) ₂ katılmalı.
Kaba (sert) kaplama	a) Metal miktarı çok yüksek. b) Temizleme noksanlığı.	a) Anot yüzeyi ayarlanmalı veya paslanmaz anot (yedek) asılmalı. b) Banyo filtre edilmelidir.
Matkaplama (tromelde)	a) Akım yoğunluğu yüksek. b) Serbest siyanür düşük. c) Temizleme yetersiz. d) Parlaticı noksan. e) Fazla polisülfür var.	a) Akım yoğ. max. 1-1,5 A/dm ² . b) Analize göre siyanür katılmalı. c) Temizlemelere dikkat edilmeli. d) Parlaticı katılmalı. e) Kurşun karbonatla çökertip filtre edilmeli.
Kaplama kurduktan sonra lekelenmekte	a) Yetersiz ve kirli suda yıkama. b) Kurduktan sonra yüzeyde tozlu tortu oluşuyor.	a) Yıkama sularına (devamlı akar su) dikkat edilmeli. b)Kurutma santrifüjde yapılmalı.
Mat kaplama	a) Parlaticı noksan. b) Banyo sıcaklığı çok yüksek.	a) Parlaticı katılmalı. b)Elektrolit soğutulmalı.
Malzeme kaplama almıyor	a) Anotlar pasifleşmiş. b) Kaplanacak malzeme pasifleşmiş	a) Anotlar temizlenmeli, aktifleştirilmeli.b) Malzemeleri siyanür çözeltisinde veyaseyreltik HNO ₃ te aktifleştirin.

3.7. Metal Kaplama Öncesi Metale Uygulanması Gereken İşlemler

İyi bir kaplama elde edebilmek için kaplanacak maddenin temizlenmesi gerekir. Bu işlem kaplama işlemi kadar önemlidir. Metal yüzeylere yapışabilecek yabancı maddeler,

- Oksitler veya aşındırıcı etkiler sonucunda oluşan pas, leke, pul gibi ürünler,
- Organik maddeler, yağlar ve çeşitli şekildeki kirler olabilir [65].

Yağlar ve korozyon ürünlerinin giderilmesi sırasında diğer yabancı maddeler de bunlarla birlikte uzaklaştırılmış olur. Korozyon ürünleri mekanik temizleme veya pikling ile uzaklaştırılabilir. Pikling esnasında asit banyosunun uniform etki göstermesi için yağlar önceden temizlenmelidir. Bu işlemler yapılırken kaplanacak maddenin malzemesi, bileşimi, şekli, büyüklüğü gibi faktörlerin gözönüne alınması gerekir [65].

Temizleme işlemi şu sırayı izler

- 1 — Parça yüzünün düzeltilmesi ve temizlenmesi,
- 2 — Yağ, cila artıklarından temizleme ,
- 3 — Oksit tabakasının giderilmesi.

Bu işlemlerden sonra banyoda kaplama ve cilalama veya perdahlama yapılır [65].

3.7.1. Parça Yüzeyinin Düzeltilmesi ve Temizlenmesi

a) Mekanik Yolla Düzeltme

Kaplanacak parça çelik telden yapılmış fırçalar, zımpara taşları ve törpülerle düzeltilir. Yüzeylerin çok kaba olması halinde düzeltme kum püskürterek rodaj veya diğer mekanik aşındırıcılarla yapılır sonra özel fırçalarla parlatılır [63].

b) Elektrolitik Parlatma

Bu yöntemde parça elektrolit olarak sülfat, fosfat, kromat ya da sitrik asit nadiren de florür asidini içeren bir elektrolitik pile anot olarak yerleştirilir. Yüksek akım yoğunluğu uygulanır. Metal üzerindeki pürüzlerden yüksek noktalar öncelikle çözünür. Daha alt

noktalar yüksek olanlara nazaran pasiflik kazanır ve çözünme yüksek noktaların düzeyinin alttakilere eşit olmasına kadar devam eder. Bu durumda mekanik parlatma işlemine benzer bir etki ortaya çıkar ve parlak bir yüzey elde edilir. Elektrolitik parlatma, paslanmaz çeliklere, demir, nikel, bakır ve alüminyum alaşımlarına ve elektrolitik olarak kaplanmış gümüşe uygulanır. Elektrolitik parlatma işlemlerinde katot sadece devreyi tamamlama görevi görür [65].

3.7.2. Yağ, Cila Artıklarından Temizleme

Yüzeyi yağ ve cila artıklarından, organik yağlardan temizlemek için alkali sıcak yağlamabanyolarında sabunlaştırma yapılabilir. Hazır karışımlar (ilaçlar) % 5 – 10 oranında suda eritilerek 65 – 70 °C’ de 15–20 dakika müddet ile işleme tabi tutulurlar. Karışımda ekseriya “sudkostik, soda, trisodyum fosfat” ile inhibitör veya emülgatör yardımcı kimyasallar bulunur. Bunlar da temel metalin cinsine göre Alzamak, sarı pirinç ve demir için değişik oranlardadır [51].

Keza elektrolitik yağ almada da bu maddelerle birlikte bazı ilave tuzlar kullanılmak suretiyle, normal sıcaklıkta anodik veya katodik çalışılarak birkaç dakika gibi zaman diliminde işleme tabi tutulur. Katotta çıkan hidrojen gazı miktarı anotta çıkan oksijen gazının iki katı olduğundan gazın temizleme etkisi katotta daha fazladır. Mineral yağlar sabunlaşmazlar, bu tür yağlar ultrasonik temizleme ile giderilmelidir.

Elektrolitik yolla metal kaplamacılığında sıcak yağ alma, elektrolitik yağ alma ve müteakip işlerin peş peşe hiç ara verilmeden yapılması gerekir [51].

3.7.3. Oksit Tabakasının Kaldırılması

Yağdan temizlenmiş olan metalik parçaların üzerinde ince bir oksit filmi oluşur. Bu oksit filminin kaldırılması işlemine dekapaj denir. Demir ve çelik dekapajı için 2M HCl veya H₂SO₄ , döküm parçaları için % 1-1,5 luk HF, Cu alaşımları için H₂SO₄ , HNO₃ ve az miktarda HCl kullanılır [65].

4. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1. Giriş

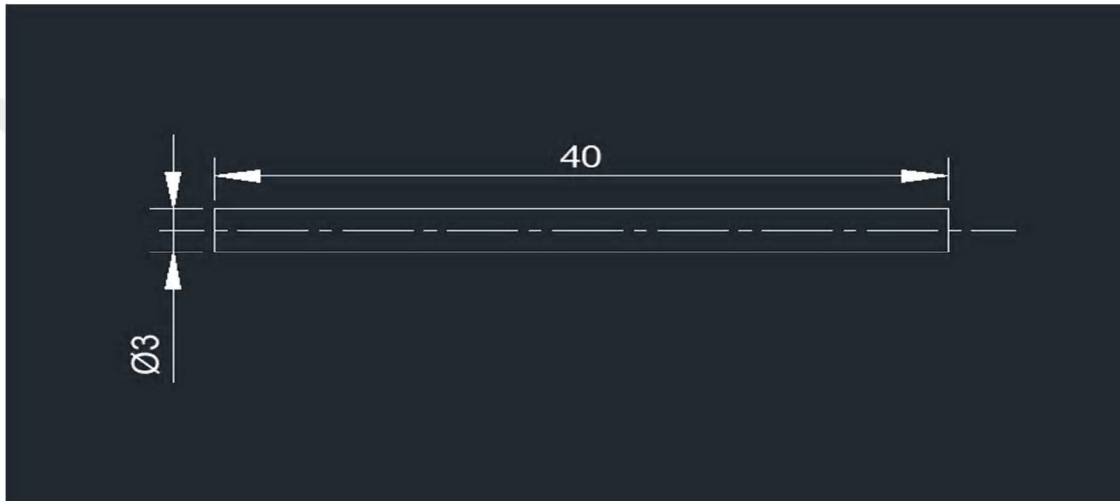
Tez çalışmasında, Elektrolitik Çinko Kaplama yöntemi ile 3 mm çapında 40 mm uzunluğunda hazırlanmış SAE 1212 otomat çeliği ve SH Yay Çeliğinden oluşan numunelerin(millerin) kaplama işlemi gerçekleştirilmiştir. Elektrolitik çinko kaplama yönteminde kaplanacak iş parçaları katot olurken, % 99,99 safiyetinde çinko levhalar anot olarak kullanılmıştır. Çinko kaplama işlemi iki farklı kaplama kalınlığında gerçekleştirilmiştir. Çinko kaplama sonrası numunelerin bir kısmına ikinci kaplama işlemi olarak pasivasyon yapılmıştır. İki farklı malzeme, iki farklı (10 ve 20 µm) kaplama kalınlığı, ve pasivasyon işlemine göre 10 farklı deney grubu oluşturulmuştur. Çinko kaplama ve pasivasyon işleminin numunelerin korozyon direncine etkisi araştırılmıştır.

Deney parametrelerine bağlı olarak numunelerin korozyon direncini tespit etmek için Potansiyodinamik polarizasyon tekniği kullanılmıştır. Potansiyostat, bünyesinde voltmetre ve bir akım ölçer bulunduran yüksek hassasiyetli bir güç kaynağıdır. Potansiyodinamik polarizasyon tekniği, belirli bir potansiyel aralığında bir metal-elektrolit sisteminin kısmen kısa bir süre içindeki genel korozyon profilini belirlemek amacıyla kullanılmakta olan güçlü bir metottur. Potansiyodinamik polarizasyon teknikleri parametreleri kullanıcı tarafından belirlenebilen bilgisayar destekli yazılımlar tarafından gerçekleştirilebilmektedir. Potansiyodinamik polarizasyon testleri için üç elektroda ihtiyaç vardır; korozyon davranışı incelenecek olan alaşımdan hazırlanmış elektrot, genellikle platinden hazırlanmış bir karşıt (counter) elektrot ve son olarak referans elektrot olarak gümüş-gümüş klorür (Ag/AgCl) elektrottur. Bu teknikle elde

edilen veriler numunelerin korozyon davranışını ortaya çıkarmak, korozyon direnci bakımından karşılaştırma yapmak için kullanılmıştır.

4.2. Numunelerin Hazırlanması

Bu çalışmada deney numunesi olarak 3 mm çapında 40 mm uzunluğa sahip örnekler kullanılmıştır. Deney numunesine ait teknik resim Şekil 4.1 de verilmiştir.



Şekil 4.1 Deney numunesine ait teknik resim

Numune malzemesi olarak SAE/AISI 1212 otomat çeliği ve SAE/AISI 1080 yay çeliği seçilmiştir. Bu malzemeler ülkemizde çelik standardımıza göre Ç 1113 otomat çeliği ve Ç 1080 (SH) yay çeliği olarak karşılık bulmaktadır. Bu sebeple deneysel çalışma kısmında bu şekilde kullanılmış olup Ç 1113 ve SH yay çeliğine ait kimyasal bileşim Tablo 4.1’de gösterilmiştir.

Tablo 4.1. Deneysel Çalışmada Kullanılan Otomat (Ç 1113) ve yay (SH) ve çeliklerinin Kimyasal Bileşimi.

Çelik	C	Si	Mn	P	S	Cu
Ç-1113 / AISI 1212	0.090- 0.15	-	0.60-0.80	0.100-1.20	0.250-0.300	
Yay (SH) / AISI 1080	0.35- 1,00	0.10- 0.30	0.50-1.20	0.035- 0.020	0.035- 0.020	0.20- 0.15

Çelik, çok önemli konstrüksiyon malzemesi olup, Demir (Fe) Karbon (C) alaşımıdır. C'dan başka farklı oranlarda alaşım elementleri ve empürite (saf olmayan, kirlilik yaratan) elementler bulunur. Mangan (Mn), Fosfor (P), Kükürt (S) ve Silisyum (Si) üretim sırasında hammaddeden kaynaklanan elementler olup, çelik bünyesinde belirli oranlarda bulunur. Çeliğe farklı özellikler kazandıran içerdiği elementlerin kimyasal bileşimi ve çeliğin içyapısıdır. Vasıflı Çelikler alaşımsız, düşük alaşımlı ve alaşımlı çelikler olup, kitlesel olarak üretilen çeliklerden bazı noktalarda ayrılmaktadır. Bu noktalar; Üretim yöntemi, Üretim araçları, Alt limitlerde bulunan S, P ve diğer empüriteler ile çözünmüş gaz miktarlarıdır.

Çeliğe değişik oranlarda alaşım elementleri (Cr, Ni vs.) katılabileceği gibi, çeşitli ısıl işlemler (ıslah, normalizasyon vs.) ile içyapı da kontrol edilerek kullanım amacına göre değişik özellikler elde edilir.

- Çeliklerin büyük çoğunluğu ısıl işlemlere karşı duyarlıdır. Bu nedenle kimyasal bileşimin yanı sıra uygulanan ısıl işlemler sonucunda istenen sertlik, mekanik ve fiziksel özellik, elektriksel özellik, korozyona ve yüksek sıcaklığa dayanım özelliklerine tam olarak kavuşturulabilir.
- Çelikler yapılarının gerektirdiği sıcaklıklara kadar ısıtıldıklarında şekillenme özelliğine kavuşur (haddeleme, presleme, dövme). Ayrıca kimyasal bileşim ve içyapı olarak uygun olan çelikler haddeleme, presleme gibi yöntemlerle soğuk olarak da şekillendirilebilir.
- Talaş kaldırıcı tezgâhlarda işlenerek, istenilen şekil ve yüzey düzgünlüğüne getirilebilir. Kimyasal bileşim olarak uygun olan çelikler kaynak işlemi ile birleştirilebilir.
- Çeliklerin büyük bir bölümü çeşitli yöntemler ile metal ile kaplanmaya, emaye yapılmaya, boyanmaya ve plastik maddeler ile kaplanmaya elverişlidir.

Bu çalışmada kullanılan Otomat Çeliklerinin genel özellikleri; Otomat çelikleri karbon oranı % 0,07-0,60 arasında değişen ve kükürt oranı % 0,15 ile % 0,40, fosfor oranı % 0,07-0,10 arasında olan çeliklerdir. Kükürt ve fosforun diğer tüm kalitelere azaltılmaya çalışmasına karşın, talaşlı işlem kabiliyetini artırmasından dolayı otomat çelikleri içine özellikle ilave edilir. İlave edilen bu elementler malzemede metalik kırılma sağlanarak, kısa kırılma talaş oluşumunu sağlar. Bunun yanı sıra kükürt ve fosfor ilavesi yağlama etkisi yaparak, parça dayanımının artmasına, temiz yüzey elde edilmesine imkan tanır. Çelik malzemelerden istenen özellikler arasında talaşlı işlenebilirlik kabiliyeti önem arz eder. İmalat aşamasında, yüksek kesme hızları ve buna bağlı olarak işlem zamanı, takım ömrü, iyi yüzey kalitesi, daha düşük kesme kuvvetleri kullanarak sağlanacak enerji tasarrufu gibi kriterler, diğer faktörlerle birlikte malzeme kalitesiyle de direkt alakalıdır. Bu kaliteyi sağlamak amacıyla otomat çelikleri geliştirilmiştir. Otomat çeliğinin en önemli kullanım yerleri; Otomotiv endüstrisi, aparat ve cihaz yapımı, seri imalat parçaları yapımıdır.

Otomat çeliklerinin ıslah edilebilme ve sementle edilebilme özellikleri vardır. Tablo 4.2.'de Ç1113 / SAE 1112 (DIN Normu) soğuk çekilmiş Otomat çeliği için mekanik özellikleri, Tablo 4.3.'de Ç1113 / SAE 1112 normal tavllanmış Otomat çelikleri için mekanik özellikleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Ç1113 / SAE 1112 Soğuk Çekilmiş Otomat Çeliği İçin Mekanik Özellikleri

Çekme Dayanımı (Mpa)				Akma Sınırı (≥ Mpa)				Kopma Uzaması (≥ %)			
≤10 mm	10 mm-	16 mm-	40 mm-	≤10 mm	10 mm-	16 mm-	40 mm-	≤10 mm	10 mm-	16 mm-	40 mm-
	16 mm	40 mm	63 mm		16 mm	40 mm	63 mm		16 mm	40 mm	63 mm
540- 780	490- 740	460- 710	390- 640	410	390	355	295	7	8	9	10

Tablo 4.3. Ç1113 / SAE 1112 Normal Tavlanmış Otomat Çeliği İçin Mekanik Özellikler

Normal Tavlama Sıcaklığı (°C)	Çekme Dayanımı (Mpa)			Akma Sınırı (≥ Mpa)			Kopma Uzaması (≥ %)
	≤ 16 mm	16 mm-40 mm	40 mm-63 mm	≤ 16 mm	16 mm-40 mm	40 mm-63 mm	≥63
90-920	≥350	≥350	≥350	225	215	205	25

Bu çalışmada kullanılan Yay Çeliklerinin genel özellikleri; Yay malzemesi olarak kullanılacak çeliklerde istenilen özellikler, yeterli yük dayanımı, iyi esneklik, kırılmaya karşı sınırsız emniyet şeklinde tariflenebilir. Bu özellikler ancak uygun çelik seçimi ve ısıtım işlemi ile mümkün olabilir. Yük dayanımının artırılması ile malzemenin sünekliğini kaybetmemesi esastır. Esnek parçaların üretimi hususunda dikkat edilmesi gereken önemli hususlardan biri, parçaların kaynak edilmesinin sakıncasıdır. Bunlara ek olarak; yüzey çentik etkisi, ısıtım işleminden kaynaklanabilecek iç çatlaklar, yüzeyde oluşan ve malzemenin homojen sertliğini bozar etkideki dekarbürasyon gibi olaylar, kırılma etkisini artıran sebepler olarak belirtilebilir. Ayrıca, yüzey pürüzlülüğünün hassasiyeti, termokimyasal sertleştirme (nitürasyon), kumlama gibi işlemler kırılma tehlikesini azaltıcı işlemler olarak söylenebilir. Çelik malzemeye şekil verme işlemi oda sıcaklığında gerçekleşirse, yüksek oranda eğilme gerilmeleri meydana gelir ki, bu durum üretilen parçanın esnekliğini düşürür. Bu sebeple şekil verilmiş parçaların düşük sıcaklıklarda tavlama işlemi uygun olur. Tablo 4.4.'de Tavlı-soğuk çekilmiş-alaşımısız yaylık çelik telin çalışma sıcaklığı ve çekme dayanımı verilmiştir.

Tablo 4.4. Tavlı-soğuk çekilmiş-alaşımısız yaylık çelik (SH) / SAE 1080

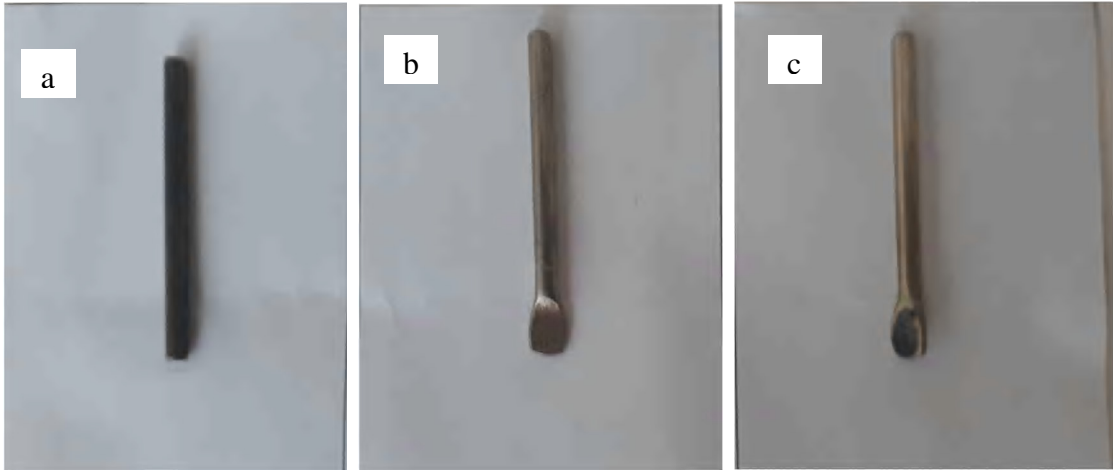
Yaylık Tel Kalitesi	Burulma deneyinde bükülme sayısı	Malzeme No	Çekme Dayanımı(Mpa)	Çalışma Sıcaklığı
SH	22	1.1200	1820-2020	-15 ila +80 °C

Soğuk çekilmiş yaylık telin kullanım alanları; Yüksek statik yükü veya hafif dinamik yüklerle maruz kalacak olan itme, basma ve burulma yayları.

4.2.1. Numunelerin Kaplanması: Elektrolitik Çinko Kaplama

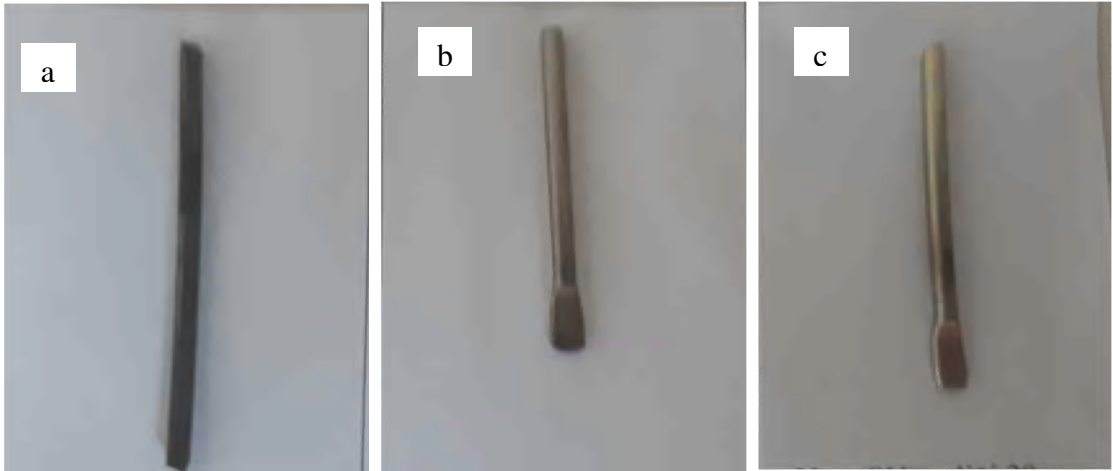
Çinko kaplama her türlü demir ve çelik tellere, demir plakalara ve demir metal parçalara uygulanmaktadır. Çinko kaplama; Alkali ve Asitli elektrolitlerde elde edilir. Çinko kaplama, diğer kaplamalara oranla atmosferik korozyona karşı daha fazla koruma sağlar. Çinkonun kimyasal sembolü; Zn, Atom ağırlığı: 63,38 g/mol, birleşme değeri; 2, Özgül ağırlığı; 7 gr/cm³, ergime sıcaklığı; 419.4⁰C olup, elektrokimyasal eşdeğeri; Ae, 1,2193 gr/Ah. dir. Elektrolitik çinko, kesildiği an Gümüşü beyaz renktedir, Gümüş gibi yumuşak ve bükülgendir [53].

Şekil 4.2' de Ç 1113 çeliğine ait deney numunesinin fotoğrafı görülmektedir. Şekil 4.2-a kaplamasız, b-c ise elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu Ç 1113'e ait görüntüleri vermektedir.



Şekil 4.2. (a) Kaplamasız Ç 1113 çeliği numunesine ait, (b) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı Ç 1113 çeliği numunesine ait, (c) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu Ç 1113 çeliği numunesine ait görüntüleri

Şekil 4.3'de yay çeliğine (SH) ait deney numunesinin aynı sıra ile görüntüleri verilmektedir.



Şekil 4.3. (a) Kaplamasız yay çeliği numunesine ait, (b) 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait, (c) 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait görüntüler

Çinko kaplamada, çinko kaplama tabakası anodik davranmak sureti ile kendisini kurban ederek metali korurken iş parçaları katot olarak davranır ve korunur bu nedenle yaygın olarak endüstride kullanılır. Çinko kaplamanın koruyucu özelliği, muntazam ve iyi yapışma sağlamasından, atmosferik korozyona karşı gösterdiği yüksek dirençten, çeşitli atmosferik şartlarda oluşan ZnSO_4 dışındaki $\text{Zn}(\text{OH})_2$, ZnCO_3 ve ZnCl_2 yapısındaki korozyon ürünlerinin yüzeye sıkı yapışmasından kaynaklanmaktadır. Yapışma mukavemetinin iyileştirilmesi için en ehemmiyetli adımın kaplama öncesi optimum bir mekanik parlatma adımı olduğu tespit edilmiştir. Korozyona mukavemetin kaplama kalınlığının çok artmasıyla azaldığı tespit edildiğinden, kullanım yerine göre 5-50 μ , dış atmosfere maruz kalacak parçalar için ise minimum 12 μ olması gerekmektedir. Malzemenin kullanım amaçlarını kaplama sonrası engellememesi, esnek, ucuz ve kaplama metotlarının kolay ve problemsiz oluşu, malzemeyle iyi bütünleşmesi gibi nedenlerle de çinko bir tercih nedeni olmuştur. Çinko metali ve tuzları zehirleyici, 40 mg/l konsantrasyonda öldürücü özelliği olması nedeni ile doğrudan gıdalara temas edecek yüzeylere uygulanmamalıdır. Beyaz eşya, otomotiv, elektrikli ev aletleri vb. aksam ve yedek parçalarının kaplanmasında özellikle çinko tercih edilmektedir. Çinko kaplamalar sıcak daldırma veya elektrolitik olarak yapılmaktadır. Elektrolitik kaplama "asidik" ve "bazik" olmak üzere iki şekilde yapılmaktadır. Bazik yöntem de "siyanürlü"

ve "siyanürsüz" olmak üzere iki türlü uygulanır. Asidik banyolarda çinko fluoroborat, perklorat veya sulfamat ve pirofosfattan oluşabildiği gibi hemen tümünde sülfat, klorür veya her ikisinin karışımı kullanılır [67].

Çinko çok hafif bir metal olduğu için, diğer elementler ve bileşikler ile birleştirilir. Çinkonun kaplanacağı birçok elektrolit ve banyo mevcuttur. Kaplama kalitesi güzel olduğu için alkali siyanür banyosunda kaplama yapılmıştır. Alkali çinko kaplama çözeltisi, daha ince taneli, daha parlak ve nispeten yüksek dağılma güçlü çinko kaplamaları verirler ve bu sebeple çok sık kullanılırlar. Alkali çinko kaplama banyo reçetesi ve kaplama işlem adımları aşağıda verilmektedir. Elektrolitik çinko kaplama % 99,99 safiyetinde çinko anot kullanılmaktadır. Tablo 4.5' de çinko kaplama bileşimi verilmektedir.

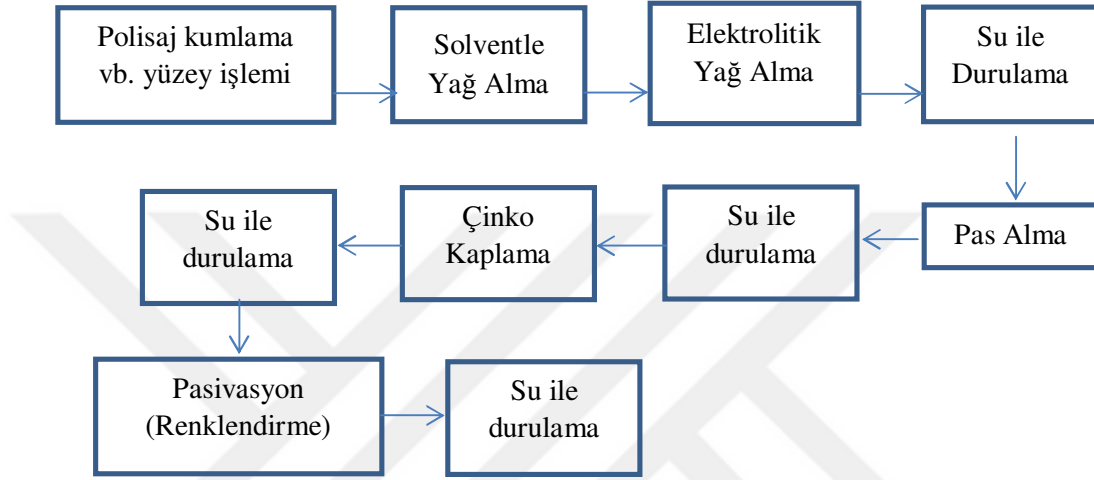
Siyanürlü banyo bileşiminde 1 litrede 62 gram ($Zn(CN)_2$) çinko siyanür, 85 gram (NaOH) sodyum hidroksit, 40 gram (NaCN) sodyum siyanür ve 5 gram çinko parlaticı (patent) bulunmaktadır. (Bu çözeltide ilk olarak 10 μm daha sonra bekletme süresi iki katına çıkarılarak 20 μm kaplamalar yapılmıştır)

Tablo 4.5 Elektrolitik çinko kaplama parametreleri.

Kullanılan Kimyasal Madde	Çinko Siyanür 62 g/L
	Sodyum Siyanür 40/g/L
	Sodyum Hidroksit 85/ g/L
	Çinko Parlaticı 5 g/L
Banyo sıcaklığı	Oda Sıcaklığı
Akım Yoğunluğu	1-3 Amper / dm^2
Banyo Kazanı Malzemesi	PVC

Kaplanacak malzemeler katoda bağlanmıştır. Kaplama banyosu oda sıcaklığında çalıştırılmıştır. Redresörü açarak dm^2 'ye 1-3 Amper akım verilmiştir. Tablo 4.6.da numunelerin 10 μm ve 20 μm kaplanmasına göre bekleme süreleri verilmiş olup, süre sonunda Redresör kapatılıp akım kesilmiştir. Kaplanmış malzeme yıkama banyosunda

iyice durulanmıştır. Aynı zamanda Elektrolitik yöntemle çinko kaplama öncesi yüzey temizliği kaplamanın yapışması açısından çok önemlidir. Bu nedenle çalışmada kullanılacak numuneler mekanik ve kimyasal ön temizleme işlemlerinden geçirilmiştir. Çinko kaplama prosesine ait akış şeması Şekil 4.4’de gösterilmektedir.



Şekil 4.4. Çinko kaplama iş akışı

4.2.2. Pasivasyon Banyosu

Çinko kaplamadan sonra pasivasyon yapılmıştır. Pasivasyon işlemi yüzeyde gözle görünmeyen pürüzleri giderdiği gibi kaplamaya güzel görünüm (canlılık) vermiştir. Tablo 4.7 de Sarı pasivasyon için kaplama bileşimi verilmiştir.

Sarı renkli kaplama çözeltisi (% 20 Kromik Asit (CrO_3) + % 3 Sülfirik Asit (H_2SO_4) + % 3 Nitrik Asit (HNO_3)) (Pasivasyonla yapılan kaplamalar bu çözeltide bekletilerek yapılmıştır)

Tablo 4.6. Kaplama kalınlığına göre çinko kaplama işlem parametreleri

Süre	Sıcaklık	Malzeme	Ölçü	İşlem
30 Dakika	22 °C	SAE 1112	10 µm	Elektrolitik Çinko Kaplama
30 Dakika	22 °C	SAE 1080	10 µm	Elektrolitik Çinko Kaplama
60 Dakika	22 °C	SAE 1212	20 µm	Elektrolitik Çinko Kaplama
60 Dakika	22 °C	SAE 1080	20 µm	Elektrolitik Çinko Kaplama

Tablo 4.7. Sarı pasivasyon için kaplama bileşimi

Kullanılan Kimyasal Madde	Kromik Asit 200 g/L
	Sülfirik Asit 25 g/L
	Nitrik Asit 25 g/L

Malzeme banyoya asılmıştır. Banyonun kapağı kapatılmıştır. Banyo oda sıcaklığında Tablo 4.8. deki Sarı pasivasyon süresinde çalıştırılmıştır.

4.3. Numunelere Uygulanan Analizler

4.3.1. Tafel ve OCP Analizi

Deney hücresi olarak pyreks camdan yapılmış çok ağızlı bir hücre kullanılmıştır. Hücre, yaklaşık 70 ml' dir. Hücre, elektrotları ve gaz giriş-çıkışlarını sağlayan kısımlarıyla Tablo 4.8. Sarı pasivasyon süresi

Süre	Sıcaklık	Malzeme	Ölçü	İşlem
60 saniye	22 °C	SAE 1212	10	Pasivasyon
60 saniye	22 °C	SAE 1080	10	Pasivasyon
60 saniye	22 °C	SAE 1212	20	Pasivasyon
60 saniye	22 °C	SAE 1080	20	Pasivasyon

birlikte Şekil 4.5’de gösterilmiştir. Deneyle başlanmadan önce tüm kaplanmış çelik örneklerin potansiyelinin zamanla sabit kalması amacıyla potansiyel-zaman grafiği alınmıştır. Yapılan denemeler sonucunda potansiyelin 300 saniye süreye ulaştığında sabit kaldığı tespit edilerek optimum koşullar kaydedilmiştir.

Bu çalışmada - 300 mV ile + 300 mV tarama aralığında 1 mV/sn tarama hızıyla uygulanan bir döngüsel polarizasyon ölçümü gerçekleştirilmiştir. Taramaya başlamadan önce örnek elektrotların sabit açık devre potansiyeli değerleri belirlenmiştir. Deneyde, her bir deneyin sonuçları kullanılarak tafel eğrileri çizilir, eğriler üzerinde korozyon potansiyeli ve korozyon akımı belirlenir. Her deneyde aynı koşullarda kaplanmış çelikler kullanılarak en az üç tekrar deneyi yapılmıştır. Platin ve referans elektrotlar her deney öncesi çift distile su ile yıkanarak temiz hale getirilmiştir. Çalışmalarda kullanılan deney sistemi CH Instrument 660 B potansiyostat (Inc., Austin, USA), Polyscience thermostat (Polyscience, Division of Preston Industries Inc., USA), döner disk elektrot(BAS, RDE-2) ve bilgisayar sisteminden oluşmaktadır (Şekil 4.5) .

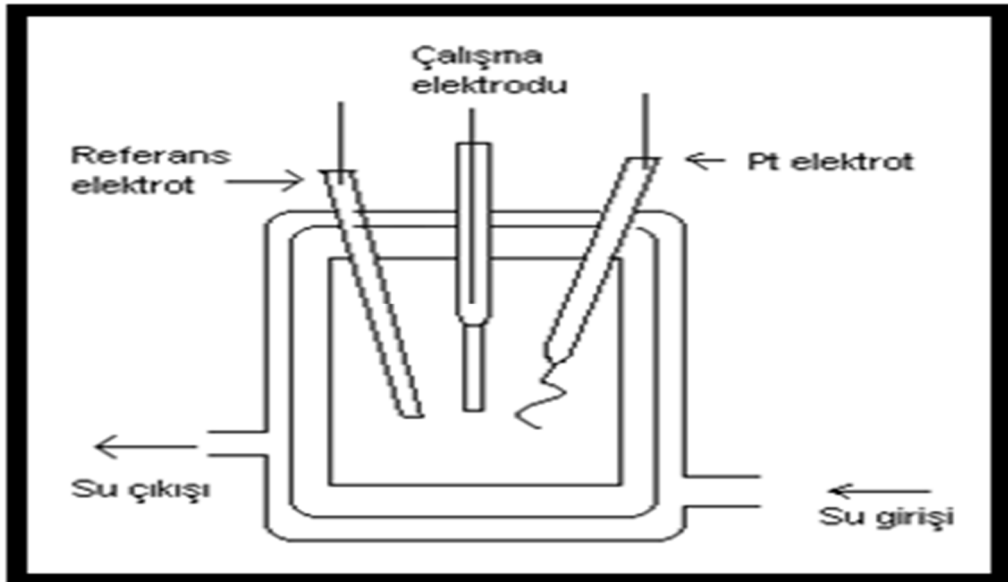


Şekil 4.5. Üçlü elektrot sisteminden oluşan elektrokimyasal hücre

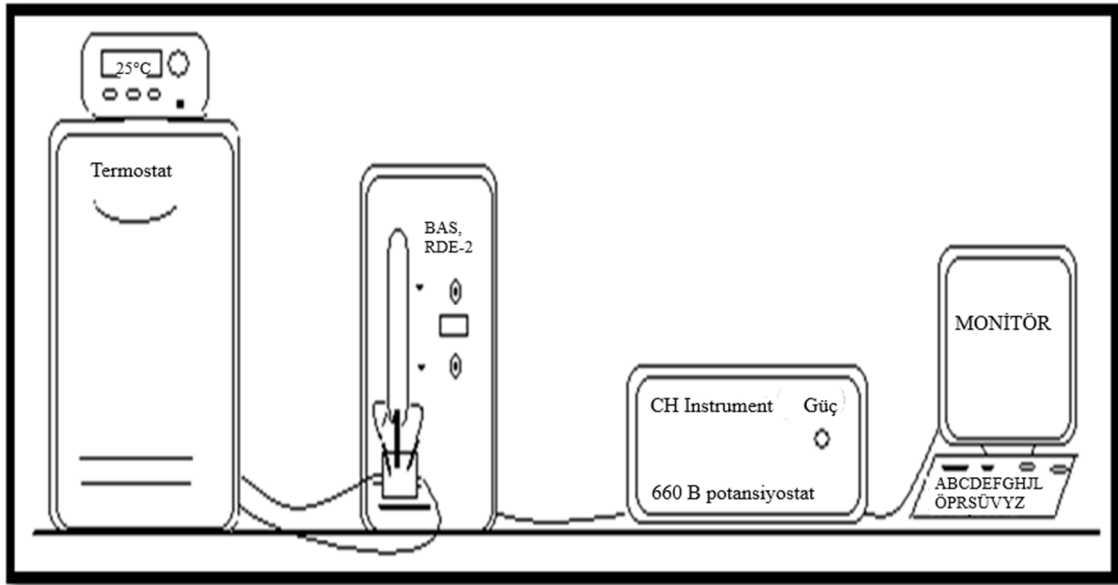
Akım-potansiyel eğrilerinin Tafel doğrularının korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızları, AC - empedans diyagramından elektrot/çözelti ara yüzeyinin elektriksel direnci için tüm deneyler, açık hava atmosferinde ve oksijen varlığında 25 ± 1 °C sıcaklıkta yapılmıştır. Sıcaklığı sabit tutmak amacıyla cam hücrenin dış bölmesinde bu sıcaklıktaki su dolaştırılmıştır. Şekil 4.6'da Elektrokimyasal sistem ve çalışma düzeneği verilmiştir. Şekil 4.7'de Üçlü elektrot sisteminden oluşan elektrokimyasal hücre şematik şekli çizilmiştir. Şekil 4.8'de Elektrokimyasal sistem ve çalışma düzeneği şematik resmi çizimi görülmektedir.



Şekil 4.6. Elektrokimyasal sistem ve çalışma düzeneği



Şekil 4.7. Üçlü elektrot sisteminden oluşan elektrokimyasal hücre çizimi [66]



Şekil 4.8. Elektrokimyasal sistem ve şematik çalışma düzeneği

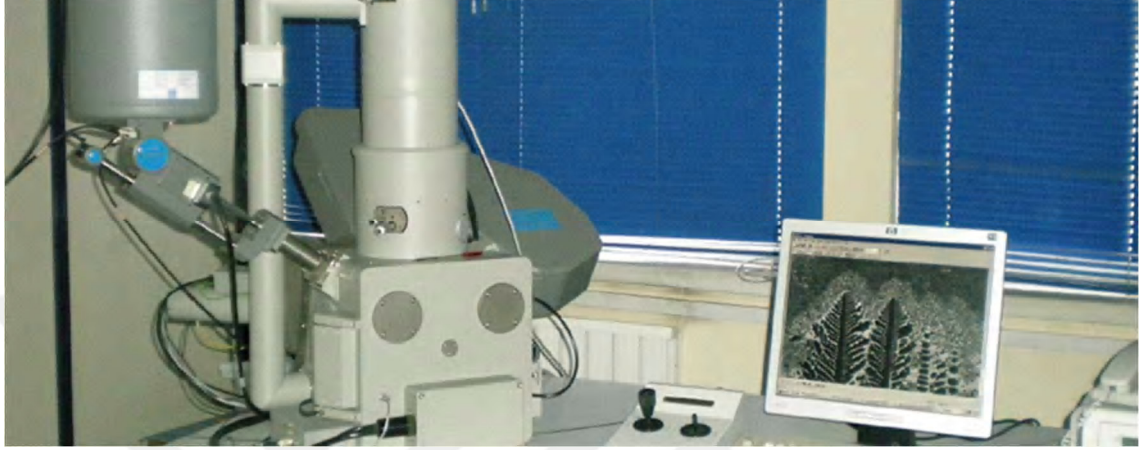
Deney hücresi 25°C'ye ulaştığında çelik örnekler, cam hücrenin orta bölümüne, referans elektrot ve karşıt elektrot ise diğer yan bölmelerine yerleştirilip, elektrotların potansiyostat ile bağlantıları yapılarak tüm deney yapılmıştır.

Potansiyodinamik yöntemle akım potansiyel eğrileri 1 mV/ sn tarama hızıyla elde edilmiştir. Bu ölçümler, her örnek için üç kez yapılarak elde edilen deney sonuçlarının ortalaması alınmıştır. Ölçümlerden bilgisayar yazılımı (CHI 660B Electrochemical Workstation Software, Austin, USA) yardımıyla korozyon hızı (i_{kor}), korozyon potansiyeli (E_{kor}), anodik-katodik Tafel eğimleri (β_a ve β_c) ve polarizasyon direnci (R_p) değerleri hesaplanmıştır.

4.3.2. SEM ve EDX Analizleri

Çinko kaplamalarda asitli ve tuzlu ortamda yüzeyde oluşan yapıyı görmek amacıyla taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanılmıştır Şekil 4,9'da gösterilen taramalı elektron mikroskobu (SEM) tamamen dijital olup bilgisayar kontrolü ile çalışmaktadır. Modeli Leo 440 Computer Controlled Digital dir.5x300.000 arası büyütme kapasitesine sahiptir. Yüzey mikro yapıyı görüntüleyerek tanecik boyutu ve farklı kristollagrafik fazları dedekte etme kabiliyetine sahiptir. 5 eksen motorize kartezyen kontrolü

($X=100\text{mm}$, $Y=120\text{mm}$, $Z=60\text{mm}$, $\text{Tilt}=0-90^\circ$, $\text{Dönme}=360^\circ$) ile çalışmaktadır. SEM analizine tabi tutulan numuneler üzerinden EDX analizi de gerçekleştirilerek tuzlu ortamda test sonrası beyaz ve kırmızı pas görülen yüzeylerde çinko, demir, krom, karbon ve oksijen miktarlarına ulaşılmıştır.



Şekil 4.9. Taramalı elektron mikroskobu (SEM)

4.3.3. XRD Analizi

XRD sistemi; Yaygın olmamakla birlikte bazı katı organik bileşiklerin, katı organik polimerlerin, plastiklerin, organik boyar maddelerin v.s. analizlerinde de kullanılmaktadır. Şekil 4.10'da X - Işınları Toz Difraksiyon Cihazı (XRD) 20kV-60kV ve 6mA-80mA aralığında full otomatik ve bilgisayar kontrollü olarak çalışma kapasitesine sahiptir. Modeli Bruker Axs D8 Advance dir.

Sistem seramik x-ışınları tüpüyle donatılmış olup, değişik dalga boylarında x-ışını üretimi için Cu, Mo veya Cr seramik tüpler kullanılmaktadır. Cihazın minimum adım açısı 0.0001° 'dir. Bu nedenle numuneden toplanacak veri sayısı oldukça fazla olabilmektedir. Bu ise sistemin x-ışınları toz difraksiyon tekniğine dayalı olarak yapılmakta olan teorik modelleme (Rietveld metodu gibi) analizlerine uygun olmasını sağlamaktadır. Sistem yüksek sıcaklık toz difraksiyon ölçümleri için de donanımlı olup XRD ölçümleri oda sıcaklığı ile 1600°C sıcaklığı aralığında yapılabilmektedir. Bu ölçümler sonunda kristalografik faz dönüşümleri, faz geçiş sıcaklıkları, termal genleşme gibi özellikler incelenebilmektedir. Sistem sıcaklığa bağlı olarak oluşan zemin

düzeltilmesini otomatik olarak düzeltmektedir. XRD toz desenlerinin dikey-yatay-üstüste (3D) olarak görüntülenmesi yapılmaktadır.



Şekil 4.10. X - Işınları Toz Difraksiyon Cihazı (XRD)

4.3.4. AFM Analizi

Kaplama yüzey yapılarının tespit edilmesinde kullanılmıştır. Şekil 4.11’de görülen Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM) nun modeli Model: Veeco Multimode 8 dir.



Şekil 4.11. Atomik Kuvvet Mikroskobu (AFM)

AFM Analizi, yüksek çözünürlükte her tür malzeme yüzeyinin (Metal,seramik, polimer) incelenmesini sağlar. Ayrıca Nano boyutta sertlik ölçümü, Nano Aşınma, Nano ölçekte kaplama tabaka kalınlığı ölçümü özelliği vardır.

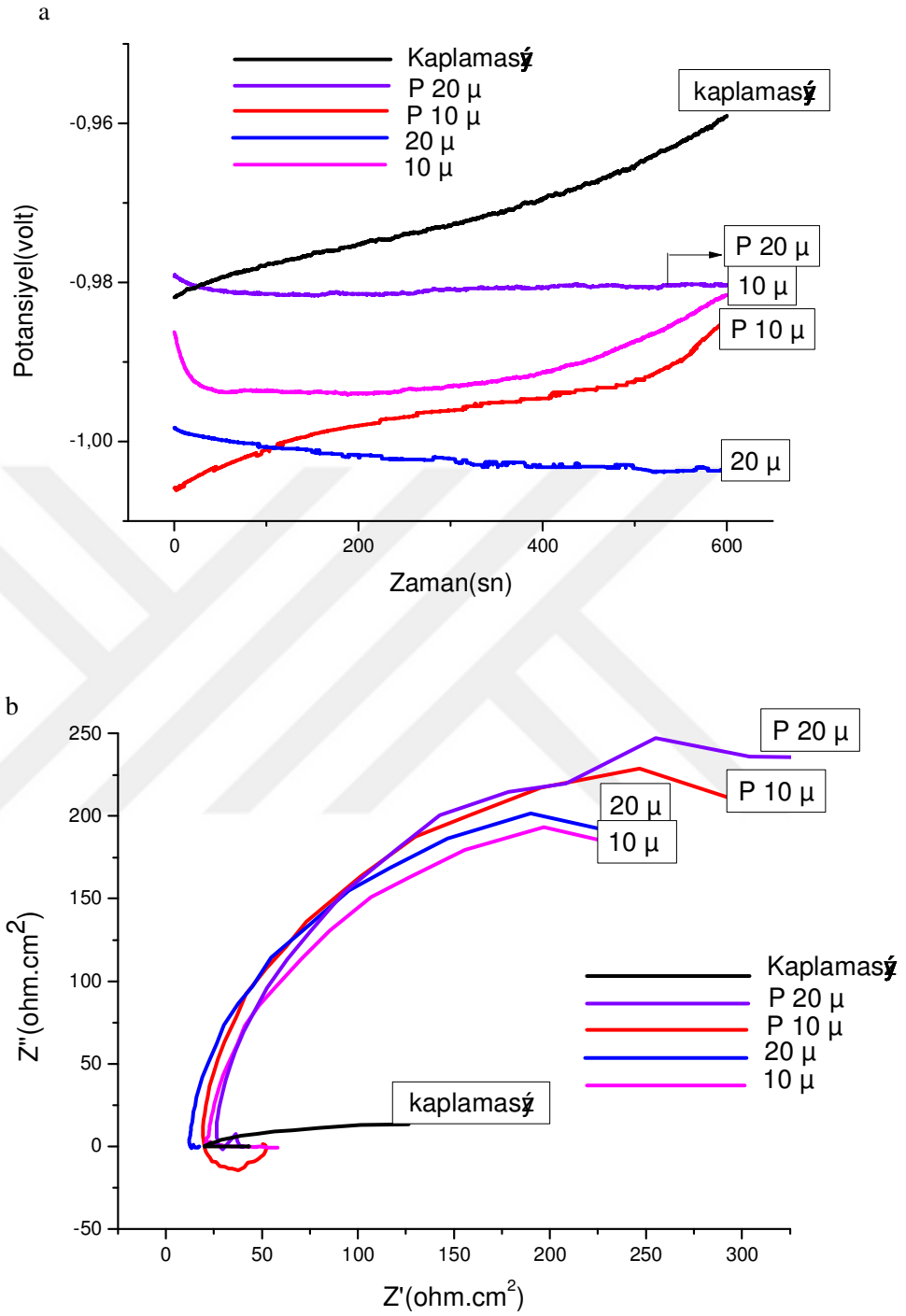
5. BÖLÜM

DENEY SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

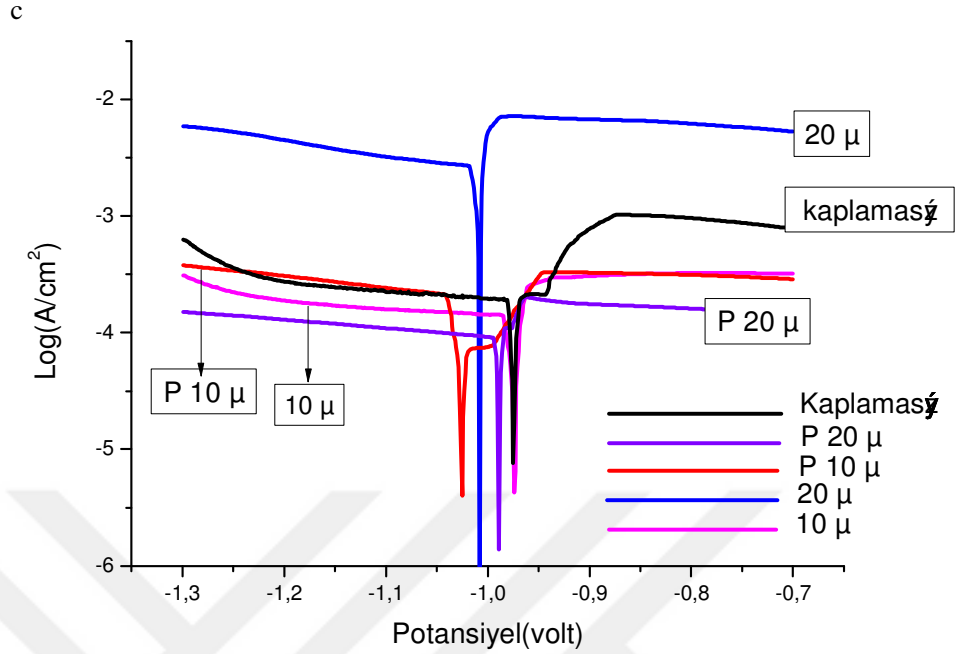
5.1. Otomat Çeliği İle Yapılan Korozyon Deneyleri

5.1.1. Otomat Çeliği (SAE 1212) Asidik Ortamda Korozyon Bulguları

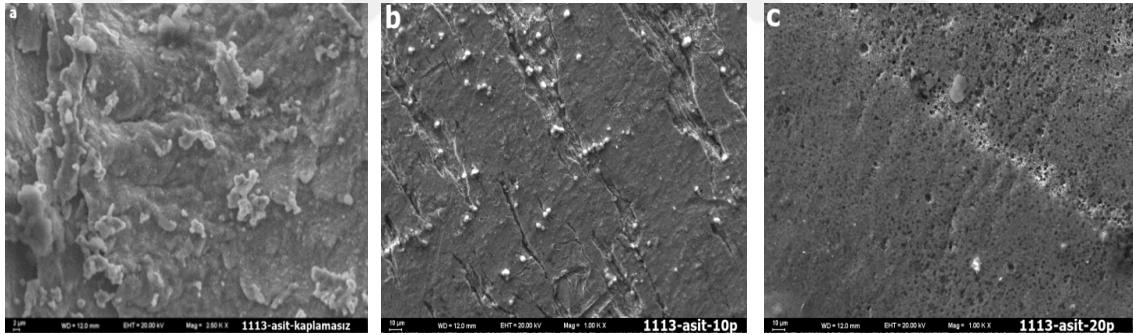
Şekil 5.1.'de 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç-1113 çeliğin asidik ortamdaki a) potansiyel- zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Öncelikle potansiyelin zamanla -1 volt ve 300 sn 'de sabitlediği optimum koşullar elde edilmiştir. Kaplamasız otomat çeliğin potansiyeli kaplamalı olana göre daha pozitif bölgede olduğu görülmüştür. Buna karşın kaplamalı otomat çeliklerinin potansiyeli daha negatif bölgededir. AC-empedans grafiklerinde kaplama kalınlığı arttıkça asit çözelti ortamına karşı dirençte artış görülmemiştir. Empedans ölçümleri kaplamaların korozyon direncini doğrulama açısından kullanılmaktadır [47]. Akım-Potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı ve diğer korozyon parametreleri Tablo 5.1.a)' da verilmiştir. Korozyon direnci 3 farklı yöntemle hesaplanmıştır. Kaplama kalınlığı arttıkça korozyon hızında bir azalma olmamıştır. Şekil 5.2.'de SAE 1212 çeliği nin asidik ortamda yapılan deneylerden sonra yüzey fotoğraflarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.1. a) 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı, 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç 1113 çeliğin asidik ortamdaki potansiyel-zaman, b) AC empedans eğrileri



Şekil 5.1. c) 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç 1113 çeliğin asidik ortamdaki akım potansiyel eğrileri



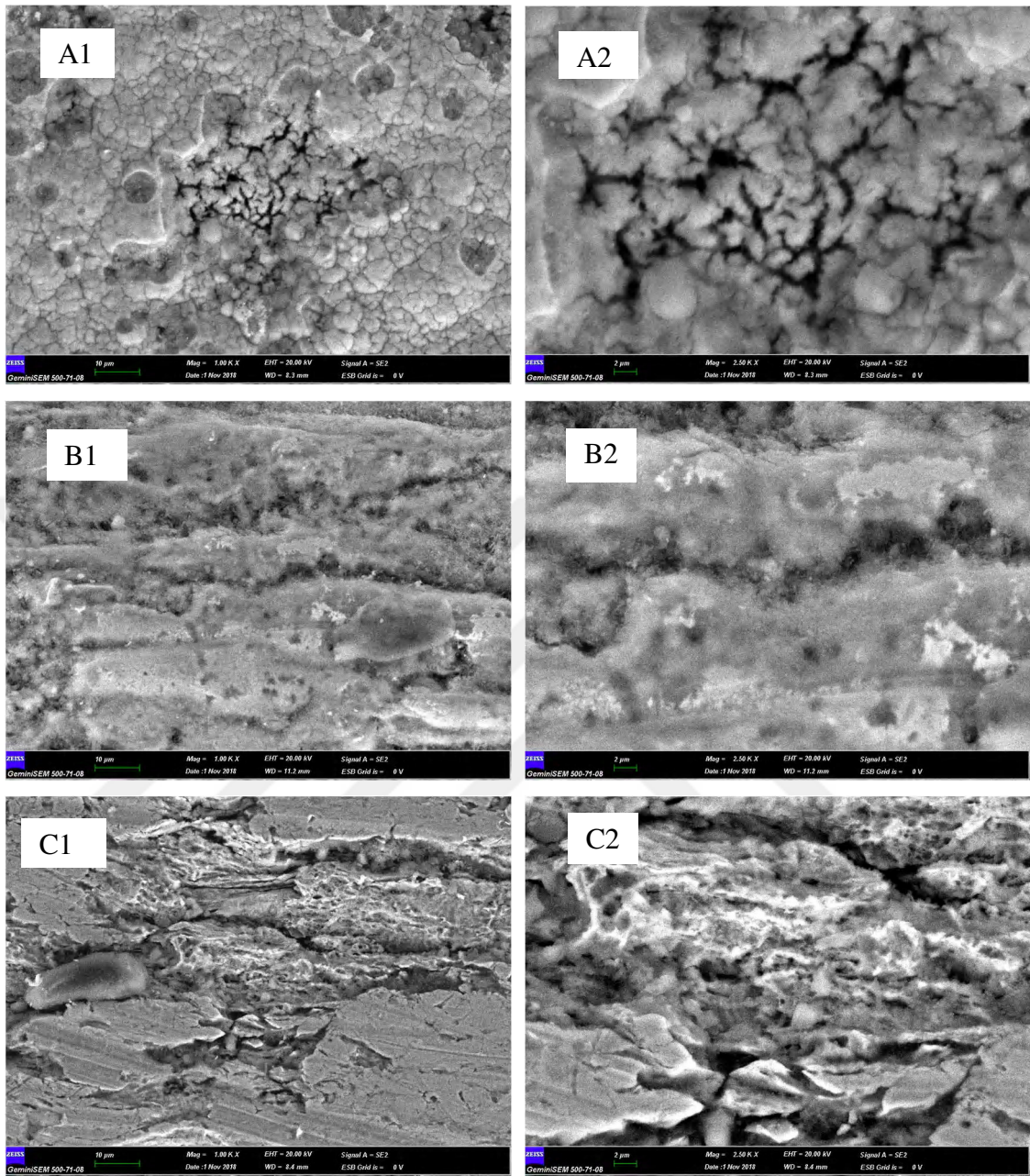
Şekil 5.2. SAE 1212 çeliği ile asidik ortamda (a=kaplamasız, b= 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri

Tablo 5.1. SAE 1212 çeliğinin asidik (0.05M HCl) ortamında ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (i_{kor}) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,01)

Otomat Çeliği (Ç-1113)	E_{kor} (Volt)	B_c (mV dec ⁻¹)	B_a (mV dec ⁻¹)	R_p (m Ω cm ²)	i_{kor} (mA cm ⁻²)		İnhibisyon (%)			Ort.
					(S-G)	(Tafel)	i_{kor}	S-G	R_p	
Kaplamasız	-0.812	989	291	159	0,6	17,1				
10 μ	-0,824	285	250	40	1,5	19,2	-36	-141	-297	-158
20 μ	-1,000	830	2461	22	12,3	12	7	-1942	-623	-853
P 10 μ	-0,903	1030	1976	42	7,0	9,2	28,7	-1067	-279	-439
P 20 μ	-0,991	729	467	76	1,6	6,8	47	-171	-109	-78

5.1.2. Otomat (SAE 1212) Çeliğinin Asidik Ortamda Korozyon Sonuçları

Otomat çeliğinin asidik ortamda ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen verilere göre korozyon hızında bir azalma olmamıştır. Otomat çeliği için bir koruma sağlanmamıştır. Kaplamasız otomat çeliğinde Şekil 5.2. de ki SEM görüntülerine bakıldığında kaplanmış yüzeylere ek olarak pasivasyon işlemi uygulandıktan sonra gözeneklerde bir kapanma görülmemiştir. Şekil 5.3'de (A1-A2) asidik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 μ m elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (C1-C2) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 μ m elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.

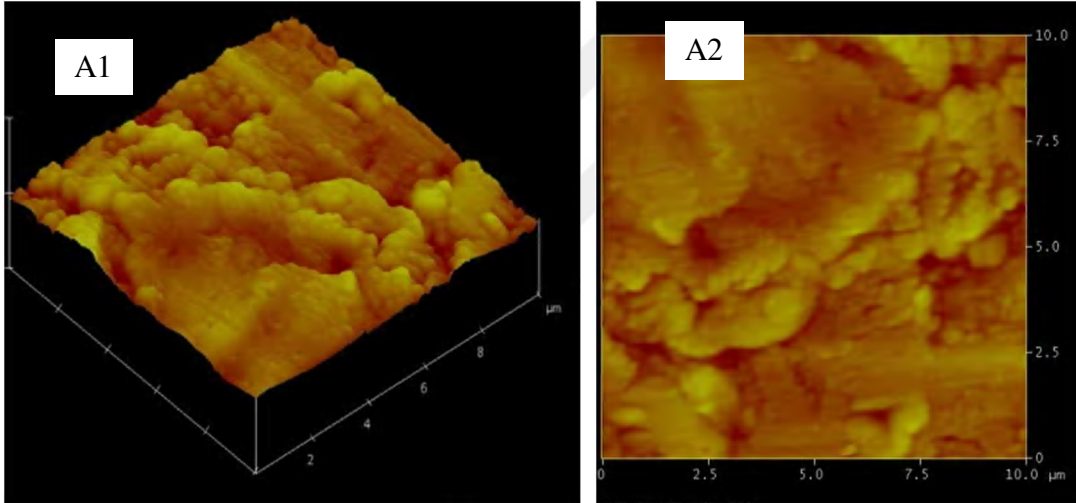


Şekil 5.3. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1(1000x Büyütme), C2(2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

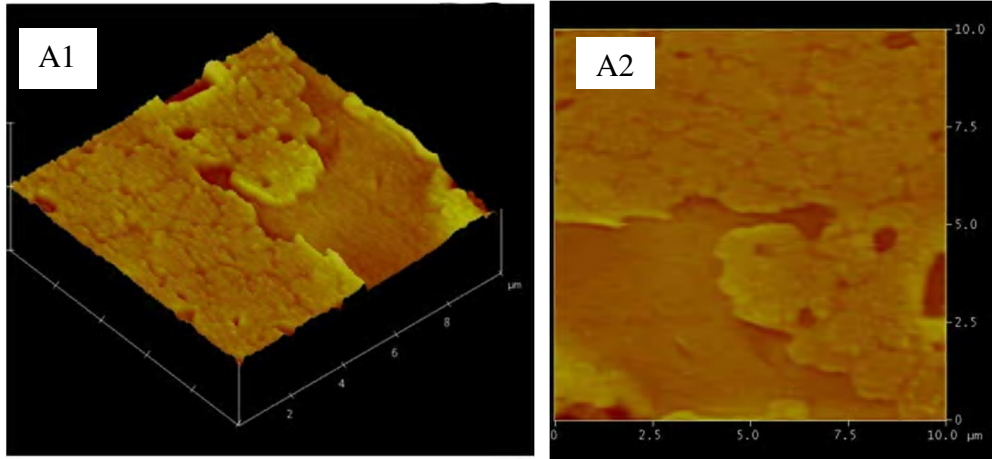
Asitli ortamda Şekil 5.3 A, B görüntülerinde yüzeyde boşlukların olması homojen olmayan düzensiz bir yapıya sebep olmaktadır. C de pasivasyon işlemi sonucu yüzey özelliğinde herhangi bir fark gözlenmemesi korozyona karşı direncin değişmediğini

göstermektedir.

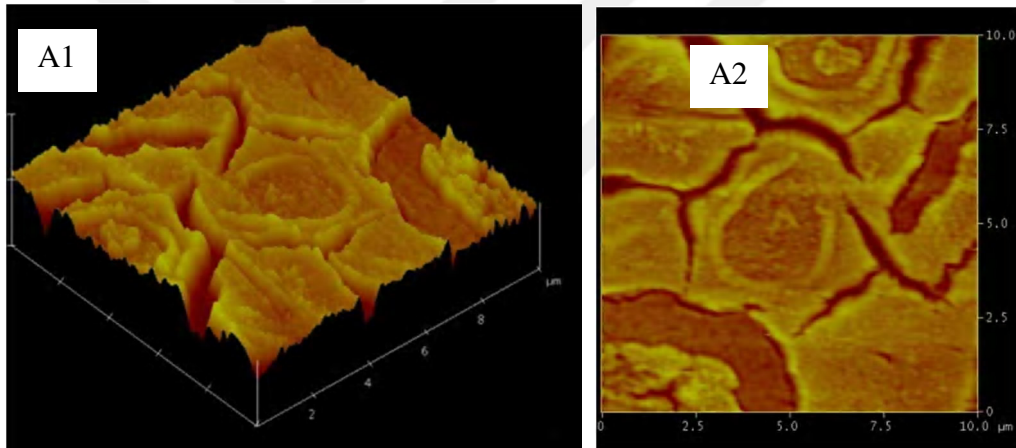
Şekil 5.4'te kaplanmamış Ç1113 çeliğini 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 36,375 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 328,46 nmdeğerinde AFM analiz sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.5'te 20 µm Zn kaplanmış 1113 çeliğinin 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 21,598 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 382,42 nm değerinde AFM analiz sonucu elde edilmiştir. Şekil 5.6.'da 20 µm Zn kaplanmış pasivasyonlu 1113 çeliğinin 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 66,682 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 729,01 nm değerinde AFM analiz sonucu elde edilmiştir.



Şekil 5.4. Kaplanmamış Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri



Şekil 5.5. 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri

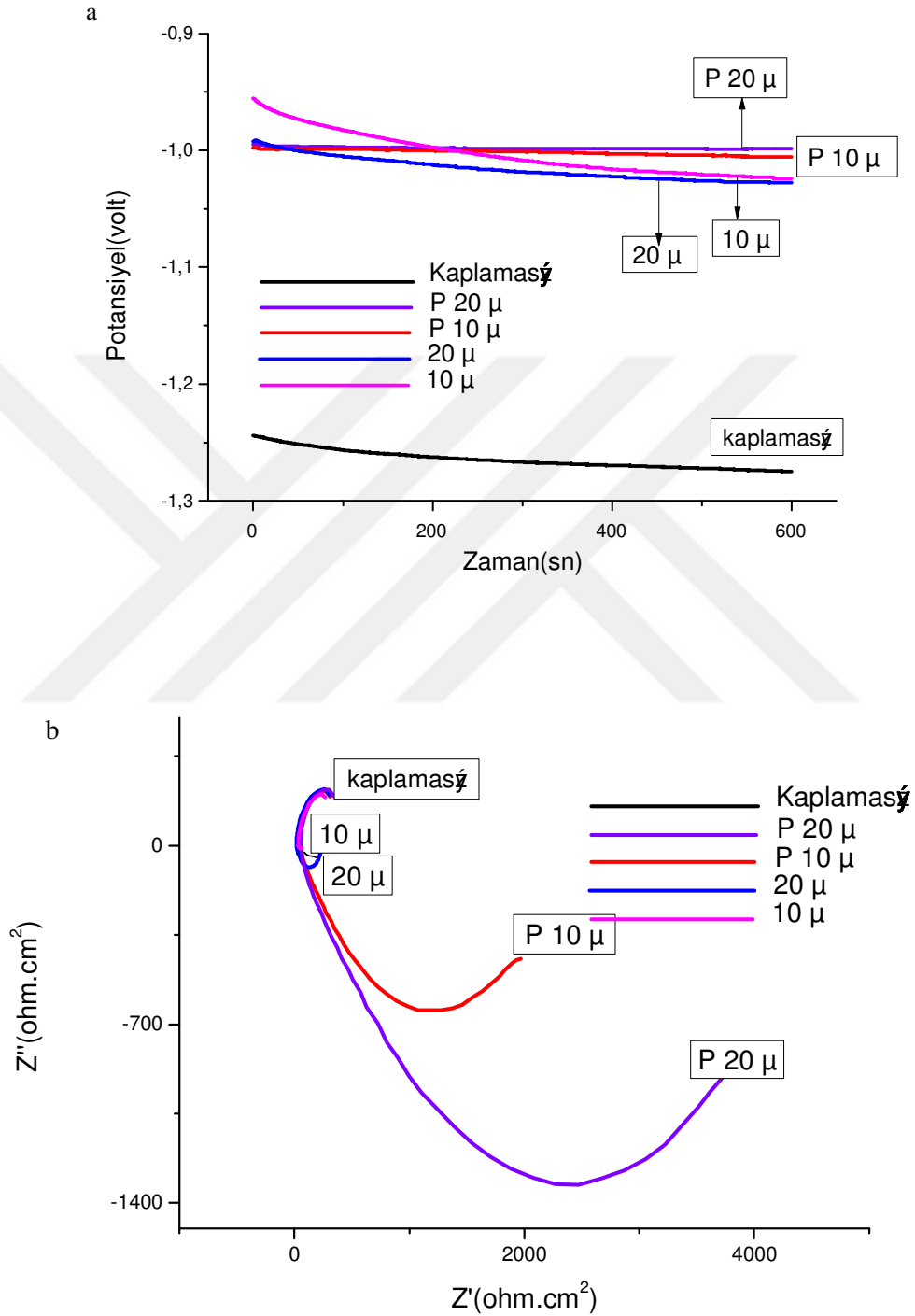


Şekil 5.6. 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış pasivasyonlu Ç1113 çeliği numunenin (A1-A2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax ın AFM analiz sonucu görüntüleri

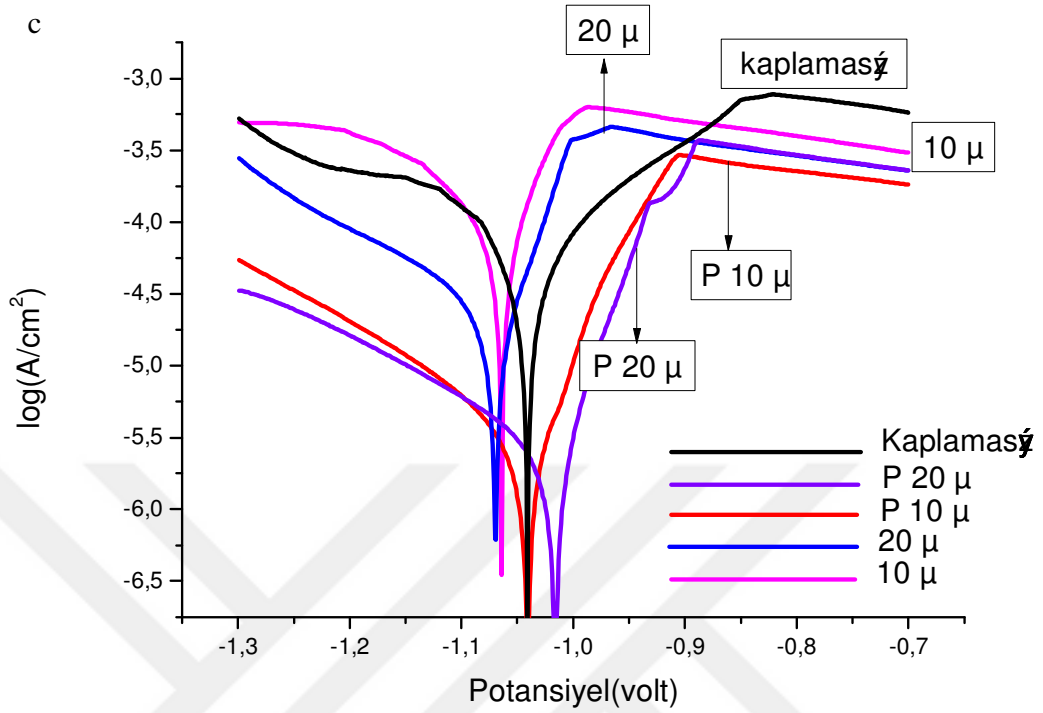
5.1.3. Otomat Çeliği (SAE 1212) Nötr Ortamda Korozyon Bulguları

Çinko kaplama yapılmış Ç-1113 çeliğinin nötr (0.5 M NaCl) ortamındaki korozyon hızları tespit edilmiştir. Ç-1113 çeliğin nötr ortamdaki potansiyel zaman, AC-empedans eğrileri Şekil 5.7.'de 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız Ç 1113 çeliğin nötr ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Akım-Potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı ve diğer korozyon parametreleri Tablo

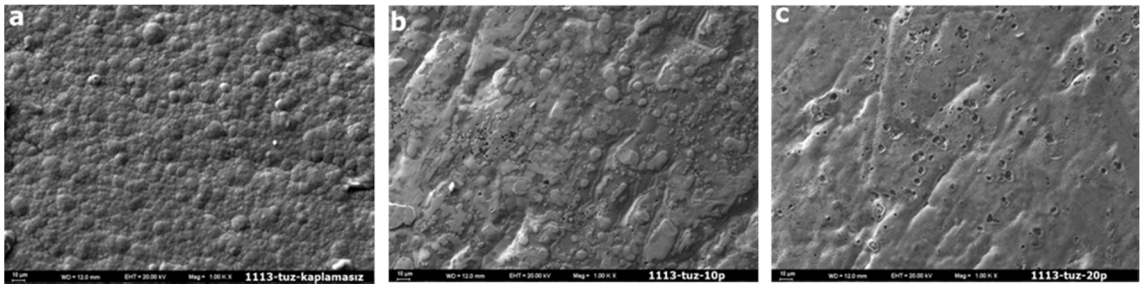
5.2.' de verilmiştir. Şekil 5.8'de SAE 1212 çeliğinin bazik ortamda yapılan deneylerden sonra yüzey fotoğraflarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.7. a) 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı, 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız SAE 1212 çeliğinin nötr ortamdaki potansiyel-zaman, b) AC empedans eğrileri



Şekil 5.7. c) 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı, 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız SAE 1212 çeliğin nötr ortamdaki akım-potansiyel eğrileri



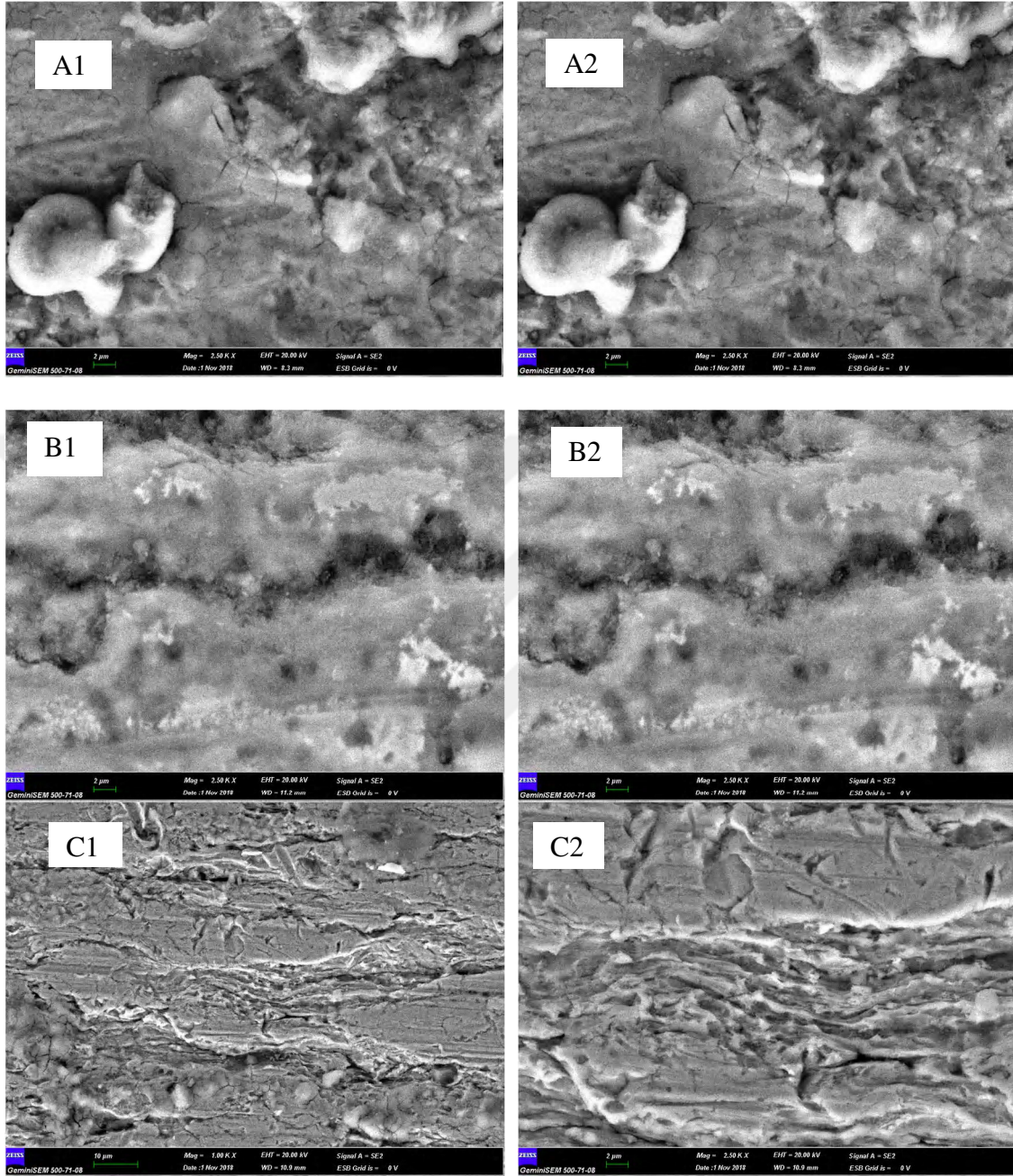
Şekil 5.8. SAE 1212 çeliği ile tuz ortamında (a=kaplamasız, b= 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri.

Tablo 5.2. Kaplanmış SAE 1112 çeliği örneklerin nötr ortamda (0.5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (\dot{I}_{kor}) ve diğer korozyon parametreleri

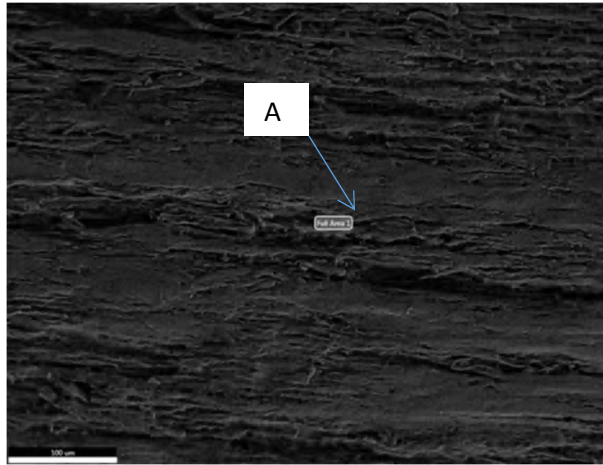
Ç-1113	E_{kor} (Volt)	B_c (mV dec ⁻¹)	B_a (mV dec ⁻¹)	R_p (m Ω cm ²)	i_{kor} (mA cm ⁻²)		İnhibisyon (%)			Ort.
					(S-G)	(Tafel)	i_{kor}	S-G	R_p	
Kaplamasız	-0,928	578	190	470	132	152				
10 µm	-1,064	298	333	223	306	640	-321	-132	-111	-188
20 µm	-1,065	256	255	700	79	134	12	40	33	28
P 10 µm	-1,026	216	123	7900	4,3	8,7	94	97	94	95
P 20 µm	-1,005	235	80	9631	2,7	7,9	95	98	95	96

5.1.4. Otomat Çeliği Nötr Ortamda Korozyon Sonuçları

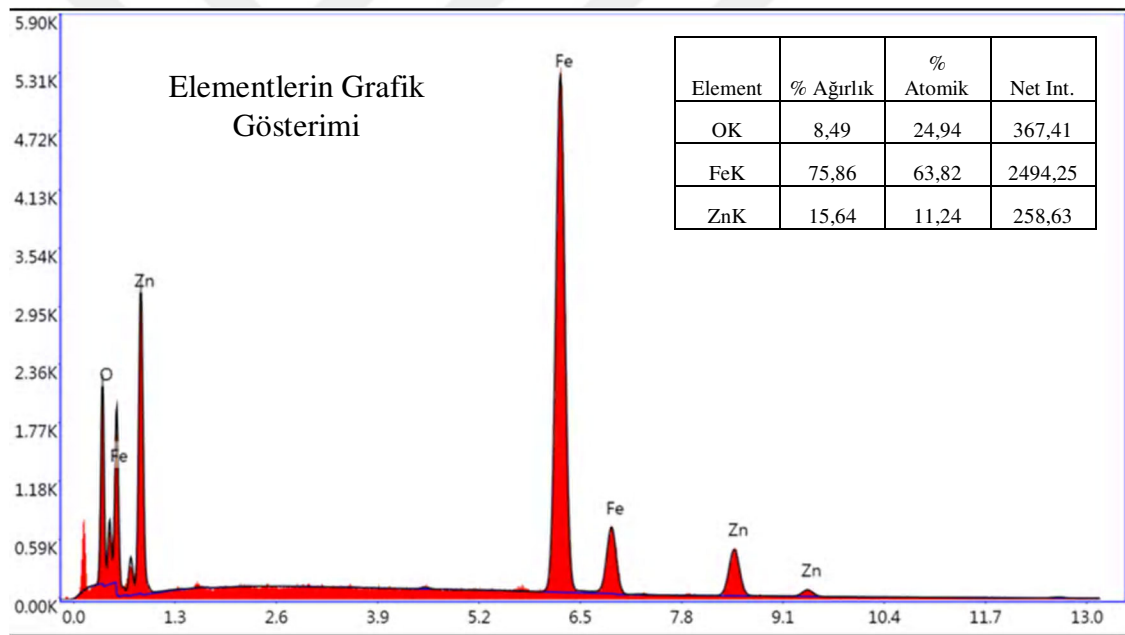
Yay çeliğinde olduğu gibi otomat çeliğinde de 10 µm ve 20 µm ile yapılan kaplamanın nötr ortamdaki korozyon hızları yüksek çıkmış olup, her hangi bir koruma söz konusu değildir. Aksine her iki çelikte de malzemenin yüzeyini oldukça tahrip etmiştir. Ancak bu çelikle pasivasyon korumada yay çeliğinden daha fazla koruma sağlanmıştır. korozyon hızı düştükçe direnç artmış inhibisyon ise buna bağlı olarak artmıştır. Korozyon hızı en düşük ($\dot{I}_{kor} = 2,7$ (mA cm⁻²) pasivasyon 20 µm ile yapılan kaplamada elde edilmiştir. Pasivasyon 20µm ile yapılan kaplamadan sonra nötr ortamda yapılan deneyde korozyon hızı 132 dan 2,7 ye düşmüştür. Pasivasyon 10 µm kaplamada %95 ve 20 µm kaplamada % 96 oranında koruma sağlamıştır. Otomat çeliğinde en iyi koruma bu ortamda pasivasyon 20 µm ile yapılan korumadır. Şekil 5.9'da (A1-A2) bazik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (C1-C2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.10'da (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.11.'de Şekil 5.10'daki A noktasının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.9. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazık ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazık ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x büyütme) bazık ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



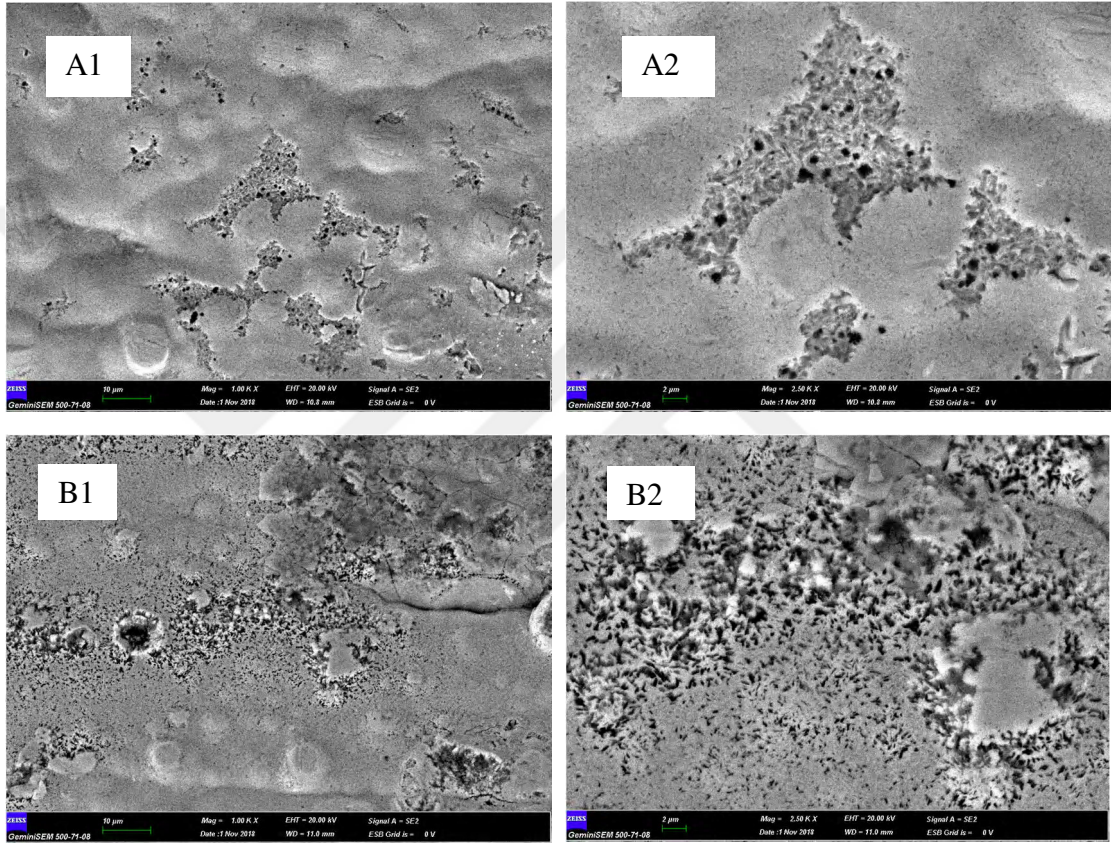
Şekil 5.10. Bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



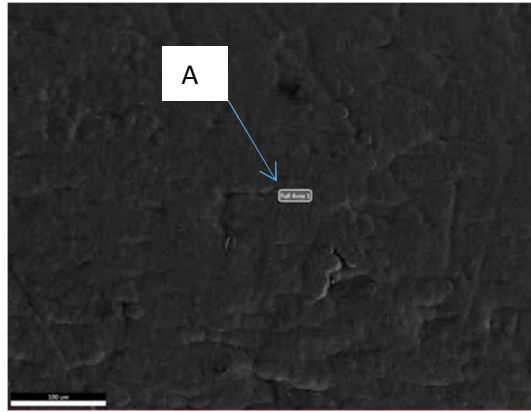
Şekil 5.11.Şekil 5.10'daki A noktsının EDX analiz sonuçları

A şartlarında tuzlu ortamda büyük katı yapılar homojen olmayan düzensiz bir yapı oluşturmuştur. Bu yapı korozyona elverişlidir. B şartlarında tuz ortamında yüzeyde boşluklar var olduğu ve deliklerin kapanmadığından korozyonu önlemeye elverişli bir yapı oluşmadığı, C şartlarında yeteri kadar homojen ve boşluksuz bir yapı olmadığı görülmüştür. Yeteri kadar korozyonu önleyen bir yapı oluşmamıştır. Şekil 5.12'de (A1-A2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) bazik ortamda

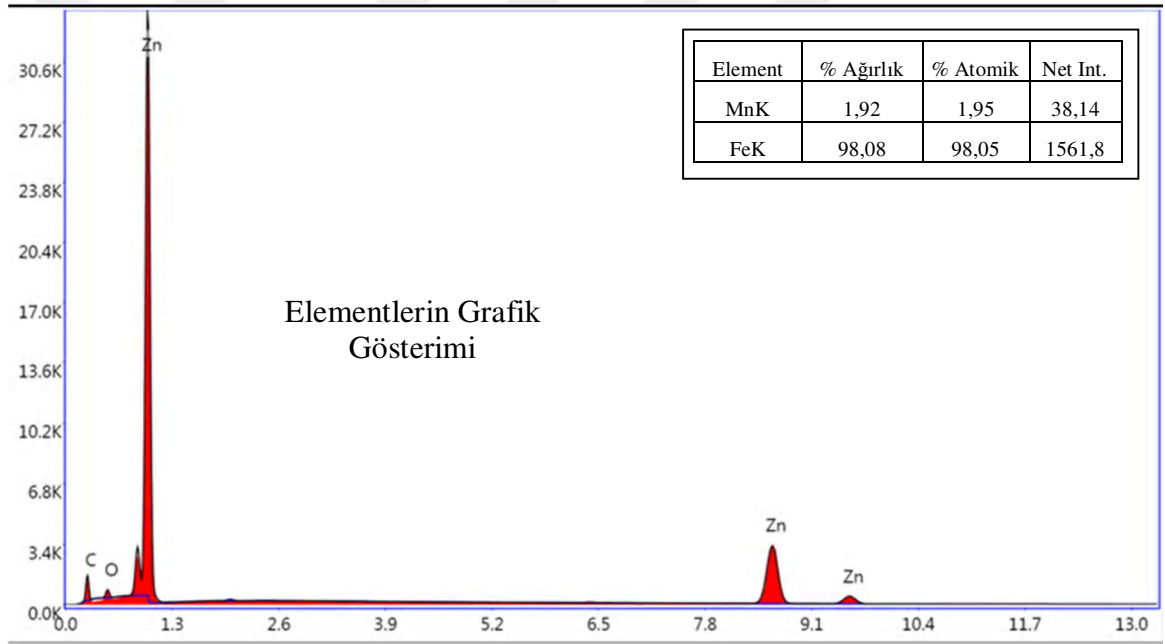
korozyon testi yapılan 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu ultrasonik yıkama yapılmış SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.13'de bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.14'de Şekil 5.13'deki A, noktasının EDX analiz sonuçları verilmektedir.



Şekil 5.12. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 μm elektrolitik çinkokaplamalı + pasivasyonlu ultrasonik yıkama yapılmış SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



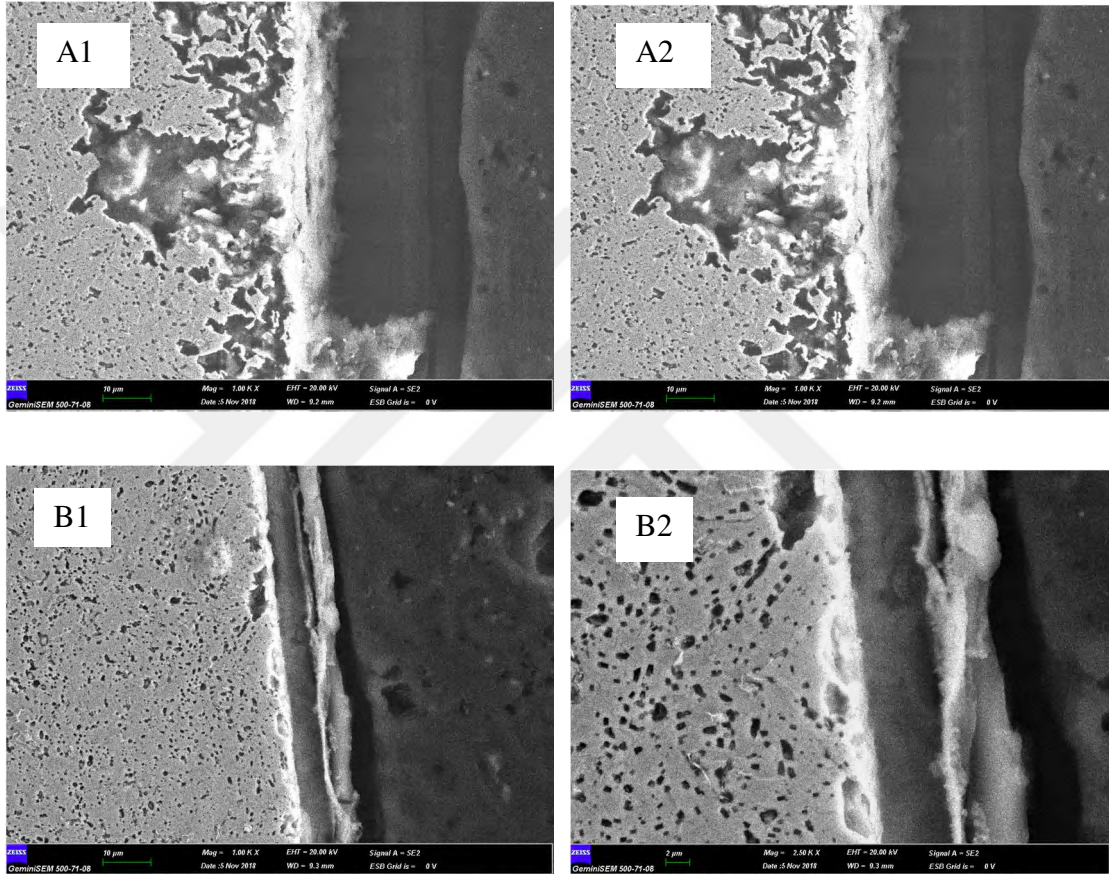
Şekil 5.13. Bazık ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri.



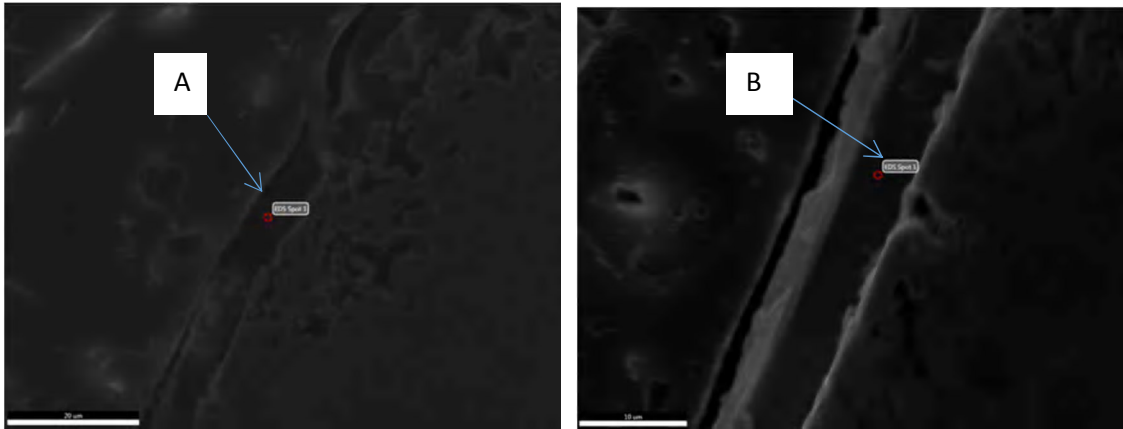
Şekil 5.14.Şekil 5.13'deki A, noktsının EDX analiz sonuçları

A şartlarında yüzeyleri homojen ve küçük taneli yapılara dönüşmüştür. Deliksiz bir yapı olmuştur. Bu nedenle korozyona dayanıklı bir yapı olduğu görülür. B yüzeyine yıkama yapılıncı delikli bir yapı olmuştur. Korozyon için uygun değildir. Şekil 5.15'de (A1-A2) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.16'da (A) 10 µm elektrolitik çinko

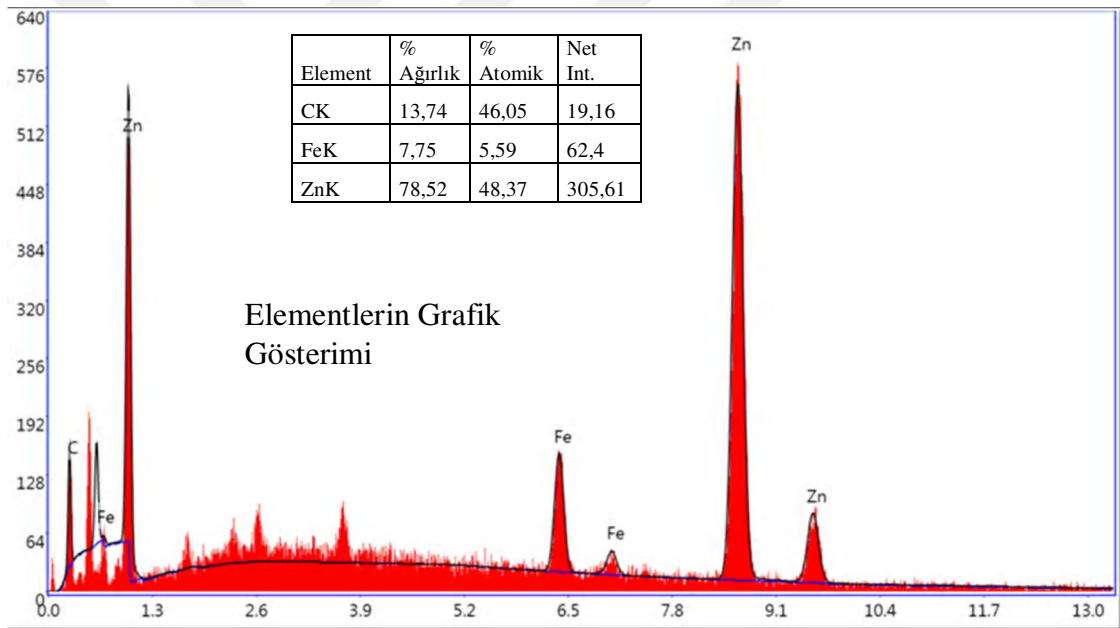
kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.17'de Şekil 5.16'daki A noktalarının EDX analiz sonuçları verilmektedir. Şekil 5.18'de Şekil 5.16'daki B noktalarının EDX analiz sonuçları verilmektedir.



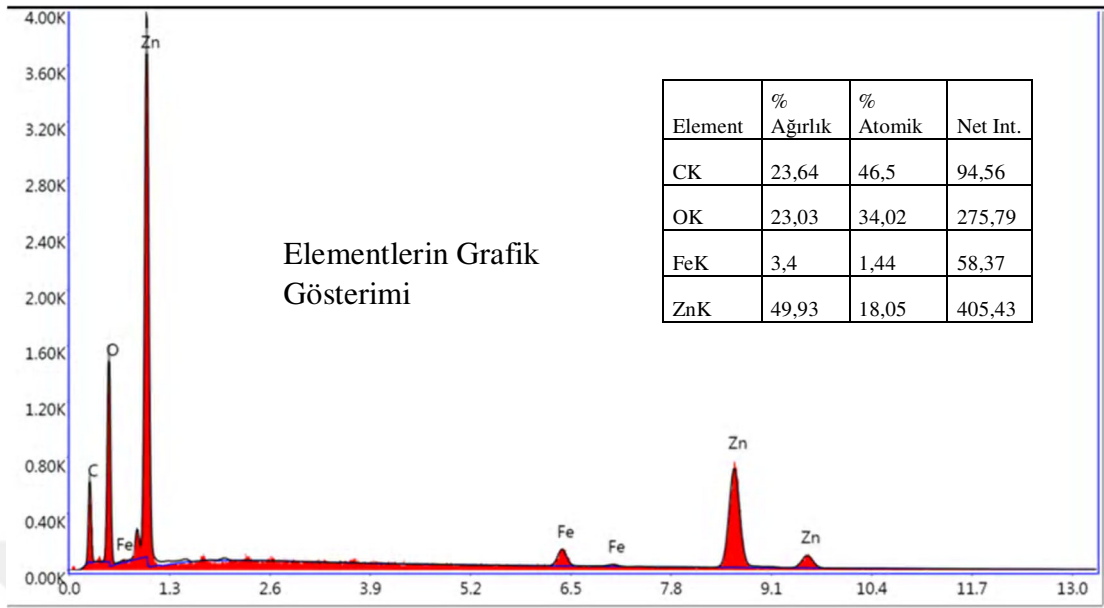
Şekil 5.15. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.16. (A) 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir

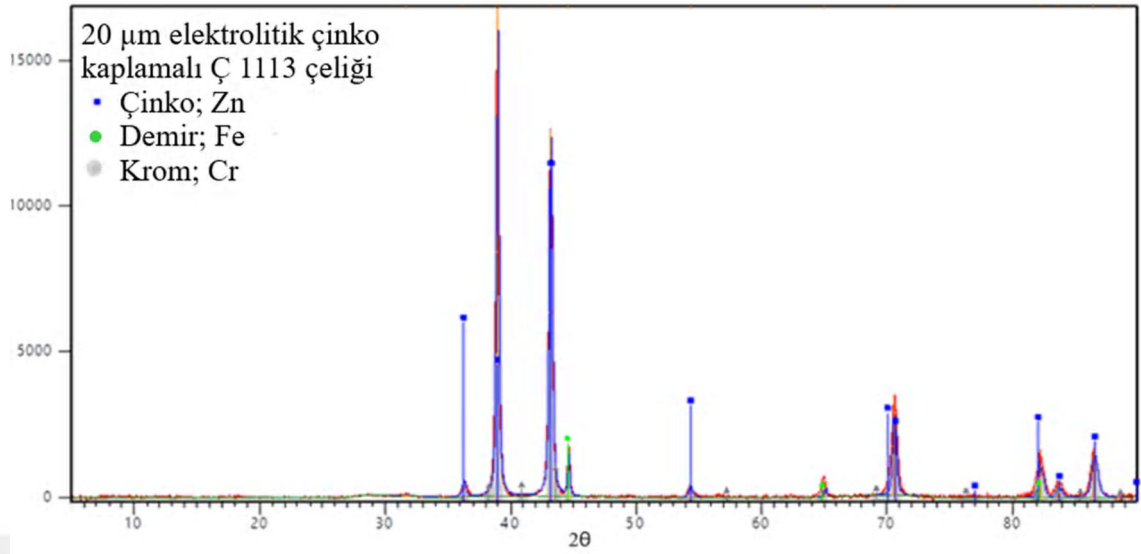


Şekil 5.17. Şekil 5.16'daki A noktalarının EDX analiz sonuçları

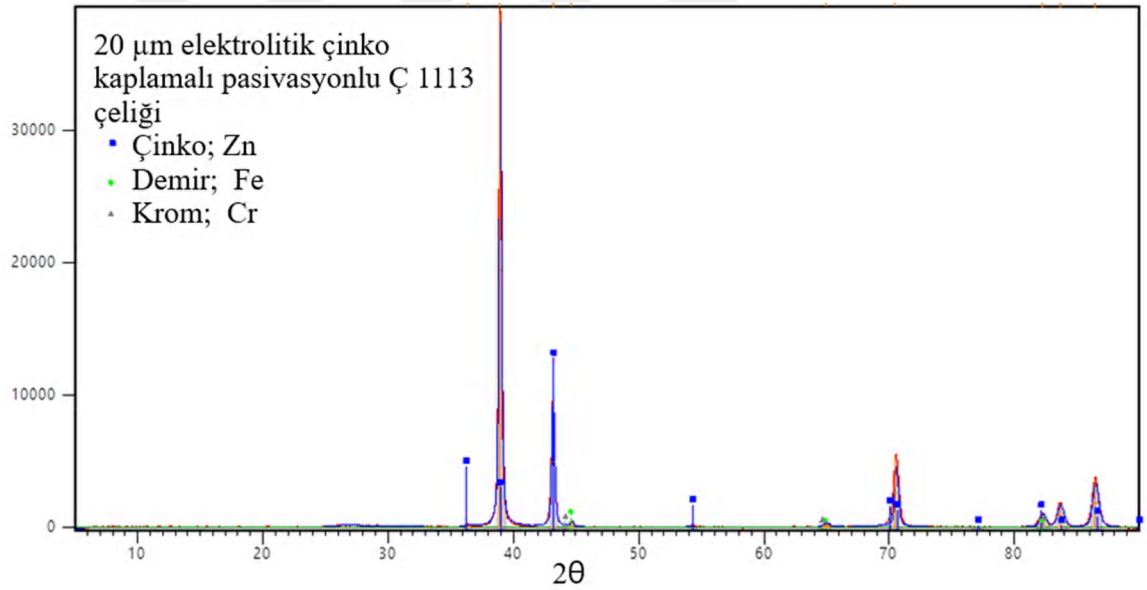


Şekil 5.18.Şekil 5.16'daki B noktalarının EDX analiz sonuçları

A şartlarında kaplamanın çelik yüzeye iyi yapışmış olduğu görülmektedir. A kaplamasının B kaplamalarına göre çelik yüzeye daha iyi yapıştığı ve kaplanan çelik yüzeye daha iyi bütünlük oluşturduğu SEM fotoğraflarında görülmektedir. SAE 1212 çeliği 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı XRD analiz grafiği Şekil 5.19'da verilmiştir. SAE 1212 çeliği 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu XRD analizi grafiği Şekil 5.20.'de verilmiştir. Yüzey morfolojisinin korozyonla bağlantılı olduğu bilinmektedir. Bazal doku yoğunluğu yüksek olan kaplamalar altıgen trombosit yapılı olup daha yüksek korozyon direnci göstermektedir [13]. Bazal bileşen içermeyen, ancak piramidal yapıya sahip kaplamalar piramidal tane morfolojisine sahip olup kötü bir korozyon direncine sahiptir [13]. Çinko kaplama işleminde kullanılan akım yoğunluğu parametresi de bu dokuyu etkileyen çok önemli bir parametre olarak ortaya çıkmaktadır. Şekil 5.21'de (A1-A2) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.22'de (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplama + pasivasyon yapılan SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.

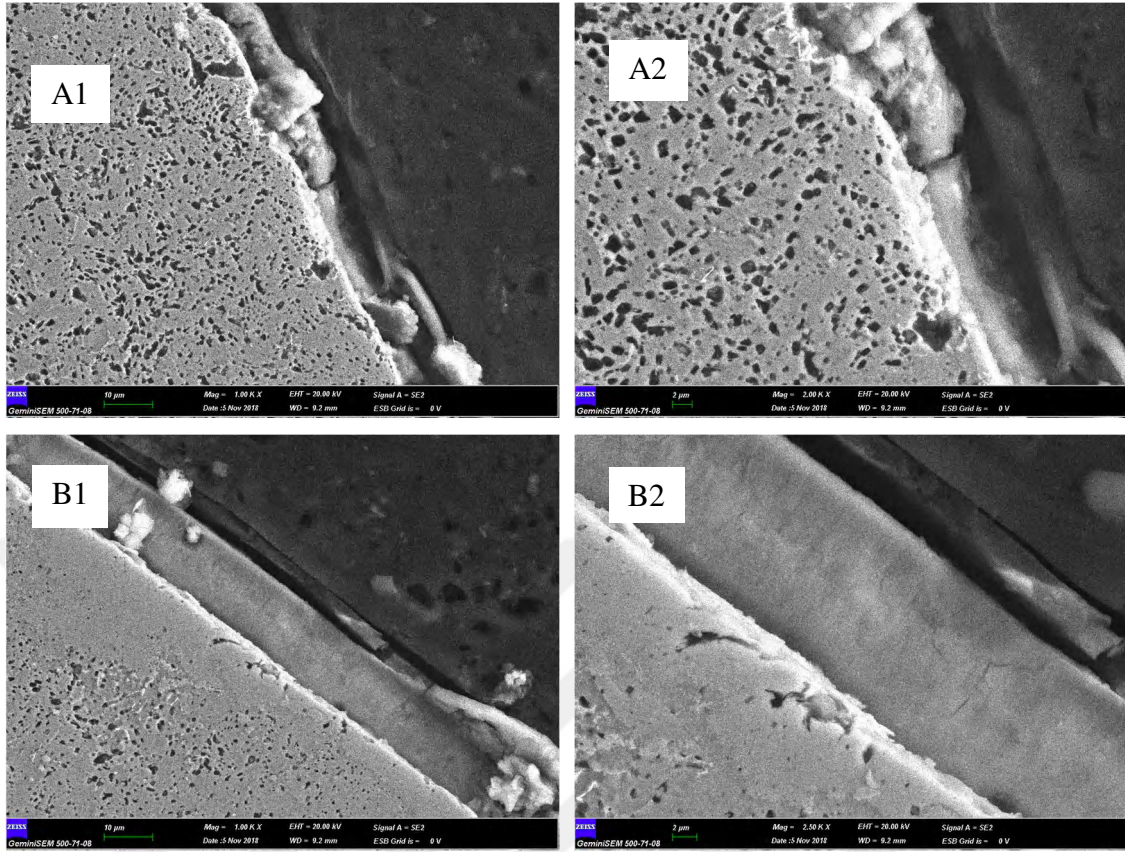


Şekil 5.19. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı SAE 1212 çeliğinin XRD analiz grafiği

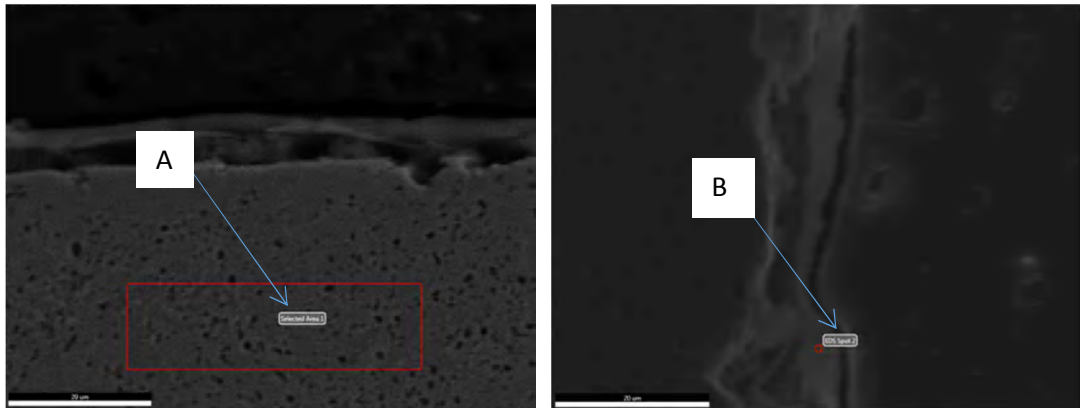


Şekil 5.20. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu SAE 1212 çeliğinin XRD analiz grafiği

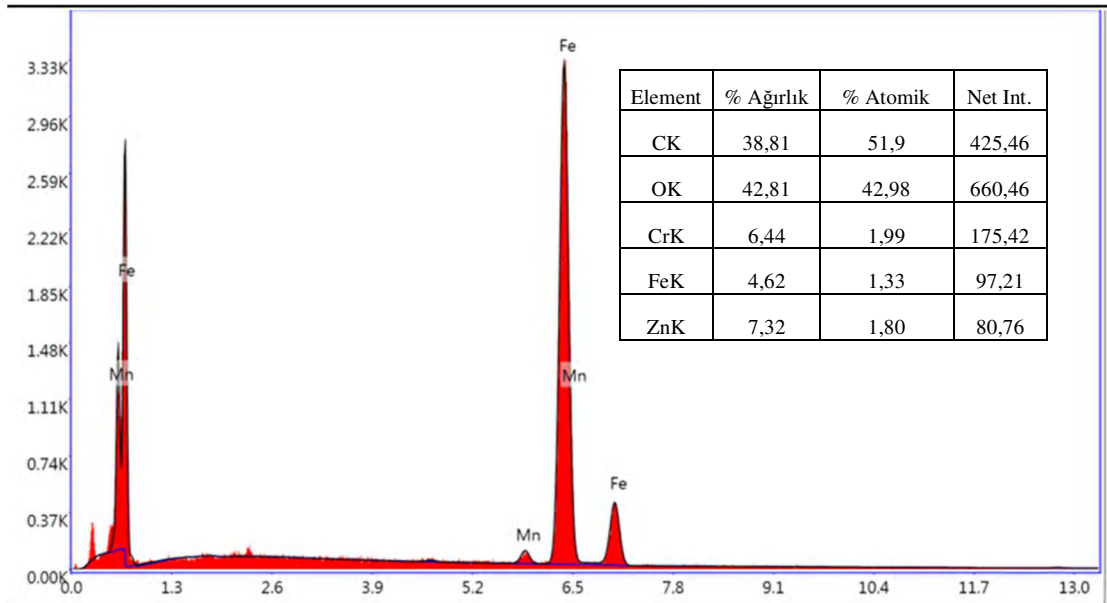
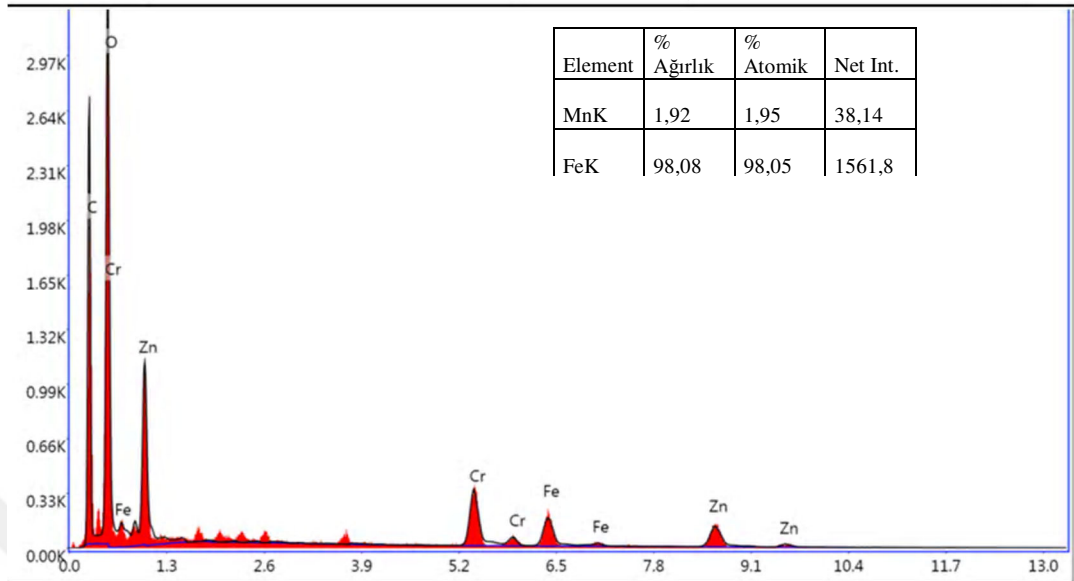
Şekil 5.23’de Şekil 5.22’deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları verilmiştir. Şekil 5.24’de (A) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.25’de Şekil 5.24’teki A noktalarının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



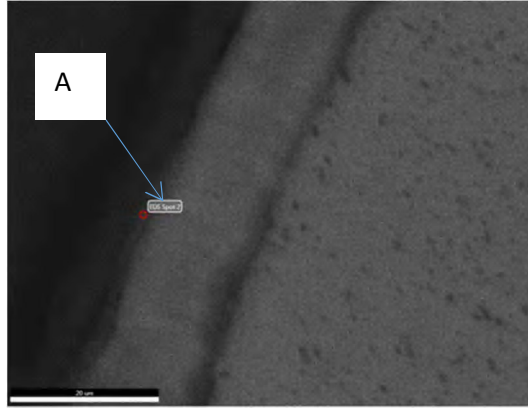
Şekil 5.21. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x büyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



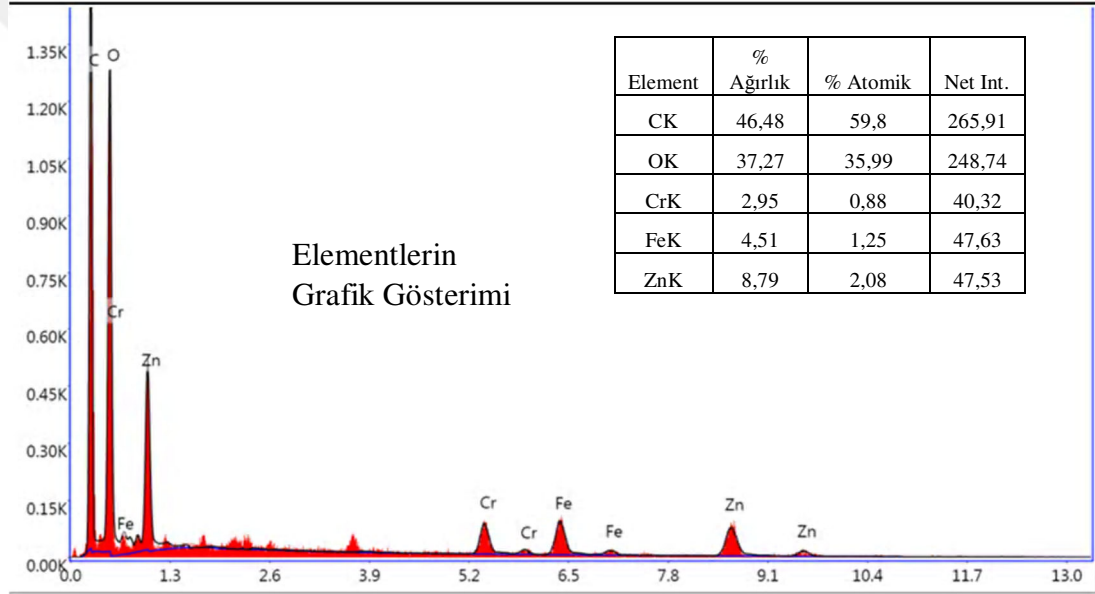
Şekil 5.22. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplama + pasivasyon yapılan SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı ve pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.23. Şekil 5.22'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları

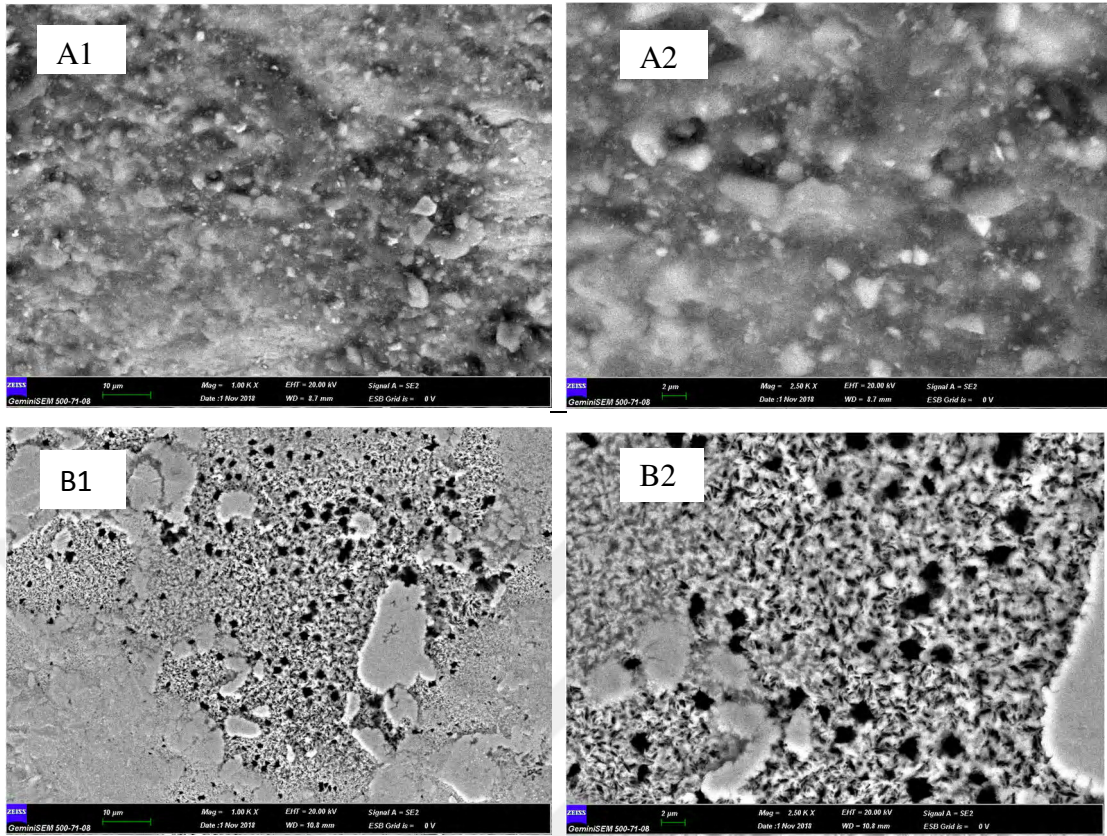


Şekil 5.24. (A) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



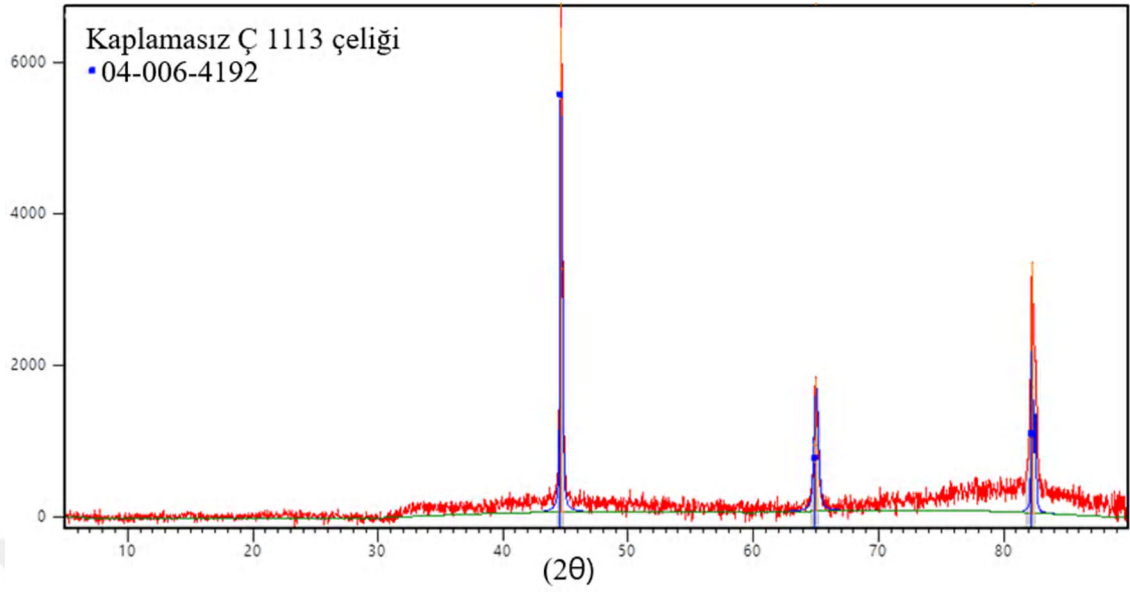
Şekil 5.25. Şekil 5.24'deki A noktsının EDX analiz sonuçları

B kaplamasının A kaplamalarına göre çelik yüzeye daha iyi yapıştığı ve kaplanan çelik yüzeye daha iyi bütünlük oluşturduğu SEM görüntülerinden anlaşılmaktadır. Şekil 5.26'da (A1-A2) kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) kaplamasız ultrasonik yıkamalı SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.26. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) kaplamasız SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) kaplamasız ultrasonik yıkama SAE 1212 çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

A şartlarında yüzey düzgün homojen ve büyük taneli olduğu görülmektedir. B de ise ince taneli bir yapıda olduğu görülüyor. Şekil 5.27’de kaplamasız SAE 1212 çeliği XRD analiz grafiği verilmiştir.

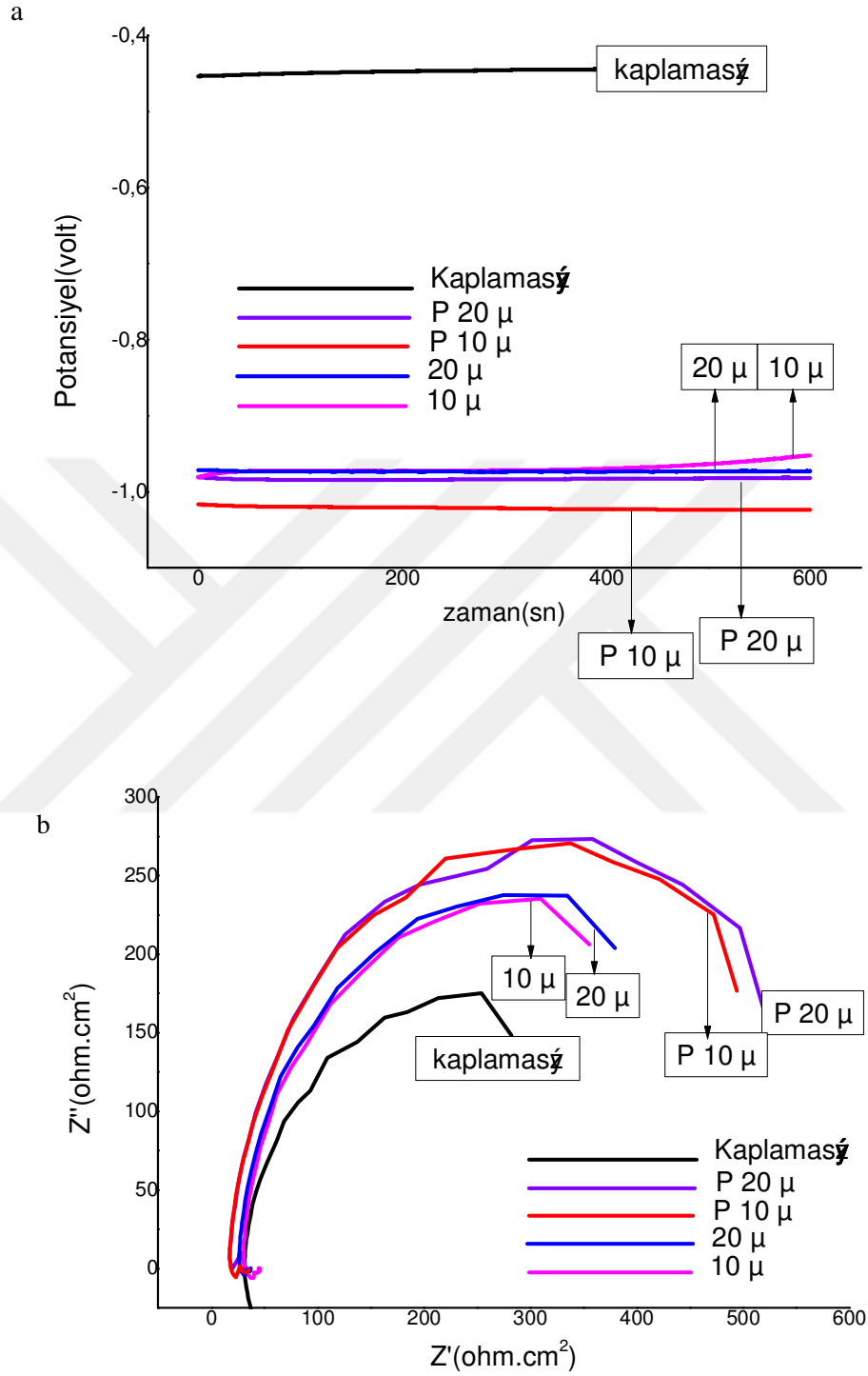


Şekil 5.27. Kaplamasız SAE 1212 çeliği XRD analiz grafiği

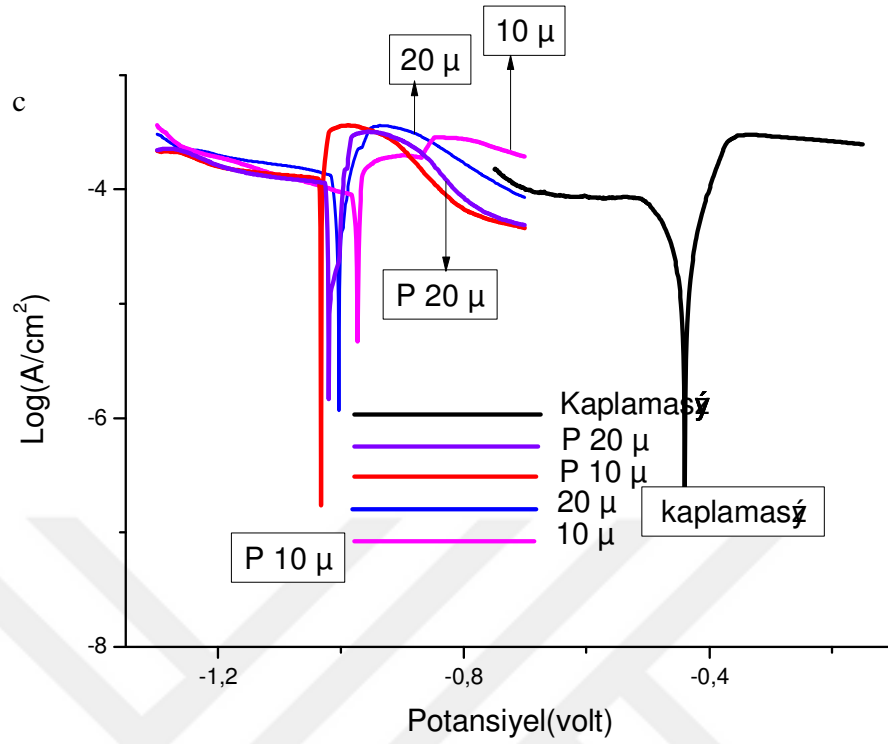
5.2. Yay Çeliği (SH) İle Yapılan Korozyon Deneyleri

5.2.1. Yay Çeliği Asidik Ortam Korozyon Bulguları

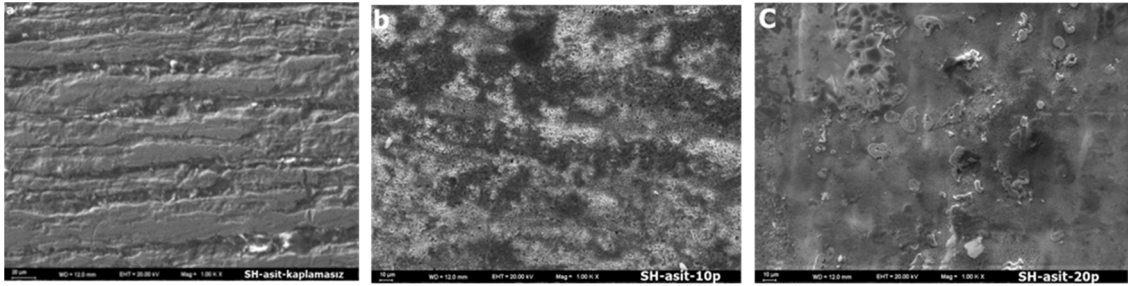
Yay Çeliğinin asidik (0.05M HCl) ortamında ve 25 °C sıcaklıkta Şekil 5.28.a)'da verilen akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen verilere göre korozyondan korunma söz konusu değildir. Yani kuvvetli bir Korozyon Direnci görülmemiştir. Yapılan kaplamalar bu çeliği yeterince korumamaktadır. Şekil 5.28.'de 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin asidik ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Örnekler üzerinde oluşturulan kaplamalar yeterli kalınlıkta olmadığından asidik ortamda bu kaplamalar hemen çözünmektedir. Akım-Potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı ve diğer korozyon parametreleri Tablo5.3'te verilmiştir. Şekil 5.29'da yay çeliğinin asidik ortamda yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.28. a) 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı, 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin asidik ortamdaki potansiyel-zaman, b) AC empedans eğrileri



Şekil 5.28. c) 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı, 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin asidik ortamdaki akım-potansiyel eğrileri



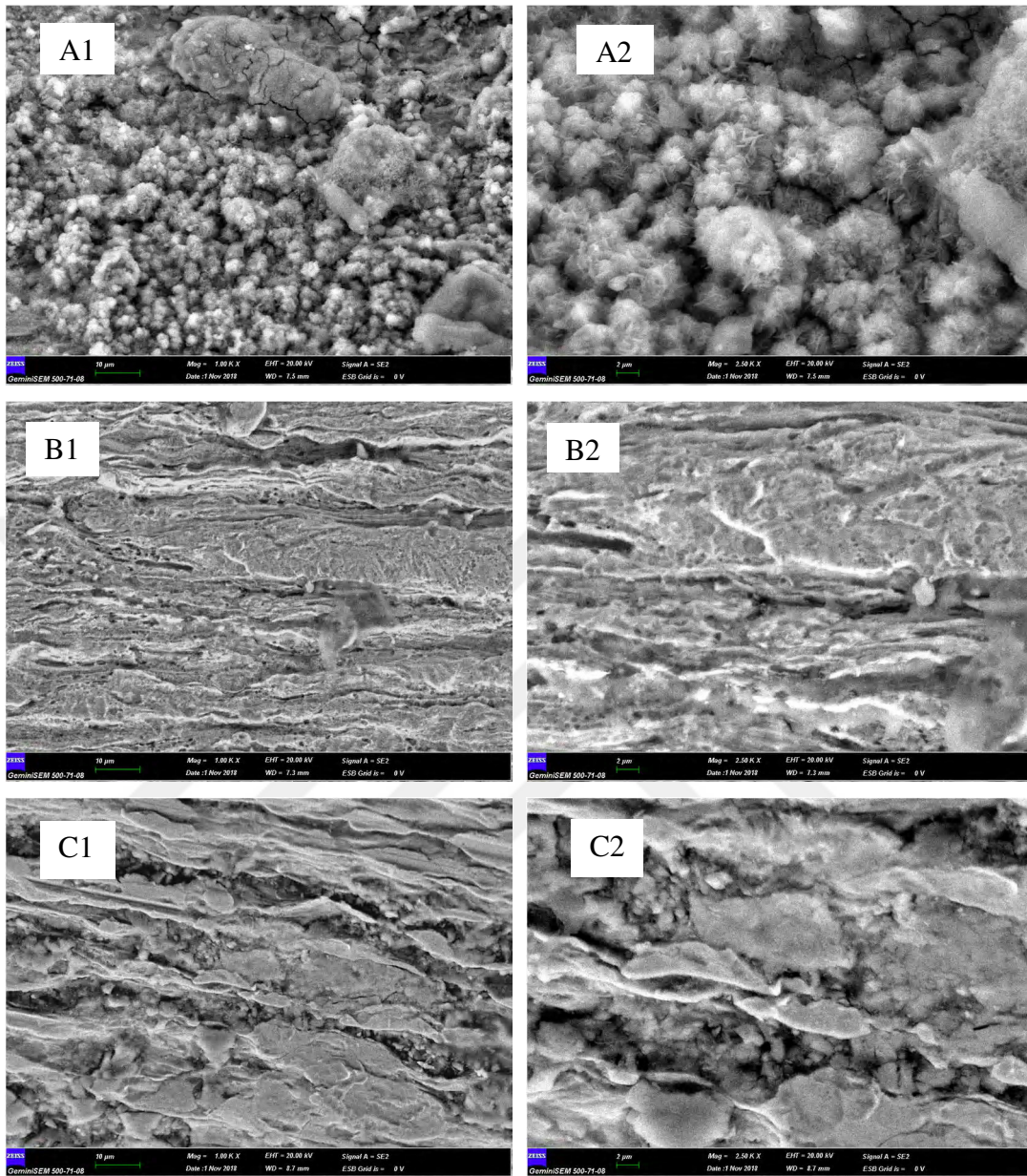
Şekil 5.29. Yay Çeliği ile asidik ortamında (a=kaplamasız, b= 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri

Tablo 5.3. Yay Çeliğinin asidik (0.05M HCl) ortamında ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (i_{kor}) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,001)

Yay çeliği (SH)	E_{kor} (Volt)	B_c (mV dec ⁻¹)	B_a (mV dec ⁻¹)	R_p (m Ω cm ²)	i_{kor} (A cm ⁻²)		İnhibisyon (%)			Ort.
					(S-G)	(Tafel)	i_{kor}	S-G	R_p	
Kaplamasız	-0,439	1146	1492	413	0,7	1,3				
10 μ m	-0,937	1619	911	65	3,9	4,8	-269	-456	-535	-420
20 μ m	-0,985	1378	337	50,8	2,3	2,4	-85	-231	-712	-343
P 10 μ m	-1,020	1410	245	35,6	2,5	2,6	-100	-264	-1060	-475
P 20 μ m	-0,992	1302	284	38,7	2,6	2,7	-108	-274	-967	-450

5.2.2. Yay Çeliği (SH) Asidik Ortam Korozyon Sonuçları

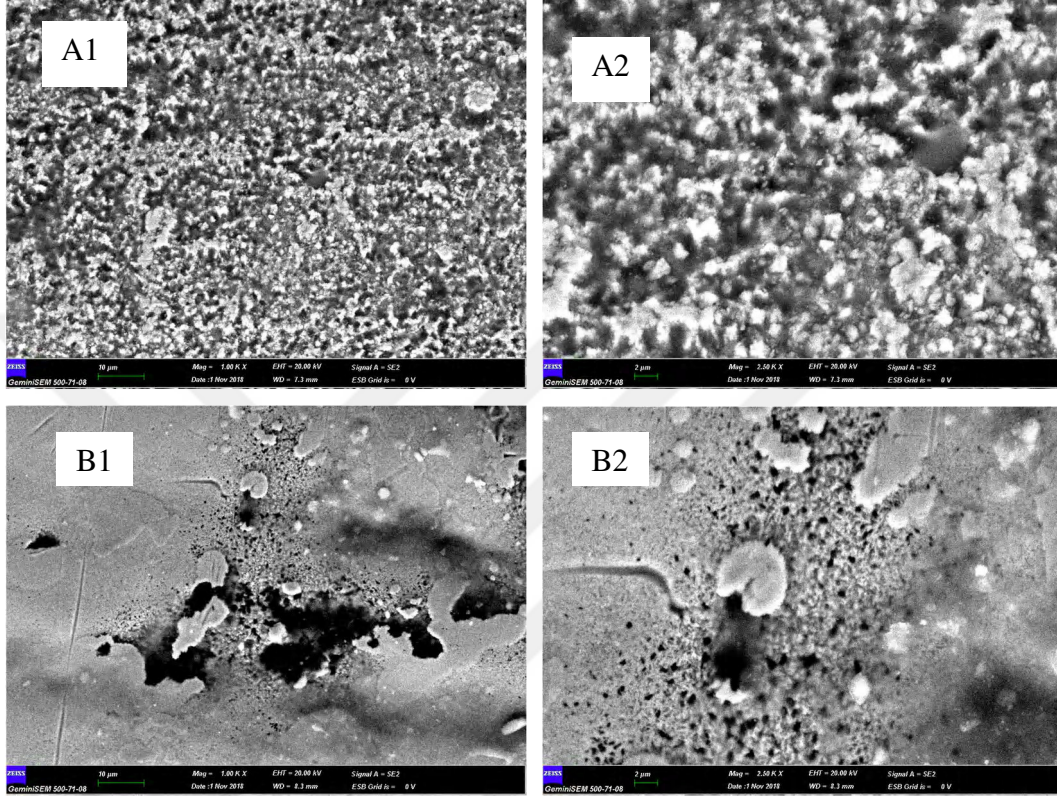
Şekil 5.30'da (A1-A2) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) asit ortamda korozyon testi yapılan 10 μ m elektrolitik çinko kaplama yapılmış yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (C1-C2) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız ultrasonik yıkama yapılmış yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.30. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2(2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplama yapılmış yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x Büyütme) asit ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız ultrasonik yıkama yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

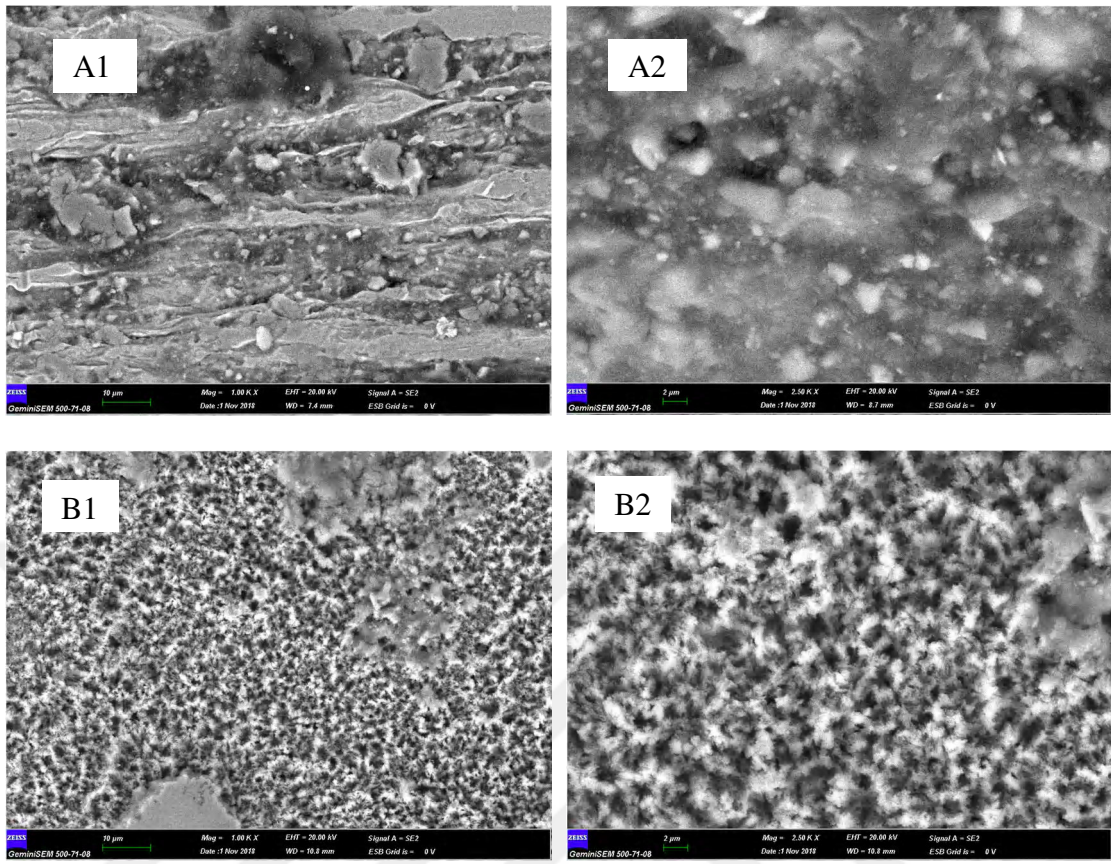
A şartlarında asitli ortamda yüzey de boşluklar Korozyona uygun bir ortam oluşturur. B şartların da boşluklar azalmış fakat devam etmekte homojen olmayan bir yapı görülmektedir. C şartların da büyük taneli bir yapı vardır. Bu yapı korozyona uygundur. Şekil 5.31'de (A1-A2) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm

elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) asidik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliğinumunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



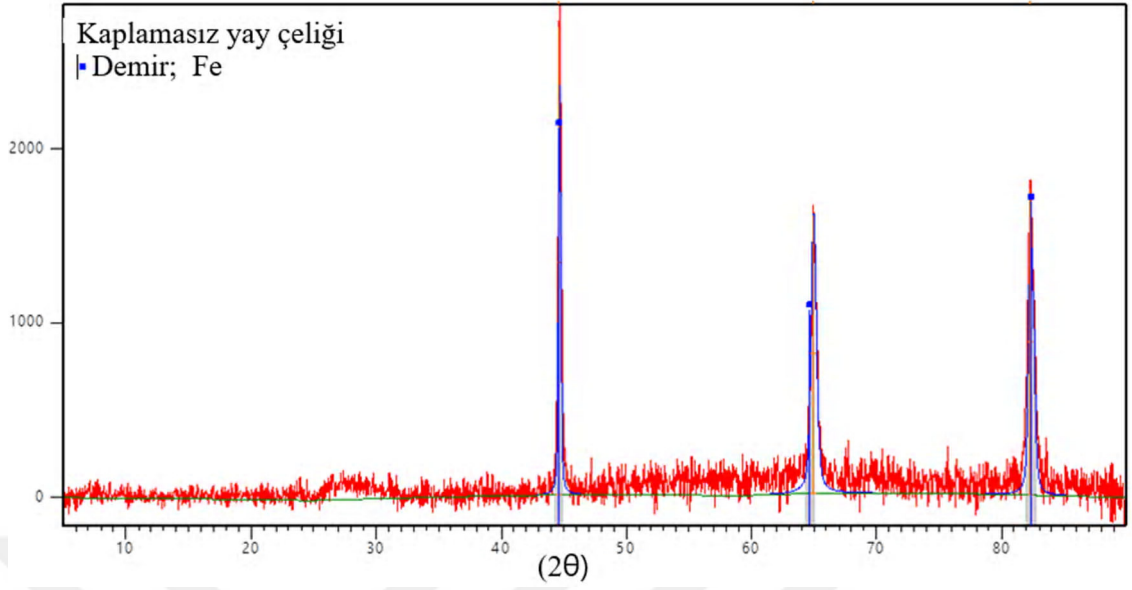
Şekil 5.31. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) asidik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliğinumunesine ait SEM görüntüleri

A ve B durumunda boşluklar pasivasyonsuz kaplamaya göre azalmış fakat devam etmekte homojen olmayan bir yapı görülmektedir. Delikler kapanmadığı görülüyor bu nedenle korozyon olmaya uygun olduğu görülmüştür. Şekil 5.32’de (A1-A2) kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) kaplamasız ultrasonik yıkama yapılan yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir.



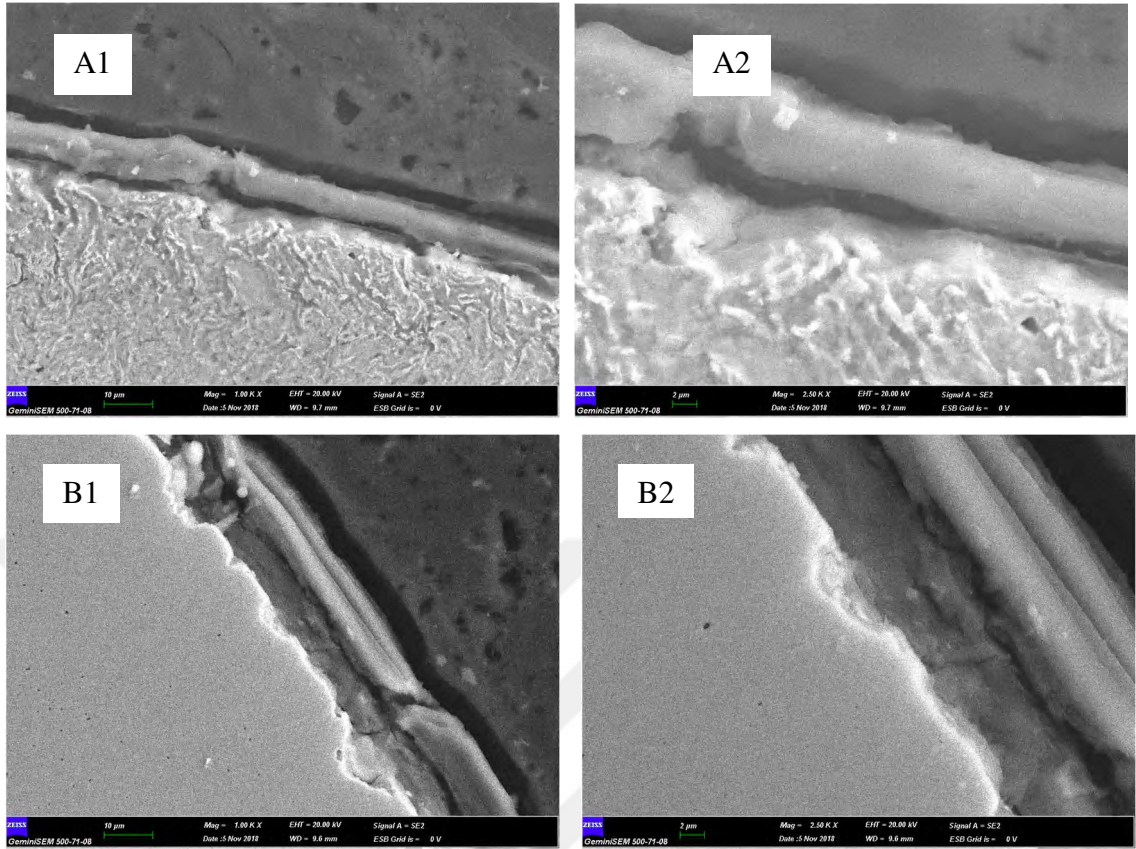
Şekil 5.32. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) kaplamasız ultrasonik yıkama yapılan yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

A şartlarında dalgalı homojen olmayan bir yapı olduğundan dolayı korozyona dayanıklı olmadığı düşünülmektedir. B şartlarında homojen olmayan korozyon dayanımı olmayan bir yapı vardır. Şekil 5.33'de kaplamasız yay çeliğine ait XRD analiz grafiği verilmiştir.

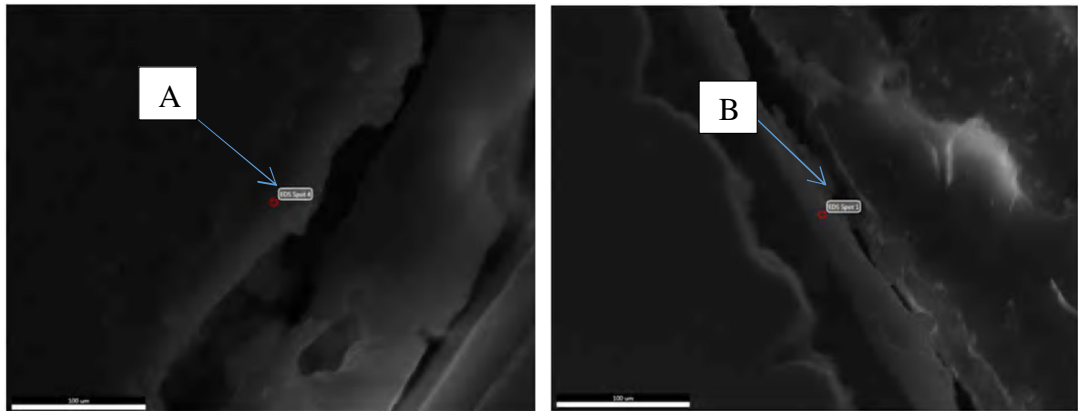


Şekil 5.33. Kaplamasız yay çeliğine ait XRD analiz grafiği

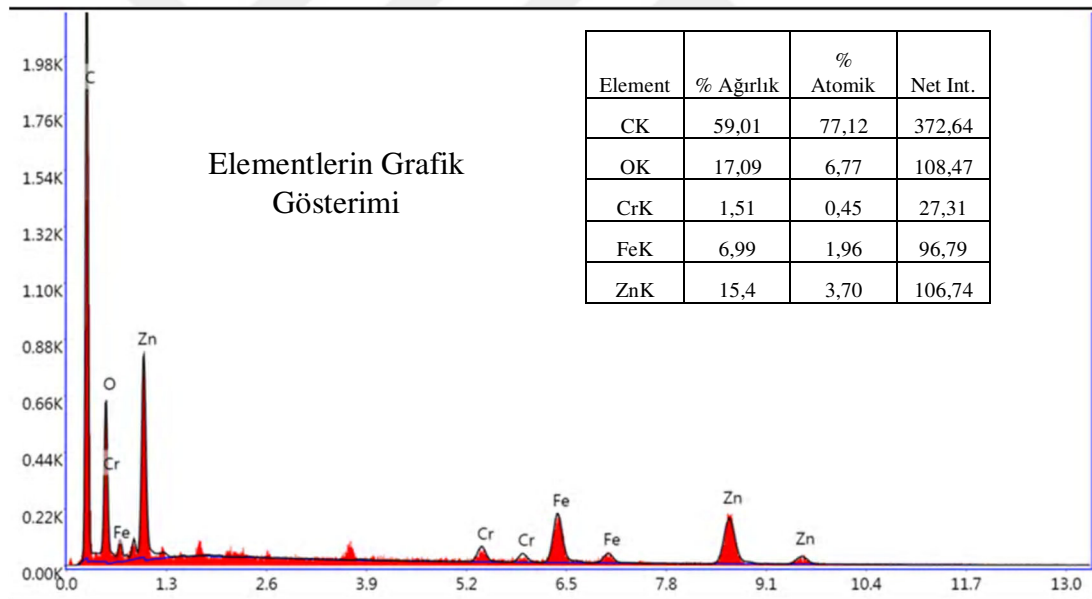
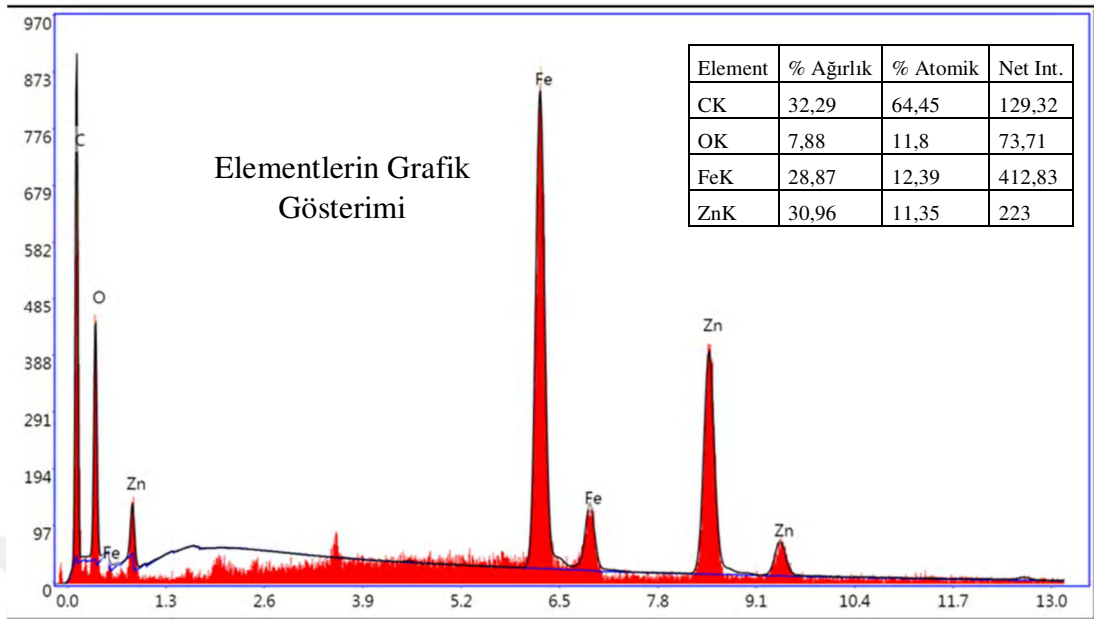
Şekil 5.34'te (A1-A2) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.35'te (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.36'da Şekil 5.35'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.34. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplama kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

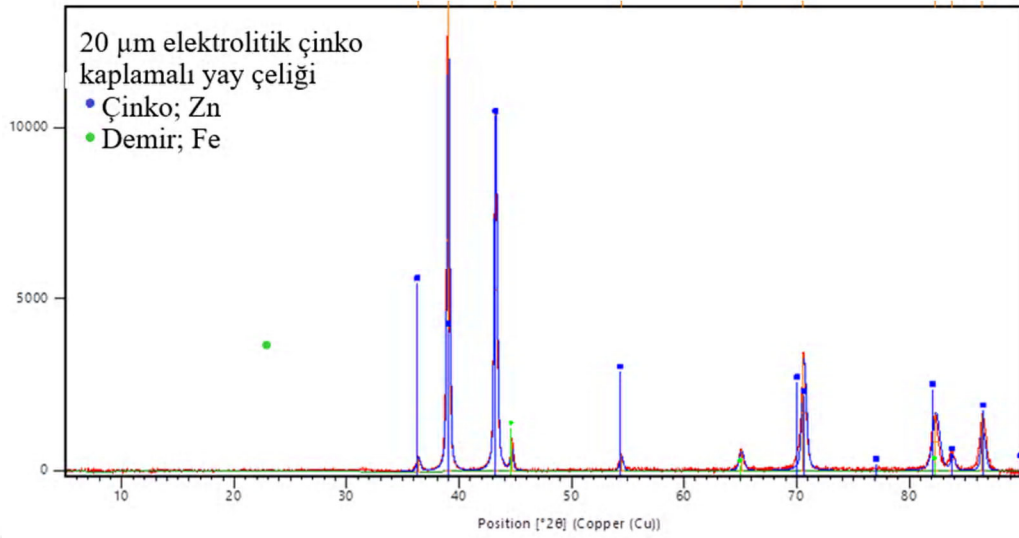


Şekil 5.35. (A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



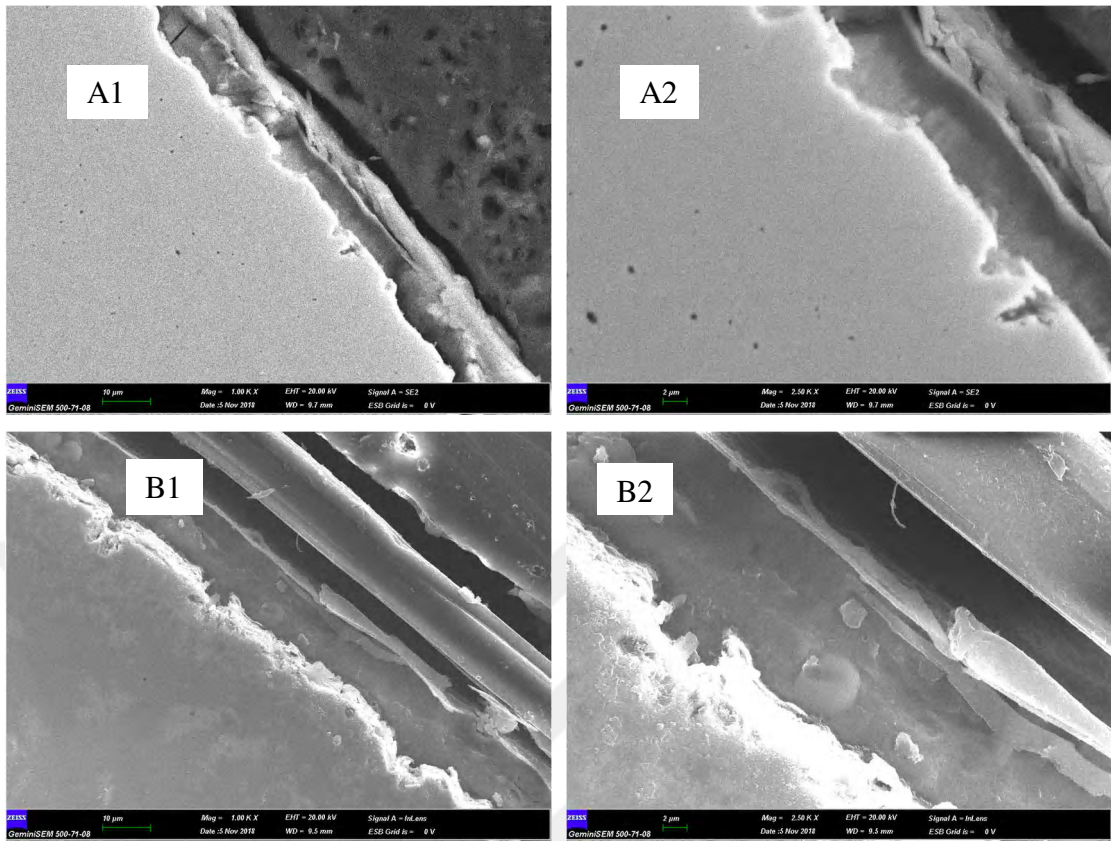
Şekil 5.36. Şekil 5.35'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları

A, B şartlarında kesit görüntüleri kaplama kalınlığı arttıkça yüzeye yapışma durumunun azaldığı görülmektedir. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliğininin XRD analiz grafiği Şekil 5.37'de verilmiştir.

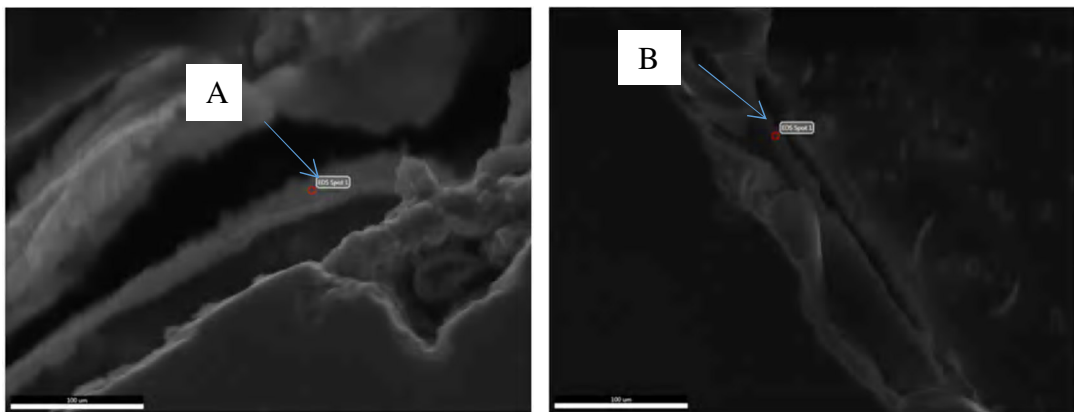


Şekil 5.37. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliğinin XRD analizi grafiği

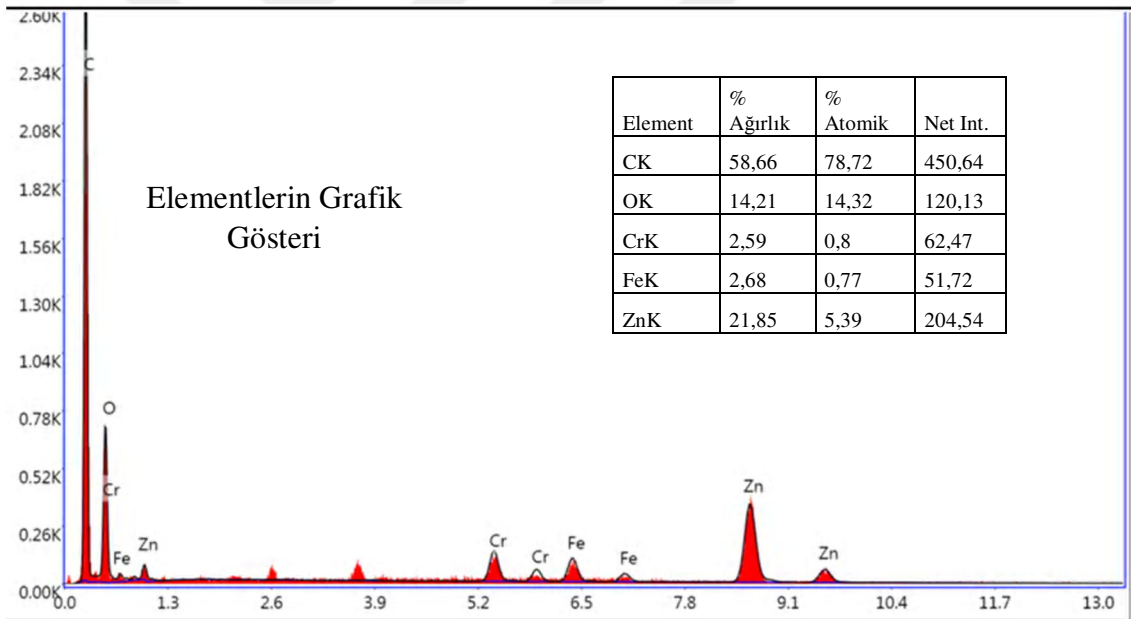
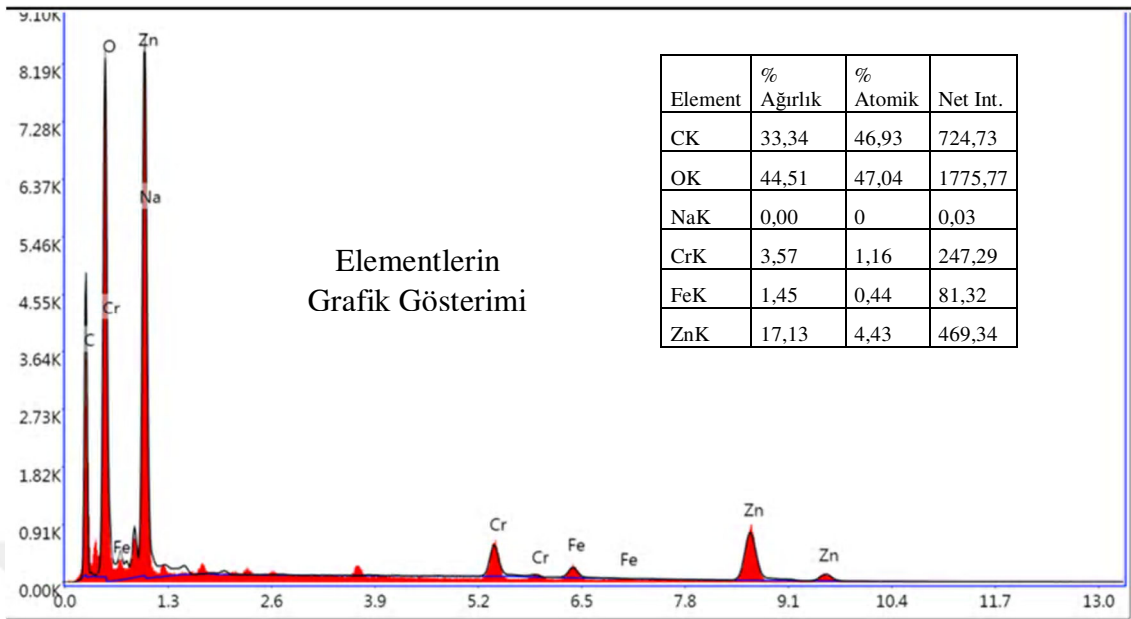
Şekil 5.38'de (A1-A2) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.39'da(A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.40'da Şekil 5.39'daki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.38. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500xBüyütme) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000xBüyütme), B2 (2500xBüyütme) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri

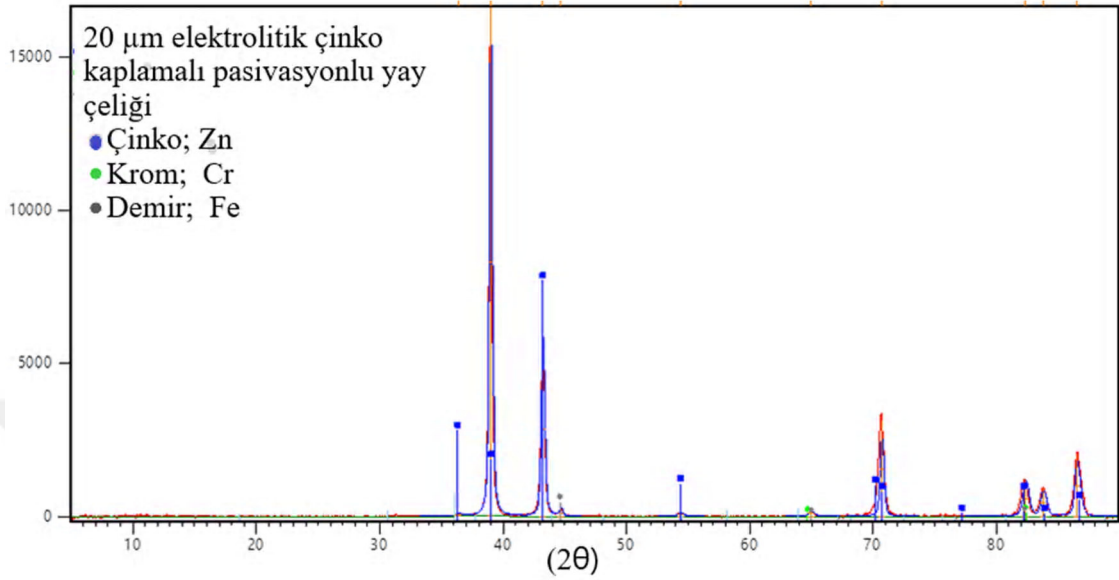


Şekil 5.39.(A) 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B) 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu kesitli yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



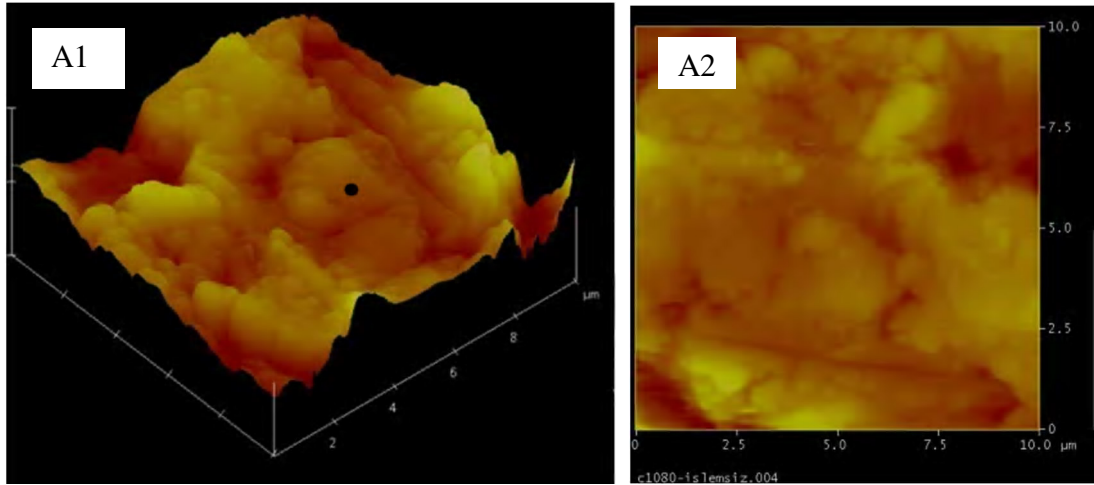
Şekil 5.40. Şekil 5.39'deki A, B noktalarının EDX analiz sonuçları

A, B kesit görüntülerinden kaplama kalınlığı arttıkça yüzeye yapışmasının azaldığı görülmektedir. 20 μm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliğine ait XRD analiz grafiği Şekil 5.41'de verilmiştir.

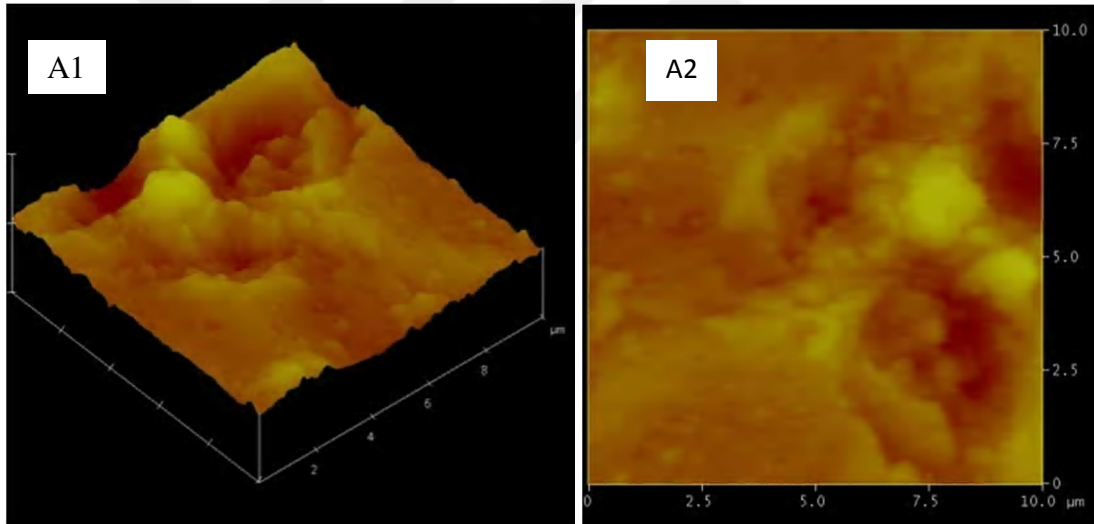


Şekil 5.41. 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği XRD Analizi grafiği

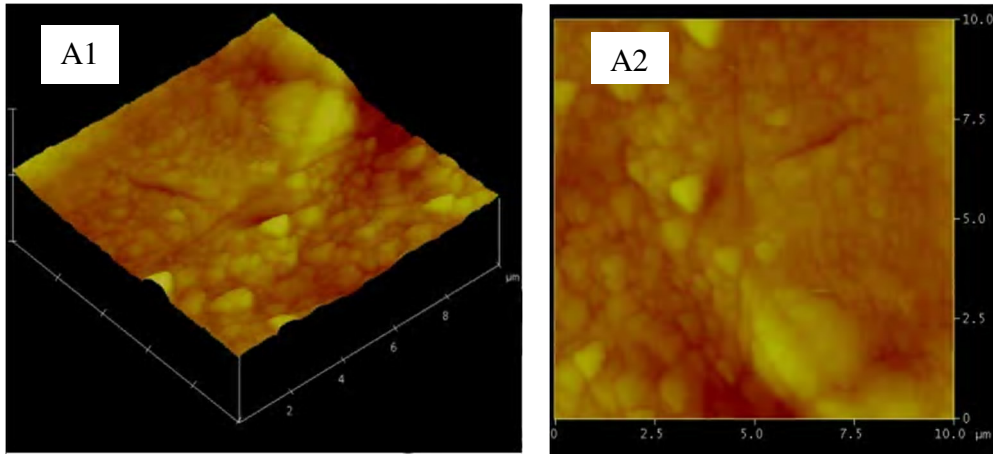
Şekil 5.42'de kaplanmamış yay çeliğinin numunenin (A1-A2) 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 115,84 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 1,267 µm değerinde elde edilmiştir. Şekil 5.43'de 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış yay çeliğinin numunenin (A1-A2) 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 79,104 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 780,87 nmdeğerinde elde edilmiştir. Şekil 5.44'te 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış pasivasyonlu yay çeliğinin numunenin (A1-A2) 10x10 mikrometre tarama alanında ortalama pürüzlülük değeri Ra 27,734 nm, maksimum pürüzlülük değeri Rmax 284,98 nm değerinde elde edilmiştir.



Şekil 5.42. Kaplanmamış yay (SH) çeliğinin numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri R_a ve maksimum pürüzlülük değeri R_{max} 'un AFM analiz sonucu görüntüleri



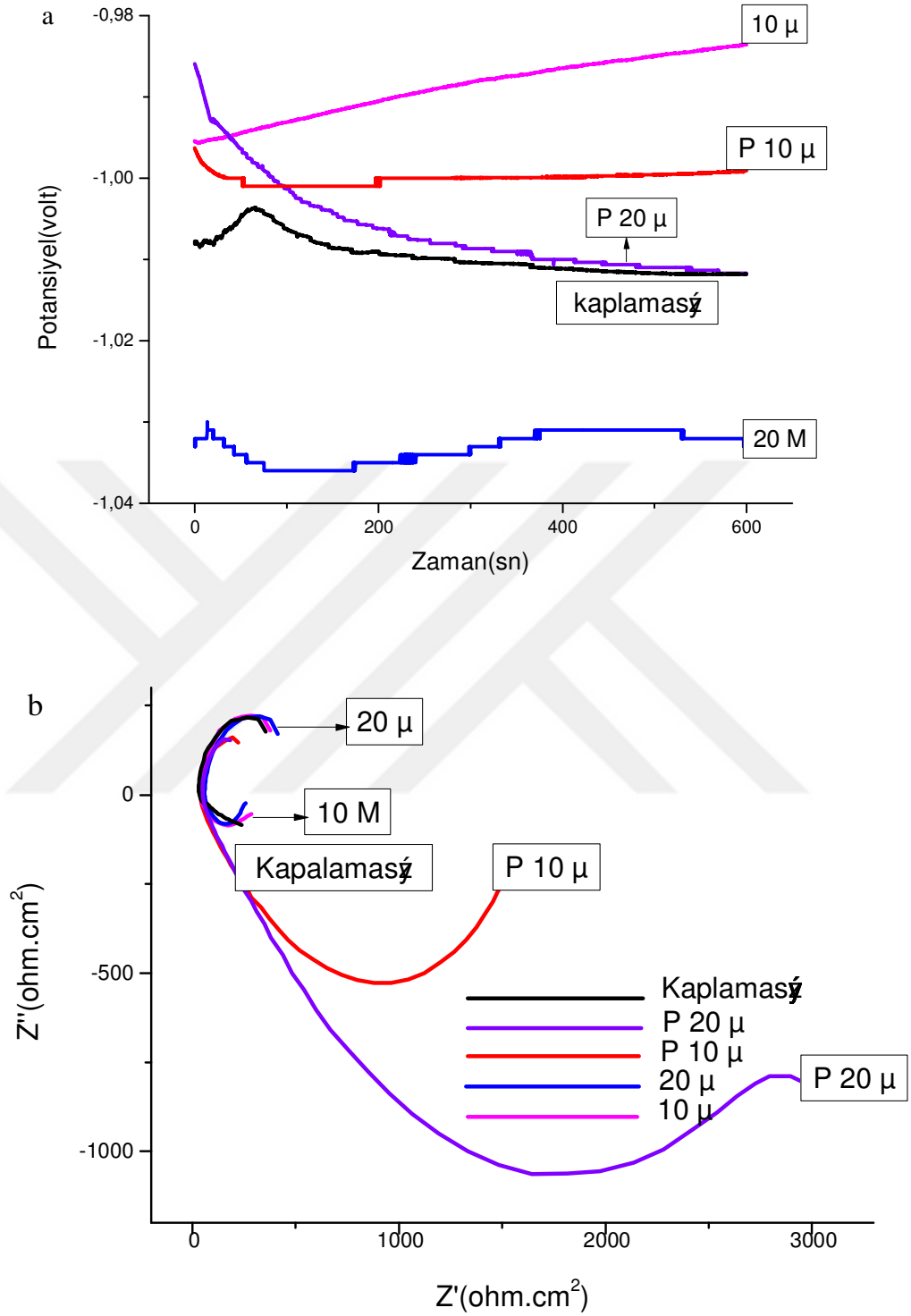
Şekil 5.43. 20 μm elektrolitik çinko kaplanmış yay çeliğinin numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri R_a ve maksimum pürüzlülük değeri R_{max} 'un AFM analiz sonucu görüntüleri



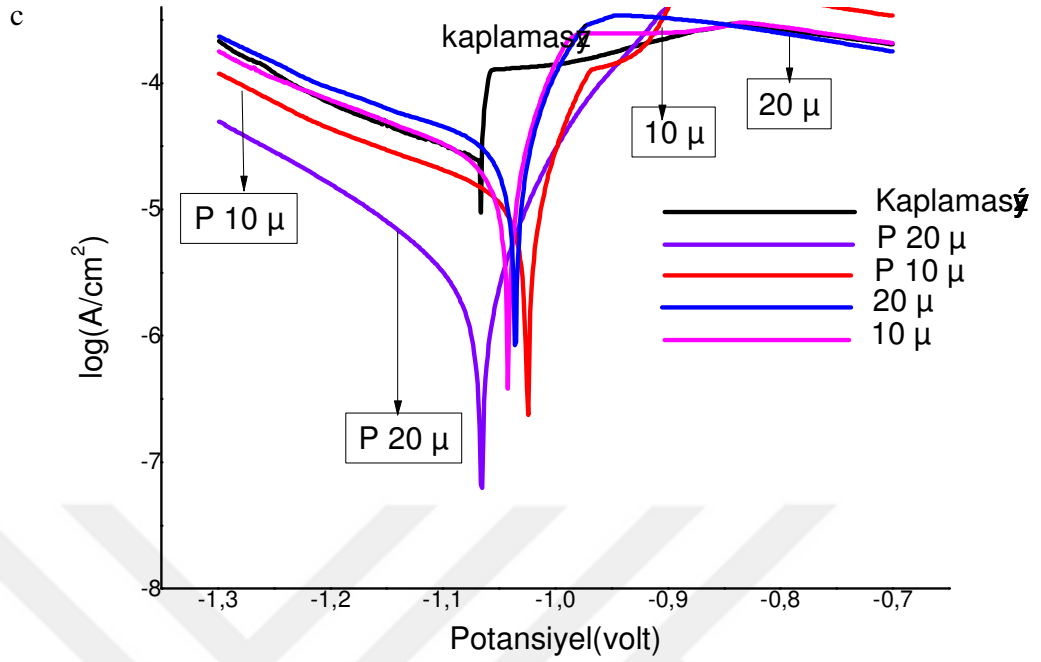
Şekil 5.44. 20 µm elektrolitik çinko kaplanmış pasivasyonlu yay çeliği numunenin (A1-A2), (B1,B2) ortalama pürüzlülük değeri Ra ve maksimum pürüzlülük değeri Rmax'ın AFM analiz sonucu görüntüleri

5.2.3. Yay Çeliği (SH) Nötr Ortam Korozyon Bulguları

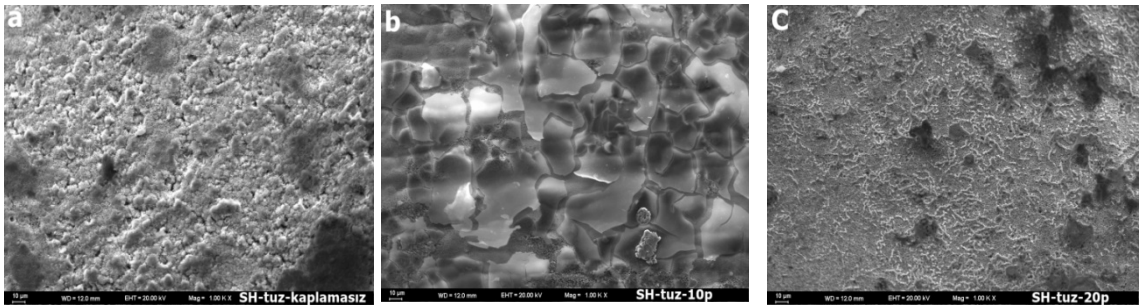
Çinko kaplama yapılmış yay çeliği ile yapılan deneylerde kaplamanın nötr ortamdaki korozyon hızları aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.4). Kaplamanın 10 µm ve 20 µm olduğu durumda korozyon hızları yüksek çıkmıştır. Bu durumda bu kaplama yay çeliğini yeterince koruyamamaktadır. Ancak pasivasyon 10 µm de koruma sağlamaya başlamış ve pasivasyon 20 µm ile kaplanmış çeliklerin nötr ortamdaki korozyon hızları önemli ölçüde azalmıştır. Çünkü korozyon dirençleri daha yüksek çıkmıştır. Buna bağlı olarak korozyonu önlemede yüzde ifadesi olan “Korozyon Direnci yüzdesi” de artmıştır. Şekil 5.45.’de 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı, 10 µm ve 20 µm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay Çeliğinin tuz ortamdaki a) potansiyel-zaman, b) AC empedans ve c) akım-potansiyel eğrileri verilmiştir. Şekil 5.46.’da yay çeliği’nin bazik ortamda yapılan deneylerden sonra yüzey fotoğraflarının SEM görüntüleri verilmiştir.



Şekil 5.45. a) 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı, 10 μ m ve 20 μ m çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay çeliğinin tuz ortamdaki potansiyel-zaman, b) AC empedans eğrileri



Şekil 5.45. c) 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı, 10 μm ve 20 μm çinko kaplamalı pasivasyonlu ve kaplamasız yay çeliğinin tuz ortamdaki akım-potansiyel eğrileri



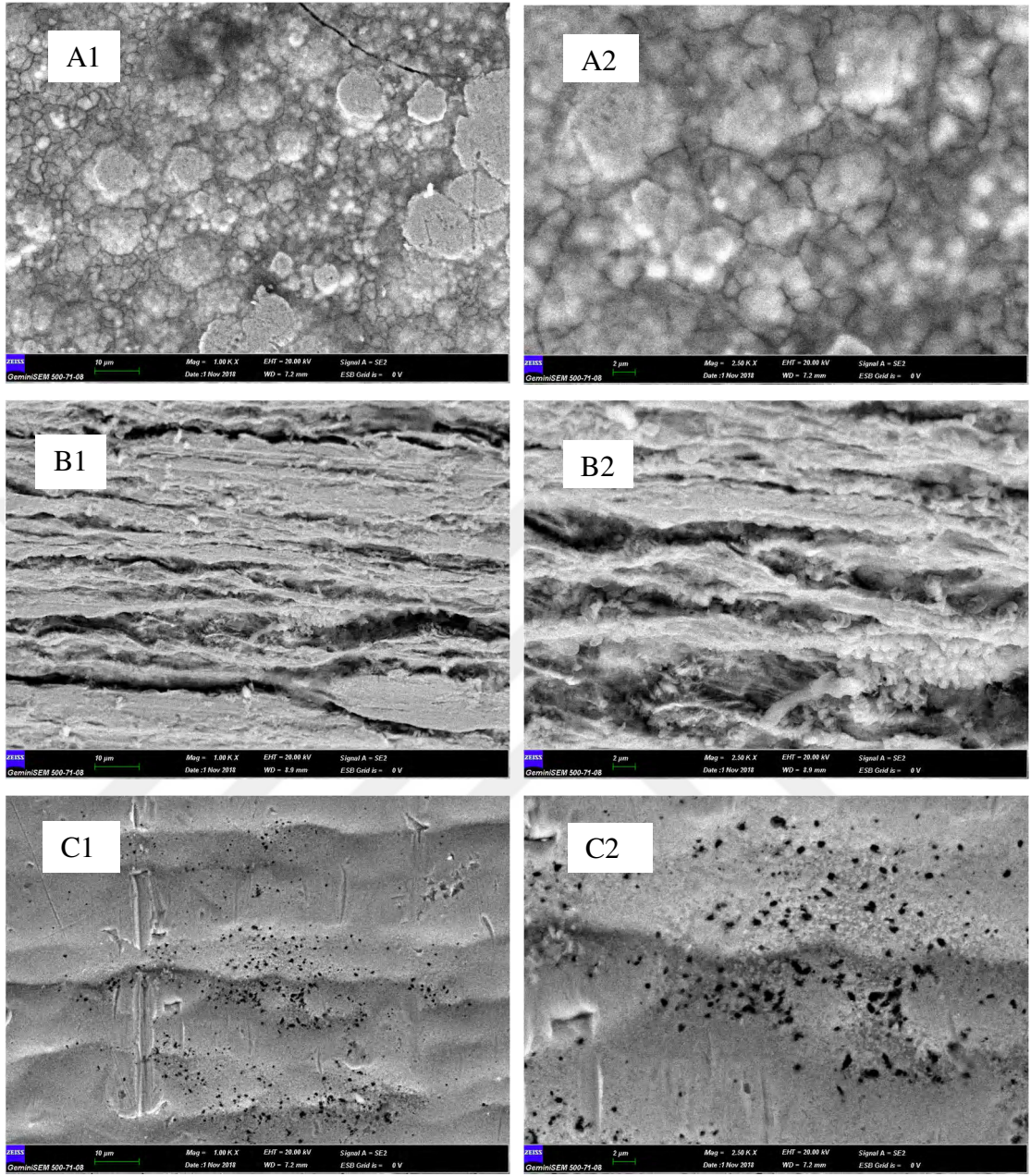
Şekil 5.46. Yay Çeliği ile tuz ortamında (a=kaplamasız, b= 10 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu c=20 μm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu) yapılan deneylerden sonra yüzey SEM görüntüleri

Tablo 5.4. Yay çeliğinin (SH) nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon hızı (i_{kor}) ve diğer korozyon parametreleri (TH 0,01)

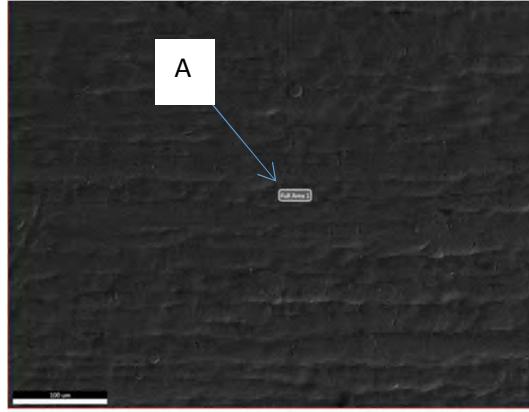
SH	E_{kor} (Volt)	B_c (mV dec ⁻¹)	B_a (mV dec ⁻¹)	R_p (Ω cm ²)	i_{kor} (mA cm ⁻²)		İnhibisyon (%)			Ort.
					(S-G)	(Tafel)	i_{kor}	S-G	R_p	
Kaplamasız	-0,934	206	157	2300	16,8	10,4				
10 μ	-1,030	296	298	1300	49,6	121	-1063	-195	-77	-445
20 μ	-1,030	344	468	600	143	194	-1765	-754	-283	-934
P 10 μ	-1,009	273	98	3020	10,4	9,5	9	38	24	24
P 20 μ	-1,048	174	69	9750	2,2	6,0	42	87	76	68

5.2.4. Yay Çeliği (SH) Nötr Ortam Korozyon Sonuçları

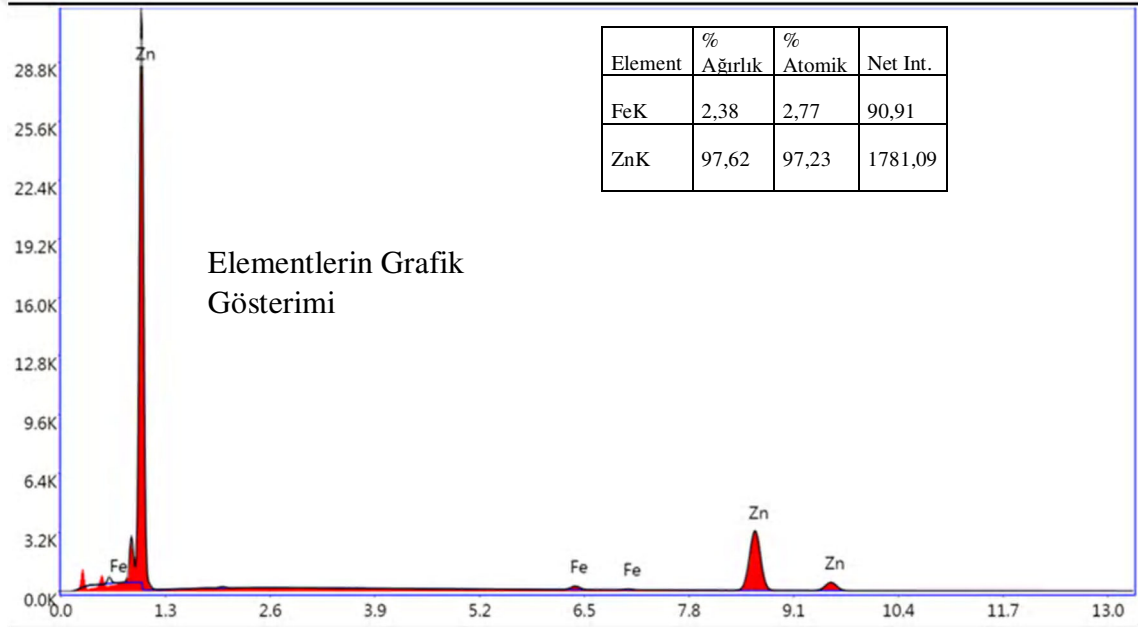
Kaplamanın 10 μ m ve 20 μ m olduğu durumda korozyon hızları yüksek çıkmıştır. Bu durumda bu kaplama yay çeliğini yeterince koruyamamaktadır. Ancak pasivasyon 10 μ m kaplanmış çeliklerin korozyon hızları azalmaya başlamış ve pasivasyon 20 μ m ile kaplanmış çeliklerin nötr ortamdaki korozyon hızları önemli ölçüde azalmıştır. Çünkü korozyon dirençleri daha yüksek çıkmıştır. Buna bağlı olarak korozyonu önlemede yüzde ifadesi olan “Korozyon Direnci yüzdesi” de artmıştır. Pasivasyon 10 μ m ile kaplanmış yay çeliğinin nötr ortamdaki korozyon Direnci % 24 oranında, pasivasyon 20 μ m ile yapılan kaplamanın ise korozyon Direnci % 68 değerine kadar ulaşmıştır. Dolayısıyla direnci yükselen kaplamanın korozyon hızı da düşmüştür. Sonuç olarak yapılan deneylerde (25°C) pasivasyon 20 μ m ile yapılan kaplamanın daha iyi olduğu deneysel verilerden yola çıkarak anlaşılmıştır. Şekil 5.47’de (A1-A2) bazik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) bazik ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız ultrasonik yıkamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (C1-C2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 μ m elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.48’de (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 μ m elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.49’da Şekil 5.48’deki A noktasının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.47. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazık ortamda korozyon testi yapılan kaplamasız yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1(1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazık ortamda kaplamasız Ultrasonik Yıkamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, C1 (1000x Büyütme), C2 (2500x Büyütme) bazık ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



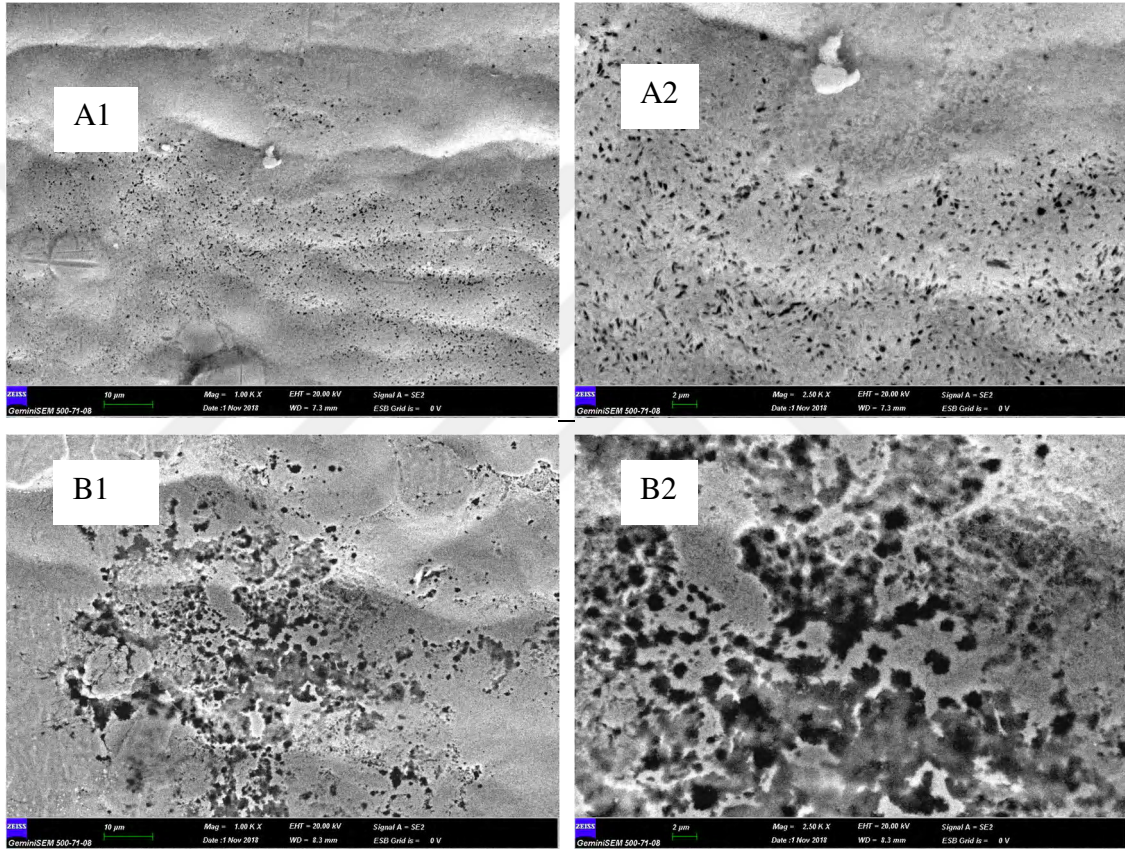
Şekil 5.48. (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



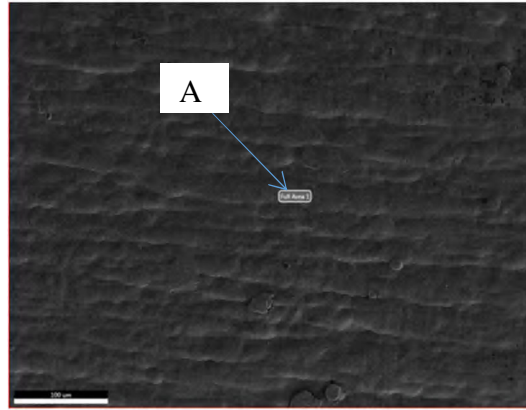
Şekil 5.49. Şekil 5.48'deki A noktasının EDX analiz sonuçları

A durumunda yüzey düzgün değil büyük küçük taneler homojen olmayan bir şekilde dağılmış olup korozyon direnci düşüktür. B durumunda çelik yüzeyi homojen, düzgün değildir. Korozyon olmaya uygun bir yapı vardır. C durumunda A durumuna göre yüzeydeki delikler kapanmış olsa da homojen olmayan bir yapı vardır. Korozyon olmaya elverişlidir. Şekil 5.50'de (A1-A2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, (B1-B2) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko

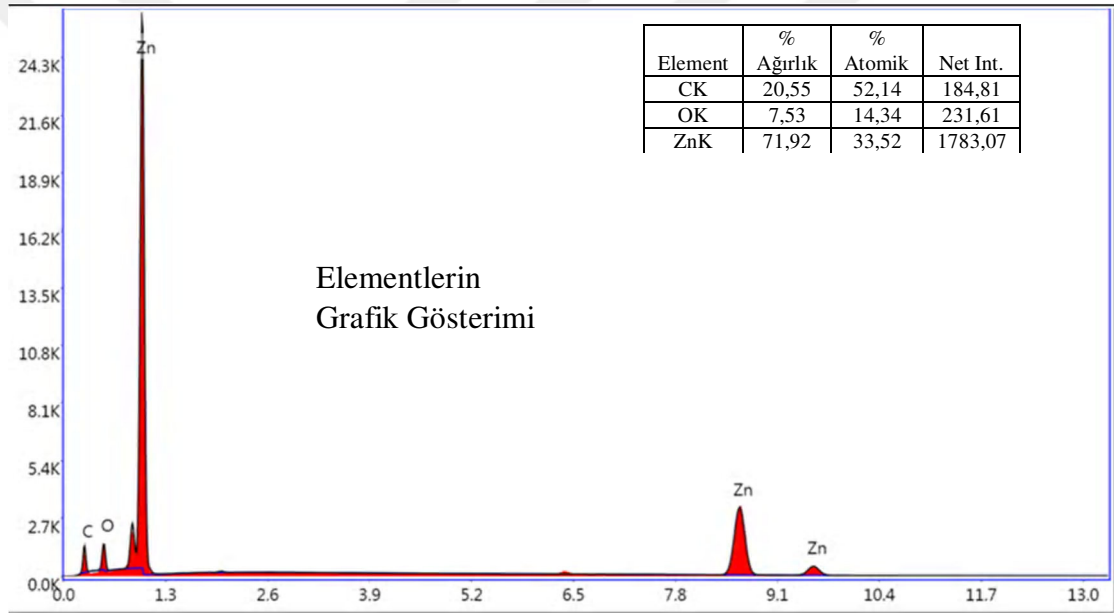
kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği (SH) numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.51'de (A) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri verilmiştir. Şekil 5.52'de Şekil 5.51'deki A noktasının EDX analiz sonuçları verilmiştir.



Şekil 5.50. A1 (1000x Büyütme), A2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri, B1 (1000x Büyütme), B2 (2500x Büyütme) bazik ortamda korozyon testi yapılan 20 µm elektrolitik çinko kaplamalı pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.51. (A) bazık ortamda korozyon testi yapılan 10 µm elektrolitik çinko kaplamalı + pasivasyonlu yay çeliği numunesine ait SEM görüntüleri



Şekil 5.52. Şekil 5.51'deki A noktasının EDX analiz sonuçları

A ve B şartlarında küçük taneli homojen bir yapı olması nedeniyle korozyona karşı dayanımının fazla olması düşünülmektedir. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri Tablo 5.5'te verilmiştir. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri Tablo 5.6'da verilmiştir. Kaplanmış Ç 1113 Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri

Tablo 5.7’de verilmiştir. Kaplanmış Ç-1113 Çeliği örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri Tablo 5.8.’de verilmiştir.

Tablo 5.5. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri

Yay Çeliği (SH)	Zn	O	Mn	C	Cl	Cr	Na	Cu	Fe	% Korozyon Direnci
Kaplamasız	5,42	6,46	0,74	6,18	-	-	-	-	77,4	
PASİVASYON 10 µm	78,70	11,9	-	2,39	-	3,21	-	-		24
PASİVASYON 20 µm	86,07	6,11	-	2,89	-	-	2,42	-		68

Tablo 5.6. Kaplanmış Yay Çeliği örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri

Yay Çeliği(SH)	C	O	Zn	Cr	Fe	Mn	% Korozyon Direnci
Kaplamasız	6,18	6,46	5,42	-	77,4	0,74	
PASİVASYON 10 µm	4,44	12	77,45	-	2,66		-475
PASİVASYON 20 µm	3,20	10,12	82,66	0,37	1,30		-450

Tablo 5.7. Kaplanmış Ç 1113 Çeliği örneklerin nötr ortamda (0,5 M NaCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri

Otomat çeliği (Ç 1113)	Fe	O	Cu	Zn	C	Cr	Mn	Diğer	% Korozyon Direnci
Kaplamasız			-	-	9,99	-	1,42		
PASİVASYON 10 µm	-	5,50	-	82,95	4,10	-			95
PASİVASYON 20 µm	3,98	4,69	-	82,97	3,78	-			96

Tablo 5.8. Kaplanmış Ç 1113 Çeliği örneklerin asidik ortamda (0,5 M HCl) ve 25°C sıcaklıkta akım-potansiyel eğrileri alındıktan sonra yüzeydeki elementlerin EDX analizleri

Otomat çeliği (Ç 1113)	Fe	O	Cu	Zn	C	Cr	Diğer	% Korozyon Direnci
Kaplamasız	39,55	38,74	-	-	9,99	-		
PASİVASYON 10 µm	95,34	4,26	-	1,16	1,87	-		-439
PASİVASYON 20 µm	1,93	14,55	-	82,67	3,90	-		-78

Çinko kaplamalı SEM fotoğrafları elde edilen Zn kaplama tabakalarının düzgün, kompakt ve ince taneli bir yapıya sahip olduğunu ortaya koymaktadır [5]. Kaplama kristal yapıya sahip olup sdh kafes yapıdadır [15]. Geleneksel çinko kaplamaların mekanik ve elektrokimyasal özellikleri çeliğin korozyon direncini iyileştirmektedir

6. BÖLÜM

SONUÇ VE ÖNERİLER

6.1. Genel Sonuçlar ve Öneriler

Tez çalışmasında, endüstriyel birçok uygulamada önemli olan Elektrolitik çinko kaplama yönteminin, işlem parametrelerine bağlı olarak korozyon davranışına etkisi araştırılmıştır. Endüstride kullanımı önemli olan SAE 1112 (Ç 1113) otomat ve SAE 1080 (SH) yay çelikleri deney malzemeleri olarak seçilmiş, bu çelikler üzerinde çinko kaplama gerçekleştirilip kaplama parametrelerine bağlı olarak korozyon davranışlarının değişimi incelenmiştir. Elektrolitik kaplama için önemli parametre olan kaplama kalınlığı ve pasivasyon işleminin etkisi potansiyodinamik polarizasyon deneyleriyle araştırılmıştır. Önemli olan hangi çelikte çinko kaplamanın hangi şartlarda daha iyi koruyucu olduğunun ortaya konulmasıdır. Bu amaçla kaplama kalınlığının ve çinko kaplama sonrası yapılan pasivasyon işleminin korozyon direncini nasıl etkilediğini araştırmak için analizler yapılmıştır. Çinko kaplamaların korozyon direnci asidik ve nötral çalışma koşulları düşünülerek iki farklı ortamda potansiyodinamik polarizasyon deneyleriyle araştırılmış, Tafel polarizasyon eğrileri çıkarılarak mukayeseler yapılmış aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Her iki çelik malzemeye uygulanan elektrolitik çinko kaplama işlemi ile kaplama kalınlığı arttıkça yüzeyde artan çinko birikimi (Zn) korozyon direncini artırmıştır. Çinko galvanik olarak çelikleri korumuştur.
- Potansiyodinamik polarizasyon deneyleriyle elde edilen akım-potansiyel eğrileri ve yüzey analizleri, her iki çelik için çinko kaplama üzerine yapılan

- pasivasyon işleminin korozyon direncini artırmada başarılı olduğunu ortaya koymuştur.
- Otomat (Ç 1113) ve Yay Çeliğine (SH) uygulanan 10 µm ve 20 µm kaplama üzerine yapılan pasivasyon işleminde Otomat çeliği korozyon direnci bakımından daha başarılı olmuştur (%96). Bu oran kaplamanın oldukça önemli ve yüksek bir koruma sağladığını göstermiştir.
- Farklı karbon oranlarına sahip iki çelik malzeme, hem yüksek karbonlu kaplanmış çelikte, hem de düşük karbonlu kaplanmış çelikte asidik ortamda yüzeylerin bozulduğu ve korozyonu önlenemedikleri görülmüştür.
- Farklı karbon oranlarına sahip iki çelik malzeme nötral ortamda korozyona karşı iyi koruyuculuk sağlamıştır. Yüksek karbonlu kaplanmış çeliğin yay çeliği nötr ortamdaki direnci 9750 mΩ, korozyon akımı 2,2 mA, korozyon önlemesi % 68 olarak bulunmuştur. Düşük karbonlu kaplanmış çeliğin (SAE 1212 çeliği) nötr ortamdaki direnci 9631 mΩ, korozyon akımı 2,7 mA, korozyonu önlemesi % 96 oranında bulunmuştur.
- Pasivasyon etkisi farklı çinko kaplama kalınlıklarında nötr ortamda incelenmiştir. Korozyondan korunma derecesi olarak inhibisyon değerleri dikkate alınmıştır. Pasivasyon 10 µm kaplamada düşük ve 20 µm kaplamada yüksek oranda koruma sağlamıştır. Otomat çeliği için en iyi koruma pasivasyonlu kaplamalarda elde edilmiştir. Benzer durum yay çeliği için de görülmüştür.

Çinko kaplamaların korozyon direncini geliştirmek için saf çinko kaplama sonrası tungstat, molibdat, oksalat kaplama uygulaması ileride yapılacak çalışma olarak düşünülebilir.

KAYNAKLAR

1. Kim, S., Kim, J., Hara M., Ichino R., Okido, M., Wada N., 2003. “Characterization of the Silica Conversion Film Formed on Zinc-Electroplated Steel”, **Materials Transactions, Vol. 44**, No. 4 (2003) pp. 782 to 786.
2. Lei, G.X., Qiao S.Y., Jing, L., Sheng, L. Ch., 2010. “ Morphology and texture of high speed galvanized coatings on interstitial free steel sheet”, **Trans. Nonferrous Met. Soc. China 21** (2011) 488-492.
3. Yang, Y., Liu, S., Yu, X., Huang, C., Chen, S., Chen, G., Wu, Q.H., 2015 “ Effect of additive on zinc electrodeposition in acidic bath”, <http://www.tandfonline.com/loi/ysue20>, **Surface Engineering, 31:6, 446-451.(E.T. 27.03.2019)**
4. Hamlaoui, Y., Tifouti, L., Pedraza, F.,2010. “On the corrosion resistance of porous electroplated zinc coatings in different corrosive media”, **Corrosion Science, 52** : 1883–1888.
5. Czerwinski, F., Kondo, K., Szpunara, J. A. 1997. “ Atomic Force Microscopy Study of Surface Morphology of Zinc-Iron Electrodeposits” , , 4s
6. Czerwinski, F., Szpunar, J. A., Kondo K., 1998. “ The texture±surface morphology relationship in zinc±iron electrolytic coatings” **Journal Of Materials Science 33** 2589-2594.
7. Gu, M. Marder, A. R., 1991. “ Morphological changes of electrodeposited Zn and Zn-Fe coatings during heating”**Journal Of Materials Science 26** 4588-4598.
8. Zhang, X., Liang, J., Liu, B., Peng, Z., 2014. “Preparation of superhydrophobic zinc coating for corrosion protection”, *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, **454**: 113–118.
9. Carvalho, M. F. de, Brito, M.M. de, Carlos Í. A. 2016. “Study of the influence of the trisodium nitrilotriacetic as a complexing agent on the copper, tin and zinc co-deposition, morphology, chemical composition and structure of electrodeposits” , **Journal of Electroanalytical Chemistry 763** 81–89.

10. Panossian, Z., Mariaca, L., Morcillo, M., Flores, S., Rocha, J., Pen, J.J., Herrera, F., Corvo, F., Sanchez, M., Rincon, O.T., Priddybailo, G., Simancas, J., 2005. "Steel cathodic protection afforded by zinc, aluminium and zinc/aluminium alloy coatings in the atmosphere", **Surface & Coatings Technology**, **190**: 244–248.
11. Okido, M., Ichino, R., Ki Jang S., S Kim E.J., 2009. "Electrochemical characteristics and surface morphology in non-chromate chemical conversion coating for Zn-electroplated steel sheets", **Transactions of Nonferrous Metals Society Of China** **18** s 45-49.
12. Khorsand, S., Raeissi K., Golozar, M.A., 2011. "An investigation on the role of texture and surface morphology in the corrosion resistance of zinc electrodeposits", **Corrosion Science** **53** 2676–2678
13. Park, H., and Szpunar, J. A., 1998. "The Role Of Texture And Morphology In Optimizing The Corrosion Resistance Of Zinc-Based Electrochemical Vanized Coating", **Corrosion Science**, **40**: 525-545.
14. Raeissi, K., Saatchi, A., Golozar M.A., 2003. "Effect of nucleation mode on the morphology and texture of electrodeposited zinc", **Journal of Applied Electrochemistry** **33**: 635–642.
15. Xia, X., Zhitomirsky, I., Mcdermid J. R., 2009. "Electrodeposition of zinc and composite zinc–yttria stabilized zirconia coatings", **Journal of materials processing technology** **209** 2632–2640.
16. Kondo, K., Murakami, T., Cerwinski F., Shinohar K., 1997. "AFM study on morphology evolution of zinc electrodeposits", **ISIJ International**. Vol. **37** No. 2, pp. 140-145.
17. Ciubotariu, A., Radu, T., Cantaragiu, A., 2013. "Effect of current density on morphology and corrosion resistance of epoxy resin /zn layers", **The annals of "dunarea de jos" university of galati. fascicle ix. metallurgy and materials science N^o. 4** – 2013, ISSN 1453 – 083X S 5-10
18. Tafreshi, M., Allahkaram S.R., Farhangi, H., 2016. "Comparative study on structure, corrosion properties and tribological behavior of pure Zn and different Zn-Ni alloy coatings", **Materials Chemistry and Physics** **183** 263-272.

19. Sciscenko, I. Pedre, I. Hunt, A. Bogo, H. González, G.A., 2016. “Determination of a typical additive in zinc electroplating baths”, **Microchemical Journal**, **127**: 226–230.
20. Furuhashi, T., Norihiko, S., Makino, T., 1996. “Morphology and crystallography of hcp zn crystals electro-deposited on bcc fe-3%si single crystal substrates”, **ISIJ International**, **Vol. 36**, No. 5, pp. 584-591.
21. Vasilakopoulos, D., Bouroushian, M., 2010. “Electrochemical codeposition of pmma particles with zinc”, **Surface & Coatings Technology** **205** 110–117.
22. Raissi, K., Saatchi, A., Golozar, M.A., 2003. “Effect of nucleation mode on the morphology and texture of electrodeposited zinc”, **Journal of Applied Electrochemistry** **33**: 635–642.
23. Sekar, R., Jayakrishnan S., 2006. “Characteristics of zinc electrodeposits from acetate solutions”, **Journal of Applied Electrochemistry** **36**:591–597.
24. Li, M. C., Jiang, L. L., Zhang, W. Q., Qian, Y. H., Luo, S. Z., Shen, J. N.,2007. “Electrodeposition of nanocrystalline zinc from acidic sulfate solutions containing thiourea and benzalacetone as additives”, **J Solid State Electrochem** **11**:549–553.
25. Afifi,S.E., Ebaid A.R., Hegazy M.M., Barakat, A.K., 1992. “The Effect of Additives on Zinc Deposited from Zinc Sulfate Solutions”, **Research Summary**, p. 1-3
26. Saba, A.E., Elsherief, A.E., 2000. “Continuous electrowinning of zinc”, **Hydrometallurgy** **54**. 91–106.
27. Kondo, K., Ohgishi A., Tanaka Z.,1999. “Electrodeposition of Zinc-SiO₂ composite”, **Journal of The Electrochemical Society**, **147** (7) 2611-2613
28. Baih, D.S., Fray, D.J., 2001. “Electrodeposition of zincs from high acid zinc chloride solutions”, **Journal of Applied Electrochemistry** **31**, 1141–1147,.
29. Loto, C. A., Olefjord, I., Mattsson, H.,1992. “Surface effects of organic additives on the electrodeposition of zinc on mild steel in acid-chloride solution”, **The first international conference on P.** 82-88

30. Pereira, M.S., Barbosa, L.L., SOUZA, C.A.C., De Moraes, A.C.M., Carlos, I.A.,2006. “The influence of sorbitol on zinc film deposition, zinc dissolution process and morphology of deposits obtained from alkaline bath”, **Journal of Applied Electrochemistry** **36**:727–732.
31. Mouanga, M., Berçot, P., Rauch, J.Y.,2010. “Comparison of corrosion behaviour of zinc in NaCl and in NaOH solutions. Part I: Corrosion layer characterization”, **Corrosion Science** **52** 3984–3992.
32. Treacy, G. M., Wilcox, G. D., Richardson M. O. W.,1999. “Behaviour of molybdate-passivated zinc coated steel exposed to corrosive chloride environments”, **Journal of Applied Electrochemistry** **29**: 647±654.
33. Lindström, D., Wallinder, I. O.,2011. “Long-term use of galvanized steel in external applications. Aspects of patina formation, zinc runoff, barrier properties of surface treatments, and coatings and environmental fate”, **Environ Monit Assess** **173**:139–153.
34. Ramanauskas, R., Quintana, P., Maldonado, L., Pomés, R., Pech-Canul, M.A.,1997. “Corrosion resistance and microstructure of electrodeposited Zn and Zn alloy coatings”, **Surface and Coatings Technokgy** **92**: 16-21.
35. Selskis, A., Gudaviciūte, L., Valsiūnas, I., Ramanauskas R.,2004. “Corrosion of Zn and Zn alloy electrodeposits: morphology and structural changes”, **CHEMIJA. T** **15**. Nr. 3. P. 17-25.
36. Korobov, V.I., Petrenko, L.V., Poltavets, V.V.,2014. “effect of phase composition on the anodic dissolution and passivation of zinc-based alloys”, **Universal Journal of Chemistry** **2**(5): 76-85.
37. Yoo, J.D., Ogle, K., Volovitch, P.,2014. “The effect of synthetic zinc corrosion products on corrosion of electrogalvanized steel: I. Cathodic reactivity under zinc corrosion products”, **Corrosion Science** **81**: 11–20.
38. Culcasi, J. D., Elsner, C. I., Di Sarli, A. R.,2009. “Effect of Zinc Crystals Size on Galvanized Steel Deformation and Electrochemical Behavior”, **Materials Research, Vol. 12**, No. 3, 273-279.

39. Alfantazi, A.M., Dreisinger, D.B., 2001. "The role of zinc and sulfuric acid concentrations on zinc electrowinning from industrial sulfate based electrolyte", **Journal of Applied Electrochemistry** **31**; 641–646.
40. Li, Y., Wang, Y., Wen C., 2016. "Temperature and strain sensing properties of the zinc coated FBG", **Optik** **127**; 6463–6469.
41. Lin, C. S., Meshii M., Chen C. C., 1995. "Phase Evolution in Galvanneal Coatings on Steel Sheets", **ISIJ International**, Vol. **35**, No. 5, pp. 503-511.
42. Taouil, A. E., Mahmoud, M. M., Lallemand, F., Lallemand, S., Gigandet, M.-P., Hihn, J.-Y., 2012. "Corrosion protection by sonoelectrodeposited organic films on zinc coated steel", **Ultrasonics Sonochemistry** **19**; 1186–1193.
43. Nayana, K.O., Venkatesha, T.V., 2011. "Synergistic effects of additives on morphology, texture and discharge mechanism of zinc during electrodeposition", **Journal of Electroanalytical Chemistry** **663**; 98–107.
44. Lin, C. S. Meshii, M. Chen, C. C., 1995. "Microstructural Characterization of Galvanneal Coatings by Transmission Electron Microscopy", **ISIJ International**, Vol. **35**. No. 5, pp. 491~502.
45. Yasakau, K.A., Giner, I., Vree, C., Ozcan, O., Grothe, R., Oliveira, A., Grundmeier, G., Ferreira, M.G.S., Zheludkevich, M.L., 2016. "Influence of stripping and cooling atmospheres on surface properties and corrosion of zinc galvanizing coatings", **Applied Surface Science** **389**; 144–156.
46. Yuan, L., Ding, Z., Liu, J. S., Shu, W., He, Y., 2017. "Effects of additives on zinc electrodeposition from alkaline zincate solution", **Trans. Nonferrous Met. Soc. China** **27**; (2017) 1656–1664.
47. Dinakaran, R., Karthikeyan, S., Raja, K., Jeeva, P. A., 2018. "Improvement in Corrosion Resistance of Mild Steel Using Phosphate Conversion Coatings on Electro-Deposited Alkaline Zinc", **Materials Today: Proceedings** **5**; (2018) 13111–13118.

48. Küstü C., 2008. “Asitli ortamdaki korozyona karşı schiff bazı temelli bazı yeni inhibitörlerin geliştirilmesi”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi, Ankara, 126s.
49. Tuna, N., 2013. “Çinko ve Nikel Kaplanmış Düşük Karbonlu Çelik Plaka ve Vidaların Korozyon Davranışının İncelenmesi”, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, İstanbul, 135s.
50. Yalçın,H.,Koç,T., 1997.“Mühendisler İçin Korozyon.Türkiye Mühendisler ve Mimar Odaları Birliği Kimya Mühendisleri Odası”, Ankara, 321s.
51. Berk, V., 2004.“Yüzey İşlemler Teknolojileri I”127 s.
52. Yıldız, A., 2008. “Asidik ortamlarda 2-aminotiyazol-2-hidroksi-1-naftaldimin shiff bazının çinko korozyonuna karşı inhibitör etkinliğinin konsantrasyona bağlı olarak elektrokimyasal yöntemle incelenmesi.”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara,114s.
53. Yonar,İ. K., 1979. “Galvano Teknik Temel Ders Kitabı”, Milli Eğitim Basımevi,İstanbul,434s.
54. Derin, E., 2016. “Ortaöğretim Kimya ve Fizik Öğretmenlerinin Korozyon Hakkındaki Bilgi Düzeylerinin Araştırılması”, Gazi Üniversitesi Eğitim Bilimleri EnstitüsüOrtaöğretim Fen ve Matematik Alanlar Eğitimi Ana Bilim Dalı,Yüksek Lisans Tez Önerisi, Ankara,85s.
55. Çetinkaya, E., 2006. “Çinko-Nikel Alaşım Kaplamalarının Karakteristiklerinin İncelenmesi”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 67s.
56. Kılınç, A. G.,2001.“Çinko Korozyonunun Benzotriazol Tolutriazol ve Kuartamin Tuzları ile Önlenmesi”, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi,Ankara,139s.
57. Altunbaş, E.2008. “Polirodaninin Bakır Üzerine Elektrokimyasal Sentezi ve Korozyon Davranışlarının Belirlenmesi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Adana,88s.

58. Haşçalık, A., Özek, C., 2002. “Elektroliz Yöntemiyle Çinko Kaplama Parametrelerinin İncelenmesi”, Fırat Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Makine Eğitimi Bölümü, Elazığ,7s.
59. Doç.Dr. Ahmet ALP.“Elektrolitik Metal Kaplama”, Sakarya Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Metalurji ve Malzeme Mühendisliği Bölümü, Sakarya, 22s.
60. Küçüköğlü, M.,2010.“Ogزالat, Tungustat, Molibdat Ve Fosfatın Saf Çinkonun Sulu Ortamdaki Korozyonuna Etkisi”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Ankara, 93s.
61. Yaluk, D., 2009. “Çelik Sistemlerin Yüzey Özelliklerinin Sıcak Daldırma Galvaniz Kaplamalara Etkisi”, Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Fizik Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Adana,143s.
62. Dikici,T., 2009. “Çelik Malzeme Yüzeyine Elektrolitik Yolla Kaplanan Zn-Ni-Co Alaşımının Mekanik ve Yapısal Özelliklerinin İncelenmesi”, Dokuz Eylül üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisan Tezi, İzmir,124s.
63. Önre, S., Arık, G., 2015. “Biomedikal Uygulamalarda Kullanılan Ti6Al4V Alaşımının Korozyon Davranışının Farklı Kaplamalar Yapılarak Karşılaştırılması Ve Sonuçların Analiz Edilmesi”, T.C.Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü Bitirme Ödevi Kayseri,47s.
64. Danışman, Ş., Teber, M., 2016. “Biyomedikal Uygulamalarda Kullanılan Ti6Al4V Alaşımının Korozyon Davranışı Üzerine TiAlN Kaplamanın Etkisi”, T.C.Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü,Uluslararası Malzeme Bilimi ve Teknolojisi Konferansı Kapadokya (IMSTEC’16), Nevşehir, Türkiye Kayseri,8s.
65. Çelik, K., 2006. “Elektrolitik Çinko Kaplama ve İşletme Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkisi”, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisan Tezi, Eskişehir, 57s
66. Yanardağ, T., 2011. “Çinko ve Çinko alaşımların Korozyonunun İnorganik ve Organik Maddelerle Önlenmesi”, Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Ankara, 152s.

67. Uyanık, M., 2012. “Sic Nnanopartikül İlaveli Asitli Çinko Kaplama Banyolarında Yapılan Kaplamaların Malzemenin Korozyon Direnci ve Mekanik Özelliklerine Etkisinin Araştırılması”, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı İmal Usulleri Programı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, 102s.



ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı: Mustafa MAŞLAK
Uyruğu: Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri: 30 Haziran 1980, Ankara
Medeni Durumu: Bekâr
Tel: +90 312 335 02 61
email: mustafamaslak@erciyes.edu.tr
Yazışma Adresi: 923 Cd. 55/C 06190 Yeşilevler/ANKARA

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Erciyes Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü	-----
Lisans	Kırıkkale Üniversitesi Makine Mühendisliği	2004
Lise	Mustafa Kemal Lisesi, Ankara	1997

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2007- 2013	2'inci Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü	Devlet Memuru Mühendis
2013- Halen	4'üncü Ana Bakım Fabrika Müdürlüğü	Devlet Memuru Mühendis

YABANCI DİL

İngilizce