

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Goncagöl AKSARAY

**ÇİNKO METALİ VE MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM
ALAŞIMLARININ ÜZERİNDE SİLAN FİLMİ
OLUŞTURULMASI VE FİLMİN KORUYUCU
ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ**

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

DOKTORA TEZİ

ÇİNKO METALİ VE MAGNEZYUM-ALÜMİNYUM ALAŞIMLARININ ÜZERİNDE SİLAN FİLMİ OLUŞTURULMASI VE FİLMİN KORUYUCU ÖZELLİKLERİNİN İNCELENMESİ

Goncagül AKSARAY

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
Yıl:2022, Sayfa: 187
Jüri : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Tunç TÜKEN
: Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN
: Prof. Dr. Gülfeza KARDAS
: Doç. Dr. Başak DOĞRU MERT

Bu çalışmada, çinko metal ve magnezyum-alüminyum alaşımlarının üzerinde silan filmi oluşturulmuştur. Silan filminin oluşturulması için farklı derişimlerde (%5, %10, %20) oda koşullarında (25 °C) ve farklı pH değerlerinde (pH=3, pH=10) klorodimetil silan ve viniltrioksi silan çözeltileri hazırlanmıştır. Hazırlanan çözeltiler alkolde ve suda sol-jel yöntemi ile hazırlanmıştır. Silan filminin oluşturulmasında doğrudan daldırma ve dönüşümlü voltametri ile film oluşturma yöntemleri kullanılmıştır. Çalışma çinko metal ve magnezyum-alüminyum alaşımları için farklı sürelerde (15, 30, 45, 60 dakika) gerçekleştirilmiştir. En uygun işlem koşulları belirlendikten sonra çinko metal ve magnezyum-alüminyum alaşımlarının korozyon davranışları yapay yağmur suyu içerisinde izlenmiştir. Bu amaçla korozyon potansiyelleri ve lineer polarizasyon ölçümleri yardımıyla Rp değerleri hesaplanmıştır. Bunun yanı sıra AC impedans ölçümleri her iki elektrot için yapılmıştır. Oluşturulan silan filminin morfolojisi için en kararlı silan filmi ile oluşturulan kaplamaların SEM analizleri ve temas açısı ölçümleri yapılmıştır. Sonuç olarak korozyona karşı en kararlı silan filmi çinko elektrot için dönüşümlü voltametri yöntemi ile oluşturulmuşken magnezyum-alüminyum alaşımı elektrot için sol-jel yöntemiyle oluşturulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Çinko, Magnezyum alaşımı, Silan, Sol-jel, Korozyon

ABSTRACT

PhD THESIS

PRODUCTION OF SILANE FILM ON ZINC METAL AND MAGNESIUM-ALUMINUM ALLOYS AND INVESTIGATION OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF THE FILM

Goncagül AKSARAY

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

Advisor : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
Year: 2022, Pages: 187
Jury : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Tunç TÜKEN
: Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN
: Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ
: Assoc. Prof. Dr. Başak DOĞRU MERT

In this study, silane film was formed on zinc metal and magnesium-aluminum alloys. In different concentrations for the formation of the silane film (%5, %10, %20) at room conditions (25 °C) and at different pH values (pH=3, pH=10) chloro dimethyl silane and vinyltriethoxy silane solutions were prepared. Prepared solutions were prepared by sol-gel method in alcohol and water. Direct dipping and cyclic voltammetry coating methods were used to form the silane film. The study was carried out at different times (15, 30,45, 60 minutes) for zinc metal and magnesium-aluminum alloys. After the optimum processing conditions were determined, the corrosion behavior of zinc metal and magnesium-aluminum alloys was monitored in artificial rain water. For this purpose, R_p values were calculated with the help of corrosion potentials and linear polarization measurements. In addition, AC impedance measurements were made for both electrodes. For the morphology of the silane film formed, SEM analyzes and contact angle measurements of the coatings formed with the most stable silane film were made. As a result, the most stable silane film against corrosion was formed by the cyclic voltammetry method for the zinc electrode, while the magnesium-aluminum alloy was formed by the sol-gel method for the electrode.

Keywords: Zinc, Magnesium alloy, Silane, Sol-gel, Corrosion

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Korozyon, metalik malzemelerin bulundukları ortamla etkileşimi sonucu metalik karakterlerini kaybederek doğada bulundukları kararlı oksitleri, sülfürleri, karbonatları gibi bileşiklere hallerine dönmeleridir. Metaller doğada saf halde bulunmazlar. Metalleri saf halde elde edinceye kadar enerji ve emek harcanır. Metaller kendi aralarında oluşturdukları metalik bağların kuvvetli olmasından dolayı inşaat, gemi parçaları, uçak parçaları, otomobil parçaları gibi hayatımızın birçok farklı noktasında ve endüstride kullanılmaktadır. Korozyon olayı gerçekleşirken oluşan elektrokimyasal olaylar metal yüzeyinde gerçekleşir. Metaller kararlı hale geçebilmek için boşta bulunan d orbitallerine elektron alma eğilimi gösterirler. Bunu sağlamak için ortam ile metal arasında elektron alış veriş gerçekleşir. Metal yükseltgenerek korozyona uğrar. Korozyon sonucu kaybedilen metal, kullanılır hale getirilinceye kadar harcanan tüm emek, enerji ve yatırım boşa gitmektedir. Bu da ülkelerin ekonomisinde önemli bir yer kaplamaktadır. Fakat korozyona karşı alınacak önlemler ile oluşacak bu maddi kayıplar en aza indirilebilir. İlk bakışta korozyon için alınacak önlemler yatırım maliyetini arttıracak gibi görünse de uzun vadede malzemenin bakım aralığı azalır ve ömrü uzar. Korozyonu önlemek için alınabilecek önlemler; çevresel koşullara uygun malzeme seçimi, malzemenin yüzey özelliklerini değiştirmek, anodik koruma, katodik koruma, organik ya da inorganik kaplama yapmak ve inhibitör kullanmaktır. Korozyondan korunma için seçilecek yöntemin ucuz olması ve kolay uygulanabilir olması tercih nedenidir. Bu nedenle son yıllarda korozyon hızını azaltmak hatta yok etmek için en çok kullanılan yöntem inhibitör kullanımıdır. İnhibitörler yapılarında bulundurdıkları kükürt, azot, hidroksil veya amin ile metal yüzeyine tutunur. Yüzeyde koruyucu film oluştururlar ve bu film yardımı ile metali korozif ortamda yükseltgenme hızını azaltırlar.

Yaptığımız çalışmada atomların ve moleküllerin düzgün bir şekilde yüzeyde toplanmaları olarak bilinen kendiliğinden toplanma ile film oluşturma

yönteminden yararlanılmıştır. Kendiliğinden toplanma ile film oluşturma yönteminde en çok kullanılan kaplama maddeleri alkoksisilan bileşikleridir. Bu yöntemde en önemli rolü Si-O-Si bağları ile yüzeye bağlanan silan bileşikleri oynamaktadır. Alkoksisilan bileşikleri ile metal yüzeyinde doğrudan daldırma yöntemi ile ince film oluşumu sağlanmaktadır. Doğrudan daldırma yönteminde yüzeyinde film oluşturulacak yapının hazırlanan çözeltiye daldırılıp belli süre sonra çekilmesi ile yüzeyde film oluşumu sağlanır. Oluşan film kararlı yapısından dolayı korozyonu önlemede kullanılabildiği gibi yakıt hücrelerinde, optik cihazlarda, iyon pillerinde, foto direnç yapımında, pH ya duyarlı cihaz yapımında da kullanılmaktadır.

Doğrudan daldırma da kullanılan silan bileşiğinin çözeltisi etil alkol içerisinde hazırlanabildiği gibi su ile başlangıç malzemesi olarak sol içeren ve bu sol kullanılarak jelin oluşturulması ile de hazırlanabilir. Çözeltinin jelleşmesinde organosilanların kondenzasyonu ya da hidrolizi önemli rol oynar. Sol-jel yöntemi olarak adlandırılan bu yöntem düşük sıcaklıklarda dahi ince film oluşturma için kullanılmaktadır. Doğrudan daldırma yöntemi ile metal yüzeyinde homojen, düzgün film elde edilir. Sol-jel yönteminin en önemli özelliği film kalınlığını kontrol etmenin kolay olmasıdır. Bu yöntemle film oluşturulacak yüzeyin geometrisi değişse dahi aynı özellikte film oluşumu sağlanmaktadır. Metal yüzeyinde oluşturulacak silan filminin korozyona karşı etkinliğini incelemek için çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımı seçilmiştir. Çinko metalinin seçilme nedenleri; otomobil sanayisinde, çatı kaplama ve izolasyonda, lehim ve alaşım yapımında, organik maddelerin sentezinde ve tekstil boyalarında kullanılması gibi kısaca hayatımızı kolaylaştıracak pek çok ürünün içeriğinde bulunmasıdır. Magnezyum alaşımının seçilme nedenleri ise; uçak ve gemi sanayinde, otomobil endüstrisinde motor sanayinde ve aşınmaya karşı korumada kullanılıyor olmasıdır.

Bu çalışmanın amacı, çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımından oluşan endüstride kullanılan tüm parçaların korozyonunun önlenmesi amacıyla

yüzeyde silan bileşikleri ile ince film oluşturarak korozyon hızını düşürmek ve malzemenin kullanım ömrünün uzatılmasını sağlamaktır. Bu nedenle doğrudan daldırma yöntemiyle yüzeyde silan ile oluşturulan filmin korozyona karşı etkilerini incelemek amacıyla oda sıcaklığında farklı pH değerlerinde (pH=3, pH=10), farklı silan derişimlerinde (%5, %10, %20), farklı sürelerde (15,30,45,60 dakika) film oluşturulan yüzeylerin elektrokimyasal ölçümleri yapılmış ve impedans eğrilerinden, akım-potansiyel eğrilerinden, SEM ölçümlerinden ve temas açısı ölçümlerinden yararlanılmıştır.

Sol-jel yöntemiyle %5 derişimde klorodimetil silanın alkoldeki çözeltisi ile çinko metali yüzeyinde film oluşumu sağlanamamıştır. %10 derişimde hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 60 dakika sürede çinko metali yüzeyinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi olduğu gözlenmiştir. %20 derişimde hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile çinko metali yüzeyinde film oluşumu sağlanamamıştır. Klorodimetil silan ve viniltrietoksi silandan %5 derişimde hazırlanan karışım çözeltide 15 dakikada oluşturulan filmin koruyucu etkisi olduğu gözlenmiştir. pH=10'da hazırlanan % 5'lik silan çözeltisinde 15 dakikada çinko metali yüzeyinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi düşük olarak bulunmuştur. Sol-jel yöntemiyle suda pH=3'de hazırlanan silan çözeltisinde çözelti hazırlanır hazırlanmaz çinko metali yüzeyinde oluşturulan filmin koruyucu özelliği çok yüksek değildir. Fakat çözelti 3 hafta bekletildiğinde oluşan filmlerin direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür. Doğrudan daldırma ile 1 dakikada oluşturulan filmin direnç değerinin çok yüksek olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu yöntem korozyonu önlemek için oldukça ucuz ve kısa sürede gerçekleşen bir yöntemdir. Dönüşümlü voltametri ile öncelikle 40 döngüde anilin ile çinko metalinin yüzeyini pasifleştirilmiş ve sonrasında aynı yüzeyde dönüşümlü voltametri kullanılarak 40 döngüde silan çözeltisi ile film oluşumu sağlanmış ve bu yöntem ile oluşturulan filmin çinko metali için korozyona karşı en koruyucu film olduğuna karar verilmiştir.

Sol-jel yöntemiyle %5 derişimde klorodimetil silanın alkoldeki çözeltisi ile 15 dakika bekletilerek Mg alaşımı yüzeyinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi %76,23 olarak bulunmuştur. %10 derişimde hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile Mg alaşımı yüzeyinde film oluşumu sağlanamamıştır. %20 derişimde hazırlanan silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin koruyucu etkisi % 59,3 olarak bulunmuştur. Klorodimetil silan ve viniltrioksi silandan %5 derişimde hazırlanan karışım çözeltide 15 dakika bekletilerek Mg alaşımı yüzeyinde oluşturulan film korozyona karşı karşı koruyucu özellik göstermektedir. pH=10'da hazırlanan % 5'lik silan çözeltisinde 15 dakikada Mg alaşımı yüzeyinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi %56,8'dir. Sol-jel yöntemiyle pH=3'de suda hazırlanan silan çözeltisinde çözelti hazırlanır hazırlanmaz 15 dakika süre ile oluşturulan filmin koruyucu etkisi % 99,96 olarak bulunmuştur. Bu koşullarda elde edilen silan film korozyona karşı çok iyi koruyucu özellik göstermektedir. 3 hafta bekletilen çözeltide 1 dakikada oluşturulan filmin direnç değerinin çok yüksek olması nedeniyle sol-jel yönteminde jelleşme oluştukça çok daha kısa sürede korozyona karşı koruyucu film elde edildiği gözlenmiştir. Dönüşümlü voltametri ile 40 döngüde anilin ile Mg alaşımının yüzeyi pasifleştirilmiş ve daha sonra aynı yüzeyde dönüşümlü voltametri kullanılarak 40 döngüde silan çözeltisi ile film oluşturulmuştur. Yüzeyde oluşturulan filmin korozyona karşı koruyucu özellikte olduğu görölmüştür.

Akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, elde edilen sonuçların Nyquist diyagramları ile uyumlu olduğu görölmektedir. Nyquist diyagramlarında direncin arttığı korozyona dayanıklı film oluşumu gözlenen derişim ve sürelerde akım değerleri azalmıştır, korozyon hızı da buna paralel olarak azalmıştır. Direncin azaldığı derişim ve sürelerde ise akımın arttığı görölmektedir. Bu koşullarda film oluşumu sağlanamamış yüzey aktif hale gelmiştir.

Çinko metali yüzeyinde dönüşümlü voltametri yöntemi ile oluşturulan silan filminin koruyucu etkisi en büyük değerde iken Mg alaşımında sol-jel yöntemiyle oluşturulan filmin koruyucu etkisi en büyüktür. SEM ölçümleri ve temas açısı ölçümleri silan filminin koruyucu etkisinin en fazla olduğu bu koşullarda yapılmış ve sonuçların birbiriyle uyumlu olduğu görölmüştür.

TEŞEKKÜR

Doktora eğitimim süresince ve çalışmalarım sırasında beni destekleyen, yönlendiren, bilgi, öneri ve tecrübelerini benimle paylaşan her türlü desteğini hissettiğim danışman hocam Sayın Prof. Dr. İlyas DEHRİ' ye sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Fizikokimya Anabilim Dalındaki Değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ, Sayın Prof. Dr. Tunç TÜKEN ve Sayın Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER' e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Tez jürisinde bulunan değerli hocalarım Sayın Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN ve Sayın Doç. Dr. Başak Doğru MERT'e katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarında bilgilerinden yararlandığım desteğini hiçbir zaman esirgemeyen arkadaşım Dr. Öğretim Üyesi Gökmen SİĞİRCİK'a, laboratuvar arkadaşlarım Dr.Şifa KIR ve Derya KOCA'ya teşekkür ederim.

Doktora eğitimim boyunca bana destek olan ve motive eden arkadaşlarım Öğretim Görevlisi Dr. Mehmet Erman MERT, Süphan AYTEKİN ve Devrim AŞŞIK'a teşekkür ederim.

Hayatımın her aşamasında ve eğitim- öğrenim hayatım boyunca destek olup bana her zaman güvenen ve inanan değerli annem Berrin KASAPLAR' a hep yanımda olan kardeşlerim Burcu Gül GÜNAL ve Ahmet KASAPLAR' a teşekkür ederim.

Çalışmalarım esnasında ve hayatımın her aşamasında her konuda ilgi, sabır ve desteğini esirgemeyen, ihtiyaç duyduğum her an yanımda olan ve bana her zaman güvenen sevgili eşim Uğur AKSARAY' a teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	I
ABSTRACT.....	II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET.....	III
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XVI
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	XVIII
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXVI
1. GİRİŞ	1
1.1. Korozyon.....	2
1.2. Korozyon Çeşitleri	5
1.2.1. Genel Korozyon	5
1.2.2. Çukur Korozyonu.....	6
1.2.3. Galvanik Korozyon.....	8
1.2.4. Taneler Arası Aşınma Korozyonu	9
1.2.5. Seçimli Korozyon	9
1.2.6. Çatlak Korozyonu	9
1.2.7. Atmosferik Korozyon	10
1.2.7.1. Atmosferik Korozyona Bağlı Nem Etkisi	12
1.2.7.2. Atmosferik Korozyona Sıcaklık Etkisi.....	13
1.2.7.3. Atmosferik Korozyona Yağış ve Rüzgar Etkisi	13
1.2.7.4. Atmosferik Korozyona Endüstriyel Kirlenmenin Etkisi	13
1.3. Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	13

1.3.1.	Malzeme Seçimi.....	14
1.3.2.	Ortamın Değiştirilmesi.....	14
1.3.3.	Tasarım	15
1.3.4.	Katodik Koruma.....	15
1.3.5.	Anodik Koruma	16
1.3.6.	İnhibitör Kullanılması.....	16
1.3.6.1.	Anodik İnhibitörler.....	17
1.3.6.2.	Katodik İnhibitörler	19
1.3.6.3.	Karma İnhibitörler	20
1.3.7.	Ortamın Kimyasal Özelliğinin Değiştirilmesi	22
1.3.8.	Koruyucu Kaplama Oluşturma	22
1.3.8.1.	Organik Kaplama.....	22
1.3.8.2.	İnorganik Kaplama	23
1.3.8.3.	Metalik Kaplama	23
1.3.8.4.	Kendiliğinden Toplanan Tekli Tabakalar (SAMs).....	25
1.3.8.4.(1)	Sol-jel Yöntemi	28
1.3.8.4.(1).(a).	Daldırma işlemi ile film oluşturma	29
1.3.8.4.(1).(b).	Döndürme işlemi ile film oluşturma	30
1.4.	Çinko Hakkında Genel Bilgiler.....	30
1.4.1.	Çinkonun Tarihçesi.....	31
1.4.2.	Çinkonun Doğada Bulunuşu	32
1.4.3.	Çinkonun Eldesi.....	33
1.4.4.	Çinko Kullanımının Endüstrilere Göre Gruplandırılması.....	33
1.4.5.	Çinkonun İnsan Sağlığına Etkileri	34

1.4.6. Çinkonun Bulunduğu Gıdalar	35
1.4.7. Çinkonun Korozyon Davranışı	35
1.5. Magnezyum Hakkında Genel Bilgiler	37
1.5.1. Magnezyumun Tarihçesi.....	38
1.5.2. Magnezyumun Eldesi.....	39
1.5.4. Magnezyumun Alaşımları.....	40
1.5.5. Magnezyumun İnsan Sağlığına Etkileri.....	41
1.5.6. Magnezyumun Korozyon Davranışı	41
1.6. Çalışmanın Amacı	42
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR.....	43
3. MATERYAL VE METOD	57
3.1. Materyal	57
3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler.....	57
3.1.2. Kullanılan Elektrotlar	58
3.1.3. Kullanılan Cihazlar	58
3.1.4. Kullanılan Diğer Malzemeler.....	59
3.2. Metod	59
3.2.1. Elektrotların Hazırlanması	59
3.2.2. Kullanılan Elektrotların İçerikleri	60
3.2.3. Elektrolit Çözeltisinin Hazırlanması	60
3.2.4. Metal Yüzeylerinin Silan ile Kaplanması	60
3.3. Kullanılan Silan Bileşiğinin Özellikleri	61
3.4. Korozyon Testleri.....	61
3.4.1. Elektrokimyasal Ölçümler.....	62
3.4.2. Yapay Yağmur Suyunun İçeriği.....	62
3.5. Gerçekleştirilen Analizler	63

4. BULGULAR VE TARTIŞMA	65
4.1. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi ile Elde Edilen Deneysel Bulgular	65
4.1.1. Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	65
4.1.1.1. %5’lik Klorodimetil Çözeltisinde Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	65
4.1.1.2. %10’luk Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	71
4.1.1.3. %20’lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	77
4.1.1.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	80
4.1.1.5. pH=10’da Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	85
4.1.1.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	89
4.1.1.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	95
4.1.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	100
4.1.2.1. %5’lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	100
4.1.2.2. %10’luk Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	103

4.1.2.3. %20'lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	107
4.1.2.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	110
4.1.2.5. pH=10'da Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	114
4.1.2.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	116
4.1.2.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	121
4.2. Akım Potansiyel Eğrileri Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular.....	128
4.2.1. Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	129
4.2.1.1. %5'lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	129
4.2.1.2. %10'luk Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	131
4.2.1.3. %20'lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	134
4.2.1.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	136
4.2.1.5. pH=10'da Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	138

4.2.1.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko	
Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar	141
4.2.1.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film	
Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	145
4.2.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	148
4.2.2.1. %5'lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	148
4.2.2.2. %10'luk Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	150
4.2.2.3. %20'lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	153
4.2.2.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	155
4.2.2.5. pH=10'da Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	158
4.2.2.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-	
Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen	
Sonuçlar	160

4.2.2.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar.....	163
4.3. SEM Görüntü Sonuçları.....	166
4.3.1. Çinko Elektrot için Elde Edilen SEM Görüntü Sonuçları....	166
4.3.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot için Elde Edilen SEM Görüntü Sonuçları	168
4.4. Temas Açısı Ölçüm Sonuçları	170
4.4.1.Çinko Elektrot için Elde Edilen Temas Açısı Ölçüm Sonuçları.....	171
4.4.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot için Elde Edilen Temas Açısı Ölçüm Sonuçları.....	172
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	175
5.1. Çinko Metali için Sonuçlar ve Öneriler	175
5.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı için Sonuçlar ve Öneriler	176
KAYNAKLAR	179
ÖZGEÇMİŞ	187



ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	Çinkonun Fiziksel Özellikleri	31
Çizelge 1.2.	Magnezyumun Fiziksel Özellikleri	38
Çizelge 3.1.	Çalışma elektrodu olarak kullanılan magnezyum alaşımının elementel bileşimi (AZ63)	60
Çizelge 3.2.	Yapay Yağmur Suyunun İçeriği	62
Çizelge 4.1.	%5 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	71
Çizelge 4.2.	%10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	74
Çizelge 4.3.	%20 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	80
Çizelge 4.4.	Karışım silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	84
Çizelge 4.5.	pH=10'da hazırlanan silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	88
Çizelge 4.6.	Sol-jel yöntemi ile hazırlanan silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	92
Çizelge 4.7.	%5 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	103
Çizelge 4.8.	%10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	106
Çizelge 4.9.	%20 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	110
Çizelge 4.10.	Karışım çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları	113

Çizelge 4.11. %5 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	131
Çizelge 4.12. %10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	133
Çizelge 4.13. %20 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	135
Çizelge 4.14. Karışım silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	138
Çizelge 4.15. pH=10'da silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	140
Çizelge 4.16. Sol-jel silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	143
Çizelge 4.17. %5 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	150
Çizelge 4.18. %10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	152
Çizelge 4.19. %20 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	155
Çizelge 4.20. Karışım silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri.....	157

ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Korozyonun oluşum reaksiyonları şekli	4
Şekil 1.2.	Çukur korozyon şekilleri.	7
Şekil 1.3.	Çukur korozyonu oluşum mekanizması	7
Şekil 1.4.	Galvanik korozyonun oluşum şekli	8
Şekil 1.5.	Atmosferik korozyonun oluşumu	10
Şekil 1.6.	Sıvı film kalınlığı ile atmosferik korozyon ilişkisi	12
Şekil 1.7.	Potansiyostatik polarizasyon diyagramı: Metalin ortama eklenen anodik inhibitör içeren çözeltideki (a) ve inhibitörsüz çözeltideki (b) elektrokimyasal davranışlarının kıyaslanması (Camila, 2014).....	18
Şekil 1.8.	Ortama eklenen anodik inhibitörlerin korozyona etki mekanizmasının şematik gösterimi	18
Şekil 1.9.	Potansiyostatik polarizasyon diyagramı :Metalin katodik inhibitör içeren çözeltideki elektrokimyasal davranışı (a) ve metalin inhibitörsüz çözeltideki (b) elektrokimyasal davranışlarının kıyaslanması	19
Şekil 1.10.	Ortama eklenen katodik inhibitörlerin etki mekanizmasının şematik gösterimi	20
Şekil 1.11.	Oluşan Tabakalar içindeki çekim kuvvetlerinin gösterimi	25
Şekil 1.12.	Silan kaplama ajanlarının inorganik yüzeylerdeki reaksiyonu (Madsen,1999).....	27
Şekil 1.13.	Daldırma ile ince film oluşturma aşamaları	30
Şekil 1.14.	Çinkonun sulu ortamda potansiyel-pH diyagramı (Pourbaix,1949).....	36
Şekil 1.15.	Magnezyumun yoğunluğunun bazı metallerin yoğunluğu ile karşılaştırılması(Polmear,2006).....	37

Şekil 2.1.	Birleştirilmiş yüzey kaplamaların üretim sürecinin şeması (Nie ve ark, 2021).....	56
Şekil 3.1.	Klorodimetil silan ve viniltrietoksilan şekli	57
Şekil 4.1.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	66
Şekil 4.2.	%5'lik Çözeltide işlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	67
Şekil 4.3.	İşlemsiz çinko ve film oluşturulmuş çinko elektrotun eşdeğer devresi	67
Şekil 4.4.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	68
Şekil 4.5.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	69
Şekil 4.6.	Klorodimetil silan çözeltisinde 30 dk bekletilerek film oluşturulmuş çinko elektrotun eşdeğer devresi	70
Şekil 4.7.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve % 10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı	72
Şekil 4.8.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	73
Şekil 4.9.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %10'luk çözeltide 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	75
Şekil 4.10.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	76
Şekil 4.11.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %20'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	78
Şekil 4.12.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	79
Şekil 4.13.	İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	82

Şekil 4.14. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	83
Şekil 4.15. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	86
Şekil 4.16. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	87
Şekil 4.17. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	90
Şekil 4.18. İşlemsiz çinko elektrot($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun($\circ$) Bode eğrisi.....	91
Şekil 4.19 Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	93
Şekil 4.20 Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Bode eğrisi	94
Şekil 4.21. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve anilin çözeltisi ile film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı	95
Şekil 4.22. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi	97
Şekil 4.23. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve kloro dimetil silan çözeltisi ile film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı.....	98
Şekil 4.24. İşlemsiz çinko elektrot($\square$) ve klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş çinko elektrotun($\circ$) Bode eğrisi.....	99
Şekil 4.25. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	101
Şekil 4.26. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi	102

Şekil 4.27. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	105
Şekil 4.28. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	105
Şekil 4.29. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %20'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	108
Şekil 4.30. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	109
Şekil 4.31. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	111
Şekil 4.32. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	112
Şekil 4.33. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı.....	115
Şekil 4.34. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	116
Şekil 4.35. İşlemsiz magnezyum alaşım elektrot ($\square$) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan magnezyum alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı	117
Şekil 4.36. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi.....	119
Şekil 4.37. Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun Nyquist diyagramı	120
Şekil 4.38. Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun Bode eğrisi	121

Şekil 4.39. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve anilin çözeltisi ile film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) Nyquist diyagramı	122
Şekil 4.40. İşlemsiz Mg alaşım elektrot($\square$) ve anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun(o) Bode eğrisi	124
Şekil 4.41. Mg alaşım elektrot ($\square$) ve kloro dimetil silan çözeltisi ile film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) Nyquist diyagramı	125
Şekil 4.42. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun(o) Bode eğrisi	126
Şekil 4.43. Metal/çözelti ara yüzeyinde kondansatöre benzetilen çift tabakanın yapısı (a) ve bu ara yüzeyin temsili elektriksel eşdeğer devre şeması (b)(Erbil,2012).....	127
Şekil 4.44. Korozyon hızının Akım-potansiyel eğrileri ekstrapolasyonu yöntemiyle belirlenmesi (Erbil, 2012).....	129
Şekil 4.45. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri.....	130
Şekil 4.46. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %10'luk çözeltide 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	132
Şekil 4.47. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve % 20'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	134
Şekil 4.48. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	137
Şekil 4.49. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	139

Şekil 4.50. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	142
Şekil 4.51. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	145
Şekil 4.52. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve anilin ile pasifleştirilen çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	146
Şekil 4.53. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve dönüşümlü voltametri ile silan filmi oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	147
Şekil 4.54. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	149
Şekil 4.55. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	151
Şekil 4.56. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %20'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	153
Şekil 4.57. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	156
Şekil 4.58. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	159
Şekil 4.59. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	160
Şekil 4.60. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	162

Şekil 4.61. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve anilin ile pasifleştirilen Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri.....	163
Şekil 4.62. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve dönüşümlü voltametri ile silan filmi oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri	165
Şekil 4.63. İşlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (b) (5000 büyütme)	166
Şekil 4.64. Yüzeyde silan film oluşturulmuş çinko elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan çinko elektrotun SEM görüntüsü (d) (5000 büyütme).....	167
Şekil 4.65. İşlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (b) (5000 büyütme).....	168
Şekil 4.66. Yüzeyde silan film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (d) (5000 büyütme)	169
Şekil 4.67. Temas Açısı Şekli (Turan,2009).....	170
Şekil 4.68. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzey Temas Açıları (Turan,2009)	171
Şekil 4.69. İşlem görmemiş işlemsiz Zn (a), yapay yağmur suyunda beklemiş işlem görmemiş işlemsiz Zn (b), silan film oluşturulmuş Zn (c), yapay yağmur suyunda beklemiş film oluşturulan Zn (d) temas açısı	172

Şekil 4.70. İşlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımı(a), yapay yağmur suyunda beklemiş işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımı(b), silan film oluşturulmuş Mg alaşımı(c), yapay yağmur suyunda beklemiş film oluşturulan Mg alaşımı (d) temas açısı 173



SİMGELER VE KISALTMALAR

E	: Elektrot Potansiyeli(V)
E _{kor}	: Korozyon Potansiyeli
I	: Akım (A)
I _{kor}	: Korozyon Akımı (V)
R _p	: Polarizasyon Direnci (Ohm)
R _s	: Çözelti Direnci (Ohm)
°C	: Derece santigrat
Z	: Toplam impedans
Z'	: Gerçek İmpedans
Z''	: Sanal İmpedans
CPE	: Çift Tabaka Kapasitesi
Ω	: Ohm
C _{dl}	: Çift tabaka kapasitansı
Q _{dl}	: Diferansiyel Kapasitans
CV	: Dönüşümlü Voltametri
Pt	: Platin elektrot
Mg	: Magnezyum
SAM	: Kendiliğinden toplanan tekli tabaka
SEM	: Taramalı Elektron Mikroskobu



1. GİRİŞ

Tüm dünyada her geçen gün artan insan nüfusuna paralel olarak yeme-içme, sağlık, ulaşım, teknoloji araçlarının da önemi artmaktadır. İşlevsel cihazlar hayatımızın her evresinde kullanılmaktadır. Bu işlevsel cihazların birçoğunda metaller kullanılmaktadır. Kullanılan metallerin kullanım oranlarına bakıldığında en fazla kullanılanları demir, alüminyum, çinko, çelik, bakır, magnezyum ve bunların alaşımlarıdır. Kullanılan metallerin dayanımının yüksek olması, dış etkilere minimum oranda etkilenecek metal kayıplarının olmaması tercih edilmektedir. Dayanımın yüksek olabilmesi için metalin dış etkilere özellikle korozyona karşı korunması gerekmektedir.

Korozyona uğraması sonucu kaybedilen metal, bileşiklerinden saf halde elde edilinceye kadar harcanan kendi maliyetinin çok üstünde ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bu durum üretim tesislerine yapılan yatırımların verimini olumsuz yönde etkilemekte ve ülke ekonomisine kayıp olarak yansımaktadır. Gereken önlemler alınmadığı sürece korozyon sonucu her yıl ülkemizde ve tüm dünyada korozyon kayıpları meydana gelecektir. Özellikle atmosfer etkisinde kalan köprüler, baraj kapakları, çelik binalar, çatılar, direkler, korkuluklar, uçaklar, gemiler, tanklar metalik yapıda oldukları için korozyon sonucu kısa sürede dayanıklılığını yitirmekte ya da kullanılamaz hale gelmektedir. Bu nedenlerle bizden sonra yaşayacak olan kuşaklarında kullanabileceği yapılar oluşturabilmek için korozyon oluşumu kontrol altına alınmalı ve korozyon kayıplarını azaltacak çalışmalar yapılmalıdır.

Korozyonun sebep olduğu ekonomik kayıpları engellemek için yapılan uygulamalar büyük maliyetler ortaya çıkarabilir. Korozyona karşı koruma günümüzde çeşitli yöntemlerle yapılmaktadır. Bunlar; boyama, yüzeyi kaplama, kurban anot ya da kurban katot yöntemi, galvanizleme, inhibitör kullanımı gibi yöntemlerdir.

Özellikle daha az maliyetli bir çözüm sunabilmek için yüzeyin kaplanması ideal bir alternatif oluşturabilir. Yüzey kaplama teknolojileri görünmez radarlar, araçlar, toplar gibi askeri uygulamalarda, uçaklar ve uydular gibi hava-uzay uygulamalarında kullanılmaktadır ve önemi her geçen gün artmaktadır. Yüzey malzemenin çevre ile temas eden tüm kısımlarıdır. Malzemenin yüzeyinde görülen sürtünme ve aşınma özellikleri, optik özellikler, ışığa verdikleri tepki özellikleri, korozyon dayanımı, renk ve dış görünüm, yorulma dayanımı gibi özellikler ile malzemenin yüzey davranışı belirlenmiş olur. Böylece bazı özellikleri değiştirilmek istenen bir malzemenin tümüne koruma sağlamak ya da tümünü değiştirmek yerine sadece yüzeyini iyileştirmek yeterli olacaktır (Karasu ve Sarıcaoğlu 2018).

1.1. Korozyon

Korozyon, Latince “corrodere” kökünden türetilmiştir. Plato’nun (M.Ö. 427-347) çalışmaları ilk yazılı korozyon tanımını içerir. Plato pası metalden ayrılan toprağımsı bir tabaka olarak tarif etmiştir. İlk defa 1667 yılındaki bir Fransızca-Almanca çeviride korozyon terimi kullanılmıştır. 1836’da ise Sir Humprey Davy Fransızca’dan yaptığı bir çeviride metalik demirin deniz suyu içinde katodik korumasından bahsetmiştir. Hemen hemen aynı zamanda Michael Faraday kendi adıyla anılan elektrokimyasal etki ile akım üretimi formüllerini üretmiştir(İz,2019).

Metaller, doğada cevher olarak adlandırılan sülfürleri, oksitleri, karbonatları ve benzeri şekilde bileşikleri halinde bulunurlar. Metaller bileşikler halindeyken en düşük enerjiye ve en yüksek düzensizliğe sahiptirler. Bu bileşiklerden saf metal veya alaşım elde edebilmek için malzeme ilave etmek, emek harcamak, enerji harcamak ve belli bilgi birikimi kullanmak gerekir. Bu işlemler sonucunda, bileşiklerindeki safsızlıklardan arınıp saf hale getirilen metallerin enerjileri artar aynı zamanda entropileri yani düzensizlikleri azalır. Termodinamik yasalar doğada her şeyin en düşük enerjili halde ve en yüksek düzensizlikte kararlı hale geldiklerini açıklamaktadır.

Metalik malzemeler saf hale getirilip serbest hale bırakıldıklarında entropilerini artırarak ve üzerlerinde bulunan fazla enerjiyi dışarı vererek doğada bulundukları kararlı hallerine kendiliğinden dönmeye çalışırlar. Bu dönüş olayı metalin yüzeyinde korozyon oluşumuna neden olmaktadır.

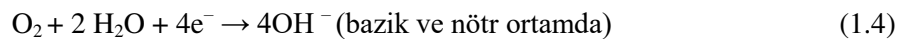
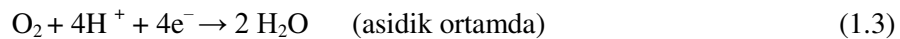
Kısaca korozyon, metalik malzemelerin çevreleri ile etkileşerek doğada bulundukları kararlı ve ilkel hallerine dönmesidir. Korozyon olayı sonucunda korozyona uğrayarak kaybedilen metal doğada bulunduğu halden alınıp kullanılabilir hale getirilinceye kadar harcanan enerji ve emek boşa gitmiş olur. Bu nedenle korozyon kaybı günümüzde büyük problemler oluşturmakla birlikte gelecekte de önlenmesi gereken büyük problemler oluşturacaktır.

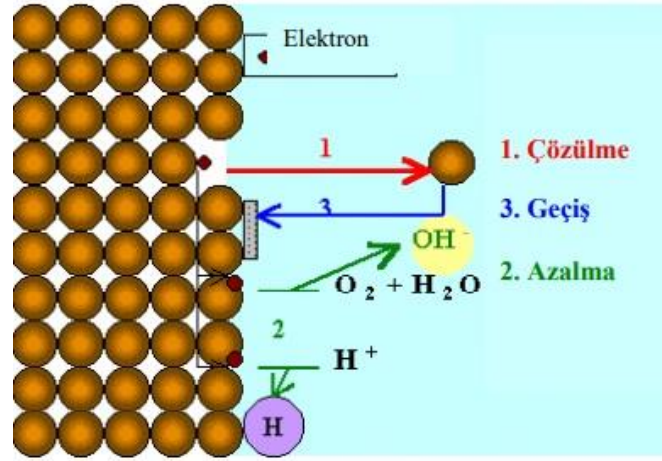
Bir metal termodinamik bir sistem olarak düşünülebilir. Bu metal üretimi sırasında aldığı enerjiyle kararsız haldedir. Sahip olduğu bu yüksek enerjiyi çevresiyle etkileşerek dışarı vermesi ve entropisini küçülterek kararlı hale gelmesi doğal bir olaydır. Üretimi sırasında harcanan enerji ne kadar fazla ise bu doğal yapıya dönüşme eğilimi de o kadar fazla olacaktır.

Korozyon; metallerin kimyasal veya elektrokimyasal yollar ile aşınmasıdır. Korozyon bir yükseltgenme- indirgenme tepkimesi olduğu için metal, korozyon hücresinin anodunu oluşturur. Bu nedenle yükseltgenerek metal iyonları halinde sulu ortama geçer. Korozyon hücresinin katodunda ise herhangi bir maddenin indirgenmesi gerekir. Şekil 1.1’de korozyonun oluşum reaksiyonları verilmiştir.



Katot: (H₂O için)





Şekil 1.1. Korozyonun oluşum reaksiyonları şekli (MEB, Kimya Teknolojisi,2009)

Korozyonu etkileyen faktörler incelendiğinde; metallerin CO_2 , SO_2 , SO_3 gibi gazları içeren havaya maruz kalması, metallerin neme özellikle tuzlu suya maruz kalması, ortam sıcaklığının artması, atmosferde asit bulunması (asit yağmurları) ve oluşan ilk oksit tabakasının doğası önemli yer tutar. (Al_2O_3 gibi oksitler korozyonu önleyen koruyucu tabaka oluştururken bazı oksitler pas gibi metalin yüzeyinin açığa çıkmasına neden olur) Ortamın koroziv özelliği ortamın bileşimine bağlıdır. Ortamdaki nem miktarı, ortamın asitliği, ortamın bazikliği, ortamın hava, su ve oksijeni geçirebilme özelliği ortamın korozyon direncine etki ederler. Korozyon direncinin yüksek olduğu ortamlarda korozyon yavaş gerçekleşir. Ortamdaki su ve tuz oranı arttıkça ortamın iletkenliği ve buna bağlı olarak korozyon hızı artar. Malzeme seçiminin etkisine bakıldığında birbiriyle potansiyel farkı bulunan metallerin bir arada kullanılması korozyonu başlatıcı ve hızlandırıcı bir etkidir. Korozyona sıcaklığın da etkisi bulunmaktadır. Ortam sıcaklığının artması ortamdaki iyon hareketini artırarak korozyon hızını artırır.

Bununla birlikte ortam sıcaklığın artmasının ortamdaki oksijen konsantrasyonunu düşürücü ve dolayısıyla korozyon hızını düşürücü etkisi de vardır. Ancak bu etki iyon hareketinin artması ile gerçekleşen reaksiyonların yanında zayıf kalmaktadır.

Korozyon tepkimeleri elektrot/elektrolit ara yüzeyinde metalin çözünmesi şeklinde gerçekleşir. Elektrot/elektrolit ara yüzeyinde gerçekleşen tepkimeler difüzyon, adsorplanma, desorplanma ve geriye difüzyondur. Korozyon ürünlerinin, yüzeyden uzaklaşması korozyonun sürmesine neden olur. Yüzeyde tepkime vermek üzere difüzyon ile gelip tepkime ürünlerinin desorpsiyonu ile olayın sürmesini sağlayan iyonlar genellikle katodik tepkimedeki iyonlardır. Korozyon olaylarında hem katodik tepkime ürünlerinin hem de korozyon ürünlerinin uzaklaşması yüzeyin daha sonraki tepkimeler için açık kalmasını neden olur ve korozyon devam eder (Erbil,1985).

Korozyonun önemini oluşturan maddeler; güvenlik, doğal kaynakları koruma ve ülke ekonomisidir. Korozyon olayı ile metal kayıplarının oluşmasının yanında metalin imal edilmesinde kullanılan iş gücü ve su da kaybolmaktadır. Bu kayıplar ülke ekonomisini olumsuz yönde etkilemektedir. Bu nedenle korozyon araştırmalarında en çok ekonomik faktör üzerinde durulmaktadır.

1.2. Korozyon Çeşitleri

Korozyon olayının etkilendiği oldukça fazla etmen vardır. Bu nedenle korozyon çeşitlerinden en çok görülenlerine bu çalışma kapsamında yer verilecektir.

1.2.1. Genel Korozyon

Korozyonun en çok karşılaşılan halidir. Tüm kimyasal yüzeylerde gerçekleşir. Oluştugu yüzeydeki metali zamanla incelterek kullanılamaz hale getirir. Sanayi’de kullanılan birçok noktada karşımıza çıkar.

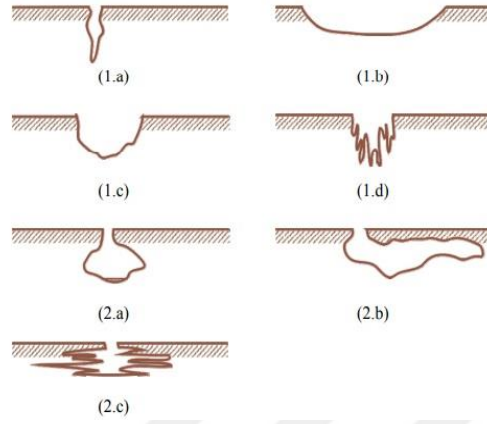
Genel korozyona en çok demir ihtiva eden yüzeylerde rastlanır. Bu korozyon en az alüminyum veya alüminyum alaşımı içeren yüzeylerde görülmektedir. Genel korozyonun en önemli nedeni metalin hava, su, toprak ile doğrudan temas etmesidir. Korozyon çeşitleri içerisinde yüzeyde en fazla hasar oluşturan tür olan genel korozyon inhibitör kullanımı, yüzeyin kaplanması, katodik koruma gibi yöntemler ile yüzeye vermiş olduğu hasar azaltılabilir.

1.2.2. Çukur Korozyonu

Metal yüzeyinde çukurcuklar oluşturduğu için bu adı almıştır. Yüzeyde oluşan çukurlar ortamda bulunan iyonların yüzeye agresif şekilde saldırması ile metalin tamamında değil belirli bölgelerinde çukurcukların oluşumu gözlenir. Bu oluşan çukurlar zamanla metalin kırılmasına veya kullanılamaz hale gelmesine neden olur. Çözeltinin sıcaklığı, metalürjik yapı, ortamda bulunan katı maddeler, aktif anyonlar ve inhibitörler çukur korozyonu oluşumunu etkileyen en önemli faktörlerdir. Birçok metalde, halojenlerin iyonlarını içeren çözeltilerde, özellikle fazla miktarda oksijen ve sodyum klorür tuzu içeren deniz suyunda çukur korozyonuna oldukça fazla rastlanmaktadır.

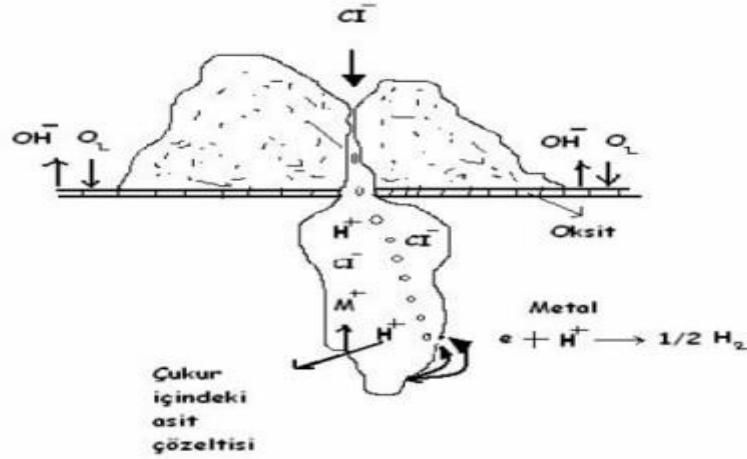
Çukur korozyonunu engellemek için; inhibitör kullanımı, katodik koruma, ortamın hareketli hale getirilmesi, kullanılan metalin alaşımının oluşturulması yapılabilir.

Şekil 1.2’de çukur korozyonunun oluşum şekilleri görülmektedir. Çukur korozyonu; oluk oyuklar ve yana doğru ilerleyen oyuklar şeklinde oluşmaktadır.



Şekil 1.2. Çukur korozyon şekilleri.

1. Oluk Oyuklar; (a) Dar derin oyuk, (b) Sığ geniş oyuk
(c) Eliptik oyuk, (d) Dik damarlı aşınma oyucuğu
2. Yana doğru ilerleyen oyuklar; (a) Yüzey altı oyuk
(b) Alt kesim oyucuğu
(c) Mikro yapıdan kaynaklı yönlenme oyucuğu (Kılınç,2009).



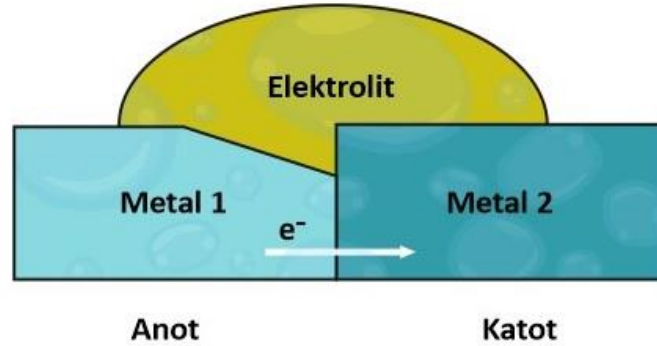
Şekil 1.3. Çukur korozyonu oluşum mekanizması (Uysal, 2006)

Şekil 1.3'de çukur korozyonun oluşum mekanizması görülmektedir. Asit çözeltisindeki hidroksil iyonlarının oksijene yükseltgenmesi ve hidrojen iyonlarının H₂ oluşturması çukur korozyon oluşumunda etkilidir.

1.2.3. Galvanik Korozyon

Potansiyel farkı olan fakat benzer özellik göstermeyen metallerin birbirine teması sonucu oluşan korozyon çeşididir. Potansiyel fark nedeniyle metaller arasında elektron akışı oluşur ve indirgenme potansiyeli düşük olan metal anot, indirgenme potansiyeli yüksek olan metal katot özelliği gösterir. Metallerin birbirine değme yüzeyi ne kadar fazla ise metaller arası elektron alış veriş o kadar fazla olacağı için korozyon oluşumu daha fazla olur. Galvanik korozyon kullanılan metallerin türüne, sıcaklığa, ortamın nem miktarına, ortam deniz ise deniz suyunun tuzluluk oranına bağlıdır. Oksijen, galvanik korozyonda önemli bir faktördür (Fontana and Greene 2018).

Galvanik korozyondan korunmak için; ortama dayanıklı metallerin seçilmesi, katodik koruma, anodik koruma, inhibitör kullanımı, organik ve inorganik kaplama yapımı alınacak önlemler arasındadır.



Şekil 1.4. Galvanik korozyonun oluşum şekli

Şekil 1.4'te galvanik korozyonun oluşum şekli görülmektedir. Galvanik korozyon herhangi bir elektrolit ortamında metallerin birbirine teması sonucu oluşmaktadır.

1.2.4. Taneler Arası Aşınma Korozyonu

Metallerin yüzey ve tane sınırlarındaki alaşım konsantrasyonlarındaki fark, ortamda enerji farkı oluşmasına neden olur. Bu enerji farkı metalin tane yüzeyini ve sınırını aşındırmaya eğilim gösterir.

Taneler arası aşınma korozyonu bir metalin kristal yapısında tanelerin sınır çizgisi boyunca meydana gelen korozyon türüdür. Bu korozyon türünde metalin tane sınırı anot, metalin tane yüzeyi katot olarak görev yapar. Örneğin; paslanmaz çelik alaşımının içerisinde bulunan türlerden bazılarının zamanla ortamda azalması sonucu paslanmaz çeliğin içerik yüzdesi değişir ve korozyona açık hale gelebilir. Taneler arası aşınma korozyonunu engelleyebilmek için metalin tavllanması, ya da özellikle çelik için çeliğin karbon içeriğinin azaltılması yapılabilir.

1.2.5. Seçimli Korozyon

Seçimli korozyon alaşım içinde bulunan elementlerden birinin korozyona uğrayarak ortamdaki uzaklaşması sonucu oluşur. Bu korozyon türünde alaşım içerisindeki metallerden birinin diğerlerinden daha önce yükseltgenerek korozyona uğraması gözlenir. Bu tür korozyona en iyi örnek pirinç alaşımıdır. Pirinç alaşımında çinko bakırdan önce yükseltgenerek korozyona uğrar ve ortamdaki uzaklaşır.

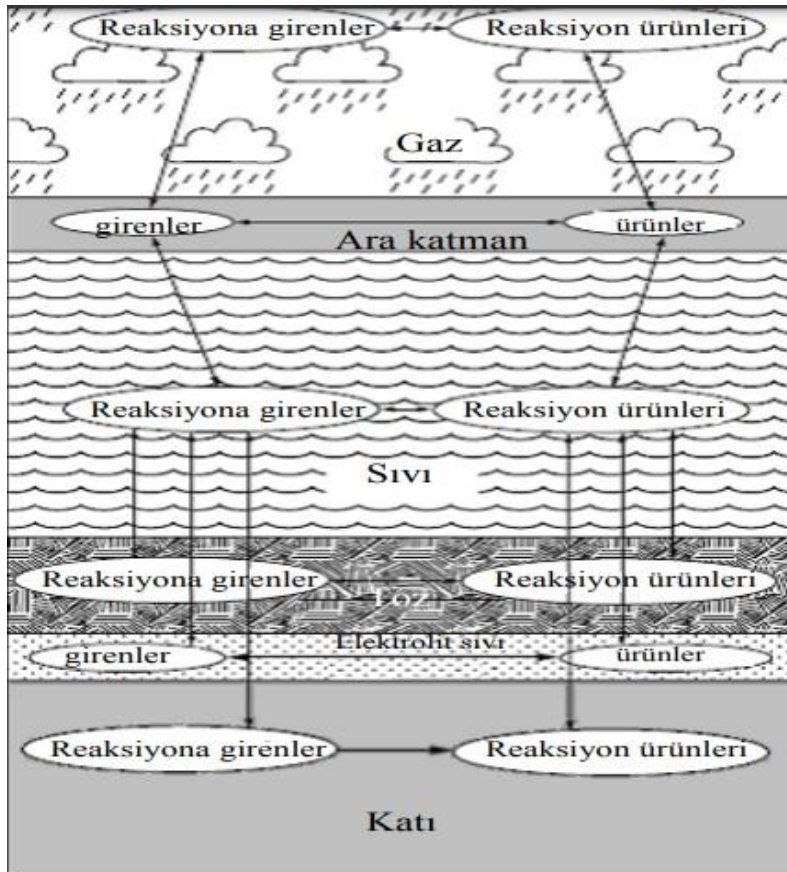
Benzer olay yapısında alüminyum, demir, kobalt, krom gibi metalleri içeren diğer alaşımlarda da gözlenir. Seçimli korozyondan korunmak için örneğin pirinç alaşımı içerisindeki çinko yüzdesi azaltılarak alaşım içerisine kalay eklenerek korozyon direnci artırılabilir. Bununla birlikte az miktarda fosfor, arsenik veya antimon ilavesi inhibitör etkisi yaparak korozyon hızını azaltabilir.

1.2.6. Çatlak Korozyonu

Farklı oksijen konsantrasyonlarında kaplanmış metal yüzeyinin altında koruyucu tabaka oluşması şeklinde görülen korozyon türüdür. Özellikle alaşımlarda ve paslanmaz çelik yüzeyinde meydana gelir. Oluşum mekanizması çukur korozyonunun oluşum mekanizmasına benzer.

1.2.7. Atmosferik Korozyon

Korozyon çeşitleri içerisinde en fazla rastlanan türdür. Yapılan araştırmalarda metalik yapıların çok büyük bir kısmının atmosferik korozyona maruz kaldığını göstermektedir. Taşıt araçlarında, köprülerde, demiryollarında, çatı örtülerinde, korkuluklarda görülen korozyon atmosfer etkisi ile oluşmaktadır. Şekil 1.5’de atmosferik korozyonun oluşum döngüsü incelendiğinde; atmosferik korozyonun hızının, hava koşullarına ve havanın endüstriyel olarak kirlenme miktarına bağlı olarak değiştiği söylenebilir.



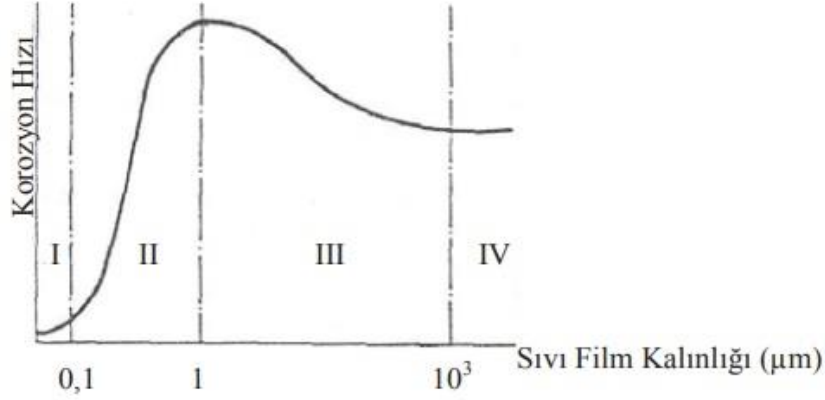
Şekil 1.5. Atmosferik korozyonun oluşumu (Fontana, 1986)

Atmosferik korozyon yerel koşullara ve coğrafik bölgelerin iklim koşullarına göre değişiklik gösterir. Yapılan çalışmalar çeliğin deniz kenarındaki korozyon hızının çöle göre yaklaşık olarak 400-500 kat daha fazla olduğunu göstermiştir(Üneri,1998). Meteorolojik olaylar kısa süreler içinde değişim gösterirler.

Atmosferik korozyon çoğunlukla tuz varlığından kaynaklanır. Atmosferik korozyonda metalin yüzeyinde biriken tuzlar, kirlilikler, ortamı kirlüten bileşenlerin cinsi, ortamda kirlilik oluşturan bileşenlerin miktarı ve bunların zamanla değişimi, metal yüzeyinin ıslak kalma süresi ve sıklığı korozyon hızında oldukça etkilidir (Yıldız ve Dehri,2013). Atmosferik korozyonun hızı; işletmeye uygun malzeme seçimine, ürünün tasarımına ve hava sıcaklığı, yıllık yağış miktarı, hava rutubeti, hava kirliliği, rüzgâr gibi çevresel faktörlere bağlı olarak da değişir. Ayrıca korozyon hızı elektrolitin metallerin yüzeyinde oluşturduğu film tabakasının kalınlığına bağlıdır(Yıldız ve Dehri,2013). Atmosferik korozyon sonucu işletmede bakım giderleri artar ve malzemenin ömrü kısalmır.

Atmosferik korozyon; yağışlardan ve atmosfer içinde bulunan su buharının yoğunlaşmasından kaynaklanan metal yüzeyinde yeterince kalınlıkta oluşan sıvı film tabakasından oluşur. Özellikle demir ve çelik yüzeylerde; anotta demirin yükseltgenmesi, çözülmüş olan oksijenin hidroksit halinde indirgenmesi gözlenir.





Şekil 1.6. Sıvı film kalınlığı ile atmosferik korozyon ilişkisi (Yalçın ve Koç,1991)

Şekil 1.6' da görülen I. bölgede yüzeyde oluşan sıvı film kalınlığı yeterli olmadığı için burada oluşacak korozyon hızı ihmal edilebilecek düzeydedir. II. bölgede sıvı film kalınlığı 0,1-1,0 μm olduğu için korozyon hızının en fazla olduğu görülür. III. bölgede ise oksijenin difüzyonu güçleştiği için korozyon hızının azaldığı görülür (Yalçın ve Koç,1991).

1.2.7.1. Atmosferik Korozyona Bağlı Nem Etkisi

Atmosferik korozyonun gerçekleştiği ortama bağlı olarak bağıl nem arttıkça genellikle korozyon hızı artmaktadır. Bağıl nemin artışıdaki en önemli etken ise ortam sıcaklığının değiştirilmesidir. Yapılan çalışmalarda; SO_2 içeren ortamda bağıl nem arttıkça çinko ve galvanizli demirin korozyon hızının arttığı, ancak NH_3 içeren ortamdaki korozyon hızının bağıl nem ile fazla ilgili olmadığını görülmüştür (Dehri ve ark,1994).

1.2.7.2. Atmosferik Korozyona Sıcaklık Etkisi

Atmosferik korozyon hızı, metal yüzeyinde oluşan sıvı filminin yüzeyinde düşük sıcaklıklarda metal yüzeyinde kuruma gerçekleşerek korozyon oluşumu gözlenir. Ortamın sıcaklığının sürekli değişmesi metal yüzeyindeki yoğunlaşmayı kolaylaştırır ve korozyon hızında artış gözlenir. Atmosferik korozyon hızı sıcaklığın düşük olduğu bölgelerde daha fazladır.

1.2.7.3. Atmosferik Korozyona Yağış ve Rüzgâr Etkisi

Atmosferik korozyonun gerçekleşebilmesi için ortamda su bulunması gerekmektedir. Bu nedenle yıllık yağış miktarı, yağışın sıklığı ve metal yüzeyinin kuruma süresi korozyon hızı ile doğrudan etkilidir. Rüzgâr ise yüzeyin kurummasını çabuklaştırmakla birlikte yüzeyde toplanan kir ve tozların sürüklenerek yüzeyden uzaklaşmasını sağlar.

1.2.7.4. Atmosferik Korozyona Endüstriyel Kirlenmenin Etkisi

Endüstriyel kirlenme yanma gibi endüstriyel işlemler sonucu atmosfere birçok gaz, buhar ve katı taneciklerin verilmesi ile oluşur. Atmosfere en fazla verilen madde kükürt oksitleridir. Bu oksitler havada bulunan su buharı ile birleşerek asit yağmurlarını oluşturur. Ayrıca deniz kenarında rüzgâr ile taşınan tuzlar metal yüzeye çökerek birikinti oluştururlar.

Atmosferik korozyondan korunmak için; boya ve benzeri maddeler ile yüzeyi kaplayarak metali çevreden yalıtmak, ortama daha dayanıklı metal seçmek, tasarımı değiştirmek, metalin hiçbir yerinde su birikintisine neden olabilecek çukur, cep, raf gibi kısımlar bulundurmamak alınabilecek önlemler arasındadır.

1.3. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyon hızını azaltarak korozyondan korunma için aşağıda verilen çeşitli yöntemler uygulanmaktadır:

1. Malzeme Seçimi
- 2.Ortamın Değiştirilmesi
- 3.Tasarım
- 4.Elektrokimyasal yöntemler
 - a. Katodik Koruma
 - b. Anodik Koruma
- 5.Kimyasal Yöntemler
 - a. İnhibitör Kullanılması
 - b. Ortamın Kimyasal Özelliğinin Değiştirilmesi
6. Koruyucu Kaplama Oluşturma
 - a. Organik Kaplama
 - b. İnorganik Kaplama
 - c. Metalik kaplama

1.3.1. Malzeme Seçimi

Korozyonu önlemenin en genel yolu malzemenin kullanılacağı yere uygun metal ve alaşımların seçilmesidir. Dayanıklı malzeme kullanımı maliyeti arttırabilir ancak bu malzemeler daha uzun ömürlü oldukları için tercih edilebilir. Örneğin, nitrik asit içeren ortamda paslanmaz çelik, kostik içeren ortamlarda nikel ve alaşımları, sulu sülfürik asit içeren ortamlarda kurşun, derişik sülfürik asit içeren ortamlarda çelik kullanılması uygundur.

1.3.2. Ortamın Değiştirilmesi

Korozyon oluşumu metalin doğada bulunduğu kararlı hale dönme isteğinden kaynaklanır. Bunun yanı sıra en önemli bir diğer sebep ise hızlandırıcı etki yaratan metalin bulunduğu ortamdır. Metalin bulunduğu ortamdaki nem miktarı, ortamın asitliği, ortamın bazikliği ortamda bulunan yükseltgeyici maddeler ve sıcaklık korozyon oluşumunu negatif yönde etkiler. Bu negatif etkiye yol açan şartların iyileştirilmesi ya da ortadan kaldırılması ortamdaki korozyonu azaltabilir.

1.3.3. Tasarım

Tasarımda mekanik dayanım ve korozyona karşı dayanım göz önünde bulundurulmalıdır. Birden fazla malzemenin kullanılması gerekli olan sistemlerde kullanılacak bir malzeme yanında bulunan diğer malzeme için tehlike içermemelidir. Bunun için kullanılacak maddelerin birbiri ile bağlantıları izole edilmeli ya da galvanik davranışları birbirine benzeyen malzemeler yan yana kullanılmamalıdır. Korozyon metal/ortam ara yüzeyinde gerçekleştiği için metal ile ortamın ilişkisini kesecek tasarım oluşturulması korozyonun kontrol altına alınmasını sağlar.

1.3.4. Katodik Koruma

Katodik korumanın temeli elektrokimyasal korozyona dayanır. Bu yöntem korunacak olan metal potansiyelinin çözeltideki anodun açık devre potansiyeline polarize edilmesidir. Polarize edilme sonucunda potansiyel negatif yöne kaydırılarak metalin yüzeyinde anodik reaksiyonların olması engellenir. Bunun için korunacak metal daha aktif bir metal ile eş oluşturulur ya da dıştan akım uygulanabilir. Akım kaynağının eksi ucu korunacak olan metale artı ucu da anota bağlanır. Potansiyeli daha pozitif olan metal katot, daha negatif olan metal ise anot konumundadır. Akım, dış devrede anottan katoda elektronlarla taşınır. İki metal arasından geçen akım anodun çözünmesini hızlandırır. Böylece katotta kullanılan metal korunurken, anotta kullanılan metal kurban edilir.

Anot koruma sırasında korozyona uğrayıp çözüldüğünden yani kurban edildiğinden belirli aralıklarla yenilenmesi gerekir. Bu sistemlerde anot malzemeleri çoğunlukla çinko, alüminyum ve magnezyum olarak kullanılmaktadır. Katodik korumanın ilk uygulamaları boru hatları üzerinde yapılmıştır. Günümüzde ise iskele ayaklarında, gemilerde, su ve petrol depolama tanklarında, ısı değiştiricilerde kimyasal maddeleri taşıyan kaplarda kullanılan birçok metalik yapı katodik olarak korunmaktadır.

1.3.5. Anodik Koruma

Anodik koruma için kullanılan metalin potansiyeli korozyon potansiyeline göre daha anodik değerde tutularak korozyon hızının azalması sağlanabilir. Anodik korumanın uygulanabileceği potansiyel bölgesine pasifleşme veya koruma bölgesi denir. Bu uygulamalar pasifleşme özelliği gösteren metal ya da metal alaşımlara uygulanabilir. Anodik koruma; galvanik anodik koruma, elektrolitik anodik koruma ve oksitleyici inhibitörler yardımıyla gerçekleştirilebilir. Bunun için pasifleşme özelliği gösteren metal içine Pt, Pb, Ag, Cu gibi alaşım yapıcı soy metaller eklenebilir veya pasifleşmiş metalin yüzeyi paslanmaz çelik, Ti, Ta gibi maddelerle kaplanabilir.

Bir metali anodik olarak korumak potansiyostat kullanarak yapılabilir. Metali koruyabilmek için uygun potansiyel, elektrokimyasal ölçümlerle belirlenir (Yalçın ve Koç,1998).

1.3.6. İnhibitör Kullanılması

İnhibitör kullanımı metallerin bulundukları ortamlara göre metalde oluşan korozyon hızını en aza indirebilecek en pratik ve ucuz yöntemdir. İnhibitörler metalin bulunduğu ortamın asidik olmasına, bazik olmasına, UV ışınlarının varlığına ve sıcaklığa bağlı olarak seçilirler. Kullanılan inhibitörlerin korozyon hızındaki etkinlikleri derişimleri ile doğru orantılıdır.

Kullanılan inhibitörün miktarı arttıkça inhibisyon etkinliği de artar. İnhibitörler; anodik tepkimeyi, katodik tepkimeyi veya her iki tepkimeyi yavaşlatarak korozyonu önlerler. İnhibitörler etki ettikleri tepkimenin türüne göre üçe ayrılırlar. Bunlar:

- (a) Anodik inhibitör,
- (b) Katodik inhibitör
- (c) Karma inhibitördür.

İnhibitörler, metal temizleme banyolarına, petrol boru hatlarına ve buhar jeneratörleri gibi çeşitli kapalı sistemlere ilave edilirler (Üneri,1998).

İnhibitörlerin etkinliği, inhibitörün korozyon hızını azaltma miktarıdır. İnhibitör etkinliği, inhibitörsüz ve inhibitörlü ortamlardaki korozyon hızlarının belirlenmesi ve karşılaştırılması ile belirlenir.

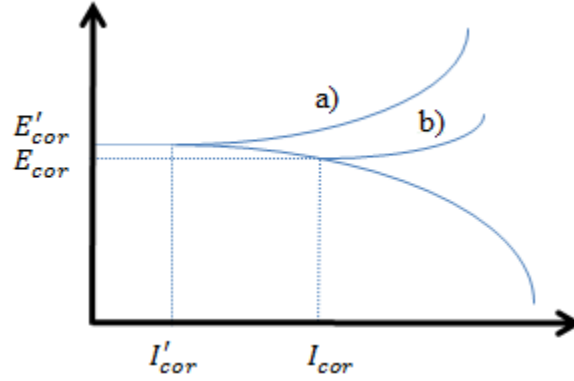
$$\% \text{ İnhibitör etkinliği} = [(i_o - i_{inh}) / i_o] \times 100 \quad (1.7)$$

Yukarıdaki bağıntıda i_o inhibitörsüz koşullarda belirlenen korozyon hızı ve i_{inh} inhibitörlü koşullarda belirlenen korozyon hızlarıdır. Kullanılan inhibitörün etkinliği; inhibitörün derişimine, sıcaklığa, ortama ve malzemenin bileşimine bağlıdır (Üneri,1998).

1.3.6.1. Anodik İnhibitörler

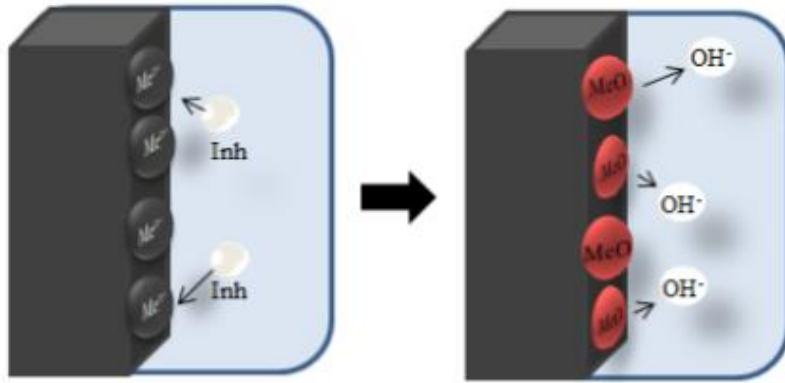
Anodik inhibitörler; anotta gerçekleşen reaksiyonlarını önleyerek korozyon hızını azaltan inhibitörlerdir. Anyonik yapıda oldukları için anodik bölgeye taşınırlar. Ortofosfat, silikat, nitrit, kromat ve benzoat inorganik yapıda olan anodik inhibitörlere örnek gösterilebilirler. Negatif yüklü olmaları nedeniyle yüzeyde adsorplandıklarında elektrot potansiyelini ve korozyon potansiyelini pozitif yönde kaydırarak anodik polarizasyona neden olurlar. Anodik inhibitörler metalin anot olduğu elektrota etki ederler. Bu inhibitörler, yüzeyin tamamını kaplayamadıkları zaman metalin belirli bölgelerinde oluşabilecek çukur ve çatlak korozyonu türlerine zemin hazırlayabilirler.

Kritik değerinin altındaki inhibitör konsantrasyonu hiç inhibitör içermeyenlere göre daha kötü etkide bulunmaktadır(Camila, 2014). Bu yüzden kullanımları sınırlıdır.



Şekil 1.7. Potansiyostatik polarizasyon diyagramı: Metalin ortama eklenen anodik inhibitör içeren çözeltideki (a) ve inhibitörsüz çözeltideki (b) Elektrokimyasal davranışlarının kıyaslanması (Camila, 2014)

Bir çözeltideki anodik inhibitör davranışıyla potansiyostatik polarizasyon diyagramı Şekil 1.7’de gösterilmiştir. Verilen şekle göre anodik reaksiyon korozyon inhibitörlerinden etkilenmiş ve metalin korozyon potansiyeli daha pozitif değere doğru kayma göstermiştir.



Şekil 1.8. Ortama eklenen anodik inhibitörlerin korozyona etki mekanizmasının şematik gösterimi

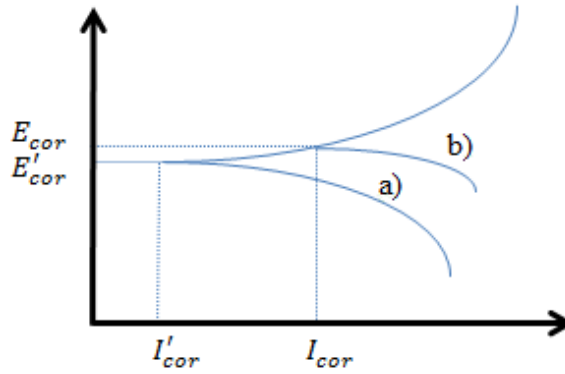
Anodik inhibitörler, Şekil 1.8.’e göre anotta üretilen metalik iyonlarla (Me^{n+}) reaksiyona girerler ve metal yüzeyinde çökelek oluşturarak çözünmeyen koruyucu bir film tabakası oluşturan hidroksiti oluştururlar. Kullanılan bu

inhibitörlerin hidrolizi sonucu OH^- iyonları oluşur. İnhibitörün derişimi yeterli miktara ulaştığı zaman metal pasifleşir.

1.3.6.2. Katodik İnhibitörler

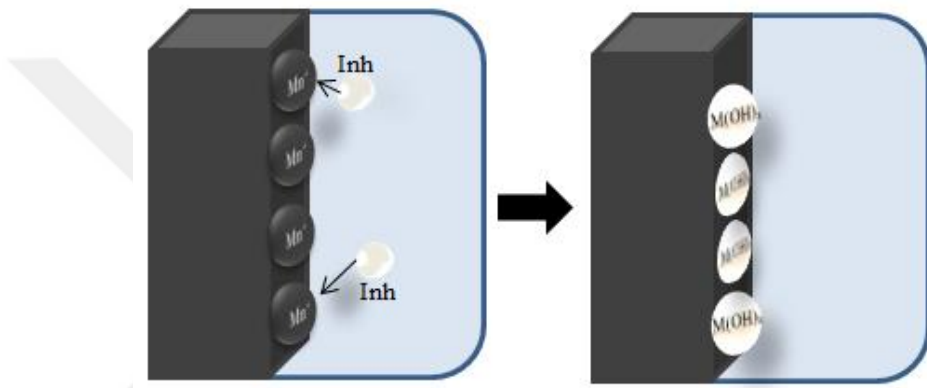
Katodik inhibitörler, çözelti ara yüzeyinde katyona etki eden ve metalin oksitlenmesini engelleyen inhibitörlerdir. Kalsiyum hidrokarbonat, nikel ve çinko tuzları gibi oksitlenince güç çözünen bileşikler oluşturarak yüzeyde ince bir film tabakası meydana getirirler. Bu maddeler oksijeni yükseltgeyici özelliklerinden dolayı ortamda gerçekleşecek korozyonu inhibite edebilirler. Burada amaç korozyon işlemi sırasında metalin katodik reaksiyonun oluşmasını önlemektir. Katodik inhibitörler asidik ortamlarda hidrojen indirgenmesi ile nötr ortamlarda ise oksijen indirgenmesi ile katodik tepkime üzerine etkiyerek korozyon hızını yavaşlatırlar.

Katodik inhibitörlerin korozyonu yavaşlatması iki şekilde gerçekleşebilir. Bunlardan ilkinde kullanılan inhibitörün yüzeyde adsorpsiyonu ile katodik tepkimenin gerçekleşeceği alan küçülmesi ile korozyon hızı azalır. İkincisinde ise kullanılan inhibitör ile katodik tepkime basamaklarından biri yavaşlatılabilir (Erbil,2012).



Şekil 1.9. Potansiyostatik polarizasyon diyagramı: Metalin katodik inhibitör içeren çözeltideki elektrokimyasal davranışı (a) ve metalin inhibitörsüz çözeltideki (b) elektrokimyasal davranışlarının kıyaslanması

Katodik inhibitörler, metal yüzeyinde çözünmeyen bir çökelti oluşturarak metalin yüzeyini kaplarlar. Böylece, metalin çevresiyle etkileşimi sınırlanır ve korozyon reaksiyonu oluşumu engellenmiş olur. Şekil 1.9 katodik bir inhibitör çözeltisinin metalin yüzeyindeki polarizasyon direncini göstermektedir. Katodik reaksiyon ortamına eklenen inhibitörlerle etkileştiği zaman korozyon potansiyeli daha negatif değerlere doğru değişir.



Şekil 1.10. Ortama eklenen katodik inhibitörlerin etki mekanizmasının şematik gösterimi

Magnezyum, çinko ve nikel iyonları suyun hidroksil iyonu ile birleşerek Şekil 1.10'da görüldüğü gibi $Mg(OH)_2$, $Ni(OH)_2$, $Zn(OH)_2$ gibi güç çözünen bileşiklere dönüşürler ve böylece katodik bölgelerde koruyucu bir film oluştururlar. Bu oluşan film tabakası oksijenin metal yüzeyine erişmesini engeller(Leçe,2008).

1.3.6.3. Karma İnhibitörler

Korozyonu önlemek için kullanılan en yaygın inhibitörler karma inhibitörlerdir. Bu inhibitörler hem anodik reaksiyonları hem de katodik reaksiyonları yavaşlatarak korozyon oluşumunu engelleyebilirler. Genellikle organik maddelerden oluşurlar. Aromatik halkalı yapıya sahip olan ya da

fonksiyonel grup olarak N,O,S elementlerini içeren organik moleküller en etkin inhibitör özelliği gösterirler. Karma inhibitörler; fiziksel, kimyasal ya da elektrokimyasal olarak ara yüzeyde etki gösterebilirler. Kullanılan bu inhibitörlerin etkilerini korozyon potansiyelini ölçerek belirlemek zordur. Bu nedenle etkinliğini belirlemek için hem inhibitörlü ortamda korozyon hızı belirlenir hem de inhibitörsüz ortamda korozyon hızı belirlenir ve bu değerler birbirleri ile kıyaslanır(Erbil,2012).

Yapılan araştırmalarda karma inhibitörün kullanılmasının inhibitör etkisini arttırdığı ve olası çukur korozyonu oluşma tehlikesini azalttığı belirlenmiştir. Bu tip karma inhibitörlere örnek olarak otomobil radyatörlerinde kullanılan nitrit ile benzoat karışımı verilebilir(Yüce,2005).

Korozyon inhibitörleri, ara yüzeyde gerçekleşen olayları engellemek ya da yavaşlatmak için kullanılırlar. Korozyon inhibitörlerinin ara yüzeydeki olayları yavaşlatma mekanizmaları:

- Yüzeye adsorplanma
- Korozyon ürünü oluşumunu engelleme
- Koruyucu bir birikinti oluşturma
- Korozyon sonucu oluşan bileşenlerini izole etme
- Korozyon bileşenlerinin etkinliğini azaltılması şeklinde gerçekleşir.

Ayrıca kullanılan inhibitörlerin etkinliği kullanıldığı ortam dışında molekül özelliklerine de bağlıdır. Bu özellikler:

- Molekülün büyüklüğü
- Molekülün aromatik yapıya sahip olması
- Molekülün konjüge bağlara sahip olması
- Molekül içi π bağlarının sayısı

- Metalin yapıya bağlanma gücü
- Metalin kompleks oluşturma gücü
- Yapıda bulunan karbon zincirinin yapısı ve uzunluğu
- Metale bağlı atomların veya grupların yapısı ve sayısı
- Molekülde üzerinde bağ yapmayan ortaklanmamış elektron çifti içeren ametaller ve bu ametallerin sayısı olarak sayılabilir.

1.3.7. Ortamın Kimyasal Özelliğinin Değiştirilmesi

Metalin bulunduğu ortamdaki nem miktarı, ortamın asidik olması, ortamın bazik olması, ortamda metali yükseltgeyici maddelerin bulunması, sıcaklık gibi özellikler korozyon oluşumunu negatif olarak etkilerler. Bu şartların değiştirilmesi ya da ortadan kaldırılması korozyon olayını azaltıcı hatta yok edici etkide bulunur.

1.3.8. Koruyucu Kaplama Oluşturma

Kaplama ortam ile doğrudan temastan kaçınmak için metalik malzemenin yüzeyinde koruyucu bir tabaka oluşturulmasıdır. Kaplama maddesi olarak boya, astar, cam elyaf, cam pul, epoksi, kauçuk veya çinko, nikel, kadminyum gibi maddeler kullanılabilir (Nalli,2010).

1.3.8.1. Organik Kaplama

Boyama en önemli organik kaplama yöntemidir. Metalik yüzeylerin korunmasında, maliyetin düşük olması ve uygulanmasının kolay olması nedeniyle oldukça fazla kullanılmaktadır. Boyalar, ortamda bulunan su ve oksijenin metal yüzeyine ulaşmasını önlerler. Boyanın cinsine karar verirken ortamın korozif özellikleri dikkate alınmalıdır. Boyalar genellikle geçirgen olmama özelliğinden dolayı tercih edilmektedir. Metalin yüzeyi uygun yöntemle temizlenmelidir (Çakır,1996). Yüzeye boya uygulanması; fırça ile, püskürtme ile, daldırma ile ve

elektrostatik yöntemler ile yapılmaktadır. Püskürtme ile kaplama yüzeye homojen bir kaplama kalınlığı ve esneklik sağlar.

Metalin her yerinde eşit kaplama kalınlığı, yüzeyin düzgün olması ve korozyon dayanımı için elektrostatik boya uygulaması yapılmaktadır. Elektrostatik boya uygulaması ile güvenli ve istenilen düzeyde film tabaksı oluşmuş damlama yapmayan tabakalar oluşturulabilir.

1.3.8.2. İnorganik Kaplama

Fosfat ile kaplama, kromat ile kaplama ve anodik işlemler inorganik kaplamalar sınıfına girer. Fosfatlamada; çözeltiye daldırılan metaller yüzeyde bir tabaka oluştururlar. Bu işlemten sonra pasifleştirme yapmak için kromatlama işlemi yapılır. Bu işlemlerde amaç korozyon direncini düşürecek için malzemenin dokusundaki gözenekleri ortadan kaldırmaktır. Anodik işlemler ise özellikle alüminyumun korozyondan korunmasının ve mekanik aşınmalara karşı dayanıklı kalın oksit tabakaları elde etmek için uygulanır.

Metal elektrolit olarak sülfürik asit, kromik asit, okzalik asit çözeltileri içerisinde anot olarak bağlanır. Anodik işlem olarak en çok kullanılan alüminyumun okzalik asit içerisindeki eloksal olarak adlandırılan oksidasyon işlemidir (Kasaplar,2007).

1.3.8.3. Metalik Kaplama

Korozyona karşı korunmak istenen metallerin yüzeylerinin korozyona daha dayanıklı bir başka metalle kaplanarak korozyondan korunması işlemidir. Kaplamada hangi metalin seçileceğine korozyonun şiddetine, yapının ömrüne, malzemenin biçimine, malzemenin boyutuna, yüzeyin dekoratif görünümüne bakılarak karar verilir (Çoban,2006).Kaplama işleminde kullanılabileceğimiz metaller; Çinko, kurşun, krom, bakır, kalay, altın, nikel ve kadmiyum gibi metallerdir. Yüzeyi kaplanacak metal katot, kaplama metali anot olacak şekilde kaplama metalinin tuz çözeltisine daldırılır ve doğru akım kaynağına bağlanır.

Anottaki metal iyonları indirgenir ve katotta yüzeyi kaplanacak malzemenin üzerine yapışır. Daldırma yöntemi ile metalik kaplama yapılırken ise kaplanacak malzeme kaplama metalinin çözeltisine daldırılır. Çinko, kalay, kurşun ve alüminyum, daldırma ile kaplamada oldukça fazla kullanılan metallerdir.

Kaplama metalinin düşük ergime sıcaklığına sahip olması istenir. Bu yöntemle kaplanacak metalin yüzeyinde bir alaşım tabakası meydana gelir. Materyalin kullanımı sırasında materyali dış ortamın etkilerinden korumak için üretimde kaplamalar yapılır. Kullanım sırasında yapılan kaplamalar dış yüzeye maruz kalmış materyalde üretim sırasında yapılan kaplamaya göre çatlak korozyonunun oluşumuna daha fazla zemin hazırlar. Polimerik malzemeleri kaplamak için teknikte çeşitli metaller kullanılabilir. Bu kaplamaların en yaygın örneği galvanizlemedir. İndirgenme potansiyeli daha yüksek olan metalin kaplama için kullanılması ile galvanizleme yapılır. Galvanizlemede kullanılan en önemli metal çinkodur.

Endüstride birçok üretim metaller sıvı çinkoya daldırılarak yüzeylerinin tamamının çinko ile kaplanması sağlanır. Böylece korozyona karşı koruma sağlanır. Kaplamada kaplanan ürünün performansını kaplama için kullanılacak materyallerin özellikleri belirler. Yüzeyin kaplanması sonucu oluşan ürünün dayanıklı olması, kaplamanın kolay uygulanabilir olması, maliyetinin düşük olması ve tekrar üretilbilir olması önemlidir.

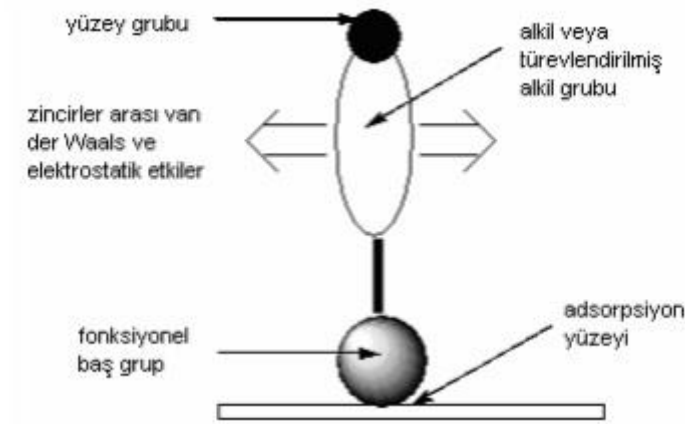
Günümüzde geleneksel yolla oluşturulan kaplamaların yüzeyde oluşturduğu korozyon, aşınma ve estetik güzelliklerin yanında kaplama oluşturulan malzemenin günlük hayattaki kullanımına uygun elektriksel, kimyasal, optik ve ısı özellik kazandırabilmek amacıyla yeni fonksiyonel kaplama türleri oluşturulmuştur(Ghost,2006).

Fonksiyonel kaplamalar aşağıda verilen şekilde sınıflandırılabilir:

- Optik özellikli kaplamalar
- Termal özellikli kaplamalar
- Yapısal-mekanik özellikli kaplamalar
- Elektriksel- manyetik özellikli kaplamalar
- Hijyenik özellikli kaplamalar
- Fizikokimyasal özellikli kaplamalar
 - ✓ Fotokatalitik kaplamalar
 - ✓ Hidrofobik ve hidrofilik kaplamalar
 - ✓ Bariyer kaplamalar
 - ✓ Korozyon dirençli kaplamalar (Arıca,2011).

1.3.8.4. Kendiliğinden Toplanan Tekli Tabakalar (SAMs)

Organik çözücüler içerisinde çözünen yüzey aktif maddelerin çözeltilerine katı adsorban maddelerin daldırılmasıyla oluşan yapılardır. Fonksiyonel baş grup alkil zincirleri ve yüzey grubundan oluşurlar(Ulman,1991).



Şekil 1.11. Oluşan Tabakalar içindeki çekim kuvvetlerinin gösterimi

Şekil 1.11 üzerinde gösterilen ilk gruba baş grup denir. Bu grup ile yüzey arasında kuvvetli çekimler sonucu kimyasal bağ oluşur. Eğer yüzeyde kloro,

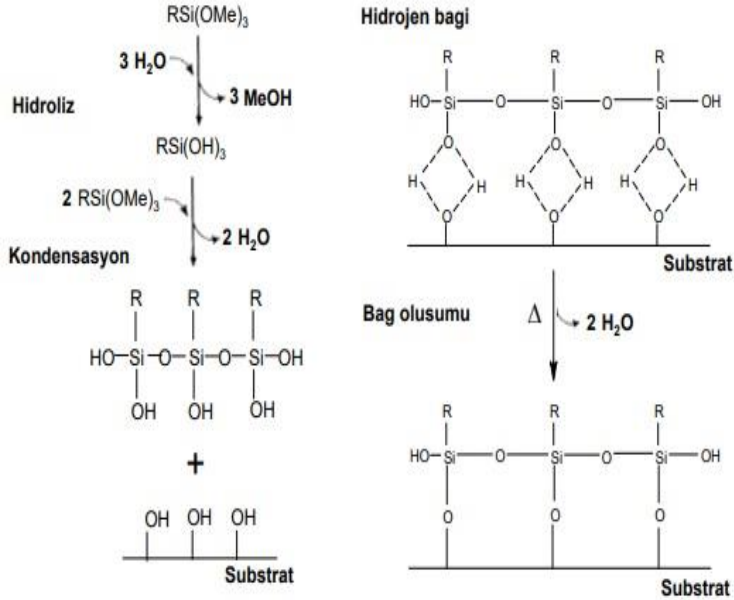
amino, silan bileşiklerinden biri bağlı ise kovalent Si-O bağı oluşur. Bu moleküllerde fonksiyonel baş grup ile adsorban yüzey arasında ekzotermik etkileşim oluşur ve moleküller yüzeye bağlanırlar. Böylece moleküler düzeyde adsorplanma olayı gerçekleşmiş olur. Moleküller üzerinde London etkileşimlerinin birbirine yakın olması sonucu moleküller arası köprüler oluşur ve üniform yapıda bağlanma sağlanır (Gooding ve ark, 1997). Alkil zincirleri tekli tabakalar üzerinde bulunan ikinci moleküler kısımdır. Bu gruba bağlı olan bir sonraki grup tekli tabakanın yüzeyini oluşturur. Uç kısımda bulunan ve fonksiyonelliği olan grup ise tekli tabakanın üçüncü kısmıdır.

Kendiliğinden oluşan tekli tabakalar silan, amino, karboksil gibi fonksiyonel grup bulunduran bileşiklerin cam, SiO₂, Cu, Ag, Au, Zn, Hg gibi destek yüzeyler üzerine kaplanması ile oluşur. Oluşturulan fonksiyonel yüzeyler; yenilebilir enerji, nanoelektronik cihazların üretimi, nanoteknoloji ve korozyon önleyici kaplamaların oluşturulmasında kullanılmaktadır.

Kendiliğinden oluşan tekli tabakalar; korozyon ve yüzeyin aşınmasını önlemede, yakıt hücrelerinde, ilaç sanayinde kapsül oluşumunu sağlamak için, pH sensörü olarak, organik materyallerin metal gibi davranmasında, iletken moleküler tel yapımında, nanometre boyutunda desenli yüzeylerin yapımında kullanılmaktadır.

SAM'ler, katı yüzey üzerine kolay, yüksek esneklikte ve oldukça güçlü tutunurlar. Aktif molekül içeren organik çözücülerde doğrudan daldırma yöntemiyle kolaylıkla elde edilirler. SAM yüzeyde hava veya sıvı ortamda dayanıklı kaplamalar üretmek amacıyla oluşturulmaktadır(Schreiber,2000).

Tekli tabaka oluşumuyla kaplama ajanlarının en yaygını alkoksisilan yapısıdır.



Şekil 1.12. Silan kaplama ajanlarının inorganik yüzeylerdeki reaksiyonu (Madsen,1999)

Şekil 1.12 ideal bir silan tekli tabaka oluşturma reaksiyonunu göstermektedir. Silanol gruplarının hem komşu silan yapısındaki silanol grupları ile hem de yüzey hidrosilleri ile birleşerek tekli tabakalar oluşturduğu görülmektedir. Tekstilde, cam ve seramikte hidrojen bağları yardımıyla yüzeye tutunma gerçekleşirken, metallerde boşta bulunan d orbital elektronları ile koordine kovalent bağ yaparak silanların yüzeye tutunması gerçekleşmektedir.

Silanlar; organik ve inorganik malzemelerle reaksiyona girebilen çok yönlü maddelerdir. Yüzeyi modifiye edebilme, çapraz bağlama oluşturabilme, birleştirme yapabilme özellikleri nedeniyle kaplama yapımında, yapıştırıcı yapımında, kompozit polimer yapımında kullanılmaktadır ve kullanım alanları her geçen gün artmaktadır.

Silan yüzey filmlerinin oluşumunda genellikle etanol çözeltisi kullanılmaktadır. Silan içeren etanol çözeltisi içine daldırılan metalde adsorpsiyon ile yüzey filmi oluşumu sağlanır. Alkolle seyreltilmiş sol çözeltileri viskozitenin

azalmasını ve seyreltik bir çözelti oluşumunu sağlayarak silan filminin yüzeye yapışması sağlamış olur(Gupta ve ark,2005).

Tekli tabaka oluşturarak ince film oluşturma yöntemleri;

- Vakumda buharlaştırma
- Reaktif buharlaştırma
- Anodizasyon
- Elektro kaplama
- Kimyasal buhar birikimi
- Püskürtme yöntemi
- Sol-jel yöntemi
 - ✓ Daldırma işlemi ile film oluşturma
 - ✓ Döndürme işlemi ile film oluşturma

1.3.8.4.(1) Sol-jel Yöntemi

Bu yöntem ile çok fonksiyonel film elde etmek mümkün olduğu için günümüzde oldukça öne çıkan bir yöntemdir. Bu yöntemde başlangıç maddesi olarak bir sol ve bu solu kullanarak jel elde edildiği için sol-jel yöntemi adını almıştır. Bu yöntem özellikle organik olmayan ince film kaplamalarında kullanılmaktadır. Çözeltinin jelleşmesi çözelti içerisinde bir ağ oluştuğunu göstermektedir.

Sol-jel yönteminin avantajları:

- Yüksek sıcaklık gerektirmemesi,
- Diğer kaplama yöntemlerine göre ekonomik olması,
- Moleküler düzeyde kontrol sağlamanın kolay olması,
- Düz yüzeyler ile birlikte şekilli yüzeylere de kaplama oluşturabilmeyi sağlaması,

- Hazırlanan filmlerin saf olması
- Hazırlanan ortam ile etkileşimin olmaması
- Prosesin kolay olması
- Geniş yüzeylere uygulanabilmesi
- Organik, inorganik ve hibrit yüzeylerin hazırlanmasına olanak sağlamasıdır.

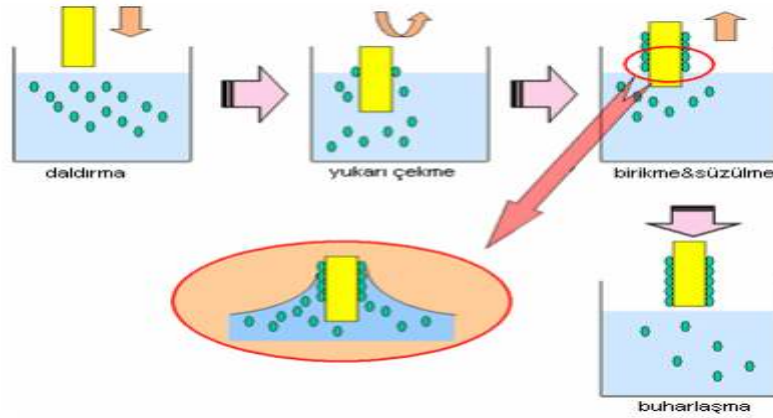
Hibrit yüzey oluşumunda bu yüzeylerin inorganik kısmı çizilmeye ve aşınmaya karşı direnç gösterirken organik kısım yüzeye yapışma ve esneklik sağlamaktadır(Yedikardeş, 2016).

Sol-jel yöntemiyle yüzeyde film oluşturulması; film oluşturulan malzemenin çizilmeye, aşınmaya ve korozyona karşı direnç göstermesini, yüzeyde elektriksel yalıtkanlığın sağlanmasını, kaplanacak maddenin termal kararlılık oluşturmasını sağlamaktadır(Collinson,2002 Chou ve ark,2003). Ayrıca biyosensör oluşumunda da bu kaplama yönteminden yararlanılmaktadır(Tatar ve ark,2007).

En az bir karbon-silan bağı içeren silan bileşiklerine organosilan denir. Bu bileşikler organik ve inorganik sol-jel kaplamaların hazırlanmasında kullanılırlar. Hibrit sistemlerde organosilanlar polimerizasyon sırasında çapraz ağ oluşturma ajanı görevi yaparlar. Organosilanlar kullanıldıkları yüzeylerde oluşturdukları kovalent bağlar ile kaplamanın yüzeye güçlü tutunmasını sağlayarak mekanik özellikleri arttırırlar(Yedikardeş, 2016).

1.3.8.4.(1).(a). Daldırma işlemi ile film oluşturma

Saydam tabakalar oluşturmak için uygulanan yöntemdir. Çözelti içerisinde doğrudan daldırma ve geri çekme şeklinde uygulanmaktadır.



Şekil 1.13. Daldırma ile ince film oluşturma aşamaları

Daldırma yöntemini kullanmanın avantajları, çok katlı kaplama yapılabilmesi, kaplanacak maddenin geometrisinden bağımsız homojen kaplama yapılabilmesi, kaplamanın düzgün olması, kaplama kalınlığının kontrol edilebilir olmasıdır.

1.3.8.4.(1).(b). Döndürme işlemi ile film oluşturma

Bu yöntemde kaplama çözeltinin belirli hızda döndürülmesi ile yapılmaktadır. Bu yöntemde solün viskozitesi değişmediği sürece kaplamanın kalınlığı sabit kalır ve film tüm yüzey üzerinde düzgün bir şekilde oluşur.

1.4. Çinko Hakkında Genel Bilgiler

Çinko kullanım açısından demir dışı metaller içerisinde alüminyum ve bakırdan sonra gelen en önemli üç metalden biridir. Çinko elementinin kimyasal sembolü "Zn"dir. Çinko periyodik cetvelin 4'üncü periyodunun 2B grubunda bulunan bir geçiş metalidir. Atom numarası 30 ve atom ağırlığı 65,38'dir.

Kaynama noktası 1180K (907°C), erime noktası ise 692,68K (419,53°C) olarak belirlenmiştir. Yoğunluğu 7,134 gram/cm³'tür. Oda koşullarında katı fazda bulunmaktadır. Çinko, parlak mavimsi beyaz bir metaldir. Çinkonun kaynama

noktası oldukça düşüktür. Bu değer özellikle pirometalurjik metal üretiminde olumlu bir özelliktir.

Çinko dökülmüş halde sert ve kırılgandır. 120°C’de şekillendirilebilir. Elektrokimyasal potansiyel dizisinde demirden daha negatif değerdedir. Böylece çinko anot olarak katodik korozyon korumada önemli bir kullanım alanı bulur. Galvanizleme bu tür uygulamalardan biridir.

Çizelge 1.1’de çinko metalinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.1. Çinkonun Fiziksel Özellikleri

Sembol	Zn
Atom Numarası	30
Atom Ağırlığı	65,38 g/mol
Ergime Derecesi	419,53 °C
Kaynama Derecesi	907 °C
Ergime ısısı	7,3 kJ/mol
Buharlaştırma ısısı	115 kJ /mol
Yoğunluk	7,14 g/cm ³
Elektron dizilimi	Ar 4s ² 3d ¹⁰
Grup,periyot,blok	12,4,d
Element serisi	Geçiş metalleri
Elektronegatiflik	1,65 (Pauling ölçeği)
İyonlaşma enerjisi	906,4 kJ/mol
Atom yarıçapı	134 pm
Kovalent yarıçap	122 pm
Van der Waals yarıçapı	139 pm

1.4.1. Çinkonun Tarihçesi

Çinko, antik çağlardan beri bilinen ancak üretimi ve kullanılması tam anlaşılmadığından diğer metallerle karıştırılan bir elementtir. Bilinen en eski çinko parçası Dakya medeniyetine ait Transilvanya'daki Dortaş harabelerinde bulunan ve %87,52 Zn + %11,41 Pb + %1,07 Fe içeren bir parçadır.

MÖ 500 yıllarına ait Comeros harabelerinde çinkodan yapılmış iki bileziğe ve 79'da yıkılan Pompei harabelerinde ise çinkoyla kaplanmış bir musluğa rastlanmıştır. Avrupa'da ilk kez Basilius Valentinius metalik çinkoyu tariflemeye "Zinck" terimini kullanmıştır. "Zinck" isminin bir metal olduğu ve bu metalin fiziksel özellikleri Paracelsus (1490-1541) tarafından yazılmıştır. Hintler 1000-1300 yılları arasında çinkoyu ticari boyutta üretmişlerdir. (wikipedia.org) 1668'de metalürji uzmanı P. Moras çinko oksitten çinko ekstraksiyonu yapmıştır. Avrupa'da ise çinko Alman kimyager Andreas Marggraf tarafından ilk kez 1746'da keşfedilmiştir.

Etimolojik olarak bakıldığında; Alman simyacı Paracelsus metal çinkoya adını vermiştir. Bu adı verirken tam olarak nereden esinlendiği bilinmemekle birlikte çinko kristallerin sivri uçlu şekilleri için sivri uçlu anlamına gelen 'zinke' kelimesinden ya da kalay anlamına gelen 'zinn' kelimesinden esinlendiği düşünülmektedir.

1.4.2. Çinkonun Doğada Bulunuşu

Çinko doğada en çok bulunan elementler arasında 23. sıradadır ve en fazla kullanılmakta olan minerali sfalerit (ZnS)'tir. Diğer mineralleri arasında franklinit ($(Fe, Mn, Zn)(Fe, Mn)_2O_4$), smitsonit (çinko karbonat), ve hemimorfite (çinko silikat) da vardır.

Çinko yer kabuğunda genellikle oksitli, silikatlı, karbonatlı, sülfürlü halde bulunur. Çinko, kolay oksitlenir. Oksidasyon zonlarında nabit çinko, azurit, kuprit, tenorit ve malakit mineralleriyle beraber bulunur. (Dedemli, 2008)

Çinko cevherleri çoğunlukla kurşun ve kadmium mineralleri ile beraber bulunan çinko sülfür şeklindedir. Çinko cevherleri genel olarak birçok ticari değerli mineralin kompleks karışımlarıdır. Bu yüzden kırma, öğütme ve flotasyon gibi yöntemlerle çeşitli cevherlerden ayrışmaları gerekmektedir. Çinko sülfürü indirgemek zor olduğundan çinko oksite dönüştürmek için kavurma işlemi yapılır.

1.4.3. Çinkonun Eldesi

Günümüzün en büyük çinko cevher üreticileri Avustralya, Kanada, Çin, Peru ve ABD'dir. Çinko üretiminde kullanılan izabe tekniği 1700'lü yıllarda Çin'den İngiltere'ye geçmiştir.

Öncelikle çinko destilasyon yöntemi ile üretilmiştir. Bu yöntemde sızdırmaz bir kil potada çinko odun kömürü ile eritilmiş ve yapısında bulunan sülfat, karbonat gibi kompleks bileşiklerden arındırılmıştır.

Fakat bu üretimde aktif hale gelen çinkonun atmosferle teması engellenemediği için saf çinko eldesinin oldukça zor olduğu görülmüştür. 1800'lü yıllarda 100-150°C sıcaklıkta tavlanan çinkodan sac levha elde edilmiş ve böylece çinko çok daha geniş bir kullanım alanı kazanmıştır. Günümüzde ise çinko sülfür mineralleri flotasyon ile zenginleştirilerek kavrulur. Çinko sülfürün çinko oksite dönüşümü sağlanır ve sülfürik asit ile muamele edilerek elektroliz işlemi uygulanır ve saf çinko elde edilmiş olur.

Ülkemiz zengin çinko yataklarına sahiptir. Genellikle çinko kurşun bileşikli cevherlerden çıkarılmaktadır. En çok çinko cevheri bulunan bölgeler; Balıkesir Balya, Elazığ Keban, Adana, Amasya Gümüşhacıköy, Niğde, Antalya, Kayseri, Adapazarı, Yozgat Akdağmadeni'dir.

1.4.4. Çinko Kullanımının Endüstrilere Göre Gruplandırılması

Çinko dünyada en çok kullanılan ilk 3 madenden biridir ve oldukça fazla kullanım alanına sahiptir.

- Çatı kaplama ve çatı izolasyonunda
- Pirinç, Galvaniz, Alüminyum, Bakır, Magnezyum gibi pek çok değerli metalin oluşturulmasında
- Otomobil sanayisinde
- Çeliğin dayanıklı hale getirilmesinde

- Lehim ve alaşım yapımında
- Pillerin gövdelerinin yapımında
- Deodorantlarda ve ahşap koruyucu yapımında
- Organik maddelerin sentezinde
- Diş dolguları ve alçılarında
- Süs ürünlerinde
- İlaç ve merhemlerde
- Kozmetik ürünlerinde
- Saat akrep ve yelkovanlarında
- Tarım ilaçlarında
- Tekstil boyalarında
- Vitamin ve mineral katkılarında
- Kauçuk yapımında ve pudralarda kullanılmaktadır.

1.4.5. Çinkonun İnsan Sağlığına Etkileri

Çinkonun insan sağlığı için önemli bir yeri vardır. Çinko metabolizmanın faaliyetlerine katılan önemli bir mineraldir. İnsan vücudundaki karaciğer, kas, böbrek ve göz gibi organlarda çinko vardır. Vücutta gerçekleşen biyokimyasal reaksiyonlarda enzimleri aktif hale getirdiği tespit edilmiştir.

- Büyüme ve gelişmede
- Bağışıklık sistemini güçlendirmede
- Yaraların iyileşmesinde
- Hamile kadınlarda fetüsün büyümesinde
- Dokuların yenilenmesi ve tümörlerin yok edilmesinde
- Diyabet tedavisinde
- Sedef ve bazı deri hastalıklarının tedavisinde olumlu etkileri olduğu bilinmektedir.

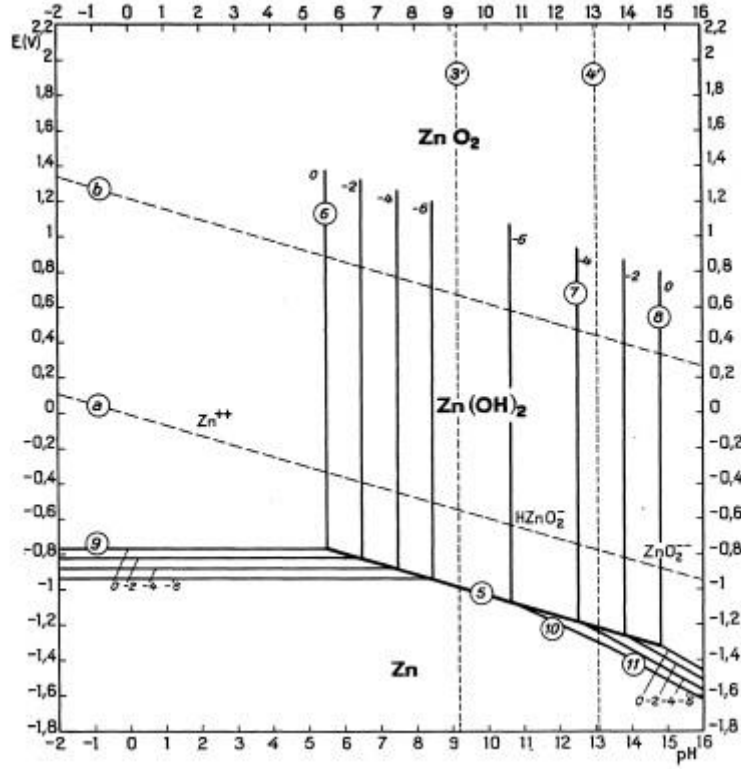
1.4.6. Çinkonun Bulunduğu Gıdalar

Bir insanın günlük çinko ihtiyacı en az 15 mg'dır. Çinko içeren gıdalar;

- Et ve deniz ürünleri
- Ayçiçeği ve kabak çekirdeği
- Badem, ceviz, fındık,
- Tahıllar, baklagiller
- Peynir, süt ve yumurta
- Brokoli ve lahana' dır

1.4.7. Çinkonun Korozyon Davranışı

Metalin oluşabilecek tüm korozyon olayını inceleyebilmek için bu metalin hangi ortamda hangi ürünü oluşturduğunu bilmek gerekir. Bir metalin elektrot potansiyeli ile içine daldırılmış olduğu sulu çözeltinin pH değerine göre termodinamik verilerden yararlanılarak metalin korozyon davranışları tahmin edilebilmektedir.



Şekil 1.14. Çinkonun sulu ortamda potansiyel-pH diyagramı (Pourbaix,1949)

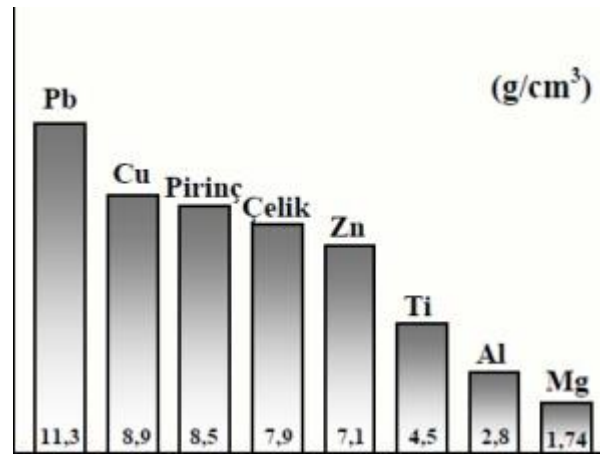
Şekil 1.14'te çinkonun sulu ortamda korozyon davranışlarını gösteren şekil verilmiştir.

Şekilden de görüldüğü gibi çinkonun su ile reaksiyonu üç farklı bölgeye ayrılır. Çözünen ürün geniş asidik ve dar bazık bölgede görülmektedir. Bu bölgelerde çinko yüzeyinde korozyonun oluşumu gözlenir.

Bu iki bölge arasında pasif bölge olarak adlandırabileceğimiz korozyonu engelleyecek film oluşumu görülür. Bağışıklık bölgesinde ise metal termodinamik olarak karalıdır ve korozyon oluşumu gözlenmez. Şekilde 1.14'te uygun pH ($\text{pH} < 8$) ve uygun potansiyel ($> 1 \text{ V}$) değerlerinde çinkonun +2 değerlikli çinko iyonuna dönüştüğü görülmektedir.

1.5. Magnezyum Hakkında Genel Bilgiler

Magnezyumun atom numarası 12, atom ağırlığı 24,305 ve sembolü Mg'dir. Erime noktası 650 °C ve kaynama noktası 1090 °C 'dir. Alkali metal grubunda bulunur ve gümüş beyazı renktedir. En hafif metaller arasında yer alır. Hekzagonal kristal yapısındadır. Yoğunluğu doğada bulunan diğer metallere göre oldukça düşüktür. Şekil 1.15'te magnezyumun yoğunluğunun bazı metaller ile karşılaştırılması verilmiştir. Yoğunluğunun alüminyumdan %36, çelikten ise %78 daha hafif olduğu görülmektedir(Avedesian ve Baker 2009; Polmear 2006).



Şekil 1.15. Magnezyumun yoğunluğunun bazı metallerin yoğunluğu ile karşılaştırılması (Polmear,2006)

Doğada en çok bulunan sekizinci elementtir. Doğada saf olarak bulunmaz, oksitleri, sülfürleri, hidroksitleri şeklinde bulunur.

Yerkabuğundaki minerallerin yüzde 3'lük kısmını kapsar. En büyük magnezyum kaynağı deniz suyudur. Bunun dışında magnezit, dolomit, karnalit, kieserit, kainit ve polihalit gibi mineraller başlıca magnezyum kaynağıdır.

Çizelge 1.2'de magnezyum metalinin fiziksel özellikleri verilmiştir.

Çizelge 1.2. Magnezyumun Fiziksel Özellikleri

Sembol	Mg
Atom Numarası	12
Atom Ağırlığı	24,305 g/mol
Ergime Derecesi	650 °C
Kaynama Derecesi	1090 °C
Isıl iletkenlik	156 W
Buharlaşma ısısı	128 kJ /mol
Yoğunluk	1,738 g/cm ³
Elektron dizilimi	Ne 3s ²
Grup,periyot,blok	2,3,2
Element serisi	Toprak Alkali Metaller
Elektronegatiflik	1,31 (Pauling ölçeği)
İyonlaşma enerjisi	737,7 kJ/mol
Atom yarıçapı	150 pm
Kovalent yarıçap	130 pm
Van der Waals yarıçapı	173 pm

1.5.1. Magnezyumun Tarihçesi

Magnezyumun ismi Yunanistan'ın geniş magnezyum yatakları bulunduran antik ve turistik kenti Magnesia'dan gelmektedir.

Magnezyum element olarak 1755 yılında İskoç kimyager Joseph Black tarafından keşfedilmiştir. 1789 yılında magnezyumun silikat bileşiği olan lületaşı İngiliz kimyager Thomas Henry tarafından keşfedilmiştir.

1792 yılında magnezyumun kömürle ısıtılması sonucunda magnezyumun saf olmayan formu keşfedilmiştir.

1808 yılında Sir Humpry Davy tarafından magnezyum saf olarak izole edilmiştir ve adı ilk defa ‘magnezyum’ olarak kullanılmıştır. 1833 yılında Michael Faraday erimiş susuz magnezyum klorürü elektroliz ederek magnezyumun metal formunu elde etmiştir.

1.5.2. Magnezyumun Eldesi

Magnezyum yataklarının en fazla bulunduğu ülkeler; Kanada, Avustralya, Çin, Brezilya, Norveç, Yunanistan, Rusya ve Çek Cumhuriyeti’dir. Magnezyum doğada saf halde bulunmamaktadır. Deniz suyundan eldesi oldukça yaygındır. Deniz suyundan magnezyum elde etmek için öncelikle magnezyum tuzları kalsiyum hidroksit ile çöktürülür. Daha sonra hidroklorik asitte çözülüp ısıtılır. Elde edilen magnezyum klorür tuzu elektroliz edilerek saf magnezyum elde edilir. Ayrıca magnezit, dolomit gibi yatlardan da termal redüksiyon ile magnezyum elde edilmektedir(Friedrich ve ark,2006). Ülkemizde magnezyum yatakları Konya, Kütahya, Eskişehir, Erzincan ve Çankırı’da bulunmaktadır.

1.5.3. Magnezyumun Kullanımının Endüstrilere Göre Gruplandırılması

Magnezyum metal içinde hiçbir yabancı madde bulunmayan saf haldeyken oldukça yumuşaktır. Bu şekliyle; metallerin tuzlarından arındırılmasında, işaret fişeklerinde, eczacılık alanında, döküm demir yapımında ve fotoğraf makinelerinin flaş kaplamalarında kullanılmaktadır.

Ancak alüminyum, çinko ve zirkonyum gibi başka metallerle alaşım yapıldığında sertleşir. Magnezyum alaşımlarının özgül dayanım değeri alüminyum alaşımları ve çeliklere göre daha yüksektir(Kandemir ve ark,2003).

Magnezyumun mekanik özellikleri alüminyum ve çinko katılarak büyük ölçüde iyileştirilebilmektedir. Ayrıca mangan da metalin korozyona karşı dayanıklılığını arttırmaktadır.

Çeşitli mühendislik uygulamalarında kullanılan magnezyum alaşımlarında temel alaşım elementi olarak alüminyum tercih edilmektedir. Bunun temel nedeni;

malzemenin çekme dayanımını ve sertliğini arttırması ve dökülebilirliğini olumlu yönde etkilemesidir.

1.5.4. Magnezyumun Alaşımları

Magnezyum ticari olarak saf halde kullanılmasına rağmen mühendislik uygulamalarında genellikle alüminyum, çinko, gümüş, mangan, zirkonyum gibi metallerle alaşım oluşturularak kullanılmaktadır (Polmear 2006; Birol 2009). Alaşıma ilave edilen elementin cinsine ve miktarına bağlı olarak oluşan alaşımın fiziksel özellikleri değişmektedir. Örneğin; alaşıma eklenen alüminyum sertliği, dayanıklılığı ve korozyon direncini arttırmaktadır. Dayanıklılığın en fazla olduğu alaşımın yapımında kullanılan alüminyum miktarının %6 olduğu görülmüştür (Polmear 2006; Friedrich ve Mordike 2006; Seçgin 2012). Çinko ise magnezyum alaşımına genellikle oda sıcaklığında dayanımı arttırmak için eklenmektedir. Alaşımda kullanılan çinko miktarı % 2'den fazla olduğunda yüzeyde kırılmalar oluşur.

Magnezyum ve magnezyum alaşımlarının üstün özellikleri;

- Yoğunluğunun küçük olması
- Özgül dayanımının yüksek olması
- Yüksek hızda torna ve freze ile işlenebilir olması
- Dökülebilirliğinin iyi olması

Magnezyumun olumsuz özellikleri;

- Kimyasal aktivitesinin oldukça yüksek olması
- Katılaşıırken yüksek çekme özelliği göstermesi
- Eritme sırasında yanma gibi döküm problemlerine yol açması
- Şekillendirilmesinin sınırlı olması

Magnezyum ve Alaşımlarının kullanım alanları;

- Uçak sanayi
- Gemi sanayi
- Otomobil endüstrisinde motor sanayi
- Kaplama ve aşınmaya karşı koruma (demir ve çelik için)
- Alaşımların sertleştirilmesi
- İlaç sanayi
- İnşaat sektörü
- Kimya endüstrisinde indirgeyici olarak
- Fotoğraf makinesi yapımı

1.5.5. Magnezyumun İnsan Sağlığına Etkileri

Magnezyum vücutta en bol bulunan dördüncü katyondur(Martin ve ark,2009). Vücuttaki kalsiyum ve potasyumunun işlevini artırır. Magnezyum hücrelerimizi alüminyum, nikel, kadmiyum gibi zararlı elementlerden korur.

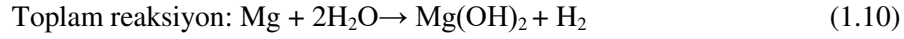
Enerji metabolizmasını ilgilendiren fosfat gruplarının ve reaksiyonlarının aktive edilmesinde önemli rol oynar.

Hücre zarının elektriksel potansiyelinin değişmesini sağlayarak hormonların ve gıdaların alınımının kontrol edilmesinde etkindir.

1.5.6. Magnezyumun Korozyon Davranışı

Hava ortamında magnezyum yüzeyinde gri renkli oksit film oluşur ve bu film metali oksidasyona karşı korur. Sulu çözeltilerde; magnezyum elektrokimyasal reaksiyonlar sonucu ayrışır ve magnezyum hidroksit ile hidrojen gazı oluşturur. Anotta magnezyumun çözünmesi ve katotta hidrojen oluşumu görülür.





Magnezyum malzeme üzerinde fazla voltaj uygulandığında katodik reaksiyon sonucu korozyon oluşumu gözlenmektedir.

Magnezyum alaşımlarının korozyon reaksiyonları saf magnezyum ile benzerlik göstermektedir. Alüminyum ile oluşturulan alaşımlarda çözelti içerisinde çözünen temel bileşen magnezyum olmakla birlikte az miktarda alüminyumun da çözüldüğü gözlenmektedir (Song ve Atrens, 1999; 2003).

1.6. Çalışmanın Amacı

Endüstride birçok alanda metaller kullanılmaktadır. Kendi aralarında oluşturdukları metalik bağ nedeniyle sağlam yapıya sahip olan metaller havacılık, uzay, otomotiv, ulaşım gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Metallerin yüzeylerinde gerçekleşen elektrokimyasal olaylar sonucunda kütlelerinde azalma görülür. Bu nedenle metalleri ve alaşımları oluşacak ekonomik kayıpları azaltmak için korumak zorunlu hale gelmiştir.

Metallerin korozyonundan kaynaklanan ekonomik kayıpları azaltmak için uygulanması kolay, ucuz, tekrarlanabilir bir koruma yöntemi olarak silan bileşikler ile ince film oluşturma daha az maliyetli bir çözüm olarak görülmektedir.

Yaptığımız bu çalışmada çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımının (AZ63) yüzeyini korozyondan korumak için yüzeyde doğrudan daldırma ile film oluşturma yönteminden yararlanılmıştır. Bunun için endüstride birçok alanda kullanılan çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımlarından hazırlanan elektrotların yüzeyinde silanın alkolde ve suda hazırlanan sol-jel çözeltisi içerisinde doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyon davranışları incelenmiş ve korozyonu engellemek için alternatif bir yöntem oluşturmak amaçlanmıştır.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dehri. (1998), yapılan çalışmada polyester kaplamaların asit yağmuru çözeltisi içerisindeki korozyon davranışları elektrokimyasal impedans spektroskopisi metodu kullanılarak incelenmiştir. Yapılan kaplamalara öncelikle hızlandırılmış atmosferik korozyon testleri uygulanmış daha sonra korozif ortamda dayanıklılık testleri yapılmıştır. Asit yağmurlarının kaplamanın deforme olmasına neden olduğu gözlenmiştir.

Dehri, ve Erbil. (1999), yapılan çalışmada atmosferik korozyona bağlı nemin etkisi polyester kaplama üzerinde impedans ölçümleri ile gerçekleştirilmiştir. Bağıl nem miktarı değiştirilerek yüzeye SO_2 ve NH_3 gazlarının etkilerini gözlemlemek için amonyum sülfat çözeltisine gliserin eklenerek çözelti elde edilmiş ve kaplama direncinin bağıl neme bağlı değiştiği bulunmuştur.

Dehri ve ark. (1999), yapılan çalışmada polyester kaplamalı galvanize çelik malzemelerde atmosferik korozyonun etkisini incelemek amacıyla laboratuvar koşullarında elektrokimyasal impedans spektroskopisi ölçümleri yapılmış ve kaplamanın kenardan başlanarak 4 mm gibi çok küçük mesafelerde farklı şekillerde oluştuğu gözlenmiştir.

Özcan ve ark. (2002), yapılan çalışmada galvanizlenmiş polyester kaplı çelik üzerine kükürt dioksitin yüzeydeki deforme etkisi farklı bağıl nemlerde elektrokimyasal impedans spektroskopisi araştırılmıştır. Bu amaçla hazırlanan örnekler üzerine 16 gün süre ile belli bağıl nemde SO_2 gazı gönderilmiş ve bağıl nemin kaplamanın performansını etkilediği bulunmuştur.

Qu ve ark. (2002), Bu çalışmada SO_2 olmayan atmosfer içinde çinkonun korozyonuna NaCl biriktirme etkisi incelenmiştir. Bu koşullar altında çinkonun ilk korozyonunun düzenliliği analiz edilmiştir. Sonuçlar, NaCl'nin çinko korozyonunu hızlandırabildiğini göstermektedir. Üstel bozunma fonksiyonu kullanılarak ilişkilendirilebilen maruz kalma süresiyle birlikte çinko kütleli kazanımı artmıştır.

Kütle kazanımında ve NaCl çökelme miktarı arasındaki ilişkinin 1 ppm SO₂ içeren havada herhangi bir zamanda da doğrusal olduğu gözlenmiştir. Daha fazla miktarda NaCl birikimi, SO₂ varlığında belirli bir süre maruz kaldıktan sonra korozyonu bir dereceye kadar yavaşlatmıştır. NaCl ve SO₂'nin birleşik etkisi çinkonun korozyonuna, her bir bileşenin neden olduğundan daha büyüktür. Çinkonun korozyon ürünlerini karakterize etmek için Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi ve X-ışını kırınımı kullanılmıştır.

Dehri ve ark. (2005), yapılan çalışmada bazı sülfür içeren organik bileşiklerin varlığında yumuşak çeliğin asidik ortamda korozyonuna sıcaklığın etkisini incelenmiştir. Metil tiyoüre (MTU), feniltiyoüre (PTU) ve tiyobenzamid (TBA) bileşiklerinin yumuşak çeliğin korozyonuna inhibisyon etkilerini incelemek amacıyla 0,1 M H₂SO₄ içerisinde farklı sıcaklıklarda (30°C, 40°C ve 50°C)'de AC impedans, polarizasyon direnci ve polarizasyon eğrileri incelenmiştir. Sonuçlar; çalışılan sıcaklıklarda tüm bileşiklerin inhibisyon değerinin oldukça iyi olduğunu göstermiştir. Sıcaklığı arttırdıkça MTU'nun yüzde etkinliğinin azaldığı görülmüştür. Etkinliğin azalışı MTU 'nun fiziksel adsorpsiyonla metale tutunduğu şeklinde açıklanmıştır.

Chen ve ark. (2005), Tayvan'da, farklı iklim ve kirlilik koşullarına sahip 23 test bölgesinin seçildiği ve ISO standartları 9223–9226'ya göre değerlendirildiği dört yıllık bir maruz kalma programı gerçekleştirilmiştir. Sonuçların incelenmesi, test alanlarının çoğunun çinko numuneleri için çok aşındırıcı olduğunu ve yüksek nemli dış ortamlarda depolanan taze galvanizli ürünler için ciddi bir beyaz pas sorunu olduğunu göstermiştir. Ek olarak, klorür varlığında çinko atmosferik korozyonun ilk aşamaları, polarizasyon direncini belirlemek için elektrokimyasal empedans spektroskopisi kullanılarak susuz bir elektrolit (metanol) içinde kantitatif olarak incelenmiştir. Numuneler, dikkatlice kontrol edilen bağıl nem, sıcaklık ve kirlenici tuzlarla sentetik atmosferlere maruz bırakılmıştır. Çinko yüzeyinde korozyon ürünü bir değişiklik gözlenmiştir.

Ayrıca çinkonun korozyon ürünleri, X-ışını kırınımı (XRD) ve Fourier dönüşüm kızılötesi (FTIR) spektroskopisi ile kalitatif olarak analiz edilmiştir. Bu yüzey tabakasındaki çinko hidroksikarbonat ($Zn_5(CO_3)_2(OH)_6$) ve çinko oksidin (ZnO) klorür kirleticilerine karşı koruma sağladığı görülmüştür.

Montemor ve ark.(2006), AZ31 Mg alaşımı üzerindeki bis-[trietoksisililpropil] tetrasülfür silan ön işlemlerinin koruyucu davranışı araştırılmıştır. Silan filmine korozyon önleyici özellikler kazandırmak için çözelti seryum nitrat ve lantan nitrat çözeltisi ile modifiye edilmiştir. Ön işleme tabi tutulmuş AZ31 magnezyum alaşımının korozyon davranışı elektrokimyasal kullanılarak 0,005 M NaCl çözeltisine daldırma sırasında incelenmiştir. Elektrokimyasal deneyler seryum iyonlarının ve lantan iyonlarının varlığının silan filminin koruyucu davranışlarını geliştirdiğini göstermiştir. Sonuçlar, silan çözeltilerine katkı maddesi olarak seryum iyonlarının veya lantan iyonlarının kullanılabileceğini göstermektedir.

Zucchi ve ark.(2006), Çeşitli kimyasal işlemlerin bir magnezyum alaşımının (nadir toprak elementleri, WE43 alaşımı içeren) korozyon direncini artırma olasılığı araştırılmıştır. Asitsiz seryum(III) dönüşüm kaplamaları ve silanlı kaplamalar 0,1 N Na_2SO_4 çözeltisi içinde test edilmiştir. Bir alifatik zincire sahip silanlı bir bileşik (örneğin n-oktadesiltrimetoksisilan) çok koruyucu ve nispeten kalıcı bir kaplama üretirken, bir merkaptto grubu (3-merkaptto propiltrimetoksisilan) ile daha az koruyucu katmanlar oluşturmuştur. Seryum tuzları (seryum(III) sülfat veya seryum(III) klorür + hidrojen peroksit) ile yapılan tedaviler cesaret verici sonuçlar vermemiştir. Asitle temizleme hiçbir koşulda kaplamaların performansını iyileştirmemiştir.

Fuenta ve ark. (2006), Çinkonun kısa ve orta vadeli atmosferik korozyonu hakkında pek çok bilgi mevcuttur. Atmosfer tipinin bir fonksiyonu olarak korozyon hızı verileri, korozyon mekanizmaları, çevresel değişkenlerin etkisi, yüzey oryantasyonunun etkisi, hasar fonksiyonları vb. incelenmiştir.

Öte yandan, birçok çalışma, çok çeşitli atmosferik ortamlarda çinko üzerinde oluşan korozyon ürünlerinin doğasını farklı deneysel teknikler kullanarak analiz etmiş, ancak çok azı korozyon ürün katmanlarının morfolojisine odaklanmıştır. Bu makalede İspanya'daki çeşitli atmosfer türlerinde uzun süreli (13-16 yıl) maruz kaldıktan sonra çinko paneller üzerinde oluşan korozyon ürünlerinin özellikleri, esas olarak korozyon ürünlerinin bileşimi ve morfolojisi incelenmiştir.

Correa ve ark. (2007), Yapılan bu çalışma, %4 metiltrietoksisilan alkol solüsyonu ile muamele edilmiş AZ91 magnezyum alaşımının bir alkalın ön muamelesi olmadan korozyon davranışını araştırmayı amaçlamaktadır. Korozyon direnci, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile değerlendirilmiş ve akım yoğunlukları 0,1 M Na₂SO₄ çözeltisine daldırma sırasında potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ile izlenmiştir. Yüzey analizi yapmak için taramalı elektron mikroskobu (SEM) ve enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) kullanılmıştır. Elektrokimyasal sonuçlar, AZ91'in korozyon önleyici özelliklerinde bir gelişme olduğunu göstermiştir. AZ91 magnezyum alaşımı, sülfat ortamında düşük korozyon direncine sahip gözenekli bir oksit/hidroksit tabakası oluşturmuştur. Daha önce alkalın ön işlemine tabi tutulmuş yüzeye MTES tabakası uygulandığında AZ91 korozyon direncinin arttığı gözlenmiştir. Silan filmindeki yüksek Ce iyonu konsantrasyonu filmin bariyer özelliklerinin bozulmasını desteklemiştir.

Graeve ve ark. (2007), Silan kaplama, krom işlemlerinin yerine geçen bir metal yüzey ön işlemidir. Alüminyum, çelik ve galvanizli çelik dahil olmak üzere çeşitli metaller için uygun olması gerekmektedir. Bu hibrit organik-inorganik ince film biriktirme sistemlerine iyi korozyon performansı gözlenmiştir. Silan molekülleri, reaktif silanol gruplarına hidrolizden sonra tekli bağ ile bağlanarak metal yüzeyinde kovalent bağlı bir tabaka oluşturan tek bağ grupları içerir. Bu filmlerin kürlenmesi, korozyon koruması için gereklidir.

Isıl işlem sırasında, filmdeki reaksiyona girmemiş silanol gruplarının yoğunlaşması, tek bir bağın oluşmasına neden olmuştur.

Zucchi ve ark. (2008), yapılan çalışmalarda AZ31 magnezyum alaşımı korozyon koruması için uzun alkil zincirli organo-silanlardan oluşan kaplamaların koruyucu performansları elektrokimyasal tekniklerle değerlendirildi. Kaplamalar, oktil veya oktadesil trimetoksi silandan oluşan hidroalkolik banyolarda oluşturulmuş ve farklı pH değerlerinde hidrolize edilmiştir. Alt homolog tarafından tüm pH'larda oluşturulan kaplamaların her zaman gözenekli ve koruyucu olduğu görülmüştür. Daha yüksek homolog tarafından oluşturulan kaplamaların korozyona karşı daha dirençli olduğu ve en iyi sonuçların oktadesil trimetoksi silan ile pH 5'te hidrolize edildiğinde olduğu gözlemlenmiştir.

Montemor ve ark. (2009), Bu çalışma, galvanizli çelik yüzeyler üzerine uygulanan hibrit silan kaplamalar için dolgu maddesi olarak kullanılan CeO_2 nanoparçacıklarının (seryum (III) çözeltilerinde aktivasyonlu ve aktivasyonsuz) rolünü anlamayı amaçlamaktadır. Çalışma, modifiye edilmiş silan filmlerin geliştirilmiş korozyon koruma performansını rapor etmekte ve seryumla aktive olan nanopartiküllerin kimyasını, yüzey kaplamalarının oluşumunda yer alan mekanizmaları ve korozyon önleme kabiliyetini tartışmaktadır. Korozyon önleyici performans, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, taramalı titreşimli elektrot tekniği (SVET) kullanılarak araştırılmıştır. Silanize nanoparçacıkların kimyasal bileşimi ve katkı maddelerinin varlığından dolayı silan çözeltilerinin kimyasal değişimleri sırasıyla X-ışını fotoelektron spektroskopisi (XPS) ve nükleer manyetik rezonans spektroskopisi (NMR) kullanılarak incelenmiştir. NMR ve XPS verileri, modifiye silan çözeltilerinin ve ilgili kaplamaların gelişmiş çapraz bağlanmaya sahip olduğunu ve silan-seryum bağlarının meydana gelebileceğini ortaya çıkarmıştır.

Elektrokimyasal impedans spektroskopisi, modifiye edilmiş kaplamaların geliştirilmiş bariyer özelliklerine sahip olduğunu ve MEGEP ölçümlerinin Ce(III) iyonları ile aktive edilen seryum nanoparçacıklarının korozyon önleyici etkisini

vurguladığını göstermiştir. Potansiyodinamik polarizasyon eğrilerinde katodik ortamı simüle eden veriler için nanopartiküllerin varlığında çinkonun gelişmiş bir pasif alan gösterdiği gözlenmiştir.

Zhong ve ark. (2010), Çalışma, NaCl çözeltisindeki organik silan kaplamaları onarmak için iyileştirici ajan olarak çinko nitrat kullanma olasılığını göstermektedir. AZ91D magnezyum alaşımının organik silan ile kaplandığı 0,005 M NaCl çözeltisine nitrat eklenmiş ve kaplama daldırılmıştır. İyileşme süreci ve iyileşme mekanizması, enerji dağılımlı spektroskopi ile birleştirilmiş elektro-kimyasal ölçümler ve taramalı elektron mikroskobu ile incelenmiştir. Sonuçlar, elektrolite çinko nitrat eklenmesinin gelişmeyi durdurabileceğini göstermiştir. Kaplama sisteminin korozyon süreci ve korozyon direnci üzerinde kayda değer bir geri kazanım olabileceği belirtilmiştir.

Olivier ve ark. (2011), Galvanizli çeliğe sulu bazlı bir silan tabakası tarafından sunulan korozyon koruma özellikleri, farklı miktarlarda sodyum montmorillonit nano killerinin (Na MMT) eklenmesinden sonra incelenmiştir. Silan matrisine dahil edilmek üzere uygun sonikasyon süresini ve konsantrasyonu seçmek için Na⁺ nanokillerin sulu süspansiyonlardaki davranışı belirlenmiştir.

KuiWu ve ark. (2012), Organosilanlar, ticari bir katodik elektroforetik boyaya dahil edilerek, boyanın uzun vadeli korozyona karşı koruyucu özelliklerinde önemli bir gelişme sağlanmıştır. Organosilanların eklenmesi, mekanik özellikleri güçlendirmiş, hidrofobisiteyi geliştirmiş, su alımını azaltmış ve kaplamaların cam geçiş sıcaklığında daha az azalmaya neden olmuştur. Bu da polimerik kaplamaların yığın yapısındaki gelişmeyi ortaya koymuştur.

Elektroforez işlemi sırasında metal/kaplama ara yüzünde tercihen silanla zenginleştirilmiş katman oluşmuş ve bu da substrat ile kaplama arasında daha iyi yapışmaya yol açmıştır.

Dehri ve ark. (2012), Farklı koşullara maruz kalan polyester kaplı galvanizli çeliklerin korozyon davranışlarının değerlendirilmesi bağl nem, elektrokimyasal empedans spektroskopisi, anodik polarizasyon eğrileri ve lineer

polarizasyon direnci (LPR) ölçüm teknikleri ile yapılmıştır. Çeşitli bağıl nemlere ayarlanmış laboratuvar koşullarında farklı miktarlarda SO₂ gazına maruz bırakılan numunelerin akım potansiyel eğrileri, korozyon akım yoğunluğu ve bağıl nem artış oranları belirlenmiştir. Kaplamaların %70 bağıl neme (RH) maruz kalan numunelerinde önemli ölçüde hatasız kaplama sağlandığı fakat %80, %90 ve %100 bağıl nemde kaplamaların koruma davranışlarını kaybettikleri gözlenmiştir.

Dehri ve ark. (2013), Organik olarak kaplanmış (epoksi, poliüretan ve polyester ile) galvanizli çeliğin kesici kenar korozyonu, elektrokimyasal empedans spektroskopisi kullanılarak araştırılmıştır. Numuneler özel olarak ayrıştırılmış bölmelerde tutularak atmosferik korozyonun etkileri incelenmiştir. Numuneler 120-180 gün yapay yağmur suyu çözeltisine tabi tutulmuştur. Organik kaplamaların kesilen kenardan yaklaşık 0,8 cm'de korozyon dayanımının yüksek olduğu görülmüştür.

Öztürk ve ark. (2015), Magnezyum alaşımlarının havacılık, uzay ve otomotiv endüstrisinde yapısal malzeme olarak kullanımı gün geçtikçe artmaktadır. Henüz yaygın kullanımda olmaması ve üretiminin pahalı olması nedeniyle üreticilerin sayısı demir ve çelik üreticilerine göre çok daha azdır. Bu durum magnezyum alaşımlarının pahalı olmasının temel sebeplerinden biridir. Bu çalışmada, magnezyum ve alaşımlarının imalat yöntemleri, şekillendirilebilirlik, korozyon direnci, çevreye olan etkileri ve mevcut kullanım alanları incelenmiştir.

Alinejada ve ark. (2016), Yumuşak çeliğin aktif korunmasını sağlamak için çinko katyonu olarak ZnCl₂ içeren çevre dostu sol-jel kaplama kaynak kullanılmıştır. AC impedans verilerinin değerlendirilmesi, katkılı silanın üstünlüğünün esas olarak çinko katyonunun ara yüzeydeki korozyon önleyici işlevi olduğu göstermektedir.

Sheng ve ark. (2016), metallerin önceden modifiye edilmiş yüzeyi üzerine zwitter iyonik fosforilkolin kitosan (PCC'ler) kaplama aşılansarak biyolojik olarak bozunma gözlenebilir. Bu nedenle Zn-Mg'nin gelişmiş biyo uyumluluk ve bozunma davranışını düzenlemek ve Zn- Mg alaşımının biyo uyumluluğunu

geliştirmek amacıyla, bağlantı katmanı olarak bir silan dönüşüm katmanı (APTE'ler) kullanarak biyotik bir hücre zarı yüzeyi oluşturan bir fosforilkolin kitosan (PCC'ler) kaplama geliştirilmiştir. PCCs tabakasının yüzey pürüzlülüğünü, hidrofilikliğini ve yapışma gücünü incelemek için Atomik kuvvet mikroskobu (AFM), temas açısı (CA) ve nano-çizik testleri yapılmıştır. Bağlanma ayrıntıları, X-ışını fotoelektron spektroskopisi(XPS) ve Fourier Dönüşümü kızılötesi spektroskopisi(FTIR) ile araştırılmıştır. Deneyisel sonuçlar, PCC'lerin kaplamasının, alt tabakaninkinden yaklaşık 2 derece daha yüksek film direnci (Rf) değeri ile korozyon saldırısına karşı direnci önemli ölçüde arttırdığını göstermiştir.

Chang ve ark. (2016), AZ31 magnezyum alaşımı üzerine çinko kalsiyum fosfat kaplama ve seryum katkılı çinko kalsiyum fosfat kaplama hazırlanmıştır. Kaplamaların kimyasal bileşimleri, morfolojileri ve korozyon direnci, enerji dağılımlı X-ışını spektroskopisi(EDS), X-ışını fotoelektron spektroskopisi(XPS), X-ışını kırınımı(XRD), elektron probu mikro analizi (EPMA) ve hidrojen hacimsel ve elektrokimyasal testler ile birlikte taramalı elektron mikroskobu(SEM) ile araştırılmıştır. Zn–Ca–Ce–P kaplama, CePO₄ oluşumu nedeniyle Zn–Ca–P kaplamadan daha kompakttır ve Zn–Ca–P kaplamadan daha iyi korozyon direnci göstermiştir. Her iki kaplama da AZ31 Mg substratını yalnızca ilk daldırma periyodu sırasında korumuştur.

Kaplamalar ve alt tabakaları arasındaki mikro galvanik korozyon, daldırma süresinin uzamasıyla hidrojen oluşum hızının artmasına neden olmuştur. Ce ilavesi, Ca'nın homojen dağılımını sağlamıştır. Zn–Ca–Ce–P kaplamanın, magnezyum alaşımları üzerinde astar kaplama potansiyeline sahip olduğu gözlenmiştir.

Deniz ve ark. (2017), Magnezyum alaşımları hafif olmasına rağmen korozyon direncinin sınırlı olması kullanım alanlarını kısıtlamaktadır. Fakat halen çelik ve alüminyum alaşımlarından sonra endüstride en çok kullanılan metalik malzeme Mg alaşımlarıdır. Çok düşük korozyon direnci Mg alaşımlarının en büyük sorunudur. Bu yüzden bu çalışmada; AZ63 magnezyum alaşımına 24 saat ve 48

saat süre ile -80°C 'de kriyojenik işlem uygulanarak numunelerin elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemi ile korozyon direncindeki değişimi incelenmiştir. Elde edilen veriler incelendiğinde, kriyojenik işlem sonrası β fazının ve ince taneli yapıların artarak korozyon direncini önemli miktarda arttırdığı gözlenmiştir.

Uçar. (2019), Magnezyum alaşımları hafif ve mukavemetli olmaları sebebiyle son yıllarda tercih gören alaşımlardan biridir. Ancak korozyon ve oksidasyon dirençleri oldukça düşük alaşımlardır. Bu sebeple son yıllarda magnezyum alaşımlarının yüzey performanslarını artırmak için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, AZ91D Magnezyum alaşımı üzerine çift katmanlı Ni-P/Ni-B kaplamaların elektrokimyasal olarak kaplanabilirliği ve özelliklerinin araştırılması planlanmıştır. Magnezyum alaşımları korozyon dayanımı düşük bir malzeme olduğundan dolayı, akımsız kaplama sırasında oluşan galvanik etki ile korozyon özellikleri kötü anlamda etkilenmekte ve kaplama süreci zorlaşmaktadır. Bu sebeple çalışmada AZ91D magnezyum alaşımı üzerine kaplama gerçekleştirilmeden önce ilk olarak T6 ısıtma işlemi uygulanmaktadır. Isıtma işlemi prosesi çözeltiye alma ve yaşlandırma işlemi şeklinde iki aşamada gerçekleştirilmektedir.

Çalışma kapsamında AZ91D Magnezyum alaşımının hem döküm hali, hem de T6 ısıtma işlemi görmüş hali olarak iki katmanlı Ni-P/Ni-B kaplama iki aşamada gerçekleştirilmiştir. Her iki kaplama türünün AZ91D magnezyum alaşımı üzerindeki etkileri farklı olduğundan, kaplama işlemi iki ayrı banyo kullanılarak üretilmiştir. Hazırlanan bu banyoların zaman ve sıcaklık parametreleri değiştirilerek kaplamanın özelliklerine etkileri incelenmiştir.

Kaplama sonrası, malzeme yüzeyleri taramalı elektron mikroskopunda incelenmiş ve EDS analizi alınarak, kaplama üzerindeki kimyasal bileşim tespit edilmiştir. İki altlık türü üzerine de gerçekleştirilen iki katmanlı Ni-P/Ni-B kaplamaların ayrı ayrı karşılaştırılmalı olarak sertlik, aşınma, korozyon dirençleri ve yüzey pürüzlülüğü ölçümleri araştırılmıştır. Korozyon deneyi sonucunda AZ91D alaşımına göre daha üstün koruma sağlayan kaplamalar kendi içlerinde

mukayese edilmiştir. Diğer karakterizasyon çalışmaları sonucunda ise, kaplamalar içerisinde en iyi aşınma direncini, en düşük yüzey pürüzlülük değerini, en yüksek sertlik ve en homojen yapıyı sergileyen kaplama parametreleri tespit edilmiştir.

Yari ve ark. (2020), Bu çalışmada çinkonun yüzey işlemi yoluyla bir epoksi kaplamanın aşınma performansını iyileştirme amaçlanmıştır. Ana hedef ZnO nanoparçacıklarının hava koşullarına maruz kalma sırasındaki fotokatalitik özelliklerini belirlemektir. Bu amaç için amino ve glisidoksi işlevli çift şerit birleştirme maddeleri (üç konsantrasyon seviyesinde) kullanılmıştır. Epoksi için hava koşullarına maruz bırakıldıktan sonra yaklaşık %83 artan, glisidoksi ile modifiye edilmiş ZnO varlığında sadece %18 oranında değişme olduğu görülmüştür. Silan birleştirme ajanlarının seviyesinin bu tür birleştirmede daha etkili olduğu gözlenmiştir.

Thierry ve ark. (2020), yapılan çalışmada sıcak daldırma galvanizli (HDG) çelik ve Zn5Al kaplamalı çelik, 6 yıl boyunca dünya çapında farklı atmosferik hava koşullarına maruz bırakılmıştır. Kaplamaların kütle kaybı 1, 2, 4 ve 6 yıl maruz kaldıktan sonra ölçülmüştür. Ek olarak, korozyon ürünleri taramalı elektron mikroskobu, X-ışını kırınımı ve FTIR spektroskopisi kullanılarak belirlenmiştir. Zn5Al'in, atmosferik hava koşullarına maruziyet süresi ve yeri bakımından bağımsız olarak HDG-çelikten daha iyi olduğu gözlenmiştir. Zn5Al'in kütle kaybı, aynı zamanda çevresel parametrelere (klorür birikmesi, bağıl nem ve sıcaklık gibi) HDG-çeliğe göre daha az bağımlıdır. Ortama 6 yıl maruz kaldıktan sonra performans oranının 1,3 ile 5,1 arasında değişirken ortalama değerin 3,1 olduğu gözlenmiştir.

Korozyon ürünlerinin analizleri koruyucu Zn / Al oluşumunu göstermektedir. Ortama 6 yıl maruz kaldıktan sonra Zn ve Al'nin katmanlı çift hidroksit (LDH) ve sülfat içeren korozyon ürünleri için Zn5Al kaplamanın üstün özelliklerini açıklayan bir mekanizma önerilmiştir.

KuiWu ve ark. (2020), Organosilan/çinko kompozit filmler, korozyon koruması için soğuk haddelenmiş çelikler üzerine tek aşamalı elektrodpozisyon ile

hazırlanmıştır. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümü, toplu çözelti daldırma ve ıslak ısı testleri, kompozit filmlerin korozyon performansını iyileştirdiğini göstermiştir. X-ışını fotoelektron spektroskopisi ölçümü, metalik çinkonun başarılı bir şekilde kapsüllendiğini göstermiştir. Metalik çinkonun gömülmesi, film kaplı elektrotların açık devre potansiyelinde negatif kaymaya neden olmuştur. Metalik çinko tarafından verilen bu tür katodik koruma etkisi ile kompozit filmlerin gelişmiş korozyon direnci olduğu gözlenmiştir.

Talha ve ark. (2020), Bu araştırmada, sol-jel yöntemi ile γ -glisidoksi propiltrimetoksisilan, metiltrimetoksisilan, 3aminopropiltrimetoksisilan (GPTMS/MTMS/APS) bazlı silan hibrit kaplamalar üretilmiştir. ZnO nanoparçacıkları silan kaplamaya gömülmüş ve bu özel silan kaplama, daldırma kaplama yöntemiyle paslanmaz çelik substratlara uygulanmıştır. Numunelerin yüzey özellikleri FTIR analizi, XRD, SEM-EDS ve temas açısı ölçümleri ile incelenmiştir. Ayrıca, kaplamaların korozyon koruma davranışı, potansiyodinamik polarizasyon, AC impedans ve SECM analizi kullanılarak ağırlıkça %3,5 sulu NaCl çözeltisi içinde incelenmiştir. Polarizasyon testinden sonra numunelerin yüzey morfolojilerini belirlemek için AFM uygulanmıştır. Sonuçlar, kaplamaların substratların korozyon önleyici performansını artırdığını göstermiştir. GPTMS/MTMS/APS kombinasyonunun daha iyi korozyon koruma özellikleri sağladığı ve aşındırıcı moleküllere karşı güçlü bir fiziksel bariyer görevi gördüğü de elde edilmiştir.

Dehri ve ark. (2021), yapılan çalışmada 0,5 M HCl ortamında yumuşak çelik (MS) için Pirazin karboksilik asit (PCA), potansiyel bir korozyon inhibitörü olarak incelenmiştir.

Bunun için elektrokimyasal empedans spektroskopisi, doğrusal polarizasyon direnci (LPR) ve potansiyodinamik (PD) polarizasyon kullanılmıştır. Ayrıca atomik kuvvet mikroskobu (AFM) ve kuantum hesaplamalardan yararlanılmıştır. PCA'nın karışık inhibitör davranışı sergilediği görülmüştür. Ayrıca, yoğunluk fonksiyonel teorisi (DFT), elektrokimyasal deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sağlamıştır. Adsorpsiyon denge sabiti değeri hesaplanmış ve yüzeydeki inhibitör miktarı 1,0 mM PCA olduğunda inhibisyon etkinliği % 95,2 olarak belirlenmiştir.

Tavangar ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada, asit ön-muamele çözeltilisine ilave edilen çinko katyonlarının yumuşak çelik üzerinde silan kaplama ile korozyon koruması üzerindeki etkisini incelemişlerdir. Ön işleme tabi tutulmuş metal plakaları üzerinde silan kaplamanın elektrokimyasal özelliklerini, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve polarizasyon ölçümleri ile değerlendirmişlerdir. Polarizasyon direncinin elektrokimyasal empedans spektroskopi verileriyle uyumlu olan 3 g/L çinko katyonlarının varlığında yaklaşık iki kat arttığını gözlemlemişlerdir.

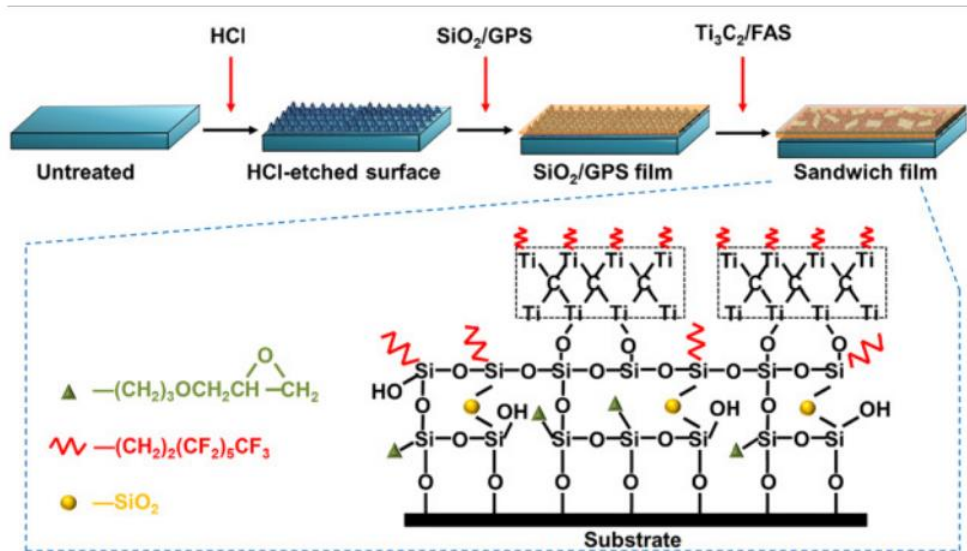
Feng ve ark. (2021), Grafenin doğal geçirimsizliğinin entegre etkilerine ve uzun süreli dayanıklılık elde etmek için sedef benzeri katmanlı nano yapının neden olduğu benzersiz yapısal avantajlara dayanan düzenli katmanlı bir nano yapıya sahip silanize bir GO kaplama tasarlanmıştır. GO nano tabaka, pozitif yükü kolaylaştırmak ve çapraz bağlama grupları sağlamak için amino işlevselleştirilmiş bir silan ile silanize edilmiştir. Silanize edilmiş GO nano tabaka, biriktirme sürecini dikkatlice kontrol ederek katodik elektroforetik biriktirme ile metal yüzey üzerine paralel olarak istiflenmiştir. Deneysel sonuçlar, 10 µm kalınlığında optimize edilmiş kaplamanın, ağırlıkça %3,5 NaCl çözeltisine 960 saat daldırıldıktan sonra bile mükemmel koruyucu performans gösterdiğini göstermiştir.

Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve korozyon morfolojisinin analiz sonuçları, optimize edilmiş kaplamanın olağanüstü uzun vadeli dayanıklılığının geçirimsizlikten ve siloksan grubunun stabilite çapraz bağlama bağı ile birleşen GO nano tabakanın düzenli katmanlı istiflenmesinden kaynaklandığını ortaya koymuştur. Bu çalışma, silanize edilmiş GO nanotabakanın mükemmel uzun vadeli dayanıklılığa sahip büyük ölçekli kaplamaların hazırlanması için uygulanabilir bir yol olduğunu göstermiştir.

Sadov. (2021), koordinasyon kimyası, alkil, alkilperoksi, hidrit, alkoksit, karboksilat ve karbonat ligandları dahil olmak üzere X tipi ligandlarla düzenlenir. Yapılan çalışmada bu ligandların koordinasyon özellikleri ve iki değerli çinko merkezlerinin reaktivitesi üzerindeki etkisi tartışılmıştır. Hidrokarboksi ligandların terminal ligandlar olarak bağlandığı görülmüştür. Hidritler terminal ve

köprü yapıları oluştururken, daha elektronegatif X tipi ligandlar genellikle köprü yapıları oluşturmuştur.

Nie ve ark. (2021), yapılan çalışma ile metal yüzey üzerinde kendi kendini temizleyen, antikorozyon ve antimikrobiyal özelliklere sahip çok işlevli silan bazlı kompozit yüzey kaplaması üretilmiştir. Yüzey kaplaması, altta kimyasal olarak dağlanmış bir yüzey, ortada bir SiO_2 -hibritleştirilmiş silan tabakası ve üstte bir Ti_3C_2 -hibritleştirilmiş silan tabakası içeren bir "sandviç" yapıya sahip olacak şekilde tasarlanmıştır. Silan moleküllerinin yalnızca yüzey süperhidrofobikliğine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda korozyon direncinde de baskın roller oynayan düşük yüzey enerjili bir film oluşturmak üzere çapraz bağlandığı gözlenmiştir. SiO_2 nanoparçacıkları ve Mxene (Ti_3C_2) nanotabakaları, filmin kompaktlığını, mekanik mukavemetini ve aşınma direncini arttırmak için filmde hibritlenmiştir. Bu çalışma mükemmel korozyon önleyici etkinliğe sahip bir yüzey kaplama ile sonuçlanmıştır. Ayrıca yüzey kaplamasına antimikrobiyal yetenek kazandırabildiği gözlenmiştir (Şekil 2.1.)



Şekil 2.1. Birleştirilmiş yüzey kaplamaların üretim sürecinin şeması (Nie ve ark, 2021)

Bu çalışmada, çok işlevli kompozit yüzey kaplamaların klinik ve biyomedikal cihazların modifikasyonunda kullanılabileceğini önerilmiştir. Ayrıca bu kaplamaların COVID-19 ile mücadelede kullanılmak için büyük bir potansiyele sahip olduğu düşünülmektedir.



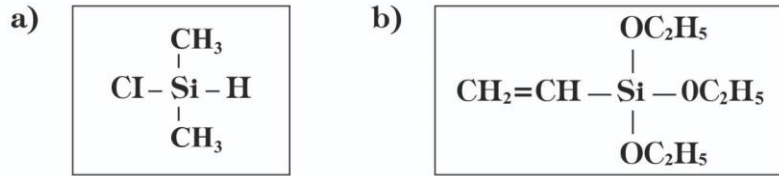
3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

Klorodimetil silan'ın %5, %10 ve %20 oranlarında etil alkoldeki ve sudaki çözeltisi hazırlanarak çinko metali ve magnezyum alaşımı elektrotların atmosferik ortamda korozyon dayanımının belirlenmesine yönelik yapılan çalışmalarda kullanılan materyaller:

3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

İnhibitör Etkinliği Araştırılan Madde ve Yapısı: Klorodimetil silan ve viniltrietoksi silan bileşikleri analitik saflıkta olup Merck firmasından temin edilmiştir.



Şekil 3.1. Klorodimetil silan(a) ve viniltrietoksilan(b) şekli

Etil Alkol : Çözelti ortamının hazırlanmasında kullanılmıştır ve analitik saflıktadır.

Destile Su: Çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

Asetik asit: Sol-jel yöntemiyle çözelti hazırlamada pH ayarlama için kullanılmış olup analitik saflıktadır.

Amonyak: Bazik ortamda çözelti hazırlamak için kullanılmış olup analitik saflıktadır.

Anilin: Döşümlü Voltametri ile kaplama yapmak için kullanılmış olup saflaştırma yapmak için damıtma işlemi yapılmıştır.

Sodyum sülfat: Alkol ile hazırlanan çözeltilerde dönüşümlü voltametri uygulamalarında iletkenliği sağlamak için kullanılmıştır.

Aseto nitril: Anilin ile hazırlanan çözeltide iletkenliği sağlamak için kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan Elektrotlar

Çalışma Elektrotu: Çinko ve magnezyum alaşımı (AZ63) elektrotlar çalışma elektrotu olarak kullanılmıştır. Bütün ölçümlerde aynı elektrotlar kullanılmıştır.

Bu elektrotlar;

- İşlemsiz çinko metali
- İşlemsiz magnezyum alaşımı
- Yüzeyi silan ile kaplı çinko metali
- Yüzeyi silan ile kaplı magnezyum alaşımı' dır.

Referans Elektrot: Gümüş-gümüş klorür elektrot ($\text{Ag, AgCl/Cl}^{-}3\text{M}$) referans elektrot olarak potansiyelin kontrolü amacıyla kullanılmıştır.

Karşı Elektrot: 2 cm^2 yüzey alanına sahip platin elektrot, karşı elektrot olarak kullanılmıştır.

3.1.3. Kullanılan Cihazlar

Elektrokimyasal Analizör: CHI 660C model elektrokimyasal analizör, bütün elektrokimyasal ölçümlerin impedans eğrileri, açık devre potansiyeli, polarizasyon direnci ve akım potansiyel eğrileri) elde edilmesinde kullanılmıştır.



Şekil 3.2. Elektrokimyasal analizör CHI 660C cihazı

Mekanik parlatici: Çinko metali ve magnezyum alaşımı elektrotların yüzeylerinin parlatılmasında kullanılmıştır.

Magnetik Karıştırıcı: Çözeltilerin karıştırılmasında kullanılmıştır.

Etüv: Hazırlanan elektrotların yüzeylerinin kurutulması ve silan filminin yüzeye tutunması için kullanılmıştır.

SEM: Oluşturulan filmlerin yüzeyinin incelenmesinde kullanılmıştır.

3.1.4. Kullanılan Diğer Malzemeler

Zımpara Kağıdı: 600, 1000 ve 1200 tanecik boyutlu zımpara kağıtları elektrotların yüzeyinin temizlenmesinde kullanılmıştır.

3.2. Metod

3.2.1. Elektrotların Hazırlanması

Çalışma elektrotları 0,5 cm çapında silindirik metal çubuklardan 5 cm uzunluğunda olacak şekilde kesildikten sonra, iletkenliği sağlamak için bir ucuna bakır tel geçirilmiştir. Diğer ucu (çalışma yüzeyi) açıkta kalacak şekilde polyester blok ile kaplanmıştır. Bu şekilde hazırlanan çinko ve magnezyum alaşımı(AZ63) elektrotlarının yüzey alanı 0,196 cm² dir. Çalışma elektrotlarının yüzeyleri bütün ölçümlerden önce değişik tanecik boyutlu (600-1000-1200) zımpara kağıtları ile parlatıldıktan sonra saf su ile yıkanıp çözeltiliye daldırılmıştır.

3.2.2. Kullanılan Elektrotların Bileşimleri

Çizelge 3.1. Çalışma elektrodu olarak kullanılan magnezyum alaşımının elementel bileşimi (AZ63)

Element	Mg	Al	Zn	Mn
% Bileşim	91,184	5,845	2,728	0,293

3.2.3. Elektrolit Çözeltisinin Hazırlanması

Elektrotların yüzeyinin kaplanmasında alkol çözeltisi içerisinde hazırlanan klorodimetil silan kullanılmıştır. Bu çözeltilerde silan yüzdesinin 5, 10,20 olduğu çözeltiler ile çalışmalar yapılmıştır.

Sol-jel yöntemi ile film oluşturmak için klorodimetil silan bileşiğinin sudaki çözeltisi hazırlanarak pH değerini 3 yapabilmek amacıyla çözelti içerisine damla damla asetik asit ilave edilmiştir.

pH değerinin 10 olduğu çözeltileri hazırlamak için ise silan bileşiğinin sudaki çözeltisine damla damla amonyak ilave edilmiştir.

Karışım çözelti hazırlamak için klorodimetil silan ile viniltrietoksi silan bileşiklerinden kütlece %5 ve %10'luk çözeltiler hazırlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri yöntemi kullanılarak film oluşturmak için ise 0,1 M anilin çözeltisi iletkenlik sağlamak amacıyla 0,3 M asetonitril çözeltisi ile birleştirilmiş ve % 5' lik silan çözeltisi hazırlanmıştır.

3.2.4. Metal Yüzeylerinin Silan ile Kaplanması

Bu çalışmada öncelikle doğrudan daldırma ile kaplama yönteminden yararlanılmıştır. Silan bileşiğinin %5, %10 ve %20'lik çözeltileri hazırlanmıştır. Bu çözeltiler hazırlanırken etil alkol kullanılmış, hazırlanan çözeltiler 3 gün süre ile manyetik karıştırıcıda karıştırılmıştır.

Hazırlanan çözeltilere her iki elektrotta (çinko elektrot ve magnezyum alaşımı elektrot) daldırılarak 15, 30, 45, 60 dakika beklenmiş ve yüzeyde silanın film oluşturması sağlanmıştır.

Sol-jel yöntemi ile film oluşturmada %5 ve % 10 silan içeren çözeltiler hazırlanmıştır. Çözeltiler hazırlanırken silan bileşiği suda çözölmüş ve pH değerini 3 yapabilmek için çözeltiliye asetik asit damla damla ilave edilmiştir. Hazırlanan çözeltiliye her iki elektrotta daldırılmış ve elektrotların yüzeyinde silan ile film oluşumu sağlanmıştır.

En kararlı silan filmini elde edebilmek için silan bileşiklerinin pH değeri 10 olan çözeltileri ile karışım çözeltileri de (-klorodimetil silan ve viniltrietoksi silan) hazırlanmış ve elektrotlar çözeltiliye daldırılarak yüzeylerinin silan ile film oluşumu sağlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri yöntemi ile film oluşturmak için hazırlanan çözeltiler 2 farklı şekilde kullanılmıştır. İlk yöntemde anilin, asetonitril, silan karışımı ile hazırlanan çözelti kullanılmış ve elektrot etüvde 70°C’de 60 dakika kurutulmuştur. İkinci yöntemde ise elektrot anilin çözeltisi ile kaplandıktan sonra etüvde 70°C’de 60 dakika kurutulmuş daha sonra aynı elektrot silan çözeltisi ile film oluşturulmuş ve etüvde 70°C’de 60 dakika kurutulmuştur.

Ayrıca hazırlanan anilin, asetonitril, silan karışımı çözeltiliye doğrudan daldırma yapılarak 60 dakika süre beklenmiş daha sonra elektrot etüvde 70°C’de 60 dakika kurutulmuş ve elektrokimyasal ölçümleri alınmıştır.

3.3. Kullanılan Silan Bileşiğinin Özellikleri

Elektrot yüzeylerinde film oluşumunda klorodimetil silan ve karışım içerisinde klorodimetil silan ile birlikte viniltrietoksi silan bileşiği kullanılmıştır.

3.4. Korozyon Testleri

Çinko metali ve magnezyum alaşım elektrotların yüzeylerinde oluşturulan silan filmlerin dayanımını belirlemek için; açık devre potansiyelleri akım

potansiyel eğrilerinden korozyon akımları ve Nyquist eğrilerinden polarizasyon değerleri ölçülmüştür.

3.4.1. Elektrokimyasal Ölçümler

İmpedans ölçümleri ve akım potansiyel eğrileri elektrokimyasal ölçüm cihazında üç elektrot tekniği ile ölçülmüştür. Çözelti olarak yapay yağmur suyu çözeltisi kullanılmıştır. Yapay yağmur suyu çözeltisinde karşı elektrot olarak platin, referans elektrot olarak Ag/AgCl ve çalışma elektrot olarak işlemsiz ve yüzeyinde silan ile film oluşturulmuş çinko elektrot ve magnezyum alaşımı elektrot kullanılmıştır. 1 mV/s tarama hızı ile akım potansiyel eğrileri elde edilmiştir.

Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi: 5 mV genlik kullanılarak, $10^5 - 10^{-2}$ Hz frekans aralığında yapılan deneylerde elde edilen veriler Nyquist ve Bode diyagramları şeklinde gösterilmiştir.

Akım-Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi: Çalışılan ortamlarda öncelikle korozyon potansiyeli belirlenmiştir ve 0,001 V/s tarama hızı ile korozyon potansiyelinden 0,2 V' a akım-potansiyel eğrileri elde edilmiştir.

Elde edilen eğriler işlemsiz elektrotlar ile ve farklı sürede, farklı çözeltilerde silan film oluşturulan elektrotlar için kıyaslama yapılmıştır.

3.4.2. Yapay Yağmur Suyunun İçeriği

Elektrokimyasal ölçümler üç elektrot yöntemi ile yapay yağmur suyu çözeltisinde yapılmıştır. Yapay yağmur suyu pH 3,5 olacak şekilde laboratuvar ortamında hazırlanmıştır.

Çizelge 3.2. Yapay Yağmur Suyunun İçeriği(Dehri ve ark,1998)

Eklenen madde	Sülfürik Asit	Amonyum Sülfat	Sodyum Sülfat	Nitrik Asit	Sodyum Nitrat	Sodyum Klorür
Miktarı(ppm)	31,85	46,20	31,95	15,75	21,25	84,85

3.5. Gerçekleştirilen Analizler

Taramalı Elektron Mikroskopu (SEM): Hazırlanan elektrotların yüzeyinde oluşan silan filmin oluşum şeklinin incelenmesinde kullanılmıştır.

Temas Açısının Ölçümü: İşlemsiz çinko metali elektrot ve en kararlı silan film oluşturulmuş elektrotun temas açısı ölçümü yapılmıştır. İşlemsiz magnezyum alaşımı elektrot ve en kararlı silan film oluşturulmuş elektrotun temas açısı ölçümü yapılmıştır.

Elde edilen sonuçlar, bulgular ve tartışma kısmında değerlendirilmiştir.





4. BULGULAR VE TARTIŞMA**4.1. Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi ile Elde Edilen Deneysel Bulgular**

Metallerin yüzeyinde gerçekleşen korozyon hızına ve oranına karar vermek için bağımsız ve tamamlayıcı bir araç olarak alternatif akım impedansı yöntemi kullanılmaktadır. Bu yöntemde metal yüzeyine küçük genlikli alternatif akım uygulanmaktadır. Uygulanan alternatif akım yüzey yapısını çok büyük oranda değiştirmedigi için bu yöntemle metalin direnci ve yüzey yapısı ile ilgili daha doğru sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir.

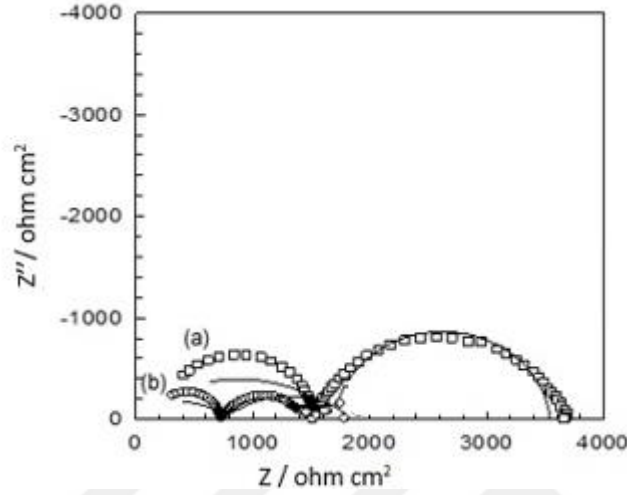
4.1.1. Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar**4.1.1.1. %5'lik Klorodimetil Çözeltilinde Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar**

%5'lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2' de verilmiştir.

Şekil 4.1.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir.

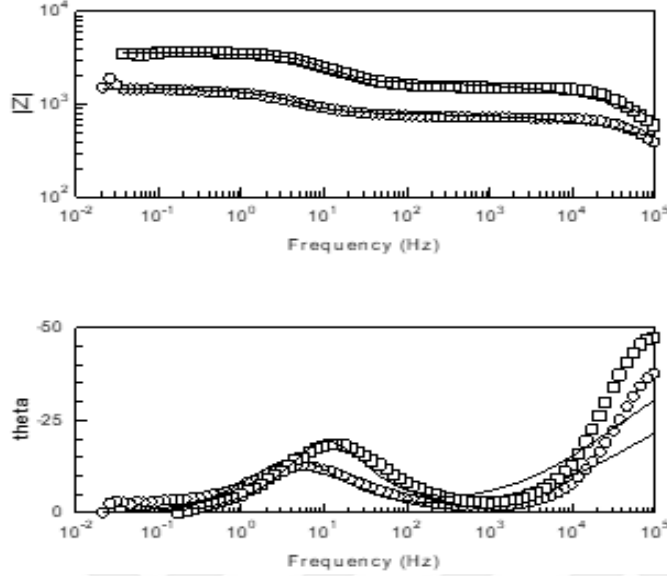
Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci ki burada Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci

sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilmiştir.

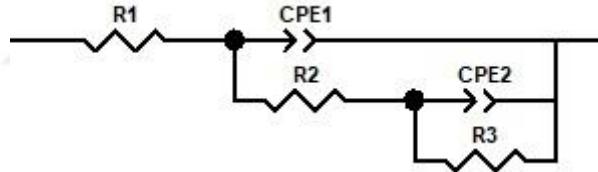


Şekil 4.1. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı

Şekil 4.1.a'da işlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R2 ve R3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $7,44 \cdot 10^{-7}$ ve $1,31 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir. Şekil 4.1.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.2'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Faz açıları işlemsiz çinko metalinde sırasıyla; ilk lup için 50 ikinci lup için 23 derecedir.



Şekil 4.2. %5'lik Çözeltide işlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

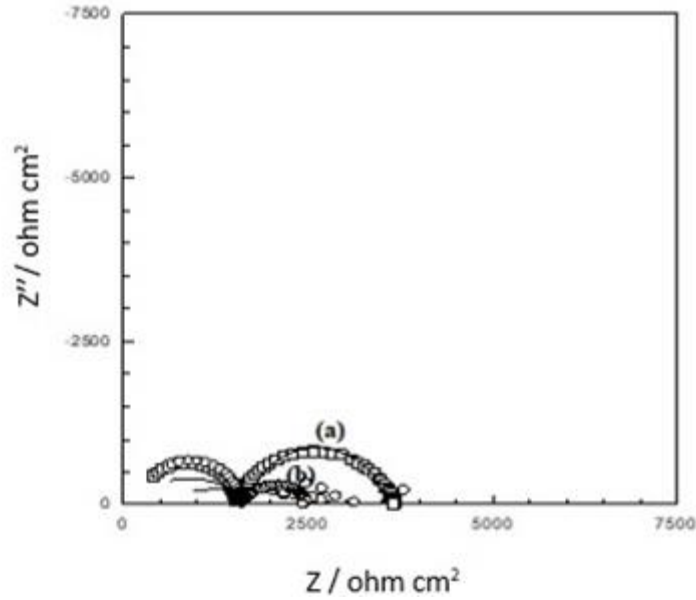


Şekil 4.3. İşlemsiz çinko ve film oluşturulmuş çinko elektrotun eşdeğer devresi

Şekil 4.1.b %5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmaya çalışılan Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Direnç değerleri sırasıyla 773,6 ve 1082 ohm cm² olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $1,23 \cdot 10^{-6}$ ve $5,04 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.

Şekil 4.1 ve 4.2'den görüldüğü üzere %5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek metal yüzeyinde koruyucu film oluşturulmaya çalışılmış fakat bu koşullarda film oluşumu sağlanamamıştır. Yapılan korozyon test ölçümünde direnç işlemsiz metalden daha düşük olarak bulunmuştur. Bu durum yüzeyde bir film oluşmadığı gibi yüzeyin daha da aktif hale geldiğini göstermektedir.

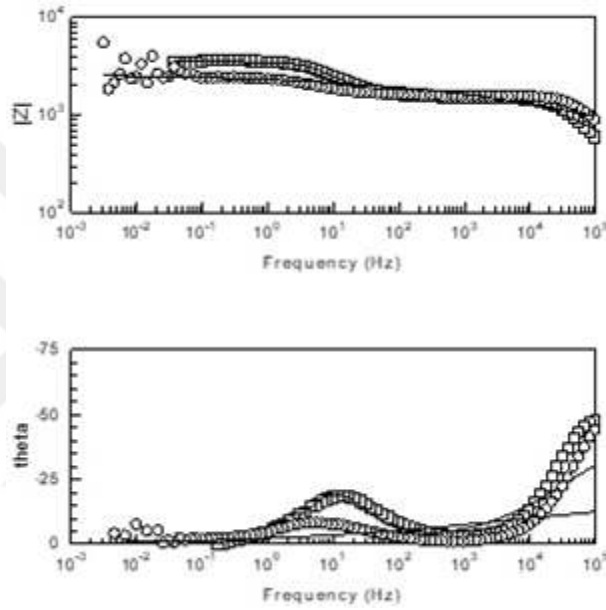


Şekil 4.4. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı

Şekil 4.4.a'da işlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil

edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $7,44 \cdot 10^{-7}$ ve $1,31 \cdot 10^{-5}$ $\text{ohm}^{-1}\text{sec}^n \text{cm}^{-2}$ 'dir.

Şekil 4.4.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.5'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Faz açıları işlemsiz çinko metalinde sırasıyla; ilk lup için 50 ikinci lup için 23 derecedir.

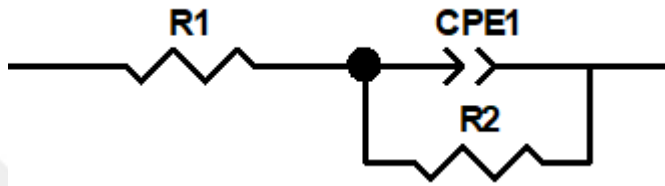


Şekil 4.5. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.4.b %5'lik kloro dimetil silan çözeltisinde 30 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan ve kapanırken saçılmalar gösteren eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen eliptik lup elektrottun yüzeyinde oluşturulan film tabakasındaki türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci R2 olarak sembolize edilmiştir.

R2 direnç değeri 2633 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer $3,41 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.

%5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 30 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotu ait eş değer devre Şekil 4.6'da verilmiştir.



Şekil 4.6. Klorodimetil silan çözeltisinde 30 dk bekletilerek film oluşturulmuş çinko elektrotun eşdeğer devresi

Şekil 4.4 ve 4.5'ten görüldüğü üzere %5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 30 dakika bekletilerek film oluşturulmaya çalışılmış ve yapılan korozyon test ölçümünde direnç işlemsiz metalden daha düşük olarak bulunmuştur. Bu durum yüzeyde bir film oluşmadığı gibi yüzeyin daha da aktif hale geldiğini göstermektedir.

% 5 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 45 dakika ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinde yapılan AC impedans ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.1'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. %5 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,44 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,3 \times 10^{-5}$	0,97	1781
%5 Alkolde Oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	$3,89 \times 10^{-6}$	0,51	773,6	$5,1 \times 10^{-5}$	0,50	1082
	30	$3,40 \times 10^{-5}$	0,22	2633	-	-	-
	45	$1,16 \times 10^{-6}$	0,50	922	$3,3 \times 10^{-5}$	0,68	873
	60	$1,78 \times 10^{-6}$	0,48	674,5	$1,2 \times 10^{-5}$	0,97	458,4

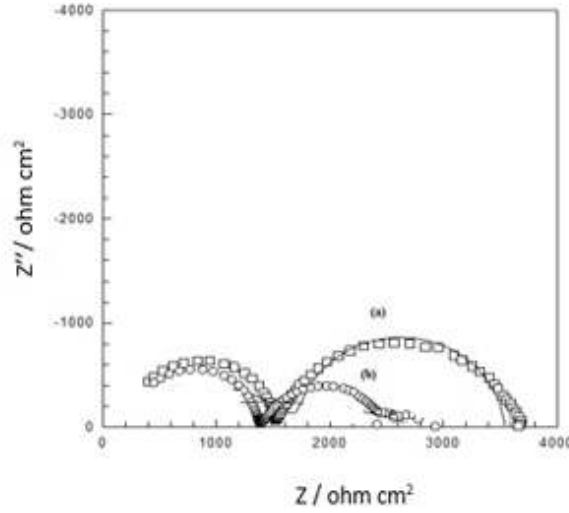
Çizelge 4.1'den de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun direnç değerleri 45 dakika ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında süre geçtikçe direnç değerlerinin daha fazla küçüldüğü görülmüştür. Bu değerlerin küçülmesi yüzeyde bir film oluşmadığı gibi yüzeyin daha da aktif hale geldiğini göstermektedir.

4.1.1.2. %10'luk Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%10'luk klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8' de verilmiştir.

Şekil 4.7.a.' da işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük

transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir.

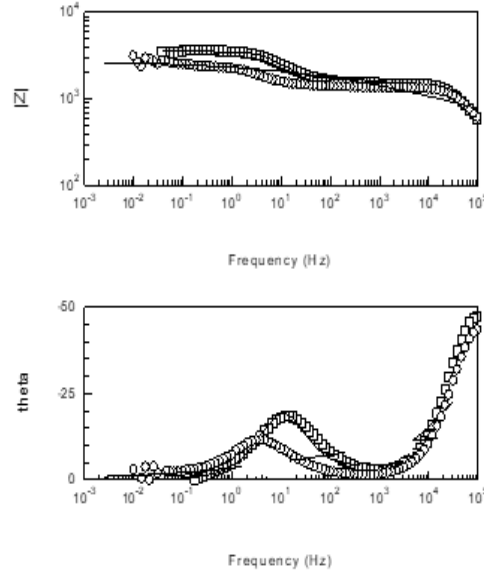


Şekil 4.7. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve % 10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı

Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci ki burada Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülayon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir.

Şekil 4.7.a'da işlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $7,44 \cdot 10^{-7}$ ve $1,31 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1}\text{sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir. Şekil 4.7.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.8'de verilmiştir.

Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Faz açıları işlemsiz çinko metalinde sırasıyla; ilk lup için 50 ikinci lup için 23 derecedir.



Şekil 4.8. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (○) Bode eğrisi

Şekil 4.7.b %10'luk kloro dimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1191 ve 1604 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil

edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,93.10^{-5}$ ve $3,15.10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

Şekil 4.7 ve 4.8'den görüldüğü üzere %10'luk klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulmaya çalışılan filmin korozyona karşı direnci oldukça düşük olarak bulunmuştur. Bu durum yüzeyde bir film oluşmadığı gibi yüzeyin daha da aktif hale geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte % 10 klorodimetil silan çözeltisinde film oluşması için beklenen süre arttıkça oluşturulmaya çalışılan filmlerin direnç değerlerinde artış gözlenmiştir. 30,45,60 dakika süre ile oluşturulan film kaplamalarda elde edilen direnç değerleri Çizelge 4.2'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. %10 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

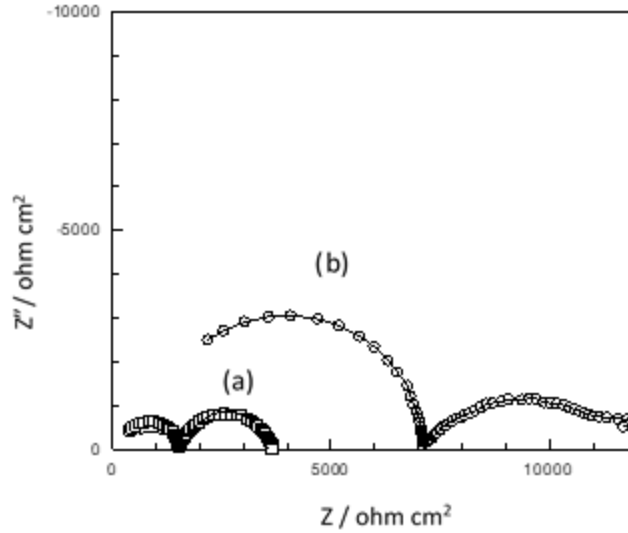
	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,4 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,3 \times 10^{-5}$	0,97	1781
%10 Alkolde Oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	$3,9 \times 10^{-5}$	0,22	1191	$3,2 \times 10^{-5}$	0,24	1604
	30	$4,7 \times 10^{-5}$	0,28	1701	-	-	-
	45	$8,1 \times 10^{-7}$	0,52	1653	$6,4 \times 10^{-5}$	0,53	2163
	60	$3,3 \times 10^{-6}$	0,26	8780	$3,4 \times 10^{-5}$	0,58	92136

Çizelge 4.2'de verilen direnç değerleri incelendiğinde 60 dakikada oluşturulan film için hesaplanan direnç değerlerinin işlem görmemiş çinko elektrotun direnç değerlerinden oldukça yüksek olduğu görülmüştür. 60 dakikada oluşturulan film tabakasının yüzeyi korozyona karşı oldukça iyi koruduğu gözlenmiştir.

%10'luk klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 60 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı

kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10' da verilmiştir.

Şekil 4.9.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir.



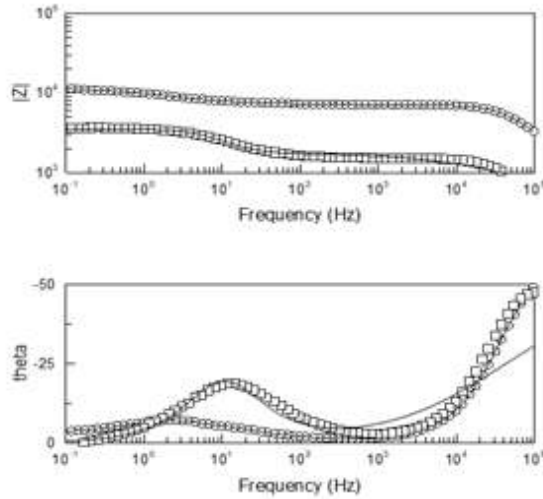
Şekil 4.9. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %10'luk çözeltide 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.9.b %10'luk kloro dimetil silan çözeltisinde 60 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci

lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Direnç değerleri sırasıyla 8780 ve 92136 ohm cm² olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,3 \cdot 10^{-6}$ ve $3,4 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

Şekil 4.9.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.10'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.



Şekil 4.10. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (○) Bode eğrisi

Metalin yüzeyinde oluşturulan silan filmin koruyucu etkisi Eşitlik 4.1'de verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$\%KE = (CR_{\text{film oluşturulmuş}} - CR_{\text{işlemsiz}} / CR_{\text{film oluşturulmuş}}) * 100 \quad (4.1)$$

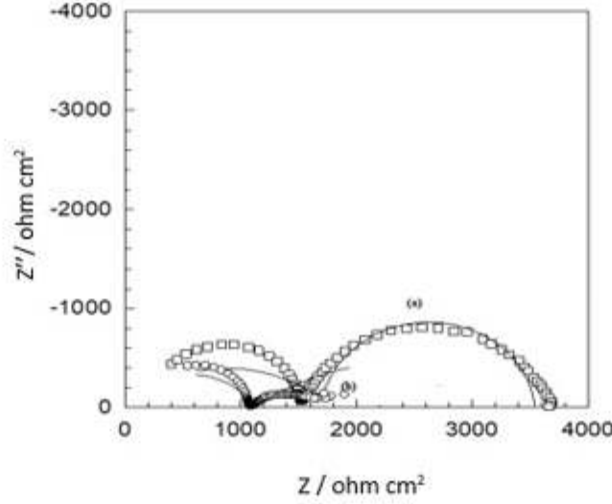
$CR_{\text{film oluşturulmuş}}$: Yüzeyde film oluşturulan elektrotun korozyon direnci

$CR_{\text{işlemsiz}}$: İşlem görmemiş, işlemsiz elektrotun korozyon direnci

Çizelge 4.2’de verilen işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrota ait direnç değerleri ile %10 klorodimetil silanın alkoldeki çözeltisine 60 dakika daldırılarak oluşturulan filme ait direnç değerleri kullanılarak Eşitlik 4.1’den filmin koruyucu etkisi hesaplanmış ve bu değer %96,486 olarak bulunmuştur. Klorodimetil silanın %10’luk çözeltide 60 dakika sürede korozyona karşı koruma etkisinin çok yüksek olduğu görülmüştür.

4.1.1.3. %20’lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%20’lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 30 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12’ de verilmiştir.



Şekil 4.11. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve %20'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

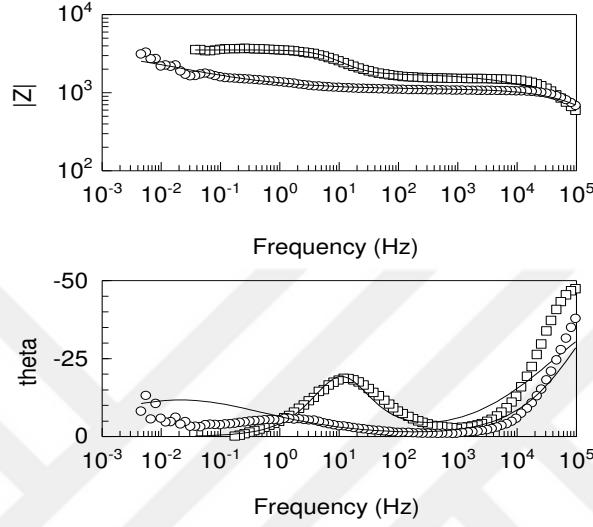
Şekil 4.11.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir.

Şekil 4.11.b % 20'lik kloro dimetil silan çözeltisinde 30 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Direnç değerleri sırasıyla 1114 ve 2703 ohm cm² olarak hesaplanmıştır.

Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $4,22 \cdot 10^{-5}$ ve $1,6 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

Şekil 4.11'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.12'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.



Şekil 4.12. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (○) Bode eğrisi

Şekil 4.11 ve 4.12'den %20'lik klorodimetil silan çözeltisinde 30 dakika bekletilerek metal yüzeyinde koruyucu film oluşturulmaya çalışılmış fakat bu koşullarda film oluşumu sağlanamamıştır. Yapılan korozyon test ölçümünde direnç işlemsiz metalden daha düşük olarak bulunmuştur. Bu durum yüzeyde bir film oluşmadığı gibi yüzeyin daha da aktif hale geldiğini göstermektedir. Bununla birlikte % 20 klorodimetil silan çözeltisinde film oluşması için beklenen sürenin filmin korozyon direncine etkisini gözlemlemek için 15,30,45,60 dakika süre ile oluşturulan film için elde edilen direnç değerleri Çizelge 4.3'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. %20 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,44 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,31 \times 10^{-5}$	0,97	1781
%20 Alkolde oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	$4,91 \times 10^{-5}$	0,71	1593	$4,21 \times 10^{-5}$	0,37	2958
	30	$4,22 \times 10^{-5}$	0,68	1114	$1,6 \times 10^{-5}$	0,42	2703
	45	$7,14 \times 10^{-8}$	0,56	1053	$1,37 \times 10^{-5}$	0,53	2163
	60	$2,58 \times 10^{-9}$	0,98	844,1	$2,0 \times 10^{-4}$	0,43	1576

Çizelge 4.3'den de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun direnç değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri kıyaslandığında 15 dakikada oluşturulmaya çalışılan filmin diğerlerine oranla az da olsa koruyucu özelliğinin olduğu fakat 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe direnç değerlerinin daha fazla küçüldüğü görülmüştür. Bu değerlerin küçülmesi metal yüzeyinde film oluşumunun sağlanamadığını beklenenin aksine yüzeyin daha aktif hale geldiğini göstermektedir. Bunun nedeninin silan yapısında bulunan klorun çözelti derişimi arttıkça daha saldırgan bir tutum sergileyerek metal yüzeyinde film oluşumunu engellemesi olarak düşünülmektedir.

4.1.1.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

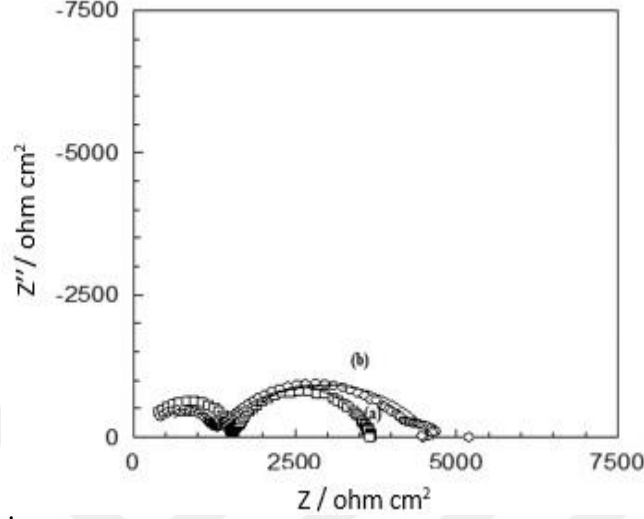
Literatürde yapılan çalışmalarda metal yüzeyinde silan filmi oluştururken birden fazla silan içeren çözeltiilerde oluşturulan filmin koruyucu özelliklerinin daha fazla olduğu belirtilmiştir(ZucchiA ve ark.,2008).

Bu nedenle yapılan çalışmada klorodimetil silan çözeltisi ile viniltrioksisi silan çözeltisi alkolde derişimleri %5 olacak şekilde karıştırılarak hazırlanan çözeltiye 15,30,45,60 dakika süre ile doğrudan daldırma ile çinko elektrot

yüzeyinde film oluşturulmuş ve oluşturulan film tabakalarının korozyona karşı gösterdiği koruyucu özellikler incelenmiştir.

Hazırlanan karışım çözeltisi içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.13 ve 4.14’ de verilmiştir.

Şekil 4.13.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci ki burada Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3’te verilen devredir.



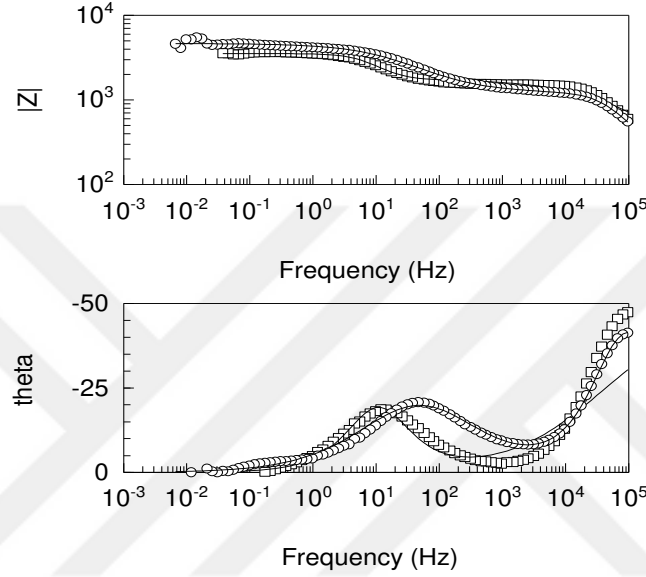
Şekil 4.13. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.13.a'da işlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R2 ve R3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm² olarak hesaplanmıştır Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $7,44 \cdot 10^{-7}$ ve $1,31 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir

Şekil 4.13.b hazırlanan silan karışım çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir.Çözelti direnci R1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.4'de verilmiş olan devredir. Direnç değeri 10044 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer $1,04 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

Şekil 4.13.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.14'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Faz açıları işlemsiz çinko metalinde sırasıyla; ilk lup için 50 ikinci lup için 23 derecedir.



Şekil 4.14. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (○) Bode eğrisi

Şekil 4.13 ve 4.14'den klorodimetil silan ve viniltrietoksi silandan hazırlanan karışım çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direncinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir. Film bu koşullarda korozyona karşı koruyucu özellik göstermektedir. Bununla birlikte karışım silan çözeltisinde film oluşması için beklenen sürenin filmin korozyon direncine etkisini gözlemlemek için 15,30,45,60 dakika süre ile oluşturulan film için elde edilen direnç değerleri Çizelge 4.4'de verilmiştir.

Çizelge 4.4. Karışım silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,44 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,31 \times 10^{-5}$	0,97	1781
Karışım oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	$1,04 \times 10^{-5}$	0,18	10044	-	-	-
	30	$1,14 \times 10^{-5}$	0,29	2696	-	-	-
	45	$1,12 \times 10^{-6}$	0,49	2100	-	-	-
	60	$4,28 \times 10^{-6}$	0,56	1793	-	-	-

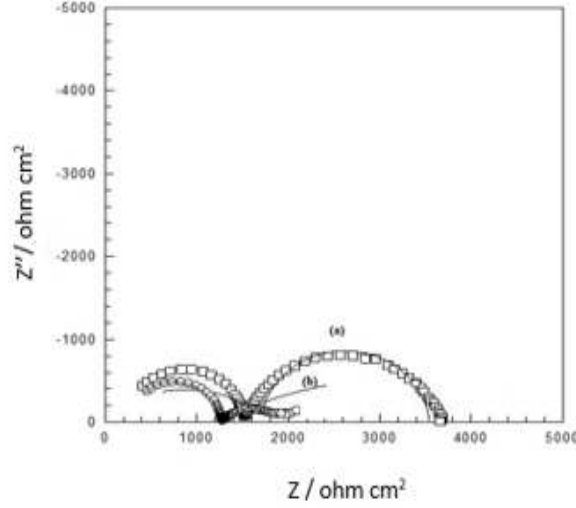
Çizelge 4.4'den de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun direnç değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında 15 dakikada oluşturulan filmin oldukça yüksek koruyucu özellik gösterdiği görülmüştür. Eşitlik 4.1'den karışım çözeltisi içerisinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi hesaplanmış ve bu değer % 64,7 olarak hesaplanmıştır. Çizelge 4.4 incelendiğinde işlem görmemiş işlemsiz Zn elektrotun Nyquist diyagramında çift eliptik lup gözlenirken karışım çözeltisi ile film oluşturulan Zn elektrotun Nyquist diyagramında tek eliptik lup görülmektedir. Bu durumun yüzeyde akümüle olan ve biriken türlerin direncinin elektrotun yük transfer direncinden oldukça yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. Bu değerlerin küçülmesi oluşturulmaya çalışılan filmin metal yüzeyinde oluşturulmadığını ve yüzeyin daha aktif hale geldiğini göstermektedir. Bunun nedeninin başlangıçta iki farklı silan çözeltisinin karıştırılması karbon zincirini uzatarak homojen film oluşumunu sağlamış olsa da silan yapısında bulunan klorun zaman geçtikçe vinil yapısını bozup metal yüzeyinde oluşturulan filmin kararlı davranış sergilemesini engelleyerek metal yüzeyini korozyona açık hale getirmiş olduğu düşünülmektedir.

4.1.1.5. pH=10’da Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Çinko’nun Pourbaix diyagramı incelendiğinde metalin pH=10’ da bağışıklık gösterdiği yani pasif özellikte davrandığı görülmüştür. Metalin pasif özellik gösterdiği şartlar sağlandığında oluşturulacak silan filminin korozyona karşı sergilediği davranışları belirlemek amacıyla klorodimetil silanın hazırlanan çözeltisinin amonyak ile pH değeri 10 olacak şekilde damla damla amonyak ilave edilerek ve pH kontrolü pHmetre ile sağlanarak çözelti hazırlanmıştır. Doğrudan daldırma ile 15,30,45,60 dakika sürede oluşturulan film tabakasının korozyon davranışları incelenmiştir.

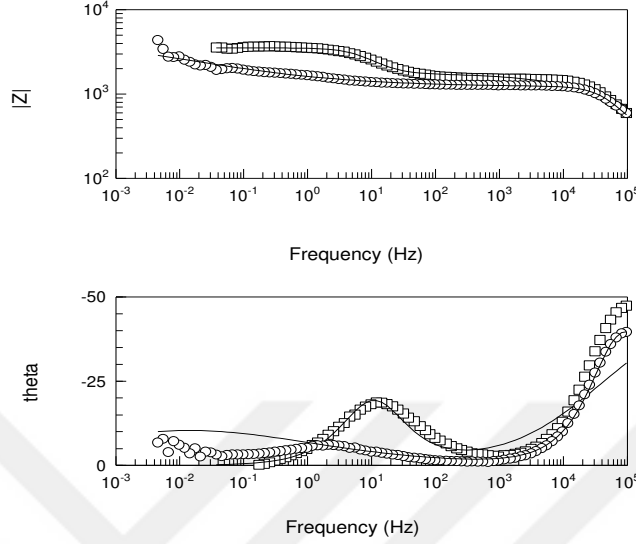
Hazırlanan bazik çözelti içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.15 ve 4.16’ da verilmiştir.

Şekil 4.15.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci ki burada Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3’te verilen devredir.



Şekil 4.15. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.15.b pH=10'da hazırlanan bazik çözeltide 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiştir. Direnç değerleri sırasıyla 944,5 ve 3993 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,44 \cdot 10^{-9}$ ve $1,44 \cdot 10^{-5}$ ohm $^{-1}$ sec n cm^{-2} 'dir.



Şekil 4.16. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (○) Bode eğrisi

Şekil 4.15'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.16'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.

Şekil 4.15 ve 4.16'dan pH=10'da hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direncinin hiç işlem görmemiş çinko elektrota oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Film bu koşullarda korozyona karşı az da olsa koruyucu özellik göstermektedir.

Bununla birlikte hazırlanan bazik çözeltide film oluşması için beklenen sürenin filmin korozyon direncine etkisini gözlemlemek için 15,30,45,60 dakika süre ile oluşturulan film kaplamalarda elde edilen direnç değerleri Çizelge 4.5'te verilmiştir.

Çizelge 4.5. pH=10'da hazırlanan silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,44 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,31 \times 10^{-5}$	0,97	1781
pH=10'da oluşan film yapay yağmur suyunda	15	$3,44 \times 10^{-9}$	0,97	944,5	$1,14 \times 10^{-5}$	0,32	3993
	30	$1,13 \times 10^{-6}$	0,49	1254	$2,66 \times 10^{-5}$	0,86	846,8
	45	$4,74 \times 10^{-6}$	0,34	1816	-	-	-
	60	$2,51 \times 10^{-5}$	0,15	1156	-	-	-

Çizelge 4.5'ten de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun direnç değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında 15 dakikada oluşturulan filmin az da olsa koruyucu özellik gösterdiği görülmüştür. Eşitlik 4.1'den pH=10'da hazırlanan silan çözeltisi içerisinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi hesaplanmış ve bu değer %28,18 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.5 incelendiğinde işlem görmemiş işlemsiz Zn elektrotun Nyquist diyagramında çift eliptik lup görülürken pH=10'da hazırlanan silan çözeltisi ile film oluşturulan Zn elektrotun Nyquist diyagramında 15 ve 30 dakika süre ile oluşturulan film için çift eliptik lup görülmekte fakat 45 ve 60 dakika süre ile oluşturulan film için tek eliptik lup görülmektedir. Bu durumun yüzeyde akümüle olan ve biriken türlerin direncinin elektrotun yük transfer direncinden yüksek olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Bununla birlikte 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü görülmektedir. Bu değerlerin küçülmesi oluşturulan bu şartlarda oluşturulmaya çalışılan filmlerin metal yüzeyinde oluşmadığını ve yüzeyin aktif hale geldiğini göstermektedir.

Oluşturulmaya çalışılan filmlerin yüzeyde oluşmamasında bazik ortamda silan yapısında bulunan klorun çinko ile $ZnCl_2$ ve amonyak ile NH_4Cl tuzlarını

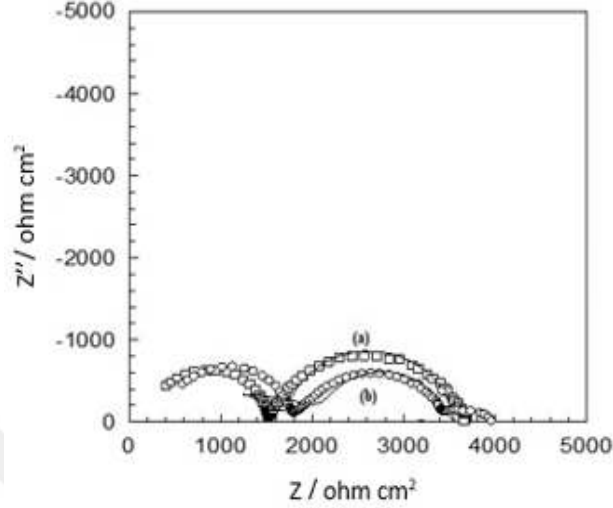
oluşturarak metal yüzeyini korozyona açık hale getirmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

4.1.1.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Sol-jel yönteminde metal yüzeyinde ince film tabakası oluşturmak amacıyla sıvı çözeltiler kullanılmaktadır. Bu yöntemle çeşitli kimyasal bileşimlere sahip film oluşturma çözeltilerini hazırlanmak ve geometrisi ile yüzey alanı birbirinden farklı malzemelerin kaplanması kolaylıkla sağlanmaktadır. Bu yöntemin en önemli uygulama alanı ince film oluşturmaktır (Mackenzie ve Bescher 2000). Bu nedenle klorodimetil silanın %5'lik sulu çözeltisi hazırlanmış ve pH değerini 3 yapabilmek için asetik asit damla damla damlatılıp pHmetre ile kontrol sağlanarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcı ile üç gün süre ile karıştırılmış ve çinko elektrotun yüzeyinde farklı sürelerde ince film oluşturulmaya çalışılmıştır.

Elektrot doğrudan daldırma yöntemi ile çözeltiliye daldırılmış daha sonra etüvde 70°C 'de 60 dakika kurutma yapıp soğutulduktan sonra yapay yağmur suyu çözeltisinde korozyona dayanımını ölçmek için elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır.

Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.17 ve 4.18' de verilmiştir.



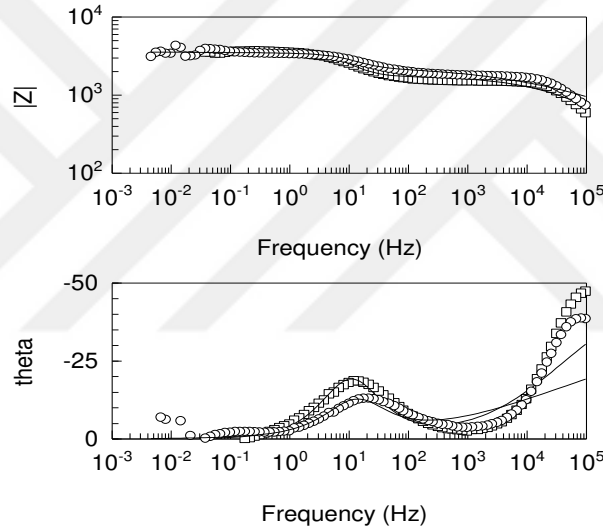
Şekil 4.17. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.17.a. işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülayon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir.

Şekil 4.17.b sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde

gözlemlenen ilk eliptik lup elektrotta ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1519 ve 2101 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $8,708 \cdot 10^{-7}$ ve $1,12 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.



Şekil 4.18. İşlemsiz çinko elektrot(□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun(○) Bode eğrisi

Şekil 4.17'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.18'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.

Şekil 4.17 ve 4.18'den sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direncinin hiç işlem görmemiş çinko elektrotta oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Film bu koşullarda korozyona karşı az da olsa koruyucu özellik göstermektedir.

Bununla birlikte hazırlanan çözeltide film oluşması için beklenen sürenin filmin korozyon direncine etkisini gözlemlemek için 15,30,45,60 dakika süre ile oluşturulan film kaplamalarda elde edilen direnç değerleri Çizelge 4.6'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Sol-jel yöntemi ile hazırlanan silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

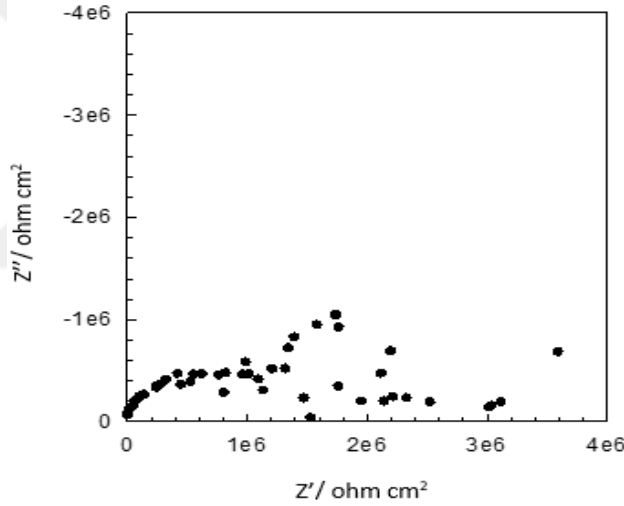
	Zn dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$7,44 \times 10^{-7}$	0,53	1765	$1,31 \times 10^{-5}$	0,97	1781
Sol-jelde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	$8,71 \times 10^{-7}$	0,51	1519	$1,12 \times 10^{-5}$	0,67	2101
	30	$6,08 \times 10^{-6}$	0,35	2359	$1,3 \times 10^{-5}$	0,97	1219
	45	$3,44 \times 10^{-9}$	0,87	944,5	$1,14 \times 10^{-4}$	0,32	3993
	60	$2,78 \times 10^{-9}$	0,93	897,4	$2,18 \times 10^{-4}$	0,29	3214

Çizelge 4.6'dan da görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun direnç değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında tüm sürelerde yüzeyde az da olsa koruyucu özellikte film oluşturulduğu görülmektedir. Eşitlik 4.1'den sol-jel yöntemiyle hazırlanan silan çözeltisinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi hesaplandığında 15 dakika süre ile oluşturulan filmin koruyucu etkisi % 16 olarak hesaplanmıştır.

30,45 ve 60 dakika süre ile oluşturulan filmlerin koruyucu etkisi ise sırasıyla %1, %28 ve %13,75 olarak bulunmuştur. Hazırlanan çözeltide oluşturulan filmin koruyucu etkisinin zaman ile doğru orantılı olmadığı görülmüştür. Tüm süreler için Nyuist diyagramları incelendiğinde çok saçılmaların olduğu görülmüş ve bunun nedeninin yüzeyde homojen film oluşumu sağlanamadığı olarak düşünülmüştür. Bu sürelerdeki film oluşumu çözelti hazırlanır hazırlanmaz yapılmıştır.

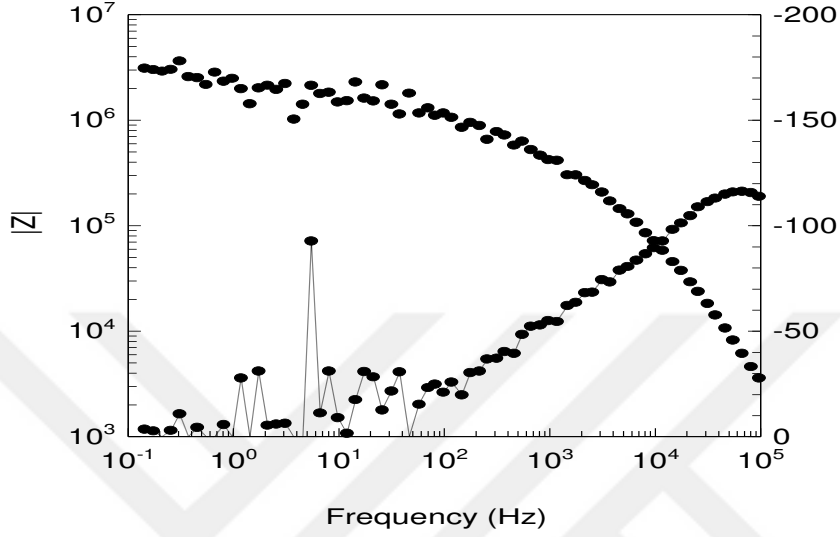
Çözelti hazırlanıp 3 hafta süre beklendiğinde çözelti hazırlanan cam kap yüzeyinde kalın film tabakası olduğu görülmüş ve bu çözeltide yine aynı sürelerde ölçümler alınmaya çalışılmış fakat elde edilen sonuçlar da direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür. Bu durum oluşan kaplamanın bu sürelerde çok kalın film tabakası olarak oluştuğunu ve yalıtkan özellik kazandığını düşündürmüştür. Film kalınlığını azaltmak için süre azaltılmış 1,3,5 dakika süre oluşturulan filmler için elektrokimyasal ölçümler alınmış fakat bu sürelerde de direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Şekil 4.19'da sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede oluşturulan film tabakasının Nyquist diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.19 Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.19'da verilen Nyquist diyagramında görüldüğü gibi 1 dakikada sol-jel içerisinde oluşturulan filmin direnç değerleri oldukça yüksektir.



Şekil 4.20 Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun Bode eğrisi

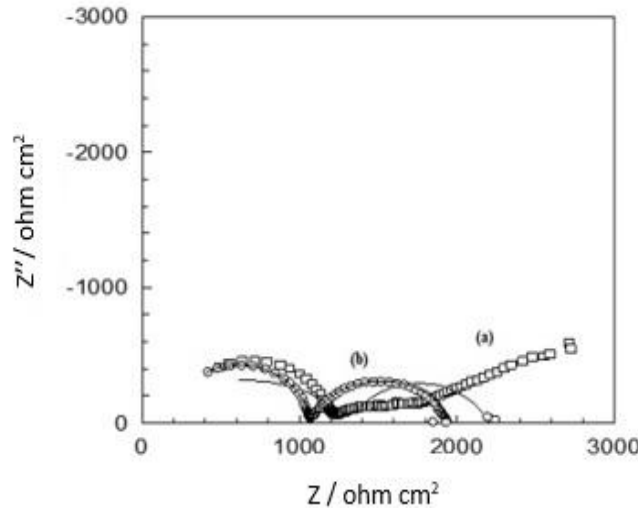
Şekil 4.20’de görüldüğü gibi yüksek frekans bölgesinden itibaren 100 Hz’ e kadar bariyer tabaka davranışı tespit edilmiştir. Özellikle yüzeyde bulunan film faradaik olaylara izin vermeksizin yüzeyi tamamen kapatarak korozyona karşı etkili koruma sağladığı için çok yüksek direnç değerleri saptanmıştır. Yapılan çalışmalar sol-jel yöntemiyle hazırlanan çözelti ile oluşturulan film tabakasının atmosferik korozyona karşı metal yüzeyini korumada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Hatta oluşturulan filmin oluşabilmesi için 1 dakika gibi kısa sürenin yeterli olması bu durumun metali korozyona karşı korumada zamandan tasarruf edilen ucuz bir yol olarak bu yöntemin kullanılabilmesine imkan sağlamıştır.

4.1.1.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle metal yüzeyinde film oluşturabilmek amacıyla metal yüzeyini pasifleştirmek amacıyla 0,1 M anilin çözeltisi hazırlanmış ve iletkenliği sağlamak amacıyla 0,3 M asetonitril çözeltisi eklenmiştir.

10 mV tarama hızıyla 40 döngü olacak şekilde çinko elektrotun yüzeyi dönüşümlü voltametri ile kaplanmış daha sonra %90 su, %5 klorodimetil silan ve %5 alkol kullanılarak hazırlanan çözelti ile yine 10 mV tarama hızında 40 döngü olacak şekilde metal yüzey üzerinde silan film oluşumu sağlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan anilin çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.21 ve 4.22’ de verilmiştir.

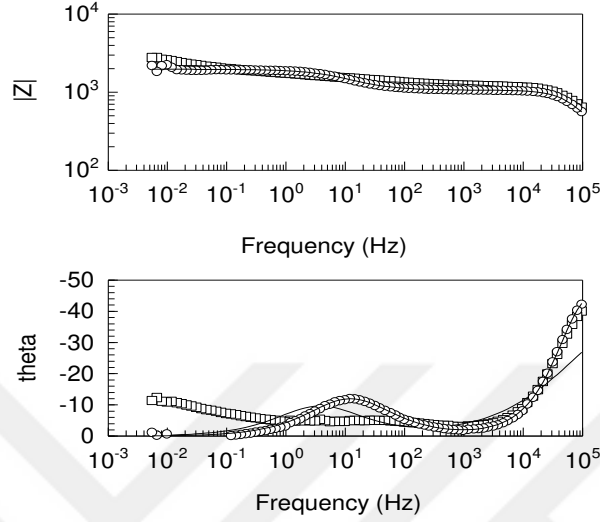


Şekil 4.21. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve anilin çözeltisi ile film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.21.a. yapay yağmur suyu çözeltisinde 40 döngü ile yapılan dönüşümlü voltametri yöntemindeki işlem görmemiş çinko elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir.

Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiştir ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir. İşlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $4,32 \cdot 10^{-9}$ ve $5,46 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

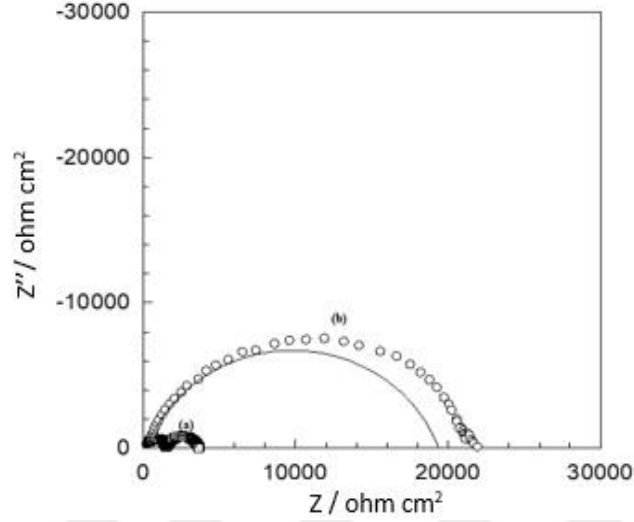
Şekil 4.21.b anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1334 ve 866,4 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla; $4,9 \cdot 10^{-9}$ ve $1,4 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.



Şekil 4.22. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş çinko elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.21'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.22'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Ölçülen direnç değerleri karşılaştırıldığında hazırlanan anilin çözeltisinin %18,2 oranında çinko metalinin yüzeyini pasifleştirdiği görülmüştür.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz çinko elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.23 ve 4.24' de verilmiştir.

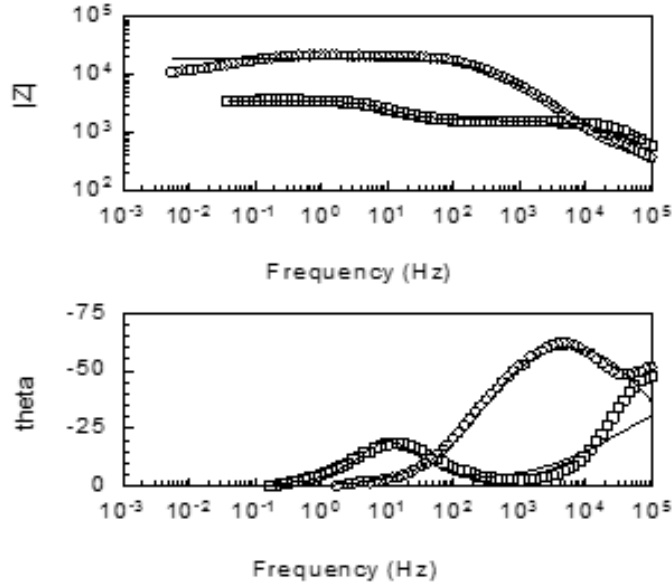


Şekil 4.23. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve kloro dimetil silan çözeltisi ile film oluşturulan çinko elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.23.a. yapay yağmur suyu çözeltisinde 40 döngü ile yapılan dönüşümlü voltametri yöntemindeki işlem görmemiş çinko elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrotta ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci Zn yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülayon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir. İşlemsiz çinko elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 1765 ve 1781 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $4,32 \cdot 10^{-9}$ ve $5,46 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.

Şekil 4.23.b klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Zn elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen eliptik lup oluşan film tabakasının direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci R_2 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.4'te verilen devredir. Lupun direnç değeri 19203 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer; $1,46 \cdot 10^{-7} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.

Şekil 4.23'ye ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.24'de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.



Şekil 4.24. İşlemsiz çinko elektrot(□) ve klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş çinko elektrotun(○) Bode eğrisi

Şekil 4.22 ve 4.23 incelendiğinde dönüşümlü voltametri ile yapılan çalışma ile oluşturulan filmin yapay yağmur suyu çözeltisinde korozyona karşı koruyucu özelliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür.

Direnç değerleri karşılaştırıldığında yüzeyde oluşturulan filmin koruyucu etkisi Eşitlik 4.1'den % 90,6 olarak hesaplanmıştır.

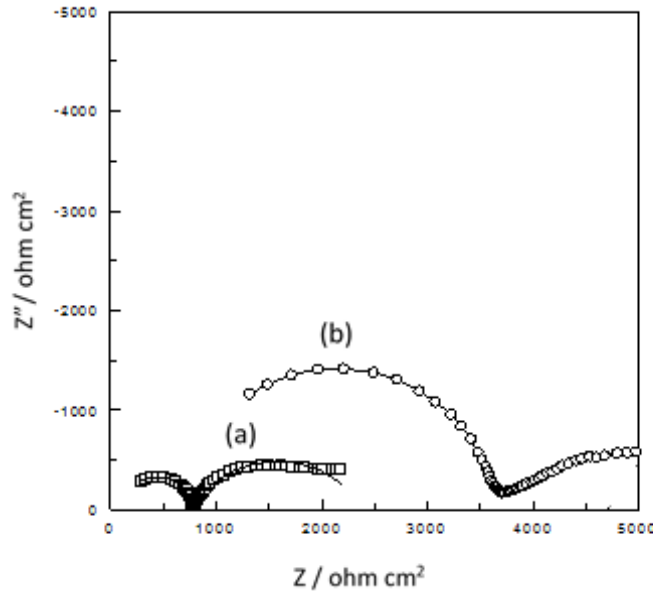
4.1.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

4.1.2.1. %5'lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%5'lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.25 ve 4.26'da verilmiştir.

Şekil 4.25.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve Mg alaşım yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir. Şekil 4.25.a'da işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun birinci ve ikinci lup değerleri (R_2 ve R_3) direnç değerleri sırasıyla 631 ve 1627 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır.

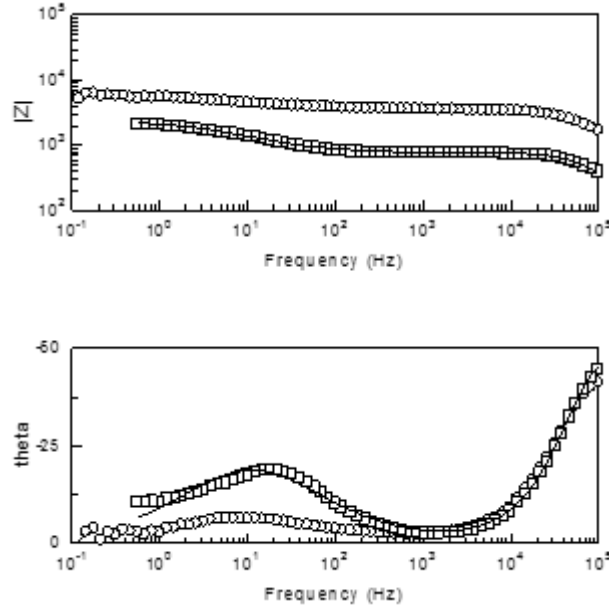
Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,26 \cdot 10^{-9}$ ve $5,87 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir. Şekil 4.25.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.26'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.



Şekil 4.25. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı

Şekil 4.25.b %5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen lup yüzeyde oluşan film tabakasının direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 olarak sembolize edilmiştir ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.4'te verilen devredir.

Lupun direnç değeri 9500 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer $1,23 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.



Şekil 4.26. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.25 ve 4.26'dan görüldüğü üzere %5'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direnci oldukça yüksek olarak bulunmuştur. Film bu koşullarda korozyona karşı koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den filmin koruyucu etkisi hesaplanmış olup bu değer %76,23 olarak bulunmuştur.

% 5 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 30,45ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinde yapılan AC impedans ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.7'de verilmiştir.

Çizelge 4.7. %5 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Mg dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	3,26x10 ⁻⁹	0,97	631	5,87x10 ⁻⁵	0,68	1627
%5 Alkolde	15	1,21x10 ⁻⁵	0,30	9500	-	-	-
Oluşan film	30	2,48x10 ⁻⁹	0,98	1017	9,73x10 ⁻⁶	0,53	326,5
yapay	45	1,03x10 ⁻⁸	0,87	1213	-	-	-
yağmur suyunda	60	7,06x10 ⁻⁶	0,34	1396	-	-	-

Çizelge 4.7’den de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş Mg alaşımının direnç değerleri 30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü görülmüştür. Bu değerlerin küçülmesi bu koşullarda yüzeyde film oluşumu sağlanamadığını göstermektedir. Bu durum yüzeyde süre geçtikçe kararlı ve homojen film tabakasının oluşturulamadığını silan yapısında bulunan klorun süre geçtikçe elektrot yüzeyine agresif tutumlar sergilediğini ve yüzeyi korumak yerine daha aktif hale getirdiği görülmektedir.

4.1.2.2. %10’luk Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

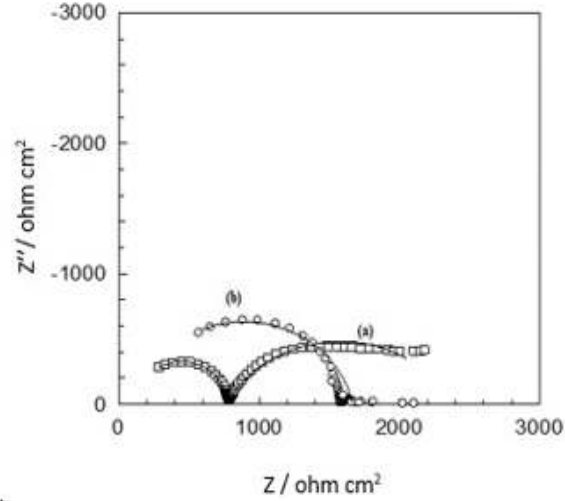
%10’luk klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin atmosferik korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım

elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.27 ve 4.28’de verilmiştir.

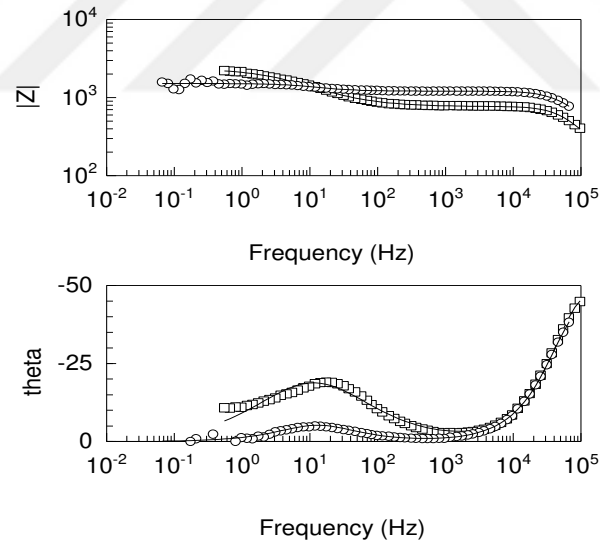
Şekil 4.27.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektroda ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve Mg alaşım yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3’te verilen devredir.

Şekil 4.27.a’da işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 631 ve 1627 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,26 \cdot 10^{-9}$ ve $5,87 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm^{-2} ’dir. Şekil 4.27.a’ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.27’de verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.

Şekil 4.27.b % 10’luk klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektroda ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir.



Şekil 4.27. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı



Şekil 4.28. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1553 ve 1019 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $9,47 \cdot 10^{-9}$ ve $3,14 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

Şekil 4.27 ve 4.28'den görüldüğü üzere %10'luk klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulmaya çalışılan filmin korozyona karşı direnci çok yüksek olarak bulunamamıştır. Film bu koşullarda korozyona karşı az da olsa koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den filmin koruyucu etkisi hesaplanmış olup bu değer %12,21 olarak bulunmuştur.

%10 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinde yapılan AC impedans ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.8'de verilmiştir.

Çizelge 4.8. %10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Mg dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$3,26 \cdot 10^{-9}$	0,97	631	$5,87 \cdot 10^{-5}$	0,68	1627
%10 Alkolde Oluşan film yapay yağmur suyunda	15	$9,47 \cdot 10^{-9}$	0,87	1553	$3,14 \cdot 10^{-5}$	0,43	1019
	30	$3,92 \cdot 10^{-9}$	0,99	635,6	$4,75 \cdot 10^{-4}$	0,63	1325
	45	$3,34 \cdot 10^{-9}$	0,99	992,2	$8,23 \cdot 10^{-5}$	0,87	873
	60	$2,86 \cdot 10^{-9}$	0,86	712	$2,43 \cdot 10^{-5}$	0,56	938,7

Çizelge 4.8’den de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş Mg alaşımının direnç değerleri 30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü görülmüştür. Çözelti derişiminin artması ve film oluşturma süresinin artması yüzeyde oluşan film tabakasının korozyona karşı koruma özelliğinin artmasına neden olmamış aksine Mg alaşım elektrotu daha aktif hale getirmiştir.

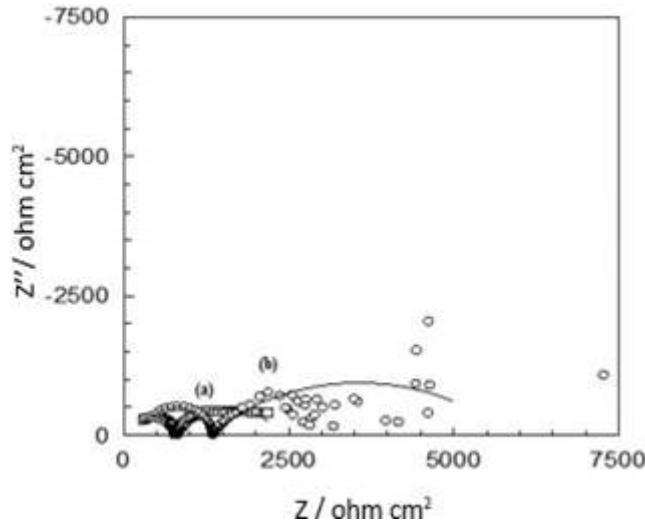
4.1.2.3. %20’lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%20’lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.29 ve 4.30’ da verilmiştir.

Şekil 4.29.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve Mg alaşım yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülayon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3’te verilen devredir.

Şekil 4.29.a’da işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun birinci ve ikinci lup (R_2 ve R_3) değerleri sırasıyla 631 ve 1627 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır.

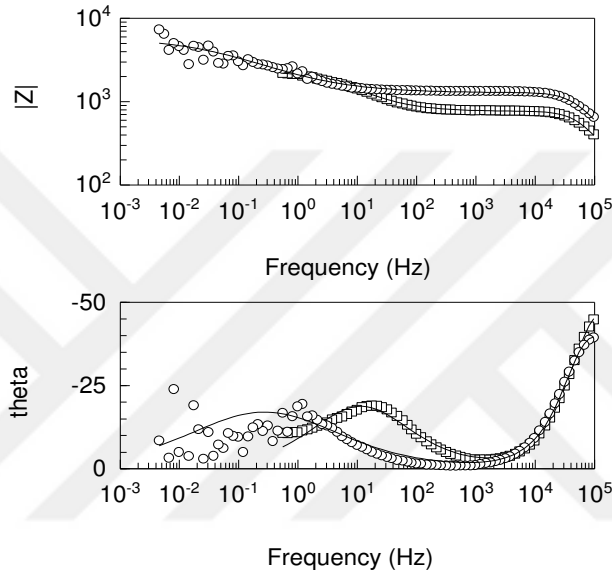
Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $3,26 \cdot 10^{-9}$ ve $5,87 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}^{-1} \text{sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir. Şekil 4.29.a'ya ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.30'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.



Şekil 4.29. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %20'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (○) Nyquist diyagramı

Şekil 4.29.b %20'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiştir.

Lupların direnç değerleri sırasıyla 972,4 ve 4576 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $2,416 \cdot 10^{-9}$ ve $3,58 \cdot 10^{-6}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻², dir.



Şekil 4.30. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.29 ve 4.30'dan görüldüğü üzere %20'lik klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direnci çok yüksek olarak bulunamamıştır. Film bu koşullarda korozyona karşı az da olsa koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den filmin koruyucu etkisi hesaplanmış olup bu değer %59,3 olarak bulunmuştur.

%20 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinde

yapılan AC impedans ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.9'da verilmiştir.

Çizelge 4.9. %20 klorodimetil silan çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Mg dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$3,26 \times 10^{-9}$	0,97	631	$5,87 \times 10^{-5}$	0,68	1627
%20 Alkolde	15	$2,416 \times 10^{-9}$	0,98	972,4	$3,58 \times 10^{-6}$	0,50	4576
Oluşan film	30	$2,36 \times 10^{-6}$	0,8	2300	-	-	-
Yapay	45	$1,13 \times 10^{-6}$	0,34	1001	-	-	-
yağmur suyunda	60	$4,35 \times 10^{-7}$	0,61	667,4	-	-	-

Çizelge 4.9'dan da görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş Mg alaşımının direnç değerleri 30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü ve Nyquist eğrilerinde tek eliptik lup oluştuğu görülmektedir. Çözelti derişiminin artması ve kaplama oluşturma süresinin artması ile yüzeyde oluşturulmak istenen filmin bu şartlarda oluşturulamadığını göstermektedir.

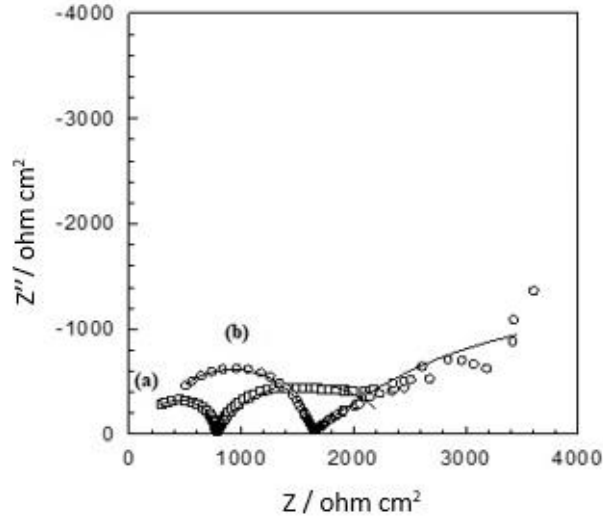
4.1.2.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Literatürde yapılan çalışmalar ve yaptığımız çalışmalarda Mg alaşımı yüzeyinde oluşan silan filminin koruyuculuk özelliğinin birden fazla silan içeren çözeltilerin belli oranlarda karıştırılması ile daha fazla olduğu görülmüştür. (ZucchiA ve ark.,2008).

Bu nedenle yapılan çalışmada klorodimetil silan çözeltisi ile viniltrietoksi silan çözeltisi alkolde derişimleri %5 olacak şekilde karıştırılarak hazırlanan

çözeltiye 15,30,45,60 dakika süre ile doğrudan daldırma ile Mg alaşım elektrot yüzeyinde film oluşturulmuş ve oluşturulan film tabakalarının korozyona karşı gösterdiği koruyucu özellikler incelenmiştir.

Hazırlanan karışım çözeltisi içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.31 ve 4.32’ de verilmiştir.



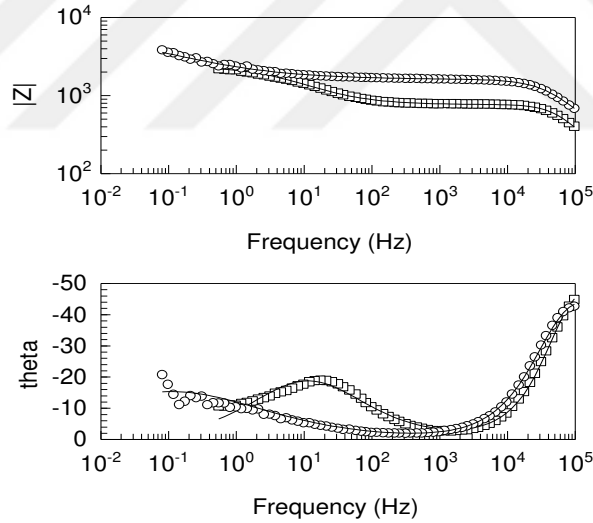
Şekil 4.31. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (○) Nyquist diyagramı

Şekil 4.31.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci

lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci yani korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümüstasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilir.

Şekil 4.31.b %5'lik klorodimetil silan ve viniltrietoksi silan karışımının alkolde hazırlanan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir.



Şekil 4.32. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (○) Bode eğrisi

Çözelti direnci R1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç

değerleri sırasıyla 1376 ve 9272 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $9,04 \cdot 10^{-9}$ ve $4,42 \cdot 10^{-6}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir. Şekil 4.32'de verilen Bode eğrisinde çift lup görülmektedir.

Şekil 4.31 ve 4.32'den görüldüğü üzere hazırlanan karışım çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direnci oldukça yüksek olarak bulunmuştur. Film bu koşullarda korozyona karşı koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den filmin koruyucu etkisi hesaplanmış olup bu değer %78,8 olarak bulunmuştur.

Hazırlanan karışım çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinde yapılan AC impedans ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.10'da verilmiştir.

Çizelge 4.10. Karışım çözeltisinin farklı sürelerdeki impedans ölçüm sonuçları

	Mg dk	CPE1 S.sec ⁿ	n	R2 ohm cm ²	CPE2 S.sec ⁿ	n	R3 ohm cm ²
Kaplamasız	0	$3,26 \cdot 10^{-9}$	0,97	631	$5,87 \cdot 10^{-5}$	0,68	1627
Karışım oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	$9,04 \cdot 10^{-9}$	0,90	1376	$4,42 \cdot 10^{-6}$	0,51	9272
	30	$2,36 \cdot 10^{-6}$	0,8	2300	-	-	-
	45	$1,13 \cdot 10^{-6}$	0,34	1001	-	-	-
	60	$4,35 \cdot 10^{-7}$	0,61	667,4	-	-	-

Çizelge 4.10'dan da görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş Mg alaşımının direnç değerleri 30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin direnç değerleri ile kıyaslandığında süre geçtikçe direnç değerlerinin küçüldüğü ve Nyquist eğrilerinde tek eliptik lup oluştuğu görülmektedir. Çözelti içerisinde film

oluşturma süresinin artması ile yüzeyde oluşan film tabakasının korozyona karşı koruma özelliğinin azaldığını görülmüştür. Bu nedenle Mg alaşım alaşımı elektrot için bundan sonra yapılacak tüm çalışmalar 15 dakika süre uygulanarak yapılmıştır. Çünkü süre arttıkça film tabakasının çok daha kalın olduğu ve elektrota yalıtkan özellik kazandırdığı için elektrokimyasal ölçümlere iyi cevap vermediği düşünülmektedir.

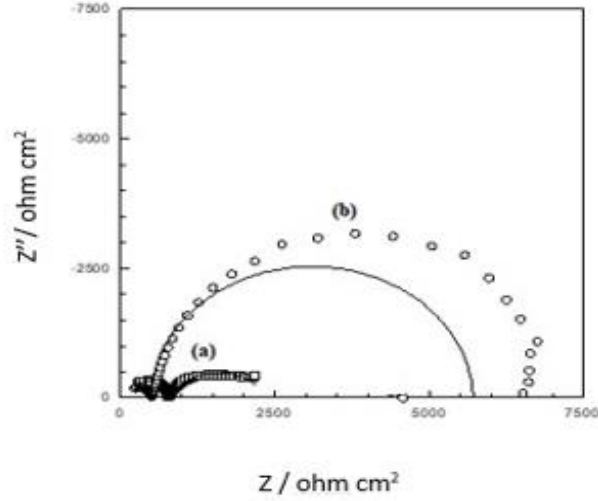
4.1.2.5. pH=10'da Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Çinko'nun Pourbaix diyagramından yola çıkılarak pH=10' da yapılan ölçümlerin Mg alaşım elektrotun korozyon davranışları ile karşılaştırılmasını sağlamak amacıyla klorodimetil silanın hazırlanan çözeltisinin amonyak ile pH değeri 10 olacak şekilde damla damla amonyak ilave edilerek ve pH kontrolü pHmetre ile sağlanarak çözelti hazırlanmıştır. Doğrudan daldırma ile 15 dakika sürede oluşturulan film tabakasının korozyon davranışları incelenmiştir. Hazırlanan bazik çözelti içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.33 ve 4.34' de verilmiştir.

Şekil 4.33.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir.

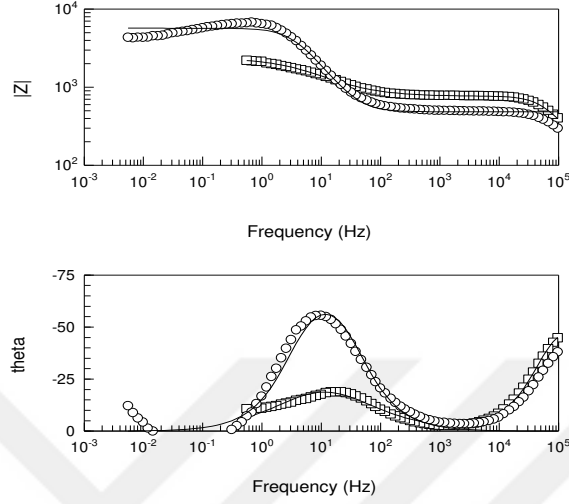
Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrota ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci ki burada Mg alaşım yüzeyinde, korozyon ürünlerinin

yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülayon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R2 ve R3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir.



Şekil 4.33. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) Nyquist diyagramı

Şekil 4.33.b pH=10'da hazırlanan bazik çözeltide 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup yüzeyde fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci R2 olarak sembolize edilmiştir. Lupun direnç değeri 5228 ohm cm² olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 değeri ise $9,63 \cdot 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.



Şekil 4.34. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.33'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.34'te verilmiştir.

Şekil 4.33 ve 4.34'den $\text{pH}=10$ 'da hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direncinin hiç işlem görmemiş Mg alaşım elektrota oranla daha yüksek olduğu görülmektedir. Film bu koşullarda korozyona karşı koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den $\text{pH}=10$ 'da hazırlanan silan çözeltisinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi hesaplanmış ve bu değer % 56,8 olarak bulunmuştur.

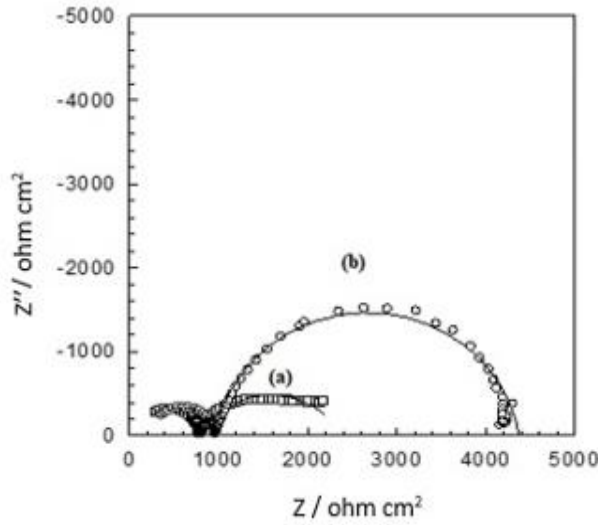
4.1.2.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Bu yöntemin en önemli uygulama alanı ince film oluşturmaktır (Mackenzie ve Bescher 2000). Bu nedenle klorodimetil silanın %5'lik sulu çözeltisi hazırlanmış ve pH değerini 3 yapabilmek için asetik asitle damla damla damlatılıp

pHmetre ile kontrol sağlanarak çözelti hazırlanmıştır. Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcı ile üç gün süre ile karıştırılmış ve Mg alaşım elektrotun yüzeyinde farklı sürelerde ince film oluşturulmaya çalışılmıştır.

Elektrot doğrudan daldırma yöntemi ile çözeltiye daldırılmış daha sonra etüvde 70°C 'de 60 dakika kurutma yapıp soğutulduktan sonra yapay yağmur suyu çözeltisinde korozyona dayanımını ölçmek için elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır.

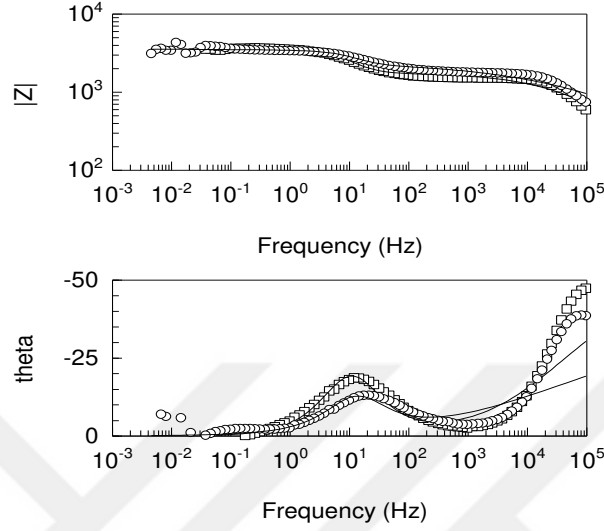
Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.35 ve 4.36' da verilmiştir.



Şekil 4.35. İşlemsiz magnezyum alaşım elektrot (□) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan magnezyum alaşım elektrotun (o) Nyquist diyagramı

Şekil 4.35.a. işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrotta ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci Mg alaşım yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir.

Şekil 4.35.b Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrotta ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiştir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1564 ve 3910000 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $7,718.10^{-5}$ ve $1,12.10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm^{-2} 'dir.



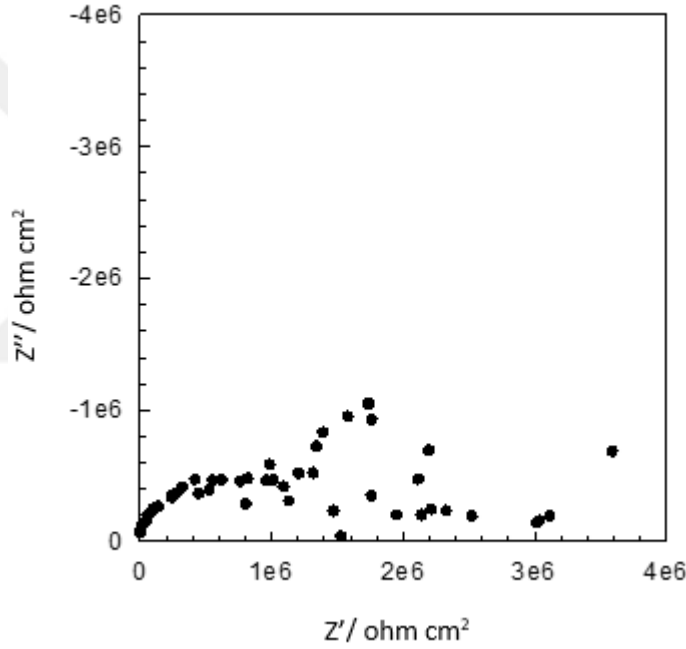
Şekil 4.36. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (○) Bode eğrisi

Şekil 4.35'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.36'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir.

Şekil 4.35 ve 4.36'dan sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisinde 15 dakika bekletilerek oluşturulan filmin korozyona karşı direncinin hiç işlem görmemiş Mg alaşım elektrotla oranla çok yüksek olduğu görülmektedir. Film bu koşullarda korozyona karşı çok iyi koruyucu özellik göstermektedir. Eşitlik 4.1'den sol-jel yöntemiyle hazırlanan silan çözeltisinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi hesaplandığında 15 dakika süre ile oluşturulan filmin koruyucu etkisi % 99,96 olarak bulunmuştur. 15 dakikada film oluşumu çözelti hazırlanır hazırlanmaz yapılmıştır. Çözelti hazırlanıp 3 hafta süre beklendiğinde çözelti hazırlanan cam kap yüzeyinde kalın film tabakası olduğu görülmüş ve bu çözeltide yine aynı süre için ölçümler alınmaya çalışılmış fakat elde edilen sonuçlarda direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

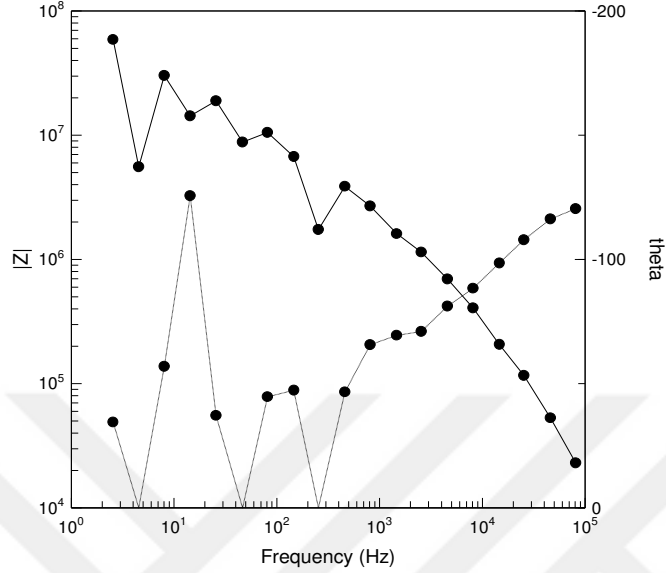
Bu durum oluşan kaplamanın bu sürede çok kalın film tabakası olarak oluştuğunu ve yalıtkan özellik kazandığını düşündürmüştür. Film kalınlığını azaltmak için daldırma süresi azaltılmış 1,3,5 dakika süre oluşturulan filmler için elektrokimyasal ölçümler alınmış fakat bu sürelerde de direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Şekil 4.37’de sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede oluşturulan film tabakasının Nyquist diyagramı verilmiştir.



Şekil 4.37. Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun Nyquist diyagramı

Şekil 4.37’den de görüldüğü üzere sol-jel yöntemiyle 1 dakikada oluşan silan filminin direnç değerleri çok yükselmiştir. Şekil 4.37’e ait Bode eğrisi Şekil 4.38’de verilmiştir.



Şekil 4.38. Sol-jel yöntemiyle 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun Bode eğrisi

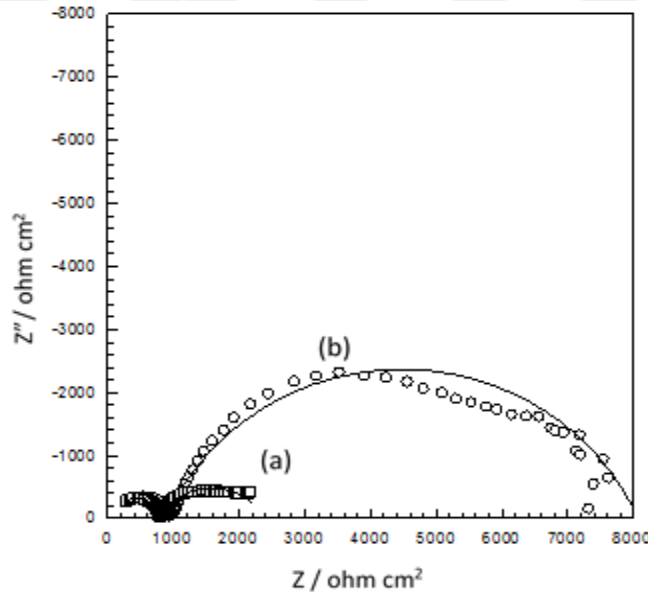
Şekil 4.36’da görüldüğü gibi bariyer özellikte bir kaplama tespit edilmiştir. Yüksek frekans bölgesinde 10^5 ile 10^2 Hz arasında lineer bölge kaplamanın oldukça kuvvetli koruyucu etkisini açıklamaktadır. Yapılan çalışmalar sol-jel yöntemiyle hazırlanan çözelti ile oluşturulan film tabakasının korozyona karşı metal yüzeyini korumada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Hatta oluşturulan filmin oluşabilmesi için 1 dakika gibi kısa sürenin yeterli olması bu durumun metali korozyona karşı korumada zamandan tasarruf edilen ucuz bir yol olarak bu yöntemin kullanılabilmesine imkan sağlamıştır.

4.1.2.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle metal yüzeyinde film oluşturabilmek amacıyla metal yüzeyini pasifleştirmek için 0,1 M anilin çözeltisi hazırlanmış ve iletkenliği sağlamak için 0,3 M asetonitril çözeltisi eklenmiştir. 10 mV tarama

hızıyla 40 döngü olacak şekilde Mg alaşım elektrotun yüzeyi dönüşümlü voltametri ile kaplanmış daha sonra %90 su, %5 klorodimetil silan ve %5 alkol kullanılarak hazırlanan çözelti ile yine 10 mV tarama hızında 40 döngü olacak şekilde metal yüzey üzerinde silan film oluşumu sağlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan anilin çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrota ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.39 ve 4.40’ da verilmiştir.

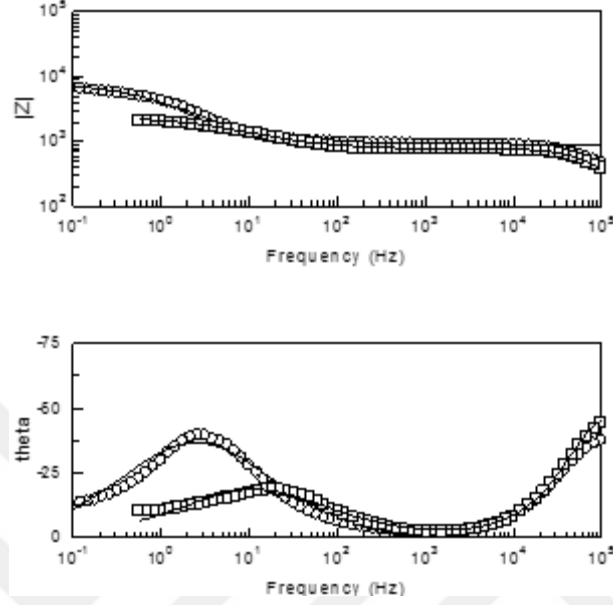


Şekil 4.39. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve anilin çözeltisi ile film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) Nyquist diyagramı

Şekil 4.39.a. yapay yağmur suyu çözeltisinde 40 döngü ile yapılan dönüşümlü voltametri yöntemindeki işlem görmemiş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden

başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan çift eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen ilk eliptik lup elektrotta ait yük transfer direnci ile ilişkili olup ikinci lup yüzeyde akümüle olan türlerin ve fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yük transfer direnci ve film direnci Mg alaşım elektrot yüzeyinde, korozyon ürünlerinin yüzeyde oluşturduğu koruyucu özelliği olmasa dahi akümülyasyon ve fiziksel etkilerle korumaya katkı sağlayan tabaka direnci sırasıyla R_2 ve R_3 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.3'te verilen devredir. Lupların direnç değerleri sırasıyla 1300 ve 4127 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 ve CPE2 için hesaplanan değerler sırasıyla $9,57 \cdot 10^{-8}$ ve $1,62 \cdot 10^{-6}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.

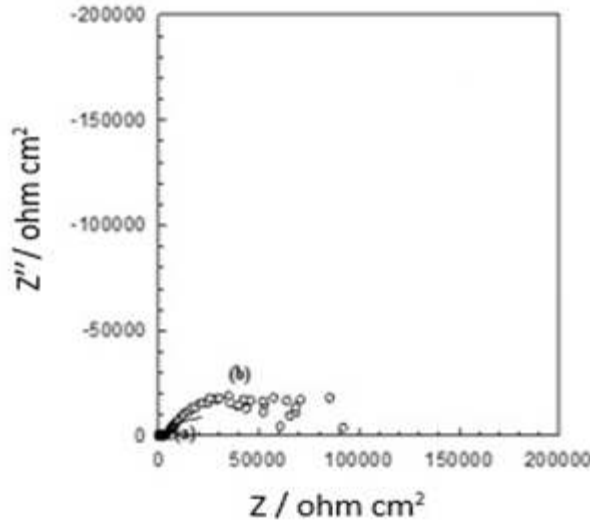
Şekil 4.39.b anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen eliptik lup yüzeyde fiziksel olarak biriken türlerin direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci R_2 olarak sembolize edilmiştir. Lupun direnç değeri 7193 ohm cm^2 olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer $5,48 \cdot 10^{-5}$ ohm⁻¹secⁿ cm⁻²'dir.



Şekil 4.40. İşlemsiz Mg alaşım elektrot($\square$) ve anilin çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.39'a ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.40'da verilmiştir. Bode eğrilerinde çift lup görülmektedir. Direnç değerleri karşılaştırıldığında hazırlanan anilin çözeltisinin %68,6 oranında Mg alaşımının yüzeyini pasifleştirdiği görülmüştür.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist diyagramı ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotu ait Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.41 ve 4.42' de verilmiştir.

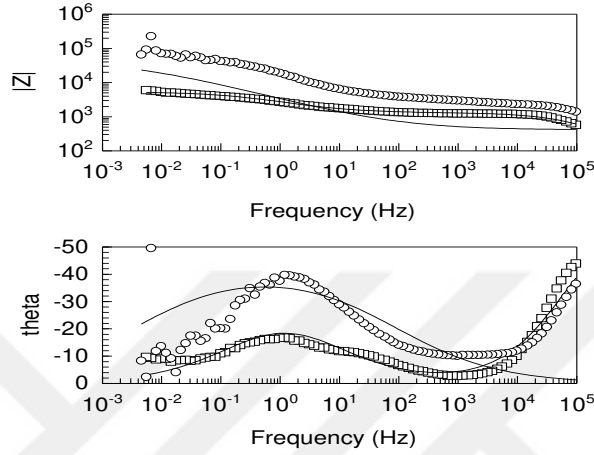


Şekil 4.41. Mg alaşım elektrot (□) ve kloro dimetil silan çözeltisi ile film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) Nyquist diyagramı

Şekil 4.41.a. yapay yağmur suyu çözeltisinde 40 döngü ile yapılan dönüşümlü voltametri yöntemindeki işlem görmemiş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir.

Şekil 4.41.b klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun açık devre potansiyelinde elde edilen Nyquist eğrisidir. Yüksek frekans bölgesinden başlayarak orta frekans bölgesine uzanan ve düşük frekans bölgesinde kapanan tek eliptik lup görülmektedir. Nyquist eğrisinde gözlemlenen eliptik lup oluşan film tabakasının direncini temsil etmektedir. Çözelti direnci R_1 olarak; yüzeyde oluşturulan silan film direnci sırasıyla R_2 olarak sembolize edilmiş ve ilgili eşdeğer devre Şekil 4.4'te verilen devredir. Lupun direnç değeri $44885 \text{ ohm cm}^{-2}$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu eşdeğer devrede kapasitif özellikler sabit faz elemanı (CPE) ile temsil edilmiştir. CPE1 için hesaplanan değer; $1,30 \cdot 10^{-6} \text{ ohm}^{-1} \text{ sec}^n \text{ cm}^{-2}$ 'dir.

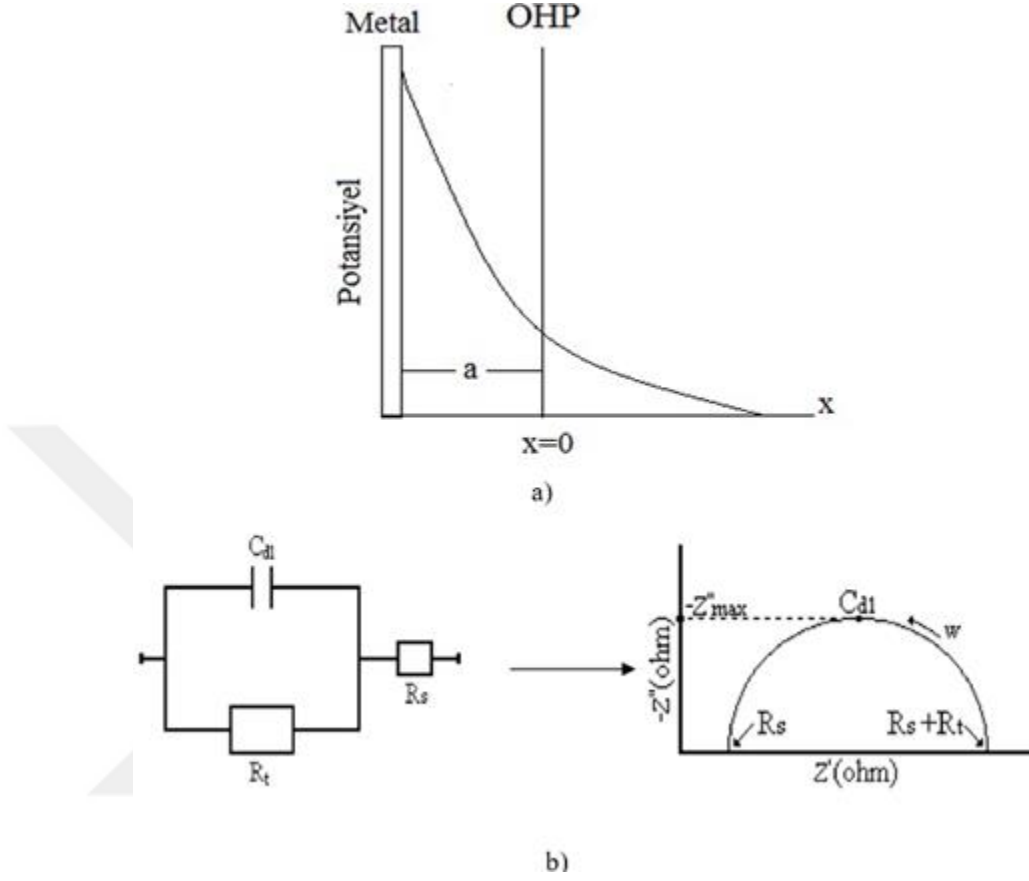
Şekil 4.41'e ait faz açısı frekans değişimini gösteren Bode eğrileri ise Şekil 4.42'de verilmiştir.



Şekil 4.42. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve klorodimetil silan çözeltisinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun($\circ$) Bode eğrisi

Şekil 4.41 ve 4.42 incelendiğinde dönüşümlü voltametri ile yapılan çalışma ile oluşturulan filmin yapay yağmur suyu çözeltisinde korozyona karşı koruyucu özelliğinin oldukça yüksek olduğu görülmüştür. Direnç değerleri karşılaştırıldığında yüzeyde oluşturulan filmin koruyucu etkisi Eşitlik 4.1'den % 94,96 olarak hesaplanmıştır.

Korozyon, elektrot/elektrolit ara yüzeyinde meydana gelmektedir. Elektriksel ara yüzey; metalin yüzeyinde oluşan yük yoğunluğu ve OHP den dolayı kondansatöre benzetilmiştir. Bu nedenle korozyon sistemlerinde metal/çözelti ara yüzeyi basit eşdeğer devreler yardımıyla açıklanmaktadır.



Şekil 4.43. Metal/çözelti ara yüzeyinde kondansatöre benzetilen çift tabakanın yapısı (a) ve bu ara yüzeyin temsili elektriksel eşdeğer devre şeması (b)(Erbil,2012)

Şekil 4.43’ de OHP dış Helmholtz tabakasını, C_{dl} çift tabaka kapasitesini, R_s çözelti direncini, R_t yük transfer direncini göstermektedir. Şekil incelendiğinde ;Nyquist diyagramlarının teorik olarak yarım daire şeklinde olması beklenir. Fakat her zaman bu durum sağlanamamaktadır.Çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımının yapay yağmur suyu ortamında korozyon davranışı için farklı derişimlerde ve farklı yöntemlerle hazırlanan silan çözeltilerinde oluşturulan filmin koruyucu etkisi için elde edilen Nyquist eğrilerine bakıldığında, yüksek frekans

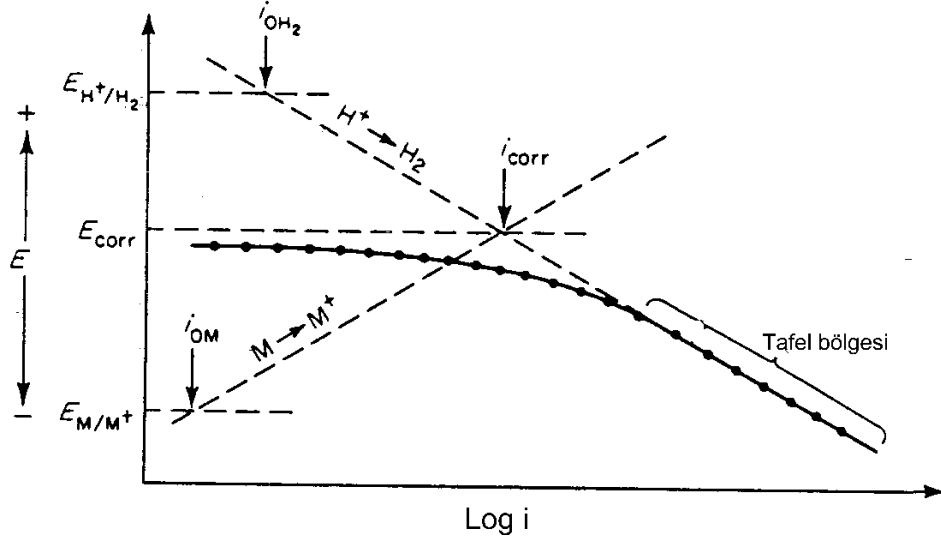
bölgesinden başlayan ve düşük frekans bölgesine doğru giden fakat yüksek dirençten dolayı kapanma göstermeyen eğrilerin de oluştuğu görülmektedir.

CHI 660c elektrokimyasal analizör cihazından elde edilen deneysel veriler yardımıyla ZView yazılımı kullanılarak sistemin eşdeğer devresi oluşturulduğunda eşdeğer devrelerin bazı çözümlerde Şekil 4.3'teki gibi, bazı çözümlerde ise Şekil 4.4'teki gibi olduğu görülmektedir. Her derişim için ve uygulanan yöntem için oluşturulan eşdeğer devre Nyquist eğrisi yorumlanırken belirtilmiştir.

4.2. Akım Potansiyel Eğrilerinden Elde Edilen Deneysel Bulgular

Çinko metali ve Mg alaşımının yüzeyinde oluşturulan silan film tabakasının elektrokimyasal davranışı, yapay yapmur suyu ortamında anodik yöndeki yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri çizilerek incelenmiştir. Tüm ölçümler başlangıç potansiyelinden 0,20 V potansiyele kadar anodik yönde 0,001 V/s tarama hızıyla yapılmıştır.

Akım-potansiyel eğrileri, devreden geçen akım ya da potansiyelden birinin belirli değerde tutulmasıyla diğerinin aldığı değerler grafiğe geçirilerek elde edilmektedir. Tafel yöntemi, Şekil 4.44'de görüldüğü gibi başlangıç noktası olarak korozyon potansiyeli alınıp anodik ve katodik yönde çizilen akım-potansiyel eğrilerinin logaritmik değerinin oluşan şekildeki çizgisel bölgelerin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle korozyon hızının bulunmasını sağlar.

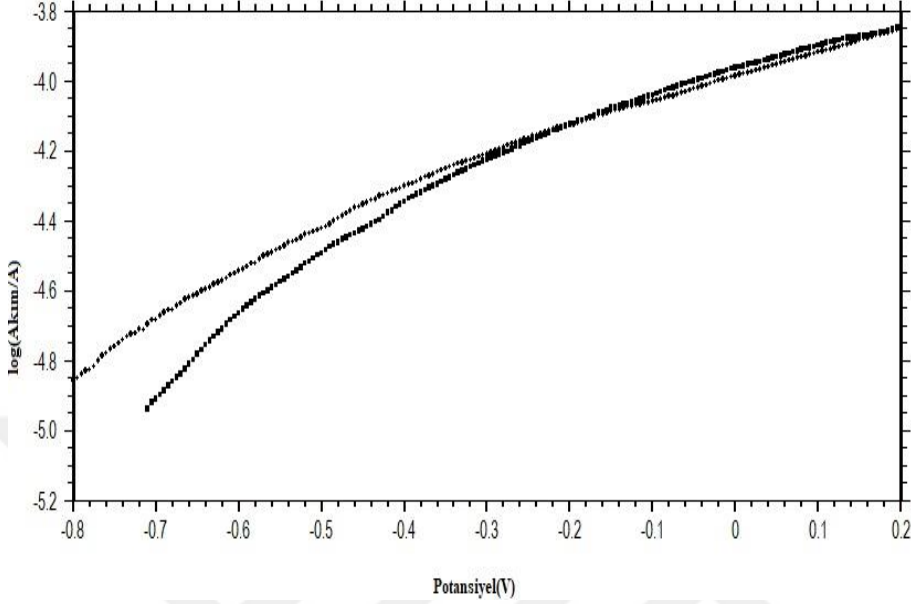


Şekil 4.44. Korozyon hızının Akım-potansiyel eğrileri ekstrapolasyonu yöntemiyle belirlenmesi (Erbil, 2012)

4.2.1. Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

4.2.1.1. %5'lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%5'lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.45'te verilmiştir.



Şekil 4.45. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.45'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,834 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $9,63 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $1,24 \times 10^{-3}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel arttığında akım değerlerinde işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun akım değerlerine oranla daha büyük artış olduğu gözlenmiştir. Bu artış metal yüzeyinde oluşturulmaya çalışılan filmin oluşturulamadığını göstermektedir.

%5 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15,30, 45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.11'de verilmiştir.

Çizelge 4.11. %5 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

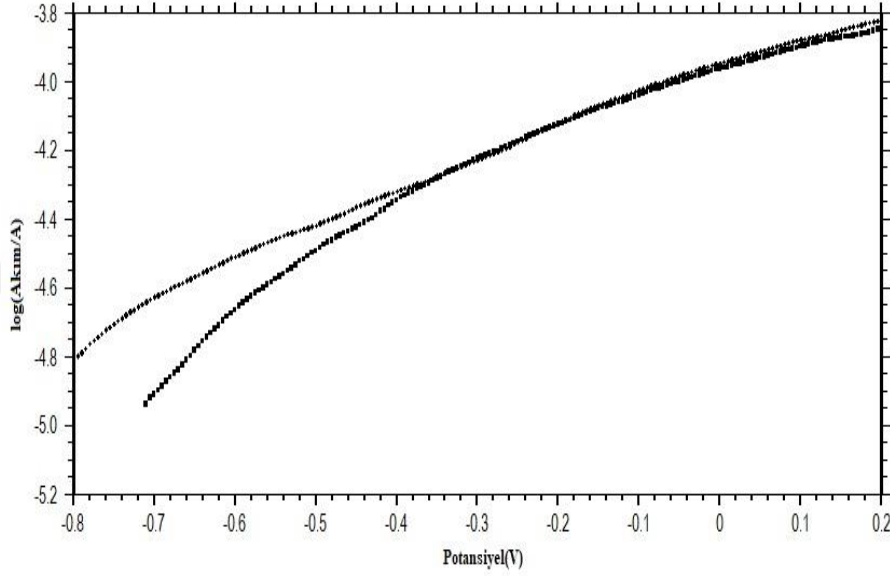
	Zn dk	E_{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	$5,43 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
%5 Alkolde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,834	$9,63 \times 10^{-4}$	$1,24 \times 10^{-3}$
	30	-0,850	$5,16 \times 10^{-4}$	$7,01 \times 10^{-4}$
	45	-0,846	$1,10 \times 10^{-3}$	$1,36 \times 10^{-3}$
	60	-0,887	$1,12 \times 10^{-3}$	$1,38 \times 10^{-3}$

Çizelge 4.11'den silan film oluşturmak için çözeltide bekleme süresinin artırılması ile akım değerlerinde artış olduğu görülmektedir. Bu artış metal yüzeyinde oluşturulmak istenen silan filminin metalin çözeltiye doğrudan daldırılması ile geçen sürenin artmasıyla film oluşumunun sağlanmadığı görülmektedir.

4.2.1.2. %10'luk Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%10'luk klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 60 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen

akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.46’da verilmiştir.



Şekil 4.46. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve %10'luk çözeltide 60 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.46'dan görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde % 10'luk klorodimetil silanın alkoldeki çözeltisine 60 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,804 V olarak ölçülmüştür. 60 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $7,44 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür.

Değerler işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini düşürdüğü ve korozyona karşı koruyucu etkisinin olduğunu göstermektedir. Silan filminin metal yüzeyini kaplamasından dolayı korozyonun daha yavaş gerçekleştiği söylenebilir. Silan moleküllerinin % 10'luk çözeltide 60 dakikada yüzeyde kararlı bir adsorpsiyon tabakası oluşturduğu düşünülmektedir.

% 10 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15, 30, 45 ve dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.12'de verilmiştir.

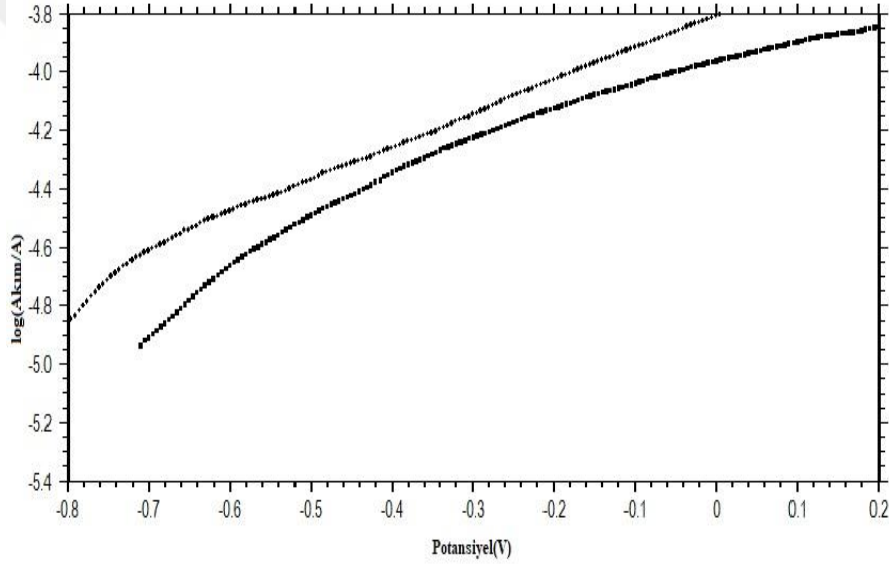
Çizelge 4.12. %10 klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

	Zn dk	E_{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	$5,43 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
%10 Alkolde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,782	$6,27 \times 10^{-4}$	$8,27 \times 10^{-4}$
	30	-0.813	$1,0 \times 10^{-3}$	$1,27 \times 10^{-3}$
	45	-0,793	$3,75 \times 10^{-4}$	$4,91 \times 10^{-4}$
	60	-0,804	$5,58 \times 10^{-4}$	$7,44 \times 10^{-4}$

Çizelge 4.12'de akım değerlerinde görülen azalışın nedeni derişimin ve geçen sürenin artması ile oluşan silan filminin yüzeyi tamamen kapatması ve metali korozyona karşı korumasıdır. % 5'lik çözeltiye göre derişimin artmasıyla yüzeyle etkışelen silan moleküllerinin sayısı da artmıştır. Çinko metalinin çözeltiye maruz bırakma süresindeki artış oluşan koruyucu film tabakasının kalınlaşmasına yol açmış ve yüzeyi koroziif ortama karşı daha dirençli hale getirmiştir.

4.2.1.3. %20'lik Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%20'lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 30 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.47'de verilmiştir.



Şekil 4.47. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve % 20'lik çözeltide 30 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.47'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür.

Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde %20'lik klorodimetil silanın alkoldeki çözeltisine 30 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,816 V olarak ölçülmüştür. 30 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $7,76 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $1,11 \times 10^{-3}$ A akım değeri ölçülmüştür. Değerler işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot ile kıyaslandığında oluşturulmaya çalışılan silan filminin anodik akım değerini arttırdığı ve korozyona karşı koruyucu etkisi oluşturmadığı görülmektedir. Metal yüzeyinde kararlı film oluşturulamamasından dolayı metal yüzeyini daha aktif hale getirdiği söylenebilir.

%20 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.13'te verilmiştir.

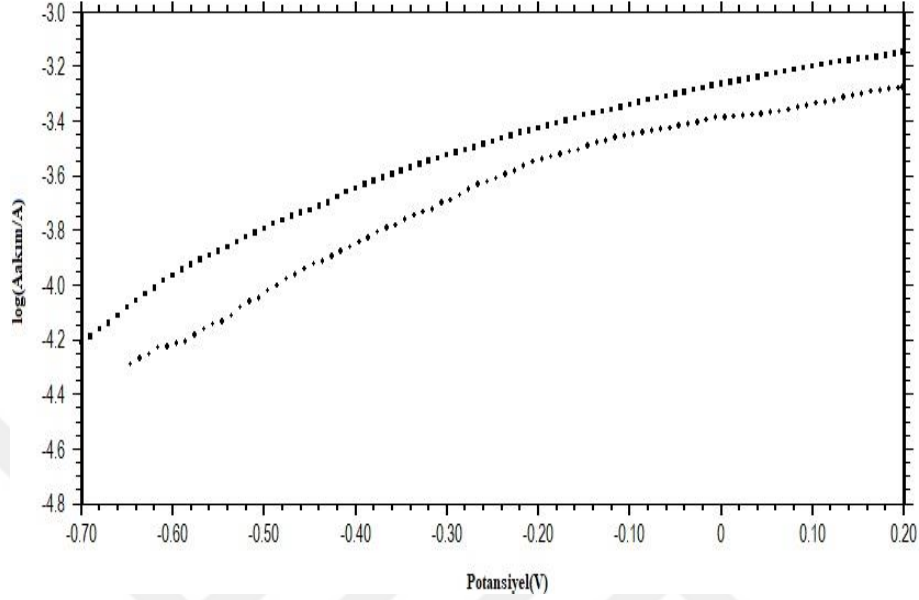
Çizelge 4.13. %20 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

	Zn dk	E_{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	$5,43 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
%20 Alkolde Oluşan film Yapay yağmur suyunda	15	-0,696	$4,27 \times 10^{-4}$	$5,27 \times 10^{-4}$
	30	-0,816	$7,76 \times 10^{-4}$	$1,11 \times 10^{-3}$
	45	-0,793	$5,75 \times 10^{-4}$	$6,91 \times 10^{-4}$
	60	-0,884	$6,05 \times 10^{-4}$	$8,15 \times 10^{-4}$

Çizelge 4.13'te de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun akım değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin akım değerleri kıyaslandığında 15 dakikada oluşturulan filmin diğerlerine oranla az da olsa koruyucu özelliğinin olduğu fakat 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe akım değerlerinin daha fazla arttığı görülmüştür. Bu değerlerin artmasından oluşturulmak istenen filmlerin bu koşullarda oluşturulmadığı görülmüştür. Bunun nedeninin ise silan yapısında bulunan klorun çözelti derişimi arttıkça daha saldırgan bir tutum sergileyerek film tabakası oluşumunu engellemesi olarak düşünülmektedir.

4.2.1.4.Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Klorodimetil silan çözeltisi ile viniltrietoksi silan çözeltisi alkolde derişimleri %5 olacak şekilde karıştırılarak hazırlanan çözeltiye 15,30,45,60 dakika sürede doğrudan daldırma ile çinko elektrot yüzeyinde film oluşturulmuş ve oluşturulan film tabakalarının korozyona karşı gösterdiği koruyucu özellikler incelenmiştir.Hazırlanan karışım çözeltisi içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin atmosferik korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.48'de verilmiştir.



Şekil 4.48. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.48'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde silanın alkoldeki karışım çözeltisine 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,646 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $4,08 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,28 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Değerler işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini azalttığı ve korozyona karşı koruyucu etkisinin olduğu görülmektedir.

Hazırlanan karışım çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.14'te verilmiştir.

Çizelge 4.14. Karışım silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

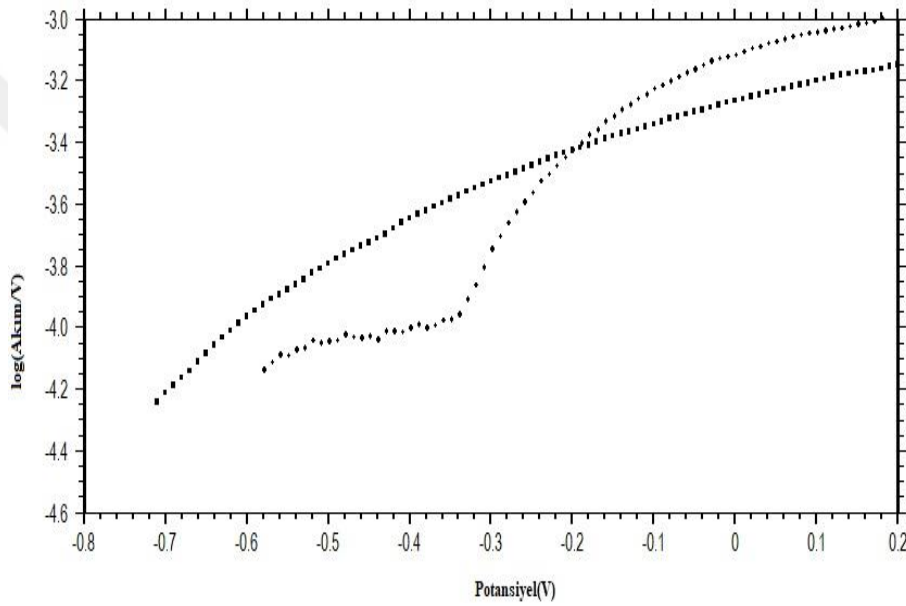
	Zn dk	E _{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	5,43x10 ⁻⁴	5,58x10 ⁻⁴
Karışım oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,646	4,08x10 ⁻⁴	5,28x10 ⁻⁴
	30	-1,272	8,47x10 ⁻⁴	9,84x10 ⁻³
	45	-1,323	8,85x10 ⁻⁴	9,91x10 ⁻³
	60	-1,336	8,89x10 ⁻⁴	9,94x10 ⁻³

30, 45 ve 60 dakikada süre geçtikçe akım değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değerlerin artması yüzeyde oluşturulmak istenen silan filmin oluşturulmadığını göstermektedir. Bunun nedeninin başlangıçta iki farklı silan çözeltisinin karıştırılması karbon zincirini uzatarak homojen film oluşumunu sağlamış olsada silan yapısında bulunan klorun zaman geçtikçe vinil yapısını bozup metal yüzeyinde film oluşumunu engellemesi olduğu düşünülmektedir.

4.2.1.5. pH=10'da Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Pourbaix diyagramına göre pH=10' da bağırsıklık gösterdiği yani pasif özellikte davrandığı görülen çinko elektrot için klorodimetil silanın hazırlanan çözeltisinin amonyak ile pH değeri 10 olacak şekilde damla damla amonyak ilave edilerek ve pH kontrolü pH metre ile sağlanarak çözelti hazırlanmıştır.

Hazırlanan bazik çözelti içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin atmosferik korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.49'da verilmiştir.



Şekil 4.49. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.49'dan görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde silanın pH=10'daki çözeltisine 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,843 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $4,54 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,11 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini azalttığı ve korozyona karşı az da olsa koruyucu etkisi oluşturduğu göstermektedir. Hazırlanan karışım çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.15'te verilmiştir.

Çizelge 4.15. pH=10'da silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

	Zn dk	E_{kor} (V)	I A/cm^2 (0,0V)	I A/cm^2 (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	$5,43 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
pH=10'da oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,843	$4,54 \times 10^{-4}$	$5,11 \times 10^{-4}$
	30	-0,888	$6,32 \times 10^{-4}$	$8,09 \times 10^{-4}$
	45	-0,923	$4,83 \times 10^{-3}$	$6,79 \times 10^{-3}$
	60	-0,968	$1,59 \times 10^{-3}$	$1,86 \times 10^{-3}$

Çizelge 4.15'e göre 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe akım değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değerlerin artması oluşturulmak istenen filmlerin bu koşullarda oluşturulamadığını göstermektedir.

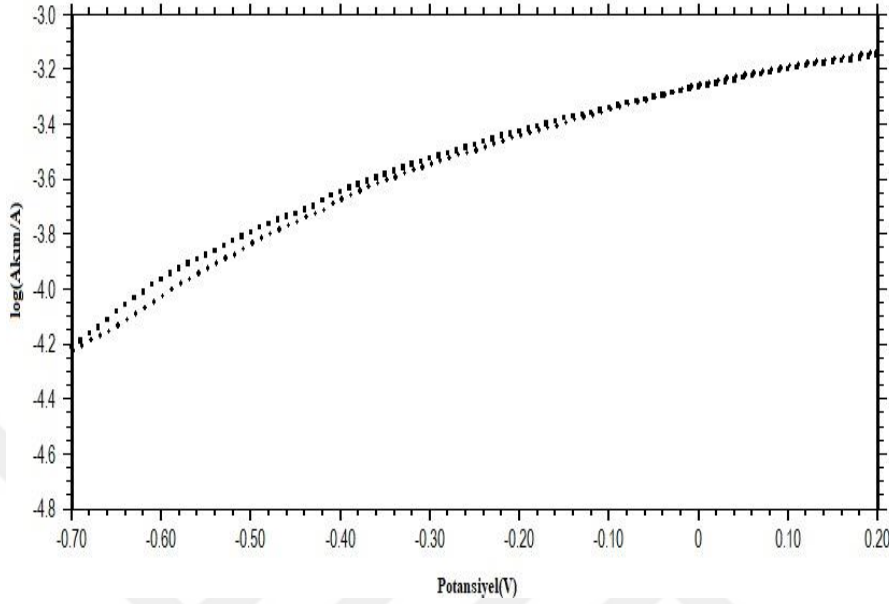
Filmlerin oluşturulamamasında bazik ortamda silan yapısında bulunan klorun çinko ile $ZnCl_2$ ve amonyak ile NH_4Cl tuzlarını oluşturarak metal yüzeyini korozyona açık hale getirmesinin etkili olduğu düşünülmektedir.

4.2.1.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Sol-jel oluşturmak için klorodimetil silanın %5'lik sulu çözeltisi hazırlanmış ve pH değerini 3 yapabilmek için asetik asit damla damla ilave edilip pHmetre ile kontrol sağlanarak çözelti hazırlanmıştır.

Hazırlanan çözelti manyetik karıştırıcıyla üç gün süre ile karıştırılmış ve çinko elektrotun yüzeyinde farklı sürelerde ince film oluşturulmaya çalışılmıştır. Elektrot doğrudan daldırma yöntemi ile çözeltiye daldırılmış daha sonra etüvde $70^{\circ}C$ 'de 60 dakika kurutma yapıp soğutulduktan sonra yapay yağmur suyu çözeltisinde korozyona dayanımını ölçmek için elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır.

Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.50'de verilmiştir.



Şekil 4.50. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.50'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde klorodimetil silanın sol-jel çözeltisine 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,708 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,38 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,45 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini azalttığı ve korozyona karşı koruyucu etkisi oluşturduğu göstermektedir.

Hazırlanan sol jel çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için çinko elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.16'da verilmiştir.

Çizelge 4.16. Sol-jel silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

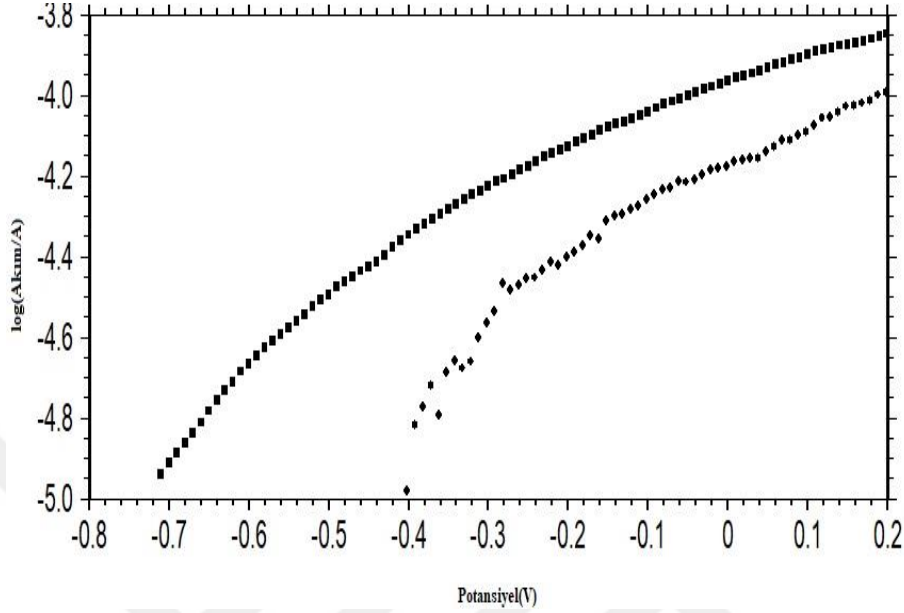
	Zn dk	E_{kor} (V)	I A/cm^2 (0,0V)	I A/cm^2 (0,2V)
Kaplamasız	0	-0,710	$5,43 \times 10^{-4}$	$5,58 \times 10^{-4}$
Sol-jelde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,708	$5,38 \times 10^{-4}$	$5,45 \times 10^{-4}$
	30	-0,914	$4,98 \times 10^{-4}$	$5,09 \times 10^{-4}$
	45	-0,819	$4,87 \times 10^{-4}$	$5,43 \times 10^{-4}$
	60	-0,828	$4,30 \times 10^{-4}$	$4,56 \times 10^{-3}$

Çizelge 4.16'dan da görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş çinkonun akım değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin akım değerleri ile kıyaslandığında tüm sürelerde yüzeyde az da olsa koruyucu özellikte film oluşturulduğu görülmektedir. Hazırlanan çözeltide oluşturulan filmin koruyucu etkisini zaman ile doğru orantılı olmadığı görülmüştür. Bu durum yüzeyde homojen film oluşumunun sağlanamamış olduğunu düşündürmektedir. 15,30,45,60 dakika sürede film oluşumu çözelti hazırlanır hazırlanmaz yapılmıştır. Çözelti hazırlanıp 3 hafta süre beklendiğinde çözelti hazırlanan cam kap yüzeyinde kalın film tabakası olduğu görülmüş ve bu çözeltide yine aynı sürelerde ölçümler alınmaya çalışılmış fakat elde edilen sonuçlar da direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür. Bu durum oluşan kaplamanın bu sürelerde çok kalın film tabakası olarak oluştuğunu ve yalıtkan özellik kazandığını düşündürmüştür.

Film kalınlığını azaltmak için süre azaltılmış 1,3,5 dakika süre oluşturulan filmler için elektrokimyasal ölçümler alınmış fakat bu sürelerde de direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 1 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz çinko elektrotu ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.49'da verilmiştir. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,710 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,43 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $5,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde klorodimetil silanın sol-jel çözeltisine 1 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,932 V olarak ölçülmüştür.

1 dakikada silan filmi oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $7,04 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $1,01 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım değerleri işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrottan elde edilen akım değerleri ile karşılaştırıldığında 1 dakikada silan film oluşturulan çinko elektrotun akım değerlerinin çok azaldığı görülmektedir.



Şekil 4.51. İşlemsiz çinko elektrot ($\square$) ve 1 dakika sürede film oluşturulan çinko elektrotun ($\circ$) akım-potansiyel eğrileri

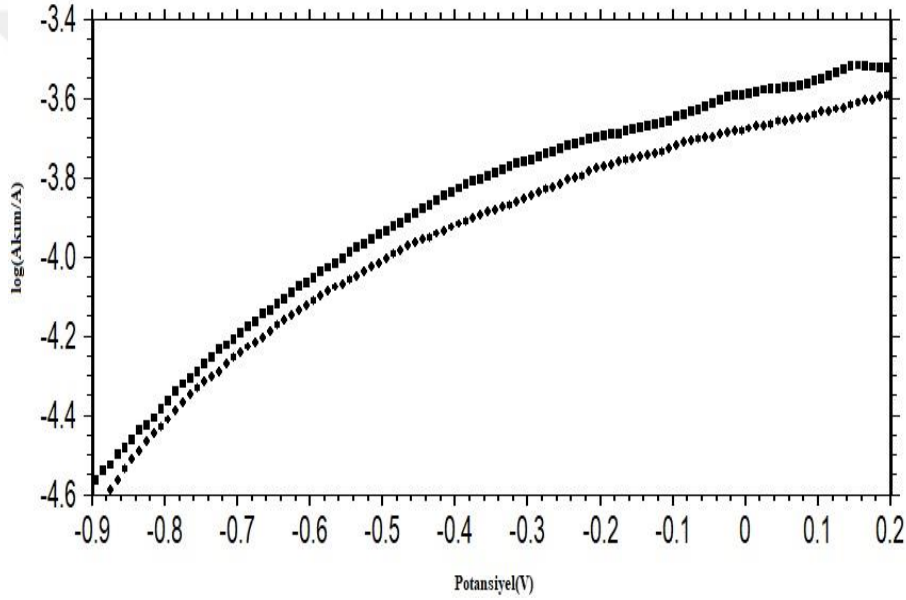
Şekil 4.51 sol-jel yöntemiyle hazırlanan çözelti ile oluşturulan film tabakasının korozyona karşı metal yüzeyini korumada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Hatta oluşturulan filmin oluşabilmesi için 1 dakika gibi kısa sürenin yeterli olması bu durumun metali korozyona karşı korumada zamandan tasarruf edilen ucuz bir yol olarak bu yöntemin kullanılabilmesine imkan sağlayacaktır.

4.2.1.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle metal yüzeyinde film oluşturabilmek amacıyla metal yüzeyini pasifleştirmek amacıyla 0,1M anilin çözeltisi hazırlanmıştır. İletkenliği sağlamak için 0,3 M asetonitril çözeltisi eklenmiştir. 10 mV tarama hızıyla 40 döngü olacak şekilde çinko elektrotun yüzeyi dönüşümlü voltametri ile kaplanmış daha sonra %90 su, %5 klorodimetil silan ve %5 alkol

kullanılarak hazırlanan çözelti ile yine 10 mV tarama hızında 40 döngü olacak şekilde metal yüzey üzerinde silan film oluşumu sağlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan anilin çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.52'de verilmiştir.

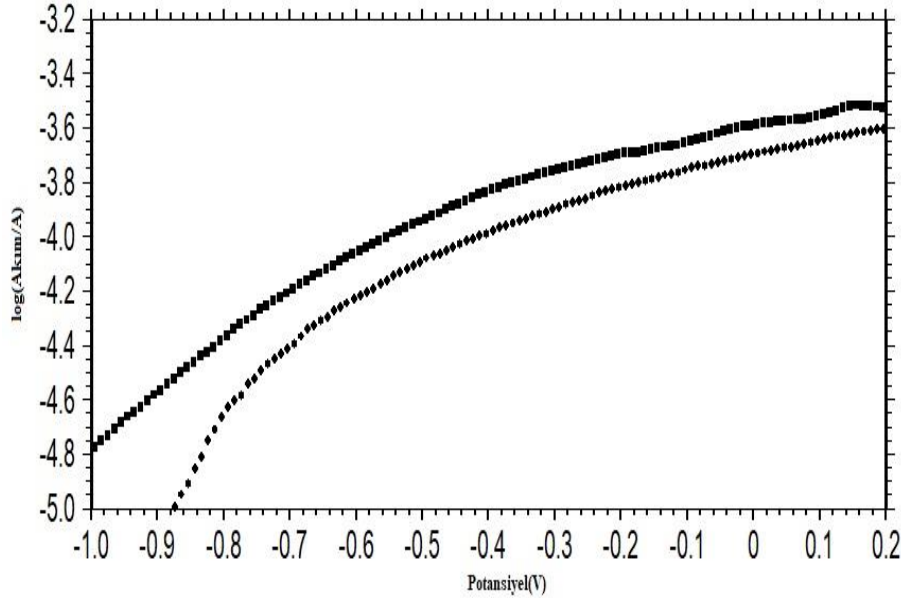


Şekil 4.52. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve anilin ile pasifleştirilen çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.52'den işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) - 1,035 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,56 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde dönüşümlü voltametri ile anilin çözeltisinde pasifleştirme oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,975 V olarak ölçülmüştür. Yüzeyinde anilin ile pasifleştirme oluşturulmaya çalışılan çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,09 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,54 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen akım değerleri kıyaslandığında akım değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Bu düşüşün çinko yüzeyinde pasifleştirme oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle anilin ile pasifleştirilen çinko yüzeyinde klorodimetil silan çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan çinko elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.53'de verilmiştir.



Şekil 4.53. İşlemsiz çinko elektrot (□) ve dönüşümlü voltametri ile silan filmi oluşturulan çinko elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

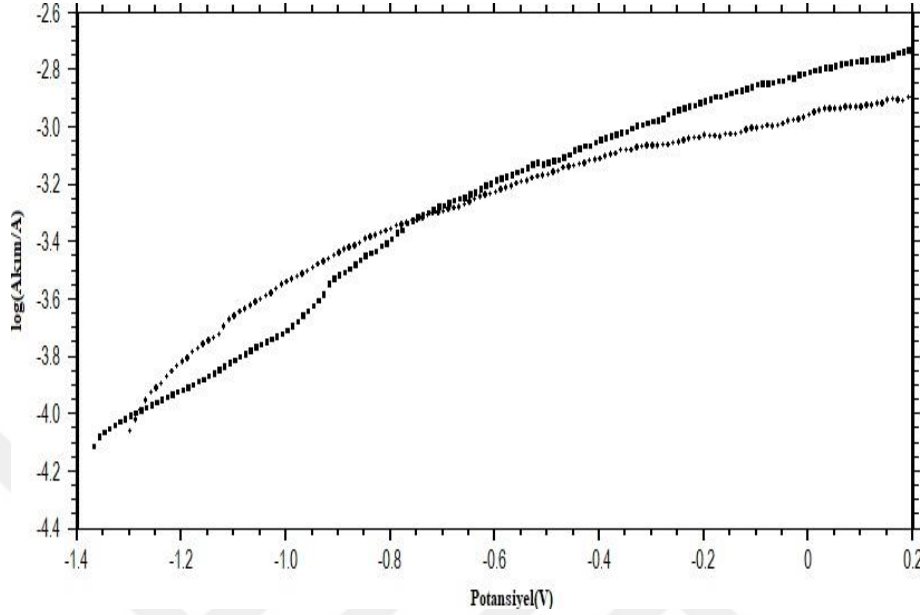
Şekil 4.53'den işlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) - 1,035 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,56 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,58 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde dönüşümlü voltametri ile klorodimetil silan çözeltisinde pasifleştirme oluşturulmuş çinko elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,913 V olarak ölçülmüştür. Yüzeyinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulan çinko elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,02 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,45 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen akım değerleri kıyaslandığında akım değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Bu düşüşün çinko yüzeyinde oldukça kararlı silan filmi oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Metalin yüzeyinde oluşan silan filmi yüzeyi kapatarak metali korozyona karşı koruyacaktır.

4.2.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

4.2.2.1. %5'lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%5'lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.54'de verilmiştir.



Şekil 4.54. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve %5'lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.54'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -1,3 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,2 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,5 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel arttığında akım değerlerinde işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun akım değerlerine oranla daha büyük düşüş olduğu gözlenmiştir.

Bu düşüş Mg alaşım yüzeyinde oluşturulan silan filminin koruyucu etkisinin olduğunu ve yüzeyi korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.

% 5 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 15,30, 45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.17'de verilmiştir.

Çizelge 4.17. %5 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

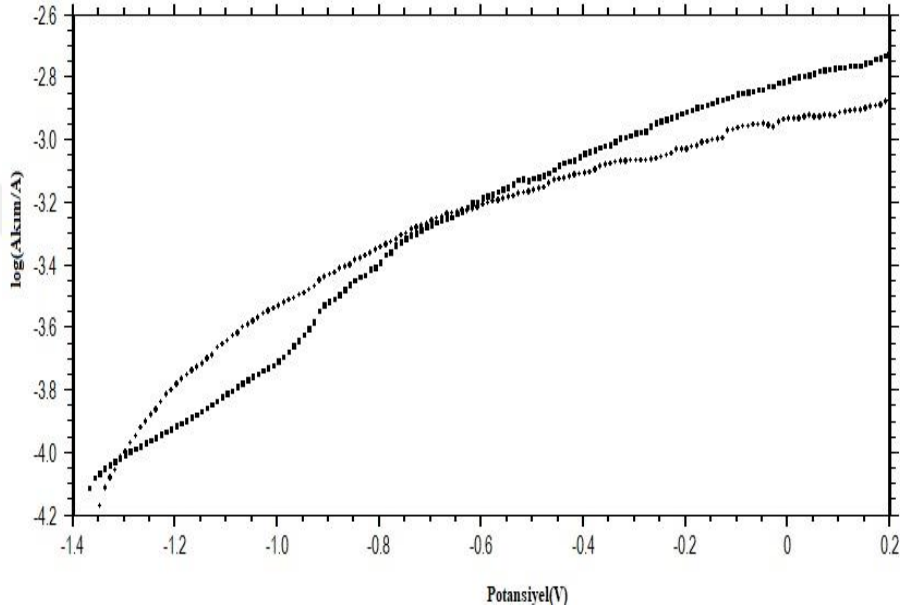
	Mg dk	E _{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-1,366	3,07x10 ⁻⁴	3,7x10 ⁻⁴
%5 Alkolde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-1,298	2,17x10 ⁻⁴	2,53x10 ⁻⁴
	30	-1,337	2,26x10 ⁻⁴	2,69x10 ⁻⁴
	45	-1,332	1,77x10 ⁻⁴	2,05x10 ⁻⁴
	60	-1,049	2,0x10 ⁻⁴	2,24x10 ⁻⁴

Çizelge 4.17'den silan film oluşturmak için çözeltide bekleme süresinin artırılması ile akım değerlerinde azalış olduğu görülmektedir. Bu azalış Mg alaşım yüzeyinde oluşturulan silan filminin metali korozyondan koruduğunu göstermektedir. Metalin çözelti içerisinde bekleme süresi arttıkça oluşan silan filminin koruyucu etkisinin azaldığı görülmektedir.

4.2.2.2. %10'luk Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%10'luk klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı

kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.53'te verilmiştir.



Şekil 4.55. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %10'luk çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.55'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -1,347 V olarak ölçülmüştür.

15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,32 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,64 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel arttığında akım değerlerinde işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun akım değerlerine oranla düşüş olduğu gözlenmiştir. Bu düşüş Mg alaşım yüzeyinde oluşturulan silan filminin koruyucu etkisinin olduğunu ve yüzeyi korozyona karşı koruduğunu göstermektedir. Silan filminin yüzeyi kaplamasından dolayı korozyonun daha yavaş gerçekleştiği söylenebilir. Silan moleküllerinin % 10'luk çözeltide 15 dakikada yüzeyde kararlı bir adsorpsiyon tabakası oluşturduğu düşünülmektedir.

% 10 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 15, 30, 45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.18'de verilmiştir.

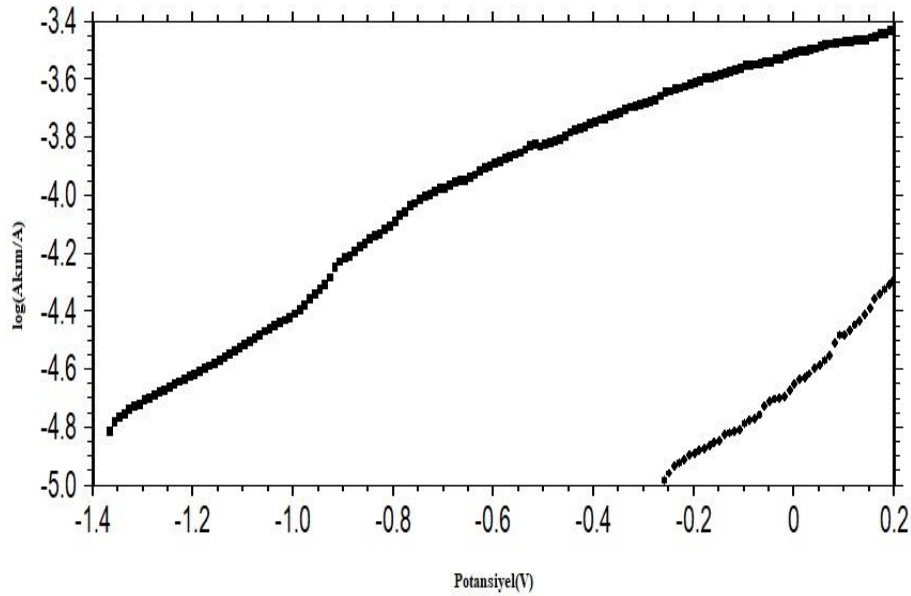
Çizelge 4.18. %10 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

	Mg dk	E_{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-1,366	$3,07 \times 10^{-4}$	$3,7 \times 10^{-4}$
%10 Alkolde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-1,347	$2,32 \times 10^{-4}$	$2,65 \times 10^{-4}$
	30	-0.662	$1,18 \times 10^{-4}$	$1,25 \times 10^{-4}$
	45	-1,325	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,91 \times 10^{-4}$
	60	-1,373	$3,13 \times 10^{-4}$	$4,24 \times 10^{-4}$

Çizelge 4.18’de akım değerlerinde azalış yada artışın düzenli olmadığı görülmektedir. Mg alaşım yüzeyinde en kararlı silan filmi 15 dakika süre de oluşmuştur. Mg alaşımının çözeltiye maruz bırakılma süresi arttıkça oluşan koruyucu film tabakasının korozyona dayanımının azalacağı düşünülmektedir.

4.2.2.3. %20’lik Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

%20’lik klorodimetil silanın etil alkol içerisinde hazırlanan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V’ a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.56’da verilmiştir.



Şekil 4.56. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve %20’lik çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.56'dan görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,258V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $2,25 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $5,04 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım potansiyel eğrilerinden elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini oldukça fazla azalttığını ve korozyona karşı oldukça iyi koruyucu etkisi oluşturduğu görülmektedir. Silan filminin metal yüzeyinde kararlı film oluşturmasından dolayı metal yüzeyini korozyona karşı oldukça iyi koruyacağı düşünülmektedir.

%20 klorodimetil silanın alkolde hazırlanan çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0.2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.19'da verilmiştir.

Çizelge 4.19. %20 Klorodimetil silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

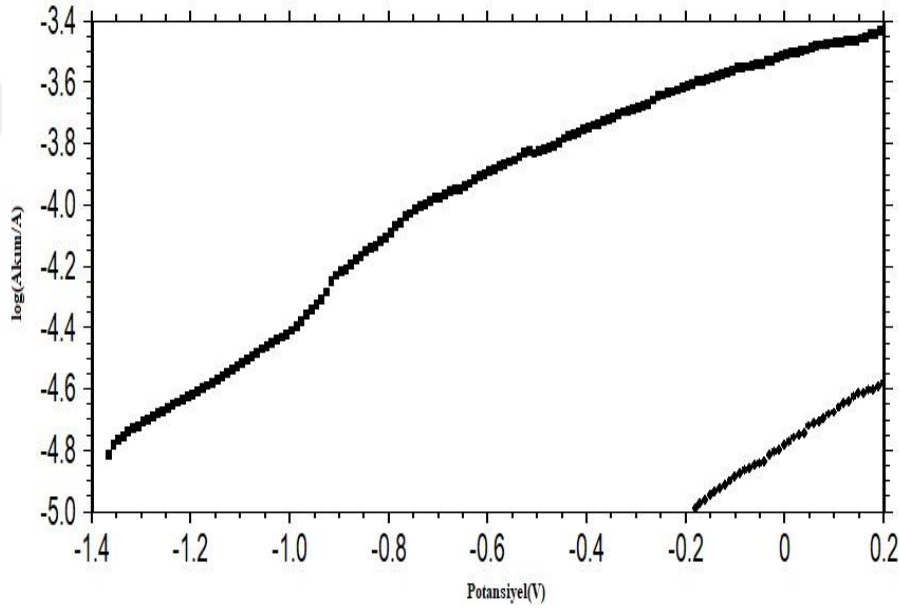
	Mg dk	E _{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-1,366	3,07x10 ⁻⁴	3,07x10 ⁻⁴
%20 Alkolde oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,258	2,25x10 ⁻⁵	5,04x10 ⁻⁵
	30	-1,372	2,91x10 ⁻⁴	3,66x10 ⁻⁴
	45	-1,389	5,05x10 ⁻⁴	6,07x10 ⁻⁴
	60	-0,428	4,80x10 ⁻⁵	8,02x10 ⁻⁵

Çizelge 4.19'dan de görüldüğü gibi kaplamasız işlem görmemiş Mg alaşım akım değerleri ile 15,30,45 ve 60 dakika sürede oluşturulan filmlerin akım değerleri kıyaslandığında 15 dakikada oluşturulan filmin diğerlerine oranla az da olsa koruyucu özelliğinin oluştuğu fakat 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe akım değerlerinin daha fazla arttığı görülmüştür. Bu değerlerin artması oluşturulmaya çalışılan filmlerin oluşturulamadığını ve yüzeyin korozif hale geldiğini göstermektedir. Bunun nedeninin ise silan yapısında bulunan klorun çözelti derişimi arttıkça daha saldırgan bir tutum sergileyerek film oluşumunu engellemesi olduğu düşünülmektedir.

4.2.2.4. Karışım Çözeltide Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Klorodimetil silan çözeltisi ile viniltrietoksi silan çözeltisi alkolde derişimleri %5 olacak şekilde karıştırılarak hazırlanan çözeltiye 15,30,45,60 dakika sürede doğrudan daldırma ile Mg alaşım elektrot yüzeyinde film oluşturulmuş ve oluşturulan film tabakalarının korozyona karşı gösterdiği koruyucu özellikler incelenmiştir.

Hazırlanan karışım çözeltisi içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.57'de verilmiştir.



Şekil 4.57. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve Karışım çözeltide 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.57'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,191 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $1,52 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,05 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım potansiyel eğrilerinden elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini azalttığı ve korozyona karşı koruyucu etkisi gösterdiği görülmektedir.

Hazırlanan karışım çözeltisi için doğrudan daldırma yöntemiyle ince film oluşturabilmek için Mg alaşım elektrotun 15,30,45 ve 60 dakika çözeltide bekletildikten sonra kurutulup açık devre potansiyelinden anodik yönde 0,2 V'a kadar yapılan Tafel ölçümleri sonucu elde edilen değerler Çizelge 4.20'de verilmiştir.

Çizelge 4.20. Karışım silan çözeltisinin farklı süreler için akım-potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametre değerleri

	Mg dk	E_{kor} (V)	I A/cm ² (0,0V)	I A/cm ² (0,2V)
Kaplamasız	0	-1,366	$3,07 \times 10^{-4}$	$3,69 \times 10^{-4}$
Karışım oluşan film yapay yağmur suyunda	15	-0,191	$1,63 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-5}$
	30	-0,673	$5,12 \times 10^{-4}$	$6,21 \times 10^{-4}$
	45	-0,896	$6,74 \times 10^{-4}$	$6,91 \times 10^{-4}$
	60	-1,122	$7,63 \times 10^{-4}$	$7,84 \times 10^{-4}$

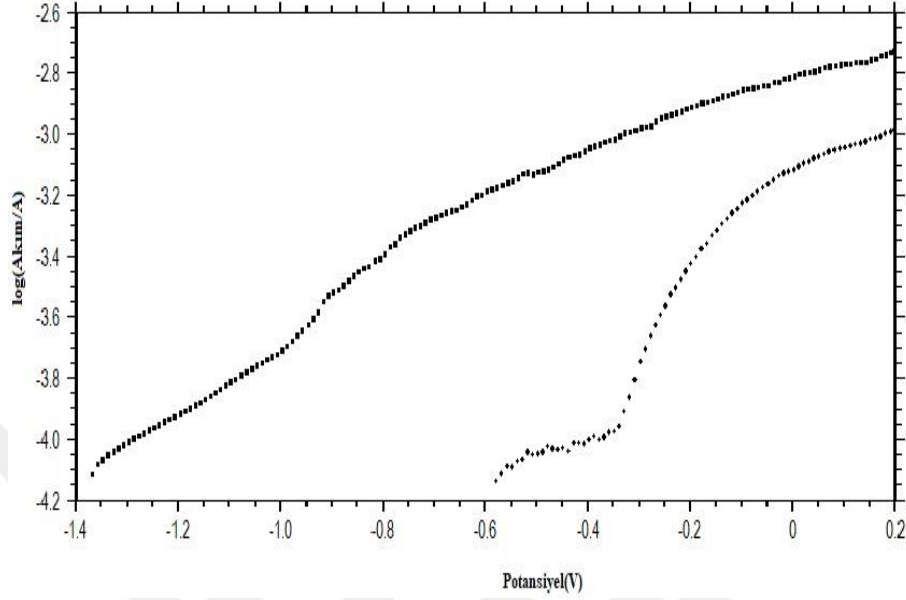
Çizelge 4.20'den 30,45,ve 60 dakikada süre geçtikçe akım değerlerinin arttığı görülmektedir. Bu değerlerin artması yüzeyde silan filmi oluşturulamadığını göstermektedir. Bunun nedeninin başlangıçta iki farklı silan çözeltisinin karıştırılması karbon zincirini uzatarak homojen film oluşumunu sağlamış olsada

silan yapısında bulunan klorun zaman geçtikçe vinil yapısını bozup metal yüzeyinde oluşturulan filmin kararlı davranış sergilemesini engelleyerek metal yüzeyini korozif hale getirmesi olduğu düşünülmektedir.

Çözelti içerisinde film oluşturma süresinin artması ile yüzeyde oluşan film tabakasının korozyona karşı koruma özelliğinin azaldığının görülmesi nedeniyle Mg alaşımı elektrot için bundan sonra yapılacak tüm çalışmalar 15 dakika süre uygulanarak yapılmıştır. Çünkü süre arttıkça film tabakasının çok daha kalın olduğu ve elektrotta yalıtkan özellik kazandığı için elektrokimyasal ölçümlere iyi cevap vermediği düşünülmektedir.

4.2.2.5. pH=10’da Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Hazırlanan bazik çözelti içerisinde 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V’ a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrotta ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.58’de verilmiştir.

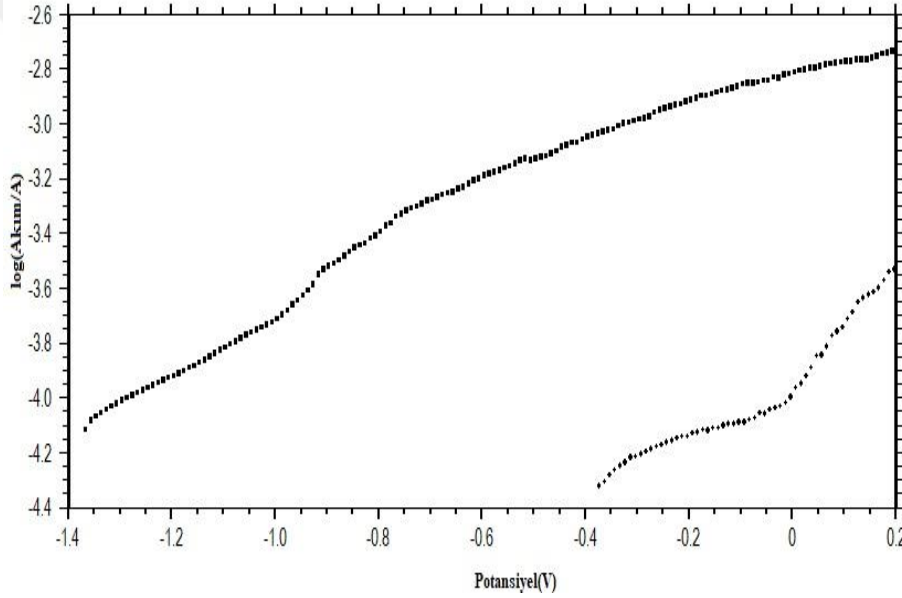


Şekil 4.58. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve pH=10'da 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.58'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde silanın pH=10'daki çözeltisine 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,578 V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $1,52 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $2,05 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım potansiyel eğrilerinden elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini azalttığı ve korozyona karşı oldukça kararlı koruyucu etkisi gösterdiği görülmektedir.

4.2.2.6. Sol-jel Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrotu ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.59'da verilmiştir.



Şekil 4.59. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve sol-jel yöntemiyle 15 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.59'dan görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür.

İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A

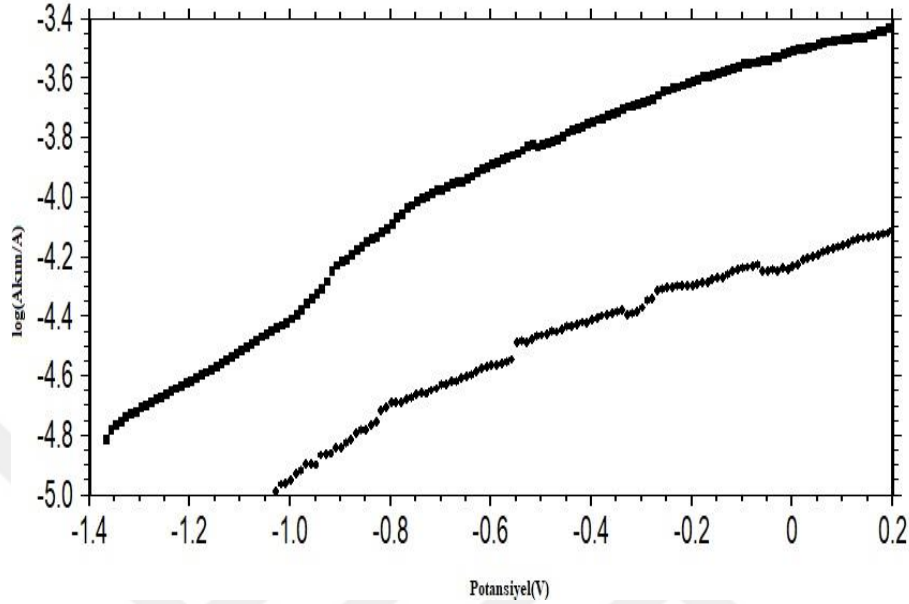
akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir.

Yüzeyinde sol jel oluşturulmuş silan çözeltisine 15 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise $-0,373$ V olarak ölçülmüştür. 15 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde $0,0$ V potansiyelde $2,03 \times 10^{-5}$ A, $0,20$ V potansiyelde $5,94 \times 10^{-5}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım potansiyel eğrilerinden elde edilen değerler işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot ile kıyaslandığında oluşturulan silan filminin anodik akım değerini oldukça fazla azalttığı ve korozyona karşı koruyucu etkisi gösterdiği görülmektedir.

Çözelti hazırlanıp 3 hafta süre beklendiğinde çözelti hazırlanan cam kap yüzeyinde kalın film tabakası olduğu görülmüş ve bu çözeltide yine 15 dakika sürede ölçümler alınmaya çalışılmış fakat elde edilen sonuçlar da direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Bu durum oluşan kaplamanın bu sürelerde çok kalın film tabakası olarak oluştuğunu ve yalıtkan özellik kazandığını düşündürmüştür. Film kalınlığını azaltmak için süre azaltılmış $1,3,5$ dakika sürede oluşturulan filmler için elektrokimyasal ölçümler alınmış fakat bu sürelerde de direnç değerlerinin çok yükseldiği görülmüştür.

Sol-jel yöntemiyle hazırlanan klorodimetil silan çözeltisi ile 1 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden $0,2$ V' a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda yüzeyi zımpara ile parlatılmış işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.60'da verilmiştir.



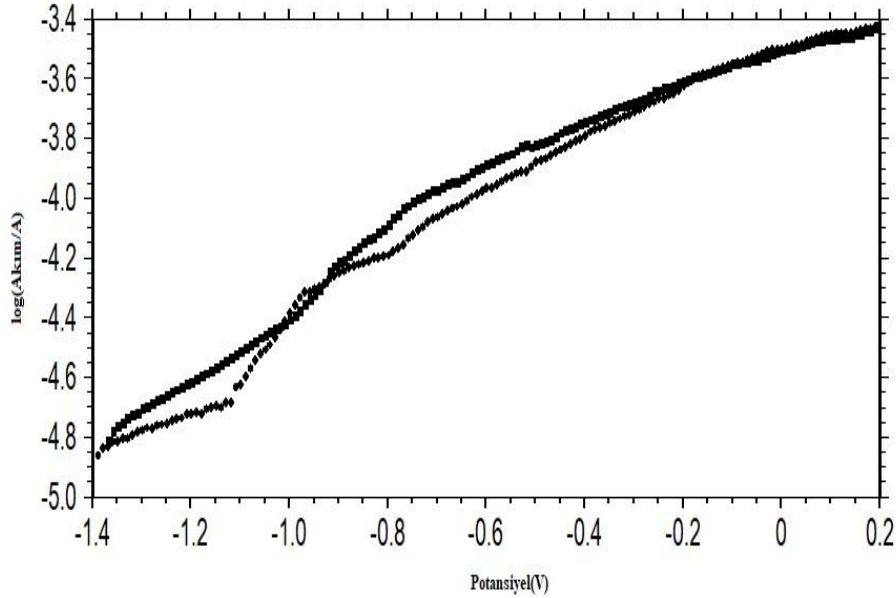
Şekil 4.60. İşlemsiz Mg alaşım elektrot ($\square$) ve 1 dakika sürede film oluşturulan Mg alaşım elektrotun ($\circ$) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.60'dan görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -1,366 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,07 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,7 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Sol-jel yöntemiyle hazırlanan silan çözeltisine 1 dakika doğrudan daldırma yöntemiyle yüzeyinde silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -1,538 V olarak ölçülmüştür. 1 dakikada silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $5,81 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $7,64 \times 10^{-5}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım değerleri işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrottan elde edilen akım değerleri ile karşılaştırıldığında 1 dakikada silan film oluşturulan Mg alaşım elektrotun akım değerlerinin çok azaldığı görülmektedir.

Şekil 4.60 Sol-jel yöntemiyle hazırlanan çözelti ile oluşturulan film tabakasının korozyona karşı metal yüzeyini korumada oldukça etkili olduğunu göstermiştir. Hatta oluşturulan filmin oluşabilmesi için 1 dakika gibi kısa sürenin yeterli olması bu durumun metali korozyona karşı korumada zamandan tasarruf edilen ucuz bir yol olarak bu yöntemin kullanılabilmesine imkan sağlayacaktır. Metallerin korozyondan korunmasında kullanılan yöntemin ucuz olması ve harcanan sürenin az olması çok istenilen özelliklerdir.

4.2.2.7. Dönüşümlü Voltametri Yöntemiyle Film Oluşturulan Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot İçin Elde Edilen Sonuçlar

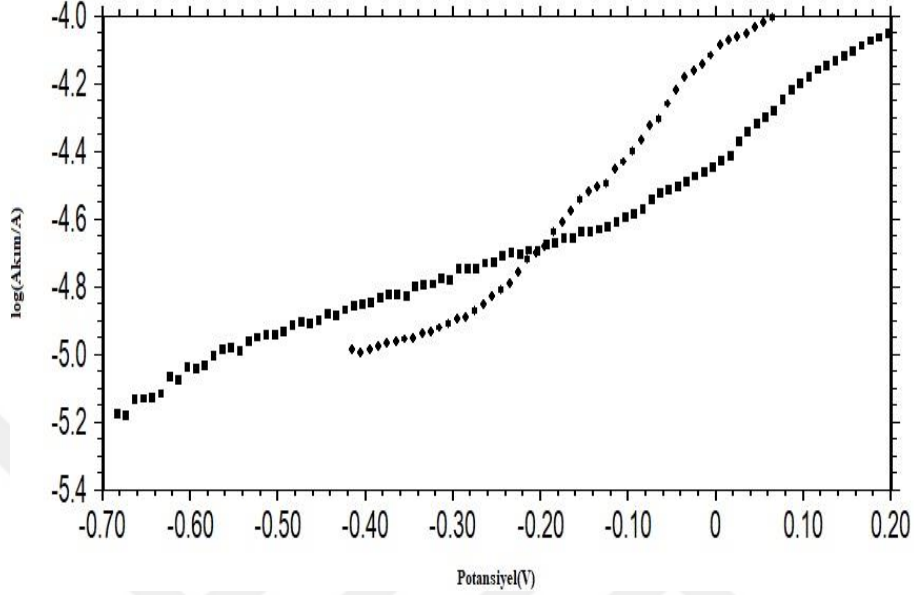
Dönüşümlü voltametri yöntemiyle hazırlanan anilin çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda işlemsiz Mg alaşım elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.61'de verilmiştir.



Şekil 4.61. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve anilin ile pasifleştirilen Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.61'den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,683 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,57 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $8,88 \times 10^{-5}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Dönüşümlü voltametri ile anilin çözeltisinde alaşım yüzeyinde pasifleştirme oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -1,338 V olarak ölçülmüştür. Yüzeyinde anilin ile pasifleştirme oluşturulmaya çalışılan Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,13 \times 10^{-4}$ A, 0,20V potansiyelde $3,76 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Akım değerleri işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrottan elde edilen akım değerleri ile karşılaştırıldığında anilin ile pasifleştirilmeye çalışılan Mg alaşım elektrotun akım değerlerinin çok azaldığı görülmektedir. Bu düşüşün Mg alaşım yüzeyinde pasifleştirme oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir.

Dönüşümlü voltametri yöntemiyle anilin ile pasifleştirilen Mg alaşım yüzeyinde klorodimetil silan çözeltisi ile oluşturulan filmin korozyona karşı kararlılığını incelemek için film oluşturulan Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyu çözeltisindeki açık devre potansiyelinden 0,2 V'a kadar anodik yönde elde edilen akım potansiyel eğrisi ile aynı ortamda işlemsiz çinko elektrota ait akım potansiyel eğrisi Şekil 4.62'de verilmiştir.



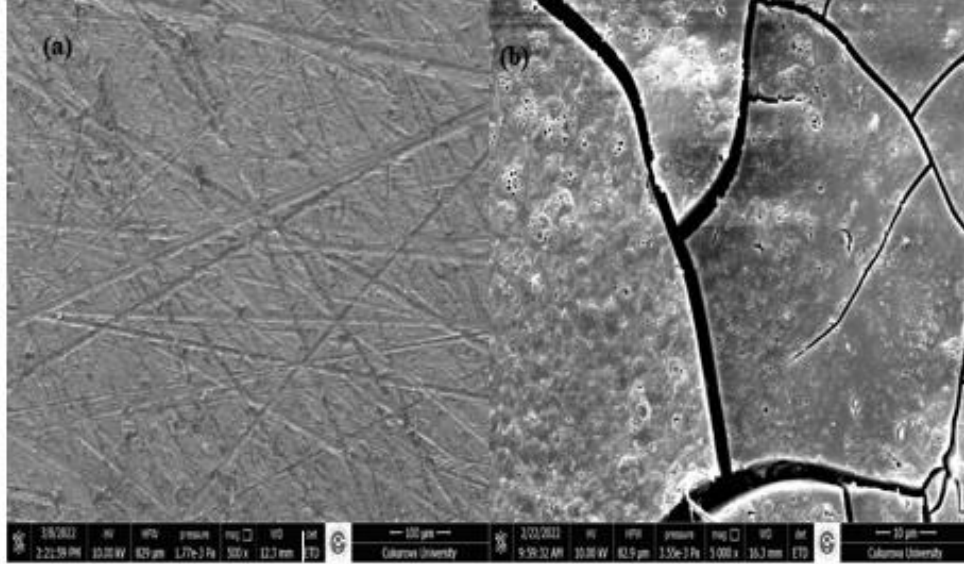
Şekil 4.62. İşlemsiz Mg alaşım elektrot (□) ve dönüşümlü voltametri ile silan filmi oluşturulan Mg alaşım elektrotun (o) akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.62’den görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) -0,683 V olarak ölçülmüştür. İşlemsiz Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $3,57 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $8,88 \times 10^{-5}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen değerler karşılaştırıldığında potansiyel artsa dahi akım değerlerinde büyük bir artış olmadığı gözlenmiştir. Yüzeyinde dönüşümlü voltametri ile film oluşturulmuş Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyeli (E_{kor}) ise -0,415 V olarak ölçülmüştür. Yüzeyinde silan film oluşturulmaya çalışılan Mg alaşım elektrot için korozyon potansiyelinden anodik yöne doğru gidildiğinde 0,0 V potansiyelde $7,98 \times 10^{-5}$ A, 0,20V potansiyelde $1,51 \times 10^{-4}$ A akım değeri ölçülmüştür. Ölçülen akım değerleri kıyaslandığında akım değerlerinde düşüş olduğu görülmüştür. Bu düşüşün Mg alaşım yüzeyinde oldukça kararlı silan filmi oluşumundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Metalin yüzeyinde oluşan silan filmi yüzeyi kapatarak metali korozyona karşı koruyacaktır.

4.3. SEM Görüntü Sonuçları

4.3.1. Çinko Elektrot için Elde Edilen SEM Görüntü Sonuçları

Çinko elektrotun korozyona karşı kararlı hale gelebilmesi için yüzeyinde silan film oluşturabilmek amacıyla yapılan tüm çalışmalar değerlendirildiğinde en kararlı silan filmin dönüşümlü voltametri ile yüzeyin önce anilin ile pasifleştirilip daha sonra silan çözeltisi ile 40 döngüde oluşturulan silan filmin olduğu görülmüştür. Şekil 4.63'de işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (b) verilmiştir.

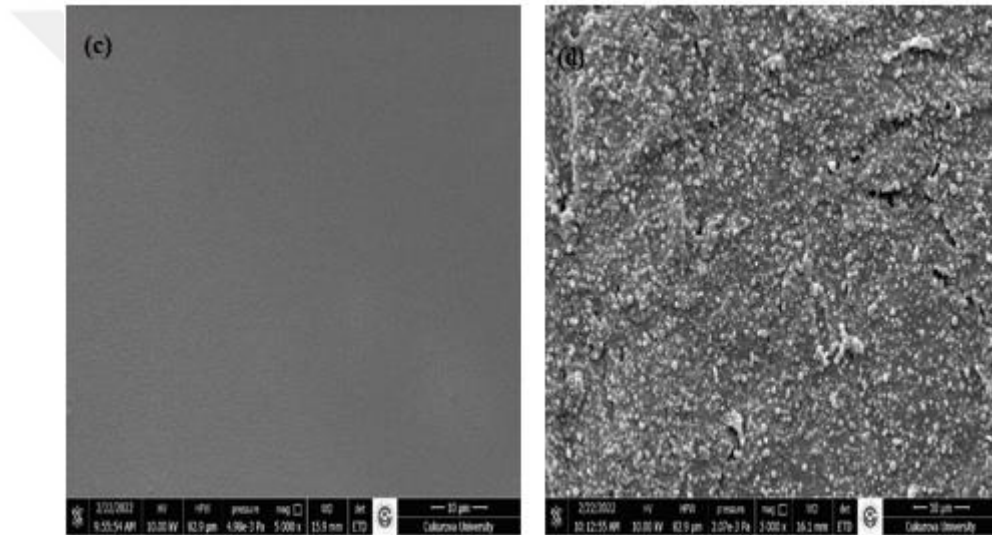


Şekil 4.63. İşlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun SEM görüntüsü (b) (5000 büyütme)

Şekil 4.63.a'ya göre işlem görmemiş, işlemsiz Zn elektrotun yapay yağmur suyuna daldırılmadan önceki taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yüzeyde zımparalama işleminden kaynaklanan çizikler görülmektedir.

Şekil 4.63.b’de işlem görmemiş işlemsiz çinko elektrotun 72 saat yapay yağmur suyunda bekletildikten sonra alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yağmur suyunun çinko yüzeyinde geniş yarıklar şeklinde tahribat oluşturduğu görülmektedir.

Şekil 4.64’de yüzeyde silan film oluşturulmuş çinko elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan çinko elektrotun SEM görüntüsü (d) verilmiştir.



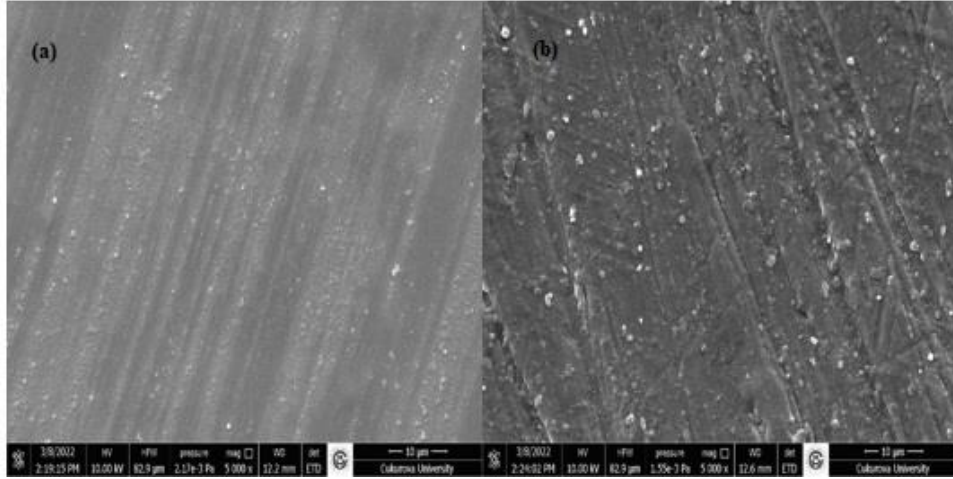
Şekil 4.64. Yüzeyde silan film oluşturulmuş çinko elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan çinko elektrotun SEM görüntüsü (d) (5000 büyütme)

Şekil 4.64.c'ye göre silan çözeltisi ile elektrofilm kaplanmış Zn elektrotun yapay yağmur suyuna daldırılmadan önceki taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yüzey SEM kaplamanın etkisi ile pürüzsüz ve homojen hale gelmiştir.

Şekil 4.64.d’de silan filmi oluşturulmuş Zn elektrotun yüzeyinin 72 saat yapay yağmur suyuna daldırıldıktan sonraki görüntüleri oldukça dramatik olarak değişim göstermiştir. Zn elektrot yüzeyinde oluşturulan silan filmi yüzeyi etkin şekilde korumuştur. Şekil incelendiğinde kaplamaya ait granüler yapılar olduğu görülmektedir. Oldukça homojen ve koruyucu yüzey görünümü tespit edilmiştir.

4.3.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşım Elektrot için Elde Edilen SEM Görüntü Sonuçları

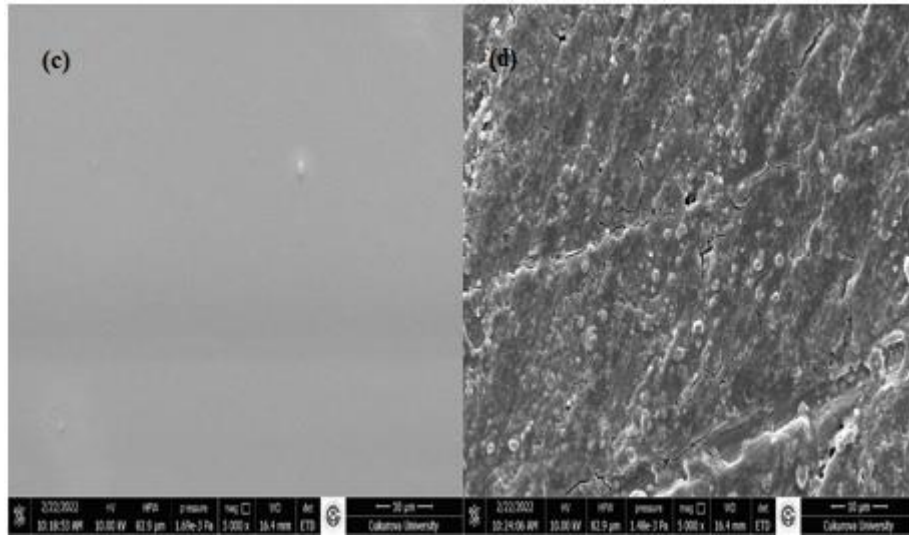
Mg alaşım elektrotun korozyona karşı kararlı hale gelebilmesi için yüzeyinde silan film oluşturabilmek amacıyla yapılan tüm çalışmalar değerlendirildiğinde sol-jel yöntemiyle hazırlanan çözeltiye doğrudan daldırma ile elde edilen silan filmin en kararlı film olduğu görülmüştür. Şekil 4.65’te işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (b) verilmiştir.



Şekil 4.65. İşlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (a), 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (b) (5000 büyütme)

Şekil 4.65.a'ya göre işlem görmemiş, işlemsiz Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyuna daldırılmadan önceki taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yüzeyde zımparalama işleminden kaynaklanan çizikler oldukça fazla miktarda görülmektedir. Şekil 4.65.b'de işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşım elektrotun 72 saat yapay yağmur suyunda bekletildikten sonra alınan taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yağmur suyunun Mg alaşım yüzeyinde tahribat oluşturduğu ve zımparadan kaynaklanan çiziklerin yağmur suyu etkisiyle derin kesikler şekline dönüştüğü görülmektedir.

Şekil 4.66'da yüzeyde silan film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (d) verilmiştir.



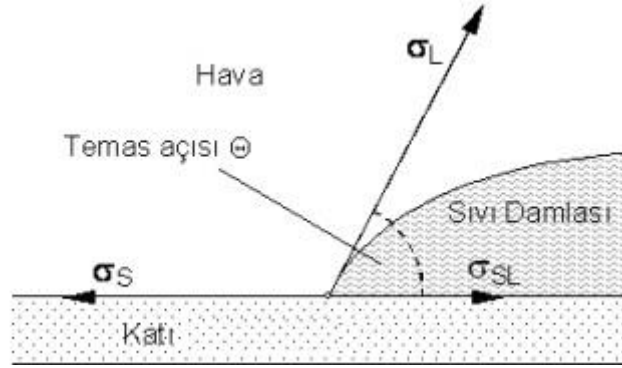
Şekil 4.66. Yüzeyde silan film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (c) 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilen silan film oluşturulan Mg alaşım elektrotun SEM görüntüsü (d) (5000 büyütme)

Şekil 4.66.c'de silan çözeltisinde yüzeyinde film oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun yapay yağmur suyuna daldırılmadan önceki taramalı elektron mikroskobu görüntüsünde yüzeyin SEM kaplamanın etkisi ile pürüzsüz ve

homojen hale geldiği görülmektedir. Şekil 4.66.d’de silan filmi oluşturulmuş Mg alaşım elektrotun yüzeyinin 72 saat yapay yağmur suyuna daldırıldıktan sonraki görüntüleri inceleniğinde Mg alaşım elektrot yüzeyinde oluşturulan silan filminin yüzeyi etkin şekilde koruduğu ve kaplamaya ait homojen, koruyucu granüler yapıların olduğu görülmüştür.

4.4. Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Hidrofob; suyu sevmeyen demektir ve bir molekülün sudan kaçınma özelliğini ifade eder. Yüzey enerjisini enaza indirebilmek için hidrofobik yüzeyler üzerine damlatılan su molekülü küre şeklini alır. Temas açısı ölçümü bu oluşumu ölçmek için geliştirilmiştir. Hidrofobik yüzeylerde suyun temas açısı büyük olacağı için ıslanabilirlikleri yok ya da çok azdır.



Şekil 4.67. Temas Açısı Şekli (Turan,2009)

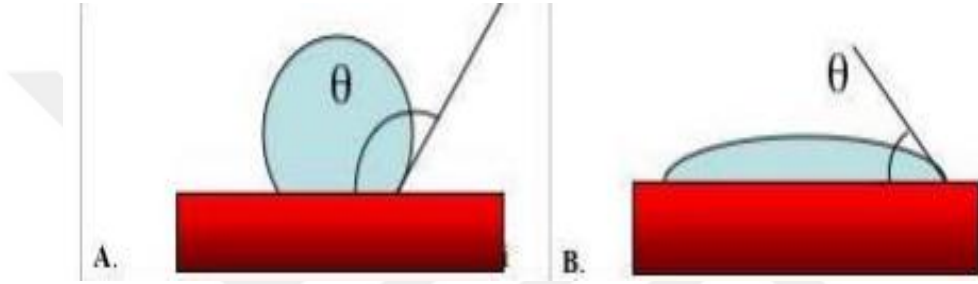
Şekil 4.67’de temas açısının şekli verilmiştir. Şekilde vektörel büyüklük olan görülen tüm değerler katı, sıvı ve havanın temas halinde olduğu tek bir noktayı orjin olarak alır.

σ_L ; sıvının yüzey gerilimini gösterir ve damla yüzeyine teğettir.

σ_{SL} ; katı ve sıvı yüzey gerilim vektörüdür.

Θ ; temas açısını verir.

Temas açısı Θ ne kadar küçükse sıvının katı üzerindeki dağılımı o kadar iyi olur.



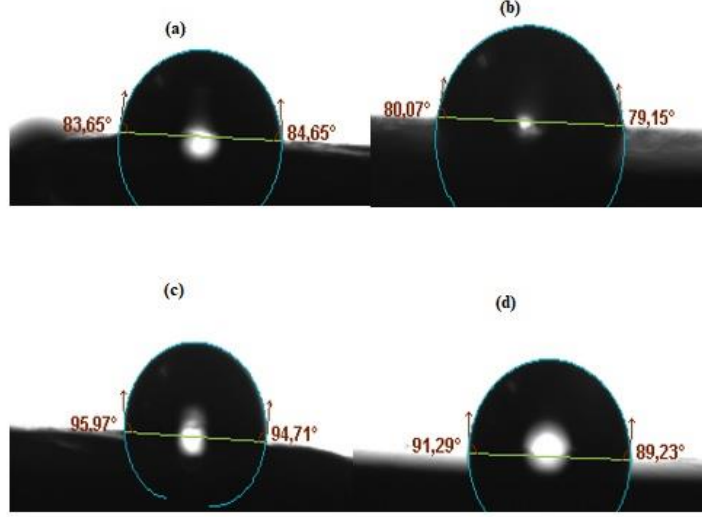
Şekil 4.68. Hidrofobik ve Hidrofilik Yüzey Temas Açıları (Turan,2009)

Şekil 4.68’de görülen A şekli hidrofobik yüzeylerdeki suyun temas açısını gösterirken B hidrofilik yüzeylerdeki suyun temas açısını göstermektedir.

4.4.1. Çinko Elektrot İçin Elde Edilen Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Temas açısı ölçümleri yüzeye distile su damlatma tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Her örnek üzerine 4ml distile su damlatılarak temas açısı ölçümleri tamamlanmıştır.

Şekil 4.69’da çinko elektrotu için yapılan temas açısı ölçümleri verilmiştir.



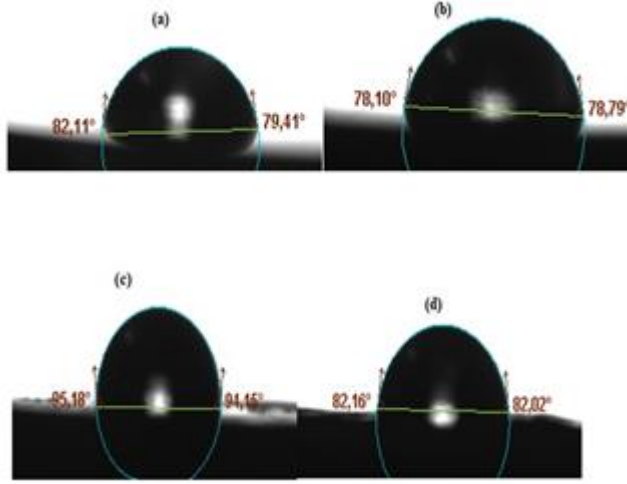
Şekil 4.69. İşlem görmemiş işlemsiz Zn (a), yapay yağmur suyunda beklemiş işlem görmemiş işlemsiz Zn (b), silan film oluşturulmuş Zn (c), yapay yağmur suyunda beklemiş film oluşturulan Zn (d) temas açısı

Şekil 4.69’da görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Zn elektrotun 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilmiş halinin temas açısı işlem görmemiş işlemsiz Zn elektrottan daha küçüktür. Yüzeyde silan film oluşması ile Zn elektrotun temas açısı büyümektedir. Bu durum filmin hidrofobik özelliği ile ilişkilendirilebilir. Silan film oluşmuş elektrotun 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilmiş halinin temas açısı işlem görmemiş Zn elektrottan yüksek fakat silan film oluşturulmuş Zn elektrottan düşüktür. Bu durum oluşturulan silan filminin Zn elektrotu korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.

4.4.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı Elektrot için Elde Edilen Temas Açısı Ölçüm Sonuçları

Temas açısı ölçümleri yüzeye distile su damlatma tekniği ile gerçekleştirilmiştir. Her örnek üzerine 4ml distile su damlatılarak temas açısı ölçümleri tamamlanmıştır.

Şekil 4.69'da Magnezyum alaşımı elektrot için yapılan temas açısı ölçümleri verilmiştir.



Şekil 4.70. İşlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımı(a), yapay yağmur suyunda beklemiş işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımı(b), silan film oluşturulmuş Mg alaşımı(c), yapay yağmur suyunda beklemiş film oluşturulan Mg alaşımı (d) temas açısı

Şekil 4.70'de görüldüğü gibi işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımının 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilmiş halinin temas açısı işlem görmemiş işlemsiz Mg alaşımından daha küçüktür. Yüzeyde silan film oluşması ile Mg alaşım elektrotun temas açısı büyümektedir. Yüzey hidrofobik karakter kazanmıştır.

Silan film oluşmuş elektrotun 72 saat yapay yağmur suyunda bekletilmiş halinin temas açısı işlem görmemiş Mg alaşımından yüksek fakat silan film oluşturulmuş Mg alaşımından düşüktür. Bu durum oluşturulan silan filminin Mg alaşımını atmosferik korozyona karşı koruduğunu göstermektedir.



5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Doğrudan daldırma yöntemiyle yüzeyde silan ile oluşturulan filmin korozyona karşı etkilerini incelemek amacıyla, çinko metali ve magnezyum-alüminyum alaşımı seçilmiş ve oda sıcaklığında farklı pH değerlerinde (pH=3, pH=10), farklı silan derişimlerinde (%5, %10, %20), farklı sürelerde (15,30,45,60 dakika) film oluşturulan yüzeylerin elektrokimyasal ölçümleri yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir:

5.1. Çinko Metali İçin Sonuçlar ve Öneriler

Alkol ile hazırlanan çözeltilerde çinko metali için %5 ve %20 derişimde metal yüzeyinde film oluşumu sağlanamamakla birlikte %10 derişimde 60 dakika sürede oluşturulan film koruyucu özellik göstermektedir.

Kullanılan silan bileşiğinin zincir boyunu uzatmak amacıyla klorodimetil silan ve viniltiretoksi silandan hazırlanan %5 derişimdeki karışım içerisinde 15 dakika sürede doğrudan daldırma ile koruyucu film oluşumu sağlanmıştır.

pH=10'da hazırlanan %5 derişimde silan çözeltisinde 15 dakikada oluşturulan filmin koruyucu etkisi çok yüksek olmamakla birlikte süre geçtikçe yüzeyde oluşan türler silanollerin Si-O-M bağıyla yüzeyde koruyucu film oluşumunu engellemektedir.

Sol-jel yöntemiyle suda asetik asit ile pH=3'e ayarlanan silan çözeltisinde çözelti hazırlanır hazırlanmaz oluşturulan filmin koruyucu özelliği çok yüksek olmamakla birlikte çözelti 3 hafta bekletildiğinde oluşan filmlerin direnç değerleri çok yükselmiştir ve film bu koşullarda homojen yalıtkan bir özellik göstermektedir. 1 dakika gibi kısa bir sürede dahi yüksek direnç gösteren koruyucu film oluşumu sağlanmıştır.

Dönüşümlü voltametri ile 40 döngüde anilin ile çinko metalinin yüzeyi pasifleştirilmiş daha sonra yine 40 döngüde yüzeyde oldukça koruyucu özellik gösteren silan filmi oluşumu sağlanmıştır.

Akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, elde edilen sonuçların Nyquist diyagramları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Nyquist diyagramlarında direncin arttığı korozyona dayanıklı film oluşumu gözlenen derişim ve sürelerde akım değerleri azalmıştır, korozyon hızı da buna paralel olarak azalmıştır.

SEM ölçümleri ve temas açısı ölçümleri hem çinko metali hem de Mg alaşımı için yüzeyde oluşturulan filmlerin koruyucu etkisi en fazla olan koşullar için yapılmıştır. Çinko metali yüzeyinde dönüşümlü voltametri yöntemi ile oluşturulan silan filminin koruyucu etkisi en büyük değerde olduğu için yüzey tanıma testleri yapılmış ve SEM görüntülerinin ve temas açısı ölçümlerinin tüm sonuçlarla ve birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

5.2. Magnezyum-Alüminyum Alaşımı için Sonuçlar ve Öneriler

Alkol ile hazırlanan çözeltilerde Mg alaşım (AZ63) için %5 ve %20 derişimde yüzeyde film oluşumu sağlanamamakla birlikte %10 derişimde 15 dakika sürede oluşturulan film koruyucu özellik göstermektedir.

Klorodimetil silan ve viniltiretoksi silandan hazırlanan %5 derişimdeki karışım içerisinde 15 dakika sürede doğrudan daldırma ile koruyucu film oluşumu sağlanmıştır.

pH=10'da hazırlanan %5 derişimde silan çözeltisinde 15 dakikada oluşturulan film koruyucu özellik göstermektedir.

Sol-jel yöntemiyle suda asetik asit ile pH=3'e ayarlanan silan çözeltisinde çözelti hazırlanır hazırlanmaz oluşturulan filmin koruyucu özelliği oldukça yüksektir. Bununla birlikte çözelti 3 hafta bekletildiğinde oluşan filmlerin direnç değerleri çok yükselmiştir ve film bu koşullarda homojen yalıtkan bir özellik göstermektedir. 1 dakika gibi kısa bir sürede dahi yüksek direnç gösteren koruyucu film oluşumu sağlanmıştır..

Dönüşümlü voltametri ile 40 döngüde anilin ile Mg alaşımın (AZ63) yüzeyi pasifleştirilmiş daha sonra yine 40 döngüde yüzeyde oldukça koruyucu özellik gösteren silan filmi oluşumu sağlanmıştır.

Akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, elde edilen sonuçların Nyquist diyagramları ile uyumlu olduğu görülmektedir. Nyquist diyagramlarında direncin arttığı korozyona dayanıklı film oluşumu gözlenen derişim ve sürelerde akım değerleri azalmıştır, korozyon hızı da buna paralel olarak azalmıştır.

SEM ölçümleri ve temas açısı ölçümleri hem çinko metali hem de Mg alaşımı için yüzeyde oluşturulan filmlerin koruyucu etkisi en fazla olan koşullar için yapılmıştır. Mg alaşımında sol-jel yöntemiyle oluşturulan filmin koruyucu etkisi en büyüktür. Yüzey tanıma testleri yapılmış ve SEM görüntülerinin ile temas açısı ölçümlerinin tüm sonuçlarla ve birbirleriyle uyumlu olduğu görülmüştür.

Metalleri korozyondan korumak için birçok yöntem bulunmaktadır. Bunlara ek olarak Mg alaşımları için sol-jel yöntemiyle oluşturulan ince filmin korozyona karşı dayanımının çok yüksek olması nedeniyle sol-jel yöntemiyle film oluşturma kolay ve ucuz bir yöntem olarak önerilmektedir. Sanayide birçok alanda kullanılan çinko metalini korozyondan korumak için silan bileşikleri ile sol-jel yöntemiyle yüzeyde film oluşturma yanı sıra dönüşümlü voltametri ile de film oluşturmak yüzeyi korozyondan korumak için etkili bir yöntem olarak önerilmektedir.



KAYNAKLAR

- Akyüz, B., 2010, AZ21 ve AJ21 Magnezyum Alaşımlarının Mekanik Özellikleri ve İşlenebilirliği Üzerine Karşılaştırmalı Bir Çalışma, DergiPark Politeknik Dergisi, 13:165-176
- Avedesian, M. M. ve Baker, H., 1999. Magnesium and magnesium alloys, ASM Specialty Handbook, Ohio
- Camila G. Dariva and Alexandre F. Galio, 2014. Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications, Chapter 16, DOI: 10.5772/57255
- Camila G. Dariva and Alexandre F. Galio (2014). Corrosion Inhibitors – Principles, Mechanisms and Applications, Developments in Corrosion Protection, Dr. M. Aliofkhazraei (Ed.), InTech, DOI: 10.5772/57255
- Chou, TP., Chandrasekaran, C., Cao, GZ. 2003. Sol-gel-derived hybrid coatings for corrosion protection. J. Sol-Gel Sci. Technol., 26:321-327
- Collinson, MM. 2002. Recent trends in analytical application of organically modified silicate materials. Trends Anal. Chem., 21:30-38.
- Correa, P.S., Malfatti, D., Azambuja, D.S., 2007, Corrosion behavior study of AZ91 magnesium alloy coated with methyltriethoxysilane doped with cerium ions, Progress in Organic Coatings, 59: 224-229
- Çakır, A. F. (1996) Yüzey İşlemleri ve Korozyon, 5. Korozyon Sempozyumu Bildirileri, Ankara, s 124-138.
- Çoban, K., 2006. Ketonik Bazlı Reçinelerle Paslanmaz Çelik Ve Bakırın Korozyonunun Önlenmesi, İstanbul Teknik Üniversitesi
- De, I., Graeve, J., Vereecken, A., Franquet, T., Schaftinghen, V., Terryn, H., 2021, Silane coating of metal substrates: Complementary use of electrochemical, optical and thermal analysis for the evaluation film properties , Comprehensive Coordination Chemistry III (Third Edition), 139-185

- Dehri, I., 1998. Impedance measurements of polyester-coated galvanized mild steel in 10x acid rainwater after an accelerated wet-dry test, Tubitak, 239-245.
- Dehri, I., Erbil, M., 1999. The effect of relative humidity on the atmospheric corrosion of defective organic coating materials with a new approach : an EIS study, 42: 969- 978.
- Dehri, I., Howard and R.L., Lyon, S.b., 1999. Local electrochemical impedance of the Cur-Edge of coated galvanized steel after corrosion testing, Corrosion Science 14: 141-154.
- Demir, İ.D.K., 2017, AZ63 Magnezyum Alaşımının Korozyon Direncine Kriyojenik İşlemin Etkisi, DergiPark Mühendislik ve Makina, 58:81-95
- Demirkıran, N., Ekinci, E., Sol-jel Kaplama Çözeltisi Bileşiminin Hidrojen Peroksit Yanıtlarına Etkisi, 2012, Karaelmas Science and Engineering Journal, 1-5
- Doktora Tezi Seval Aksoy, Sol-Jel Spin Kaplama Yöntemiyle Elde Edilen Nano Yapılı Metal Oksit Filmlerin Fiziksel Karakterizasyonu, 2017, Anadolu Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Electrochemical, XPS and DFT studies, Corrosion Science Volume 90, January 2015, Pages 572-584
- Erbil, M., 1985, Korozyon İnhibitörleri ve Etkinliklerinin Saptanması, SEGEM, Ankara, 148s.
- Erbil, M., 2012. Korozyon İlkeler ve Önlemler. Poyraz Ofset, Ankara
- Feng, Y., Chen, X., MaShusenPeng, Y., 2021, Fabrication of an orderly layered nanostructure coating via cathodic EPD of silanized GO nanosheet for anti-corrosion protection, Surface and Coatings Technology, 405:126521
- Fontana, M., Greene, G. and N. D., 2018. "Corrosion engineering", McGraw-hill, New York, 545s
- Friedrich, H. E. ve Mordike, B. L., 2006. Magnesium technology, metallurgy, design data, applications, Springer, Germany

- Ghosh, S.-K.(2006), “Functional Coatings: by Polymer Microencapsulation”, Wiley-VCH, Weinheim.
- Gooding, J.J., Hibbert, D.B., 1997, The application of self- assembled alkanethiol monolayers to enzyme biosensors
- Gupta, R., Mozumdar, S., Chaudhury, NK. 2005. Effect of ethanol variation on the internal environment of sol-gel bulk and thin films with aging. Biosens. Bioelectron., 21:549-556
- Gün M., 2002, Yapı malzemelerinin sol-jel yöntemi ile su itici kaplanması, DergiPark, Pamukkale Üniversitesi mühendislik Bilimleri Dergisi, 7:37-45
- Heimann, R.B., 2011, Magnesium alloys for biomedical application: Advanced corrosion control through surface coating, Progress in Organic Coatings, 72:739-747
- Kandemir, K., Can, A. C. (2003). Otomotiv Endüstrisi İçin Magnezyum. Journal of Engineering Sciences, 9, 37-45.
- Kandemir, K., Can, A.C., 2019, Otomotiv Endüstrisi için Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Potansiyeli, DergiPark, Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 3:1019-1028
- Karasu B, Sarıcaoğlu B, 2018, Cam Yüzey Kaplama Teknolojileri, 5: 475-500
- Kasaplar G., Yazıcı B., 2008, Alüminyum Yüzeyindeki Oksit Tabakasının Okzalik Asit Anodizing Yöntemiyle Geliştirilmesi, Ç.Ü Fen Bilimleri Enstitüsü, Cilt:17-7
- KJ Martin, EA Gonzalez ve E. Slatopolsky, "Hipomagnezeminin klinik sonuçları ve yönetimi", *Journal of American Society of Nephrology* , cilt. 20, hayır. 11, s. 2291–2295, 2009.
- Kuiwu, L., Jian, M., Zhang, Q.,2020, Electrodeposition of zinc-doped silane films for corrosion protection of mild steels, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 11:2967-2979

- L., TaoZhang, J., MingHu, J., QingZhang, J.,2011, Improved corrosion performance of electrophoretic coatings by silane addition, Progress in Organic Coatings,72:15-20
- Mackenzie, JD., Bescher, EP. 2000. Physical properties of sol-gel coatings. J. Sol-Gel Sci. Technol., 19:23-29
- Montemor, M.F., Pinto, R., Ferreira, G.S., 2012, Chemical composition and corrosion protection of silane films modified with CeO₂ nanoparticles, Corrosion Science 56:58-66
- Nalli, K., 2010, Corrosion and its mitigation in the oil and gas industry, An overview, PMPipeliners Report.
- Olivier, G., Fedel, M., Sciamanna, V., Vandermiers, C., Motte, C., Poelman, M., Deflorian, F., 2008, Study of the effect of nanoclay incorporation on the rheological properties and corrosion protection by a silane layer, Materials Chemistry and Physics, 110:263-268
- Özcan, M., Dehri, I. and Erbil, M., 2002. EIS study of the effect of high levels of SO₂ on the corrosion of polyester-coated galvanized steel at different relative humidities, Progress in Organic Coatings, 44:279-285
- Özden, R.C., 2012, Sıcak haddelenmiş AZ91 magnezyum alaşımı üzerine uygulanan akımsız Ni-P-W kaplamanın korozyon ve aşınma özellikleri, DergiPark, Niğde Ömer Halis Demir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi, 1:12-20
- Özler, F. B., 2007, Titanyum ve Alaşımlarının Sol-Jel Daldırma Yöntemiyle Yüzey Modifikasyonu, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, 71s, İstanbul
- Öztürk, F., Kaçar, İ., 2015, Magnezyum Alaşımlarının Kullanım Alanlarının İncelenmesi, DergiPark, Uluslararası Mühendislik Araştırma ve Geliştirme Dergisi, 7:13-20
- Polmear, I. J., 2006. Light alloys, metallurgy of the light elements, Arnold, London

- Pourbaix, M. 1949. The Thermodynamics of Aqueous Solutions, trans. J. N. Agar, Arnold, London
- Prof. Dr. Yalçın H., Prof Dr. Gürü M.,2010, Elektrokimya ve Uygulamaları.
- Seçgin G.O.,2013, İkiz Merdaneli Sürekli Döküm Yöntemiyle Üretilmiş AZ31 Magnezyum Alaşımının Korozyon Davranışının İncelenmesi, Doktora Tezi, İTÜ Fen Bilimleri Ens.,İstanbul
- Sheng, Y., Yang, J., Hou, R., Chen, L., Xu, J., Liu, H., ... & Xie, Y. M. (2020). Improved biocompatibility and degradation behavior of biodegradable Zn-1Mg by grafting zwitterionic phosphorylcholine chitosan (PCCs) coating on silane pre-modified surface. *Applied Surface Science*, 527, 146914.
- Song, G. L. ve Atrens, A., 1999. Corrosion mechanisms of magnesium alloys, *Advanced Engineering Materials*, Cilt 1, sayı. 1, 11-33
- Song, G. L. ve Atrens, A., 2003. Understanding magnesium corrosion, a framework for improved alloy performance, *Advanced Engineering Materials*, Cilt 5, sayı. 12, 837-858.
- Talha, M., Wang, Q., Xu, M., Ma, Y., Li, Z., Lin, Y., 2020, Improved corrosion protective performance of hybrid silane coatings reinforced with nano ZnO on 316 L stainless steel, *Applied Surface Science*, 527:146914
- Tatar, P., Kiraz, N., Asiltürk, M., Sayılkan, F., Sayılkan, H., Arpaç, E. 2007. Antibacterial thin films on glass substrate by sol-gel process. *J. Inorg. Organomet. Poly. Met.*, 17:525-533
- Tavangar, R., Naderi, R., Mahdayian. M., 2021, Acidic surface treatment of mild steel with enhanced corrosion protection for silane coatings application: The effect of zinc cations, *Colloid and Interface Science Communications*, 42:100411
- Uçar, K., 2019, AZ91D magnezyum alaşımlarına Ni-B esaslı kaplamaların uygulanması ve özelliklerinin incelenmesi, *DergiPark İleri Teknoloji Bilimleri Dergisi*, 8:1-8

- Ulman, A. 1991, An introduction to ultra thin organic films from Langmuir-Blodgett to self assembly, Academic Pres,Inc.
- Uysal, M.,2006, CrN, TiN Kaplanmış ve Kaplanmamış AISI 304 Paslanmaz Çeliğinin Korozyon Özellikleri, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi.
- Üneri, S. 1998. Korozyon ve Önlenmesi. Korozyon Derneği. s. 122, 246, Ankara.
- W.H. Azmi, K. Abdul Hamid, N.A. Sri , Rizalman Mamat , K.V. Sharma,2016. International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2016) 13–23
- Wang L., Zhou T., Liang J., Corrosion and self healing behaviour of AZ91D magnesium alloy in ethylene glycol/water solutions, Mater. Corros. 63 (2012) 713–719.
- Yalçın, H. ve Koç, T. 1991, Demir ve Çelik Yapıların Korozyonu ve Katodik Koruması, İller Bankası Genel Müdürlüğü Yayını, Ankara, 327s
- Yalçın, H., Koç, T., 1998. Mühendisler İçin Korozyon. Kimya Mühendisleri Odası, Türkiye, 315.
- Yıldız, R., Dehri, I. 2013, Investigation of the cut-edge corrosion of organically-coated galvanized steel after accelerated atmospheric corrosion test, Arabian Journal of Chemistry, King Saud University.
- Yıldız, R., Doğan, T., Dehri, İ., 2014. Evaluation of corrosion inhibition of mild steel in 0.1 M HCl by 4-amino-3-hydroxynaphthalene-1-sulphonic acid. Corrosion Science, 85, 215-221.
- Yıldız, R., Döner, A., Doğan, T., Dehri, İ., 2014. Experimental studies of 2-pyridinecarbonitrile as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. Corrosion Science, 82, 125-132.
- Yüksek Lisans Tezi Ayşe Ongun Yüce, Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi, 2005 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Duygu Arslan, Petrol Tubing Çeliğinin Mikrobiyal Korozyon Davranışının İncelenmesi, 2019 İstanbul Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- Yüksek Lisans Tezi Esin Alp, Farklı Ortamlarda Alüminyum Korozyonuna Sapanin Türevinin İnhibitör Etkisi, 2014 Hitit Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Esra Palmanak, 6-Amino-M-Kresol Polimerinin Bakır Ve Paslanmaz Çelik Üzerine Sentezi Ve Korozyon Performansının İncelenmesi, 2009 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi H. Derya Leçe, Bazı Makro Yapılı Aromatik Schiff Bazlarının Asidik Ortamdaki Çelik Korozyonuna İnhibitör Etkisinin Araştırılması, Ekim 2008 Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi İ. Dedemli, Sfaleritin asidik potasyum dikromatlı ($K_2Cr_2O_7$) ortamda çözündürülmesi, 2008, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı
- Yüksek Lisans Tezi Keziban Can, Katı Yüzeylere Farklı Yapıda Kendiliğinden Toplanan Tekli Tabakaların Oluşturulması ve Karakterizasyonu, 2009, Selçuk Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Mehtap Küyükoğlu, Ogzalat, Tungustat, Molibdat ve Fosfatın Saf Çinkonun Sulu Ortamdaki Korozyonuna Etkisi, 2010 Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Metehan Yazıcıoğlu, Tetrazol Bileşiklerinin İnhibitör Etkisi, 2015, Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Muhammet Ali Kaftan, Çelik Yapılarda Korozyon Oluşumu ve Korozyondan Korunma Yöntemlerinin Maliyet Açısından Karşılaştırılması, 2006 Pamukkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Zaera T.R., Eliais J., Clement T L.C., Sero M.I., Luo Y., Bisoquert J., 2008, Electrodeposition and impedance spectroscopy characterization of ZnO nanowire arrays, Phys. Stat. Sol. (A), 10, 2345-2350.
- Zarrouk, B. Hammouti, T. Lakhli, M. Traisnel, H. Vezin, F. Bentiss, New 1H-pyrrole-2,5-dione derivatives as efficient organic inhibitors of carbon steel corrosion in hydrochloric acid medium:

- Zeng, R. C., Yan, H. U., Zhang, F., Huang, Y. D., Wang, Z. L., Li, S. Q., & Han, E. H. (2016). Corrosion resistance of cerium-doped zinc calcium phosphate chemical conversion coatings on AZ31 magnesium alloy. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, 26(2), 472-483.
- Zeng, R., Hu, Y., Zhang, F., Huang, Y., Wang, Z., QiLi, S., Han, E., 2021, Corrosion resistance of Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, 610:125754
- ZucchiA, F., Frignani, V., Grassi, A., Balbo, G., Trabenelli., 2006, Organo-silane coatings for AZ31 cerium-doped zinc calcium phosphate chemical conversion coatings on AZ31 magnesium alloy, magnezyum alloy corrosion protection, Surface and Coatings Technology, 200: 4136-4143
- ZucchiV, F., Grassi,A., Frignani,C., Monticelli, G., Trabenelli, 2016, Influence of a silane treatment on the corrosion resistance of a WE43 magnesium alloy, Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 26:472-483
- www.korozyondernegi.gov.tr
- www.tr.wikipedia.org
- www.malzemebilimi.net
- www.maden.org.tr

ÖZGEÇMİŞ

Goncagül AKSARAY, ilk ve ortaöğretimini Adana’da tamamladı. 1999 yılında Adana Erkek Lisesi yabancı dil ağırlıklı süper lisesinden mezun oldu. 2004 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl başladığı Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Ortaöğretim Alan Öğretmenliği tezsiz yüksek lisansını 2005 yılında tamamladı. 2005 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim dalında başladığı tezli yüksek lisans eğitimini 2007 yılında tamamladı. 2004-2010 yılları arasında Bahçeşehir Uğur Eğitim kurumlarında Kimya öğretmeni olarak çalıştı. 2009 yılında Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya bölümü Fizikokimya Anabilim dalında doktora eğitimine başladı.2010-2012 yılları arasında özel eğitim kurumlarında Kimya öğretmeni olarak görev yaptı.2012 yılında Özel Çukurova Bilfen Lisesi’nde Kimya öğretmeni olarak başladığı görevine aynı okulda 2021 yılı Temmuz ayına kadar çalışarak devam etmiştir. Şuan özel eğitim kurumlarında Kimya Öğretmenliği’ne ve Çukurova Üniversitesi Fizikokimya laboratuvarında deneysel çalışmalar yapmaya devam etmektedir.