

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Deniz KÖLELİ

**GALVANİZE ÇELİKLERDE KENAR KESİM
BÖLGELERİNDEKİ KOROZYON-KAPLAMA KALINLIĞI
İLİŞKİSİ**

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA-2020

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**GALVANİZE ÇELİKLERDE KENAR KESİM BÖLGELERİNDE
KAPLAMA KALINLIĞI-KOROZYON İLİŞKİSİ**

Deniz KÖLELİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

KİMYA ANABİLİM DALI

Bu Tez 20/05/2020 tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından
Oybirliği/Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....
Prof. Dr. Tunç TÜKEN
DANIŞMAN

.....
Prof. Dr. İlyas DEHRİ
ÜYE

.....
Doç. Dr. Başak DOĞRU MERT
ÜYE

Bu Tez Enstitümüz Kimya Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Mustafa GÖK
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

GALVANİZE ÇELİKLERDE KENAR KESİM BÖLGELERİNDE KAPLAMA KALINLIĞI-KOROZYON İLİŞKİSİ

Deniz KÖLELİ

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI**

Danışman : Prof. Dr. Tunç TÜKEN
Yıl: 2020, Sayfa: 51
Jüri : Prof. Dr. Tunç TÜKEN
: Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Doç. Dr. Başak Doğru MERT
: Prof. Dr. Gülşen ASLAN AVCI

Galvanizleme, çeliği korozyondan korumak için en çok uygulanan yöntemlerden biridir. Sıcak daldırma galvaniz yöntemi malzeme şekillendirildikten sonra uygulanır. Sürekli galvaniz yöntemi ise önce malzemeye uygulanır, sonra şekillendirilir. Şekillendirilirken uygulanan kesme, delme gibi işlemler kaplamanın kesintiye uğramasına neden olur. Bu bölgelerde çinko kaplama ve çelik atmosfere maruz kalır. Kesim bölgeleri katodik koruma ile korozyondan korunmuş olur. Yapılan çalışmada elektrokimyasal analizler sonucu kaplama kalınlığı arttıkça korozyon potansiyelinde düşüş gözlenmiştir. Görsel çalışmalar da elektrokimyasal analiz sonuçlarını desteklemiş; galvaniz kaplama kalınlığı arttıkça kırmızı pas oranı azalmıştır.

Anahtar Kelimeler: Galvanizleme, kenar-kesim, korozyon, kaplama kalınlığı

ABSTRACT

MSc THESIS

COATING THICKNESS-CORROSION RELATION IN CUT-EDGE AREAS OF GALVANIZED STEEL

Deniz KÖLELİ

**ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY**

Supervisor : Prof. Dr. Tunç TÜKEN
Year: 2020, Pages: 51
Jury : Prof. Dr. Tunç TÜKEN
: Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Asst. Prof. Dr. Başak Doğru MERT
: Prof. Dr. Gülşen ASLAN AVCI

Galvanizing is one of the most common methods for protecting steel from corrosion. Hot dip galvanizing method is applied after the material is formed. Continuous galvanizing method is applied to the material first, then shaped. The processes such as cutting, punching and forming during the shaping cause the coating to be interrupted. In these areas, zinc plating and steel are exposed to the atmosphere. The cut-edge areas are protected from corrosion by cathodic protection. In this study, the relationship between coating thickness and corrosion was investigated. As a result of electrochemical analysis, as the coating thickness increased, the corrosion potential decreased. Visual studies also supported the results of electrochemical analysis; Red rust rate decreased as galvanized coating thickness increased.

Key Words: Galvanizing, corrosion, cut-edge, coating thickness

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Galvanizin geçmişı 18.yy ortalarına kadar uzanır. Luigi Galvani galvanizi ilk keşfeden kişıdır. 19.yy’da Fransız kimyacı Sorel, demiri (Fe) asit ile temizleyip çinko (Zn) ile kaplayarak bu işlemin patentini almıştır.

Galvaniz işleminin kullanım amacı, çeliğin korozif ortamlardan korunmasını sağlamaktır ve iki yöntemle yapılır: Birinci yöntem, sınır koruma yöntemidir. Bu yöntemde korozif ortam, çeliğe ulaşmadan önce çinko kaplamaya ulaşır ve kaplamanın aşınmasına neden olur. İkinci yöntem ise galvanik korumadır. Bu yöntemde, çinkonun potansiyeli çelikten daha düşüktür. Bu nedenle çinko, çeliği korumak için kurban anot görevi görür.

Galvanizleme 5 adımda gerçekleştirilir. Birinci adım yüzeydeki yağı temizlemektir. Bu işlem asidik veya bazik bir temizleme çözeltisi yardımı ile yapılır. İkinci adım yüzey işlemleridir. Bu işlem esnasında, çelik deterjan ortamında fırçalanır ve yüzeyde kalan yağ, demir tozu gibi artıklar tamamen temizlenmiş olur. Hemen sonrasında haddeleme işlemi uygulanır. Haddeleme ile çeliğin mikro yapısı düzenli bir hal alır. Bu esnada çelik, istenilen ebatlara getirilmiş olur. Üçüncü adım, galvanizleme işlemidir. Bu işlemde, yüzeyi tamamen temizlenen çelik, yaklaşık 450°C sıcaklıktaki çinko potasına girer. Bu işlem hızlı gerçekleşir. Birkaç saniye içerisinde potadan çıkan çelik, jet üfleme yardımı ile hem kurutulur hem de kaplama kalınlığı kontrol edilir.

Sıcak daldırma yönteminde, şekillendirilen parçalar çinko potasına daldırılır ve kurutulur. İki yöntemin de avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Sürekli daldırma yöntemi, sıcak daldırmaya göre daha kısa sürede gerçekleşir. Bu nedenle kaplama kalınlığı kontrollü gerçekleşmez. Bunun yanı sıra sürekli galvanizlenmiş çeliklerin kalınlık kontrolü daha kolay sağlanır. Sıcak daldırma yönteminde, kesim kenarları da galvaniz kaplı olduğu için sürekli daldırma yöntemi ile üretilen çeliklerdeki gibi kenar kesim bölgeleri açıkta kalmaz, kaplama

ile korozyondan korunmuş olur. Sürekli galvaniz yönteminde ise açıkta kalan bölgeler katodik koruma ile korunur.

Katodik koruma, malzemenin, kendi potansiyelinden daha düşük bir potansiyele sahip bir metal ile korunmasıdır. Galvanize çeliklerde, çinko kurban anot gibi davranır ve çeliği korur. Çinkonun potansiyeli demirden daha düşüktür ve korozif bir ortama maruz kaldığında çelikten önce harcanır. Bu durumda çinkonun harcanmasını geciktirmek için kaplama kalınlığı önemli bir rol oynar. Çinko kalınlığı arttıkça yüzeyde ve kenar kesim bölgelerinde meydana gelen korozyon geciktirilir.

TEŞEKKÜR

Araştırmalarımda sürekli desteği, rehberliği, sabrı, motivasyonu ve muazzam bilgisi için danışmanım ve değerli hocam Prof. Dr. Tunç TÜKEN'e en içten şükranlarımı sunuyorum.

Tez çalışmamı yürütebilmem için bana numune desteği sağlayan Tosçelik Fabrika Müdürü Şaban YAZICI'ya ve daha öncesinde bünyesinde çalıştığım Borçelik Çelik Sanayi, Ar-Ge Birim Müdürü Celal Seyaloğlu, Ömer Yıldırım ve ekip arkadaşlarıma teşekkürlerimi sunuyorum.

Değerli tez arkadaşlarım Merve KAYTANCI ve İpek BİLTAS'a yardımlarından dolayı teşekkürlerimi sunuyorum.

Tez süresince desteklerini hiç esirgemeyen, her daim yanımda olan kardeşten öte arkadaşlarım Ekin-Pınar TURANBAYBURT çiftine, Mert-Pınar ERTEKİN çiftine, Armağan IŞIK'a ve en değerli yol arkadaşım Emre TEKE'ye en içten sevgilerimi ve teşekkürlerimi sunuyorum.

Son olarak, beni büyüten, yaptıkları fedakârlıklara hayatım boyunca saygı ve minnet duyacağım aileme teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	III
TEŞEKKÜR.....	V
İÇİNDEKİLER	VI
ÇİZELGELER DİZİNİ	VIII
ŞEKİLLER DİZİNİ	X
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XII
1. GİRİŞ	1
1.1. Galvanizlemenin Tarihçesi	1
1.2. Galvanizleme Prosesi.....	2
1.2.1. Yüzey İşlemleri	3
1.2.1.1. Yağ alma.....	3
1.2.1.2. Yüzey işlemleri.....	3
1.2.1.3. Galvanizleme	3
1.2.1.4. Temperleme ve pasivasyon.....	4
1.2.1.5. Yüzey kontrolü	4
1.3. Galvanize Kaplamanın Fazları.....	4
1.4. Galvanizlemenin Çeşitleri.....	5
1.5. Katodik Koruma.....	7
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	13
3. MATERYALVE METOT	17
3.1. Materyal	17
3.2. Metot.....	18
3.2.1. Elektrokimyasal Ölçümler ve Yüzey Analizleri.....	18
3.2.2. Görsel Çalışmalar	25
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	27

4.1. EIS	27
4.2. SEM Analizleri	33
4.3. Görsel Çalışmalar.....	36
4.3.1. Atmosfer ortamı.....	36
4.3.2. Seyreltilmiş Harrison Çözeltisi Ortamı	38
4.3.3. Yağmur Suyu Ortamı.....	40
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	43
KAYNAKLAR	47
ÖZGEÇMİŞ	51

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 3.1.	DX51 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu	17
Çizelge 3.2.	ST37 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu	18
Çizelge 4.1.	μ kaplı numunenin korozyon potansiyeli değerinin değişimi.....	30
Çizelge 4.2.	35 μ m kaplı numunenin korozyon potansiyeli değerinin değişimi.....	31
Çizelge 4.3.	20 μ m kaplı numunenin korozyon potansiyeli ve korozyon akımı değerleri	32
Çizelge 4.4.	35 μ m kaplı numunenin korozyon potansiyeli ve korozyon akımı değerleri	33



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Fe-Zn faz diyagramı	5
Şekil 1.2.	Sıcak daldırma yöntemi ile galvaniz kaplanmış malzeme örneği	6
Şekil 1.3.	Galvaniz kaplamanın çelik üzerinde oluşturduğu fazlar	6
Şekil 1.4.	(a) Sürekli daldırma yöntemi ile galvaniz kaplamanın şematik gösterimi (b) Galvanizleme tankından çıkan bobin örneği	7
Şekil 1.5.	Galvanik akım ile katodik korumanın şematik gösterimi.....	8
Şekil 1.6.	Katodik korumanın genel ilkesi.....	9
Şekil 1.7.	Kenar kesim bölgesinde çinkonun sıvandığını gösteren SEM-EDX görüntüsü.....	10
Şekil 1.8.	Kenar kesim bölgesindeki katodik korumanın şematik gösterimi.....	11
Şekil 3.1.	Basitleştirilmiş potansiyostat devre çizimi (https://www.gamry.com/application-notes/instrumentation/potentiostat-fundamentals/)	20
Şekil 3.2.	Farklı kaplama kalınlıklarına sahip galvanize çelik numunelerine kurulan elektrokimyasal hücreler; a) 20 µm kaplı numune c) 35 µm kaplı numune	21
Şekil 3.3.	Gamry Interface 1000 Potansiyostat ölçüm cihazı	21
Şekil 3.4.	Tafel bölgesi, korozyon potansiyeli ve korozyon akımının gösterimi.....	23
Şekil 3.5.	SEM çalışma prensibini şematik gösterimi	24
Şekil 3.6.	Zeiss Evo 50 Taramalı Elektron Mikroskobu	25
Şekil 4.1.	Referans çinko külçenin empedans değerlerinin deneysel ve fit sonuçları	27
Şekil 4.2.	Referans çinko külçenin Tafel eğrisi.....	28
Şekil 4.3.	EIS fit devresi.....	28
Şekil 4.4.	20 µm kaplı numunenin 1. gün empedans grafiği	29
Şekil 4.5.	20 µm kaplı numunenin 10. gün empedans grafiği	29

Şekil 4.6.	35 µm kaplı numunenin 1. gün empedans grafiği	30
Şekil 4.7.	35 µm kaplı numunenin 10. gün empedans grafiği	31
Şekil 4.8.	20 µm kaplı numunenin 10. gün Tafel eğrisi	32
Şekil 4.9.	35 µm kaplı numunenin 10. gün Tafel eğrisi	33
Şekil 4.10.	a) 20 µm kaplı numunenin 1. gün kesit görüntüsü b) 35 µm kaplı numunenin 1. gün kesit görüntüsü.....	34
Şekil 4.11.	a) 20 µm kaplı numunenin 10. gün kesit görüntüsü b) 35 µm kaplı numunenin 10. gün kesit görüntüsü.....	34
Şekil 4.12.	20 µm kaplı numunede 10. gün sonrası Line analizi.....	35
Şekil 4.13.	35 µm kaplı numunede 10. gün sonrası Line analizi.....	36
Şekil 4.14.	Atmosfer ortamında farklı kaplama kalınlıklı numunelerin yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler	37
Şekil 4.15.	Kenar kesim bölgelerinde kaplama kalınlığına bağlı kırmızı pas oluşumu	38
Şekil 4.16.	Seyreltilmiş Harrison çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzey görüntüleri	39
Şekil 4.17.	Seyreltilmiş Harrison çözeltisinde bekletilen numunelerin kenar kesim görüntüleri.....	40
Şekil 4.18.	Yağmur suyunda bekletilen numunelerin yüzey görüntüleri	41
Şekil 4.19.	Yağmur suyunda bekletilen numunelerin kenar kesim görüntüleri	42

SİMGELER VE KISALTMALAR

ASTM	: Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu
ISO	: Uluslararası Standartlar Örgütü
CSA	: Kanada Standartlar Birliği
AASHTO	: Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Derneği
ζ	: Zeta
δ	: Delta
γ	: Gama
η	: eta
Zn	: Çinko
Fe	: Demir
°C	: Derece Santigrat
i_K	: Katodik Tepkime Hızı
i_A	: Anodik Tepkime Hızı
E°	: Standart Elektrot Potansiyeli
E_k	: Korozyon Potansiyeli
V	: Volt
EIS	: Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi
DHS	: Dilute (Seyreltilmiş) Harrison Çözeltisi
SVET	: Tarama Titreşimli Elektrot Tekniği
BTAH	: Benzotriazolün
XPS	: Ekstrude Polistren Malzemeler
AC	: Alternatif Akım
DC	: Doğrusal Akım
SEM-EDX	: Taramalı Elektron Mikroskobu-Enerji Yayımlımlı X-Işını Analizi



1. GİRİŞ

Çelik sanayi, petrol ve gaz sanayiinden sonra dünyada 2. sıradadır ve otomotiv, inşaat, gemi, altyapı, elektronik gibi önemli sanayi dallarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Kayır, 2016). Ancak çelik malzeme kullanımında korozyon oluşumu kaçınılmazdır. Korozyon, metal ve alaşımların çevresiyle etkileşerek fazla enerjisini dışarı vermesi, entropisini küçültmesi, kimyasal ya da elektrokimyasal olarak termodinamik bakımdan doğadaki kararlı bileşiği haline dönüşme eğilimidir (Erbil 1984).

Galvanizleme, metallerdeki korozyonu engellemek amacıyla yüzeye yapılan çinko kaplama yöntemidir. Her türlü doğal atmosferde çeliğe katodik koruma sağlayabilme özelliği sayesinde çeliği atmosferik korozyona karşı korumak için en yaygın olarak kullanılan metalik malzeme çinkodur. Galvanizleme işlemi, sıcak daldırma, elektroliz ve püskürtme yöntemiyle gerçekleştirilir. Bu yöntemler arasında günümüzde ucuz olması nedeniyle en yaygın kullanılan yöntem sıcak daldırma yöntemidir (Kaynak: wikipedia,galvanism).

Piyasada, farklı kaplama kalınlığı seviyelerine sahip Zn ile galvanizlenmiş çeşitli çelikler mevcuttur. Ancak çinko kaplama kalınlığının galvanizli çeliklerin korozyon davranışı üzerindeki etkisi hala araştırılmaktadır. Bu çalışmanın amacı galvanizleme esnasında çinko kaplama kalınlığının galvanizli çeliklerin korozyon davranışı üzerindeki etkisini araştırmaktır.

1.1. Galvanizlemenin Tarihçesi

Galvanizlemenin kayıtlı tarihi 1742 yılına kadar uzanır. Galvanizleme işlemi adını 1737-1798 yıllarında Bologna da yaşamış Luigi Galvani adında İtalyan bir fizikçiden almıştır. Galvani, laboratuvarında bir kurbağa üzerinde test yaparken metal neşterin kurbağa bacağından elektrik aldığını keşfeder. Bu deney ileride sıcak daldırma galvanizleme yöntemine kadar giden bir dizi buluşun öncüsü olur.

Fransız kimyacı Melouin, Fransız Kraliyet Akademisinde yaptığı sunumda demiri sıvı Zn içine daldırarak kaplama metodunu anlatmıştır. 1836 yılında diğer bir Fransız kimyacı Sorel, demiri öncelikle %9'luk sülfürik asitle temizleyip ardından amonyum klorür ile flaksladıktan sonra Zn kaplama patentini almıştır (Maaß ve Peißker, 2011). Flakslama, yüzeyde kalan oksit tabakalarını kaldırmak hem de Zn banyosuna daldırılmadan önce koruyucu bir tabaka oluşturmak ve esas olarak da Fe-Zn reaksiyonun daha iyi gerçekleşmesini sağlamak için yapılan işlemdir (Pektaş, 2018).

Benzer yöntemi kullanarak 1837 yılında da İngilizler patent almıştır. Bu tarihten 1850 yılına kadar İngiliz galvaniz endüstrisinde yılda 10.000 ton çinko (Zn); demirin (Fe) korozyondan korumasında kullanılmıştır. Galvanizleme yöntemi 160 yıldan beri, bütün dünyada demir-çelik içeren tüm önemli uygulamalarda korozyondan koruma yöntemi olarak ispatlanmış tarihi ve ticari bir başarıya sahiptir (Pektaş, 2018).

1.2. Galvanizleme Prosesi

Çinko kaplama ile çeliğin sudan kaynaklanan korozyona karşı korunmasında iki yöntem kullanılır. Bunlar geliştirilen çoğunlukla sınır (bariyer) koruma ve galvaniz korumadır. Sınır korumada, korozif ortamın çeliğe ulaşmasından önce korozyon ortamından çeliği ayıran Zn kaplama ilk önce aşınmaya uğrar. Galvanizle korumada, nemli ortamda Zn çelikten daha aktif yani anodiktir. Çinko alt katmandaki çeliği korumak için kendini feda eder (Marder, 2000). Malzemeler çeşitli standartlara göre galvanizlenebilir. Bunlar Uluslararası Amerikan Test ve Materyalleri Topluluğu (ASTM), Uluslararası Standartlar Örgütü (ISO), Kanada Standartlar Birliği (CSA) ve Amerikan Devlet Karayolu ve Ulaştırma Yetkilileri Derneği (AASHTO) standartlarıdır. Bu standartlarda çeşitli malzemeler ve çeşitli uygulama alanları için minimum kaplama kalınlıklarından kullanılabilecek Zn ve çelik malzemelere kadar tüm ayrıntılar verilmiştir (Pektaş, 2018).

1.2.1. Yüzey İşlemleri

Galvaniz kaplama prosesinde yüzey işlemleri 5 aşamada gerçekleşir. Beş aşama aşağıda açıklanmıştır.

1.2.1.1. Yağ alma

Günümüzde yağ ve katı kalıntıların giderilmesi için iki tip kimyasal kullanılmaktadır:

- Sıcak alkali yağ alma,
- Asidik yağ alma.

Organik yapıları, boya izlerini, gres yağını metal yüzeyinden temizlemek için sıcak alkali çözeltisi kullanılır. Kaynak cürufu, asfalt, vinil kalıntıları galvaniz öncesinde kumlama yöntemi ile temizlenmelidir (Pektaş, 2018).

1.2.1.2. Yüzey işlemleri

Yüzey hazırlamadaki amaç, yağ kalıntılarını ve Fe tozlarını çeliğin yüzeyinden arındırmaktır. Bunun için temizleme ünitesinde alkali deterjanlar vasıtasıyla fırçalama yapılır. Fırça, çelik yüzeyinde dönme hareketi ile baskı uygular ve mekanik etki ile Fe tozlarını ve yağı yüzeyden kaldırır. Bunu takiben durulama ve kurulama sonrasında kalıntılardan tamamen arınmış bir yüzey elde edilir (SMS SIEMAG). Temizlenen sac, haddeleme işlemine tabi tutulur ve istenilen ebatlara getirilir.

1.2.1.3. Galvanizleme

Yassı haddelenmiş sac, yaklaşık 450°C sıcaklıktaki Zn potasına daldırılır. Pota içerisindeki merdanelerin arasından geçen çelik sac yüzeyinde, kaplama için gerekli olan reaksiyonlar gerçekleşir. Dikey bir şekilde potada ilerleyen malzeme, merdanelerden geçirilerek potadan çıkış yapar. Potadan çıkan sac yüzeyindeki fazla

çinko, hava bıçakları (air knives) yardımıyla yüzeyden temizlenir; böylece istenilen kaplama miktarı hava bıçağı basıncıyla ayarlanır. Pota sıcaklığı indüktörler vasıtasıyla sabit tutulur. Potadan çıkan çelik, soğutma kulesinden geçirilerek tanka girmeden önce, kaplamanın çelik yüzeyinde katılaşması sağlanır (Koutsaris, 2011).

1.2.1.4. Temperleme ve pasivasyon

Çelikte yüzey temperleme, Skinpass Mill sayesinde gerçekleştirilir. Yağ içeren sıvı çözelti, yüzeydeki kaplamayı korumak için işlem sırasında kullanılır. Merdaneler vasıtasıyla malzemede uzama olur ve istenilen akma mukavemeti sağlanır. Yüzey kalitesi müşteri talebine göre ayarlanır (SMS SIEMAG).

Galvanizlenmiş yassı çeliği korozyondan korumak için, kaplama üzerinde krom (Cr) oksit tabakası oluşturularak pasivasyon işlemi yapılır. Cr^{+6} kullanımı proses için oldukça yaygınken çevreye zarar vermesinden ötürü kullanımı azaltılmıştır. Benzer şekilde Cr^{+3} kullanımı da bazı koşullar altında Cr^{+6} formuna dönüştüğü için pek kullanılmamaktadır. Bu amaçla Cr-free yani kromsuz uygulaması geliştirilmiştir (Oliveira ve ark., 2012).

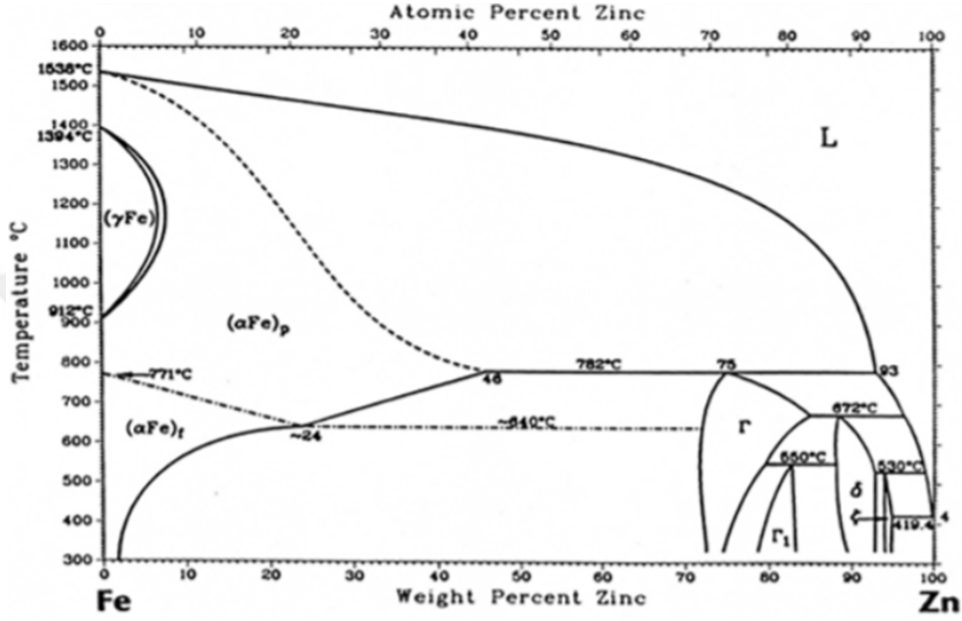
1.2.1.5. Yüzey kontrolü

Galvanizleme hattından çıkan çelik yüzeyinde meydana gelen her türlü hata, gözle ve özel yapılmış lazerli kameralar ile analiz edilir. Yüzeyinde hata görülen malzeme alınarak, laboratuvarda kalite standartlarına uygun olup olmadığı test edilir (Yaşacan ve ark., 2015).

1.3. Galvanize Kaplamanın Fazları

Çelik, sıvı Zn banyosuna daldırıldığında çeliğin içeriğindeki elementlere ve banyo kompozisyonuna bağlı olarak birçok reaksiyon oluşur. Yaygın olarak kabul gören Fe-Zn denge faz diyagramı Şekil 1.1'de verilmiştir. Sıcak daldırma ile galvaniz kaplama, iki kat koruma sağlama açısından en yaygın metalik kaplama

yöntemidir. Bu yöntem sayesinde Fe ile Zn arasında metalurjik bağlanma gerçekleşir ve kaplama malzemesi bariyer görevi görür.



Şekil 1.1. Fe-Zn faz diyagramı

1.4. Galvanizlemenin Çeşitleri

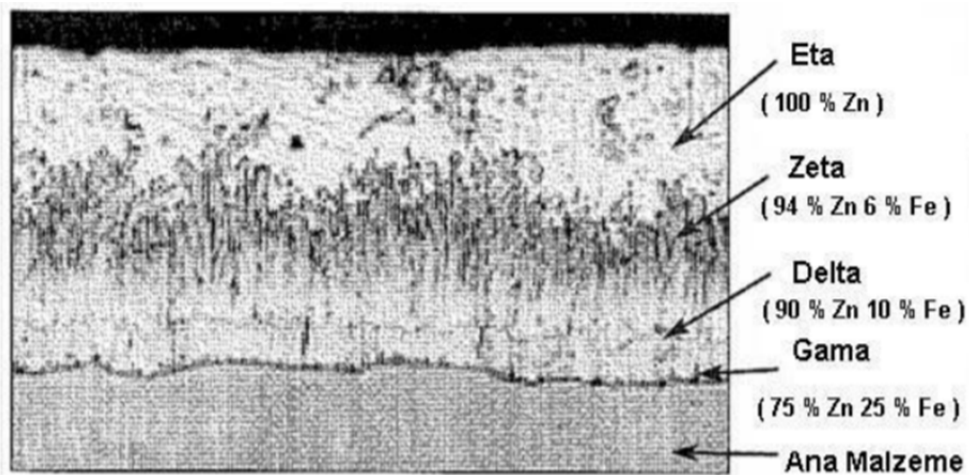
Galvanizleme işleminin en yaygın kullanılan 2 yöntemi vardır. Birincisi sıcak daldırma yöntemi, ikincisi ise sürekli daldırma yöntemi ile galvaniz kaplamadır. Her iki yöntemin de avantajları ve dezavantajları mevcuttur.

Sıcak daldırma galvanizde parçalar şekillendirildikten sonra, yaklaşık 450-460°C sıcaklığındaki Zn alaşım potasına Şekil 1.2'deki gibi daldırılır ve birkaç dakika beklenir.



Şekil 1.2. Sıcak daldırma yöntemi ile galvaniz kaplanmış malzeme örneği

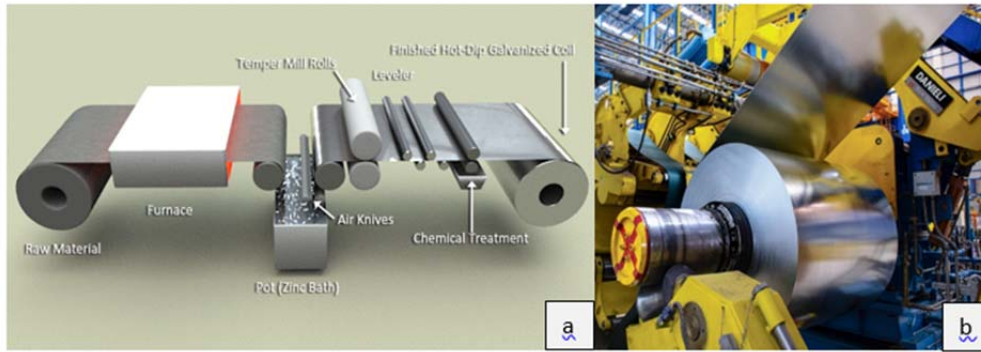
Uzun süre daldırma galvanizlemede Şekil 1.3'te gösterilen zeta (ζ), delta (δ), gama1(γ_1) ve gama (γ) temel fazları oluşur. Ancak Şekil 1.1'de verilen denge diyagramında gözükmeyen eta (η) fazı, bir Fe çözeltisi %0,03 olan Zn de Fe'in bir katı çözeltisiyle oluşur. Büyük Fe-Zn denge faz diyagramı hem gama1 (γ_1) hem de gama (γ) fazını göstermektedir. Ancak literatürde 670°C'ye kadar X-ışını analizinde sadece gama fazının görüldüğü belirtilmiştir (Bastin ve ark., 1974).



Şekil 1.3. Galvaniz kaplamanın çelik üzerinde oluşturduğu fazlar

Bu yöntem ile parçanın her yeri kaplanmış olur fakat kaplama kalınlığı kontrolü sağlanmaz. Kenar kesim bölgesi, galvaniz ile kaplı olduğundan korozyona olan direnci daha yüksektir.

Sürekli galvanizleme yöntemi ile galvaniz kaplamada daha kısa sürede homojen bir kaplama yapılır. Şekil 1.4 (a)'daki şematik gösterimde de görüldüğü gibi, yaklaşık 450 °C sıcaklığındaki saf Zn potasına geçirilen bobin, sadece birkaç saniye kalır. Jet püskürtme yöntemi ile kaplama kalınlığı ayarlanan bobinler Şekil 1.4 (b)'deki hali alır ve galvaniz kaplama işlemi sonlanır. Bu şekilde Şekil 1.1'de verilen Fe-Zn alaşımının önlenmesi sağlanır. Şekillendirme ve kesme işlemleri ise sonradan uygulanır. Açığa çıkan kenar kesim bölgeleri katodik koruma ile korunur.

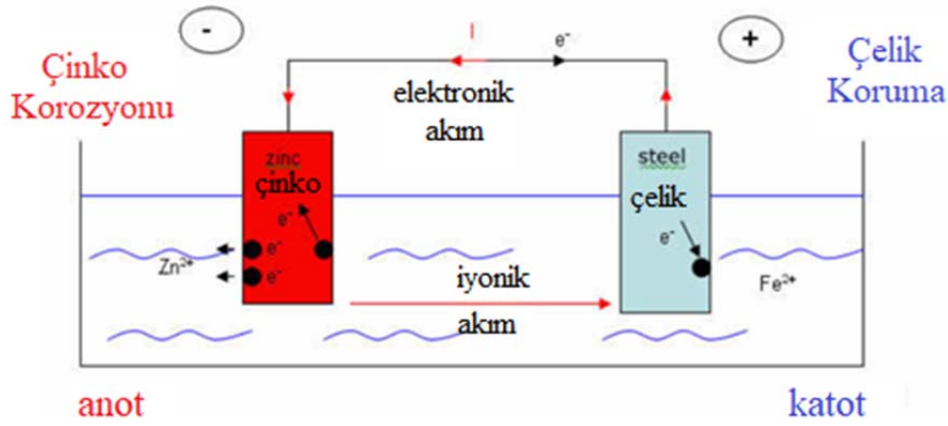


Şekil 1.4. (a) Sürekli daldırma yöntemi ile galvaniz kaplamanın şematik gösterimi
(b) Galvanizleme tankından çıkan bobin örneği

1.5. Katodik Koruma

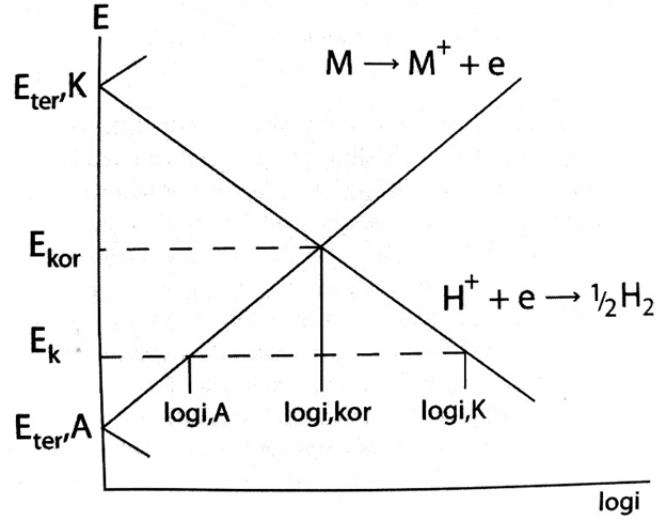
Çeliğin nispeten geniş yüzey alanı ve Zn ve kaplamanın küçük yüzey alanına sahip olması koroziv bir ortama maruz bırakıldığı kenar kesme bölgelerinde özellikle önem kazanır (Prosek ve ark., 2016). Kenar kesim bölgesinde, çelik malzemenin her iki tarafında bulunan Zn katmanları, kalınlığa ve bileşimine bağlı olarak hem bir bariyer görevi görür hem de katodik koruma sağlar (Santos ve ark., 2015).

Katodik koruma, metalin potansiyelini ölçülen korozyon potansiyelinden daha negatif potansiyellere kaydırarak yapılan korumanın genel adıdır. Bunun için metale dışarıdan bir potansiyel uygulanabilir ya da korunacak metale göre daha aktif bir metalle bağlantı yapılabilir. Birincisi, dış akım uygulamalı katodik koruma; ikincisi ise galvanik anotla katodik korumadır (Erbil, 2012). Galvanizleme işlemi, galvanik anotla katodik koruma yöntemidir. Bu yöntem, şematik olarak Şekil 1.5’te verilmiştir.



Şekil 1.5. Galvanik akım ile katodik korumanın şematik gösterimi

Potansiyeli daha pozitif olan bir metale, potansiyeli daha negatif olan bir metal bağlanarak galvanik pil oluşturulur. Potansiyel fark nedeniyle, iki metal arasında akım oluşur. Potansiyeli daha pozitif olan metal katot, daha negatif olan metal ise anot konumundadır. İki metal arasından geçen akım anodun çözünmesini hızlandırır. Katottaki metal korunurken, anottaki metal kurban edilir. Bu nedenle, bu yöntem kurban edilen anot ile katodik koruma olarak da bilinir (Küyüköğlu, 2010). Katodik korumanın genel ilkesi Şekil 1.6’da verilmiştir.



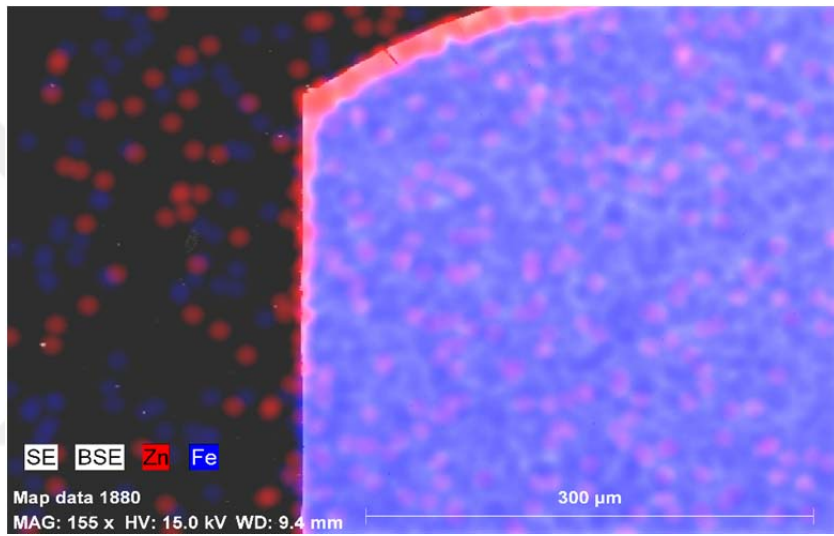
Şekil 1.6. Katodik korumanın genel ilkesi

Ölçülen korozyon potansiyelinden daha negatif bir potansiyel uygulandığında (E_k), metalin çözünme hızı küçülmekte, katodik tepkime hızı (i_K) artmaktadır. Katodik potansiyel metalin tersinir potansiyeline kaydırılırsa, metalin çözünme hızı sıfıra yaklaşacaktır. Uygulanan katodik potansiyel altında geçen katodik akımın değeri, katodik ve anodik tepkime hızları arasındaki farka eşittir ($i_K - i_A$). Katodik potansiyelin metalin tersinir potansiyeline ulaşması halinde geçen katodik akımın doğrudan katodik tepkime hızına eşit olduğu görülebilir.

Gerçekte bir korozyon olayının hidrojen indirgenmesi ile gerçekleşmesi istenmez. Asitli ortamlarda bu durum kaçınılmaz olduğundan önlemler ona göre geliştirilir. Ancak çoğu katodik koruma uygulamalarının yapıldığı ortamlar nötr ya da nötre yakın ortamlardır. Bu ortamlarda da katodik koruma uygulaması sırasında metal yüzeyinde hidrojen kırılmasına neden olması sebebiyle hidrojen çıkışı istenmez ve katodik potansiyel hidrojen çıkışına izin verilmeyecek bir değerde tutulur. Bu durumda metalin çözünme hızı sıfır olmayıp, korozyona göz yumulur. Çünkü izin verilen korozyon miktarı hidrojen kırılmasının vereceği zarardan daha az zarar verir (Erbil,2012).

Çinko geleneksel olarak, her türlü doğal atmosferde çeliğe katodik koruma sağlayabilme özelliği sayesinde çeliği atmosferik korozyona karşı korumak için en yaygın olarak kullanılan metalik malzemedir (Panossian ve ark., 2005).

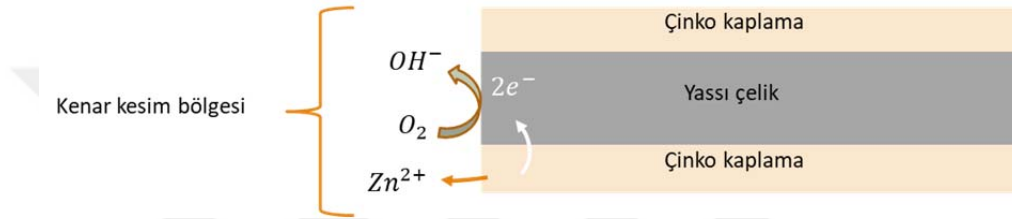
Şekil 1.7’de görüldüğü gibi, kesim esnasında çelik üzerinde sıvanan çinko, kurban anot görevi görerek çeliğin korozyona uğramasını geciktirecektir. Bu sebeple galvanik anot olan çinkonun miktarı önemlidir.



Şekil 1.7. Kenar kesim bölgesinde çinkonun sıvandığını gösteren SEM-EDX görüntüsü

İletken bir elektrolit varlığında, Zn yüzeyinde anodik reaksiyon hâkim olur ve Zn katodik koruma sağlar. Malzemenin tümüne karşılık ölçülen korozyon potansiyeli negatif değerlere kayar. Bu durumda, korunacak metale kendisinden daha aktif bir metal bağlandığında, korozyon potansiyeli ortak bir potansiyel değerine kayar. Karma potansiyel değerine gelindiğinde, korunacak olan metalin korozyonu yavaşlar. Fakat Zn kaplamanın korozyonu artmış olur. Kenar kesim bölgelerinde de durum aynıdır. Şekil 1.8’deki şematik gösterimde kenar kesim bölgelerinde meydana gelen reaksiyonlar verilmiştir. Kenar kesim bölgesinde çelik

ve galvaniz kaplama aynı şartlarda korozif ortama maruz kalır. 1.1 ve 1.2’de verilen denklemlerdeki gibi çinkonun potansiyeli çelikte bulunan demirin potansiyelinden ($E^\circ : 0,44 \text{ V}$) oldukça düşüktür. Katodik korumanın genel ilkesi doğrultusunda, potansiyeli daha düşük olan çinko, çeliği korumak için kurban anot gibi davranır. Böylece, Zn harcanırken çelik korunmuş olur. Kaplama kalınlığı arttıkça, çeliğin korunma süresi de uzar.



Şekil 1.8. Kenar kesim bölgesindeki katodik korumanın şematik gösterimi



Tüm yüzeyleri kaplanan yassı çelikler, delme/kesme gibi şekillendirme işlemine maruz kaldıklarında galvaniz kaplama kesintiye uğrar. Bu bölgelerde, çelik malzemenin kendisi ve her iki tarafındaki Zn katmanlar, çevre (nemli atmosfer/sulu ortam) ile aynı anda etkileşim halindedir. Bu etkileşim sürecinin yol açtığı mekanik hasarlar ve renk değişiklikleri, bu tür ürünlerin şekillendirme sonrası kullanımında önemli bir sorun olarak görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında, Zn kalınlığının kenar kesim bölgelerinde meydana gelen korozyon ile ilişkisi incelenecektir. Kaplama kalınlığı arttıkça kenar kesim bölgelerinde meydana gelen değişimler gözlenecektir. Böylece, sürekli galvanizli çeliklerde şekillendirmeye bağlı ortaya çıkan sorunlara çözüm getirilmesi hedeflenmektedir.



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Yapılan tez çalışması kapsamında, literatürde bulunan benzer çalışmalar aşağıda kronolojik sıraya göre Çizelge 2.1’de verilmiştir.

Panossian ve ark. (2005), çeliği atmosferik korozyona karşı korumak için çinko yerine alüminyum ve çinko / alüminyum alaşımlı kaplamalar kullanmışlardır. Farklı yöntemlerle aliminyum Al (alev püskürtme), Al/13 Si (sıcak daldırma), 55Al/Zn (sıcak daldırma), Zn /15Al (alev püskürtme), Zn/5Al (sıcak daldırma), Zn (sıcak daldırma), Zn (sürekli sıcak daldırma) ve Zn (elektrokaplama) gibi farklı yöntemlerle yapılan kaplamalarda. Alüminyum ve alüminyum açısından zengin alaşımlı olan % 55 Al / Zn kaplamaların klorür iyonları ($> 100 \text{ mg Cl} / \text{m}^2/\text{gün}$) ile aşırı derecede kirlenmiş ortamlarda katodik koruma sağladığını rapor etmişlerdir.

Manhabosco ve ark. (2018), mikrokapiler hücre (MEC) ve tarama titreşimli elektrot tekniğinin (SVET) birlikte uygulandığı düşük açılı enine kesitlerin kesme kenarını korozyondan korumak için çelik üzerine zinkit (ZnO), hidrozoinkit ($\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$) ve simonkolleit ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2$) ile kaplama yapmışlardır. Zinkit (ZnO) ve hidrozoinkit ($\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$) ve simonkolleit ($\text{Zn}_5(\text{OH})_8\text{Cl}_2$) tüm kaplama bölgelerinde bulunmuştur.

Simões ve ark. (2009), kesme kenarlarındaki sodyum fosfatın galvanizli çelik üzerindeki korozyon mekanizmaları ve inhibe edici etkisi, potansiyodinamik polarizasyon, EIS ve tarama titreşimli elektrot tekniği (SVET) ile yapılan lokal iyonik akımların izlenmesi ile incelemişlerdir. Sodyum fosfat, jel benzeri çinko fosfat kümeleri şeklinde çinko fosfatın çökertilmesiyle kesme kenarında inhibe edici özellikler ortaya koyarken fosfatın yokluğunda, kesme kenarındaki elektrogalvanize çeliğin korozyonu, çinko korozyon ürünlerinin çelik yüzey üzerine çökmesi ile katodik olarak inhibe ettiği bildirilmiştir.

Arenas ve ark. (2002), galvanik tabakaların korozyon direnci özelliklerini geliştirmek için lantanidleri kullanmışlardır. İki çeşit galvanik (sıcak daldırma galvanizli çelik ve galvanizli çelik) tabakaya 150 keV’da iyon implanter ile farklı

dozlarda La^+ ve Ce^+ implante edilmiştir. Taramalı elektron mikroskobu (SEM) elde edilen bulgular ile morfolojik değişiklikler korozyon direncinin substrata yani malzemeye, iyon türüne ve implante edilen doza bağlı olduğunu ortaya koymuştur. NaCl çözeltilerindeki polarizasyon eğrilerinin incelenmesi, iyon implantasyonunun, sıcak daldırma galvanizli tabakalar için iyon implante edilmiş tabakaların korozyon davranışını açıkça geliştirdiğini, ancak galvanizli tabakalar için La^+ implantasyonunun en etkili araç olduğunu göstermiştir.

Hamlaoui ve ark. (2008), endüstriyel galvanizli kaplamaların korozyon davranışını, potansiyodinamik ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) yöntemleri ile izlemek amacıyla farklı ortamlarda (NaCl, NaOH ve yağmur suyu), farklı konsantrasyonlarda ve değişen daldırma sürelerinde gerçek zamanlı daldırma testleri ile test etmişlerdir. Elde edilen bulgular, EIS yönteminin, üç korozif ortamda da meydana gelen ara yüzey reaksiyonları ve çözünme mekanizmalarının oluşturulmasına izin verdiğini ve dolayısıyla bu kaplamaların korozyondan korumayı sağladığını göstermiştir.

Prosek ve ark. (2016a), atmosferik koşullarda, çelik yüzeyine biriken Zn korozyon ürünlerinin, oksijen indirgenmesini yavaşlatarak, galvanik akımı düşürdüğünü rapot etmişlerdir. Polimerik kaplamalar altında oluşan Zn korozyon ürünlerinin ise, galvanik akıma karşı ekstra direnç sağlayarak Zn anodik çözünürlüğünü azalttığı fakat kesme kenarlarında kırmızı paslanma riskini arttırdığı bildirilmiştir. Ayrıca başlangıçtaki çelik substrat ve çinko kaplama kalınlıkları, koruyucu filmin oluşturulması için çinko iyonlarının varlığını etkilemiştir.

Prosek ve ark. (2016b), deniz test sahasında 5 yıl boyunca atmosferik hava koşullarında bobin kaplı malzemelerin kesme kenarı korozyonunda çelik ve çinko kaplama kalınlığının boya delaminasyonunun çelik kalınlığı ile arttığını, Zn kaplama kalınlığı ile azaldığını bildirmişlerdir.

Custódio ve ark. (2010), elektrokimyasal polarizasyon, EIS, SVET ve XPS kullanarak yüksek konsantrasyondaki benzotriazolün (BTAH), sodyum klorür çözeltisindeki galvanizli çeliğin kesme kenarı korozyonu üzerindeki etkisini

araştırmışlardır. Araştırmacılar, hem çelik hem de çinko üzerinde, her iki metali de anodik olarak polarize eden, elektrokimyasal aktivitelerini büyük ölçüde azaltan bir BTAH yüzey filmi oluşumu gözlemlemişlerdir. Ayrıca koruyucu filmin çok sayıda lokal aktivasyon ve yeniden canlandırma olayına maruz kaldığını, XPS verilerinin ise, BTAH'ın kendiliğinden korozyona uğrayan veya çeliğe bağlanan metale bağlı olarak çinkoya farklı şekilde bağlandığını ortaya koyduğunu bildirmişlerdir. Yapılan araştırmada BTAH her iki malzemenin elektrokimyasal aktivitesini azaltmasına rağmen, çinkonun katodik koruma etkisinde önemli bir azalma elde edilmiştir.



3. MATERYALVE METOT**3.1. Materyal**

Tez çalışmasında kullanılan materyaller, elektrokimyasal ölçümler ve yüzey analizleri ve görsel çalışmalar olarak iki farklı grupta incelenmiştir. Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS) ve Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM) analizleri için kullanılan farklı kaplama kalınlıklarına sahip galvanize çelik numuneler, Borçelik tarafından temin edilmiştir. 20 µm ve 35 µm kaplı DX51 kalitede numune kullanılmıştır. Temin edilen DX51 kalitedeki çelik numunelerin kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.1’de verilmiştir.

Çizelge 3.1. DX51 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu

Kimyasal İçerik	Miktar (%)
C	0.075
Si	0.014
S	0.012
P	0.007
Mn	0.37
Al	0.046
Ti	0.002
B	0.0002
Cr	0.024
Ni	0.019
Cu	0.044

Elektrokimyasal ölçümleri alınan numuneler, yüzeyde biriken oksit tabakasının kimyasal içeriğini belirlemek amacıyla SEM-EDX cihazında analiz edilmiştir.

Yapılan çalışmada kullanılan bir diğer galvaniz kaplı yassı çelik ürünler, Tosçelik tarafından temin edilmiştir. Kaplama kalınlıkları 3,5 µm, 5 µm, 8,5 µm ve 12 µm olan numunelerin ham maddesi, yaygın kullanıma sahip DX51 kalitedeki malzemeye muadil olan ST37 olup, kimyasal kompozisyonu Çizelge 3.2’de verilmiştir.

Çizelge 3.2. ST37 kalite çeliğin kimyasal kompozisyonu

C	Mn	Si	P	S	Cr	Al	V	Ti	Nb	B
%										ppm
0,04	0,25	0,2	0,02	0,015	0,05	0,02	0,01	0,01	0,01	10

Numuneler 3 farklı ortama maruz bırakılmıştır:

1. ortam: Sanayi bölgesinde doğal yollar ile toplanan yağmur suyu ortamı
2. ortam: Yağmur suyunu simüle eden, %0,35 (NH₄)₂SO₄ ve %0,05 NaCl içeren Seyreltilmiş Harrison Çözeltisi ortamı
3. ortam: Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi atmosferik ortam

3.2. Metot

3.2.1. Elektrokimyasal Ölçümler ve Yüzey Analizleri

Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS)

Potansiyostat, elektrokimyasal hücre içerisinde bulunan çalışma elektrodu ve referans elektrot arasındaki potansiyel farkını kontrol eden elektronik cihazdır. Potansiyostat bu kontrolü hücreye karşıt elektrot üzerinden akım göndererek sağlamaktadır.

Hemen her tür uygulamada potansiyostat, çalışma ve karşıt elektrotlar arasındaki akımı ölçmektedir. Kontrol edilen değişken hücre potansiyeli, ölçümü yapılan değişken hücre akımıdır.

Elektrotlar: Potansiyostat cihazı üç elektrot sisteminden oluşan bir elektrokimyasal hücreye ihtiyaç duymaktadır:

1. Çalışma Elektrodu:

Potansiyelin kontrol edilip akımın ölçüldüğü elektrottur. Fiziksel elektrokimya deneylerinin çoğu için, çalışma elektrodu altın, platin veya camsi karbon gibi soy bir metaldir. Elektrokimyasal tepkimenin gerçekleşmesi için uygun bir yüzey sağlamaktadır.

Korozyon testlerinde çalışma elektrodu, asıl ölçülecek metal yapısı olmayıp, yapıyı temsilen korozyona uğrayacak metalden alınan küçük bir örnek olmaktadır (ağırlık kaybı testlerinde olduğu gibi). Bu durumda örnek, kaplanmamış ya da kaplanmış olabilmektedir. Pil/batarya ölçümlerinde, potansiyostat doğrudan örneğimizin anot veya katoduna bağlanmaktadır.

2. Referans Elektrot:

Çalışma elektrodunun potansiyelini ölçmek için kullanılır. Üzerinden akım geçmediği sürece sabit bir elektrokimyasal potansiyel sağlamalıdır.

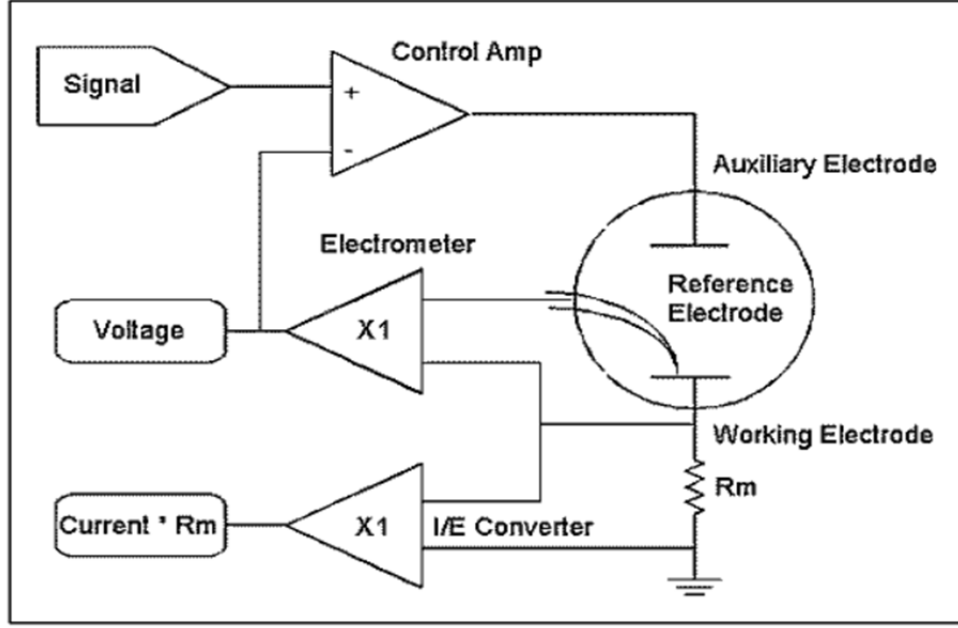
En çok kullanılan laboratuvar referans elektrotları, Doymuş Kalomel (SCE) ve Gümüş/Gümüş Klorür (Ag/AgCl) elektrotlarıdır.

3. Karşıt Elektrot:

Hücre devresini tamamlamak için kullanılan bir iletkenidir. Laboratuvar ölçümlerinde genellikle platin veya grafit gibi bir asal iletken tercih edilmektedir. Çözeltinin içinden geçen akım, çalışma elektrodu üzerinden girerek karşıt elektrot üzerinden hücreden ayrılmaktadır.

Elektrotlar elektriksel olarak iletken bir çözelti içerisine yerleştirilmektedir. Elektrotlar, çözelti ve çözeltiyi tutan kap/hazne, bütün olarak elektrokimyasal

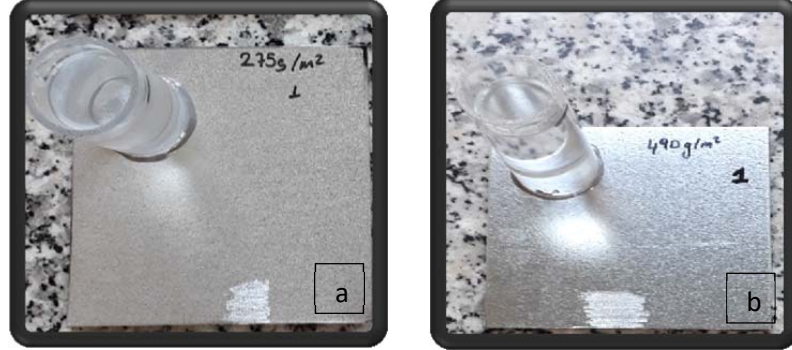
hücre olarak tanımlanmaktadır. Şekil 3.1’de basitleştirilmiş potansiyostat devre çizimi verilmiştir.



Şekil 3.1. Basitleştirilmiş potansiyostat devre çizimi

(<https://www.gamry.com/application-notes/instrumentation/potentiostat-fundamentals/>)

Elektrokimyasal çalışmalarda kullanılan numuneler, 10x10 cm olacak şekilde kesilip, ultrasonik banyoda 3 dakika boyunca alkol ile koruyucu yağdan arındırılmıştır. Yüzeyi temizlenen numunelerin üzerine Şekil 3.2’de gösterildiği gibi, 6 cm² yüzey alanına sahip elektrokimyasal hücre kurulmuştur. Hazırlanan hücrelerin içerisine %0,05’lik NaCl çözeltisi ilave edilip, dengeye gelmesi için bir saat beklendikten sonra ölçümler başlatılmıştır.



Şekil 3.2. Farklı kaplama kalınlıklarına sahip galvanize çelik numunelerine kurulan elektrokimyasal hücreler; a) 20 μm kaplı numune c) 35 μm kaplı numune

Ölçümler, Şekil 3.3'te verilen Gamry Interface 1000 Potansiyostat cihazında ölçülmüştür. Frekans aralığı 10^{-2} - 10^4 Hz aralığında belirlenmiştir. Testler, 7 mV genliğinde oda sıcaklığında gerçekleştirilmiştir.



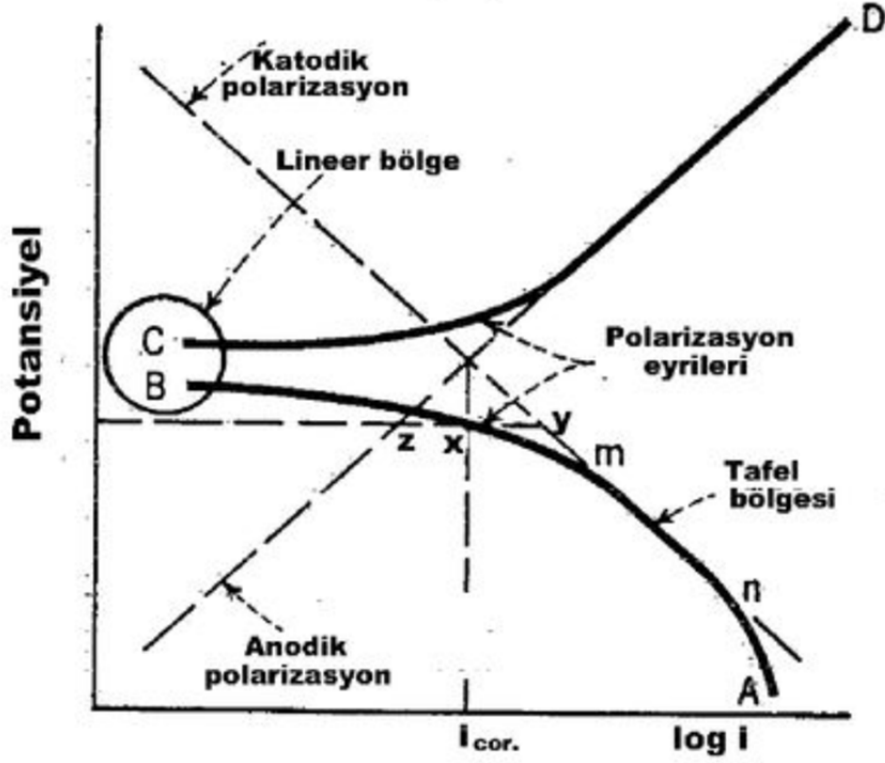
Şekil 3.3. Gamry Interface 1000 Potansiyostat ölçüm cihazı

Referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrodu, karşıt elektrot olarak grafit ve çalışma elektrodu olarak çelik yüzey kullanılmıştır. Potansiyodinamik ölçümler alınırken ölçüm hızı 2 mV/s olarak belirlenmiştir.

EIS testleri 10 gün boyunca devam etmiştir.

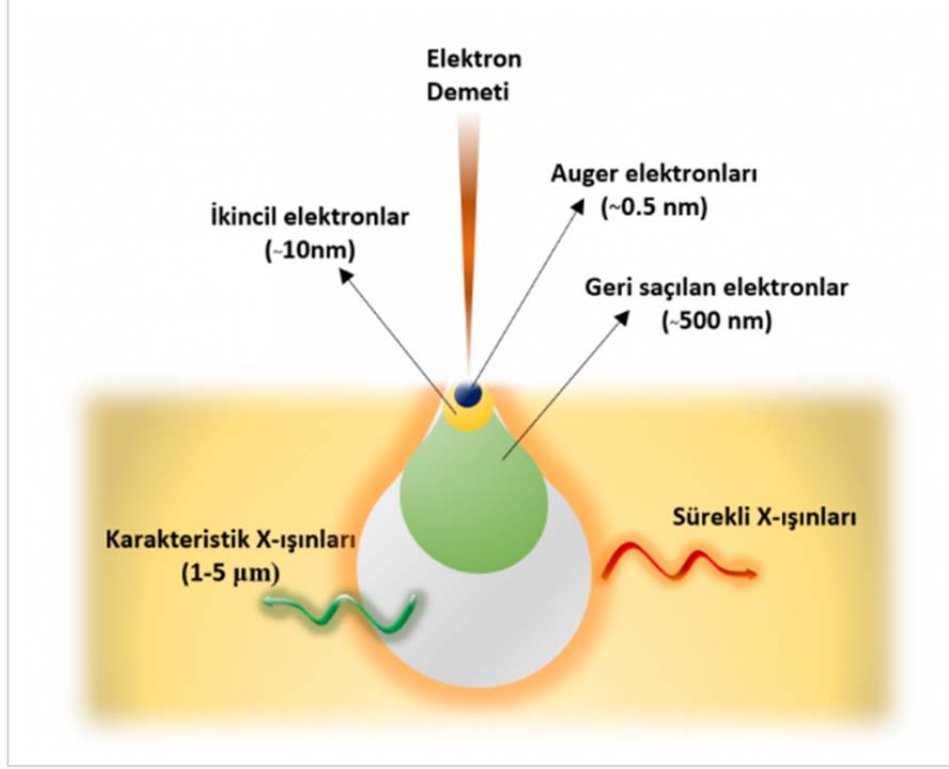
Tafel Ekstrapolasyonu: Korozyona uğrayan bir elektrotta metalin anodik reaksiyonu yanında eş zamanlı olarak bir başka katodik reaksiyon meydana gelir. Böylece elektrot yüzeyinde birianodik diğeri katodik iki farklı reaksiyonun dengesi ile “korozyon potansiyeli” oluşur. Anodik ve katodik reaksiyonlar için aşırı gerilimler ile akımın logaritması arasında anodik ve katodik polarizasyon eğrileri (b_A ve b_C) çizilerek korozyon potansiyeli (E_{cor}) ve bu potansiyele karşılık gelen korozyon akımı (I_{cor}) değerleri bulunabilir. Başlangıçta denge halinde olan elektroda uygulanan dış akım yoğunluğu çok küçükken, aşırı gerilim değerleri de çok küçüktür. Bu bölgede (korozyon potansiyeli civarında) (i) akım yoğunluğu ile (η) aşırı geriliminin lineer olarak değiştiği görülür. Uygulanan dış akım belli bir değere eriştikten sonra, polarizasyon eğrisinde belirgin bir kırılma olur ve bu noktadan sonra aşırı gerilim ile uygulanan dış akımın logaritması lineer bir değişim gösterir. Bu bölge Tafel bölgesi olarak bilinir. Tafel bölgesi Şekil 3.4’te gösterilmiştir. Bu bölgede Tafel doğrusunun eğimi deneysel olarak elde edilerek korozyon hızının belirlenmesinde kullanılır. Tafel yönteminin avantajları şöyle sıralanabilir:

- Çok düşük korozyon hızlarının tespit edilmesinde bile kullanılabilir.
- Korozyon akımı ve korozyon hızı kısa zaman içerisinde bulunabilir.
- İdeal koşullar altında bu yöntemle elde edilen değerlerin doğruluğu geleneksel ağırlık kayıp metotlarıyla elde edilen değerlere eşit değerlerdedir.



Şekil 3.4. Tafel bölgesi, korozyon potansiyeli ve korozyon akımının gösterimi

Taramalı Elektron Mikroskopisi (SEM): Elektro-optik prensipler çerçevesinde tasarlanmış taramalı elektron mikroskobu (SEM), yüksek enerjili elektronların malzeme ile etkileşerek örnek yüzeyinden görüntü alınmasını sağlayan sistemlerdir. SEM’de, yüksek enerjili elektronlar numune ile etkileşerek elektron ve foton sinyalleri oluşturur. Şekil 3.5’te SEM çalışma prensibi şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.5. SEM çalışma prensibini şematik gösterimi

Farklı açılarda saçılan elektronlar, dedektör (algılayıcı) tarafından toplanır ve toplanan sinyallerin mikroskop yazılımı ile işlenmesi sonucunda görüntüler elde edilir. İkincil elektronlar, malzeme topografisi ve geri saçılan elektronlar, atom numarasına ve kontrasta bağlı atomik kompozisyon hakkında bilgi vermektedir. Ayrıca EDS dedektör ile noktasal, çizgisel veya bölgesel nitel ve nicel analiz ile elementlerin dağılım haritalaması yapılmaktadır. Şekil 3.6’da tez çalışmasında kullanılmış olan Zeiss Evo 50 Taramalı Elektron Mikroskobu verilmiştir.



Şekil 3.6. Zeiss Evo 50 Taramalı Elektron Mikroskobu

3.2.2. Görsel Çalışmalar

Numuneler 2 cm x 5 cm olacak şekilde çubuklar halinde kesilmiştir. Ultrasonik banyo içerisinde 10 dakika boyunca etil alkol ile üzerinde bulunan koruyucu yağdan arındırılmıştır.

Yağmur suyu ve Seyreltilmiş Harrison çözeltisinde bekletilen numuneler 2'şer paralel olarak kırmızı pas gözlenene kadar her gün yüzey ve kenar kesim bölgeleri gözlenmiştir.

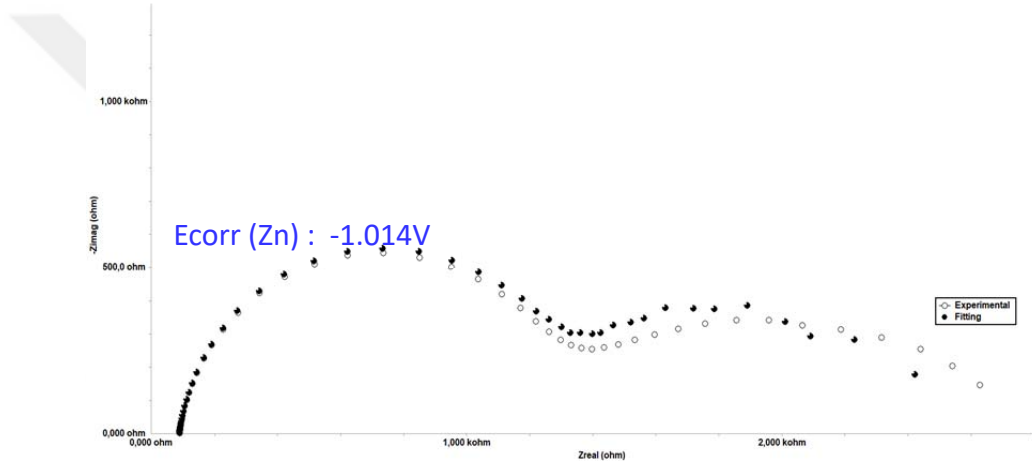
Adana Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nde sanayi atmosferi ortamına maruz bırakılan numuneler, 2'şer paralel olmak üzere 45 derecelik açı ile platforma yerleştirildi. Yüzey ve kenar kesim bölgeleri 8 gün boyunca gözlenmiştir.



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

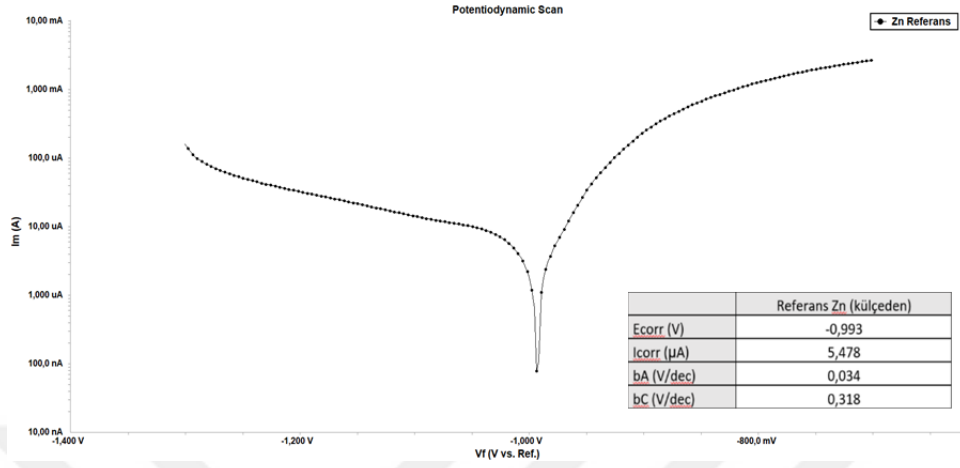
4.1. EIS

Referans olarak %99,9'luk saf çinko külçesinden numune alınmıştır. Çinko külçesinin üzerine 6 cm²'lik elektrokimyasal empedans ölçüm hücresi kurulmuştur. Hücre içerisine %0,05 (w/w) NaCl çözeltisi eklenerek elektrokimyasal empedans ve potansiyodinamik ölçümleri yapılmıştır. Referans çinko külçenin empedans sonuçları Şekil 4.1'de verilmiştir.

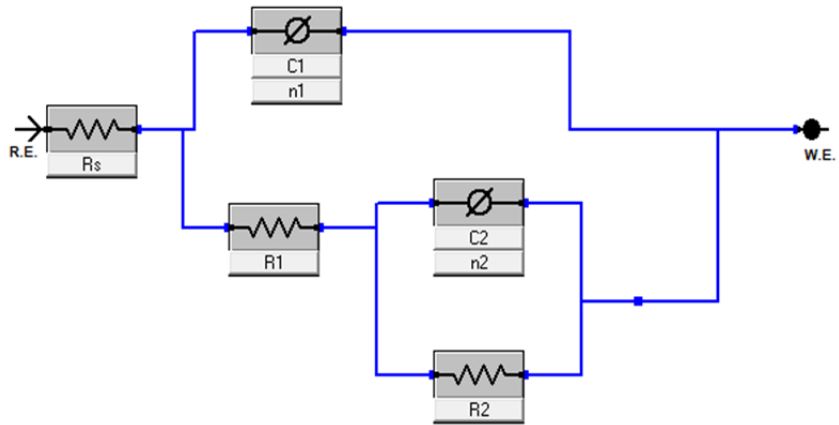


Şekil 4.1. Referans çinko külçenin empedans değerlerinin deneysel ve fit sonuçları

Referans olarak kullanılan saf çinko külçenin korozyon potansiyeli Şekil 4.1'de de görüldüğü gibi -1,01V olarak ölçülmüştür. Referans çinko külçenin Tafel Diyagramı'na göre belirlenen korozyon potansiyeli ve korozyon akımı Şekil 4.2'de verilmiştir. Fit devresi Şekil 4.3'teki gibidir.



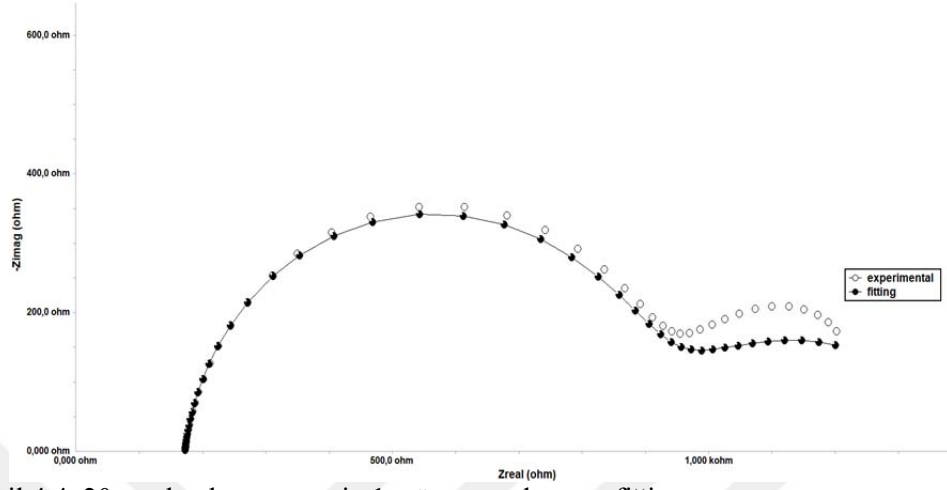
Şekil 4.2. Referans çinko külçenin Tafel eğrisi



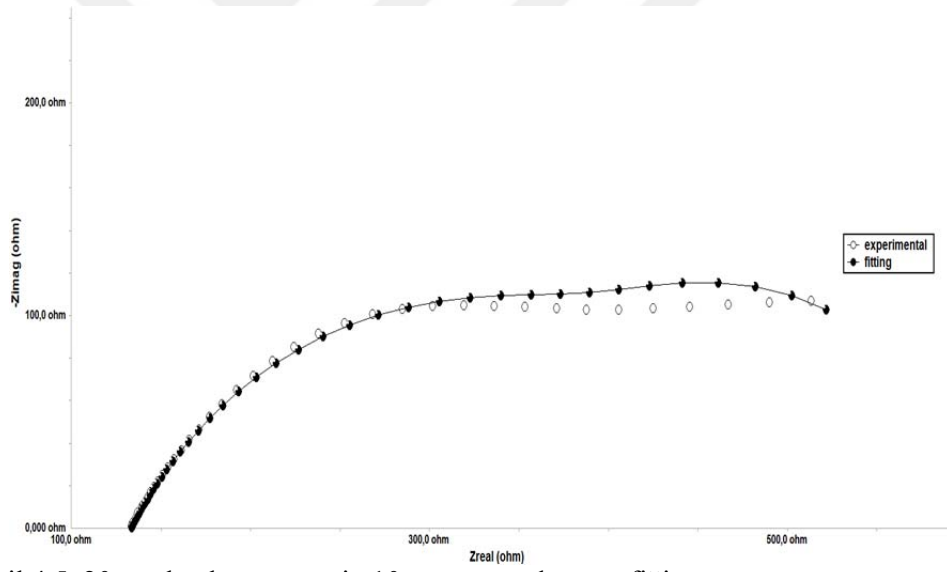
Şekil 4.3. EIS fit devresi

Kaplama kalınlıkları farklı olan çelik numunelerin korozyon potansiyelleri saf çinkoya göre kıyaslanmıştır.

Kullanılan 20 μm ve 35 μm kaplı numunelerin 1. ve 10. gün korozyon potansiyellerini gösteren empedans diyagramları Şekil 4.4 ve Şekil 4.5'te verilmiştir.



Şekil 4.4. 20 µm kaplı numunenin 1. gün empedans grafiği



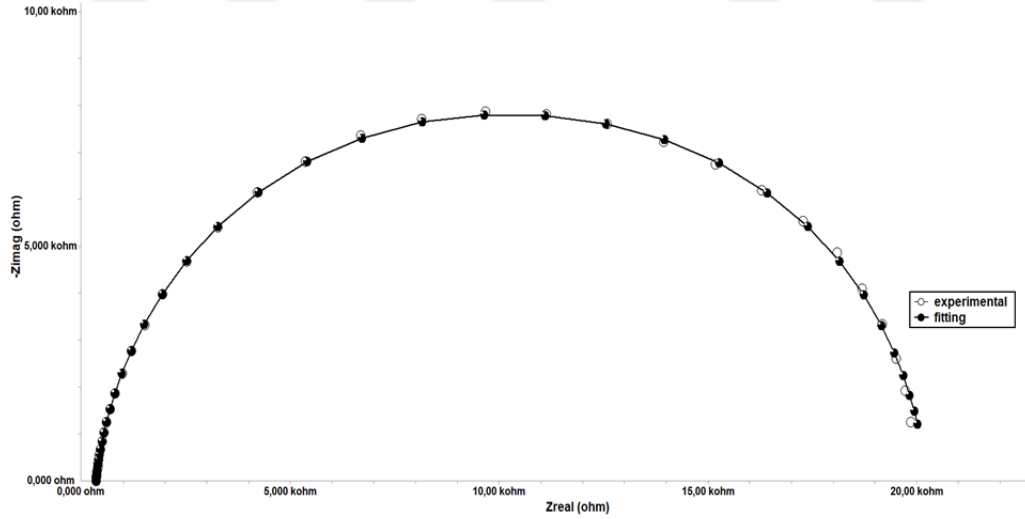
Şekil 4.5. 20 µm kaplı numunenin 10. gün empedans grafiği

Korozyon potansiyelinin değişimi Çizelge 4.1’de verilmiştir. 10. gün sonunda korozyon potansiyelinin arttığı görülmüştür. Yapılan çalışmada, 4.1’deki denkleme göre porozite yüzdesi (%DA) bulunmuştur.

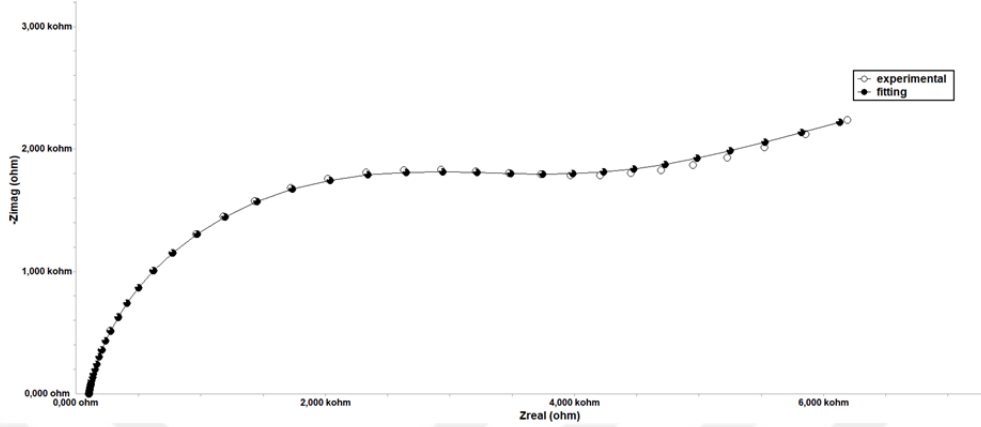
Çizelge 4.1. 20 µm kaplı numunenin korozyon potansiyeli değerinin değişimi

	1. gün	10. gün
Rs	171.9	133.2
C1	1.94E-05	2.54E-03
n1	9.21E-01	6.50E-01
R1	7.64E+02	3.74E+02
C2	2.36E-03	6.16E-02
n2	7.01E-01	1.00E+00
R2	4.66E+02	1.12E+02
Ecorr	-0.99	-1.03
ΣR(Zn-275)	1.40E+03	6.19E+02
R(Referans Zn)	2.81E+03	2.81E+03
DA	2.00	4.54
%DA*	33.40	75.67

*DA: Delimited Area (Porozite)



Şekil 4.6. 35 µm kaplı numunenin 1. gün empedans grafiği



Şekil 4.7. 35 µm kaplı numunenin 10. gün empedans grafiği

35 µm kaplı numunenin korozyon potansiyeli ve porozite yüzdesi Çizelge 4.2’de verilmiştir.

Çizelge 4.2. 35 µm kaplı numunenin korozyon potansiyeli değerinin değişimi

	1. gün	10. gün
Rs	344.5	99.55
C1	1.71E-05	2.34E-05
n1	9.21E-01	8.85E-01
R1	1.67E+04	3.40E+03
C2	1.86E-04	3.50E-04
n2	1	4.71E-01
R2	3.18E+03	1.41E+04
Ecorr	-1.01	-1.04
ΣR_(Zn-490)	2.02E+04	1.76E+04
R_(Referans Zn)	2.81E+03	2.81E+03
DA	0.14	0.16
%DA*	2.33	2.66

*DA: Delimited Area (Porozite)

$$\% \text{ Porozite} = \left(\frac{R_{p(s)}}{R_p} \right) \times 10^{-\left(\frac{\Delta E_{\text{corr}}}{b_A} \right)} \quad (4.1)$$

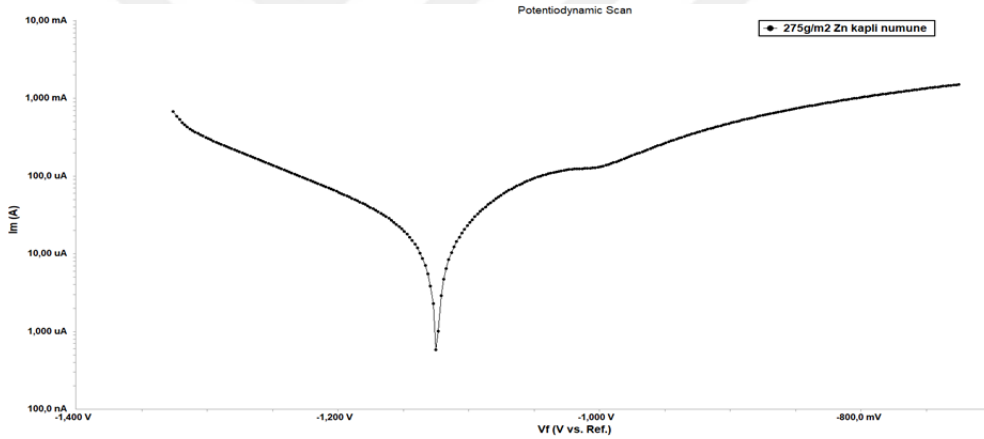
$R_{p(s)}$: kaplamasız metalin polarizasyon direnci

R_p : kaplı metalin polarizasyon direnci

ΔE_{corr} : kaplı metal ile kaplamasız metalin korozyon potansiyelleri farkı

b_A : kaplamasız metalin anodik Tafel sabiti

20 μm kaplı numunenin Tafel eğrisi Şekil 4.8’de verilmiştir. Tafel eğrisinden yola çıkılarak elde edilen korozyon akımı değerleri Çizelge 4.3’teki gibidir.

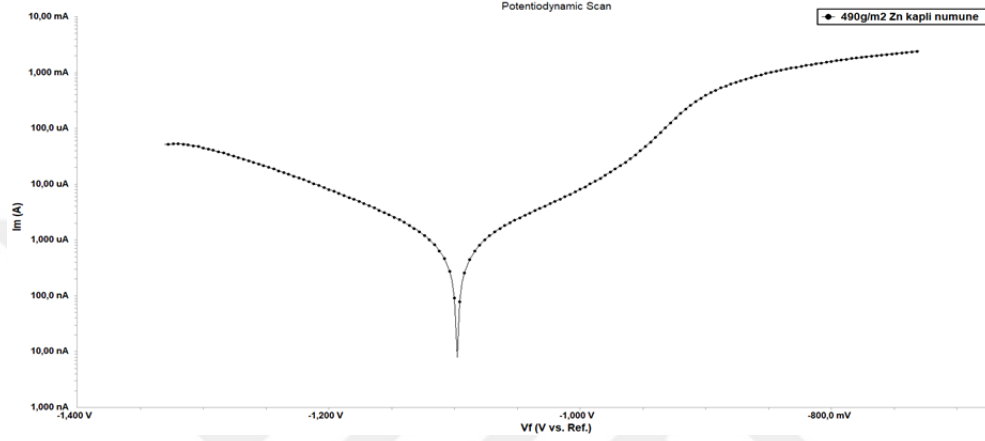


Şekil 4.8. 20 μm kaplı numunenin 10. gün Tafel eğrisi

Çizelge 4.3. 20 μm kaplı numunenin korozyon potansiyeli ve korozyon akımı değerleri

	275g/m2 Zn kaplı numune
E_{corr} (V)	-1,124
b_A (V/dec)	9,54E-02
b_C (V/dec)	1,40E-01
I_{corr} (μA)	17,53

35 μm kaplı numunenin Tafel eğrisi Şekil 4.9'da verilmiştir. Tafel eğrisinden yola çıkılarak elde edilen korozyon akımı değerleri Çizelge 4.4'teki gibidir.



Şekil 4.9. 35 μm kaplı numunenin 10. gün Tafel eğrisi

Çizelge 4.4. 35 μm kaplı numunenin korozyon potansiyeli ve korozyon akımı değerleri

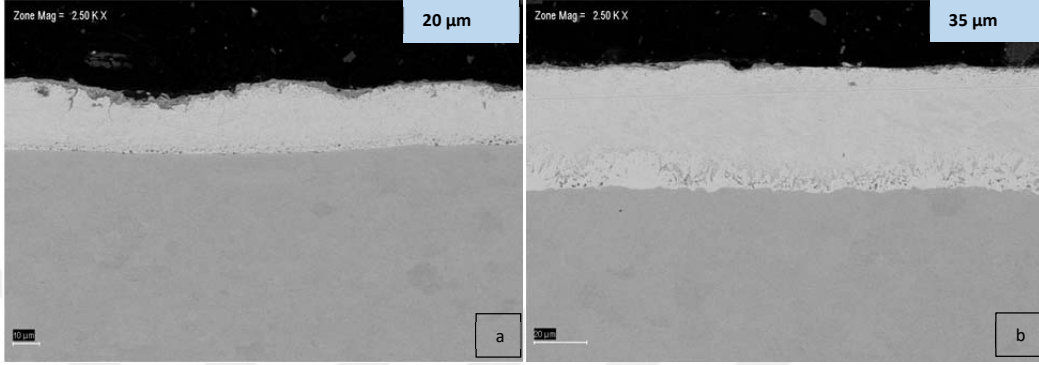
	490g/m ² Zn kaplı numune
E_{corr} (V)	-1,098
I_{corr} (μA)	0,894
b_A (V/dec)	0,097
b_C (V/dec)	0,114

Çizelge 4.3 ve Çizelge 4.4'te verilen değerlerde de görüldüğü gibi, kaplama kalınlığı arttıkça korozyon potansiyelinde düşüş gözlenmiştir. Bunun yanı sıra, kaplama kalınlığı arttıkça korozyon akımında artış gözlenmiştir.

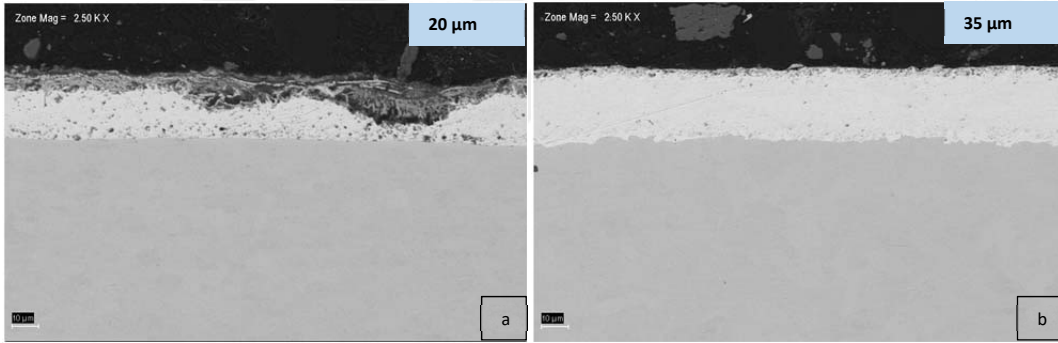
4.2. SEM Analizleri

SEM cihazında, farklı kaplama kalınlıklarına sahip numunelerin kenar kesim bölgelerinde meydana gelen değişimler görüntülenmiştir. 2500 kat büyütme

yaparak kaplamada meydana gelmesi beklenen oksit tabakası, 20 μm ve 35 μm çinko kaplama incelmesi gibi değişiklikler Şekil 4.10 ve Şekil 4.11’de verilmiştir.



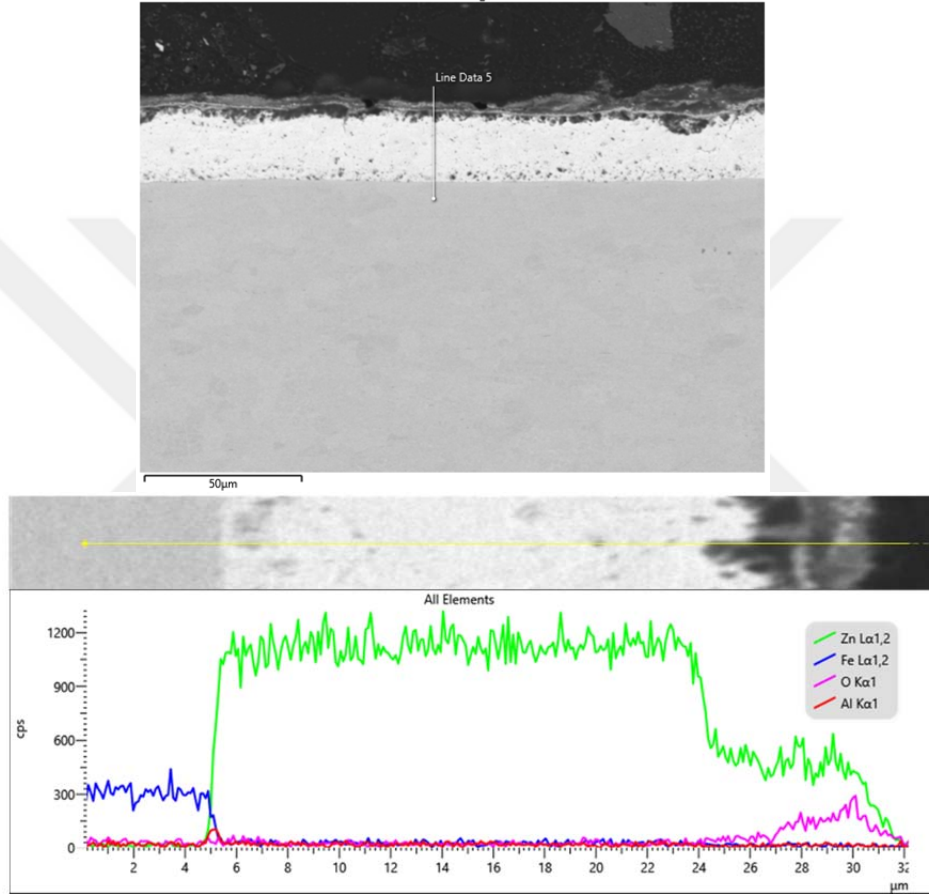
Şekil 4.10. a) 20 μm kaplı numunenin 1. gün kesit görüntüsü b) 35 μm kaplı numunenin 1. gün kesit görüntüsü



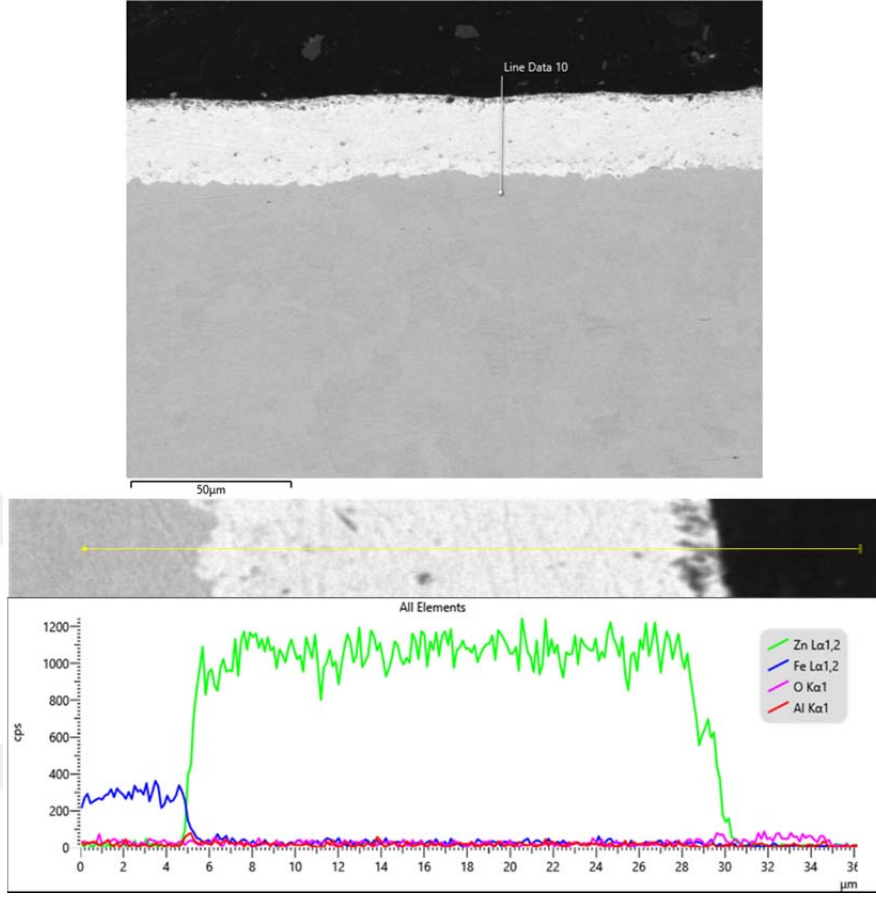
Şekil 4.11. a) 20 μm kaplı numunenin 10. gün kesit görüntüsü b) 35 μm kaplı numunenin 10. gün kesit görüntüsü

Onuncu gün sonrasında Line analizi de yapılmış olan numunelerin kesitlerinde meydana gelen elementel değişimler Şekil 4.12 ve Şekil 4.13’te verilmiştir. Alınan kesitlerde, sarı çizgi boyunca (soldan sağa) gidildikçe çelik bitip çinko kaplama başlamıştır. Buna istinaden çinko miktarı artmıştır. Sonrasında ise yüzeye gelindiği için çinko yüzeydeki aşınmadan ve oksitlenmeden kaynaklı olarak çinko miktarı azalmış, oksijen miktarı artmıştır. Line analizinde meydana gelen

demirin bitip çinkonun başladığı noktada ufak bir pik yapan alüminyum ise, çeliğin içerisinde bulunan alüminyumun çinko kaplama yapıldığı noktada oluşturduğu Fe_xAl_y bileşiğinden kaynaklıdır.



Şekil 4.12. 20 µm kaplı numunede 10. gün sonrası Line analizi



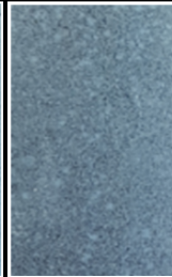
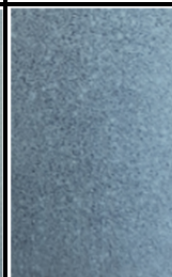
Şekil 4.13. 35 µm kaplı numunede 10. gün sonrası Line analizi

Şekil 4.12’de verilen 35 µm kaplı numunenin kesit analizinde yüzeye doğru ilerledikçe oksitlenmenin başladığı görülmüştür. Fakat oksitlenme oranı, 20 µm kaplı numuneye göre çok daha az miktardadır.

4.3. Görsel Çalışmalar

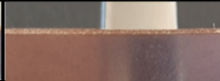
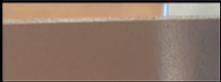
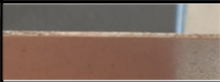
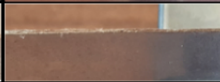
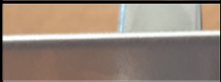
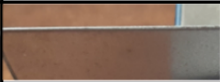
4.3.1. Atmosfer ortamı

Farklı kaplama kalınlıklarına sahip numuneler, Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi’nde Aralık ayı şartlarında dış ortamda bir hafta boyunca bekletilmiştir. Numunelerin yüzeylerinde ve kenar kesim bölgelerinde meydana gelen değişimler Şekil 4.14’te verilmiştir.

ATMOSFER ORTAMI (Yüzey)				
Zaman Kaplama Kalınlığı	1.gün	3.gün	5.gün	8.gün
50g/m ²				
70g/m ²				
120g/m ²				
180g/m ²				

Şekil 4.14. Atmosfer ortamında farklı kaplama kalınlıklı numunelerin yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler

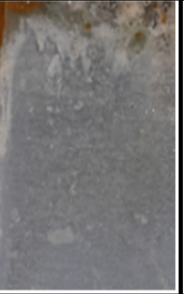
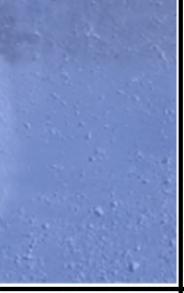
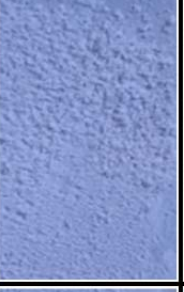
Şekil 4.14’ de görüldüğü gibi, bir haftanın sonunda yüzeyde çok belirgin bir değişim olmamıştır. Yalnızca Zn kaplamanın hava ile teması esnasında, oksitlenmesi sonucu meydana gelen matlık söz konusudur. Şekil 4.15’te verilen kenar kesim bölgelerinde ise kaplama kalınlığı arttıkça kenar kesim bölgelerinde kırmızı pasın daha az oluştuğu gözlenmiştir.

Zaman Kaplama Kalınlığı	1.gün	3.gün	5.gün	8.gün
50g/m ²				
70g/m ²				
120g/m ²				
180g/m ²				

Şekil 4.15. Kenar kesim bölgelerinde kaplama kalınlığına bağlı kırmızı pas oluşumu

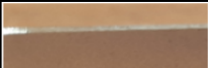
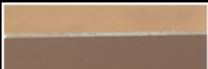
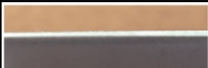
4.3.2. Seyreltilmiş Harrison Çözeltisi Ortamı

Bir diğer korozyon ortamı olarak Seyreltilmiş Harrison Çözeltisi (DHS) olarak adlandırılan yağmur suyunu simüle eden %0,35 (NH₄)₂SO₄ ve %0,05 NaCl çözeltisi kullanıldı. Harrison çözeltisinde 1 hafta bekletilen farklı kaplama kalınlıklarına sahip numunelerin Şekil 4.16’da verilen yüzeylerinde oksitlenme görülmüştür. Kaplama kalınlığı arttıkça yüzeyde meydana gelen oksitlenmenin arttığı gözlenmiştir.

DHS ORTAMI (Yüzey)				
Zaman Kaplama Kalınlığı	1.gün	3.gün	5.gün	8.gün
50g/m ²				
70g/m ²				
120g/m ²				
180g/m ²				

Şekil 4.16. Seyreltilmiş Harrison çözeltisinde bekletilen numunelerin yüzey görüntüleri

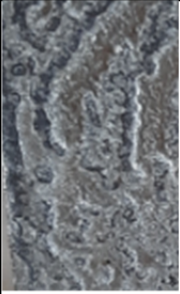
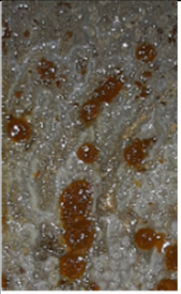
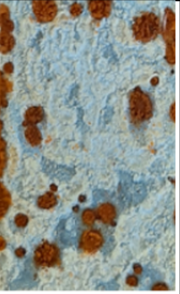
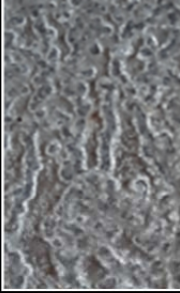
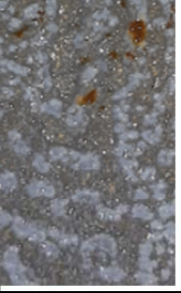
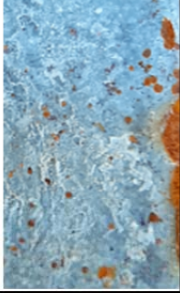
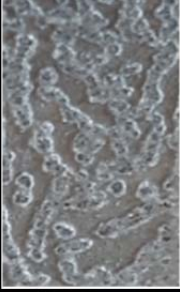
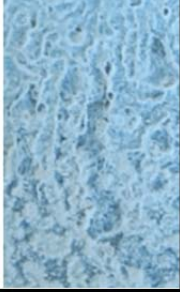
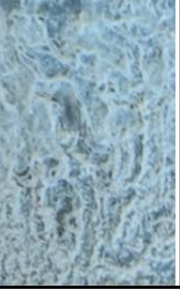
Şekil 4.17’de verilen kenar kesim bölgelerinde meydana gelen değişimler verilmiştir. Kaplama kalınlıkları arttıkça kesim bölgelerindeki tuz kalınlığının da arttığı gözlenmiştir.

Zaman Kaplama Kalınlığı	1.gün	3.gün	5.gün	8.gün
50g/m ²				
70g/m ²				
120g/m ²				
180g/m ²				

Şekil 4.17. Seyreltilmiş Harrison çözeltilisinde bekletilen numunelerin kenar kesim görüntüleri

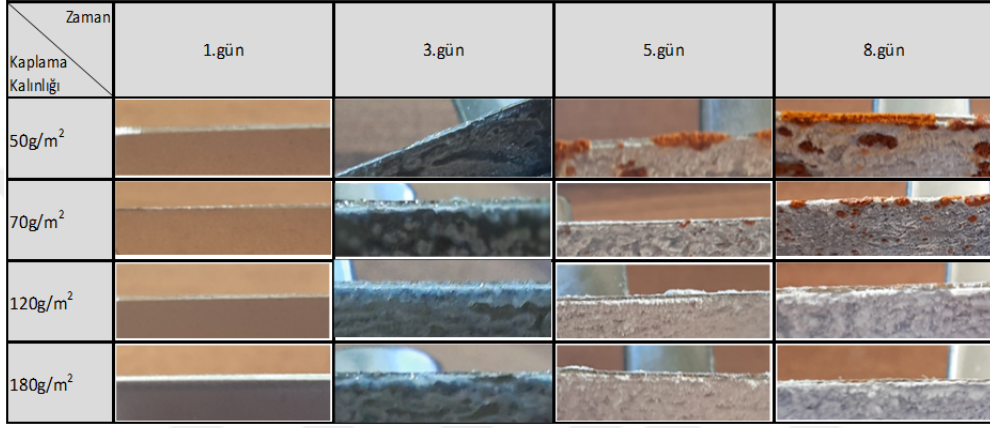
4.3.3. Yağmur Suyu Ortamı

Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi’nde Aralık ayında yağın yağmur suyunun toplanmasıyla korozif ortam hazırlanmış oldu. 1 hafta boyunca yağmur suyunu bekletilen farklı kaplama kalınlıklarına sahip numunelerin yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler Şekil 4.18’de verilmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça kırmızı pas oranı düşmüştür.

YAĞMUR SUYU ORTAMI (Yüzey)				
Zaman Kaplama Kalınlığı	1.gün	3.gün	5.gün	8.gün
50g/m ²				
70g/m ²				
120g/m ²				
180g/m ²				

Şekil 4.18. Yağmur suyu bekletilen numunelerin yüzey görüntüleri

Sanayi bölgesinde yağan yağmur ortamına maruz kalan numunelerin kenar kesim yüzeylerinde meydana gelen değişiklikler ise Şekil 4.19’da verilmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça kenar kesim bölgelerinde meydana gelen kırmızı pasın azaldığı görülmüştür.



Şekil 4.19. Yağmur suyunda bekletilen numunelerin kenar kesim görüntüleri

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

- Referans Zn külçenin empedans grafiğindeki değer -1,01 V olarak ölçülmüştür. Tafel eğrisinde görülen korozyon potansiyeli sapmasının nedeni yüzeye bir akım uygulanmış olması ve yüzeyde meydana gelen oksit tabakasının değişmiş olmasıdır. Referans Zn külçenin korozyon akımı değeri Tafel eğrisinin eğimlerinin kesişmesinden hesaplanmış olup 5,478 μ A bulunmuştur. Bu değer kaplama kalınlığı farklı numunelerin porozitesini hesaplamak için baz alınmıştır.
- 20 μ m ve 35 μ m kaplı numunelerin empedans grafiklerine bakıldığında, 1. Günden 10. Güne kadar korozyon potansiyellerinde düşüş gözlenmiştir (- 1,01 V'a yaklaşmıştır). Bu düşüşün sebebi çözeltiye temas eden yüzeyde biriken oksit tabakasıdır. Oksit tabakasının, yüzeyde belirli bir süre ile bariyer oluşturduğu düşünülmektedir. İlerleyen sürelerde korozyon potansiyeli, porozite yüzdesi artacak ve kırmızı pas oluşumu gözlenmeye başlanacaktır.
- Porozite yüzdeleri referans Zn külçenin korozyon akımı değeri yardımıyla hesaplanmıştır. 20 μ m kaplı numunenin porozitesi 10 gün içerisinde yaklaşık 2,5 katına çıkarken, 35 μ m kaplı numunenin porozitesi neredeyse değişmemiştir.
- Tafel eğrileri yardımıyla hesaplanan porozite değerlerine bakılacak olursa kaplama kalınlığı arttıkça porozitenin azaldığı görülmüştür. Daha kalın kaplamada, kaplama kusurlarının kapandığı, dolayısıyla korozyona uğrayacak açık yüzey alanının azaldığı görülmüştür.
- SEM analizleri de bu durumu destekler niteliktedir. SEM analizinde, yüzeyine elektrokimyasal hücre kurulan numuneler kullanılmıştır. Bu şekilde hem yüzeyde hem de kesim kenarlarında meydana gelen değişimler

gözlenmiştir. Kaplama kalınlığı arttıkça kaplama kalitesinin de artmış olduğu kesim bölgesinde alınan görüntülerle uyushmaktadır.

- Onuncu gün sonunda 20 μm kaplı numunenin yüzeyinde meydana gelen oksit tabakası 35 μm kaplı numuneye göre çok daha belirgindir.
- Kesim kenarlarında yapılan, yaklaşık 50 μm 'lik bir alanda alınan Line analizlerinde de görüldüğü gibi, 20 μm kaplı numunenin oksit tabakası yaklaşık 24,2 μm 'de başlarken, 35 μm kaplı numunede oksit tabakası 31 μm 'de görülmeye başlamıştır.
- Elektrokimyasal analizlerin çalışmalarda, kaplama kalınlığı arttıkça korozyon potansiyelinin düştüğü (-1,01 V'a yaklaştığı) görülmüştür. Tafel eğrileri de EIS sonuçlarını destekler niteliktedir. Tafel diyagramında da görüldüğü gibi kaplama kalınlığı arttıkça korozyon potansiyeli düşmüş, korozyon akımı yükselmiştir. Korozyon akımının yükselmiş olması, yüzeyde meydana gelen porozitenin azaldığını göstermektedir. Porozite yüzdeleri, kaplama kalınlıkları farklı numunelerin korozyon akımı ve referans çinko külçenin korozyon akımının birbirine oranı ile hesaplanmıştır.
- Hacı Sabancı Organize Sanayi Bölgesi'nde gerçekleştirilen çalışmalar, Aralık ayında ortalama % 92-95 nem ve 8-13 °C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Çalışmanın yapıldığı dönemde bölge, yoğun yağış almıştır. Sanayi bölgesi, deniz ortamından sonra bilinen en korozyif ortam olduğu için, çalışma alanı olarak seçilmiştir. Yapılan çalışmaların sonuçları aşağıdaki şekildedir:
 - a) Atmosfer ortamına maruz bırakılan numunelerde, yüzeylerinde oksitlenmeye bağlı matlaşma görülmüştür. Maruz bırakılan süre içerisinde kırmızı pas oluşumu yüzeyde görülmezken, 3,5 μm kaplama kalınlığına sahip numunede kenar kesim bölgelerinde kırmızı pas oluşumu yoğun nem ortamından dolayı 3. günden itibaren gözlenmiştir. 5 μm kaplı numunede

ise 5. günden itibaren kırmızı pas oluşmaya başlamıştır. 1 haftalık gözlem süresince 8,5 μm ve 12 μm kaplı numunelerde kenar kesim bölgelerinde kırmızı pas oluşumu görülmemiştir.

- b) Atmosfer ortamında galvaniz kaplamanın kalınlığı arttıkça yüzeydeki matlık oluşmaya devam etmiş; fakat kenar kesim bölgelerinde görülen kırmızı pas azalmıştır.
- c) Seyreltilmiş Harrison çözeltisinde bekletilen numunelerde, yüzeyde beyaz pas adı verilen oksit tabakası görülmüştür. Kaplama kalınlığı arttıkça ve zaman ilerledikçe oksit tabakasının kalınlığı artmıştır.
- d) Seyreltilmiş Harrison çözeltisine maruz kalan numunelerin kenar kesim bölgelerinde ilk günlerde oksit tuzları birikmesi görülmüştür. 50 g/m² kaplı numunede 5.gün sonunda kırmızı pas oluşumu gözlenirken 5 μm kaplı numunede 8.gün kırmızı pas gözlenmiştir.
- e) Endüstri bölgesinde Aralık ayındaki yağışlarda toplanan yağmur suyunda bekletilen numunelerde 1.gün meydana gelen matlık, sonraki zamanda yerini oksitlenmeye bırakmıştır. 3. gün 3,5 μm kaplı numunede kırmızı pas başlangıcı noktasal olarak başlamış ve diğer günlerde artmıştır. 5 μm kaplı numunede kırmızı pas oluşumu 5. gün başlamıştır. 8,5 μm ve 12 μm kaplı numunelerde yüzeyde yoğun oksitlenme gerçekleşmiştir. Ancak kırmızı pas oluşumu gözlenmemiştir.
- f) Yağmur suyunda bekletilen numunelerin kenar kesim bölgelerinde ilk günlerde sadece oksit birikimi olmuştur. 3,5 μm kaplı numunede ise 4.gün başlayan kırmızı pas hızlı bir şekilde ilerlemiştir. 5 μm kaplı numunede ise kırmızı pas noktasal olarak 5. günde başlamış, 1.haftanın sonunda belirgin hale gelmiştir. 8,5 μm ve 12 μm kaplı numunelerde kenar kesim bölgelerinde sadece oksitlenme görülmüş, kırmızı pas oluşumuna rastlanmamıştır.



KAYNAKLAR

- Alvarez-Pampliega, A., Taryba, M. G., Van den Bergh, K., De Strycker, J., Lamaka, S. V., and Terryn, H., 2013. Study of Local Na⁺ and Cl⁻ Distributions during the Cut-Edge Corrosion of Aluminum Rich Metal-Coated Steel by Scanning Vibrating Electrode and Micro-Potentiometric Techniques. *Electrochimica Acta*, 102:319-327.
- Arenas, M. A., De Damborenea, J. J., Medrano, A., Garcia, J. A., and Rodriguez, R., 2002. Corrosion Behaviour of Rare Earth Ion-Implanted Hot-Dip Galvanised Steel. *Surface and Coatings Technology*, 158, 615-619.
- Bastin, G.F., Loo, van F.J.J., Rieck, G.D., 1974. New Compound in the Iron-Zinc System, *Zeitschrift fuer Metallkunde*, 65(10): 656-660. ISSN 0044-3093.
- Custódio, J. V., Agostinho, S. M., and Simões, A. M., 2010. Electrochemistry and Surface Analysis of the Effect of Benzotriazole on the Cut Edge Corrosion of Galvanized Steel. *Electrochimica Acta*, 55(20): 5523-5531.
- Dos Santos, A. P., Manhabosco, S. M., Rodrigues, J. S., and Dick, L. F. P., 2015. Comparative Study of the Corrosion Behavior of Galvanized, Galvannealed and Zn55Al Coated Interstitial Free Steels. *Surface and Coatings Technology*, 279:150-160.
- Erbil, M., 2012, *Korozyon İlkeler – Önlemler*, Korozyon Derneği Yayını, 359s.7.
- Hamlaoui, Y., Pedraza, F., and Tifouti, L., 2008. Corrosion Monitoring of Galvanised Coatings through Electrochemical Impedance Spectroscopy. *Corrosion Science*, 50(6):1558-1566.
- Koutsaris, C., 2011. *Metallic Foam Formation During Continuous Hot-Dip Galvanizing of Steel Sheet*, PhD Thesis, pp. 4, 6-). École Polytechnique de Montréal, Université de Montréal.
- Küçüköğlu, M., 2010. *Ogzalet, Tungstat, Molibdat ve Fosfatın Saf Çinkonun Sulu Ortamdaki Korozyonuna Etkisi*, Yüksek Lisans Tezi, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Anabilim Dalı.

- Maaß, P., and Peißker, P., 2011. Handbook of Hot-Dip Galvanization, ISBN:9783527323241.
- Manhabosco, S. M., Manhabosco, T. M., Geoffroy, N., Vignal, V., and Dick, L. F., 2018. Corrosion Behaviour of Galvanized Steel Studied by Electrochemical Microprobes Applied on Low-Angle Cross Sections. *Corrosion Science*, 140:379-387.
- Marder A.R., “The Metallurgy of Zinc-Coated Steel”, Department of Materials Science and Engineering, Lehigh University, Bethlehem, PA, 18015-3195, USA, 2000.
- Mehler, J. R. ve Rothfuss, J. G., Galvanizing Process, US3056694A, 1958.
- Oliveira, M., Ferreira Jr, J. M., dos Santos, W. I., Tomachuk, C. R., Rossi, J. L., and Costa, I., 2012. Passivation Treatments for Galvanized Steel as Potential Replacements to Chromate Conversion Coatings.
- Panossian, Z., Mariaca, L., Morcillo, M., Flores, S., Rocha, J., Pena, J. J., and Priddybailo, G., 2005. Steel Cathodic Protection Afforded by Zinc, Aluminium and Zinc/Aluminium Alloy Coatings, In *The Atmosphere. Surface and Coatings Technology*, 190(2-3):244-248.
- Pektaş, İ., 2018. Galvanizcinin El Kitabı. Ankara, 60s.
- Poelman, M., Recloux, I., Cornil, N., Blandin, N., Deronne, L., LeDisert, Y., and Olivier, M. G., 012). Electrochemical study of the Corrosion Behaviour at the Edges of Electrocoated Steel. *Progress in Organic Coatings*, 74(3):453-460.
- Porter, F. C., Corrosion Resistance of Zinc and Zinc Alloys, CRC Press, 1994.
- Prosek, T., Nazarov, A., Xue, H. B., Lamaka, S., and Thierry, D., 2016a. Role of Steel and Zinc Coating Thickness in Cut Edge Corrosion of Coil Coated Materials in Atmospheric Weathering Conditions; Part 1: Laboratory Study. *Progress in Organic Coatings*, 99:356-364.

- Prosek, T., Nazarov, A., & Thierry, D., 2016b. Role of steel and zinc coating thickness in cut edge corrosion of coil coated materials in atmospheric weathering conditions; Part 2: Field data and model. *Progress in Organic Coatings*, 101, 45-50.
- Simões, A. M., Torres, J., Picciochi, R., and Fernandes, J. C. S., 2009. Corrosion Inhibition at Galvanized Steel Cut Edges by Phosphate Pigments. *Electrochimica Acta*, 54(15):3857-3865.
- Thébault, F., Vuillemin, B., Oltra, R., Ogle, K., and Allely, C., 2008. Investigation of Self-Healing Mechanism on Galvanized Steels Cut-Edges by Coupling SVET and Numerical Modeling. *Electrochimica Acta*, 53(16):5226-5234.
- Wright, W. H., Method for Galvanized Steel, US3190768A, 1961.
- Yan, M., Gelling, V. J., Hinderliter, B. R., Battocchi, D., Tallman, D. E., and Bierwagen, G. P., 2010. SVET Method for Characterizing Anti-Corrosion Performance of Metal-Rich Coatings. *Corrosion Science*, 52(8):2636-2642.
- Yıldız, R., and Dehri, İ., 2015. Investigation of the Cut-Edge Corrosion of Organically-Coated Galvanized Steel after Accelerated Atmospheric Corrosion Test. *Arabian Journal of Chemistry*, 8(6):821-827.



ÖZGEÇMİŞ

1990 yılında Erzurum’da doğdu İlkokulu 2001’de Aliye Pozcu İlköğretim okulunda, orta öğrenimi 2004’de Mersin Özel Türkmen Koleji’nde tamamladı. 2008 yılında Yusuf Kalkavan Anadolu Lisesi’nden mezun oldu. 2008’de başladığı Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü’nden 2013’te mezun oldu. Lisans eğitiminin sırasında 2011-2012 Eğitim-Öğretim döneminde bir yıl süreyle ERASMUS ile Almanya’da, Oldenburg Üniversitesi’nde okudu. Mezuniyetini müteakiben Mersin Üniversitesi Kimya Mühendisliği Ana Bilim Dalı’nda yüksek lisansa başladı ve 1 yıllık bilimsel hazırlıktan sonra 2016’da mezun oldu. 2017 yılında ise Çukurova Üniversitesi Kimya Bölümü’nde ikinci yüksek lisansa başladı.