

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Nurcan YÜKSEKBAŞ

**YUMUŞAK ÇELİK ÜZERİNDE SİLAN FİLMİ OLUŞTURULMASI VE
BU FİLMİN SUNİ YAĞMUR SUYUNDA KOROZYONU ÖNLEME
ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI**

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

YUMUŞAK ÇELİK ÜZERİNDE SİLAN FİLMİ OLUŞTURULMASI VE BU FİLMİN SUNİ YAĞMUR SUYUNDA KOROZYONU ÖNLEME ETKİSİNİN ARAŞTIRILMASI

Nurcan YÜKSEKBAŞ

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
Yıl: 2022, Sayfa: 75
Jüri : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
: Doç .Dr. Başak DOĞRUMERT

Yumuşak çeliğin korozyonuna karşı vinil tri etoksi silan bileşiğinin inhibisyon yeteneği, alkol ve suda ayrı ayrı hazırlanan % 5 lik çözeltilerinde sırasıyla 10 dk, 20 dk, 30 dk, 60 dk bekletilerek silan filmi ile kaplandıktan sonra suni yağmur suyunda anodik polarizasyon ve elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) teknikleri kullanılarak incelenmiştir. Elde edilen sonuçlardan suni yağmur suyunda yumuşak çeliğin korozyonunun yüzeyde koruyucu bir film tabakası oluşturan vinil tri etoksi silan çözeltilerinde bekletilmesiyle azaldığı gözlenmiştir. İnhibisyon etkinliği yumuşak çeliğin silan çözeltilerinde bekleme sürelerinin artmasıyla doğru orantılı olarak artmaktadır. En yüksek inhibisyon etkinliği vinil tri etoksi silan bileşiğinin suda hazırlanan çözeltisinde 60 dk bekletilerek film tabakası oluşturulduğu ortamda gözlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon inhibitörü, Tafel, EIS, yumuşak çelik, vinil tri etoksi silan

ABSTRACT

MSc THESIS

CREATING A SILAN FILM ON MILD STEEL AND INVESTIGATION OF THE EFFECT OF PREVENTING CORROSION IN ARTIFICIAL RAINWATER

Nurcan YÜKSEKBAŞ

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

Supervisor : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
Year: 2022 Pages: 75
Jury : Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
: Assoc. Prof. Dr. Başak DOĞRUMERT

Inhibition ability of vinyl tri ethoxy silane compound against corrosion of mild steel, anodic polarization and electrochemical impedance spectroscopy in artificial rain water after being covered with silane film by waiting for 10 minutes, 20 minutes, 30 minutes and 60 minutes in 5% solutions prepared separately in alcohol and water, respectively. analyzed using EIS) techniques. From the results obtained, it has been observed that the corrosion of mild steel in artificial rain water is reduced by keeping it in vinyl triethoxy silane solutions that form a protective film layer on the surface. Inhibition efficiency increases in direct proportion to the increase of residence time in silane solutions of mild steel. The highest inhibition efficiency was observed in the environment where a film layer was formed by keeping the vinyl tri ethoxy silane compound in a solution prepared in water for 60 minutes.

Key Words: Corrosion inhibitor, Tafel, EIS, mild steel, vinyl tri ethoxy silane

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Yumuşak çelik, geniş uygulama alanına sahip önemli bir metaldir. Diğer metaller gibi doğası gereği çevre şartlarına bağlı olarak korozyona uğrar. Metalin korozyona uğraması malzeme, enerji ve zaman kaybına yol açmakla birlikte büyük ekonomik sıkıntılar yaratmaktadır. Korozyondan dolayı ekonomik gider birçok ülkede gayri safi milli gelirinin yaklaşık % 4 - % 6' sını oluşturmaktadır. Ülkemiz için bu ekonomik kaybın % 4,5 civarında olduğu belirtilmektedir. Metal ve alaşımların korozyondan sonra geri dönüşümle kullanılabilir hale getirilmesi, metalin korozyona uğramadan önce korozyondan koruma ve metali doğru kullanma tekniklerinin tercih edilmesine kıyasla daha yüksek maliyetlidir. Korozyona karşı bilinçli ve önceden planlanan teknik ve yöntemler kullanılarak metal kaybindan %10-80 arasında kazanç sağlanabilmektedir. Kromat ve benzeri altı değerlikli krom bileşikler, metalleri korozyondan koruma sürecinde yıllardır geniş çapta kullanılmıştır. Bu gibi bileşiklerin toksik ve kanserojen olmasından kaynaklı kullanımı önemli ölçüde sınırlanmıştır. Çevre dostu ve iyi yapışma özellikleri ile silan bileşiklerinin hibrit organik-inorganik sol-jel kaplamalarının uygulanması, çeliği korozyona karşı korumak için özellikle son yıllarda başvuru alanı umut verici bir yöntem olarak kabul edilebilir. Substrat ile kovalent kimyasal bağlar oluşturan silanlar, yeterli bariyer koruması sağlayabilir. Bu hibrit kaplamalar, organosilan öncüllerinin hidroliz ve kondenzasyon reaksiyonu ile oluşturulur ve organik kaplamalarla birlikte inorganik kaplamaların avantajlarına sahiptir. Araştırmalar SEM ve EIS analizleri sonucunda bu moleküllerin yüzeydeki su moleküllerinin yerini alarak metal yüzeyine tutunup kaplama etkisi yaparak bir koruyucu film oluşturdıklarını göstermiştir.

Vinil tri etoksi silan çapraz bağlı polietilen kablo ve borularda, özellikle son yıllarda korozyona karşı metal yüzeylerin kaplanmasında kullanılan, oda şartlarında renksiz şeffaf sıvı halde bulunan bir sıvıdır.

Bu çalışmanın amacı, yumuşak çeliğin Vinil tri etoksi silan bileşiğinin alkol ve suda ayrı ayrı hazırlanan % 5 lik çözeltilerinde bekletilerek silan filmi ile kaplanmasını sağlayarak korozyona karşı inhibisyon etkinliğini araştırmaktır. Bu nedenle doğrudan daldırma yöntemiyle oda koşullarında %5 silan derişiminde farklı sürelerde (10,20,30,60 dk) film oluşturulan yüzeyin elektrokimyasal ölçümleri yapılarak en kararlı silan filminin SEM ölçümleri yapılmıştır. İnhibisyon etkinliğini belirlemek amacıyla, akım-potansiyel ve impedans eğrilerinden yararlanılmıştır.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 10 dk bekletilmesi ile inhibisyon etkinliği % 50,97 iken 60 dk bekletilmesi ile inhibisyon etkinliği % 75,97 olarak hesaplanmıştır. Yumuşak çeliğin silan bileşiğinin alkolde hazırlanan çözeltisinde bekleme süresinin artması ile polarizasyon direncinin arttığı ve çözeltilerin çelik elektrot yüzeyinde adsorplanarak koruyucu bir film tabakası oluşturduğu gözlenmiştir. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, bekleme süresinin artmasıyla akım değerlerinin azaldığı görörlmüş olup bekleme süresinin artmasıyla metal yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakasının kalınlığı artmış ve metal korozyonu yavaşlamıştır.

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin suda %5'lik çözeltisi hazırlanmış ve çözeltilerin bekledikçe sol-jel kıvamının arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle suda hazırlanan silan çözeltilisinin bir hafta, iki hafta ve üç hafta bekletilmesi sonucunda metal daldırılarak yüzeyde film oluşturulmuştur. Yumuşak çelik 1 hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilmiş ve sonrasında yaklaşık 1 saat 70⁰C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek üzeri silan filmi ile kaplanmıştır. Kaplama yapıldıktan sonra alınan elektrokimyasal ölçümler sonucunda silan filmi ile kaplanan yüzeyin kaplanmayan yüzeye oranla korozyon direncinin arttığı görölmüştür. Bir hafta beklemiş silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 60 dk bekletilmesiyle inhibisyon etkinliği % 78,44 olarak hesaplanmıştır. Bir hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğe yapılan işlemler iki ve üç hafta beklemiş çözeltilerde de ayrı ayrı yapılmıştır. 2 hafta beklemiş suda

hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 60 dk bekletilmesi ile kaplama kalınlığının fazla olduğu gözlenmiş inhibisyon etkinliği %99,89 a yükselmiştir.

Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde kaplama kalınlığında bekleme süresine bağlı olarak bir değişim olup olmayacağını gözlemlemek amacıyla yumuşak çelik sırasıyla 10,20,30,60 dk sürelerle bekletilmiştir. Belirtilen bekleme sürelerinin tamamında kaplanan yüzeyin suni yağmur suyunda elektrokimyasal ölçümleri alınarak inhibisyon etkinliğinin %100 olduğu görülmüştür.



TEŞEKKÜR

Yüksek lisans 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.

Yükseklisans eğitimim boyunca benimle bilgi ve tecrübelerini paylaşan, desteğini esirgemeyen Değerli Hocam Prof. Dr. Tunç TÜKEN'e, katkılarından dolayı Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER' e teşekkür ederim.

Laboratuvar çalışmalarım süresince tecrübe ve bilgilerinden yararlandığım, sabırla sorularıma cevap verip beni doğru bir şekilde yönlendiren Dr. Gökmen SİĞİRCİK'a, tecrübelerini benimle paylaşıp tezimi yazmaya başlamamda beni yüreklendirdiği için Dr.Şifa KIR'a , laboratuvar çalışmalarımda desteğini esirgemeyen doktora öğrencisi Goncagül Aksaray'a teşekkür ederim.

Yükseklisans eğitimim süresince bana destek olan sevgili eşim Barış Yüksekbaş'a, bu dünyadaki varlıklarıyla hayatıma anlam katan bana huzur veren kızlarım Leman Zümra ve Cevher Yüksekbaş'a, beni dünyaya getiren zor şartlar altında beni büyütüp, okutan, hayatımın her aşamasında bana destek olan biricik annem Cennet KOCA' ya sonsuz teşekkürler.

SAYFA

VIII

3.1.2. Kullanılan Elektrotlar	30
3.1.3. Kullanılan Cihazlar.....	30
3.1.4. Kullanılan Diğer Malzemeler	30
3.2. Metot.....	31
3.2.1. İnhibitörlerle İlgili Deneyler.....	31
3.2.1.1. Çalışma Elektrotunun Hazırlanması.....	31
3.2.1.2. Elektrolit Ortamının Hazırlanması	31
3.2.1.3. Elektrokimyasal Ölçümler.....	31
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	33
4.1. Alternatif Akım İmpedans Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular	33
4.2. Akım Potansiyel Eğrileri Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular.....	49
4.3. SEM Analizi.....	59
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	65
KAYNAKLAR	69
ÖZGEÇMİŞ	75

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	Bazı inhibitörlerin değişik metaller üzerindeki etkinlikleri.	14
Çizelge 4.1.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde farklı sürelerde bekletilerek silan filmi ile kaplanan ve kaplanmayan yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda EIS ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreleri.....	41
Çizelge 4.2.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde farklı sürelerde bekletilerek silan filmi ile kaplanan ve kaplanmayan yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda akım potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri.....	55



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil.1.1.	Metalin korozyona uğrayarak aşınması.....	1
Şekil.1.2.	En yaygın elektrolit ortamlarında elektron ve iyon hareketi	2
Şekil.1.3.	Demirin sulu ortamda çözünme mekanizması.....	3
Şekil.1.4.	Örnek elektrokimyasal bir hücre	4
Şekil.1.5.	Metal yüzeyinde elektron difüzyonunun mekanizması	5
Şekil.1.6.	Anodik koruma mekanizması.....	7
Şekil.1.7.	Dış akım kaynaklı katodik koruma.....	8
Şekil.1.8.	Karbon bazlı NM'ler içeren veya içermeyen çeşitli polimer bazlı kaplamalar	9
Şekil.1.9.	Alkoksil silanın hidroliz ve kondenzasyon süreci	17
Şekil.1.10.	Hidroliz olan moleküllerin metale bağlanması.....	18
Şekil 2.1.	İşlevsel birleştirilmiş yüzey kaplamalarının üretim sürecinin şematik gösterimi	28
Şekil 4.1.	Yumuşak çelik elektrodun suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	33
Şekil 4.2.	Yumuşak çelik elektrodun suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	34
Şekil 4.3.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	35
Şekil 4.4.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan(□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi	35
Şekil 4.5.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	36

Şekil 4.6.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi	37
Şekil 4.7.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan ($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	38
Şekil 4.8.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi	38
Şekil 4.9.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan ($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	39
Şekil 4.10.	Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi	40
Şekil 4.11.	Bir hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan ($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı.....	42
Şekil 4.12.	Bir hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi	42
Şekil 4.13.	İki hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	43
Şekil 4.14.	İki hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	44

Şekil 4.15. Üç hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	45
Şekil 4.16. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	45
Şekil 4.17. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	46
Şekil 4.18. Üç hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı	47
Şekil 4.19. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	47
Şekil 4. 20. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi.....	48
Şekil 4.21. Akım-potansiyel eğrileri ekstrapolasyonu yöntemiyle korozyon hızının belirlenmesi [Erbil, 2012].....	49
Şekil 4.22. Silan filmi ile kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım potansiyel eğrisi	50
Şekil 4.23. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri	51
Şekil 4.24. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri.....	52

Şekil 4.25. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri.....	53
Şekil 4.26. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri.....	54
Şekil 4.27. Bir hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri	56
Şekil 4.28. İki hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri	57
Şekil 4.29. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri	58
Şekil 4.30. Yumuşak çeliğin kaplama olmadan SEM görüntüsü	59
Şekil 4.31. Kaplama olmadan suni yağmur suyunda beklemiş yumuşak çeliğin SEM görüntüsü.....	60
Şekil 4.32. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin SEM görüntüsü.....	61
Şekil 4.33. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü.....	62
Şekil 4.34. Suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin SEM görüntüsü.....	63

Şekil 4.35. Suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü 64





SİMGELER VE KISALTMALAR

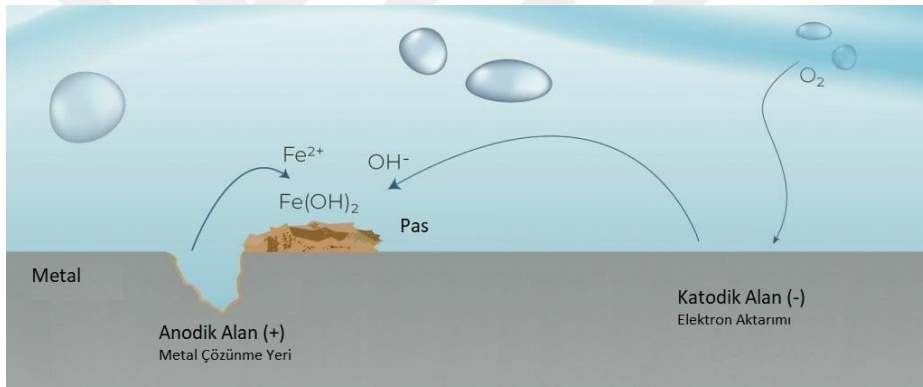
E	: Elektrot potansiyeli (V)
E_{kor}	: Korozyon Potansiyeli
I	: Akım (A)
I_{kor}	: Korozyon akımı (V)
R_p	: Polarizasyon Direnci (Ω)
R_s	: Çözelti Direnci (Ω)
Z	: Toplam İmpedans
Z'	: Gerçek İmpedans
Z''	: Sanal İmpedans
EIS	: Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi
Cdl	: Çift Tabaka Kapasitansı
Qdl	: Diferansiyel Kapasitans
A	: Amper
V	: Volt
Ω	: Ohm
CPE	: Çift Tabaka Kapasitesi



1. GİRİŞ

1.1. Korozyonun Tanımı ve Önemi

Korozyon, rafine edilmiş bir metalin veya metal alaşımlarının çevreleri ile etkileşerek, oksit, hidroksit veya sülfür bileşikleri gibi daha kararlı bir forma dönüşmesiyle gerçekleşen bir süreçtir ve bu durum malzemenin bozulmasına yol açar. Bu bozunma, su/nem bulunan ortamlarda, oksijen, hidrojen, elektrik akımı hatta kirlilikler ve bakterilerle etkileşim sonucu kolayca gerçekleşebilmektedir. Bakteriler özellikle, anaerobik şartlarda korozyonun gerçekleşmesinde başlıca rolü üstlenirler.



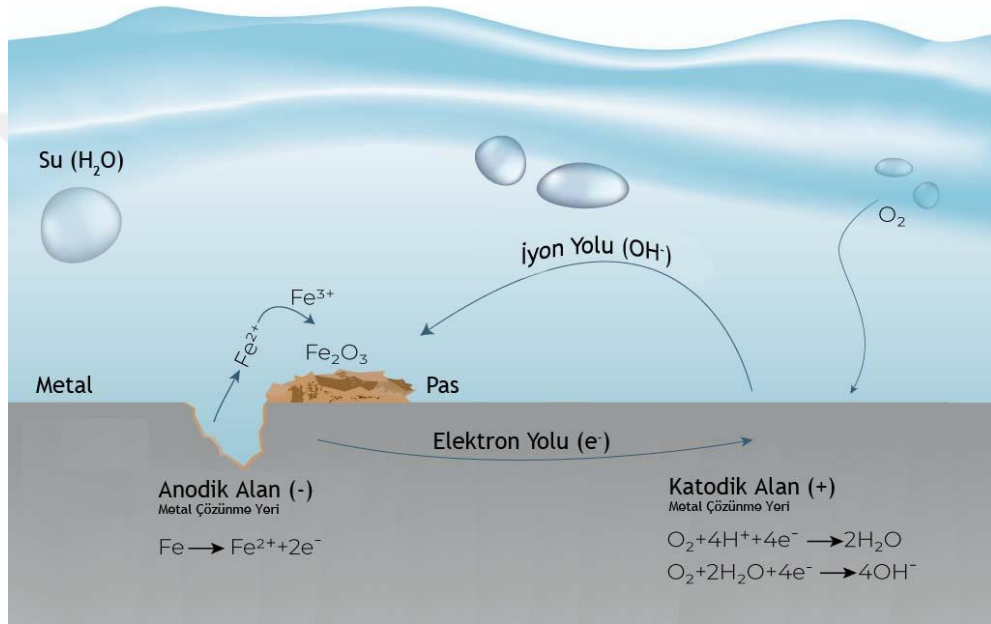
Şekil.1.1. Metalin korozyona uğrayarak aşınması

Korozyon olayı, metal ve alaşımlarının sadece kimyasal özelliklerini etkilemekle kalmaz, aynı zamanda fiziksel-mekanik özellikleri üzerinde de olumsuz sonuçlara neden olur. Bu nedenle de, araçlardan, ev aletlerine, atık su sistemlerinden boru hatlarına, köprülere, yapılara zarar vererek oldukça tehlikeli sonuçlara ve yüksek maliyetlere yol açmaktadır.

Metal/alaşımların korozyonu farklı mekanizmalar üzerinden çeşitli türlerde gerçekleşebilir, ancak her durumda bir elektrokimyasal hücre üzerinden yürür. Bir elektrokimyasal korozyon hücresindeki temel bileşenler; anodik bölge, katodik

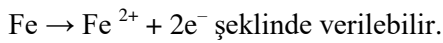
bölge, elektron yolu (metalik bağlantı) ve iyonik yol (elektrolit) dur. Korozyonun meydana gelmesi için dört bileşenin tümü mevcut olmalıdır.

Anottaki metal oksitlenerek kütle kaybeder ve korozyona uğrar. Bu reaksiyon sonucu üretilen elektronlar metalik yol ile katodik bölgeye iletilirler ve bu bölgede gerçekleşen tepkimelerde tüketilirler.

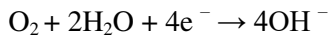


Şekil.1.2. En yaygın elektrolit ortamlarında elektron ve iyon hareketi

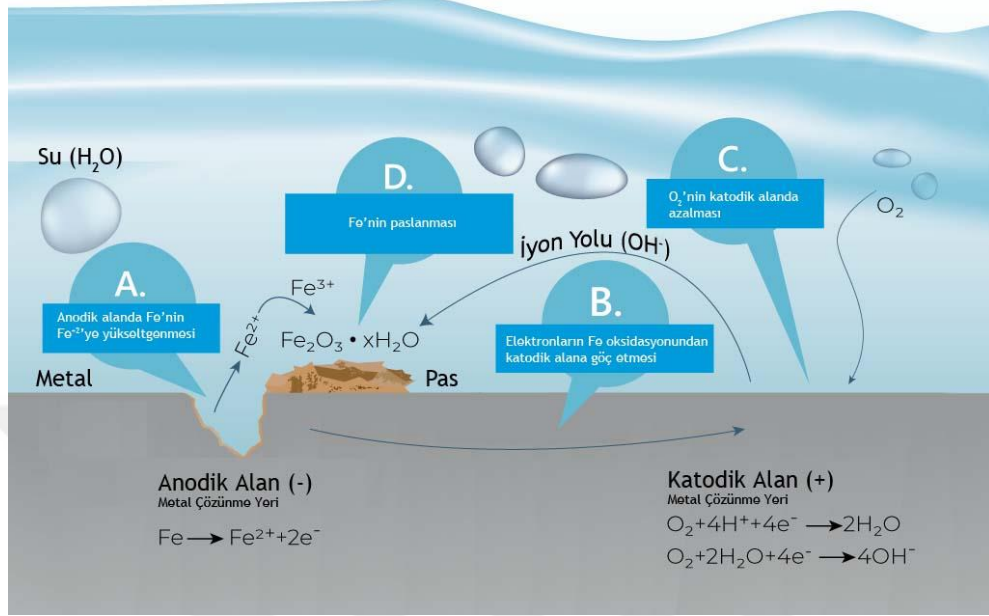
Metalin oksidasyonundan oluşan anodik reaksiyon:



Sulu ortamda yüksek oranda çözülmüş halde bulunan oksijen (O₂) potansiyel bir elektron alıcısıdır ve elektrokimyasal gerilim sıralamasındaki yeri itibariyle de bir çok metali yükseltgeyebime özelliğine sahiptir. Nötr veya bazik ortamda oksijenin indirgenmesi :



reaksiyonuna göre gerçekleşir .



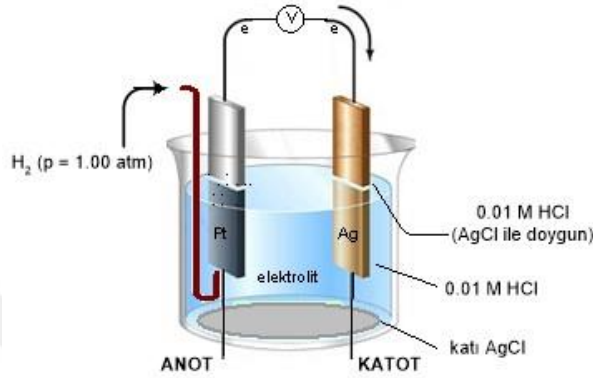
Şekil.1.3. Demirin sulu ortamda çözünme mekanizması

Metal bir yüzeyin anodik bölgede oluşan metal iyonları ile katodik bölgede ortaya çıkan hidroksit iyonlarının yeterli derişime ulaştıklarında ilgili çözünürlük çarpımı değerini sağladıklarında, pas diye bilinen çeşitli hidroksit, oksit bileşikleri meydana gelmesi olasıdır. Bu süreçler de tamamen çevresel şartlara (pH, sıcaklık, iyon türleri vb.) bağlı olarak değişkenlik gösterir.

1.2. Korozyonun Elektrokimyasal Doğası

Elektrokimya, iletken özelliği gösteren elektrotların ara yüzlerinde gerçekleşen kimyasal reaksiyonları inceler ve elektrokimyasal reaksiyonlar aslında redoks tepkimeleridir. Bu tepkimede elektron veren atom veya molekül yükseltgenir. Yükseltgenen atom veya molekülün verdiği elektronu tepkimeye girdiği diğer atom veya molekül olarak indirgenir. Sonuç olarak yükseltgenme ve indirgenme yarı tepkimelerinin birlikte gerçekleştiği tepkimeler redoks tepkimelerini yani elektrokimyasal tepkimeyi oluşturur. Elektrot/çözelti ara

yüzeyinde meydana gelen redoks tepkimelerinin açıklanması amacıyla çizilen hücre aşağıda Şekil 1.2.1’de verilmiştir.



Şekil.1.4. Örnek elektrokimyasal bir hücre(Yazıcıoğlu, 2015)

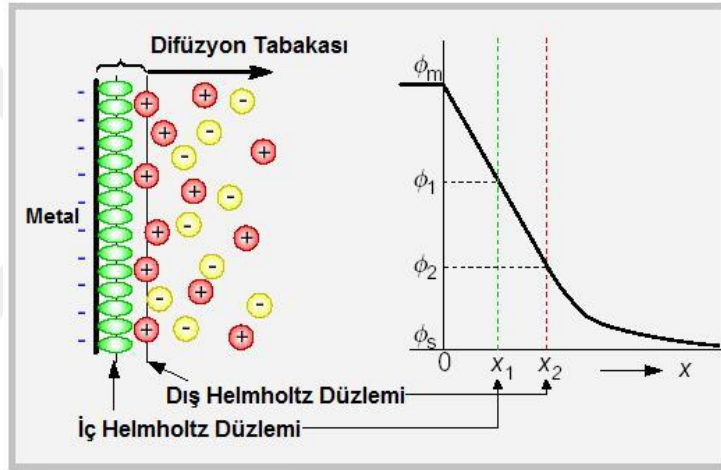
Anot: $M \rightarrow M^+ + e^-$

Katot: $M^+ + e^- \rightarrow M$

Elektrokimyasal sistemlerde yükseltgenmenin gerçekleştiği elektrot anottur ve anot artı uçlu kutuptur. İndirgenmenin gerçekleştiği elektrot katottur ve katot eksi uçlu kutuptur. Redoks tepkimelerinde bir atom, iyon veya molekülün bulunduğu elektrokimyasal ortamda indirgeneceğini veya yükseltgeneceğini o maddenin standart elektrot potansiyeli belirler. Standart elektrot potansiyeli, standart hidrojen elektrodu referans alınarak ölçülen maddenin volt cinsinden değeridir. Değer ne kadar büyükse madde yükseltgenmeye o denli yatkındır. Yani ortamda standart elektrot potansiyeli büyük olan yükseltgenir, küçük olan indirgenir.

Korozyon tepkimelerinde anot tepkimesi metal iyonlarının metal yüzeyinden ayrılması ile ilgilidir. Katot tepkimesi ise ortamda bulunan elektronegatif bir iyon ya da molekül tarafından yürütülür. Bu nedenle korozyon olayının gerçekleştiği metal / çözelti ara yüzeyi iyi anlaşılmalıdır. Ara yüzeyde

metalin çözünmesi sonucu oluşan metal iyonları (Fe^{2+}) ve metal yüzeyine taşınan indirgenme tepkimesini üstlenecek olan (hidrojen iyonu ya da oksijen molekülü) yüzeye yeterince sokulmasıyla elektron transferi gerçekleşir. Çözelti içinde metal yüzeyine yakın bulunan iyon veya dipoller ile metal yapısındaki hareketli elektronlarla etkileşerek yüzeyde çift tabaka oluşturur. Metale en çok tutunan iyonların oluşturduğu tabakaya Helmholtz tabakası denir. Metal yüzeyine tutunmuş iyonların merkezinden geçirilen düzleme İç Helmholtz Düzlemi (IHP), hidratize iyonların merkezinden geçen düzleme ise Dış Helmholtz Düzlemi (OHP) denir.



Şekil.1.5. Metal yüzeyinde elektron difüzyonunun mekanizması

Metal / çözelti ara yüzeyi, yoğun elektriksel çift katman ve difüz katman olmak üzere iki tabakadan oluşur. Birinci tabaka metal ve Helmholtz tabakası arasındaki potansiyel düşmesi olup yük aktarımının gerçekleşmesini sağlar. İkinci tabaka ise, Helmholtz tabakasından çözelti içlerine doğru olan difüz tabaka potansiyelidir. Bu potansiyel farkı iyonların yüzeye taşınmasına katkı sağlar (Erbil,2012).

Korozif iyon veya moleküller yoğun elektriksel çift tabakaya (metal ile OHP arası) difüzyonla gelerek metal yüzeyinde tutunur ve elektrokimyasal

reaksiyonlarda korozyonun oluşmasına sebebiyet verirler. Yine korozyonu önleyici veya azaltıcı inhibitör moleküllerinin de bu katmana erişmesi halinde etkin olacağı düşünülmektedir (Üneri, 1984)

1.3. Korozyonu Önleme Yöntemleri :

İnsanoğlunun günlük yaşamı, çeşitli metal veya alaşımların kullanımından ayrılmaz bir haldedir. Ancak bu metallerin veya alaşımların çoğu çalışma ortamlarında kaçınılmaz bir şekilde korozyona uğrar. Korozyondan kesinlikle kaçınılamaz, ancak korozyon hızı, korozyon koruma yöntemleri ile yavaşlatılabilir. Her durumda, ilk adım çevresel şartlar iyi analiz edilerek doğru malzeme seçimi ve doğru tasarım yapılmasıdır. İkinci olarak malzemenin korozif ortamla etkileşmesini önlemek ya da çevrenin korozifliğini azaltacak yönde tedbirler uygulamaktır. Başlıca korozyonu önleme yöntemleri aşağıda belirtilmiştir.

1. Elektrokimyasal yöntemler

- i. Anodik koruma
- ii. Katodik koruma

2. Koruyucu kaplamalar

- i. Organik kaplama
- ii. İnorganik kaplama yapılması
- iii. Metalik kaplamalar

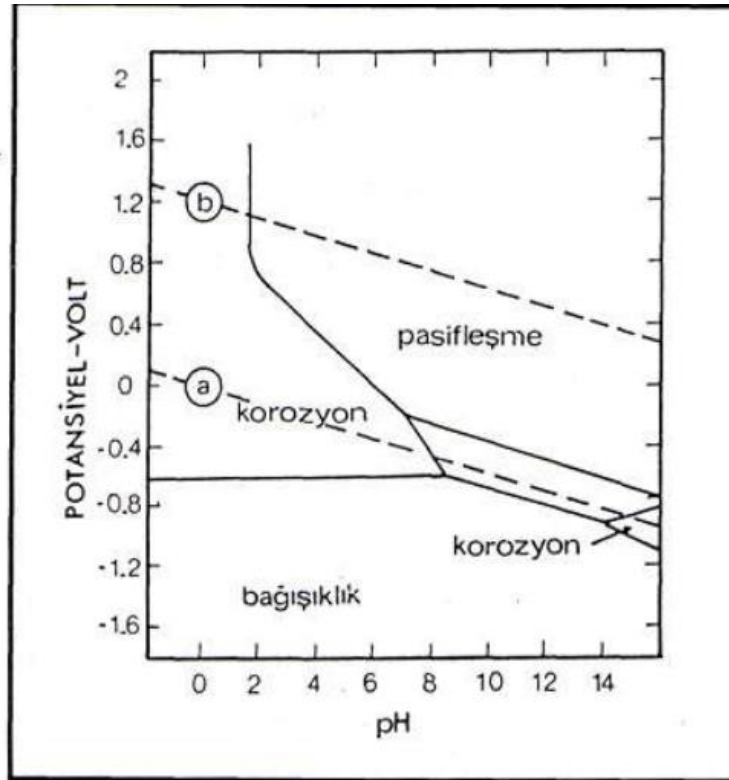
3. Kimyasal yöntemler

- i. İnhibitör ile koruma

1.3.1. Elektrokimyasal Yöntemler

1.3.1.1. Anodik Koruma

Metallerin korozyona uğrama hızını azaltmak için kullanılan elektrokimyasal bir yöntemdir. Bu yöntemde metale anodik yönde bir dış akım uygulanarak metalin pasiflik potansiyeline gelmesi sağlanır. Anodik koruma esas olarak bir pasifleştirme işlemi olarak kabul edilebilir. Bu nedenle yöntem ancak pasifleşme özelliği olan metallere uygulanabilir.



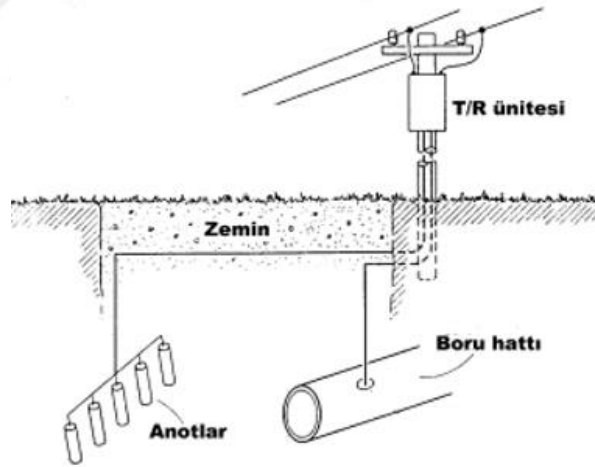
Şekil.1.6. Anodik koruma mekanizması

Anodik korumada, potansiyel ve akım kontrolünün çok iyi yapılması gerekir. Eğer sistemde bir aksaklık meydana gelirse, korunan metal kısa sürede korozyona uğrayabilir. Bu nedenle anodik koruma genellikle şiddetli korozyon

olayının söz konusu olduğu ortamlarda korozyon hızını azaltmak amacıyla kullanılır.

1.3.1.2. Katodik Koruma

Katodik koruma metalleri korozyondan korumak için kullanılan en etkili yöntemdir. Katodik koruma, elektrokimyasal hücreden net bir akım geçtiğinde anotta oksidasyon reaksiyonu, katotta buna eşdeğer olacak şekilde indirgenme reaksiyonu yürür. Böyle bir sistem içinde katot bölgesinde hiçbir şekilde korozyon olayı meydana gelmez. Bu yaklaşımla, bir metalin yüzeyindeki anodik bölgeler katot haline dönüştürülerek korozyon olayı tolere edilebilecek limit değere kadar çekilebilir. Sözü edilen limit değer çoğunlukla 0,01 mm/yıl korozyon hızına karşılık gelmektedir. Katodik koruma yapabilmek için ikinci metal anot görevi yapmak üzere aynı elektrolit içine daldırılır



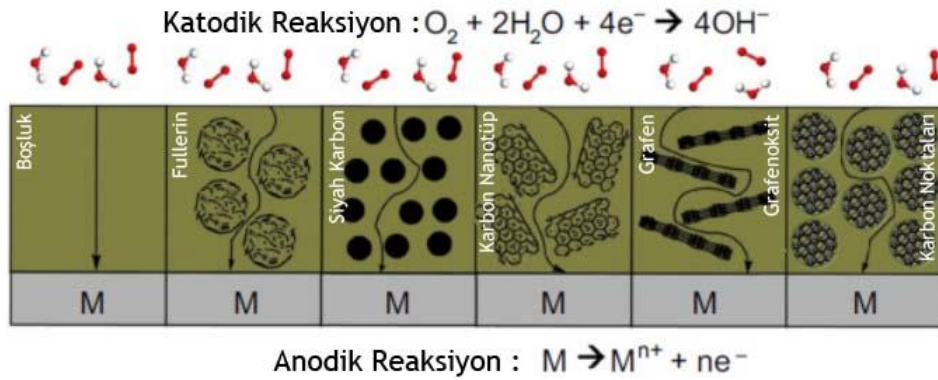
Şekil.1.7. Dış akım kaynaklı katodik koruma

Eğer anot metali korunacak olan metalden daha aktif seçilmiş ise, bu iki metalin bağlantısından galvanik bir pil oluşur. Bu durumda devreden kendiliğinden akım geçer. Korunması istenilen metal pilin katodu olacağından korozyona uğramaz .

1.3.2. Koruyucu Kaplamalar

1.3.2.1. Organik Kaplama:

Kaplamaya gömülü pigmentler tarafından hem bariyer koruması hem de aktif korozyon inhibisyonu sağlar. Kaplamanın su ve oksijene karşı doğal geçirgenliği nedeniyle bariyer özellikleri sınırlıdır, bu nedenle organik kaplama formülasyonlarına genellikle farklı dolgu maddeleri eklenir. Polimerik matrise dahil edilen dolgu maddesinin dağılım durumu, boyutu, şekli, kimyasal yapısı ve ağırlık yüzdesi, organik kaplamaların korozyon önleyici performansını önemli ölçüde etkiler. Şekil 1.3.2.1 farklı boyut ve şekillerde karbon esaslı dolgu maddelerinin polimerik kaplamaların bariyer özellikleri üzerindeki etkisini göstermektedir. Organik kaplamalar, diğer korozyon önleyici tekniklerle karşılaştırıldığında tonaj bazında en fazla metali koruyan boyalar, vernikler, cilalar ve benzer kaplamaları içerir.



Şekil.1.8. Karbon bazlı NM'ler içeren veya içermeyen çeşitli polimer bazlı kaplamalar

1.3.2.2. İnorganik Kaplama:

Esas olarak metalik alt tabakayı bariyer koruma mekanizması yoluyla korur; bununla birlikte, inorganik çinko bakımından zengin kaplamalar, çinkonun aktivitesi yoluyla katodik koruma da sağlayabilir. İnorganik kaplamalar, hidrolik çimentolar, seramikler, killer, cam, karbon ve silikatlar gibi çeşitli malzeme

sınıflarını içerir. İnorganik kaplamaların uygulanmasına yönelik bazı işlemler, metalin yüzey tabakasını bir metal oksit/hidroksit pasif filme dönüştürebilir ve bu nedenle bunlara kimyasal dönüşüm kaplaması denir. Bu dönüşüm katmanı, kendine has korozyon koruması ile birlikte, koruyucu boyaların uygulanması için etkili bir temel olarak kullanılabilir, çünkü astar kaplama ile metalik alt tabaka arasındaki arayüzey etkileşimlerini önemli ölçüde artırır. Bu nedenle, organik boya veya kaplama, dönüşüm kaplaması ile birlikte metalin korozyon direncinin artmasını ve daha az hasar oluşmasını sağlar. Bu işlem aynı zamanda boyamadan önce bir hazırlık aşaması olarak da hizmet edebilir. Uzun süreli bir çalışma (35 yıl), inorganik çinko bazlı astarların kıyı ortamlarında organik çinko astarlardan daha iyi performans gösterdiğini ortaya koymuştur. İnorganik sol-jel kaplamalar iyi bir bariyer özelliği gösterir ancak yüksek kürlenme sıcaklığından dolayı Mg veya Al alaşımları ile kullanılmamalıdır. İnorganik-organik kompozit sol-jel kaplamalar, esneklikleri, korozyona karşı korumaları ve uygun kürlenme sıcaklıkları nedeniyle iyi performans sunuyor gibi görünmektedir.

1.3.2.3 Metalik kaplamalar:

Bir bariyer görevi görebilir ve metalik kaplama ana metalden daha aktifse galvanik olarak aşındırıp katodik koruma sağlayabilir. Metalik kaplama, çelik üzerindeki nikel gibi, ana metalden daha asal ise, kusurlar yoluyla ana metalde oyuk korozyonu meydana gelebilir. Metalik kaplamaları uygulamak için en yaygın prosedürler; sıcak daldırma, elektro kaplama, termal püskürtme, kaplama, kimyasal buhar biriktirme (CVD) ve yönlendirilmiş enerji (lazer veya iyon) ışınları kullanılarak yüzey modifikasyonudur.

1.3.3. Kimyasal Yöntemler

1.3.3.1. İnhibitörler

Metal bir yüzeyin korozyondan korunmasını sağlamak için ortamda bulunan korozif bileşenlerin ortamdan uzaklaştırılması ya da korozif yapıların metal yüzeyine ulaşmasının engellenmesi gerekir.

Korozif maddelerin ortamdaki uzaklaştırılmadığı ya da uygulamanın yeterince başarılı olamadığı koşullarda ortama korozyonu yavaşlatıcı maddeler eklenir. Bu tür maddeler genel olarak “inhibitör” olarak adlandırılır. İnhibitörler başlıca kapalı sistemlere uygulanabilir. İnhibitörlerin etkisi ya metal ile ortam arasındaki temasın kesilmesi ya da ortamda bulunan korozif bileşenlerin ortamdaki uzaklaştırılması şeklinde olur. Metal ile ortam arasındaki ilişkinin kesilmesi için makro düzeyde bir kaplama yerine moleküler düzeyde bir film oluşumu sağlanmış olmalıdır. Ortama eklenen kimyasal maddeler, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan elektriksel alan etkisiyle metal yüzeyinde adsorplanır. Adsorplanan iyon veya moleküllerin adsorplanmadan önce enerjileri azalır ve bu enerjinin azalması ölçüsünde adsorpsiyon kararlı olur. Çoğu zaman yüksek enerjili adsorpsiyon “kimyasal adsorpsiyon”, adsorpsiyon enerjisinin düşük olduğu adsorpsiyon da “fiziksel adsorpsiyon” olarak adlandırılır.

Kimyasal adsorpsiyon yalnızca bir tabakalı yani monomoleküler olabildiği halde, fiziksel adsorpsiyon bir tabakalı ya da çok tabakalı yani multimoleküler olabilir. Diğer taraftan çoğu fiziksel adsorpsiyon tersinir olarak yürütülebildiği halde kimyasal adsorpsiyonlar tersinmezdir (Sarıkaya, 1993). İnhibitör uygulamalarından önce yüzey temizleme işlemleri mekanik olarak yapılabildiği gibi, kimyasal olarak da yapılabilir. Uzun yıllar, paslı yüzeylerin temizlenmesi için metalin önce fosfat çözeltisinde yıkanması ve sonra kromat inhibitörü içine daldırılıp bekletilmesi şeklindeki uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulama ile kromat iyonlarının yüzeyle etkileşmesi kolaylaştırılmış olmaktadır. Kromat iyonlarının çevre kirleticisi olmaları nedeniyle, bugünün uygulamalarında kromat uygulamaları yasaktır ancak bir başka inhibitörün de yüzeyle doğrudan etkileşebilmesi gerektiğinden, yüzey temizliğine ilişkin düşünceler geçerlidir.

Demir esaslı malzemeler bulunduğu ortamdaki atmosfer şartlarında paslanmaktadır. Demirin zaman içinde paslanması fonksiyonlarını yitirmesine sebep olmaktadır. Sıcak daldırma galvanizleme, soğuk haddelenmiş veya döküm yoluyla imal edilmiş çelik malzemelerin eriyik halde bulunan çinko havuzuna

daldırılması suretiyle korozyona karşı korunması işlemidir. Bu işlem sonucunda malzemenin yüzeyinde sırasıyla çinko-demir ve saf çinko tabakası oluşur ki, bu tabakalar demir malzemeyi korozyona karşı korur. Çinko ile çeşitli kaplama yöntemleri olmakla beraber en dayanıklı ve uzun vadede en ekonomik kaplama yöntemi Sıcak Daldırma Galvanizle olanıdır. Bu yöntemle kaplanmış malzemelere ilave boya vs. uygulama yapmaya gerek yoktur.

Hangi Malzemeler Galvanizlenebilir? / Galvaniz Kaplama Özellikleri/
Galvanizlenecek Malzemenin Gereken Kuralları/ Galvaniz Kaplamanın Avantajları

- Alaşımsız karbon çeliği, düşük alaşımlı çelikler, gri ve dövülebilir dökme demirler genel olarak sıcak daldırma galvanizleme işlemi için uygundur.
- Kükürt içeren otomat çelikleri normal olarak uygun değildir.
- Çelikteki silisyum ve fosfor gibi reaktif elementlerin varlığı, eşit olmayan, kırılğan, kalın ve de parlak veya koyu gri (mat) kaplama alanlarının oluşmasına sebep olabilir.

Nötr ortamlarda inhibisyon, kararlı ve koruyucu yüzey filmi oluşumu ile ilgilidir. Kullanılacak inhibitörler daha çok oksit oluşumuna yardımcı olan maddeler olmalıdır ve korozyon, oluşan oksit örtüsünü koruyabildiği kadar önlenir. Örneğin, çinko, magnezyum, mangan ve nikel gibi metallerin tuzları yüzeyde oldukça koruyucu bir örtü oluşturabilirler. Bir başka inhibitör grubu, nötr ortamlarda metal yüzeyindeki ince koruyucu pasif filmi kararlı yapma özelliğine sahiptir. Bu inhibitörler daha çok bazı asitlerin anyonlarıdır. Uygulamada yaygın olarak kullanılanlar; kromat, nitrit, benzoat, silikat, fosfat ve borat iyonlarıdır. Metal yüzeyindeki pasif oksit filmi, metal iyonlarının difüzyonu ve buna bağlı olarak anodik çözünmeye karşı büyük direnç oluşturur. Bu nedenle daha çok anodik inhibitörler olarak kabul edilirler. Demir, çinko, alüminyum, bakır ve bu

metallerin başka katkılarla oluşturduğu alaşımların korozyonunu önlemede pasifleştirici özelliğe sahip inhibitörler katodik inhibitörlerden daha çok kullanılır.

Nötr ortamlarda yaygın olarak kullanılmış ya da halen kullanılmakta olan bazı inhibitörlerin özellikleri, etkinlikleri ve kullanımlarında dikkate alınacak önemli noktaları kısaca özetlemekte yarar vardır. Bunlardan bazılarının kullanımına sınırlamalar getirilse de özelliklerinin bilinmesi yararlı olacaktır.

En çok kullanılan inhibitörlerden biri “kromatlar” dır. Anodik inhibitörler sınıfından olup, içinde aşırı klorür iyonları bulunmayan göl suyu bileşimine sahip ortamlarda çok az miktarları bile (5-10 mM dolayında) oldukça etkili olmaktadır. Ortama eklenen miktarlarının belirli bir sınır değeri geçmesi gerekmekte, aksi halde korozyonu hızlandırmaktadırlar. Metalin potansiyelini pozitif değerlere kaydırarak etkinin izlenmesini kolaylaştırmaktadırlar. Kromatlar (CrO_4^{-2}), bikromatlardan ($\text{Cr}_2\text{O}_7^{-2}$) en az üç kat daha etkilidir. Yaygın olarak kullanılan anodik inhibitörlerden bir diğeri “sodyum tungstat”tır. Tungstat iyonu (WO_4^{-2}), bilinen anodik inhibitörlerin etkisini gösterir. Bu nedenle çeliğin korozyonu, inhibitörün miktarına bağlı olarak önce artar ve yeterli korozyon ürününün oluşumundan sonra yüzey pasifleşir. Anodik inhibitörlerin en az etkili olanı “sodyum molibdat, Na_2MoO_4 ”tır. Yaygın olarak kullanılan inhibitörlerin bir diğeri olan “silikatlar” değişken bileşimli olup, bileşimleri genellikle $n\text{Na}_2\text{O} \cdot m\text{SiO}_2$ şeklinde gösterilebilir. Sulu çözeltilerinde kendilerine özgü özellikleri olan kompleks kolloidal sistemler oluştururlar. Silikatların etkin inhibitör olabilmeleri oluşturdukları kolloidal sistemin özelliklerine bağlıdır. Sodyum silikat çözeltilerinde iyonik, moleküler ya da kompleks yapılar oluşur. Başlıca iyonlar; Na^+ , OH^- , SiO_3^{-2} , HSiO_3^- ve $n\text{SiO}_5^{-2}$; moleküller Na_2SiO_3 , Na_2SiO_5 , HSiO_3 ve $\text{SiO}_2 \cdot n\text{NaOH}$, kompleksler ise ; $(\text{SiO}_3)_x$, $(\text{H}_2\text{SiO}_3)_x$, $(\text{SiO}_2)_x$, $[(m\text{SiO}_3 \cdot n\text{SiO}_2 \cdot x\text{H}_2\text{O})]^{-2}$ ve $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O} \cdot y\text{SiO}_3$ yapılarında oluşumlardır. Silikat çözeltileri kolloidal sistemler olduğundan, kolloit yapıyı bozucu iyonlar ya da çok iletken ortamlar içinde etkin olmazlar. Etkinlikleri pH’a bağlıdır. Genel formül içindeki m ve n

değerleri oranı (m/n) de etkinliği belirleyici faktörlerdendir. Örneğin çelik için 2,4 olması halinde etkinlik en çok olmaktadır.

Teknikte kullanılan çoğu metaller, boş şöidgdkl bulunan geçiş metalleridir. Metal yüzeyindeki atomlar ile inhibitör molekülleri arasında koordine kovalent bağ, bazı durumlarda anyonik yapılar ile iyonik bağlar oluşabilmektedir. Bağın karakteri de inhibitörün etkinliğini belirlemektedir.

Çizelge 1.1. Bazı inhibitörlerin değişik metaller üzerindeki etkinlikleri.

Metal	İnhibitör						Tanin
	Kromat	Nitrit	Benzoat	Borat	Fosfat	Silikat	
Tavlanmış çelik	1	1	1	1	1	2	2
Dökme demir	1	1	5	4	1	2	2
Çinko ve alaşımları	1	5	5	1	-	2	2
Alüminyum ve alaşımları	1	3	3	4	4	2	2
Kurşun-kalay lehim ve bağlantılar	-	6	1	-	-	2	2
Bakır ve alaşımları	1	3	3	1	1	2	2

(1.Etkin 2.Yeterince etkin 3.Kısmen etkin 4.Değişken 5. Etkin değil 6. Aşındırıcı)

Çizelge 1.1’ de 1’den 6’ya kadar işaretlenmiş numaralar, en etkin inhibitörden gittikçe azalan etkinlik dereceleri şeklinde sıralanmıştır.1 numara en iyi inhibitör özelliği gösterirken, 6 numara maddenin aşındırıcı olduğunu göstermektedir.

SDG (Sıcak daldırma galvaniz) çeliklerin birçok kullanışlı özelliğinden dolayı otomobillerde, mimaride, ulaşımda ve ev gereçlerinde yaygın şekilde kullanılmaktadır. Fakat çinkonun çözünme hızı çelik substrat ve çinko tabaka arasındaki büyük potansiyel farktan dolayı yüksektir. Birçok korozyon önleme metodu arasında pasivasyon işlemi çok önemli bir metottur.

Son yıllarda molibdat, tungstat, silikat gibi inorganik tuzlar veya epoksi reçine, akrilat ve silan gibi organik bileşikler gibi alternatifler bulma çalışmaları yapılmıştır. Sodyum silikatın etkin bir korozyon inhibitörü olduğu çok iyi bilinmektedir ve yıllardır korozyon inhibitörü olarak kullanılmaktadır. Son zamanlarda galvanize çelik, alüminyum ve magnezyum alaşımlar üzerinde ince silikat kaplama yaygın şekilde araştırılmıştır.

Uzun yıllardan beri Cr (VI), çinko ve çinko kaplama için etkili ve ucuz korozyon inhibitörü olarak kullanılmaktadır. Fakat çevre bilincinin artmasıyla, toksik özelliği ve kanserojen etkisi sebebiyle uygulamada Cr (VI) 'nın kullanımı istenmemektedir. Yeni alternatif ve daha çevre dostu korozyon inhibitörlerin ve pasifleştiricinin geliştirilmesi gerekmektedir.

Bobin kaplı galvanizli çelik, soğuk haddelenmiş çelik ve alüminyum alaşımları için silan esaslı ön işlemler son yıllarda sektörün ilgisini çekmiştir. Bu ön işlemler, alt tabakaların geçici korozyon korumasını ve organik kaplamaların yapışmasını iyileştirmeyi amaçlamaktadır.

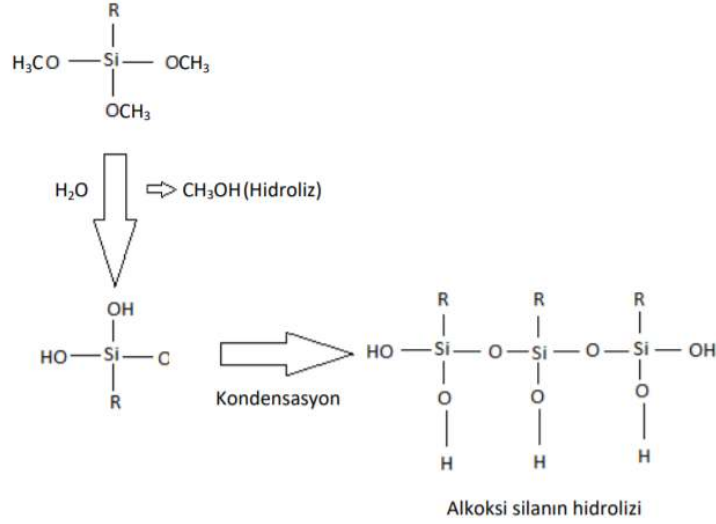
Metalik alt tabakaların korozyona karşı korunması için kullanılan sol-jel veya silan filmler gibi yüzey filmlerinin modifikasyonu, çelik endüstrisi üzerinde potansiyel etkisi olan yeni bir alandır.

1.3.3.1.(1). Korozyon İnhibitörleri Olarak Organosilanların Kullanımı

Alüminyum, demir, bakır, çinko, yumuşak çelik ve diğer metaller gibi endüstride yaygın kullanılan metallerin korozyonunu önlemek için fosfatlama veya fosfatlama– kromatlama gibi ön işlemlerden geçirilmektedirler. Bu ön işlemlerin etkinliği iyi bilinmektedir ve metal çözelti ara yüzeyinde koruyucu bir film

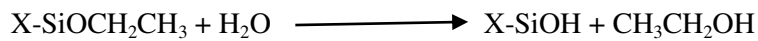
oluşumu ile ilgilidir. Bu ön işlemler metali kaplamada kullanılmaktadır ve bunların kullanımı mükemmel maliyet/etkinlik oranı sayesinde yaygınlaşmıştır. Fakat; hem çalışanlar hem de çevresel tehlikelerinden dolayı yüksek toksikliğe sahip kromonyumun (Cr^{+6}) açığa çıkmasından dolayı, yeni alternatif çalışmalara büyük ilgi vardır. Organosilanların koruyucu özellikleri uzun süredir bilinmesine rağmen, korozyon inhibitörleri olarak kullanımları son zamanlarda yaygınlaşmıştır. Monosilanlar $X_3Si(CH_2)_nY$ genel yapısına sahiptir. Burada Y, vinil($-CH=CH_2$), amin(NH_2) ve merkapt($-SH$) gibi organofonksiyonel grup ve X metoksi($-OCH_3$), etoksi($-OC_2H_5$) gibi hidrolize alkoksi gruptur. Bis-silanlar ve iki uçlu silanlar $X_3Si(CH_2)_nY(CH_2)_nSiX_3$ genel yapısına sahiptir ve bunlar fonksiyonel grupsuz da olabilmektedirler($X_3Si(CH_2)_nSiX_3$). Bu bileşiklerin sayısı fazla olmasına rağmen çoğu suda çözünmezler ve bundan dolayı endüstride kullanımları oldukça sınırlıdır.

Organosilanların hidroliz ve kondensasyonu : Metal yüzeyinde organosilan tabakasının adsorblanması aşağıdaki gibi gerçekleşmektedir. Öncelikle alkoksi silanın hidrolizi sonucu silanol ($SiOH$) grupları oluşmaktadır . Silanol grupları arasında meydana gelen kondenzasyon sonucunda H_2O çıkışı ile çapraz bağlar oluşmakta ve silanol molekülleri metale bağlanmaktadır.



Şekil.1.9. Alkoksi silanın hidroliz ve kondenzasyon süreci

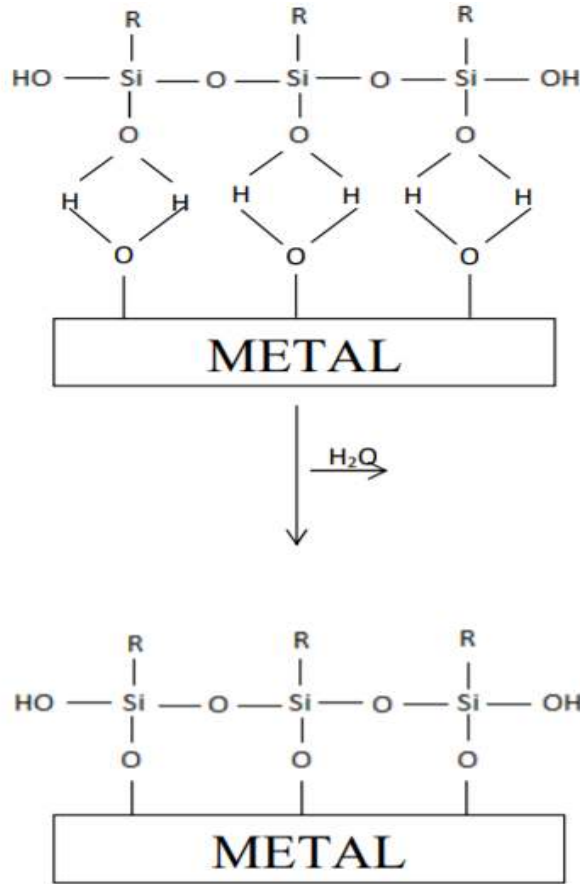
Şekil 1.3.3.1.'den görüldüğü gibi organosilanın metal yüzeyine adsorpsiyonu öncesinde silan bileşiğinin yeteri kadar silanol grupları oluşturması için hidroliz olması gerekmektedir. Silan molekülü oluşturduğu silanol grupları üzerinden metale tutunur ve metali korozyondan korur, dolayısıyla ne kadar çok silanol grubu olursa metal yüzeyi o ölçüde korozyondan korunabilir. Bir organosilanın hidroliz tepkimesi aşağıdaki eşitlikte gösterilmiştir:



Hidroliz sonucu oluşan silanol molekülleri kondensasyon sürecinde su kaybederek dimer, trimer ve uzun türler oluşturmak üzere reaksiyona girebilir. Kondenzasyon sürecini aşağıdaki eşitlikle gösterebiliriz:



Yukarıda verilen denklemden de görüldüğü gibi silanol molekülleri arasında gerçekleşen kondenzasyon tepkimesinden elde edilen gruplar metale bağlanmaktadır ve metalin korozyona karşı direncini artırmaktadır.



Şekil.1.10. Hidroliz olan moleküllerin metale bağlanması.

Silan bileşiklerinin metal yüzeyine nasıl adsorplandığını tanımlanmadan önce bileşiğin hidroliz ve kondensasyon dengesi ve bunların kinetiğini etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekir. Bunlar;

- a) Silanın yapısı ve derişimi
- b) Hidroliz süresi ve kütleme
- c) pH ve sıcaklık

Genel olarak, birden fazla fonksiyonel grup içeren silanlar oldukça düşük çözünürlüğe sahiptir. Bu durum silanın hidroliz ve kondenzasyonunun pratikte önemini azaltmaktadır. Bundan dolayı silan çözeltilerinin hazırlanmasında yüksek miktarda organik çözücü gerekmektedir. Nötral silanlar pH 4.1’de seyreltik asetik asit çözeltisinde hazırlanmaktadır ve çabucak silan triol oluşturmak üzere hidroliz olmakta ve daha sonra oluşan bu silan trioller oligomerik siloksanlara yavaşça kondanse olmaktadır. Düşük molekül ağırlıklı monomer ve oligomerler suda çözünürken, uzun zincirli oligomerler suda çözünemez. Bu yüzden, sulu silan çözeltilerin kararlılığı düşüktür ve birkaç saat içinde kullanılmalıdır. Çünkü, silanlar tamamen polisilanlara kondense olursa, yüzeyi kaplama kapasitelerini tamamen kaybetmektedirler. Bir silanın hidroliz süresi önemli bir faktördür. Örneğin; bis-UPS 1 saat içinde çabucak hidroliz olurken, bis sülfür grubu içeren silanların hidroliz süresi 2 günü bulmaktadır. Bu yüzden hidroliz süresi organosilanın sahip olduğu fonksiyonel gruba ve hidrolizin gerçekleştiği çözücüye bağlıdır. Silanın tamamen hidroliz olması gerekli olmamasına rağmen, metal yüzeyine adsorplanacak yeterli silanol gruplarının oluşması gerekmektedir. Kullanılacak organosilanın seçimi büyük ölçüde ne tür bir film elde edilmek istendiğine bağlıdır. Bis-sülfür silanlar bis-amin silanlar kadar kolaylıkla kondanse olmamaktadır. Çünkü; bis-sülfür silanların hidroliz süresi zaten çok daha fazladır ve bu yüzden yeteri kadar silanol grupları oluşturmamaktadır. Ayrıca bis sülfür silanların oluşturduğu moleküller hidrofobik olduğundan dolayı elde edilen filmler daha az benzerlik göstermektedir. Bunun aksine bis-amin silanlardan oluşan filmler ikincil amin grubun su ile hidrojen bağları yapabilmesinden dolayı daha hidrofilik ve daha hidratizedir. Metal yüzeyine bu bileşiklerin adsorpsiyonunda oluşan filmin yapısı ile ilgili fonksiyonel gruplar belirleyicidir. Yapıda yer alan, karboksil

grupları, disülfid (-S-S-) ve tiol (-S-H) grupları ile kimyasal adsorpsiyon sağlanabilmektedir. Yüzey ön işlemi iyi bir tutunma ve bu tutunmanın dayanıklılığı için çok önemlidir. Silan çözeltisindeki ön işlem sırasında metallerin çözeltide kalma süresinin artmasıyla yüzeyde daha sağlam ve korozyona daha dayanıklı bir film oluşmaktadır. Kondensasyon sırasında ve sonrasında yüzeyde tutunmuş silanol molekülleri kendi içinde çapraz bağlar oluşturarak polimerleşebilmektedir. Metal yüzeyi ön işlemi alkali temizleme uygulanması ile birlikte, etanol benzeri organikler yardımıyla yüzeyde yağsı herhangi bir kalıntı bulunmaması gerekir. Alkali temizlemeden sonra metalin yüzeyi alkolü uçurmak amacıyla kuru havadan geçirilmelidir. Alkali temizlemesi sayesinde metal yüzeyi homojen bir görüntü sağlamakta ve elde edilecek film metale daha sıkı bağlanmaktadır. Bu kaplamalar istenildiği kadar ince, tek tabakalı ve büyük miktarda kaplama ve dayanıklılığa sahip olmasına rağmen, bekleme ile adsorpsiyon gerçekleştirildiğinde tek tabaka oluşumu nadiren gözlemlenir. Silan fiziksel yolla adsorplanabildiğinden dolayı kalınlık arttıkça bu bağlar kopabilir. Dolayısıyla metal yüzeyinde tabaka sayısı arttıkça silanın yüzeye tutunması azalmaktadır. Ayrıca silan molekülü sülfürün varlığında elde edilecek kaplamanın oluşumuna yardımcı olmaktadır. Metal yüzeyinde oluşan organosilan filminin kürlenmesi sonucunda elde edilen kaplamada çapraz bağ yoğunluğu arttırılmaktadır. Bu çapraz bağlar silanol moleküllerinin(SiOH) kondensasyonu ile oluşmaktadır ve kürlenme işlemi sırasında çapraz bağlar arasında H₂O çıkışı sonucunda daha iyi Si-O-Si bağları oluşmaktadır. Bundan dolayı kondense olmuş silan molekülü metale daha çok yerden bağlanmakta ve daha yüksek bir koruma sağlamaktadır. Bu reaksiyon sıcaklıkla hızlandırılmakta ve metal yüzeyinde daha yoğun bir polimer tabakası oluşmaktadır. Yine kürlenme ile yüzeyde oluşan silan filmindeki gözeneklilik azalmakta ve homojen bir yüzey elde edilmektedir. Ayrıca kürlenme ile kaplamanın kalınlığı da azalmaktadır. Kullanılan metal değiştikçe elde edilen kaplamanın kalınlığı ve koruyuculuğu da değişebilmektedir. Örneğin; Al üç değerliklidir ve bu nedenle elde edilecek silan kaplamasında Si-O-Si bağlarının oluşumu daha kolay

olmaktadır. Zn gibi diğer metaller daha iyonik karakterde bağ oluştururken silanol molekülleri ve Al yüzey arasında kolaylıkla kovalent bağ oluşmaktadır ve silan bileşikleri Al için daha koruyucu özellik göstermektedir. Ayrıca Al için çalışma pH aralığı diğer metallerle göre daha yüksektir. Bu nedenlerden dolayı silanın Al için koruyuculuğu daha fazladır. Bazı organosilanlar yapılarındaki sülfür grubu aracılığıyla (özellikle merkaptto grup içerenler) bakır ile reaksiyona girmektedirler. Bundan dolayı tiol grubu içeren birçok silan türevinin Cu için etkin korozyon inhibitörü olduğunu düşünebiliriz. Oktadesil gibi uzun zincirli organosilanlar ve aromatik grup içeren organosilanlar Cu için korozyon inhibitörü olarak tercih edilememektedir. Çünkü; bu maddelerle Cu yüzeyi kaplandığı zaman yüzeyde homojen kaplama oluşmamakta ve oluşan kaplamanın aralarına korozif ürünler geçerek kaplamanın dayanıklılığını azaltmaktadır. Galvanize çelik kullanılması durumunda amin grubu içeren silanlar hidrofilik özelliklerinden dolayı elde edilecek kaplama için iyi bir seçenek değildir. Çünkü; amin grubu içeren silanlar genellikle hidrofilik olduğundan dolayı kaplama içine su ve diğer iyonlar difüz etmektedir. Bu nedenle kaplamanın korozyona karşı direnci azalmaktadır. Korozyon başladığı zaman metal çözelti ara yüzeyinde korozyon ürünlerinin birikmesi ve pH değişiklikleri oluşan silan filminin bozulmasını tetiklemektedir. Ayrıca son zamanlarda toksik Cr^{+6} iyonlarından dolayı kromatlamaya alternatif yöntem olarak silanla yüzeyi kaplama kullanılmaya başlanmıştır (Herrasti, 2009).



2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Dehri, Keleş, Serindağ (2008), Hidroklorik asit çözeltisinin 0,5 M'lık çözeltisinde yumuşak çeliğin korozyonu üzerine 6-amino-m-kresol (ACr) ve yeni sentezlenmiş Schiff bazı 2-(3-hidroksibenzilidenamino)-5-metilfenolün (ACr-S) korozyon inhibitörleri olarak etkileri üzerine çalışmışlardır. Bu çalışmada; elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) , polarizasyon eğrileri ve lineer polarizasyon direnci (LP) teknikleri kullanılmıştır. Elektrokimyasal ölçümlerin sonuçları, ACr-S inhibisyon etkinliğinin ACr'den daha yüksek olduğunu göstermiştir. Hem ACr hem de ACr-S moleküllerinin adsorpsiyonu, Langmuir izotermine uymaktadır ve termodinamik hesaplamalar, ACr-S'nin daha yüksek adsorpsiyon sabitine ve ACr'ye göre daha fazla negatif serbest adsorpsiyon enerjisine sahip olduğunu göstermiştir. Polarizasyon eğrileri, her iki bileşiğin karma tipte inhibitörler olduğunu ve artan bileşik konsantrasyonlarıyla inhibisyon etkinliğinin (% IE) arttığını ortaya koymuştur. CPE ve polarizasyon direnci (Rp), AC impedans çalışmalarından elde edilen Nyquist çizimlerden türetilmiştir. 168 saat boyunca inhibitörlü ve inhibitörsüz ortamda yumuşak çeliğin korozyon davranışı üzerine maruz kalma süresinin etkisi araştırılmıştır. Ayrıca muhtemel inhibisyon mekanizması, ACr ve ACr-S'nin yumuşak çelik yüzeyinde sıfır yük (PZC) potansiyeli oluşturarak tartışılmıştır. PZC değerlerine göre ACr ve ACr-S molekülleri için farklı inhibisyon mekanizması önerilmiştir. ACr-S'nin daha büyük önleyici gücü, ekstra sübstitüe edilmiş bir fenil grubunun daha fazla π -elektronu içermesine bağlı olabileceği sonucuna ulaşılmıştır.

Tüken T. ve ark. (2012), asidik ortamda yumuşak çeliğin korozyonuna karşı 1-metil-3-etilimidazolyum disyamid'in (EMID), inhibitör etkinliğini elektrokimyasal ölçümler yaparak araştırmışlardır. Yüzey analiz sonuçlarına göre inhibitörün metal yüzeyini başarılı bir şekilde kapatarak koruyucu film tabakası oluşturduğunu, anodik akım yoğunluğunun EMID'in artan konsantrasyonları ile düzenli olarak azaldığını, SEM analizleri ve potansiyodinamik çalışmalar sonucu

korozyon potansiyeli çevresinde inhibitörün istikralı bir film tabakası oluşturduğunu göstermişlerdir. Ayrıca EIS sonuçları film kararlılığının anodik aşırı gerilimi uygulamaları ile azaldığını açıkça göstermektedir. Farklı konsantrasyon ve sıcaklıklarda bode diyagramından hesaplanan çift tabaka kapasitanst değerleri kullanılarak yüzey kapama kesri değerini 0.89 olarak hesaplamışlardır. Yüzey kaplama kesri diğer ölçüm sonuçları ile desteklenmektedir.

Deya C.ve ark.(2014), Merkaptopropiltrimetoksisilan ve bir sülfür bağlı silanla ön işlemi yapılmış SDG çeliğin koroyon davranışı araştırmış ve elektrokimyasal polarizasyon, elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS) ve elektrokimyasal gürültü testleri ile silan kaplamanın, Cr(VI) ile pasivasyon işlemi yapılmış SDG'ye benzer bir korozyon önleme performansına sahip olduğunu göstermişlerdir. Bu aynı zamanda, izole bariyer oluşumuyla çinko yüzeyini koruduğunun delilidir. Voltametrik çalışmalarla, koruyucu kaplamanın elektrokimyasal porözitesini belirlemek mümkün olmuştur. Bakır sülfat testleri ve elektrokimyasal porözite sonuçlarına göre filmlerin koruma özellikleri değerlendirmiş silan işlemlerinin Standard krom pasivasyonuna benzer ve hatta daha iyi koruma performansı gösterdiği bildirmişlerdir.

B. Ramezanzadeh ve ark.,(2015), Yumuşak çelik numuneleri tetraetilortosilikat (TEOS) ve 3-aminopropiltrioksilanın (APS) 100/0, 70/30, 50/50, 30/70 ve 0/100 oranlarında hazırlanan çözeltilerine daldırarak silan filmi ile kaplanmasını sağlamışlardır. Silan kaplamaların morfolojisi ve bileşimi, alan emisyon taramalı elektron mikroskobu (FE-SEM), enerji dağılımlı spektroskopi (EDS) ve temas açısı analizi ile araştırmışlardır. Yumuşak çelik ve silan kaplı numuneler üzerinde elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile açık devre potansiyeli (OCP) ve elektrokimyasal sonuçlarına göre, 70/30 TEOS/APS karışımının çelik yüzeyinde daha ardışık ve kompakt bir film oluşturduğunu gözlemişlerdir. TEOS/APS karışımının tekli olanlardan korozyon koruma APS'den oluşan film, temas açısını TEOS'a göre daha fazla azalttı. Çeşitli silan karışımları ile muamele edilen çelik numunelerin yüzeyine epoksi kaplama yüzey işleminin

epoksi kaplamanın yapışma ve korozyon koruma özellikleri üzerindeki etkilerini araştırmak için bu numuneler üzerinde çekme ve tuz püskürtme testleri uygulamışlardır. Silan karışımının, epoksi kaplamanın yapışma ve korozyona karşı koruma özelliklerini önemli ölçüde arttırdığı sonucuna ulaşmışlardır.

Dehri ve ark. (2018), Etilen glikol-su karışımı içindeki yumuşak çeliğin korozyonu üzerine poliakrilik asidin inhibitör etkisi, karışımın pH değerine ve inhibitör konsantrasyonuna bağlı olarak araştırmışlardır. Elektrokimyasal impedans spektroskopisi (EIS), akım-potansiyel eğrileri ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) teknikleri kullanılarak, pH değerinin ve inhibitör konsantrasyonunun artmasıyla korozyon hızının azaldığı sonucuna ulaşmışlardır. Poliakrilik asit konsantrasyonu arttıkça, yumuşak çelik yüzeyi üzerinde daha fazla inhibitör adsorpsiyonuna bağlı olarak inhibisyon etkinliği artmış ve yüzeyde oluşan koruyucu film SEM görüntüsü ile doğrulanmıştır. En yüksek inhibisyon etkinliğini pH 9,5'ta 4800 ppm inhibitör içeren ortamda % 90,7 olarak elde etmişlerdir.

E.Alibakhshi ve arkadaşları (2018) ,yaptıkları çalışmada yumuşak çelik substrat üzerinde tetraetilortosilikat (TEOS) ve trimetoksimetilsilan (TMOMS) bazlı çevre dostu bir hibrit silan kaplamanın korozyon koruma performansı üzerindeki silan hidroliz süresi ve konsantrasyonunun etkisini incelemişlerdir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve tuz püskürtme işlemi ile korozyon değerlendirmelerinde bulunmuşlardır. Fourier dönüşümü kızılötesi (FT-IR), termogravimetrik analiz (TGA) ve sıvı temas açısı ölçümleri sonucu elde edilen verileri kullanarak hidroliz süresinin ve silan konsantrasyonunun kaplamanın kürlenme süreci üzerindeki etkisini ortaya çıkarmışlardır. Çalışma 24 saat boyunca hidrolize edilen %50 silan (TEOS/TMOMS: 50/50w/w) karışımının en yüksek korozyon direnciyle sonuçlandığını ortaya koymuştur. Hibrit kaplamanın koruyucu performansındaki artışı, daha iyi yoğunlaşma reaksiyonu, daha yoğun Si-O-Si bağ oluşumu ve kaplamanın daha az hidrofilikliğine bağlanmıştır. EIS'den elde edilen sonuçlar, silan kaplamaların yumuşak çelik üzerine uygulanmasının korozyon koruma performansını önemli ölçüde arttırdığını ortaya

koymuştur. %50 silan (TEOS/TMOMS: 50/50w/w) ile 24 saat hidroliz süresi karışımı daha düşük derecede hidrofiliklik sergilemiş bu numune, yumuşak çelik ile daha iyi kimyasal etkileşimleri nedeniyle, büyük olasılıkla, SEM tarafından onaylandığı gibi yüzey üzerinde kararlı bir film oluşumuna yol açan mükemmel korozyon önleyici özellikler ortaya çıkarmıştır. Mevcut çalışmanın sonuçları, silan konsantrasyonunu ve hidroliz süresini kontrol ederek silan kaplamalardan etkili korozyon önleyici performans hazırlamanın mümkün olduğunu göstermektedir.

Orouji ve ark. (2020), Bu çalışmalarında , çelik numuneleri farklı konsantrasyonlarda KMnO_4 (potasyum permanganat) varlığında H_2SO_4 çözeltisi ile yüzey işlemine tabi tutmuşlardır. Bu yüzey aktive edici maddenin bir organosilan filmin antikoroziyon işlevi üzerindeki etkisi, çeşitli elektrokimyasal ve yüzey analiz yöntemleri ile değerlendirmişlerdir. Potasyum permanganatın optimal konsantrasyonda (100 ppm) kullanılması, metal yüzeyindeki hidroksil grupları (MeOH) ve silanol arasındaki yoğunlaşma reaksiyonunda önemli bir rol oynayan yüzey pürüzlülüğünde ihmal edilebilir bir değişiklik ile kompakt bir hidroksit/oksit tabakasının oluşmasını sağladığını gözlemlemişlerdir. 100 ppm potasyum permanganat (optimum konsantrasyon) varlığında işlenen numuneye uygulanan hibrit film için en yüksek kaplama direnci (yaklaşık $270 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}^2$) gözlenmiş ve kaplamanın uygulandığı saf asit çözeltisine kıyasla önemli bir gelişme gösterdiği bildirilmiştir. Hibrid Film kaplama direnç yaklaşık $100 \text{ k}\Omega\cdot\text{cm}$ olarak düzgün asit çözeltisine kıyasla belirgin bir gelişme göstermiştir. Optimum konsantrasyonun üzerinde, yüzeyde gözenekli bir oksit/hidroksit tabakasının oluşumu, silan film için zayıf bir sınır tabakası görevi gördüğünü ve korozyon koruyucu performansını azalttığını belirtmişlerdir. Sonuç olarak yumuşak çelik yüzeyinin potasyum permanganat tarafından kontrollü oksidasyonu, silan kaplamaların koruyucu işlevi üzerinde büyük bir etki gösterdiğini bulmuşlardır.

Van Ooij ve ark., (2020), silan filmlerin silika parçacıkları ile yüklenerek kalınlaştırılabileceğini ve güçlendirilebileceğini gösterdiler. Bu çalışma ile SiO_2 parçacıklarının kararlı silikatlar üreten bir reaksiyona girerek korozyon direncini

iyileştirdiği sonucuna ulaşmışlardır. Sonuçlar ayrıca, silan filmlerinin, silika ile yoğun bir şekilde yüklendiğinde, elektrolit alımını ve erken film tabakalaşmasını teşvik eden gözenekli bir yapı geliştirdiğini bildirmektedir. SiO_2 nanopartiküllerinin alüminyum substratlar üzerinde elektrodpoze edilmiş silan filmlere eklenmesi, gelişmiş korozyon direncini arttırdığını ortaya çıkarmışlardır.

Tavangar ve ark. (2021), yaptıkları çalışmada, asit ön-muamele çözeltisine ilave edilen çinko katyonlarının yumuşak çelik üzerinde silan kaplama korozyon koruması üzerindeki etkisini incelemeyi ele almışlardır. Ön işleme tabi tutulmuş metal plakaları üzerinde silan kaplamanın elektrokimyasal özellikleri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve polarizasyon ölçümleri ile değerlendirmişlerdir. Polarizasyon direncinin, elektrokimyasal empedans spektroskopisi verileriyle uyumlu olan 3 g•L-1 çinko katyonlarının varlığında yaklaşık iki kat arttığını gözlemlemişlerdir. Enerji dağıtıcı X-ışını spektroskopisinin (EDS), çinko katyonla ön işleme tabi tutulmuş substrat üzerinde ağırlıkça %3,13 Zn tespit ettiğini gözlemlemişlerdir. Alan emisyon taramalı elektron mikroskobu, çinko katyonlarının varlığında ön işleme tabi tutulmuş numunelerin yüzey morfolojik değişikliklerini ortaya çıkardı. Temas açısı, atomik kuvvet mikroskobu, otlatma insidansı X-ışını kırınımı ve ön işleme tabi tutulmuş numunelerin yüzeyindeki EDS testleriyle çinko katyonlarının çelik yüzeyindeki oksidasyon ve korozyon saldırılarını azalttığını kanıtlamışlardır.

Nie ve ark., (2021), metal yüzey üzerinde kendi kendini temizleyen, antikorozyon ve antimikrobiyal özelliklere sahip çok işlevli silan bazlı kompozit yüzey kaplaması üretmişlerdir. 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 tasarlanmışlardır. Silan molekülleri, yalnızca yüzey süperhidrofobikliğine katkıda bulunmakla kalmayıp aynı zamanda korozyon direncinde de baskın roller oynayan düşük yüzey enerjili bir film oluşturmak üzere çapraz bağlanır. SiO_2 nanoparçacıkları ve Mxene (Ti_3C_2) nanotabakaları, filmin kompaktlığını, mekanik

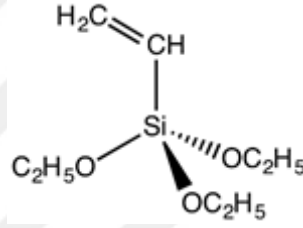
3. MATERYAL VE METOT

3.1. Materyal

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin %5 lik alkol ve sulu çözeltisinin hazırlanarak yumuşak çelik üzerinde silan filmi oluşturulması ve bu filmin korozyonu önleme etkisinin araştırılması çalışmasında kullanılan materyaller:

3.1.1. Kullanılan kimyasal maddeler

İnhibitör Etkinliği Araştırılan Madde ve Yapısı: Vinil tri etoksi silan analitik saflıkta olup Sigma Aldrich firmasından temin edilmiştir.



Suni Yağmur suyu: Suni yağmur suyunda kullanılan kimyasallar ve miktarları aşağıdaki tabloda verilmiştir

Kimyasal Madde	Derişim(ppm)
Sülfirik asit	31.85
Amonyum Sülfat	46.20
Sodyum Sülfat	31.95
Nitrik Asit	15.75
Sodyum Nitrat	21.25
Sodyum Klorür	84.85

Etil Alkol : Analitik saflıkta olup, araştırma ortamının hazırlanmasında kullanılmıştır.

Destile Su: Çözeltilerin hazırlanmasında kullanılmıştır.

3.1.2. Kullanılan Elektrotlar

Çalışma Elektrodu: Yumuşak çelik ($0,5 \text{ cm}^2$)

Referans Elektrot: Potansiyelin kontrolü amacı ile bir gümüş-gümüş klorür elektrodu (Ag/AgCl) referans elektrot olarak kullanılmıştır.

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

3.1.3. Kullanılan Cihazlar

Elektrokimyasal Analizör: CHI 660 model elektrokimyasal analizör, bütün elektrokimyasal ölçümlerde kullanılmıştır.

Metal Parlatici: Çalışma elektrodunun yüzeyinden safsızlıkları uzaklaştırmak ve yüzeyi parlatmak için kullanılmıştır.

Magnetik Karıştırıcı: Çözeltilerin karıştırılmasında ve çalışma sıcaklığının ayarlanmasında kullanılmıştır.

pH Metre: Hazırlanan çözeltilerin pH değerinin kontrolünde kullanılmıştır.

3.1.4. Kullanılan Diğer Malzemeler

Zımpara Kağıdı: 100, 600 ve 1200 gritlik zımpara kağıtları yumuşak çeliklelektrodun yüzeyinin temizlenmesinde kullanılmıştır.

3.2. Metot

3.2.1. İnhibitörlerle İlgili Deneyler

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin %5 lik alkol ve sulu çözeltisinin hazırlanarak yumuşak çelik üzerinde silan filmi oluşturulması ve bu filmin korozyonu önleme etkisinin araştırılması çalışmalarında ön hazırlıklar ve ölçüm teknikleri aşağıda belirtilmiştir.

3.2.1.1. Çalışma Elektrotunun Hazırlanması

Yüzey alanı $0,5 \text{ cm}^2$ olan silindirik yumuşak çelik çubuğunun, bakır tel ile metalik bağlantısı yapılarak sadece yüzeyi açıkta kalacak şekilde dışı polyeester ile kaplanmıştır. Elektrodun açıkta kalan yüzeyi, her ölçümden önce mekanik parlatıcıda uygun zımpara kağıtları kullanılarak parlatılmış ve çözelti ortamına temasından önce destile su ile temizlenmiştir.

3.2.1.2. Elektrolit Ortamının Hazırlanması

Ölçümler ilk olarak oda sıcaklığında pH değeri 3,5 olan suni yağmur suyunda silan filmi oluşturulmadan yapılmıştır. Daha sonra silan bileşiğinin alkolde ve suda ayrı ayrı hazırlanan %5 lik çözeltiğinde yumuşak çelik çubuk sırasıyla 10, 20, 30 ve 60 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra üç elektrot tekniği kullanılarak yapılmıştır.

3.2.1.3. Elektrokimyasal Ölçümler

Elektrokimyasal ölçümlerin tamamı atmosfere açık ortamda üç elektrot tekniği kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Çalışma elektrodu olarak kullanılan yumuşak çelik ölçüm öncesi sırasıyla 100, 600 ve 1200 gritlik zımparalar ile parlatılmış, saf su ile yıkanıp kurutulduktan sonra elektrolit ortamına daldırılmış potansiyelin dengeye gelmesi için 30 dakika bekledikten sonra elektrokimyasal ölçümler yapılmıştır. Karşı elektrot olarak bir platin levha (2 cm^2 yüzey alanına sahip) ve referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot kullanılmıştır. Yumuşak çelik

elektrot vinil tri etoksi silan bileşiğinin su ve alkolde ayrı ayrı hazırlanan % 5'lik çözeltilerinde oda sıcaklığında sırasıyla 10, 20, 30 ve 60 dk bekletilmiş ardından suni yağmur suyu içerisine daldırılarak elektrokimyasal ölçümler ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her bir madde için elde edilen deney sonuçları incelenmiş, elektrokimyasal analizör cihazından elde edilen deneysel veriler yardımıyla ZView yazılımı kullanılarak sistemin eşdeğer devresi oluşturulmuştur.

Elektrokimyasal İmpedans Spektroskopisi (EIS): Alternatif akım impedansı tekniğinde deneyler korozyon potansiyelinde, 5 mV genlik kullanılarak, $10^5 - 10^{-3}$ Hz frekans aralığında yapılmıştır. Elde edilen veriler Nyquist ve Bode diyagramları şeklinde gösterilmiştir.

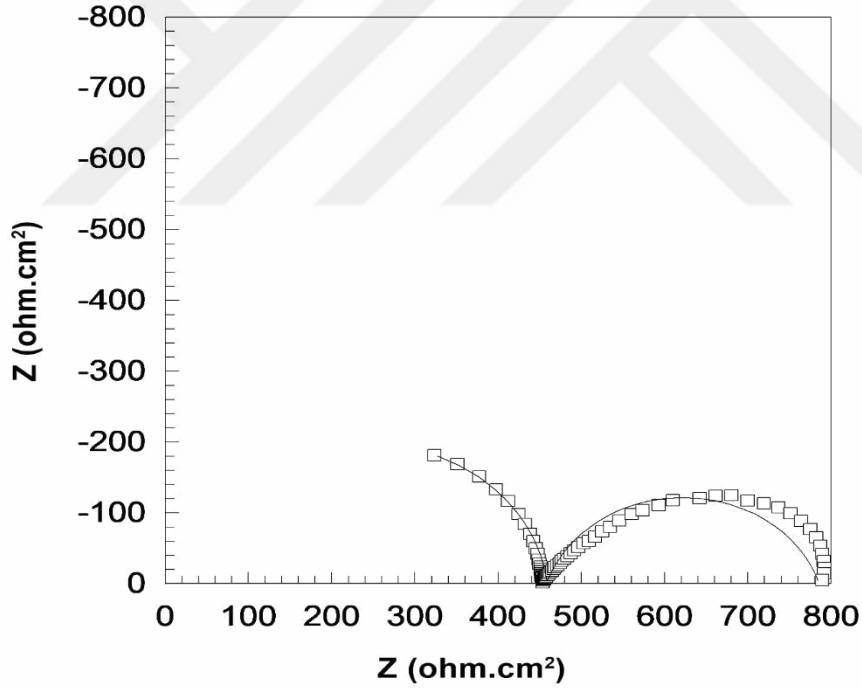
Akım-Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi: Çalışılan ortamlarda korozyon potansiyelleri belirlendikten sonra, 0,001 V/s tarama hızı ile korozyon potansiyelinden 0.2 V 'a kadar polarize edilerek anodik akım-potansiyel eğrileri elde edilmiş ve kendi aralarında kıyaslanmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

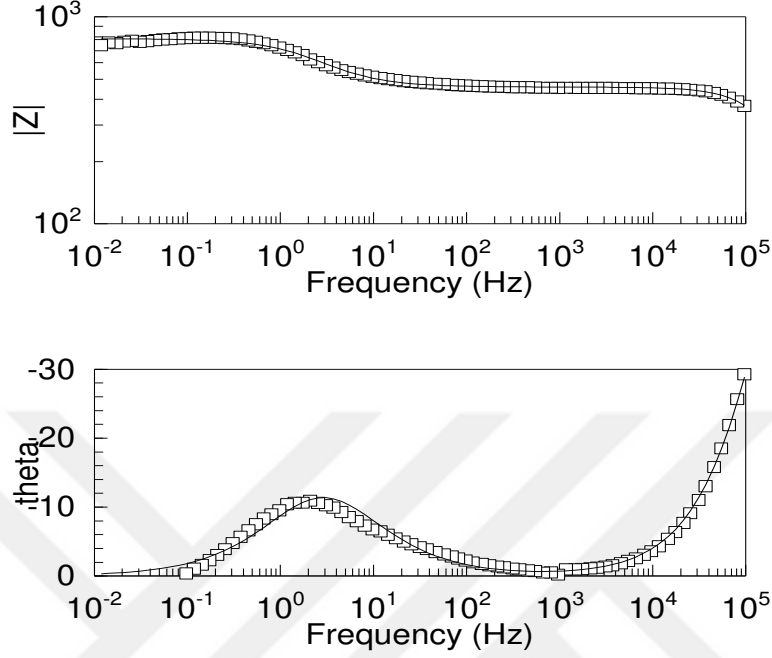
4.1. Alternatif Akım İmpedans Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular

Alternatif akım impedansı yöntemi korozyon oluşum hızına karar vermek için bağımsız ve tamamlayıcı bir araç olarak kullanılmaktadır. Metal yüzeyine uygulanan küçük genlikli alternatif akım yüzey yapısını fazla değiştirmedikten metalin direnci ve yüzey yapısı ile ilgili daha doğru sonuçlar elde edildiği düşünülmektedir.

Suni yağmur suyunda yumuşak çelik elektrotun Nyquist diyagramı ve bu diyagrama ait Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.1 ve 4.2 de verilmiştir.



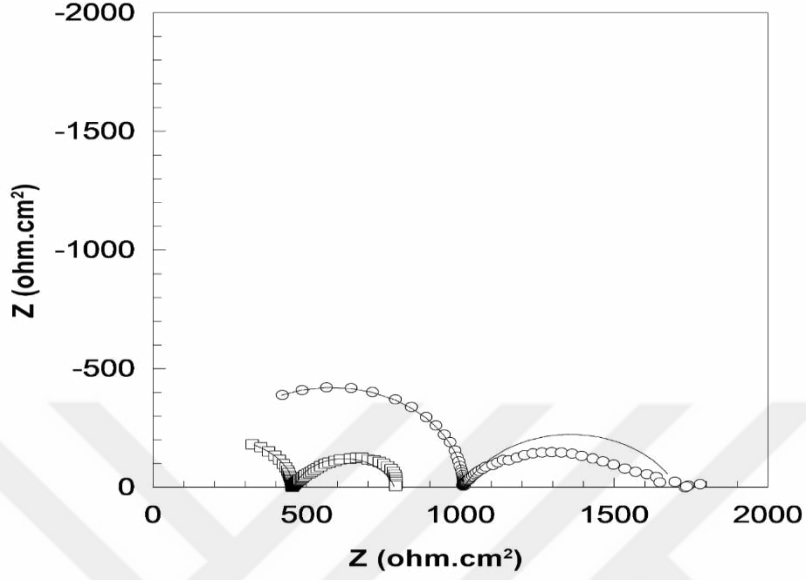
Şekil 4.1. Yumuşak çelik elektrodun suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



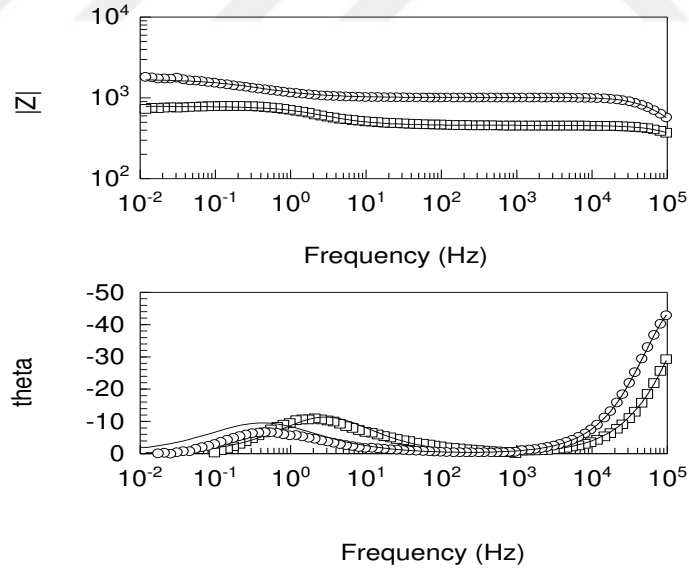
Şekil 4.2. Yumuşak çelik elektrodun suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.1'den görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan elde edilen Nyquist diyagramında iki adet lup varmış gibi gözükse de yarım lup şeklindeki ilk lupun aslında bir lup olmadığı yani bunun için bir elektronik eşdeğer devre kurulamadığı yapılan bir çok çalışmada izah edilmiştir. Bu kısmın çözelti direnci ile birlikte yüzeyde oluşan geçirgen korozyon ürününden kaynaklanan bir impedans olduğu geçmiş çalışmalarımızda belirtilmiştir. Bu nedenle bu ortamda elektrodun toplam impedans değeri hesaplanırken dikkate alınması gereken bir değerdir. Bu şekilde hesaplanan impedans değeri 761,2 Ω dur.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.3 ve 4.4' de verilmiştir.



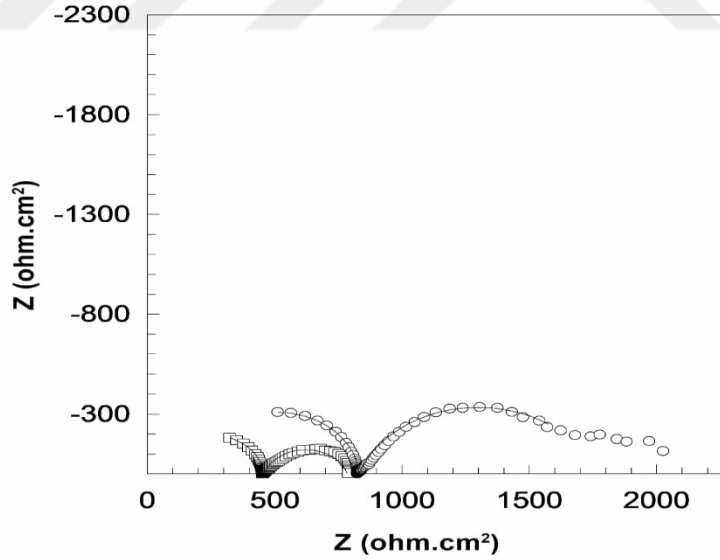
Şekil 4.3. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



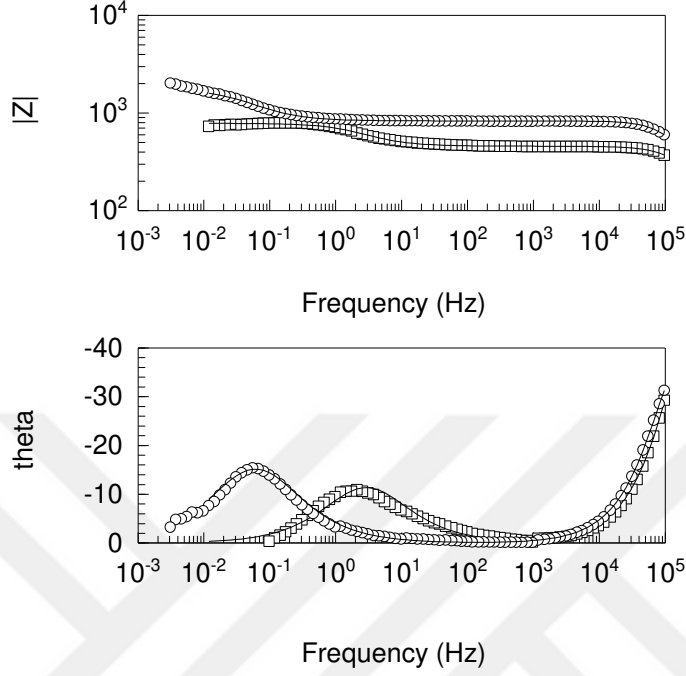
Şekil 4.4. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan(□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.3'den görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında impedans değeri $761,2 \, \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 10 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra impedans değeri $1552 \, \Omega$ 'a yükselmiştir. Bu diyagramdan da daha iyi anlaşılacağı üzere şekil 4.1 eki diyagramda çözelti direnci ile birlikte yüzeyde oluşan korozyon ürününe ait impedans değeri $450 \, \Omega$ iken yüzeye silan filmi oluşturulduğunda bu sefer ilk lup film ve korozyon ürününe ait impedansı temsil ettiğinden bu değer $1000 \, \Omega$ a yükselmiştir. Bu durumda yüzeyde oluşan silan filminin korozyona karşı $550 \, \Omega$ luk bir koruma direnci oluşturduğu söylenebilir. Kaplamanın koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 50,97 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında impedans değerinin ve kaplamanın koruyucu etkinliğinin arttığı görülmüştür.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.5 ve 4.6 da verilmiştir



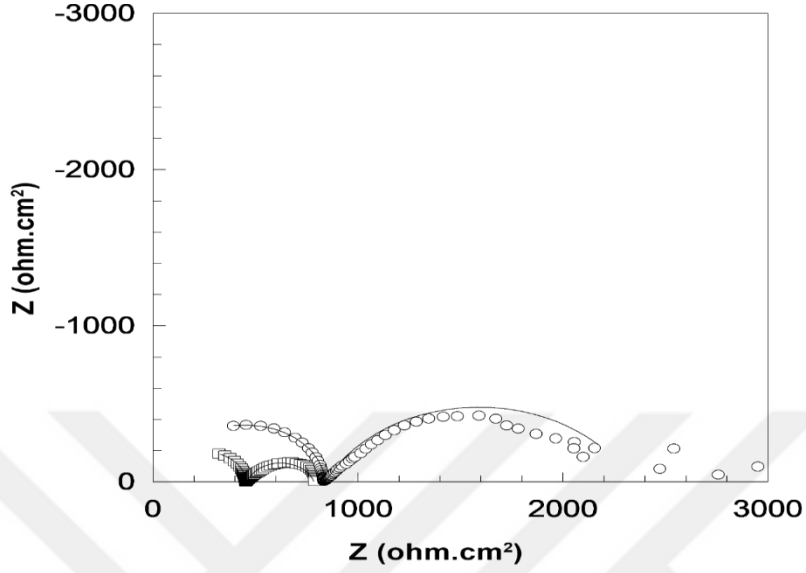
Şekil 4.5. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



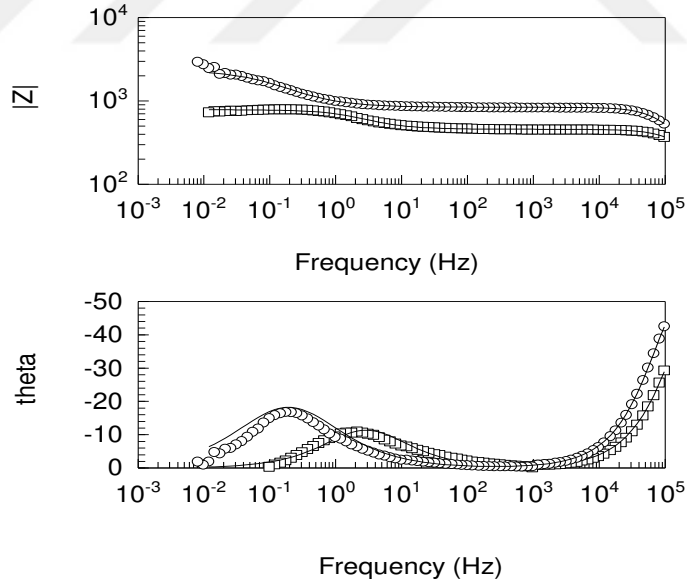
Şekil 4.6. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.5'te görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında impedans değeri $761,2 \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 20 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra impedans değeri 1595Ω 'a yükselmiştir. Kaplamanın koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 53,27 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında polarizasyon direnci ve koruyucu etkinliğinin arttığı görülmüştür.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.7 ve 4.8 de verilmiştir.



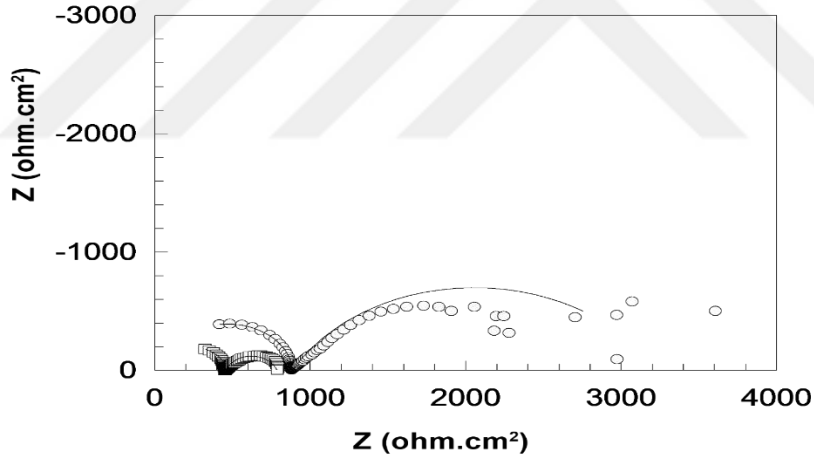
Şekil 4.7. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



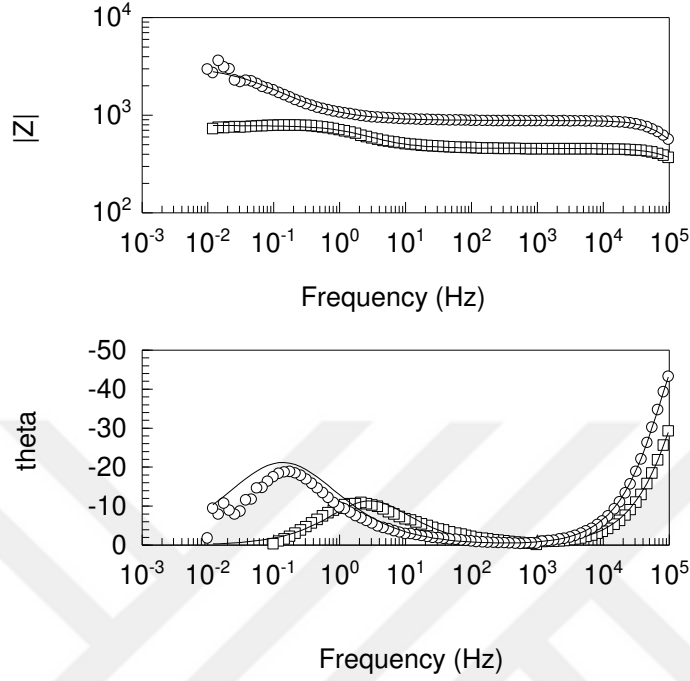
Şekil 4.8. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan(□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında impedans değeri $761,2 \, \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 30 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonraki direnç değeri $2270 \, \Omega$ ’a yükselmiştir. Bu diyagramda silan filmi direncinde bir miktar azalma olduğu ancak bekletme süresinin uzun olmasından kaynaklı olarak metalin çözünme direncinin arttığı görülmektedir. Kaplamanın koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 66,46 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik, kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında impedans değeri ve kaplamanın koruyucu etkinliğinin arttığı görülmüştür.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.9 ve 4.10 da verilmiştir.



Şekil 4.9. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



Şekil 4.10. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan($\square$) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.9’da görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında polarizasyon direnci $761,2 \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 60 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra direnç değeri 3169Ω ’a yükselmiştir. Burda da silan filmi direncinin aynı kaldığı fakat metalin çözünme direncinin arttığı görülmektedir. Kaplamanın koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 75,97 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında impedans değeri ve kaplamanın koruyucu etkinliğinin arttığı görülmüştür.

Nyquist diyagramlarından belirlenen impedans parametreleri ve yüzde koruma etkinliği (%KE) değerleri Çizelge 4.1’de verilmiştir.

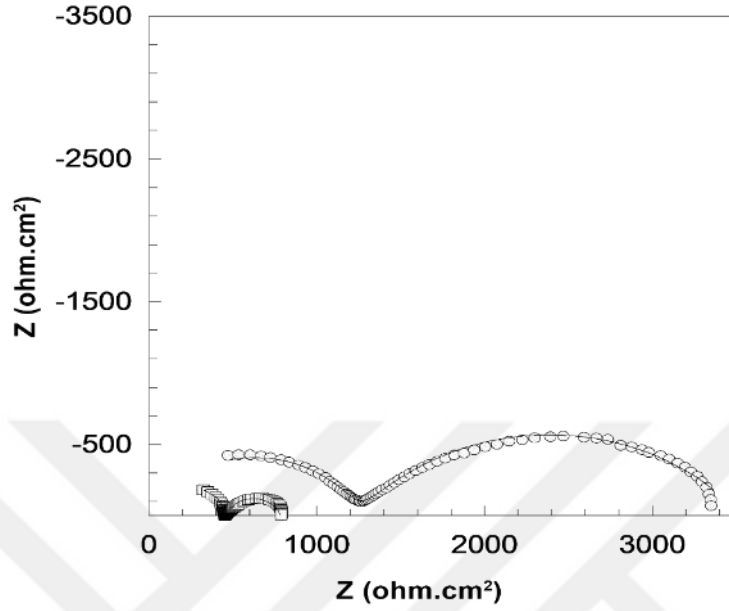
Çizelge 4.1. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde farklı sürelerde bekletilerek silan filmi ile kaplanan ve kaplanmayan yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda EIS ölçümlerinden elde edilen elektrokimyasal parametreleri

Ortam	R1 (Ω)	CPE1 ($s^n\Omega^1$)	R2 (Ω)	CPE2 ($s^n\Omega^1$)	Rp (Ω)	% KE
İnhibitörsüz	433,8	$5,26 \times 10^{-9}$	327,4	$1,68 \times 10^{-6}$	761,2	-
10dk bekleme	858	$7,46 \times 10^{-10}$	694,4	$4,59 \times 10^{-5}$	1552,4	50,97
20dk bekleme	653,8	$3,69 \times 10^{-9}$	936,2	$3,46 \times 10^{-5}$	1595	53,27
30dk bekleme	772,9	$4,07 \times 10^{-9}$	1497	$2,30 \times 10^{-5}$	2270	66,46
60dk bekleme	826,9	$1,30 \times 10^{-9}$	2342	$2,68 \times 10^{-5}$	3169	75,97

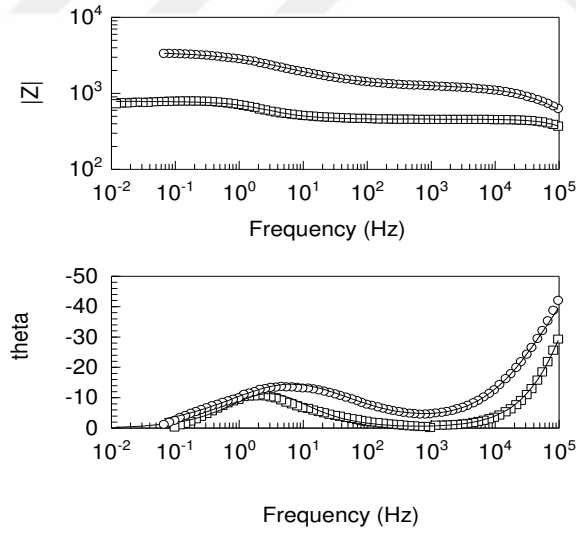
Çizelge 4.1'e bakıldığında polarizasyon direnci 10 dk bekletildiğinde 1552,4 iken 60 dk bekletildiğinde bu değer 3169 olarak ölçülmüştür. Alkolde hazırlanan silan çözeltisine yumuşak çeliğin bekleme süresi arttıkça polarizasyon direncinin (R_p) de arttığı görülmektedir.

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin daha önce de belirtildiği gibi hem alkol hem de suda ayrı ayrı çözeltileri hazırlandı. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinin zamanla fiziksel durumunda hiçbir değişiklik olmamıştır. Suda hazırlanan silan çözeltisinin zamanla daha viskoz bir hal aldığı gözlenmiştir. Farklı haftalarda (1,2 ve 3) bekleyen silan çözeltisine daldırılan ve üzeri silan filmi ile kaplanan yumuşak çeliğin korozyon direncinin çözeltinin bekleme süresiyle birlikte arttığı gözlenmiştir.

Suda hazırlanan silan çözeltisi bir hafta bekletildikten sonra bu çözeltiye daldırılan ve 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.11 ve 4.12 de verilmiştir.



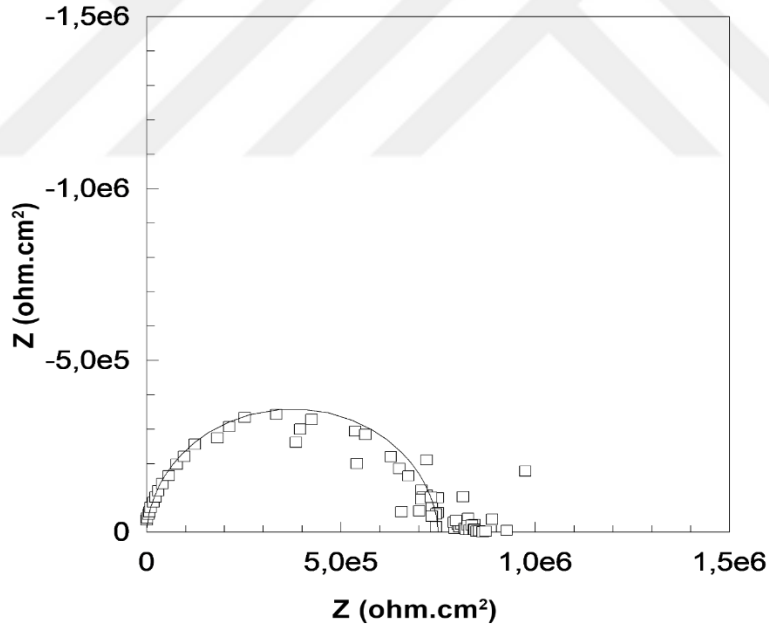
Şekil 4.11. Bir hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan (□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



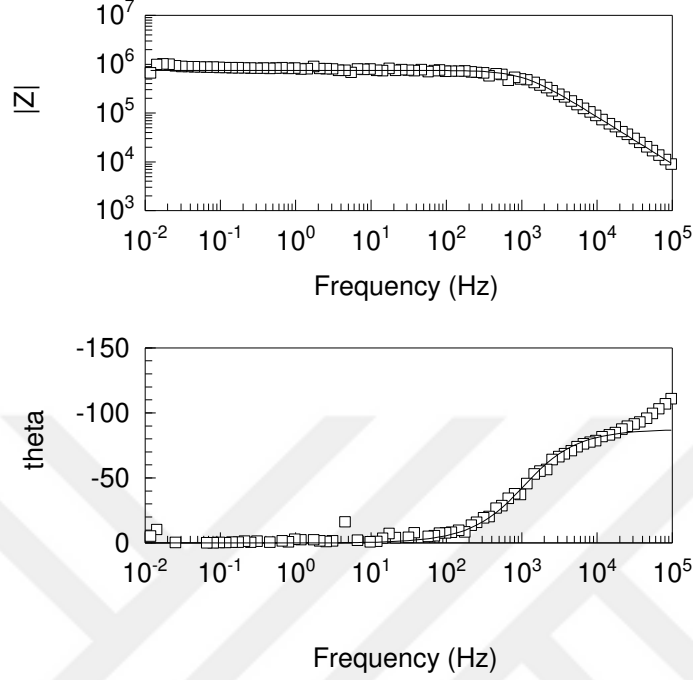
Şekil 4.12. Bir hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen(o) ve silan filmi oluşturulmadan(□) yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.11’de görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında polarizasyon direnci $761,2 \, \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 60 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra direnç değeri $3531 \, \Omega$ ’a yükselmiştir. Bu diyagrandan görüldüğü gibi bu ortamda oluşan silan filminin dirnci artmıştır. Filmin koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 78,44 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında polarizasyon direnci ve kaplamanın koruyucu etkinliğinin arttığı görülmüştür.

Suda hazırlanan silan çözeltisi iki hafta bekletildikten sonra bu çözeltiye daldırılan ve 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrisi sırasıyla Şekil 4.13 ve 4.14 de verilmiştir. Silan çözeltisinin iki hafta sonunda jelleştiği yani daha kıvamlı hale geldiği görülmüştür.



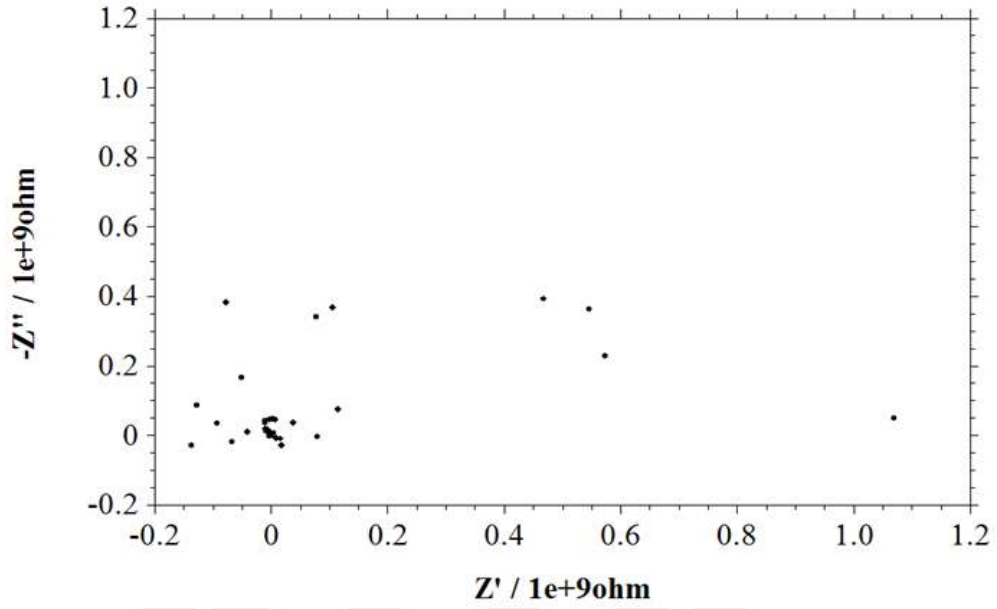
Şekil 4.13. İki hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



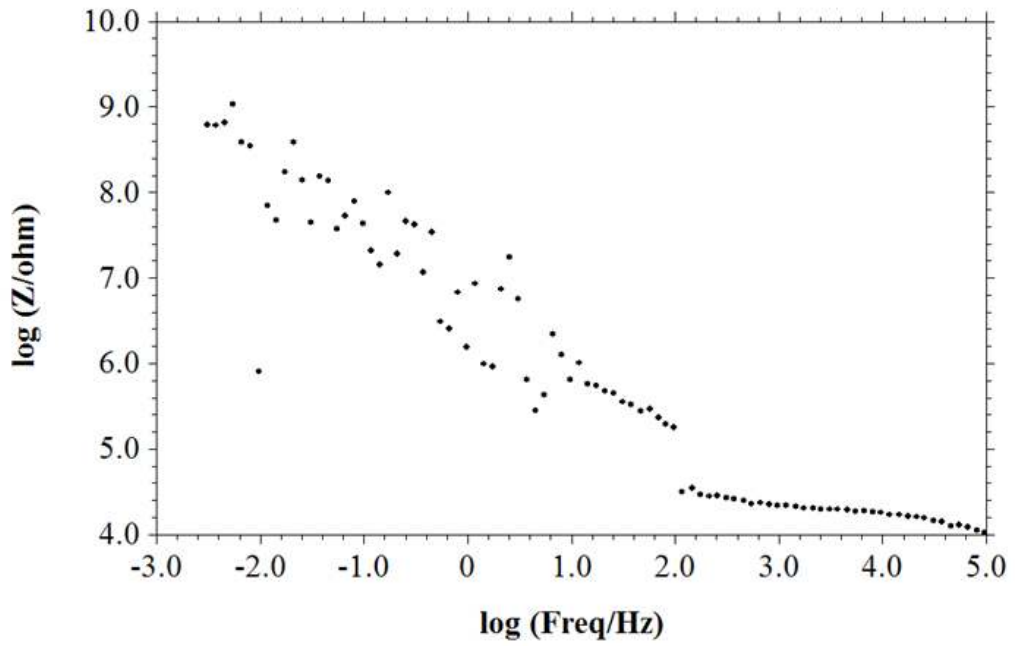
Şekil 4.14. İki hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Şekil 4.13'te görüldüğü gibi silan filmi oluşturulmadan suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramında polarizasyon direnci $761,2 \, \Omega$ olarak ölçülmüş, yumuşak çeliğin silan çözeltisinde 60 dk bekletilerek silan filmi oluşturulduktan sonra direnç değeri $7,5 \times 10^5 \, \Omega$ 'a yükselmiştir. Bu ortamda artık çok koruyucu bir silan filmi oluşmuştur. Elde edilen lup silan filmine aittir. Çok yüksek bir dirence sahip olan bu lup, oluşan filmin metal korozyonunu önlediğini göstermektedir. Filmin koruyucu etkinliği çalışılan ortamda % 99,89 olarak bulunmuştur. Silan filmi ile kaplanan yumuşak çelik kaplanmamış yüzeyle kıyaslandığında polarizasyon direnci ve kaplamanın koruma etkinliğinin oldukça arttığı görülmüştür.

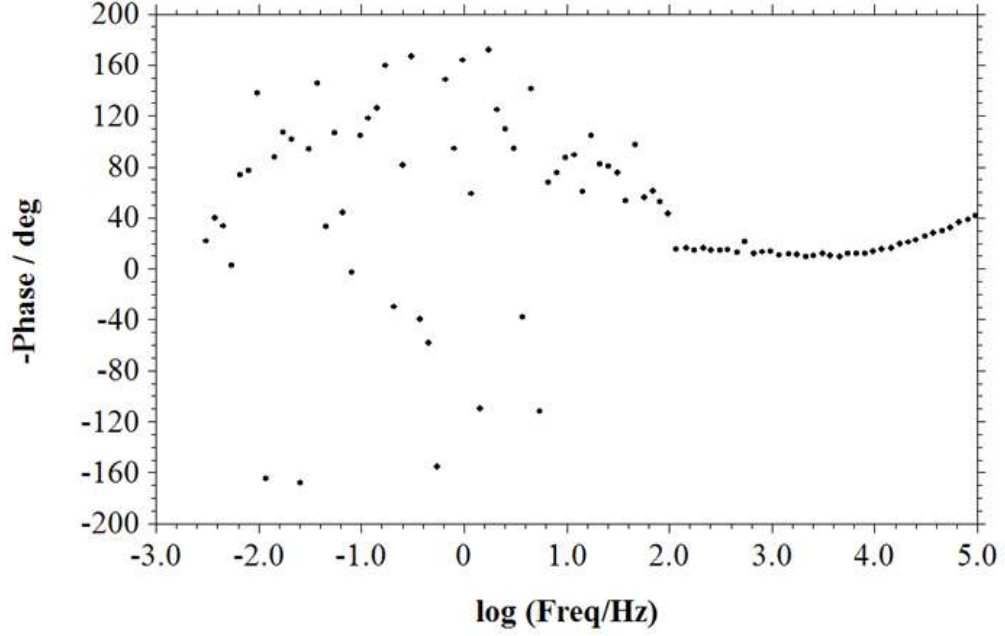
Suda hazırlanan silan çözeltisi üç hafta bekletildikten sonra bu çözeltiye daldırılan ve 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrileri sırasıyla Şekil 4.15 , 4.16 ve 4.17 de verilmiştir.



Şekil 4.15. Üç hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



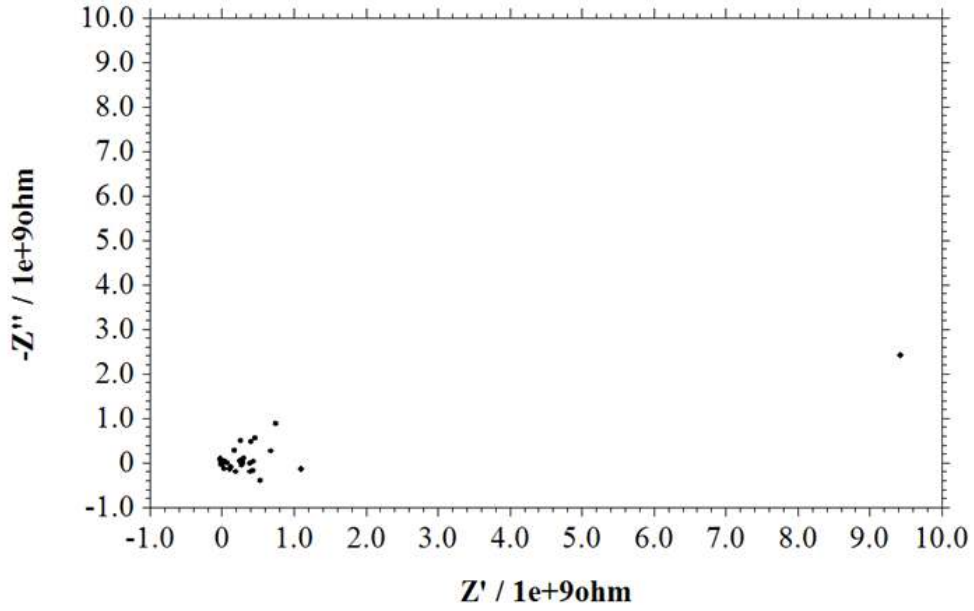
Şekil 4.16. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi



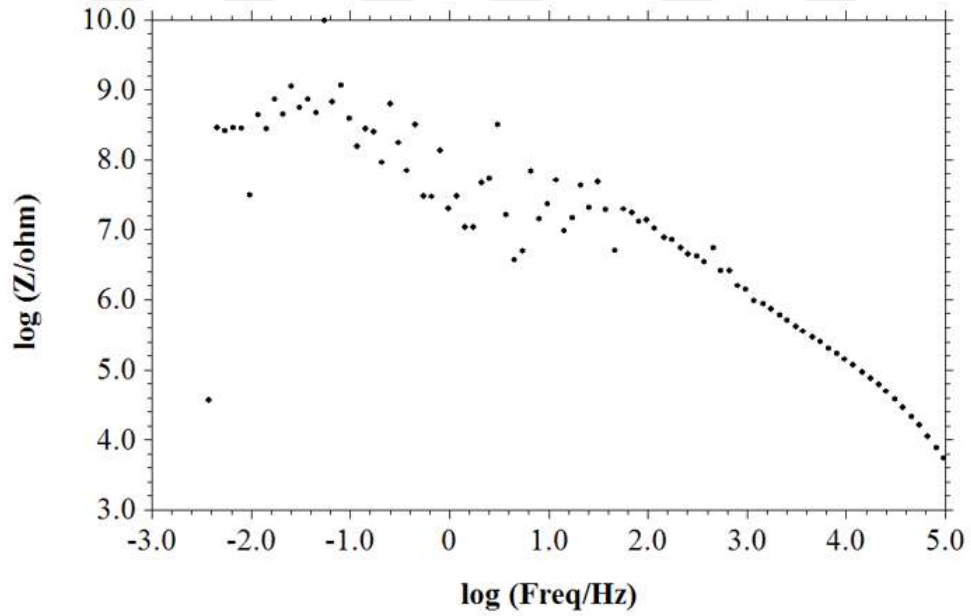
Şekil 4.17. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Üç hafta beklemiş silan çözeltisi jel yapısını aldığından elektrodun bu çözelti içinde 60 dk. değil 10 dk.bekletilmesi sonunda bile yeteri kadar kalın film oluşmuştur. Bu nedenle elektrot çözeltide 10 dk. bekletilmiştir. Yumuşak çelik, üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilerek silan filmi ile kaplanmış, kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklı yumuşak çelikten akım geçmemesi nedeniyle impedans ölçümünde Şekil 4.15 te gösterildiği gibi saçılmalar gözlenmiştir. Bu saçılmalar yüzeydeki silan filminin metal yüzeyine korozif ajanları geçirmediğinin ve korozyonun olmadığına göstergesidir.

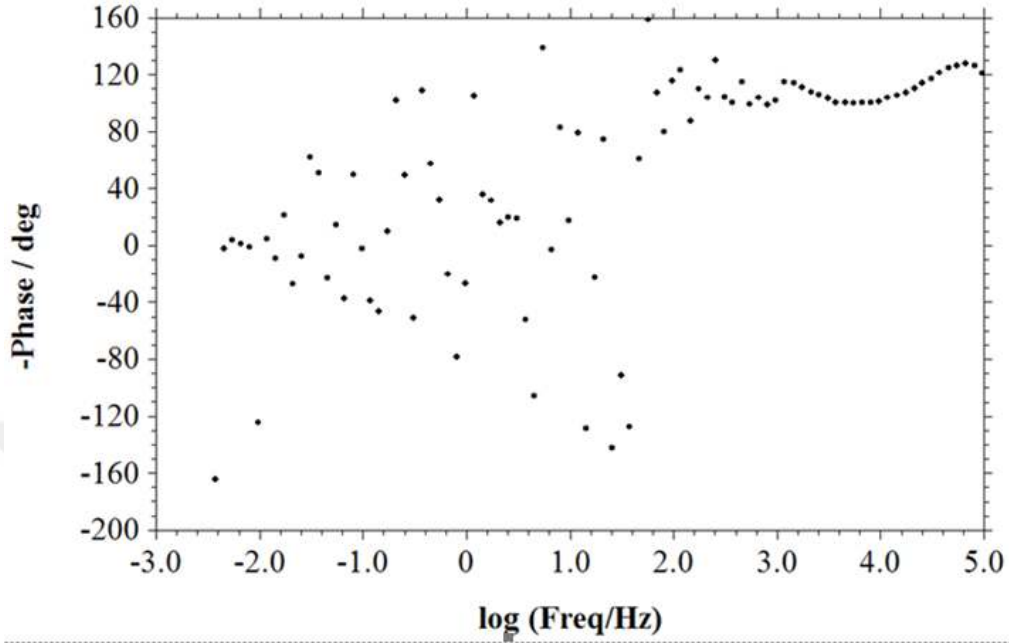
Üç hafta bekleme süresi sonunda suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı ve Bode eğrileri sırasıyla Şekil 4.18 , 4.19 ve 4.20' de verilmiştir



Şekil 4.18. Üç hafta beklemiş, suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Nyquist diyagramı



Şekil 4.19. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi



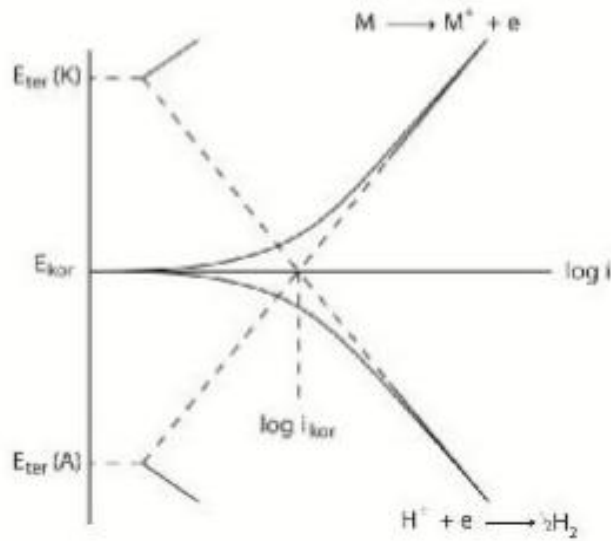
Şekil 4.20. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen Bode eğrisi

Yumuşak çelik, üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilerek silan filmi ile kaplanmış, kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklı yumuşak çelikten akım geçmemesi nedeniyle impedans ölçümünde Şekil 4.18 de gösterildiği gibi saçılmalar gözlenmiştir. Bununla birlikte 20 dk beklenmiş kaplamada korozyon direncinin 10 dk bekletme süresine göre aynı olduğu görülmüştür.

Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde bundan sonra yumuşak çelik 30 dk ve 60 dk sürelerle bekletilmeye devam edilmiş fakat kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklı alınan ölçümlerin hepsinde saçılmaların meydana geldiği gözlenmiştir. Bu nedenle bu diyagramlar burada verilmemiştir. Bu çözeltiye en fazla 10 dk lık daldırma süresinin yeterli geldiği kanısına varılmıştır.

4.2. Akım Potansiyel Eğrileri Tekniği İle Elde Edilen Deneysel Bulgular

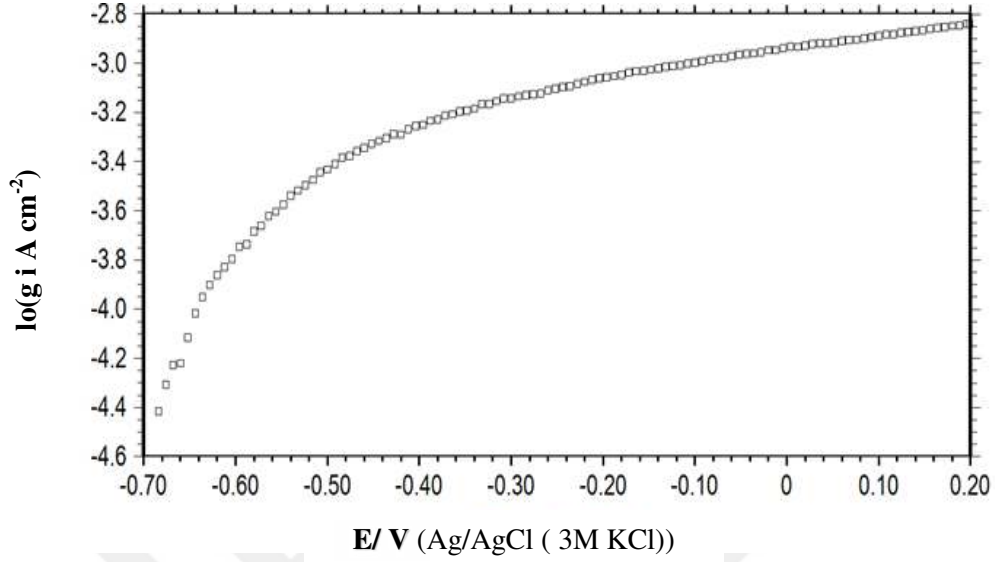
Akım-potansiyel eğrileri, akım veya potansiyelden birinin kontrollü olarak değiştirilmesiyle diğerinin aldığı değerler grafiğe geçirilerek elde edilir. Tafel yöntemi, korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ve katodik yönde çizilen logaritmik akım-potansiyel eğrilerinin çizgisel bölgelerinin korozyon potansiyeline ekstrapole edilmesiyle korozyon hızının bulunmasını sağlar.



Şekil 4.21. Akım-potansiyel eğrileri ekstrapolasyonu yöntemiyle korozyon hızının belirlenmesi [Erbil, 2012]

Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışı, vinil tri etoksi silan bileşiğinin alkol ve suda hazırlanan çözeltilerinde daha önce belirtilen sürelerde bekletilerek silan filmi ile kaplanmış ve suni yağmur suyunda anodik yöndeki yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri çizilerek incelenmiştir. Tüm ölçümler başlangıç potansiyelinden 0,60 V potansiyele kadar anodik yönde 0,01 V/s tarama hızıyla yapılmıştır.

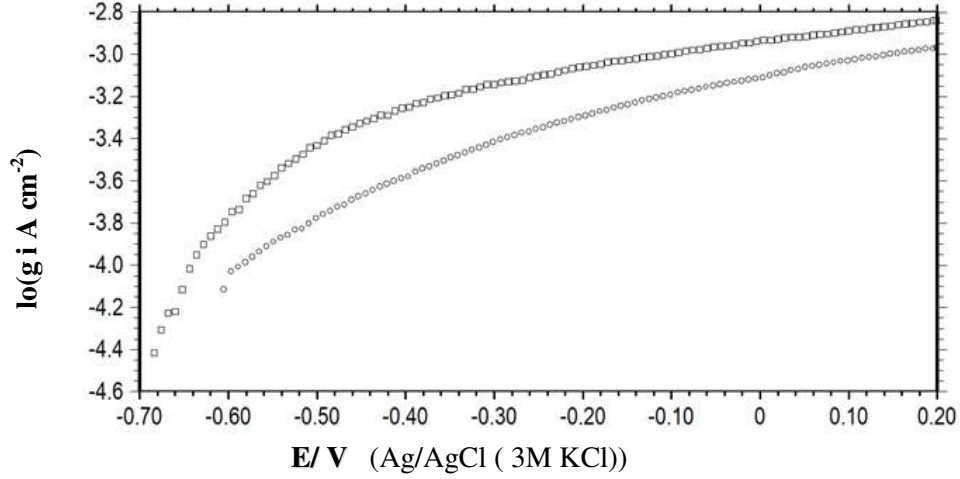
Suni yağmur suyunda silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrodun anodik akım-potansiyel eğrisi Şekil 4.22' de verilmiştir.



Şekil 4.22. Silan filmi ile kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım potansiyel eğrisi

Grafik incelendiğinde korozyon potansiyelinin (E_{kor}) -0,70 V olduğu görülmektedir. Potansiyel anodik yönde artırıldığında akım değerlerinin korozyon potansiyelinden sonra -0,40 V a kadar hızlı bir şekilde arttığı daha sonra akımdaki artış hızının azaldığı görülmektedir. Örneğin -0,40 V potansiyelde akım değeri $3,98 \times 10^{-4}$ A iken 0,00 V ta gelindiğinde akım değeri 1×10^{-3} A olmuştur.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.23 de verilmiştir.

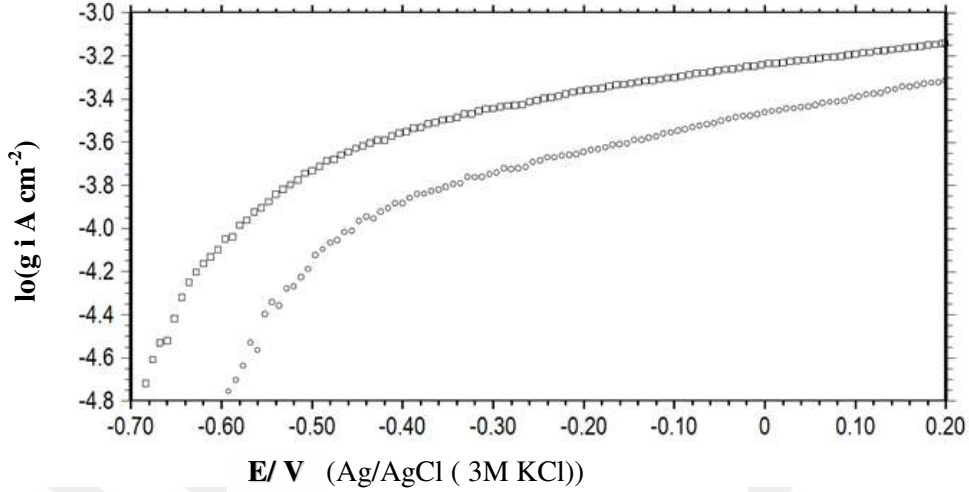


Şekil 4.23. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.23 de görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,55 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri $2,51 \times 10^{-4}$ A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $5,01 \times 10^{-4}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü % 36,93, 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %49,9 olarak hesaplanmıştır.

Yumuşak çeliğin silan filmi ile kaplanması anodik akım değerinin düşmesini ve korozyonun daha yavaş gerçekleşmesini sağlamıştır.

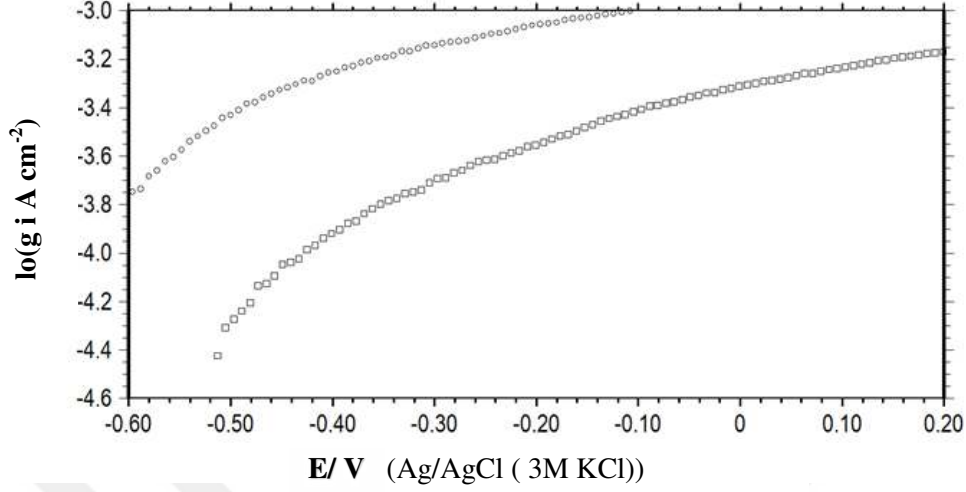
Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.24 te verilmiştir.



Şekil 4.24. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 20 dk bekletilen yumuşak çelik (○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.24 te görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,60 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri 1×10^{-4} A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $2,51 \times 10^{-4}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü % 74,97 , 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %74,90 olarak hesaplanmıştır.

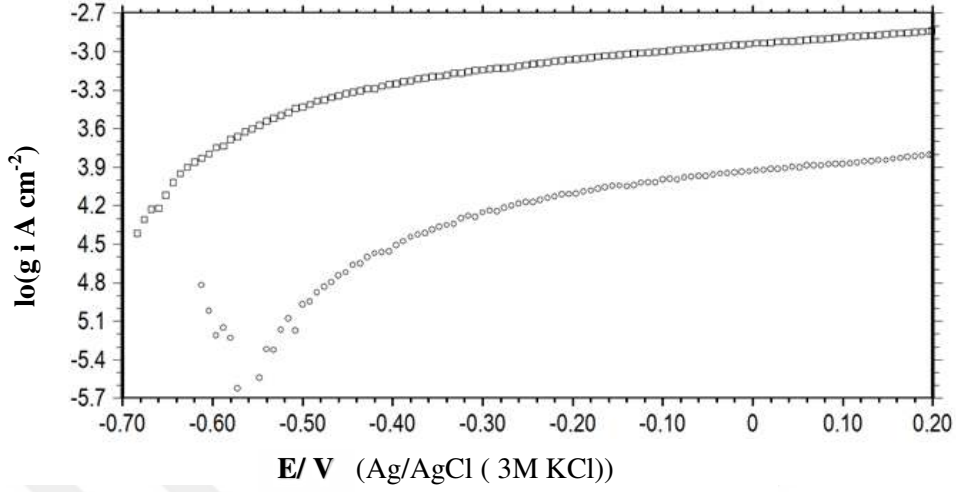
Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.25 te verilmiştir.



Şekil 4.25. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 30 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.25 te görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,52 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri $0,9 \times 10^{-4}$ A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $2,55 \times 10^{-4}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü % 75,37 , 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %74,50 olarak hesaplanmıştır.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.26 te verilmiştir.



Şekil 4.26. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik (○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

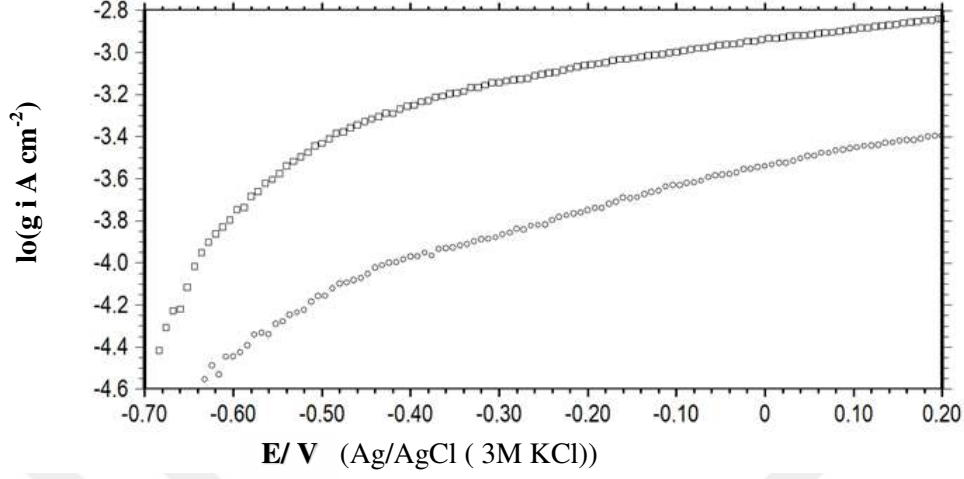
Şekil 4.26 te görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,55 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri $1,99 \times 10^{-5}$ A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $6,30 \times 10^{-5}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü % 95,00 , 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %93,70 olarak hesaplanmıştır.

Çizelge 4.2. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde farklı sürelerde bekletilerek silan filmi ile kaplanan ve kaplanmayan yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda akım potansiyel eğrilerinden elde edilen korozyon parametreleri

Ortam	E_{kor} (V)	I (0,00V)	I (-0,40V)
Kaplamasız	-0,70	$1,00 \times 10^{-3}$	$3,98 \times 10^{-4}$
10 dk bekleme	-0,55	$5,01 \times 10^{-4}$	$2,51 \times 10^{-4}$
20 dk bekleme	-0,60	$2,51 \times 10^{-4}$	$1,00 \times 10^{-4}$
30 dk bekleme	-0,52	$2,55 \times 10^{-4}$	$0,90 \times 10^{-4}$
60 dk bekleme	-0,55	$6,30 \times 10^{-5}$	$1,99 \times 10^{-5}$

Çizelge 4.2'ye bakıldığında en yüksek akım değeri silan filmi ile kaplanmayan yumuşak çelik elektrotta görülmüştür. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde silan filmi oluşturma sürelerinin artmasıyla yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda beklenen şekilde anodik akım değerleri azalmıştır. 0,00 V potansiyelde akım değerleri bekleme süresi arttıkça azalmıştır. Aynı azalma -0,40 V potansiyelinde de görülmüştür.

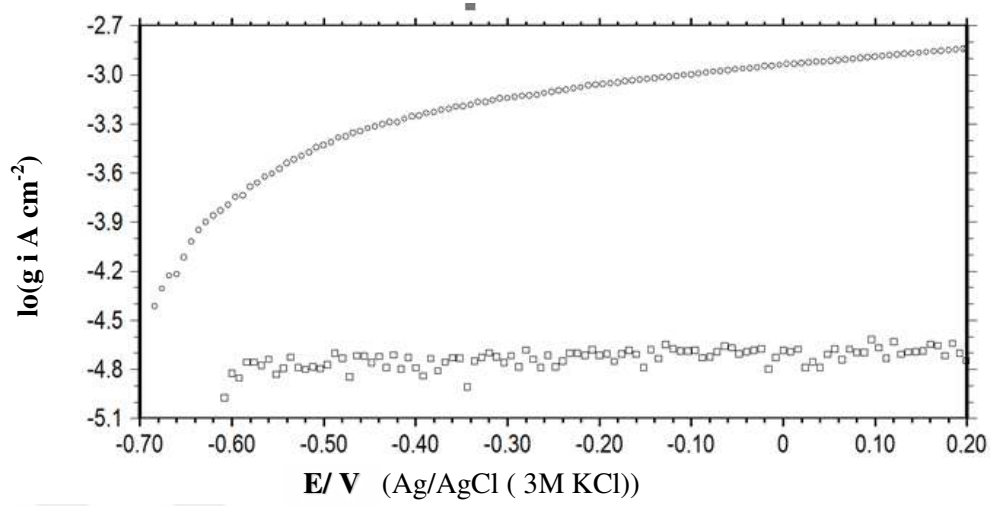
Bir hafta bekleme süresi sonunda suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.26 da verilmiştir.



Şekil 4.27. Bir hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.27 da görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,64 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri 1×10^{-4} A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $3,16 \times 10^{-4}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü %74,87 , 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %68,40 olarak hesaplanmıştır.

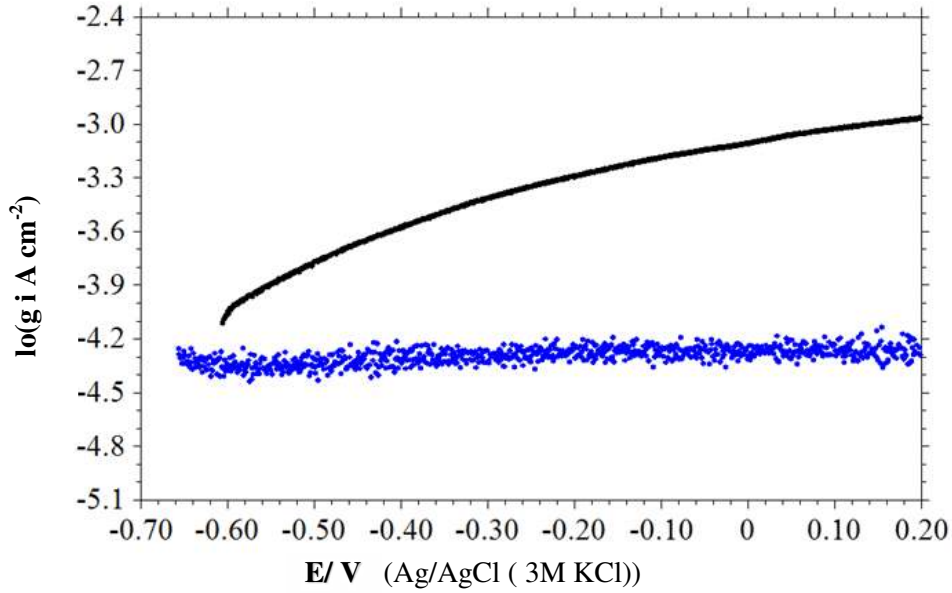
İki hafta bekleme süresi sonunda suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.28 de verilmiştir.



Şekil 4.28. İki hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Şekil 4.28 de görüldüğü gibi silan filmi oluşturulan yumuşak çelik elektrotta korozyon potansiyeli -0,60 V' tur. Bu değer silan filmi oluşturulmamış yumuşak çelik elektrottaki değerden daha yüksektir. Silan filmi ile kaplanmış elektrotta -0,40 V potansiyelde akım değeri $1,58 \times 10^{-5}$ A iken 0,00 V potansiyele gelindiğinde akım değeri $1,58 \times 10^{-5}$ A olarak ölçülmüştür. Bu değerler silan filmi ile kaplanmamış elektrottaki değerlerle karşılaştırıldığında -0,40 V potansiyeldeki akım düşüşü %96,03 , 0,00 V potansiyeldeki akım düşüşü %98,42 olarak hesaplanmıştır.

Üç hafta bekleme süresi sonunda suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilen yumuşak çelik ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri Şekil 4.29 de verilmiştir.



Şekil 4.29. Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çelik(○) ile silan filmi kaplanmamış yumuşak çeliğin (□) suni yağmur suyunda elde edilen akım-potansiyel eğrileri

Yumuşak çelik, üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 10 dk bekletilerek silan filmi ile kaplanmış, kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklı akım potansiyel eğrilerinde Şekil 4.29 de gösterildiği gibi saçılmalar gözlenmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi korozyon potansiyeli ve devamındaki potansiyel değerlerinde akım değerleri değişkenlik göstermemiştir. Akım azalması bütün potansiyel değerlerinde yaklaşık %98,12 olarak hesaplanmıştır.

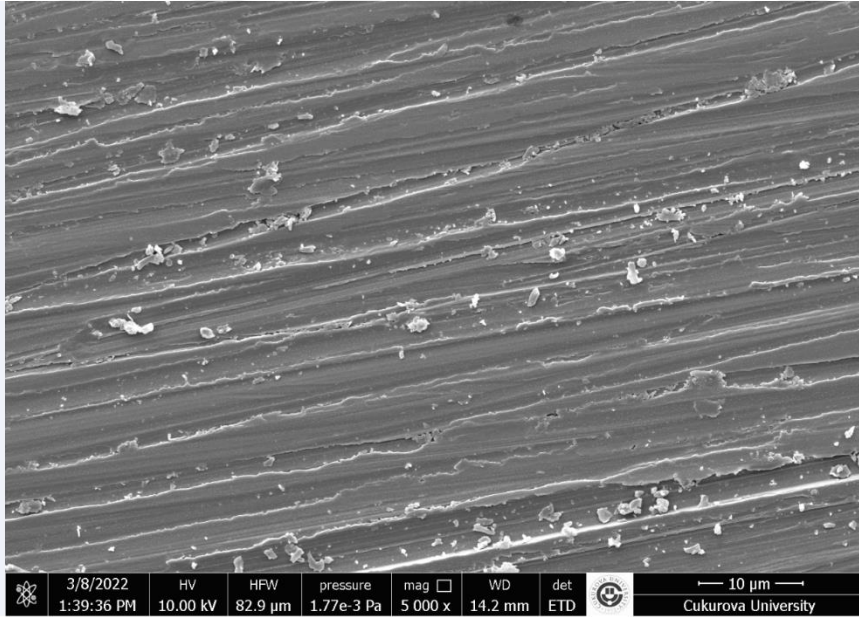
Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde bundan sonra yumuşak çelik 20 dk, 30 dk ve 60 dk sürelerle bekletilmeye devam edilmiş fakat kaplama kalınlığının fazla olmasından kaynaklı alınan ölçümlerin hepsinde saçılmaların meydana geldiği eğrilerin benzerlik gösterdiği gözlenmiştir.

Anodik akım potansiyel eğrilerinde korozyon potansiyelinden başlanarak daha pozitif potansiyellere doğru gidildikçe silan filmi ile kaplanmamış yumuşak çeliğe oranla silan filmi ile kaplanmış yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda alınan ölçümünde akımın azaldığı görülmektedir. Akım değerleri yumuşak çeliğin silan

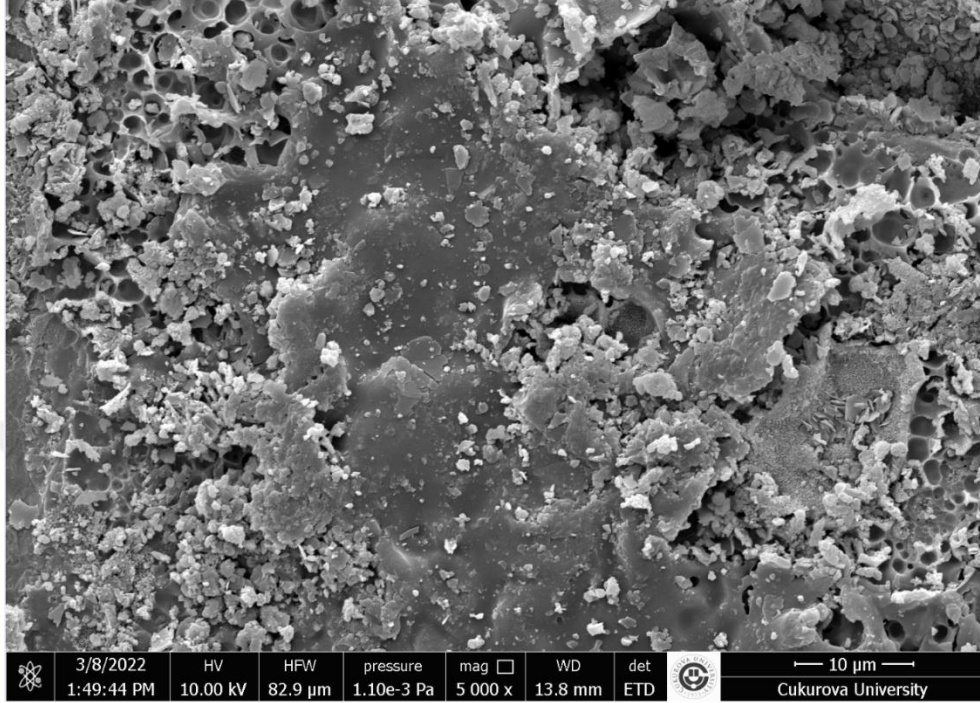
çözeltilerinde kaplama sürelerinin artmasıyla azalmaktadır. En düşük akım değerlerinin yani en düşük korozyon hızlarının üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğin bekletilmesiyle elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeni metalin kaplama kalınlığının artmasıdır. Metalin kaplama kalınlığının artması, korozyon ortamına maruz kalan metal yüzeyinin azalması ile akım değeri azalmakta yani korozyon hızı düşmektedir. Bu durum uygun silan çözeltileri kullanılarak kaplanmış metal yüzeyinde koruyucu ve kalıcı bir film tabakası oluştuğu görüşünü desteklemektedir

4.3. SEM Analizi

Yumuşak çeliğin vinil tri etoksi silan bileşiğinin alkol ve suda ayrı ayrı hazırlanan çözeltilerinde bekletilerek silan filmi ile kaplandıktan sonra ve kaplama olmadan önce metal yüzeyinde meydana gelen değişimi net olarak gözlemlemek amacıyla SEM görüntüleri alınmıştır. Bu görüntüler aşağıda paylaşılmıştır.

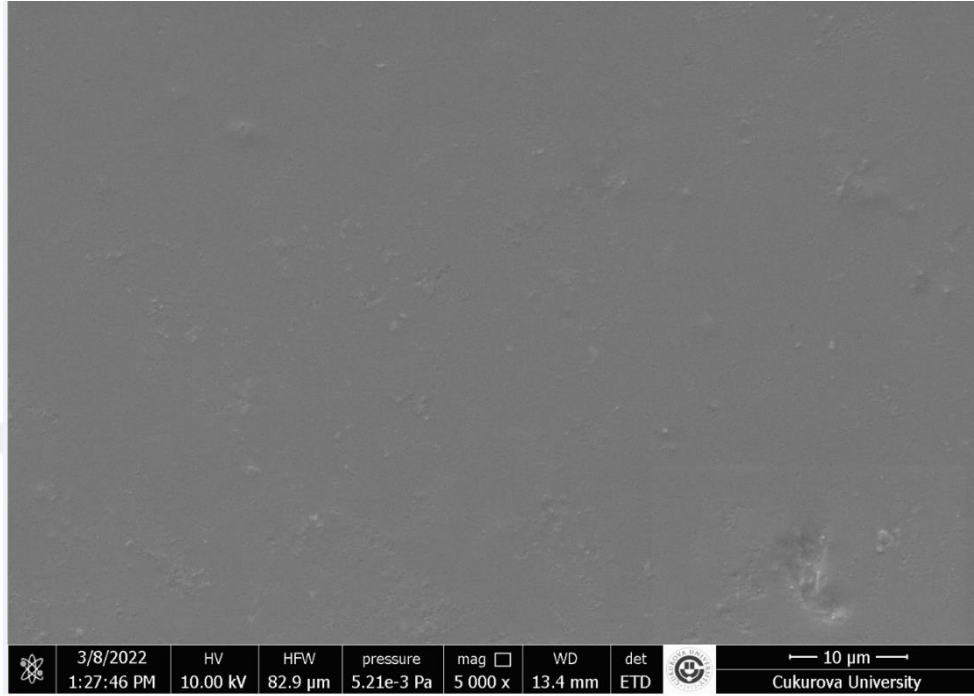


Şekil 4.30. Yumuşak çeliğin kaplama olmadan SEM görüntüsü



Şekil 4.31. Kaplama olmadan suni yağmur suyunda beklemiş yumuşak çeliğin SEM görüntüsü

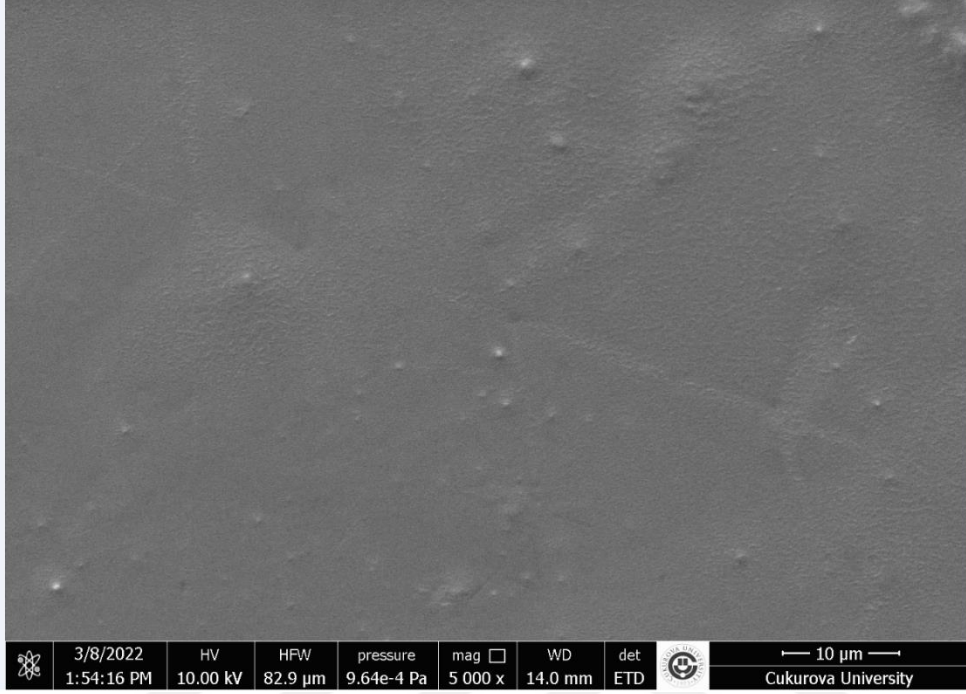
Silan filmi ile kaplanmayan çıplak yumuşak çelik, korozyon ortamda bekletilince yüzeyin yukarıda görüldüğü gibi çok fazla aşındığı gözlenmiştir. Yumuşak çeliğin alkolde hazırlanan silan çözeltisinde bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü Şekil 4.32 de verilmiştir.



Şekil 4.32. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin SEM görüntüsü

Şekil 4.32 de görüldüğü gibi yumuşak çeliğin, alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilmesiyle yüzeyinin tamamen homojen bir şekilde kaplandığı görülmüştür

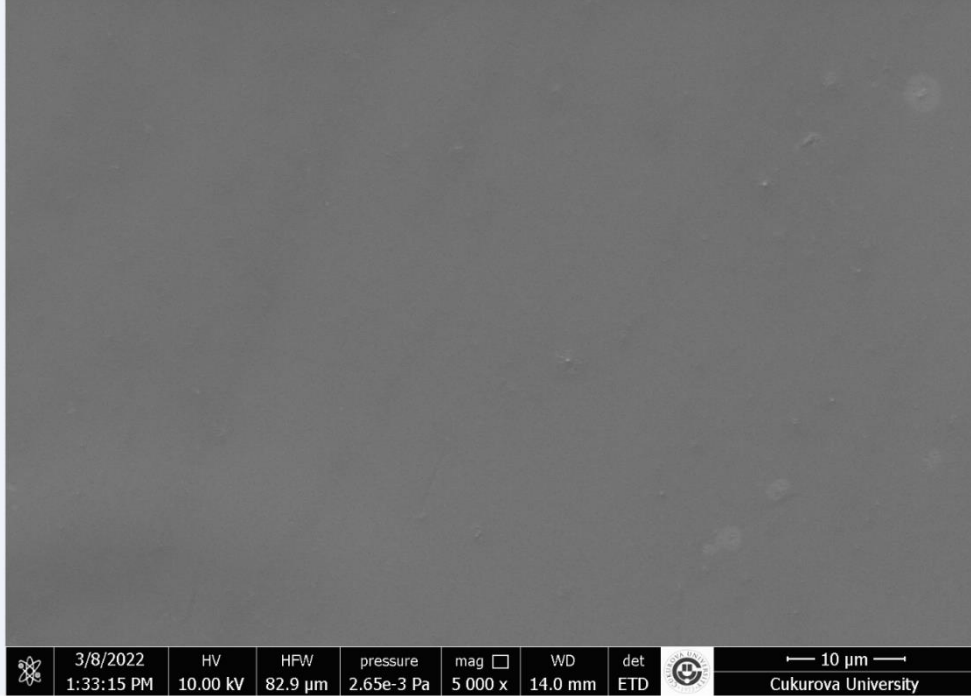
Yumuşak çelik alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilerek silan filmi ile kaplanmış ve kaplanan yüzeyin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü Şekil 4.33 de verilmiştir.



Şekil 4.33. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü

Şekil 4.33 de görüldüğü gibi kaplama yapıldıktan sonra koroziif ortama maruz kalmasına rağmen korozyon olayının çok az olduğu görülmüştür.

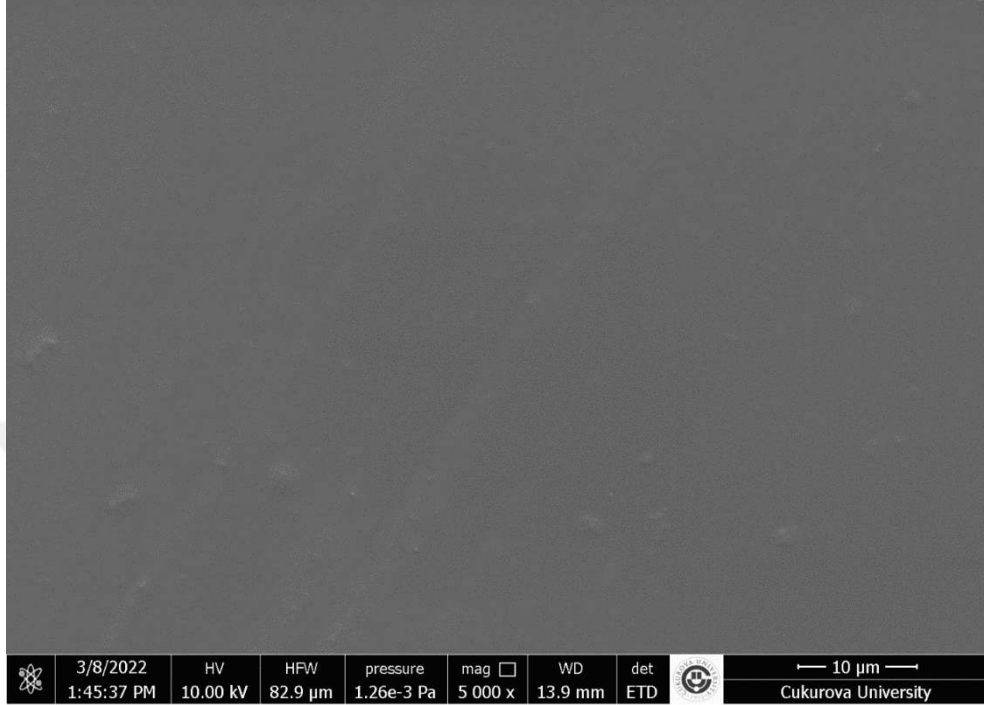
Yumuşak çeliğin suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü Şekil 4.34 de verilmiştir



Şekil 4.34. Suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin SEM görüntüsü

Şekil 4.34 de görüldüğü gibi yumuşak çeliğin, suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilmesiyle yüzeyinin tamamen homojen bir şekilde kaplandığı görülmüştür.

Yumuşak çelik suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilerek silan filmi ile kaplanmış ve kaplanan yüzeyin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü Şekil 4.35 de verilmiştir.



Şekil 4.35. Suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda bekletilmesiyle alınan SEM görüntüsü

Şekil 4.35 te görüldüğü gibi suda hazırlanan silan çözeltisinde bekletilerek kaplanan yumuşak çeliğin korozyon ortamına maruz kalmasına rağmen neredeyse hiç korozyona uğramadığı ve yüzeyin hala homojen bir görüntüye sahip olduğu gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin alkol ve suda ayrı ayrı hazırlanan % 5'lik çözeltilerinin yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda korozyona karşı koruma etkisini incelemek amacıyla oda şartlarında elektrokimyasal ölçümler yapılmış ve aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır.

Yumuşak çelik, vinil tri etoksi silan bileşiğinin alkolde hazırlanan % 5' lik çözeltisinde oda şartlarında 10,20,30,60 dk sürelerle bekletilmiş ve sonrasında yaklaşık 1 saat 70⁰C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek üzeri silan filmi ile kaplanmıştır. Kaplama yapıldıktan sonra alınan elektrokimyasal ölçümler sonucunda silan filmi ile kaplanan yüzeyin kaplanmayan yüzeye oranla korozyon direncinin arttığı görülmüştür. Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 10 dk bekletilmesi ile kaplamanın koruma etkinliği % 50,97 iken 60 dk bekletilmesi ile koruma etkinliği % 75,97 olarak hesaplanmıştır. Yumuşak çeliğin silan bileşiğinin alkolde hazırlanan çözeltisinde bekleme süresinin artması ile polarizasyon direncinin arttığı ve çözeltinin çelik elektrot yüzeyinde adsorplanarak koruyucu bir film tabakası oluşturduğu sonucu çıkarılmıştır.

Alkolde hazırlanan silan çözeltisinde bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, bekleme süresinin artmasıyla akım değerleri azalmıştır. Bekleme süresinin artmasıyla metal yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakasının kalınlığı artmış ve metal korozyonu yavaşlamıştır.

Vinil tri etoksi silan bileşiğinin suda %5'lik çözeltisi hazırlanmış ve çözeltinin bekledikçe sol-jel kıvamının arttığı gözlenmiştir. Bu nedenle suda hazırlanan silan çözeltisinin bir hafta, iki hafta ve üç hafta bekletilmesi sonucunda metal daldırılarak yüzeyde film oluşturulmuştur. Yumuşak çelik 1 hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde 60 dk bekletilmiş ve sonrasında yaklaşık 1 saat 70⁰C sıcaklıktaki etüvde bekletilerek üzeri silan filmi ile kaplanmıştır. Kaplama yapıldıktan sonra alınan elektrokimyasal ölçümler sonucunda silan filmi ile

kaplanan yüzeyin kaplanmayan yüzeye oranla korozyon direncinin arttığı görülmüştür. Bir hafta beklemiş silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 60 dk bekletilmesiyle kaplamanın koruma etkinliği % 78,44 olarak hesaplanmıştır. Bir hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğe yapılan işlemler iki ve üç hafta beklemiş çözeltielerde de ayrı ayrı yapılmıştır. 2 hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde yumuşak çeliğin 60 dk bekletilmesi ile kaplama kalınlığının fazla olduğu gözlenmiş kaplamanın koruyucu etkinliği %99,89 a yükselmiştir.

Üç hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde kaplama kalınlığında bekleme süresine bağlı olarak bir değişim olup olmayacağını gözlemlemek amacıyla yumuşak çelik sırasıyla 10,20,30,60 dk sürelerle bekletilmiştir. Belirtilen bekleme sürelerinin tamamında kaplanan yüzeyin suni yağmur suyunda elektrokimyasal ölçümleri alınarak kaplamanın koruma etkinliğinin neredeyse %100 olduğu sonucuna ulaşılmıştır.

Suda hazırlanan silan çözeltisinde bekletilen yumuşak çeliğin suni yağmur suyunda akım potansiyel eğrileri incelendiğinde, çözeltinin bekleme süresinin artmasıyla akım değerleri azalmış, korozyon da buna paralel olarak azalmıştır. Bekleme süresinin artmasıyla metal yüzeyinde oluşan koruyucu film tabakasının kalınlaştığı ve korozyonun düştüğü sonucuna varılmıştır.

Sonuç olarak alkolde hazırlanan silan çözeltisinin bekletilmesiyle sol-jel kıvamında bir değişim gözlenmezken, suda hazırlanan silan çözeltisinin bekletilmesiyle sol-jel kıvamının arttığı ve buna bağlı olarak yumuşak çelik elektrodu kaplama kalınlığının arttığı gözlenmiştir. En iyi kaplamanın SEM görüntülerinde gözlendiği gibi 3 hafta beklemiş suda hazırlanan silan çözeltisinde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Vinil tri etoksi silan bileşiğinin suda hazırlanacak % 5 lik çözeltisinin üç hafta bekletilmesi sonucu jelimsi bir hal aldığı ve bu kıvamlı haldeki çözeltiye daldırılan metalin hızlı bir şekilde yüzeyinde silan filmi oluştuğu ve bu filmin metal yüzeyinde çok stabil şekilde kaldığı hiç bir şekilde mekanik etkilerden ve kimyasal maddelerden etkilenmediği gözlenmiştir. Vinil tri etoksi

silan bileşiğinin metalin korozyondan korunması amacıyla yüzeye oluşturulacak film için çok uygun bir madde olduğu sonucuna varılmıştır. Bu maddenin korozyondan korunma amaçlı yüzeyde film oluşturulması için kullanılması önerilmektedir.





KAYNAKLAR

- Alibakhshi E., Akbarian M., Ramezanzadeh M., Ramezanzadeh B., Mahdavian M., Evaluation of the corrosion protection performance of mild steel coated with hybrid sol-gel silane coating in 3.5 wt.% NaCl solution, October 2018, Pages 190-200.
- Azmi W. H. , K. Abdul Hamid , N.A. Usri , Rizalman Mamat , K.V. Sharma,2016. International Communications in Heat and Mass Transfer 75 (2016) 13–23
- Alinejad S., Naderia R., Mahdavian M., The effect of zinc cation on the anticorrosion behavior of an eco-friendly silane sol–gel coating applied on mild steel, December 2016, Pages 142-148.
- Danaee I., M.N. Khomami, A.A. Attar, Corrosion behavior of AISI 4130 steel alloy in ethylene glycole water mixture in presence of molybdate, Mater. Chem. Phys. 135 (2012) 658–667.
- Dehri İ., ERBİL, 2000. The effects of relative humidity on the atmospheric corrosion of defective organic coating materials: an EIS study with a new approach. Corrosion Science 42:969-978.
- Dehri İ., Keleş H., Keleş M., Serindağ S.,2008. The inhibitive effect of 6amino-m-cresol and its Schiff base on the corrosion of mild steel in 0.5M HCl medium. Materials Chemistry and Physics 112:173–179.
- Dehri İ., Özcan M., Erbil M.,2004. Organic sulphur-containing compounds as corrosion inhibitors for mild steel in acidic media: correlation between inhibition efficiency and chemical structure. Applied Surface Science 236: 155–164.
- Dehri İ., Özcan M.,2006. The effect of temperature on the corrosion of mild steel in acidic media in the presence of some sulphur-containing organic compounds. Materials Chemistry and Physics 98:316–323.

- Dehri İ., SİĞİRCİK G., SARI A., ERBİL M., 2018. Inhibition effect of polyacrylic acid and its mixture with potassium iodide on mild steel corrosion in acid solution, Bulgarian Chemical Communications Special Issue I (pp. 60 – 67)
- Doktora Tezi Ayten İşler, Korozyon İnhibitörü Olarak Yeni Schiff Bazı Bileşiklerinin Sentezlenmesi ve İnhibisyon Özelliklerinin İncelenmesi, Haziran 2010 Kırıkkale Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doktora Tezi Başak Doğru Mert, Aluminyum Ve Aluminyum/Bakır'ın İletken Polimerler İle Kaplanması, Kaplamanın Karakterizasyonu Ve Korozyon Özelliklerinin İncelenmesi, 2012 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doktora Tezi Hülya Keleş, Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi, 2008 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doktora tezi Muzaffer Özcan, Tiyoüre Ve Türevlerinin Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamda Korozyonuna Sistemik Etkilerinin Elektrokimyasal Olarak İncelenmesi, 2004 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Doktora Tezi Süleyman Yalçinkaya, Poli(Pirol-Ko-O-Toluidin)'ın Elektrokimyasal Sentezi Karakterizasyonu Ve Demirli Malzemeler Üzerinde Korozyon Performansının Belirlenmesi, 2008 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Erbil, M., 2012. Korozyon İlkeler ve Önlemler. Poyraz Ofset, Ankara
- Fang D., Huang K., Liu S., Li Z., 2008. Electrochemical properties of ordered TiO₂ nanotube loaded with Ag nano-particles for lithium anode material. Journal of Alloys and Compounds 464:L5–L9
- Geng Y., Zhou P., M Li S., Cao J., Wu Z., Liu A., Superior corrosion resistance of mild steel coated with graphene oxide modified silane coating in chlorinate simulated concrete solution, Progress in Organic Coatings, March 2022, 106716

- Jeyarama R., Elangob A., Siva T., Ayeshamariam A., Kaviyarasu K., Corrosion protection of silane based coatings on mild steel in an aggressive chloride ion environment, March 2020, 100423
- Khomami M. N., I. Danaee, A.A. Attar, M. Peykari, Corrosion of alloy steel in 30% ethylene glycol solution and CrO₄²⁻ under hydrodynamic condition, J. Iron & Steel Res. Int. 20 (2013) 82–87.
- Li X., Zou C., Thermo-physical properties of water and ethylene glycol mixture based SiC nanofluids: An experimental investigation, International Journal of Heat and Mass Transfer, 101 (2016) 412–41
- Muhammad M., Hu S., Ma R., Du A., Wang M., Fan Y., Zhao X., Yang H., Li C., Cao X., Enhancing the corrosion resistance of Q235 mild steel by incorporating poly(dopamine) modified h-BN nanosheets on zinc phosphate-silane coating 25 May 2020,
- Matthew R. A., W. Jeffrey Binns , Pellumb Jakupi , Philippe Dauphin-Ducharme , Ushula M. Tefashe , Janine Mauzeroll , David Shoesmith ' Reducing the corrosion rate of magnesium alloys using ethylene glycol for advanced electrochemical imaging, Corrosion Science 93 (2015) 70–79
- Ongun Yüce, A., Doğru Mert B., Kardaş G., Yazıcı, B., 2014. Electrochemical and quantum chemical studies of 2-amino-4-methyl-thiazole as corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution. Corrosion Science 83:310–316.
- Oroujia S., Naderia R., Mahdavian M., Controlled oxidation of mild steel by potassium permanganate solution to enhance protective functioning of silane coatings 20 October 2020, 125251
- Oroujia S.M., Naderia R., Mahdavian M., Fabrication of protective silane coating on mild steel: The role of hydrogen peroxide in acid treatment solution, 25 August 2018, Pages 245-255
- Prof. Dr. Yalçın H., Prof Dr. Gürü M., 2010, Elektrokimya ve Uygulamaları.

- Qiang Y., Zhang S., Yan S., Zou X., Chen S., Three indazole derivatives as corrosion inhibitors of copper in a neutral chloride solution, 10.1016/2017.07.012
- Santambrogio M., G. Perruccia, M. Truebaa, S.P. Trasattia, M.P. Casalettob, Effect of major degradation products of ethylene glycol a queous solutions on steel corrosion, *Electrochimica Acta* 203 (2016) 439–450
- Song G., St John D., Corrosion behaviour of magnesium in ethylene glycol, *Corrosion Science* 46 (2004) 1381–1399
- Tavangara R., Naderia R., Mahdavian M., Acidic surface treatment of mild steel with enhanced corrosion protection for silane coatings application: The effect of zinc cations September 2021, 106384
- 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.
- Xin C., Wenming T., Songmei L., Mei Y., Jianhua L., 2016 . Effect Of Temperature On Corrosion Behavior Of 3003 Aluminum Alloy In Ethylene Glycol–Water Solution *Chinese Journal Of Aeronautics*, 29(4): 1142–1150
- Yüksek Lisans Tezi Alper Fitoz, Yeni Bir Çevre Dostu Korozyon İnhibitörü 1,7 Dihidroksi Aza dipirometen: Deneysel ve Teorik Değerlendirme , Mayıs 2015 Ankara Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- 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 Efraim Aydoğdu, Metiyonin Ve Sistinin Fosforik Asit Ortamında Yumuşak Çeliğin Korozyonuna Etkilerinin İncelenmesi, 2010 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü

- Yüksek Lisans Tezi Elif Çalışkan, Karbon Çeliğinin Hidroklorik Asit Çözeltilisindeki Korozyonuna Allantoin Molekülünden Sentezlenen Schiff Bazının İnhibitör Etkisi, Mayıs 2012 Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Emine Eker Akyıldız, Hidroklorik Asit İçerisinde Yumuşak Çeliğin Korozyonuna Karşı İnhibitör Geliştirilmesi, 2013 Çukurova 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 Özgen Cum, 3-Amino-5-Metiltio-1h-1,2,4-Triazol Ve (3-Merkaptopropil) Trimetoksisilan Bileşiklerinin Yumuşak Çeliğin Korozyonuna Karşı İnhibitör Etkinliklerinin Araştırılması, 2012 Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Yüksek Lisans Tezi Rukiye Altinyurt, Düşük Karbonlu Çeliğin Asidik Korozyonuna Karşı Bazı Yeni Siyano Schiff Bazı Bileşiklerin İnhibitif Etkisi, Nisan 2013 Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
- Zhang G. A., L.Y. Xu, Y.F. Cheng, 2008., Mechanistic aspects of electrochemical corrosion of aluminum alloy in ethylene glycol–water solution, *Electrochim. Acta* 53 (2008) 8245–8252
- 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: Electrochemical, XPS and DFT studies, *Corrosion Science* Volume 90, January 2015, Pages 572-584



ÖZGEÇMİŞ

Nurcan YÜKSEKBAŞ, 2005 yılında Konya Selçuk Üniversitesi Kimya Öğretmenliği Bölümünde okumaya başladı ve 2010 yılında mezun oldu. 2019 yılında Çukurova Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Kimya Bölümü Fizikokimya Anabilim Dalı'nda yüksek lisansa başladı. Eylül 2015 itibarıyla kamu sektöründe Kimya Öğretmeni olarak çalışmakta.

