



T.C.

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

**AKRİLİK VE TOZ BOYALI SACLARDA POLİPİROLÜN
KOROZYONDAN KORUMA ETKİSİ**

Yüksek Lisans Tezi

Kübra TOPALOĞLU

Çorum - 2023

**AKRİLİK VE TOZ BOYALI SAÇLARDA POLİPİROLÜN KOROZYONDAN
KORUMA ETKİSİ**

Kübra TOPALOĞLU

**Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı**

Yüksek Lisans Tezi

TEZ DANIŞMANI

Prof. Dr. Abdurrahman ASAN

Çorum 2023

Kübra TOPALOĞLU tarafından hazırlanan 'Akrilik ve Toz Boyalı Saclarda Polipirolün Korozyondan Koruma Etkisi' adlı tez çalışması 01/09/2023 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri tarafından oy birliği ile Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Abdurrahman ASAN

.....

Doç. Dr. Nihan KAYA

.....

Doç. Dr. İbrahim Bilici

.....

Hitit Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Yönetim Kurulunun .../.../..... tarih ve sayılı kararı ile Kübra TOPALOĞLU'nun Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Prof. Dr. Muhammed Asif YOLDAŞ
Lisansüstü Eğitim Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada bana ait olmayan her türlü ifade ve bilginin kaynağına eksiksiz atıf yapıldığını beyan ederim.

Kübra TOPALOĞLU

AKRİLİK VE TOZ BOYALI SACLARDA POLİPİROLÜN KOROZYONDAN KORUMA ETKİSİ

Kübra TOPALOĞLU

ORCID: 0009-0001-4769-7883

HİTİT ÜNİVERSİTESİ

LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

Yüksek Lisans Tezi

Eylül 2023

ÖZET

Bu çalışmada Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 ve Erdemir 3237 sac levhaların yüzeyine yapılan toz ve akrilik boya kaplamaların korozyonuna polipirol astar kaplamanın etkisi araştırılmıştır. Kaplamaların korozyon testleri yanı sıra kalınlık, darbe dayanımı ve Cross-cut testi gibi mekanik dayanım testleri de yapılmıştır. Kaplamaların korozyona karşı dayanımını belirlemek için Tuz Püskürtme testi uygulanmıştır. Korozyon hızı ölçümleri ise 0,1 M NaCl ortamında Tafel Polarizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Akrilik boya kaplamanın kalınlığı 40-60 mikron aralığında, toz boyanın kalınlığı ise 50-70 mikron aralığında olduğu tespit edilmiştir. Polipirol ile astar kaplama yapılan akrilik ve toz boya kaplamanın kalınlığı yine aynı aralıklarda bulunmuştur. Darbe dayanımı testinde 11b kütleindeki çelik bilya 100 cm yükseklikten kaplamalı sac levha yüzeyine bırakılarak yapılmıştır. Deney sonucunda kaplamada herhangi bir çatlama, kırılma veya boya kalkması gibi olumsuz bir durum oluşmamıştır. Yapışma testinde toz boya kaplamalı numuneler akrilik kaplamalı numunelere göre daha başarılı sonuçlar vermiştir. Tuz püskürtme test sonuçları 3, 8, 13, 20 ve 44. günler için belirlenmiştir. Her bir sac levha için kaplamaların ve kaplama ile birlikte yapılan astar polipirol kaplamanın korozyon hızları Tafel Polarizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Erdemir 3237, Erdemir 6044, Erdemir 6052 Ve Erdemir 6112 sac levhaların korozyon hızları sırasıyla 0,342; 0,146; 0,149; 0,146 mm/yıl bulunmuştur. Akrilik boya ve toz boya ile yapılan kaplama sonrasında sac levhaların korozyon hızlarında azalma olmuştur. Akrilik boya, Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 ve Erdemir 3237 saclarında sırasıyla %76,5, %72,6, %73,3 %91,5 koruma sağlamıştır. Toz boyada ise kaplama etkinliği sac levhalarda sırasıyla %65,1, %95,9,

%95,2 ve %93,3 olarak tespit edilmiştir. Polipirol astar kaplama yapılan hem toz hem de akrilik kaplamalarda kaplama etkinliği daha da artmıştır. Polipirol kaplama, akrilik kaplı sırasıyla Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 ve Erdemir 3237 levhalarda; %82,6, %85,6, %91,1 ve %98,2 koruma etkinliği sağlarken toz kaplı olanlarda ise %96,6, %97,3, %99,3 ve %98,2 koruma sağlamıştır.

Anahtar Kavramlar: Korozyon, Elektrostatik Toz Kaplama, Akrilik Kaplama, Polipirol, Sac levha

Bilim Kodu: 91205



CORROSION PROTECTION EFFECT OF POLYPYRROLE ON ACRYLIC AND POWDER COATED SHEET

Kübra TOPALOĞLU

ORCID: 0009-0001-4769-7883

HITIT UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL

Master of Science Thesis

September 2023

ABSTRACT

In this study, the effect of polypyrrole primer coating on the corrosion of powder and acrylic paint coatings on the surface of Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 and Erdemir 3237 sheets was investigated. In addition to corrosion tests of coatings, mechanical strength tests such as thickness, impact resistance and Cross-cut test were also performed. Salt Spray test was applied to determine the corrosion resistance of coatings. Corrosion rate measurements were determined by Tafel Polarization method in 0.1 M NaCl media. The thickness of the acrylic paint coating is in the range of 40-60 microns, and the thickness of the powder coating is in the range of 50-70 microns. The thickness of the acrylic and powder coating coated with polypyrrole was found to be in the same ranges. In the impact strength test, a steel ball with a mass of 1lb was made by dropping it from a height of 100 cm onto the surface of the coated sheet metal. As a result of the test, there was no negative situation such as cracking, breakage or paint removal in the coating. In the adhesion test, powder coated samples showed more successful results than acrylic coated samples. Salt spray test results are determined for days 3, 8, 13, 20 and 44. The corrosion rates of the coatings for each sheet metal sheet and the primer polypyrrole coating made together with the coating were determined by Tafel Polarization method. The corrosion rates of Erdemir 3237, Erdemir 6044, Erdemir 6052 and Erdemir 6112 sheets were measured as 0.342, 0.146, 0.149 and 0.146 mm/year, respectively. After the coating with acrylic paint and powder paint, there was a decrease in the corrosion rates of metal sheets. Acrylic paint provided 76.5%, 72.6%, 73.3% and 91.5% protection in Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 and Erdemir 3237 sheets, respectively. In powder coating, coating efficiency was determined as 65.1%, 95.9%, 95.2% and 93.3% in metal sheets,

respectively. Coating efficiency is further increased in both powder and acrylic coatings with polypyrrole primer. Polypyrrole coating, acrylic coated Erdemir 6052, Erdemir 6044, Erdemir 6112 and Erdemir 3237 sheets, respectively; While it provided 82.6%, 85.6%, 91.1% and 98.2% protection efficiency, it provided 96.6%, 97.3%, 99.3% and 98.2% protection for powder-coated ones.

Key Terms: Corrosion, Electrostatic Powder Coating, Acrylic Coating, Polypyrrole, Sheet Metal

Science Code: 91205



TEŞEKKÜR

Tez danıőmanım Prof. Dr. Abdurrahman ASAN'a tezım boyunca gsterdiği srekli ilgi ve desteklerden dolayı çok teşekkür ediyorum. Onun tavsiyeleri benim için her zaman yararlı olmuştur. Deneylerime yardım etmek için ayırdığı zaman için özellikle minnettarım.

ALAPALA MAKİNA Firma Ailesi'ne üretim Őart ve ekipmanlarını, boya ve yzey hazırlama proses atlyelerini ve bilgilerini kullanmama izin verdiği için, yksek lisans eğitimim sırasında teővik edip destek oldukları için yrekte teşekkür ediyorum.

Son olarak, aileme teőekkür ediyorum: tez çalıőmam sresince gsterdikleri destek, anlayıő ve yardımları için gšnlden teőekkür ederim.

Kbra TOPALOĞLU

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
TABLolar DİZİNİ.....	xii
ŞEKİLLER DİZİNİ	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR	xv
GİRİŞ.....	1

1. BÖLÜM

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1.	Korozyon	3
1.1.1.	Mühendislik Alanında Korozyon	4
1.2.	Korozyon Türleri	6
1.2.1	Atmosferik Korozyon	6
1.2.2	Galvanik Korozyon	6
1.2.3	Kaçak Akım Korozyonu	7
1.2.4	Biyolojik Korozyon	7
1.2.5	Yüksek Sıcaklık Korozyonu	8
1.2.6	Filiform Korozyon	9
1.2.7	Çatlak Korozyonu	9
1.2.8	Oyuklanma Korozyonu	10
1.2.9	Taneler Arası Korozyon	10
1.2.10	Erozyonlu Korozyon	11
1.2.11	Ortamdan Kaynaklanan Korozyon	11

1.3.	Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	12
1.3.1	Metal Kaplamalar.....	13
1.3.2	Endüstride Kaplama.....	14
1.3.3	Yüzey Kaplamada Dikkat Edilmesi Gerekenler.....	17
1.4.	Boyalar ve Türleri.....	17
1.4.1	Elektrostatik Toz Boyalar.....	18
1.4.2	Akrilik Boyalar.....	20
1.5.	Test Yöntemleri.....	20
1.5.1	Kalınlık Testi.....	20
1.5.2	Tuz Testi.....	21
1.5.3	Cross-Cut Testi.....	21
1.6.	Korozyon Hızı Belirleme Yöntemleri.....	22
1.6.1	Kütle Kaybı Yöntemi.....	22
1.6.2	Tafel Polarizasyon Metodu.....	22
1.6.3	Elektrokimyasal Empedans Spektroskopisi (EIS).....	24
1.6.4	Lineer Polarizasyon Tekniği.....	24

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1.	Materyal.....	26
2.2.	Yöntem.....	26
2.2.1.	Kimyasal Yüzey İşlem.....	26
2.2.2.	Elektrostatik Toz Boyama.....	27
2.2.3.	Akrilik Boyama.....	27
2.3.	Uygulanan Testler.....	28
2.3.1.	Boya Kalınlığı Ölçümü.....	28
2.3.2.	Darbe Dayanım Test Ölçümü.....	29
2.3.3.	Cross-Cut Yapışma Testi.....	31

2.3.4.	Tuz Püskürtme Korozyon Testi	33
2.3.5.	Tafel Polarizasyon Metodu	35

3. BÖLÜM

ANALİZ VE BULGULAR

3.1.	Boya Kalınlığı, Darbe Dayanımı ve Çapraz Kesme-Yapışma Testi Analizi	39
3.2.	Tuz Püskürtme Testi Analizi	42
3.3.	Elektrokimyasal Yöntemlerle Analiz.....	43
3.4.	Sem Görüntüleri	50
SONUÇLAR VE ÖNERİLER		52
KAYNAKÇA		54

TABLULAR DİZİNİ

Tablo	Sayfa
Tablo 1.1. Korozyon Hasar Türleri Sıklığı.....	11
Tablo 2.1. Sac Levhaların Kimyasal Bileşim Analizi.....	26
Tablo 2.2. Cross-Cut Yapışma Testi Cihazı Kullanım Açıklaması	32
Tablo 2.3. Yapışma Testinin Değerlendirilmesi.....	33
Tablo 2.4. Tuz Püskürtme Test Adımları.....	34
Tablo 3.1. Numune plakaların boya kanlığı	39
Tablo 3.2. Toz ve Akrilik Kaplamalı Numunelerin Kalınlığı, Darbe Dayanımı ve Cross-Cut Yapışma Test Sonuçları.....	40
Tablo 3.3. Polipirol astar kaplamalı toz ve akrilik boya kaplamaların kalınlıkları	41
Tablo 3.4. Sac levhaların 0,1M NaCl çözeltisinde elde edilen korozyon parametreleri.....	44
Tablo 3.5. Test Plakalarının Korozyon Parametreleri	49

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil	Sayfa
Şekil 1.1. Atmosferik Korozyon.....	6
Şekil 1.2. Galvanik Korozyon	7
Şekil 1.3. Kaçak Akım Korozyonu	7
Şekil 1.4. Biyolojik Korozyon	8
Şekil 1.5. Yüksek Sıcaklık Korozyonu	8
Şekil 1.6. Filiform Korozyon.....	9
Şekil 1.7. Çatlak Korozyonu.....	9
Şekil 1.8. Oyuklanma Korozyonu.....	10
Şekil 1.9. Taneler Arası Korozyon.....	10
Şekil 1.10. Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	12
Şekil 1.11. Kalınlık Testi.....	20
Şekil 1.12. Cross-Cut Çapraz Kesme Testi	22
Şekil 1.13. Tafel Ekstrapolasyon Grafiği	23
Şekil 1.14. Lineer Polarizasyon Eğrileri.....	25
Şekil 2.1. Elektrostatik Toz Boya Uygulaması.....	27
Şekil 2.2. Akrilik Boya Uygulaması Tabanca Ekipmanı.....	28
Şekil 2.3. Toz ve Akrilik Boya sonrası Metal Numune Plakası	28
Şekil 2.4. Dijital Kaplama Kalınlık Ölçer SaluTron ComBi-D3 Ekipmanı	29
Şekil 2.5. Dijital Kaplama Kalınlık Ölçer SaluTron ComBi-D3 Ölçümü.....	29
Şekil 2.6. ZEHNTNER ZIT 2440 Boya Darbe Testi Ölçümü.....	30
Şekil 2.7. Boya Darbe Testi Deneyi.....	30
Şekil 2.8. Darbe Testi Değerlendirmesi için Kabul Edilebilir Numune Örnekleri.....	31
Şekil 2.9. TQC Yapışma Testi Ölçümü	31

Şekil 2.10. Onalkon Tuz Püskürtme Test Cihazı.....	33
Şekil 2.11. Deney düzeneğinin genel görünüşü.....	36
Şekil 2.12. Korozyon Hücresi.....	36
Şekil 2.13. Çalışma Elektrodu	37
Şekil 3.1. Tuz Püskürtme Testi Sonrası Örnek Fotoğrafların Genel Görünümü.....	42
Şekil 3.2. Kaplamasız sac levhaların 0,1 M NaCl çözeltisindeki volammogramları.....	43
Şekil 3.3. 0,1 M NaCl çözeltisinde kaplamasız sac levhaların toplu Tafel Polarizasyon Eğrileri	44
Şekil 3.4. Erdemir 6052 levha üzerinde oluşturulan polipirol tabaka eğrisi.....	45
Şekil 3.5. Polipirol Kaplamanın SEM görüntüsü.....	46
Şekil 3.6. Erdemir 3237 sac levha yüzeyine yapılan kaplamaların Tafel Polarizasyon eğrileri	46
Şekil 3.7. Erdemir 3237 Sac Levha yüzeyinde oluşturulan PPy kaplamanın akrilik kaplamaya etkisi.....	47
Şekil 3.8. Erdemir 3237 Sac Levha yüzeyinde oluşturulan PPy kaplamanın toz kaplamaya etkisi.....	48
Şekil 3.9. Numunelerin SEM görüntüleri.....	50

SİMGELER VE KISALTMALAR

Simgeler

A	Yüzey
cm	Santimetre
mV	miliVolt
mpy	Penetrasyon değeri
mm	Milimetre
μm	Mikrometre
pH	Hidrojen Potansiyeli
V	Volt
$^{\circ}\text{C}$	Derece
Δm	Kütle kaybı
Δt	Zaman aralığı

Kısaltmalar

EDS	Enerji Dağılımlı X-Işını spektroskopisi
EIS	Elektrokimyasal empedans spektroskopisi
GSYİH	Gayri Safi Yurt İçi Hasıla
NaCl	Sodyum Klorür
PPy	Polipirol
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
XRD	X ışını difraksiyon spektroskopisi

GİRİŞ

Teknolojik uygulama ve denemelerin amacı, teknolojiye katkı sağlarken eldeki malzemeyi de optimal düzeyde değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Bu doğrultuda metalik özellikteki malzemelerin yüzey iyileştirme veya işlevsel hale getirme çalışmaları araştırmaların aktif alanları haline gelmiştir.

Yüzey iyileştirme işlemi uzun yıllardır bilinmekte ve kullanılmaktadır. İşlem, bir malzemenin çevresiyle etkileşimini veya tepkimeye girdiğinde belirli tepkilerini iyileştirmeyi amaçlamaktadır. Günümüzde yüzey mühendisliği, nanoteknoloji ve nanomalzemelerdeki gelişmeler, malzemelerin bileşiminin moleküler ölçeğe kadar araştırılmasına izin vererek yeni teknolojik ve fonksiyonel malzemelerin yolunu açmaktadır (Montemor, 2014).

Metal gibi birçok malzemenin yüzeyleri kaplama uygulanarak fonksiyonel hale getirilebilmektedir. Fonksiyonel kaplamaların kökeni, insanlığın eski dönemlerine kadar dayanmaktadır. Araştırmalar sonucu bilinen örnekleri ise, ilk metalik eser ve aletlerin (demir, bakır, pirinç, gümüş...) hayvansal yağ, balmumu, jelatinler, bitkisel yağlar ve çeşitli kil yapı taşı mineralleri ile korunmasıdır. Su geçirimsizlik, parlaklık, korozyona karşı direnç ve koruma, aşınma olaylarına karşı yağlama, ilk insanın ihtiyaç duyarak araştırma alanına girmiş özelliklere örnektir (Öncel, 2002). İşlevsel bir kaplama kavramı çok uzun ve teferruatlı bir evrim geçirmiştir. Bunların sonucunda yüzey iyileştirme için günümüzde birçok deney ve yöntem bilinmektedir. Korozyon koruması için işlevsel kaplama yöntemleri, bahsedilen eski yöntemleri temel alarak günümüze kadar çeşitlendirilerek geliştirilmiştir.

Korozyon metal ve alaşımlarının çevreleri ile kimyasal, elektrokimyasal ve fiziksel bozunmalar sonucu yüzeylerinin aşınmasıdır. Korozyonun sebep olduğu kayıpların en temel sebebi korozyona karşı alınan önlemlerde kullanılan hatalı yöntemlerdir. Korozyonun önemi ve maliyeti şu hususlarla özetlenebilmektedir; korozyon insan sağlığına zarar veren, metal kaynakların israfına neden olan, sermaye, emek ve enerji kaybı yaşatan ve meydana gelmesi sırasında ortamı kirleten bir oluşumdur (Gürlek, 2009).

Gerengi vd. (2008), açık alanlarda birçok teknolojik ve üretimle ilgili sistemlerin olmasının yanı sıra, taşıtlar, aksamı metal olan yapılar ve binalar, gemiler, iskeleler, yeraltı metal boru sistemleri gibi birçok şey korozyon olayı ile karşı karşıya olduklarını rapor etmişlerdir. Korozyon süreci ile zayıflayan yapıların ayakta kalamayacak olması beklenmedik bir zamanda meydana gelebilecek iş kazasının bir sebebi olan gerekçelerden biridir. Korozyonun zarar verdiği yapılardan kaynaklanan maliyet, üretim giderlerinin de artmasına sebebiyet vermektedir. İngiltere’de korozyon nedeniyle oluşan ekonomik kaybın, yıllık 1365 milyon pound olduğu hesaplanmıştır. Bunun için bilim adamları, korozyon hızının saptanması ve korozyondan korunma yöntemlerinin optimal seviyede ilerlemesi için sürekli araştırmalar yapmaktadır (Taşkan Ürgün, 2019).

Korozyonun neden olduğu gerek dolaylı gerekse doğrudan meydana gelen kayıplar, ÷lkemizde de ileri seviyelere ulaşmış durumdadır. Mevcut deneyim ve araştırmalar, korozyonu önleme hususunda uygulama adımları ve ilkeleri yeterince bilinen metotların uygulanmasının önemli olduğunu göstermektedir. Bu sayede korozyon kayıplarının önemli ölçülerde azalacağı bilinen bir gerçektir. Bu nedenlerle, tesislerin işletmesinden sorumlu ve bakımı ile ilgilenen kendi alanında uzman bilimcilerin korozyon ve korozyondan korunmanın yöntem ve gerekli uygulamaları hakkında bilgilendirmeleri giderek önem verilmesi gereken husulardan biri haline gelmiştir. Metal kaplama, günümüzde birçok teknoloji ve endüstriyel üretim kolu için gerekli olacak olan bir süreçtir. Bunun sebebi metal kaplama tekniği ile elde edilen yüzey özelliklerini herhangi bir yöntemle elde etmek her koşulda mümkün olamamaktadır (Özabdal, 2014).

Yapılan araştırmalar, korozyon kayıplarının dünya çapında ÷lke ekonomileri üzerinde GSYİH'nin ortalama %3 ila %4'ü arasında değişen olumsuz etkilerinin olduğunu ortaya koymuştur (Gwartney, Holcombe ve Lawson, 1998). Uluslararası Korozyon Konseyi'nin 24 Nisan 2010'da yayınladığı rapora göre, sadece korozyonun dünya genelinde yıllık ekonomik kaybı yaklaşık 2,2 trilyon dolar olarak tahmin edilmektedir (Kesik, 2020).

Korozyon problemlerinin en sık karşılaştığı başlıca endüstriler denizcilik ve bu sektördeki üretim alanlarıdır. Bu endüstrilerde korozyona bağlı kayıplar önemlidir ve GSYİH'yi büyük ölçüde artıran çok önemli bir parametre olarak kabul edilmektedir. Aslında bu alanda karşılaşılan sorunlara gerekli ilgi ve araştırmalara dikkat çekilse de gemilerde korozyondan korunma uygulamaları halen yeterli olmamaktadır (Elçiçek, Karaoğlanlı ve Demirel, 2011).

Bu araştırmada; elektrostatik toz ve akrilik boya çeşitleri ile kapladığımız farklı kalite standartlarında kimyasal ve mekanik yapıya sahip sac plakalara kalınlık, parlaklık, tuz, darbe dayanım, cross-cut ve korozyon testleri uygulanmıştır. Bu boyaların mekanik darbelere ve özellikle korozyona karşı dayanımını artırmak için astar olarak elektrokimyasal yolla polipirol kaplama yapılmıştır. Yapılan test ve deneyler sonucu farklı kalitelerdeki sac plakalar arası korozyon hızının nasıl etkilendiği ve korozyon hızlarındaki farklılıklar tespit edilerek sonuçlar tartışılmıştır.

1. BÖLÜM

KURAMSAL TEMELLER VE KAYNAK ARAŞTIRMASI

1.1. Korozyon

Korozyon hızı metal veya alaşımların birim zamandaki bozunma miktarını ifade etmektedir. Metallerde, havanın nemi ve oksijeni etkisinde oluşan reaksiyonlar ile malzeme yüzeyinde metal oksit yapısı ile bir tabaka oluşturmaktadır. Katı halde olan bu oksit tabakasının derişimi ana metalden yüksek ise metalin hava ile teması azalmaya başladıkça korozyon hızı da yavaşlamaktadır. Ancak demir veya magnezyum gibi bazı metallerde oluşan oksitlenmiş tabaka daha boşluklu ise bu hız sabit olarak devam edebilmektedir (Kocataşkın, 1979).

Hayatımızın her alanında korozyonla karşılaşmak mümkündür. Korozyon kendiliğinden olmaya meyilli önemli doğal olaylardan biridir. Bu olayın doğal olması eğitim teorisinde görülen anot ve katot bölgelerinin de doğal olarak oluştuğunu göstermektedir. Çünkü korozyon katot ve anot arası karşılıklı gerçekleşen elektron alışverişi olayına dayanmaktadır. Elektron alışverişi sonucunda bir süre yükseltgenme ve indirgenme reaksiyonları dengeye ulaşır ve durur. Elektron alışverişinin durması korozyonunda durduğunu göstermektedir (Erbil, 1984).

Korozyona dayanıksız metallerin sanayi veya teknolojik alanda tam olarak görevini yerine getirememesi ciddi derecede iş kazası ve ekonomik kayıplara neden olabilmektedir. Korozyon, ekonomik ve maliyetler bakımından olduğu kadar insan sağlığı konusunda da önemli rol oynamaktadır. Özellikle, korozyon sonucu gerçekleşen ürünlerin, yiyecek-içecek, besin ve ilaçların üretimi için de tehlikesi olduğundan sağlık açısından da dikkat edilmesi gereken noktalar vardır (Gerengi, 2012).

Guedes Soares ve arkadaşlarının yapmış oldukları çalışmada; metallerin sulu çözeltilerdeki sıcaklık, nem ve klorür düzeyinin korozyon davranışı üzerindeki etkilerini modellemeye çalışmışlardır. Bu çalışma sonucu oluşan model; var olan modeller genişletilip üç değişken (ortam sıcaklık nem ve klorürü) ilave edilmesiyle sulu ortamda beklenen korozyon hızları ile alakalı değişken durumu yansıtmaktadır. Neme maruz kalma süresi kritik bir değişkendir. Su filminin kimyasal bileşimi ve yüzey sıcaklığı da önemli bir faktördür. Yüzey sıcaklığı arttığı zaman, elektrolit buharlaşması gerçekleşir ve korozyon giderek hızlanan bir şekilde değişkenlik göstermektedir. Ortam neminin seviyesi, klorür ve sıcaklığa bağlıdır ve bu değişkenler korozyon oranını sulu ortamlarda veya atmosferde önemli seviyede etkilemektedir (C. Guedes Soares, 2009).

Ortamın koroziyifliğine bağlı olarak malzemenin korozyon yatkınlığının bilinmesi ise, kullanılabilir en uygun malzemenin seçilmesi ve gerekli koruyucu tedbirlerin alınabilmesi korozyon hızı açısından önemli olmaktadır (Doğan, 2007).

Korozyon, metalin içinde bulunduğu ortamın ile metalin ara yüzeyinde gerçekleşen bir oluşumdur. Bu nedenle korozyonla mücadelede; ortama daha dayanıklı malzeme üretmek, ortamı malzemeye daha az zarar verecek hale getirmek, malzemenin dış yüzeyinin ortama dayanıklı dirençte olmasını sağlamak gibi önlemler alınıp bu önlemlerin birbirlerini destekleyecek şekilde planlanması önemlidir (Smith, 2001).

1.1.1. Mühendislik alanında korozyon

Doğada altın, platin gibi soy metaller dışında kalan metaller sülfat, oksit veya karbonat halindeki bileşiklerine dönme, yani en kararlı yapıya olma isteğindedirler. Elektrokimyasal reaksiyonların gerçekleşme temelini metallerin kararlı hale dönmesi isteği oluşturmaktadır. Bu reaksiyonlar anodik ve katodik noktalar arasında olan serbest enerji farkına bağlı meydana gelmektedir (Lazić, 2015). Elektrokimyasal olarak korozyonun devam etmesi, katot, anot, elektrolit ve ortamdaki iletkenin oluşturduğu sistemle olmaktadır. Sistemde yükseltgenme tepkimesiyle metalin iyonlaştığı, yani elektron kaybettiği taraf anodu göstermektedir. Öte yandan açığa çıkan bu elektronları tüketen, yani indirgeyen taraf katodu belirtmektedir. Anotta açığa çıkan elektronlar katot tarafına taşınamıyorsa veya iletim tamamen kesilmişse korozyon yavaşladığını veya durduğunu ifade etmektedir. Yani korozyonun devamı anotta ve katotta meydana gelecek reaksiyonların hızına bağlı olmaktadır (Kawara, 2016)

Metalik malzemelerin atmosferik ortamlarda korozyona maruz kalması sonucu metalik korozyon, sanayileşmiş toplumumuzda sıklıkla karşılaşılan ve çözümü optimal düzeyde olması için uğraşılan konulardan biri olmuştur. Bu nedenle, on sekizinci yüzyılın sonundaki sanayi devriminden bu yana kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Modern korozyon bilimi, yirminci yüzyılın başlarında Evans tarafından önerilen yerel hücre modeli ve Wagner ve Traud tarafından kanıtlanmış korozyon potansiyeli modeli ile yola çıkmıştır. İki model, metalik korozyonu anodik metal oksidasyonu ve katodik oksidan indirgemelerinden oluşan birleşik bir elektrokimyasal reaksiyon olarak tanımlayan modern elektrokimyasal korozyon teorisine katılmıştır (Eddy, 2011).

Pratik kullanımda metal özellikteki malzemeler normalde atmosferik ve sulak ortamlarda korozyona maruz kalmaktadırlar. Korozyon, sanayileşmiş toplumumuzda sıklıkla karşılaştığımız sorunlardan biridir. Korozyon dinamik bir süreçtir. Bu nedenle korozyon oluşumunu en aza indirecek önlemlerin alınması mühendisler açısından en mantıklı yollardan biridir (Çalışır, 2015).

Makine ve metal parçalarını etkileyen tek bir hasar türü yoktur. Korozyona karşı önlem almanın bir yolu da sert dolgu malzemeleri ile kaplama yapmak iken bu dolgu malzemelerinin de hasar görebileceği şartların varlığı bazı alanlarda deneyimlenmiştir (Özen ve Türedi, 2021).

Sert yapılı dolgu kaplamaların kullanıldığı tarım alet ve makineleri, maden teçhizatları, hafriyat, kırıcı ve öğütücü gibi endüstriyel koşullar genellikle nemli ve sulak ortamlardır. Ayrıca gıda sektöründe kullanılan işleme bıçakları, pompa ve valfler gibi sert dolgu kaplaması gerektiren uygulamalarda, kaplama tabakası ısı işlemlere maruz kalmak durumunda ve ayrıca bu işlemlerin yapıldığı ortamlarda nem de olmaktadır. Bu tip ortamlarda korozyon da hızlı olur. Korozyon hasarı daha kısa sürede değişim gösterir. Malzemede oluşacak korozyon hasar derecesi, doğal olarak bir malzemenin ilk etkileşimde bulunduğu yer olan en dış tabakasındaki yüzeyde gerçekleşmeye başlar. Bu nedenle, sert dolgu kaplama gibi yüzey koruma yöntemleri sadece aşınmadan korunmayı hedeflemeyip, korozyon hasar derecesinin indirgenmesi için kullanılan yöntemlerden biri haline gelmiştir (Mears ve Brown, 1941).

Nicholls tarafından mekanik detaylı motorlar üzerinde gerçekleştirilen bir çalışmada, sert dolgu kaplamada kullanılan alaşımların endüstriyel dizel motorlardaki korozyonu önemli düzeyde indirgeyeceği rapor edilmiştir. Kaplamalar alt tabakayı dış etkilerden koruyan bir bariyer görevi görmektedir. Kaplama yöntemi kadar kullanılan sacların kaliteleri de önemli olmaktadır. Seçilen malzemelere göre uzun ömürlülük ve dayanıklılık elde edilmesi söz konusudur. Endüstriyel sanayide sert dolgu ile yapılan kaplamaların korozyon hasar derecesinin indirgenmesi için uygulanan çok sayıda çalışma vardır. Bu sebeple, sert dolgu yöntemi ile yapılan kaplamalar için korozyon ve hasar derecesinin tespiti önemlidir. Korozyon volkanik patlama, sel, deprem, kasırga gibi doğal afetlerin sonucu olup maliyetli bir yıkım sürecidir (Ahmad, 2006).

Metal ve benzeri alaşımların yüzey kısmındaki korozyon işlemlerinin bazı temel koşulları karşılaması gerekmektedir. Bu maddelerin biyolojik veya çevre ortamlarla olan değişken etkileşimleri, elektrokimyasal olaylara göre istenmeyen bazı iyonların salınımına neden olabilmektedir. Bu nedenle metal yüzeyinin bir kısmı veya tamamı elektrolit tabakası ile kaplanması gerekebilir. İkinci koşul olarak ise metal ve elektrolit ara yüzünün termodinamik olarak oksitlenmiş şekillerde hazır olmasıdır. İki yarı elektrokimyasal reaksiyonun optimal düzeyde gerçekleşmesi için bu şartlar önemlidir (Bocchetta, 2021).

Korozyon iki farklı şekilde oluşabilir. Kimyasal korozyon bu değişime örnektir. Kimyasal korozyonda metalin içerisinde bulunduğu ortam kuru; elektrokimyasal korozyonda ise metalin bulunduğu ortam nemli olup pas oluşumunu tetiklemektedir. Elektrokimyasal korozyon oluşumu için; anot ve katottan oluşan iki uç elektrodu, elektrolit bir ortam ve anot ile katot arasında elektrik akım ortamı gerekmektedir. Korozyonun engellenebilmesi için korozyon düzeneğini oluşturan elemanların en az birinin devreden çıkarılması gerekir. Bundan dolayı tasarımlarda malzeme seçimi, kaplama yöntemi ve çevre şartları gibi uygulamalar önem kazanmaktadır (Nayır, 2017).

1.2. Korozyon Türleri

Korozyon teknik olarak, görünüşüne veya bulunduğu ortama göre değişiklik gösterdiğinden literatürdeki sınıflandırma biçimleri de farklılık göstermektedir.

Yaygın olarak kabul edilen ve oluşum mekanizmasına göre sınıflandırılan korozyon türleri aşağıda açıklanmıştır.

1.2.1 Atmosferik korozyon

Homojenik olarak gerçekleşir. Maddenin uğradığı korozyon miktarı tahmin edilebilmektedir. Bu sayede malzemenin ömrü de tayin edilebilmektedir. Atmosferik korozyon; metalin nem, tuz, kir ve sülfürik asit gibi dış etkenlere maruz kalmasıyla meydana gelir. Bu tip korozyon, Şekil 1.1’de gösterildiği gibi özellikle daha sert dış ortamlarda ve deniz ortamlarında meydana gelmektedir.



Şekil 1.1. Atmosferik korozyon

1.2.2 Galvanik korozyon

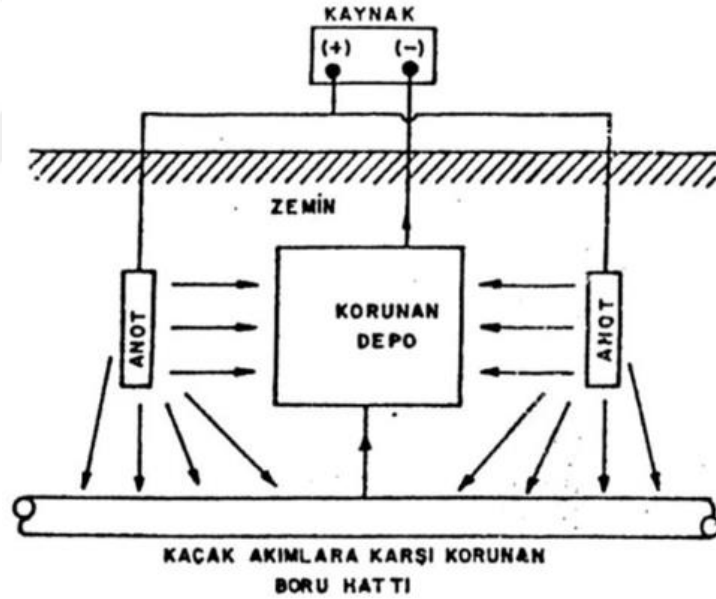
Maddelerin elektrolitik ortam içerisinde temas halinde buldukları ve Şekil 1.2’de gösterildiği gibi iki metalin birlikte maruz kaldığı korozyon tipidir. Metallerin indirgenme veya yükseltgenme potansiyelleri arasındaki fark ne kadar yüksekse korozyon hızı bu ölçüde yüksek olmaktadır. Elektrot potansiyelleri birbirine yakın olan metallerde galvanik eğilim az olmaktadır. Bu eğilim derecesi galvanik seri ile incelenmektedir. Galvanik serinin belirlenmesinde elektrot seviyeleri ve tepkime potansiyeli önemli parametrelerdir, fakat kesin bir öngöründe bulunmak için yeterli değildir (Campbell, 2008).



Şekil 1.2. Galvanik korozyon

1.2.3 Kaçak akım korozyonu

Elektrokimyasal hasara kaçak akımın neden olduğu korozyon tipidir. Şekil 1.3'te verildiği gibi akımın dolaştığı boru hattında meydana gelen kaçaklardan dolayı elektrikle çalışan sistemlerde meydana gelen tahribatlar olarak açıklanabilmektedir.

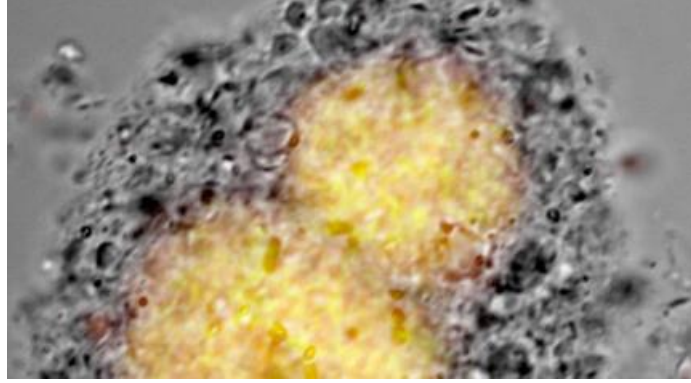


Şekil 1.3. Kaçak akım korozyonu

1.2.4 Biyolojik korozyon

Mikrobiyolojik etkiler sebebiyle meydana gelen bir diğer tanımlı biyokorozyon olan hasar türlerindedir. Tepkimelere sebep olan bakteri, mantar ve mikrop benzeri organizmalardır. Şekil 1.4'te gösterildiği gibi hedefteki maddenin tüm yüzeyine etki eden genel korozyon

tiplerinden biridir. Elektrokimyasal olaylarda bazı istenmeyen veya tepkime hesaplarında ihmal edilmesi gereken iyonlar da buna sebep olabilmektedir (Yavuz ve Yamanoglu, 2021).



Şekil 1.4. Biyolojik korozyon

1.2.5 Yüksek sıcaklık korozyonu

Bazı sistemler yüksek sıcaklıklarda olan gaz ve buhar ile çalışmaktadır. Bu durum Şekil 1.5'te verildiği gibi metalik veya bakır gibi endüstriyel parçalarda oksitlenmeye sebebiyet vermektedir. Kalın ve koruyuculuğu olmayan oksit tabakalarının oluşmasına neden olmaktadır. Konumdaki iklim şartlarına göre oluşan tabakanın kalınlığı değişebilmektedir (Söylev, 2007). Korozyonun neden olduğu tahribat madde yüzeyinin bir kısmında görülmekte ise literatürde lokal korozyon olarak isimlendirilmektedir.



Şekil 1.5. Yüksek sıcaklık korozyonu

1.2.6 Filiform korozyon

Filiform korozyon, Şekil 1.6'da gösterildiği gibi genellikle nemli ortamlarda, belirli metaller üzerinde koruyucu kaplamalar altında gelişen iplik benzeri bir korozyon türüdür. Normal olarak her büyüyen iplik, kararsız bir korozyon ürününün aktif bir kafasından ve kararlı bir korozyon ürününün aktif olmayan bir gövdesinden oluşur. Filiform korozyon genellikle görünüşte gelişigüzel veya düzensiz bir modelde ortaya çıkar. Bununla birlikte, kontrollü koşullar altında geliştiğinde, büyümesi yön, hız ve boyutlar açısından tekdüze ve düzenlidir. İzler birbirini kesmez, tahmin edilebilir bir şekilde yön değiştirir veya birleşir (Wint, 2019).



Şekil 1.6. Filiform korozyon

1.2.7 Çatlak korozyonu

Metal yüzeyindeki bir çatlak veya metallerin birleşim yerlerinin çevresinde oluşan Şekil 1.7'de verilen korozyon tipidir. Montaj noktaları, boşluk kısımlar, çizik veya yarıklar sebebi ile burada tepkimeler gerçekleşecek olup korozyona neden olmaktadır. Çukurcuk ve aralık korozyonunun oluşum şekli ile aynıdır (Topcuoğlu, 2021).



Şekil 1.7. Çatlak korozyonu

1.2.8 Oyuklanma korozyonu

Madde yüzeyinde bölgesel etkisi olan bir diğer türdür. Metal yüzeyinin küçük bir kısmının korozyona uğramış şeklidir. Yüzeyde çukurcuklar oluşturarak farklı derinlik ve hacimlerde hasar meydana getirmektedir. Oluşan oyuklar Şekil 1.8'deki gibi genelde yerçekimi ile şekillenmektedir. Metal yüzeyinde nem oluşturan sıvı damlacıklar veya yoğuşma gibi sulu bir tabaka bulunuyorsa bu tür korozyon hava olan ortamda da etkili olmaktadır. Bu durum genelde ortam etkisiyle veya üretim aşamasında yüzeyi ince film halinde kaplanmış metallerde görülmektedir. (Fontana ve Greene, 1978).



Şekil 1.8. Oyuklanma korozyonu

1.2.9 Taneler arası korozyon

Metal veya etki eden malzemenin en küçük yapıtaşlarına etki ederek mukavemet kaybına ve yapıların zayıflamasına neden olur. Şekil 1.9'da verildiği gibi tane sınırlarını zayıflatarak parçalanmalara da sebep olabilmektedir. Bu tip korozyondan en çok, bakır, çelik ve bunların alaşımları etkilenmektedir (Ahmad, 2006)



Şekil 1.9. Taneler arası korozyon

1.2.10 Erozyonlu korozyon

Akışkan hareketleriyle meydana gelen iletim yolu, metal yüzeyinde mekanik bir aşınma veya hasara neden olduğunda buna mekanik yıpranma adı verilmektedir. Bir metal malzemenin arada bir araç (elektrolit, iletken madde) olmaksızın kimyasal tepkime ile malzemede hasara sebep olmasıdır. Genelde bu korozyon malzemenin gazlar, asitler, bazlar ve tuzlar tarafından hasara uğratılmasına da denebilir (Topcuoğlu, 2021).

1.2.11 Ortamdan kaynaklanan korozyon

Bu korozyon kuru veya sulu ortamda gerçekleşebilmektedir. Atmosferde kuru ortamlarda (toprak, beton) gerçekleşen her tip korozyon genellenebilmektedir. Sulu ortamda ise kararlılık olmadığında gazlarla metallerin kimyasal tepkime meydana getirerek malzemede hasar oluşturmaya denmektedir. Metallerin doğal ortam koşullarında aşınma, çatlama şeklinde hasar görmesidir. Ortam şartlarına göre değişim gösterdiği için, önceden kestirilemeyen tipleri büyük zarara sebebiyet verebilmektedir (Paksoy, 2008).

Korozyon hasarları, kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu malzemelerin özelliklerinin bozulmasına neden olarak meydana gelmektedir (Mathiazhagan, 2010).

Korozyon olayının zaman içerisindeki hızı ve yavaş meydana gelmesi hasar tahminini zorlaştırmakta bazen göz ardı edilen yapıların varlığına sebep olmaktadır. Bu nedenle yapıların, makinelerin, metallerin ve alaşımlarının henüz yapım aşamasında iken ortam şartlarının detaylı bir biçimde incelenmesi önem arz etmektedir. Korozyondan koruma amaçlı tespitlerin, deney ve malzemelerin seçimi konusundaki tasarımları bu durumu önemli ölçüde önleyebilmektedir (Topcuoğlu, 2021).

Tablo 1.1. Korozyon hasar türleri sıklığı

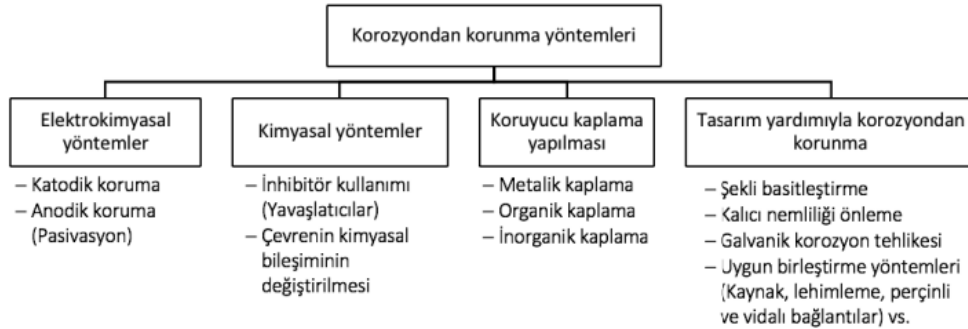
Korozyon Hasar Türü	% Karşılaşma Sıklığı
Atmosferik korozyon	0.3
Filiform korozyon	1.5
Erozyon korozyon	13.1
Yüksek sıcaklık korozyonu	1.3
Galvanik korozyon	15.2
Taneler arası korozyon	5.6
Oyuklanma-Çatlak korozyonu	7.9
Ortamdan kaynaklanan korozyonu	2.5
Kaçak Akım korozyonu	0.8

Korozyon hasar derecelerinin farklılığı ortam parametrelerine göre ve korozyonun oluşum tipine göre değişmektedir. Korozyon tiplerinin oluşum ve görülme sıklığı yukarıdaki tabloda sıralanmıştır. Tabloya göre Galvanik korozyonun diğer tiplere göre oluşum sıklığı oldukça yüksektir (Kapucuoğlu ve Akarçay).

1.3. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyonu önleme amacıyla elektrokimyasal, kimyasal yöntemlere ve yüzeye koruyucu amaçlı olarak yapılan kaplama yöntemlerine başvurulmaktadır. Metallerin türü ve kullanım alanlarına göre Şekil 1.10'daki gibi yöntemlere karar verilmektedir.

Elektrokimyasal korozyon yükseltgenme reaksiyonu sonucu elektron kaybının olduğu taraf anot, indirgenme reaksiyonu sonucu elektron kazancı olan taraf katot, anot ve katodun içinde bulunduğu çözeltinin oluşturduğu iyonik akım ortamı ve bunları iletkenle bağlayan bir akım yoludur. Bu dört unsurdan birinin olmaması durumunda korozyon oluşmaz ve durur. Örneğin; anot metali ortamdaki uzaklaştırmak ya da anot metali inaktif hale getirmek yöntemleri ile korozyon önlenir. Bunun dışında iyonik akım yolunun engellenmesi ya da ortadan kaldırılması ile de korozyon önlenir (Davis, 2000)



Şekil 1.10. Korozyondan korunma yöntemleri

Korozyondan korunma yöntemlerinden sektörlerde en yaygın kullanılan yöntem katodik koruma yöntemidir. Anottan katoda doğru olan elektron yolunun engellenmesi için, dışarıdan redresörle akım verilerek ya da bir kurban anot ile katoda akım vererek koruma gerçekleştirilmektedir (Yalçın ve Koç, 1991).

Elektrokimyasal korunma yöntemlerinden diğeri anodik korumadır. Galvanik seriye göre anot yönünde olan metaller aktif anot akışı göstermektedir. Anodik koruma metale dışarıdan verilen anodik bir akım ile metal yüzeyinde koruyucu bir film tabakası oluşturulması ile sağlanmaktadır. Pasivasyon denilen bu olay metalleri korozyona karşı önemli ölçüde korumaktadır (Uyanık, 2012).

Korozyon oluşumundan kaçınmak için bir diğer yöntem koruyucu amaçlı yapılan kaplamalardır. Kullanılan malzemenin bileşimine göre metalik, organik ve inorganik kaplama yöntemleri tercih edilmektedir. En çok kullanılan kaplama çeşidi galvaniz kaplama, nikel kaplama, krom kaplama ve fosfat kaplamadır.

Parçaların tasarımı aşamasında da alınacak önlemler korozyondan korunma sağlamaktadır. Tasarlanacak parça veya parçaların mümkün olduğunda az birleşim yerlerine sahip olması, mümkün olduğunca nemden uzak tutulması korozyon için alınabilecek tedbirler arasındadır. Tek parça halinde tasarım imkânı olmadığı durumlarda vida, bulon, perçin veya kaynak gibi dar açıklıklardan kaçınmak korozyon oluşumunu engellemeye yardımcı olacaktır (Nazife, Ö. Z. E. R.).

1.3.1 Metal kaplamalar

Metalik yapıdaki ürünlere etki eden korozyonu yavaşlatmak veya engelleyebilmek için bazı önlemler alınmaktadır. En başta amaçlanan metalik parçanın ortam ile etkileşiminin kesilmeye çalışılmasıdır. Bunun en iyi yolu ise metalik parçanın kaplanmasıdır. Metal üzerinde bir film oluşturularak parçanın ortam ile etkileşimi kesilmiş olur. Korunacak metalin şekli, yapısı ve cinsi yanında ortamın şartları da göz önüne alınarak metalik, organik veya inorganik kaplamalardan biri yapılabilir.

Kaplama işlemi korozyon hasarlarına karşı alınabilecek başlıca yöntemlerden biridir. Kaplanacak parça üzerine direnci daha yüksek bir metal (galvanizleme vb.) kullanılmaktadır. Kaplama malzemesi organik veya inorganik ise yine bunların da direnci ana parçadan yüksek olmalıdır. Organik olarak epoksi, vinil, inorganik olarak emaye, beton kaplama gibi yapılar kullanılarak koruma sağlanabilmektedir. Betonarme sistemde temel parçanın korozyonun önlenmesi için inhibitörler, çinko kaplamalar veya ince organik kaplamalar kullanılabilir. Donatı çeliklerinde sıklıkla kullanılan organik kaplamalar kloro akrilik, poliüretan, kauçuk kaplamalardır (Popov, 2015).

Dünya'da ve ülkemizde yıpranmış veya değersiz hale gelmiş bir ürünü kullanılabilir hale getirmek veya ömrünü uzatmak için de farklı kaplama teknikleri kullanılmaktadır. Bu kaplama teknikleri ürün kalitesini arttırmakla birlikte ürünün bozunma süresini uzatacak uygulamalar ile hayatı kolaylaştıran bir geliştirme tekniği haline gelmiştir (Dengiz ve Yıldızlı, 2019).

2023 yılında yapılan bu araştırmada Yimyai, T., vd., korozyona karşı koruma için yüksek performanslı kendi kendini onaran kaplamaların gerçekten hedeflenmiş bir şekilde geliştirilmesi için, akıllı yanıt veren malzemelere ve kendi kendini onarmaya yönelik uygun aktif maddelere odaklanmanın yeterli sonuç vermediği kanısına ulaşmışlardır. Kaplamaların korozyon tarafından indüklenen farklı uyaranlara nasıl tepki gösterebileceğinin, bu uyaranların kaplamada nasıl yayılabileceğinin ve salınan maddelerin korozyon kusuruna nasıl

ulaşabileceğinin daha iyi anlaşılmasının çok önemli olduğunu açıklamışlardır. Çalışmada, korozyondan korunma için kendi kendini onaran kaplamaların hazırlanmasına yönelik malzemelerin tasarlanmasının önemini anlatmaktadır.

1.3.2 Endüstride kaplama

Endüstriyel ve teknolojiye farklı amaçlar için kullanılmakta olan malzemelerin çevresel faktör veya dış etkenlerden korunması konusu önemlidir. Bu sebeple uzun zamandan beri malzeme yüzeylerinin kaplanması konusu üzerinde çalışmalar sürmekte ve geliştirilmeye çalışılmaktadır (Mehmetlioğlu, 2017).

Atmosfer altında kullanılan özellikle endüstriyel üretim ortamlarında geliştirilen ve ortaya çıkarılan parçaların kullanımı ortam şartlarının etkisi ile üründe hızlı bir şekilde korozyon meydana getirmektedir. Hızlı korozyon etkisi farklı renklerde pas oluşmasına ve malzemenin iyi bir şekilde kullanımını engellemektedir. Bu durumu önleyebilmek ve atmosferik korozyonu etkisini azaltabilmek için birçok farklı yöntem geliştirilmiştir. Korozyon önleyebilmek için geliştirilen yöntemlerden birisi de ilgili metal yüzeylerinin kaplanmasıdır (Yudar ve Pat, 2020).

Mekanik özelliklerinin güçlü ve maliyet açısından tasarruflu olması sayesinde endüstride metal yapıları ürünler çok fazla kullanılmaktadır. Malzemelerdeki demir oranı bu noktada önemli olmaktadır. Örneğin, çeliğin içindeki demir oranı arttıkça, yapının korozyon direncini düşürmektedir. Korozyon direnci düşük metaller içinde yine kaplama yoluna gidilmektedir (Eryılmaz ve Gürün, 2021).

Metal sac kaplamaların, atmosferik korozyona karşı gösterdiği yüksek direnç, iyi yapışma sağlaması, düşük maliyet ve işlem kolaylığı gibi özellikleri ile teknolojik ve endüstriyel üretim aşamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Metallerin korunmasında yüksek korozyon direnci ve kullanılan malzemeler ile kaplamaların birbirleriyle uyumlu olmasını sağlamak için metal yüzeyinde değişiklikler yaparak kaplama yöntemi uygulanabilmektedir (Çelik, 2016).

Kaplamalar genellikle çalışma yüzeylerini korozyon ve aşınmadan korumak veya estetik bir görünüm vermek için uygulanmaktadır. Kaplamalar alt tabakayı dış etkilerden koruyan bir bariyer görevi görmektedir. Kaplama yöntemi kadar kullanılan sacların kaliteleri de önemli olmaktadır. Seçilen malzemelere göre uzun ömürlülük ve dayanıklılık elde edilmesi söz konusudur (Eken, Yılmaz ve Tan, 2016).

Kaplamalar alt tabakayı çevresel etkilerden koruyan bariyerler görevi görür ve uzun ömürlü dayanıklılık vaat eder. En kritik arızalar delaminasyon veya diğer yüzey kusurlarından kaynaklanır ve iş parçasının arızalanmasına veya şeklinin bozulmasına neden olur. Bu nedenle, yeni cilaların veya boyaların geliştirilmesi için yapışmanın sağlanması önemlidir (Wu, X., Fu, Q., 2016.).

Kaplamanın koruma derecesini belirlemenin optimal yolu, uygulama için gerekli olan koşullar altında laboratuvar testleri sırasında insanlar tarafından yapılan görsel olarak kontrol edilen aşamalarıdır (Değirmenci, 2006).

Fe-B alaşımlarının korozyon ve aşınma süreçlerini mekanik olarak inceleyen Yılmaz (2022), Fe-B alaşımlarının yapısında oluşan Fe₂B tozları alaşımların mikro yapıları üzerindeki tozlar SEM, EDS, XRD, yoğunluk ve sertlik ölçümlerini de gerçekleştirmiştir. Fe₂B alaşımlarının Fe-B alaşımlarına göre daha sert bir yapıda olduğunu tespit etmiştir. Aşınma testi analizinde Fe-B alaşımlarının kütlece daha fazla Fe içeren (%0,5- %1,5 B eklenmiş) daha az kütle kaybına sahipken korozyonda araştırılan elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) verilerine göre testler; en yüksek korozyon direnci %1,5 B içeren Fe-B alaşımlarında elde edilmiştir. Çalışma sonucunda ilave edilmiş ve en düşük korozyon direnci %0,5 ile Fe-B alaşımlarında elde edilmiştir (Yılmaz, 2022).

Silan karışımlarının farklı metaller üzerindeki korozyon önleyici özelliklerini değerlendirmek için çeşitli performans testleri kullanılan deneyde, test sonuçları tutarlı bir şekilde silan karışımlarının korozyona karşı koruma performansının kromatlarınciyle kıyaslanabilir biçimde olduğunu göstermiştir (Zhu ve Van, 2004).

Tanjung vd. (2021), Belawan liman bölgesinde plakalar ve dirsekler şeklinde düşük karbonlu çelik üzerinde atmosferik korozyon deneyleri yapmışlardır. 12 ay boyunca 5 farklı yerde test örnekleri korozyona maruz bırakılmış ve veri toplama süreci ASTM G-1 ve ASTM G-50 standartlarına uygun bir şekilde takip edilmiştir. Ölçüm sonuçları, konumdan konuma farklılık gösteren korozyon hızları olduğunu vermiştir. Çelik levhanın ortalama korozyon hızı 0,2214 mpy ve çelik dirsek 0,2412 mpy 'lik bir orana denk gelmiştir. Oluşan fark, muhtemelen maruz kalma konumundan yani deniz kenarına olan mesafenin farkından kaynaklandığını düşündürmektedir.

Marchebois, H., vd. (2002), yaptıkları deneyde, karbon siyahı gibi iletken yapı taşlarının, çinko bakımından zengin toz boyalarla kaplanmış metalin korozyon davranışı üzerindeki hareketlerine bakılmıştır. Deney sonucunda iki farklı oluşum gözlenmiştir; karbon ilavesiyle indüklenen gözenekli oluşumların artması ve çinko ile karbon pigmentleri arasında galvanik yapının oluşumu ortaya çıkmıştır. Karbon miktarının yeterli olması durumunda güçlü bir şekilde pürüzsüzleşen toz boya, solvent bazlı çinko bakımından zengin boyalardan daha yüksek performans sergilemiştir (Marchebois, 2002).

Shi Z. vd. (2010) deneysel çalışmaları; Mg alaşımları için, polarizasyon eğrilerinden Tafel ekstrapolasyonu ile değerlendirilen korozyon oranlarının, ağırlık kaybı ve hidrojen oluşumundan değerlendirilen korozyon oranları ile uyuşmadığını göstermiştir. Tipik sapmalar (~%50-90) görülmüştür. Bunlar, ölçüm yöntemlerinin kesinliğinden çok daha büyük bulunmuştur. Mg için Tafel ekstrapolasyonunun dikkatli bir şekilde incelenmesi gerektiğine karar verilmiştir. Mg korozyonunu aydınlatmak için Tafel ekstrapolasyonunu kullanmayı

amaçlayan araştırmalar için, bu ölçümlerin diğer üç basit ölçüm yönteminden en az ikisinin kullanılmasıyla tamamlanması önemle tavsiye edilmektedir. Ağırlık kaybı oranı, hidrojen oluşum oranı ve metal yüzeyden ayrılan Mg^{2+} oranı ölçümlerinin yapılması önerilmiştir (Shi, 2010).

Child, T.F., vd. 1999, metallerin silan işlemlerinin boyama sonrası korozyon performanslarını artırabileceği ilk rapor edilen gözlemlerden biri olmuştur. Ancak çok yakın zamanda, özellikle organofonksiyonel olmayan silanların kullanılması aşamasında, boya kaplama yapılmadan da koruma sağlanabileceği sonucuna ulaşmışlardır (Child, 1999).

Zheng, D., vd. (2021), değiştirilmiş alternatif anot ve katot uçlarında AC-DC-AC yönteminin, akrilik vernik boya kaplamasının koruma performansını geleneksel AC-DC-AC testinden daha güvenilir bir şekilde sonuç verdiğini deneysel olarak ispatlamışlardır. Kaplama sayesinde korozyon hasarı engellenerek, korozyon hızının rasyonel bir şekilde hızlandırılabilceği öngörülmüştür (Zheng, 2021).

Başka bir çalışmada dört düşük toksisiteli boyama düzeneğinin korozyon önleyici davranışı incelenmiştir. Akrilik ve epoksi olmak üzere su bazlı iki boya, epoksi ve polyester olmak üzere de diğer iki boya malzemeler arasındadır. Kaplamalar organik çözücü kullanılarak (epoksi astar/alifatik poliüretan) son kat boyama sistemi ile hazırlanmıştır. Korozyon ve eskime özellikleri karşılaştırılarak bazı sonuçlara ulaşmaya çalışılmıştır. Empedans ölçümleri, test koşulları altında bazı kaplamaların bozulma mekanizmalarındaki farklılıklara işaret etmiştir. Empedans tarafından tespit edilemeyen boyalı numunelerdeki korozyon süreçleri hakkında da bir tartışma da sunulmaktadır (Müller, Förster ve Kläger, 1997).

2023 yılında yapılan bu araştırmada Yimyai, T., vd., korozyona karşı koruma için yüksek performanslı kendi kendini onaran kaplamaların gerçekten hedeflenmiş bir şekilde geliştirilmesi için, akıllı yanıt veren malzemelere ve kendi kendini onarmaya yönelik uygun aktif maddelere odaklanmanın yeterli sonuç vermediği kanısına ulaşmışlardır. Kaplamaların korozyon tarafından indüklenen farklı uyaranlara nasıl tepki gösterebileceğinin, bu uyaranların kaplamada nasıl yayılabileceğinin ve salınan maddelerin korozyon kusuruna nasıl ulaşabileceğinin daha iyi anlaşılmasının çok önemli olduğunu açıklamışlardır. Çalışmada, korozyondan korunma için kendi kendini onaran kaplamaların hazırlanmasına yönelik malzemelerin tasarlanması için korozyon ve sentez perspektiflerinden gereksinimler ve olasılıklar tartışılmaktadır (Yimyai, Crespy ve Rohwerder, 2023).

2023 yılında yapılan başka bir araştırmada korozyona karşı koruma için; MoS_2 /PPy antikoroziif epoksi kaplamalar yapılarak PPy'nin epoksi reçine içindeki dağılımı iyileştirilmiş ve Kompozitlerin yoğunlukları, gövde malzemesinin ultrasonik işlemi ile arttırılmıştır. PPy ile MoS_2 Kompozitin korozyon potansiyelinin yüksek olduğu deneylerde gösterilerek açıklamışlardır. Epoksi kaplamaya göre, kompozit kaplamanın yıllık korozyon oranı %0,8 dolgu MoS_2 PPy göre 0,144 mm/yıl'dan $9,92 \times 10^{-6}$ mm/yıl'a düşürmüşlerdir. Çalışmada,

korozyon koruması için polipirol ile kaplanması pratik bir yöntem olarak sunulmuştur. (Kaplama 2023)

1.3.3 Yüzey kaplamada dikkat edilmesi gerekenler

Deforme olmuş veya yüzey değişikliği nedeniyle kullanımı artık uygun olmayan ürünü kaplamanın amaçları;

- Görünümünü değiştirme sağlama,
- Korozyondan koruma,
- Aşınmasını engelleme,
- Derin çekme esnasında yağlayıcı kullanımını tamamen kaldırma veya azaltma,
- İmalat sonunda boyama aşamasını gerçekleştirerek hazır hale getirme,

Özellikle çok boyutlu şekillere sahip parçalarda şekillendirme sonrası parçanın kaplama işleminin zaman alıcı, karmaşık ve maliyetli olması gibi sorunları ortadan kaldırılması gibi avantajlar amaçlanmaktadır (Özdilli, 2018).

Korozyon olayının zaman içerisindeki hızı ve yavaş meydana gelmesi hasar tahminini zorlaştırmakta bazen göz ardı edilen yapıların varlığına sebep olmaktadır. Bu nedenle yapıların, makinelerin, metallerin ve alaşımlarının henüz yapım aşamasında iken ortam şartlarının detaylı bir biçimde incelenmesi önem arz etmektedir. Korozyondan koruma amaçlı tespitlerin, deney ve malzemelerin seçimi konusundaki tasarımları bu durumu önemli ölçüde önleyebilmektedir.

1.4. Boyalar ve Türleri

Bir madde yüzeyinin belli bir amaca göre renklere bürünmesini sağlayan aynı zamanda sürüldüğü yüzeyi koruyarak yüzeyde tabaka oluşturan kimyasal maddelere boya denir.

Kaplama, tasarım, sanat ve endüstriyel alanlarda farklı amaçlar ile kullanılmaktadır. Boyalarda genel olarak aranan özellikler, kapaticılık, kolay uygulanabilirlik, fiziksel veya kimyasal etkilere karşı dayanımının iyi olması, atmosfer koşulları karşısında dayanıklı olmasıdır (Ceylan, 2010).

Boyaların kimyasında bulunan temel unsurlar aşağıda açıklanmıştır.

Bağlayıcılar: Reaksiyonlar sonucu sıvıdan katı hale dönüşen, boya filmini oluşturan likitlerdir. Boyaya sertlik, parlaklık, direnç, yapışma ve sağlamlık kazandırmaktadırlar.

Pigmentler: Sentetik yollarla veya direkt doğadan saflaştırılarak elde edilebilen, bağlayıcı ve çözücüler içinde çözülmeyen katı halde toz taneciklerdir. Pigmentler boyaya örtücülük kazandırır, renk ve parlaklık verir. Ayrıca boyaların fiziksel ve kimyasal dayanıklılığını da arttırmaktadır. Korozyon önleyici pigmentlere örnek olarak; çinko kromat, çinko fosfat verilebilir. Dolgu olarak, talk, kalsit, barit maddeleri kullanılmaktadır.

Kimyasal Katkılar: Bu kimyasallardan boyaya çok az miktarda katılmaktadır. Katkı maddelerinin kullanılma nedenleri; boyanın özelliklerini iyileştirmek, istenmeyen değişimleri engellemektir. Katkılara örnek olarak; matlaştırıcılar, kurutucular, kaymak veya köpük kesiciler, çökme engelleyiciler, ıslatıcılar ve antibakteriyeller verilebilir.

Çözücüler: Boyada uçucu kısım kimyasalları çözücüler oluşturmaktadır. Boyanın test, uygulama veya imalat aşamasında kullanılan boyanın içeriğinde bir farklılık yaratmadan boyayı inceltebilen sıvılardır. Bunlara örnek; ksilen, aseton, tolüen ve su verilebilir (Kısmet, 2019).

1.4.1 Elektrostatik toz boyalar

Son kat işlemler olarak bilinen bu kaplamalar, temelde, özellikle sulak, nemli veya sıcak ortamlarda metallerin aşınmasını önlemek için kullanılan çözüm formülleridir. Elektrostatik kaplamanın sağladığı korunaklı çevre ve düzenleyici işlemlerin önemi çok yararlıdır. Ayrıca işlem süresi kısa olup alınan verim yüksek olmaktadır. Operasyonun bu noktaları sayesinde elde edilen tasarrufun önemi çok büyüktür. Son 40-60 yıl boyunca, geliştirme ve iyileştirme çalışmaları, korozyona dayanıklı kaplamalar üretme stratejileri, sıcaklık direncini artırma, kaplama katmanının estetik görünümü, yüksek verimliliği hedeflemeyi amaçlamaktadır (Taşkan Ürgün, 2019).

Toz boyalar yaş boyalardan farklı olarak kuru oldukları için kürlenme fırınından çıkma aşamasına kadar boya halinde değillerdir. Plastik bileşimler halindedirler. Fırınlanma sonrası boya özelliği kazanmaktadırlar. Fırınlanma öncesi kullanılan reçineler katı olup yaş boyalara daha farklı ve daha yüksek ısıdaki depolama şartlarında bile katı özellikte kalabilmektedirler. Fakat ısıtıldıklarında eriyip ince film haline gelip düşük viskozitelere ulaşmaktadırlar (Solmaz ve Eren, 2012).

1960'ların sonlarında toz boya üreticilerinin kullanabilecekleri katı reçine sistemleri çok az ve kısıtlı teknolojik şartlara sahipti. Sonuç olarak boya endüstrisinin gelişen ihtiyaçlarını karşılayabilmek bu kısıtlama nedeniyle imkânsız kalabiliyordu. Fakat günümüzde hızla gelişen toz boya teknolojisi sayesinde değişik reçine sistemlerine ve diğer bileşimlere ulaşılması mümkün oldu. Geniş çeşitliliğe sahip toz boyalar, günümüzde mevcut olan solvent ve su bazlı boyaların özelliklerini karşılamakta ve hatta daha ileri teknoloji ile sıvı boyaları geride bırakmaktadır (Akyol, 2021).

En çok kullanım alanına sahip termoplastikler ve termosetler olmak üzere iki çeşit toz boya bulunmaktadır. Günümüzde termoset boyalar dünyada kullanılan toz boya gruplarının %99,99'unu oluşturmaktadır. Toz boyaların çok çeşitli yelpazede olması, seçimi açısından önemlidir. Genellikle boyanacak olan ürünün yapısı da incelenmektedir. Ekipman parametreleri dışında boyanın yapısı, davranışı ve doğası da göz önüne alınmaktadır. Toz boyalardan olan termosetler çapraz bağlanma reaksiyonu sonucunda kürlenme göstermektedir. Reaksiyon sonucu karmaşık yapıda ve düşük moleküler ağırlıklı polimerler meydana gelmektedir. Düşük ağırlıklı olan moleküler yapılar sayesinde daha büyük miktarda dolgu ve pigment kullanılabilir.

Termoset boyalarda pigment (reçine) oranı termoplastik boyalardaki gibi homojen yayılması verimliliğini değil boyanın akma özelliklerini etkiler. Kürlenmiş filmlerin çapraz bağlı haldeki reaksiyon yapısı termoset toz boyaları solventlere karşı dayanıklı olmasını sağlamaktadır. Buna ek olarak kimyasal dayanıklılığını da güçlü hale getirmektedir. Son olarak polimer zincirlerine polar grupları yerleştirme özgürlüğü veya kürlenme reaksiyonu sonucunda oluşan polar gruplardan dolayı yapışmaları iyidir. Termoset boyalar astar gerektirmezler. Termoset boyaların çapraz reaksiyonlarla kürlenme reaksiyonları daha komplekstir. Film tabakası halinde ürüne nüfuz etme reaksiyonlarını anlayabilmek için geniş bilgi ve gözlem gerekmektedir (Boya, O. Y. L. M. Y. T. Bilim ve Teknoloji Dergisi).

Epoksi toz boyalar: Epoksi toz boyalar geniş aralıkta formülasyon özgürlüğüne sahip olmalarından dolayı hâlâ en önemli termoset toz boyalardır. Yüksek parlaklık, güçlü yapışma ve yumuşak yüzey elde edilen boyalardır. Epoksi boyaların direnci yüksektir. Kimyasallara, çözücülere ve atmosfer şartlarına mükemmel direnç gösterirler. Doğru formüle edildiklerinde çekme, çizilme, aşınma ve darbe direnci gibi mekanik özellikleri de güçlüdür (Töremen, 2019).

Polyester toz boyalar: Işık ve ısı dayanımları yüksek olan boyalardır. Ultraviyole ışık ve ısı gibi dış şartlardan minimum düzeyde etkilenirler. Fakat kimyasal dirençleri epoksi tipi boyalara göre daha düşüktür. Polyester reçineler, diasitlerle dialkollerin (glikoller) poliesterifikasyon reaksiyonu ile meydana gelirler. Glikol/asit oranı reaktif terminal grubu tipini belirler. Glikol miktarı artırıldığında hidroksil-terminal uçlu, asit miktarı artırdığında ise karboksil-terminal uçlu polyester reçineler ortaya çıkarılır (Akyol, 2021).

Poliüretan toz boyalar; Poliüretan toz boyalar hidroksi fonksiyonlu polyester reçinelerin izosiyanatlarla kürlenme sonrası meydana gelmektedir. Dış şartlara dayımı yüksektir. Ayrıca kimyasal ve fiziksel özellikleri uygulama yapmaya elverişlidir. Dış cephe çalışmalarında tercih edilmesinin sebebi de budur (Kazel ve Açıköz, 2019).

Poliüretan toz boyaların dezavantajları üretimlerinde izosiyanatların kullanılmasıdır. Birkaç izosiyanat dışında bütün izosiyanatlar yapısındadır. Bu tip boyaların diğer bir dezavantajı kürlenme sırasında gaz çıkışı olmasıdır. Fakat bunu engelleme konusunda da ciddi çalışmalar yapılmaktadır (Taşkan Ürgün, 2019).

1.4.2 Akrilik boyalar

Akrilik bazlı boyalar termoset tozu grubunu oluşturan ve dış dayanımı yüksek olan boyalardır. Sorunsuz uygulama özelliğine sahip toz boyalardır.

Büyük kısmı akrilik kaplama tozu üretilen ile kürlenmiş epoksi yapıdadırlar. Akriliklerin, kürlenme sıcaklığı minimum 171 °C hesaplanan hidroksil poliesterlere benzer fırınlama ısı gerektirmektedir. İnce film görüntü elde etme de mükemmel derecede karakterize edilebilirler. Sıvı akrilik boyalar gibi sertlik ve esneklik konusunda geniş değerlere yayılmadıkları için darbe dayanımı yüksektir (Solmaz ve Eren, 2012).

Akrilik tozlar, endüstriyel parçalarda kullanım için gerekli olan yüksek alkali bir dirence sahiptir. Parçalardan daha dirençli kat oluşturabilen akrilik tozların bu görevi kaplamada önemli avantajlar sağlamaktadır. Akrilik tozlar, çok kontrol edilebilir ince film uygulamaları sağlayan optimal düzeyde elektrostatik yayılma ve püskürtülebilme özellikleri göstermektedir.

1.5. Test Yöntemleri

1.5.1 Kalınlık testi

Kaplamada kalınlığı belirleme testi, performans ve dayanıklılık için üretimde temel bir bileşen haline gelmiştir. Mekanik işlevlerin belirliliği, özel kaplamaları ortaya koyma, dekoratif yüzeyler elde etme ve korozyon korumasını sağlama için gerekli çözümleri içinde barındırmaktadır. Kaplama kalınlığının belirlenmesinde son ürün kullanıcının belirli test, ölçüm ve gözlem şartlarına uyması çok önemlidir.

Bu nedenle, üretim sürecinde hassas ölçümler yapabilen doğru bir kaplama kalınlık ölçüm cihazına ihtiyaç duyulmaktadır. Tipik bir kalınlık ölçer cihaz Şekil 1.11'de verilmiştir. Ürünlerin imalat aşamasından başlayan yönetmeliklerden müşteri şartnamelerine kadar olan uygunluğa kadar süreçte kalınlık testinin önemi büyüktür. Çünkü kalınlık, ürünün ömrünü, performansını ve görünümünü etkileyen husustur (Sönmez, 2004).



Şekil 1.11. Kalınlık testi

Doğru kalınlık ölçümleri kaplamada önemli olan diğer etkenlerdendir. Kalınlıkların hassas bir şekilde belirlenmesi kaplama kalitesi ve yeteneklerini görebilmek açısından önemlidir. Yüksek kaliteli cihazlar, malzemeye zarar vermeden kaplama kalınlığını tespit ve analiz edebilmek için yüksek düzeyde esneklik gösterir. Ayrıca, bu cihazlar Uluslararası Standartlar Organizasyonu (ISO) ile uyumluluğu sağlamaktadır (Aksungur Büyükyekdeli, 2020).

1.5.2 Tuz testi

Sabit nem ve sıcaklık olan ortamda uygulanmaktadır. Tuz testi, kabin içerisinde önceden belirlenmiş süreler dahilinde numunelerin korozyona maruz bırakılmasıdır. Test kapsamında ASTM 117, DIN 50021 vb. standartlar kullanılmaktadır.

Tuz testinde amaçlanan numunelerin agresif iyonların varlığında hangi hız ve miktarda oyuklanma korozyonuna uğradığını belirlemektir. Kabinin içerisinde sürekli olarak atomize olmuş NaCl içeren homojen buhar bulunmaktadır ve içeride ortama bağlı nem düzeyi hep %100'dür. Böylece metal ve kaplama için oldukça değişken ve özelliklerine ters bir ortam sağlanarak korozyon etki ve hızı artırılmıştır (Akyıl, 2010).

1.5.3 Cross-Cut testi

Malzemeye uygulanmış olan kaplamanın Şekil 1.12'de gösterildiği gibi çizilme direncini ölçmeye yönelik yapılan bir testtir. Bu sayede kaplamanın yapışmasının kontrolü amaçlanmaktadır. Cross-cut testi malzemenin özelliğini bozmadan, uygun güvenilirlikte yapışma mukavemeti için en optimal ölçüm yöntemi olarak kabul edilmektedir. Akıllı teknolojik araçlar veya testler, cross-cut testinde olduğu gibi her kusuru tespit edebilme konusunda yeterli olamamaktadırlar. Kusur tespiti ve değerlendirmesi konusunda insan gözü ile yapılan kalite kontrol ile daha iyi sonuçlar alındığı gerçektir (Zhang, 2021).

Cross-cut testine yakın olarak, kaplama katmanlarının ayrılıp bu katmanlardan numune alınarak, alınan parçayı değerlendiren çekme testi de uygulamalar arasındadır. Ancak numune alma işlemi ile testin zorluğunu oldukça artıran ve yüzeylerin sonradan tekrar yapıştırılmasını gerektirdiğinden, cross-cut testi daha yaygın olarak kullanılmaktadır. Sağlam yüzey ve zarar görmüş olan kısımlar arasındaki farklar, tabakalar arası kaplama detayları çok küçük optik sapmalar olması durumunda dahi gözlemlenmelidir. Bu nedenle cross-cut testi teknolojik takibin yanında çıplak gözle izlenmeyi gerektiren testlerden biridir (Eaddy, 2008).



Şekil 1.12. Cross-Cut çapraz kesme testi

1.6. Korozyon Hızı Belirleme Yöntemleri

Korozyon hızı, Tafel ekstrapolasyon yöntemi, alternatif akım empedans ölçme ve kütle kaybı yöntemi ile belirlenmektedir. Ayrıca son dönemlerdeki teknolojik gelişmeler ışığında ortaya çıkmış yapay sinir ağları yöntemi ile de hız ölçüm çalışmaları yapılmıştır. Korozyon doğal olarak gelişen ve önüne geçilmesi çok zor olan bir mekanizmadır. Fakat korozyon hızını yavaşlatmak ve korozyonu kontrol altına almak için geliştirilen yöntemler iyi sonuçlar vermektedir (Ersin, Yaşar ve Karahan, 2021).

1.6.1 Kütle kaybı yöntemi

Bu metotla korozyon hızı, metal korozif ortamda belirli bir süre bekletildikten sonra meydana gelen kütle farkı ölçümleri birbiri ile karşılaştırılmaktadır. Elde edilen sonuçlara birim zamanda birim yüzeydeki kütle kaybı miktarı adı verilmektedir. Korozyon hızının kütle kaybı yöntemiyle belirlenmesi uzun zaman almaktadır, çünkü hassas bir sonuç elde edebilmek için bekleme süresinin oldukça uzun olması ölçümler için şarttır. Elde edilen değer, korozyon hızı anlık korozyon hızının değil, toplam süre boyunca oluşan korozyon hızının ortalama değeridir (Solak, 2022).

Korozyon Hızı = $\Delta m / \Delta t \cdot A$ olarak tanımlanmaktadır.

Burada Δm , kütle kaybını; Δt , zaman aralığını ve A ise yüzey alanını ifade etmektedir.

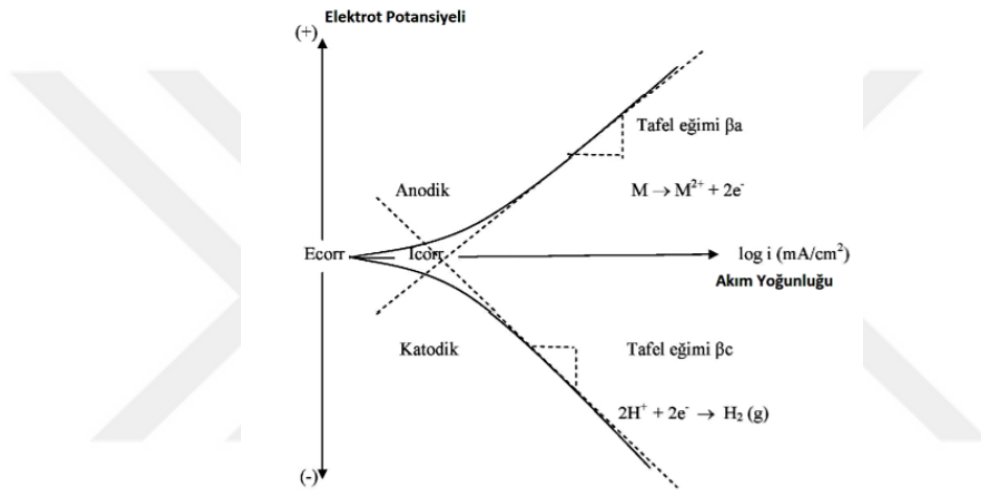
1.6.2 Tafel polarizasyon metodu

Tafel polarizasyon yöntemi, çeşitli korozyon sistemleri için farklı dayanımları tespit edebilen kullanışlı ve en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Hesap yönteminin temeli potansiyel ile korozyon akımını doğrudan ölçebilmeye dayalıdır. Ağırlık kaybı yöntemi ile kıyaslanırsa, tafel polarizasyonu sapmayan, stabil ve güvenilir sonuçlar vermektedir. Ayrıca çok düşük korozyon hızlarını ölçme konusunda hassas bir hesaplama niteliği de taşımaktadır (Amin, 2010).

Yöntem dahilinde elektrokimyasal hücre sistemi kullanılmakta ve test sonucunda anodik ve katodik polarizasyon eğrileri elde edilmektedir. Korozyon testi; referans elektrot, çalışma

elektrodu ve yardımcı elektrot ile potansiyostat sistemine bağlanmaktadır. Test sonrası elde edilmiş olan potansiyel ve logaritmik akım eğrileri, korozyonda olan malzemenin aşınma ve polarizasyonu hakkında detaylı sonuç vermektedir (Töremen, 2019).

Tafel polarizasyon yöntemi için kullanılan çalışma elektrodu, korozyon dayanımı karakterize edilecek malzemedir. Test başlatıldığında referans elektrodu ile çalışma elektrodu arasındaki potansiyel fark gittikçe yükselmekte ya da sürekli olarak anodik yönde artmaktadır. Bunun sonucunda karşı elektrot ile çalışma elektrodu arasında akım değeri belirlenmiş olur. Potansiyostat ile korozyon dayanımı hesaplamaya ilişkin birçok yazılım bulunmakta ve ilgili yazılımların desteği ile aşağıdaki şekilde paylaşılan otomatik olarak korozyon hızı hesaplamak amacıyla eğriler oluşturulup hesaplamalar tamamlanmaktadır (Malcıoğlu, 2022).



Şekil 1.13. Tafel ekstrapolasyon grafiği (ASAN, 1996).

Korozyon akımının bulunduğu bölgede, Şekil 1.13'te gösterildiği gibi aşırı gerilim uygulanması sonucu dış akımın logaritması lineer olarak değişmektedir. Bu bölge deneylerde Tafel bölgesi olarak tanımlanmaktadır. Elektrotlarda korozyonun olduğu bölgede reaksiyonlar yüzeyde aynı ölçüde ilerleme göstermektedir. Yani anodik ve katodik tepkimeler aynı anda gerçekleşmektedir.

Böylece elektrot potansiyeli karma potansiyel değerleri olarak tanımlanan E_{corr} değerine ulaşmaktadır. Korozyon akım yoğunluğu bu potansiyele karşı gelen akım şiddeti olarak tanımlanmaktadır. İndirgenme reaksiyonlarının tek olduğu durumlarda uygulanan bir yöntemdir. Ayrıca anodik ve katodik polarizasyon eğrileri birlikte oluşmadığında sadece birinin korozyon potansiyeli hesaplanarak korozyon akımı ve korozyon hızına ulaşılmaktadır (Ersin, Yaşar ve Karahan, 2021).

1.6.3 Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS)

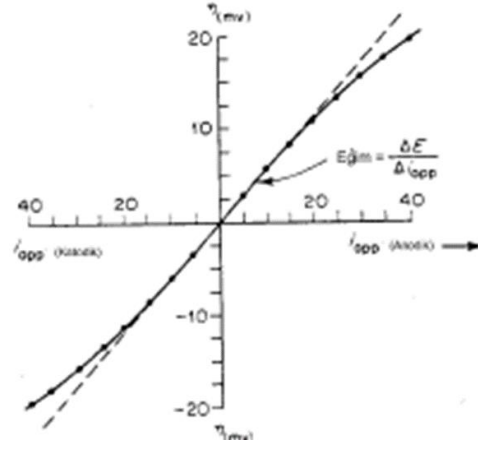
Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), elektrokimyasal korozyon sistemlerinin çalışma kinetiğini saptamak ve metallerin korozyon davranışını modellemek için etkili bir yöntemdir. En önemli avantajları arasında anlık korozyon hızı tespitinin yapılarak, bozunma reaksiyon mekanizmaları hakkında detaylı bilgi elde edilebilmesidir. Bu yöntemin diğer yöntemlerden farkı mikro zaman sabitleri ile bağlantılı olan yüzey işlemlerinde ve hacim araştırmalarında da kullanılabilir olmasıdır. Bu yöntemde salise mertebesinde elde edilen sonuçlar korozyon hızını modellemede çok büyük kolaylık sağlamaktadır. Hassas ölçümler EIS metodunda, uygulanan alternatif akım (AC) voltajını, bir malzemenin tepki akımına oranlayarak yapılmaktadır. Elektriksel tepki, çalışılan malzemenin kimyasal ve fiziksel özelliklerinden dolayı AC voltajının sıklığına göre değişim göstermektedir (Aydoğdu, 2019).

Elektrokimyasal empedans tekniğiyle, çalışma elektrotuna uygulanan düşük dalga genliğindeki voltaj ya da akımın sistem üzerindeki akım ya da voltaj sonuçlarını saptamak için kullanılmaktadır (Akca, 2022). Korozyon direncini belirlemeye yönelik EIS ölçüm yöntemi birçok uygulama için kullanılmakta ve metal malzemelerin pasiflik davranışlarını karakterize ederek korozyon hızına ilişkin bilgi vermektedir. Özellikle katman kaplamaları yapılmış metallerin performans değerlendirmeleri empedans testi ile gerçekleştirilmektedir. Yöntem ile mekanizma devresinde bulunan dirençlerin düzeninin tümü ile korozyona karşı dayanım belirlenmektedir. Ayrıca doğrusal akım tekniği ile ölçüm yerine alternatif akım kullanılarak hassas düzeyde optimal ölçüm sonuçlarına ulaşılabilmektedir. Frekans sinyalleri ayarlanarak değişimler incelenmektedir. Denge konumunda olan elektrokimyasal düzen kullanılması metal arayüzlerindeki değişimlerin net şekilde gözlenmesini sağlamaktadır (Karacif ve Candemir).

1.6.4 Lineer polarizasyon tekniği

Korozyon direnci, metalik nesnelere kullanılmalarını gerektiren tedavilerde veya teknolojik süreçlerde metalik malzemelerin aşınım sürecinde önemlidir. Ne yazık ki, ağırlık kaybı ölçümleri ve diğer geleneksel korozyon testi teknikleri yeterince hassas değildir ve canlılığın devam ettiği ortamlarda uygulanması zordur. Lineer polarizasyon tekniği, metallerin korozyon oranlarını uzaktan ölçmek için kullanılabilir (Colangelo).

Güç kaynağından değişken bir direnç yardımıyla elektrotlar arası önceden belirlenmiş bazı potansiyeller uygulanarak akım değerleri ölçülür. Bu yöntem ile Şekil 1.14'teki gibi potansiyel değişim hızı belirlenir. Potansiyel hızının yavaş olması sonuçların doğruluğu bakımından önemlidir. 0,1-10 mV arasında uygulanması gerekmektedir. Eğriler, dış akım ile gerilim arasında lineer denklem ile değişim göstermektedir.



Şekil 1.14. Lineer polarizasyon eğrileri (ASAN, 1996).

2. BÖLÜM

MATERYAL VE YÖNTEM

2.1. Materyal

Bu bölümde deneysel çalışmalarda kullanılan malzemelerin detayları yer almaktadır.

Bu çalışmada ERDEMİR A.Ş.'den temin edilen çelik sac levhaların kimyasal bileşimleri ve et kalınlıkları aşağıdaki Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1. Sac levhaların kimyasal bileşim analizleri

Kimyasal Bileşim Analizi %	% C	% Mn	% P	% S	% Si	% Al	% Fe	Et Kalınlığı (mm)
Erdemir 6044	0,16	0,82	0,013	0,005	0,043	0,036	98	2,5
Erdemir 6112	0,023	0,175	0,011	0,012	0,008	0,035	99	1,5
Erdemir 3237	0,101	0,375	0,009	0,007	0,026	0,045	99	3
Erdemir 6052	0,152	1,216	0,01	0,001	0,227	0,04	98	4

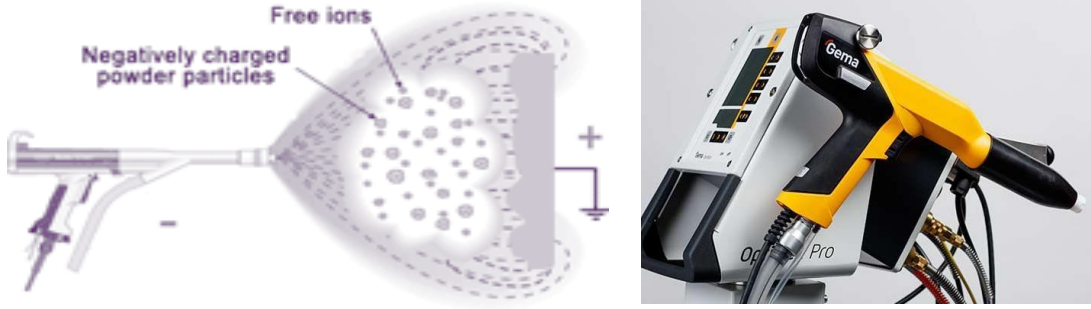
2.2. Yöntem

Tablo 2.1' de verilen farklı bileşim oranlarına sahip metal sacların kaplanması Alapala Makina boyahane tesisinde elektrostatik toz boya ve akrilik boya yöntemi ile gerçekleştirilmiştir.

2.2.1. Kimyasal yüzey işlem

Yüzey işlemin kullanılmasının temel sebebi, yağ veya toz boya kaplamalarının verimliliğini arttırmaktır. Uygun yüzey işlemi, korozyon direnci ve yüzey ile boya arasında iyi yapışma sağlar. Metallerin ön işlemi, sonraki uygulamalardan çok daha önemlidir. Metal yüzeyi yağ, pas veya oksitlerden arındırılmadıkça uzun ömürlü yüksek kaliteli kaplama gerçekleştirmek mümkün değildir. Kimyasal yüzey hazırlama için, asit temizleyicileri ile yağ, cüruf ve toz giderilmelidir.

2.2.2. Elektrostatik toz boyama



Şekil 2.1. Elektrostatik toz boya uygulaması

Elektrostatik toz boya, toz besleme haznesindeki küçük bir akışkan yataktan bir toz-hava karışımı kullanır. Bazı durumlarda, besleme hazneleri, taşıma hatlarına girmeden önce tozların tıkanmasını veya kümelenmesini önlemeye yardımcı olmak için titreşir. Toz, Şekil 2.1'de gösterildiği gibi yüksek voltajlı bir dc gücü ile beslenen nozulda yüklü bir elektrot bulunan püskürtme tabancasına bir hortumla beslenir.

Elektrostatik toz püskürtme tabancaları toz akışını yönlendirir; biriktirme oranını kontrol eder. Toz boyanın yönünü, şeklini ve yoğunluğunu kontrol ederek püskürtülen tozu şarj eder. Püskürtme tabancaları manuel (elde taşınan) veya otomatik, sabit veya pistonlu olabilir ve konveyörlü bir püskürtme kabininin bir veya iki tarafına monte edilebilir. Elektrostatik toz boya operasyonları, aşırı püskürtmeyi geri kazanmak için kolektörler kullanır. Bu geri kazanılmış toz daha sonra tekrar kullanılır ve toz kaplamanın yüksek transfer verimliliğine önemli ölçüde katkıda bulunur. Film kalınlığı toz kimyasına, ön ısıtma sıcaklığına ve bekleme süresine bağlıdır. 37.5- 125 µm film kalınlıkları genellikle soğuk ürünlere uygulanabilir. (Dastoori ve Makin, 2001)

Test plakaları epoksi polyester toz boya ile manuel boyanarak 200 °C fırında kürlenmiştir.

2.2.3. Akrilik boyama

Uygulama sıvı boya ile yapıldığı için Akrilik/Yaş boya ile isimlendirilmiştir. Genel olarak su bazlı, solvent bazlı olmak üzere iki grupta incelenebilir. Bu çalışmada solvent bazlı akrilik boya kullanılmış olup Şekil 2.2'de gösterildiği gibi havalı püskürtme Devilbiss marka boya tabancası ile uygulanmıştır. Boyama işlemi 20-25°C sıcaklıkta ve %40-60 bağıl nem değerlerinde yapılmıştır. Kurutma işlemi ortam sıcaklığında sağlanmıştır.



Şekil 2.2. Akrilik boya uygulaması tabanca ekipmanı

2.3. Uygulanan Testler

24 metal sac numunesine (12 adet toz boya – 12 adet akrilik boya) yüzey temizleme yöntemi uygulanmıştır. Yüzey temizleme işleminden sonra; aynı durumdaki toz boya ve akrilik boya kaplama Şekil 2.3'te gösterildiği gibi tüm numunelere uygulanmıştır. Yüzey hazırlığı ve boyama işlemi yapıldıktan sonra tüm metal plakalara aşağıdaki testler uygulanmıştır.



Şekil 2.3. Toz ve akrilik boya sonrası metal numune plakası

2.3.1. Boya kalınlığı ölçümü

Boya kalınlıklarının ölçüm testleri EN ISO 2360 standardına uygun olarak Şekil 2.4'te gösterilen "Dijital Kaplama Kalınlığı Ölçer SaluTron ComBi-D3 Ekipmanı" ile gerçekleştirilmiştir.



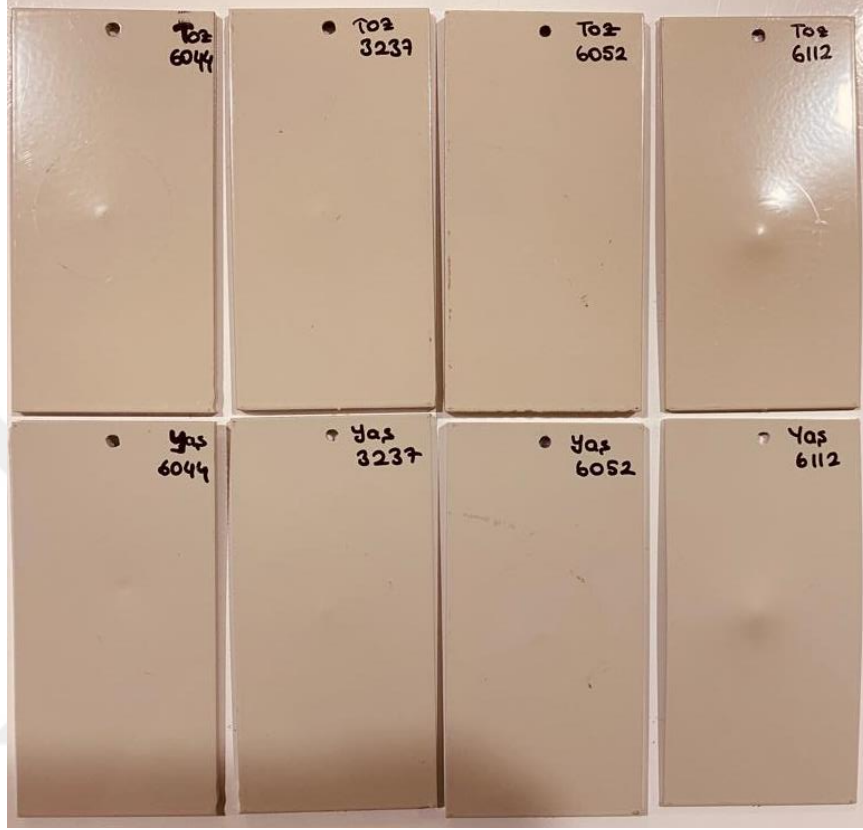
Şekil 2.6. ZEHNTNER ZIT 2440 boya darbe testi ölçümü

Dikey olarak monte edilmiş, çelik bir bilyeyi (genellikle 1 lb ağırlığında) barındıran bir tübüler kanalından oluşur. Dik kanalın altında, paneli tutmak için bir taban veya fikstür, fikstürde bilye ile yaklaşık olarak aynı çapta bir delik veya çöküntü bulunur. Kanalların test yüksekliği 50 cm ila 100 cm'dir. Testte, panel fikstüre yerleştirilir ve top değişen yüksekliklere yükseltilir ve metalde yuvarlak bir göçük oluşturarak boyalı yüzeye düşürülür. Şekil 2.7'de gösterildiği gibi boya bu şekilde vurulduğundan ve gerildiğinde, darbe noktasında panelin karşı tarafındaki boyada kırıklar, yıldızlar veya çatlaklar aranır. Testin sonucu 'inç-pound' darbe ile ifade edilir. Sonuçların değerlendirilmesinde zorluğa neden olan değişkenlerden biri metalin kalınlığıdır. Açıkçası, metal ne kadar kalın olursa, metal üzerinde etkilenen bir göçük o kadar az olur ve bu nedenle boyanın çatlama olasılığı o kadar az gerilir ve bu nedenle daha az gerilir.



Şekil 2.7. Boya darbe testi deneyi

Yüzey temizleme işlemi sonrası toz boya ve akrilik boya uygulanan numune plakalarının darbe testinin mekanik dayanıklılığı 100 cm için uygun olmalıdır. Çarpma noktasında panelin karşı tarafındaki boyada Şekil 2.8’de gösterildiği gibi kırıklar, yıldızlar veya çatlaklar olduğuna dair herhangi bir belirti olmayacaktır.



Şekil 2.8. Darbe testi değerlendirme için kabul edilebilir numune örnekleri

2.3.3. Cross-Cut yapışma testi

Cross-Cut yapışma testleri, ISO 2409 standartlarına uygun olarak Şekil 2.9’da gösterildiği gibi "TQC Yapışma Testi Ölçümü" ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.9. TQC yapışma testi ölçümü






Çapraz kesme test cihazı, tek elle sapından tutularak plakalara birbirine dik açıyla 2 seri paralel çizik ile 25 kareden oluşan bir desen oluşturuldu. Gerekli kesimler yapıldıktan sonra film yumuşak bir fırça ile hafifçe fırçalandı. Son olarak bant yapıştırılarak boya kalkma miktarı gözlemlendi. Test prosedürü Tablo 2.2'deki resimlerle açıklanmıştır.

Tablo 2.2. Cross-Cut yapışma testi cihazı kullanım açıklaması

	<p>Numunelere birbirine dik açıyla çizilen 2 seri paralel çizikle 25 kareden oluşan bir desen oluşturuldu.</p>
	<p>Gerekli kesimler yapıldıktan sonra film yumuşak bir fırçayla hafifçe fırçalandı.</p>
	<p>Bant üzerindeki bir karenin çizimine sıkıca yapıştırılmış olan bant, 60 derecelik bir açıyla çekildi.</p>

Ölçümün değerlendirilmesi Tablo 2.2 ve Tablo 2.3 ile karşılaştırılarak çıplak gözle görsel olarak yapıldı. Yontulan sayılara göre kareler ve görünüm karakteristik bir değer, "çapraz kesim karakteristik değer" olarak atandı.

Tablo 2.3. Yapışma testinin değerlendirilmesi

Description	Surface	Grading ISO	Grading ASTM
The edges of the cuts are completely smooth, none of the squares of the lattice is detached		GT 0	5B
At the intersections of the grid lines small fragments of the painting chipped off, chipped off surface about 5% of the sections.		GT 1	4B
The painting chipped off along the edges of cut and/or at the intersections of the grid lines; chipped off surface about 15% of the sections		GT 2	3B
The painting chipped off along the edges of cut partly or in broad strips and/or the painting from individual sections totally or partly chipped off completely; chipped off surface about 35% of the sections.		GT 3	2B
The painting chipped off along the edges of cut in broad strips and/or of individual sections totally or partly; chipped off surface about 65% of the sections.		GT 4	1B
Each degree of flaking that cannot even be classified by classification 4.		GT 5	0B

2.3.4. Tuz püskürtme korozyon testi

Tuz püskürtme korozyon testleri, HİTİT ÜNİVERSİTESİ AR-GE Laboratuvarı'nda ASTM B 117, TS EN ISO 9227, standartlarına uygun olarak Şekil 2.10 'da gösterildiği gibi "ONALKON Tuz Püskürtmeli Korozyon Testi" ile gerçekleştirilmiştir.



Şekil 2.10. Onalkon tuz püskürtme test cihazı

Tuz püskürtme testi prosedürü, test edilen numunelerin üzerine bir tuz çözeltisinin püskürtülmesini içerir. Bu, sıcaklık kontrollü bir odanın içinde yapılır. Çözelti %5'lik NaCl çözeltisidir. Test edilen numuneler kabine yerleştirilir, daha sonra tuz içeren çözelti,

numunelerin üzerine çok ince bir sis olarak püskürtülür. Oda içindeki sıcaklık sabit bir değerde tutulur. Sprey devamlı olduğundan, numuneler sürekli ıslaktır ve bu nedenle sürekli korozyona maruz kalır. Tuz Püskürtme (Sis) aparatını çalıştırmak için standart uygulama ve test prosedürü Tablo 2.4' deki fotoğraflarla açıklanmıştır.

Tablo 2.4. Tuz püskürtme test adımları

	<p>Boya ile kaplaması gerçekleşen numune plakalar çapraz çizik atılarak, testten önce altta yatan metali açığa çıkaracak şekilde keskin bir aletle kaplama çizilir.</p>
	<p>Numuneler, dikeyden 15 ila 30° arasında desteklenir veya asılmalı ve tercihen baskın yüzeye bağlı olarak, odadan sis akışının ana yönüne paralel olarak desteklenmeli veya askıya alınır.</p>
	<p>Bir rezervuardan püskürtme nozullarına pompalanan %5 NaCl (litre başına 100, 500 g tuz) saf su, pH iç sıvı koleksiyonu 6.5-7.2'dir. Kabinde Ölçülen Kabin Sıcaklıkları 35°C dir. Süre 1000 Saat.</p>

Korozyon derecesi, TS EN ISO 4628-8'e göre Şekil 3.1 'de verilen resimsel örneklerle karşılaştırılarak belirlenir.

2.3.5. Tafel polarizasyon metodu

2.3.5.1. Kullanılan Kimyasallar

0,1M NaCl çözeltisi,

%99 saflıkta Merck Piyol,

%99 saflıkta $C_2H_2O_4$ (Oksalik asit)

2.3.5.2. Kullanılan Materyaller

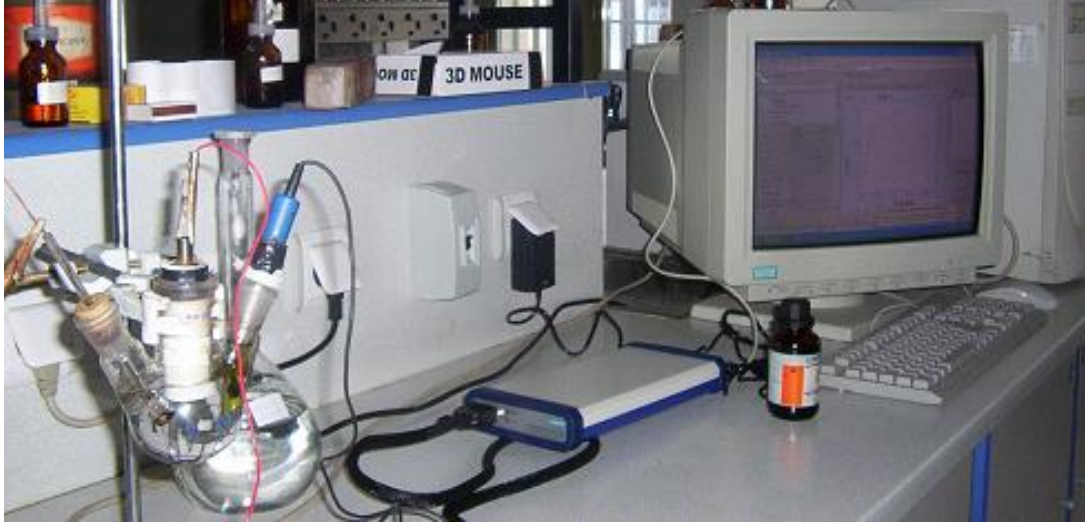
Çalışma elektrodu; 45x10 mm boyutlarında kesilerek hazırlanmıştır. Bunların kimyasal bileşimi ve et kalınlıkları Şekil 2.1'de verilmiştir.

Referans Elektrot; Elektrot potansiyellerini deneysel olarak doğrudan ölçmek mümkün olmaz. Bu ancak yardımcı bir elektrot kullanılarak ve bu iki elektrot arasındaki potansiyel farkın ölçülmesi ile belirlenebilir. Referans elektrot potansiyeli sabit bir değerdir ve bellidir. Bu çalışmada çalışma elektrotun potansiyelini ölçmek için referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot (DKE) kullanılmıştır.

Karşı Elektrot; Çalışma elektrottan geçen akımı ölçmek için karşı elektrot olarak 8 mm çapında silindirik grafit çubuk kullanıldı.

2.3.5.3. Kullanılan Cihaz

Polarizasyon eğrilerinin elde edilmesinde kullanılan, cihaz ve korozyon hücresinden oluşan sistemin fotoğrafı aşağıda verilmiştir.



Şekil 2.11. Deney düzeneğinin genel görünüşü

Yapılan çalışmadaki elektrokimyasal ölçümler, Şekil 2.11’de verildiği gibi bilgisayar kontrollü İvium Soft Technologies De Regent 5611 HW Eindhoven yazılıma sahip Potansiyostat/Galvanostat cihazı kullanılarak yapıldı. Kullanılan elektroda ön işlem uygulandıktan sonra elektrot, içerisinde çalışma ortamı bulunan hücre içerisine daldırılarak, korozyon potansiyelinin dengeye gelmesi için 5 dakika beklendi. Yapılan tüm ölçümler için her bir ortama uygun akım ve potansiyel aralıkları daha önce yapılan bilimsel araştırmalardan öngörülerek belirlendi.

2.3.5.4. Korozyon Hücresi

Çalışma hücresi olarak, Şekil 2.12’de verilen üç boyunlu, 50 ml hacimli Pyrex hücre kullanıldı. Orta boyuna çalışma elektrotu, diğer boyunlara referans elektrot ve karşı elektrot yerleştirildi. Hücreyi sabitlemek için de bir hücre standı kullanıldı.



Şekil 2.12. Korozyon hücresi

2.3.5.5. Çalışma Elektrotlarının Hazırlanması

Poliester reçine kalıp içerisine 9-10 cm yüksekliğinde olacak şekilde konuldu ve Şekil 2.13'te gösterildiği gibi içerisine sertleşmesini sağlamak için sertleştirici ve bu işlemi hızlandırmak için de hızlandırıcı ilave edildi. 1 cm² yüzey alanı dışındaki sac levha, reçine içerisine daldırılırdı. Daldırma reçinenin tam ortasına gelecek şekilde yapıldı. Sertleşmenin gerçekleşmesi için bir gün beklenildi.



Şekil 2.13. Çalışma elektrodu

2.3.5.6. Deneysel Metot

45x10 mm ebadındaki kimyasal bileşimi birbirinden farklı 4 farklı sac levha, ayrı ayrı toz boya ve akrilik boya ile kaplanarak kaplama türünün etkisi araştırılmıştır. Ayrıca kaplamaların korozyona karşı dayanımını artırmak amacıyla kaplamaların altına polipirol astar kaplama yapılmıştır. Kaplamasız, toz kaplamalı, akrilik kaplamalı ve polipirol astar kaplamalı toz ve akrilik kaplamalı tüm numunelerin 0,1 M NaCl çözeltisinde dönüşümlü voltammogramları ile Tafel polarizasyon eğrileri elde edildi.

Korozyon hücresi olarak üç ağızlı balon kullanılmıştır. Her deneyden önce çalışma elektrotu yüzeyi 1200 zımpara kâğıdı ile zımparalandıktan sonra yağ ve kirden arındırmak için saf su ve etil alkolden geçirildi. Karşı elektrot olarak 8 mm çapında silindirik grafit kullanılmıştır. Referans elektrot olarak da doygun kalomel elektrot (DKE) kullanılmıştır. Numunelerin

elektrokimyasal davranışını belirlemek için Dönüşümlü voltammogramlar -1,5 V ile 0,2 V arasında 200mV/s tarama hızı ile elde edilmiştir. Korozyon hızını belirlemek için ise -1,7 V ile -0,2 V aralığında 2 mV/s tarama hızı ile gerçekleştirilmiştir. Polipirol astar kaplama elektrokimyasal olarak yüzeyde oluşturulmuştur. Polipirol kaplama 0,2 V ile 0,6 V arasında 100 mV/s tarama hızı ile 20 tarama yapılarak gerçekleştirilmiştir.



3. BÖLÜM

ANALİZ VE BULGULAR

3.1. Boya Kalınlığı, Darbe Dayanımı ve Çapraz Kesme-Yapışma Testi Analizi

Toz ve akrilik kaplamalı metal plaka numunelerinin kalınlıkları on farklı noktadan ölçülmüştür. Elde edilen değerler Tablo 3.1’de verilmiştir.

Tablo 3.1. Numune plakalarının boya kalınlığı

TOZ BOYA	Test Numunesi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama (µm)
	6044	61	62	64	64	62	66	65	61	62	64	63,1
	6052	75	69	74	63	71	66	75	71	72	68	70,4
	6112	78	80	79	63	72	67	70	64	73	70	71,6
	3237	54	54	53	53	51	50	52	58	50	57	53,2

AKRİLİK BOYA	Test Numunesi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Ortalama(µm)
	6044	50	46	38	52	53	48	41	40	46	44	45,8
	6052	47	45	46	44	43	47	44	46	41	42	44,5
	6112	36	41	43	41	46	49	47	46	44	48	44,1
	3237	43	45	48	46	49	42	47	45	47	44	45,6

Akrilik boya kaplama için kabul edilebilir kalınlık olan 40-60 µm aralığı tüm sac levhalar için uygun olarak kaplanmıştır. Kalınlıklar oldukça üniform olarak yaklaşık 44-46 µm aralığında oluşturulmuştur. Ortalama kaplama kalınlıkları 6044, 6052, 6112 ve 3237 sac levhalar için sırasıyla 45.8, 44.5, 44.1 ve 45.6 µm olarak ölçülmüştür.

Sac levhalar, toz boya kaplama için kabul edilebilir kalınlık olan 50-70 µm aralığında kaplanmıştır. Ortalama kaplama kalınlıkları 6044, 6052, 6112 ve 3237 sac levhalar için sırasıyla 63,1, 70,4, 71,6 ve 53,2 µm olarak ölçülmüştür.

100 cm yükseklikten yapılan darbe deneyi ve cross-cut yapışma testlerinin toplu sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir.

Boya ve kaplama endüstrilerinde, boya veya kaplamanın uygulandıkları alt tabakalara uygun şekilde yapışmasını sağlamak gerekir. Yapıştırıcıyı bir varlığa veya yüzeye yapıştırmanın temel kavramları çok sayıda mekanik, fiziksel ve kimyasal yapışma kuvveti üretir. Tüm bu kuvvetler üst üste binme ve birbirlerini manipüle etme eğilimindedir. İşlem, yapışma derecesini görmek için ürün kullanımından önce gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2. Toz ve akrilik kaplamalı numunelerin kalınlığı, darbe dayanımı ve cross-cut yapışma test sonuçları

Kaplama Türü	Sac Levha	Plaka Boya Kalınlığı (mm)			Darbe Testi	Cross-Cut Testi
		En Az	En Çok	ORT	100 CM	Tablo 2.3
Kaplamasız	6052	0	0	0	-	-
	6044	0	0	0	-	-
	6112	0	0	0	-	-
	3237	0	0	0	-	-
Akrilik Kaplama	6052	41	47	44,5	Tamam	GT 2 Serisi
	6044	38	53	45,8	Tamam	GT 2 Serisi
	6112	36	49	44,1	Tamam	GT 2 Serisi
	3237	42	49	45,6	Tamam	GT 2 Serisi
Toz Kaplama	6052	63	75	70,4	Tamam	GT 1 Serisi
	6044	61	66	63,1	Tamam	GT 1 Serisi
	6112	63	80	71,6	Tamam	GT 1 Serisi
	3237	50	58	53,2	Tamam	GT 1 Serisi

Polipirol astar kaplamalı Toz ve Akrilik boya kaplamaların en az, en çok ve ortalama kalınlıkları Tablo 3.3'te toplu olarak verilmiştir.

Polipirol astar kaplamalı toz boyaların ortalama kalınlıkları 6044, 6052, 6112 ve 3237 sac levhalar için sırasıyla 70,4, 63,1, 71,6 ve 53,2 µm olarak ölçülmüştür.

Polipirol astar kaplamalı akrilik boyaların ortalama kalınlıkları 6044, 6052, 6112 ve 3237 sac levhalar için ise sırasıyla 44,5, 45,8, 44,1 ve 45,6 µm olarak belirlenmiştir.

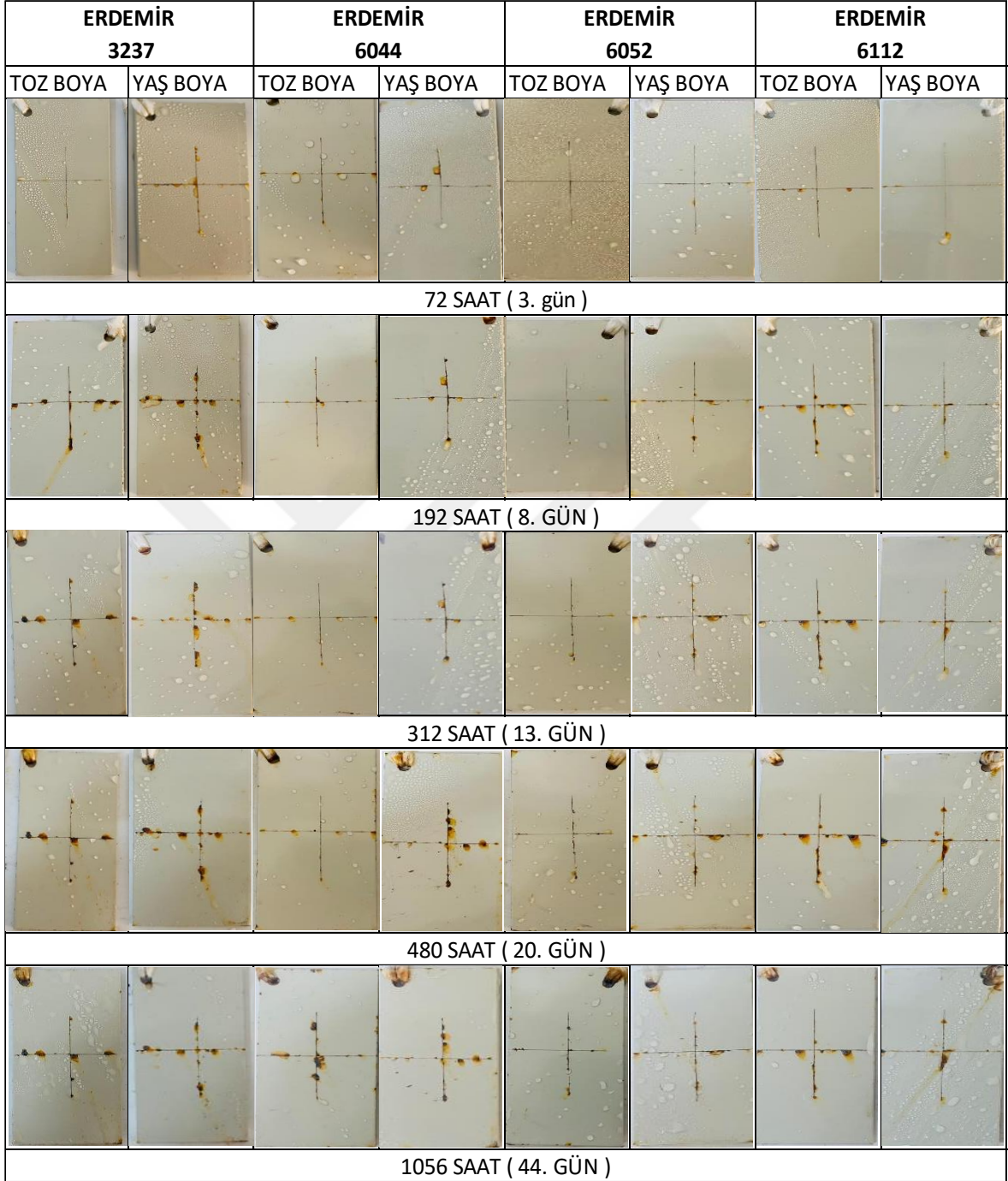
Tablo 3.3. Polipirol astar kaplamalı toz ve akrilik boya kaplamaların kalınlıkları

	Numune	En Az(μm)	En Çok(μm)	Ortalama(μm)
Ppy+Akrilik Kaplama	6052	41	47	44,5
	6044	38	53	45,8
	6112	36	49	44,1
	3237	42	49	45,6
Ppy+Toz Kaplama	6052	63	75	70,4
	6044	61	66	63,1
	6112	63	80	71,6
	3237	50	58	53,2

Toz ve Akrilik boya kaplamaların darbe dayanım sonuçları Tablo 3.2'de verilmiştir. 100 cm yükseklikten atılan bilyanın toz boya ve akrilik boya kaplamalı test numunelerinde herhangi bir olumsuz etkisi gözlenmemiştir. Numunelerde çatlama, kırılma veya boya kalkması gerçekleşmemiştir.

ISO-2409 (ASTM 3359) standardına göre kaplamaların Cross-Cut sonuçları değerlendirildiğinde, akrilik kaplama test numunelerinde kesim kenarları boyunca ve ızgara çizgilerinin kesişme noktalarında bant üzerinde yaklaşık % 5'in üzerinde ve %15'in altında bir boya kalkması sonucu elde edilmiştir. Bu durum standartta GT2 derecesi kapsamında değerlendirilmiştir. Toz kaplama numunelerinde ise kesim kenarları boyunca ve ızgara çizgilerinin kesişme noktalarında bant üzerinde küçük parçalar şeklinde boya kalkmaları yaklaşık % 5'in altında olup bir boya kalkması tespit edilmemiştir. Bu durum ISO-2409 (ASTM 3359) derecelendirmesinde GT1 derecesi olarak değerlendirilmiştir. Dolayısıyla akrilik kaplama cross-cut test sonucunda yapışma özelliği kabul edilebilir değerler içerisinde olmakla beraber toz kaplama test numunelerinde yapışma özelliği daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

3.2. Tuz Püskürtme Testi Analizi



Şekil 3.1. Tuz püskürtme testi sonrası örnek fotoğrafların genel görünümü

Toz ve akrilik boya kaplı numuneler, tuz püskürtme kabini içinde, 3, 8, 13, 20 ve 44 gün bekletildikten sonra, yüzeyde oluşan korozyon ürünleri ile çekilen fotoğrafları Şekil 3.1 'de

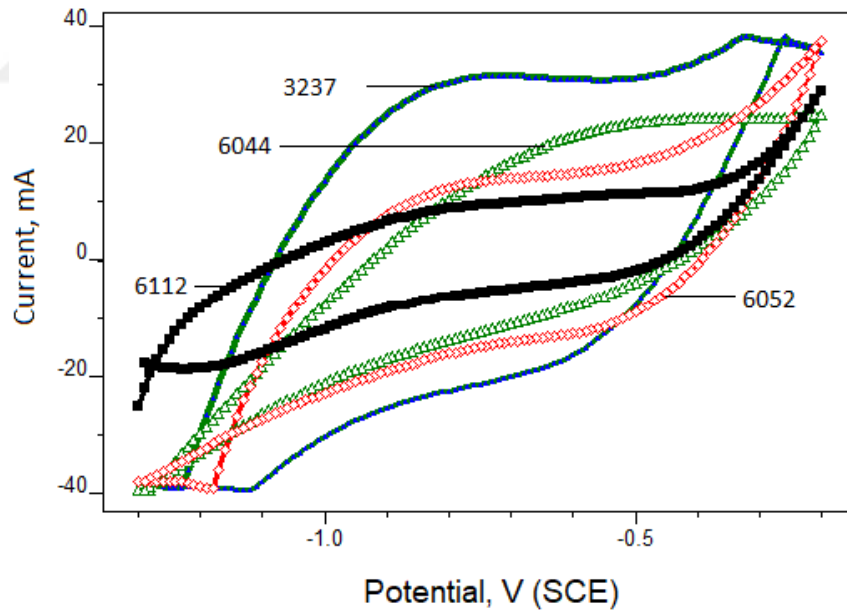
toplu olarak verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi korozyon ürünleri süre ile artmakla birlikte bir lineerlik göstermemektedir.

Erdemir 3237 ile Erdemir 6044 sac levhalar için yapılan toz ve akrilik kaplamalar arasında önemli bir fark görülmezken, Erdemir 6052 ve Erdemir 6112 sac levhalarda özellikle 8. Günün sonunda belirgin bir şekilde akrilik boyanın üstünlüğü ortaya çıkmaktadır. 44. Günün sonunda korozyona karşı en dayanımlı numune akrilik boya kaplı Erdemir 6052 olmuştur. Yüzeide en az korozyon ürünü bu numunede gözlenmektedir.

3.3. Elektrokimyasal Yöntemlerle Analiz

Sac levhaların kaplamadan önce ve kaplamadan sonra dönüşümlü Voltammogramları alınarak numunelerin elektrokimyasal davranışları belirlenmiştir. Numunelerin korozyon hızı ise en güncel yöntem olan Tafel Polarizasyon yöntemi kullanılarak belirlenmiştir. Elektrokimyasal olarak polipirol kaplaması potansiyodinamik yöntemle elde edilmiştir.

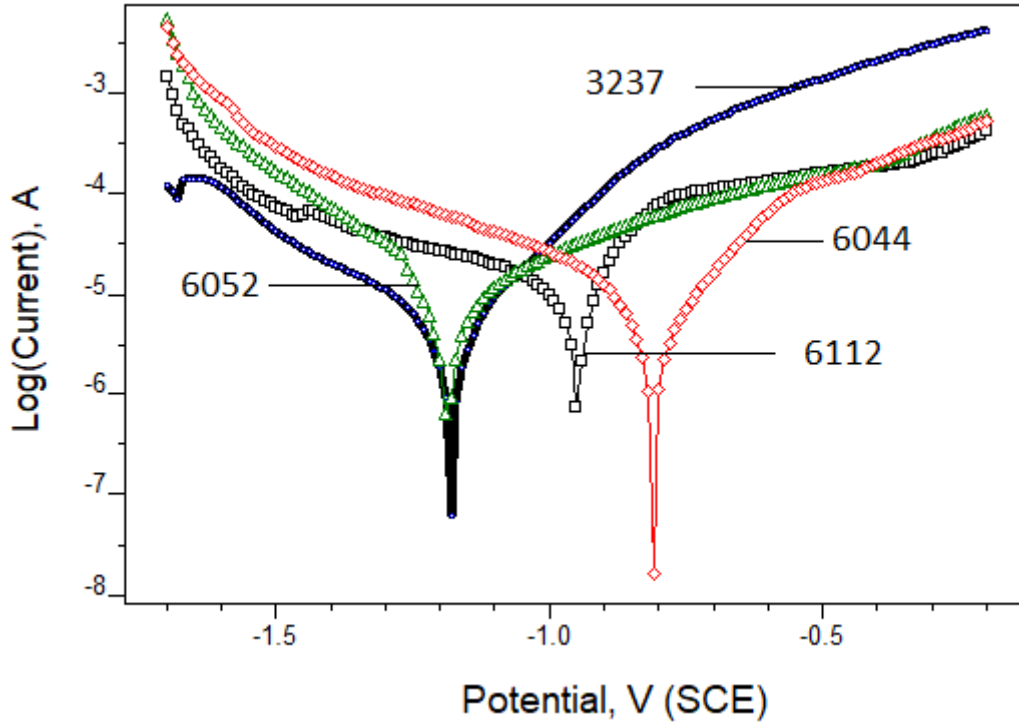
Dört farklı sac numunenin kaplamadan önce ve kaplamalardan sonraki 0,1 M NaCl çözeltisindeki elektrokimyasal davranışını belirlemek için Dönüşümlü Voltametri yöntemi ile numunelerin voltammogramları alınmıştır.



Şekil 3.2. Kaplamasız sac levhaların 0,1 M NaCl çözeltisindeki voltammogramları

Şekil 3.2'de tüm sac levhalarda belirgin bir pasiflik bölgesi görülmediği anlaşılmaktadır. En yüksek anodik ve katodik akım Erdemir 3237 levhada gözlemlenirken, en düşük anodik ve katodik akım Erdemir 6112 sac levhada görülmektedir.

Şekil 3.3'te kaplamasız sac levhaların 0,1 M NaCl ortamında elde edilen Tafel Polarizasyon eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.3. 0,1 M NaCl çözeltisinde kaplamasız sac levhaların toplu Tafel Polarizasyon Eğrileri

Şekil 3.3. anodik akımın en yüksek Erdemir 3237 sac levhada, en pozitif korozyon potansiyelin ise Erdemir 6044 sac levhada olduğunu göstermektedir.

Bu eğrilerin katodik ve anodik dalların kesiştirilmesi ile elde edilen korozyon potansiyeli (Ecor), polarizasyon direnci (Rp), β_a , β_c ve korozyon hızı gibi korozyon parametreleri sonuçları Tablo 3.4'te verilmiştir.

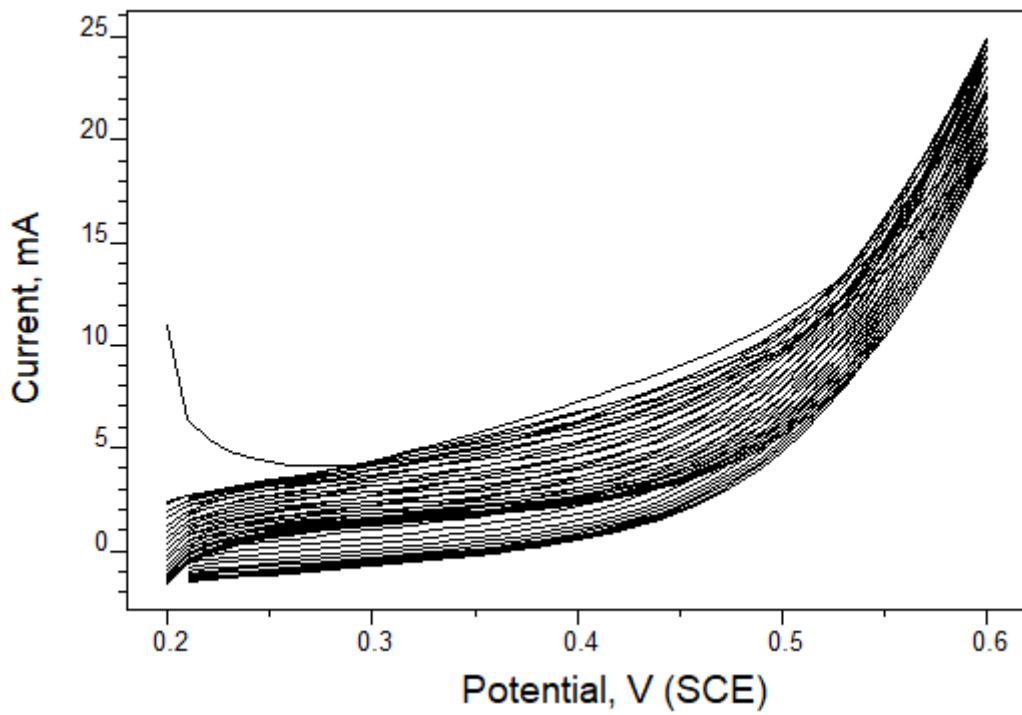
Tablo 3.4. Sac levhaların 0,1 M NaCl çözeltisinde elde edilen korozyon parametreleri

Numune	Ecor, V	Rp, ohm	β_a , V/dec	β_c , V/dec	Korozyon Hızı (mm/yıl)
Erdemir 3237	-1,22	5057	1,046	0,509	0,3417
Erdemir 6044	-0,84	7234	0,364	0,511	0,1464
Erdemir 6052	-1,19	6320	0,609	0,269	0,1487
Erdemir 6112	-0,98	6154	0,242	0,678	0,1462

Tablo 3.3'te görüldüğü gibi korozyon hızı ölçümlerinde Erdemir 3237 sac levhanın korozyon hızı diğerlerine göre yaklaşık 2 katından fazla olurken diğer sac levhaların korozyon hızı birbirine çok yakın çıkmıştır. Erdemir 3237 sac levhanın korozyon potansiyeli de en düşük

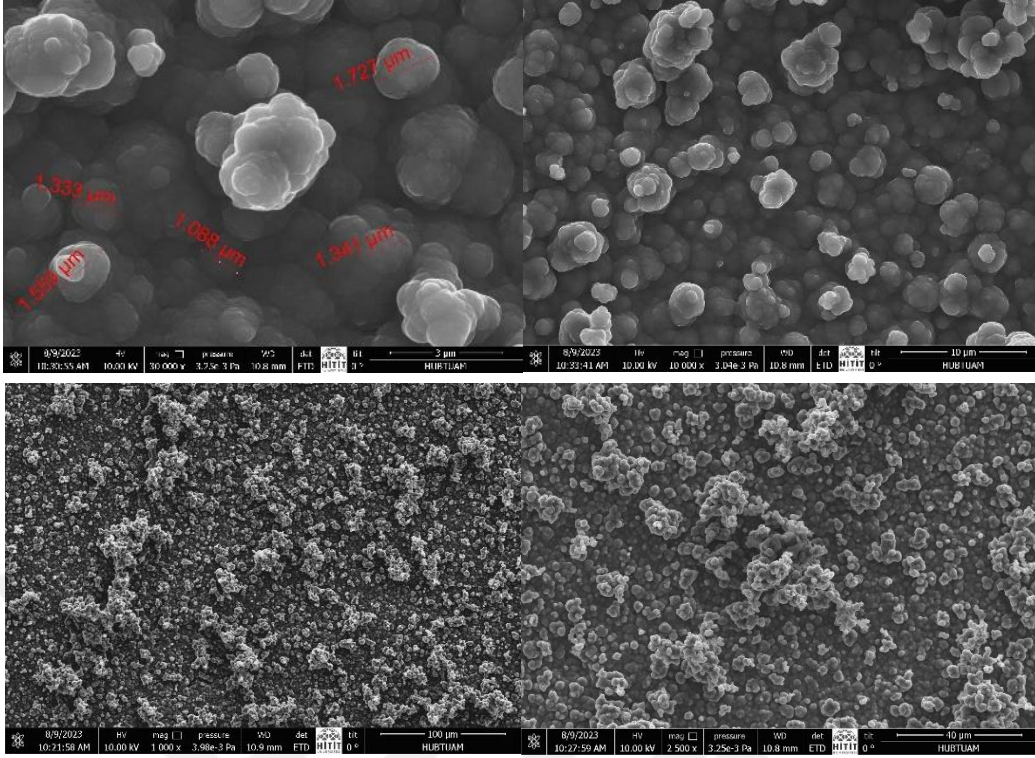
tespit edilirken korozyon direnci de en küçük bulunmuştur. Bu, korozyon hızının yüksek olmasını destekleyen bir durumdur.

Sac levhaların yüzeylerinde polipirol kaplama 0,1 M okzalik asit çözeltisinde elektrokimyasal yolla yapılmıştır. Kaplamalar potansiyodinamik olarak 0,2 V ile 0,6 V arasında 20 döngü yapılarak gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.4'te Erdemir 6052 sac levha üzerinde oluşturulan polipirol kaplamanın eğrileri örnek olarak görülmektedir. Pirolün yükseltgenme potansiyeli olan 0,6 V da yaklaşık olarak 20-25 mA akım geçtiği görülmektedir. Her döngüde geri yönde daha az akım geçerek kaplamayı gerçekleştirdiği anlaşılmaktadır.



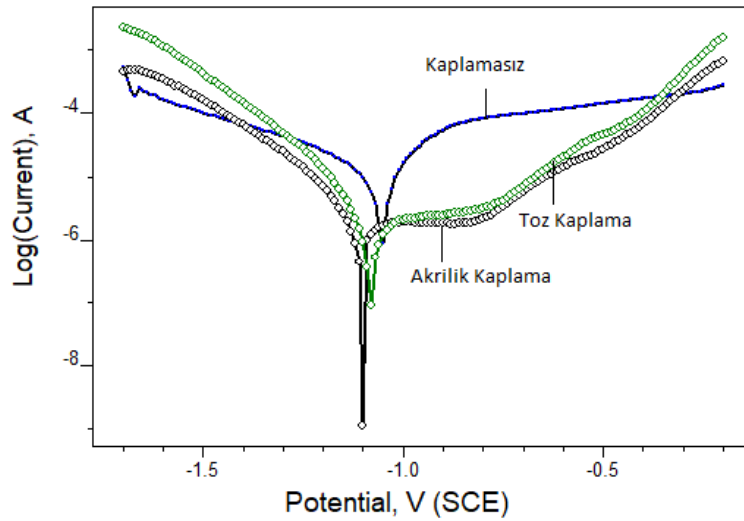
Şekil 3.4. Erdemir 6052 levha üzerinde oluşturulan polipirol tabaka eğrisi

Sac levha Erdemir 6052 yüzeyinde oluşturulan polipirol kaplamanın SEM görüntüsü Şekil 3.5'te örnek olarak verilmiştir. Polipirolün kendine özgü karnabahara benzer yapısı farklı büyütmelerle çok net bir şekilde görülmektedir.



Şekil 3.5. Polipirol kaplamanın SEM görüntüsü

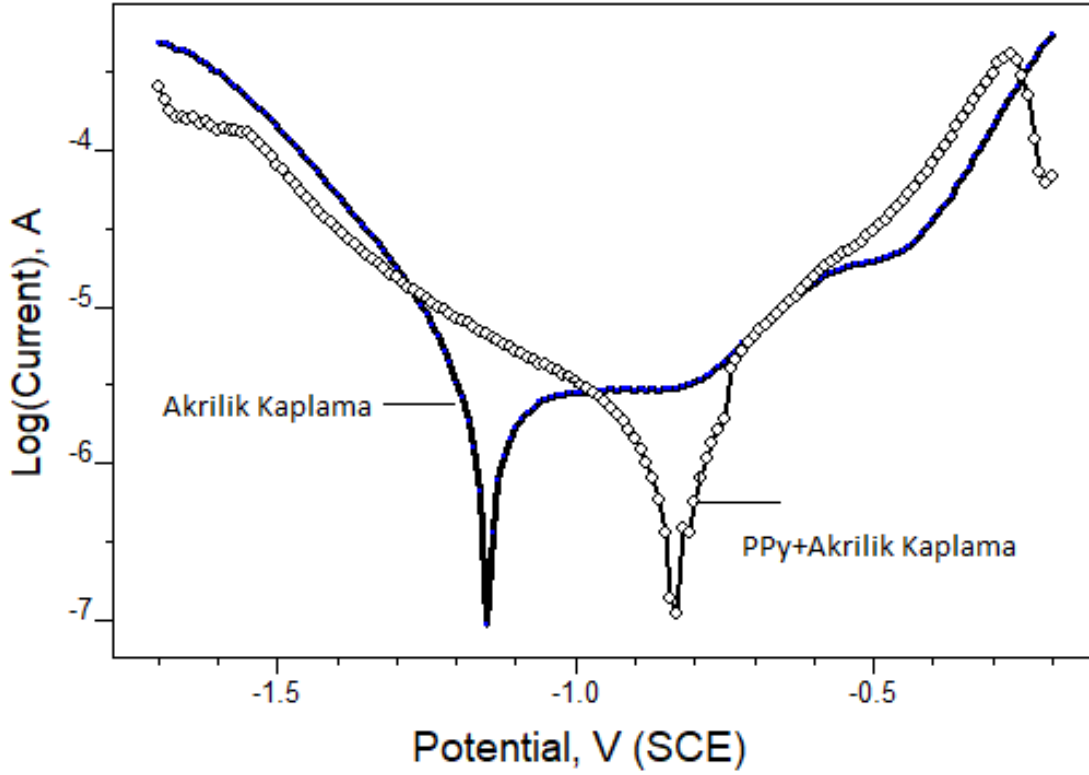
Sac levhaların kaplamasız, toz boya kaplamalı, akrilik boya kaplamalı ve ayrıca astar polipirol kaplama üzerine yapılan toz ve akrilik kaplamaların korozyon hızları Tafel Polarizasyon yöntemi ile belirlenmiştir. Elde edilen eğriler kaplamaların etkisini daha iyi görmek için üst üste çakıştırılarak verilmiştir. Şekil 3.6'da Erdemir 3237 levha üzerine yapılan toz ve akrilik boyanın kaplamasız haline göre etkisini veren eğriler çakıştırılarak verilmiştir.



Şekil 3.6. Erdemir 3237 sac levha yüzeyine yapılan kaplamaların Tafel Polarizasyon eğrileri

Şekil 3.6'da kaplama ile hem anodik hem de katodik dalda geçen akımın azaldığı ve korozyon akım yoğunluğunun azaldığı görülmektedir. Bu akım azalmanın, akrilik kaplamada toz boyamaya göre biraz daha fazla olduğu anlaşılmaktadır.

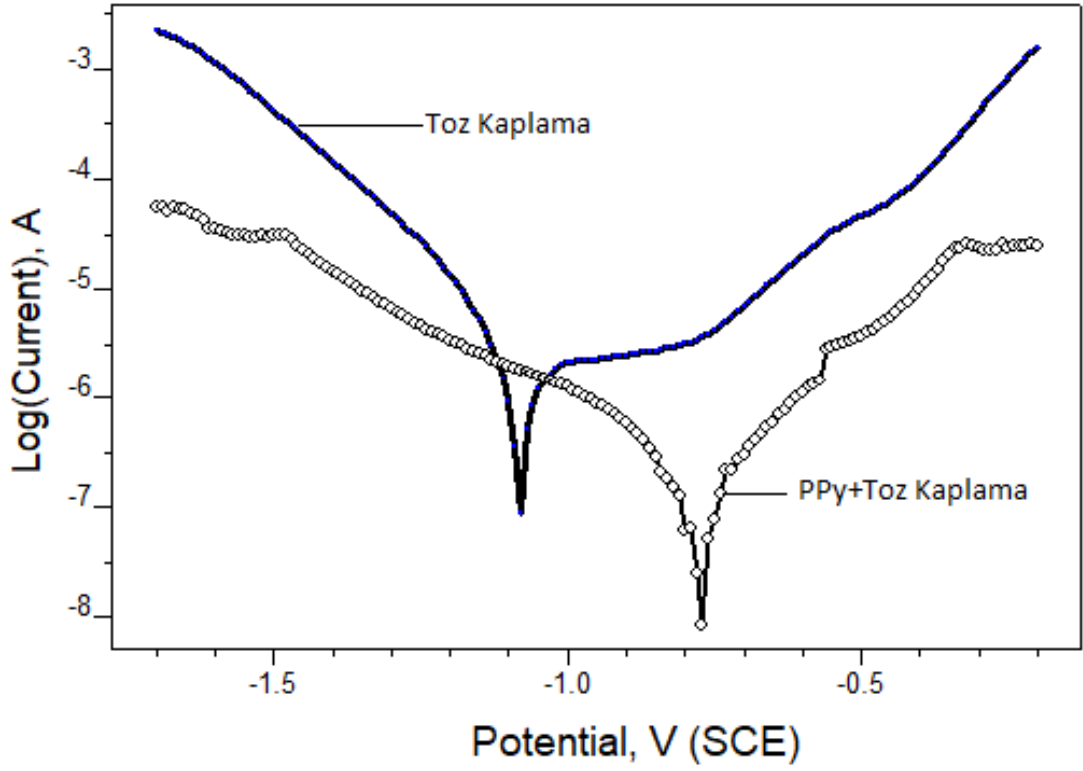
Polipirol astar kaplamanın akrilik kaplamaya etkisini görmek amacıyla elde edilen Tafel polarizasyon eğrileri Şekil 3.7 'de bir arada çakıştırılarak verilmiştir.



Şekil 3.7. Erdemir 3237 sac levha yüzeyinde oluşturulan PPy kaplamanın akrilik kaplamaya etkisi

Şekil 3.7'de akrilik boya altına yapılan astar polipirol kaplamanın sac levhanın korozyon potansiyelini daha pozitif değerlere kaydırarak katodik olarak koruduğu anlaşılmaktadır. Ayrıca yaklaşık -0,3 V 'ta oluşan küçük pik polipirolün sac levhayı pasifleştirdiğini göstermektedir.

Toz boya kaplamasına polipirol astar kaplamanın etkisini belirlemek için elde edilen polarizasyon eğrileri Şekil 3.8'de çakıştırılarak verilmiştir.



Şekil 3.8. Erdemir 3237 Sac levha yüzeyinde oluşturulan PPy kaplamanın toz kaplamaya etkisi

Şekil 3.8. polipirol astar kaplama ile yapılan toz kaplamanın çok etkili olduğunu göstermektedir. Polipirol kaplama ile hem anodik ve katodik akımın azaldığı hem de korozyon potansiyelin daha pozitif değerlere kaydığı görülmektedir. Bu durum Polipirol astar kaplamanın toz boya ile birlikte sac levhada hem anodik hem de katodik olarak koruma sağladığını göstermektedir.

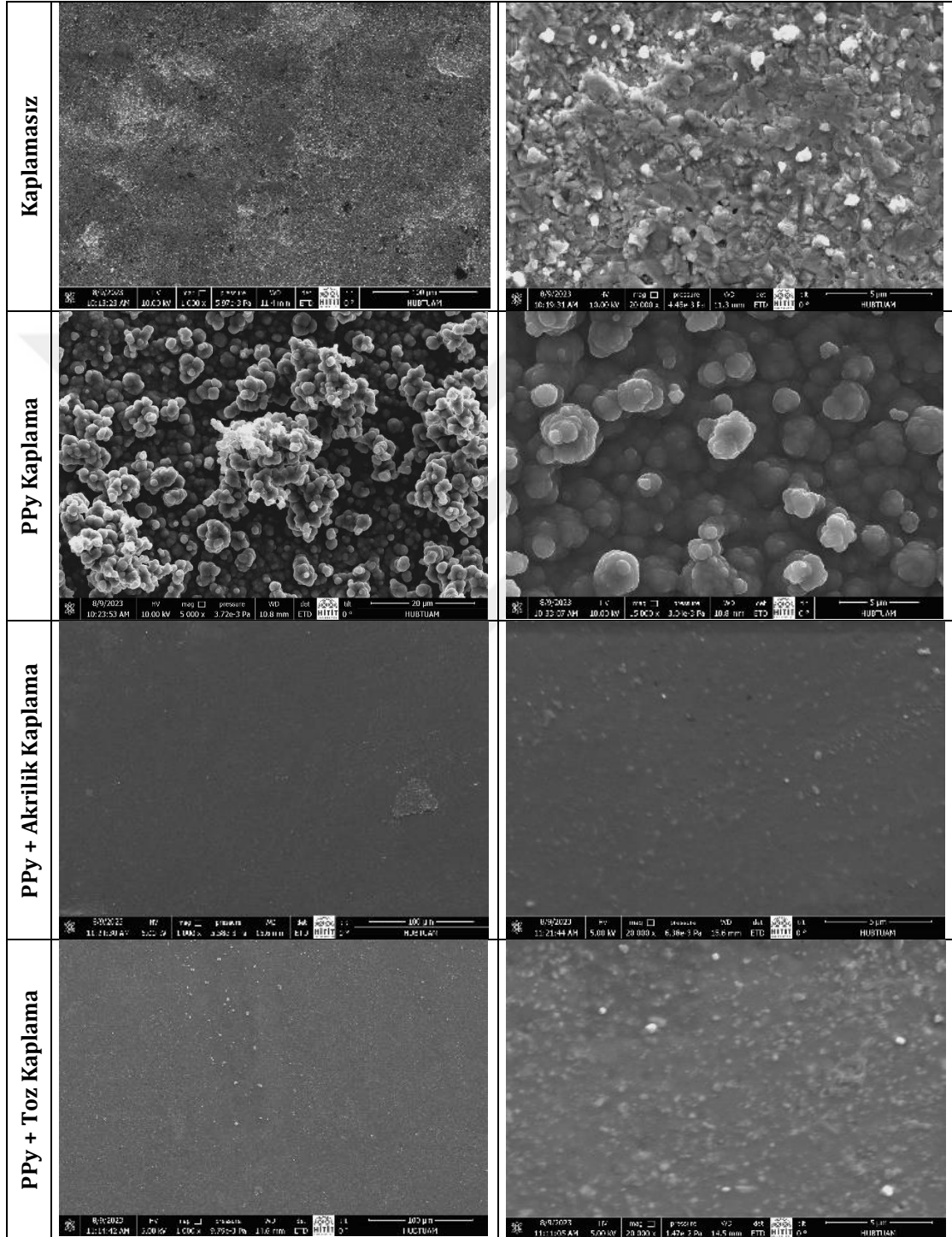
Kaplamasız (ham sac) ve kaplamalı (toz, toz+PPy, akrilik ve akrilik+PPy) diğer sac levhalar (6044, 6052 ve 6112) için elde edilen Tafel eğrilerin sonuçlarından elde edilen korozyon parametreleri Tablo 3.5'te verilmiştir.

Tablo 3.5. Test Plakalarının Korozyon Parametreleri

Kaplama Türü	Sac Levha	Korozyon Parametreleri			
		Ecor, V(SCE)	Rp, ohm	Korozyon Hızı, mm/yıl	% Kaplama
Kaplamasız	Erdemir 6052	-1,19	6320	0,149	-
	Erdemir 6044	-0,84	7234	0,146	-
	Erdemir 6112	-0,98	6154	0,146	-
	Erdemir 3237	-1,22	5057	0,342	-
Akrilik Kaplama	Erdemir 6052	-1,035	22330	0,035	76,5
	Erdemir 6044	-1,075	19730	0,040	72,6
	Erdemir 6112	-1,150	23200	0,039	73,3
	Erdemir 3237	-1,136	32760	0,029	91,5
Toz Kaplama	Erdemir 6052	-1,037	15890	0,052	65,1
	Erdemir 6044	-0,884	104710	0,006	95,9
	Erdemir 6112	-0,877	98410	0,007	95,2
	Erdemir 3237	-1,032	37230	0,023	93,3
Ppy+Akrilik Kaplama	Erdemir 6052	-0,88	24110	0,026	82,6
	Erdemir 6044	-0,925	30160	0,021	85,6
	Erdemir 6112	-0,802	41060	0,013	91,1
	Erdemir 3237	-1,00	86580	0,006	98,2
Ppy+Toz Kaplama	Erdemir 6052	-0,881	65910	0,005	96,6
	Erdemir 6044	-0,839	85310	0,004	97,3
	Erdemir 6112	-0,782	33510	0,001	99,3
	Erdemir 3237	-1,014	83680	0,006	98,2

3.4. Sem Görüntüleri

Şekil 3.9'da kaplamasız, PPy kaplama, PPy+Akrilik Kaplama ve PPy+Toz kaplamanın farklı büyütmelerde SEM görüntüleri görülmektedir.



Şekil 3.9. Erdemir 6052 numunesinin kaplamasız ve farklı türdeki kaplamaların SEM görüntüleri

Erdemir 6052 yüzeyinde oluşturulan PPy kaplamının literatürle uyumlu olarak belirgin bir karnabahar yapı oluşturduğu görülmektedir. PPy kaplama üzerine yapılan akrilik ve toz kaplamadan sonra, PPy yapının görülmediği tamamen toz ve akrilik kaplama ile geçirimsiz olarak kaplandığı anlaşılmaktadır.



SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, sanayide ve günlük yaşamda hayatın her alanında yaygın olarak kullanılan ve korozyona uğrayan boyalı çelik saclarda korozyon direnci araştırılmıştır. Sac plakalar elektrostatik toz boya ve akrilik boya ile boyandı. Boyanan plakalara kalınlık ölçümü, darbe direnci testi, cross-cut testi, tuz sprej testi ve Tafel Polarizasyon yöntemi kullanılarak kaplamaların koruyuculuğu ve performansı değerlendirildi. Bu nedenle mekanik, yapışma ve korozyon direnci testleri ile boya performans testleri yapılmıştır. Ayrıca astar kaplama olarak metal yüzeyinde elektrokimyasal olarak polipirol oluşturularak, toz ve akrilik kaplamalara korozyona karşı dayanımı araştırılmıştır.

Boya kaplama kalınlığı, ürün kalitesinde, proses kontrolünde ve maliyet kontrolünde önemli bir rol oynar. Çok fazla toz boya uygulandığında, kürlenmiş kaplama zayıf yapışmaya neden olurken alt tabakadan soyulma veya parçalanma eğiliminde bulunur. Yetersiz toz boya uygulandığında ise yeterli örtücülük ve koruma sağlanmaz. Yetersiz toz boya kalınlığı, zayıf yüzey kalitesine ve istenmeyen görünüm veya renge neden olabilir.

Toz Boya ve Akrilik boya kalınlığı, uygulamanın darbe direncini, esnekliğini, sertliğini, kenar kapsamını, talaş direncini, hava koşullarını, tuz spreji korozyonuna karşı direncini ve parlaklığı koruma yeteneğini de etkileyebilir. Bu nedenlerden dolayı, toz boya ve akrilik boya malzemeleri için ideal bir film kalınlığı üretim spesifikasyonu oluşturulmuş ve bu çalışma boyunca kullanılmıştır.

Bu çalışmada; boya ile kaplanmış kuru film kalınlığı, test numunelerinin karakterizasyonu için toz boyada 50 µm ile 70 µm arasında; akrilik boyada 40 µm ile 60 µm arasında seçilmiştir. Toz boya, akrilik boya, PPy astarlı toz boya, PPy astarlı akrilik boya ile yapılan ortalama kalınlık ölçümlerinin sonuçları üst ve alt kontrol sınırları içinde olmuştur (Tablo 3.2 ve Tablo 3.3).

Darbe Dayanımı Testi, gerçek durumu simüle eden, hızlı ve etkili bir deformasyon prosedürüdür. Darbe dayanımı, kaplama karakteristiğine, uygulama durumuna, gereksinimlere ve yüzey işleme yöntemlerine bağlıdır. Bu test 100 cm yükseklikte gerçekleştirilmiştir.

Tablo 3.2 ve Şekil 2.8 'de görüldüğü tüm kaplamalarda çatlama ve kırılma gözlemlenmemiştir. Kaplamaların tümü testten başarıyla geçmiştir.

Akrilik kaplama test numunelerinde kesim kenarları boyunca ve ızgara çizgilerinin kesişme noktalarında bant üzerinde gözlemlendiğimiz yaklaşık %5'in üzerinde ve %15'in altında bir boya kalkması sonucu elde edilmiştir. Bu durum ISO Derecelendirmesinde GT2 kapsamındadır.

Toz Kaplama test numunelerinde ise kesim kenarları boyunca ve ızgara çizgilerinin kesişme noktalarında bant üzerinde gözlemlendiğimiz küçük parçalar şeklinde boya kalkmaları yaklaşık % 5'in altında bir boya kalkması olduğu tespit edilmiştir. Bu durum ISO-2409 (ASTM 3359) derecelendirmesinde GT1 kapsamında değerlendirilmiştir.

Elektrostatik toz boya ve akrilik boya ile kaplanmış metal sac levhalardan 20. gün sonunda Erdemir 6044 ve Erdemir 6052 sac levhaların hem toz boya hem akrilik boyada metal ile iyi bir yapışma sağladığını göstermektedir. Erdemir 3237 ve Erdemir 6112 sac levhalarda 8. günde paslanma gözlemlenmiştir. Bu durum bu levhaların 1000 saatlik tuz püskürtme testinden geçemediğini ortaya koymaktadır.

Sac levhaların, 0,1 M NaCl ortamında Potansiyostat/Galvanostat cihazı yardımıyla elde edilen Tafel Polarizasyon eğrileri sonucuna göre korozyon potansiyeli, polarizasyon direnci ve korozyon hızı değerleri belirlenmiştir. Gerek akrilik kaplamalar gerekse toz kaplamalar sac levhaları korozyona karşı daha dirençli hale getirmiştir. Akrilik kaplamanın etkinliği en düşük %72,6 ile Erdemir 6044 sacda görünürken en iyi kaplama etkinliği %91,5 ile Erdemir 3237 sacda görülmüştür. Toz kaplamada ise en düşük etkinlik %65,1 ile Erdemir 6052 sacda görülürken, diğer saclarda önemli oranda kaplama etkinliği bulunmuştur. Erdemir 6044, Erdemir 6112 ve Erdemir 3237 saclarda sırasıyla; %95,9, %95,2 ve %93,3 kaplama etkinliği sağlanmıştır.

Polipirol astar kaplama hem toz kaplama hem de akrilik kaplamanın etkinliğini de daha da artırmıştır. En iyi polipirol kaplama etkisi % 99,3 ile toz kaplamalı Erdemir 6112 sac levhada belirlenmiştir.

Bu çalışmayı gerçekleştirirken Elektrokimyasal Empedans yöntemiyle de destekleyebiliriz. Fakat amacımız korozyon hızına ulaşmak olduğu için Empedans Yöntemi çalışmamızda kıyas yapmak amacıyla destekleyebiliriz.

Yine astar kaplama olarak polipirol kullanmak yerine anilin kullanılarak çalışmanın kaplamaların anilin altındaki etkisi gözlemlenerek literatüre katkıda bulunabiliriz.

KAYNAKÇA

A. Mathiazhagan, Design and Programming of Cathodic Protection for Ships, International Journal of Chemical Engineering and Applications, 2010

Ahmad, Z. (2006) Materials and Environments, Principles of Corrosion Engineering, Corrosion Control Modal Butterworth-Heinemann, ISBN 9780750659246, doi: 10.1016/B978-075065924-6/50005-2.

Akca, A. K. (2022). 2-(2, 4, 5-trimetoksifenil)-1-(3-klorfenil) akrilonitril'in elektrokimyasal özelliklerinin ve dopamin analizinde sensör elektrot olarak kullanılabilirliğinin incelenmesi (Master's thesis, Necmettin Erbakan Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Aksungur Büyükyekdeli, H., (2020). Akrilik poliöl ve izosiyanat bazlı poliüretan içine nanoboyutlu inorganik partikül katkılı süperhidrofobik yüzey sentezi ve karakterizasyonu (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Akyıl, C. (2010). İkiz Merdane ve Direk Soğutma Döküm Yöntemleri ile Üretilmiş Aa5754 Alüminyum Alaşımlarının Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Akyol, S. (2021). Yakın kızılötesi ışınları yansıtan ve ileten serin toz kaplamaların geliştirilmesi (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Amin, M. A., Khaled, K. F., & Fadel-Allah, S. A. (2010). Testing validity of the Tafel extrapolation method for monitoring corrosion of cold rolled steel in HCl solutions—experimental and theoretical studies. Corrosion Science, 52(1), 140-151.

Ayata, Ü., & Çakıcıer, N. Isıl İşlem Görmüş (Thermowood) ve Su-Bazlı Vernik Uygulanmış Bazı Ağaç Türlerinde Hızlandırılmış Uv Yaşlandırmanın Yüzey Parlaklık Değişimlerinin Belirlenmesi. İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi, 6(3), 1236-1248.

Aydoğdu, S. (2019). Süperkapasitif enerji depolama sistemlerinin elektrokimyasal ve empedans analizleri (Master's thesis, Bursa Teknik Üniversitesi).

Azzeddine, H., Hanna, A., Dakhouche, A., Rabahi, L., Scharnagl, N., Dopita, M., ... & Baudin, T. (2020). Impact of rare-earth elements on the corrosion performance of binary magnezyum alloys. Journal of Alloys and Compounds, 829, 154569.

Bierwagen, G. P., He, L., Li, J., Ellingson, L., & Tallman, D. E. (2000). Studies of a new accelerated evaluation method for coating corrosion resistance—thermal cycling testing. Progress in organic coatings, 39(1), 67-78.

Bocchetta, P., Chen, L. Y., Tardelli, J. D. C., Reis, A. C. D., Almeraya-Calderón, F., & Leo, P. (2021). Passive layers and corrosion resistance of biomedical Ti-6Al-4V and β -Ti alloys. Coatings, 11(5), 487.

Boya, O. Y. L. M. Y. T. Bilim ve Teknoloji Dergisi.

C. Guedes Soares, Y. Garbatov, A. Zayed, G. Wang, Influence of environmental factors on corrosion of ship structures in marine atmosphere, Corrosion Science, 2009

Campbell, F.C., Elements of Metallurgy and Engineering Alloys, p. 323-549, ASM International, Materials Park, Ohio, 2008.

Ceylan, H., Tezcan, M., Çıvrılı, P., & Korkut, M. A. (2010). Kimyasal maddeler (deterjanlar, ilaçlar, boyalar). Dokuz Eylül Üniversitesi.

Child, T. F., & Van Ooij, W. J. (1999). Application of silane technology to prevent corrosion of metals and improve paint adhesion. Transactions of the IMF, 77(2), 64-70.

- Colangelo, V. J., Greene, N. D., Kettelkamp, D. B., Alexander, H., & Campbell, C. J. (1967). Corrosion rate measurements in vivo. *Journal of Biomedical Materials Research*, 1(4), 405-414.
- Cui, X., Zhu, G., Pan, Y., Shao, Q., Dong, M., Zhang, Y., & Guo, Z. (2018). Polydimethylsiloxane-titania nanocomposite coating: fabrication and corrosion resistance. *Polymer*, 138, 203-210.
- Çalışır, D. (2015). IO-540-C4D5D Tipi Uçak Motorlarında Korozyon Problemleri ve Kontrol Süreçleri (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Çelik, K., Elektrolitik Çinko Kaplama ve İşletme Parametrelerinin Kaplama Kalitesine Etkisi, Yüksek Lisans Tezi, Anadolu Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2006.
- Davis, J. R. (2000) *Corrosion: Understanding the Basics*, ASM International, ProQuest Ebook Central.
- Değirmenci, H. (2006). Çelik sacların mekanik özelliklerinde ortaya çıkan değişimler ve nedenleri ile bunların şekillendirme prosesi üzerindeki etkileri.
- DENGİZ, C. G., & YILDIZLI, K. (2019). Çift katmanlı saclarda presleme kuvveti ve sac malzemesinin soyulma direnci ve ortalama soyulma kuvvetine etkisi. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 8(2), 1054-1063.
- Djebari, K., Türen, Y., AHLATCI, H., & Levent, E. L. E. N. (2022). Biyobozunur ZW21 Döküm Alaşımlarının Mikroyapı, Sertlik ve Korozyon Özelliklerini İncelenmesi. *Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi*, (43), 6-12.
- Doğan, G. (2007). Atmosferik korozyonun metal yapı malzemelerine etkisi üzerine deneysel bir çalışma ve yapay sinir ağı ile korozyon hızı tahmini (Doctoral dissertation, Anadolu University (Turkey)).
- Eaddy, M., Zimmermann, T., Sherwood, K. D., Garg, V., Murphy, G. C., Nagappan, N., & Aho, A. V. (2008). Do crosscutting concerns cause defects. *IEEE transactions on Software Engineering*, 34(4), 497-515.
- Eddy, N. O. (2011). *Green corrosion chemistry and engineering: opportunities and challenges*.
- Eken, A.E., Yılmaz, C., Tan, E., Galvanik Korozyonu Önlemek İçin Bağlantı Elemanı Montajında Farklı Metodların Kullanımı, 18th International Metallurgy & Materials Congress, İstanbul, 2016.
- Elçiçek, H., Karaoğlanlı, A. C., & Demirel, B. (2011). Gemicilik endüstrisinde korozyon problemi ve katodik koruma uygulamaları. In 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS'11) (pp. 16-18).
- Erbil, M. (1984). *Korozyon İnhibitörleri*, SEGEM, Ankara, 148.
- Ersin, Ü. N. A. L., Yaşar, A., & Karahan, İ. H. (2021). Ni-B/TiB₂ Elektrodepolanmış Kompozit Kaplamaların Korozyon Dayanımlarının Belirlenmesi. *Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 36(3), 709-718.
- Eryılmaz, İ., & Gürün, H. (2021). DP600 Sac Malzemenin delik açma ve flaşlama işleminde zımba formunun parçaya etkileri. *Muş Alparslan Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi*, 2(1), 44-53.
- Fontana, M. G., & Greene, N. D. (1978). *Corrosion engineering*. McGraw-Hill.
- Gerengi, H. (2012). Anticorrosive Properties of Date Palm (*Phoenix dactylifera* L.) Fruit
- Gerengi, H., & Kurtay, M. (2013). Malzeme ve Malzeme İşleme Teknolojileri Programında "Korozyon ve Korozyona Dayanıklı Malzemeler" Ejevoc (*Electronic Journal of Vocational Colleges*), 3(4), 67-71.
- Güler, H. (2007). Çinko-alüminyum alaşımlarının korozyon davranışına alaşım elementlerinin etkisinin yapay sinir ağıyla tahmini (Doctoral dissertation, Sakarya Üniversitesi (Turkey)).

Gürlek, Z. K. (2009). Asidik ve bazik akımsız nikel kaplamaların korozyon davranışlarının incelenmesi (Doctoral dissertation, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara).

Gwartney, J., Holcombe, R. And R. Lawson. (1998b), "The Size and Functions of Government and Economic Growth", Joint Economic Committee Study, April,

Kapucuoğlu, Ö. E., & Akarçay, E. Comparison Of Corrosion Resistance Of Zinc Alloy Coatings And Examination Of The Effect Of Galvanic Corrosion.

Karacif, K., & Candemir, D. Grafen oksit kaplanmış alüminyum alaşımının korozyon davranışına ortam sıcaklığının etkileri. Politeknik Dergisi, 1-1.

Kawara, Y., An Overview on Corrosion-Resistant Coating Technologies in Biomass/Waste-to-Energy Plants in Recent Decades. Coatings, 6 (3)(34), 1- 24, (2016)

Kazel, A., & AÇIKGÖZ, Ç. (2019). Galvaniz sac üzerine toz boya tutundurma işleminde kimyasal pasivasyonun etkisinin incelenmesi.

Kesik, A. Ç. (2020). Çin demir cevheri ithalatının ve demir cevheri fiyatlarının dünya gsyih üzerindeki etkisinin belirlenmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Kısmet, Y. (2019). Hidrolize edilmiş elektrostatik toz boya atık miktarına bağlı olarak poliamid 6 (PA6) ve polioksimetilenin (POM) eriyik akış indeksleri ve yoğunluklarındaki değişimlerin incelenmesi. Pamukkale Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 22(4), 241-245.

Kocataşkın F. (1979) Yapı Malzemesi Bilimi, İstanbul.

Lazić, V., A. Sedmak, R. R. Nikolić, M. Mutavdžić, S. Aleksandrović, B. Krstić, D.M., Selection of the most appropriate welding technology for hardfacing of bucket teeth. Mater Technol Tehnol, 49(1), 165-72, (2015)

Mahmoud, T. S. (2008). Effect of friction stir processing on electrical conductivity and corrosion resistance of AA6063-T6 Al alloy. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science, 222(7), 1117-1123.

Malcıoğlu, A. U. (2022). Investigation of the microstructural and corrosion behavior of 3xxx alloys cast by twin roll casting method after using alternative thermo-mechanical process.

Marchebois, H., Touzain, S., Joiret, S., Bernard, J., & Savall, C. (2002). Zinc-rich powder coatings corrosion in sea water: influence of conductive pigments. Progress in Organic Coatings, 45(4), 415-421.

Mears, R. B., & Brown, R. H. (1941). Causes of corrosion currents. Industrial & Engineering Chemistry, 33(8), 1001-1010.

Mehmetalioğlu, C., Özüyağlı, A., Akcan, E., Şen, Ş., Olgun, U., Şen, U., & Akıncı, A. (2017). Nano TiO₂ dolgulu polimer esaslı hidrofobik kaplamanın yüzey özelliklerinin incelenmesi. Sakarya University Journal of Science, 21(2), 77-81.

Mindivan, H. (2019). Yoğuşmalı Kombilerin Isı Değiştiricisinde Meydana Gelen Korozyon Hasarının İncelemesi. Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 6(2), 327-335.

Montemor, M. F. (2014). Functional and smart coatings for corrosion protection: A review of recent advances. Surface and Coatings Technology, 258, 17-37.

Müller, B., Förster, I., & Kläger, W. (1997). Corrosion inhibition of zinc pigments in aqueous alkaline media by polymers. *Progress in organic coatings*, 31(3), 229-233.

NAYIR, H. (2017). Paslanmaz çeliklerde bölgesel korozyon.

Nazife, Ö. Z. E. R. Yapı Malzemelerinde Korozyon ve Korozyondan Korunma Yöntemleri. *Uludağ Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Dergisi*, 26(3), 1159-1178.

Oltulu, M., & Gökhan Altun, M. (2018). Betonun darbe dayanımının tespitinde ağırlık düşürme deney yöntemi ve yapılan çalışmalar. *Gümüşhane Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*, 8(1), 155-163.

Ök, İ. (2021). 5XXX alüminyum alaşımları üzerine uygulanacak fosfatlama işlemi ve organik kaplamalar ile cass testi ve çevrimsel korozyon direncini artıran proses geliştirilmesi (Master's thesis, BTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Öncel, S. (2002). Katodik ark FBB yöntemi ile dekoratif amaçlı Cr-ON kaplamaların üretilmesi (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Özabdal, S. (2014). Pirinç kaplamanın zamak-5 korozyonuna etkisi (Master's thesis, Hitit Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Özdilli, Ö. (2018). Polimer kaplı metal sacların derin çekme davranışının incelenmesi.

Özen, A., & Türedi, E. Düşük Karbonlu Çeliklere Uygulanan Sert Dolgu Kaynağında Kaynak Akımı Optimizasyonu. In *International Marmara Sciences Congress (Spring 2021)* (P. 265).

Paksoy A.K., 2008. Çelik yapıların, atmosferik korozyona karşı korunmasında epoksi bazlı boya ve kaplamaların kullanımı ve performansı, Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.

Popoola, A. P. I., Olorunniwo, O. E., & Ige, O. O. (2014). Corrosion resistance through the application of anti-corrosion coatings. *Developments in corrosion protection*, 13(4), 241-270.

Popov, B.N. (2015) *Corrosion Engineering Principle and Solved Problems*, Elsevier, ISBN 9780444627223, eBook.

Ranjan, R., Banerjee, S., Singh, R.K. ve Banerji, P., 2014. Local Impact Effects on Concrete Target Due to Missile an Empirical and Numerical Approach, *Annals of Nuclear Energy*, 68, 262-275.

Shi, Z., Liu, M., & Atrens, A. (2010). Measurement of the corrosion rate of magnesium alloys using Tafel extrapolation. *Corrosion science*, 52(2), 579-588.

Smith W. F., 2001. Malzeme bilimi ve mühendisliği, Çev. Kınıkoğlu N. G., Literatür Yayınları, İstanbul.

Solak, M. A. (2022). Farklı Kristal Yapıya Sahip Mg-Li Alaşımlarının Korozyon Davranışlarının İncelenmesi (Doctoral dissertation).

Solmaz, Y., & Eren, B. Stiren-Bütül Akrilat-Akrilik Asit Latekslerinin Emülsiyon Polimerizasyonu ile Hazırlanması İçin Proses Değişkenlerinin Optimizasyonu ve Fizikokimyasal Özellikleri Üzerine Divinilbenzen Etkisinin İncelenmesi.

Sönmez, A., Budakçı, M., & Yakın, M. (2004). Ağaç malzemede su çözücülü vernik uygulamalarının sertlik, parlaklık ve yüzeye yapışma direncine etkileri. *Politeknik Dergisi*, 7(3), 229-235.

Söylev T.A., McNally C., Richardson M. G. (2007) The effect of a new generation surfaceapplied organicinhibitor on concrete properties, *Cement & Concrete Composites* 29, 357-364

Tanjung, I., Nasution, A. R., Harahap, A. G., Fonna, S., Ariffin, A. K., & Huzni, S. (2021). Atmospheric Corrosion Analysis on Low Carbon Steel Plate Profile and Elbow in Medan Belawan District. In *Key Engineering Materials* (Vol. 892, pp. 142-149). Trans Tech Publications Ltd.

Taşkan Ürgün, D. (2019). Elektrostatik toz boyama tesisinin otomasyon sisteminegeçişinin enerji verimliliği etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Taşkan Ürgün, D. (2019). Elektrostatik toz boyama tesisinin otomasyon sisteminegeçişinin enerji verimliliği etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Taşkan Ürgün, D. (2019). Elektrostatik toz boyama tesisinin otomasyon sisteminegeçişinin enerji verimliliği etkisinin incelenmesi (Master's thesis, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Topcuoğlu, İ. S. (2021). Kaynaklı 7020 alüminyum alaşımının korozyonlu yorulma ve darbeli aşınma davranışlarının incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Töremen, Ö. F. (2019). Su bazlı fosfor pigmentli boyaların homojenizasyonu, stabilizasyonu ve uzun zamanlı ışımaya mekanizmalarının incelenmesi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Uchida, H., Yoshida, H. (1996). Aluminum and Magnesium for Automotive Applications, The Minerals, Metals & Materials Society, s.97.

Uyanık, M. (2012). SiC nanopartikül ilaveli asitli çinko kaplama banyolarında yapılan kaplamaların malzemenin korozyon direnci ve mekanik özelliklerine etkisinin araştırılması.

Wint, N., Eaves, D., Michailidou, E., Bennett, A., Searle, J. R., Williams, G., & McMurray, H. N. (2019). The kinetics and mechanism of filiform corrosion occurring on zinc-aluminium-magnesium coated steel. *Corrosion Science*, 158, 108073.

Wu, X., Fu, Q., Kumar, D., Ho, J. W. C., Kanhere, P., Zhou, H., & Chen, Z. (2016). Mechanically robust superhydrophobic and superoleophobic coatings derived by sol-gel method. *Materials & Design*, 89, 1302-1309.

Yavuz, H. İ., & Yamanoğlu, R. (2021). β tipi Ti alaşımlarının özellikleri üzerine bir derleme: mikroyapı, mekanik, korozyon özellikleri ve üretim yöntemleri. *Politeknik Dergisi*, 1-1.

Yalçın H. ve Koç T. (1991) Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Koruması, İller Bankası Genel Müdürlüğü, Ankara.

Yılmaz, M. (2022). Toz Metalurjisi Yöntemiyle Oluşturulan Fe-B Alaşımlarının Aşınma ve Korozyon Davranışlarının İncelenmesi (Doctoral dissertation).

Yimyai, T., Crespy, D., & Rohwerder, M. (2023). Corrosion-Responsive Self-Healing Coatings. *Advanced Materials*, 2300101.

Yudar, H. H., & Pat, S. (2020). DD13 Kalite Sac Levha Üzerine Tva Yöntemi ile Çinko Selenyum Kaplamanın Korozyon Etkisi Hafizittin Hakan YUDAR1 Suat PAT2. Bütün Yayın Hakları Saklıdır Kaynak gösterilerek tanıtım için yapılacak kısa alıntılar dışında yayıncının ve editörün yazılı izni olmaksızın hiçbir yolla çoğaltılamaz., 180.

Zhang, G., Schmitz, C., Fimmers, M., Quix, C., & Hoseini, S. (2021). Deep learning-based automated characterization of crosscut tests for coatings via image segmentation. *Journal of Coatings Technology and Research*, 1-13.

Zheng, D., Gui, Q., Xu, Y., & Song, G. L. (2021). Modified AC-DC-AC method for evaluation of corrosion damage of acrylic varnish paint coating/Q215 steel system. *Progress in Organic Coatings*, 159, 106401.

Zhu, D., & Van Ooij, W. J. (2004). Corrosion protection of metals by water-based silane mixtures of bis-[trimethoxysilylpropyl] amine and vinyltriacetoxysilane. *Progress in Organic Coatings*, 49(1), 42-53.



