

**ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

DOKTORA TEZİ

Sema ÇELİK

**YUMUŞAK ÇELİK VE BAKIRIN ELEKTROKİMYASAL
DAVRANIŞLARINA BAZI BOYAR MADDELERİN
ETKİLERİNİN SODYUM KLORÜR VE SODYUM SÜLFATLI
ORTAMLARDA ARAŞTIRILMASI**

KİMYA ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÖZ

DOKTORA TEZİ

YUMUŞAK ÇELİK VE BAKIRIN ELEKTROKİMYASAL DAVRANIŞLARINA BAZI BOYAR MADDELERİN ETKİLERİNİN SODYUM KLORÜR VE SODYUM SÜLFATLI ORTAMLARDA ARAŞTIRILMASI

Sema ÇELİK

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
KİMYA ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
Yıl: 2022, Sayfa:326
Jüri : Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
: Prof. Dr. A. Murat GİZİR
: Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Gülfeza KARDAS
: Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN

Bu çalışmada, Potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) teknikleri kullanılarak, variamin mavisi, metil oranj ve fenol kırmızısının 4 farklı konsantrasyonda, %3,5 NaCl ve 0,1M Na₂SO₄ çözeltisinde yumuşak çelik ve bakır metallerinin korozyon davranışları üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Metal yüzeyinin klorür ve sülfatlı ortama maruz kaldıktan sonra yüzey morfolojisi taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile incelenmiştir. Sıcaklığın etkisi 25 °C ile 60 °C aralığında çalışılmıştır. Bazı termodinamik parametreler hesaplanmış ve açıklanmıştır. Variamin mavisi, metil oranj ve fenol kırmızısının %3,5 NaCl ve 0,1M Na₂SO₄ çözeltisinde yumuşak çelik ve bakır korozyonunu önleyebildiği bulunmuştur. Bununla birlikte, inhibisyon etkinliğinin sıcaklığın artması ile azaldığı gözlemlenmiştir. Boyar maddelerin inhibisyon etkisi; Boyar maddeler ile metal yüzeyine fiziksel olarak adsorbe olan korozyon ürünlerinin metal yüzeyinde koruyucu bir film tabakası oluşturması ile tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Korozyon, Yumuşak çelik, Bakır, Elektrokimyasal Teknikler, Boyar maddeler

ABSTRACT

PhD. THESIS

INVESTIGATION OF THE EFFECTS OF SOME DYES ON THE ELECTROCHEMICAL BEHAVIOR OF MILD STEEL AND COPPER IN SODIUM CHLORIDE AND SODIUM SULFATE MEDIA

Sema ÇELİK

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF CHEMISTRY

Supervisor : Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
Year: 2022, Pages: 326
Jury : Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER
: Prof. Dr. A. Murat GİZİR
: Prof. Dr. İlyas DEHRİ
: Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ
: Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN

In this study, the effects of variamine blue, methyl oranges and phenol red on 4 different concentrations, % 3.5 NaCl and 0.1 M Na₂SO₄ solution in mild steel and copper corrosion behaviors were investigated by using potentiodynamic polarization curves and electrochemical impedance spectroscopy (EIS) techniques. After exposure of the metal surface to the chloride and sulfate environment, the surface morphology was scanned by scanning electron microscopy (SEM). The effect of temperature was studied in the range of 25 °C to 60 °C. Some thermodynamic parameters have been calculated and explained. It has been found that variamine blue, methyl orange and phenol red can prevent mild steel and copper corrosion in % 3.5 NaCl and 0.1 M Na₂SO₄ solution. However, it has been observed that the inhibition efficiency decreases with increasing temperature. Inhibition effect of dyes; It is detected by the fact that corrosion products, which are physically adsorbed on the metal surface with dyes, form a protective film on the metal surface.

Keywords: Corrosion, Mild Steel, Copper, Electrochemical Techniques, Dyestuff

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Bakır ve Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışlarına boyar maddelerden variamin mavisi, metil oranj ve fenol kırmızısının etkinliği farklı sıcaklık ve pH'da klorür ortamında araştırılmıştır. Bunun için inhibitör içermeyen (% 3,5 NaCl) ve inhibitör olarak 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mmol/L boyar madde içeren % 3,5 NaCl çözeltileri kullanılarak İnhibitörlerin derişim ve pH ile etkinliğindeki değışmeler EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan kinetik ve termodinamik parametrelere geçilmiştir. SEM görüntüleri alınmıştır.

Bakırın ve yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışlarına boyar maddelerden variamin mavisi, metil oranj ve fenol kırmızısının etkinliği farklı sıcaklık ve pH' da sülfatlı ortamda araştırılmıştır. inhibitör içermeyen (0,1 M Na₂SO₄) ve inhibitör olarak 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mmol/L boyar madde içeren 0,1 M Na₂SO₄ çözeltileri kullanılarak inhibitörlerin derişim ve pH ile etkinliğindeki değışmeler EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri ile incelenmiştir. Elde edilen deneysel sonuçlardan kinetik ve termodinamik parametrelere geçilmiştir. Kongre ve Sempozyumlarda sunumlar yapılmıştır. Taramalı elektron mikroskobu ile yüzey görüntüleri alınmıştır.

Genel olarak sanayide organik yapıdaki inhibitörler tercih edilmektedir. Organik inhibitörler metal yüzeyine adsorplanarak metalin çözünme ve indirgenme tepkimelerinin hızını azaltırlar. Metali korumak için kullanılacak inhibitörün seçimi sırasında, metali hangi oranda koruyabildiği ölçüsü haricinde, kullanılan maddelerin çevreye etkilerini de dikkate almak gerekmektedir. Çünkü bazı maddeler, metallerin korozyon hızlarını azaltmasına karşın toksik özellik gösterebilirler.

Sahip oldukları toksik özelliklerinin canlılara olan etkilerinin yok edilmesi için, doğaya atılmalarından hemen önce, bunların ek arıtma süreçlerinden geçirilmesi gerekmektedir. Diğer yandan aynı metali koruyabilmek için, belirli ortamda kullanılabilecek inhibitör seçenekleri varsa, bunlardan canlı yapısına zararlı

etkileri olmayanın seçilmesi daha akıllıca olacağından, son yıllarda toksik özelliği olmayan organik maddelerin bu amaç doğrultusunda belirlenmesi ve araştırılması çabaları hız kazanmıştır.

İnhibitörlerin etkiye mekanizmalarında ilk adımı metal-çözültü ara yüzeyindeki adsorpsiyon basamağı oluşturur. İnhibitör özelliği olan madde molekül yapısında N, S veya O gibi polar fonksiyonel gruplar olan konjuge sistemlerdir. İnhibitörün yapısındaki fonksiyonel gruplar, etkiye gücünü açıklar. İnhibitörün molekül yapısında; -OH, -CHO, -COOH, -CN, -SN, CO, -NH₂, SO₃ grubu, çift bağ, üçlü bağ, çiftleşmemiş elektronlar varsa, inhibitör-metal etkileşime sıfır yük potansiyeli değişir. Bir organik bileşiğin etkiye kuvveti, fonksiyonel gruplardaki elektron yoğunluğuna bağlı olarak artmaktadır.

Toksik özelliği olmayan organik maddelerin korozyon inhibitörü olarak kullanılması, bu maddelerin çevreye olan zararlı etkilerinin en aza indirilmesi açısından önem arz etmektedir. Variamine Mavisi kuvvetli bir indirgeyici ajandır. Bu özellik endiol (C-2, C-3) hidroksil gruplarından hidrojen atomlarının ayrılmasına bağlıdır. Yüksek polaritesi nedeniyle suda kolayca çözünürken apolar çözücülerde çözünmezler. 280 mV'lık düşük bir indirgenme-yükseltgenme potansiyelinde, Variamin Mavisi'nin tüm diğer okside olan serbest radikallerle reaksiyona girme potansiyelinin var olduğu anlamına gelir. Variamin mavisinin; pH'ın denetimi amacıyla bir asit düzenleyici, oksijeni adsorplama kapasitesiyle tepe boşluğu olan ürünlerde antioksidan olarak görev yapmaktadır.

Bu çalışmada; bakır ve yumuşak çeliğin (pH=3,5; 7,0; 9,0 ve farklı sıcaklıklarda) klorür ve sülfatlı ortamlardaki korozyonu üzerine variamin mavisi, fenol kırmızısı ve metil oranjın inhibitör etkisi incelenmiştir. Ayrıca, bakır yüzeyinde toksik özelliği olmayan, kolay temin edilebilen, ekonomik olan ve uygulamaya yönelik bir inhibitör maddenin bulunması amaçlanmıştır. Bu yüzden bu çalışmada boyar maddelerin inhibitör etkinliği ortamın pH sına bağlı olarak değişeceği göz önünde bulundurularak asidik, nötr ve bazik ortamlarda çalışılmıştır.

TEŞEKKÜR

Çukurova Üniversitesi'ndeki eğitim hayatım boyunca bıkmadan usanmadan desteklerini esirgemeyen danışman hocam, Sayın Prof. Dr. Güray KILINÇÇEKER'e teşekkür ederim.

Çalışmalarımda bana destek olan hocalarım; Prof. Dr. Birgül YAZICI'ya, Prof. Dr. Mehmet ERBİL'e, İlyas DEHRİ'ye, Prof. Dr. Mustafa Kemal SANGÜN'e, Prof. Dr. Tunç TÜKEN'e, Prof. Dr. Gülfeza KARDAŞ'a, bölüm arkadaşlarım Dr. Mahmut BAŞ'a, Dr. Şifa KIR'a, Yüksek Kimyager Nida YEŞİLYURT'a, Yüksek Kimyager Rahime ELÇİ'ye, Doktora öğrencisi Farhad ZARİFİ'ye ve iş hayatında tanıdığım ve bana doktora çalışmalarım için teşvikte bulunan Sayın Vahap ARPACI'ya, Sibel Kırdan ERKOVAN'a, Utku ARSLAN'a, Merve KAPLAN'a, Osman SAĞIR'a, Levent DÜNDAR'a, arkadaşlarım Emine Mermertaş UZEL'e, Fethiye GANİMGİL'e, Kezban Meltem TURAN'a, Yılmaz GÖK ve Mine GÖK'e, Betül YALMAN'a, Ali Hasan YÖNEY'e ve Dr. Öğr. Üyesi Ahmet Oral SARIOĞLU'na, teşekkür ederim. Bu çalışmanın yapılması için gerekli donanımı sağlayan Çukurova Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Kimya Bölümü'ne, sonsuz teşekkür ederim.

Bütün hayatım boyunca bana destek veren başta annem Hülya ÇELİK'e, Babam Hacı Bayram ÇELİK'e, aileme ve sevgili dostlarıma sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖZ	III
ABSTRACT.....	IV
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET	V
TEŞEKKÜR.....	VII
İÇİNDEKİLER	VIII
ÇİZELGELER DİZİNİ	XII
ŞEKİLLER DİZİNİ	XX
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	XXXVIII
1. GİRİŞ	1
1.1. Metallerin Korozyonu.....	5
1.2. Korozyonun Mekanizması	6
1.3. Korozyonun Termodinamiği.....	7
1.4. Potansiyel-Ph Diyagramları	11
1.5. Korozyon Hızı Ölçme Yöntemleri.....	13
1.5.1. Tafel Eğrilerinin Korozyon Potansiyeline Ekstrapolasyonu Yöntemi	13
1.5.2. Polarizasyon Direnci Yöntemi	14
1.5.3. Alternatiflakim (Ac) Impedansı Yöntemi	16
1.6. Korozyon Türleri	18
1.6.1. Tek tip korozyon.....	18
1.6.2. Çukurlaşma Korozyonu	18
1.6.3. Çatlak Korozyonu.....	19
1.6.4. Intergranular Korozyon.....	20
1.6.5. Stres Korozyonu Çatlaması (SCC)	20
1.6.6. Galvanik Korozyon.....	21
1.7. Korozyonu Önleme Yöntemleri.....	22
1.7.1. Aktif Koruma.....	22

1.7.1.1. Katodik Koruma	22
1.7.1.2. Anodik Koruma	23
1.7.2. Pasif Koruma	24
1.7.2.1. Organik Ve İnorganik Kaplama	24
1.7.2.2. İnhibitörlerle Koruma	24
1.8. Adsorpsiyon	27
1.8.1. Adsorpsiyon İzotermi	28
1.8.1.1. Langmuir Adsorpsiyon İzotermi	28
1.8.1.2. Freundlich İzotermi	30
1.8.1.3. Dubinin-Radushkevich (D-R) İzotermi	31
1.8.1.4. Temkin Adsorpsiyon İzotermi	31
1.9. Adsorpsiyon Termodinamiği	33
1.10. Boyar Maddeler	33
2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR	37
3. MATERYAL VE METOD	51
3.1. Materyal	51
3.2. Metod	52
3.2.1. Yöntem	52
3.2.1.1 Çalışma Elektrotların Hazırlanması	52
3.2.1.2. Çalışılacak İnhibitör Çözeltilerinin Hazırlanması	52
3.2.2. Elektrokimyasal Ölçümler	53
3.2.2.1. Anodik/ Katodik Akım-Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi	53
3.2.2.1.(1). Akım Yoğunluğu Değerlerinin Hesaplanması (i_{kor})	53
3.2.2.2. İmpedans Eğrilerinin Elde Edilmesi	54
3.2.2.3. Açık Devre Potansiyeline Karşı Zaman Eğrileri	55
3.2.3. Yüzeyin Spektroskopik Karakterizasyonu:	55
3.2.4. Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi	55
3.2.5. Adsorpsiyon İzotermlerinin Belirlenmesi	56

3.2.6. Entalpi (ΔH_{ads}°) Ve Entropi (ΔS_{ads}°) Değerlerinin Belirlenmesi ..	57
4. BULGULAR VE TARTIŞMA	59
4.1. Bakirin %3,5 NaCl, %3,5 NaCl +xM Ortamında Farklı Sıcaklık Ve pH Larda Elde Edilen Bulgular	59
4.2. Adsorpsiyon İzotermi	105
4.3. Bakirin %3,5 NaCl Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{Ads}° , ΔS_{Ads}° Ve ΔH_{Ads}° Değerleri	110
4.4. Arrhenius Doğruları	119
4.5. İnhibisyon Etkinliği Değerleri	123
4.6. Sem Bulguları	125
4.7. Yumuşak Çeliğin %3,5 NaCl, %3,5 NaCl +xM Ortamında Farklı Sıcaklık Ve Ph Larda Elde Edilen Bulgular	125
4.8. Adsorpsiyon İzotermi	161
4.9. Yumuşak Çeliğin %3,5 NaCl Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{ads}° , ΔS_{Ads}° Ve ΔH_{Ads}° Değerleri	167
4.10. Arrhenius Doğruları	175
4.11. İnhibisyon Etkinliği Değerleri	179
4.12. Sem Bulguları	180
4.13. Bakirin 0,1 M Na ₂ SO ₄ , 0,1 M Na ₂ SO ₄ + Çözeltisi Ortamında Ortamında Farklı Sıcaklık Ve pH Larda Elde Edilen Bulgular	181
4.14. Adsorpsiyon İzotermi	223
4.15. Bakirin 0,1 M Na ₂ SO ₄ Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{ads}° , ΔS_{Ads}° Ve ΔH_{Ads}° Değerleri	228
4.16. Arrhenius Doğruları	237
4.17. İnhibisyon Etkinliği Değerleri	240
4.18. Sem Bulguları	241
4.19. Yumuşak Çeliğin 0,1 M Na ₂ SO ₄ , 0,1 M Na ₂ SO ₄ +xM Boyar Madde Çözeltisi Ortamında Ortamında Farklı Sıcaklık Ve Ph Larda Elde	

Edilen Bulgular	242
4.20. Adsorpsiyon Izotermi	291
4.21. Yumuşak Çeliğin 0,1 M Na_2SO_4 Çözeltilerinde Saptanan $\Delta G_{\text{ads}}^\circ$, $\Delta S_{\text{ads}}^\circ$ ve $\Delta H_{\text{ads}}^\circ$ Değerleri	296
4.22. Arrhenius Doğruları	304
4.23. İnhibisyon Etkinliği Değerleri	308
4.24. Sem Bulguları	309
5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	311
KAYNAKLAR	315
ÖZGEÇMİŞ	321
EKLER.....	323

ÇİZELGELER DİZİNİ

SAYFA

Çizelge 1.1.	298 K’de, Demir ve Bakırın Saf Su içindeki Potansiyel ve pH’a bağlı Termodinamik Davranışları	4
Çizelge 4.1.	298 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	65
Çizelge 4.2.	313 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	71
Çizelge 4.3.	333 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$).	76
Çizelge 4.4.	298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$).	81
Çizelge 4.5.	313 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	86
Çizelge 4. 6.	333 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	92
Çizelge 4.7.	298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	97
Çizelge 4.8.	313K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	100
Çizelge 4.9.	333K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon	

	akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	104
Çizelge 4.10.	pH=3,5'de ΔG_{ads}° değerleri.....	112
Çizelge 4.11.	pH=3,5'de ΔS_{ads}° değerleri	112
Çizelge 4.12.	MO için pH=3,5'de ΔH_{ads}° değerleri	113
Çizelge 4.13.	FK için pH=3,5'de ΔH_{ads}° değerleri.....	113
Çizelge 4.14.	VM için pH=3,5'de ΔH_{ads}° değerleri	114
Çizelge 4.15.	pH=7,0'da ΔG_{ads}° değerleri.....	114
Çizelge 4.16.	pH=7,0'da ΔS_{ads}° değerleri	115
Çizelge 4.17.	MO için pH=7,0'da ΔH_{ads}° değerleri	115
Çizelge 4.18.	FK için pH=7,0'da ΔH_{ads}° değerleri.....	116
Çizelge 4.19.	VM için pH=7,0'da ΔH_{ads}° değerleri	116
Çizelge 4.20.	pH=9,0'da ΔG_{ads}° değerleri.....	117
Çizelge 4.21.	pH=9,0'da ΔS_{ads}° değerleri	117
Çizelge 4.22.	MO için pH=9,0'da ΔH_{ads}° değerleri	118
Çizelge 4.23.	FK için pH=9,0'da ΔH_{ads}° değerleri.....	118
Çizelge 4.24.	VM için pH=9,0'da ΔH_{ads}° değerleri	119
Çizelge 4.25.	pH=3,5'da E_a^* değerleri	121
Çizelge 4.26.	pH=7,0'da E_a^* değerleri	122
Çizelge 4.27.	pH=9,0'da E_a^* değerleri	123
Çizelge 4.28.	298 K'de, pH'sı 3,5'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	129
Çizelge 4.29.	313 K'de, pH'sı 3,5'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\dot{I}E$)	133
Çizelge 4.30.	333 K'de, pH'sı 3,5'da korozyon potansiyeli, (E_{kor});	

	korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	137
Çizelge 4.31.	298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	139
Çizelge 4.32.	313 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	143
Çizelge 4.33.	333 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	147
Çizelge 4.34.	298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	151
Çizelge 4.35.	313 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	156
Çizelge 4.36.	333 K’de, pH’sı 9,0 olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	161
Çizelge 4.37.	pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri.....	168
Çizelge 4.38.	pH=3,5’de ΔS_{ads}° değerleri	168
Çizelge 4.39.	MO için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri	169
Çizelge 4. 40.	FK için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri.....	169
Çizelge 4.41.	VM için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri	170
Çizelge 4.42.	pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri.....	170
Çizelge 4. 43.	pH=7,0’da ΔS_{ads}° değerleri	171
Çizelge 4.44.	MO için pH=7,0’da ΔH_{ads}° değerleri	171

Çizelge 4.45.	FK için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri.....	172
Çizelge 4.46.	VM için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri	172
Çizelge 4.47.	pH=9,0'da ΔG°_{ads} değerleri.....	173
Çizelge 4.48.	pH=9,0'da ΔS°_{ads} değerleri	173
Çizelge 4.49.	MO için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri	174
Çizelge 4.50.	FK için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri.....	174
Çizelge 4.51.	MO için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri	175
Çizelge 4.52.	pH=3,5'da E_a^* değerleri	176
Çizelge 4.53.	pH=7,0'da E_a^* değerleri	177
Çizelge 4.54.	pH=9,0'da E_a^* değerleri	178
Çizelge 4.55.	298 K'de, pH'sı 3,5'de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	186
Çizelge 4.56.	313 K'de, pH'sı 3,5'de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	191
Çizelge 4.57.	333 K'de, pH'sı 3,5'de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitor etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	196
Çizelge 4.58.	298 K'de, pH'sı 7,0'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitor etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	199
Çizelge 4.59.	313 K'de, pH'sı 7,0'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitor etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	204
Çizelge 4.60.	333 K'de, pH'sı 7,0'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	210

Çizelge 4.61.	298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	214
Çizelge 4.62.	313 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	218
Çizelge 4.63.	333 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)	222
Çizelge 4.64.	pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri	229
Çizelge 4.65.	pH=3,5’da ΔS_{ads}° değerleri	229
Çizelge 4. 66.	MO için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri	230
Çizelge 4.67.	FK için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri	230
Çizelge 4.68.	VM için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri	231
Çizelge 4. 69.	pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri	231
Çizelge 4.70.	pH=7,0’da ΔS_{ads}° değerleri	232
Çizelge 4.71.	MO için pH=7,0’da ΔH_{ads}° değerleri	232
Çizelge 4.72.	FK için pH=7,0’da ΔH_{ads}° değerleri	233
Çizelge 4.73.	pH=9,0’da ΔG_{ads}° değerleri	234
Çizelge 4.74.	pH=9,0’da ΔS_{ads}° değerleri	234
Çizelge 4.75.	MO için pH=9,0’da ΔH_{ads}° değerleri	235
Çizelge 4.76.	FK için pH=9,0’da ΔH_{ads}° değerleri	235
Çizelge 4. 77.	VM için pH=9,0’da ΔH_{ads}° değerleri	236
Çizelge 4. 78.	pH=3,5’da E_a^* değerleri	237
Çizelge 4.79.	pH=7,0’da E_a^* değerleri	238
Çizelge 4.80.	pH=9,0’da E_a^* değerleri	239
Çizelge 4.81.	298 K’de, pH’sı 3,5’de olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör	

	etkinlik yüzdesi (İE)	248
Çizelge 4.82.	313 K’de, pH’sı 3,5’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi(İE)	253
Çizelge 4.83.	333 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	257
Çizelge 4.84.	298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	262
Çizelge 4.85.	313 K’de, pH’sı 7,0’da olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	268
Çizelge 4.86.	333 K’de, pH’sı 7,0’da olan korozyon potansiyeli (E_{kor}); korozyon Akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	274
Çizelge 4.87.	298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	280
Çizelge 4.88.	313 K’de, pH’sı 9,0’da olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	284
Çizelge 4.89.	333 K’de, pH’sı 9,0 korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)	290
Çizelge 4.90.	pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri	297
Çizelge 4.91.	pH =3,5 ‘de ΔS_{ads}° değerleri	297
Çizelge 4.92.	MO için pH =3,5 ‘de ΔH_{ads}° değerleri	298

Çizelge 4.93.	FK için pH =3,5 ‘de ΔH°_{ads} değerleri.....	298
Çizelge 4.94.	VM için pH =3,5 ‘de ΔH°_{ads} değerleri	299
Çizelge 4.95.	pH=7,0’da ΔG°_{ads} değerleri.....	299
Çizelge 4.96.	pH =7,0’da ΔS°_{ads} değerleri	300
Çizelge 4.97.	MO için pH =7,0’da ΔH°_{ads} değerleri	300
Çizelge 4.98.	FK için pH =7,0’da ΔH°_{ads} değerleri.....	301
Çizelge 4.99.	VM için pH =7,0 ‘da ΔH°_{ads} değerleri	301
Çizelge 4.100.	pH=9,0’da ΔG°_{ads} değerleri.....	302
Çizelge 4.101.	pH =9,0 ‘da ΔS°_{ads} değerleri.....	302
Çizelge 4.102.	MO için pH =9,0 ‘da ΔH°_{ads} değerleri.....	303
Çizelge 4.103.	FK için pH =9,0 ‘da ΔH°_{ads} değerleri	303
Çizelge 4.104.	VM için pH =9,0’da ΔH°_{ads} değerleri.....	304
Çizelge 4.105.	pH=3,5’da E_a^* değerleri	305
Çizelge 4.106.	pH=7,0’da E_a^* değerleri	306
Çizelge 4.107.	pH=9,0’da E_a^* değerleri	307



ŞEKİLLER DİZİNİ

SAYFA

Şekil 1.1.	Vakumda metal bir yüzeyin yüklü arayüzü.	8
Şekil 1.2.	Su moleküllerinin dipol yapısı ile dış Helmholtz planı (OHP) ile sınırlanmış solvatlanmış katyonlar.....	9
Şekil 1.3.	IHP ve OHP'nin ilişkili iyonlarıyla birlikte konumu.	10
Şekil 1.4.	Yüklü çift katman için elektrik devresi eşdeğeri.	11
Şekil 1.5.	Demir + Su Sistemi için Pourbaix Diyagramı.	12
Şekil 1.6.	Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu.	13
Şekil 1.7.	Akım-Potansiyel eğrisi.	16
Şekil 1.8.	(a) Metal/Lugin kapiler arasındaki dirençler, (b) metal/çözelti ara yüzeyi için eşdeğer devre, (c) R_p ve R_t 'nin karşılaştırılması ($R_p = R_t (R_f + R_d + R_a + R_s)$ (R_s : çözelti direnci).....	17
Şekil 1. 9.	Çelik bağlantıda tek tip korozyon türünün gösterimi.	18
Şekil 1.10.	Çukur korozyon türünün görseli.....	19
Şekil 1. 11.	Çatlak korozyon türünün görseli.	19
Şekil 1. 12.	Intergranular korozyon türünün görseli.	20
Şekil 1. 13.	Gerilmeli korozyon çatlak başlangıcı.	21
Şekil 1.14.	Galvanik korozyon şematik gösterimi.	21
Şekil 1. 15.	Korozyon Türleri.	22
Şekil 1.16.	Korozyon sistemini gösteren Evans diyagramı.	23
Şekil 1.17.	İnhibisyon sürecinin şematik gösterimi.	25
Şekil 1. 18.	Langmuir adsorpsiyon izotermi.	30
Şekil 1.19.	MO (a), VM (b) ve FK (c)'nin yapısı.	36
Şekil 3.1.	0.125 mmol/L MO çözeltisi için çizilen Arrhenius doğrusu	56
Şekil 4.1.	VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	60
Şekil 4.2.	VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	60

Şekil 4.3.	FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	61
Şekil 4.4.	FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	61
Şekil 4.5.	FK için 298 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	62
Şekil 4.6.	FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	62
Şekil 4.7.	MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM). ...	63
Şekil 4.8.	MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	63
Şekil 4.9.	MO için 298 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	64
Şekil 4.10.	MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	64
Şekil 4.11.	VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	66
Şekil 4.12.	VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	67
Şekil 4.13.	VM için 313 K’de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	67
Şekil 4.14.	VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	68
Şekil 4.15.	FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	68
Şekil 4.16.	FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	69
Şekil 4.17.	FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	69
Şekil 4.18.	FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	70

Şekil 4. 19.	MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	70
Şekil 4. 20.	VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	73
Şekil 4.21.	FK için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	73
Şekil 4.22.	FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	74
Şekil 4.23.	FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	74
Şekil 4.24.	FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	75
Şekil 4. 25.	MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	75
Şekil 4.26.	MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	76
Şekil 4.27.	VM için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	78
Şekil 4.28.	VM için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	78
Şekil 4.29.	VM için 298 K’de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	79
Şekil 4.30.	VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	79
Şekil 4.31.	FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	80
Şekil 4.32.	MO için 298 K’de Akım -Potansiyel eğrisi.	80
Şekil 4.33.	VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeline - Zaman eğrisi (a; %3, NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	82
Şekil 4.34.	VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	82
Şekil 4.35.	VM için 313 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM,	

	c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	83
Şekil 4.36.	VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	83
Şekil 4.37.	FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	84
Şekil 4.38.	FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	84
Şekil 4.39.	MO için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	85
Şekil 4.40.	MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	85
Şekil 4.41.	MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	86
Şekil 4.42.	VM için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	87
Şekil 4.43.	VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	88
Şekil 4.44.	FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	88
Şekil 4.45.	FK için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	89
Şekil 4.46.	FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	89
Şekil 4.47.	MO için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	90
Şekil 4.48.	MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	90
Şekil 4.49.	MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	91
Şekil 4.50.	MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	91

Şekil 4.51.	VM için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	93
Şekil 4.52.	VM için 298 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	94
Şekil 4.53.	VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	94
Şekil 4.54.	FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	95
Şekil 4.55.	FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	95
Şekil 4.56.	MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	96
Şekil 4.57.	MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	96
Şekil 4.58.	VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	98
Şekil 4. 59.	VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	98
Şekil 4.60.	FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	99
Şekil 4.61.	FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	99
Şekil 4.62.	FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	100
Şekil 4.63.	VM için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	101
Şekil 4.64.	FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125mM).	102
Şekil 4.65.	FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	102
Şekil 4.66.	MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	103

Şekil 4.67.	MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	103
Şekil 4.68.	VM için Adsorpsiyon İzotermi.	107
Şekil 4.69.	FK için Adsorpsiyon İzotermi.	108
Şekil 4.70.	MO için Adsorpsiyon İzotermi.	109
Şekil 4.71.	pH=3,5'de VM(a), FK(b), MO(c) için Arrhenius Doğruları.	120
Şekil 4.72.	pH=7,0'da VM(a), FK(b), MO(c) için Arrhenius Doğruları.	121
Şekil 4.73.	pH= 9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	122
Şekil 4.74.	VM için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen inhibisyon etkinliği.	124
Şekil 4.75.	298 K'de %3,5 NaCl (a), %3,5 NaCl + 0,125 mmol /L VM (b) içeren çözeltilerde elde edilen SEM görüntüleri.	125
Şekil 4.76.	VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	126
Şekil 4.77.	VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	127
Şekil 4.78.	VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	127
Şekil 4.79.	VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	128
Şekil 4.80.	FK için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	128
Şekil 4.81.	VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	130
Şekil 4.82.	VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	130
Şekil 4.83.	VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	131
Şekil 4.84.	FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	131

Şekil 4.85.	FK için 313 K'de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	132
Şekil 4.86.	MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	132
Şekil 4.87.	VM için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	134
Şekil 4.88.	VM için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	134
Şekil 4.89.	VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	135
Şekil 4.90.	FK için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	135
Şekil 4.91.	FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	136
Şekil 4.92.	VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	138
Şekil 4.93.	FK için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	138
Şekil 4.94.	MO için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	139
Şekil 4.95.	VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	140
Şekil 4.96.	FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	141
Şekil 4.97.	FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	141
Şekil 4.98.	MO için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	142
Şekil 4.99.	MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	142
Şekil 4.100.	FK için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	144
Şekil 4.101.	FK için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM,	

c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM)	144
Şekil 4.102. FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	145
Şekil 4.103. MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	145
Şekil 4.104. MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	146
Şekil 4.105. MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	146
Şekil 4.106. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	148
Şekil 4.107. FK için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	148
Şekil 4. 108.FK için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	149
Şekil 4.109. MO için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	149
Şekil 4.110. MO için 298 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	150
Şekil 4.111. VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	152
Şekil 4.112. VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	152
Şekil 4.113. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	153
Şekil 4.114. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	153
Şekil 4.115. FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	154
Şekil 4.116. MO için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	154

Şekil 4.117. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	155
Şekil 4.118. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	155
Şekil 4.119. VM için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	157
Şekil 4.120. VM için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	157
Şekil 4.121. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	158
Şekil 4.122. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	158
Şekil 4.123. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	159
Şekil 4.124. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	159
Şekil 4.125. MO için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	160
Şekil 4.126. VM için Adsorpsiyon İzotermi.	164
Şekil 4.127. FK için Adsorpsiyon İzotermi.	165
Şekil 4.128. MO için Adsorpsiyon İzotermi.	167
Şekil 4.129. pH=3,5’de VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	176
Şekil 4.130. pH=7,0’da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	177
Şekil 4.131. pH= 9,0’da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	178
Şekil 4.132. VM için pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen İnhibisyon etkinliği.	180
Şekil 4.133. 298 K’de pH= 9,0’ da, %3,5 NaCl (a) %3,5 NaCl + 0,125 mmol/L VM (b) elde edilen Sem görüntüleri.	181
Şekil 4.134. VM için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	182

Şekil 4.135. VM için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	183
Şekil 4.136. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	183
Şekil 4.137. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	184
Şekil 4.138. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	184
Şekil 4. 139. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	185
Şekil 4.140. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	185
Şekil 4.141. VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	187
Şekil 4.142. VM için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	188
Şekil 4.143. VM için 313 K’de edilen Akım - Potansiyel eğrisi.	188
Şekil 4.144. FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	189
Şekil 4.145.FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	189
Şekil 4.146. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).....	190
Şekil 4.147. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	190
Şekil 4.148. VM için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	192
Şekil 4.149. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	193
Şekil 4.150. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	193
Şekil 4.151. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM,	

c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	194
Şekil 4.152. FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	194
Şekil 4.153. MO için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	195
Şekil 4.154. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).	197
Şekil 4.155. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	197
Şekil 4.156. FK için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM). .	198
Şekil 4.157. MO için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	198
Şekil 4.158. VM için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	200
Şekil 4.159. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	200
Şekil 4.160. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	201
Şekil 4.161. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	201
Şekil 4.162. FK için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	202
Şekil 4.163. FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	202
Şekil 4.164. MO için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).....	203
Şekil 4.165. MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	203
Şekil 4.166. MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	204
Şekil 4.167. VM için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi	

(a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	205
Şekil 4.168. VM için 333 K’de edilen Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	206
Şekil 4.169. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	206
Şekil 4.170. FK için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).	207
Şekil 4.171. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	207
Şekil 4.172. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	208
Şekil 4.173. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	208
Şekil 4.174. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	209
Şekil 4.175. VM için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	211
Şekil 4.176. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	211
Şekil 4.177. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM).	212
Şekil 4.178. FK için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).	212
Şekil 4.179. FK için 298 K’de edilen Akım - Potansiyel eğrisi.....	213
Şekil 4.180. MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	213
Şekil 4.181. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	214
Şekil 4.182. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	215
Şekil 4.183. FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM,	

c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	216
Şekil 4.184. FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	216
Şekil 4.185. MO için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).	217
Şekil 4.186. MO için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	217
Şekil 4.187. MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	218
Şekil 4.188. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	219
Şekil 4.189. FK için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).	220
Şekil 4.190. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b;0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	220
Şekil 4.191. FK için 313 K'de Akım- Potansiyel eğrisi.	221
Şekil 4.192. MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	221
Şekil 4.193. MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	222
Şekil 4.194. VM için Adsorpsiyon İzotermi.	225
Şekil 4.195. FK için Adsorpsiyon İzotermi.	227
Şekil 4.196. MO için Adsorpsiyon İzotermi.	228
Şekil 4. 197. pH=3,5'de VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	237
Şekil 4.198. pH=7,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	238
Şekil 4.199. pH=9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.	239
Şekil 4.200. VM için pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen İnhibisyon etkinliği.	241
Şekil 4.201. 298 K'de pH= 9,0'da, 0,1 M Na ₂ SO ₄ (a) 0,1 M Na ₂ SO ₄ + 0,125 mmol/L VM (b) elde edilen sem görüntüleri.	242

Şekil 4.202. VM için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	243
Şekil 4.203. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	244
Şekil 4.204. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	244
Şekil 4.205. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	245
Şekil 4.206. FK için 298 K’de Akım -Potansiyel eğrisi.	245
Şekil 4.207. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	246
Şekil 4.208. MO için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	246
Şekil 4.209. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	247
Şekil 4.210. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	249
Şekil 4.211. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	249
Şekil 4.212. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	250
Şekil 4.213. FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	250
Şekil 4.214. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	251
Şekil 4.215. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	251
Şekil 4.216. MO için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	252

Şekil 4.217. MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	252
Şekil 4. 218. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	254
Şekil 4.219. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	254
Şekil 4.220. FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	255
Şekil 4.221. MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	255
Şekil 4.222. MO için 333 K'de Akım-Potansiyel eğrisi.	256
Şekil 4.223. VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	258
Şekil 4. 224. VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	258
Şekil 4.225. VM için 298 K'de Akım -Potansiyel eğrisi.	259
Şekil 4.226. FK için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	259
Şekil 4.227. FK için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	260
Şekil 4.228. MO için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	260
Şekil 4.229. MO için 298 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	261
Şekil 4.230. MO için 298 K'de Akım- Potansiyel eğrisi.	261
Şekil 4.231. VM için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	263
Şekil 4.232. VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM).	263
Şekil 4.233. VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM,	

c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	264
Şekil 4.234. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	264
Şekil 4.235. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	265
Şekil 4.236. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	265
Şekil 4.237. FK için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	266
Şekil 4.238. FK için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.	266
Şekil 4.239. MO için 313 K'de Akım-Potansiyel eğrisi.	267
Şekil 4.240. VM için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	269
Şekil 4.241. VM için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	269
Şekil 4.242. VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	270
Şekil 4.243. VM için 333 K'de Akım-Potansiyel eğrisi.	270
Şekil 4.244. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	271
Şekil 4.245. FK için 333 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	271
Şekil 4.246. FK için 333 K'de Akım-Potansiyel eğrisi.	272
Şekil 4.247. MO için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	272
Şekil 4.248. MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).....	273

Şekil 4.249. MO için 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	273
Şekil 4.250. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	274
Şekil 4.251. VM 298 K ‘de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).276	
Şekil 4.252. VM 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	276
Şekil 4.253. FK 298 K ‘de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).277	
Şekil 4.254. FK 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	277
Şekil 4.255. FK 298 K’ de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100mM, e;0,125 mM).	278
Şekil 4.256. FK 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	278
Şekil 4.257. MO 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.	279
Şekil 4.258. VM 313 K’ de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	281
Şekil 4.259. VM 313 K’ de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	281
Şekil 4.260. VM 313 K’ de Akım - Potansiyel eğrisi.	282
Şekil 4.261. FK için 313 K’ de Akım - Potansiyel eğrisi.	282
Şekil 4. 262. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125 mM).	283
Şekil 4.263. MO için 313 K’ de Akım - Potansiyel eğrisi.	283
Şekil 4.264. VM 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).285	
Şekil 4.265. VM 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	285
Şekil 4.266. VM 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125 mM).	286

Şekil 4.267. VM 333 K 'de Akım-Potansiyel eğrisi.	286
Şekil 4.268. FK için 333K 'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	287
Şekil 4.269. FK için 333 K 'de Akım - Potansiyel eğrisi.	287
Şekil 4.270. MO için 333 K' de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	288
Şekil 4.271. MO için 333 K' de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125mM).	288
Şekil 4.272. MO için 333 K' de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na ₂ SO ₄ , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).	289
Şekil 4.273. MO için 333 K' de Akım-Potansiyel eğrisi.	289
Şekil 4.274. VM için adsorpsiyon izotermi.	293
Şekil 4.275. FK için adsorpsiyon izotermi.	294
Şekil 4.276. MO için adsorpsiyon izotermi.	296
Şekil 4.277. pH=3,5'da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.	305
Şekil 4.278. pH=7,0'da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.	306
Şekil 4.279. pH=9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.	307
Şekil 4.280. VM + 0,1 M Na ₂ SO ₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK + 0,1 M Na ₂ SO ₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO + 0,1 M Na ₂ SO ₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için inhibisyon etkinliği değerleri.	309
Şekil 4. 281. pH= 3,5' de 0,1 M Na ₂ SO ₄ (a), 0,1 M Na ₂ SO ₄ + 0,125 mmol/L MO (b)elde edilen sem görüntüleri.....	310

SİMGELER VE KISALTMALAR

θ	: Kaplama Kesri
ΔG_{ads}°	: Adsorpsiyon serbest enerji
ΔH_{ads}°	: Adsorpsiyon ısısı
ΔS_{ads}°	: Adsorpsiyon entropisi
AC	: Alternatif akım
AFM	: Atomik kuvvet mikroskopu
C_{dl}	: Çift tabaka kapasitansı
CHI	: Elektrokimyasal analizör
CPE	: Sabit faz elementi
Cu	: Bakır
CV	: Dönüşümlü voltametre
E	: Potansiyel
E_a	: Aktivasyon enerjisi
EIS	: Elektrokimyasal impedans spektroskopisi
FK	: Fenol Kırmızısı
Hz	: Hertz
I	: Akım
İE	: İnhibisyon etkinliği
i_{kor}	: Korozyon Akım Yoğunluğu
K_{ads}	: Adsorpsiyon denge sabiti
LPR	: Lineer polarizasyon direnci
MO	: Metil Oranj
n	: Sabit faz katsayısı
R	: Direnç
R_f	: Film direnci
R_p	: Polarizasyon direnci

R_s : Çözelti direnci
 R_t : Birikinti direnci
SEM : Taramalı elektron mikroskopu
 T : Sıcaklık
UV-Vis: Ultraviyole-Görünür
VM : Variamin Mavisi



1. GİRİŞ

Bakır ve alaşımları, eldesi ve ekonomikliği nedeniyle teknikte geniş kullanım alanlarına sahiptir. Ancak, en fazla korozyona uğrayan yapı malzemelerinin de başında gelmektedir. Bu metallerle ilgili literatürde verilen korozyon çalışmaları, daha çok bu metallerin anodik polarizasyon davranışları üzerinde yoğunlaşmıştır. Bu çalışmalara göre; nötr ve zayıf bazik ortamlarda metal yüzeyinde CuO ve 2 Cu(OH) 'lerin oluşma olasılığının yüksek olduğu belirtilmektedir. Bakır oksit ve hidroksit filmlerinin oluşması klorürlü ortamda bakırın elektrokimyasal davranışlarının düzensizliğini artırır. Literatürde klorür iyonu içeren ortamlarda bakırın çözünme tepkimesinin aşağıdaki şekilde olabileceği önerilmiştir:



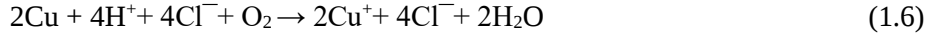
Katodik tepkimeyi ise oksijenin indirgenmesi;



Bakırın NaCl çözeltisinde katodik çözünmesi aşağıdaki gibidir:



NaCl çözeltisindeki toplam bakır korozyon reaksiyonu:



Oluşturur (Zhongfang ve ark. 2013). Metal yüzeyindeki korozyon ürünlerinin oluşturduğu film anodik çözünme ve katodik olarak oksijen moleküllerinin indirgenme hızını azaltabilmektedir. Pek çok araştırmada, Cl^- iyonu içeren çözeltilerde, meydana gelen korozyon ürünü olarak bakırın bakır kompleksi şeklinde bulunduğu aktarılmaktadır. Anodik çözünme hızının CuCl_2^- 'nin çözeltiye difüzlenerak taşınmasıyla orantılı olduğu, düşük Cl^- iyonu ihtiva eden ortamlarda başlangıçta CuCl oluşabileceği daha sonra CuCl_2^- halinde çözünmenin artacağı, yüzeyde çözünmeyen korozyon ürünlerinin bulunmasının oksijen indirgenmesini önleyemeyeceği açıklanmıştır. NaCl içeren alkali (pH=9,0) çözeltilerde bakırın anodik polarizasyonla (-1,500 V + 0,150 V) elde edilen akım - potansiyel grafiklerinde en az üç önemli potansiyel aralığı olduğu belirtilmiştir. 1'nci potansiyel aralığında OH^- ve Cl^- iyonlarının adsorpsiyonu sonucu metal yüzeyi bir film ile kapladığı, 2'nci potansiyel aralığında yüzeydeki CuOH_{ads} ve CuCl_{ads} 'nin çözünerek elektrolit fazına geçmesi sonucu bakırın CuCl_2^- halinde aşındığı ve 3'nci potansiyel aralığında ise artık aşınan metal yüzeyinde çukurcukların açığa çıktığı belirtilmektedir (Çelik, 2016).

Yumuşak çeliğin korozyonu %3,5 NaCl çözeltisindeki inhibitör varlığında demir için anodik çözünme reaksiyonu klorür anyonunun varlığında şu şekilde gösterilir:



Diğer yandan katodik yönde H_2 gazı çıkışı şöyle gösterilir;



Genel olarak organik bir inhibitörün metal/çözelti ara yüzeyinde adsorpsiyonu çözelti içerisindeki organik inhibitörün metal yüzeyindeki su molekülleri ile yer değiştirmesi aşağıda gösterilen şekilde gerçekleşmektedir (Aljourani ve ark, 2009).



Sulu ortamlarda H^+ ve OH^+ iyonları doğal olarak bulunmaktadır.

Bu iyonlar metal yüzeyinde adsorplanarak metalle etkileşirler ve asitli ortamda asit korozyonunu, kuvvetli bazik ortamlarda alkali korozyonuna sebep olurlar.

Ortam H^+ ve OH^+ iyonları yanı sıra SO_4^{-2} iyonlarını da ihtiva ediyor ise bu iyonların çeşitli metallerin korozyonuna etkileri farklılık göstermektedir. SO_4^{-2} iyonları ortamın pH'ına bağlı olarak çözeltide farklı oranlarda bulunur;



pH'nın yükseltilmesi ile SO_4^{-2} derişimi artmaktadır. Nötür veya nötür yakın ortamlarda sülfat iyonu Fe, Cu, Zn ve pirinçe etki etmemektedir. Diğer taraftan sabit sıcaklık ve < 5 pH da sülfat iyonları bu metallerin korozyonunu bir miktar

hızlandırmaktadır (Kılınççeker, 1998).

Korozif ortama boyar made eklenidği zaman (VM; MO ve FK) bakır ve yumuşak çelik metallerinin korozyonu yavaşlamaktadır. Bu boyar maddelerin koruyucu özellikleri ortamın pH, sıcaklığına ve de konsantrasyonuna bağlı olarak değişiklik göstermektedir.

Demir ve bakırın Cl^- , SO_4^{2-} ve Cl^- artı boyar madde, SO_4^{2-} artı boyar madde içeren sulu ortamlardaki korozyonunun anlaşılması için bu metallerin saf su içindeki termodinamik davranışlarının bilinmesi gereklidir. Termodinamik davranışlar korozyonun gerçekleşip gerçekleşmeyeceği durumlar için bilgi vermektedir. Bu metallerin termodinamik davranışları 25 °C de saf su içinde Çizelge 1.1' de verilmiştir (Pourbaix, 1966):

Çizelge 1.1. 298 K'de, Demir ve Bakırın Saf Su içindeki Potansiyel ve pH'a bağlı Termodinamik Davranışları

Metalin Türü	E (Volt)	pH	Termodinamik Eğilim
Fe	-0,6 - +1,6	0-2	Korozyona uğrayabilir
Fe	-1,0 - -0,9	12,5-14	Korozyona uğrayabilir
Fe	+0,2 - +1,2	6-12	Pasifleşebilir
Fe	-1,6 - -1,0	0-12	Korozyona uğramayabilir
Cu	+0,1 - +2,2	0-7	Korozyona uğrayabilir
Cu	0 - +2,2	12,5-14	Korozyona uğrayabilir
Cu	-0,1 - +2,2	7-12,5	Pasifleşebilir
Cu	-1,8 - +0,6	0-14	Korozyona uğramayabilir

Bakır ve demir ile ilgili literatürde verilen korozyon çalışmaları, bu metallerin anodic davranışları üzerinde yoğunlaşmış olup boyar madde içeren ortamlardaki elektrokimyasal davranışları farklı derişim (0,025 - 0,125 mM), farklı sıcaklıklarda (298; 313; 333 K) ve pH larda (pH=4,0 - 9,0) boyar madde içeren çözeltilerde yapılmıştır.

Boyar maddelerin hibitor özeliği üzerine çok fazla araştırma yoktur.

Yapılarında bulunan fonksiyonel gruplar nedeni ile farklı konsantrasyon, pH ve sıcaklıklarda etkileri yani inhibitor özeliği gösterip göstermedikleri detaylı

bilinmemektedir.

Bu nedenle Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve Metil Oranj (MO)'ın bakır ve yumuşak çelik metallerine klorür ve sülfatlı ortamlardaki korozyon etkileri farklı sıcaklık (298; 313; 333 K), farklı konsantrasyon (0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM) ve pH'da (4,0; 7,0; 9,0) araştırılmıştır. Bu koşullarda bakır ve yumuşak çeliğin korozyonuna etkisi saptanmaya çalışılmıştır.

1.1. Metallerin Korozyonu

Yıllardır, deniz suyundaki metallerin korozyon oranları hakkında çok sayıda çalışma yapılmıştır. Çeşitli çalışmalardan gemi enkazlarında metal korozyonunu etkileyen başlıca faktörleri belirlemek artık mümkün olmuştur. Bu faktörler, metal bileşimi, su bileşimi, sıcaklık, deniz büyümesi, deniz yatağı bileşimi, diğer batık bileşenlerine göre nesnelerin konumu, deniz yatağının altındaki gömme derinliği ve su hareketinin boyutu olur. Tüm bu karmaşık ve sıklıkla birbiriyle ilişkili faktörlerin birleşik etkisi, her bir nesnenin korozyon geçmişini değerlendirmeye çalışırken veya geri kazanılmış durumunu değerlendirirken ayrı ayrı dikkate alınması gerektiğini ortaya koyar. Korozyon ürünleri şartlara göre metal yüzeyinden hemen uzaklaşabilir ya da tutunabilir. Ürünlerinin yüzeyden hemen uzaklaşması, korozyonun devam etmesini göstermektedir. Ürünlerin yüzeyde tutunması durumunda korozyonun vakitle azalması ya da tamamıyla durması söz konusu olabilmektedir. Metal yüzeyinde meydana gelen koruyucu oksitlerin, çevre ve metaller arasında yalıtkan olma durumları kaynaklı korozyonu önlemeleri söz konusu olmaktadır. Böylelikle çevresi ile temas kuramayan metal tepkimeye giremez. Diğer taraftan yüzeyi tamamıyla kapatamayan poröz yapıli oksitlerde oluşabilmektedir. Bu durumda, oksitin porozitesine bağlı olarak, korozyon belirli oranda önlense de tamamıyla bitmez (Erbil, 1984). Korozyonu önlemede farklı yöntemler vardır. Bunlardan birisi de inhibitör kullanımı olmaktadır. İnhibitör, ortama az ya da çok eklendiği vakit korozyon süratini azaltan malzemelerdir. Bu malzemelerin fazlası kez ortamda değişmeden kalabilir. İşlevleri, metal yüzeyini kapatarak metal/ortam ara yüzeyinin

direncini yükseltmektir. Bazı inhibitörler yüzeyi sadece örter, bazıları sadece kapatıcı bir tabakanın meydana gelmesini sağlar, bazıları da korozyon bileşenlerin yüzeydeki etkinliğini azaltmaktadır. İnhibitör olarak söylenen azot ve kükürt içerikli başlıca bileşikler; aminler, piridinler, tiyollerden oluşmaktadır.

İnhibitörler, anodik ya da katodik tepkimeler üstüne etkisi, yüzeyde adsorplandığında doğrudan ya da dolaylı etki etmesi, etkime mekanizması, oksitleyici olup olmaması, organik ya da inorganik olması ve ortamda yeterli miktarda bulunmadığı zaman tehlikeli olup olmaması gibi etmenler göz önüne alınarak sınıflandırılmışlardır (Üneri, 1984).

Çalışmanın Amacı: Bu çalışmada, yumuşak çelik ve bakırın sırası ile %3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamındaki korozyon davranışlarına; farklı derişim, pH ve sıcaklıklardaki, metil oranj, fenol kırmızısı ve variamin mavisinin inhibitör etkileri elektrokimyasal yöntemler ve SEM analizleri ile araştırılmıştır. Adsorpsiyon izoterm türünün belirlenmesi, toksik özelliği olmayan ve uygulamaya yönelik bir inhibitörün bulunması amaçlanmıştır.

1.2. Korozyonun Mekanizması

Korozyonun mekanizması sulu ortamlarda elektrokimyasal bir pilin mekanizmasıyla aynıdır. Bir korozyon olayının düzeneğini detaylı olarak inceleyebilmek amacıyla alttaki basamakları incelendiğinde:

1) Elektrokimyasal pil düzeneğinde yürüyen korozyon reaksiyonunun anot ve katot reaksiyonları ayrı ayrı ele alınır. Anotta çözünen metalin çözünme miktarı Faraday yasalarına uygun olarak yürümektedir. Çözünen kütle ile elektrokimyasal pil mekanizmasına göre yürüyen hadiselerle bağlantılı olmaktadır.

2) Pil düzeneğine göre yürüyen anot ve katot reaksiyonlarının enerji ilişkilerinin bilinmesi şarttır. Bir reaksiyonun kendi kendine yürümesi reaksiyon serbest enerjisinin (ΔG_{ads}°) işaretine bağlı olarak değişmektedir. Negatif işaretli bulunduğu koşullarda mutlak değerinin büyüklüğü oranında, reaksiyon kendi

kendine yürüme tarafında heveslidir.

3) Termodinamik olarak olası olan korozyon reaksiyonlarının son olarak kinetiğini araştırmak gerekir.

Termodinamik araştırmalar neticesi bir metalin bağımsızlık koşullarında bulunduğu belirlenir ise, korozyon reaksiyonu termodinamik olarak olanak dışıdır.

Örneğin altın su içine daldırıldığında korozyona karşı bağımsızdır ve korozyona uğraması olası olmaz. Metalin pasif koşullarda bulunduğu keşfedilir ise, korozyon reaksiyonu termodinamik olarak olanaklı olur, ancak korozyon sürati o kadar küçüktür ki korozyona uğramadığı algısı oluşabilir. Kromun oksitleyici bir asit içine daldırılması halindeki durum buna ilk örnek verilebilir. (Erbil, 1985).

1.3. Korozyonun Termodinamiği

Korozyonun termodinamik yönleri ve daha genel olarak elektrokimyası oldukça karmaşıktır, ancak bunların arkasındaki itici güçleri anlamak için çok önemli bir yöntemdir. Elektrokimya ve termodinamik kavram ve teorileri üzerine çok sayıda mükemmel metinler mevcuttur, ancak çok azı özellikle korozyonun elektrokimyasal yönlerine odaklanmıştır.

Malzemedan bağımsız olarak hemen hemen her yüzey veya arayüz dikkate alındığında, net bir elektrik yüküne sahip olmaktadır. Örneğin metalleri düşünelim; metalik bağ, değerlik elektronlarının paylaşımı ile karakterize edilir. Çok sayıda metalik çekirdek arasında Yüzeyde, bir vakum varlığında, değerlik elektronları hareketli kalacak ancak artık hareket etmeyecektir. Yüzeyin ötesinde paylaşılır, ortalama olarak net bir negative yük ile sonuçlanmıştır. Metal içindeki yüzeye en yakın çekirdeklerin konumu ve yakın arayüz bölgesinde yük nütürlüğü gerekliliği nedeniyle net bir pozitif yük ortaya çıkacaktır. Bununla birlikte, metalin dışından bakıldığında arayüz net bir negatif yüke sahiptir. Bu, Şek. 1.1'de şematik ve basit olarak sunulmuştur.

<u>Metal</u>	<u>Vacuum</u>
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-
+	-

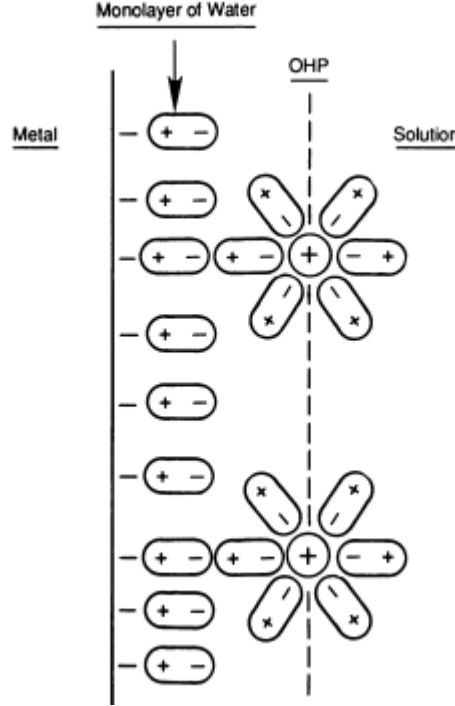
Şekil 1.1. Vakumda metal bir yüzeyin yüklü arayüzü.

Tabii ki, metal herhangi bir ortama girdikten sonra diğer bir boşluktan ziyade, o ortamdaki yüklü yüzey kimyasal türler ile etkileşime girer. Bununla birlikte, burada amaç, yüzey filmlerinin üretilmesiyle sonuçlanan çevreleri ile etkileşim ile ilgili olarak yüzeylerin rolünü göstermektir. Bir sonraki adım, bu negatif yüklü davranışı izlemek olmuştur.

Yüzeydeki yük konsantrasyonu, aslında ani bir birincil arayüz olarak mevcut değildir, fakat bir elektrik alanı olarak çevreye çok kısa bir mesafe boyunca uzanmaktadır. Asimetrik yapıda olan su moleküllerinin varlığında, su dipolünün pozitif ucu metal yüzey tarafından üretilen negatif elektrik alanına çekilmektedir. Bu, su dipolünün negatif kısmının çevreye bakmasına neden olmaktadır. Benzer şekilde, diğer kimyasal türlerin pozitif katyonları, yüklü arayüze çekilecektir. Katyonlar kendilerine ait güçlü bir elektrik alanına sahip olduklarından, pozitif kutup katyondan uzağa yönlendirilmiş, yüklü ara yüzeyde olduğu gibi yönlendirilmiş su dipolleri ile bir su kılıfı biriktirme eğiliminde olurlar.

Böylece katyonlar, kılıfın dışında net bir pozitif yük ile yönlendirilmiş bir su molekülleri solvatu ile çevrili yüklü bir arayüze yaklaşır. Yüklü yüzey su

moleküllerinden oluşan bir tek tabaka ile kaplı olduğundan, solvatlanmış (kılıflı) katyonlar, dış Helmholtz düzlemi (OHP) olarak adlandırılan yüklü arayüzden belirli bir mesafe ile sınırlı olur (Şekil 1.2).

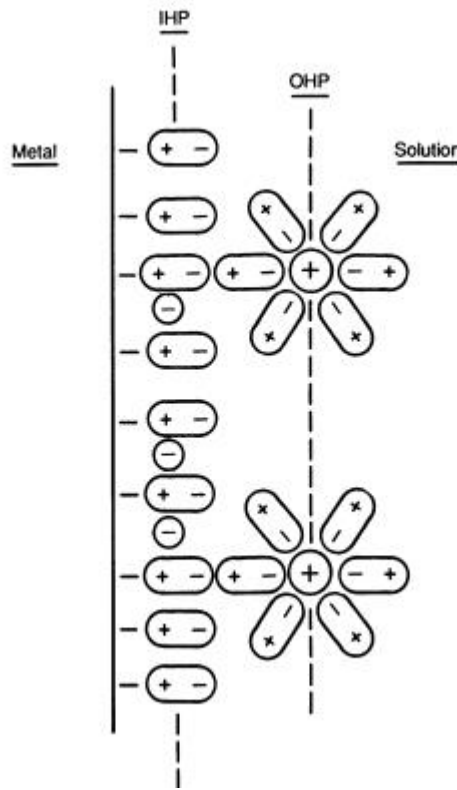


Şekil 1.2. Su moleküllerinin dipol yapısı ile dış Helmholtz planı (OHP) ile sınırlandırılmış solvatlanmış katyonlar.

Elektrostatik hususlar üzerinde derin bir etkiye sahip olsa da iyonların metal yüzeye çekilmesi, kimyasal gradyanlar, yüklü arayüzde temas yoluyla anyonların adsorpsiyonuna neden olabilmektedir. Bu nedenle, anyonların ve suyun bir kombinasyonu, iç Helmholtz olarak adlandırılan yüklü arayüze bitişik tek tabakayı işgal etmektedir. Şekil 1.3, yüklü arayüzün genel konseptini göstermektedir.

Metal yüzey her zaman üretecek sayısı ile karşılaştırıldığında aşırı elektron konsantrasyonu adsorbe edilmiş su molekülleri, böylece arayüzde aşırı bir yük yoğunluğu yaratmaktadır. Yük nötrülüğünü korumak için, katyonlar tarafından

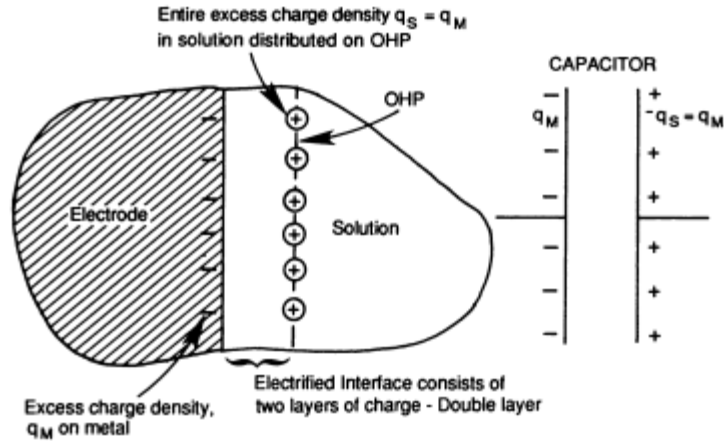
Üretilen benzer bir pozitif yük OHP'de birikmektedir. Bu iki yük katman genellikle çift katman olarak adlandırılır ve hem korozyonun elektrokimyas hem de korozyon filmlerinin oluşumu ve davranışı için oldukça önem arz eder. Kavramsal olarak, çift katman, bir plaka metal yüzeyin aşr yüküne ve diğeri OHP'deki katyonların dengeleyici yüküne eşdeğeri bir kapasitöre benzemektedir (Kılınççeker 2012; Bockris ve Reddy, 1977). (şekil 1.3).



şekil 1.3. IHP ve OHP'nin ilişkili iyonlarıyla birlikte konumu

Elektrokimyasal davranşın belirli yönlerini göstermek için elektrik devrelerini kullanımı avantajlıdır. Elbette, bu fazla yüklerin varlığı, yüklü metal ara yüzeyinde negatif olan ve OHP arttıkça daha pozitif hale karşılık gelen bir potansiyel üretmektedir. Bu, zel metal/elti kombinasyonunun özelliği olan çift katman boyunca bir elektrik alanı yaratmaktadır. Bu arayüzlerdeki potansiyel doğrudan

ölçülemez, ancak bu elektrotun tamamının potansiyeli referans veya standart elektrota karşı ölçülebilmektedir.



Şekil 1.4. Yüklü çift katman için elektrik devresi eşdeğeri.

1.4. Potansiyel-pH Diyagramları

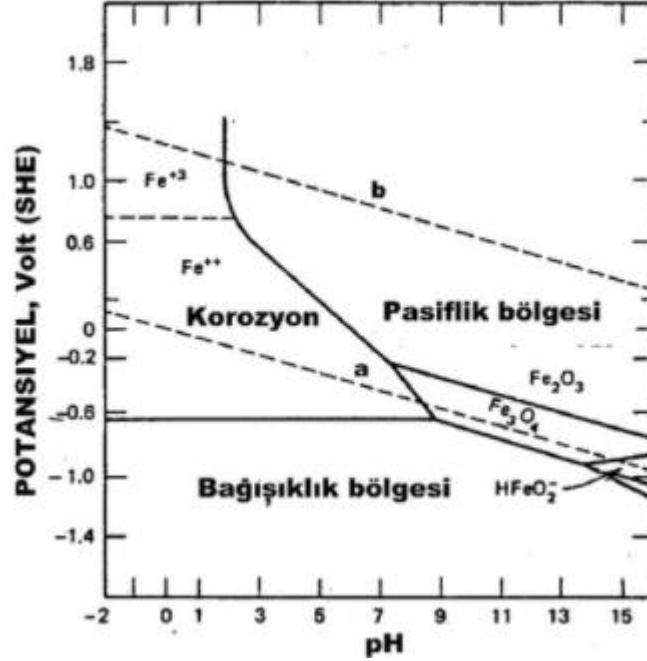
Elektrokimyasal reaksiyon amacıyla “potansiyel-iyon aktifliği” arasında Nernst bağıntısına göre bir temas kurulmaktadır. İyon aktifliği H^+ iyonlarının aktifliğini belirtiyorsa bu pH türünden belirtilmektedir. Bu halde “potansiyel-iyon aktifliği” yerine “potansiyel-pH” değişiminden söz edilebilir. Bir ortamda olması muhtemel çoğu reaksiyon olmasına bağlı olarak hepsini bir arada tasarlayabilmek amacıyla bir diyagram üstünde göstermek şart olmuştur.

Bu diyagramlar Pourbaix diyagramlarıdır. Korozyon bilminde olduğu kadar jeoloji ve jeokimya gibi alanlarda da geniş bir kullanım alanı sahip olmuştur.

Bu diyagramlar, metallerin korozyonunu tahmin etmek için yararlı bir araç sağlamaktadır. Ayrıca, katodik koruma durumunda olduğu gibi korozyonu azaltmak için bir sisteme uygulanabilecek değişiklikleri tahmin etmek ve korozyon ürünlerinin bileşimini tahmin etmek için kullanılmaktadır.

Bu diyagramların doğaları gereği termodinamik olduğu ve kinetik olarak genişletilemeyeceği belirtilmektedir. Potansiyel - pH diagramı metalin saf su

içindeki termodinamik davranışlarını ve denge bileşimini temsil ederken, korozyonun meydana geldiği birçok sistemde korozyon ürününün doğası farklıdır (Şekil 1.5).



Şekil 1.5. Demir + Su Sistemi için Pourbaix Diyagramı.

Saf metallere daha karmaşık ancak daha yaygın olarak kullanılan ve çoğu aşındırıcı olan alaşımlar için az sayıda E_H -pH diyagramı vardır.

Ortamlar sadece su içermez. Diğer kimyasal türlerin ve alaşımların dahil edilmesi, uygulama açısından daha gerçekçi olmakla birlikte, bu tür diyagramların oluşturulmasını çok daha karmaşık hale getirebilmektedir. Ancak, bilgisayarların yaygın kullanımıyla, birçok önemli sistem için Pourbaix diyagramları oluşturulabilmektedir (Perry, 2019). Birkaç korozyon filminin sıcaklığa bağlı olarak dengede olacağı görülebilmektedir.

Bu diyagramların bir başka dezavantajı, kullanılan pH'ın hesaplamalarda teorik olarak elektrot yüzeyine (yani elektrot arayüzüne) bitişik olarak ölçülen pH

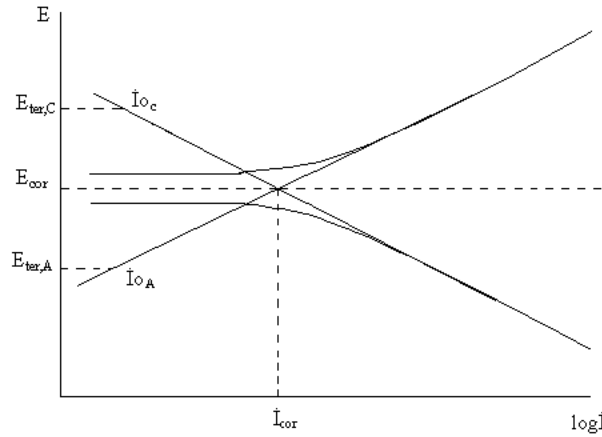
olmasıdır. Ancak öyle bir metale bitişik gerçek pH'ı ölçmek şu anda imkansızdır, bu nedenle, toplu pH kullanılmaktadır. Bu durumlarda toplu pH, bir Pourbaix diyagramındaki konumu doğru bir şekilde tahmin edemez. Ek olarak, katodik alana bitişik pH, genellikle toplu çözelti pH'ından daha fazla yakıcıdır.

1.5. Korozyon Hızı Ölçme Yöntemleri

1.5.1. Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi

Korozyon potansiyelinden başlayarak anodik ve/veya da katodik yönde çizilen yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri akım potansiyel eğrileri olarak adlandırılır ve bu eğrilerin çizgisel bölümleri geriye doğru ekstrapole edildiğinde korozyon potansiyelinde kesişmektedirler. Korozyon potansiyelinde kesiştikleri noktanın belirlendiği akım korozyon akımı olarak bilinir. Tafel eğrilerinin ekstrapole edilecek doğrusal kısmı önem arz eder ve bu bölgenin itimat vermesi için, korozyon potansiyeline göre cüzi 0,040 - 0,050 V sonra başlaması ve akımın cüzi 10 kez yükselmesine kadar devam etmesi gerekmektedir (Şekil 1.6).

Akımın 10 kez yükselmesini sağlayacak potansiyel aralığı eğrinin doğruluğu için gereklidir. Korozyon potansiyeli dolayındaki potansiyel aralığı ise; anodik eğrideki katodik akımın ya da tam tersi akımın katkısını en aza indirmek amacını taşımaktadır.



Şekil 1.6. Tafel eğrilerinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu.

Akım-Potansiyel eğrilerinin ekstrapolasyonu yöntemi, aktivasyon denetimli reaksiyonlar için geçerli olduğu bilinir. Difüzyon denetimli tepkimelerde, korozyon akımı katodik sınır akımı büyüklüğünde olmuştur. Metalin pasif olduğu koşullarda ise korozyon akımı pasiflik akımına eşit olmuştur. Bahse konu son iki durumda korozyon hızının ölçülmesi için, sırasıyla katodik sınır akımının ya da pasiflik akımının ölçülmesi yeterli bulunmaktadır.

1.5.2. Polarizasyon direnci yöntemi

Elektrokimyasal kavramlara dayanan polarizasyon direnci yöntemi, tek bir deneyden korozyon hızları ve değişim akımı yoğunlukları gibi anlık arayüzey reaksiyon hızlarının belirlenmesini sağlayabilmektedir. Potansiyel adım veya süpürme, mevcut adım veya süpürme, empedans spektroskopisi ve ayrıca istatistiksel ve spektral gürültü yöntemleri gibi anlık polarizasyon dirençlerini deneysel olarak belirleyebilen çeşitli yöntemler bulunmaktadır.

Bu yöntemlerin tümü için iki, üç veya dört elektrotlu elektrokimyasal hücreler kullanır. Anlık korozyon hızı bilgisi, kısa zaman dilimlerinde bu tür nispeten hızlı elektrokimyasal ölçümlerden elde edilebilmektedir. Katı elektronik iletken fazın elektriksel direnç değişimi, kütle kaybının gravimetrik ve kuvars kristali mikro denge ölçümleri ve iyonik iletken faza salınan metalik katyonları saptamak için çözelti analizi gibi diğer yöntemlerin tümü, anlık korozyon hızları hakkında tarihsel veya entegre bilgiler sağlamaktadır. Bu nedenle, oran bilgisi elde etmek için maruz kalma süresi üzerinden çoklu ölçümlerin türevi kullanılmaktadır. Bu nedenle, bu tiplerin tek bir ölçümü ile anlık hızlar belirlenemez. Bu nedenle, oran bilgisi elde etmek için maruz kalma süresi üzerinden çoklu ölçümlerin türevi kullanılmalıdır. Bu nedenle, bu tiplerin tek bir ölçümü ile anlık hızlar belirlenemez ve elektrokimyasal yöntemler, anlık hız belirleme için son derece kalır. Katı elektronik iletken fazın elektriksel direnç değişimi, kütle kaybının gravimetrik ve kuvars kristali mikro denge ölçümleri ve iyonik iletken faza salınan metalik katyonları saptamak için çözelti analizi gibi diğer yöntemlerin tümü, anlık

korozyon hızları hakkında tarihsel veya entegre bilgiler sağlar. belirli bir süre içinde gerçekleşmiştir. Bu nedenle, oran bilgisi elde etmek için maruz kalma süresi üzerinden çoklu ölçümlerin türevi kullanılmalıdır (Kılınççeker, 2020; J.R. Scully, 2000).

Stern ve Geary akım-potansiyel eğrilerinin korozyon potansiyelinin çizgisel olduğunu iletmişlerdir. Çizgisel olan $\pm 0,007$ V'luk aralığın eğimi ile korozyon akımı arasında aşağıdaki gibi bağıntı söz konusudur:

$$B = (b_a \cdot b_c) / 2.3(b_a + b_c) \quad (1.17)$$

$$i_{kor} = B \cdot R_p^{-1} \quad (1.18)$$

$$\begin{aligned} \Delta E / \Delta i &= (1 / i_{kor}) [(b_a \cdot b_c) / 2.3(b_a + b_c)] \\ \Delta E / \Delta i &= (1 / i_{kor}) [(b_a \cdot b_c) / 2.3(b_a + b_c)] \end{aligned} \quad (1.19)$$

$$B = (b_a \cdot b_c) / 2.3(b_a + b_c) \quad R_p = (1 / i_{kor}) \cdot B \quad (1.20)$$

$$R_p = (1 / i_{kor}) \cdot B \quad (1.21)$$

$$i_{kor} = B \cdot R_p^{-1} \quad (1.22)$$

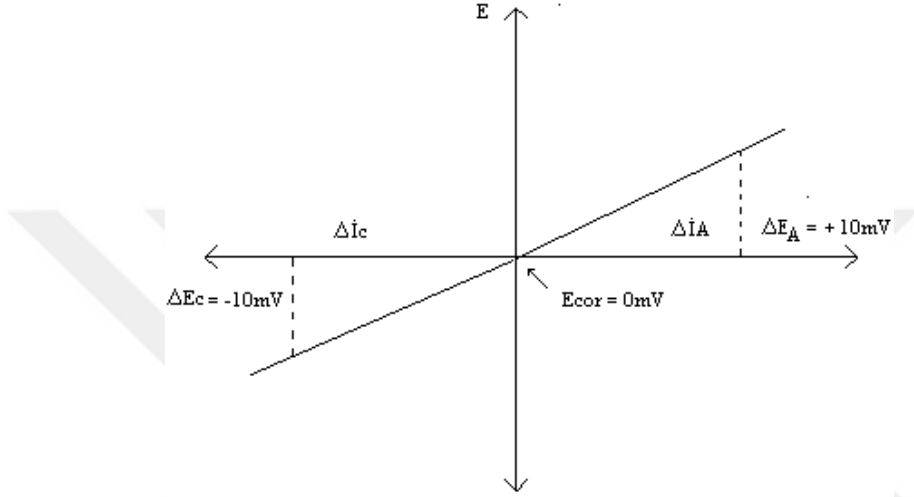
Bu bağıntıda;

R_p : Polarizasyon direnci,

B ise anodik (b_a) ve katodik (b_c) Tafel eğimlerine bağlı bir sabittir.

$\Delta E / \Delta i$ = akım-potansiyel eğrisinin eğimi olarak bilinir (x eksen = i, y eksen = E).

Δi ya da ΔE farkı, sırasıyla korozyon potansiyelinden itibaren uygulanan akım ve potansiyel anlamına gelmektedir (Stern ve Geary, 1957). Polarizasyon direncini belirlemek üzere çizilen bir eğri örnek olarak Şekil 1.6' da gösterilmiştir.



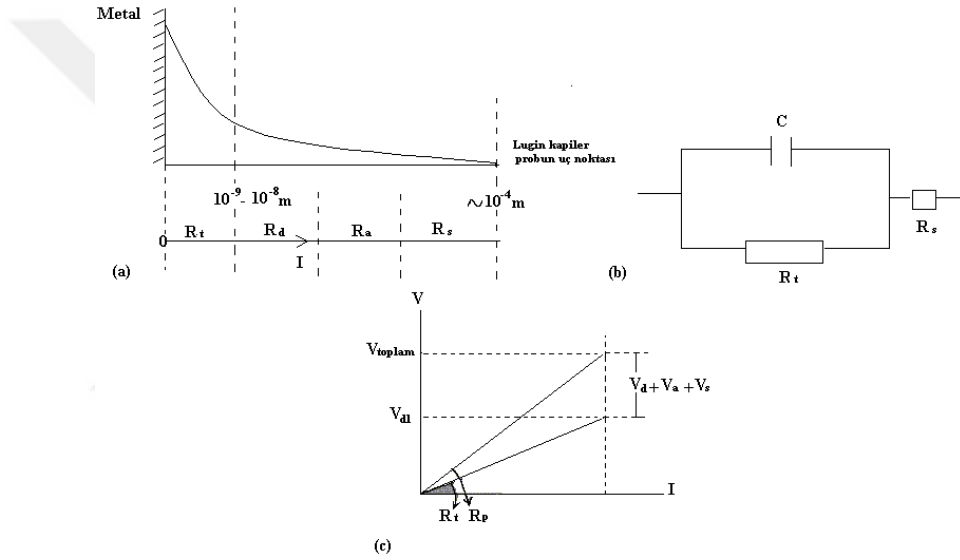
Şekil 1.7. Akım - Potansiyel eğrisi.

Polarizasyon direnci yöntemiyle korozyon hızı belirlenmesi basit bir yöntemdir. Korozyon potansiyeli sıfır noktası kabul edilerek 2 ya da 3 nokta daha belirlenirse (yaklaşık 0,010 V aralığında) hepsinden geçen ortalama bir doğru çizilerek eğimi hesaplanmaktadır. Eğrinin eğimi polarizasyon direncini verir. Bu nedenle iki tarafta da aynı potansiyel aralığında çalışma mecburiyeti olmamasının nedeni de budur (Erbil, 1985; Wheat, 2002; Elleithy ve ark, 1998).

1.5.3. Alternatif akım (AC) impedansı yöntemi

Korozyon hızı belirleme yöntemlerinden birisi de elektrodun yüzey yapısını bozmayan elektrokimyasal bir teknik olan alternatif akım (AC) impedans tekniği olmuştur. Diğer yöntemlere göre bir üstünlük sağlamasının nedeni yüksek dirençli ortamlarda da ölçme yapılabilmesidir. Yöntemin özü, metal/çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın uygulanan alternatif akım impedansının ölçülmesine dayanır.

Elektrot yüzeyine değişik frekans aralığında küçük genlikli, düşük frekanslı alternative akım belli sürelerde uygulanır. AC impedans tekniği ile ölçülen polarizasyon direnci (R_p) toplam dirence eşit kabul edilir. Polarizasyon direnci; yük transfer direncine ($R_t = R_f$ faradik direnç) ek olarak çift tabakanın kapasitif direnç (R_c), difüz tabaka boyunca oluşabilecek indüktif direnç (R_d) ve dışa doğru ve birikintilerin oluşturduğu direnç (R_a) v.b. dirençleri kapsamaktadır (Erbil, 1987; Erbil, 2012).



Şekil 1.8. (a) Metal/Lugin kapiler arasındaki dirençler, (b) metal/çözelti ara yüzeyi için eşdeğer devre, (c) R_p ve R_t 'nin karşılaştırılması ($R_p = R_t (R_f) + R_d + R_a + R_s$) (R_s : çözelti direnci).

Gerçek bir kondansatörün plakalarında yükler electron hareketleri ile denetlenirken metal/çözelti ara yüzeyinde; metal tarafını elektronlar çözelti tarafı ise iyonlar tarafında denetlenmektedir. Elektron ve iyonların büyüklük ve hareketlilik bakımından farklılıkları, beklenen değerlerin sapmasına neden olur. AC impedansı yönteminde küçük alternative akım frekanslarında gözlenen indüktif lupların oluşması da aynı nedenlere dayanmaktadır (Erbil, 1987; Kılınççeker, 2008).

1.6. Korozyon Türleri

1.6.1. Tek tip korozyon

Bu, genellikle bir malzemenin yüzeyinin geniş alanlarında eşit olarak gerçekleşen en yaygın korozyon şekli olarak bilinir.



Şekil 1.9. Çelik bağlantıda tek tip korozyon türünün gösterimi.

1.6.2. Çukurlaşma Korozyonu

Korozyonun en agresif formlarından biri olan çukurlaşmayı tahmin etmek, tespit etmek veya karakterize etmek zor olabilmektedir. Bu lokalize korozyon türü, yerel bir anodik veya katodik nokta çevreleyen yüzeye sahip bir korozyon hücresi oluşturduğunda olmaktadır. Bu çukuru, genellikle malzemeyi yüzeyden aşağı dikey yönde nüfuz eden bir delik veya boşluk oluşturabilmektedir. Çukurlaşma korozyonu, oksit filmindeki hasar veya kırılma veya koruyucu bir kaplamadan kaynaklanabilmektedir ve ayrıca metalin yapısındaki homojen olmayanlardan da kaynaklanabilmektedir.

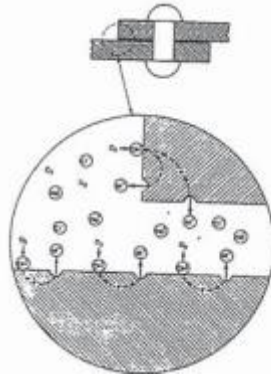


Şekil 1.10. Çukur korozyon türünün görseli.

1.6.3. Çatlak Korozyonu

Bu korozyon şekli, pulların veya cıvata kafalarının altında olduğu gibi oksijenin kısıtlandığı bölgelerde oluşur. Bu lokalize korozyon genellikle metalin iki sahası arasındaki iyon konsantrasyonundaki farktan kaynaklanır. Durgun mikroçevirime oksijen dolaşımını önler, bu da yeniden geçişi durdurur ve pH dengesini nötrden uzaklaştıran durgun çözeltinin toplanmasına neden olur.

Yarık ve malzemenin geri kalanı arasındaki dengesizlik, yüksek korozyon oranlarına katkıda bulunur. Çatlak korozyonu çukurlaşma korozyondan daha düşük sıcaklıklara sahip olabilir, ancak uygun eklem tasarımı ile en aza indirilebilir.



Şekil 1.11. Çatlak korozyon türünün görseli.

1.6.4. Intergranular Korozyon

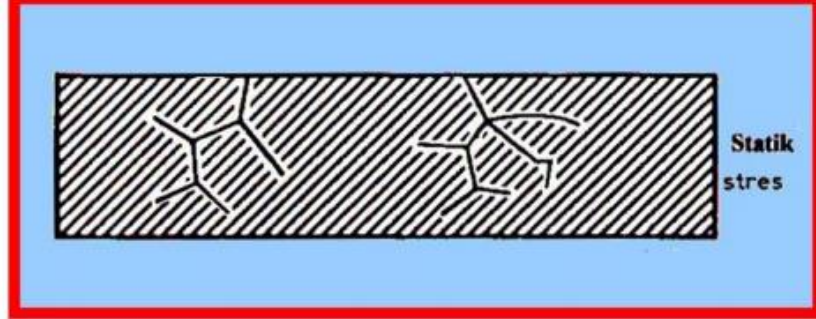
Intergranular korozyon, bir alaşımun katılaşması sırasında oluşan tahıl sınırlarında safsızlıklar olduğunda meydana gelir. Ayrıca, tahıl sınırlarında bir alaşım elemanının zenginleştirilmesinden veya tükenmesi nedeniyle de neden olabilir. Bu tür korozyon, tahıllar boyunca veya bitişiğinde meydana gelir ve malzemenin büyük kısmının etkilenmemesine rağmen metalin mekanik özelliklerini etkiler.



Şekil 1.12. Intergranular korozyon türünün görseli.

1.6.5. Stres Korozyonu Çatlaması (SCC)

Stres korozyonu çatlaması, özellikle yüksek sıcaklıklarda gerilme stresine maruz kaldığında sünek metallerin arızalanmasına yol açabilecek aşındırıcı bir ortam nedeniyle çatlakların büyümesini ifade eder. Bu tür korozyon alaşımlar arasında saf metallere göre daha yaygındır ve felaket çatlaması için sadece küçük aktif kimyasal konsantrasyonlarının gerekli olduğu spesifik kimyasal ortama bağlıdır.



Şekil 1. 13. Gerilmeli korozyon çatlak başlangıcı.

1.6.6. Galvanik Korozyon

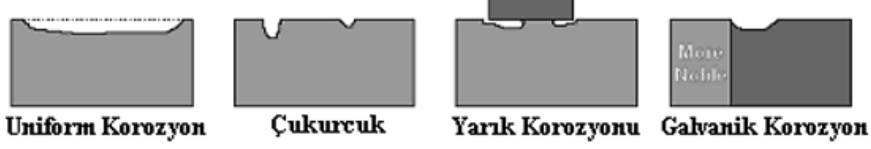
Bu korozyon şekli, fiziksel veya elektriksel teması olan iki farklı metal ortak bir elektrolit (tuzlu su gibi) içine daldırıldığında veya bir metal farklı elektrolit konsantrasyonlarına maruz kaldığında ortaya çıkar.

Galvanik bir çift olarak bilinen iki metalin birbirine batırıldığı yerde, daha aktif metal (anot) daha asil metalden (katot) daha hızlı aşınır. Galvanik seri, hangi metallerin daha hızlı aşınır, bu da bir yapıyı korozyondan korumak için kurbanlık bir anot kullanırken yararlıdır.

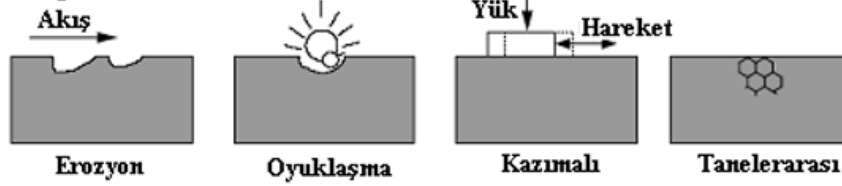


Şekil 1.14. Galvanik korozyon şematik gösterimi.

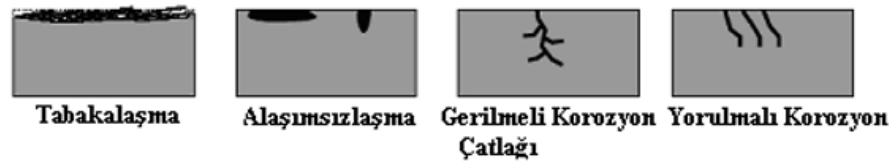
I. Grup: Göz kontrolüyle belirlenebilenler



II. Grup: Özel teçhizatla belirlenebilenler



III. Grup: Mikroskop yardımıyla belirlenebilenler



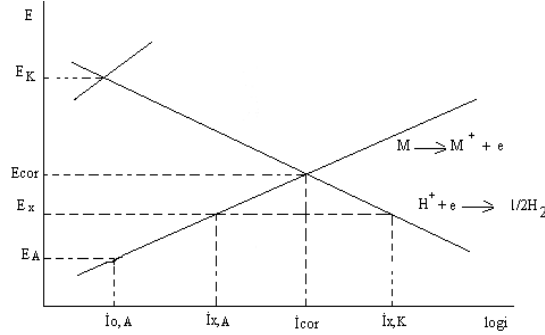
Şekil 1.15. Korozyon Türleri.

1.7. Korozyonu Önleme Yöntemleri

1.7.1. Aktif koruma

1.7.1.1. Katodik koruma

Katodik koruma, metalin potansiyelini katodik yönde değiştirerek çözünmesini önleyen bir yöntem olmuştur. Durumu kısa olarak özetleyebilmek için Şekil 1.16.'de verilen Evans diyagramı ele alınabilir. Şekil 1.16.'da gösterilen diyagrama göre E_K , katodik tepkimenin, E_A 'da anodik tepkimenin denge potansiyelidir. E_{kor} , korozyon potansiyeli olup, bu potansiyelde metalin korozyon hızı i_{kor} 'dur.



Şekil 1.16. Korozyon sistemini gösteren Evans diyagramı.

Korozyon potansiyeli olarak tanımlanan ve sistemin karma potansiyelini temsil eden E_{kor} değeri bir dış etki ile aşağı doğru çekilirse, metalin çözünme hızı da küçülmektedir. Örneğin E_{kor} değeri E_x 'e getirildiğinde, metalin çözünme hızı da I_{xA} olup, bu potansiyelde katodik tepkime hızı I_{xK} büyüklüğüne ulaşır. I_{xA} ve I_{xK} arasındaki fark bir dış kaynaktan sağlanmaktadır.

1.7.1.2. Anodik Koruma

Anodik koruma, metalin potansiyelini korozyon potansiyeline göre daha anodik değerlerde tutarak korozyon hızının azaltılması yöntemi prensibine dayanır.

Anodik yükseltgenme sonucu metal yüzeyine kazandırılan özellikten dolayı, pasiflikten önemli elektrokimyasal olaylardan biri olmuştur. İyon haline gelen metal yüzeyden uzaklaşıp çözelti içine karışmak yerine, daha yüzeyde iken oksijenle birleşerek yüzeyde çökerirse, metal ile ortam arasındaki bağlantıyı keseceğinden korozyonun daha fazla sürmesini önler ve bu olaya "pasiflik" denilmektedir. Metal oksitler halinde, yüzeyde oluşan film tabakası çeşitli kalınlıklarda ve çeşitli porozitelerde olabilmektedir. Poröz yapılı oksitlerin koruyuculuğu çok olmadığından, yüzeyinde poröz oksit oluşan metal pasifleşmiş sayılmamaktadır. Porozitesi en az olan koruyucu ve oldukça kalın oksit tabakaları ya da metal yüzeyinde oksijen adsorpsiyonundan ibaret olan çok ince oksit tabakaları metale büyük korozyon direnci kazandırmaktadır (Erbil, 1985).

1.7.2. Pasif koruma

1.7.2.1. Organik ve inorganik kaplama

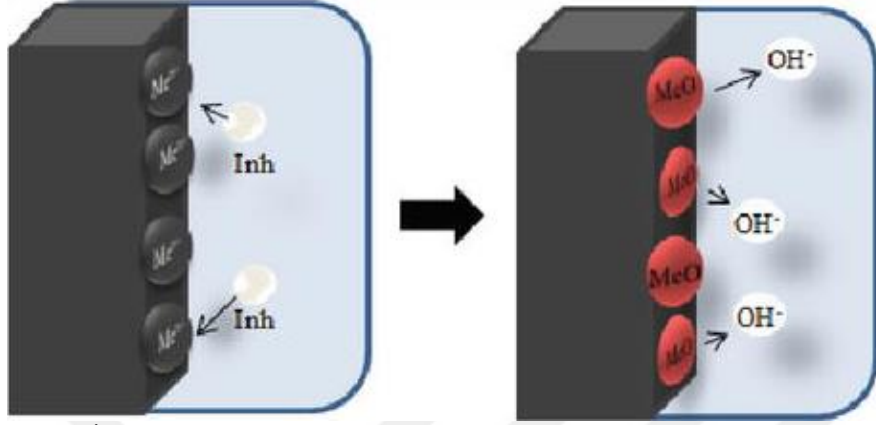
Metalin yüzeyini kaplayarak korozif ortamla bağlantısını kesmek, korozyondan koruma uygulamalarının en yaygın olanlarından birisi olmuştur. Kaplamalar organik boyalarla veya metalik boyalarla yapılabilmektedir. Kaplamanın iyi yapılabilmesi için kaplama yapılacak metalin yüzeyinin temiz ve kuru olması gerekir. Kaplama iyi yapılmazsa, yani yüzeyde kaplanmamış metal kısımlar bulunursa kaplanmamış yüzeylerde korozyon daha hızlı olur ve kaplanmamış halinden daha hızlı korozyon devam etmektedir. Kaplama yapılacak metale uygun bir kaplama maddesi seçilmesi gerekmektedir. Organik kaplamalar metal yüzeyinin kapatılmasında en çok uygulanan yöntemdir.

Organik boyalardan başka metalin yüzeyini kaplamada polivinilklorür (PVC), politetrafloretillen (teflon), epoksi reçineler, polistiren bütadien (Buna S) gibi termoplastik, termoset ve plastikler kullanılır (Erbil, 1984).

1.7.2.2. İnhibitörlerle Koruma

1.7.2.2.1. İnhibitörün Tanımı

Bir ortama küçük konsantrasyonlarda eklendiğinde metal kaybını en aza indiren, hidrojen gevrekliğinin derecesini azaltan, metali çukurlaşmaya karşı koruyan, asit ve baz metaller arasındaki aşırı reaksiyondan kaynaklanan aşırı asitleme ve asit dumanlarını azaltan ve asit tüketimini azaltan maddelerdir. Adsorplanmış bir tabaka oluşturarak veya katodik, anodik veya her iki işlemi geciktirerek bir bariyer görevi görerek korozyonu azaltmaya yararlar. İnhibitör prosesinin şematik bir temsili Şekil 1.17'de gösterilir.



Şekil 1.17. İnhibisyon sürecinin şematik gösterimi.

Herhangi bir korozyon geciktirme işlemi veya sisteme kimyasal bir bileşik ilave edilerek metalin oksidasyon hızındaki azalma, korozyon inhibitörlerinden kaynaklanmaktadır. İnhibitörlerin uygulanması genellikle kolaydır ve proseste önemli bir kesintiye neden olmadan yerinde uygulamanın avantajını sunmaktadır. Korozyon önleyicilerin kullanımı, korozyonla mücadelenin en iyi yöntemlerinden biri olmuştur.

Genel olarak, bir korozyon hücresinin bileşenleri (anot, katot, elektrolit ve elektronik iletken), korozyonu azaltmak için korozyon inhibitörlerinden etkilenir. İnhibitör şunlara neden olabilir:

- Anodik inhibisyon (anodun polarizasyonunu artırır)
- Katodik inhibisyon (katodun polarizasyonunu artırarak)
- Direnç engelleme (metal yüzeyinde ince veya kalın bir tortu oluştururken devrenin elektrik direncini artırma)
- Difüzyon kısıtlaması (depolarizörlerin difüzyonunu kısıtlamak, örneğin DO).

Bununla birlikte, bir inhibitör seçerken dikkate alınması gereken birkaç

faktör vardır, Bunlar;

- İnhibitörün maliyeti.
- İnhibitörün toksisitesi insanlar ve diğer canlı türleri üzerinde kötü etkilere neden olabilir.
- İnhibitörün mevcudiyeti, onun seçimini belirler.
- İnhibitör çevre dostu olmalıdır.

Metalik malzemelerin korozyonunu önlemek veya azaltmak için soğutma sisteminde kullanılan inhibitörler aşağıdaki kriterleri karşılar.

- Çok düşük bir inhibitör konsantrasyonunda iyi bir korozyon koruması sağlamalıdır.
- Maruz kalan tüm malzemeleri korozyon saldırısından korumalıdır.
- Aşırı çalışma koşullarında (daha yüksek sıcaklık ve hız) verimli kalmalıdır.
- İnhibitör dozunun altında veya üstünde olması durumunda korozyon hızı çok fazla artmamalıdır.
- İnhibitör veya inhibitörün reaksiyon ürünleri, özellikle ısı transferinin gerçekleştiği yerlerde metal yüzey üzerinde herhangi bir tortuya neden olmamalıdır.
- Hem tek tip hem de lokal korozyonu bastırmalıdır.
- Uzun menzilli etkinliği olmalıdır.
- Toksisite ve kirlilik sorunlarına neden olmamalıdır.

Organik ve inorganik bileşikler, genel bir kural olarak; Yeterli konsantrasyonda mevcut olduğunda aşındırıcı bir metalin tüm yüzeyini etkilemektedir. VB, VI B gruplarının elementlerini veya amin, karbonil ve alkol

gruplarının fonksiyonel gruplarını içeren organik/inorganik bileşiklerin çoğu daha etkili korozyon önleyiciler olmuştur. İnhibitör, korozyona uğrayan metalin tüm metal yüzeyine emilir ve böylece korozyondan kaynaklanan saldırıları önlemektedir.

Organik inhibitörler metal yüzeyinde adsorbe edilmektedir. İnhibitörler, metal ve çevre arasındaki reaksiyonla anotlar veya katotlar üzerinde koruyucu bir bariyer film oluşturanlar olmak üzere iki temel tip olarak düşünülür. Bu tip inhibitörler, nötür veya bazı durumlarda, ana katodik reaksiyonun, aşındırıcı metal yüzeyinin bir film oksit veya hidroksitle kaplandığı bir oksijen indirgeme reaksiyonu olduğu alkalın solüsyonda işlev görmektedir.

Başka bir tip, başlangıçta, yüzey yükleri ile iyonik ve/veya moleküler dipol yükleri arasındaki etkileşim yoluyla doğrudan metal yüzeye adsorbe edilmektedir. İnhibitör türlerinin bu ayrımı, esas olarak çalıştıkları çözeltinin pH'ından kaynaklanmaktadır. İnhibitörler, tam olarak etkili olmaları için minimum konsantrasyonda mevcut olur. Bu, anodik inhibitörlerde çok yaygın olmuştur.

Organik inhibitörlerin etkinliği, belirli halojen iyonlarının varlığında geliştirilebilmektedir. Halojen iyonlarının ayrıca asit çözeltilerinde bir dereceye kadar korozyonu engellediği bilinir. Korozyon inhibisyonunun etkinliği sırasıyla; $I^- > Br^- > Cl^- > F^-$ şeklindedir. Halojen iyonlarının sinerjizmi, metalin yükü yüzeyi negatif yönde kaydıran halojen iyonlarını adsorbe etmesi ve böylece katyonik organik inhibitörün adsorpsiyonunu arttırması gerçeğine dayanır. Korozyon önleyici olarak kullanılabilecek olası bileşikler keşfedebilmek çok fazla çalışma, yenilik ve laboratuvar analizi/sentezini gerektirmektedir (Çelik, 2012).

1.8. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, bir katının ya da bir sıvının sınır yüzeyindeki derişim değişmesi olarak bilinir.

Sabit sıcaklık ve sabit basınçta kendiliğinden olduğundan dolayı adsorpsiyon sırasındaki serbest enerji değişimi yani adsorpsiyon serbest enerjisi ΔG daima eksi işaretli olmaktadır. Diğer yandan, gaz ya da sıvı ortamında daha düzensiz

olan tanecikler katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli hale geldiğinden dolayı adsorpsiyon sırasındaki entropi değişimi yani adsorpsiyon entropisi ΔS_{ads}° 'de daima eksi işaretli olmaktadır.

Adsorpsiyon serbest enerjisi ve adsorpsiyon entropisinin daima eksi işaretli olması eşitlik 1.23'e göre adsorpsiyon sırasındaki entalpi değişiminin yani adsorpsiyon entalpisinin (ΔH_{ads}°) daima eksi işaretli olması şart koşar.

$$\Delta H_{ads}^{\circ} = \Delta G_{ads}^{\circ} + T\Delta S_{ads}^{\circ} \quad (1.23)$$

Adsorpsiyon entalpisinin eksi işaretli olması adsorpsiyon olayının daima ısı salan yani ekzotermik olduğunu ıspatlar. Adsorpsiyon ısısının -20 kJ/mol civarında olduğu tutunmalar, fiziksel adsorpsiyon, -200 kJ/mol civarında olan tutunmalara ise kimyasal adsorpsiyondur. Fiziksel adsorpsiyon sırasında, adsorplanan tanecikler ile katı yüzeyi arasında zayıf olan Van der Waals çekim kuvvetleri etkin olmuştur. Kimyasal adsorpsiyon sırasında ise tanecikler ile yüzey arasında bir kimyasal bağ ve genellikle de kovalent bağ oluşur (Sarıkaya, 2000).

1.8.1. Adsorpsiyon izotermi

Metal yüzeyi ile inhibitör arasındaki ilişkiyi açıklamak, adsorpsiyon mekanizmasının hangi izotermle oluştuğunu saptamak için Freundlich, Frumkin, Temkin, Dubinin ve Langmuir adsorpsiyon izotermi incelenmiştir. Ortalama yüzey kaplama kesirlerinden çizilen grafikler incelendiğinde bire en yakın R^2 değeri tespit edilen adsorpsiyon izotermi baz alınmıştır.

1.8.1.1. Langmuir adsorpsiyon izotermi

Yüzeyle dengede olan gazın basıncının bir fonksiyonu olarak, bir düzlem yüzey üzerinde adsorbe edilen gaz miktarını tanımlamak için kullanılan bir denklemdir. Langmuir adsorpsiyon izotermi şu şekilde yazılabilir:

$$\theta = b_p / (1 + b_p) \quad (1.24)$$

θ = adsorbat tarafından kaplanan yüzeyin kesridir,

p = gazın basıncıdır

b = adsorpsiyon katsayısı olarak adlandırılan bir sabittir.

Langmuir adsorpsiyon izotermi, ABD'li kimyager Irving Langmuir (1881–1957) tarafından, gazların kinetik teorisini kullanarak ve aşağıdaki varsayımları yaparak türetilmiştir:

- (1) adsorpsiyon tamamen yüzeyde tek tabakadan oluşur;
- (2) farklı bölgelerdeki moleküller arasında etkileşim yoktur ve her bölge yalnızca bir adsorbe edilmiş molekülü tutabilir;
- (3) adsorpsiyon ısısı alanların sayısına bağlı değildir ve tüm alanlar için eşittir. Langmuir adsorpsiyon izotermi sınırlı bir uygulaması vardır, çünkü gerçek yüzeyler için enerji tüm bölgeler için aynı değildir ve adsorbe edilen moleküller arasındaki etkileşimler göz ardı edilemez.

Kimyager Irving, kendi adı ile bilinen aşağıdaki bağıntıyı sunmuştur (Sarıkaya, 2000).

$$C / \theta = (1 / K) + C \quad (1.25)$$

Burada;

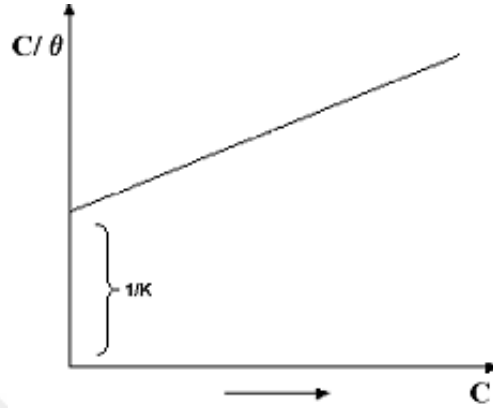
θ = Kaplama kesri,

C = İnhibitör derişimi,

K = Adsorpsiyon denge sabitidir.

C/θ ile C arasında grafik çizildiğinde Şekil 1.14'de görülen doğru bulunur. Bu

doğrunun y eksenini kestiği noktadan da $1/K$ hesaplanır (Emregül ve ark, 2003a).



Şekil 1.18. Langmuir adsorpsiyon izotermi.

1.8.1.2. Freundlich İzotermi

Freundlich modeli heterojen yüzeyler üzerinde adsorpsiyona uygulanır. Aşağıdaki formülle ifade edilmektedir:

$$q = \frac{x}{m} = K_f \cdot C_e^{(1/n)} \quad (1.10)$$

$$x = C_{ads} = C_o - C_e \quad x = C_{ads} = C_o - C_e \quad (1.26)$$

Freundlich eşitliğinin logaritmik şekli eğimi $1/n$ ve eksenini kestiği yer $\text{Log } K_f$ olan bir doğru deklemini ifade edilmektedir:

$$\text{Log}(x / m) = \text{Log}K_f + (1 / n)\text{Log}C_e \quad (1.27)$$

Freundlich denkleminde geçen ifadeler şu şekilde tanımlanabilir.

$(q=x/m)$ = Dengede birim adsorplayıcı ağırlığı başına adsorplanan madde miktarı (mg/g adsorplayıcı)

C_{ads} = Adsorplanan çözünenin derişimi (mg/L)

C_o =Başlangıçta çözünen derişimi (mg/L)

C_e =Dengede adsorplanmadan çözeltide kalan çözünen derişimi (mg/L)

K_f =Adsorpsiyon kapasitesi

n =Adsorpsiyon şiddeti (K_f ve n sıcaklığa, adsorplayıcıya ve adsorplanan maddeye bağlı sabitlerdir.)

1.8.1.3. Dubinin-Radushkevich (D-R) İzotermi

D-R izotermi adsorbentin gözenek yapısıyla ilişkilidir ve adsorbat molekülü başına ortalama adsorpsiyon enerjisini ifade eden E değeri adsorpsiyonun fiziksel ya da kimyasal olup olmadığı hakkında bilgi vermektedir. Bu değer 8 kJ mol^{-1} ve daha büyük bir değere sahipse adsorpsiyonun kimyasal olarak meydana gelmesi olarak yorumlanabilir. Dubinin-Radushkevich (D - R) izotermi şu şekildedir;

$$q_e = q_m \exp(-K' \varepsilon^2) \quad (1.28)$$

$\varepsilon = RT \ln (1+1/C_e)$ değerine karşılık gelen Polonyi potansiyeli,

q_e =adsorplayıcının birim kütlesi başına adsorplanan miktar (mg/g),

q_m = tek tabaka kapasitesi (mg/g),

K' = adsorpsiyon enerjisi ile ilgili sabit ($\text{mol}^2 / \text{J}^2$),

R = evrensel gaz sabiti (J/mol K) ve

T = mutlak sıcaklıktır (Dubinin, 1947).

1.8.1.4. Temkin adsorpsiyon izotermi

Adsorpsiyon ısısı ve adsorplayıcı-adsorplanan arasındaki etkileşimler hakkında bilgi veren, ve de adsorpsiyon enerjisindeki azalmanın Freundlich

eşitliğindeki gibi üstel değil, doğrusal olduğu varsayımı yapılarak türetilen izotermdir (Temkin, 1940). Temkin izotermini ifade eden eşitlik aşağıdaki şekildedir:

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T C_e) \quad (1.29)$$

$$q_e = A_1 \ln K_T + A_1 \ln C_e \quad (1.30)$$

Burada;

$$q_e = \frac{RT}{b} \ln(K_T C_e) \quad A_1 = RT/b, \text{ R evrensel gaz sabiti (J/mol K),}$$

T = mutlak sıcaklık (K),

A₁ = adsorpsiyon ısısına ilişkin bir sabit ve

KT = denge bağlanma sabitidir (L/mg).

1.8.1.5. Frumkin Adsorpsiyon Izotermi

Prosesin uygunluğunu ve kendiliğinden gerçekleşip gerçekleşmemesini açıklar. Ayrıca adsorbat moleküllerinin adsorbent yüzey kaplama karakteristiğini araştırır (Frumkin,1925). Frumkin izoterm denklemleri şu şekilde verilir;

$$\frac{\theta}{1-\theta} e^{-2a\theta} = kC_e \quad (1.31)$$

Θ= adsorbent yüzeyinin adsorbat molekülleri ile kaplanmış kesri (θ = qe/qm),

Qe=denge anında adsorplanan miktar (mg/g),

qm =tek tabaka kapasitesi (mg/g).

Frumkin izoterminin doğrusal şekli;

$$\ln\left[\left(\frac{\theta}{1-\theta}\right)\frac{1}{c_e}\right] = \ln k + 2a\theta \quad (1.32)$$

1.9. Adsorpsiyon Termodinamiği

Sistem dengede olmalıdır. Sistem dengede olmadığında sürekli bir tarafa kayar. Sabit sıcaklık ve basınçta olay kendiliğinden gerçekleşir ve adsorpsiyon sırasındaki serbest enerjisi (ΔG_{ads}°) her zaman (-) işaretlidir. Gaz ya da sıvı ortamında daha düzensiz olan tanecikler katı yüzeyinde tutunarak daha düzenli hale geldiklerinden dolayı adsorpsiyon sırasındaki entropi değişimi yani adsorpsiyon entropisi (ΔS_{ads}°) de daima eksi işaretli olmaktadır. Adsorpsiyon serbest enerjisinin ve adsorpsiyon entropisinin daima eksi işaretli olmasından kaynaklı adsorpsiyon entalpisi (ΔH_{ads}°) de her zaman eksi işaretli olur.

$$\Delta H_{ads}^{\circ} = \Delta G_{ads}^{\circ} + T\Delta S_{ads}^{\circ} \quad (1.33)$$

Adsorpsiyon entalpisinin eksi işaretli olması adsorpsiyon olayının daima ısı veren yani ekzotermik olduğunu göstermektedir.

1.10. Boyar Maddeler

Cisimlerin yüzeylerini dış etkilere korumak ve güzel bir görünüm kazanmalarını sağlamak amacı ile kullanılan değişik renklerdeki maddelere “boya” adı verilir. Boyalar bir bağlayıcı ile karıştırılmış çözünmeyen maddelerdir. Süspansiyon haline getirilerek yüzeye fırça veya püskürtme tabancası ile uygulanırlar. Hava ve sıcaklık etkisi ile kuruyan film altında kalan renk verici maddeler, cismin renkli görünmesini sağlarlar. Renk verici maddeler anorganik yapılı, sülyen, ultramin, karbon siyahı ve çeşitli metal oksitleri olabileceği gibi

ftalosiyenin gibi organik moleküller de olabilir. Boyalar çoğunlukla anorganik bileşiklerdir. Uygulandıkları cisim ile kimyasal etkileşime girmezler, sadece yüzeylerinde film oluşturarak güzel görünüm ve koruma sağlarlar. Uzaklaştırıldıklarında cismin yapısında değişiklik olmaz. Anorganik pigmentler, özellikle ışık ve ısı karşısında son derece kararlı iken organik pigmentler ise ışık ve ısı etkisi ile zamanla bozulduklarından anorganik boyaların kullanımı daha yaygındır.

Boyar madde ise, cisimleri (kumaş, deri vs.) renkli hale getirmede kullanılan maddelere verilen isimdir. Her renk veren veya renkli olan madde boyarmadde değildir. Boyarmaddeler organik bileşikler olup, boyanacak materyalle kimyasal veya fizikokimyasal etkileşime girerek cisimleri renkli hale getirirler. Genelde, çözelti ya da süspansiyon halinde uygulanırlar, uygulandıkları cismin yapısını değiştirirler, boyalarda olduğu gibi silme, kazıma gibi metotlarla cisimler başlangıç hallerine geri dönmezler. Boyarmadde, kumaşla iyonik, kovalent ya da moleküller arası etkileşimlerle tutunur. Başta tekstil olmak üzere kağıt, deri, gıda ve kozmetik endüstrilerinde kullanılan boyarmaddelerin doğal ve yapay birçok örneği bilinmektedir (Kılıçaslan, 1999).

Boyar maddeler iki ana bileşenden oluşan küçük moleküller olarak bilinmektedir: rengini veren kromofor grubu ve boyayı ipliğe bağlayan fonksiyonel grup. Boyar maddelerin kullanımını, özelliklerini ve rengini kimyasal yapıları belirlemektedir. Kaynaklarda kimyasal bileşimine göre ya da uygulandığı ipliğin türüne göre sınıflandırılmış yüzlerce çeşit boyarmadde bulunmaktadır (Kiernan, 2001; Kocaer ve Alkan, 2002).

Colour Index (CI)'de belirtilen boyar maddelerin kimyasal bileşimine göre sınıflandırılması "Nitroso boyalar Nitro boyalar Azo boyalar Azoik boyalar Stilben boyalar Karotenoid boyalar Difenilmetan boyalar Triarilmetan boyalar Ksanten boyalar Akridin boyalar Kuinolin boyalar Methin boyalar Tiazol boyalar İndamin boyalar" şeklindedir.

1.10.1. Metil Oranj

Azo grubu -N=N- içeren bileşikler, içerdikleri azo grubunun sayısına göre mono, bis, tris, tetrakis azo boyarmaddeleri olarak adlandırılırlar. Azo grubunun yan taraflarına çeşitli aromatik grupların girmesiyle veya farklı sayıda azo grubunun bulunmasıyla hemen hemen tüm renklerin oluşması sağlanabilir. Azo boyarmaddeleri, azot atomları arasındaki çift bağ ve azot atomu üzerindeki elektron çiftleri nedeniyle geometrik izomeri göstererek cis- ve trans- izomerlerine sahip olurlar. Azo bileşiklerindeki azot atomları genellikle benzen ve naftalin halkalarına bağlıdır. Birçok azo bileşiğinde temel kromojen yapı azobenzendir. Dallanmış aromatik halkalar azo grubuna bağlandığında bu bileşik fenilazobenzen olarak adlandırılır. Bir mono azo boyası olan metil oranj, $C_{14}H_{14}N_3NaO_3S$ moleküler formülüne ve 327,33 g/mol molekül ağırlığına sahiptir. Mavi-yeşil renkteki ışığı absorplayan metil oranjın yapısı 4-(4-(Dimetilamino)fenilazo) benzen sülfonik asit sodyum tuzu şeklindedir. Metil oranjın renk değişimi sırasıyla kırmızıdan sarıya, pH 3,1 - 4,4 aralığında gözlenmektedir.

1.10.2. Fenol Kırmızısı

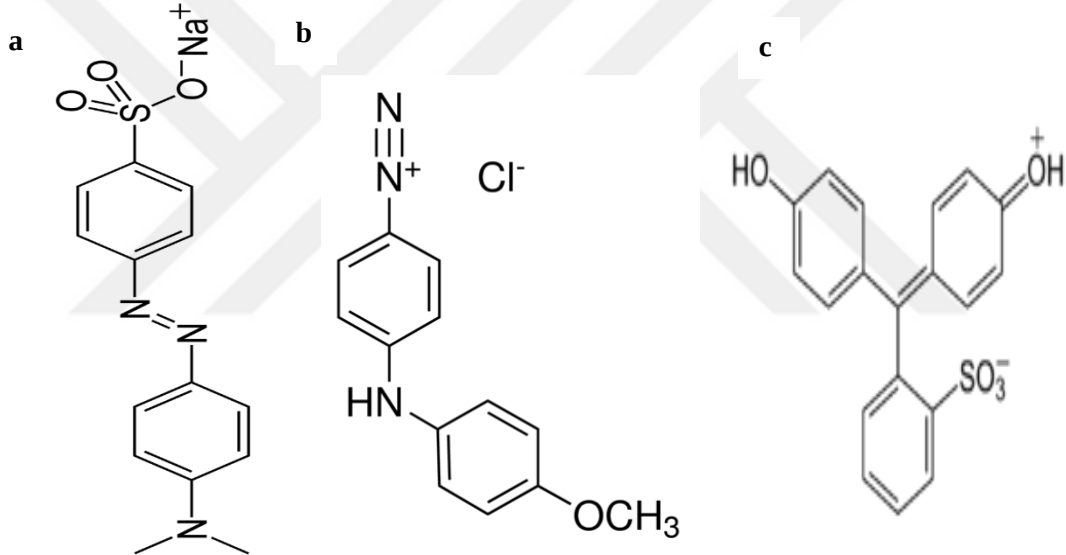
Çoğunlukla hücre testlerinde kullanılan bir pH indikatörüdür. Fenol kırmızısı normal koşullarda kararlı, kırmızı renkte bir kristal halindedir. Suda çözünürlüğü 0,77 gr/lt ve etanolde 2,9 gr/lt'dir. Zayıf bir asittir ve pKa'sı (asitlik sabitinin eksi logaritması) 20 °C'de 8'dir. $C_{19}H_{14}O_5S$ moleküler formülüne ve 354,38 g/mol molekül ağırlığına sahiptir.

1.10.3. Variamin Mavisi

Variamine Blue RT Tuzu, normal idrarda ürik asit tespiti için ultraviyole-görünür spektrofotometrik yöntem bazlı ürikaz enziminde boya olarak kullanılmıştır. Ayrıca alkalın fosfataz aktivitesinin sitokimyasal görselleştirmesini belirlemek için naftol AS-MX fosfat - variamin ile kombinasyon halinde kullanılır. Ayrıca yumuşak çeliğin klorürlü ortamda korozyonun önlemek için

kullanılmaktadır. $C_{13}H_{14}N_2O$ moleküler formülüne ve 261,71g/mol molekül ağırlığına sahiptir.

N-N-, -CHO-, NH, SH ve R-OH, gibi fonksiyonel grupların varlığı donör atomlarındaki aromatiklik ve elektron yoğunluğunun adsorpsiyonu metal yüzeyde aşınmayı önler (Obot ve ark., 2013). N, O ve S atomlu gruplar metal yüzey üzerinde güçlü adsorpsiyona neden olurlar. Metil Oranj (MO), Fenol kırmızısı (FK) ve Variamin Mavisi (VM) bu fonksiyonel gruplara sahiptir. Variamin Mavisi yumuşak çeliğin korozyonunu önlemede inhibitör olarak kullanılmıştır.



Şekil 1.19. MO (a), VM (b) ve FK (c)'nin yapısı.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Kılınççeker ve Galip (2008), Bakırın korozyon davranışı, potansiyodinamik ve EIS (elektrokimyasal impedans spektroskopisi) ölçümleri yapılarak bakır metalinin korozyon davranışı; asetat iyonları + klorür çözeltisinde pH=8,5’de, farklı sıcaklıklarda araştırılmıştır. Bu pH’da Asetat iyonları varlığında artan sıcaklığa bakılmaksızın bakırın korozyon hızının ve ΔG_{ads}° değerinin azaldığı tespit edilmiştir. Asetat iyonlarının, yüzeyde fiziksel olarak adsorbe edilen kararlı ve koruyucu kompleks oluşturduğu bulunmuştur.

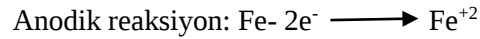
Umoren ve ark., (2013), Kitosanın verimliliği (doğal olarak oluşan polimer), potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri, taramalı elektron mikroskopi ve UV - görülebilir ölçümleri ile hafif korozyon önleyici olarak 0,1M HCl’deki çelik gravimetrik olarak araştırılmıştır. Polimerin çok düşük konsantrasyonlarda bile korozyonu engellediği bulunmuştur. İnhibisyon verimliliği, 60 °C’de % 96’ya kadar bir sıcaklık artışı ile artan daha sonra 70 °C’de % 93’e düşen bir verimlilik söz konusu olmuştur. Polarizasyon eğrileri, kitosanın hem katodik hem de anodik kısmi reaksiyonları etkileyen karışık bir inhibitör olarak işlev gördüğünü göstermiştir. Kitosanın yumuşak çelik yüzeyde adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izoterm modeli ile uyumlu olduğu bulunmuştur. Kimyasal adsorpsiyon, sıcaklık ile koruma etkinliğinin eğilimi göz önünde bulundurularak korozyon inhibisyonu için önerilen mekanizmadır. Hesaplanan kinetik ve termodinamik parametreler önerilen mekanizmayı doğrular.

Tank ve ark., (2014), O₂ + H₂O atmosferinde bir Na₂SO₄ çözeltisinde saf Fe’nin korozyon davranışı, 500 °C’de termo gravimetrik ve elektrokimyasal ölçümlerle araştırılmıştır. Potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve yüzey karakterizasyon yöntemleri, yani. X-ışını kırınımı (XRD) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM)/enerji dağılımlı spektroskopisi (EDS) teknikleri kullanılmıştır. Sonuçlar, Na₂SO₄ ve O₂ + H₂O

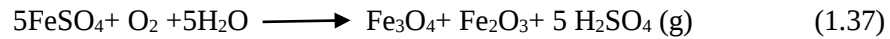
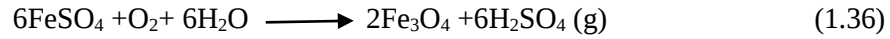
arasında saf Fe'nin korozyon hızını önemli ölçüde hızlandıran sinerjik bir etkinin meydana geldiğini göstermiştir. Fe oksitlere ek olarak NaFeO₂ oluşturulmuştur; aynı zamanda, su buharının eklenmesiyle H₂SO₄ üretilmiştir. Daha sonra Na₂SO₄, NaFeO₂ ve H₂O varlığı nedeniyle elektrokimyasal bir korozyon reaksiyonu meydana gelmiştir. Bu, kimyasal korozyon reaksiyonu ile birleştiğinde, kimyasal korozyon reaksiyonunun ilerlemesi desteklenmiştir ve sonunda saf Fe'nin korozyonunun hızlanmasıyla sonuçlanmıştır. Bu ve önceki çalışma sonuçlarına dayanarak, aşağıdaki korozyon mekanizması önerilmiştir: korozyonun ilk aşamalarında, Na₂SO₄ ve H₂O, Fe ile reaksiyona girerek NaFeO₂ ve H₂SO₄(g) üretebilir.



H₂SO₄, Fe ile elektrokimyasal olarak reaksiyona girer.

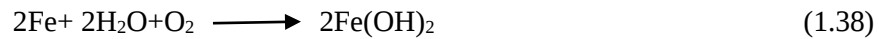


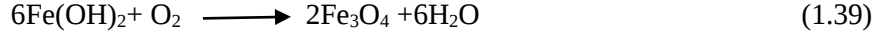
FeSO₄, ayrıca demir oksitler ve H₂SO₄(g) oluşturmak için H₂O ve O₂ ile reaksiyona girebilir;



H₂SO₄(g), Fe ile reaksiyona girerek korozyon sürecini sürekli olarak hızlandırmaktadır.

Korozyon sırasında, saf Fe, yukarıdaki mekanizmaya ek olarak H₂O ve O₂ tarafından aşağıdaki reaksiyonlarla oksitlenir:





Soltani ve Khayatkashani., (2014), Gundelia tournefortii'nin (G. tournefortii) yaprak ekstresinin 2,0 M HCl ve 1,0 M H_2SO_4 çözeltilerinde yumuşak çelik korozyonu üzerindeki inhibitör etkisi, ağırlık kaybı ölçümü, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) teknikleri kullanılarak araştırılmıştır.

İnhibitör molekülünün metal yüzeyine adsorpsiyonu nedeniyle inhibitör konsantrasyonlarının artmasıyla inhibisyon etkinliğinin arttığı bulunmuştur. Ayrıca, Langmuir adsorpsiyon izoterminin deneysel verilere iyi uyduğu tespit edilmiştir. İnhibisyon veriminin, 2,0 M HCl ve 1,0 M H_2SO_4 içerisinde 150 ppm'de sırasıyla % 93 ve % 90 olduğu saptanmıştır. Katodik ve anodik polarizasyon eğrileri, G. tournefortii ekstresinin her iki asidik ortamda karışık tipte bir inhibitör olduğunu göstermektedir. EIS, yük transferinin korozyon sürecini kontrol ettiğini göstermiştir. Sıcaklığın inhibisyon etkinliği üzerindeki etkisi incelenmiştir. G. tournefortii ekstraktının inhibisyon etkinliği, adsorpsiyon ve koruyucu film oluşumu açısından tartışılmıştır. Sıcaklık çalışmaları, sıcaklıktaki artışla verimlilikte bir düşüş olduğunu ve korozyon aktivasyon enerjilerinin ekstrakt varlığında daha yüksek olduğunu ortaya koymuştur. Her iki asit çözeltisinden elde edilen sonuçların karşılaştırmalı analizleri, ekstrakttaki protonlanmış ve nötr organik türlerin gözlemlenen engelleyici davranıştan sorumlu olabileceğini düşündürmüştür.

Sherif ve Almajid, (2014), Farklı elektrokimyasal ve spektroskopik teknikler kullanılarak NaCl çözeltisinde, Daldırma süresinin 1 saatten 24 saate çıkarılmasının, API X-70 boru hattı çeliğinin ağırlıkça % 4,0 korozyon davranışı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Döngüsel potansiyodinamik polarizasyon (CPP) ölçümleri, daldırma süresinin arttırılmasının anodik, katodik ve korozyon akımlarını azalttığını göstermiştir. Ag / AgCl'ye karşı -0,5 ve -0,35 V'taki kronoamperometrik

akım zamanı (CCT) deneyleri, çeliğin mutlak akımının artan daldırma süresi ile azaldığını ve çukurlaşma korozyonunun taramalı elektron mikroskobu ile de belirtildiği gibi sadece -0,35 V'da meydana geldiğini göstermiştir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS), CPP ve CCT ile elde edilen sonuçlar, daldırma süresinin 1 saatten 24 saate çıkarılmasının hem çözelti hem de polarizasyon dirençlerini arttırdığını doğrulamıştır. NaCl çözeltisinin, yüzeyde oksit ve / veya korozyon ürün tabakalarının oluşması nedeniyle artan süre ile azaldığı gözlemlendi.

Magalhaes ve ark., (2014), Ilex paraguariensis ekstraktlarının 1,0 M HCl içindeki karbon çeliğinin korozyonu üzerindeki etkisi incelenmiştir. Özüt konsantrasyonu ve daldırma süresi arttıkça, 1,0 M HCl'de C-çeliğinin korozyonunu önleme etkinliği artmıştır. Polarizasyon eğrileri, bu ekstraktın ağırlıklı olarak katodik özelliklere sahip karışık tip inhibitör olarak davrandığını göstermektedir. C-çeliğinin çözünmesi için görünen aktivasyon enerjisi (E_a), özüt kullanıldığında biraz azalmıştır. Bu sonuç, inhibitörün çelik yüzey üzerinde kimyasal emilimine bağlanabileceğini göstermiştir. Ekstraktın inhibe edici özelliği, bileşenlerinin C-çelik yüzeyine adsorbe ettiği mekanizma açısından tartışılmaktadır. Bu adsorpsiyon prosesi bir Langmuir adsorpsiyon izotermine uymuştur. Fenolik bileşenler, doğal ürünlerin inhibitör etkisinden sorumlu tek faktör değildir.

Ocampo ve ark., (2014), Hibiscus sabdariffa'nın 0,5 M H_2SO_4 'te saf Al için yeşil bir korozyon inhibitörü olarak kullanımı gravimetrik testler ve elektrokimyasal teknikler kullanılarak değerlendirilmiştir. Elektrokimyasal teknikler arasında potansiyodinamik polarizasyon eğrileri ve 25, 40 ve 60 ° C'de elektrokimyasal empedans spektroskopi ölçümleri bulunurken, konsantrasyonlar 0, 200, 500, 1000, 1500 ve 2000 ppm'dir. Hibiscus sabdariffa'nın saf Al için iyi bir inhibitör olduğu, etkinliği inhibitör konsantrasyonu ile arttığı ve sıcaklıkla düştüğü bulunmuştur. Hibiscus sabdariffa, bir Langmuir tipi adsorpsiyon izotermine göre metal yüzeye fiziksel olarak emilen, karışık tipte bir inhibitör görevi görmüştür. Ek olarak, Hibiscus sabdariffa'nın inhibe etme kapasitesi, heteroatomlardan ve p-orbitallerden yalnız çiftlerin varlığı, aktif yerleri bloke etmesi, dolayısıyla korozyon oranını

azaltan flavonoidler gibi bileşiklerin varlığından kaynaklanmıştır.

Salghi ve ark., (2014), 0,5 M H₂SO₄ çözeltisi içindeki C38 çeliğinin 2,10-dimetilasiridin-9 (10H) -on (DMA) ile korozyon inhibisyonu, elektrokimyasal polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve ağırlık kaybı yöntemleri kullanılarak araştırılmıştır. Üç tekniğin tümü ile ölçülen korozyon önleme etkinliği birbiriyle iyi uyum içindedir. Sonuçlar, DMA'nın asidik ortamdaki C38 çeliği için çok iyi bir inhibitör olduğunu göstermiştir. İnhibisyon etkinliği, artan inhibitör konsantrasyonu ve artan sıcaklık ile artar. Karışık tipte bir inhibitör görevi görür. Çalışmadan elde edilen termodinamik ve aktivasyon parametreleri tartışılmıştır. Kemisorpsiyon mekanizması önerilmiştir. Bu inhibitörün C38 çelik yüzeyine adsorpsiyonunun Langmuir'in izotermine uyduğu bulunmuştur. DMA'nın adsorpsiyon olgusunun, C38 çelik elektrot yüzeyinde kimyasal adsorpsiyon olduğu ileri sürülmüştür. DMA inhibitörünün eklenmesi aktivasyon enerjisinde azalmaya yol açmıştır.

Atta ve ark., (2014), Bu çalışma, korozyona maruz kalan çeliğin korozyon inhibisyonunu iyileştirmek için kullanılabilecek benzersiz özelliklere sahip silan bazlı organik-inorganik hibrit poliakrilamid nanokompozit geliştirmeyi ve araştırmayı amaçlamaktadır. Nanokompozit, dispersiyon radikali polimerizasyon tekniği kullanılarak hazırlanmıştır. Çeşitli konsantrasyonlarda silika / poliakrilamid nanokompozit, elektrokimyasal teknikler kullanılarak 1,0 M HCl çözeltisinde çeliğin korozyonuna karşı potansiyel inhibitör olarak test edilmiştir. Nanokompozit, karışık tip inhibitör gibi davranır ve metal yüzeyinde inhibitör bir tabaka oluşturur. İnhibisyon verimi, silika / poliakrilamid nanokompozit konsantrasyonundaki artışla artmıştır. Silika / poliakrilamid nanokompozit olduğu bulunmuştur. Asit kaynaklı çeliğin korozyonunu sadece silis tarafından deneyimlendiğinden daha iyi inhibe etmiştir.

Feier ve ark., (2014), Çıplak bir camsı karbon elektrotta N, N'-bis (asetilaseton) etilendiamin varlığında bakır (II) iyonlarının oldukça seçici, dolaylı tespiti araştırılmıştır. Geliştirilen yöntem, yukarıda belirtilen ligand ve bakır (II)

iyonları arasında oluşan kompleksin elektrokimyasal sinyaline dayanmaktadır. Oluşan kompleksin doğası spektrofotometrik ve elektrokimyasal yöntemlerle araştırılmıştır. Geliştirilen elektrokimyasal yöntem hızlı, ucuz, uygulaması kolaydır ve bakır için çok seçici olduğu kanıtlanmıştır (II). Yeni yöntem kullanılarak 10 µM ila 2 mM konsantrasyon aralığında Cu (II) iyonları için 0,635 ppm'lik bir tespit limiti (LOD) ile doğrusal bir yanıt elde edilmiştir. Optimize edilmiş elektrokimyasal yöntem, gerçek örneklerden bakır (II) iyonlarının saptanması için başarıyla kullanılmıştır. Kompleks için anodik oksidasyon piki oluşumunun, elektrodun yüzeyindeki ligandın immobilizasyon tekniğine büyük ölçüde bağlı olduğu da gösterilmiştir.

Atta ve ark., (2014), Oda sıcaklığında serbest sulu polimerizasyon yoluyla hazırlanan N-izopropil Akrilamid-ko-2-asilamido-2-metilpropan sülfonik Asit (NIPAm / AMPS) bazlı yüksek yüzey aktif amfifilik nanojeller, ince film antikorozyon kaplamalar olarak uygulanmaya hazırlanmıştır. Nanojellerin morfolojisi ve partikül boyutu dağılımı, sulu çözelti içinde iletim ve tarama elektron mikroskopisi (TEM ve SEM) ve dinamik ışık saçın DLS ile karakterize edilmiştir. 1,0 M HCl'de karbon çeliği için korozyon inhibitörleri olarak sentezlenen bileşiklerin etkinliği, potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) gibi çeşitli elektrokimyasal tekniklerle araştırılmıştır. Hem potansiyodinamik polarizasyondan hem de EIS ölçümlerinden elde edilen sonuçlar, NIPAm / AMPS nanojelinin çeliğin 1,0 M HCl çözeltisinde korozyonu için etkili bir inhibitör olduğunu ortaya koymaktadır. Polarizasyon verileri, NIPAm / AMPS nanojelinin karışık tipte bir inhibitör olarak davrandığını göstermektedir. Potansiyodinamik polarizasyon ve EIS yöntemlerinden elde edilen inhibisyon verimleri iyi bir uyum içinde olduğu saptanmıştır.

Rahal ve ark., (2016), Zeytin yaprağı ekstraktının 0.5 M Klorür çözeltisinde bakırın korozyonuna inhibisyon etkisi potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile belirlenmiştir. En yüksek inhibitör konsantrasyonuna birgün boyunca daldırıldıktan sonra ulaşıldığı bulunmuştur.

İnhibitör derişiminin yükselmesi ile inhibisyon etkinliğinin yükseleceğı sonucu bulunmuştur. Zeytin yaprağı ekstraktının katodik tip bir inhibitör olarak davrandığı tespit edilmiştir. Bir fiziksel adsorpsiyon mekanizmasını gösterdiği belirtilmiştir. Bu tip inhibitörler için oda sıcaklığında etkili oldukları ancak yüksek sıcaklıklarda inhibisyon etkinliğinde bir düşme olduğu kanaatine varılmıştır.

Cui ve ark., (2016), Arıtılmış su sistemlerinde kullanılan paslanmaz arıtımı için paslanmaz çelik dağıtım borusunda oluşan korozyon ölçeğinin karakterizasyonu araştırılmıştır. Paslanmaz çelik korozyon skalasının ve aşınmış pasif filmin morfolojik, mineralojik ve kimyasal özelliklerine odaklanılmıştır. Örnekler, geri kazanılmış suyu 12 yıldan fazla bir süre boyunca temiz bir kuyuya veren 304 tipi bir borudan elde edilmiştir. Korozyon skalası ağırlıklı olarak aşınmış boru kuponları ile aynı şekilde goethit, lepidokrosit, hematit, manyetit, demir oksit, siderit, krom yeşili ve kromitten oluşmuştur. Paslanmaz çeliğin lokalize korozyon davranışı, artık Cl^- ve SO_4^{2-} gibi geri kazanılmış su kalitesi parametreleri ile doğrudan ilişkilidir. Özellikle, geri kazanılmış su içinde belirli bir miktarda klor kalıntısı oksidan olarak mevcut olduğunda, ferrik demir, demir minerallerinin ana kimyasal halini oluşturmaktadır. Paslanmaz çeliklerin sulu koşullarda lokal korozyon sürecini araştırmak için geri kazanılmış bir su arıtma tesisinde 304 paslanmaz çelik dağıtım boru hattından alınan korozyon ölçeğı ve boru kuponu örnekleri ile ilgili kapsamlı fizyokimyasal veriler hesaplanmıştır. Çukur korozyonlu çatlak korozyonu, bu tip paslanmaz çelik borular için baskın korozyon davranış şekilleridir.

Song ve ark., (2017), Klorürün, demirli metallerin korozyon reaksiyonlarında, ürünlerinde ve kinetiğinde önemli bir rol oynadığı bildirilmektedir. Toprak ortamlarının, özellikle yüksek seviyelerde klorür içeren tuzlu toprakların, sünek demir ve karbon çeliğinin korozyonu üzerindeki etkilerinin anlaşılmasını artırmak için, demir içeren metalleri altı klorür konsantrasyonlu topraklara maruz bırakarak 3 aylık bir korozyon testi yapılmıştır. elektron mikroskopisi (SEM), X-Işını kırınımı (XRD), ağırlık kaybı, çukur derinliği

ölçümü, doğrusal polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri kullanılmıştır. Klorür iyonlarının korozyon reaksiyonlarına yön vererek ve katılarak pas katmanlarının özelliklerini ve bileşimlerini etkilediğini göstermiştir. Klorür ayrıca korozyon oranlarının azalmasını bastırırken, pas katmanlarını kalınlaştırarak ve pas kompozisyonlarını dönüştürerek difüzyon işlemindeki zorluğu arttırmıştır. Karbon çeliği, sünek demire göre klorür ataklarına karşı daha hassastır. Sünek demir ve karbon çeliğinin korozyon kinetiği, sırasıyla olasılıklı ve bilinear modele karşılık gelmiştir.

Vrsalovic ve ark., (2017), Bu araştırmada, $0,5 \text{ mol/ dm}^3 \text{ NaCl}$ çözeltisinde propolisin etanol özütü kullanılarak bakırın korozyonunun önlenmesi olasılığı araştırılmıştır. Ölçümler, 4 ml propolis özütünün ilave edildiği $200 \text{ cm}^3 \text{ NaCl}$ çözeltisi içinde gerçekleştirilmiştir. Ayrıca, propolisin etanol ekstraktının elektrot yüzeyine uygulanması ve ardından 24 saat boyunca hava ile kurutulması ile oluşturulan propolis kaplamasının koruyucu etkisi araştırılmıştır. Deneyler elektrokimyasal yöntemler kullanılarak gerçekleştirilmiştir (açık devre potansiyel ölçümleri, doğrusal ve potansiyodinamik polarizasyon yöntemi ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleri (EIS)). Sonuçlar, propolis kaplamasının Cu'nun açık devre potansiyelinin değerini önemli ölçüde daha pozitif değerlere kaydırıldığını, polarizasyon direncinin değerini önemli ölçüde artırdığını ve korozyon akımı yoğunluğunda bir azalmaya yol açtığını göstermiştir.

Öte yandan, çözeltiye propolis eklenmesi, bakırın kararlı açık devre potansiyelinin değerinde küçük değişiklikler sağlamıştır, ancak polarizasyon direncinin değerini arttırdığı ve korozyon akımı yoğunluğunu azalttığı belirlenmiştir. Polarizasyon ölçümlerinden sonra, elektrot yüzeyi optik mikroskopisi ile incelenmiştir. Seçilen propolis bileşenlerinin kuantum kimyasal modellemesi, korozyon önleme performansına katkılarını belirlemek için gerçekleştirilmiştir.

Volpi ve ark., (2017), Birkaç inhibitörün ilk incelemesi, metilen mavisi boyar maddesi ve trisodyum fosfatın seyreltilmiş H_2SO_4 'te yumuşak çelik koruması

için en umut verici adaylar olduğu gösterilmiştir. Bu tür bileşikler, metilen mavisi boyası ile emprenye edilmiş hidroksiapatit (HAP) veya vaterit gözenekli matrislerden oluşan iki organik / inorganik melez halinde birleştirilmiştir. Yeni hibrid sistemler, taramalı elektron mikroskopisi, X-ışını kırınımı ve Brunauer – Emmett – Teller analizi ile karakterize edilmiştir. Yüklü ve boş HAP konakçı içeren simüle edilmiş bir ortamda çelik numunelerin elektrokimyasal yanıtı, doğrusal polarizasyon direnci ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ile izlenmiştir. Sonuçlar, organik bileşiklerin salınması ve inorganik matrisin çözülmesinden kaynaklanan asenkerjistik etkiyi gösteren, seçilen bileşiklerin asidik ortamdaki inhibe edici özelliklerini doğrulamıştır. Simüle edilmiş asidik çözelti ortamında yapılan elektrokimyasal testler, MBD – HAP sisteminin sinerjistik etkisi nedeniyle korozyon direncinde önemli bir iyileşme gösterirken, bileşenler (MBD ve HAP) ayrı olarak kullanıldığında tatmin edici bir koruma ile sonuçlanmamıştır.

Berrissoul ve Dafali., (2019), Dünya çapında birçok endüstri ana hammadde olarak çelik ve alüminyum kullanmaktadır. Diğer taraftan, hafifliği ve dayanıklılığı sayesinde alüminyum, ulaştırma endüstrisinin tüm sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (kara, deniz ve hava). Çelik ekipmanların üretim süreci genellikle diğerlerinden daha ucuzdur ve geri dönüştürülebilirliği sınırsız olabilmektedir. Bu nedenle en çok kullanılan metallerden biri olmuştur.

Üretim işleminden sonra, bitmiş metalik ürün, hidroklorik asit gibi agresif asitler kullanarak bir asitleme işlemine ihtiyaç duymaktadır. Sonuç olarak, alüminyum ve çelik ürünler korozyona maruz kalmaktadır. Bu nedenle mevcut çalışma, Lavandula maroccana etanol ekstraktının 1,0 M *HCl* çözeltisinde hem alüminyum hem de yumuşak çelik korozyonu üzerindeki korozyon önleyici etkisi araştırılmıştır. Aslında, bitki özleri inhibitörleri, genellikle çevresel olarak toksik olan sentezlenmiş bileşiklerin yerini almaktadır. Elektrokimyasal ölçümler, potansiyostat cihazı (PGZ100) kullanılarak Lavandula maroccana inhibitörünün inhibisyon etkisini analiz etmek için kullanılan ana verilerdir. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi tekniği (EIS) ile yumuşak çelik örneğinin yük transfer

direncinde bir artış olduğu saptanmıştır. Yüksek inhibisyon etkinliği, 400 ppm LM ekstraktı kullanılarak 1,0 M *HCl* içerisinde yumuşak çelik için % 89 dur. Bu çalışmada kullanılan alüminyum alaşımı için yüksek inhibisyon verimliliği % 68'e ulaşmıştır. Lavandula maroccana ekstrakt inhibitörünün alüminyum alaşımı ve yumuşak çelik numunesi üzerindeki etkisini araştırmak için tarama elektron mikroskobu (SEM) ve UV-görülebilir yüzey analizi de uygulanmıştır.

Zhen ve ark., (2019), Refrakter organik kirletici arıtımı için PbO_2 elektrotlarının elektrokatalitik bozunma aktivitesini daha da geliştirmek için, Langmuir-Blodgett film tekniğini kullanarak iki boyutlu bir koloidal kristal şablonuna dayanan yeni bir iki boyutlu $\beta-PbO_2$ makro gözenekli dizi elektrodu ($2D-PbO_2$), geliştirilmiştir. $2D-PbO_2$ elektrotlarının ve geleneksel yassı elektrotların ($Flat-PbO_2$) yapısı ve yüzey morfolojisi, taramalı elektron mikroskopisi (SEM) ve X-ışını kırınımı (XRD) ile karakterize edilmiştir. Anot polarizasyon eğrileri, siklik voltametri (CV) eğrileri ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ölçümleri, iki tür elektrodun elektrokatalitik aktivitesini karşılaştırmak için araştırılmıştır.

Metil turuncusunun (MO) elektrokatalitik degradasyonu CV ile yapılmıştır ve elektrokatalitik degradasyon işlemi sırasında değişiklikleri izlemek için UV spektroskopisi kullanılmıştır. Sonuçlar, hazırlanan elektrodun geniş bir spesifik yüzey alanına sahip iki boyutlu sıralı bir mikron küresel boşluk dizi yapısı sergilediğini göstermektedir. Kaplama yüzeyi 5-6 μm boyutunda tekli $\beta-PbO_2$ mikro boşluklardan oluşur ve mikron deliklerinin aralığı yaklaşık 2 μm 'dir. $Flat-PbO_2$ elektrotları ile karşılaştırıldığında, $2D-PbO_2$ elektrotları daha yüksek bir değişim akımı yoğunluğu ($j_0 = 1,478 \times 10^{-5} A \cdot cm^{-2}$), daha küçük görünen aktivasyon enerjisi ($E_a = 12,09 kJ \cdot mol^{-1}$), daha büyük gösterir elektrikli çift katmanlı kapasitans ($C_{dl} = 60 \mu F \cdot cm^{-2}$) ve daha küçük şarj aktarım direnci ($R_{ct} = 16,89 \Omega \cdot cm^2$), daha iyi elektrokatalitik performans sağlamıştır. MO'nun

elektrokatalitik bozunma işleminde, MO'nun moleküler yapısındaki konjuge kromofor grubu doğrudan oksidasyon yöntemleri ile zarar görmüştür. Reaksiyon, sahte birinci dereceden kinetikleri izlemiştir ve görünen hız sabiti (k_{app}) değeri, $0,06814 \text{ dk}^{-1}$, Flat-PbO₂ elektrotlarının ($0,02902 \text{ dk}^{-1}$) yaklaşık 2,35 katıdır. Elektrokatalitik bozunma verimliliği önemli ölçüde iyileştirilmiştir.

Wang ve ark., (2019), 6-dibutilamino-1,3,5-triazin-2,4-ditiolmonosodyumun (DBN), 0,5 M sodyum klorür çözeltisinde pirinç korozyonu üzerindeki inhibisyon etkisi, ağırlık kaybı yöntemleri, potansiyodinamik polarizasyon eğrileri, temas açısı kullanılarak araştırılmıştır. Sonuçlar inhibisyon etkinliğinin artan DBN konsantrasyonu ile arttığını göstermiştir. Potansiyodinamik polarizasyon sonuçları, DBN konsantrasyonu 1,2 mM olduğunda korozyon önleme etkinliğinin % 98'e ulaştığını göstermiştir. DBN inhibitörlerinin pirinç / klorür yüzeyinde adsorpsiyonunun Langmuir'in adsorpsiyon izotermi takip ettiği bulunmuştur.

Hesaplanan ΔG_{ads}° değeri $-17,56 \text{ kJ / mol}$, DBN'nin pirinç yüzeyinde adsorpsiyonunun $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de ekzotermik olarak kendiliğinden yürüdüğü tespit edilmiştir. Ayrıca, morfoloji gözlem sonuçları DBN'nin klorür çözeltisinde pirinç için iyi bir inhibitör görevi gördüğünü ortaya koymaktadır.

İsmail ve ark., (2019), Yumuşak çelik üzerindeki çeşitli konsantrasyonlarda çinko sülfat ZnSO_4 (ZnSO_4) ile $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $0,05 \text{ M NaCl}$ içerisinde sodyum dodesilbenzensülfonatlar yüzey aktif cisminin (SDBS) ve SDBS'nin korozyon inhibisyonu, $25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de $0,05 \text{ M NaCl}$ ve polarizasyon ölçümleri kullanılarak araştırılmıştır. SDBS'nin adsorpsiyon davranışı, farklı adsorpsiyon izotermi yoluyla belirlenmiştir. Yumuşak film yüzeyi üzerindeki organik filmin karakterizasyonu Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi (FTIR) analizi ile yapılmıştır. EIS sonuçları, SDBS'nin korozyon önleme verimliliğinin (IE) ZnSO_4 varlığında arttırıldığını ve $200: 200 \text{ ppm SDBS: ZnSO}_4$ karışımlarında

maksimum% 96 değerini gösterdiği bulunmuştur. Polarizasyon ölçümü ile benzer bir numune için IE'nin % 95 olduğu ve bu da EIS sonuçlarına iyi uyduğunu tespit edilmiştir. Hesaplanan termodinamik parametre SDBS'nin adsorpsiyon işleminin Langmuir adsorpsiyon izotermine 0,996 korelasyon katsayısı R^2 ile uyduğunu ortaya koymaktadır. Adsorpsiyonun hesaplanan serbest enerjisi -33 KJ/mol bulunmuştur;

FTIR analizi, yumuşak çelik yüzeyde adsorbe edilmiş organik filmin varlığını doğrulamıştır.

Oulmas ve ark., (2019), Bu çalışmada, Cu-Zn sitrat banyosundaki tuz anyonunun (klorür ve sülfat) siklik voltametri (CV) ve kronoamperometri (CA) kullanılarak etkisi araştırılmıştır. Kaplama mikro yapıları taramalı elektron mikroskobu (SEM-EDS) ile incelenmiştir, kaplama fazları X-ışını kırınımı (XRD) analizi ile karakterize edildi ve yüzey bileşimi XPS ile değerlendirilmiştir.

Klorür banyolarında sülfat banyolarına kıyasla daha yüksek akım verimliliği elde edilmiştir. Test sonuçları; 0,5 M *NaCl* çözeltisi, klorür banyosundan üretilen Cu – Zn birikiminin en yüksek korozyon direncini gösterdiğini ıspatlamıştır.

Kılınççeker ve ark., (2020), Bu çalışmada bakırın %3,5 *NaCl* çözeltisi içinde variamin mavisinin varlığında ve yokluğunda korozyon davranışı araştırılmıştır. Bakırın elektrokimyasal davranışı, sabit sıcaklıkta (298 K) ve pH' da (3,5) %3,5 *NaCl* ve %3,5 *NaCl* + xM variamin mavisi (c =0,025 mM; 0.05 mM; 0,100 mM; 0,125 mM) çözeltilerinde incelenmiştir. Potansiyodinamik polarizasyon, açık devre potansiyeli ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) gibi elektrokimyasal teknikler kullanılmıştır. Ayrıca, variamin mavisinin Cu ve Cu^{2+} metal iyonlarına karşı antikorozyf özellikleri kuantum kimya ile incelenmiştir. En yüksek inhibisyon verimini gösteren derişim 0,125 mM'de olmuştur.

Kılınççeker ve Baş, (2020), Bakırın Hha((E)-2-hydroxy-5-(2-benzylidene) aminobenzoik asit) varlığında bir Molar Hidroklorik asit çözeltisinde korozyon davranışı deneysel ve hesaplamalı olarak ele alınmıştır. Çeşitli sıcaklıklarda bakır elektrodun elektrokimyasal davranışı bir Molar Hidroklorik asit çözeltisinde ve bir

Molar Hidroklorik asit çözeltisi + xM Hha çözeltilerinde incelenmiştir. Elektrokimyasal teknikler kullanılmıştır. Ek olarak, doğrulamak için kuantum kimyası da kullanılmıştır. Bu şekilde Hha ve bakır iyonları arasındaki ilişki B3LYP/6-31G(d) seviyesi üzerinden araştırılmıştır. Farklı sıcaklıklarda en iyi korozyon inhibisyonu etkisi, optimum konsantrasyonda tespit edilmiştir. Hha konsantrasyonundaki yükselme ile inhibisyon etkinliği yükselmiştir.

Kuantum hesaplamaları da bu inhibitörün metal iyonlarına iyi bir eğilim gösterdiğini ıspatlamıştır. Sonuç olarak Hha uygulamasının bakırın korozyon oranını önemli ölçüde azaltacağı bulunmuştur.

Zeng ve ark., (2021), H_2SO_4 ortamında bakırın korozyon davranışlarına karşı mükemmel bir korozyon önleyici olarak düşündükleri 2-Amino-6-(Metilsülfonil) Benzotiazolün etkisini araştırmışlardır. Elektrokimyasal deney, AMB'nin konsantrasyonunun artması ile korozyon önleyici etkinin arttığını ve konsantrasyonun 3 mM'ye ulaştığında korozyon önleyici verimliliğin (η) %95.95 olduğunu bulmuşlardır. Sıcaklık değişiminin korozyon önleme verimliliği üzerinde önemli bir etkisi olmadığını saptamışlardır. Ağırlık kaybı ölçümlerinin, elektrokimyasal deney olgusunu etkili bir şekilde desteklediğini bulmuşlardır. SEM ve AFM'yi kullanarak, AMB'nin bakırın arayüzünde etkili bir şekilde adsorbe edebileceğini saptamışlardır. Langmuir adsorpsiyon modeli, AMB adsorpsiyonunun karışık adsorpsiyon olduğunu göstermiştir. Korozyon önleme mekanizması, kuantum kimyasal hesaplama ve moleküler dinamik simülasyonu ile daha da açıklanabileceğini belirtmişlerdir.



3. MATERYAL VE METOD

3.1. Materyal

İnhibitör etkinliği araştırılan madde: Merck marka Metil Oranj, Fenol Kırmızısı, Variamin Mavisi kullanıldı.

Poliester, hızlandırıcı ve sertleştirici: Ticari poliester, hızlandırıcı ve sertleştirici, elektrotları gömmek için kullanıldı.

Na_2SO_4 : Merck marka olup, deney ortamlarının hazırlanmasında kullanıldı.

$NaCl$: Merck marka olup, deney ortamlarının hazırlanmasında kullanıldı.

Çalışma Elektrodu: Yüzey alanı $0,50\text{ cm}^2$ olan ve bileşimleri bilinen yumuşak çelik [(C (%0,17), Mn (%1,40), P (%0,045), S (%0,045), N (%0,009), ve Fe (%98,376)] kullanıldı.

Bakır elektrot: Yüzey alanı $0,1963\text{ cm}^2$ olan Bakır (%99,999) elektrodun bir tabanı açık kalacak şekilde dışı polyesterle kaplanarak ve elektriksel iletkenlik bu elektroda tutturulan bir bakır tel ile sağlandı.

Karşı Elektrot: $1 \times 1\text{ cm}$ boyutlarında saf platin levha karşı elektrot olarak kullanıldı.

Referans Elektrot: Ag/AgCl (3,0 M KCl) referans elektrot olarak kullanıldı.

Potansiyostat (CHI): Elektrokimya araştırma laboratuvarında bulunan bilgisayar entegreli analizör çalışma elektrotlarının Elektrokimyasal karakterizasyon ve İmpedans eğrileri, dönüşümlü voltamogramlar ve tafel eğrilerinin elde edilmesinde kullanıldı.

Taramalı elektron mikroskobu (SEM): Elektrotların, yüzey morfolojilerini belirleme amacıyla taramalı elektron mikroskobu kullanıldı.

Elektrikli mekanik parlaticılı zımpara cihazı: Elektrodun çözeltiyle temas eden yüzeyini parlatmak amacıyla kullanıldı.

Analitik terazi (SCALTEC): Çözelti hazırlamada kimyasal maddelerin tartılması için, $1,0\text{ Mg}$ 'a duyarlı analitik terazi kullanıldı.

Termostatlı su banyosu (NÜVE): Sıcaklığın korozyona etkisini belirlemek amacıyla yapılan deneylerde, çözeltilerin sıcaklıklarını sabit tutmak amacıyla su banyosu kullanıldı.

pH-Metre: Çözeltilerin pH'ını ölçmek için kullanıldı.

Dijital termometre (NEL): Çözeltilerin sıcaklıklarını ölçmek amacıyla termometre kullanıldı.

Isıtıcıli manyetik karıştırıcı (VELP): Çözeltileri ısıtmak ve karıştırmak amacıyla ısıtıcıli manyetik karıştırıcı kullanıldı.

Zımpara kâğıdı: 60 (en kalın), 150 (kalın), 600 (ince) ve 1200 (en ince) numara zımpara kâğıtları, elektrotların çözeltiyle temas edecek olan yüzeylerini parlatmak için kullanıldı.

3.2. Metod

3.2.1. Yöntem

3.2.1.1 Çalışma Elektrotların Hazırlanması

Çalışma elektrotları silindirik bakır (%99,999) çubuklardan 5 cm uzunluğunda kesilmiş taban alanlarından bir tanesi delinerek iletkenliği sağlamak için bakır tel geçirilmiştir. Sadece diğer taban alanı (çalışma yüzeyi) açıkta kalacak şekilde polyester blok ile kaplanmıştır. Bu şekilde hazırlanan bakır elektrodunun yüzey alanı 0,1963 cm²'dir. Çalışma elektrotlarının yüzeyleri bütün ölçümlerden önce mekanik parlatıcıda değişik tanecik boyutlu (100-600-1200) zımpara kâğıtları ile parlatıldıktan sonra sırasıyla saf su ile yıkanıp, etanolden geçirilip saf su ile tekrar yıkandıktan sonra filtre kâğıdı ile kurutulup çözeltiye daldırılmıştır.

3.2.1.2. Çalışılacak inhibitör çözeltilerinin hazırlanması

Korozyon deneyleri %3,5 NaCl ve farklı derişimlerde (0,025; 0,050; 0,100, 0,125; 0,125 mM) Variamin Mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve Metil Oranj (MO) içeren %3,5 NaCl çözeltilerinde ve de 0,1 M Na₂SO₄ ve farklı derişimlerde (0,025; 0,050; 0,100, 0,125; 0,125 mM) Variamin Mavisi (VM), Fenol Kırmızısı

(FK) ve Metil Oranj (MO) içeren 0,1 M Na₂SO₄ çözeltilerinde gerçekleştirilmiştir. Test çözeltileri, Merck marka yüksek saflıktaki VM, FK ve MO'nun uygun miktarının tartılarak destile suda çözülmesi ile hazırlanmıştır. Bu amaçla öncelikle 10,0 Mm Rh stok çözeltisi hazırlanmış, diğer derişimler stok çözeltilerin destile su ile seyreltilmesi ile hazırlanmıştır. Kullanılan inhibitörün kimyasal yapısı Şekil 1.19'da verilmiştir.

3.2.2. Elektrokimyasal Ölçümler

3.2.2.1. Anodik/ Katodik Akım-Potansiyel Eğrilerinin Elde Edilmesi

Katodik ve anodik polarizasyon eğrileri üç elektrot tekniği kullanılarak CHI 660 elektrokimyasal analiz cihazı ile yapılmıştır. Platin karşı ve Ag/AgCl, Cl⁻ (doy.) referans elektrot olarak kullanılarak katodik/anodik polarizasyon eğrileri uygun potansiyeYumuşak çelik ve bakır elektrodun referans elektrota karşı açık devre potansiyeli ölçüldükten sonra, 1 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-1,8 mV), tarama yapıp temizlenerek 2,5 saatlik bekleme süresi sonunda anodik yöne doğru (1,8 mV) tarama yapılmıştır. 3 farklı sıcaklık, 3 farklı pH ve 3 farklı inhibitor özelliği araştırılacak madde ve 2 farklı ortamda elde edilen yarı logaritmik akım-potansiyel eğrileri Bölüm 4' de verilmiştir.

3.2.2.1.(1). Akım yoğunluğu değerlerinin hesaplanması (i_{kor})

Bakır elektrodun ve yumuşak çeliğin % 3,5 NaCl içerisinde farklı derişimlerde elde edilen $\log(Z/\text{ohm}) - \log(\text{Freq}/\text{Hz})$ Bode eğrisinden polarizasyon dirençleri belirlenmiştir. $i_{kor} = B \cdot R_p^{-1}$ eşitliğinden faydalanılarak korozyon akımları hesaplanmıştır. Anodik Tafel eğimi çalışılan çoğu koşullarda 0,060 V/dec olduğundan B sabitinin değeri 0,026 V olarak alınmıştır.

Yumuşak çeliğin ve bakırın korozyon hızını belirlemek üzere bu sabit değer kullanılmıştır.

Şekil 4.3' teki bode doğrusundan son noktadaki $\log(\text{Freq}/\text{Hz})$ 'e karşılık gelen $\log(Z/\text{ohm})$ 3,5 'dir.

$$\text{Log } (Z/\text{ohm}) = 3,5$$

$$R_p = \text{Antilog } (3,5) = 3162,27 \text{ ohm}$$

$$i_{kor} = B \cdot R_p^{-1}$$

$$i_{kor} = 0,026 \times 1 / 3162,27 = 8,22 \times 10^{-6}$$

$$i_{kor} = 8,22 \times 10^{-6} \text{ A bu değer } 10^6 \text{ ile çarpılarak,}$$

Akım yoğunluğu değeri = $8,22 \times 10^{-6} \text{ A} \times 10^6 \text{ } \mu\text{A/A} = 8,22 \text{ } \mu\text{A}$ olarak hesaplanmış ve yüzey alanına ($0,1963 \text{ cm}^2$) bölünerek

$i_{kor} = 8,22 \text{ } \mu\text{A}/0,1963 \text{ cm}^2 = 41,88 \text{ } \mu\text{A.cm}^{-2}$ olarak hesaplandı. Çizelge 4.1.'de ve metin içinde i_{kor} değerleri $\mu\text{A.cm}^{-2}$ olarak tartışıldı.

3.2.2.2. İmpedans Eğrilerinin Elde Edilmesi

Yumuşak eliğik ve bakırın elektrokimyasal davranışı ayrı olarak, üç elektrot tekniği ile 298 K; 313 K ve 333 K'de 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisine ve %3,5 NaCl içerisine inhibitör olarak 0,025 mmol /L, 0,050 mmol/L, 0,100 mmol /L, 0,125 mmol /L Metil oranj, fenol kırmızışı ve variamin mavisi katılarak AC impedans yöntemiyle belirlendi. %3,5 NaCl ve 0,1 M Na_2SO_4 içeren inhibitörsüz veya 0,025 mmol /L, 0,050 mmol/L, 0,100 mmol /L, 0,125 mmol /L Metil oranj, fenol kırmızışı ve variamin mavisi + 0,1M Na_2SO_4 veya 0,025 mmol /L, 0,050 mmol/L, 0,100 mmol /L, 0,125 mmol /L Metil oranj, fenol kırmızışı ve variamin mavisi + % 3,5 NaCl içeren inhibitörlü çözelti deney düzeneğine yerleştirilmiştir. Çözeltiye; karşı elektrot olarak platin (Pt), alışma elektrodu olarak yumuşak elik ve bakır ayrı olarak, referans elektrot olarak Ag/AgCl elektrot daldırılmıştır.

İki buçuk saat bekleme süresi sonunda yumuşak elik ve bakırın her birisi için referans elektroda karşı açık devre potansiyeli belirlenmiştir. 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile $5 \times 10^{-3} \text{ Hz}$ frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edildi. EIS verileri Chi 604 A cihazında llmştir. polarizasyon direnci (R_p), korozyon potansiyeli (E_{kor}) ve inhibisyon etkinliği değerleri (% İE) 4. Bulgular'da verilmiştir. Ayrıca sıcaklıkları 298 K; 313 K; 333

K’de iki buçuk saat olan çözeltilerle de yapıldı ve bulgular Bölüm 4’de verildi.

Cihazdan elde edilen $\log i$ değerleri elektrodun yüzey alanına ($0,5024 \text{ cm}^2$) bölünerek yarı logaritmik [$\log i \text{ (A.cm}^{-2}\text{)}$] akım yoğunluğu değerleri belirlendi.

3.2.2.3. Açık Devre Potansiyeline Karşı zaman Eğrileri

Üç elektrot tekniği kullanılarak oda koşullarında açık devre potansiyelinden bir saat boyunca akım geçirilerek elde edildi. Korozyon potansiyelleri (E_{kor}) doğrudan cihazdan okundu.

3.2.3. Yüzeyin Spektroskopik Karakterizasyonu:

Anlatılan teknikleri kullanarak elde edilen elektrotların yüzeyi incelenerek karakterizasyonu çıkarılacaktır. SEM ile oluşturulacak ürünün yüzey özellikleri incelendi.

3.2.4. Aktivasyon Enerjisinin Belirlenmesi

Arrhenius denklemi aşağıdaki eşitlikle verilmektedir.

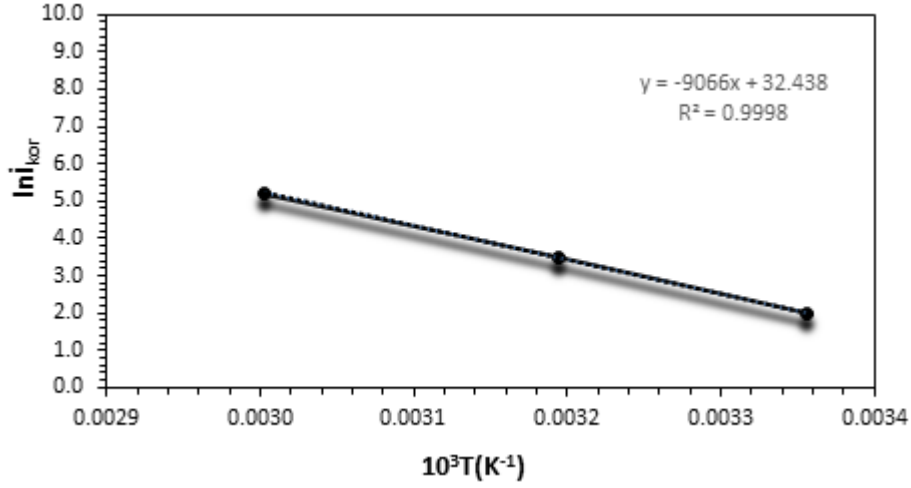
$$k = A.e^{(-E_a^*/RT)} \quad (1.40)$$

Bu denklemde; “k” tepkime hızı (inhibitor varlığında veya yokluğunda korozyon hızı), “A” Arrhenius sabiti (frekans faktörü), “ E_a^* ” aktivasyon enerjisi (korozyon aktivasyon enerjisi), “R” genel gaz sabiti, “T” ise mutlak sıcaklığı göstermektedir.

Korozyonun aktivasyon enerjisinin (E_a^*) hesaplanmasına örnek:

E_a^* ’ları belirlemek için %3,5 $NaCl$ ve 0,1 M Na_2SO_4 ortamında inhibitör olarak 0,025 mmol /L, 0,050 mmol/L, 0,100 mmol /L, 0,125 mmol /L Metil oranj, fenol kırmızısı ve variamin mavisi katılmış çözeltilerin 298 K; 313 K; 333 K aralığındaki i_{kor} değerleri kullanılmıştır. E_a^* ’yı hesaplamak için $\ln i_{kor}$ ’a karşı $10^3/T$ grafiği çizilerek Arrhenius doğruları elde edilmiştir.

Örnek E_a^* hesabı: %3,5 NaCl + 0,125 mmol/L Metil oranj çözeltisi için elde edilen doğrunun eğiminden E_a^* değeri aşağıda gösterildiği gibi hesaplandı (Şekil 3.1.).



Şekil 3.1. 0,125 mmol/L MO çözeltisi için çizilen Arrhenius doğrusu.

Şekil 3.1.'de verilen $\ln i_{kor}$ ' a karşı $10^3/T$ doğru denklemi: $y = -9066x + 32.438$ 'dir. Bu doğrunun eğiminden E_a^* bulunmuştur.

$$\text{Eğim} = -9.066 \times 10^3 \text{ 1/K}^{-1} = -E_a^*/R$$

$$E_a^* = -(-9.066 \times 10^3 \text{ 1/K}^{-1} \times 8.314 \text{ J/mol. K}) = 75374 \text{ J/mol}$$

$$E_a^* = 75374 \text{ J/mol} \times (1\text{kJ}/1000 \text{ J}) = 75,4 \text{ kJ/mol'dür.}$$

Yumuşak çelik ve bakır için diğer doğruların eğimlerinden E_a^* değerleri aynı şekilde hesaplandı ve 4. Bulgular'da verilmiştir.

3.2.5. Adsorpsiyon İzotermilerinin Belirlenmesi

İnhibitör ve metal yüzeyi arasındaki ilişkiyi saptamak için adsorpsiyon izotermi kullanılmaktadır. Adsorpsiyonun, hangi izoterme uyduğunun belirlenmesinde yumuşak çelik ve bakır için adsorpsiyon izotermi çizildi ve bu

izoterm bulgular 4. Bulgular’da gösterilmiştir.

3.2.6. Entalpi (ΔH_{ads}^o) ve Entropi (ΔS_{ads}^o) Değerlerinin Belirlenmesi

Adsorpsiyon entropisi ve adsorpsiyon ısısı gibi termodinamik adsorpsiyon parametreleri, farklı matematiksel metotlar kullanılarak bulunabilmektedir. Bütün sıcaklıklarda ve yumuşak çelik ve bakır metallerinde meydana gelen korozyon $\Delta S = nF(\partial E_{corr}/\partial T)_p$ sürecindeki entropi değişimleri açık sistemler için önerilen korozyon potansiyelleri ve sıcaklık değerleri kullanarak hesaplanmış ve Bölüm 4’te verilmiştir (Kılınççeker ve Galip, 2018).



4. BULGULAR VE TARTIŞMA

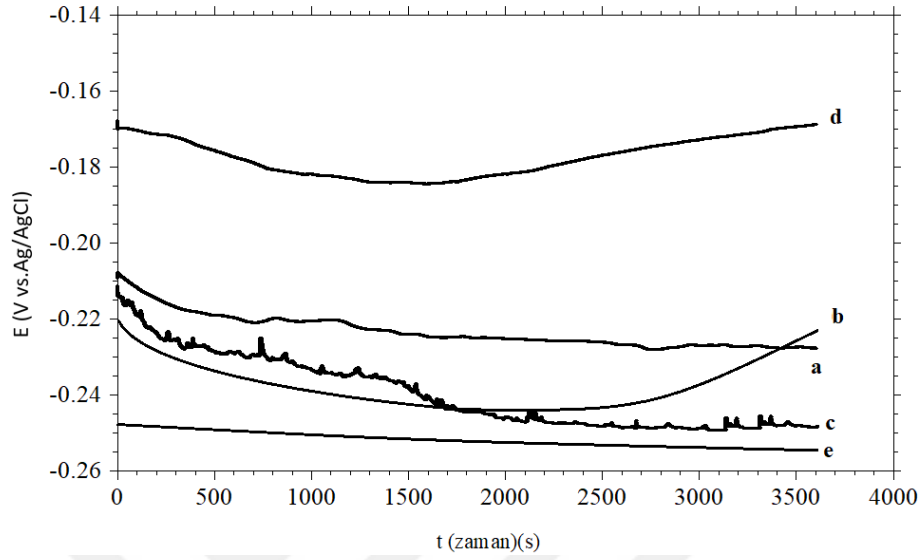
4.1. Bakırın %3,5 NaCl, %3,5 NaCl +xM ortamında farklı sıcaklık ve pH larda Elde Edilen Bulgular

Bakırın elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz %3,5 NaCl ve %3,5 NaCl + xM inhibitörlü ortamlarda 298 K; 313 K ve 333 K'de pH=3,5; 7,0 ve 9,0 da, 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM konsantrasyonlarda Açık devre potansiyelinin zamanla değişim ölçümleri, EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir (x: Variamin mavisi, Fenol kırmızısı, Metil Oranj).

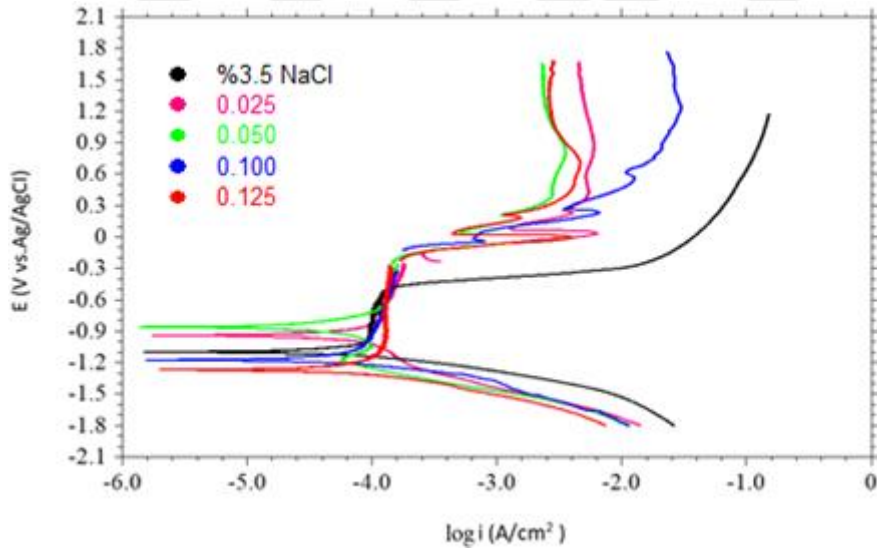
Bakırın elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz ve inhibitörlü çözeltilerde elektrotların iki buçuk saat bekletilmesi sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir. Açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. 1 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-1,8 mV), tarama yapıp temizlenerek 2,5 saatlik bekleme süresi sonunda anodik yöne doğru (1,8 mV) tarama yapılmıştır.

Şekil 4.4.'de inhibitörlü bütün ortamlarda yüksek frekans bölgesinde oluşan yarım dairelerin yarıçapları, inhibitörsüz ortamlardakinden daha büyük olmuş ve inhibitör derişimi arttıkça yarıçaplar da artmıştır (Rahiman ve ark, 2017). Farklı sıcaklıklarda iki buçuk saat bekleme süresi sonunda elde edilen bode diyagramlarından R_p hesaplanmıştır (Şekil 4.5.) Akım Potansiyel eğrilerinden akım yoğunluğu değerleri i_{kor} hesaplanmıştır. Nyquist eğrilerinden elde edilen impedans parametreleri; Açık Devre Potansiyeli (E_{kor}), polarizasyon direnci (R_p), inhibisyon etkinliği değerleri (% İE) ve i_{kor} Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

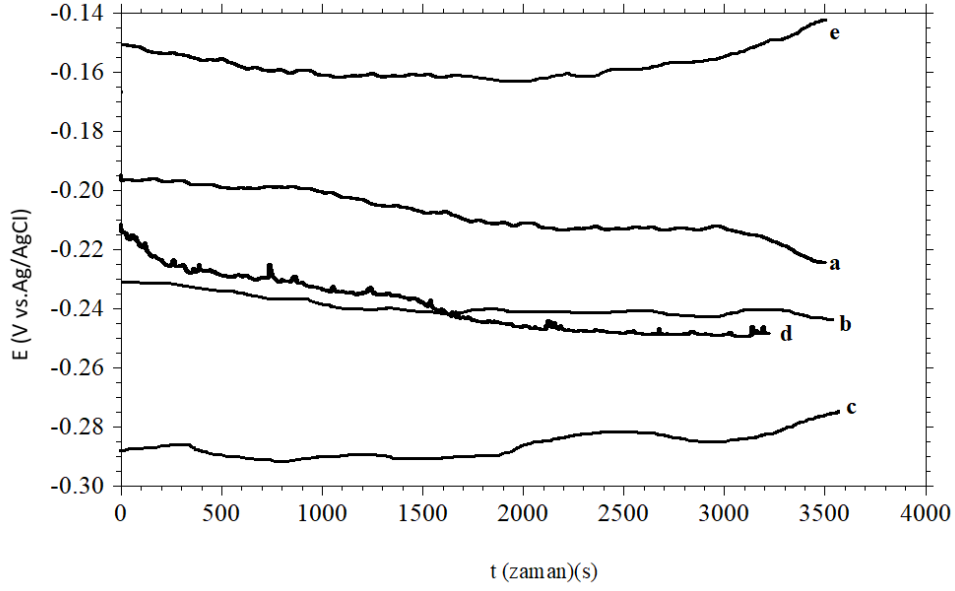
298; 313; 333 K de pH=3,5; 7,0; 9,0'da, %3,5 NaCl içeren ortamda farklı derişimlerde variamin mavisi (VM), fenol kırmızısı (FK) ve metil oranj (MO) içeren ve içermeyen çözeltilerinde 2,5 saat sonunda elde edilen eğriler Şekil 4.1-4.68'de verilmiştir (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



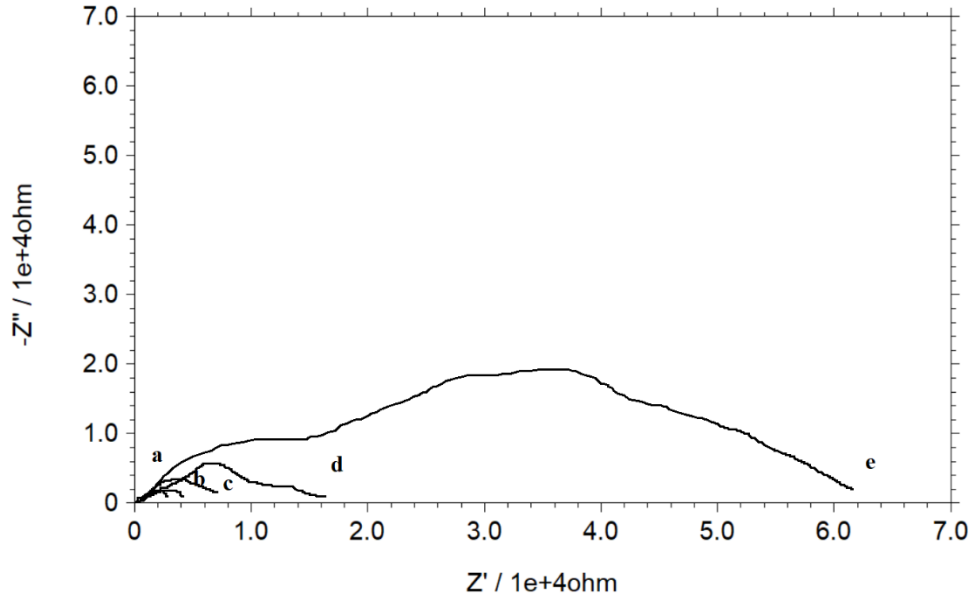
Şekil 4.1. VM için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



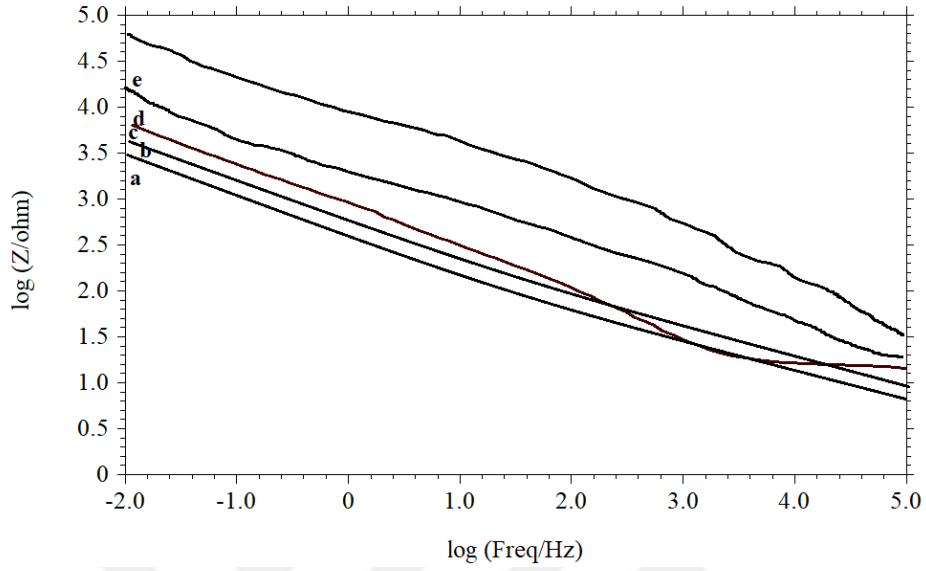
Şekil 4.2. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



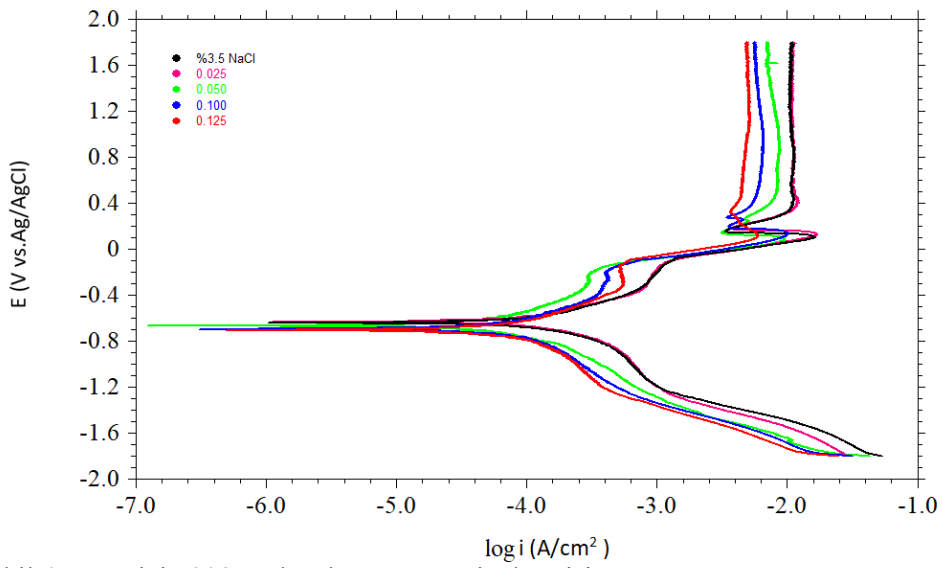
Şekil 4.3. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



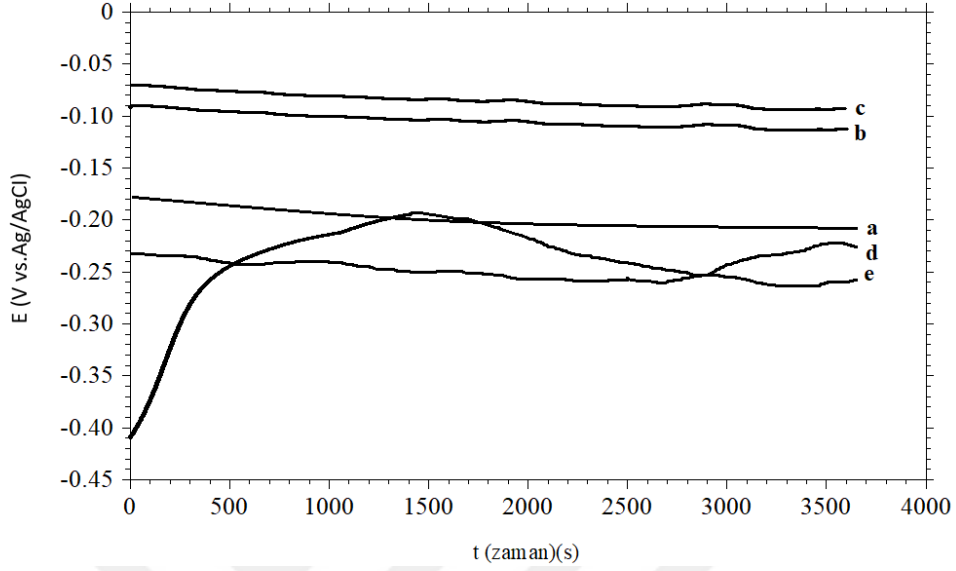
Şekil 4.4. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



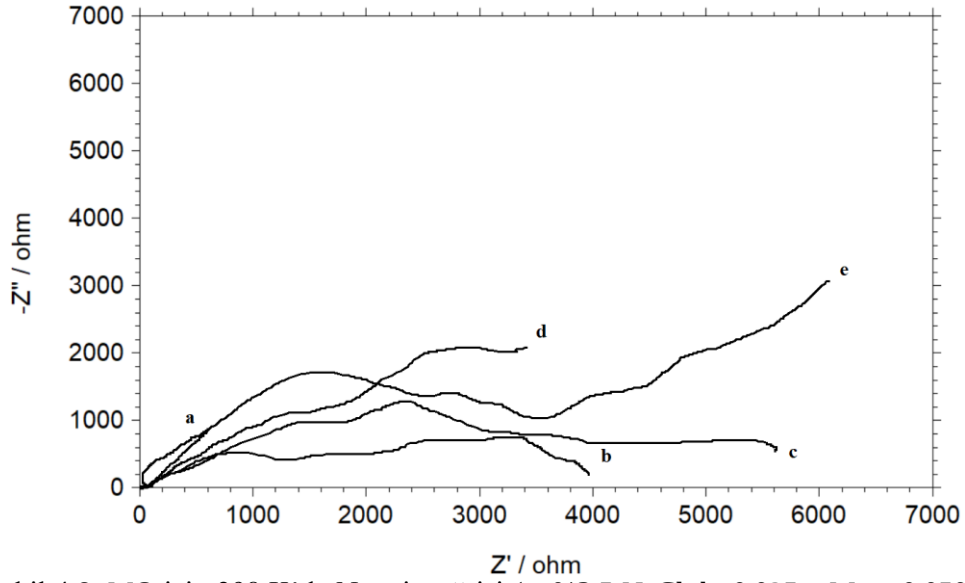
Şekil 4.5. FK için 298 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



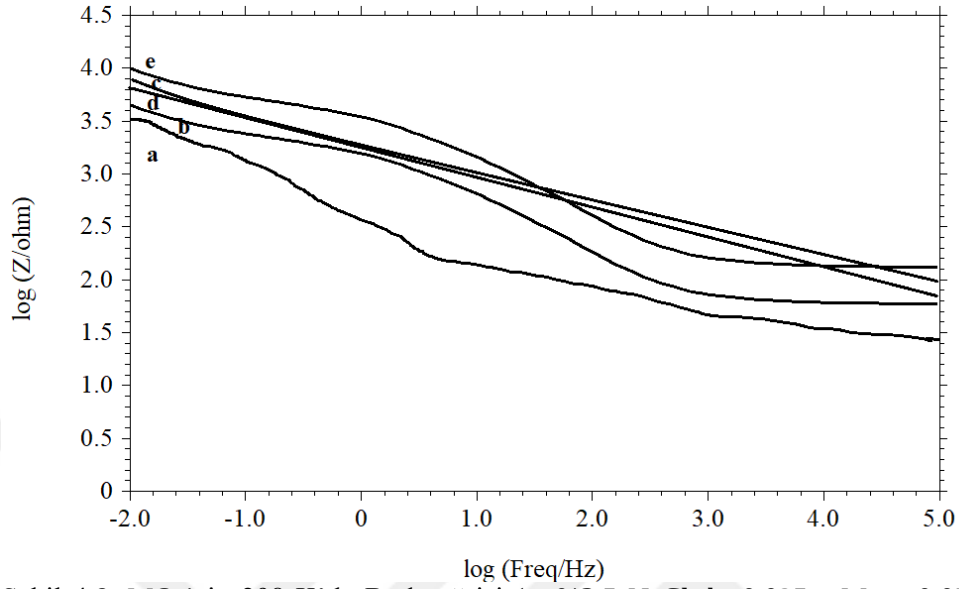
Şekil 4.6. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



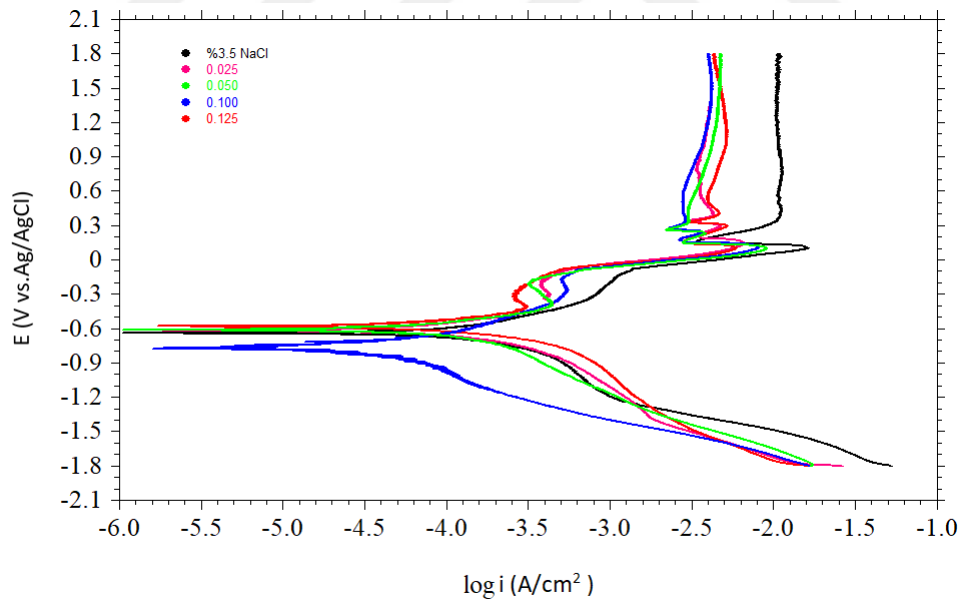
Şekil 4.7. MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.8. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.9. MO için 298 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.10. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

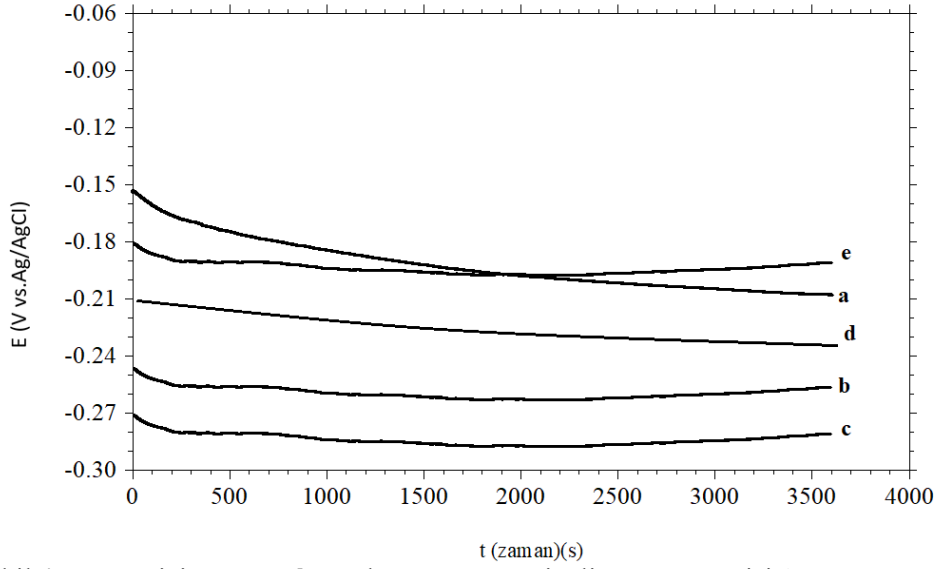
Çizelge 4.1. 298 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
%3.5 <i>NaCl</i>	-	3162.27	41.88	-0.211	-
MO + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	4300.00	30.80	-0.111	26.46
	5.00	7943.28	16.67	-0.084	60.19
	10.00	7079.46	18.71	-0.226	55.33
	12.50	10000.00	13.25	-0.253	68.38
FK + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	4010.13	33.03	-0.244	21.14
	5.00	6309.57	20.99	-0.276	49.88
	10.00	16982.44	7.80	-0.248	81.38
	12.50	63095.73	2.10	-0.140	94.99
VM + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	7762.47	17.06	-0.208	59.26
	5.00	7943.28	16.67	-0.296	60.19
	10.00	15848.93	8.36	-0.166	80.05
	12.50	36307.81	3.65	-0.183	91.29

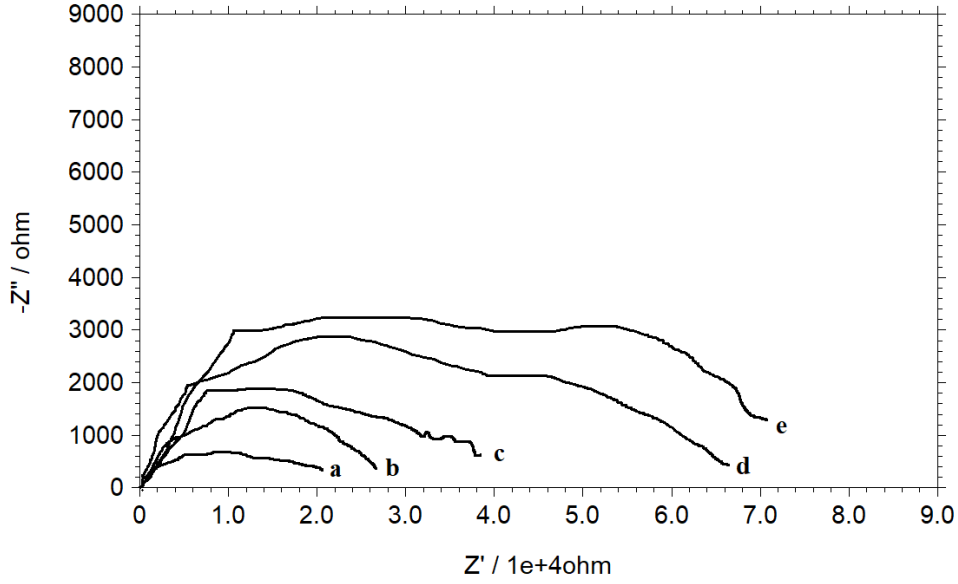
298 K’de, pH’sı 3,5’de İnhibitör içermeyen %3,5 *NaCl* çözeltisinde bakır için R_p değeri 3162,27 Ω olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır (Çizelge 4.1.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır. Çizelge 4.1’de İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır.

Şekil 4.4; 4.5; 4.8 ve 4.9 da görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Fenol Kırmızısı, Variamin Mavisi ve Metil Oranj şeklindedir. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 94,99 ile 0,125 mmol/L derişim ile Fenol Kırmızısı + klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitor özelliği gösteren Fenol Kırmızısının (FK) en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı 2,1 $\mu A/cm^2$ olarak hesaplanmıştır. Akım - Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitor eklendikçe daha negatif bölgelere ve daha pozitif bölgelere kaydığı için karma inhibitor özelliği göstermektedir (Şekil 4.2; 4.6; 4.10). Korozyon potansiyelleri

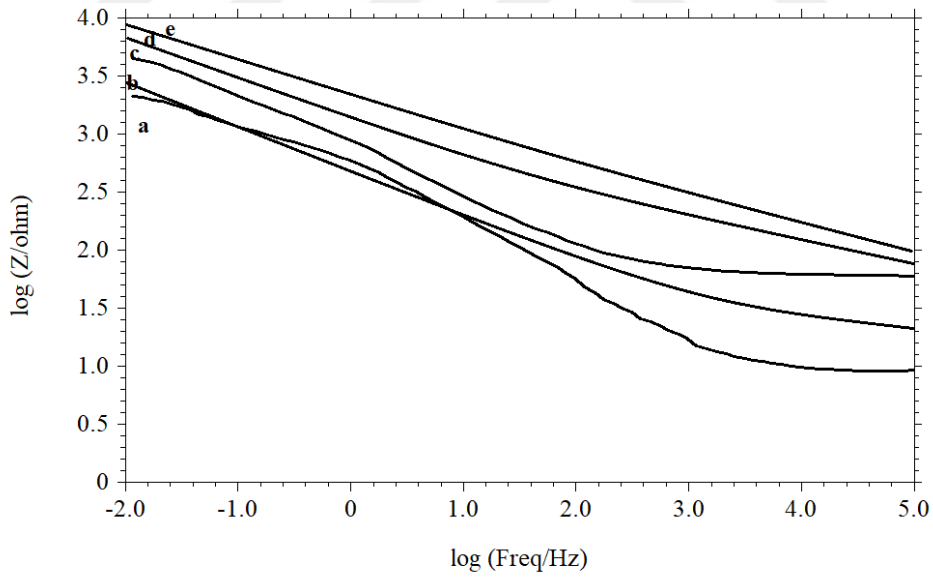
derişimin artması ile pozitifte kaymıştır. Şekil 4.1, Şekil 4.3 ve Şekil 4.7’de Açık devre potansiyeline karşı - zaman eğrisi alınmış bir saatin sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir.



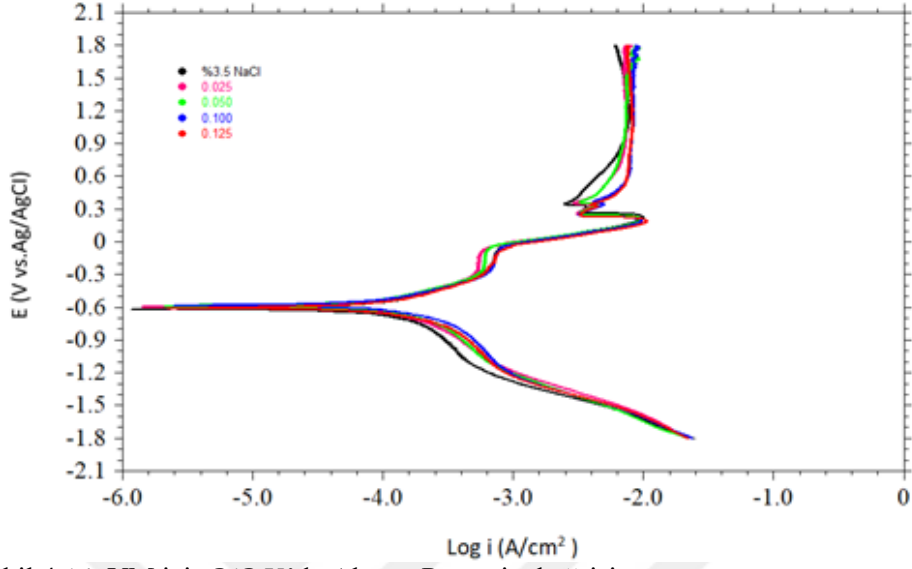
Şekil 4.11. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



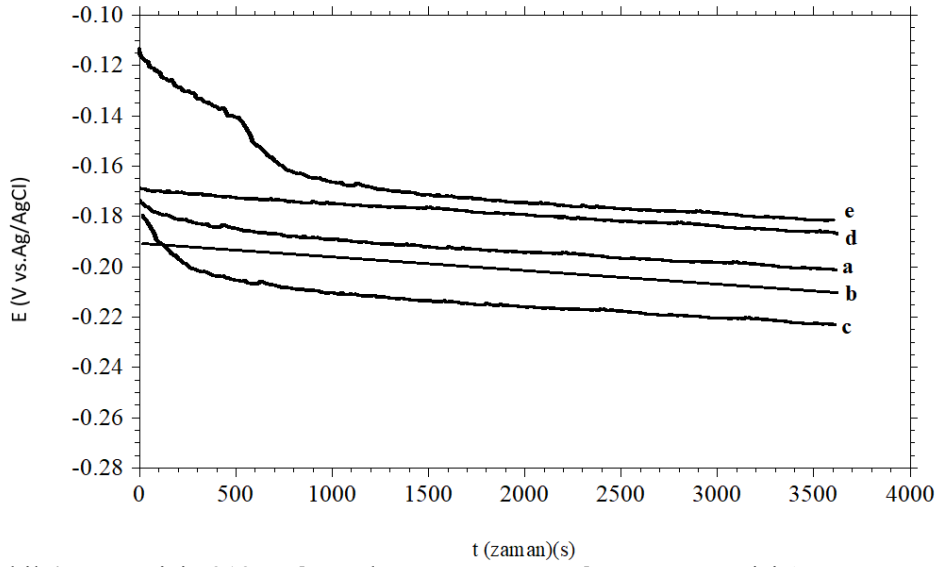
Şekil 4.12. VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



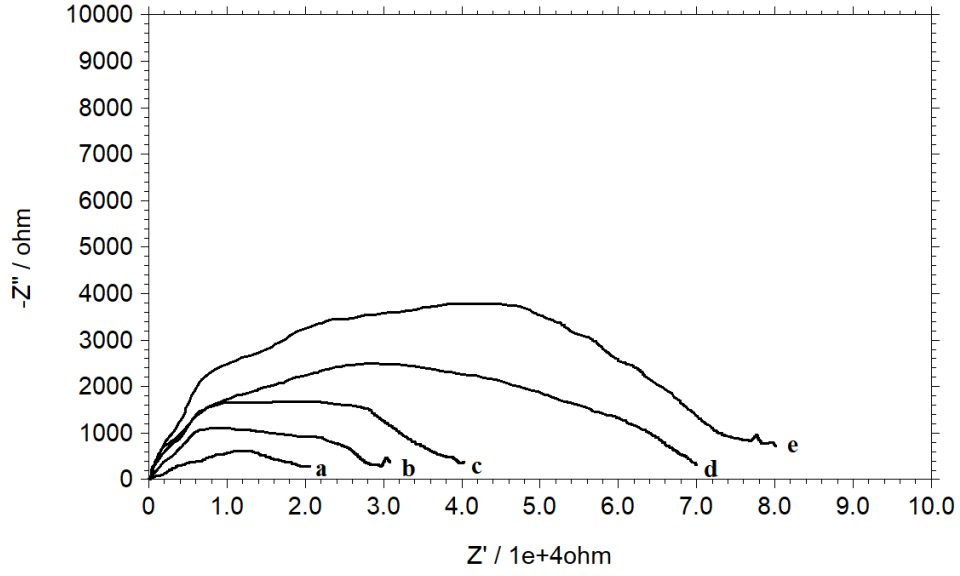
Şekil 4.13. VM için 313 K’de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



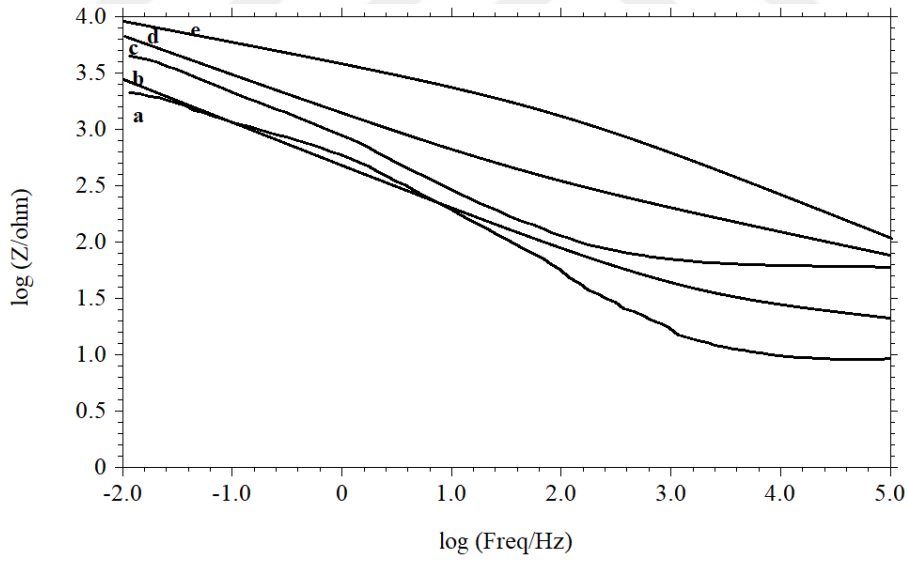
Şekil 4.14. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



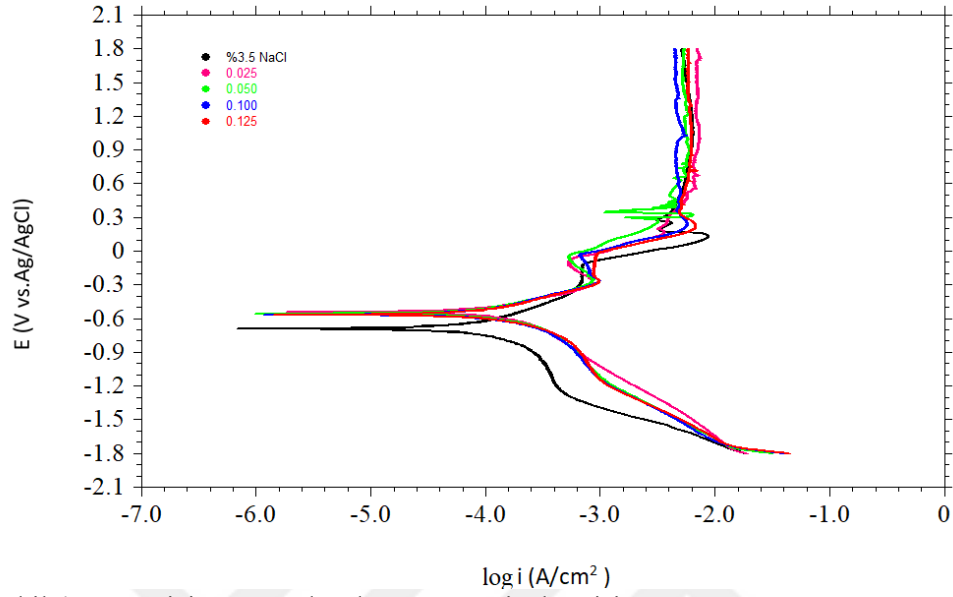
Şekil 4.15. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



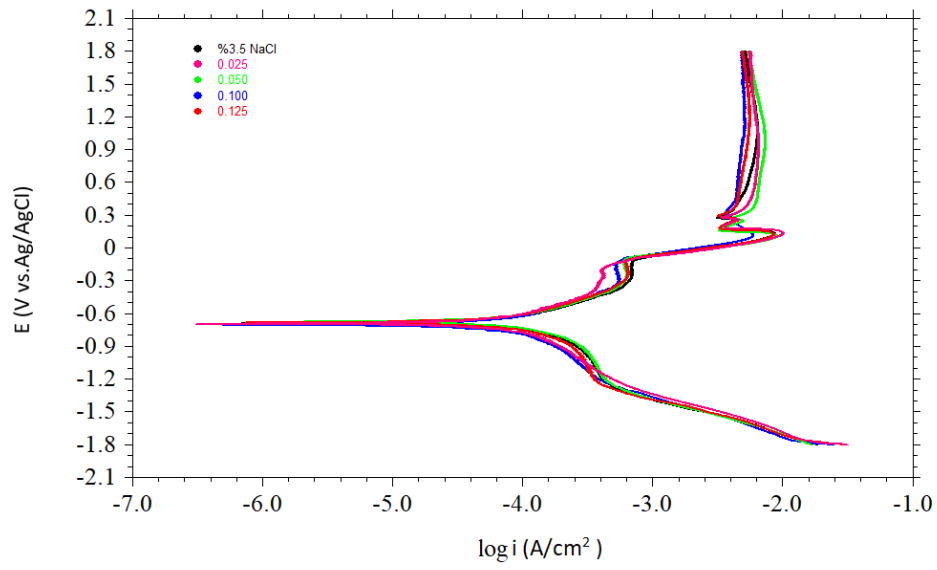
Şekil 4.16. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.17. FK için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.18. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4. 19. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.2. 313 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

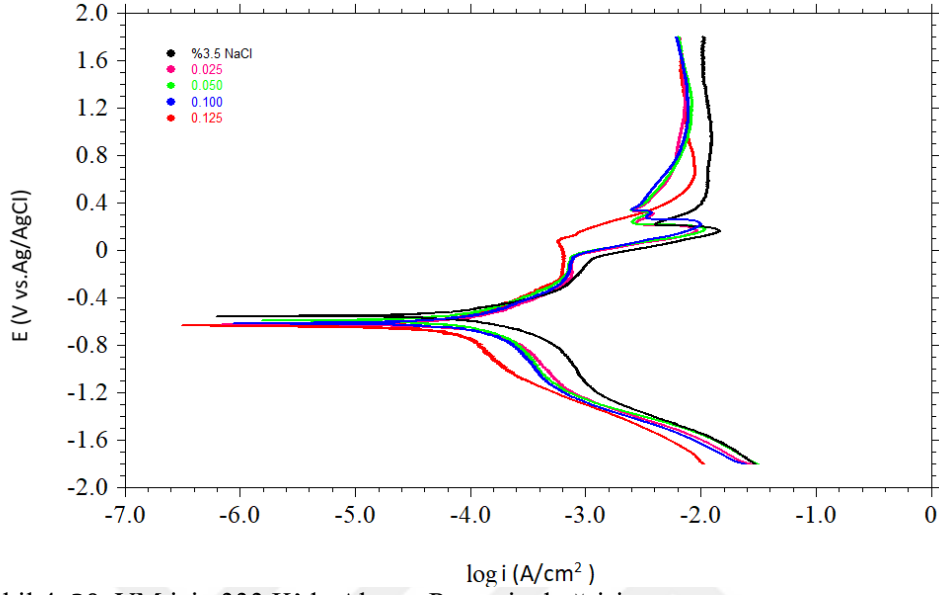
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 <i>NaCl</i>	-	2238.72	59.16	-0.200	-
MO + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	3162.28	41.88	-0.192	29.21
	5.00	4168.69	31.77	-0.296	46.30
	10.00	5370.32	24.66	-0.252	58.31
	12.50	6309.57	20.99	-0.134	64.52
FK + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	3100.00	42.73	-0.210	27.78
	5.00	4073.00	32.52	-0.225	45.04
	10.00	7050.00	18.79	-0.191	68.25
	12.50	9100.00	14.55	-0.181	75.40
VM + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	2750.00	48.16	-0.255	18.59
	5.00	3900.00	33.96	-0.278	42.60
	10.00	6750.00	19.62	-0.230	66.83
	12.50	8500.00	20.99	-0.193	73.66

Çizelge 4.2’ de 313 K’de pH=3,5’de Sıcaklık arttıkça R_p değerleri azalmış ve sıcaklık artışıyla inhibisyon etkinliği değerleri tüm derişimlerde azalmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 313 K de % 75,40 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Fenol Kırmızısı + klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. % 3,5 NaCl çözeltilisinde akım yoğunluğu 59,16 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 313 K pH=3,5’de 14,55 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır.

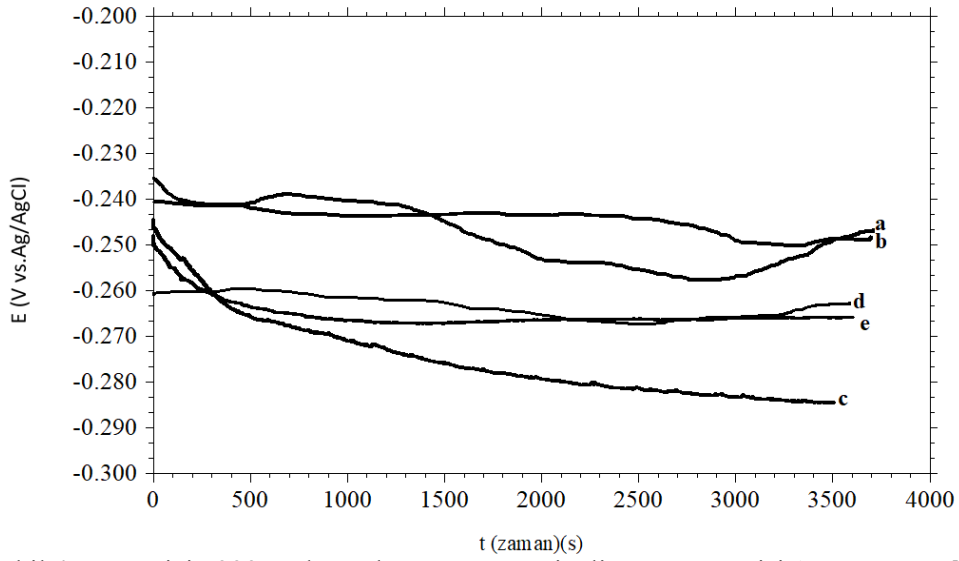
Açık devre potansiyelinin zamanla değışimi inhibitör moleküllerinin metal yüzeyine adsorpsiyonu, film oluşumu ve metal yüzeyindeki kararlılığı, korozyonun başlaması, ve ilerlemesi hakkında önemli bilgiler verebilmektedir. Bununla birlikte elektrokimyasal ölçümlerin özellikle EIS ölçümlerinin sağlıklı ve güvenilir olabilmesi için öncelikle açık devre potansiyelinin dengeye gelmiş olması önem arz eder. Aksi taktirde yüzeyde adsorpsiyon/desorpsiyon dengesinin kurulmaması veya korozyona uğrayan yüzeydeki aktif çözünmeden dolayı potansiyel değışimleri

önemli olabilir. Bu amaçla 313 K de pH= 3,5’de bakır elektrotun deniz suyunu temsilen %3,5 NaCl ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 4.11, Şekil 4.15).

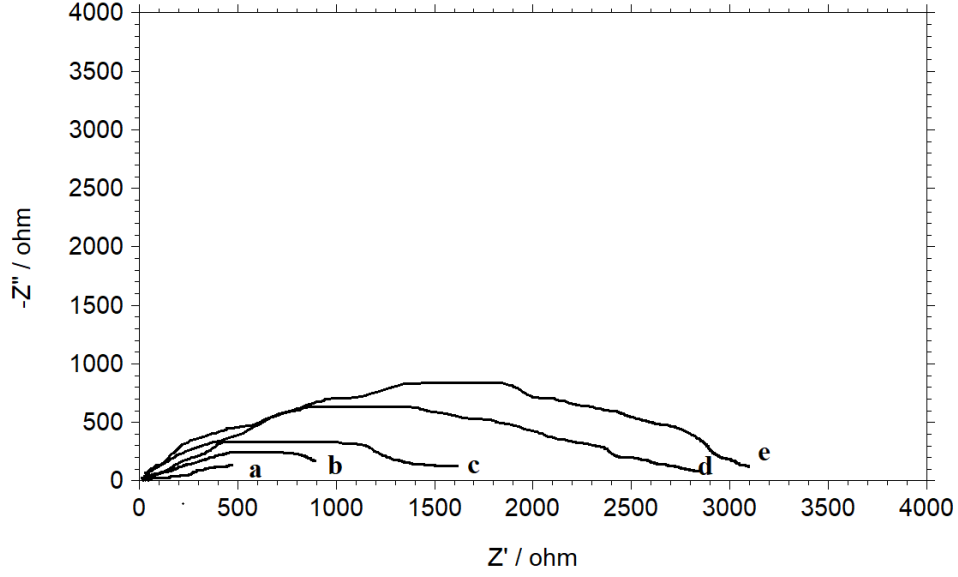
Korozyon potansiyelinden itibaren daha katodik potansiyellere gidildiğinde, gözlenen ani akım artışı çözeltide çözünmüş oksijen moleküllerinin indirgenmesine karşılık gelir. Yaklaşık -0,62 V ile -1,30 V potansiyel aralığında hemen hemen doğrusal olan ve yavaş bir akım artışının gözlemlendiği bölgede katodik reaksiyon oksijen moleküllerinin kinetik kontrollü olarak indirgenmesine karşılık gelmektedir. -1,3 V’tan itibaren elektrot yüzeyinde hidrojen gazının da oluşmaya başlaması ile akım tekrar hızlı bir şekilde artmıştır. Elektrot potansiyelinin, korozyon potansiyeline göre daha pozitif potansiyellere taranması ile Cu çözünmeye başlamakta ve çözünme kinetiğine bağlı olarak akım artışı gözlenmektedir. Elektrot yüzeyinde bu iki metalin oksit/hidroksit/klorür bileşiklerinin oluşturduğu birikinti/film metalin çözünme hızının artmasını engeller. Oluşan olası bütün korozyon ürünleri (1.1) - (1.13) eşitliklerinde verilmiştir. -0,3 V ile 0,0 V aralığında ise oluşan korozyon ürünlerinin metal yüzeyinde birikerek oluşturduğu film difüzyonu zorlaştırmakta ve bu bölgede reaksiyon difüzyon kontrollü olarak gerçekleşmektedir. Metalin çözünmesi ile birlikte yüzey alanı artmakta ve akım artışı daha da hızlanmaktadır.



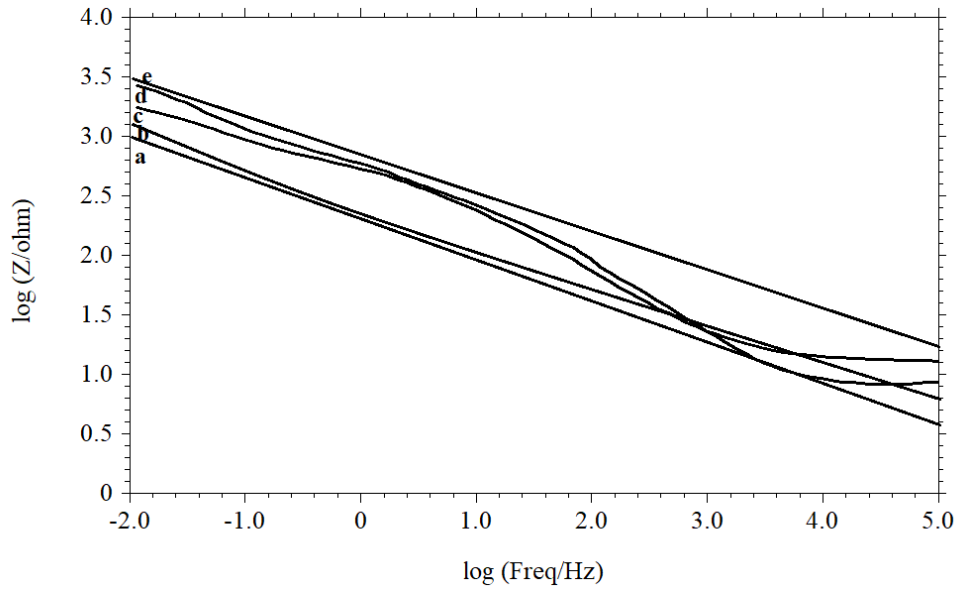
Şekil 4. 20. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



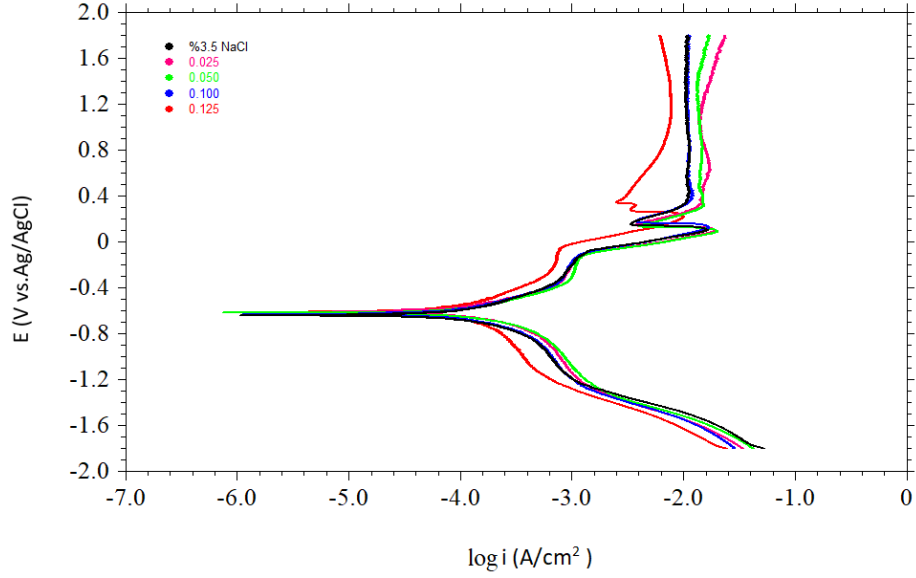
Şekil 4.21. FK için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



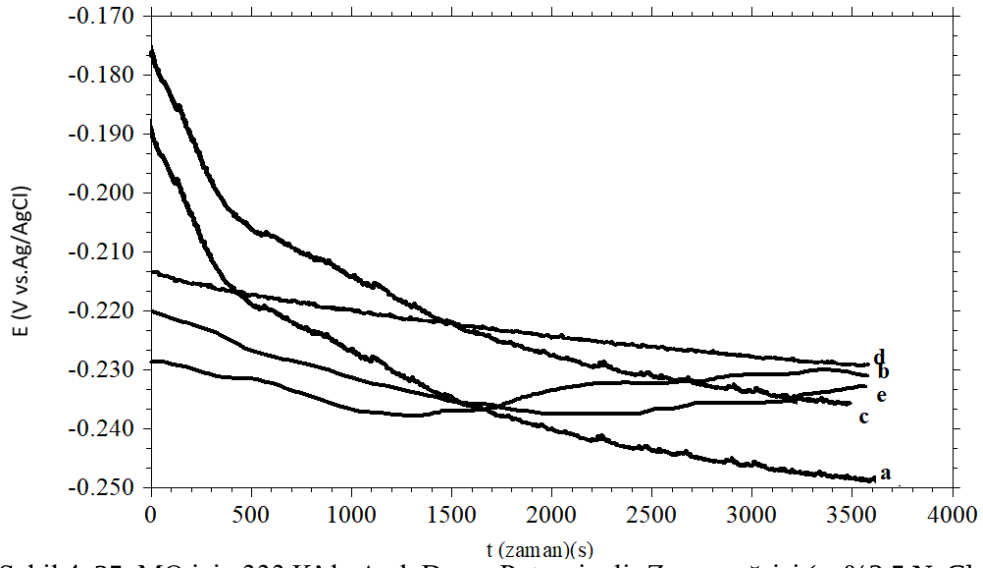
Şekil 4.22. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



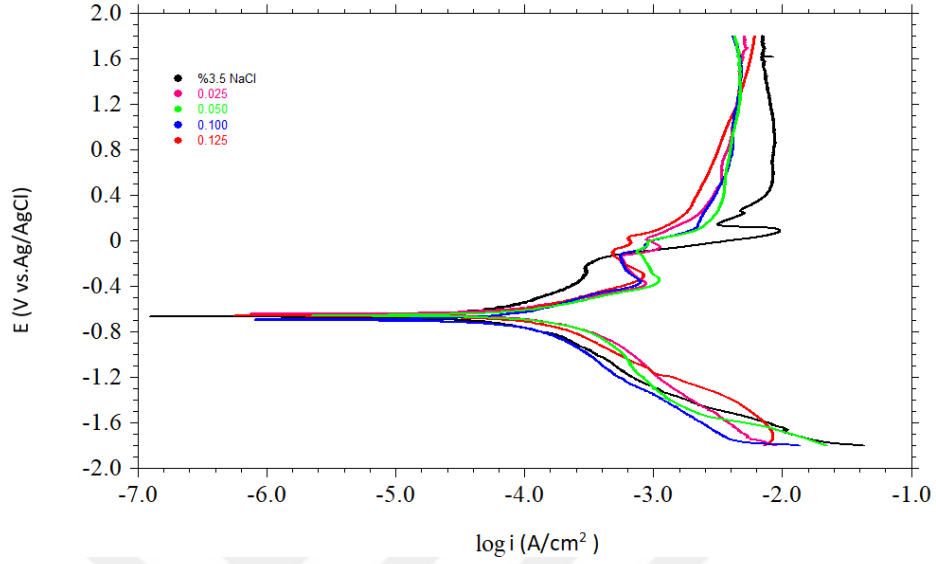
Şekil 4.23. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.24. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4. 25. MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli- Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.26. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.3. 333 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{IE}$).

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{IE}$ (%)
%3.5 NaCl	-	1000.00	132.45	-0.247	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	1115.00	118.79	-0.229	10.31
	5.00	1659.59	79.81	-0.237	39.74
	10.00	1698.24	77.99	-0.227	41.12
	12.50	1300.00	101.88	-0.232	23.08
FK + %3.5 NaCl	2.50	1200.00	110.38	-0.249	16.67
	5.00	1949.00	67.96	-0.284	48.69
	10.00	2900.00	45.67	-0.263	65.52
	12.50	3150.00	42,05	-0,265	68.25
VM + %3.5 NaCl	2.50	1258.89	105.21	-0.230	20.56
	5.00	1584.89	83.57	-0.215	36.90
	10.00	3162.28	41.88	-0.225	68.38
	12.50	1778.82	74.46	-0.200	43.78

Çizelge 4.3’de 333 K’de pH=3,5’de sıcaklık arttıkça R_p değerleri azalmıştır. Polarizasyon dirençleri (R_p) bode eğrilerinin ekstapolasyonu ile elde edilmiştir (Şekil 4.27). İnhibitör etkinlikleri ;

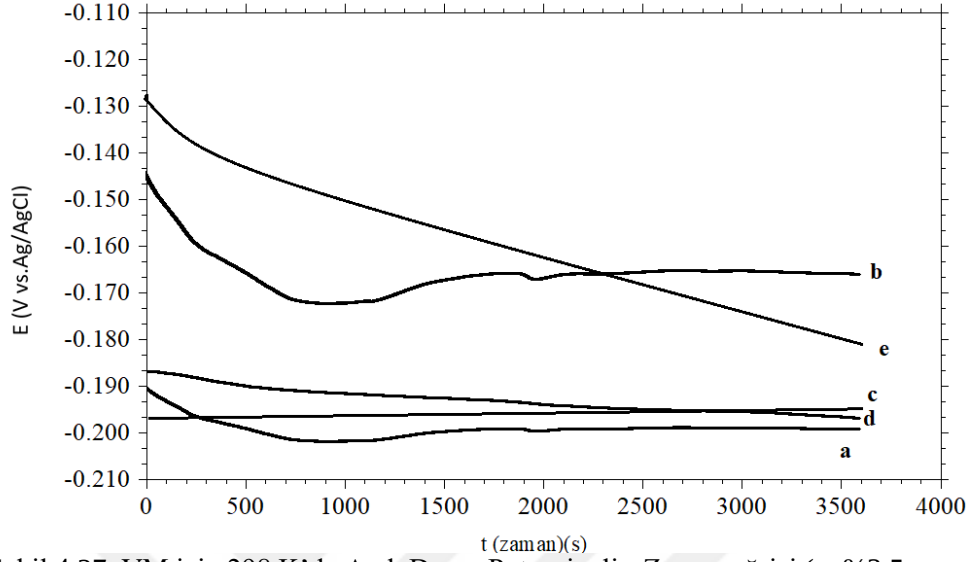
$$\% \text{ İE} = (R_p' - R_p / R_p') \times 100 \quad (1.41)$$

hesaplanmıştır.

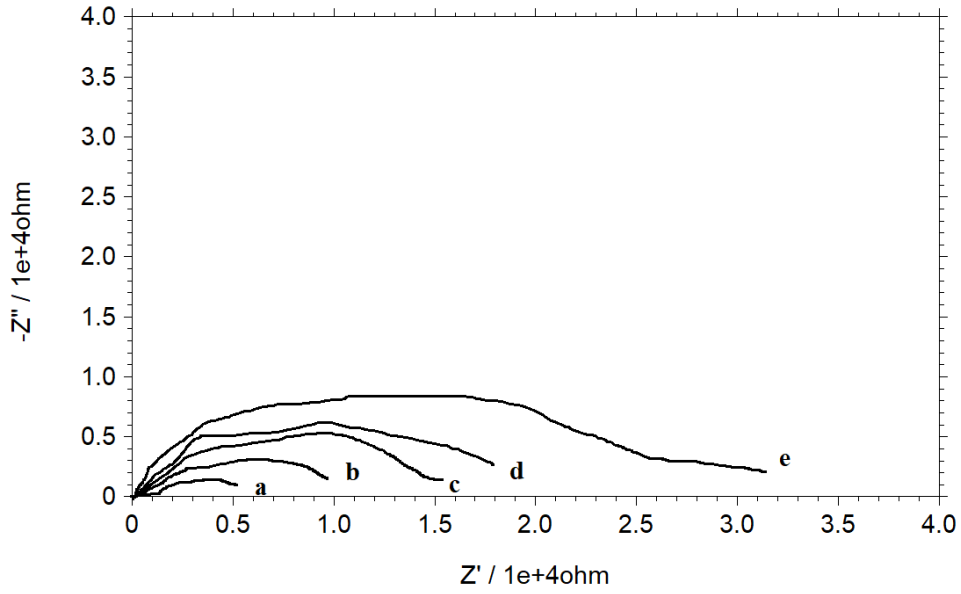
İnhibitör eklenmediği koşullardaki polarizasyon direnci R_p ve ortamda inhibitör var iken saptanan polarizasyon direnci R_p' olarak ifade edilmiştir.

İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,100 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 333 K de % 68,38 olarak Variamin Mavisi +klorür ortamında tespit edilmiştir. 333 K de inhibitor etkinliği % 68,25 olarak Fenol Kırmızısı + klorür ortamında saptanmıştır (Şekil 4.22; 4.23). Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. %3,5 NaCl çözeltisinde akım yoğunluğu $132,45 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 333 K pH=3,5’de $41,88 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak en düşük değeri almıştır. Ortama inhibitor eklendikte korozyon potansiyelinden daha negatif ve daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur (Şekil 4.20; 24; 26). Boyar maddeler karma inhibitor görevi görmüştür. Korozyon potansiyelleri daha pozitif kaymıştır.

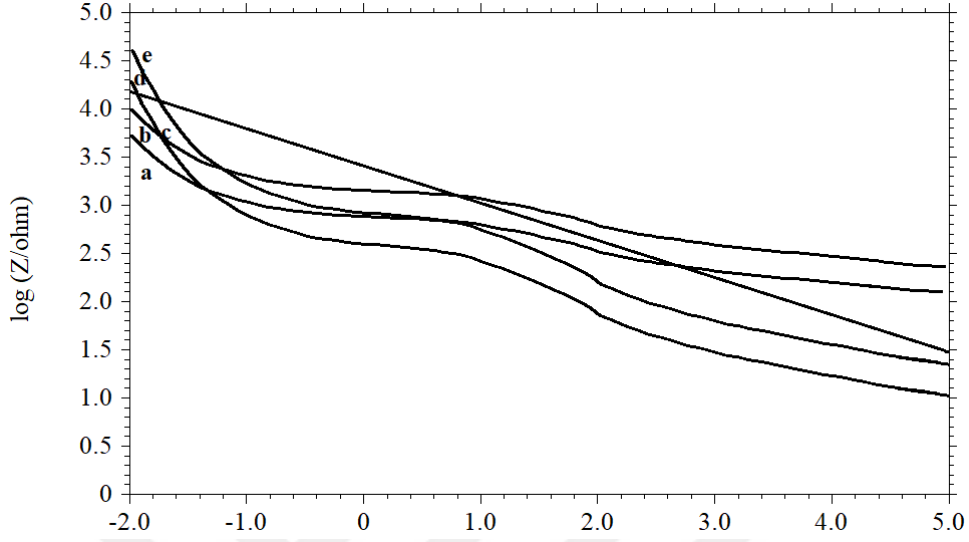
%3,5 NaCl ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 4.21, Şekil 4.25). Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde %3,5 NaCl eğrisine göre potansiyeller daha pozitif kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğri doğrusala yaklaşmıştır.



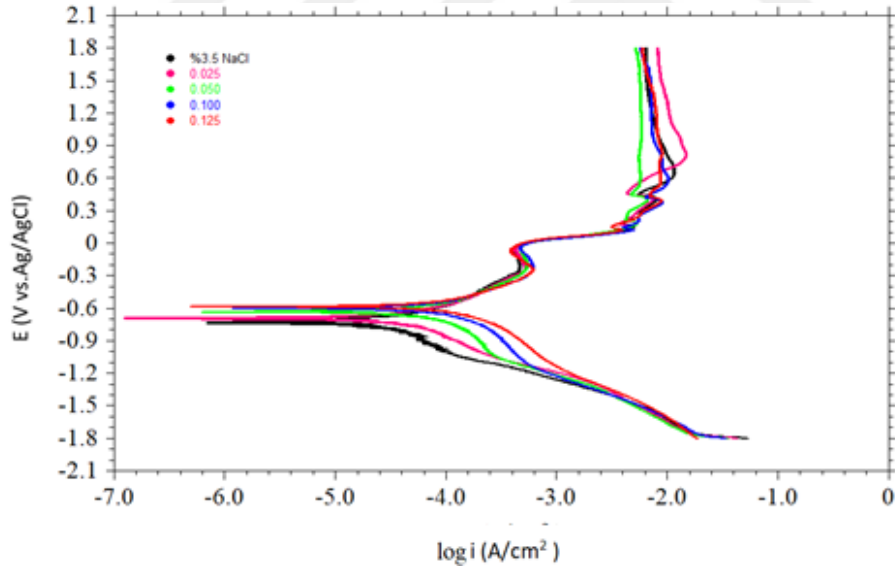
Şekil 4.27. VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



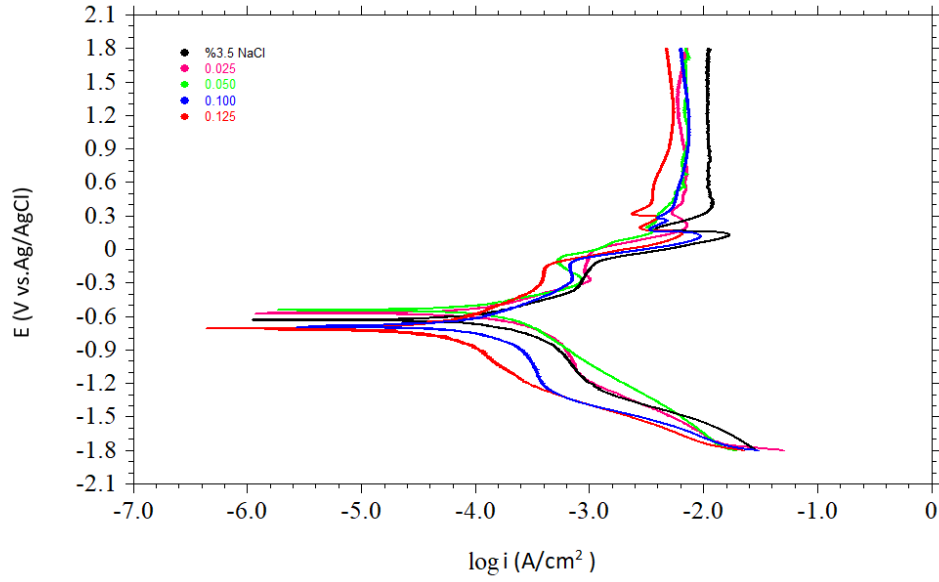
Şekil 4.28. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



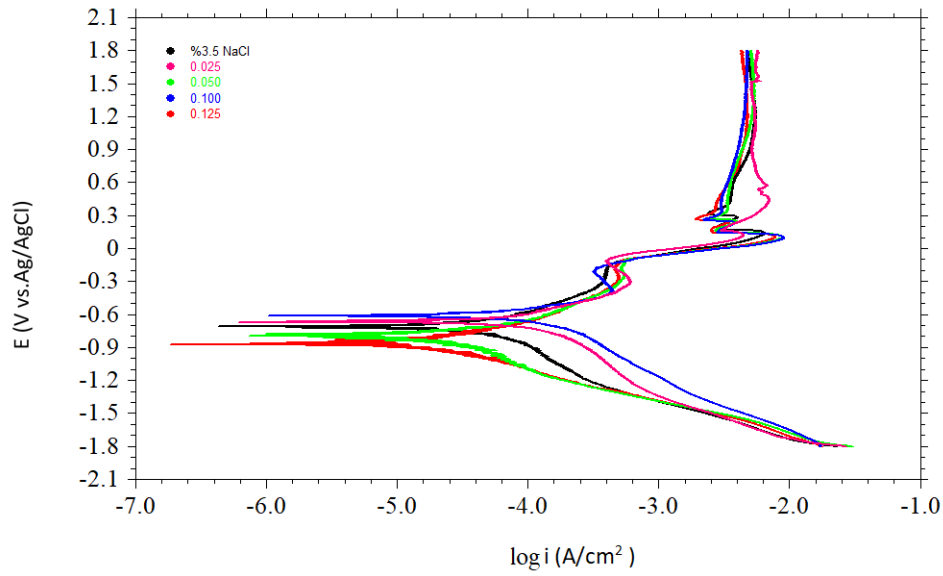
Şekil 4.29. VM için 298 K’de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.30. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.31. FK için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

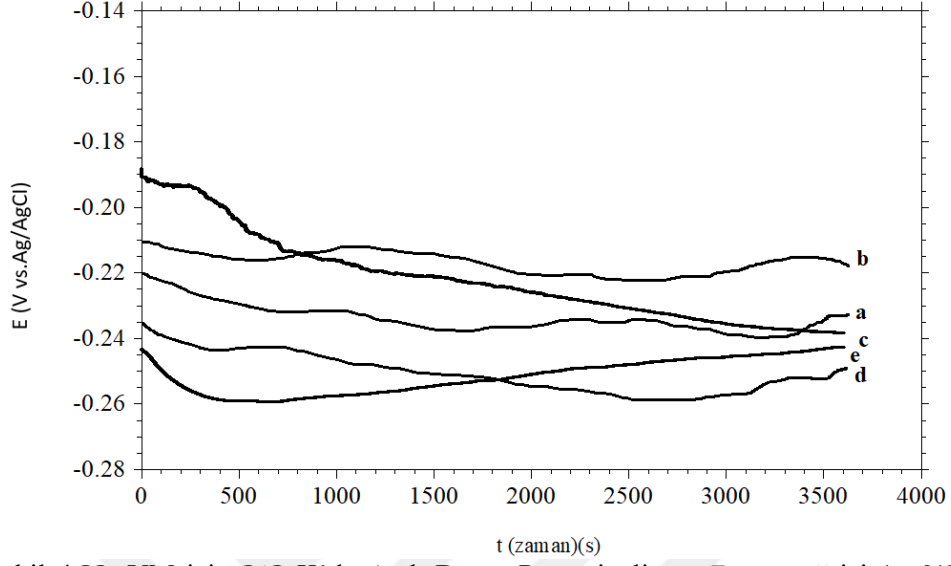


Şekil 4.32. MO için 298 K'de Akım -Potansiyel eğrisi.

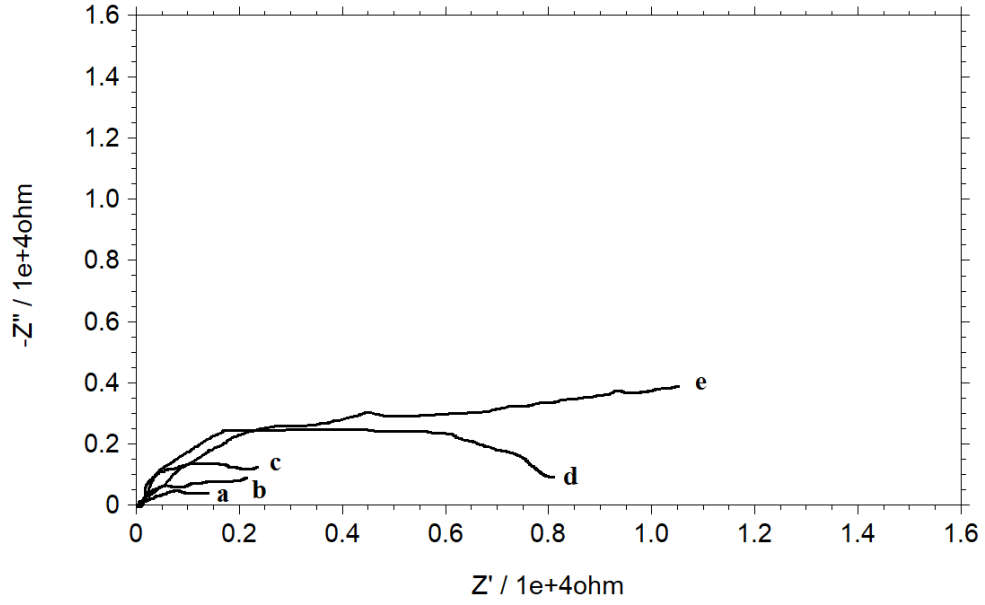
Çizelge 4.4. 298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$).

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
	-	5304.00	24.97	-0.201	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	7762.50	17.06	-0.270	31.67
	5.00	8300.00	15.96	-0.159	36.10
	10.00	10100.00	13.11	-0.250	47.49
	12.50	12200.00	10.86	-0.198	56.52
FK + %3.5 NaCl	2.50	7300.00	18.14	-0.194	27.34
	5.00	10005.00	13.24	-0.221	46.99
	10.00	17316.00	7.65	-0.229	69.37
	12.50	26100.00	5.07	-0.211	79.68
VM + %3.5 NaCl	2.50	10000.00	13.25	-0.166	46.96
	5.00	15848.93	8.36	-0.196	66.53
	10.00	19952.62	6.64	-0.198	73.42
	12.50	39810.72	3.33	-0.183	86.68

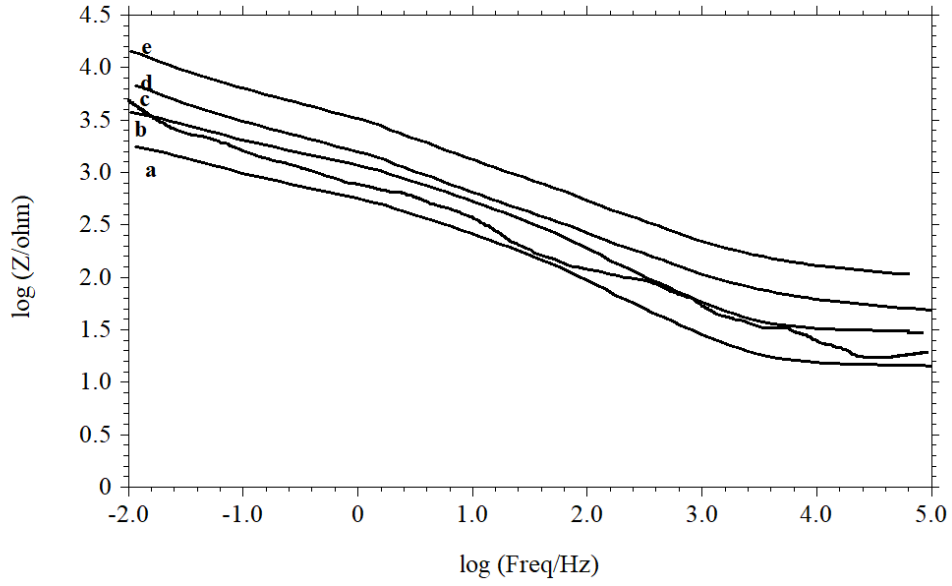
Çizelge 4.4’ de, 298 K’de pH=7,0’da bakırın %3,5 NaCl çözeltisi ve %3,5 NaCl + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 86,68 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Variamin mavisi + klorür ortamında tespit edilmiştir. % 79,68 inhibitör etkinliği gösteren madde Fenol Kırmısı+ klorür dür. 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranjın klorür ortamındaki inhibisyon etkinliği % 56,52’ dir. Variamin Mavisinin Polarizasyon dirençleri Şekil 4.28; 4.29’ da yer alan Bode ve Nyquist eğrilerinden hesaplanmıştır. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.30; 31; 32). %3,5 NaCl çözeltisinde akım yoğunluğu 24,97 $\mu A/cm^2$ hesaplanmıştır. Derişimi artması ile azalma olmuş ve 298 K pH=7,0’da 3,33 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır.



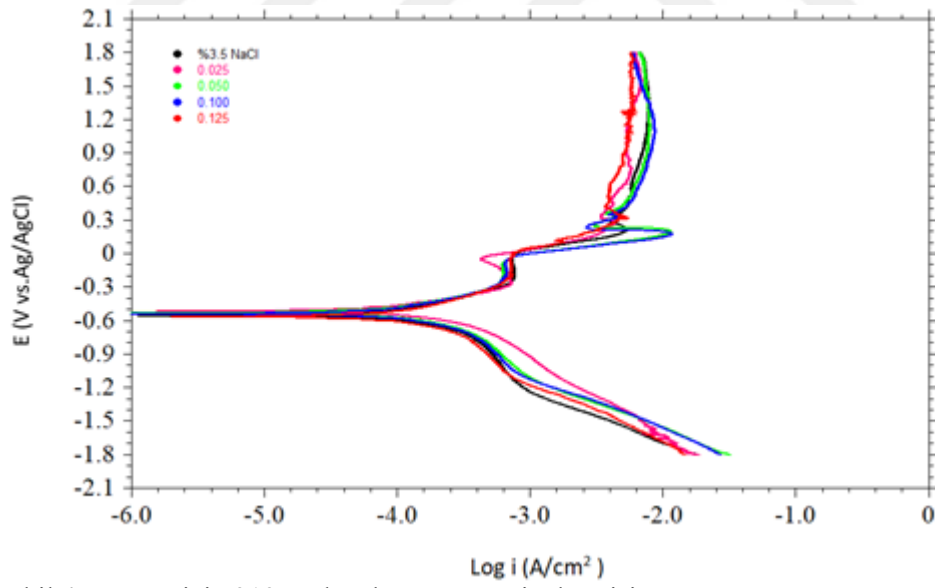
Şekil 4.33. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeline - Zaman eğrisi (a; %3, NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



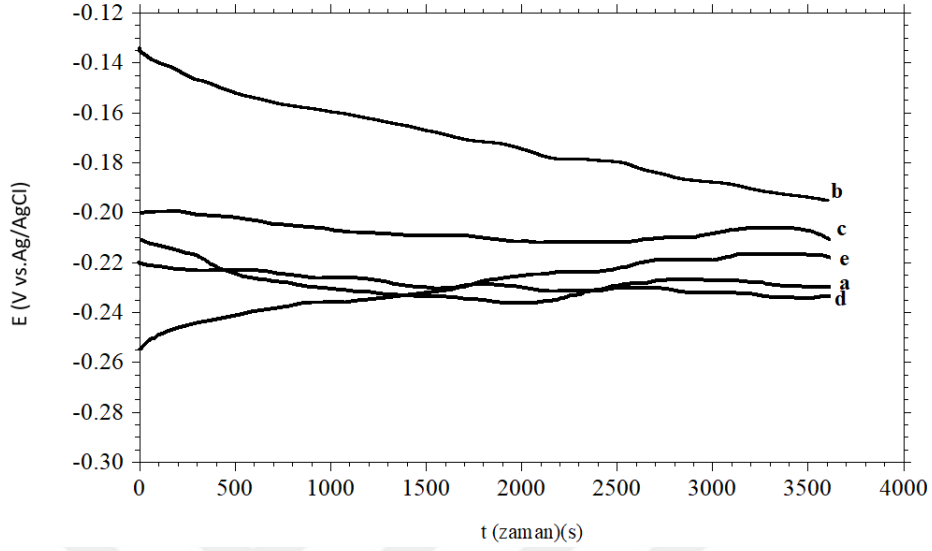
Şekil 4.34. VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



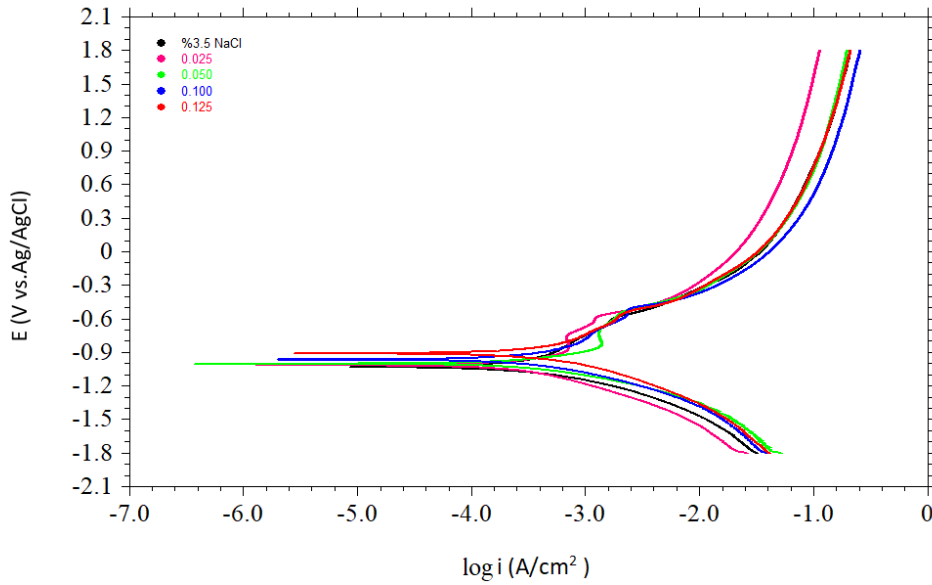
Şekil 4.35. VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



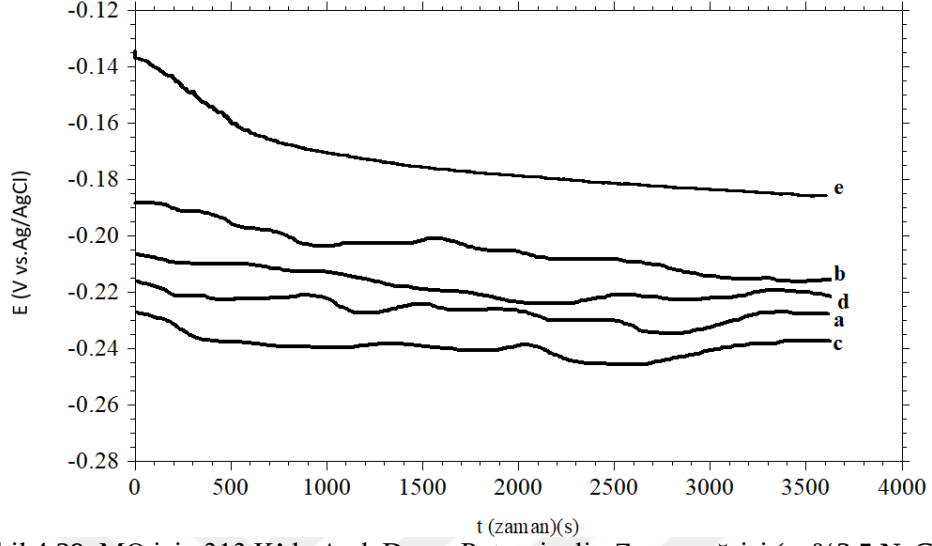
Şekil 4.36. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



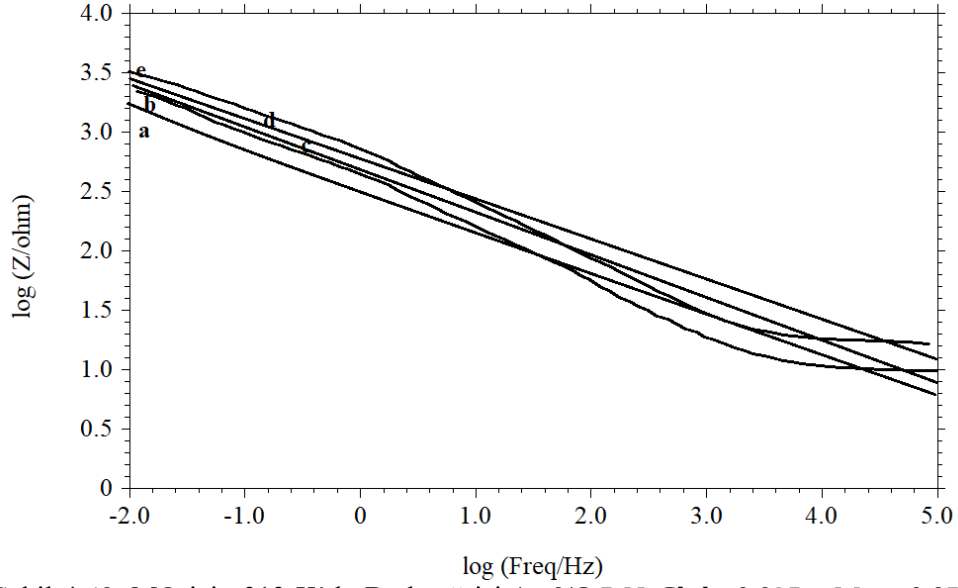
Şekil 4.37. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



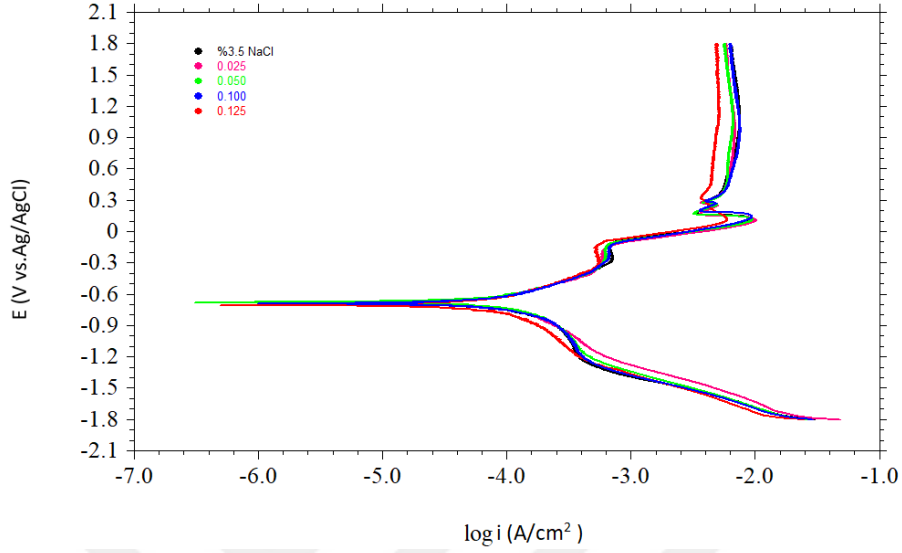
Şekil 4.38 . FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.39. MO için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.40. MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.41. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.5. 313 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\%IE$)

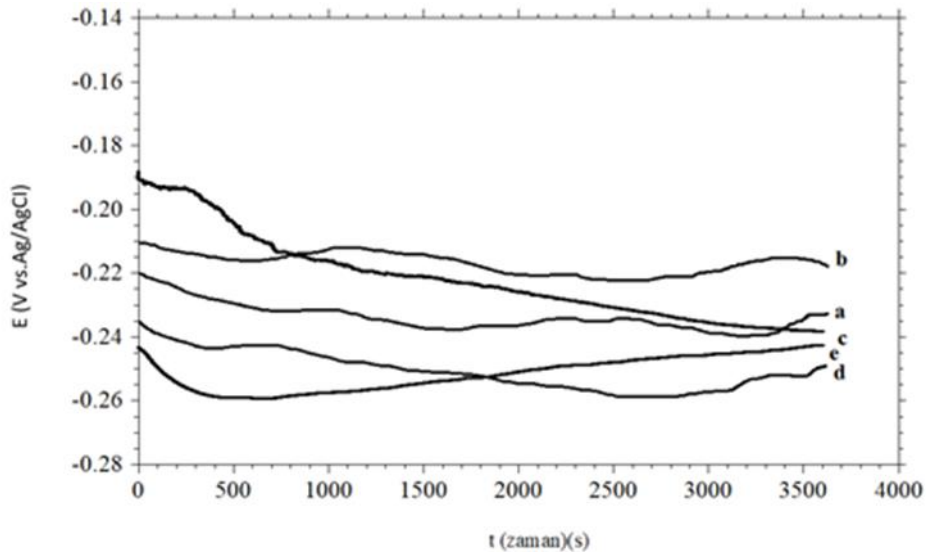
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\%IE$ (%)
%3.5 NaCl	-	1900.00	69.71	-0.227	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	2238.70	59.16	-0.215	15.13
	5.00	2511.89	52.73	-0.238	24.36
	10.00	2818.38	47.00	-0.221	32.59
	12.50	3162.27	41.88	-0.186	39.92
FK + %3.5 NaCl	2.50	3250.00	40.75	-0.198	41.54
	5.00	4750.00	27.88	-0.209	60.00
	10.00	6100.00	21.71	-0.233	68.85
	12.50	8225.00	16.10	-0.219	76.90
VM + %3.5 NaCl	2.50	4500.00	29.43	-0.206	57.78
	5.00	5000.00	26.49	-0.208	62.00
	10.00	9300.00	14.24	-0.215	79.57
	12.50	15000.00	8.83	-0.242	87.33

Çizelge 4.5’ de 313 K’de pH=7,0’da Bakırın %3,5 NaCl çözeltisi ve %3,5 NaCl + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir.

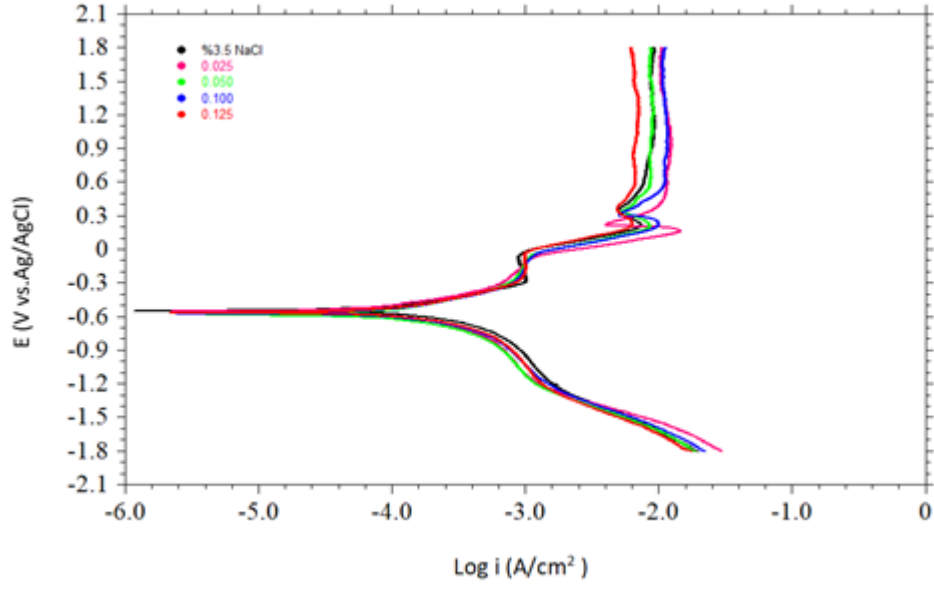
Konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM'lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 313 K de % 87,33 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Variamin mavisi + klorür ortamında tespit edilmiştir. 313 K de, pH= 7,0'da, 0,125 mmol/L derişimde en yüksek inhibitör özelliği variamin mavisi + klorür ortamında tespit edilmiştir.

Sıcaklık artışı ile inhibisyon etkinliği azalması doğrusal olmamıştır. Sıcaklık artışı ile %3,5 NaCl ortamında polarizasyon direncinde azalmanın doğrusal olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.34; 35; 40). Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.36; 38; 41). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur.

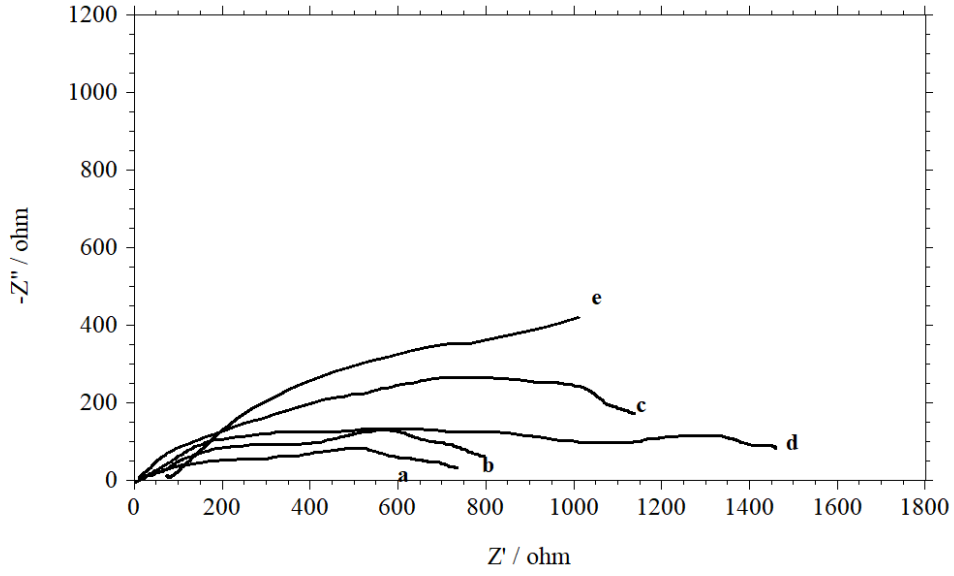
%3,5 NaCl ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 4.33, Şekil 4.37, Şeki 4.39). Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde %3,5 NaCl eğrisine göre potansiyeller daha pozitive kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğriler doğrusala yaklaşmıştır.



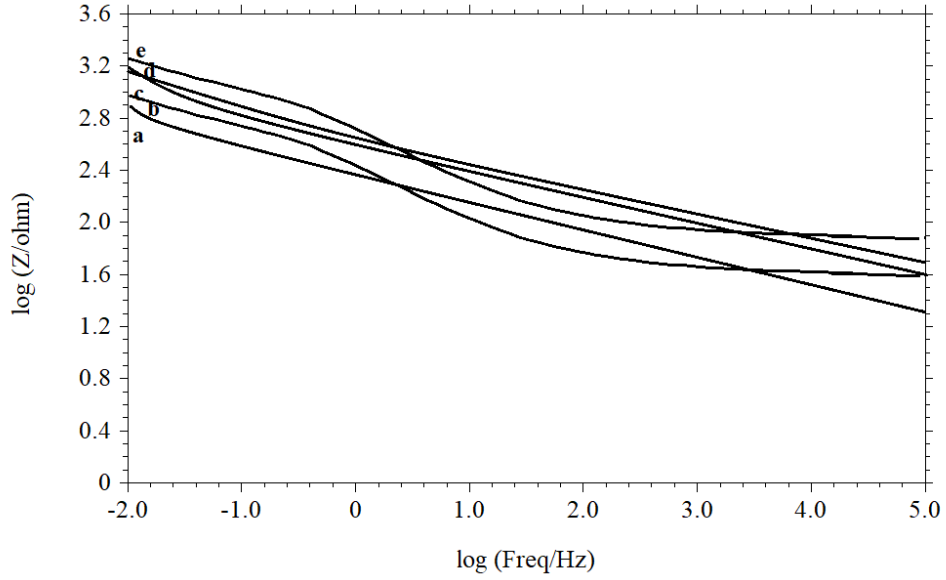
Şekil 4.42. VM için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



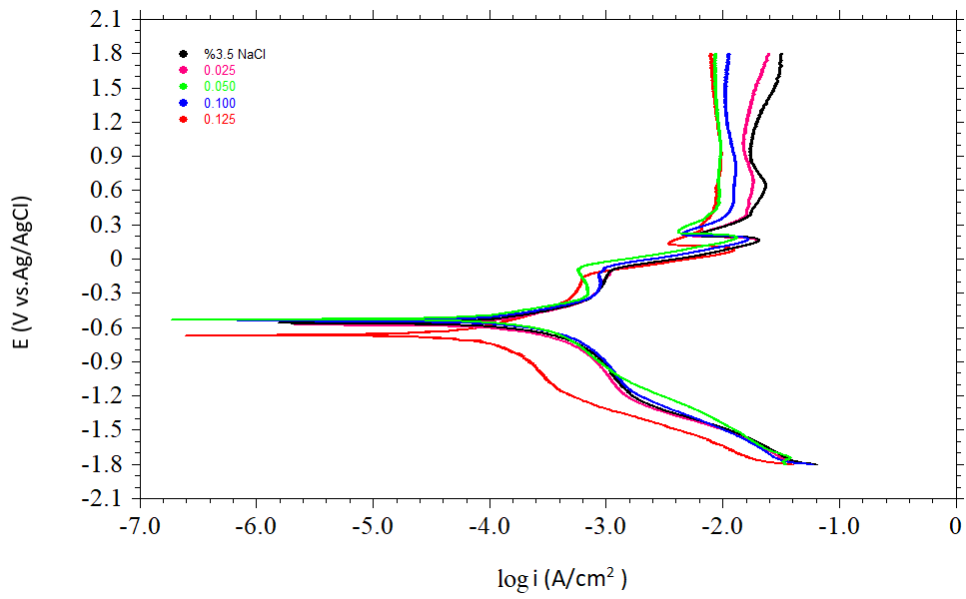
Şekil 4.43. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



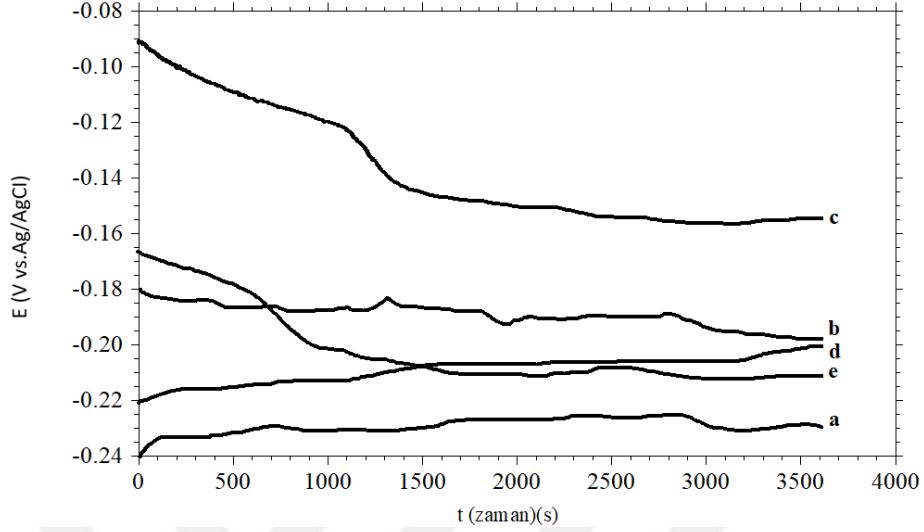
Şekil 4.44. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



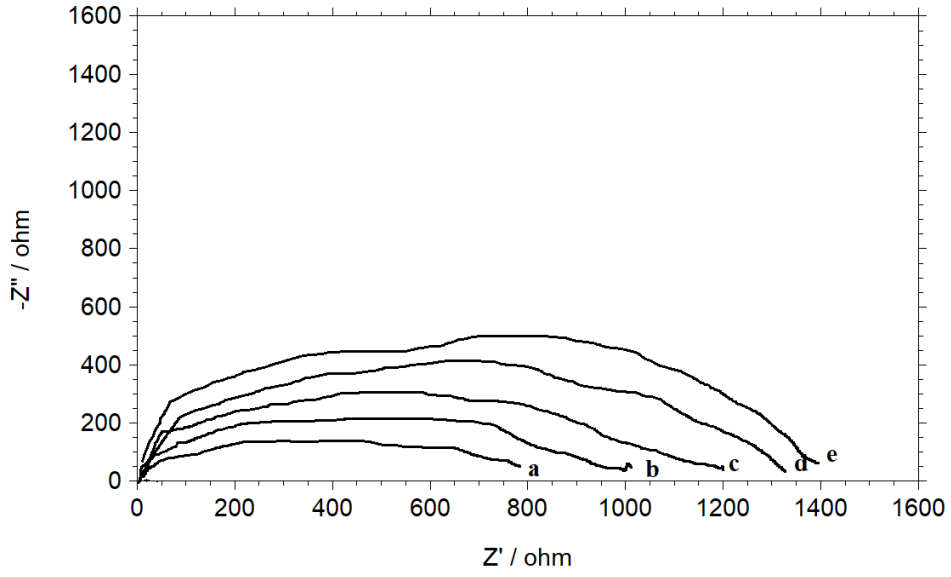
Şekil 4.45. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



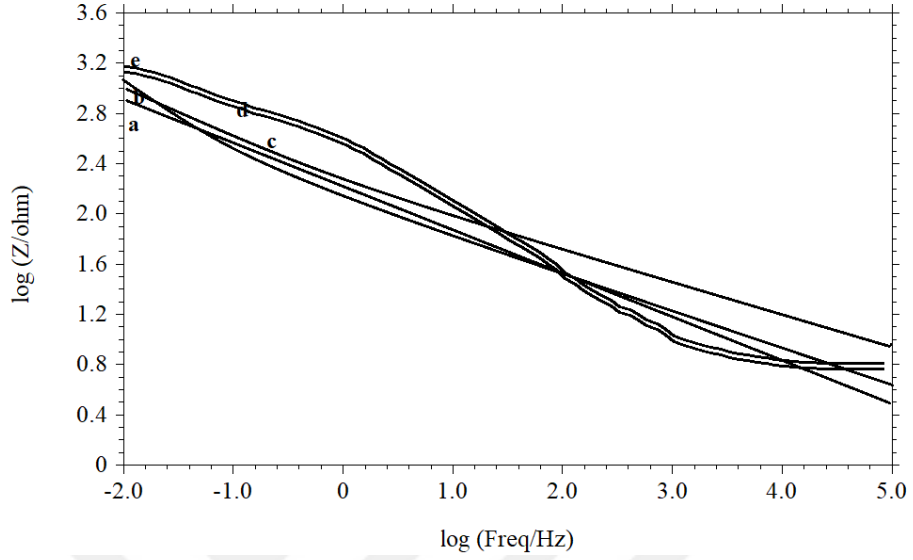
Şekil 4.46. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



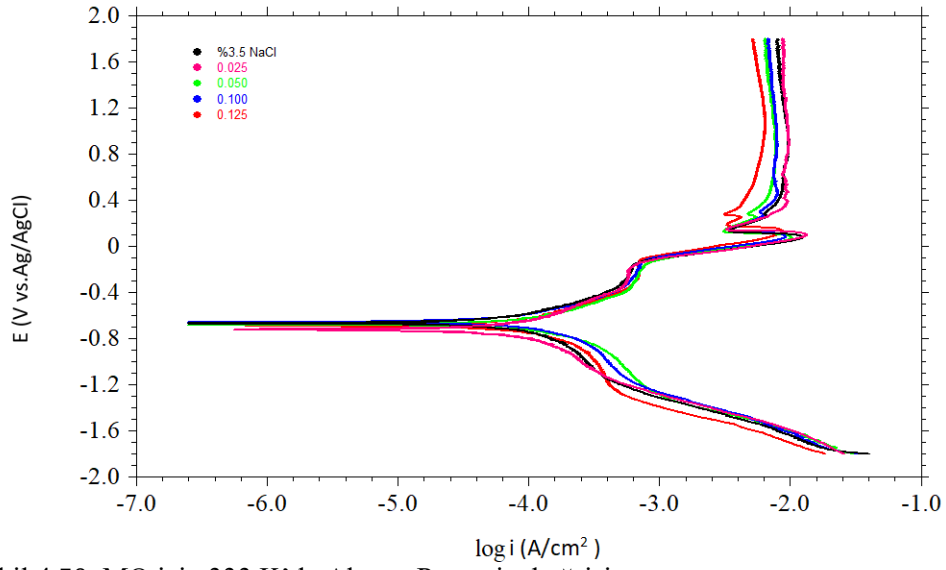
Şekil 4.47. MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.48. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.49. MO için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.50. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

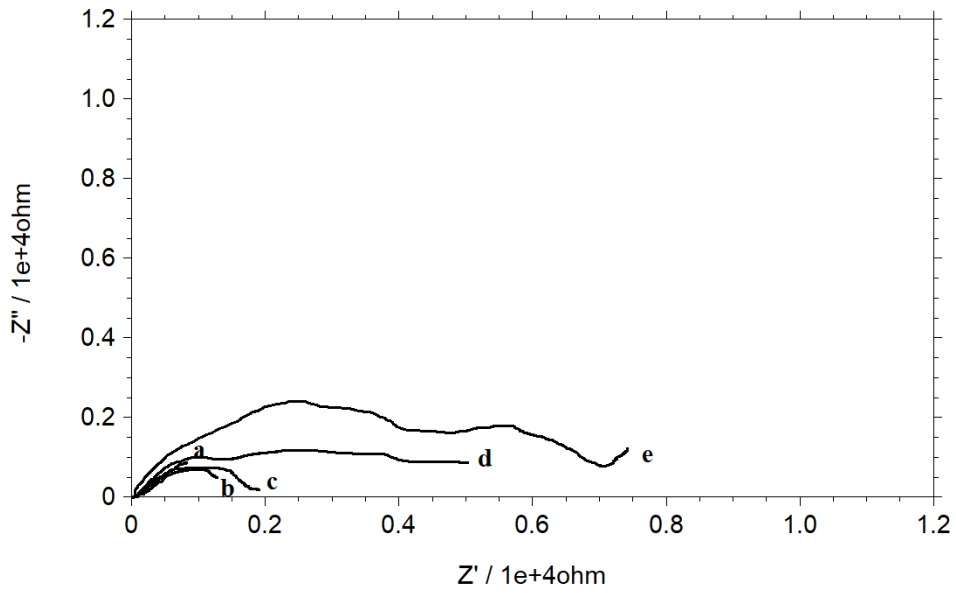
Çizelge 4. 6. 333 K'de, pH'sı 7,0'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
%3.5 <i>NaCl</i>	-	800.00	165.56	-0.230	-
MO + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	1020.00	129.85	-0.198	21.57
	5.00	1200.00	110.38	-0.155	33.33
	10.00	1352.00	97.97	-0.200	40.83
	12.50	1450.00	91.35	-0.211	44.83
FK + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	928.00	142.73	-0.210	13.79
	5.00	1387.00	95.49	-0.153	42.32
	10.00	1540.00	86.01	-0.193	48.05
	12.50	1713.00	77.32	-0.217	53.30
VM + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	1000.00	132.45	-0.215	20.00
	5.00	1122.05	118.04	-0.239	28.70
	10.00	1412.00	93.80	-0.250	43.34
	12.50	1600.00	82.78	-0.243	50.00

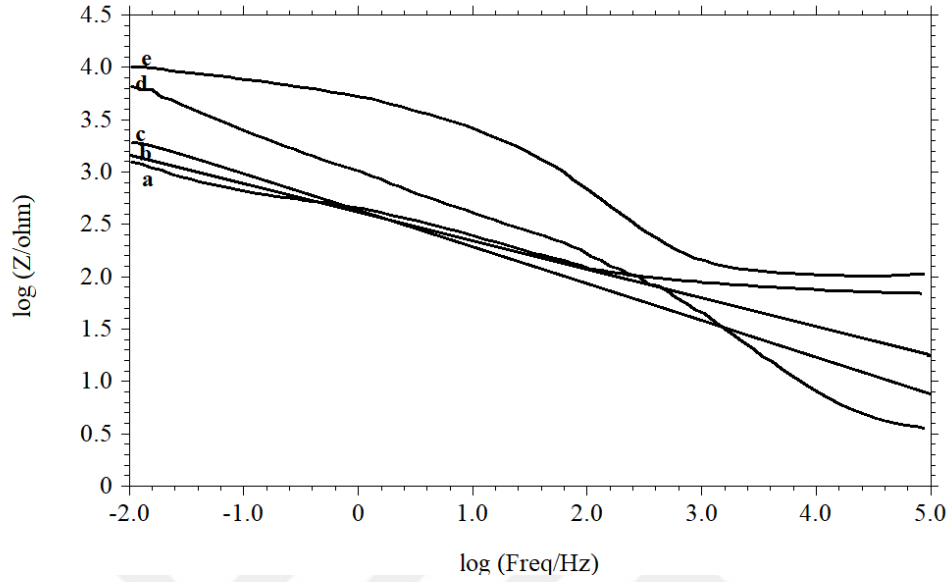
333 K'de, pH'sı 7,0'da İnhibitör içermeyen % 3,5 *NaCl* çözeltisinde bakır için R_p değeri 800,00 Ω olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125 mM'lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır (Çizelge 4.6.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır.

Şekil 4.44; 4.45; 4.48 ve 4.49' da görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Fenol Kırmızısı Variamin Mavis ve Metil Oranj şeklindedir. En yüksek inhibitor etkinliği 333 K de % 53,30 ile 0,125 mmol/L derişim ile Fenol Kırmızısı + klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitor özelliği gösteren Fenol Kırmızısının (FK) en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı 77,32 $\mu A/cm^2$ olarak hesaplanmıştır. Akım - Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitor eklendikçe daha negatif bölgelere ve daha pozitif bölgelere kaydığı için karma inhibitor özelliği göstermektedir (Şekil 4.43; 4.46; 4.50). Korozyon potansiyelleri derişimin artması ile pozitif kaymıştır. Şekil 4.42 ve Şekil 4.47 'de

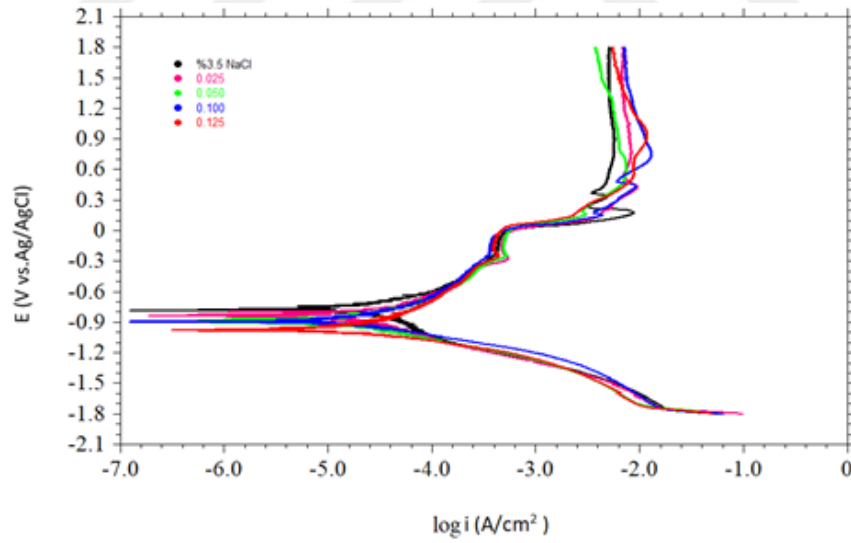
açık devre potansiyeline karşı - zaman eğrilerine göre Varyamin mavisi +klorür ve Fenol Kırmızısı + klorür içeren ortamlarda bir saatin sonuna eğrilerde doğrusallık gözlemlenmiş ve potansiyeller negatife kaymıştır. Metil oranj + klorür içeren ortamlarda potansiyellerde pozitifte kayma olmuştur. Bir saatin sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir.



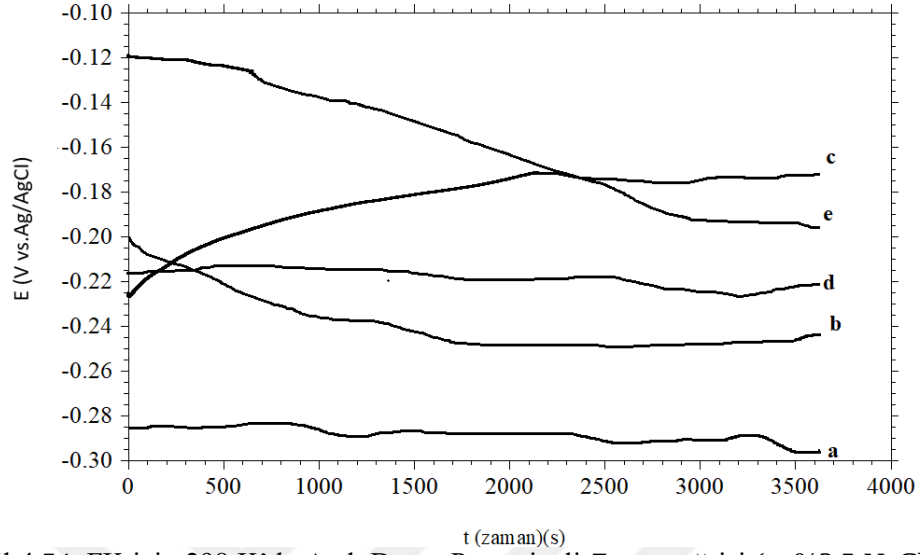
Şekil 4.51. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



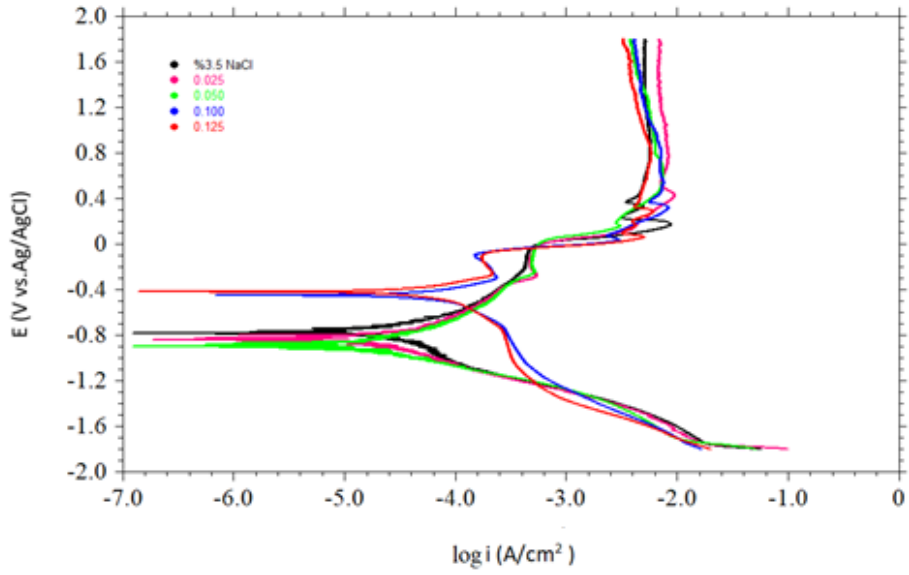
Şekil 4.52. VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



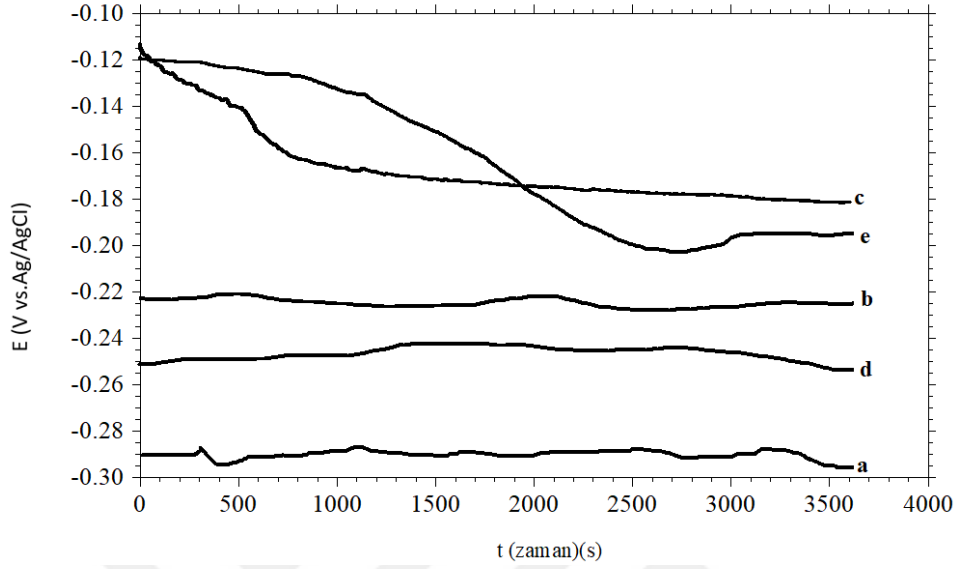
Şekil 4.53. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



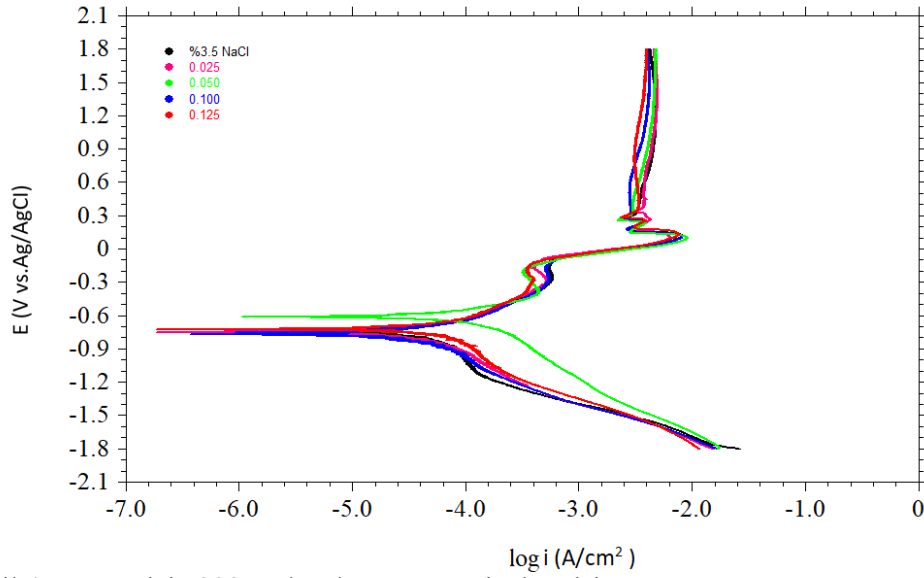
Şekil 4.54. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.55. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.56. MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.57. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.7. 298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

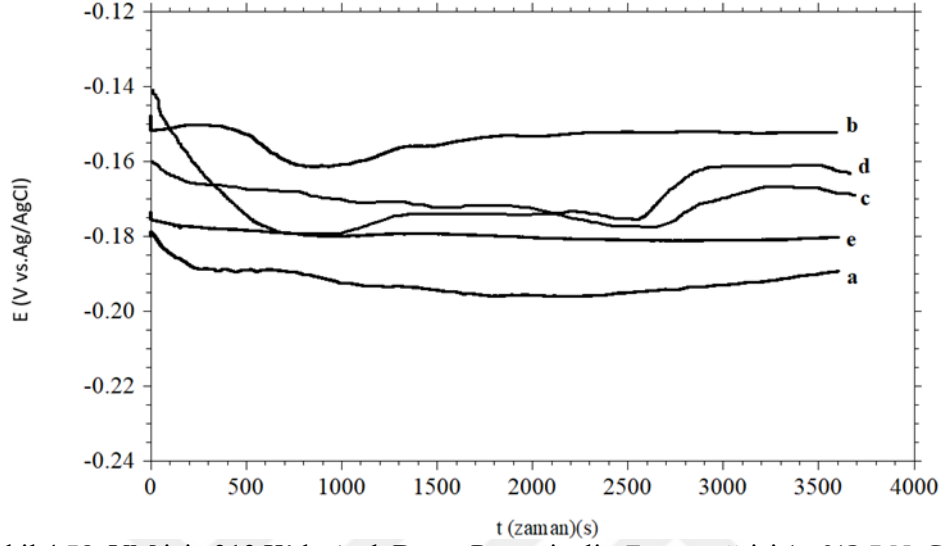
	Konsantras yon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
%3.5 NaCl	-	1258.00	105.29	-0.296	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	1600.00	82.78	-0.224	21.38
	5.00	1750.00	75.69	-0.181	28.11
	10.00	1890.00	70.08	-0.252	33.44
	12.50	2200.00	60.20	-0.195	42.82
FK + %3.5 NaCl	2.50	1496.20	88.52	-0.242	15.92
	5.00	3162.00	41.89	-0.172	60.22
	10.00	4731.00	28.00	-0.221	73.41
	12.50	7498.90	17.66	-0.195	83.22
VM + %3.5 NaCl	2.50	1305.00	101.49	-0.228	3.60
	5.00	2000.05	66.23	-0.219	37.10
	10.00	6309.00	20.99	-0.296	80.06
	12.50	10000.00	13.25	-0.198	87.42

Çizelge 4.7’ de 298 K’de pH=9,0’da bakırın %3,5 NaCl çözeltisi ve %3,5 NaCl + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır (Şekil 4.51; 52;). İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 87,42 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Variamin mavisi + klorür ortamında tespit edilmiştir. Polarizasyon direnci 10000,00 Ω ölçülmüştür.

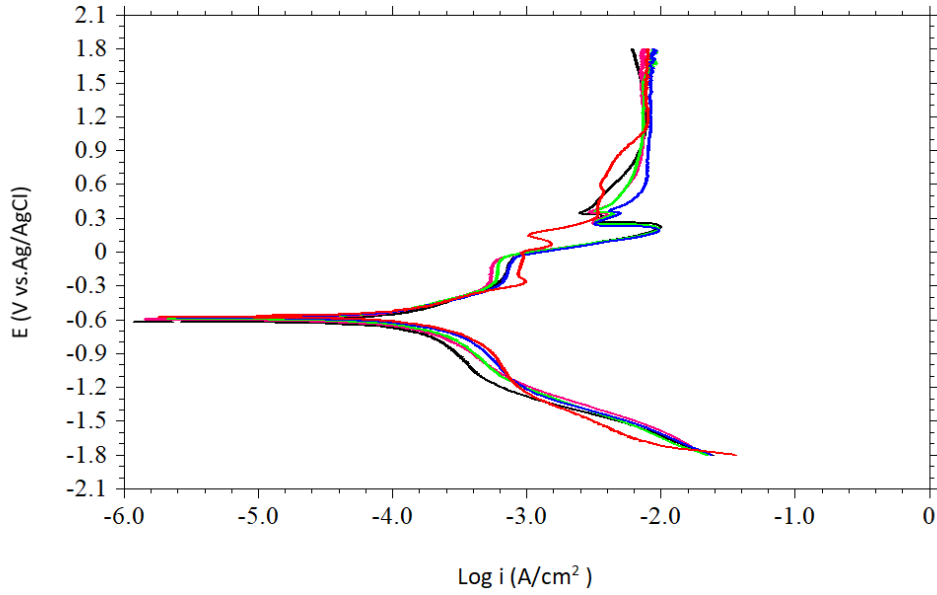
Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.53; 55; 57). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe hem pozitif hem de negatif potansiyellere kayma olmuştur.

%3,5 NaCl ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 4.54, Şekil 4.56). Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde %3,5 NaCl eğrisine göre potansiyeller daha

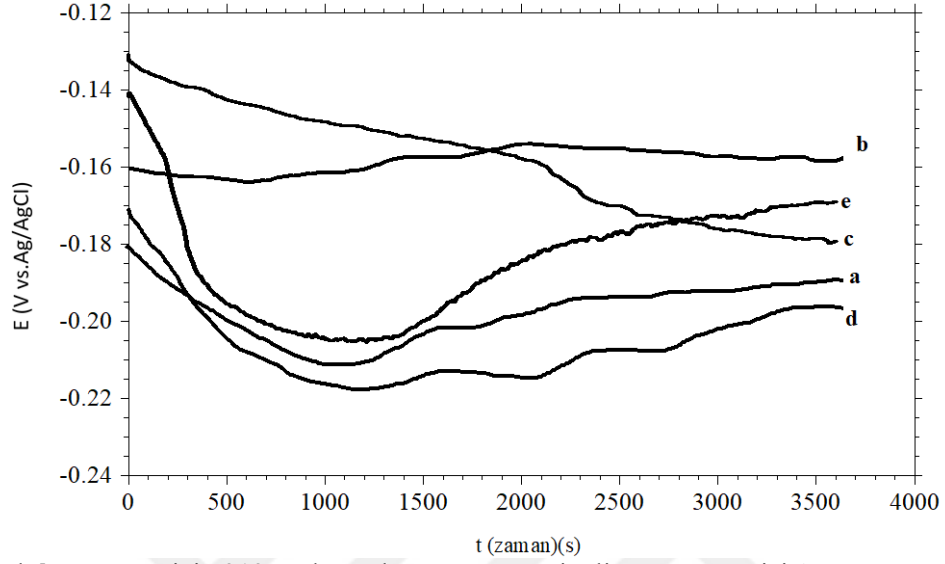
pozitive kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğriler doğrusala yaklaşmıştır.



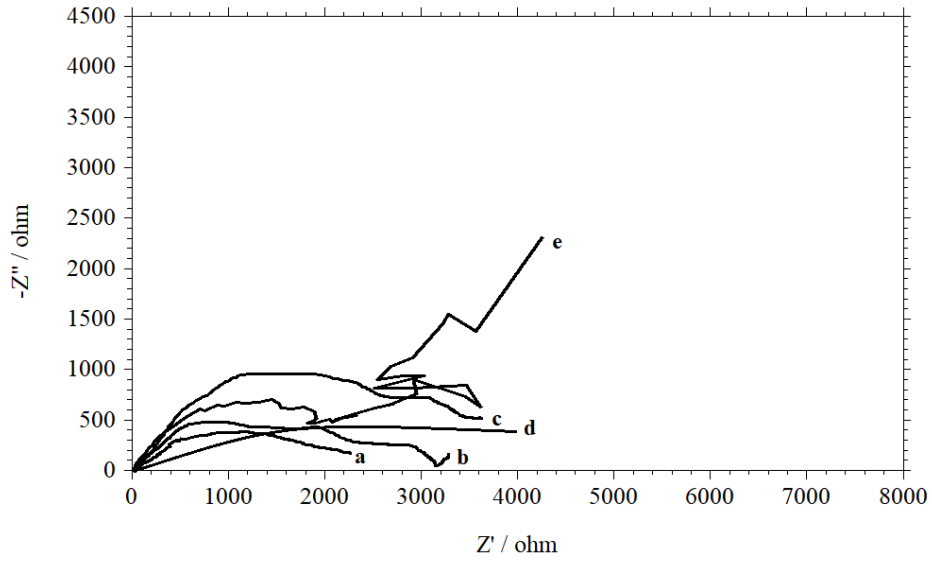
Şekil 4.58. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



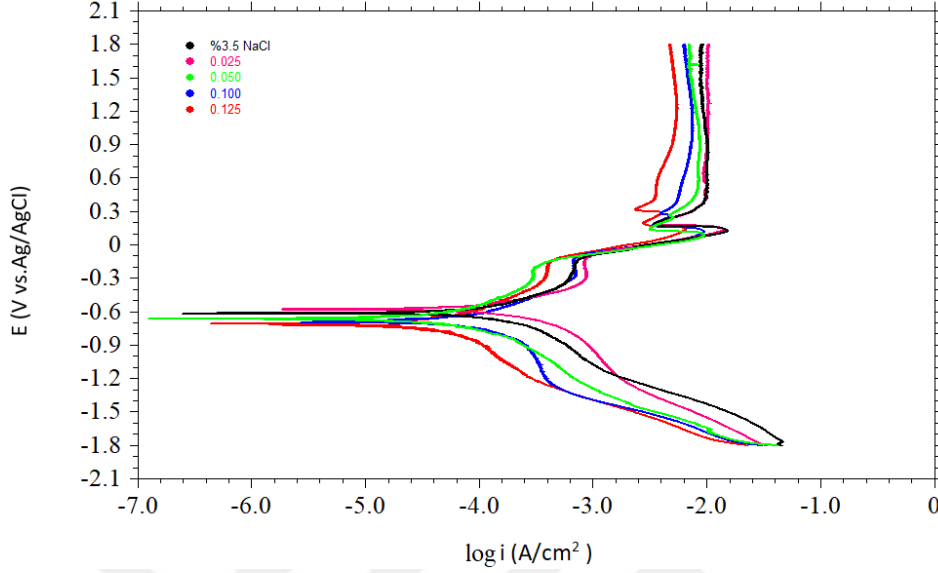
Şekil 4. 59. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.60. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.61. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.62. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

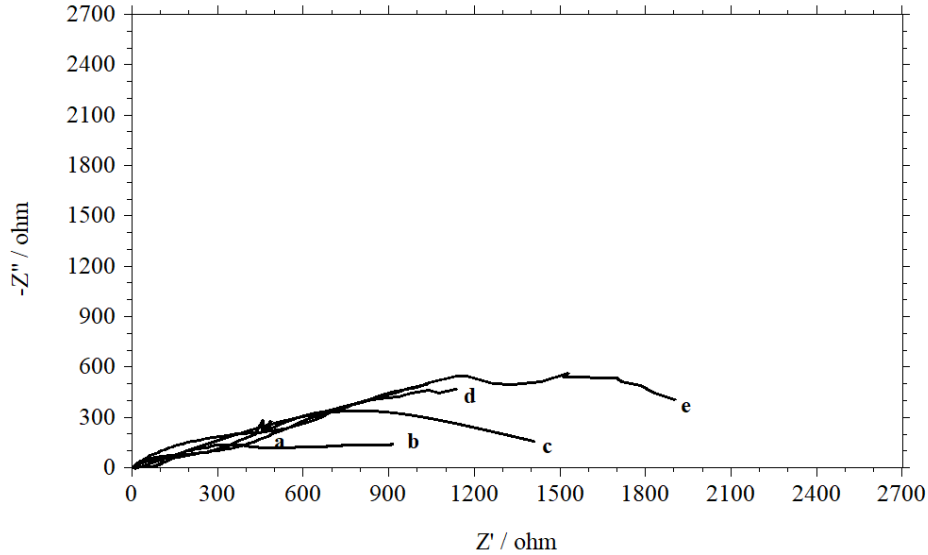
Çizelge 4.8. 313 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) x 10^{-2}	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	3100.00	42.73	-0.190	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	3700.00	35.80	-0.153	16.22
	5.00	4100.00	32.30	-0.182	24.39
	10.00	4500.00	29.43	-0.225	31.11
	12.50	4750.00	27.88	-0.202	34.74
FK+ %3.5 NaCl	2.50	3388.00	39.09	-0.157	8.50
	5.00	4073.00	32.52	-0.179	23.89
	10.00	5623.00	23.56	-0.197	44.87
	12.50	7943.00	16.68	-0.169	60.97
VM+ %3.5 NaCl	2.50	5250.00	25.23	-0.153	40.95
	5.00	6150.00	21.54	-0.180	49.59
	10.00	6900.00	19.20	-0.173	55.07
	12.50	7613.00	17.40	-0.185	59.28

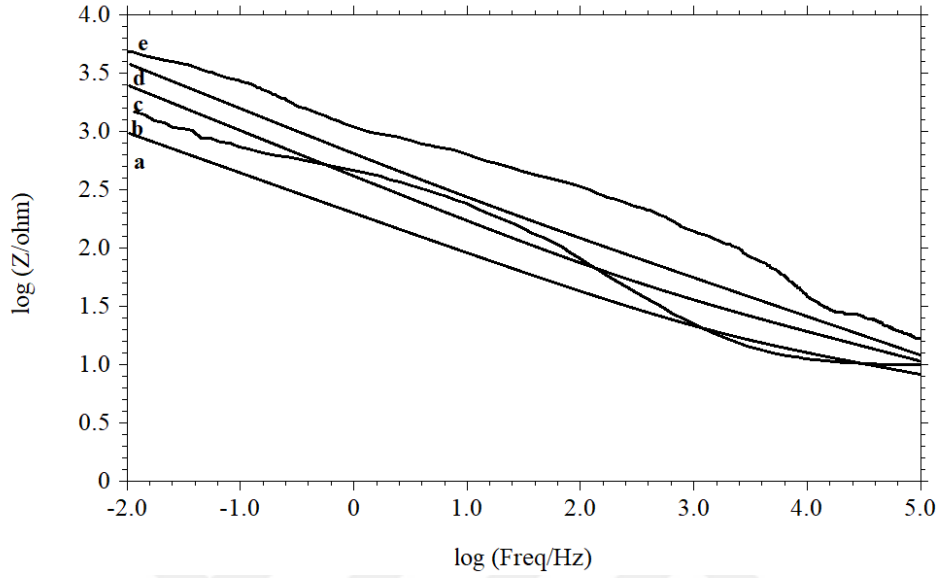
313 K’de, pH’sı 9,0’da İnhibitör içermeyen % 3,5 NaCl çözeltisinde bakır için R_p değeri 3100,00 Ω olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren

çözeltilerde almıştır (Çizelge 4.8.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır.

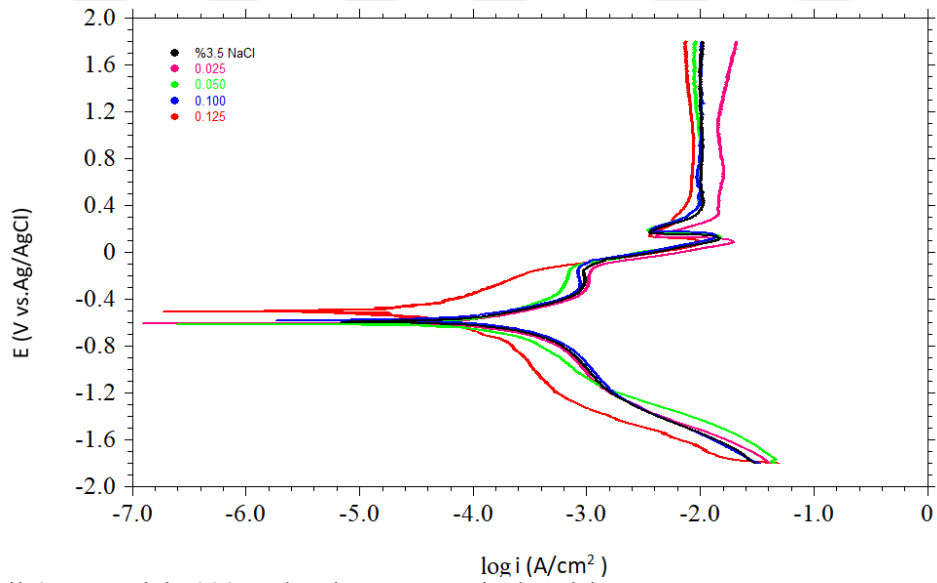
Derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Fenol Kırmızısı Varyamin Mavisi ve Metil Oranj şeklindedir (Şekil 4.61). En yüksek inhibitor etkinliği 313 K de % 60,97 ile 0.125 mmol/L derişim ile Fenol Kırmızısı +klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitor özelliği gösteren Fenol Kırmızısının (FK) en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı $16,68 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Akım-Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitor eklendikçe daha pozitif bölgelere kaymıştır (Şekil 4.59; 4.62). Korozyon potansiyelleri VM ve FK'da derişimin artması ile pozitif, MO'da negatife kaymıştır. Şekil 4.58, Şekil 4.60'da Açık devre potansiyeline karşı-zaman eğrilerine göre Varyamin mavisi +klorür ve Fenol Kırmızısı + klorür içeren ortamlarda bir saatin sonuna eğrilerde doğrusallık gözlemlenmiş ve potansiyeller pozitifte kaymıştır. Bir saatin sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir (Şekil 4.61).



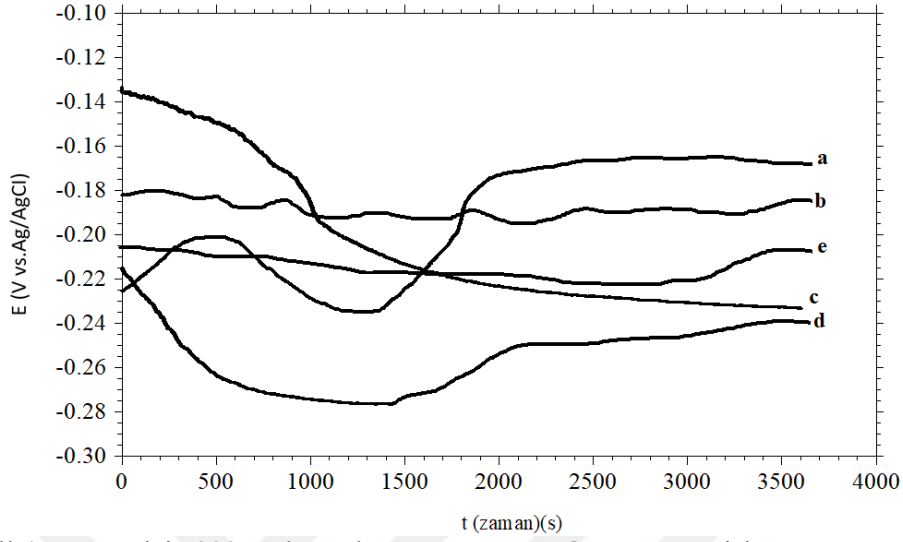
Şekil 4.63. VM için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



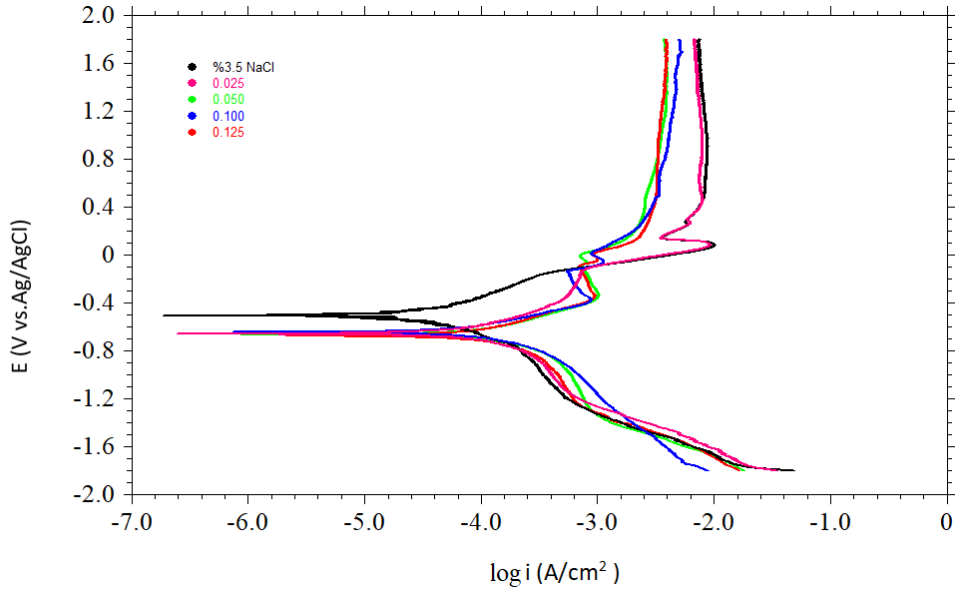
Şekil 4.64. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125mM).



Şekil 4.65. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.66. MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.67. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.9. 333 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 <i>NaCl</i>	-	1000.00	132.45	-0.171	-
MO + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	1231.00	107.60	-0.185	18.72
	5.00	1514.00	87.48	-0.233	33.95
	10.00	1701.00	77.87	-0.240	41.21
	12.50	2546.00	52.02	-0.206	60.72
FK + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	1650.00	80.27	-0.191	39.39
	5.00	2500.00	52.98	-0.172	60.00
	10.00	3800.00	34.86	-0.202	73.68
	12.50	5000.00	26.49	-0.234	80.00
VM + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	1259.00	101.49	-0.165	20.57
	5.00	1584.00	66.23	-0.187	36.87
	10.00	1778.00	20.99	-0.239	43.76
	12.50	2500.00	13.25	-0.215	60.00

R_s değerleri 5-10 Ω aralığında olup çok önemli bir değişiklik göstermemiştir. İnhibitör içermeyen % 3,5 *NaCl* çözeltisinde R_p değeri 1000,00 Ω olmuştur. Ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur (Şekil 4.63-64). R_p değerlerinin dağılım aralığı: MO + %3,5 *NaCl*’de 1231 – 2546 Ω , FK + %3,5 *NaCl*’de 1650,00–5000,00, VM + %3,5 *NaCl*’de 1259 – 2500 Ω ’dur. R_p en yüksek değerini 0,125 mM’luk FK + %3,5 *NaCl*’de almış ve 5000 Ω olmuştur (Çizelge 4.9.).

İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % $\bar{I}E$ değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır. İnhibisyon etkinliği değerlerinin dağılım aralığı: % 18,72–80,00 olmuştur. Çizelge 4.9’ da İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 333 K’de FK + %3,5 *NaCl*’de almış ve % 80,00 olmuştur. Çizelge 4.9 ve Çizelge 4.8 kıyaslandığında artan sıcaklık ile sistematik olarak inhibisyon etkinliği azalmamış, 333 K de FK + %3,5 *NaCl*’de daha yüksek inhibisyon etkinliği ölçülmüştür. Korozyon akımları artan derişim ile daha negatife kaymıştır. Şekil 4.66’da, MO + %3,5 *NaCl*’de açık devre potansiyeline karşı zaman eğrisi çizilmiş

ve bir satin sonuna doğru doğrusallık gözlemlenmiştir.

Bazik ortamda Varyamin Mavisini, Metil Oranj ve Fenol Kırmızısının derişiminin artması hem anodik hem de katodik akım yoğunluğunu azaltmaktadır (Şekil 4.65; 67.) Bu nedenle bakır elektrottaki boyar maddelerin %3,5 NaCl'lü ortamda karma tip inhibitör olarak davrandığı düşünülmektedir (Bedaire ve ark, 2017).

4.2. Adsorpsiyon İzotermeleri

Sıcaklığın ΔG_{ads}° değerine etkisini belirlemek amacıyla 298 K–333 K'de farklı derişimlerdeki inhibitörlerin ikibuçuk saat denge sonunda EIS ölçümlerinden elde edilen yüzey kaplama kesri (θ) değerleri kullanılarak her sıcaklıkta uygun olan (R^2 değeri bire en yakın olan) adsorpsiyon izotermeleri çizilmiştir. Bu izotermelerden hesaplanan ΔG_{ads}° değerleri Çizelge 4.10; 4.15; 4.20'de verilmiştir. ΔG_{ads}° değerleri sıcaklık arttıkça -20 kJ/mol'den daha negatif değerler almıştır.

Metal/çözeltili ara yüzeyinde meydana gelen adsorpsiyon kimyasal ya da fiziksel olabilir. ΔG_{ads}° değerinin -40 kJ/mol'den daha negatif değerler aldığı durumlarda, organik molekülden metal yüzeyine koordine tip bağ yapmaki için yük transferini gerektiren etkileşimler olduğu adsorpsiyonun güçlü adsorpsiyon olduğu kabul edilir. - ΔG_{ads}° dağılım aralıkları VM, MO ve FK içeren çözeltilerde 25,34-39,26 kJ/mol olmuştur. Adsorpsiyon izotermeleri Şekil 4.68 - 4.70 aralığında verilmiştir.

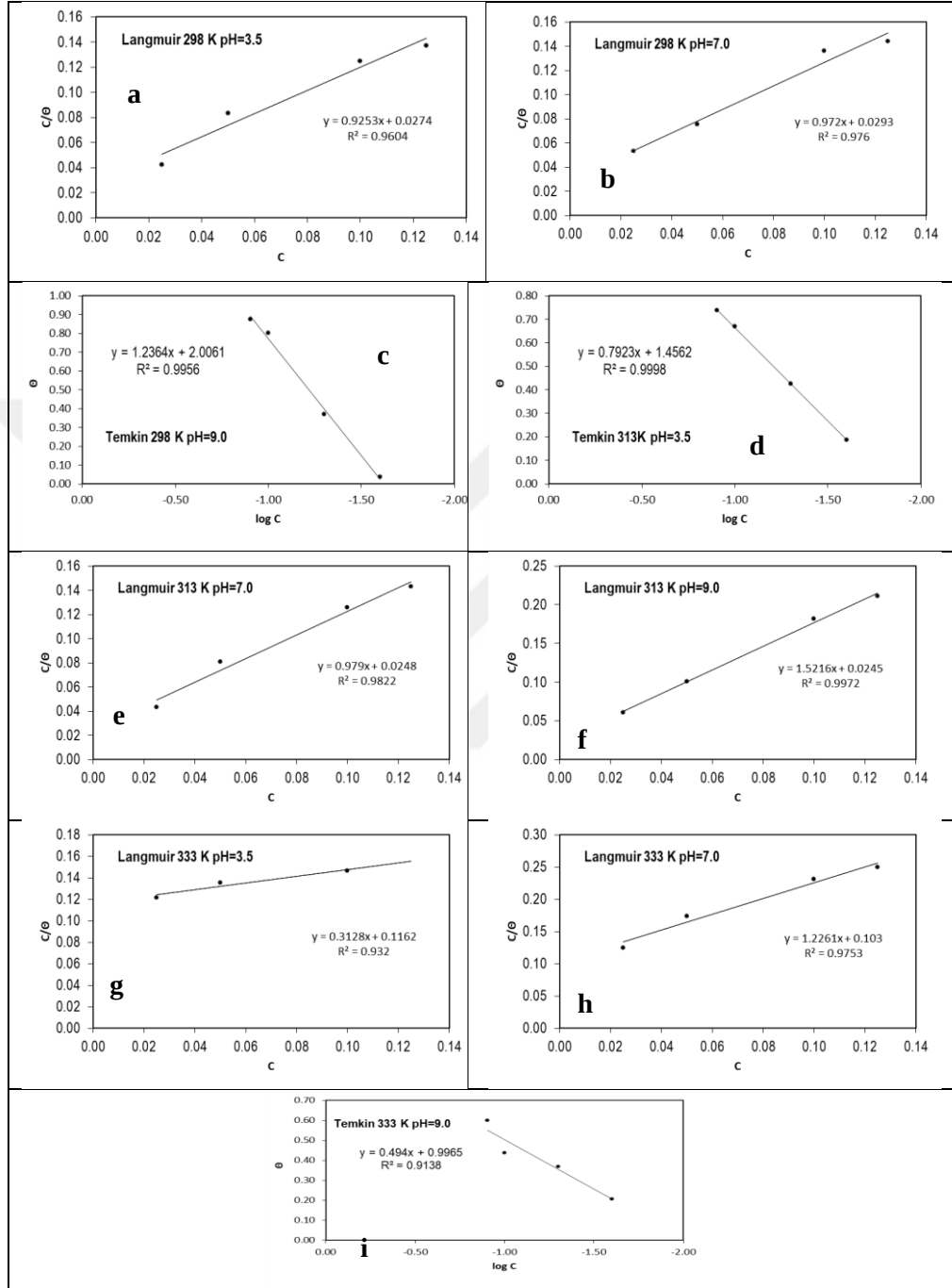
Metil oranjın pH=3,5'de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=3,5'de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir; Temkin; Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=3,5'de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin; Langmuir; Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır.

Fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur. Temkin adsorpsiyon izotermine de

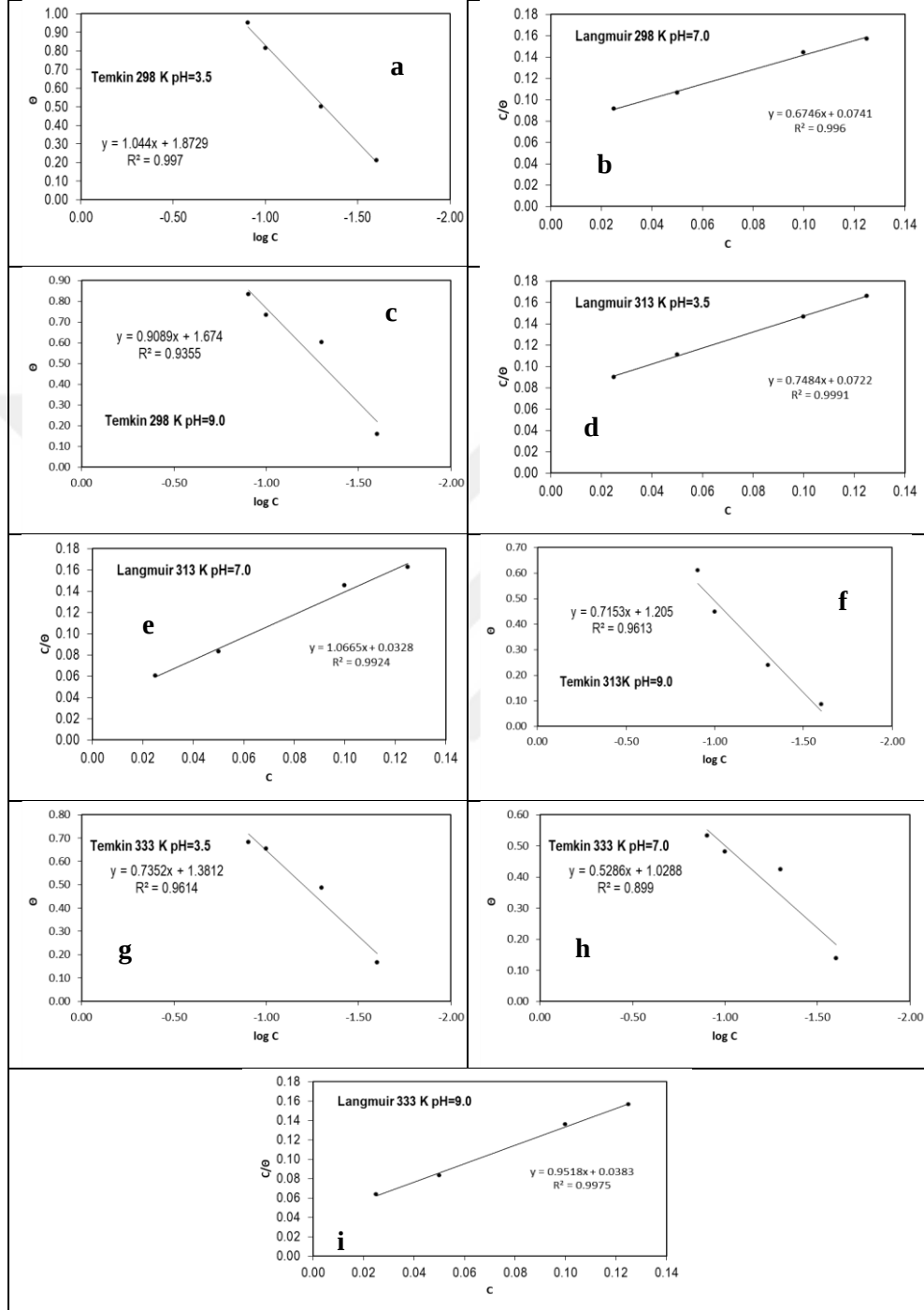
uygunluk kimyasal adsorpsiyonunun da söz konusu olabileceğini açıklamaktadır (Sarıkaya, 2004).

Metil oranjın pH=7,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=7,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=7,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir; Langmuir; Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon söz konusu olmuştur. Adsorpsiyon ısısının -20 kJ/mol civarında olduğu tutunmalar, fiziksel adsorpsiyon, -200 kJ/mol civarında olan tutunmalar ise kimyasal adsorpsiyondur. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da DG değerlerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur. $-ΔG^0_{ads}$ dağılım aralıkları variamin içeren çözeltilerde -35,81 – (-) 36,54 kJ/mol, fenol kırmızısı içeren ortamda -33,51-(-) 30,17 kJ/mol, metil oranj içeren ortamda -34,23 - (-)37,59 kJ/mol ölçülmüştür.

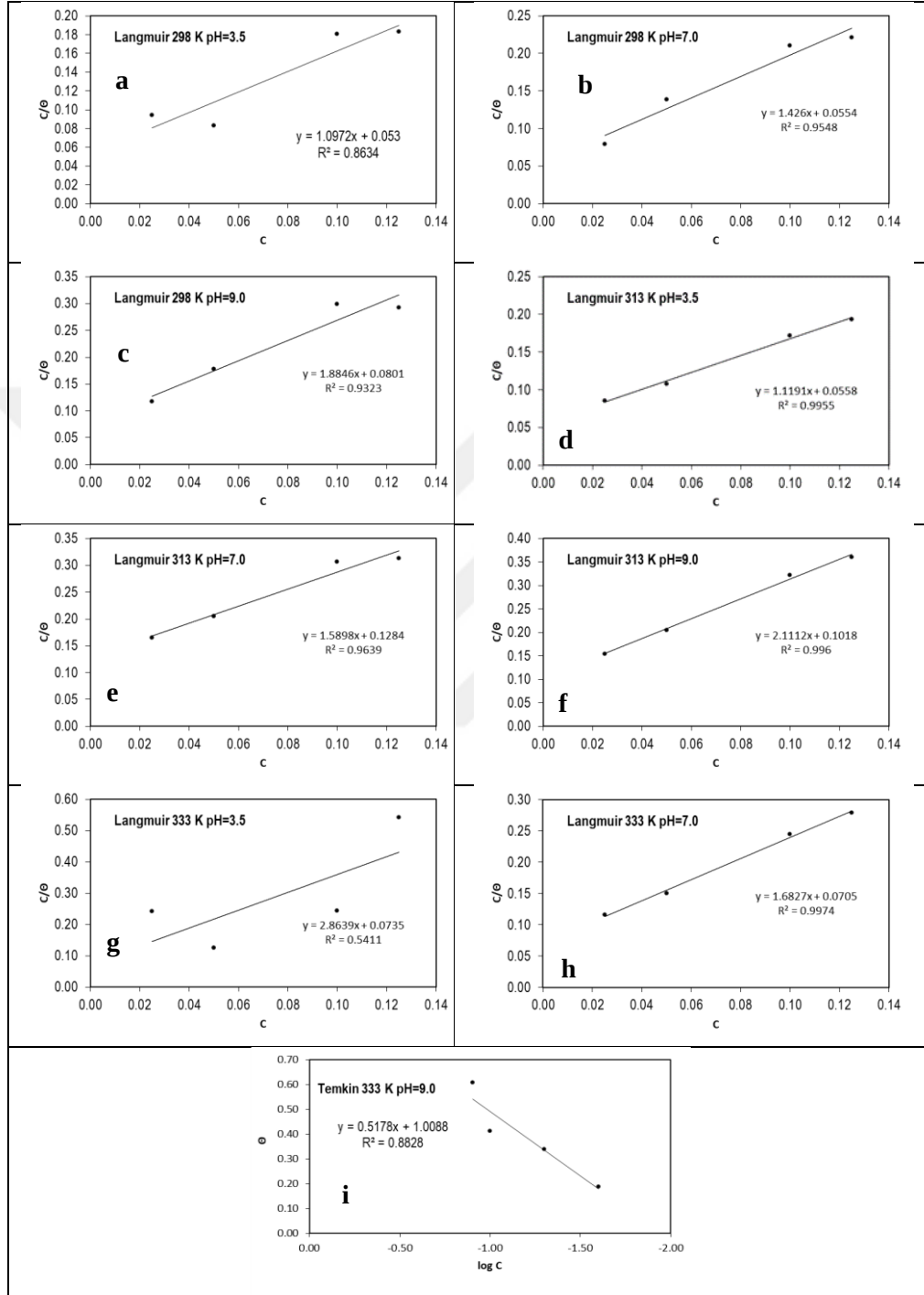
Metil oranjın pH=9,0'da 298; 313 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izotermine 333 K de Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=9,0'da 298; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Temkin; 313 K de Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=9,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir; Langmuir; Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da $ΔG^0_{ads}$ değerlerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.



Şekil 4.68. VM için Adsorpsiyon İzotermleri.



Şekil 4.69. FK için Adsorpsiyon İzotermi.



Şekil 4.70. MO için Adsorpsiyon İzotermeleri.

4.3. Bakırın %3.5 NaCl Çözeltilerinde Saptanan ΔG°_{ads} , ΔS°_{ads} ve ΔH°_{ads} değerleri

ΔG°_{ads} değerinin -20 kJ/mol veya daha düşük olduğu durumlarda yüklü metal ile yüklü organik moleküller arasında elektrostatik etkileşimler olduğu ve adsorpsiyonun fiziksel olduğu kabul edilmiştir (Negm ve ark, 2010). Çizelge 4.10'da $-\Delta G^{\circ}_{ads}$ dağılım aralıkları variamin içeren çözeltilerde -27,45 – (-) 36,2 kJ/mol, fenol kırmızısı içeren ortamda -25,51 - - 35,27 kJ/mol, metil oranj içeren ortamda -34,34- (-)37,47 kJ/mol ölçülmüştür. Çizelge 4.11.'da görülen VM; FK ve MO'ya ait ΔG°_{ads} değerlerinin -20 kJ/mol dolayında olması, adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermektedir (Gupta ve ark, 2016). ΔG°_{ads} değerleri sıcaklık arttıkça -20 kJ/mol'den daha negatif değerler almıştır. Ortama inhibitör eklendikçe ΔS°_{ads} değerleri azalmış ve en yüksek derişimde (0,125 mmol/L + %3,5 NaCl) VM; MO için sırası ile -115,78;-93,72 j/mol. K olarak minium olmuştur. FK için -689 j/mol. K ve artma söz konusu olmuştur. İnhibitör bileşiklerinde ΔS°_{ads} değerlerinin ortama inhibitor eklendikçe daha da azalması çözeltide bulunan inhibitör molekülleri ile su moleküllerinin ile yer değiştirmesi sonucu düzensizliğin azalması ile açıklanabilir (Kılınççeker ve Galip, 2008; Çizelge 4.11). Aynı zamanda korozyon devam ettiği için de özellikle FK ortamında artma da söz konusu olmuştur. Saptanan ΔH°_{ads} değerleri VM; FK; MO için tüm sıcaklıklarda negatif olmuş ve en yüksek derişimde 298 K'de (0,125 mmol/L + %3,5 NaCl) VM; MO için sırası ile 1,08 ; -67,41 kJ/mol olarak minium olmuştur. ΔH°_{ads} 'nin, negatif değerleri inhibitör moleküllerinin adsorpsiyon süreçlerinin bahsedilen sıcaklıklarda ekzotermik olduğu ve polarizasyon direncinin sıcaklık artışıyla azalması bu sonuçla da uyumlu olmuştur (Kılınççeker ve Galip, 2008; Özkır ve ark 2012; Çizelge 4.12; 14). FK için -230 kJ/mol saptanmış olup artma söz konusu olmuştur. Bahsedilen sıcaklıklarda endotermiktir (Çizelge 4.13). Adsorpsiyon entalpisi -200 kJ/mol civarında olan etkileşimler sonundaki tutunmalar kimyasal adsorpsiyondur. Tanecikler ve yüzey arasında kovalent bağ oluşmaktadır. Çoğu kimyasal adsorpsiyonlar ekzotermik

olduğu halde bazı kimyasal adsorpsiyonlar endotermik olabilir (Sarıkaya, 2004).

Metil oranjin pH=7,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda G°_{ads} , ΔS°_{ads} ve ΔH°_{ads} değerleri hesaplanmıştır. Adsorpsiyon ısısının -20 kJ/mol civarında olduğu tutunmalar, fiziksel adsorpsiyon, -200 kJ/mol civarında olan tutunmalar ise kimyasal adsorpsiyondur. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG°_{ads} değerlerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur. $-\Delta G^{\circ}_{ads}$ dağılım aralıkları variamin içeren çözeltilerde -35,81 – (-36,54) kJ/mol, fenol kırmızısı içeren ortamda -33,51- (- 30,17) kJ/mol, metil oranj içeren ortamda -34,23 - (- 37,59) kJ/mol ölçülmüştür (Çizelge 4.15).

Metil Oranj ΔS°_{ads} 0,125 mmol/L (-), diğer derişimlerde (+), Fenol Kırmızısı ΔS 0,025;0,125 mmol/L (-), diğer derişimlerde (+), ve Variamin Mavisini için ΔS (-) dir (Çizelge 4.16). Metil Oranj ve Fenol Kırmızısı 298; 313; 333 K de ΔH°_{ads} 0,025;0,100 mmol/L (+) diğer derişimlerde (-), Variamin Mavisinde bütün sıcaklıklarda ΔH°_{ads} (-) dir (Çizelge 4.17 - 4.19). Variamin Mavisini için bütün sıcaklıklarda istemlidir. Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj için ise derişimlere göre değışkenlik gösterip bütün sıcaklıklarda istemli durumlar söz konusu olmuştur ΔG°_{ads} (-), ΔS°_{ads} (+), ΔH°_{ads} (-)). ΔS°_{ads} ve ΔH°_{ads} değerleri MO; FK ortamlarında azalmış, VM ortamında artmıştır (-134,39 kJ/mol). ΔH°_{ads} 'nin, negatif değerleri inhibitör moleküllerinin adsorpsiyon süreçlerinin bahsedilen sıcaklıklarda ekzotermik olduğu ve polarizasyon direncinin sıcaklık artışıyla azalması bu sonuçla da uyumlu olmuştur. ΔS°_{ads} 'nin azalması düzensizliğin azaldığının göstergesidir.

Metil Oranj, Fenol Kırmızısı ve Variamin Mavisini için ΔS°_{ads} ve ΔH°_{ads} 0,025; 0,100 mmol/L (+), diğer derişimlerde (-) olması kaynaklı yüksek sıcaklıklarda istemli (ΔG°_{ads} (-), ΔS°_{ads} (+), ΔH°_{ads} (+)), 0,050; 0,125 mmol/L için düşük sıcaklıklarda istemlidir (ΔG°_{ads} (-), ΔS°_{ads} (-), ΔH°_{ads} (-)). Variamin Mavisini için bütün sıcaklıklarda 0,125 mmol/L de ΔH°_{ads} (-), diğer derişimlerde (+) dir. Bütün sıcaklıklarda istemlidir.0,125 mmol/L için düşük sıcaklıklarda istemlidir (Çizelge 4.20 - 4.24).

Çizelge 4.10. pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-36.01	-25.51	-34.34
313	-27.45	-35.27	-35.94
333	-36.20	-29.35	-37.47

Çizelge 4.11. pH=3,5’de ΔS_{ads}° değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	MO + %3.5 NaCl	-198.48
2.50		-650.58
5.00		-843.55
10.00		-5.51
12.50		115.78
2.50	FK+ %3.5 NaCl	-27.56
5.00		-44.10
10.00		-82.70
12.50		-689.17
2.50	VM + %3.5 NaCl	-121.29
5.00		446.58
10.00		-325.29
12.50		-93.72

Çizelge 4. 12. MO için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-93.488
2.50		-228.214
5.00		-285.719
10.00		-35.983
12.50		0.163
0	313	-98.06
2.50		-239.57
5.00		-299.97
10.00		-37.66
12.50		0.30
0	333	-103.56
2.50		-254.11
5.00		-318.37
10.00		-39.30
12.50		1.08

Çizelge 4.13. FK için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-84.65
2.50		-33.72
5.00		-38.65
10.00		-50.15
12.50		-230.88
0	313	-97.39
2.50		-43.89
5.00		-49.07
10.00		-61.15
12.50		-250.98
0	333	-95.44
2.50		-38.53
5.00		-44.03
10.00		-56.89
12.50		-258.84

Çizelge 4.14. VM için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0	298	-95.15
2.50		-72.15
5.00		97.07
10.00		-132.94
12.50		-63.94
0	313	-89.57
2.50		-65.41
5.00		112.33
10.00		-129.26
12.50		-56.78
0	333	-102.29
2.50		-76.59
5.00		112.51
10.00		-144.52
12.50		-67.41

Çizelge 4. 15. pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-35.81	-33.51	-34.23
313	-38.05	-37.32	-33.77
333	-36.54	-30.17	-37.59

Çizelge 4.16. pH=7,0'da ΔS°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS°_{ads} , J/mol.K)
0	MO + %3.5 NaCl	-159.88
2.50		396.96
5.00		22.05
10.00		275.67
12.50		-71.67
2.50	FK + %3.5 NaCl	600.96
5.00		-303.23
10.00		198.48
12.50		-33.08
2.50	VM + %3.5 NaCl	-270.15
5.00		-237.07
10.00		-286.69
12.50		-330.80

Çizelge 4.17. MO için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-81.87
2.50		84.06
5.00		-27.65
10.00		47.92
12.50		-55.58
0	313	-83.81
2.50		90.48
5.00		-26.86
10.00		52.51
12.50		-56.20
0	333	-90.83
2.50		94.60
5.00		-30.24
10.00		54.20
12.50		-61.45

Çizelge 4.18. FK için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-81.15
2.50		145.57
5.00		-123.87
10.00		25.63
12.50		-43.36
0	313	-87.36
2.50		150.78
5.00		-132.23
10.00		24.80
12.50		-47.67
0	333	-83.41
2.50		169.95
5.00		-131.14
10.00		35.92
12.50		-41.18

Çizelge 4.19. VM için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-83.45
2.50		-116.31
5.00		-106.45
10.00		-121.24
12.50		-134.39
0	313	-88.09
2.50		-122.60
5.00		-112.25
10.00		-127.78
12.50		-141.59
0	333	-89.78
2.50		-126.50
5.00		-115.48
10.00		-132.01
12.50		-146.69

Çizelge 4.20. pH=9,0'da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-25.34	-25.79	-33.32
313	-38.08	-27.94	-34.37
333	-30.25	-39.26	-30.22

Çizelge 4.21. pH=9,0'da ΔS_{ads}° değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	MO + %3.5 NaCl	689.17
2.50		215.02
5.00		-286.69
10.00		66.16
12.50		-60.64
2.50	FK + %3.5 NaCl	281.18
5.00		0.00
10.00		104.75
12.50		-215.02
2.50	VM + %3.5 NaCl	347.34
5.00		176.43
10.00		314.26
12.50		-93.72

Çizelge 4.22. MO için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	172.05
2.50		30.75
5.00		-118.75
10.00		-13.60
12.50		-51.39
0	313	181.34
2.50		32.93
5.00		-124.10
10.00		-13.66
12.50		-53.35
0	333	199.27
2.50		41.38
5.00		-125.69
10.00		-8.18
12.50		-50.41

Çizelge 4.23. FK için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	179.58
2.50		58.00
5.00		-25.79
10.00		5.42
12.50		-89.86
0	313	187.77
2.50		60.07
5.00		-27.94
10.00		4.84
12.50		-95.24
0	333	190.23
2.50		54.37
5.00		-39.26
10.00		-4.37
12.50		-110.86

Çizelge 4. 24. VM için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	180.03
2.50		78.16
5.00		27.23
10.00		68.31
12.50		-53.27
0	313	177.63
2.50		70.63
5.00		17.14
10.00		60.28
12.50		-67.41
0	333	199.24
2.50		85.41
5.00		28.50
10.00		74.40
12.50		-61.46

4.4. Arrhenius Doğruları

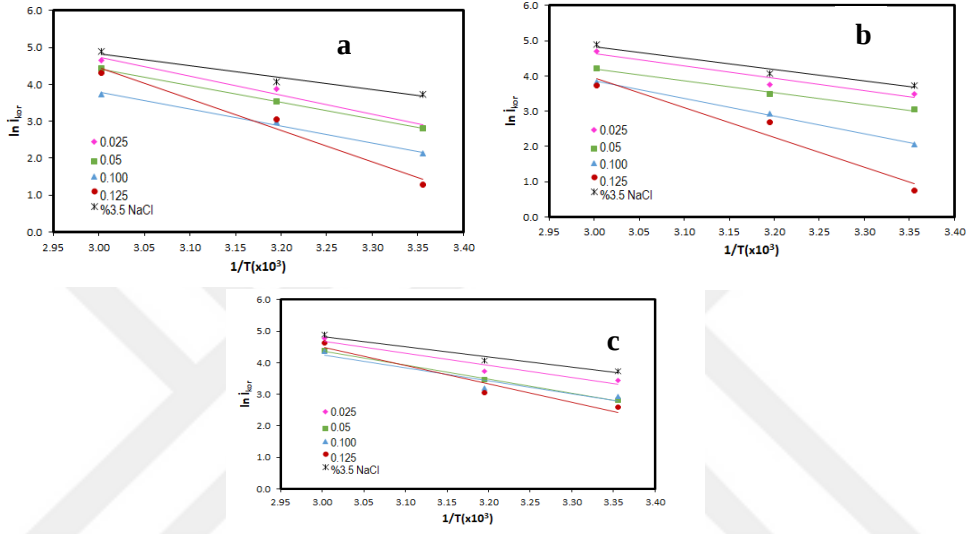
E_a 'nın inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksek olduğu birçok araştırmada bildirilmiştir (Al-Sabagh ve ark, 2011) ve fiziksel adsorpsiyon şeklinde açıklanmıştır (Li ve ark, 2012) (Şekil 4.71). E_a 'nın azalması, metal yüzeyinde inhibitörün kimyasal olarak adsorplanması anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.25'de pH=3,5'de, E_a üç boyar maddenin değerleri verilmiştir. E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksektir ve bakır yüzeyine fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur.

Çizelge 4.26'da pH= 7,0'da, Aktivasyon enerji değerleri verilmiştir. E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksektir ve bakır yüzeyine fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur (Şekil 4.72).

Çizelge 4.27'de pH=9,0'da, Aktivasyon enerji değerleri verilmiştir. VM ve MO için E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha düşüktür ve bakır

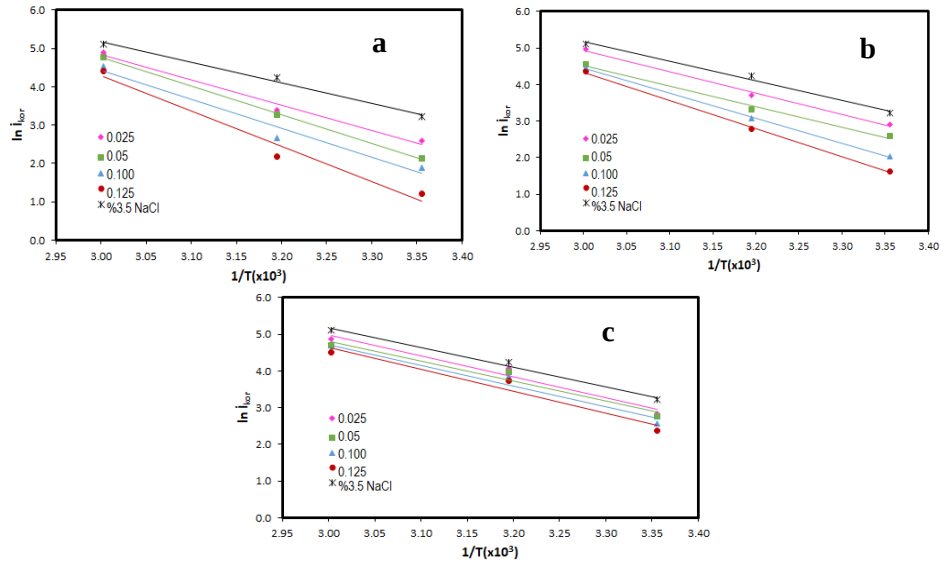
yüzeyine inhibitörün kimyasal olarak adsorplanması düşünülmüştür. FK için E_a 'nın inhibitörlü ortamda ölçülen 98,88 kJ/mol değerine kıyasla inhibitörsüz ortamda ölçülen 68,00 kJ/mol değere kıyasla daha yüksek oluşu fiziksel adsorpsiyonu düşündürmüştür (Şekil 4.73).



Şekil 4.71. pH=3,5’de VM(a), FK(b), MO(c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.25. pH=3,5’da E_a^* değerleri

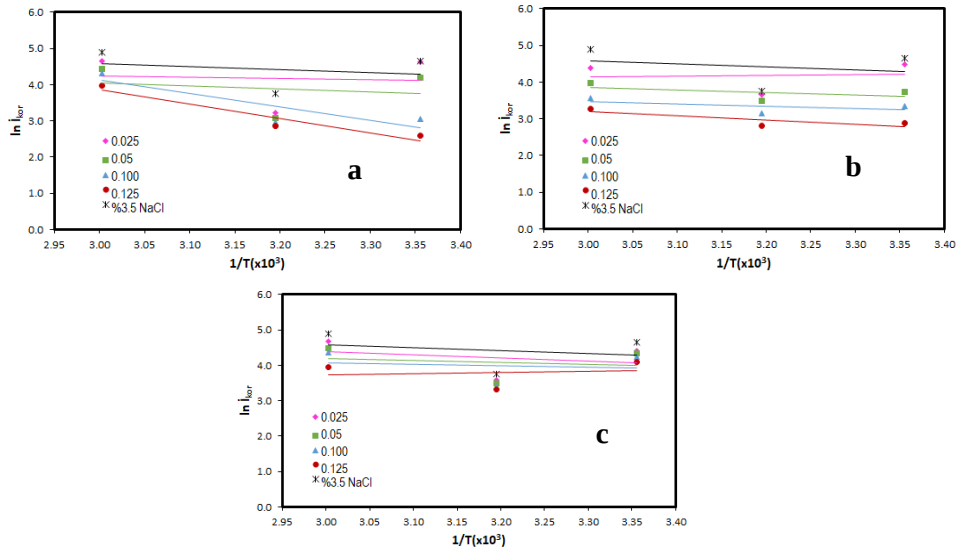
Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	27.39	-	-
2.50	42.59	27.68	32.24
5.00	38.03	27.83	37.00
10.00	37.83	41.56	34.17
12.50	70.58	69.87	48.74



Şekil 4.72. pH=7,0’da VM(a), FK(b), MO(c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.26. pH=7,0'da E_a^* değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	44.36	-	-
2.50	54.62	48.81	47.40
5.00	62.49	46.79	45.15
10.00	63.04	57.12	46.91
12.50	76.44	64.32	49.68

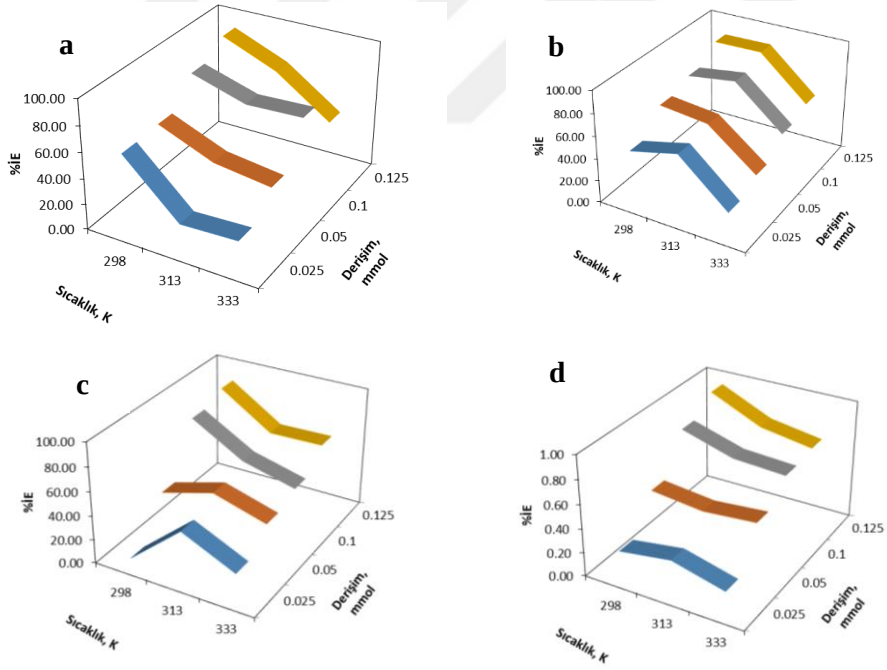


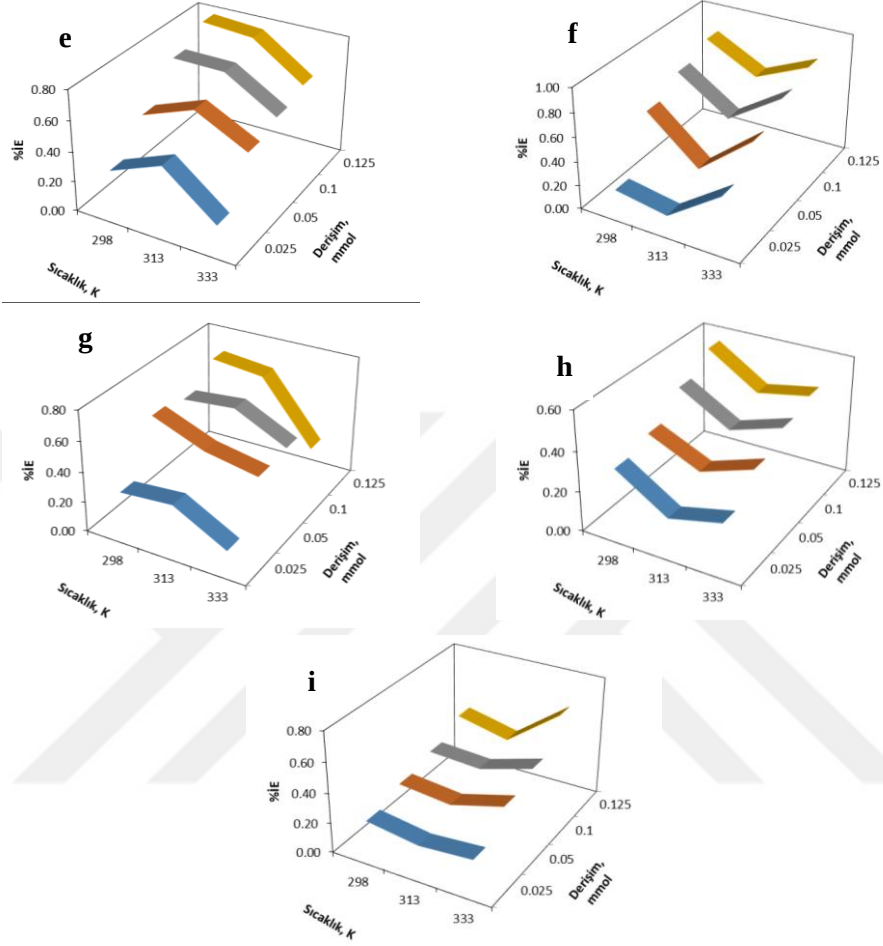
Şekil 4.73. pH= 9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.27. pH=9,0'da E_a^* değerleri

Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	68.00	-	-
2.50	27.90	12.39	75.02
5.00	71.94	60.34	46.81
10.00	30.78	55.42	37.48
12.50	33.17	98.88	24.72

4.5. İnhibisyon Etkinliği Değerleri



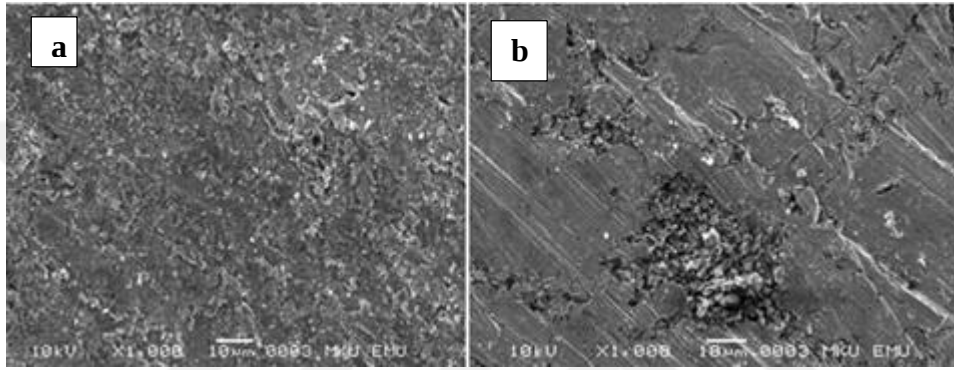


Şekil 4.74. VM için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH= 3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen inhibisyon etkinliği.

Farklı sıcaklık ve derişimlerde VM, FK ve MO için Nyquist ve Bode eğrilerinden bulunan inhibisyon etkinliği değerleri üç boyutlu grafikler halinde çizilerek Şekil 4.74.'de verilmiştir. Bu grafikten inhibisyon etkinliği değerlerinin çalışılan her derişimde sıcaklık artışıyla azaldığı net bir şekilde görülmektedir.

4.6. SEM Bulguları

Elektrotların SEM tekniği ile incelenmiş, 1000 kat büyütülmüş yüzey mikrografları Şekil 4.75’de verilmiştir. Bu mikrograflardan kolayca görüldüğü gibi eklenen inhibitörlerde yüzeylerin düz bir görünüm aldığı, kara lekelerin ve çukurcukların yok olduğu görülmektedir.



Şekil 4.75. 298 K’de %3,5 NaCl (a), %3,5 NaCl + 0,125 mmol /L VM (b) içeren çözeltilerde elde edilen SEM görüntüleri.

4.7. Yumuşak Çeliğin %3,5 NaCl, %3,5 NaCl +xM ortamında farklı sıcaklık ve pH larda Elde Edilen Bulgular

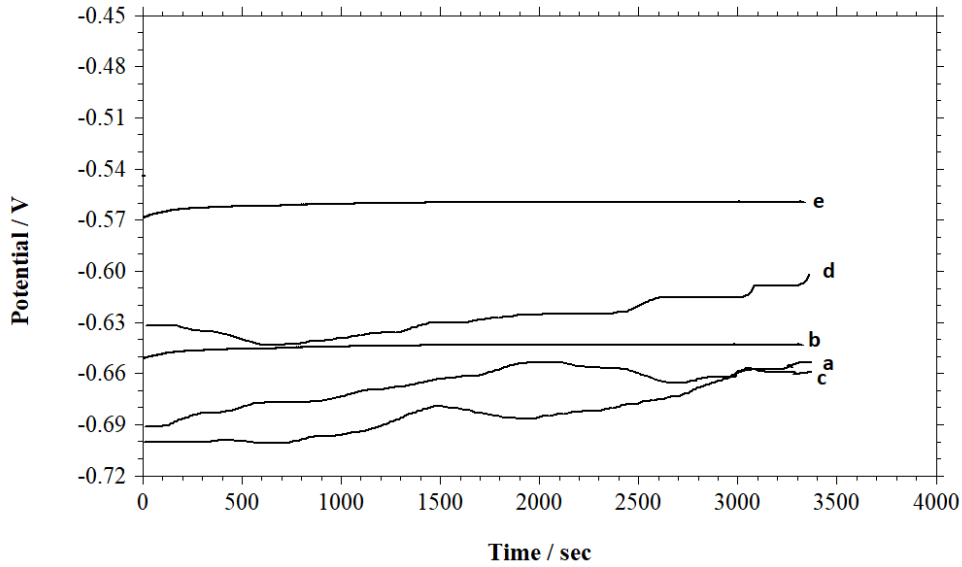
Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz %3,5 NaCl ve %3,5 NaCl + xM inhibitörlü ortamlarda 298 K; 313 K ve 333 K’de pH=3,5;7,0 ve 9,0 da, 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM konsantrasyonlarda Açık devre potansiyelinin zamanla değişim ölçümleri, EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir (x: Variamin mavisi, Fenol kırmızısı, Metil Oranj).

Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz ve inhibitörlü çözeltilerde elektrotların iki buçuk saat bekletilmesi sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir. Açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. 1 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-1,8 mV), tarama

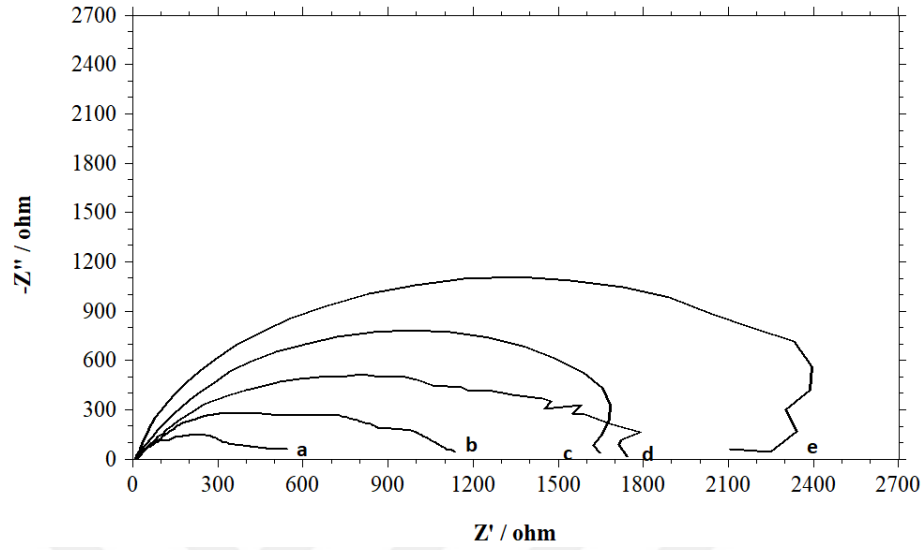
yapılıp temizlenerek 2,5 saatlik bekleme süresi sonunda anodik yöne doğru (1,8 mV) tarama yapılmıştır.

Çizelge 4.28.'de inhibitörlü bütün ortamlarda yüksek frekans bölgesinde oluşan yarım dairelerin yarıçapları, inhibitörsüz ortamlardakinden daha büyük olmuş ve inhibitör derişimi arttıkça yarıçaplar da artmıştır (Rahiman ve ark, 2017). Farklı sıcaklıklarda iki buçuk saat bekleme süresi sonunda elde edilen bode diyagramlarından R_p hesaplanmıştır (Şekil 4.78.) Akım Potansiyel eğrilerinden akım yoğunluğu değerleri i_{kor} hesaplanmıştır. Nyquist eğrilerinden elde edilen impedans parametreleri; Açık Devre Potansiyeli (E_{kor}), polarizasyon direnci (R_p), inhibisyon etkinliği değerleri (% İE) ve i_{kor} Çizelge 4.28.'de verilmiştir.

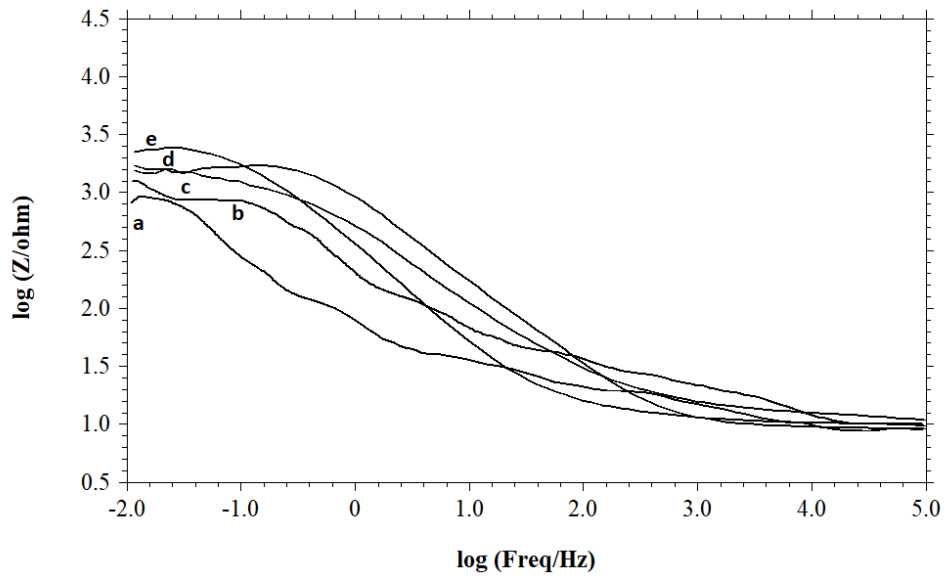
298; 313; 333 K de pH=3,5; 7,0; 9,0'da, %3,5 NaCl içeren ortamda farklı derişimlerde variamin mavisi (VM), fenol kırmızısı (FK) ve metil oranj (MO) içeren ve içermeyen çözeltilerinde 2,5 saat sonunda elde edilen eğriler Şekil 4.76 - 4.133' de verilmiştir (a; %3,5 NaCl, b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



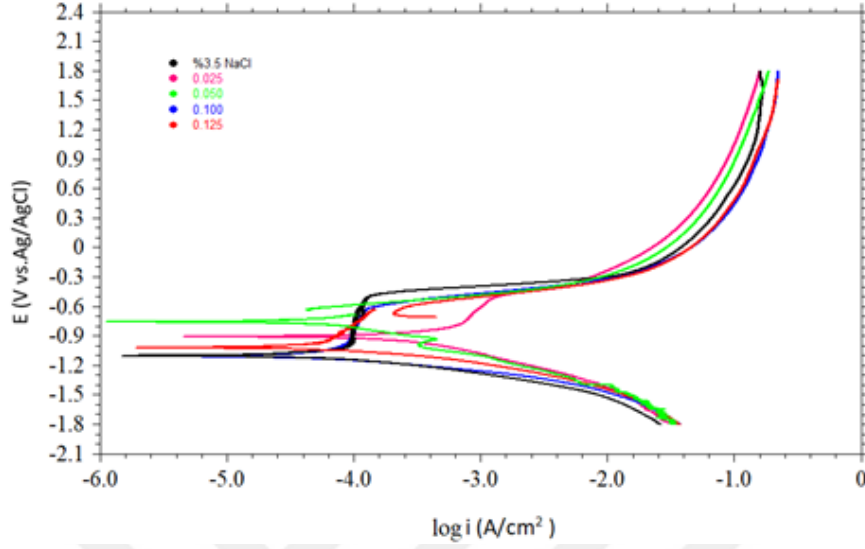
Şekil 4.76. VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



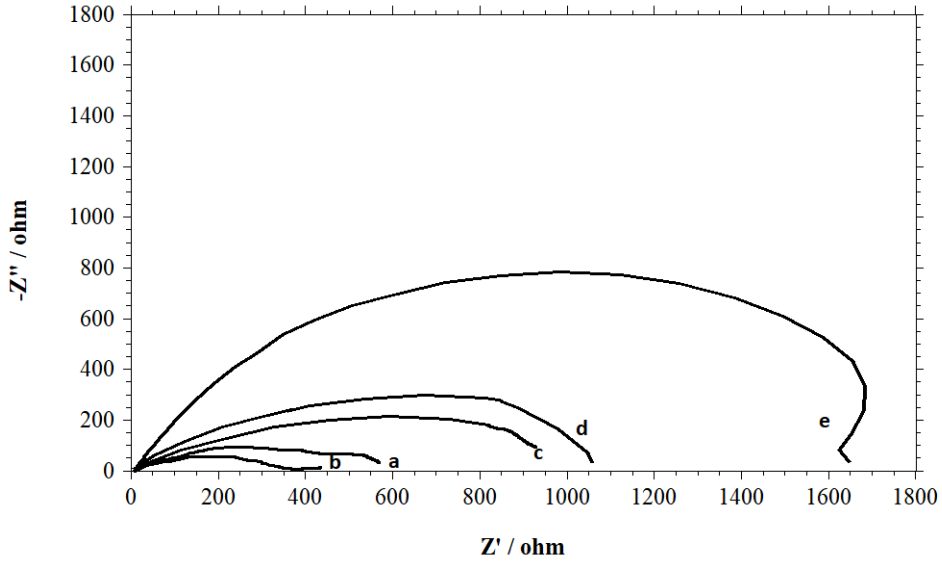
Şekil 4.77. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.78. VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.79. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



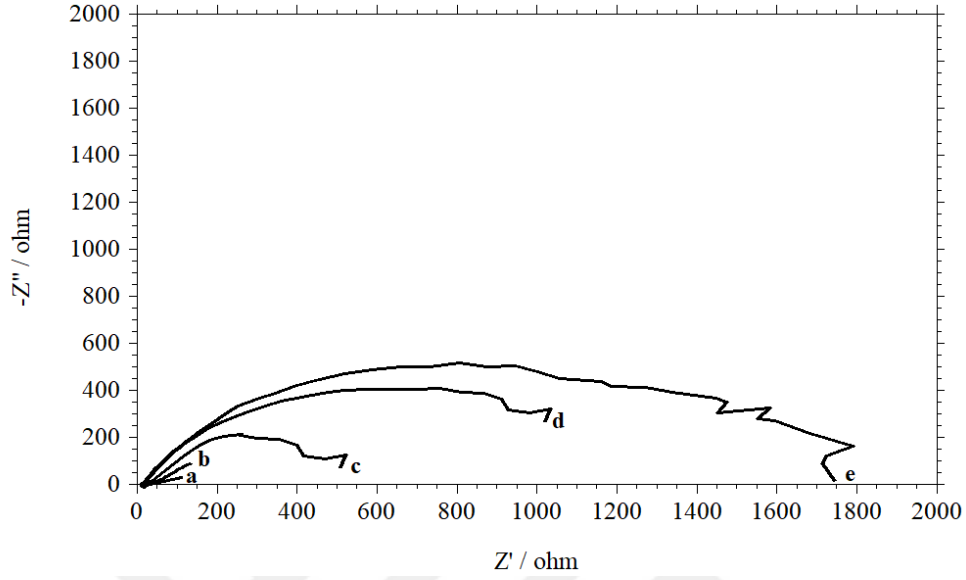
Şekil 4.80. FK için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

Çizelge 4.28. 298 K’de, pH’sı 3,5’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

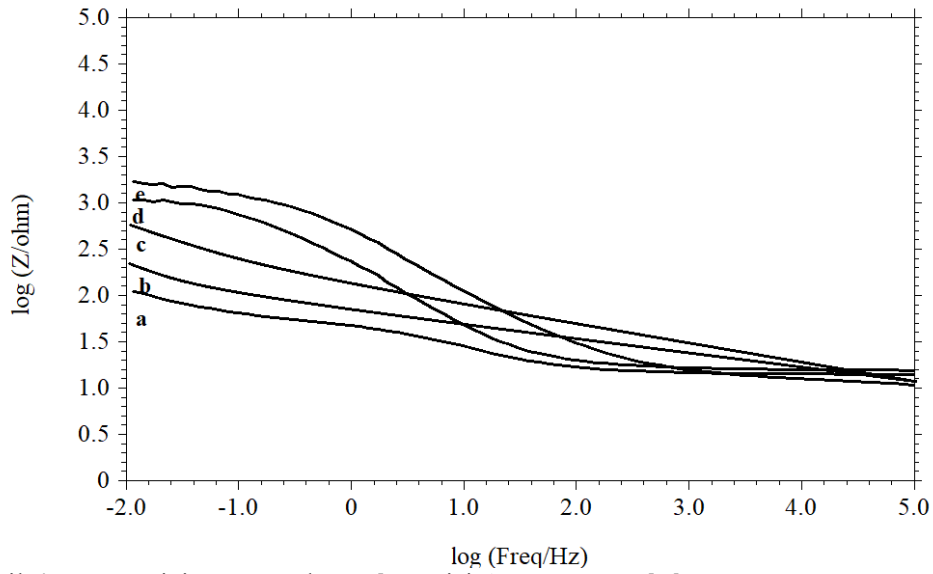
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
%3.5 NaCl	-	630.96	82.02	-0.660	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	1215.00	42.59	-0.511	48.07
	5.00	2511.89	20.60	-0.563	74.88
	10.00	5623.41	9.20	-0.585	88.78
	12.50	7079.46	7.31	-0.524	91.09
FK + %3.5 NaCl	2.50	501.19	103.26	-0.631	-
	5.00	977.24	52.96	-0.619	35.43
	10.00	1174.89	44.05	-0.652	46.30
	12.50	1698.24	30.47	-0.661	62.85
VM + %3.5 NaCl	2.50	1258.90	41.11	-0.660	49.88
	5.00	1737.80	29.78	-0.645	63.69
	10.00	1995.26	25.94	-0.661	68.38
	12.50	2511.88	20.60	-0.563	74.88

Çizelge 4.28’de 298 K’de, pH’sı 3,5’de yumuşak çeliğin inhibitör içermeyen % 3,5 NaCl çözeltisinde bakır için R_p değeri 630,96 Ω ölçülmüştür. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de %91,09 ile 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranj +klorür ortamında tespit edilmiştir. (Çizelge 4.28.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır. (Şekil 4.77; 78; 80).

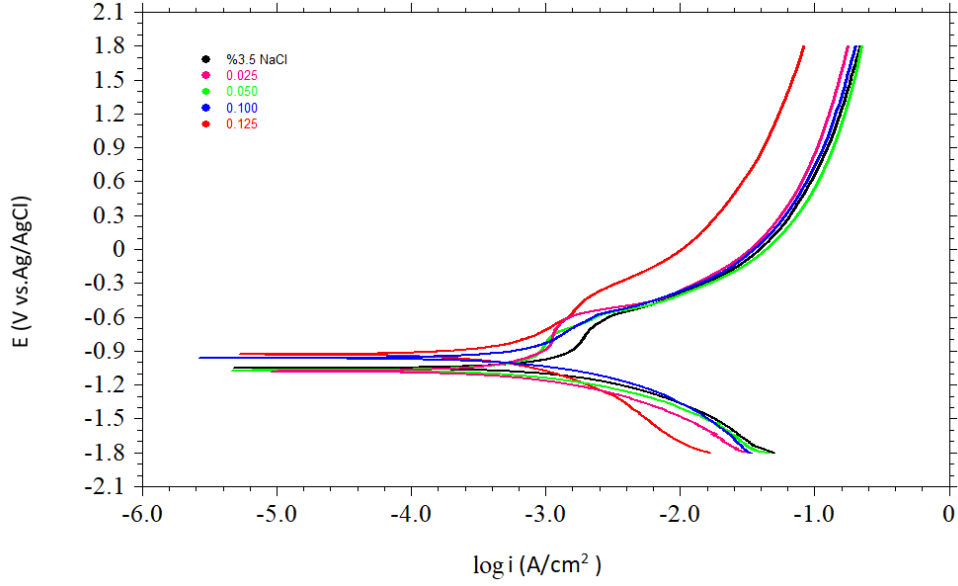
Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. Akım-Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitor eklendikçe daha pozitif bölgelere kaymıştır (Şekil 4.80). Çizelge 4.28’de, Korozyon potansiyelleri MO için - 0,511; - 0,563; - 0,585; - 0,524, FK için - 0,631; - 0,619; - 0,652; - 0,661, VM için - 660; - 0,645; -0,661; -0,563 şeklinde verilmiştir. Şekil 4.79, 4.76, 4.77 ve 4.80 de görüleceği üzere optimize derişim 0,125 mmol/L dir. Bu derişimde en yüksek inhibisyon etkisi elde edilmiştir ve korozyon akımları en düşüktür.



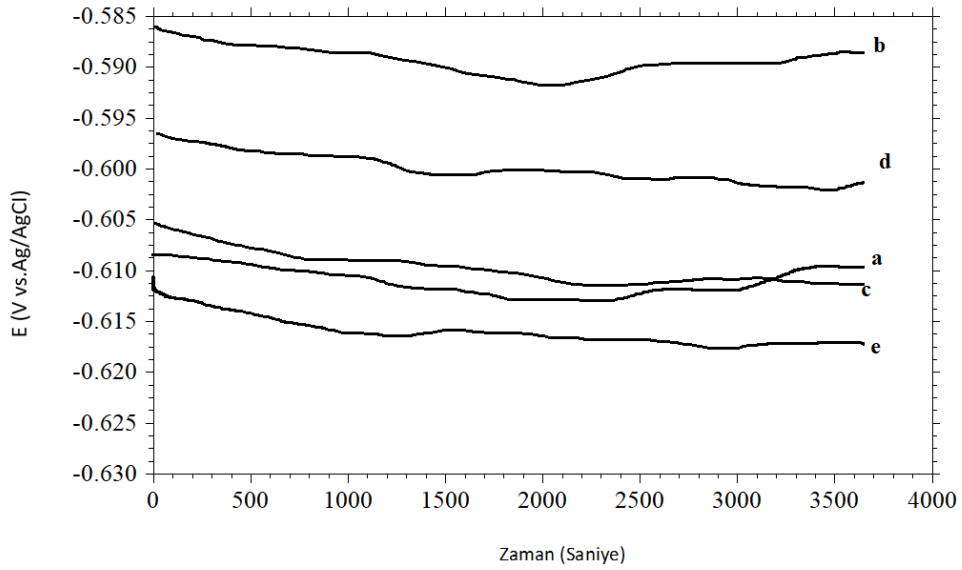
Şekil 4.81. VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



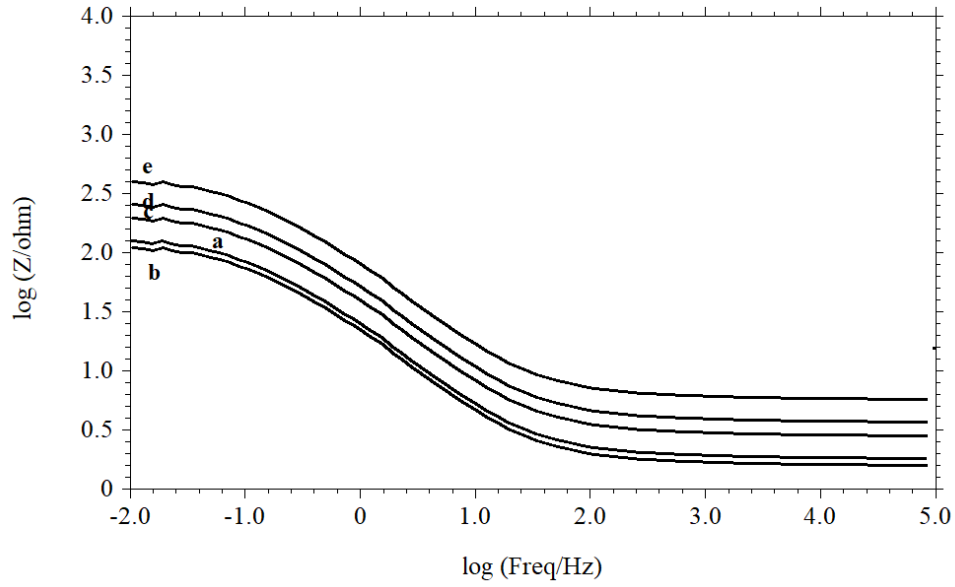
Şekil 4.82. VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



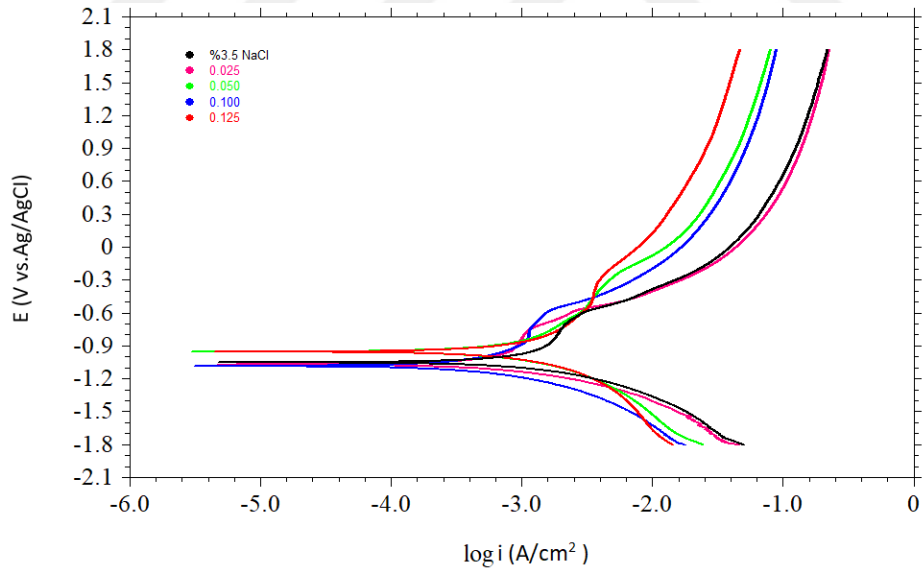
Şekil 4.83. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.84. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.85. FK için 313 K’de edilen Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



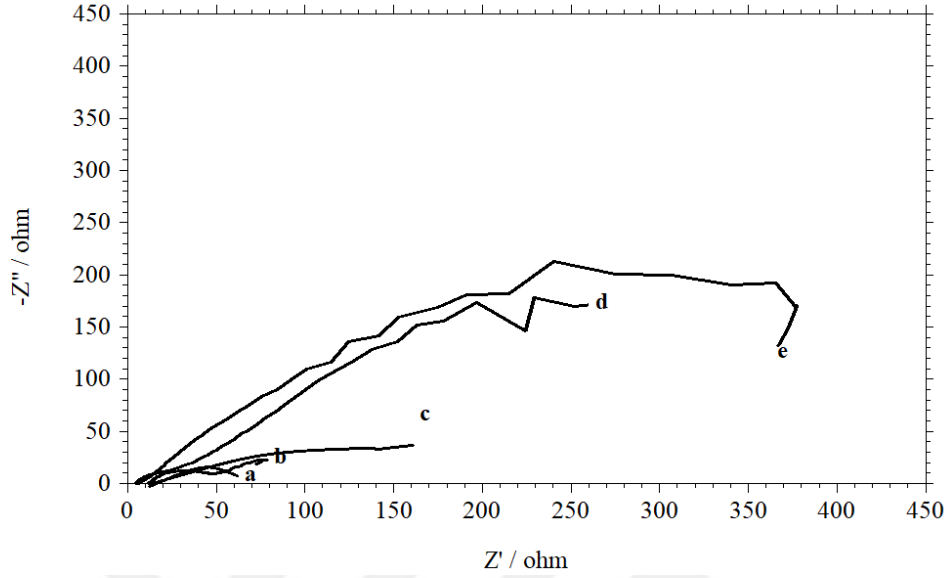
Şekil 4.86. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.29. 313 K’de, pH’sı 3,5’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\%IE$)

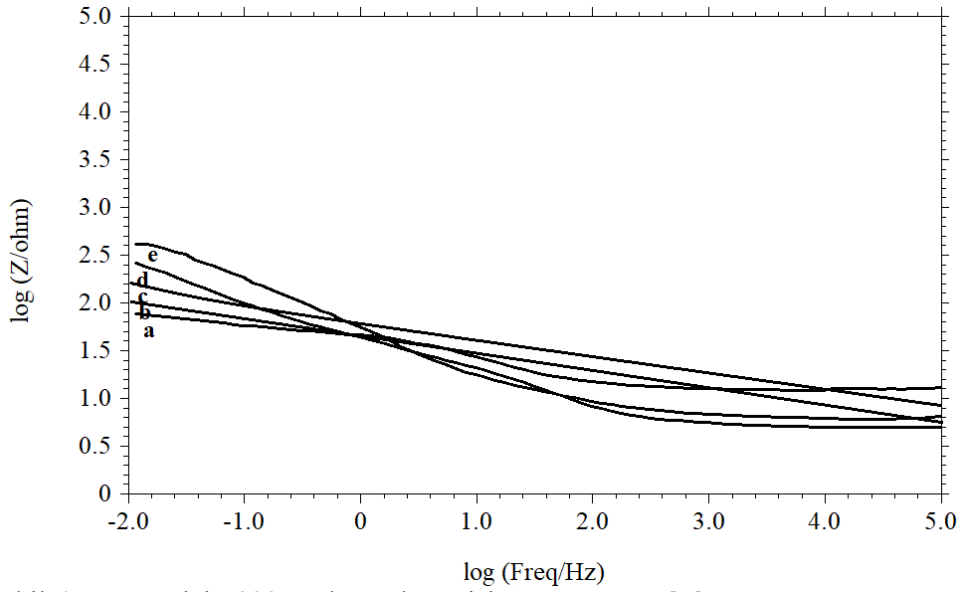
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\%IE$ (%)
%3.5 NaCl	-	158.49	326.53	-0.608	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	199.53	259.37	-0.596	20.57
	5.00	316.23	163.65	-0.563	49.88
	10.00	1258.93	41.11	-0.610	87.41
	12.50	1584.89	32.65	-0.638	90.00
FK + %3.5 NaCl	2.50	150.31	150.31	-0.589	-
	5.00	199.52	199.52	-0.612	20.56
	10.00	309.03	309.03	-0.600	48.71
	12.50	410.20	410.20	-0.617	61.36
VM + %3.5 NaCl	2.50	223.87	231.17	-0.617	29.20
	5.00	562.34	92.03	-0.623	71.82
	10.00	1122.02	46.12	-0.627	85.87
	12.50	1778.28	29.10	-0.620	91.09

Şekil 4.81.-Şekil 4.86’ya göre inhibitör içermeyen %3,5 NaCl’deki R_p değeri 158,49 Ω dur. Ortama inhibitör eklendikçe R_p değerleri artmıştır (Şekil 4.81 - 86). R_p değerlerinin dağılım aralığı: MO + %3,5 NaCl’de 199,53 – 1584,89 Ω , FK + %3,5 NaCl’de 150,31 – 410,20 VM + % 3,5 NaCl’de 223,87 – 1778,28 Ω . R_p , 0,125 mM VM + % 3,5 NaCl’de en yüksek değere sahip olmuştur ve 1778,28 Ω ölçülmüştür (Çizelge 4.29.).

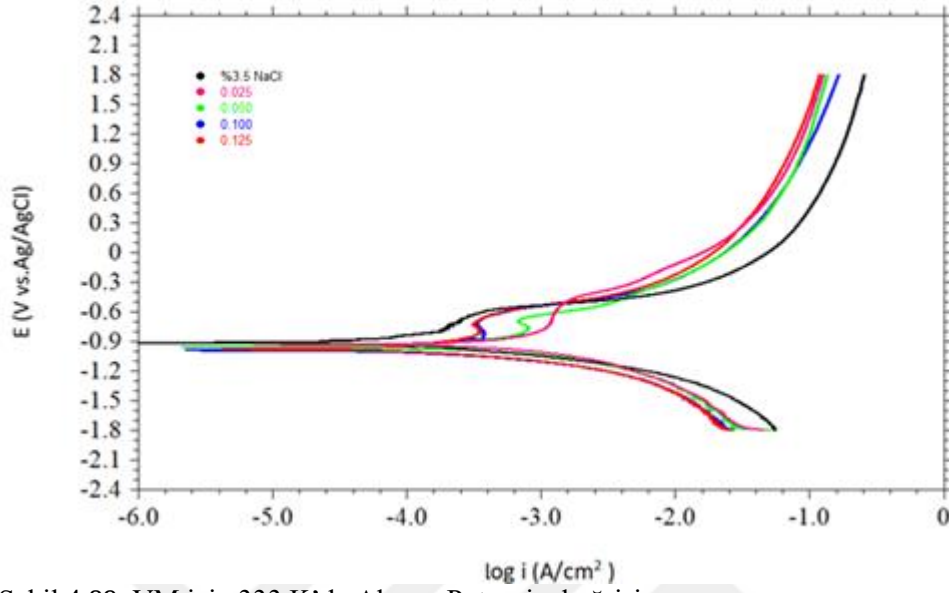
İki buçuk saatlik bekleme süresi sonunda ortama inhibitör eklendikçe R_p değerlerinden hesaplanan $\%IE$ değerleri arttı. İnhibisyon verimlilik değerlerinin dağılım aralığı %20,56 - 91,09 dur. Çizelge 4.29’ da, inhibisyon etkinliği, VM + %3,5 NaCl’de 313 K’da en yüksek değerine sahipti ve % 91,09 olmuştur. Çizelge 4.29 ve Çizelge 4.28 karşılaştırıldığında, artan sıcaklıkla inhibisyon etkinliği sistematik olarak azalmamış, MO + %3,5 NaCl’de 313 K’de daha yüksek inhibisyon etkinliği ölçülmüştür. Korozyon potansiyelleri artan konsantrasyonla daha negatife kaymıştır.



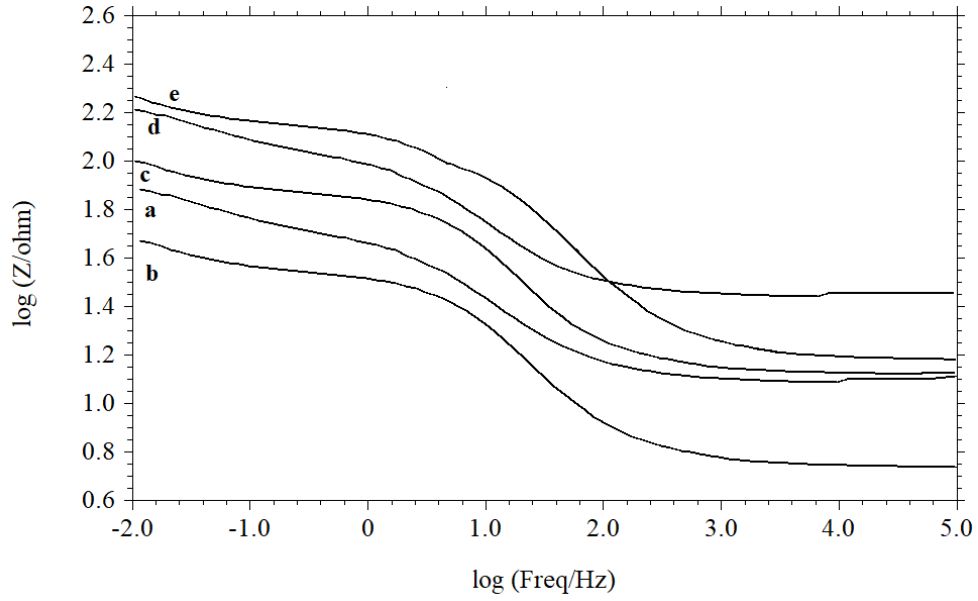
Şekil 4.87. VM için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



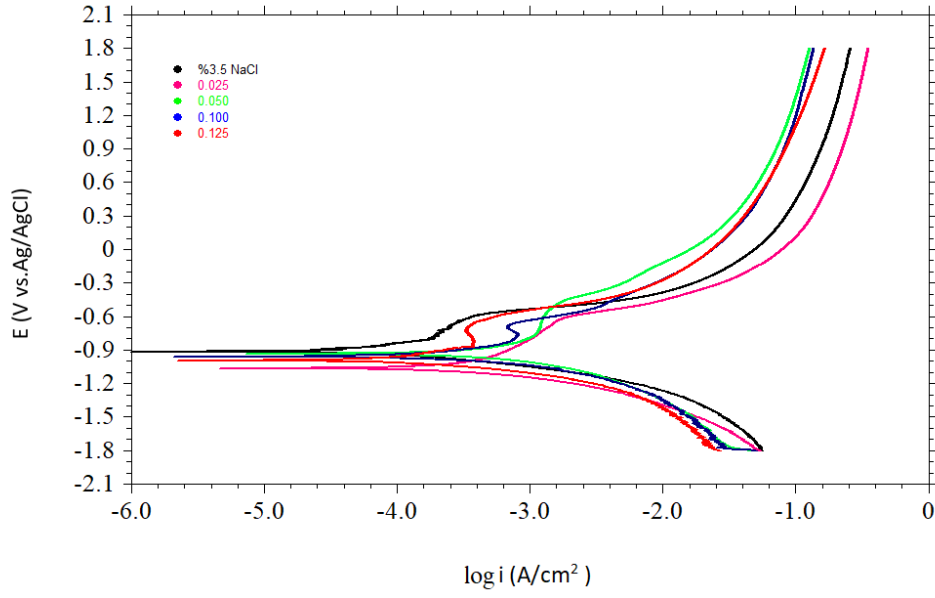
Şekil 4.88. VM için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.89. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.90. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

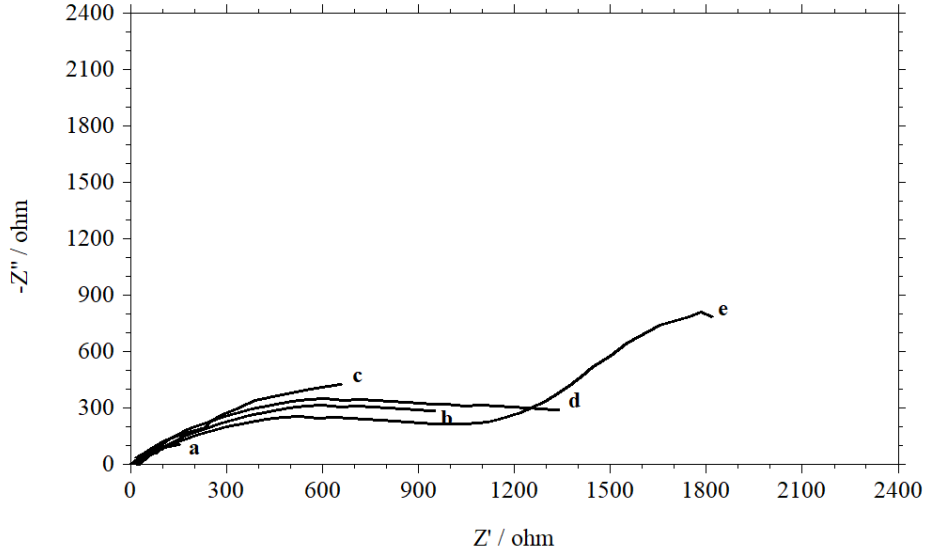


Şekil 4.91. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

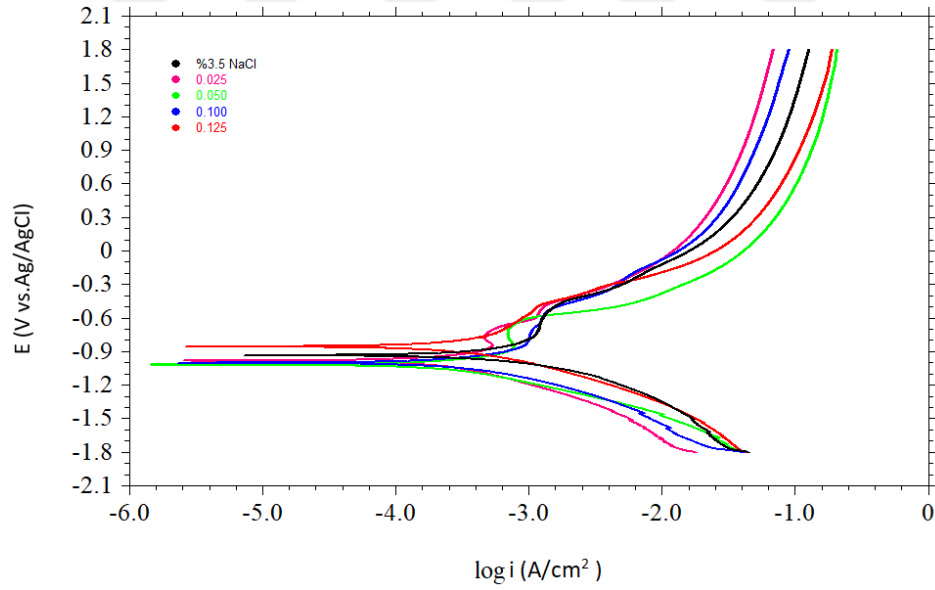
Çizelge 4.30. 333 K’de, pH’sı 3,5’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	75.86	682.20	-0.551	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	125.89	411.09	-0.566	39.74
	5.00	154.88	334.14	-0.568	51.02
	10,00	169.82	304.74	-0.603	55.33
	12.50	275.42	187.90	-0.643	72.46
FK + %3.5 NaCl	2.50	48.98	1056.59	-0.551	-
	5.00	100.00	517.52	-0.555	24.14
	10.00	162.18	319.10	-0.565	53.22
	12.50	177.83	291.02	-0.585	57.34
VM + %3.5 NaCl	2.50	100.00	517.52	-0.590	24.14
	5.00	158.49	326.53	-0.560	52.14
	10.00	281.84	183.62	-0.629	73.08
	12.50	407.38	127.04	-0.652	81.38

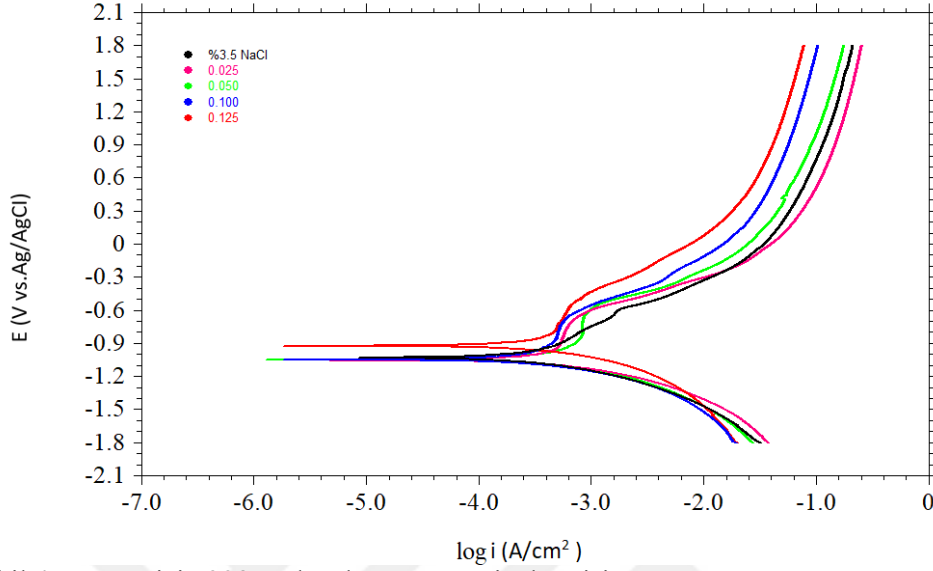
Şekil 4.87-4.91’de görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Variamin Mavisi, Metil Oranj ve Fenol Kırmızısı şeklindedir (Çizelge 4.30). En yüksek inhibitör etkinliği 333 K de % 81,38 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisi + klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitör özelliği gösteren Fenol Kırmızısının (FK) en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı 127,04 $\mu A/cm^2$ olarak hesaplanmıştır. Akım - Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitör eklendikçe daha negatif bölgelere kaymıştır (Şekil 4.89; 4.91).



Şekil 4.92. VM için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.93. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



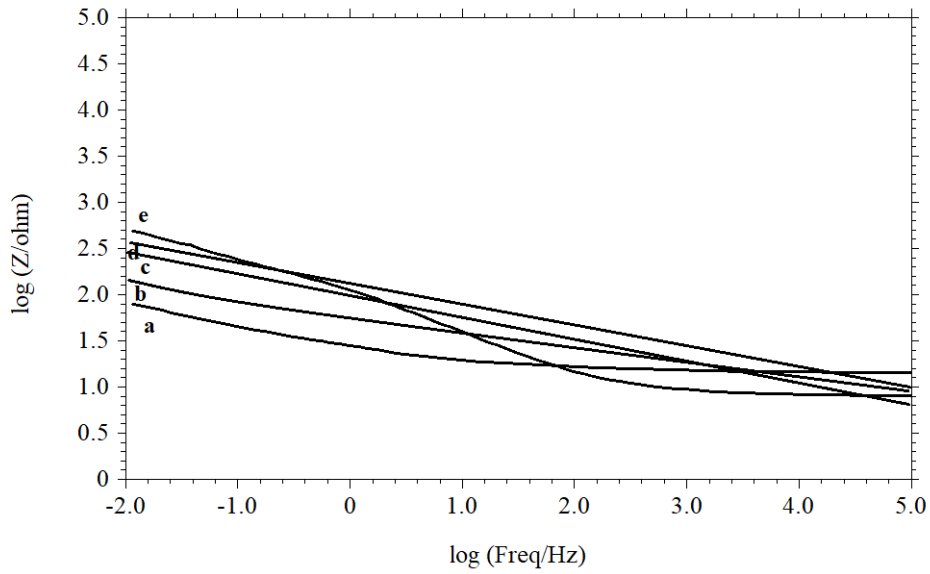
Şekil 4.94. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.31. 298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{IE}$)

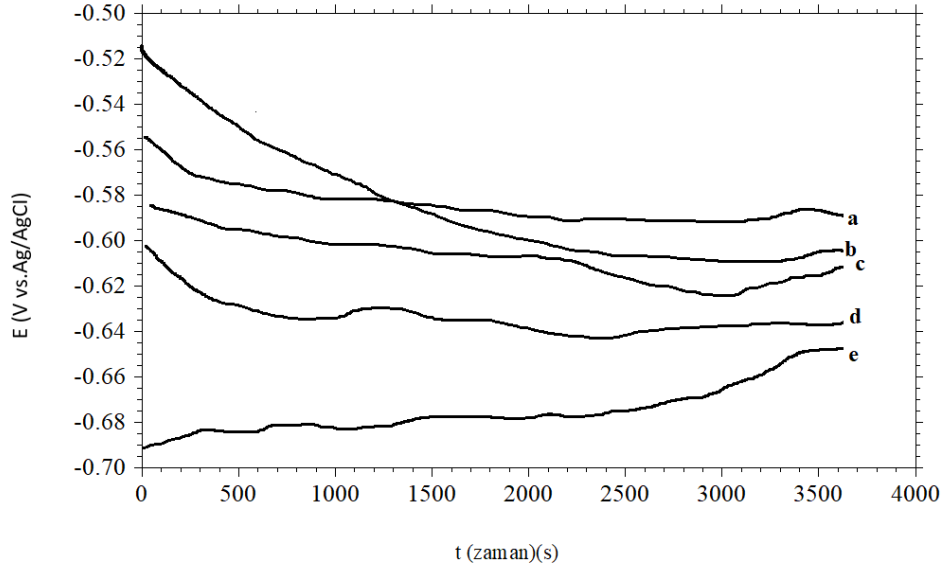
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{IE}$ (%)
%3.5 NaCl	-	251.19	206.03	-0.620	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	151.35	341.93	-0.529	-
	5.00	812.83	63.67	-0.520	69.00
	10.00	1584.89	32.65	-0.544	84.00
	12.50	2238.72	23.12	-0.530	89.00
FK + %3.5 NaCl	2.50	199.53	259.37	-0.555	-
	5.00	426.58	121.32	-0.540	41.12
	10.00	660.69	78.33	-0.522	61.98
	12.50	851.14	60.80	-0.515	70.49
VM + %3.5 NaCl	2.50	1250.00	41.40	-0.563	49.52
	5.00	1584.00	32.67	-0.611	60.17
	10.00	1770.00	29.24	-0.629	64.35
	12.50	2238.00	23.12	-0.661	71.81

Şekil 4.92-4.94’de görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği

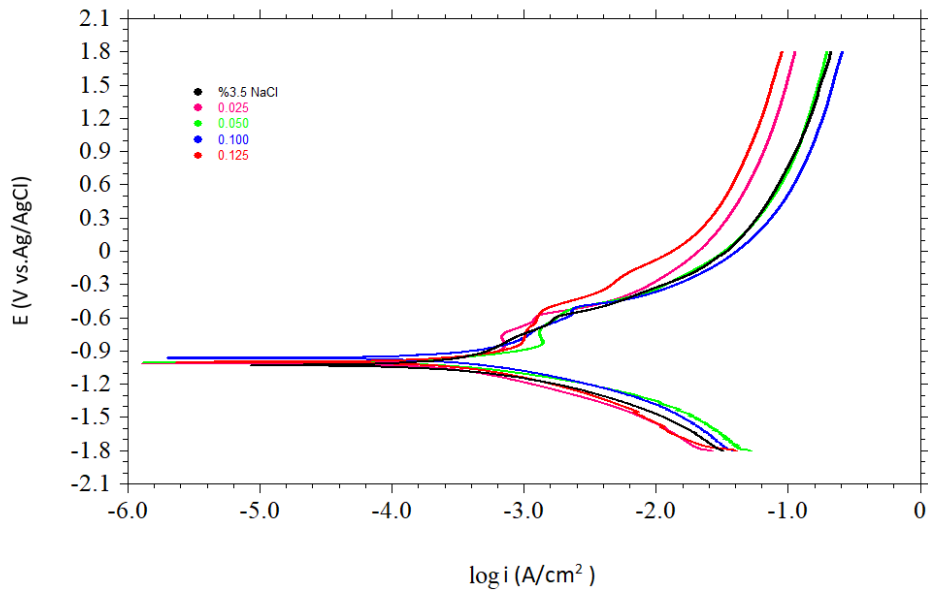
artan boyar maddeler sırasıyla; Metil Oranj Variamin Mavisi, ve Fenol Kırmızısı şeklindedir (Çizelge 4.31). En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 89,00 ile 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranj + klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitor özelliği gösteren Metil Oranj (MO) en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı $23,12 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır.



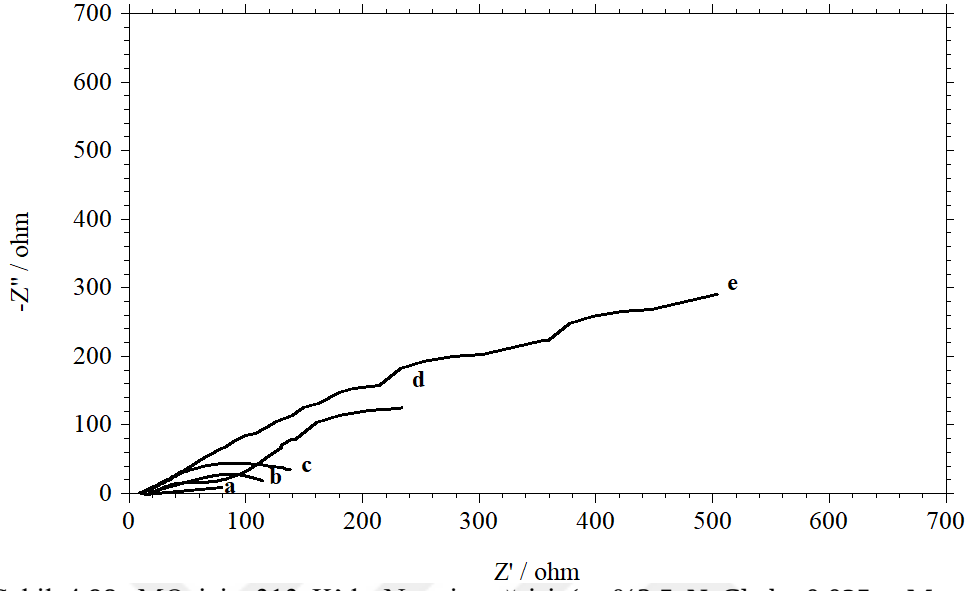
Şekil 4.95. VM için 313 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



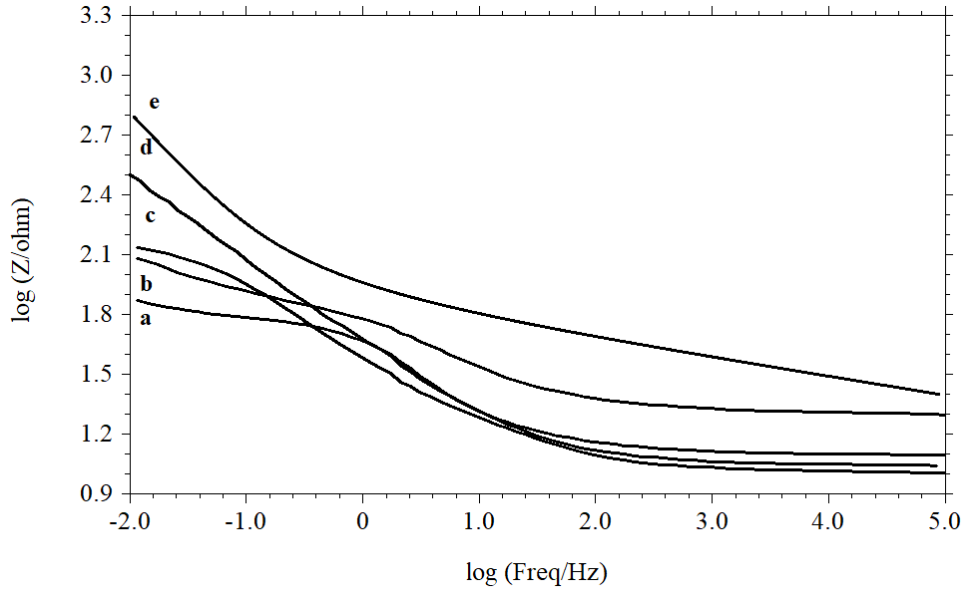
Şekil 4.96. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.97. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.98. MO için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



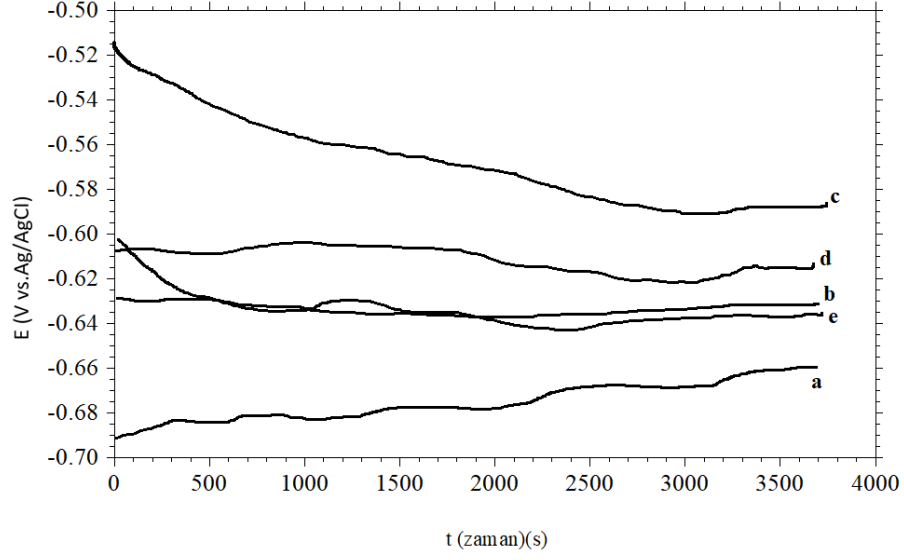
Şekil 4.99. MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

Çizelge 4.32. 313 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

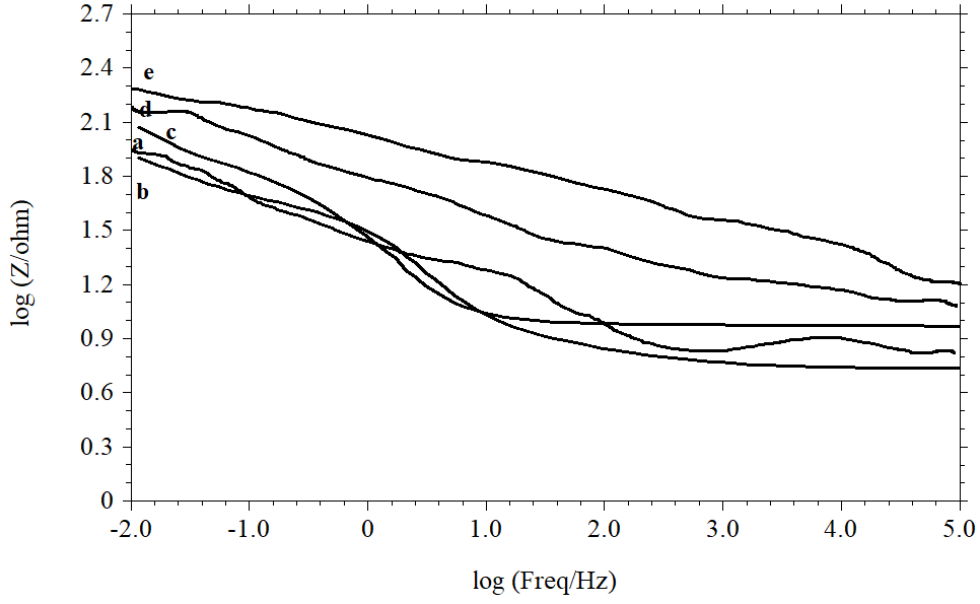
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
%3.5 <i>NaCl</i>	-	87.09	594.23	-0.593	-
MO + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	125.89	411.09	-0.579	31.00
	5.00	141.25	366.38	-0.577	38.00
	10.00	323.59	159.93	-0.626	73.00
	12.50	676.08	76.55	-0.627	87.00
FK + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	85.14	607.84	-0.603	-
	5.00	131.82	392.59	-0.611	34.00
	10.00	162.18	319.10	-0.639	46.00
	12.50	239.58	216.01	-0.643	64.00
VM + %3.5 <i>NaCl</i>	2.50	150.13	344.71	-0.590	41.99
	5.00	313.00	165.34	-0.623	72.18
	10.00	380.19	136.12	-0.585	77.09
	12.50	430.53	120.20	-0.625	79.77

Çizelge 4.32’de 313 K’de, pH’sı 7,0’da yumuşak çeliğin İnhibitör içermeyen % 3,5 *NaCl* çözeltisinde bakır için R_p değeri 87,09 Ω ölçülmüştür. En yüksek inhibitör etkinliği 313 K de % 87,00 ile 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranj +klorür ortamında tespit edilmiştir. (Çizelge 4.32.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır. (Şekil 4.95; 99).

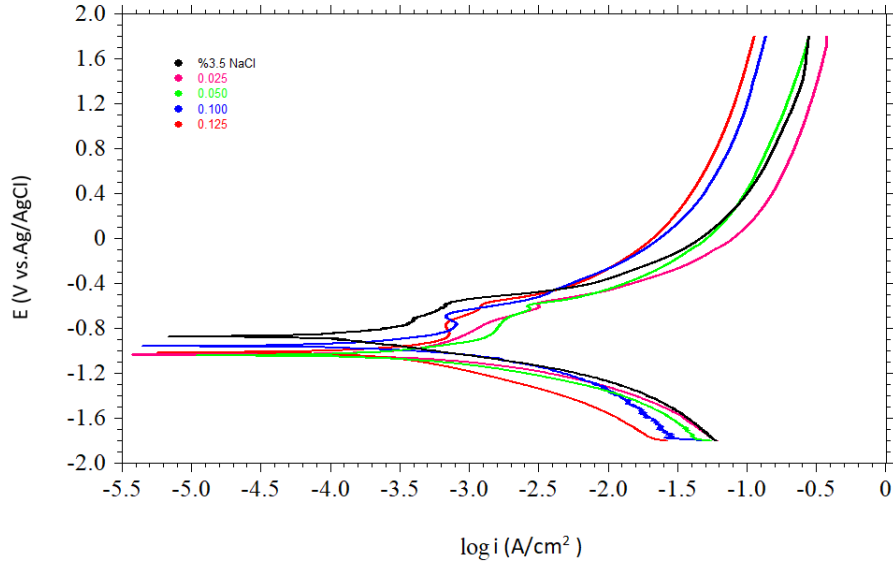
Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır. Akım - Potansiyel eğrilerinde korozyon potansiyeli ortama inhibitör eklendikçe daha pozitif bölgelere kaymıştır Çizelge 4.32’de, Korozyon potansiyelleri MO için -0,579; - 0,577; - 0,626; - 0,627, FK için - 0,603; - 0,611; - 0,639; - 0,643, VM için - 0,590; - 0,623; - 0,585; - 0,625 şeklinde verilmiştir.



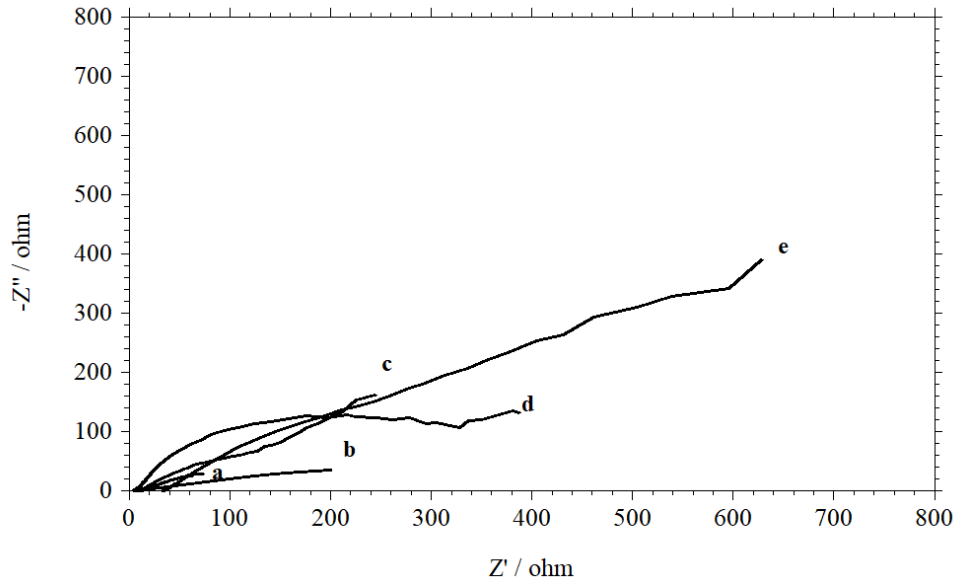
Şekil 4.100. FK için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



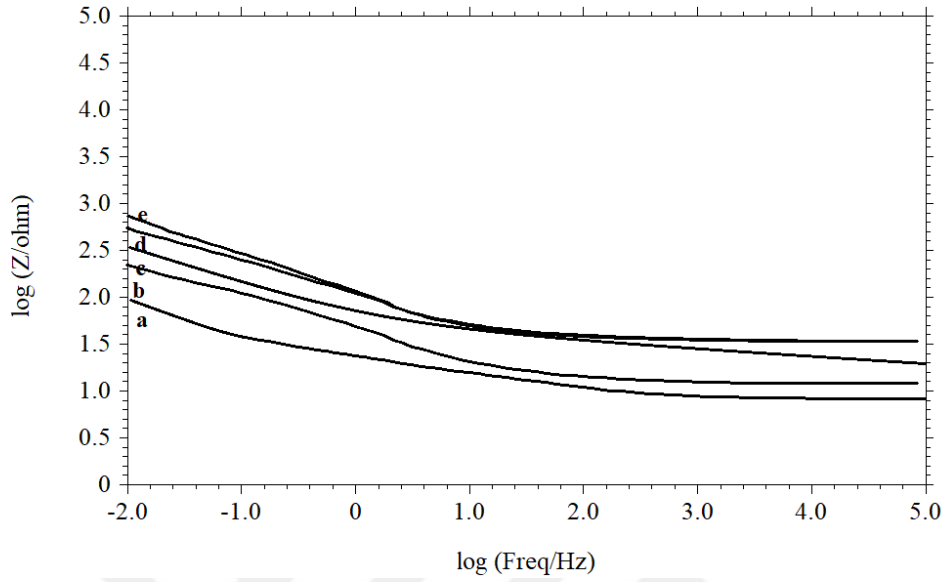
Şekil 4.101. FK için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM)



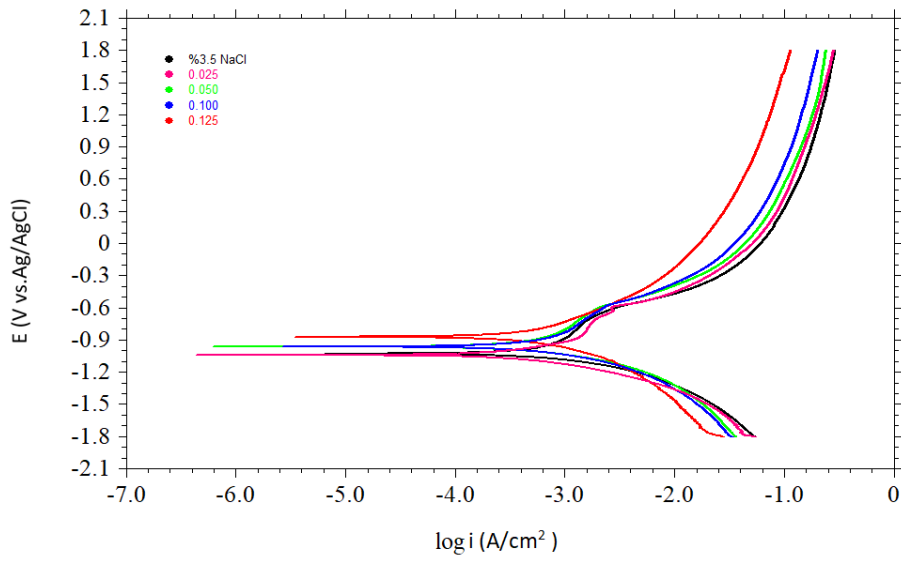
Şekil 4.102. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.103. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.104. MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.105. MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.33. 333 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

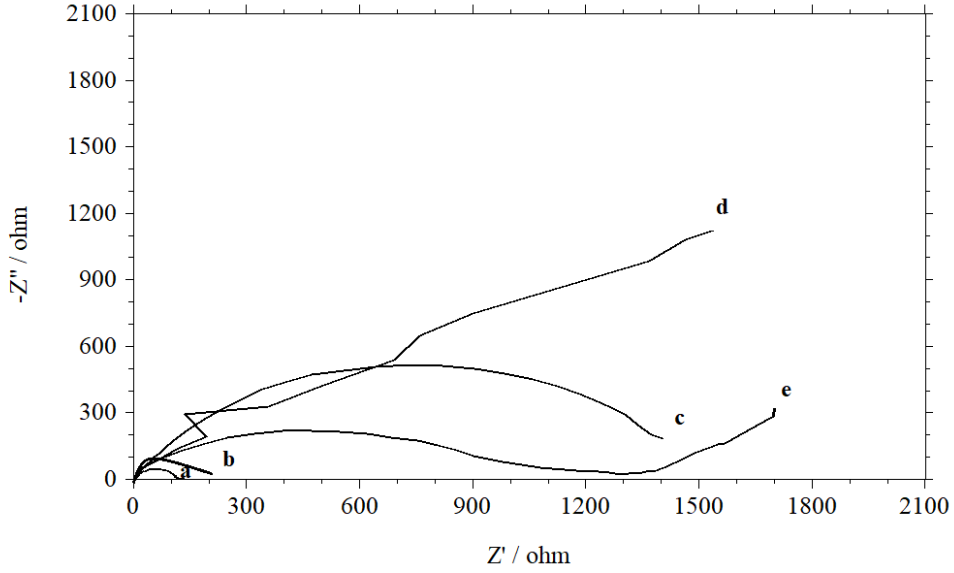
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	97.73	529.54	-0.660	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	223.87	231.17	-0.670	56.35
	5.00	346.74	149.25	-0.680	71.81
	10.00	562.34	92.03	-0.688	82.62
	12.50	776.25	66.67	-0.720	87.41
FK + %3.5 NaCl	2.50	91.20	567.45	-0.629	-
	5.00	128.82	401.74	-0.590	24.10
	10.00	157.76	328.04	-0.615	38.10
	12.50	198.60	260.58	-0.639	50.80
VM + %3.5 NaCl	2.50	70.79	731.06	-0.591	-
	5.00	95.49	541.96	-0.630	-
	10.00	245.47	210.83	-0.623	60.20
	12.50	575.44	89.93	-0.613	83.00

Çizelge 4.33’de 333 K’de pH= 7,0’da derişim arttıkça R_p değerleri artmıştır. Polarizasyon dirençleri (R_p) bode eğrilerinin ekstrapolasyonu ile elde edilmiştir (Şekil 4.100-105).

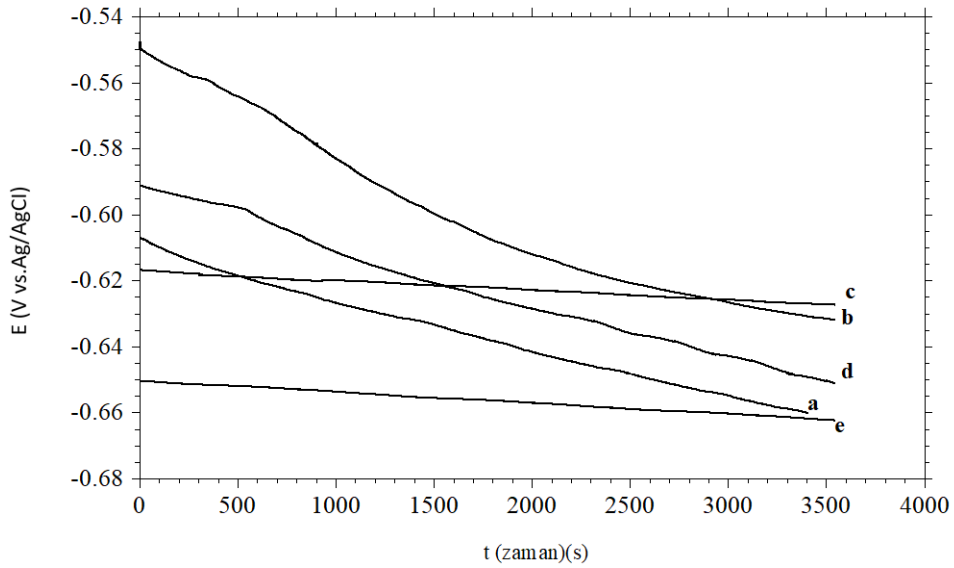
İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 333 K de % 87,41 olarak Metil Oranj +klorür ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. %3,5 NaCl çözeltisinde akım yoğunluğu 529,54 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 333 K pH=7,0’de 66,67 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır. Ortama inhibitor eklendikte korozyon potansiyelinden daha negatif ve daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur (Şekil 4.100-105). Boyar maddeler karma inhibitor görevi görmüştür.

%3,5 NaCl ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir (Şekil 4.100). Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde %3,5 NaCl eğrisine göre potansiyeller daha pozitif

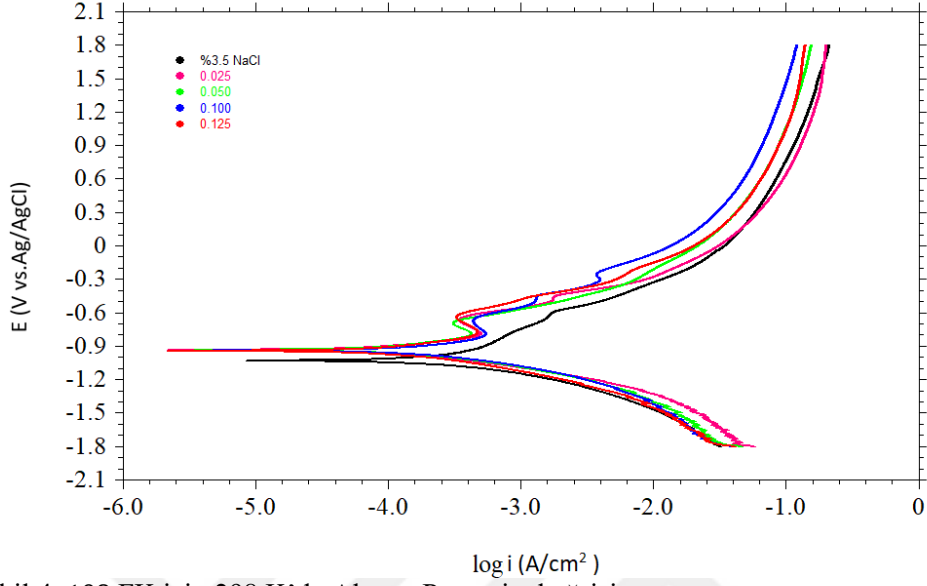
kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğri doğrusala yaklaşmıştır.



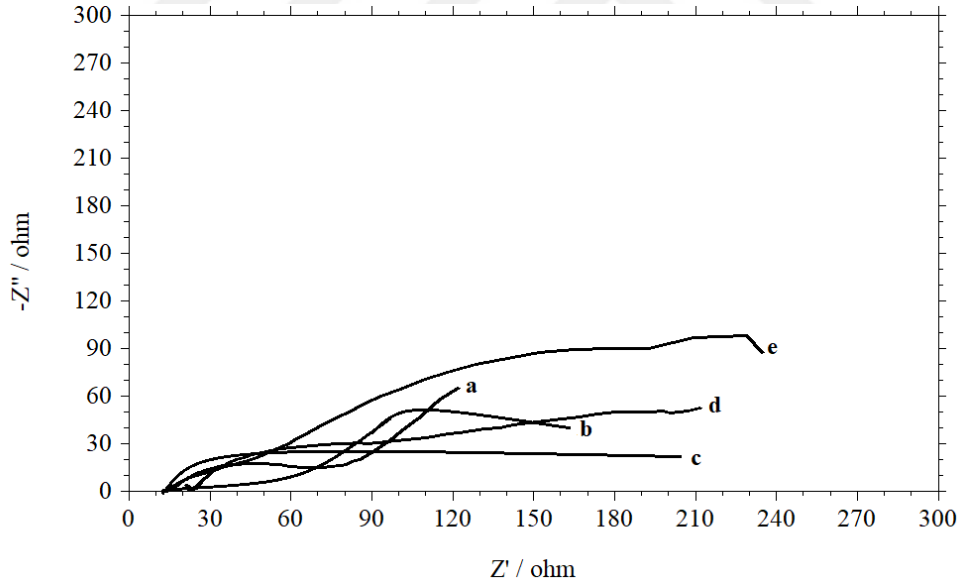
Şekil 4.106. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



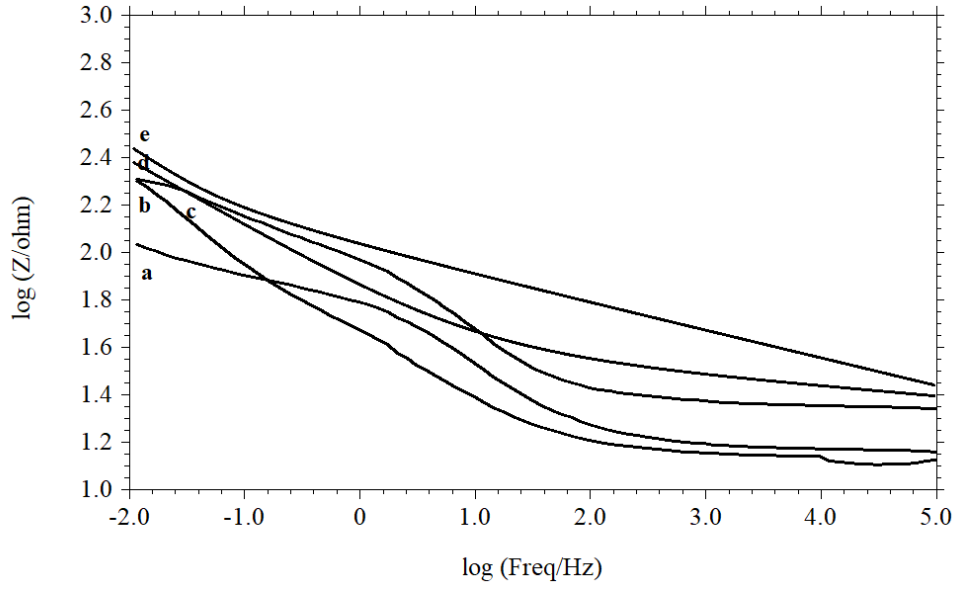
Şekil 4.107. FK için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4. 108.FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.109. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



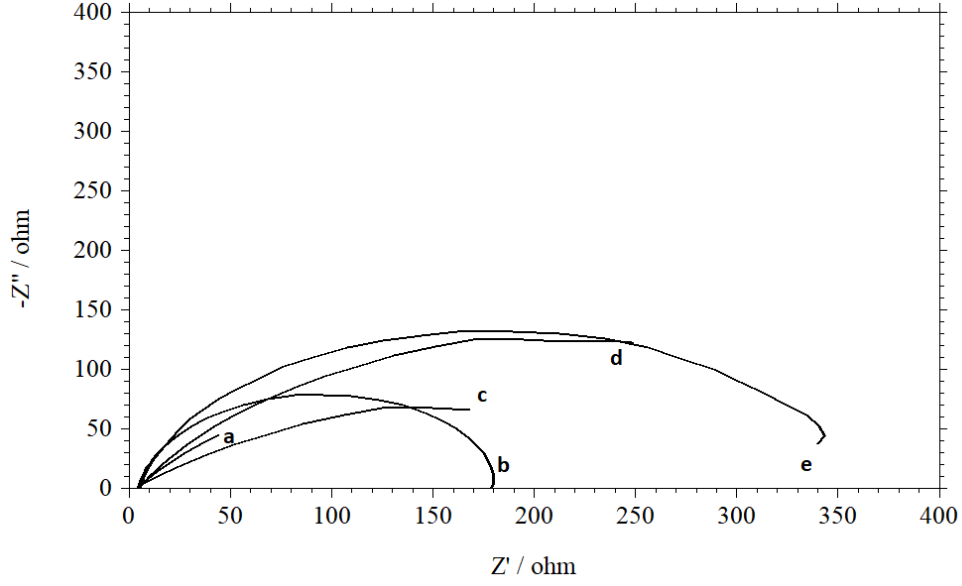
Şekil 4.110. MO için 298 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

Çizelge 4.34. 298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

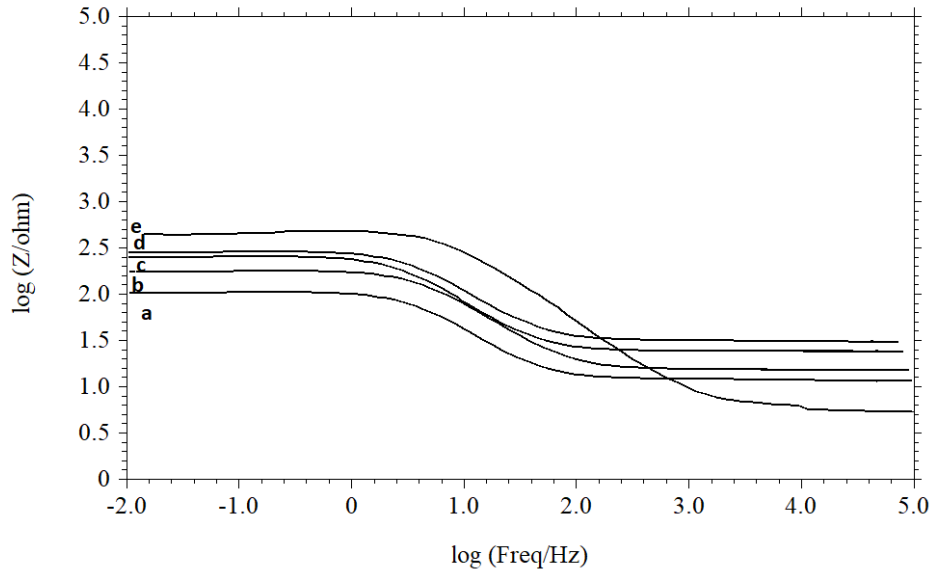
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	128.83	401.70	-0.564	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	199.53	259.37	-0.522	35.43
	5.00	223.87	231.17	-0.515	42.45
	10.00	245.47	210.83	-0.504	47.52
	12.50	281.84	183.62	-0.499	54.29
FK + %3.5 NaCl	2.50	121.12	259.37	-0.631	-
	5.00	200.20	231.17	-0.627	35.65
	10.00	350.00	210.83	-0.650	63.19
	12.50	425.18	183.62	-0.660	69.70
VM + %3.5 NaCl	2.50	199.52	259.38	-0.558	35.43
	5.00	1318.26	39.26	-0.588	90.23
	10.00	1548.82	33.41	-0.595	91.68
	12.50	2041.74	25.35	-0.619	93.69

Şekil 4.106-110’da görüleceği üzere inhibitör içermeyen %3,5 NaCl solüsyonunda R_p değeri 128,83 Ω olmuştur. Ortama boyar madde eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p değerlerinin dağılım aralığı: MO’da 199,53 – 281,84 Ω , FK’da 121,12 - 425,18 Ω ve VM’de 199,52 - 2041,74 Ω ’dur. Çizelge 4.34’de görüldüğü gibi en yüksek R_p değerini 0,125 mM’lik VM + Klorür solüsyonunda almış ve 2041,74 Ω olmuştur.

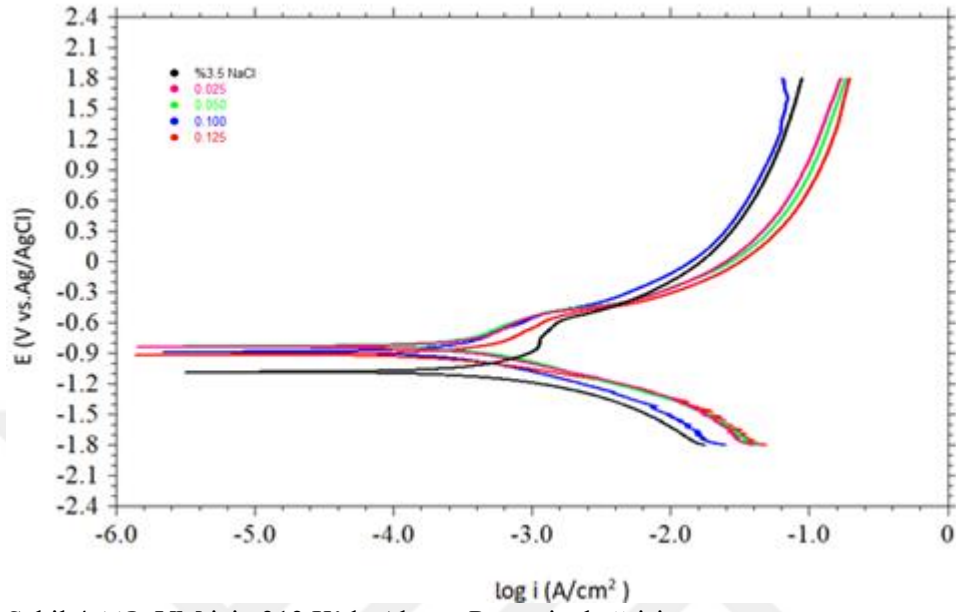
Boyar madde derişimi artıkça R_p değerlerinden hesaplanan % $\bar{I}E$ değerleri de artmıştır. Boyar maddelerin inhibisyon etkinliği değerleri %35,43–93,69 olmuştur. Çizelge 4.34’de en yüksek inhibisyon etkinliği değerini 298 K’de 0,125 mM’lik VM + Klorür solüsyonunda almış ve %93,69 olmuştur.



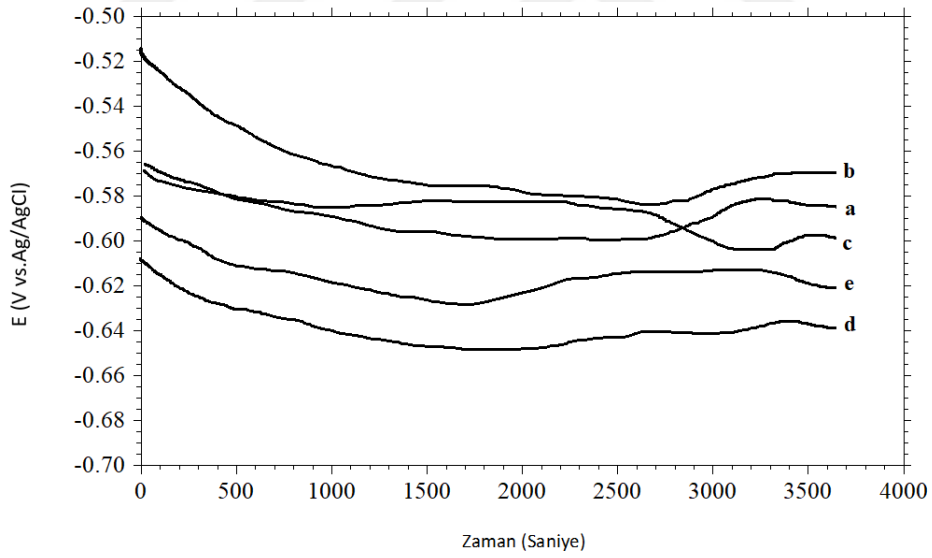
Şekil 4.111. VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



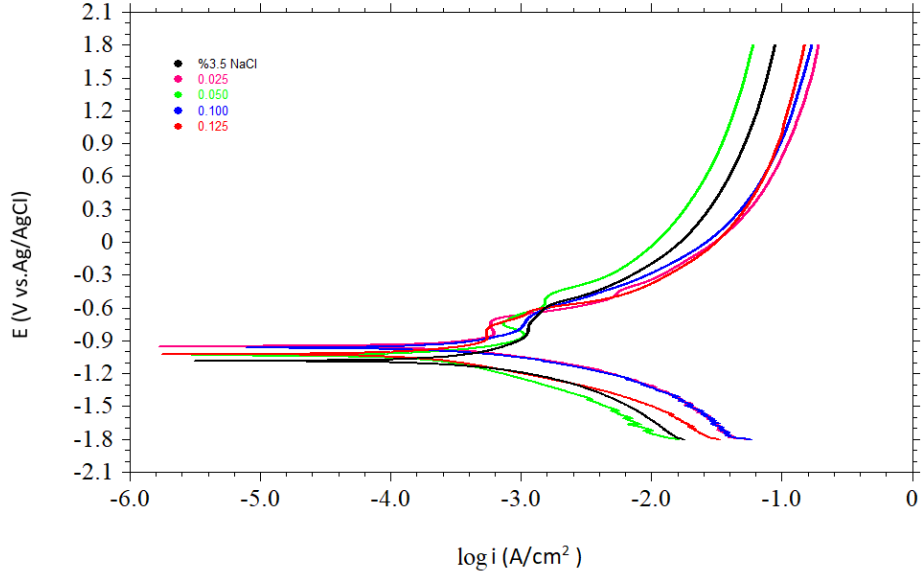
Şekil 4.112. VM için 313 K'de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



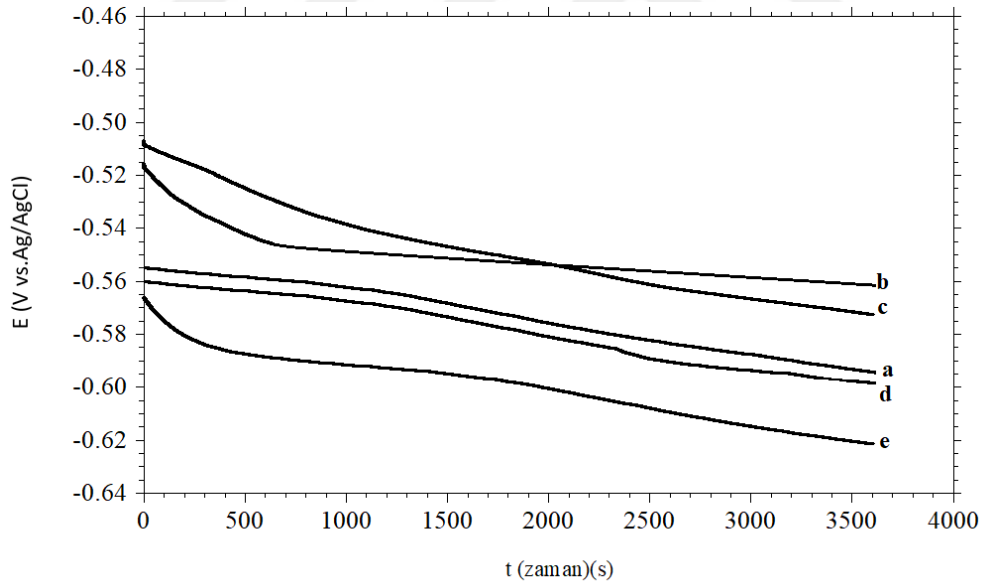
Şekil 4.113. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



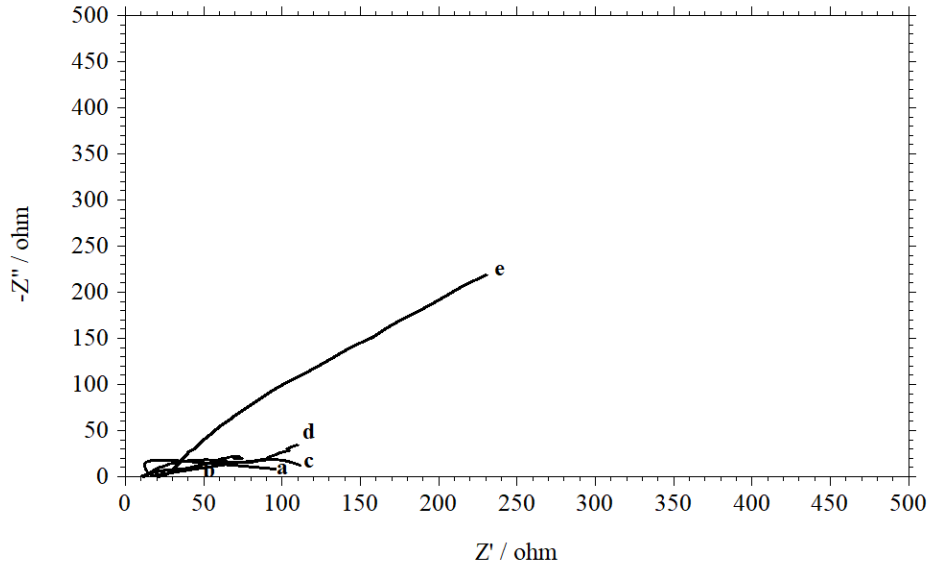
Şekil 4.114. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



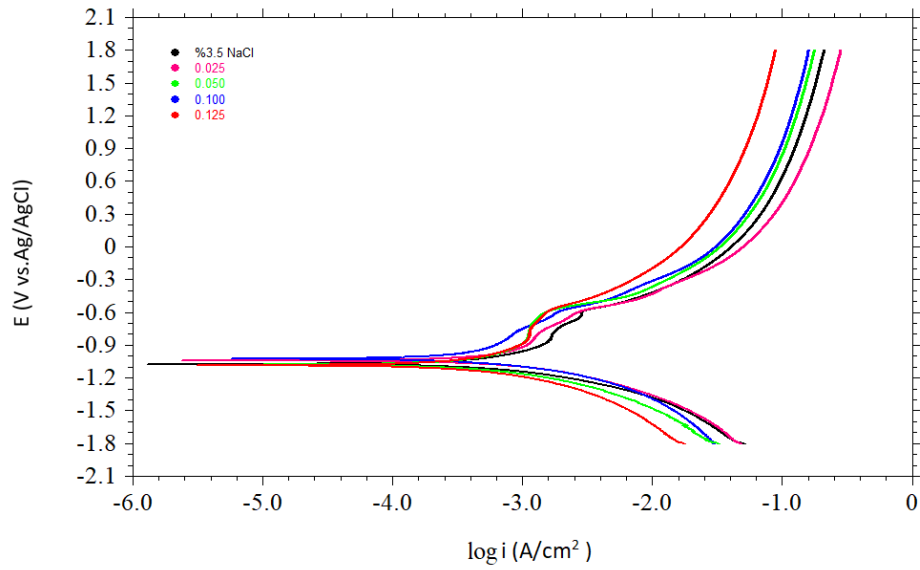
Şekil 4.115. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.116. MO için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.117. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

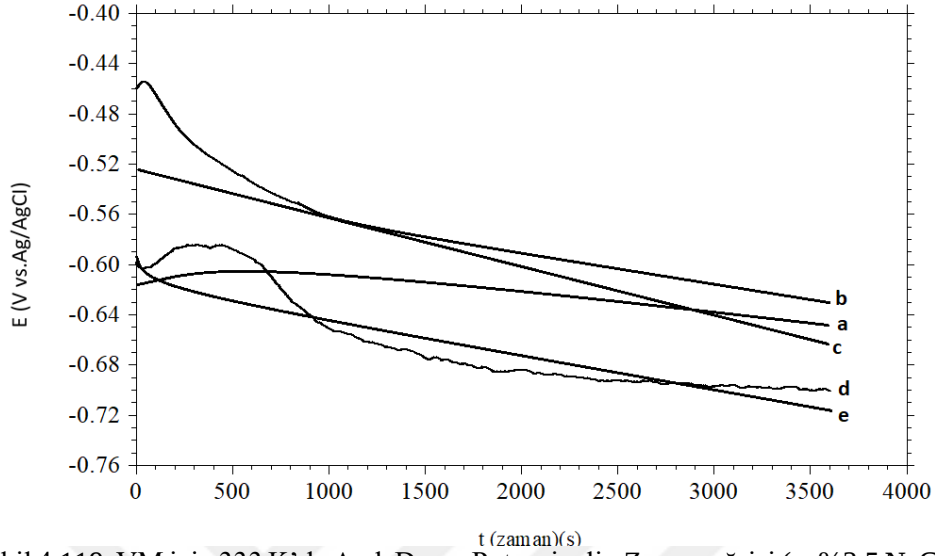


Şekil 4.118. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

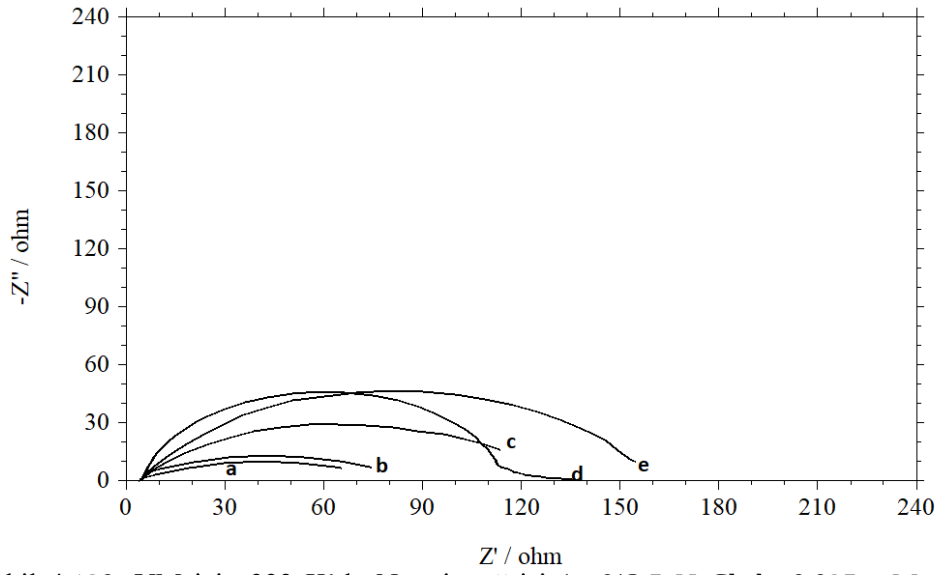
Çizelge 4.35. 313 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	102.33	505.73	-0.580	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	87.09	594.23	-0.546	-
	5.00	117.49	440.48	-0.560	13.00
	10.00	128.83	401.70	-0.584	21.00
	12.50	478.63	108.12	-0.622	79.00
FK + %3.5 NaCl	2.50	95.96	539.30	-0.570	-
	5.00	165.95	311.85	-0.600	38.34
	10.00	290.40	178.21	-0.639	64.76
	12.50	335.00	154.48	-0.619	69.45
VM + %3.5 NaCl	2.50	177.83	291.02	-0.571	51.03
	5.00	251.19	206.03	-0.590	65.33
	10.00	295.12	175.36	-0.601	70.49
	12.50	389.04	133.02	-0.621	77.61

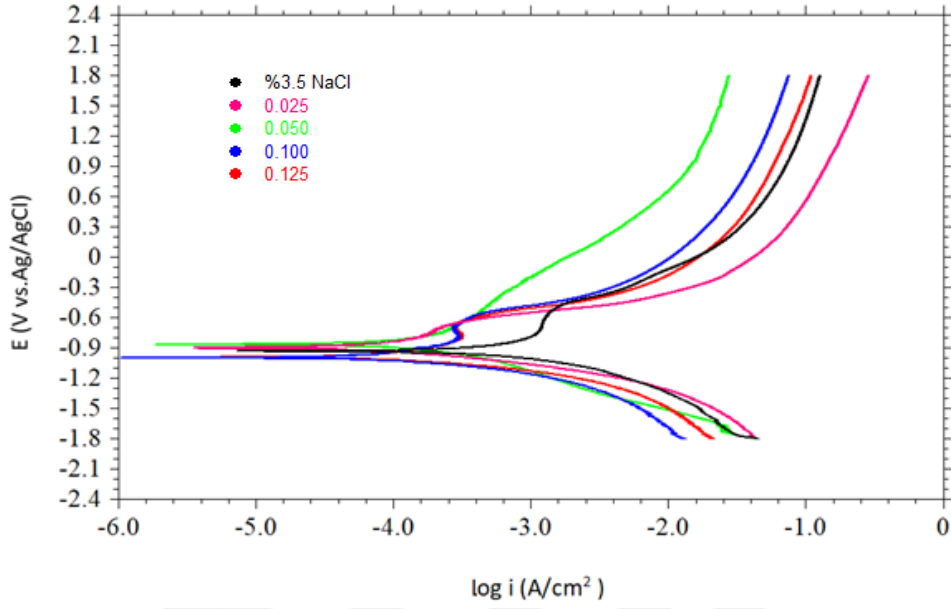
Şekil 4.111- 4.118’e göre %3,5 NaCl + MO çözeltisinde 313 K’de saptanan; E_{kor} değerleri sırasıyla – 0,546 V, – 0,560 V, – 0,584 V ve – 0,622 V, %3,5 NaCl + FK çözeltisinde - 0,570 V, - 0,600 V, - 0,630 V, - 0,619 V, %3,5 NaCl + VM çözeltisinde - 0,571 V, - 0,590 V, - 0,601 V, - 0,621 V olmuştur. Akım değerleri inhibitör derişimi arttıkça azalmıştır. Ortama boyar madde ilavesi ile yumuşak çelik yüzeyine iyi adsorlanmasına bağlı olarak iyonik iletkenlik her iki uçta da azaldığından, akım yoğunluğu değerleri azalmıştır (Çizelge 4.35).



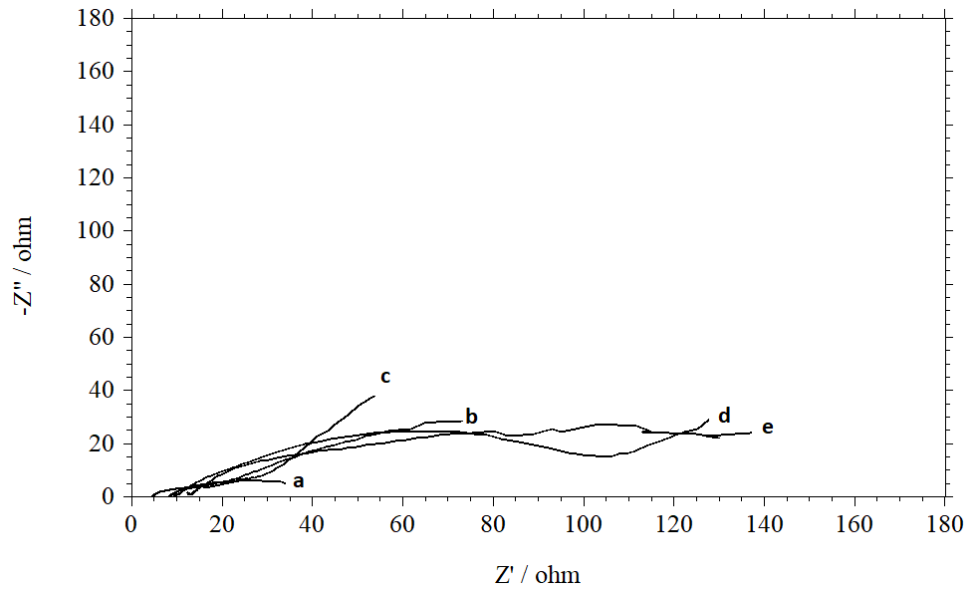
Şekil 4.119. VM için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



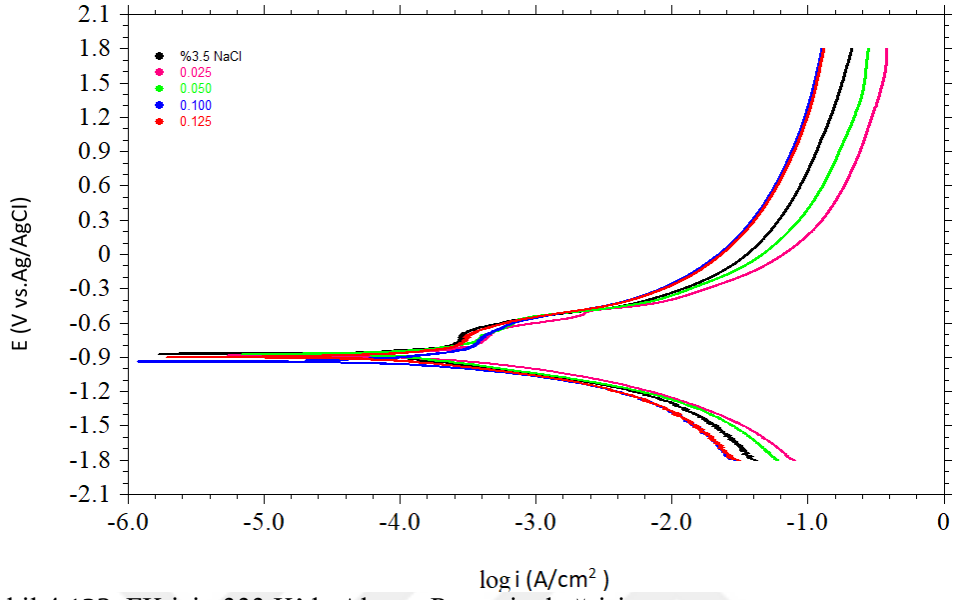
Şekil 4.120. VM için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



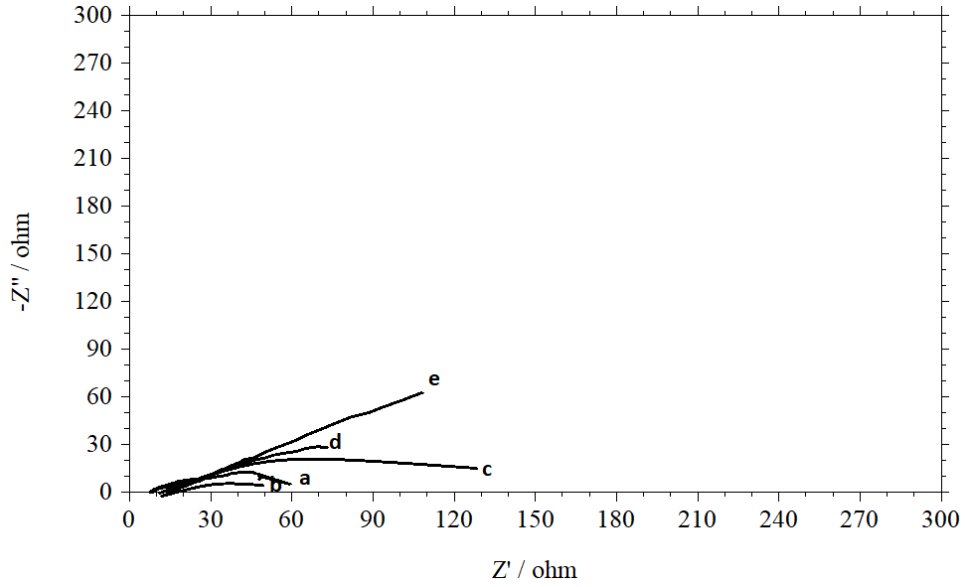
Şekil 4.121. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



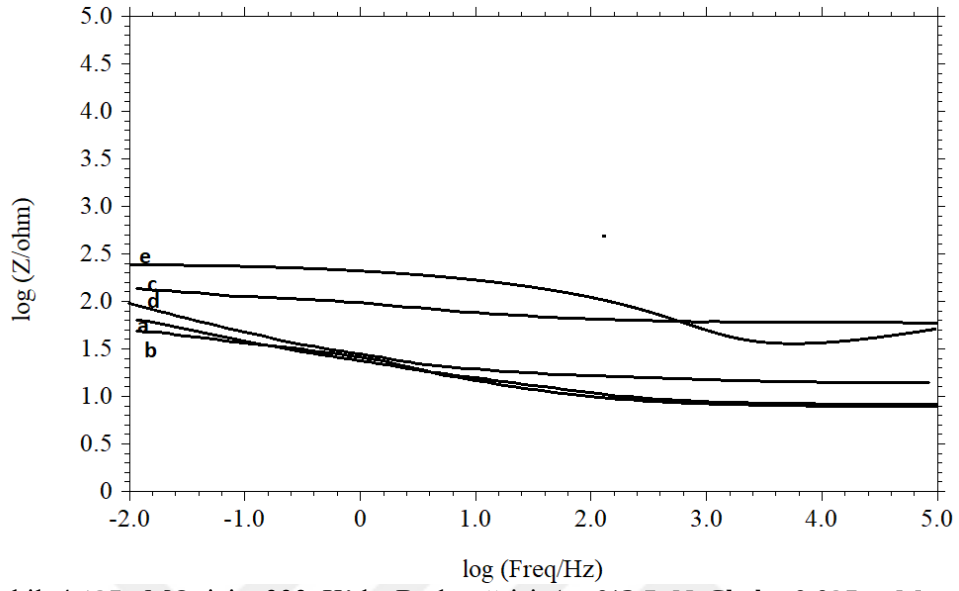
Şekil 4.122. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.123. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.124. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.125. MO için 333 K’de Bode eğrisi (a; %3,5 NaCl, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

Çizelge 4.36. 333 K’de, pH’sı 9,0 olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
%3.5 NaCl	-	70.79	731.06	-0.619	-
MO + %3.5 NaCl	2.50	56.23	920.36	-0.634	-
	5.00	141.25	366.38	-0.641	50.00
	10.00	123.03	420.64	-0.640	42.00
	12.50	251.19	206.03	-0.643	72.00
FK + %3.5 NaCl	2.50	112.20	461.24	-0.633	36.91
	5.00	134.89	383.66	-0.640	47.52
	10.00	141.25	366.38	-0.665	49.88
	12.50	165.96	311.83	-0.705	57.35
VM + %3.5 NaCl	2.50	97.73	529.54	-0.605	27.57
	5.00	120.23	430.44	-0.660	41.12
	10.00	154.88	334.14	-0.704	54.29
	12.50	213.79	242.07	-0.711	66.89

Sıcaklık arttıkça R_p değerleri azalmış ve inhibisyon etkinliği sıcaklık artışıyla tüm solüsyonlarda azalmıştır (Çizelge 4.36.). Polarizasyon direncindeki azalış sıcaklığın artmasıyla, yumuşak çeliğin yüzeyine tutunan boyar maddelerin molekül sayısının azaldığının göstergesidir.

4.8. Adsorpsiyon İzotermi

Sıcaklığın ΔG_{ads}° değerine etkisini belirlemek amacıyla 298 K – 333 K’de farklı derişimlerdeki inhibitörlerin iki buçuk saat denge sonunda EIS ölçümlerinden elde edilen yüzey kaplama kesri (θ) değerleri kullanılarak her sıcaklıkta uygun olan (R^2 değeri bire en yakın olan) adsorpsiyon izotermi çizilmiştir. Bu izotermi hesaplanan ΔG_{ads}° değerleri Çizelge 4.37; 4.42; 4.47’de verilmiştir. ΔG_{ads}° değerleri sıcaklık arttıkça -20 kJ/mol’den daha negatif değerler almıştır.

Metal/çözelti ara yüzeyinde meydana gelen adsorpsiyon kimyasal ya da fiziksel olabilir. ΔG_{ads}° değerinin -40 kJ/mol’den daha negatif değerler aldığı durumlarda, organik molekülden metal yüzeyine koordine tip bağ yapmak için yük

transferini gerektiren etkileşimler olduğu adsorpsiyonun güçlü adsorpsiyon olduğu kabul edilir. - ΔG_{ads}° dağılım aralıkları VM, MO ve FK içeren çözeltilerde 26,33-43,29 kJ/mol olmuştur. Adsorpsiyon izotermeleri Şekil 4.126-4.128 aralığında verilmiştir.

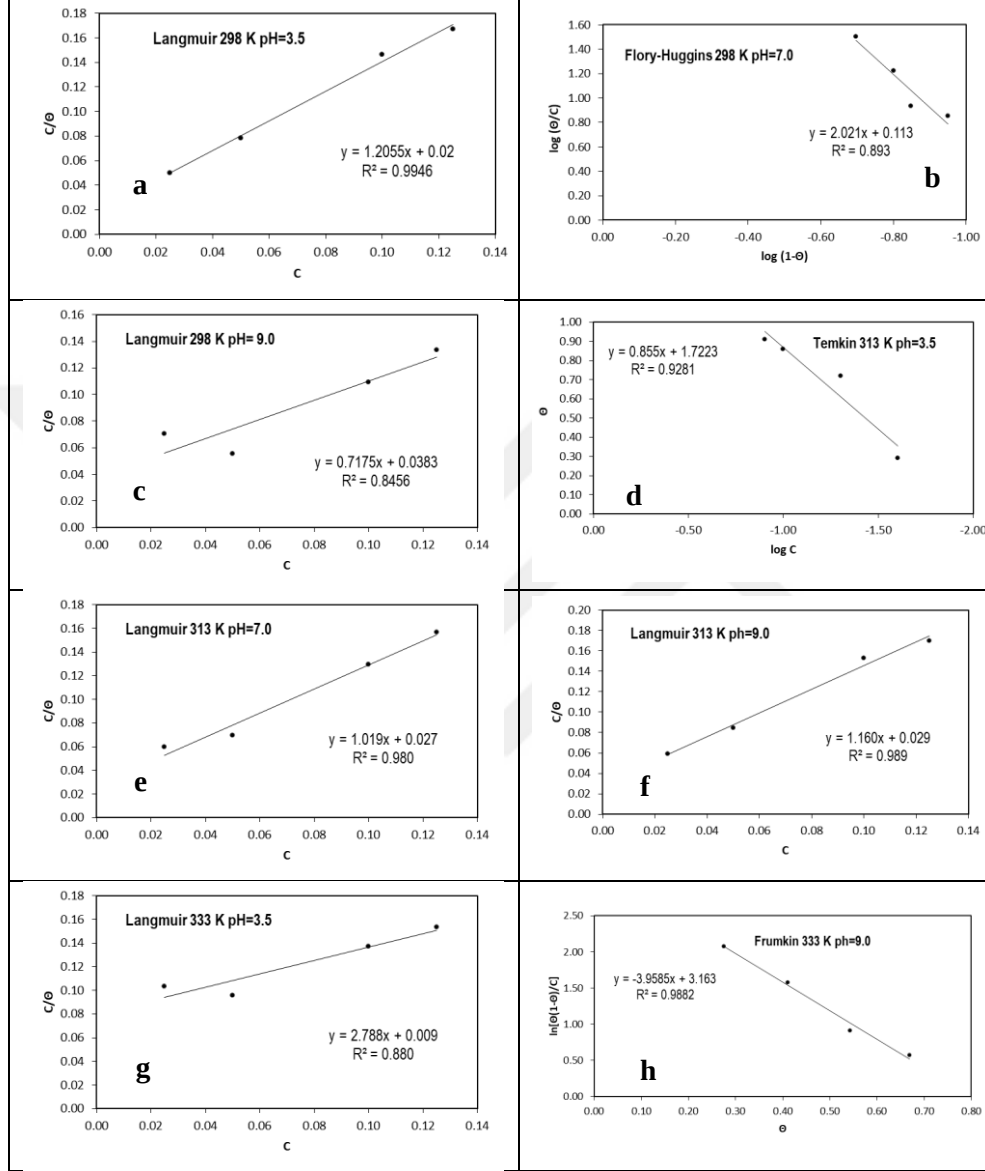
Metil oranjin pH=3,5’de 298; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterminde 313 K’de Temkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=3,5’de 298; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterminde 313 K de Temkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=3,5’de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Temkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izoterminde R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

Metil oranjin pH=7,0’da 298; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterminde 313 K de Frumkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=7,0’da 298;313 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Flory Huggins, Langmuir adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu, 333 K de adsorpsiyon izoterminde uygun olmadığı kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=7,0’da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Temkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izoterminde R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

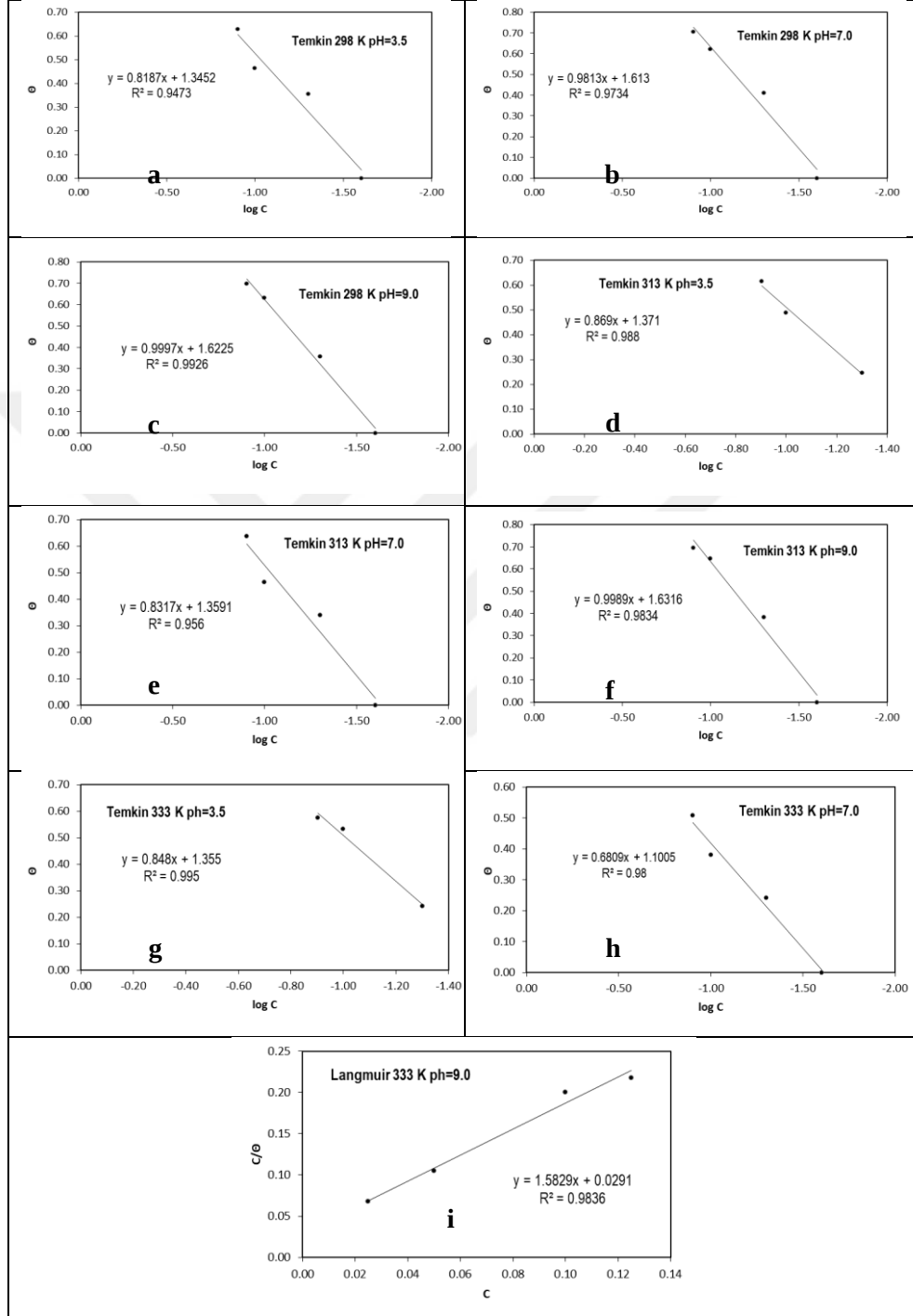
Metil oranjin pH=9,0’da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir, Flory Huggins, Temkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=9,0’da 298; 313 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu, 333 K de Frumkin adsorpsiyon izoterminde uygun olduğu

kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=9,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin, Temkin ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20kj/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

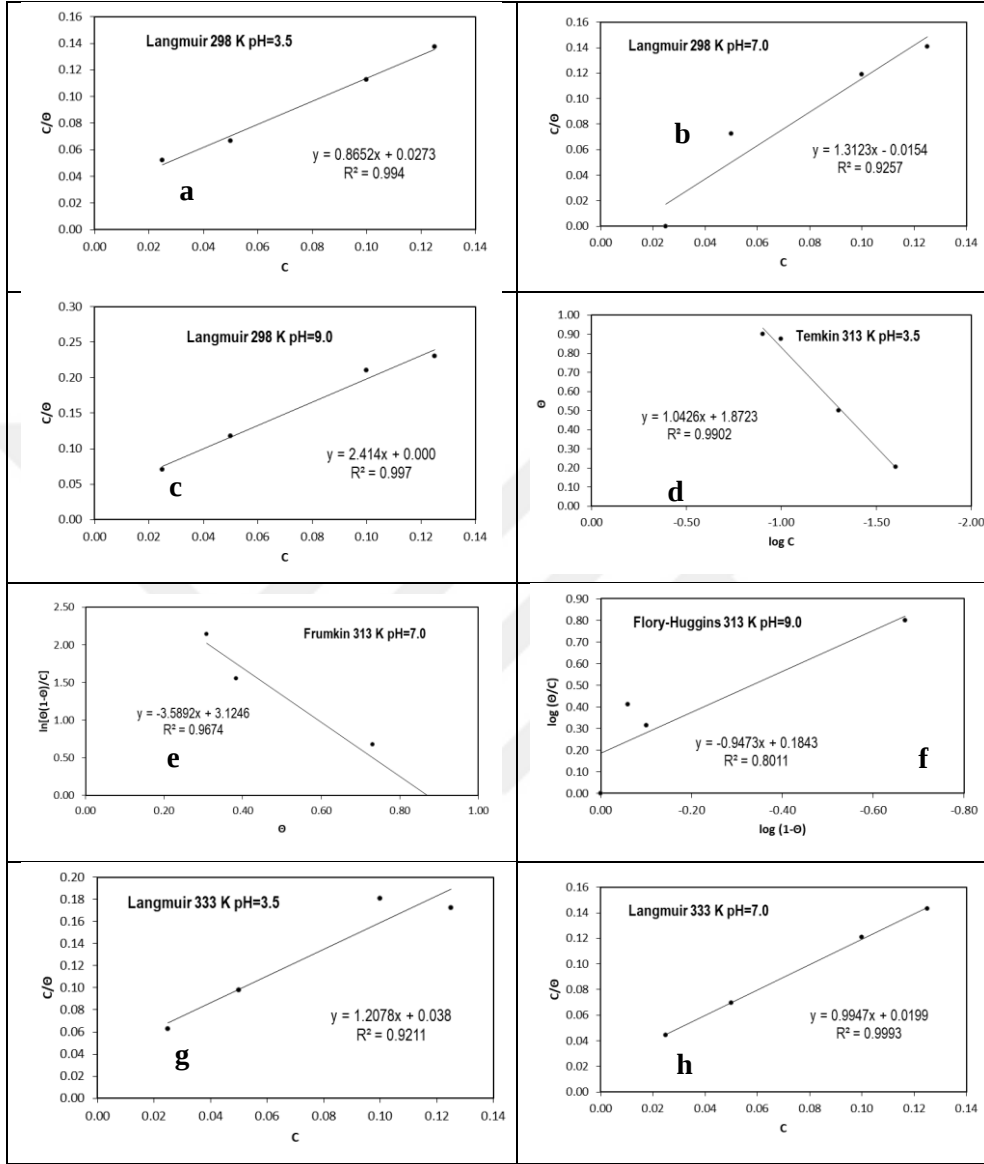


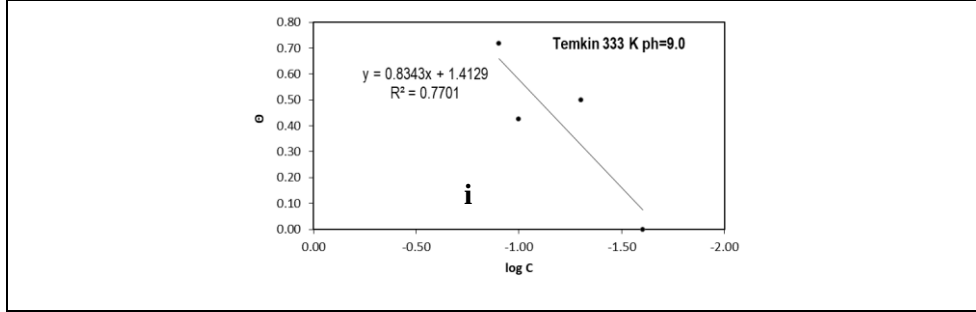


Şekil 4.126. VM için Adsorpsiyon İzotermi.



Şekil 4.127. FK için Adsorpsiyon İzotermi.





Şekil 4.128. MO için Adsorpsiyon İzotermi.

4.9. Yumuşak Çeliğin %3,5 NaCl Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{ads}° , ΔS_{ads}° ve ΔH_{ads}° Değerleri

Metal/çözelti ara yüzeyinde meydana gelen adsorpsiyon kimyasal ya da fiziksel olabilir. ΔG_{ads}° değerinin -40 kJ/mol'den daha negatif değerler aldığı durumlarda, organik molekülden metal yüzeyine koordine tip bağ yapmaki için yük transferini gerektiren etkileşimler olduğu adsorpsiyonun güçlü adsorpsiyon olduğu kabul edilir. - ΔG_{ads}° dağılım aralıkları VM, MO ve FK içeren çözeltilerde 26,33-43,29 kJ/mol olmuştur. ΔG_{ads}° değerleri Çizelge 4.37; 42 ve 47'de verilmiştir.

Ortama inhibitör eklendikçe ΔS_{ads}° değerleri azalmıştır. İnhibitör bileşiklerinde ΔS° değerlerinin ortama inhibitör eklendikçe daha da azalması çözeltide bulunan inhibitör molekülleri ile su moleküllerinin yer değiştirmesi sonucu düzensizliğin azalması ile açıklanabilir (Çizelge 4.38). Aynı zamanda korozyon devam ettiği için de bazı boyar maddelerin maksimum konsantrasyonlarında artma da söz konusu olmuştur. Saptanan ΔH_{ads}° değerleri genel olarak VM; FK; MO için tüm sıcaklıklarda negatif olmuştur. Bazı derişimlerde ve sıcaklıklarda pozitif olmuştur. ΔH_{ads}° 'nin, negatif değerleri inhibitör moleküllerinin adsorpsiyon süreçlerinin bahsedilen sıcaklıklarda ekzotermik olduğu ve polarizasyon direncinin sıcaklık artışıyla azalması bu sonuçla da uyumlu olmuştur (Çizelge 4.38;51). Adsorpsiyon entalpisi -200 kJ/mol civarında olan etkileşimler sonundaki tutunmalar kimyasal adsorpsiyondur. Tanecikler ve yüzey arasında kovalent bağ oluşmaktadır. Çoğu kimyasal adsorpsiyonlar ekzotermik olduğu halde bazı kimyasal

adsorpsiyonlar endotermik olabilir (Sarıkaya, 2004).

Çizelge 4.37. pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-36.76	-26.33	-35.98
313	-27.01	-27.61	-37.83
333	-43.29	-29.40	-39.29

Çizelge 4.38. pH=3,5’de ΔS_{ads}° değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	MO + %3.5 NaCl	600.964
2.50		-303.239
5.00		-27.567
10.00		-99.242
12.50		-656.098
2.50	FK + %3.5 NaCl	-303.239
5.00		352.859
10.00		479.668
12.50		419.021
2.50	VM + %3.5 NaCl	385.940
5.00		-303.239
10.00		176.430
12.50		-490.695

Çizelge 4.39. MO için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	143.107 -126.345 -44.195 -65.554 -231.497
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	150.272 -132.744 -46.459 -68.893 -243.189
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	160.831 -140.268 -48.470 -72.337 -257.771

Çizelge 4.40. FK için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	152.857 -116.595 78.922 116.711 98.638
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	160.492 -122.524 82.835 122.526 103.543
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	170.721 -130.378 88.102 130.330 110.134

Çizelge 4.41. VM için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	142.327 78.250 -127.125 15.816 -182.987
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	161.092 93.789 -121.924 28.213 -180.598
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	156.831 85.228 -144.268 15.461 -206.691

Çizelge 4. 42. pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-32.45	-25.88	-37.41
313	-32.83	-27.63	-25.46
333	-	-29.98	-41.22

Çizelge 4.43. pH=7,0'da ΔS°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS°_{ads} , J/mol.K)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	MO + %3.5 NaCl	-220.537 -777.393 -882.149 -793.934 -1047.551
2.50 5.00 10.00 12.50	FK + %3.5 NaCl	-407.994 -275.671 -512.749 -683.665
2.50 5.00 10.00 12.50	VM + %3.5 NaCl	-154.376 -104.755 33.081 264.645

Çizelge 4.44. MO için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-103.130 -269.073 -300.290 -274.002 -349.580
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-94.488 -268.784 -301.573 -273.961 -353.344
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	-114.659 -300.092 -334.975 -305.600 -390.055

Çizelge 4.45. FK için pH=7,0'da ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-91.600 -147.462 -108.030 -178.679 -229.612
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-96.658 -155.332 -113.915 -188.120 -241.617
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	-103.419 -165.842 -121.779 -200.725 -257.640

Çizelge 4.46. VM için pH=7,0'da ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-98.170 -78.454 -63.667 -22.592 46.414
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-101.858 -81.150 -65.618 -22.476 50.004

Çizelge 4.47. pH=9,0'da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
298	-35.15	-25.87	-46.45
313	-37.64	-27.15	-32.83
333	-27.05	-40.05	-29.29

Çizelge 4.48. pH=9,0'da ΔS_{ads}° değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	MO + %3.5 NaCl	-303.239
2.50		-617.504
5.00		-694.692
10.00		-749.826
12.50		-793.934
2.50	FK + %3.5 NaCl	-11.027
5.00		-71.675
10.00		-82.701
12.50		-248.104
2.50	VM + %3.5 NaCl	-259.131
5.00		-396.967
10.00		-600.964
12.50		-507.235

Çizelge 4.49. MO için pH= 9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-136.815 -230.466 -253.468 -269.898 -283.042
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-127.744 -226.109 -250.269 -267.526 -281.331
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	-130.268 -234.919 -260.622 -278.982 -293.670

Çizelge 4.50. FK için pH= 9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-116.235 -29.156 -47.229 -50.515 -99.805
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-122.064 -30.601 -49.584 -53.036 -104.807
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	-141.028 -43.722 -63.918 -67.590 -122.669

Çizelge 4.51. MO için pH= 9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-125.515
2.50		-112.371
5.00		-153.446
10.00		-214.237
12.50		-186.306
0	313	-132.554
2.50		-118.748
5.00		-161.891
10.00		-225.742
12.50		-196.404
0	333	-128.028
2.50		-113.341
5.00		-159.240
10.00		-227.171
12.50		-195.959

4.10. Arrhenius Doğruları

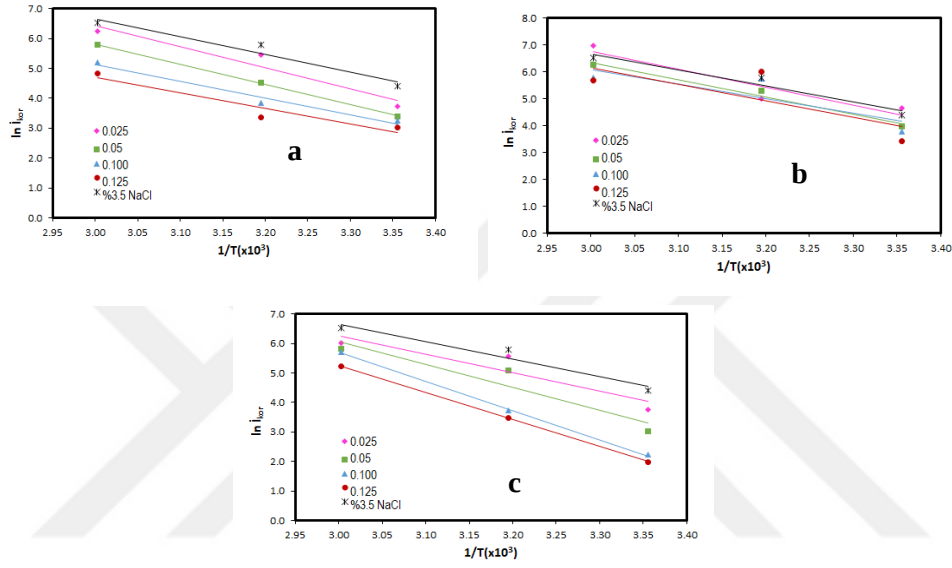
E_a 'nın inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksek olduğu birçok araştırmada bildirilmiştir (Al-Sabagh ve ark, 2011) ve fiziksel adsorpsiyon şeklinde açıklanmıştır (Şekil 4.129). E_a 'nın azalması, metal yüzeyinde inhibitörün kimyasal olarak adsorplanması anlamına gelmektedir.

Çizelge 4.52'de pH=3,5'da, E_a üç boyar maddenin değerleri verilmiştir. E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksektir ve bakır yüzeyine fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur. Varyamin Mavisi + Klorür ortamında daha düşük E_a değeri söz konusu olmuştur.

Çizelge 4.53'da pH=7,0'da, Aktivasyon enerji değerleri verilmiştir. E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksektir ve bakır yüzeyine fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur (Şekil 4.130).

Çizelge 4.54'de pH= 9,0'da, Aktivasyon enerji değerleri verilmiştir. VM ve MO için E_a , inhibitörlü ortamda inhibitörsüz ortama kıyasla daha yüksektir ve bakır

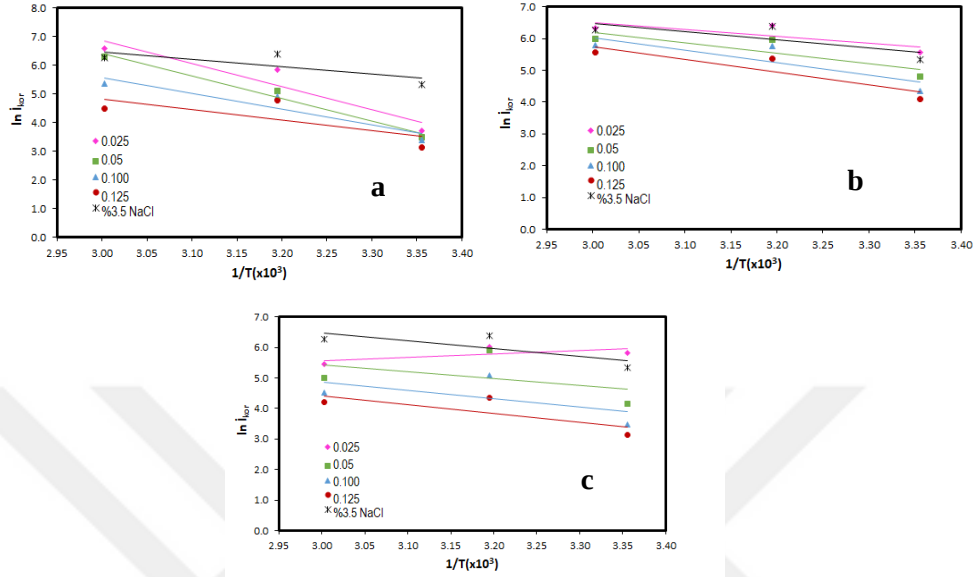
yüzeyine fiziksel adsorpsiyon söz konusu olmuştur. MO için E_a 'nın inhibitörlü ortamda ölçülen 3,52 kJ/mol değerine kıyasla inhibitörsüz ortamda ölçülen 14,17 kJ/mol değere kıyasla daha düşük oluşu kimyasal adsorpsiyonu düşündürmüştür (Şekil 4.131).



Şekil 4.129. pH=3,5’de VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.52. pH=3,5’da E_a^* değerleri

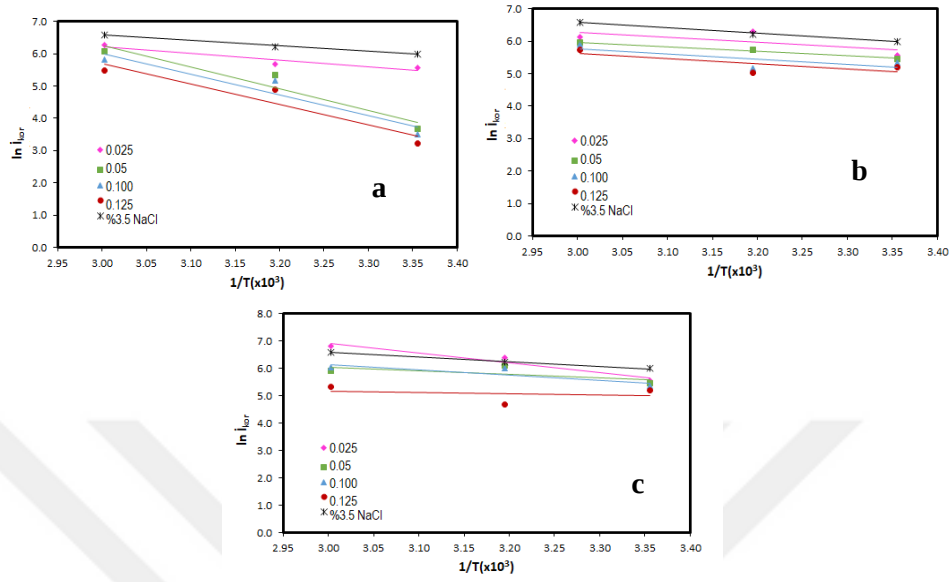
İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	49.36	-	-
2.50	58.91	55.76	52.37
5.00	56.39	53.33	64.57
10.00	46.57	45.23	82.64
12.50	43.55	51.02	76.51



Şekil 4.130. pH=7,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.53. pH=7,0'da E_a^* değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	21.38	-	-
2.50	66.56	17.77	9.73
5.00	65.74	27.36	18.20
10.00	45.69	32.72	22.88
12.50	30.60	33.47	23.98

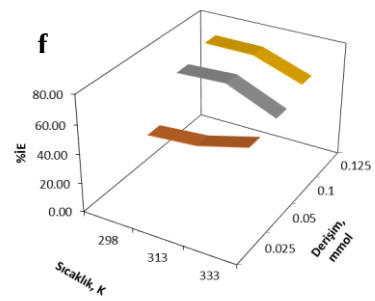
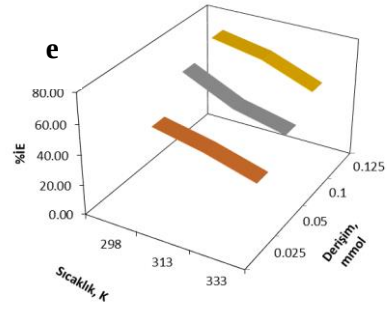
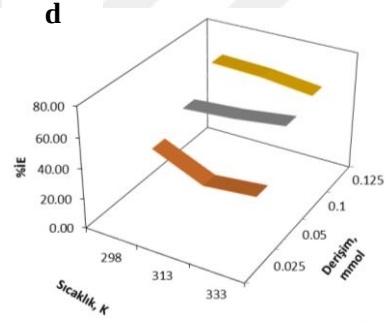
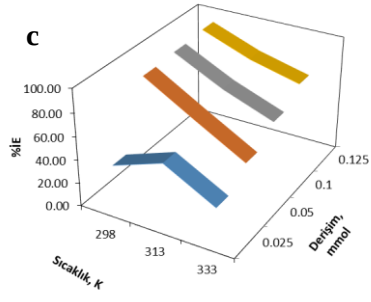
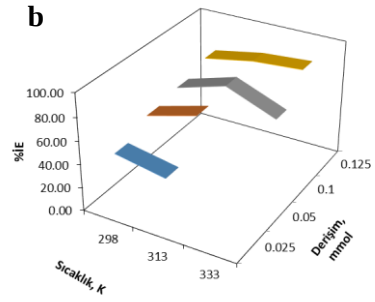
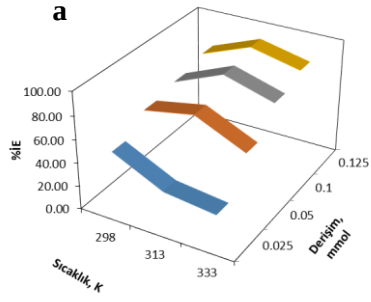


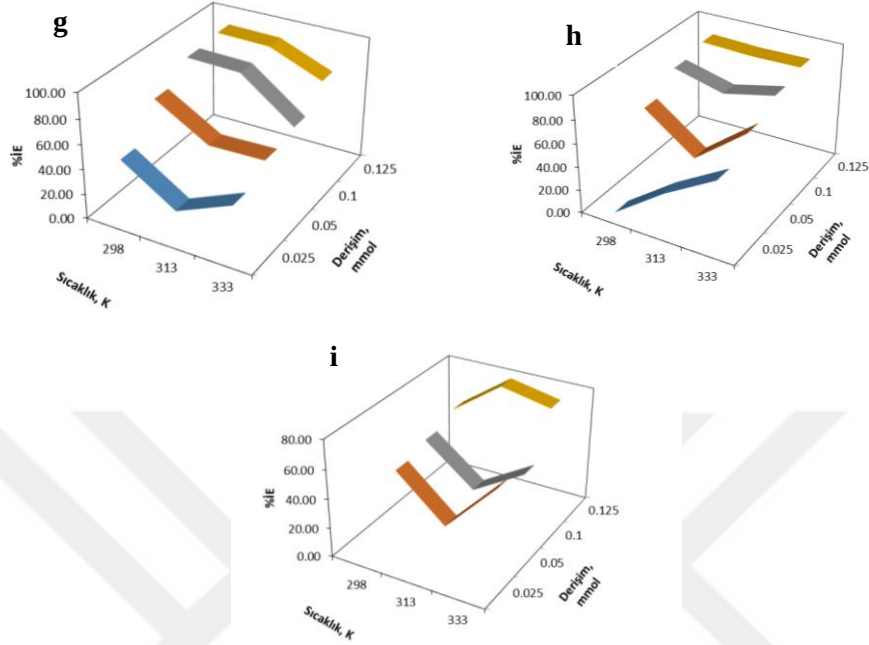
Şekil 4.131. pH= 9,0’da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.54. pH=9,0’da E_a^* değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + %3.5 NaCl	FK + %3.5 NaCl	MO + %3.5 NaCl
0	14.17	-	-
2.50	17.11	1.53	29.51
5.00	55.67	9.30	10.26
10.00	53.44	21.70	15.83
12.50	52.32	22.44	3.52

4.11. İnhibisyon Etkinliği Değerleri



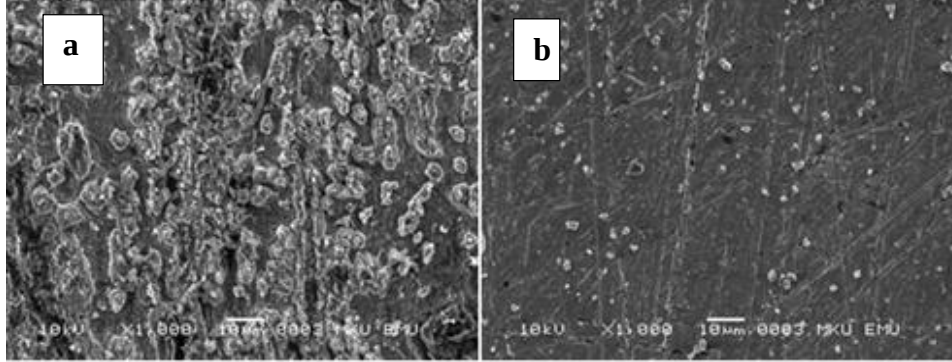


Şekil 4.132. VM için pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen İnhibisyon etkinliği.

Farklı sıcaklık ve derişimlerde VM, FK ve MO için Nyquist ve Bode eğrilerinden bulunan inhibisyon etkinliği değerleri üç boyutlu grafikler halinde çizilerek Şekil 4.132’de verilmiştir. Bu grafikten inhibisyon etkinliği değerlerinin çalışılan her derişimde sıcaklık artışıyla sistematik olarak azalma göstermediği net bir şekilde görülmektedir.

4.12. SEM Bulguları

Elektrotların SEM tekniği ile incelenmiş, 1000 kat büyütülmüş yüzey mikrografları Şekil 4.133’de verilmiştir. Bu mikrograflardan kolayca görüldüğü gibi eklenen inhibitörlerde yüzeylerin düz bir görünüm aldığı, kara lekelerin ve çukurcukların yok olduğu görülmektedir.



Şekil 4.133. 298 K’de pH= 9,0’ da, %3,5 $NaCl$ (a) %3,5 $NaCl$ + 0,125 mmol/L VM (b) elde edilen Sem görüntüleri.

4.13. Bakırın 0,1 M Na_2SO_4 , 0,1 M Na_2SO_4 + çözültisi Ortamında Ortamında Farklı Sıcaklık ve pH larda Elde Edilen Bulgular

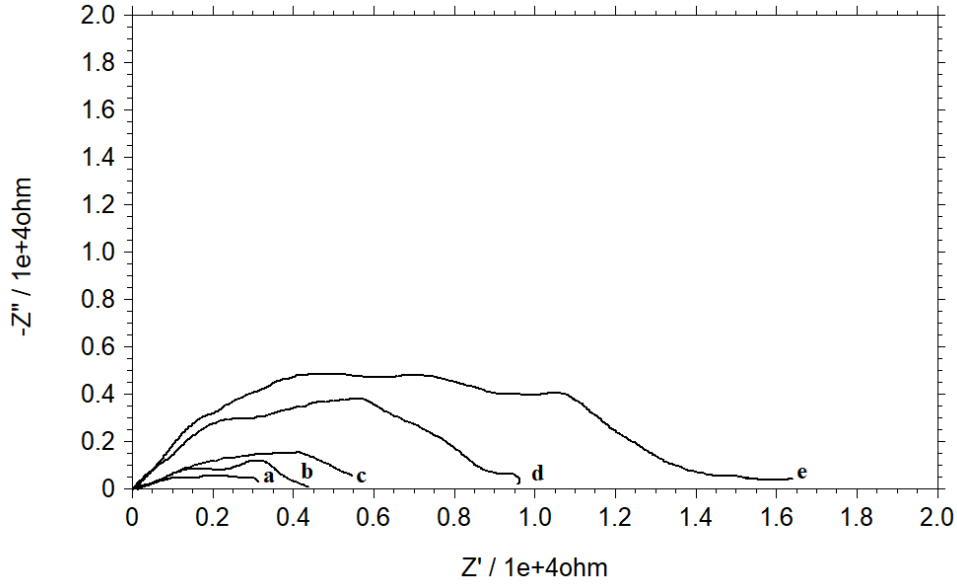
Bakırın elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz 0,1 M Na_2SO_4 ve 0,1 M Na_2SO_4 + xM inhibitörlü ortamlarda 298 K; 313 K ve 333 K’de pH=3,5; 7,0 ve 9,0 da, 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM konsantrasyonlarda Açık devre potansiyelinin zamanla değişim ölçümleri, EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir (x: Variamin mavisi, Fenol kırmızısı, Metil Oranj).

Bakırın elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz ve inhibitörlü çözültelerde elektrotların iki buçuk saat bekletilmesi sonunda 0,005 V genlikte ve 10^5 Hz ile 5×10^{-3} Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir. Açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. 1 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-1,8 mV), tarama yapıp temizlenerek 2,5 saatlik bekleme süresi sonunda anodik yöne doğru (1,8 mV) tarama yapılmıştır.

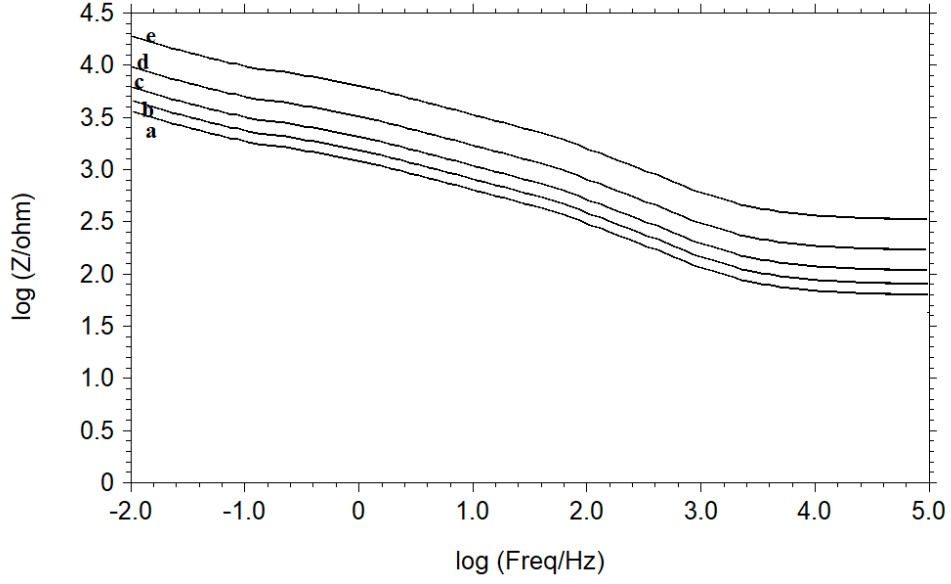
İnhibitörlü bütün ortamlarda yüksek frekans bölgesinde oluşan yarım dairelerin yarıçapları, inhibitörsüz ortamlardakinden daha büyük olmuş ve inhibitör derişimi arttıkça yarıçaplar da artmıştır. Farklı sıcaklıklarda iki buçuk saat bekleme süresi sonunda elde edilen bode diyagramlarından R_p hesaplanmıştır. Akım

Potansiyel eğrilerinden akım yoğunluğu değerleri i_{kor} hesaplanmıştır. Nyquist eğrilerinden elde edilen impedans parametreleri; Açık Devre Potansiyeli (E_{kor}), polarizasyon direnci (R_p), inhibisyon etkinliği değerleri (% İE) ve i_{kor} Çizelge 4.55.'de verilmiştir.

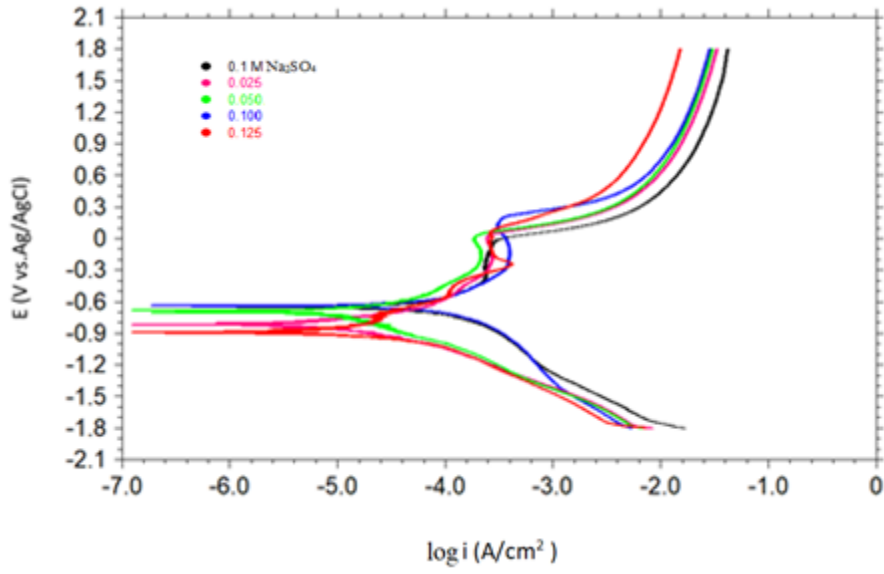
298; 313; 333 K de pH=3,5; 7,0; 9,0'da, 0,1 M Na_2SO_4 içeren ortamda farklı derişimlerde variamin mavisi (VM), fenol kırmızısı (FK) ve metil oranj (MO) içeren ve içermeyen çözeltilerinde 2,5 saat sonunda elde edilen eğriler Şekil 4.134 - 4.201' de verilmiştir (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



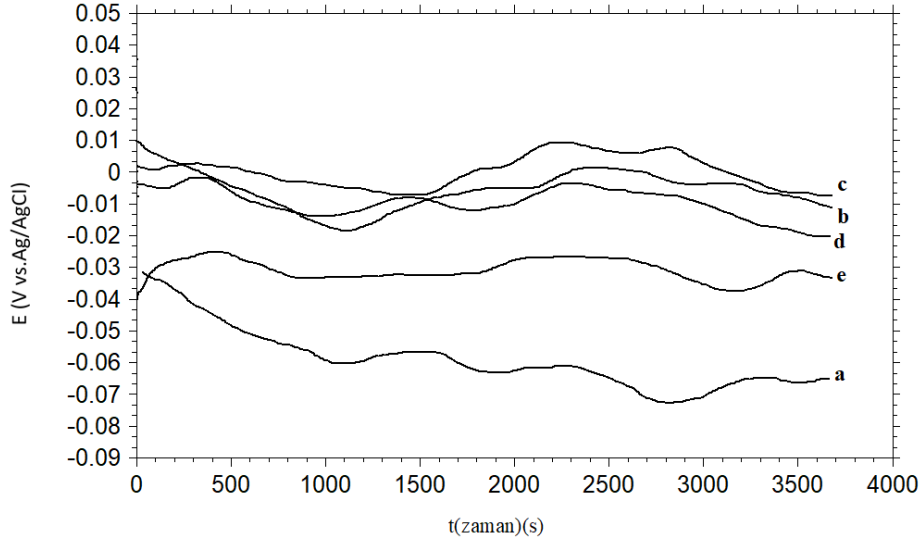
Şekil 4.134. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,10 0mM, e;0,125 mM).



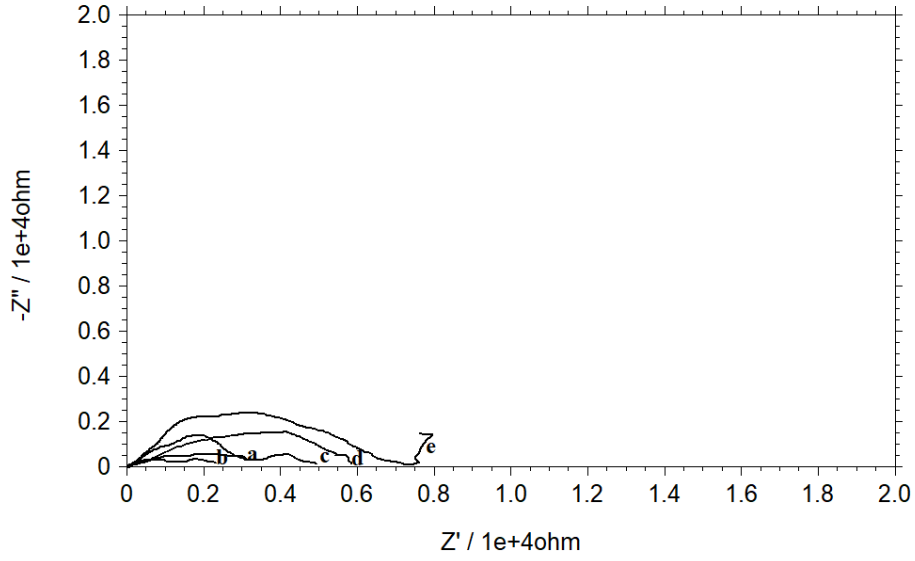
Şekil 4.135. VM için 298 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



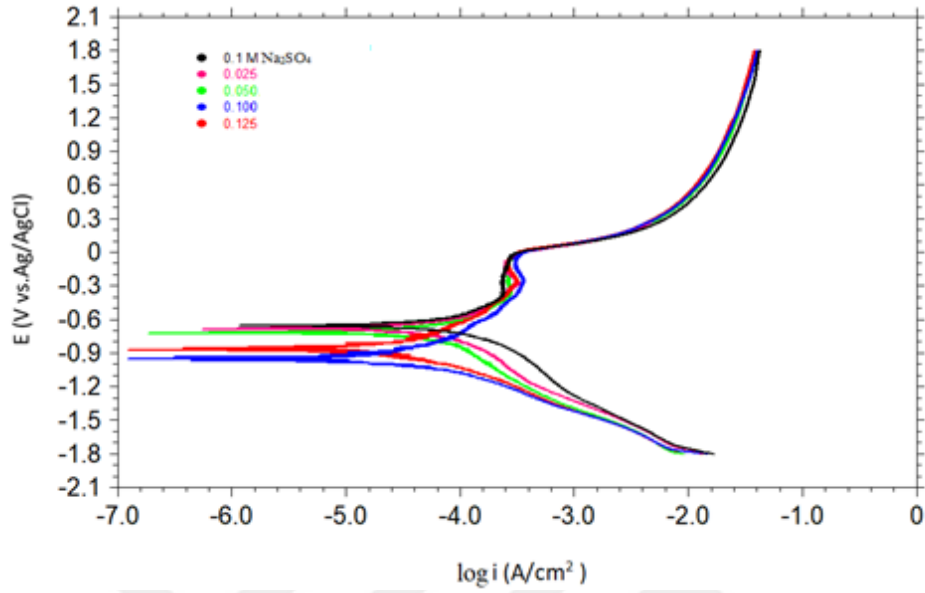
Şekil 4.136. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



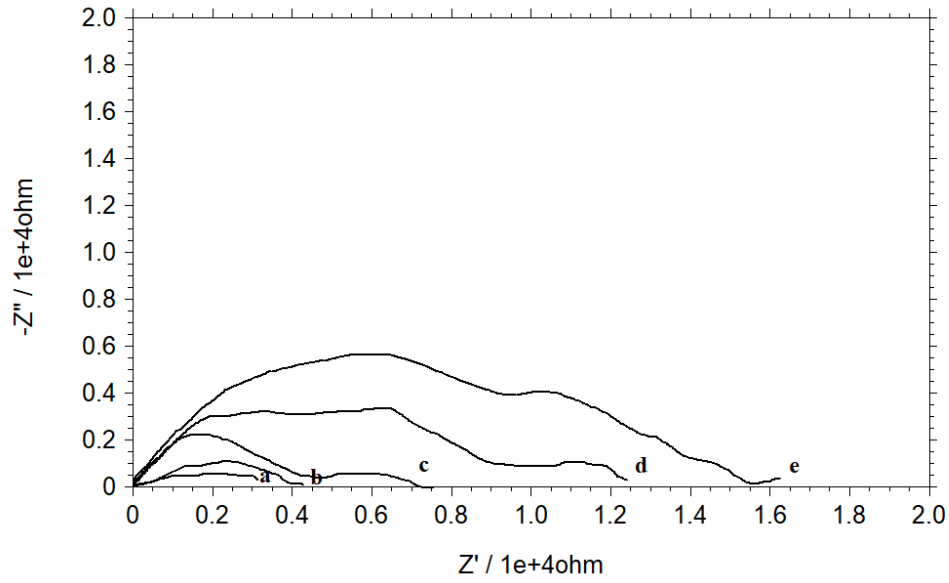
Şekil 4.137. FK için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.138. FK için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4. 139. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.140. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).

Çizelge 4.55. 298 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

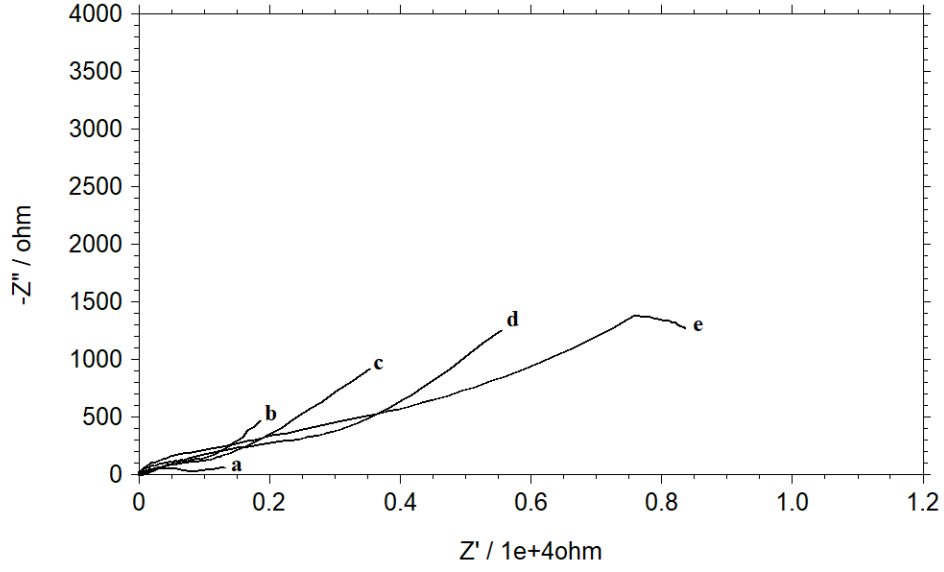
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	3548.13	37.33	-0.07	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	4168.69	31.77	-0.02	14.89
	5.00	7762.47	17.06	-0.01	54.29
	10.00	12589.25	10.52	-0.03	71.82
	12.50	16595.87	7.98	-0.01	78.62
FK+ 0.1M Na_2SO_4	2.50	3235.94	40.93	-0.01	-
	5.00	5011.87	26.43	-0.01	29.21
	10.00	5754.40	23.02	-0.02	38.34
	12.50	7762.47	17.06	-0.03	54.29
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	4466.84	29.65	-0.04	20.57
	5.00	6309.57	20.99	-0.03	43.77
	10.00	10000.00	13.25	-0.003	64.52
	12.50	19498.44	6.79	-0.02	81.80

Çizelge 4.55’de 298 K’de pH=3,5’de bakırın 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisi ve 0,1 M Na_2SO_4 + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 81,80 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Variamin mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir.

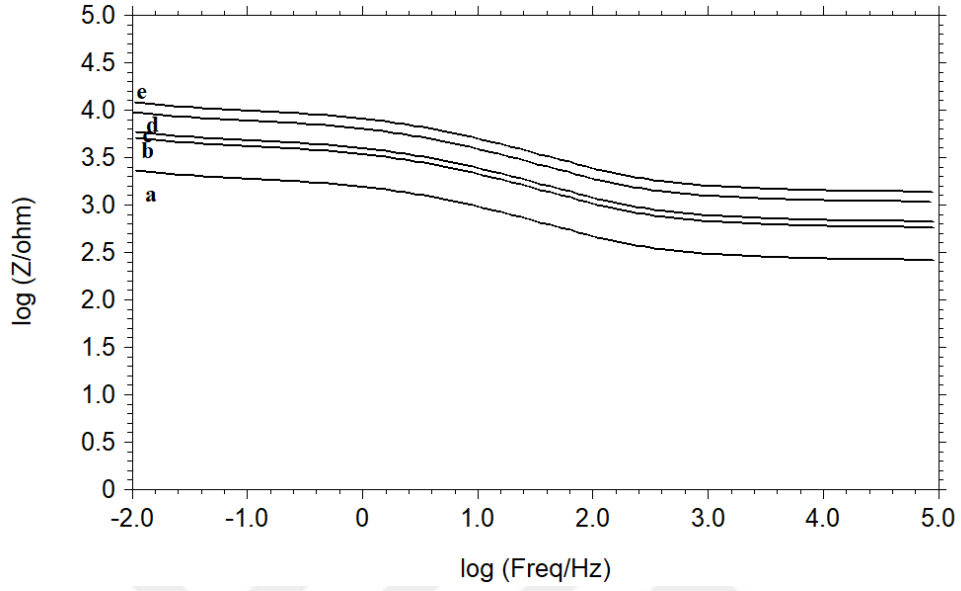
Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.134 - 140). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha negative potansiyellere kayma olmuştur.

0,1 M Na_2SO_4 ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık

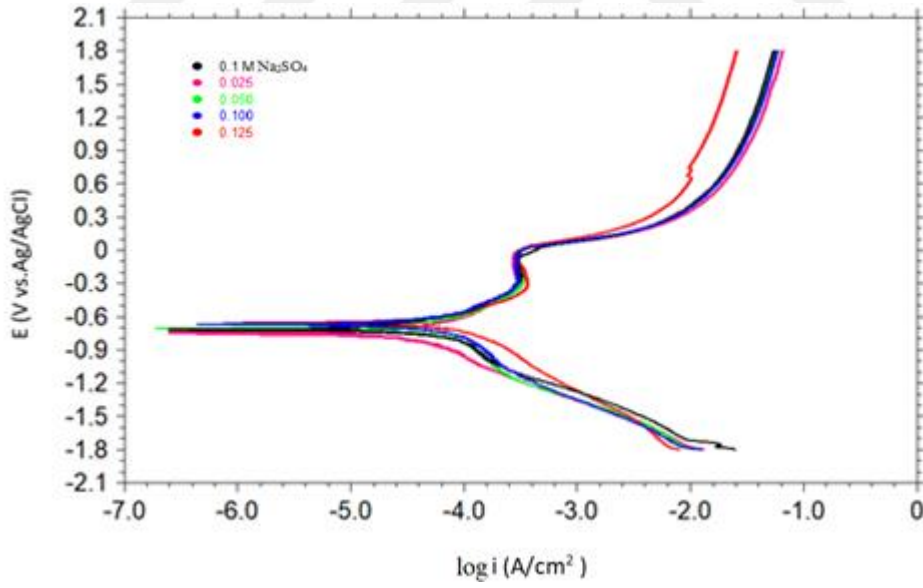
devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde 0,1 M Na₂SO₄ eğrisine göre potansiyeller daha pozitif kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğriler doğrusala yaklaşmıştır.



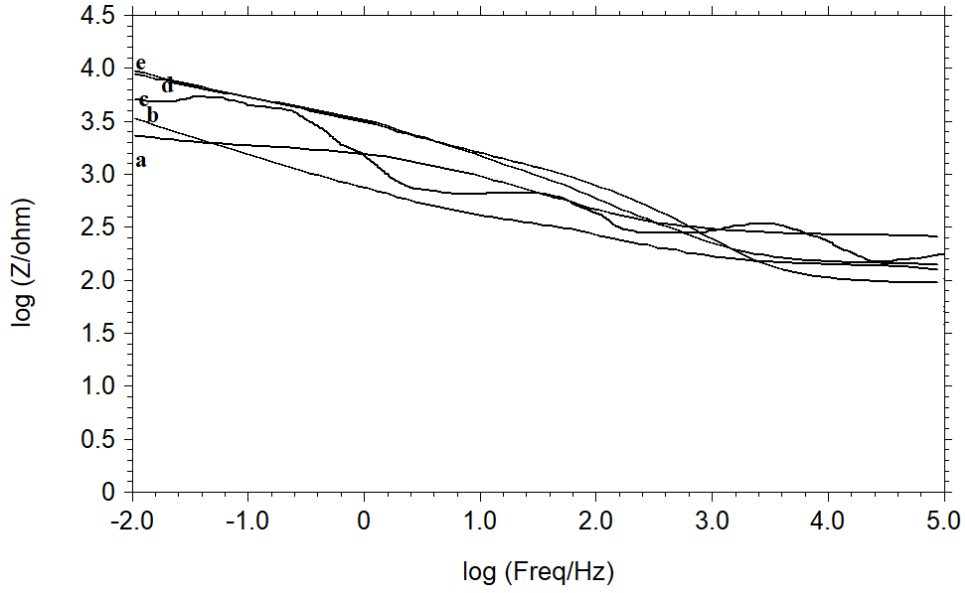
Şekil 4.141. VM için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



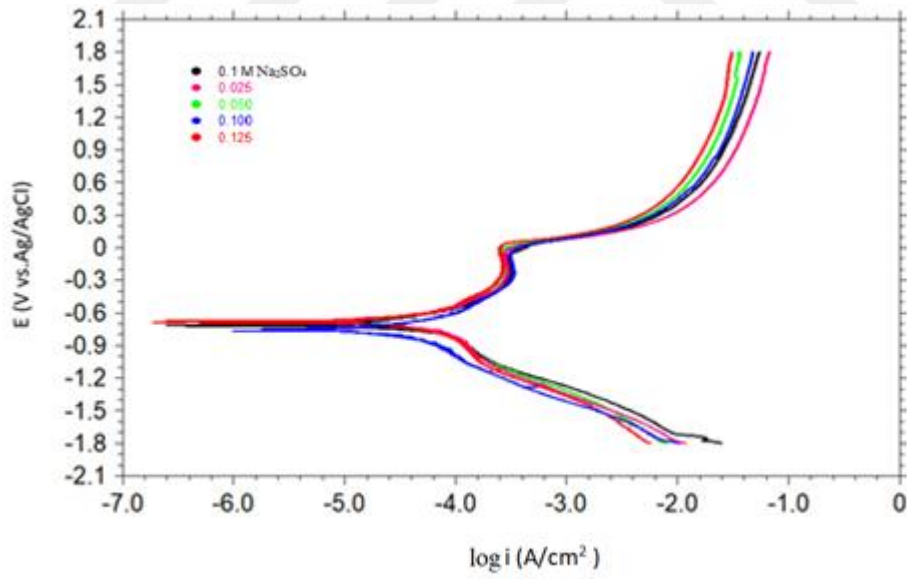
Şekil 4.142. VM için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



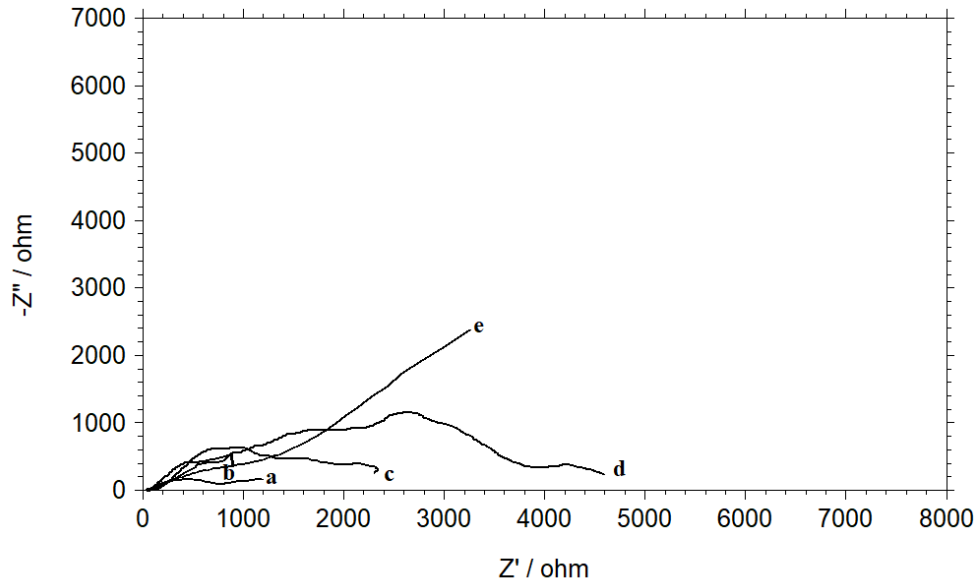
Şekil 4.143. VM için 313 K’de edilen Akım - Potansiyel eğrisi.



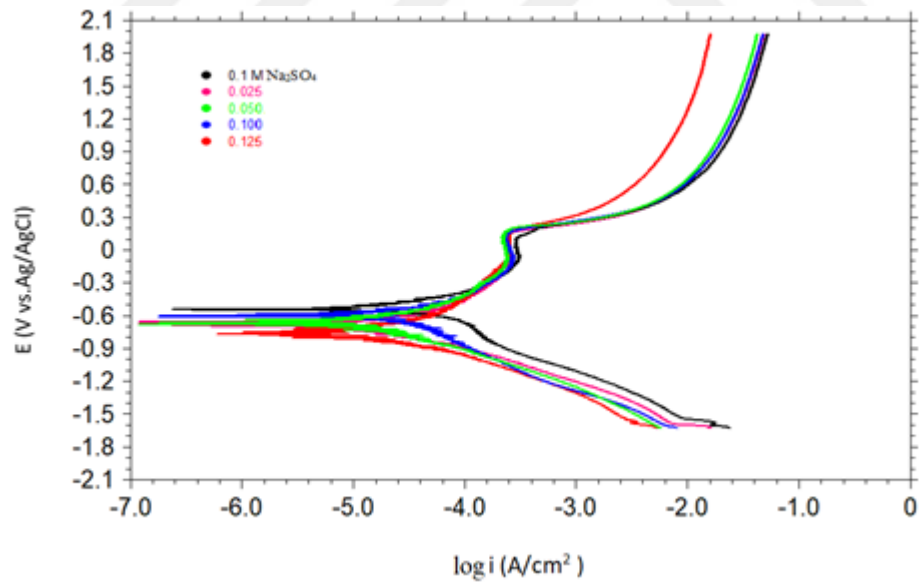
Şekil 4.144. FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.145.FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.146. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.147. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

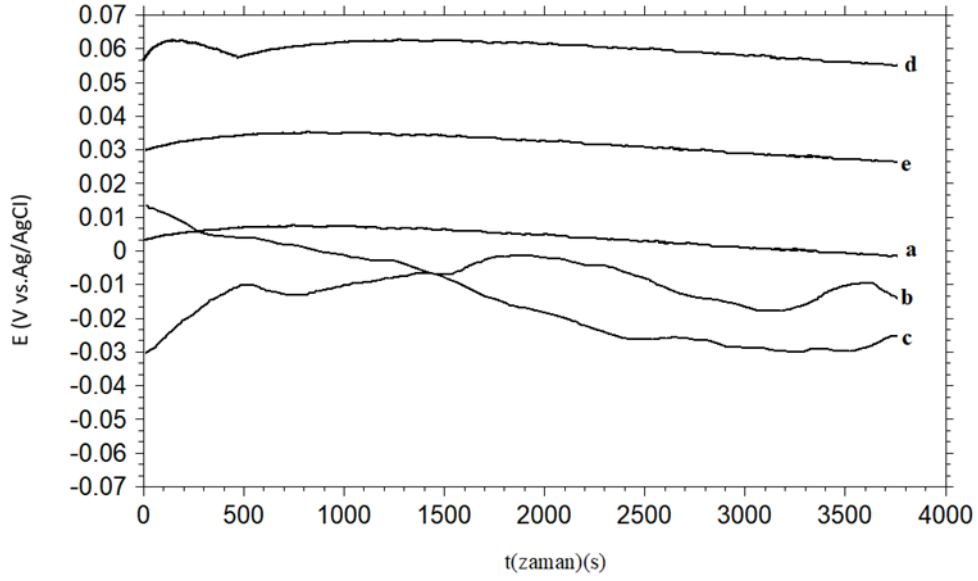
Çizelge 4.56. 313 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4		2238.72	59.16	-0.040	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2818.38	47.00	-0.025	20.57
	5.00	4073.80	32.51	-0.036	45.05
	10.00	6309.57	20.99	-0.010	64.52
	12.50	7762.47	17.06	-0.002	71.16
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3311.31	40.00	-0.025	32.69
	5.00	5011.87	26.43	-0.005	55.33
	10.00	8511.38	15.56	-0.002	73.70
	12.50	9772.37	13.55	0.025	77.09
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	5011.87	26.43	-0.023	55.33
	5.00	5623.41	23.55	-0.002	60.19
	10.00	9332.54	14.19	0.001	76.01
	12.50	12881.49	10.28	0.028	82.62

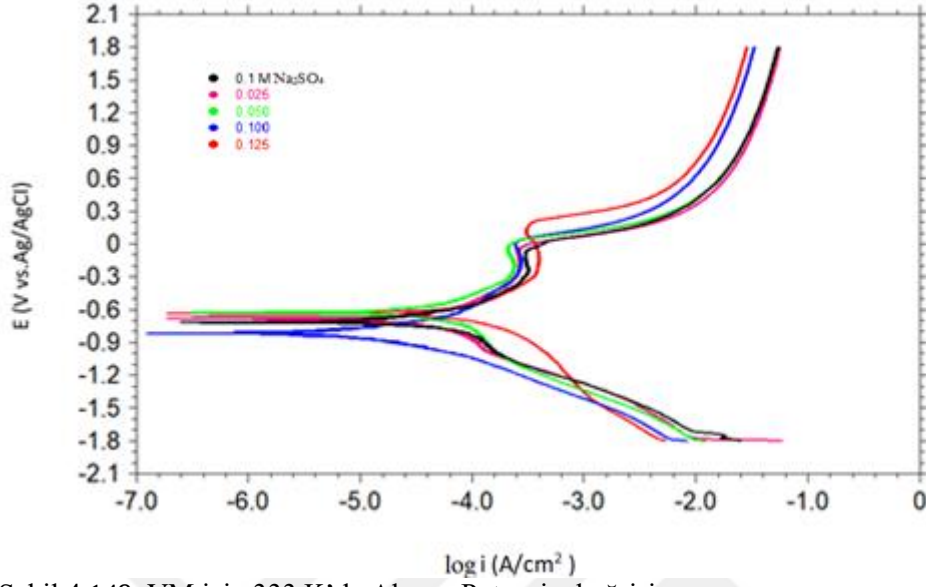
Çizelge 4.56’da 313 K’de pH= 3,5’de Bakırın 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisi ve 0,1 M Na_2SO_4 + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 82,62 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Variamin mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir. Sıcaklık artışı ile polarizasyon dirençlerinde azalma görülmemiştir (298 K - 313 K).

Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.141-147). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha pozitif ve daha negatif potansiyellere kayma olmuştur.

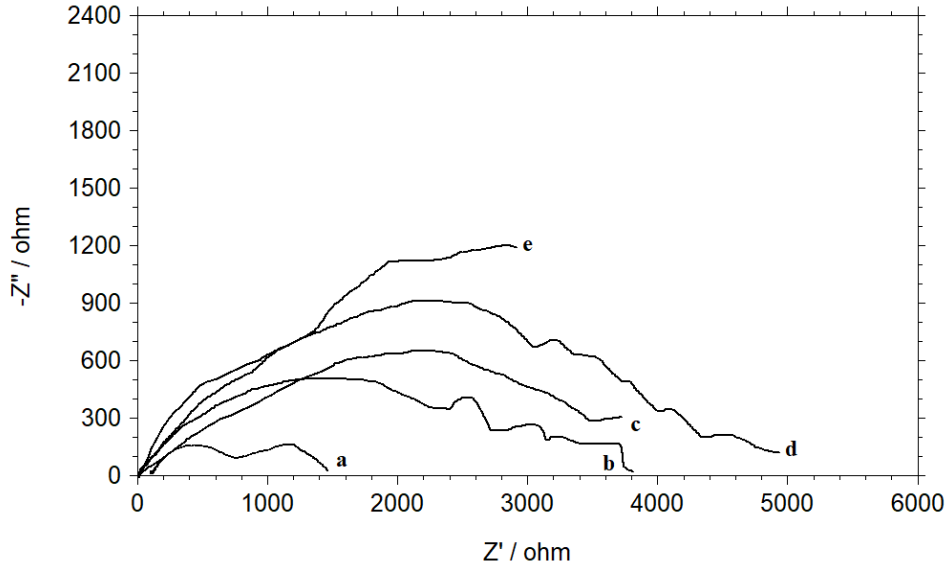
0,1 M Na_2SO_4 ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. Açık devre potansiyeli zaman eğrisinde 0,1 M Na_2SO_4 eğrisine göre potansiyeller daha pozitif kaymış ve zamanla potansiyel farkı düşmüş eğriler doğrusala yaklaşmıştır.



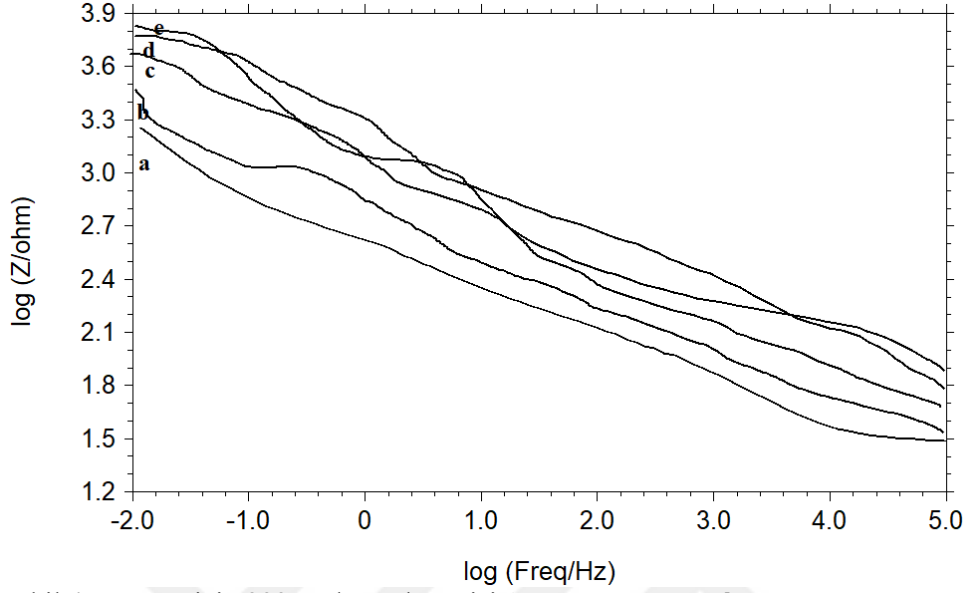
Şekil 4.148. VM için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



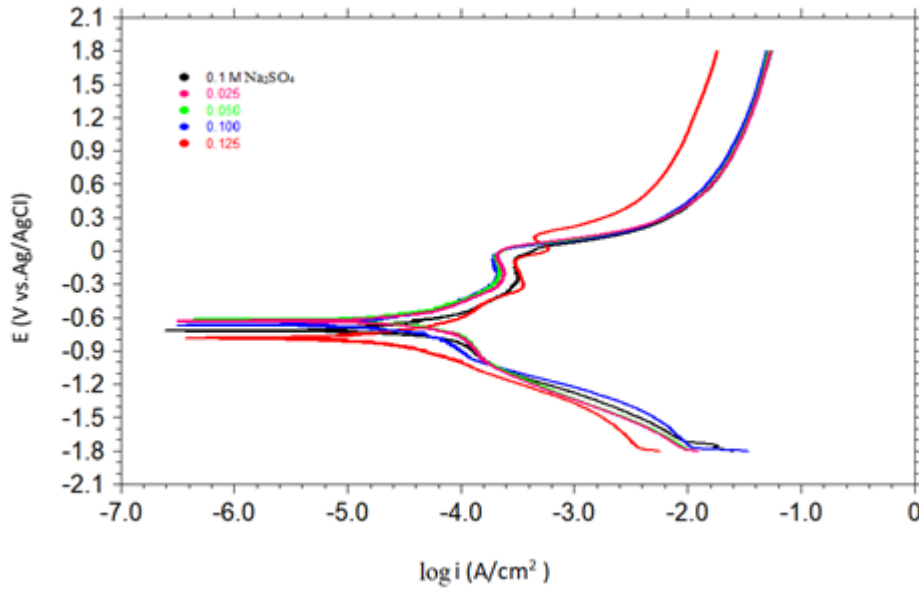
Şekil 4.149. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



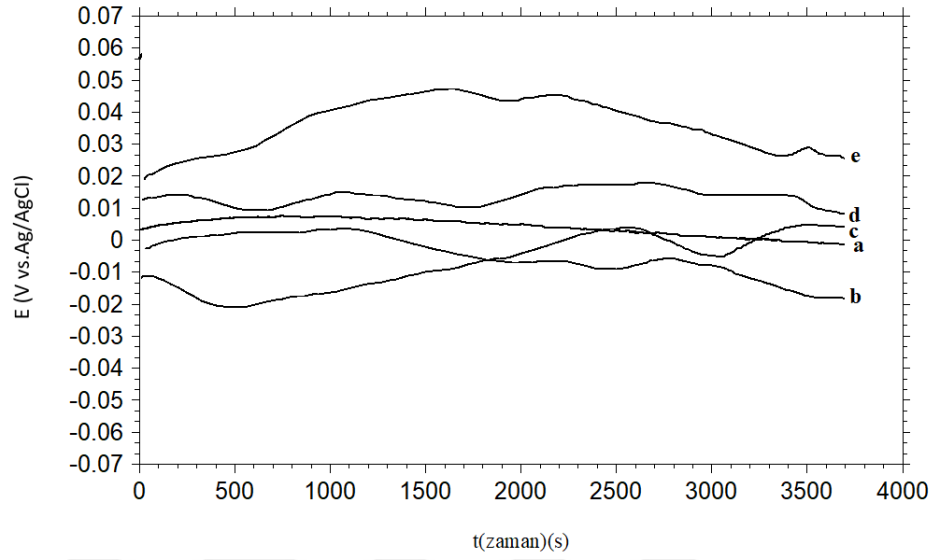
Şekil 4.150. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.151. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.152. FK için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

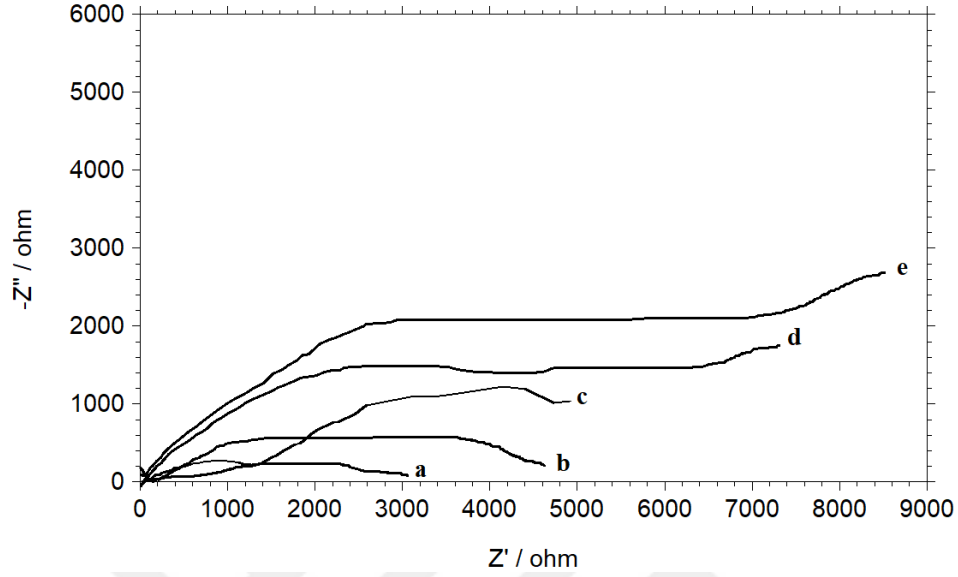


Şekil 4.153. MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

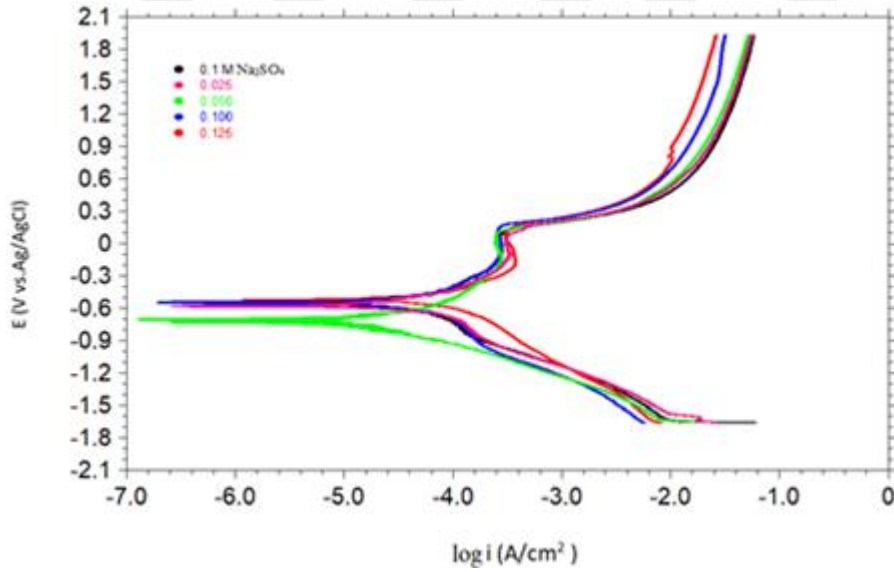
Çizelge 4.57. 333 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitor etkinlik yüzdesi (İE)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	1778.28	74.48	-0.005	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	1995.26	66.38	-0.019	10.87
	5.00	2454.71	53.96	0.001	27.56
	10.00	3890.45	34.04	0.009	54.29
	12.50	5011.87	26.43	0.025	64.52
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3801.89	34.84	-0.001	53.23
	5.00	4677.35	28.32	0.009	61.98
	10.00	5888.44	22.49	0.030	69.80
	12.50	6606.93	20.05	0.052	73.08
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3715.35	35.65	-0.015	52.14
	5.00	5011.87	26.43	-0.025	64.52
	10.00	6309.57	20.99	0.055	71.87
	12.50	7943.28	16.67	0.033	77.61

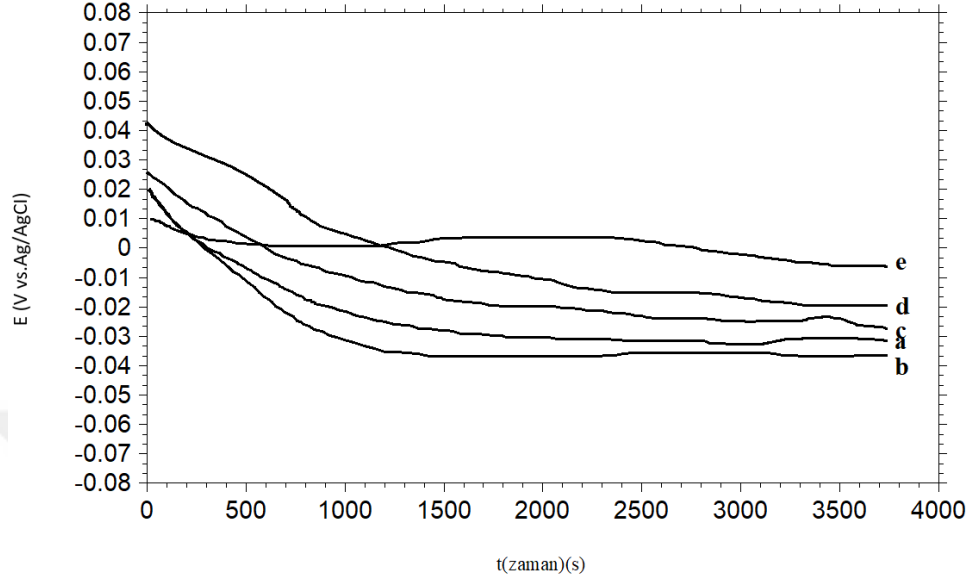
Sıcaklık arttıkça R_p değerleri azalmış ve inhibisyon etkinliği sıcaklık artışıyla tüm solüsyonlarda azalmıştır (Çizelge 4.57.). 333 K’de 298 K ve 313 K’e göre sistematik azalma söz konusu olmuştur. Polarizasyon direncindeki azalış sıcaklığın artmasıyla, bakırın yüzeyine tutunan boyar maddelerin molekül sayısının azaldığının göstergesidir.



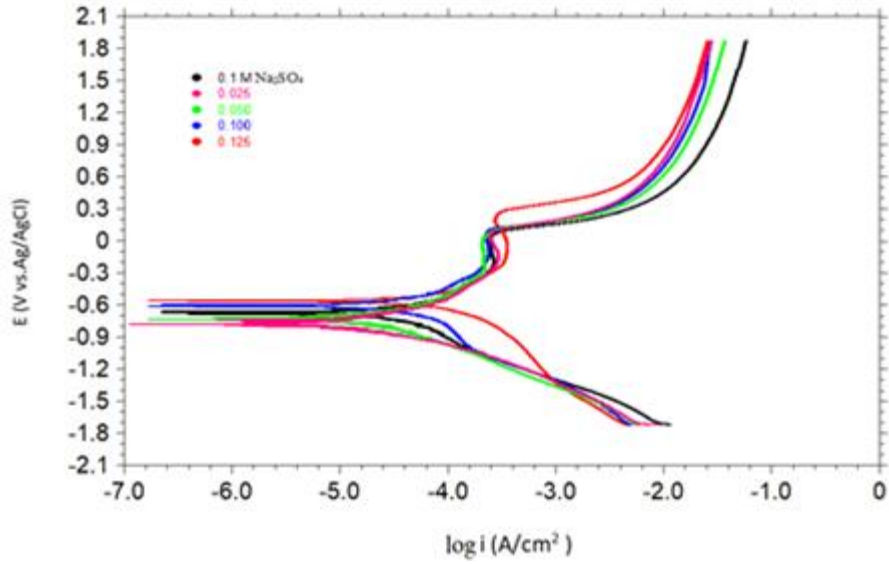
Şekil 4.154. VM için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.155. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.156. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM).



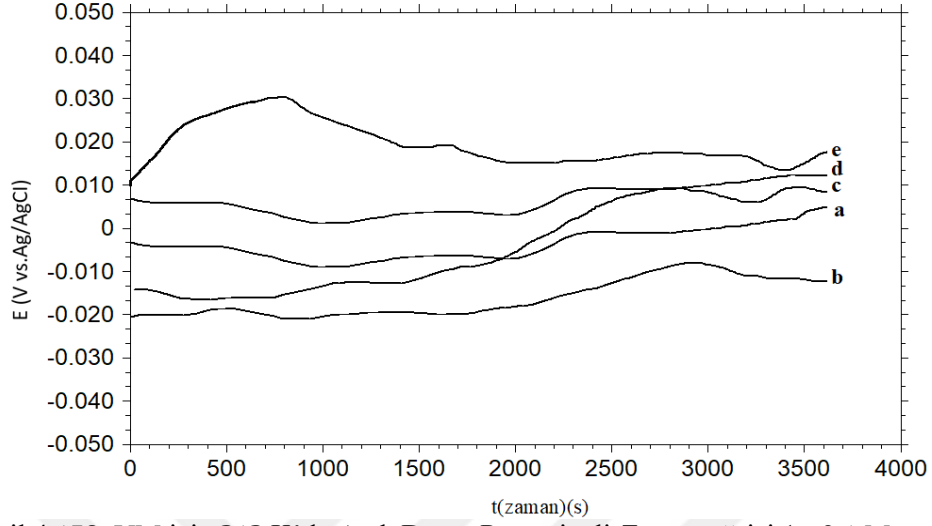
Şekil 4.157. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.58. 298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

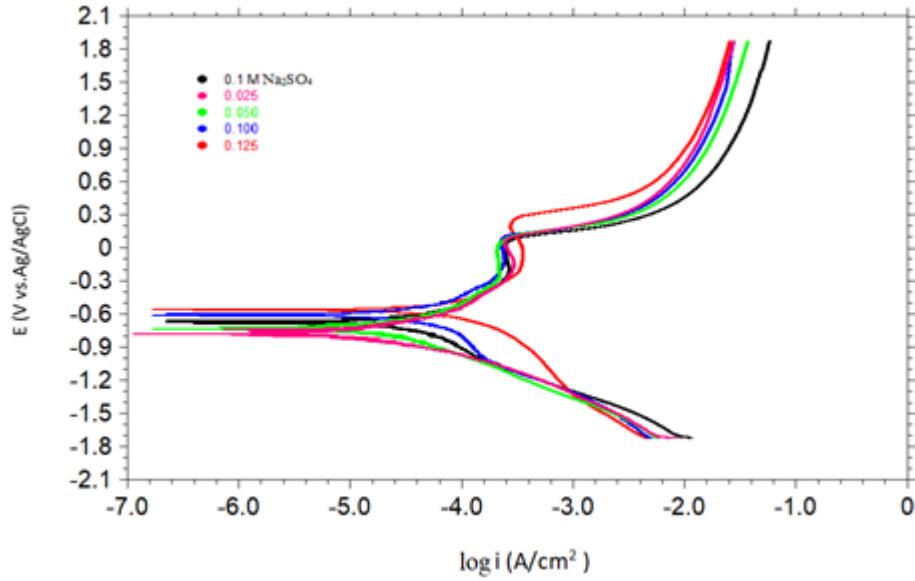
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{or} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	3162.28	41.88	-0.033	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	6165.95	21.48	-0.045	42.46
	5.00	6456.54	20.51	-0.040	45.05
	10.00	12302.69	10.77	-0.027	71.16
	12.50	14125.38	9.38	-0.011	74.88
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3981.00	33.27	-0.038	10.87
	5.00	5011.87	26.43	-0.028	29.21
	10.00	7079.46	18.71	-0.020	49.88
	12.50	10000.00	13.25	-0.007	64.52
VM+ 0.1M Na_2SO_4	2.50	4897.79	27.04	-0.013	27.56
	5.00	7079.58	18.71	-0.005	49.88
	10.00	11220.19	11.80	0.001	68.38
	12.50	12882.49	10.28	0.005	72.46

Çizelge 4.58’de 298 K’de pH=7,0’da bakırın 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisi ve 0,1 M Na_2SO_4 + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Şekil 4.154 - 157’de konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitör etkinliği 298 K de % 74,88 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranj + sülfat ortamında tespit edilmiştir.

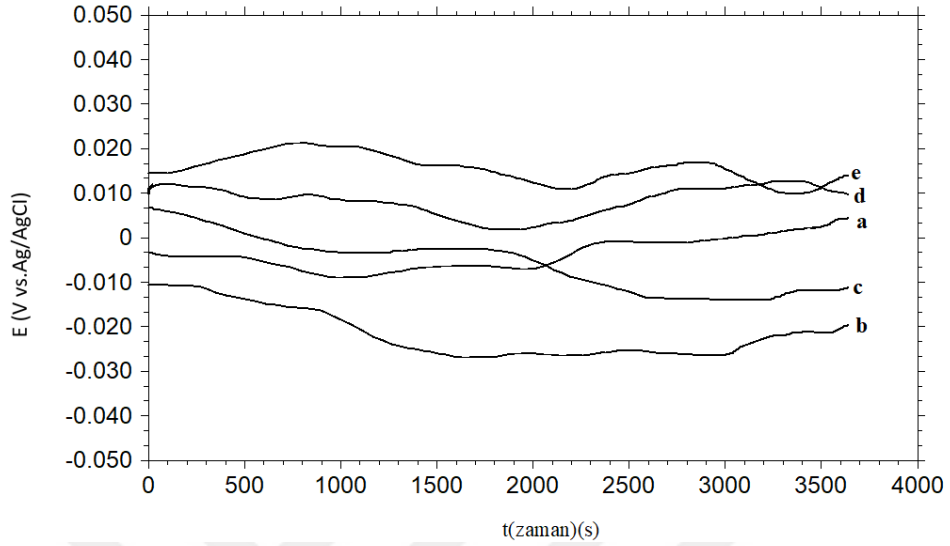
Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.154-157). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha negatif potansiyellere kayma olmuştur.



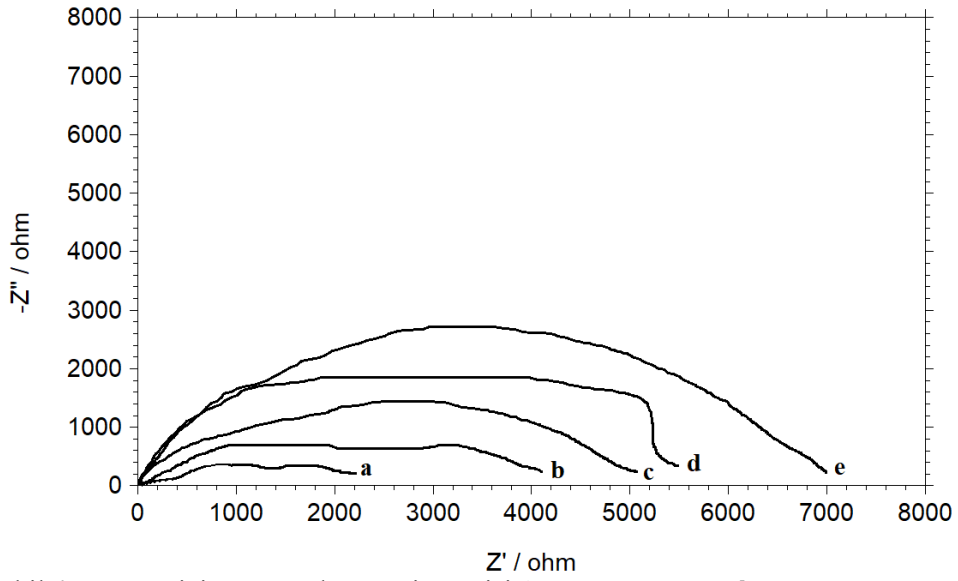
Şekil 4.158. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



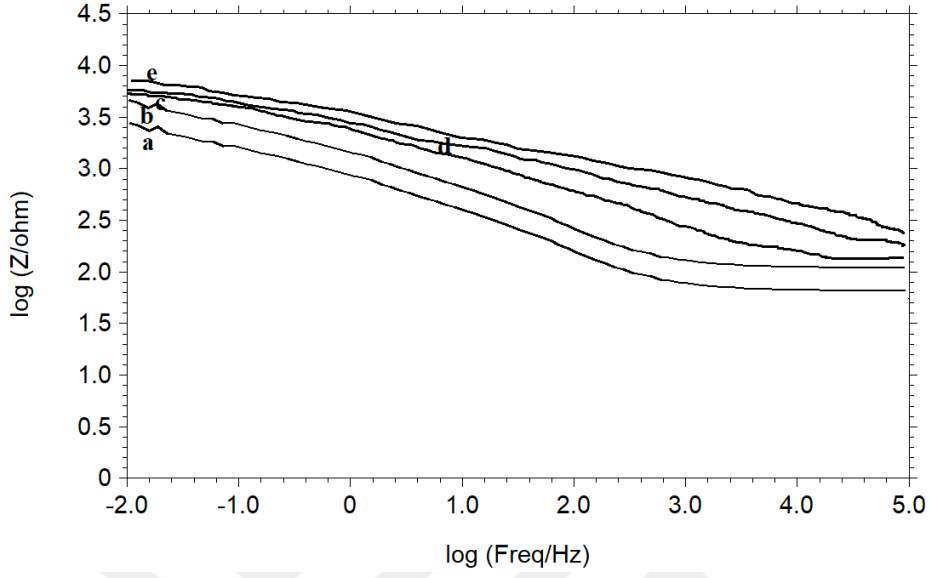
Şekil 4.159. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



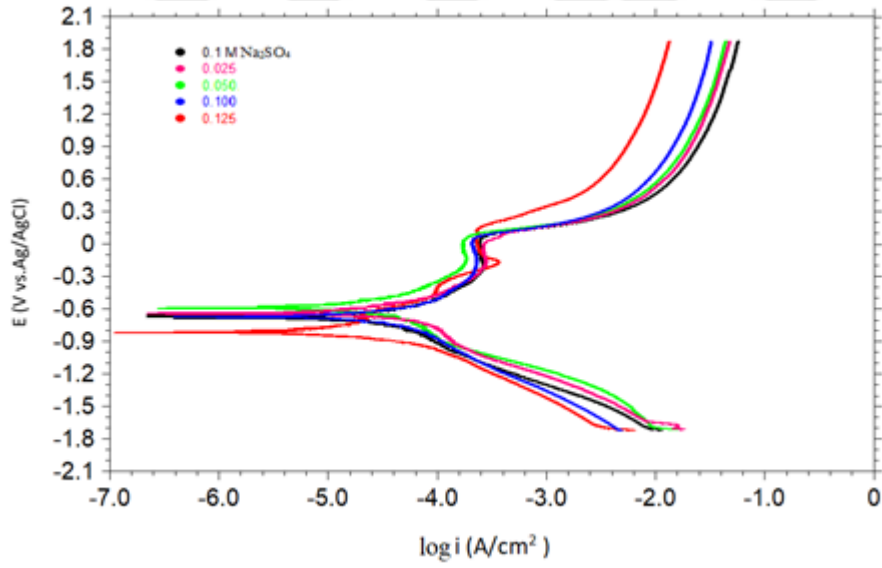
Şekil 4.160. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



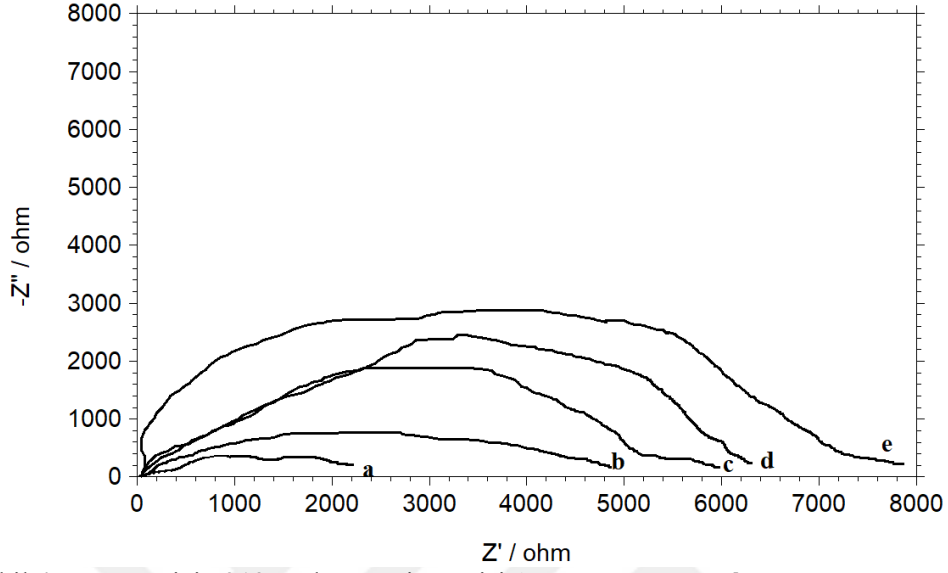
Şekil 4.161. FK için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



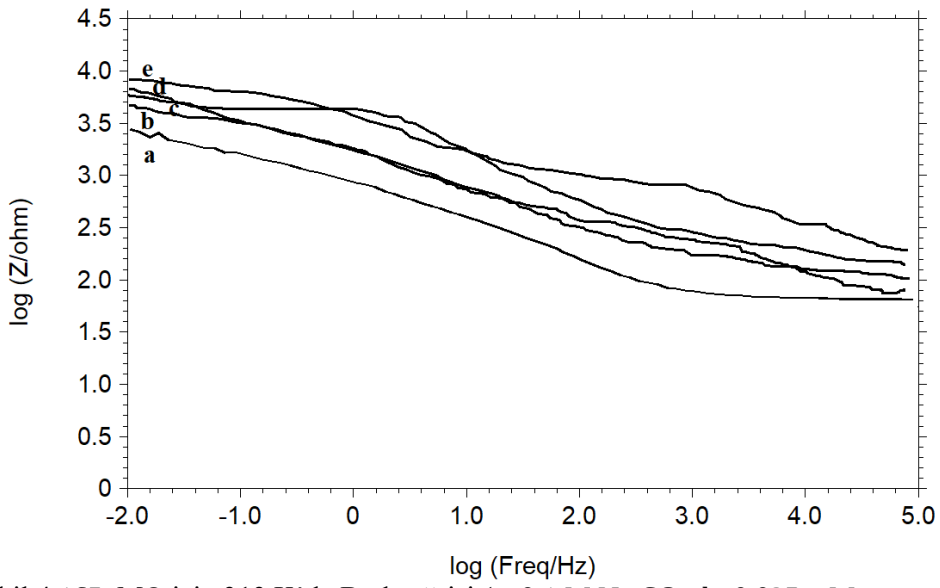
Şekil 4.162. FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



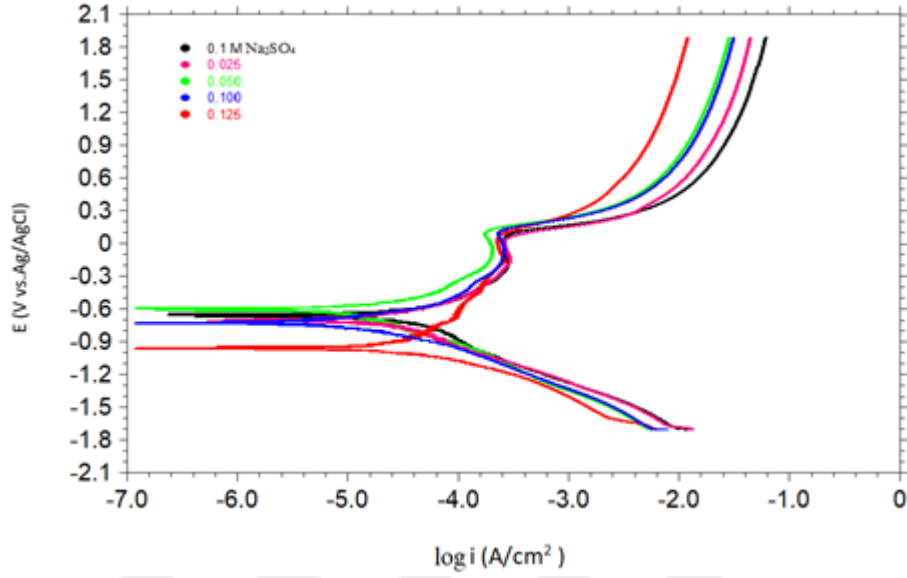
Şekil 4.163. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.164. MO için 313 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.165. MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



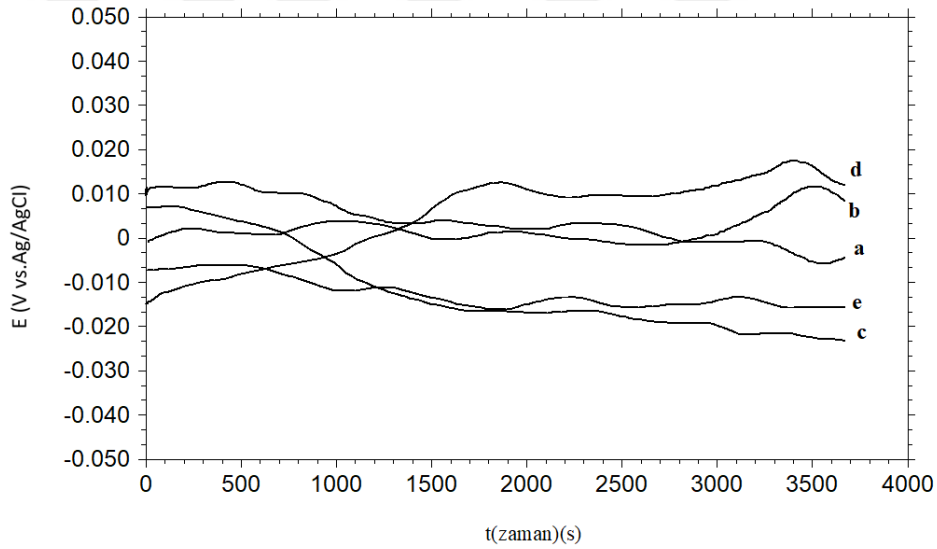
Şekil 4.166. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.59. 313 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitor etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

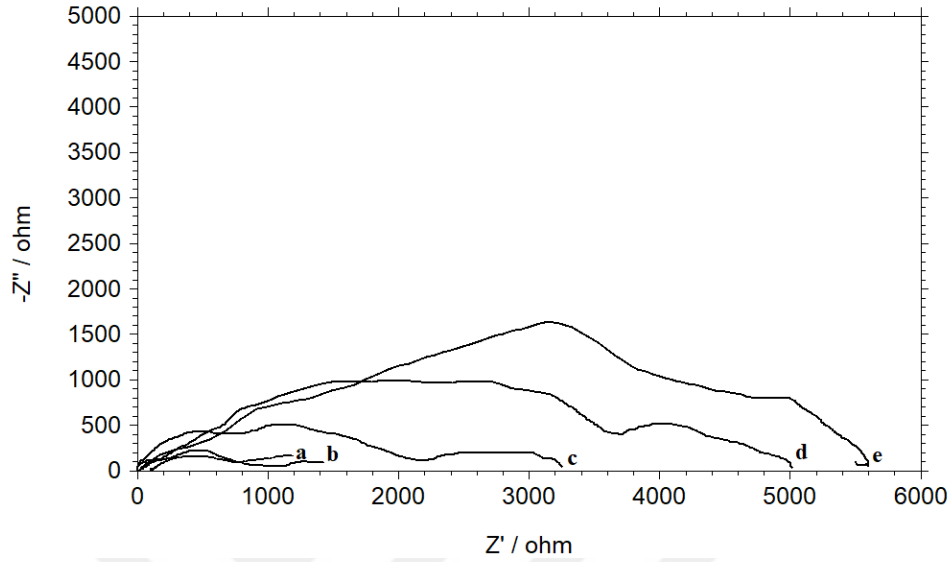
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	2818.38	47.00	0.005	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	5011.87	26.43	-0.011	43.77
	5.00	6025.59	21.98	-0.013	53.23
	10.00	6606.93	20.05	0.013	57.34
	12.50	8128.30	16.29	0.007	65.33
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	4897.79	27.04	-0.020	42.46
	5.00	5370.31	24.66	-0.009	47.52
	10.00	5888.44	22.49	0.010	52.14
	12.50	7244.36	18.28	0.015	61.10
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	5370.32	24.66	-0.012	47.52
	5.00	6309.57	20.99	0.008	55.33
	10.00	7943.28	16.67	0.011	64.52
	12.50	9332.54	14.19	0.017	69.80

Çizelge 4.59’da 313 K’de pH=7,0’da bakırın 0,1 M Na₂SO₄ çözeltisi ve 0,1 M Na₂SO₄ + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Şekil 4.158 - 166’da konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. En yüksek inhibitör etkinliği 313 K de % 69,80 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Varyamin Mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir.

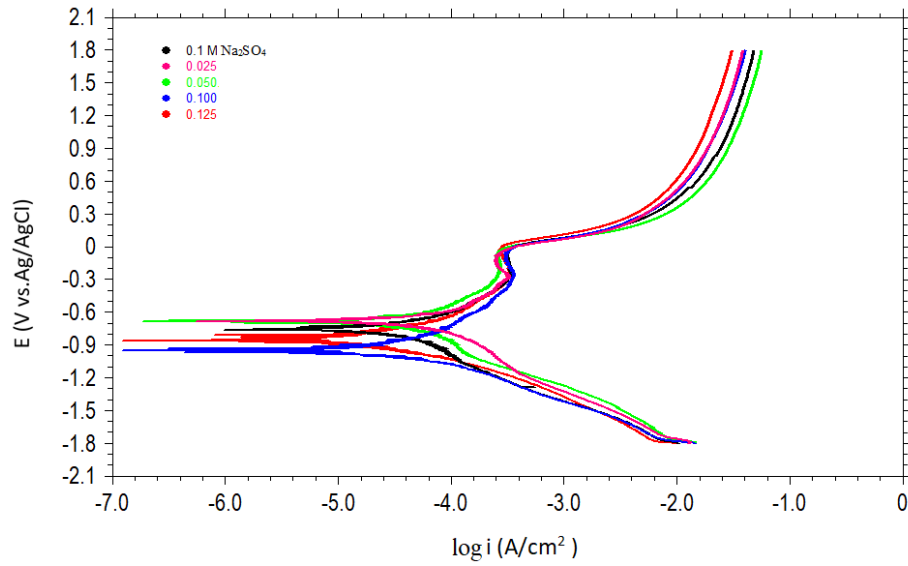
Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.158 - 166). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha negatif potansiyellere kayma olmuştur.



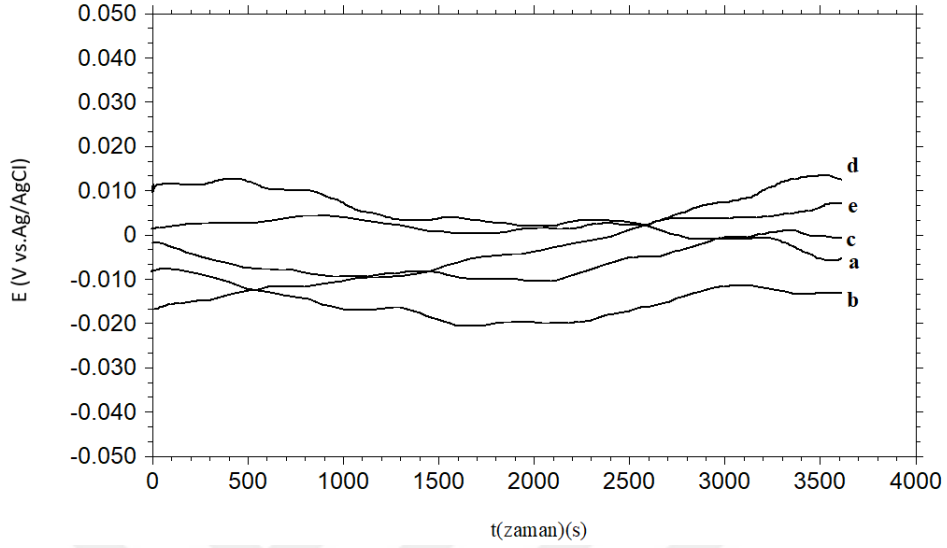
Şekil 4.167. VM için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



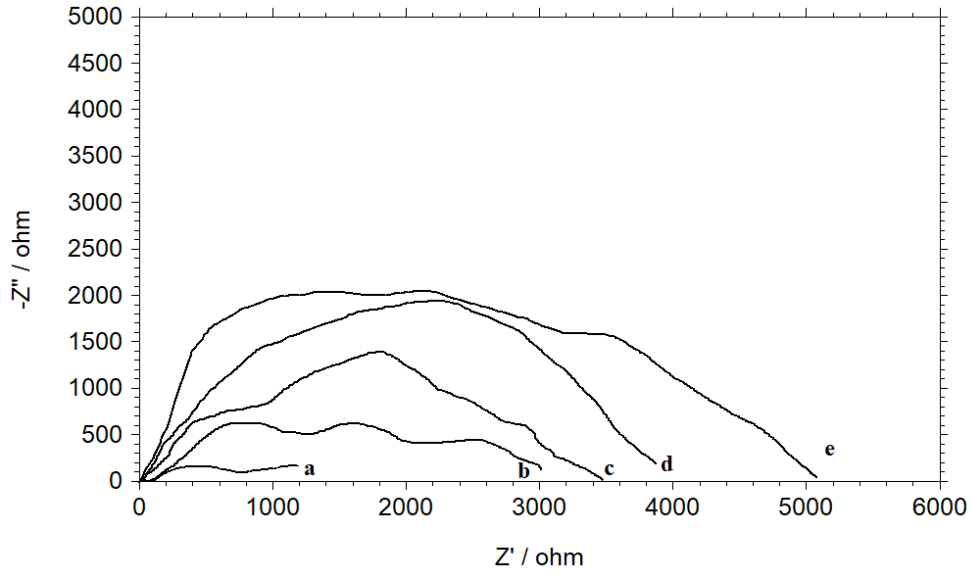
Şekil 4.168. VM için 333 K’de edilen Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



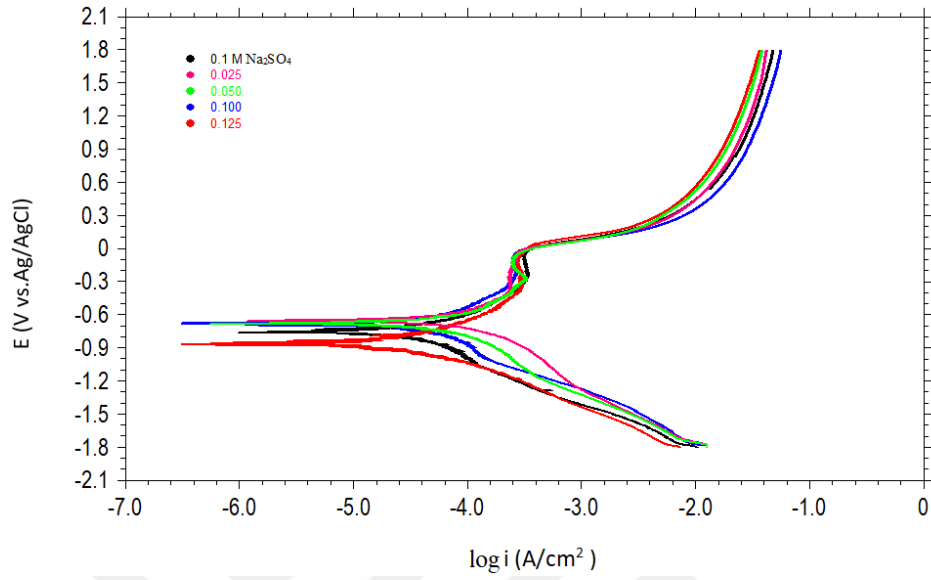
Şekil 4.169. VM için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



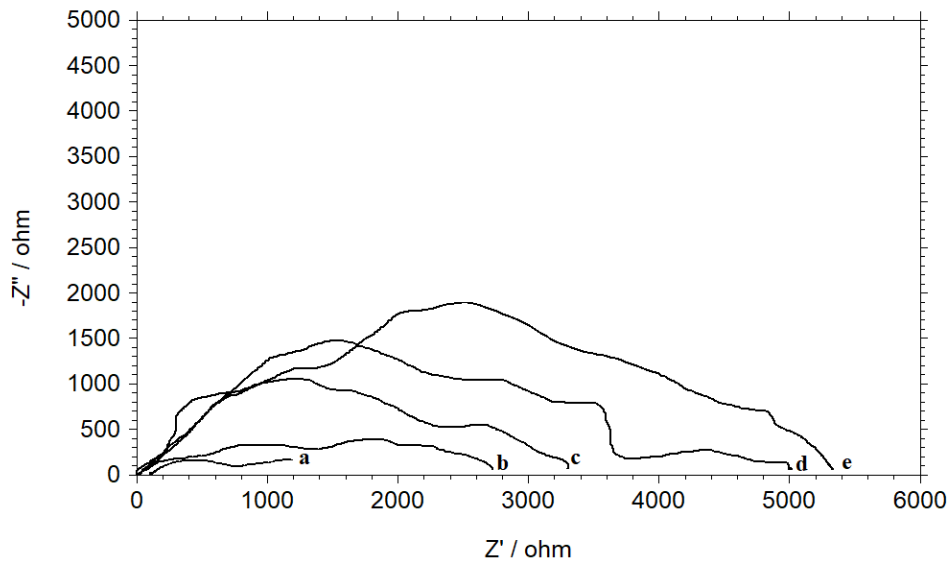
Şekil 4.170. FK için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



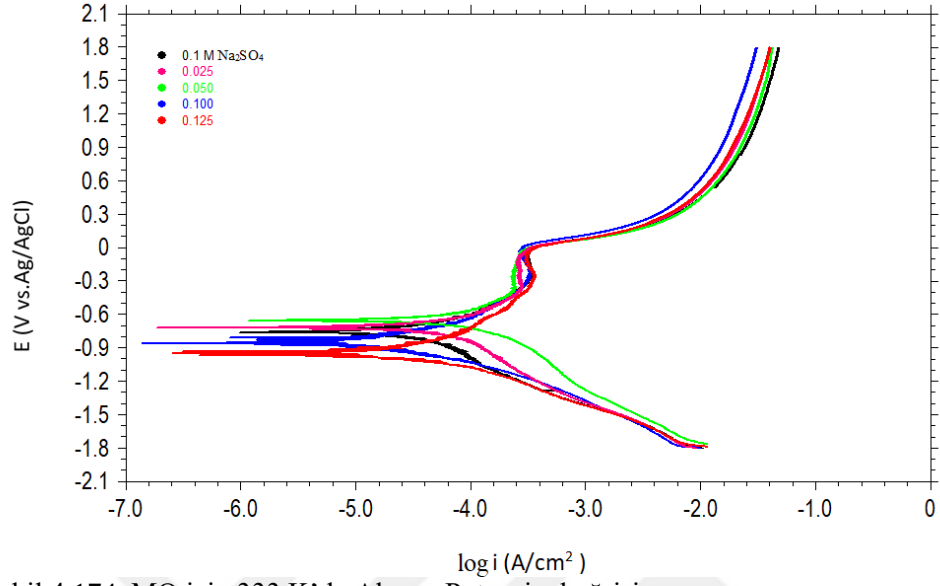
Şekil 4.171. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.172. FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.173. MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b;0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



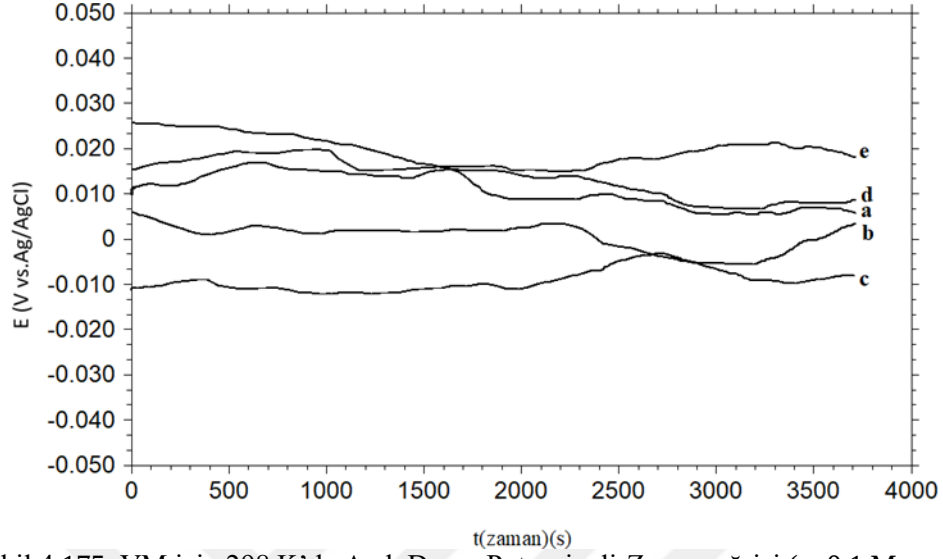
Şekil 4.174. MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.60. 333 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

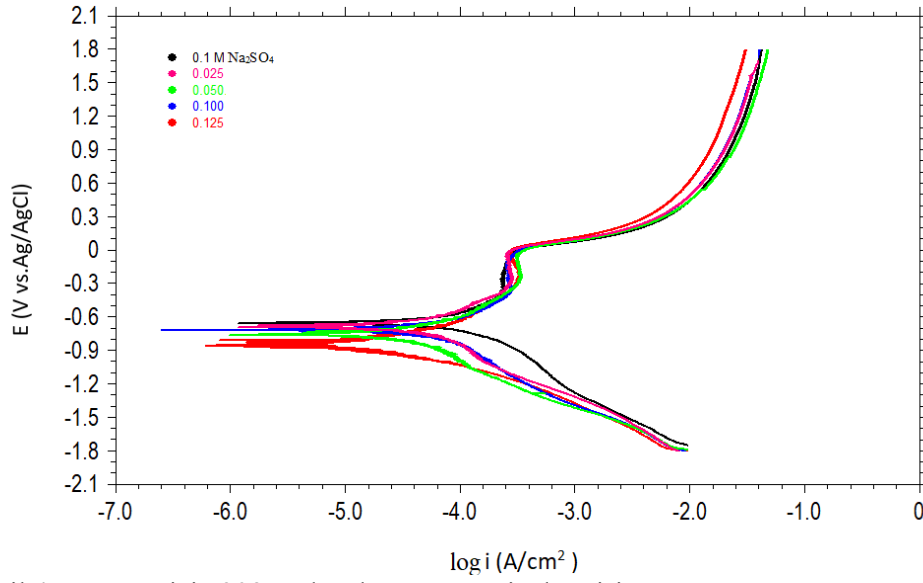
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	2398.83	55.21	-0.004	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2818.38	47.00	0.0035	14.88
	5.00	3548.13	37.33	0.0120	32.39
	10.00	15128.61	25.87	0.0130	53.15
	12.50	5370.32	24.66	0.0180	55.33
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3162.28	41.88	-0.013	24.14
	5.00	3548.13	37.33	-0.001	32.39
	10.00	3981.07	32.27	0.0125	39.74
	12.50	5011.87	26.43	0.007	52.14
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2238.72	59.16	0.009	-
	5.00	3235.93	40.93	-0.023	25.87
	10.00	5011.87	26.43	0.013	52.14
	12.50	5623.41	23.55	-0.015	57.34

Çizelge 4.60’da 333 K’de pH=7,0’da bakırın 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisi ve 0,1 M Na_2SO_4 + boyar madde çözeltisindeki korozyon akım yoğunlukları, Korozyon potansiyelleri, Polarizasyon dirençleri ve inhibisyon Etkinlik yüzdeleri verilmiştir. Şekil 4.167 - 174’de konsantrasyon arttıkça R_p değerleri artmıştır. İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltelerde almıştır. En yüksek inhibitör etkinliği 333 K de % 57,34 olarak 0,125 mmol/L derişim ile Varyamin Mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir.

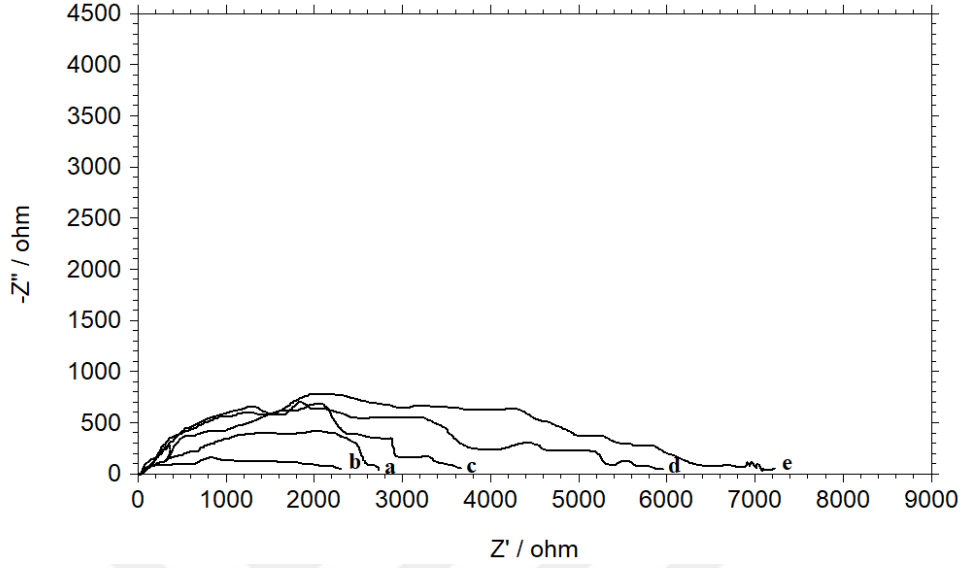
Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır (Şekil 4.167-174). Ortama inhibitör özelliği gösteren madde (boyar madde) eklendikçe daha negatif potansiyellere kayma olmuştur.



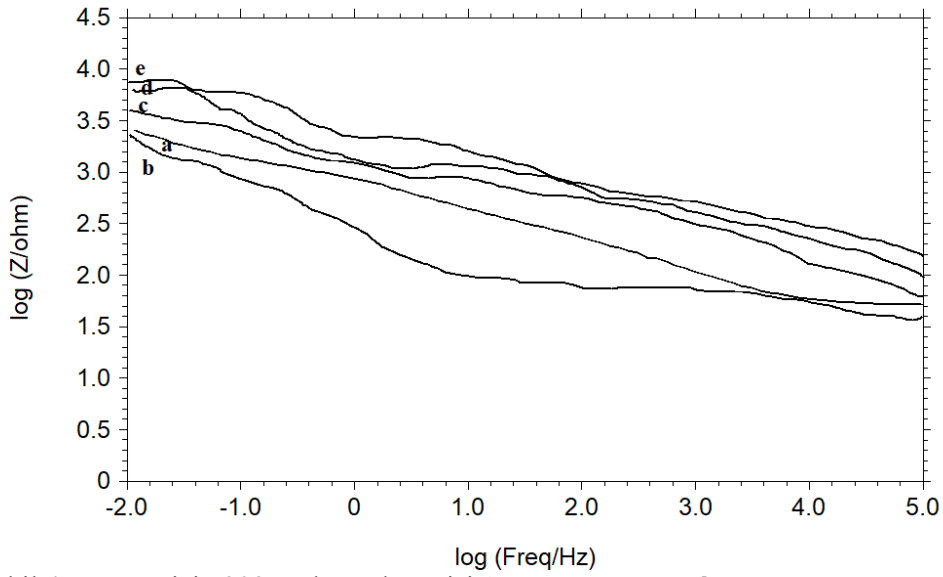
Şekil 4.175. VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



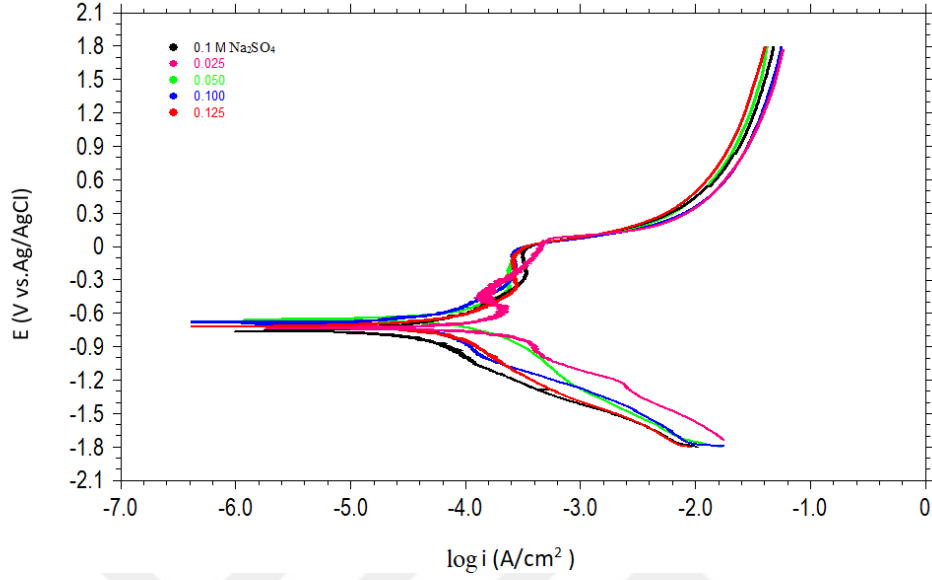
Şekil 4.176. VM için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



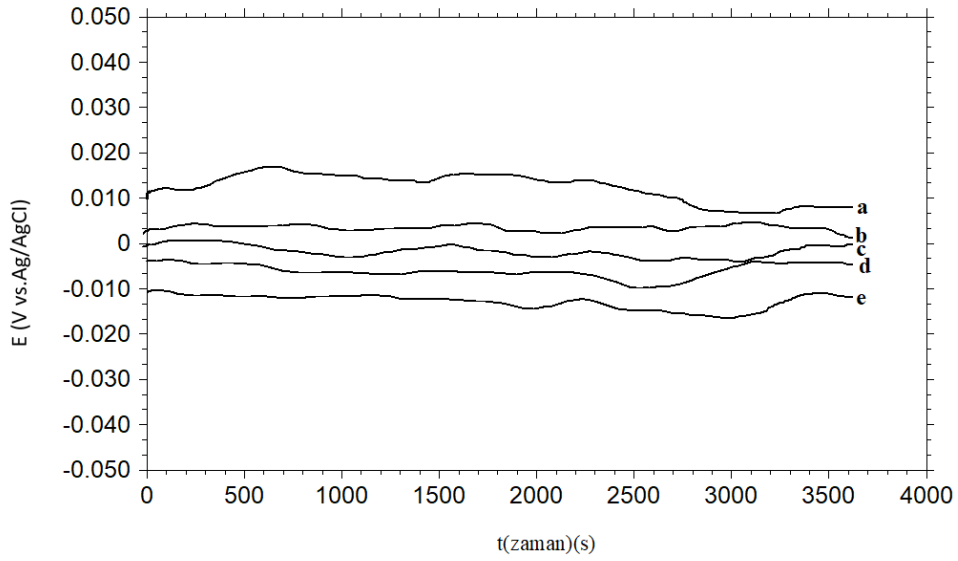
Şekil 4.177. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM).



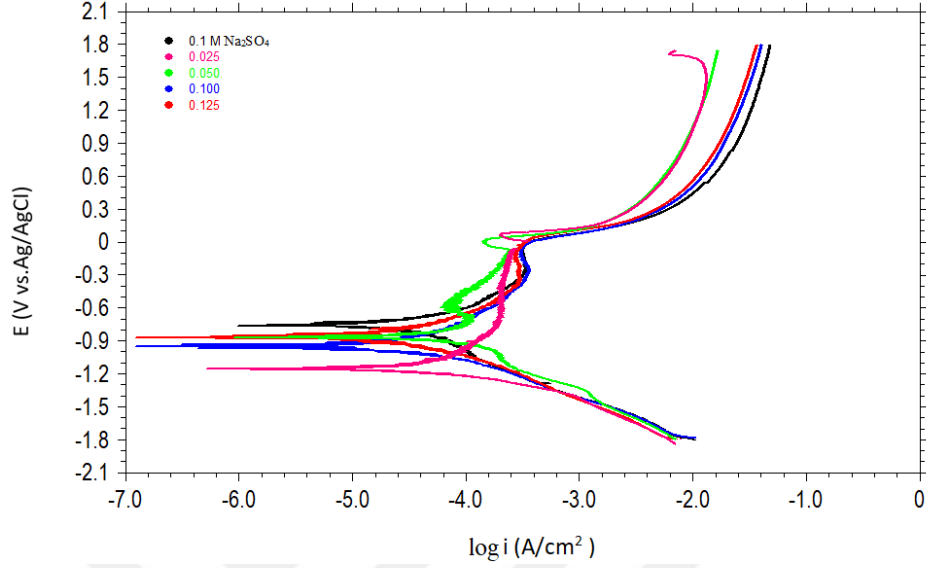
Şekil 4.178. FK için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.179. FK için 298 K’de edilen Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.180. MO için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

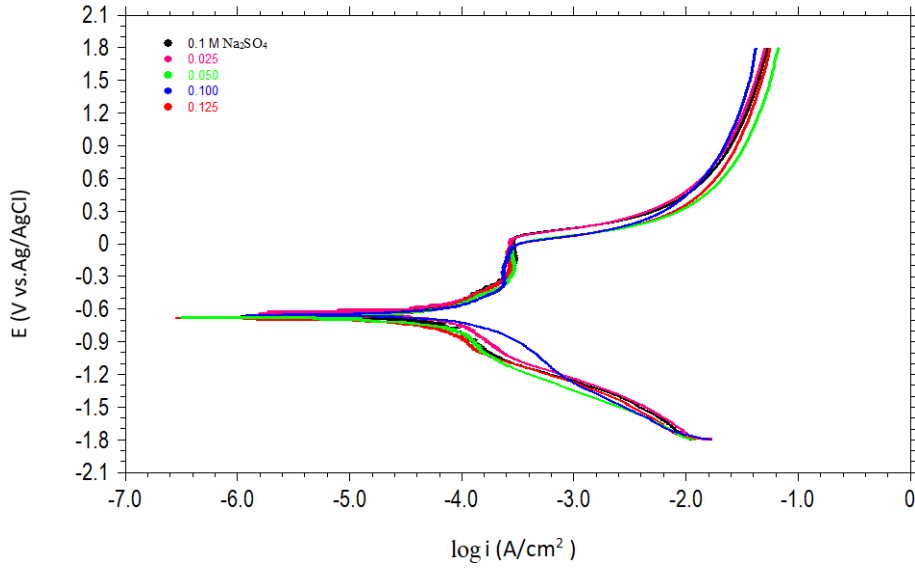


Şekil 4.181. MO için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

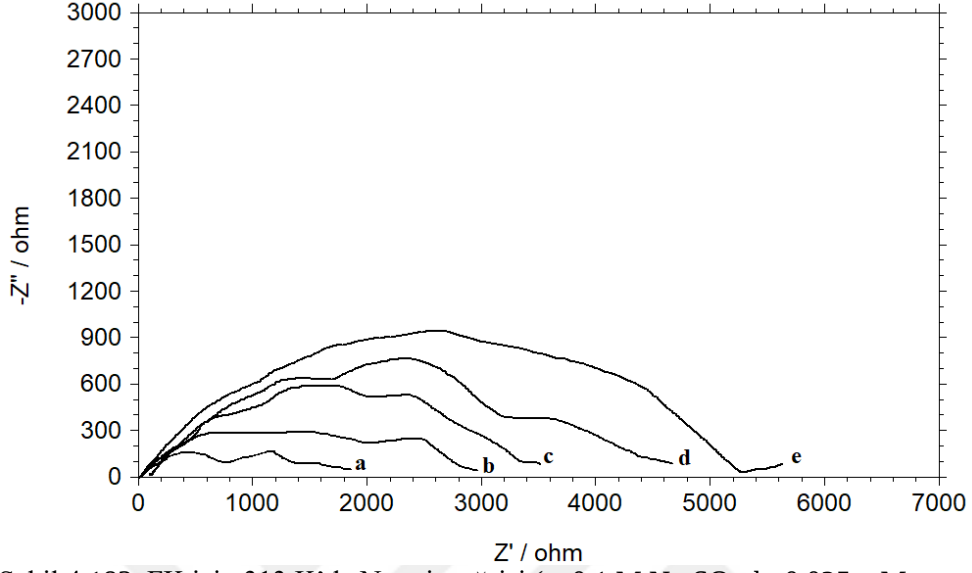
Çizelge 4.61. 298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	2754.00	48.09	0.0063	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3548.13	37.33	0.0015	22.38
	5.00	4677.35	28.32	0.0010	41.12
	10.00	6025.59	21.98	-0.0053	54.29
	12.50	6760.83	19.59	-0.0120	59.27
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2570.39	51.53	-0.0030	-
	5.00	3890.00	34.05	-0.0110	29.20
	10.00	6606.93	20.05	0.0110	58.32
	12.50	7762.00	17.06	0.0020	64.52
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3890.45	34.04	0.0035	29.21
	5.00	5248.08	25.24	-0.0085	47.52
	10.00	7079.46	18.71	0.0092	61.10
	12.50	8128.30	16.29	-0.0180	66.12

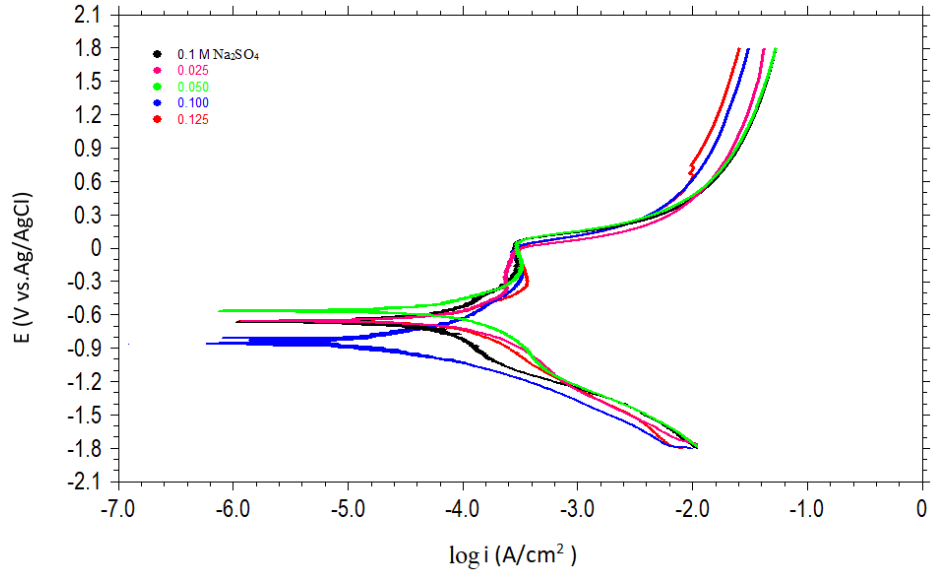
Şekil 4.175- 4.181'e göre 0,1 M Na_2SO_4 + MO çözeltisinde 298 K'de saptanan; E_{kor} değerleri sırasıyla 0,0015 V, 0,0010 V, - 0,0053 V ve - 0,0120 V, 0,1 M Na_2SO_4 + FK çözeltisinde -0,0030 V - 0,0110 V, 0,0110 V, 0,0020 V, 0,1 M Na_2SO_4 + VM çözeltisinde 0,0035 V, -0,0085 V, 0,0092 V, -0,0180 V olmuştur. Akım değerleri inhibitör derişimi arttıkça azalmıştır. Ortama boyar madde ilavesi ile bakır yüzeyine iyi adsorlanmasına bağlı olarak iyonik iletkenlik her iki uçta da azaldığından, akım yoğunluğu değerleri azalmıştır (Çizelge 4.61).



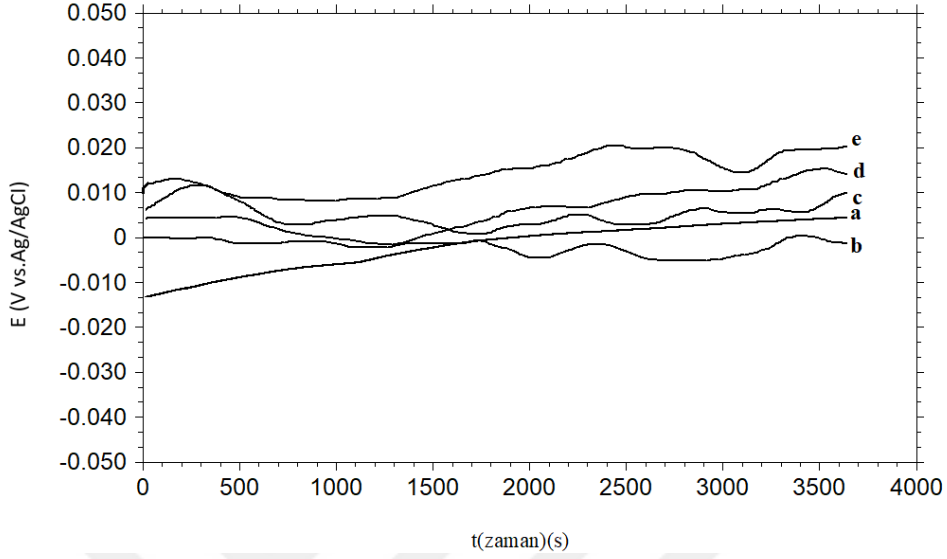
Şekil 4.182. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



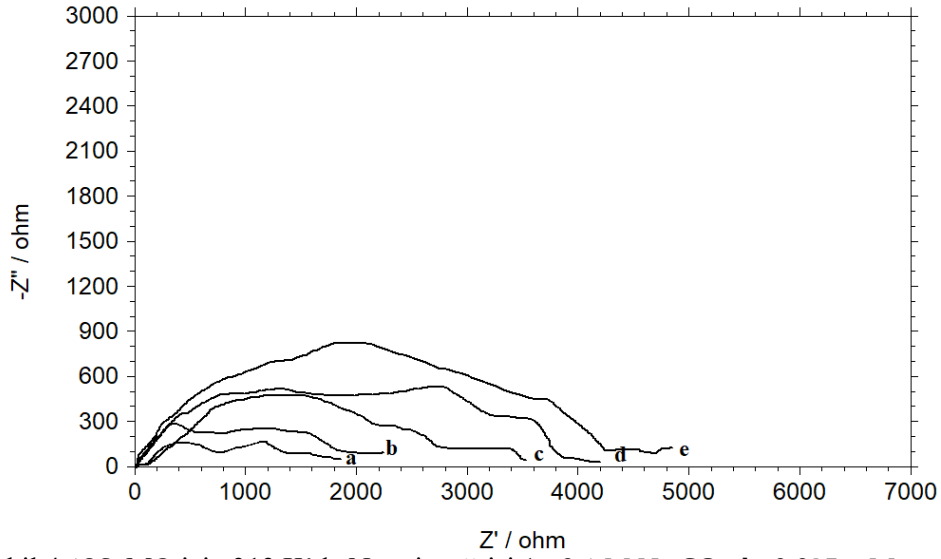
Şekil 4.183. FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



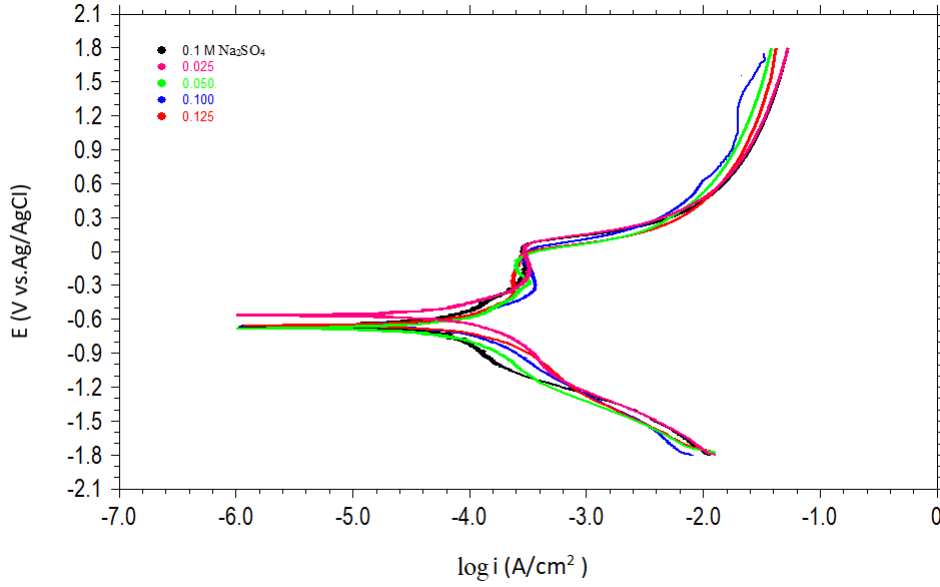
Şekil 4.184. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.185. MO için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.186. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

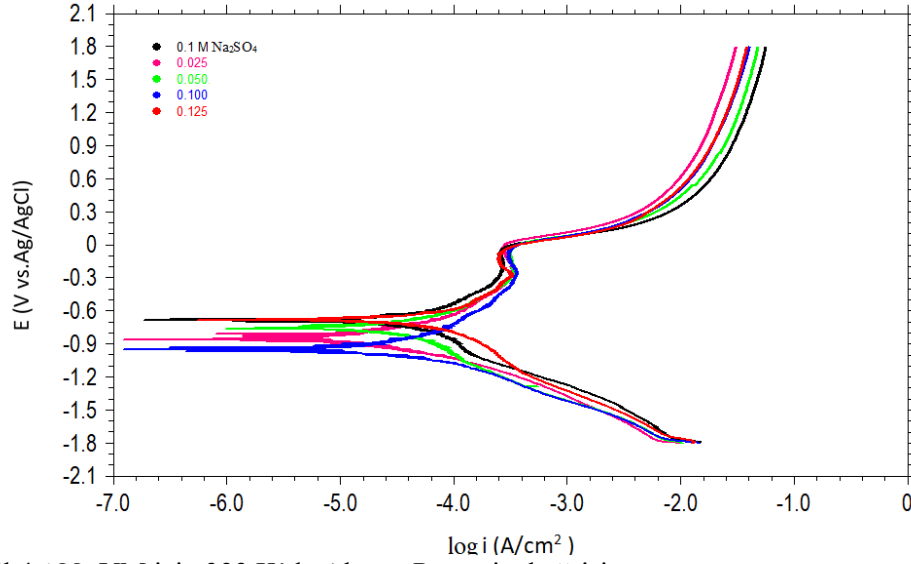


Şekil 4.187. MO için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

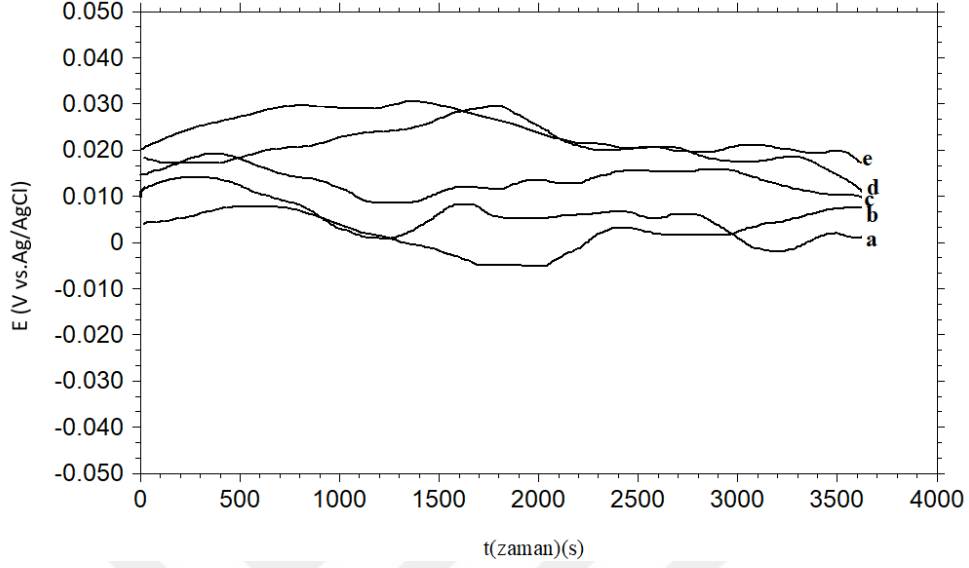
Çizelge 4.62. 313 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	2511.00	52.75	0.0040	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3162.28	41.88	-0.0020	20.60
	5.00	4073.80	32.51	0.0100	38.36
	10.00	4897.79	27.04	0.0120	48.73
	12.50	6025.59	21.98	0.0210	58.33
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3235.94	40.93	0.0030	22.60
	5.00	3890.45	34.04	0.0050	35.46
	10.00	5011.87	26.43	0.0120	49.90
	12.50	6309.57	20.99	0.0023	60.20
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3388.44	39.09	0.0100	25.89
	5.00	3981.07	33.27	-0.0180	36.93
	10.00	4897.79	27.04	0.0220	48.73
	12.50	6165.95	21.48	-0.0400	59.28

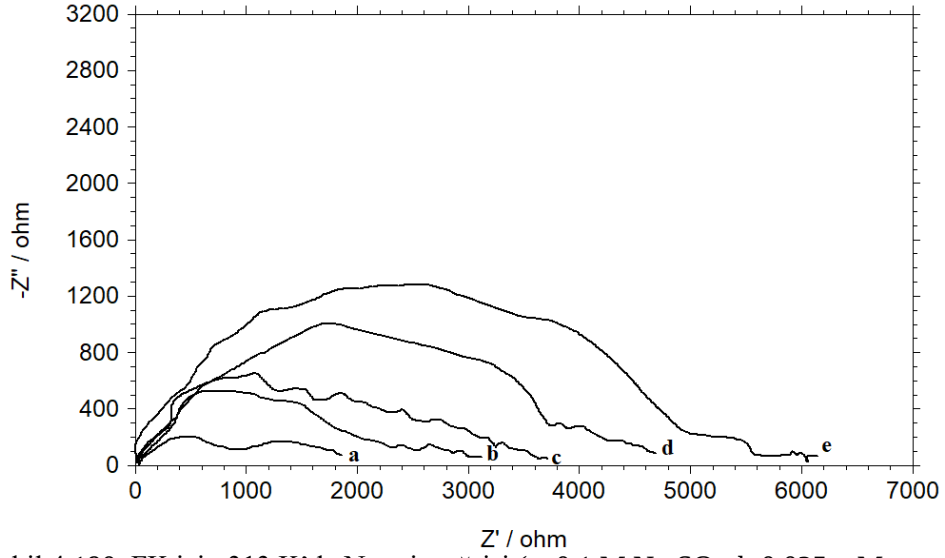
Şekil 4.182 - 4.187'e göre 0,1 M Na_2SO_4 + MO çözeltisinde 313 K'de saptanan; E_{kor} değerleri sırasıyla $-0,0020\text{V}$, $0,0100\text{V}$, $0,0120\text{V}$ ve $0,0210\text{V}$, 0,1 M Na_2SO_4 + FK çözeltisinde $0,0030\text{V}$, $0,0050\text{V}$, $0,0120\text{V}$, $0,0023\text{V}$, 0,1 M Na_2SO_4 VM çözeltisinde $0,0100\text{V}$, $-0,0180\text{V}$, $-0,0220\text{V}$, $-0,0400\text{V}$ olmuştur. Akım değerleri inhibitör derişimi arttıkça azalmıştır. Ortama boyar madde ilavesi ile bakırın yüzeyine iyi adsorlanmasına bağlı olarak iyonik iletkenlik her iki uçta da azaldığından, akım yoğunluğu değerleri azalmıştır (Çizelge 4.62).



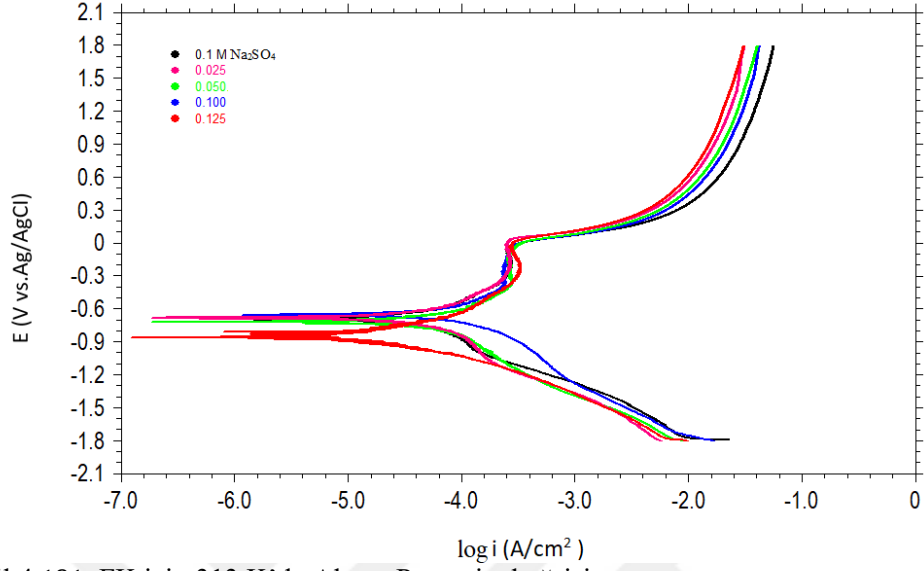
Şekil 4.188. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



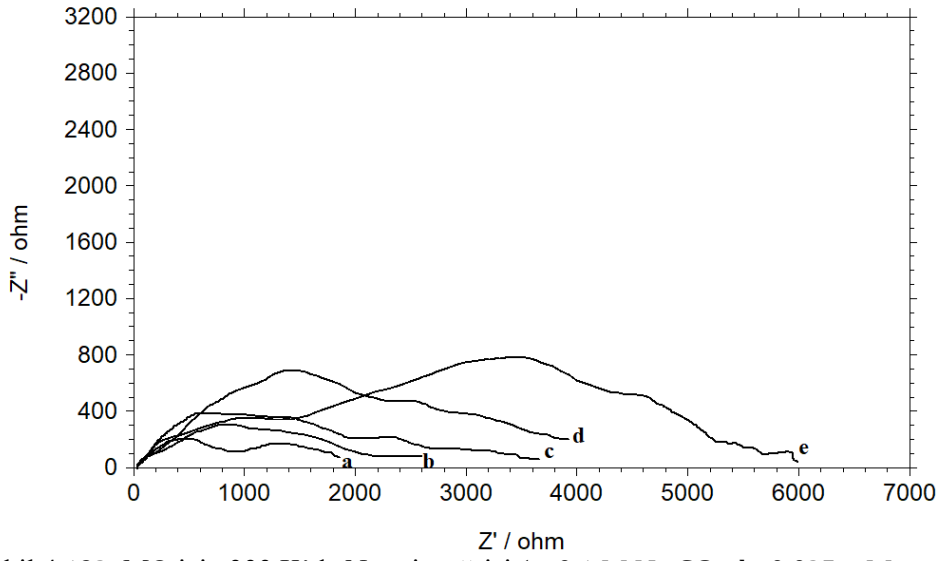
Şekil 4.189. FK için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



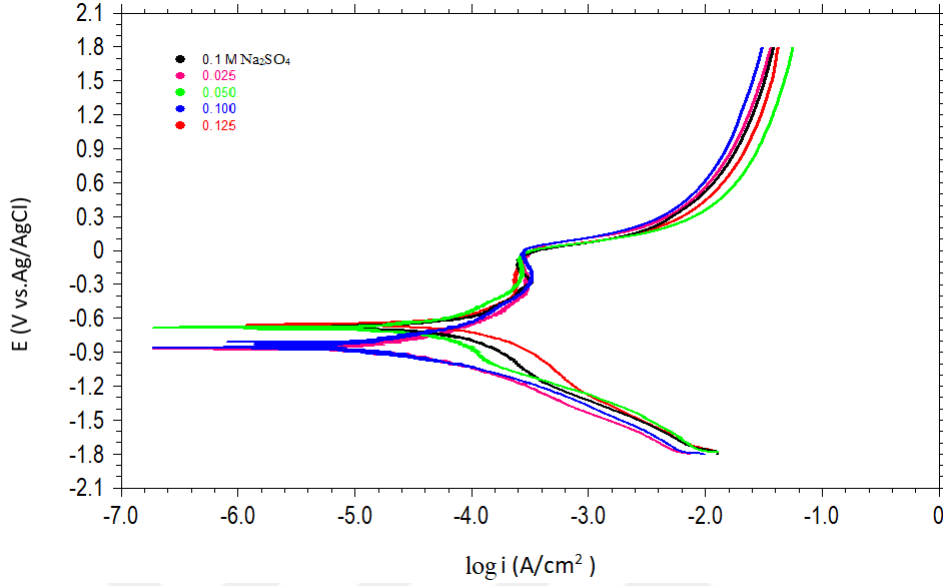
Şekil 4.190. FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b;0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.191. FK için 313 K’de Akım- Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.192. MO için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.193. MO için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.63. 333 K'de, pH'sı 9,0'da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	2398.83	55.21	0.0010	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2884.00	45.93	0.0110	16.82
	5.00	3311.31	40.00	0.0150	27.56
	10.00	3890.01	34.05	0.0160	38.33
	12.50	4466.84	29.65	0.0190	46.30
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	2951.89	44.87	0.0060	18.74
	5.00	3392.35	39.04	0.0090	29.29
	10.00	3990.25	33.19	0.0400	39.88
	12.50	4897.79	27.04	0.0160	51.02
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	3169.56	41.79	-0.0020	24.32
	5.00	3548.13	37.33	0.0050	32.39
	10.00	4466.84	29.66	0.0110	46.29
	12.50	5128.61	25.83	-0.0400	53.23

Sıcaklık arttıkça R_p değerleri azalmış ve inhibisyon etkinliği sıcaklık

artışıyla tüm solüsyonlarda azalmıştır (Çizelge 4.63.). Polarizasyon direncindeki azalış sıcaklığın artmasıyla, bakırın yüzeyine tutunan boyar maddelerin molekül sayısının azaldığının göstergesidir.

4.14. Adsorpsiyon İzotermeleri

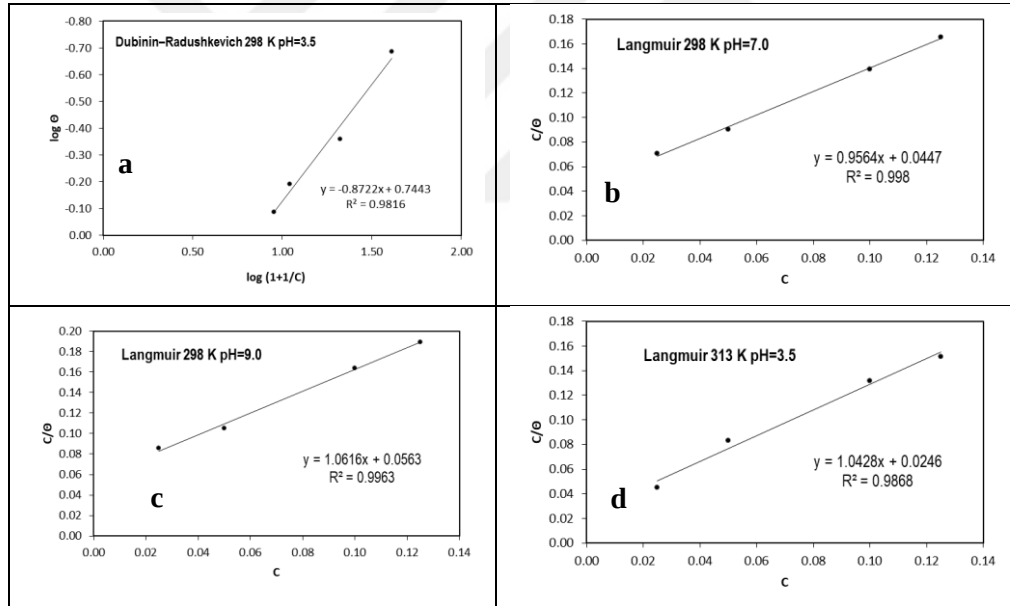
Sıcaklığın ΔG_{ads}° değerine etkisini belirlemek amacıyla 298 K–333 K’de farklı derişimlerdeki inhibitörlerin iki buçuk saat denge sonunda EIS ölçümlerinden elde edilen yüzey kaplama kesri (θ) değerleri kullanılarak her sıcaklıkta uygun olan (R^2 değeri bire en yakın olan) adsorpsiyon izotermi çizilmiştir (Şekil 4.194-196). Bu izotermi hesaplanan ΔG_{ads}° değerleri Çizelge 4.64; 4.69; 4.73’de verilmiştir. ΔG_{ads}° değerleri sıcaklık arttıkça -20 kJ/mol’den daha negatif değerler almıştır.

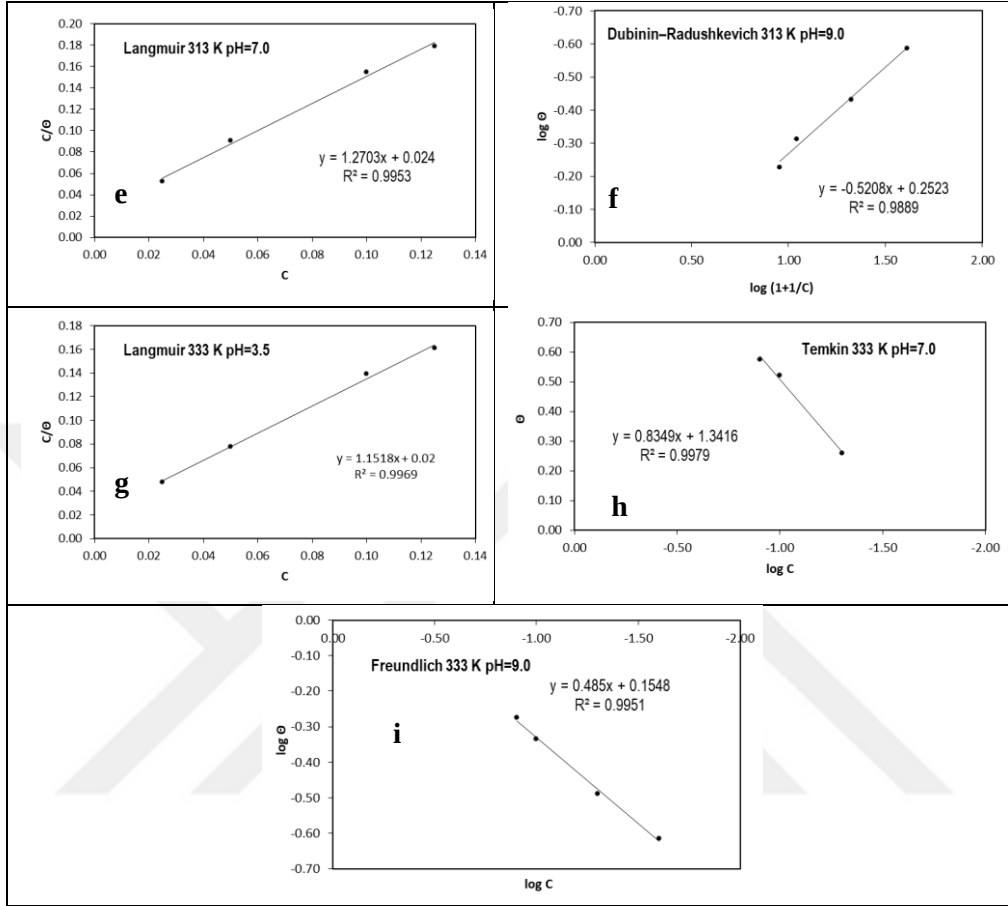
Metil oranjın pH= 3,5’de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin, Temkin ve Dubinin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=3,5’de 298; 333; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Dubinin, Langmuir ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=3,5’de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin, Temkin ve Dubinin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

Metil oranjın pH=7,0’da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir, Langmuir ve Dubinin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=7,0’ da 298; 333; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Dubinin, Langmuir, Langmuir ve Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=7,0’ da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Langmuir, Langmuir ve Dubinin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20kJ/mol civarında olduğu için fiziksel

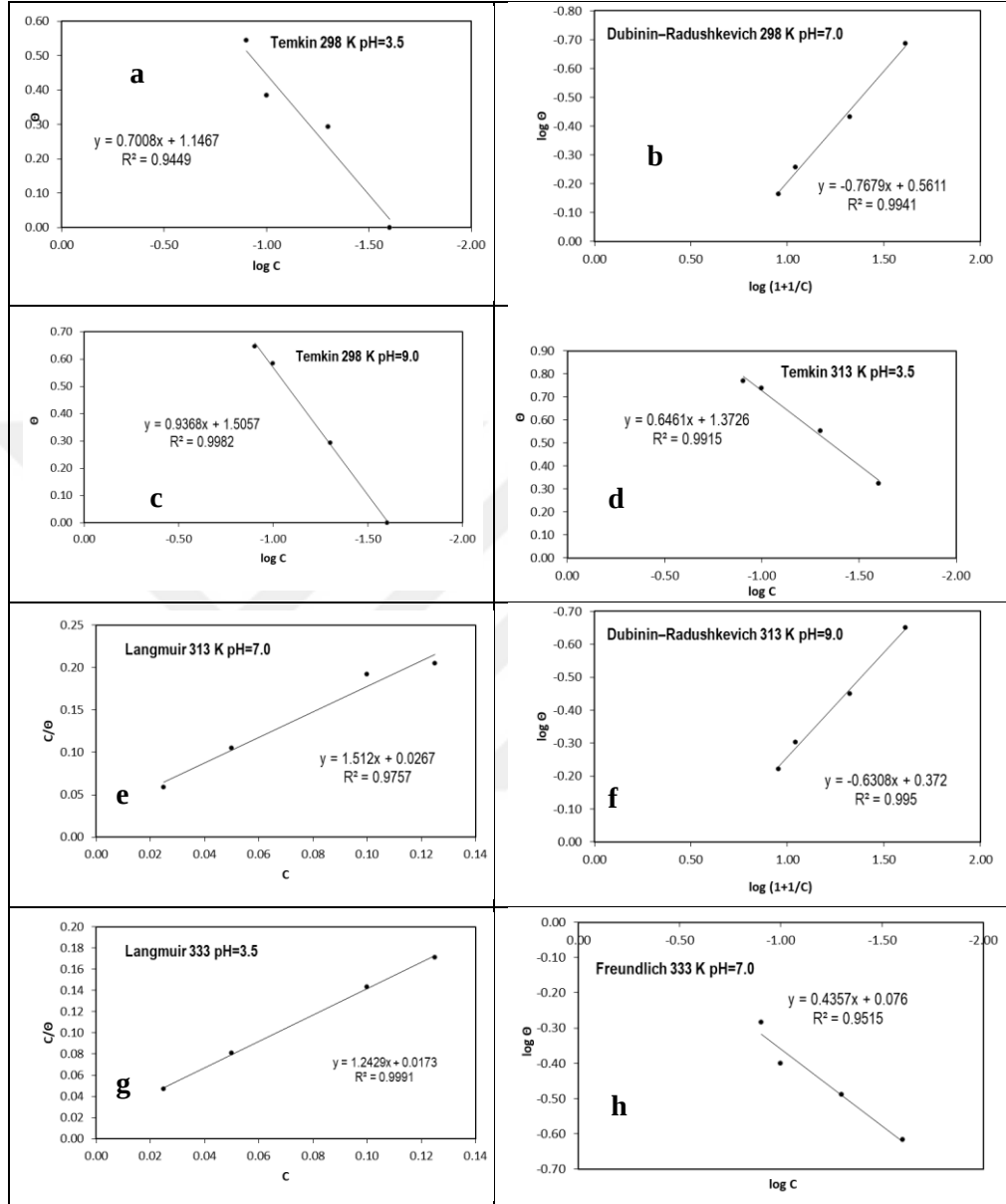
adsorpsiyon söz konusudur.

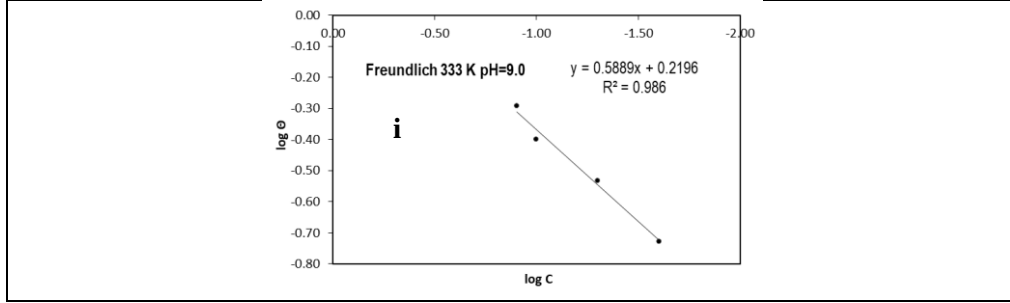
Metil oranjin pH=9,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin, Temkin ve Dubinin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin pH=9,0'da 298; 333; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir, Dubinin ve Freundlinch adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının pH=9,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Temkin, Dubinin ve Freundlinch adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.



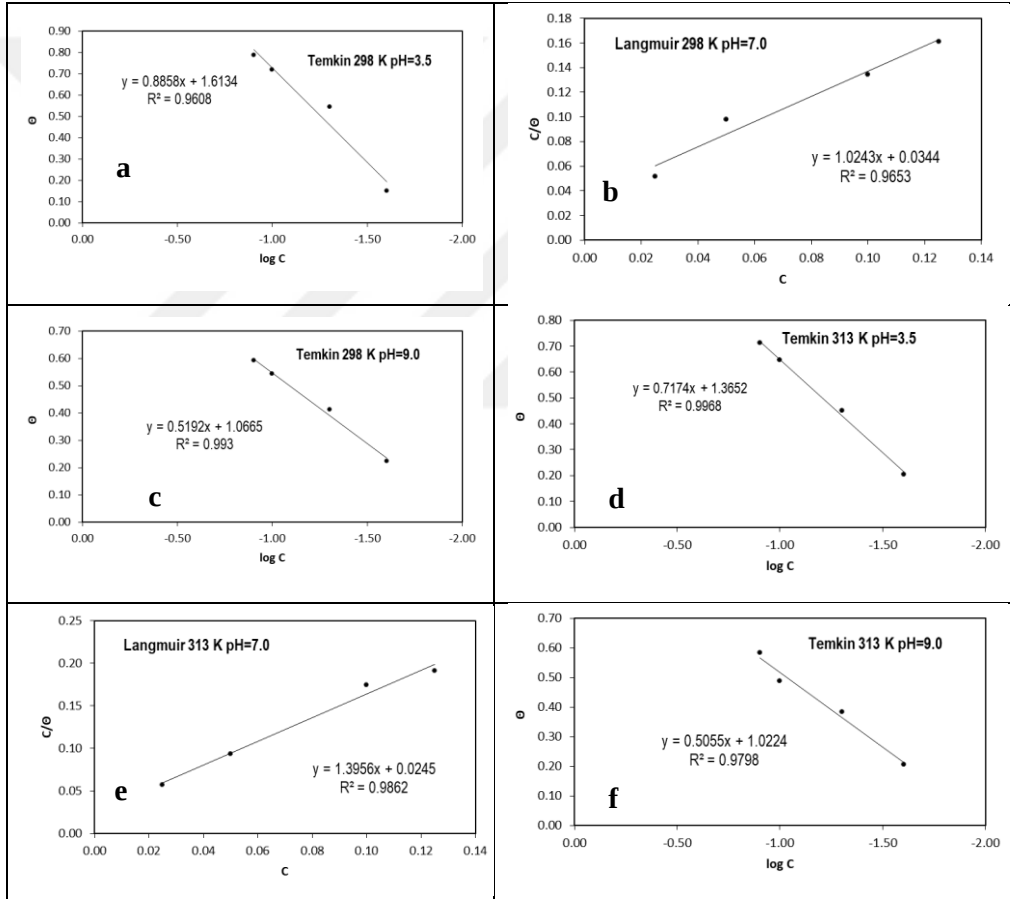


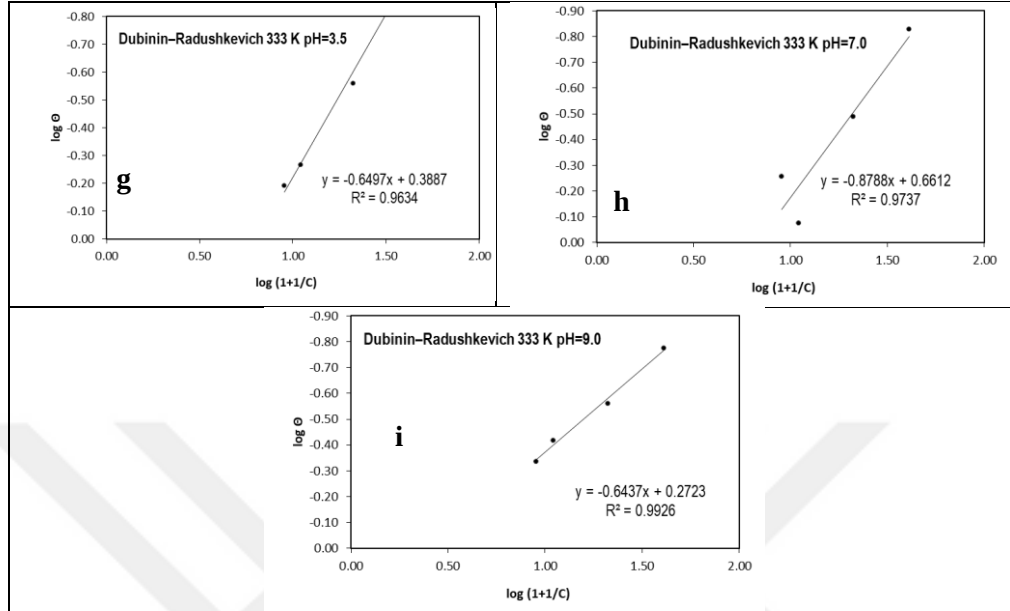
Şekil 4.194. VM için Adsorpsiyon İzotermi.





Şekil 4.195. FK için Adsorpsiyon İzotermi.





Şekil 4.196. MO için Adsorpsiyon İzotermi.

4.15. Bakırın 0,1 M Na₂SO₄ Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{ads}° , ΔS_{ads}° ve ΔH_{ads}° Değerleri

Ortama inhibitör eklendikçe ΔS_{ads}° değerleri azalmıştır. İnhibitör bileşiklerinde ΔS° değerlerinin ortama inhibitör eklendikçe daha da azalması çözeltide bulunan inhibitör molekülleri ile su moleküllerinin yer değiştirmesi sonucu düzensizliğin azalması ile açıklanabilir (Çizelge 4.65). Aynı zamanda korozyon devam ettiği için de bazı boyar maddelerin maksimum konsantrasyonlarında artma da söz konusu olmuştur. Saptanan ΔH_{ads}° değerleri genel olarak VM; FK; MO için tüm sıcaklıklarda negatif olmuştur. Bazı derişimlerde ve sıcaklıklarda pozitif olmuştur. ΔH_{ads}° 'nin, negatif değerleri inhibitör moleküllerinin adsorpsiyon süreçlerinin bahsedilen sıcaklıklarda ekzotermik olduğu ve polarizasyon direncinin sıcaklık artışıyla azalması bu sonuçla da uyumlu olmuştur (Çizelge 4.64 -78). Adsorpsiyon entalpisi -200 kJ/mol civarında olan etkileşimler sonundaki tutunmalar kimyasal adsorpsiyondur. Tanecikler ve yüzey arasında kovalent bağ oluşmaktadır. Çoğu kimyasal adsorpsiyonlar ekzotermik olduğu halde bazı kimyasal

adsorpsiyonlar endotermik olabilir.

Çizelge 4.64. pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
298	-27.79	-26.72	-27.16
313	-38.07	-27.60	-27.62
333	-41.07	-41.47	-32.86

Çizelge 4.65. pH=3,5’da ΔS_{ads}° değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	MO + 0.1M Na_2SO_4	358.373 5.513 60.648 215.024 187.457
2.50 5.00 10.00 12.50	FK + 0.1M Na_2SO_4	49.621 104.755 275.671 452.101
2.50 5.00 10.00 12.50	VM + 0.1M Na_2SO_4	358.373 137.836 27.567 319.779 292.212

Çizelge 4. 66. MO için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	79.635
2.50		-25.517
5.00		-9.087
10.00		36.917
12.50		28.702
0	313	84.551
2.50		-25.894
5.00		-8.637
10.00		39.682
12.50		31.054
0	333	86.478
2.50		-31.024
5.00		-12.664
10.00		38.743
12.50		29.563

Çizelge 4.67. FK için pH=3,5’de ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	80.075
2.50		-11.933
5.00		4.497
10.00		55.430
12.50		108.006
0	313	84.571
2.50		-12.069
5.00		5.188
10.00		58.685
12.50		113.908
0	333	77.868
2.50		-24.946
5.00		-6.587
10.00		50.329
12.50		109.080

Çizelge 4.68. VM için pH=3,5’de ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0	298	79.005
2.50		13.285
5.00		-19.575
10.00		67.504
12.50		59.289
0	313	74.101
2.50		5.073
5.00		-29.441
10.00		62.021
12.50		53.392
0	333	78.268
2.50		4.829
5.00		-31.890
10.00		65.416
12.50		56.237

Çizelge 4. 69. pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
298	-34.76	-28.49	-35.41
313	-38.13	-37.86	-38.08
333	-29.43	-37.38	-31.56

Çizelge 4.70. pH=7,0'da ΔS°_{ads} değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS°_{ads} , J/mol.K)
0	MO + 0.1M Na_2SO_4	159.889
2.50		267.401
5.00		286.698
10.00		220.537
12.50		159.889
2.50	FK + 0.1M Na_2SO_4	137.836
5.00		148.863
10.00		179.186
12.50		77.188
2.50	VM + 0.1M Na_2SO_4	121.295
5.00		-99.242
10.00		66.161
12.50		-110.269

Çizelge 4.71. MO için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	12.237
2.50		44.276
5.00		50.026
10.00		30.310
12.50		12.237
0	313	11.965
2.50		45.617
5.00		51.657
10.00		30.948
12.50		11.965
0	333	21.683
2.50		57.485
5.00		63.911
10.00		41.879
12.50		21.683

Çizelge 4. 72. FK için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	19.157
2.50		12.585
5.00		15.871
10.00		24.908
12.50		-5.488
0	313	12.185
2.50		5.283
5.00		8.734
10.00		18.225
12.50		-13.700
0	333	15.863
2.50		8.519
5.00		12.191
10.00		22.289
12.50		-11.676

Çizelge 4. 73.VM için pH=7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	12.887
2.50		1.386
5.00		-64.334
10.00		-15.044
12.50		-67.620
0	313	11.915
2.50		-0.165
5.00		-69.193
10.00		-17.422
12.50		-72.644
0	333	23.813
2.50		10.961
5.00		-62.477
10.00		-7.398
12.50		-66.149

Çizelge 4. 74. pH=9,0'da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
298	-34.19	-26.05	-26.91
313	-32.01	-31.00	-28.37
333	-35.41	-34.44	-33.85

Çizelge 4. 75. pH=9,0'da ΔS_{ads}° değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	MO + 0.1M Na_2SO_4	-29.221
2.50		52.378
5.00		77.188
10.00		117.436
12.50		170.916
2.50	FK + 0.1M Na_2SO_4	49.621
5.00		93.728
10.00		-11.027
12.50		209.510
2.50	VM + 0.1M Na_2SO_4	68.918
5.00		35.837
10.00		-23.156
12.50		159.889

Çizelge 4. 76. MO için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-35.618
2.50		-11.301
5.00		-3.908
10.00		8.086
12.50		24.023
0	313	-37.516
2.50		-11.976
5.00		-4.210
10.00		8.387
12.50		25.127
0	333	-43.581
2.50		-16.408
5.00		-8.146
10.00		5.256
12.50		23.065

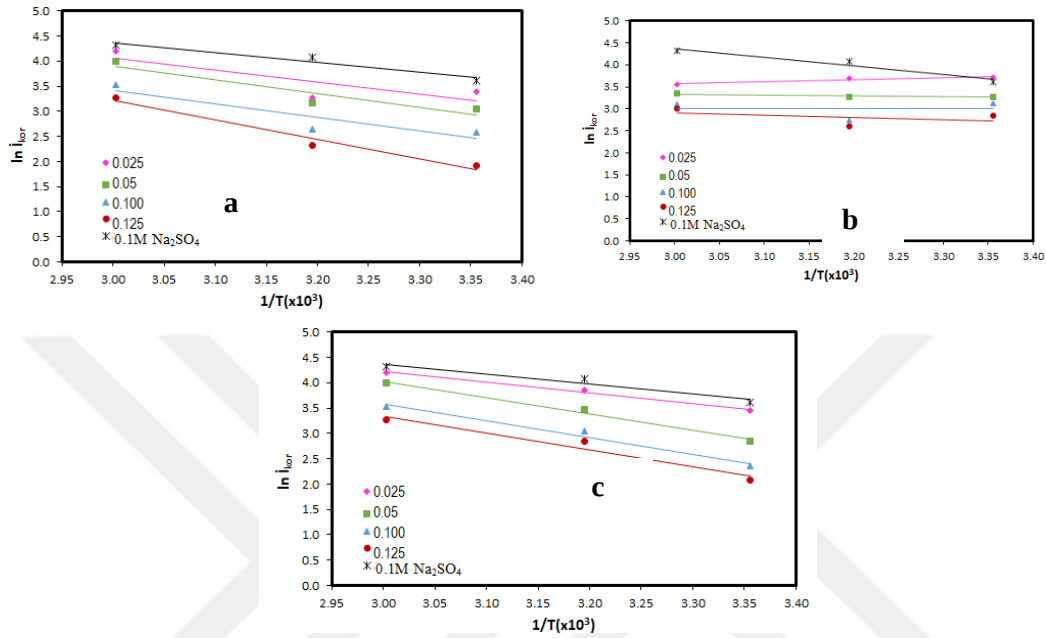
Çizelge 4. 77. FK için pH=9,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0	298	-34.758
2.50		-11.263
5.00		1.881
10.00		-29.336
12.50		36.384
0	313	-40.146
2.50		-15.469
5.00		-1.663
10.00		-34.451
12.50		34.577
0	333	-44.171
2.50		-17.916
5.00		-3.228
10.00		-38.112
12.50		35.327

Çizelge 4. 78. VM için pH=9,0'da ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.50 5.00 10.00 12.50	298	-42.898 -13.652 -23.510 -41.091 13.457
0 2.50 5.00 10.00 12.50	313	-41.156 -10.439 -20.793 -39.258 18.035
0 2.50 5.00 10.00 12.50	333	-45.141 -12.460 -23.476 -43.121 17.833

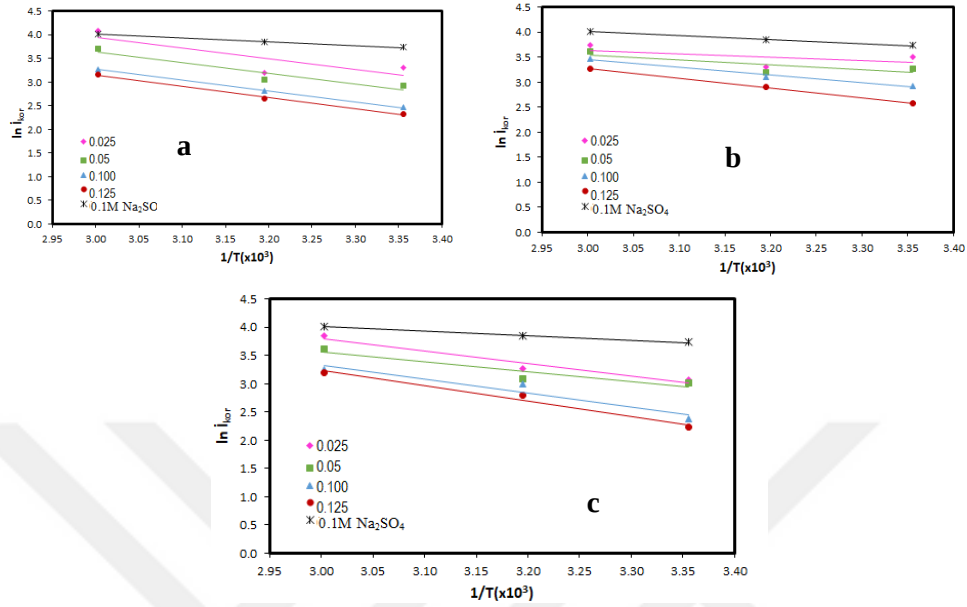
4.16. Arrhenius doğruları



Şekil 4. 197. pH=3,5’de VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4. 79. pH=3,5’da E_a^* değerleri

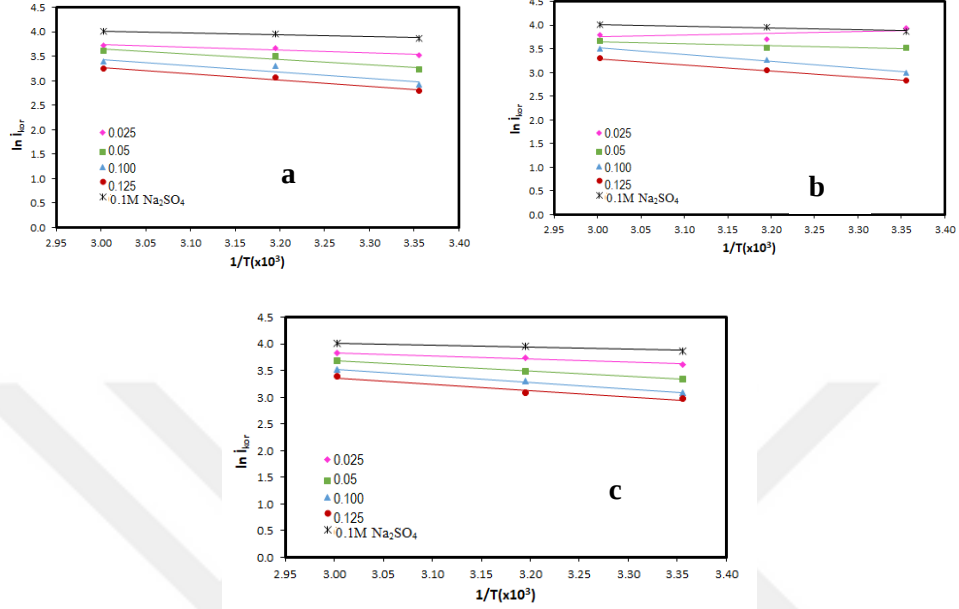
İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
0	16.08	-	-
2.50	4.62	3.87	17.29
5.00	5.41	1.67	26.97
10.00	11.05	0.016	27.47
12.50	21.16	4.22	27.93



Şekil 4.198. pH=7,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4. 80. pH=7,0'da E_a^* değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
0	6.53	-	-
2.50	19.07	14.34	24.23
5.00	18.78	10.91	14.39
10.00	19.03	8.52	15.30
12.50	19.62	13.84	22.64



Şekil 4.199. pH=9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) için Arrhenius Doğruları.

Çizelge 4.81. pH=9,0'da E_a^* değerleri

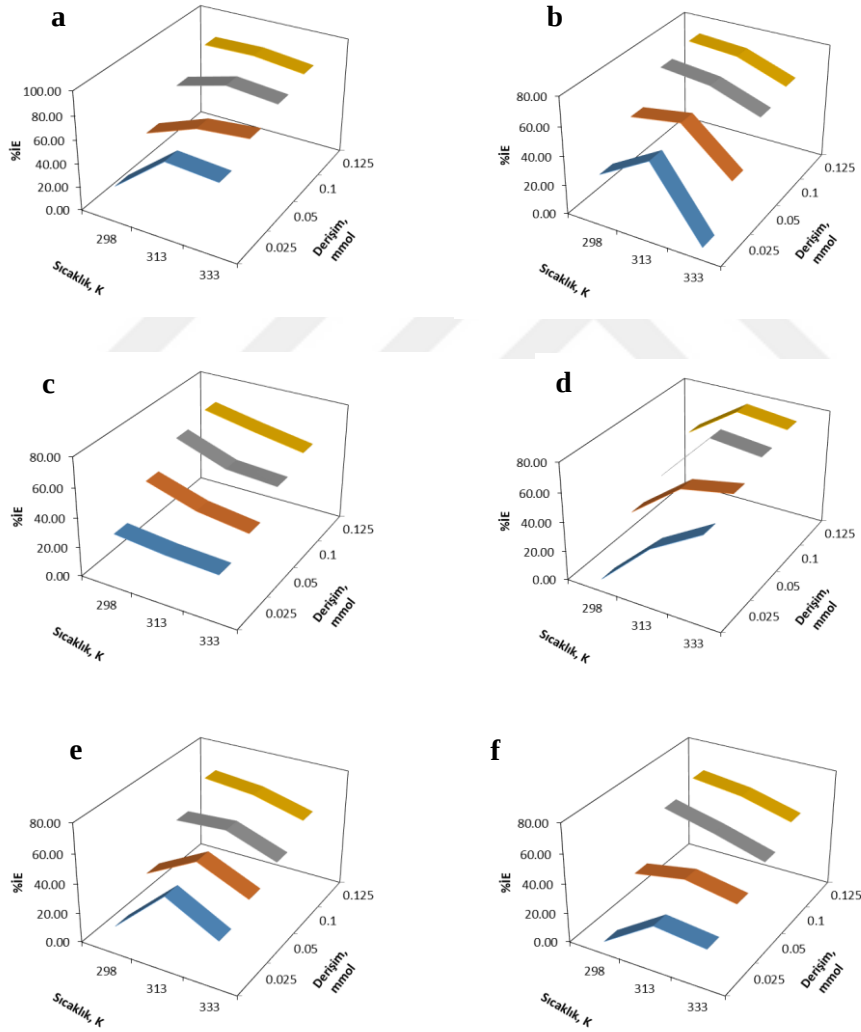
İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
0	3.21	-	-
2.50	4.77	3.03	4.86
5.00	9.09	3.31	18.17
10.00	10.64	11.82	10.30
12.50	10.76	10.86	9.87

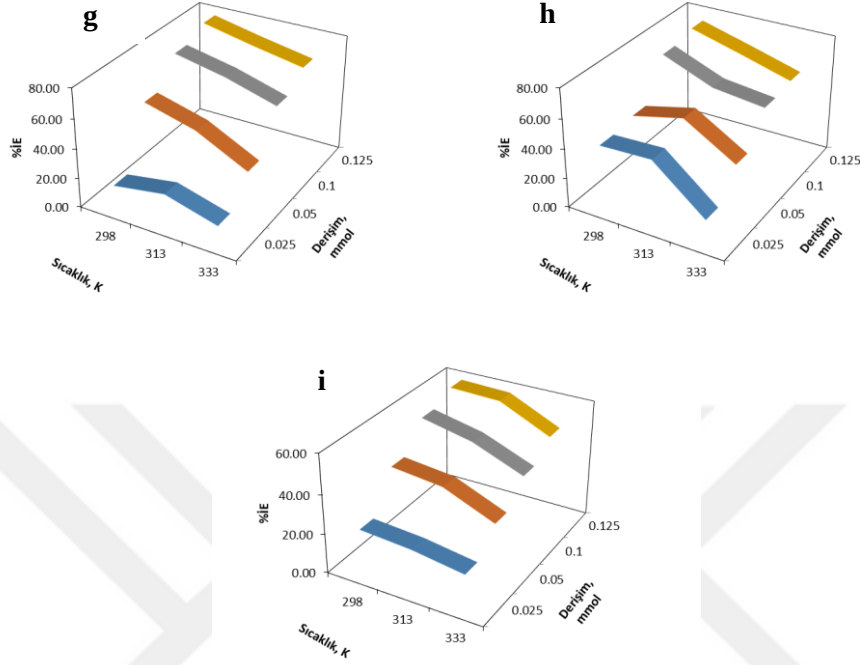
Bakırın pH=3,5; 7,0; 9,0, 298; 313; 333 K sıcaklıklarda, Sülfat ve Sülfat + xM VM, FK ve MO içeren ortamlardaki Aktivasyon Enerjileri artan

konsantrasyon ile artmıştır.

İnhibisyon etkinliği, Variamin Mavisi, Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj derişimindeki artma ile artmıştır. Artan sıcaklık ile azalmıştır. Aktivasyon Enerjileri de artan konsantrasyon ile artmıştır.

4.17. İnhibisyon Etkinliği Değerleri



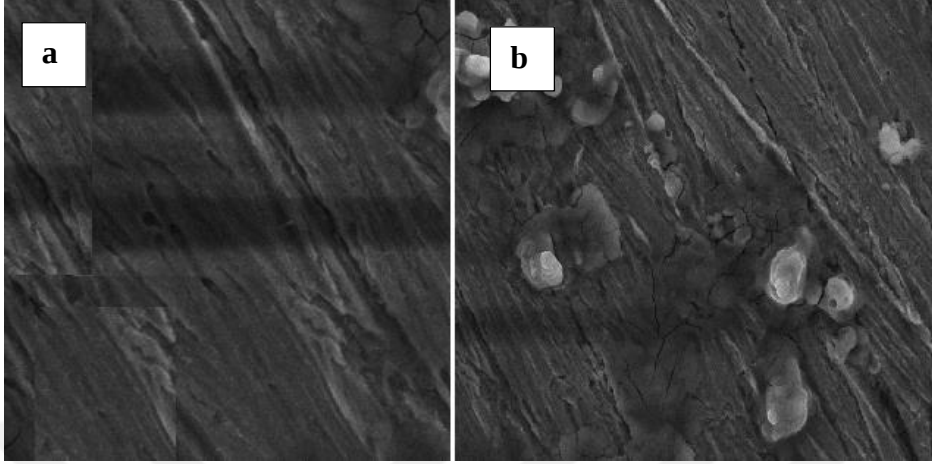


Şekil 4.200. VM için pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK için pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO için pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için elde edilen İnhibisyon etkinliği.

Farklı sıcaklık ve derişimlerde VM, FK ve MO için Nyquist ve Bode eğrilerinden bulunan inhibisyon etkinliği değerleri üç boyutlu grafikler halinde çizilerek Şekil 4.200’de verilmiştir. Bu grafikten inhibisyon etkinliği değerlerinin çalışılan her derişimde sıcaklık artışıyla sistematik olarak azalma göstermediği net bir şekilde görülmektedir.

4.18. SEM Bulguları

Elektrotların SEM tekniği ile incelenmiş, 1000 kat büyütülmüş yüzey mikrografları Şekil 4.201’de verilmiştir. Bu mikrograflardan kolayca görüldüğü gibi eklenen inhibitörlerde yüzeylerin düz bir görünüm aldığı, kara lekelerin ve çukurcukların yok olduğu görülmektedir.



Şekil 4.201. 298 K'de pH= 9,0'da, 0,1 M Na₂SO₄ (a) 0,1 M Na₂SO₄ + 0,125 mmol/L VM (b) elde edilen sem görüntüleri.

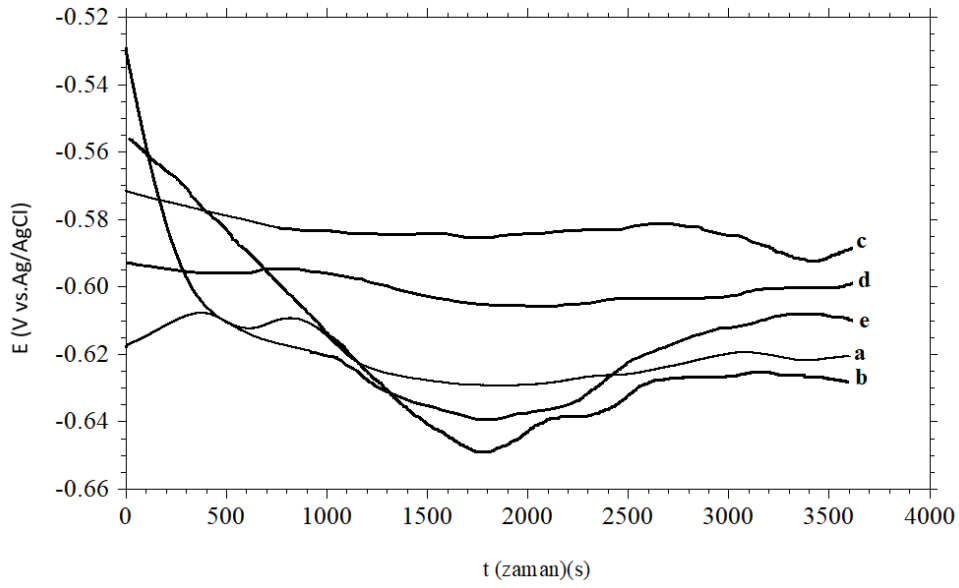
4.19. Yumuşak Çeliğin 0,1 M Na₂SO₄, 0,1 M Na₂SO₄ +xM Boyar Madde çözeltisi ortamında ortamında farklı sıcaklık ve pH larda Elde Edilen Bulgular

Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz 0,1 M Na₂SO₄ ve 0,1 M Na₂SO₄ + xM inhibitörlü ortamlarda 298 K; 313 K ve 333 K'de pH=3,5; 7,0 ve 9,0 da, 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM konsatrasyonlarda Açık devre potansiyelinin zamanla değişim ölçümleri, EIS ve potansiyodinamik polarizasyon ölçümleri yapılmış ve değerlendirilmiştir (x: Variamin mavisi, Fenol kırmızısı, Metil Oranj).

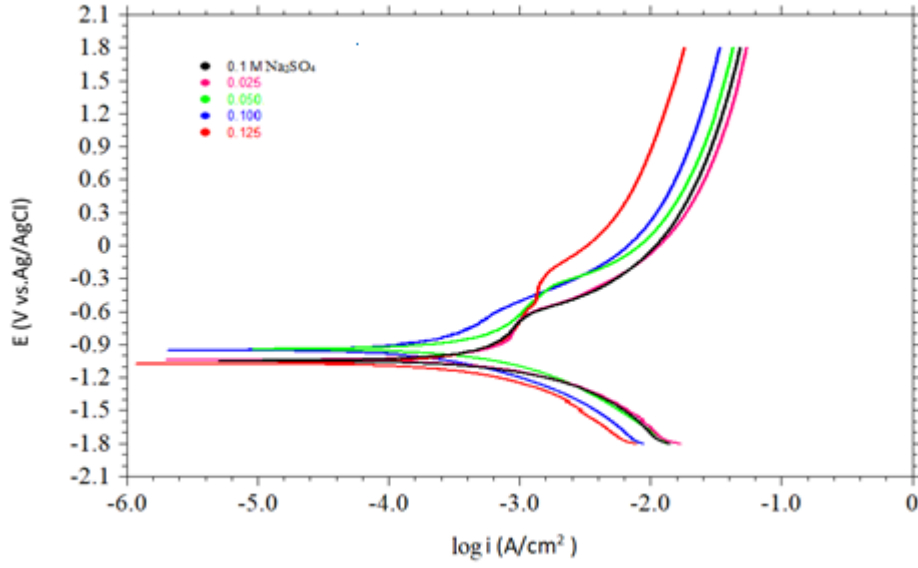
Yumuşak çeliğin elektrokimyasal davranışını belirlemek için; inhibitörsüz ve inhibitörlü çözeltelerde elektrotların iki buçuk saat bekletilmesi sonunda 0,005 V genlikte ve 10⁵ Hz ile 5x10⁻³ Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir. Açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir. 1 mV/s tarama hızıyla önce katodik yöne doğru (-1,8 mV), tarama yapıp temizlenerek 2,5 saatlik bekleme süresi sonunda anodik yöne doğru (1,8 mV) tarama yapılmıştır.

298; 313; 333 K de pH=3,5; 7,0; 9,0'da, 0,1 M Na₂SO₄ içeren ortamda farklı

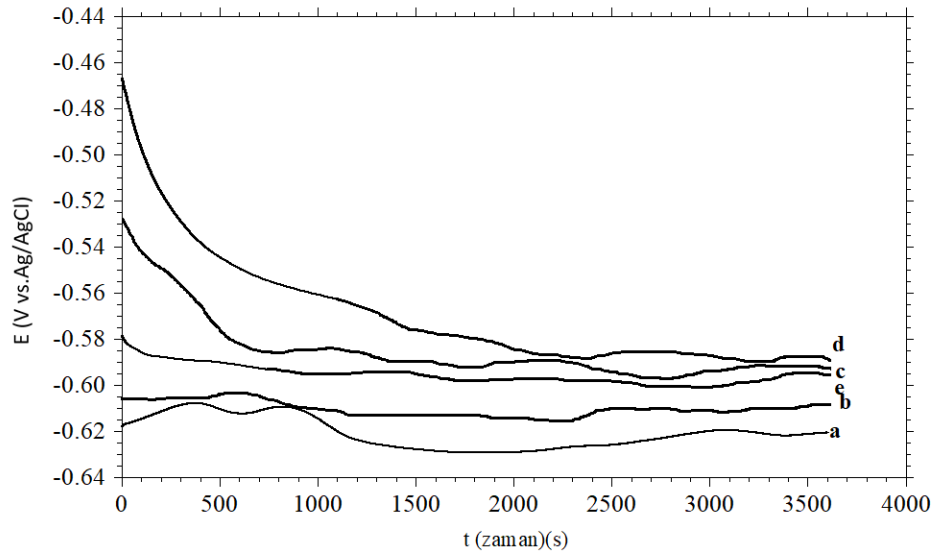
derişimlerde variamin mavisi (VM), fenol kırmızısı (FK) ve metil oranj (MO) içeren ve içermeyen çözeltilerinde 2,5 saat sonunda elde edilen eğriler Şekil 4.202 - 4.280 de verilmiştir (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



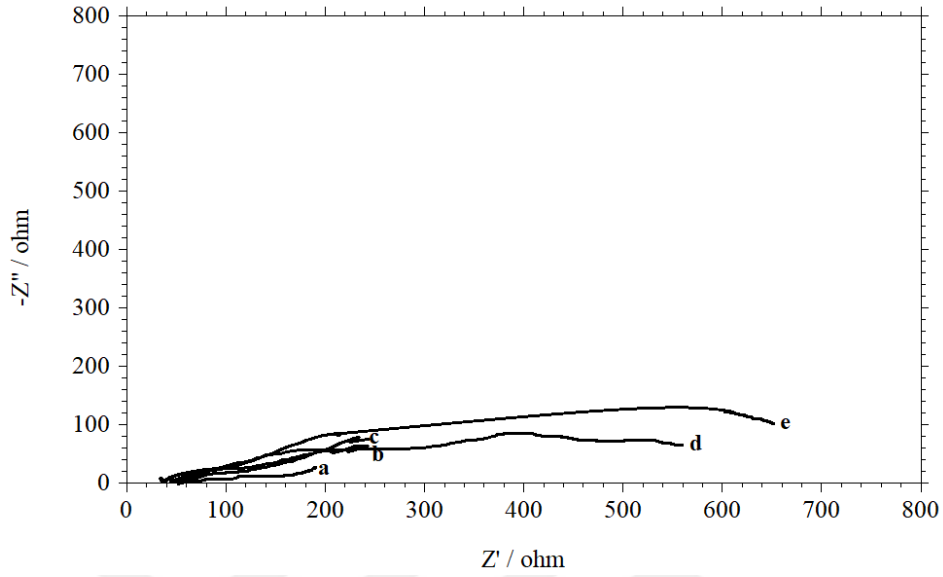
Şekil 4.202. VM için 298 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



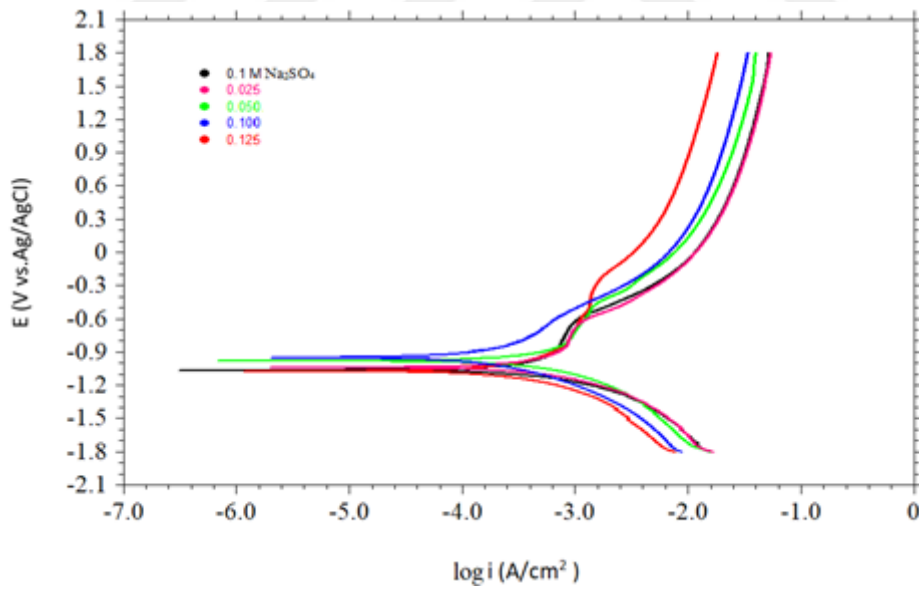
Şekil 4.203. VM için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



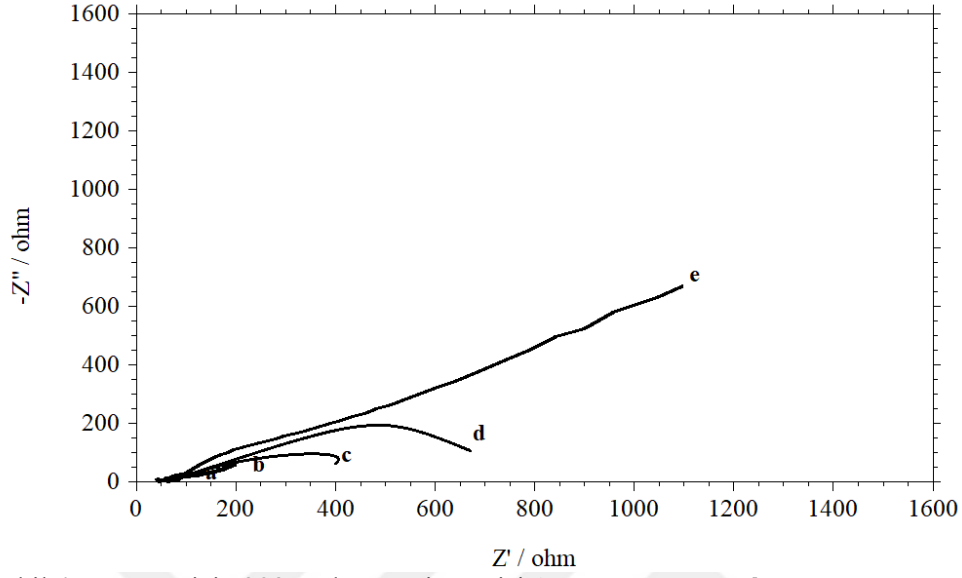
Şekil 4.204. FK için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



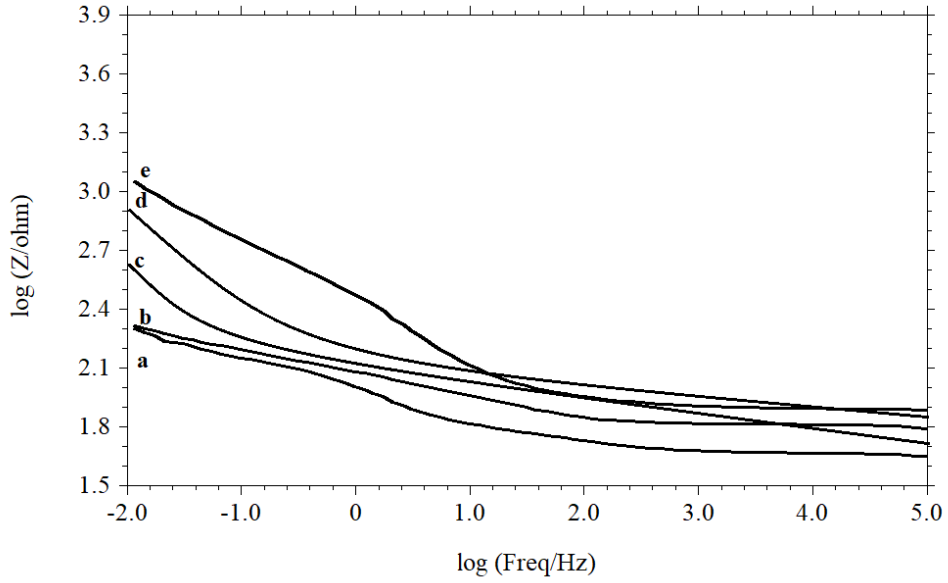
Şekil 4.205. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



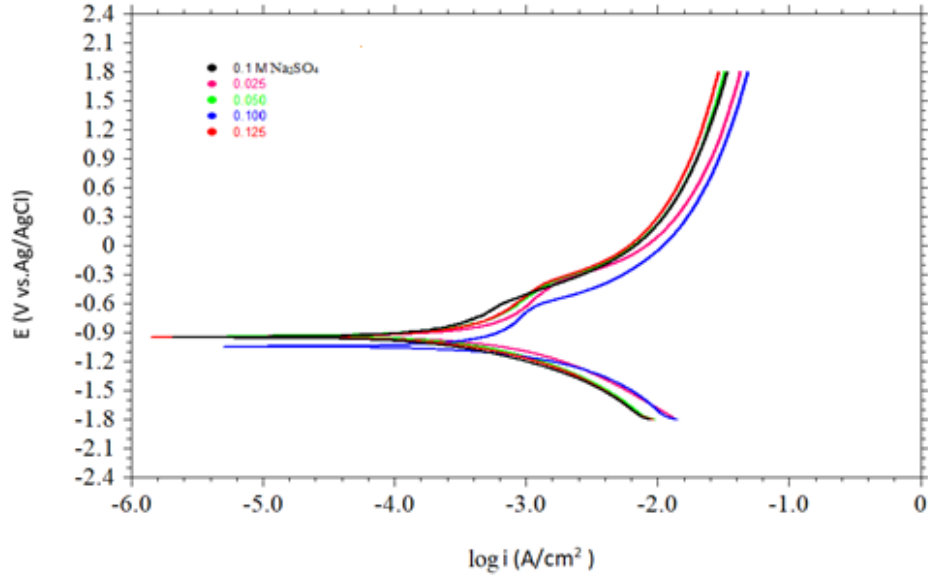
Şekil 4.206. FK için 298 K’de Akım -Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.207. MO için 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.208. MO için 298 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



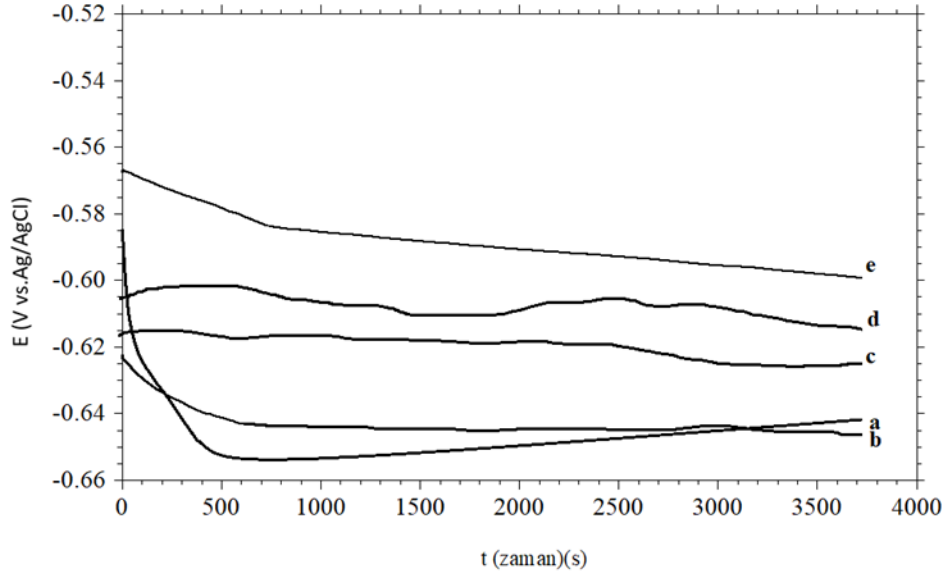
Şekil 4.209. MO için 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.82. 298 K’de, pH’sı 3,5’de olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

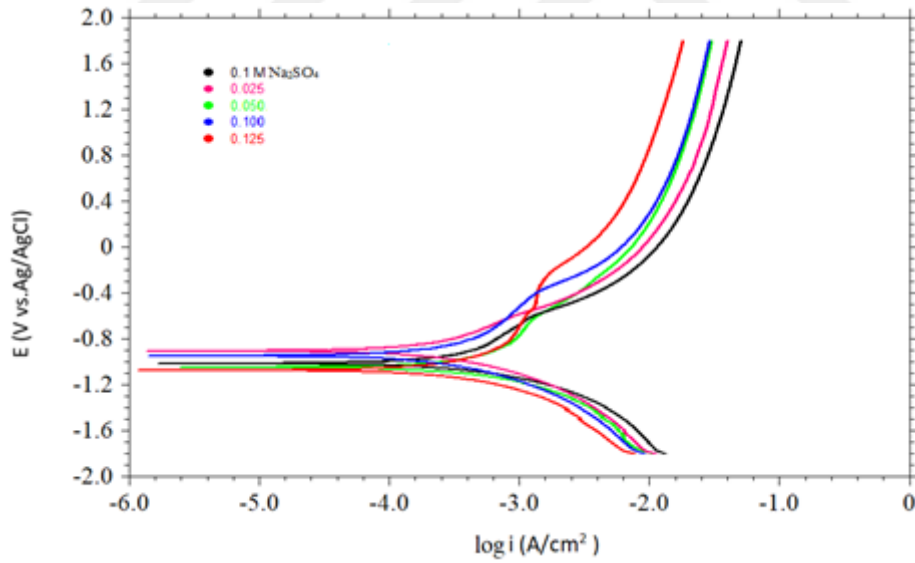
	Konsant rasyon (mmol/L)) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	199.52	199.52	-0.619	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	213.88	186.13	-0.608	6.71
	5.00	426.58	93.32	-0.610	53.23
	10.00	794.32	50.12	-0.611	74.88
	12.50	1412.54	28.18	-0.615	85.88
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	223.87	177.82	-0.605	10.88
	5.00	245.47	162.17	-0.592	18.72
	10.00	609.96	65.26	-0.590	67.29
	12.50	851.14	50.12	-0.594	77.88
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	600.00	66.35	-0.628	66.75
	5.00	690.00	57.69	-0.587	71.08
	10.00	720.00	55.29	-0.600	72.29
	12.50	825.00	48.25	-0.610	75.82

İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitör etkinliği 298 K de % 85,88 olarak Metil Oranj + sülfat ortamında tespit edilmiştir. (Şekil 4.202; 4.209). Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır. 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde akım yoğunluğu 199,52 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 298 K pH= 3,5’de 28,18 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır. Ortama inhibitör eklendikte korozyon potansiyelinden daha negatif ve daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur. Boyar maddeler karma inhibitör görevi görmüştür. Korozyon potansiyelleri daha negatif ve daha pozitif kaymıştır.

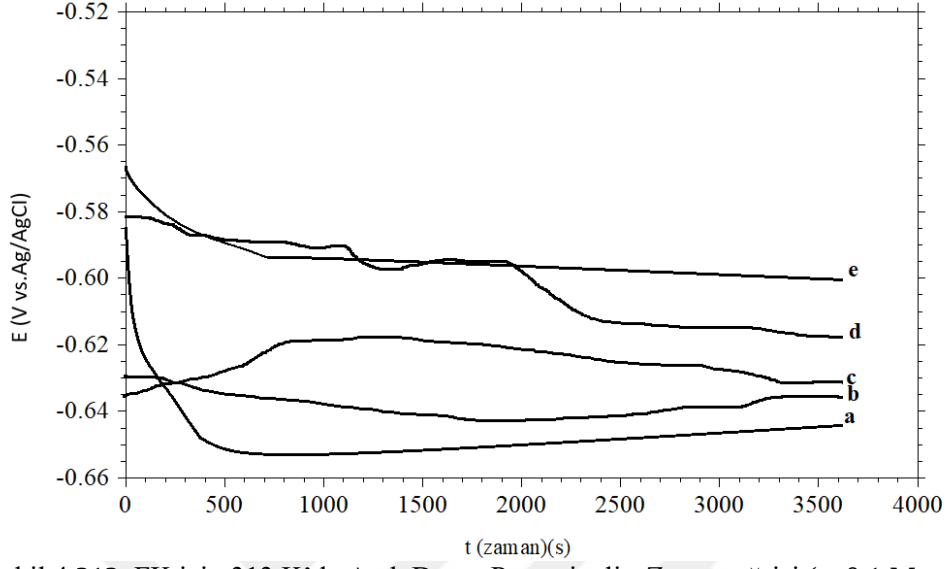
0,1 M Na_2SO_4 ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir.



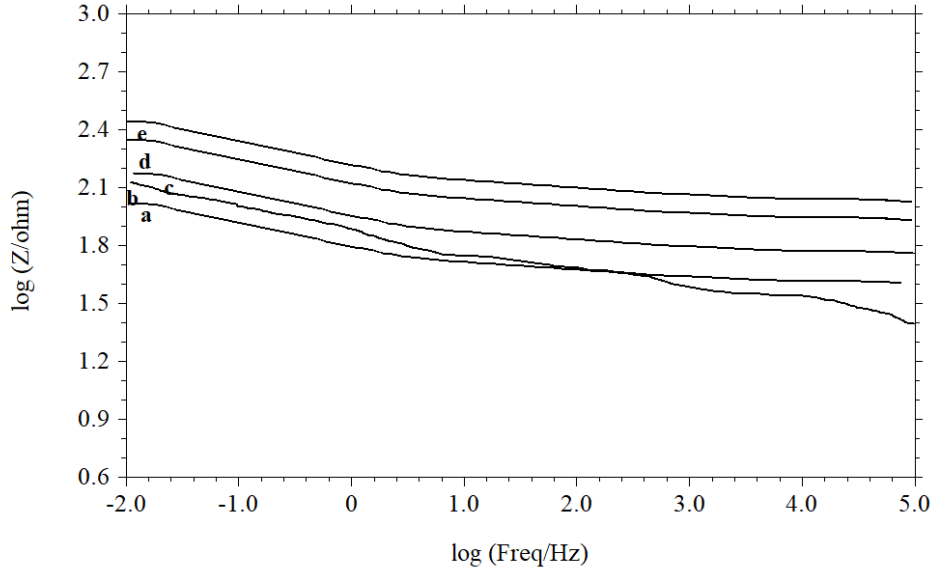
Şekil 4.210. VM için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



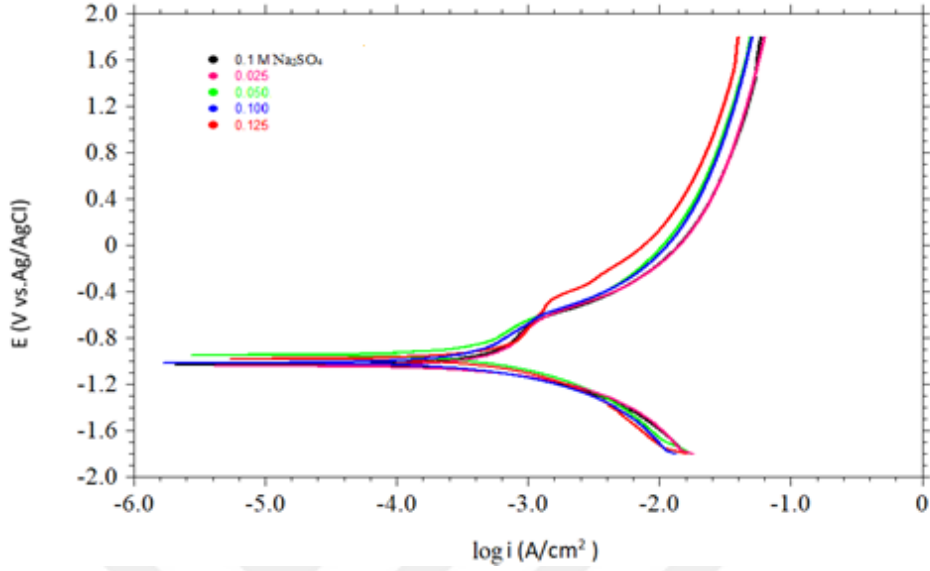
Şekil 4.211. VM için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



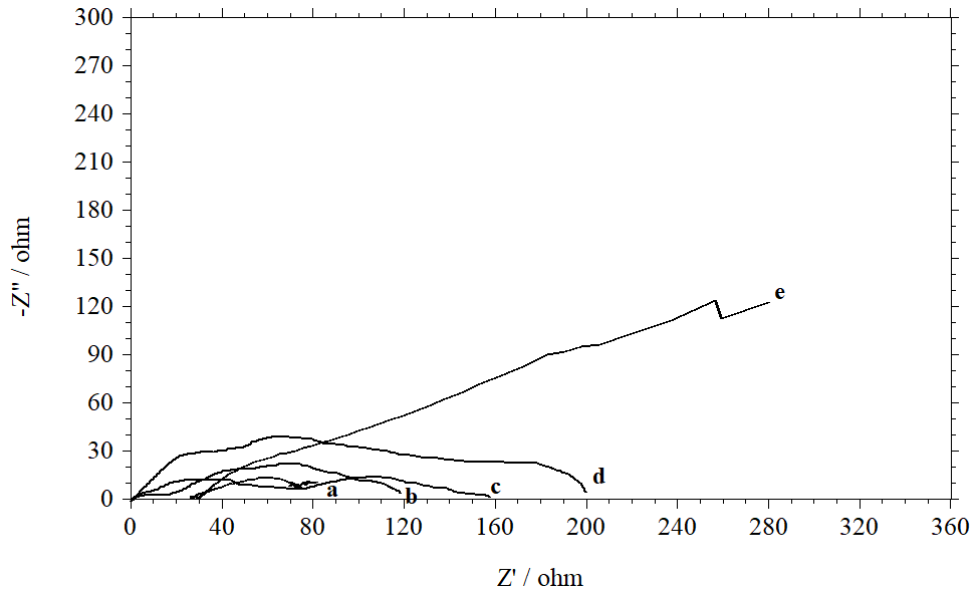
Şekil 4.212. FK için 313 K'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



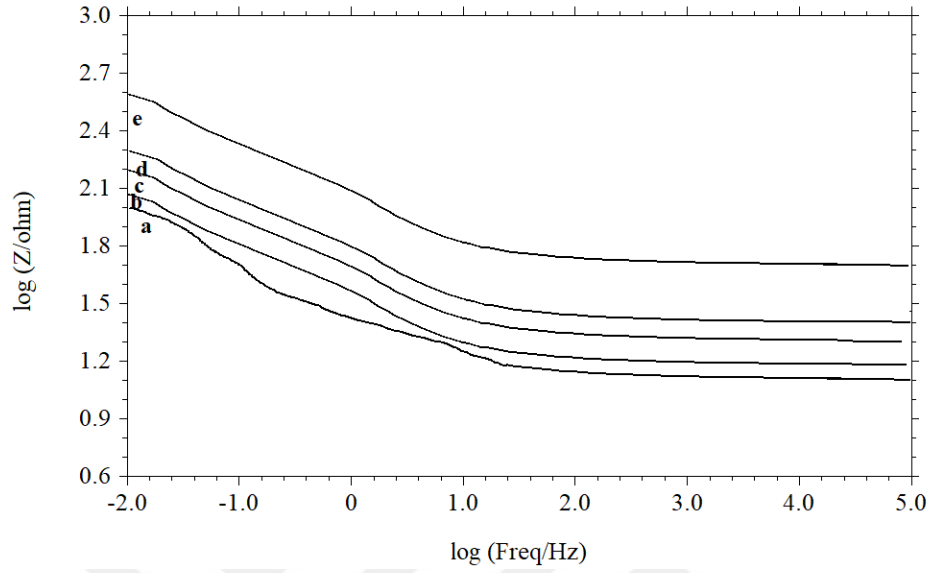
Şekil 4.213. FK için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



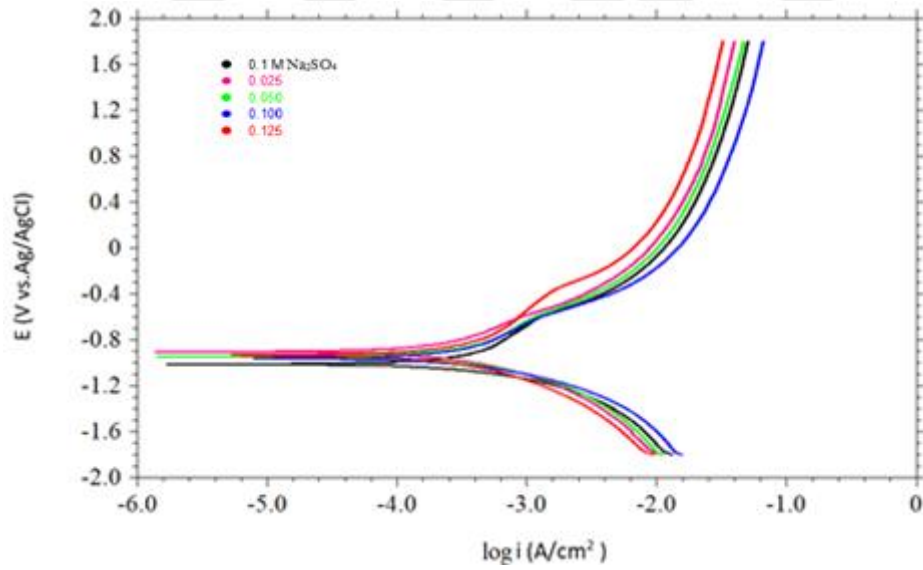
Şekil 4.214. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.215. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.216. MO için 313 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e;0,125 mM).



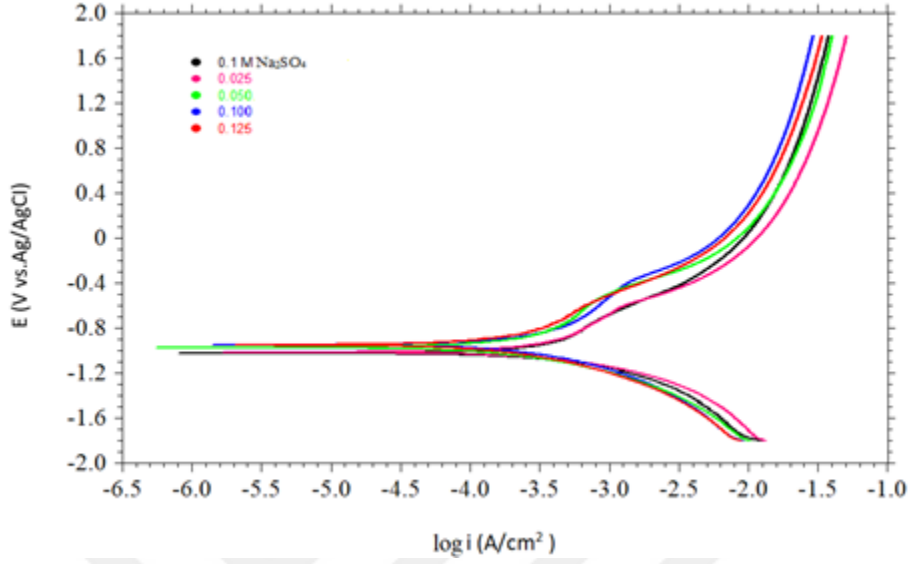
Şekil 4.217. MO için 313 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.83. 313 K’de, pH’sı 3,5’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi(İE)

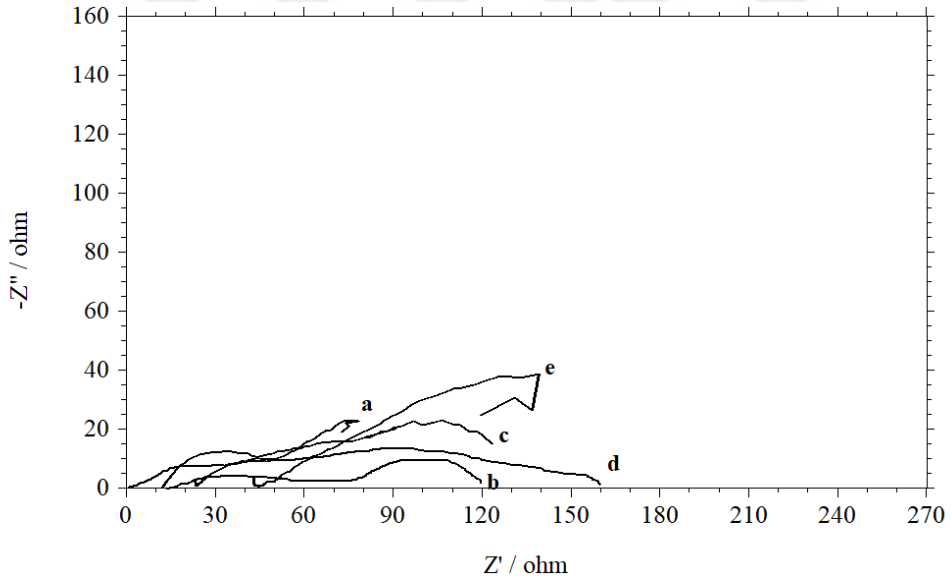
	Konsantrasyon (mmol/L) x 10 ⁻²	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	105.00	379.13	-0.642	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	120.00	331.74	-0.646	12.50
	5.00	160.00	248.81	-0.632	34.38
	10.00	200.00	199.04	-0.620	47.50
	12.50	400.00	99.52	-0.626	73.75
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	131.00	303.88	-0.636	19.85
	5.00	161.00	247.26	-0.631	34.78
	10.00	220.00	180.95	-0.617	52.27
	12.50	283.00	140.67	-0.601	62.90
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	111.00	358.64	-0.646	5.41
	5.00	169.50	234.86	-0.625	38.05
	10.00	179.00	222.40	-0.615	41.34
	12.50	211.00	188.67	-0.599	50.24

Çizelge 4.83’de inhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 313 K de % 73,75 olarak Metil Oranj + sülfat ortamında tespit edilmiştir. (Şekil 4.210; 4.217). Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde akım yoğunluğu 379,13 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 313 K pH=3,5’de 99,52 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır. Ortama inhibitor eklendikte korozyon potansiyelinden daha negatif ve daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur. Boyar maddeler karma inhibitor görevi görmüştür. Korozyon potansiyelleri daha negatife ve daha pozitif kaymıştır.

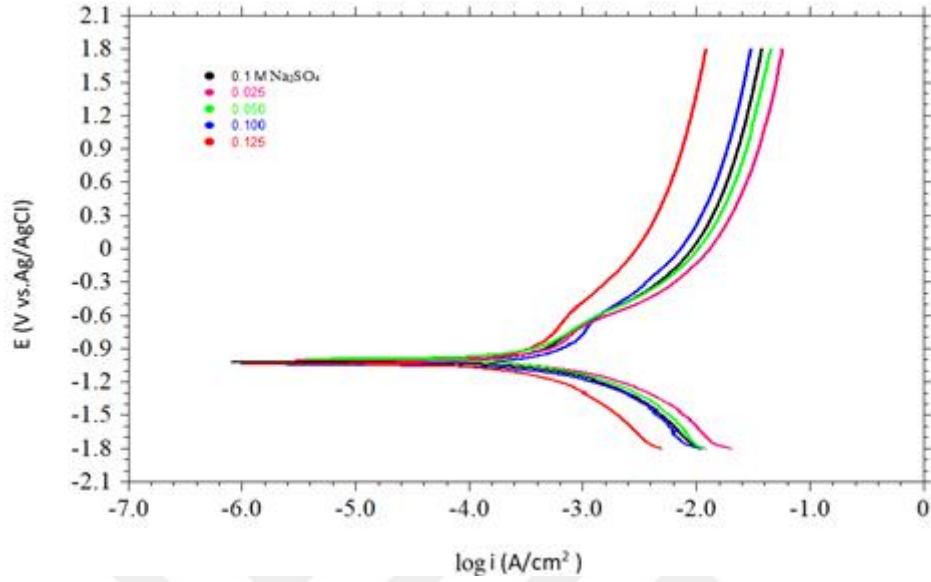
0,1 M Na_2SO_4 ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir.



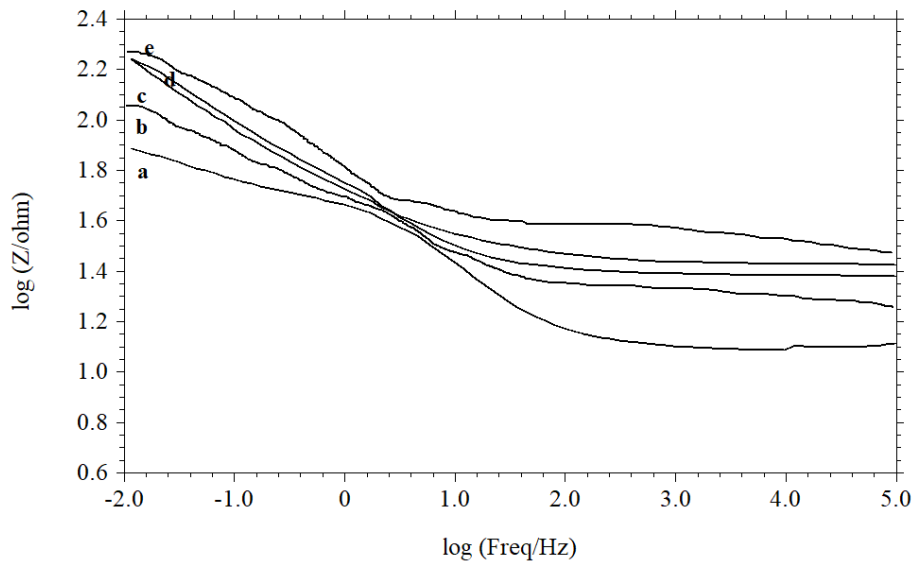
Şekil 4.218. VM için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



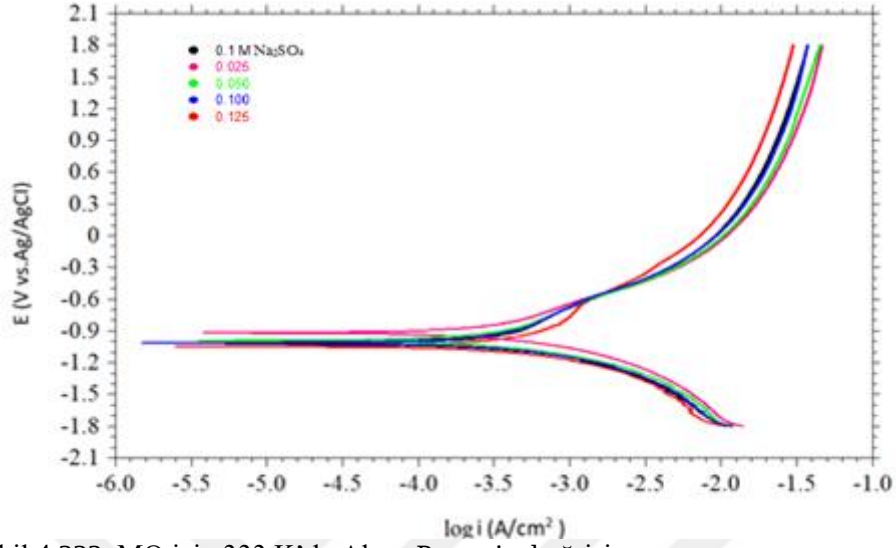
Şekil 4.219. FK için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.220. FK için 333 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.221. MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



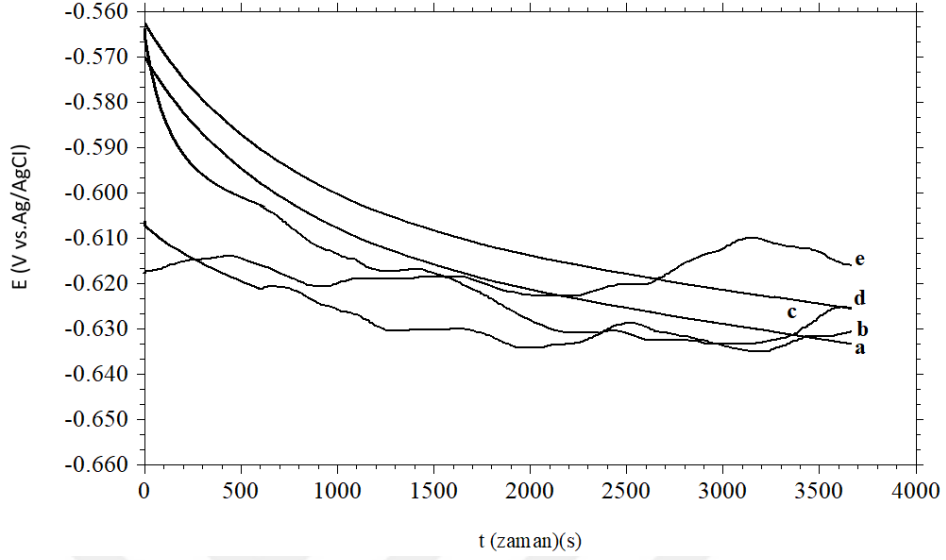
Şekil 4.222. MO için 333 K’de Akım-Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.84. 333 K’de, pH’sı 3,5’de korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

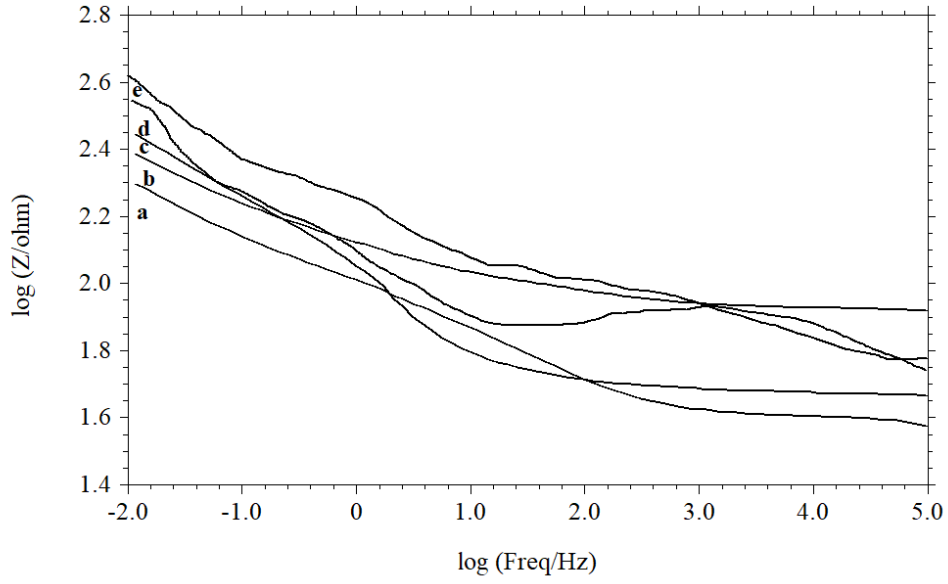
	Konsantrasyon (mmol/L) x 10 ⁻²	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	75.86	524.77	-0.594	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	114.81	346.74	-0.631	33.93
	5.00	169.82	234.42	-0.625	55.33
	10.00	173.78	229.08	-0.555	56.35
	12.50	181.97	218.77	-0.620	58.31
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	121.00	329.00	-0.585	37.31
	5.00	139.00	286.40	-0.621	45.42
	10.00	160.00	248.81	-0.611	52.59
	12.50	180.00	221.16	-0.600	57.86
VM+ 0.1M Na_2SO_4	2.50	117.48	338.86	-0.572	35.43
	5.00	138.04	288.39	-0.658	45.04
	10.00	154.88	257.03	-0.666	51.02
	12.50	213.79	186.21	-0.652	64.52

Çizelge 4.84’de inhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 333 K de % 64,52 olarak VM + sülfat ortamında tespit edilmiştir. (Şekil 4.218; 4.222). Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde akım yoğunluğu 524,77 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 333 K pH=3,5’de 186,21 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır. Ortama inhibitor eklendikte korozyon potansiyelinden daha negatif ve daha pozitif potansiyellere kayma olmuştur. Boyar maddeler karma inhibitor görevi görmüştür. Korozyon potansiyelleri daha negatife ve daha pozitif kaymıştır.

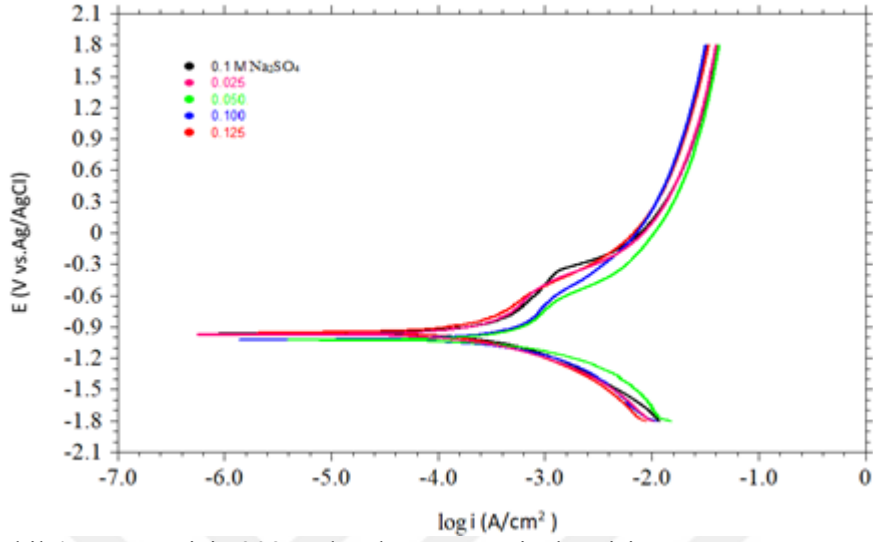
0,1 M Na_2SO_4 ve Variamin mavisi (VM), Fenol Kırmızısı (FK) ve de Metil Oranj (MO) içeren ortamlarda açık devre potansiyeli zamanla takip edilmiş ve açık devre potansiyeline karşı zaman grafiği çizilmiştir.



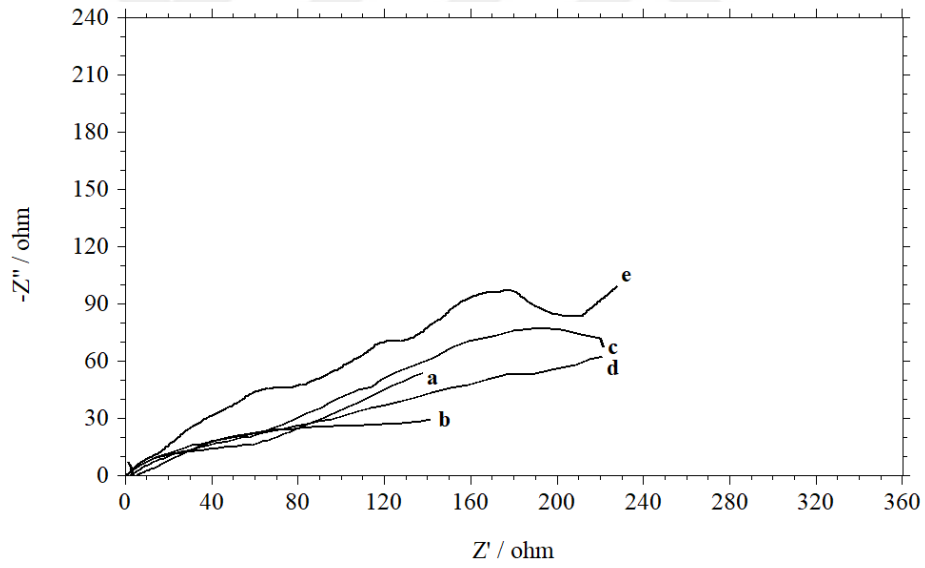
Şekil 4.223. VM için 298 K’de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



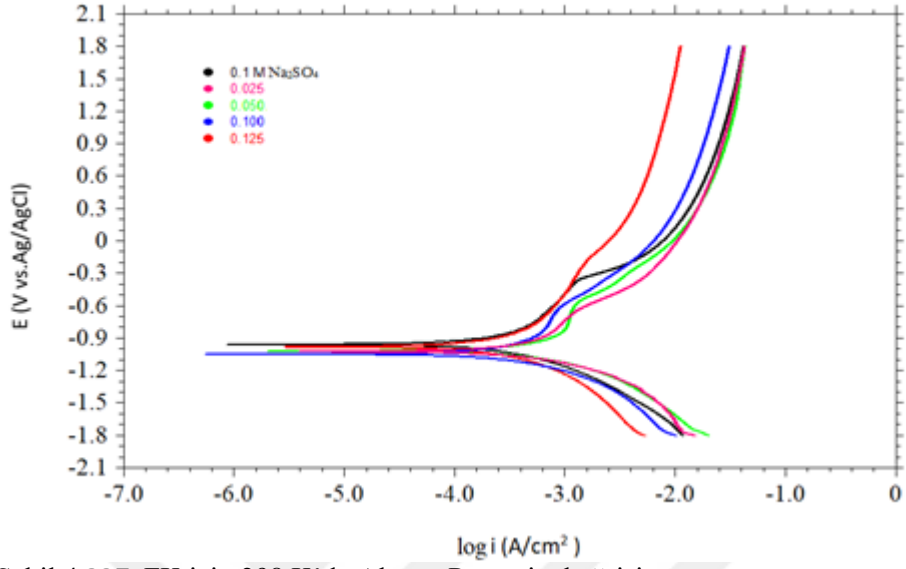
Şekil 4. 224. VM için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



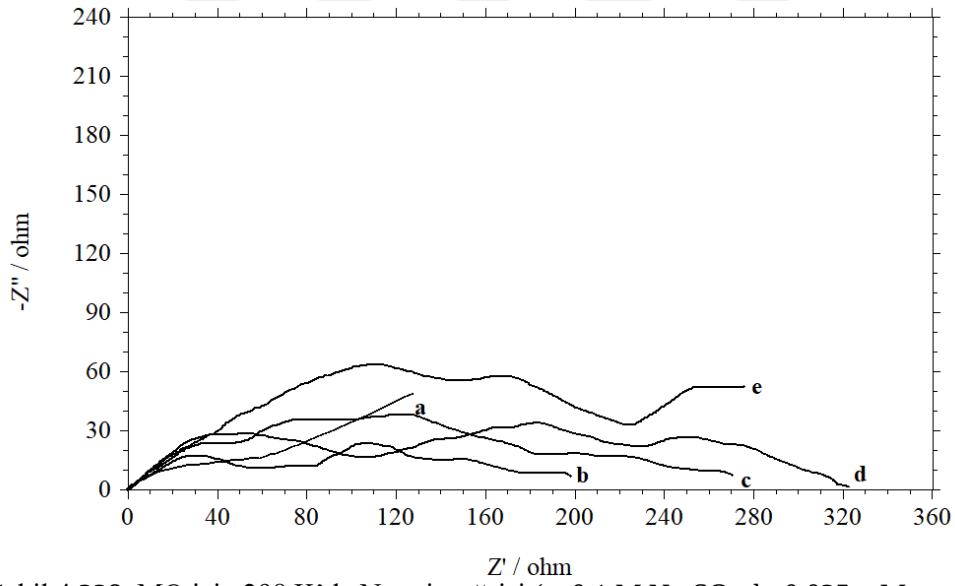
Şekil 4.225. VM için 298 K’de Akım -Potansiyel eğrisi.



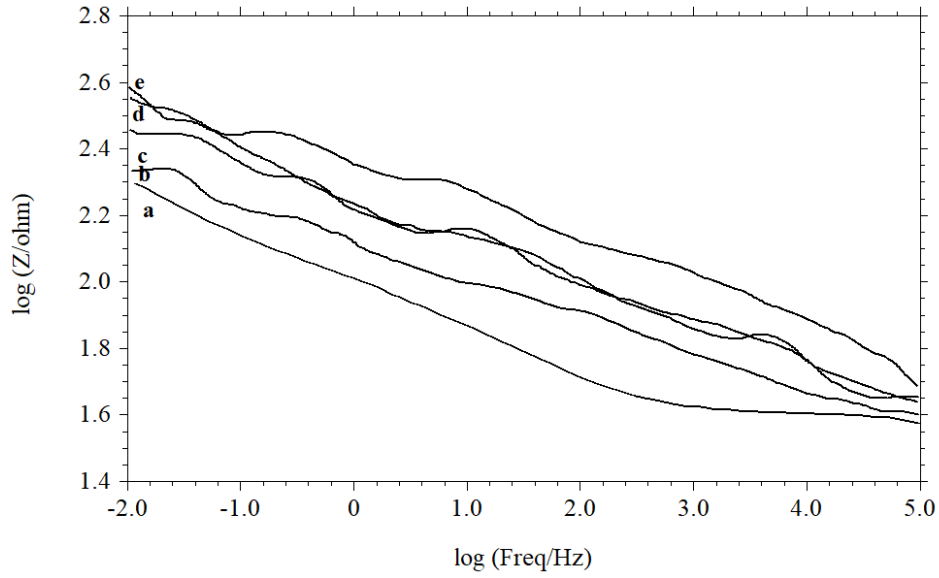
Şekil 4.226. FK için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



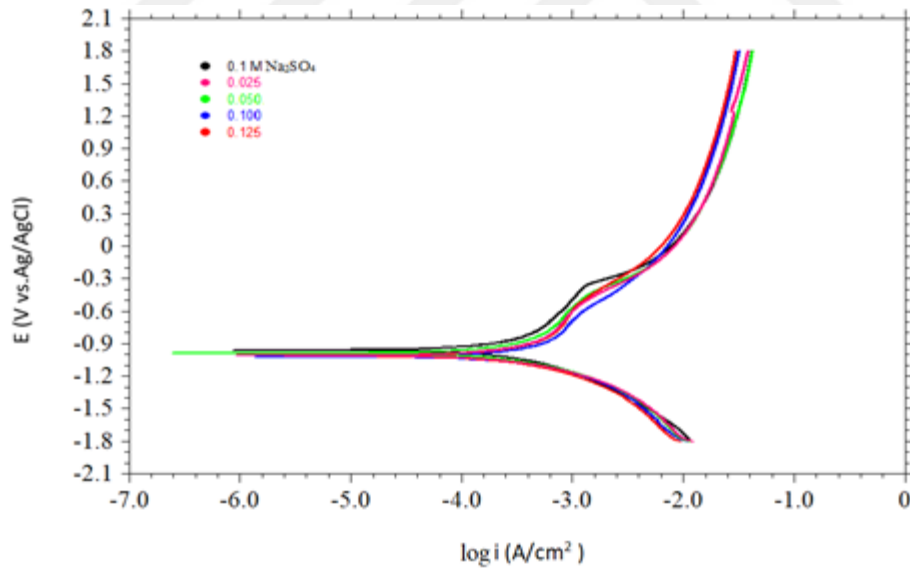
Şekil 4.227. FK için 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.228. MO için 298 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.229. MO için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).

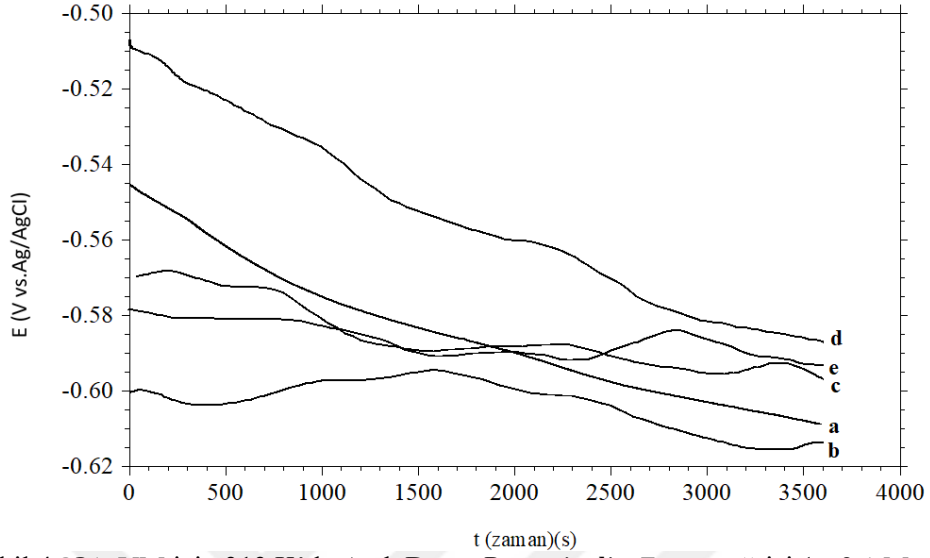


Şekil 4.230. MO için 298 K’de Akım- Potansiyel eğrisi.

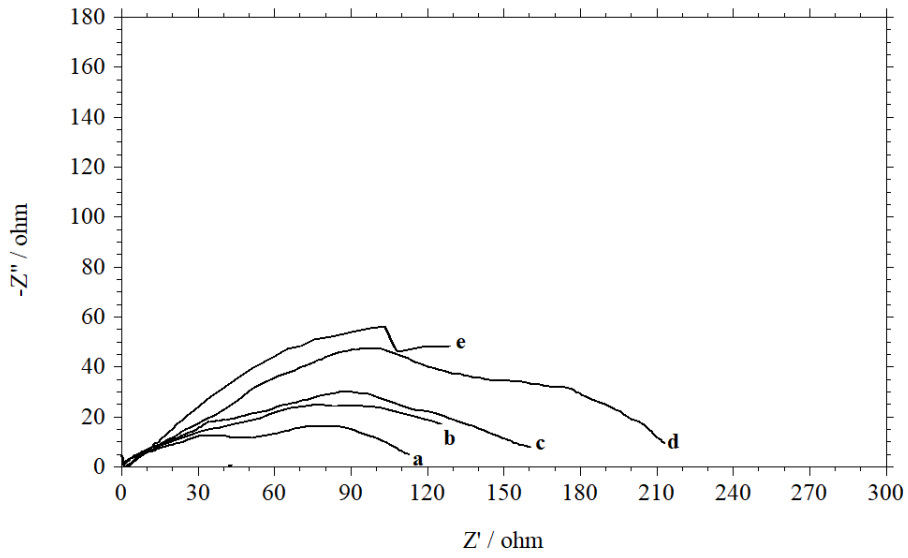
Çizelge 4.85. 298 K’de, pH’sı 7,0’da korozyon potansiyeli (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\%IE$)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\%IE$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	194.98	204.17	-0.634	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	213.80	186.20	-0.641	8.80
	5.00	288.40	138.03	-0.638	32.39
	10.00	323.59	123.02	-0.603	39.74
	12.50	389.04	102.33	-0.620	49.88
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	190.55	208.92	-0.639	-
	5.00	282.80	140.77	-0.621	31.05
	10.00	380.19	104.71	-0.616	48.72
	12.50	446.68	89.12	-0.610	56.35
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	239.88	165.95	-0.631	18.72
	5.00	281.84	141.25	-0.626	30.82
	10.00	354.81	112.20	-0.625	45.05
	12.50	416.87	95.49	-0.616	53.23

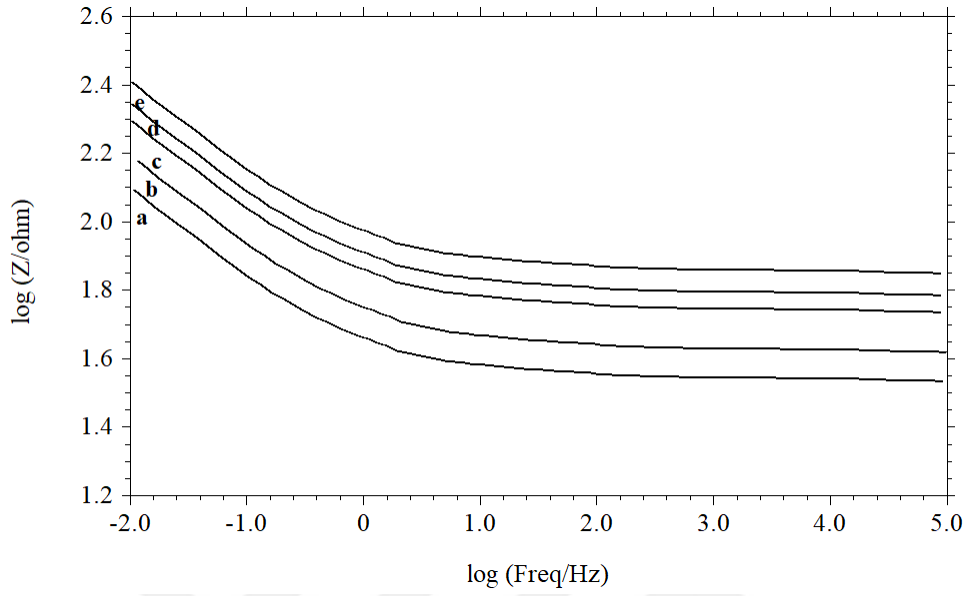
Çizelge 4.85’de inhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitör etkinliği 298 K de % 53,23 olarak VM + sülfat ortamında tespit edilmiştir. (Şekil 4.223; 4.230). Korozyon akımı ortama inhibitör eklendikçe azalmıştır. 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde akım yoğunluğu 204,17 $\mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 298 K pH=7,0’de, 95,49 $\mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır.



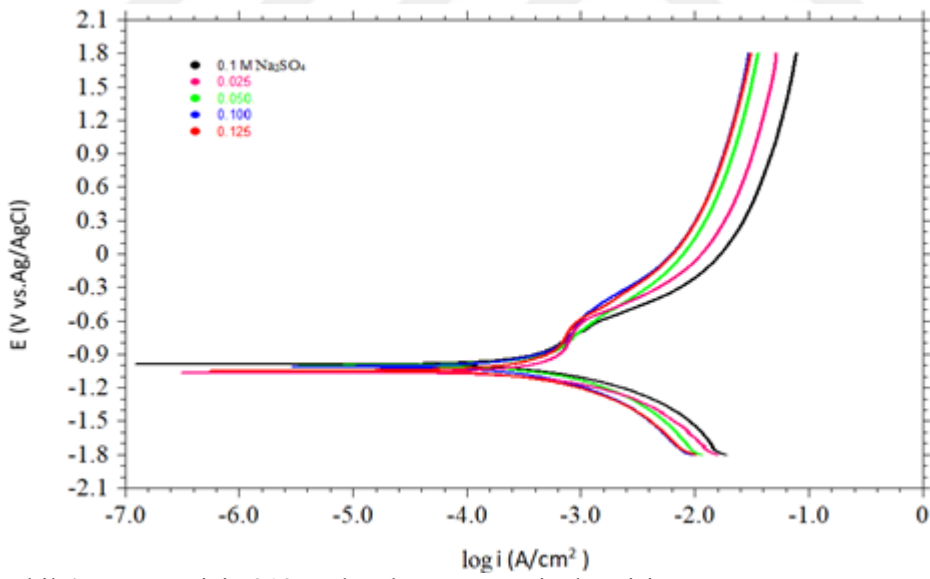
Şekil 4.231. VM için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



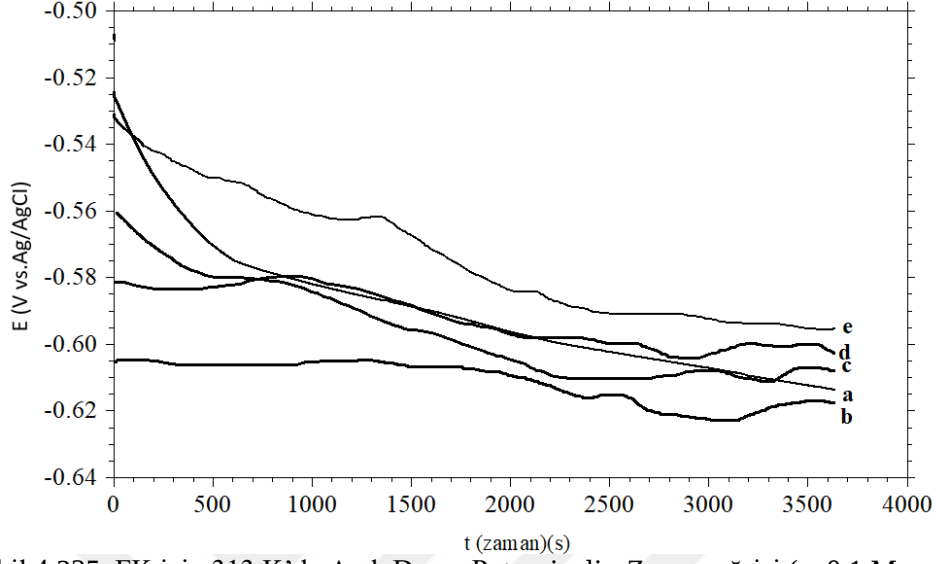
Şekil 4.232. VM için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



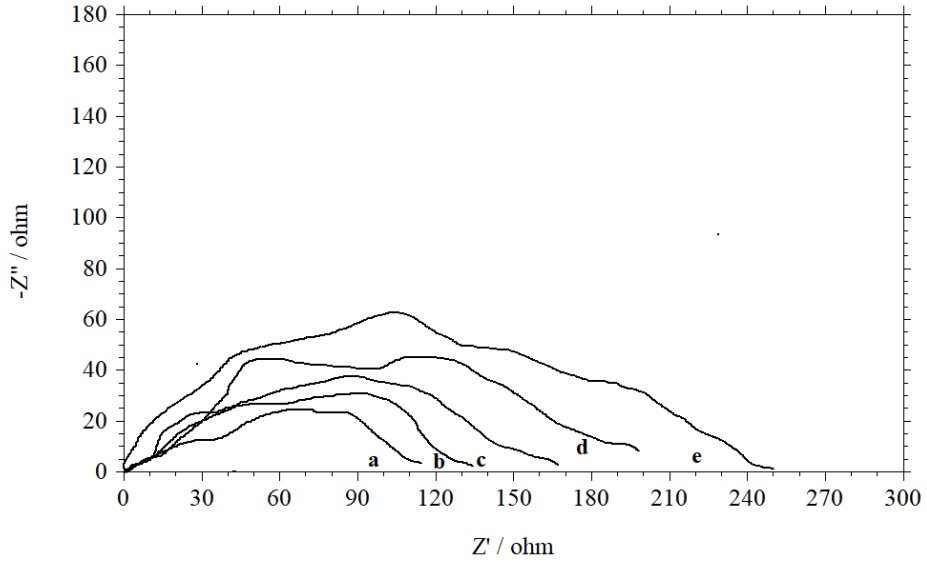
Şekil 4.233. VM için 298 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



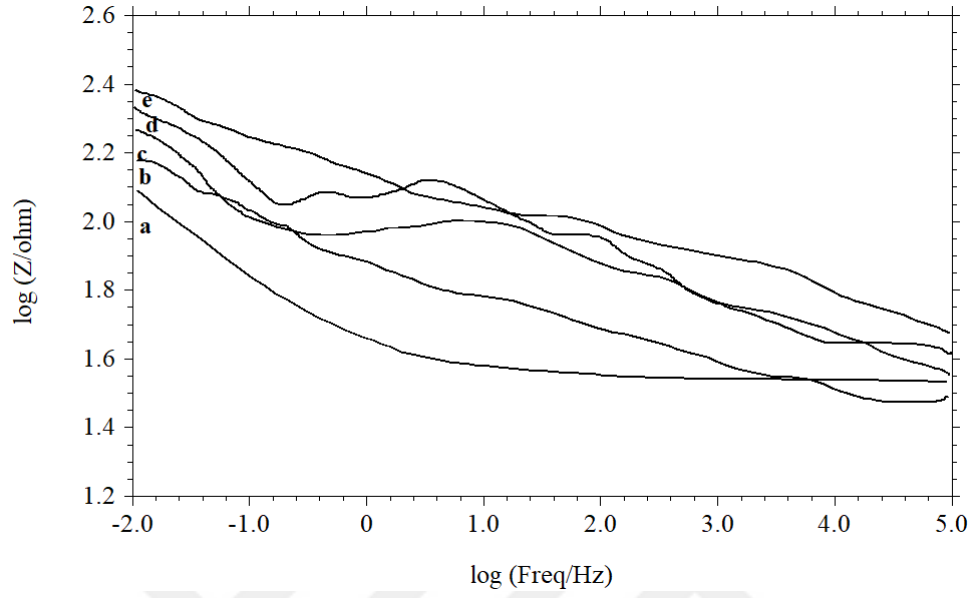
Şekil 4.234. VM için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.



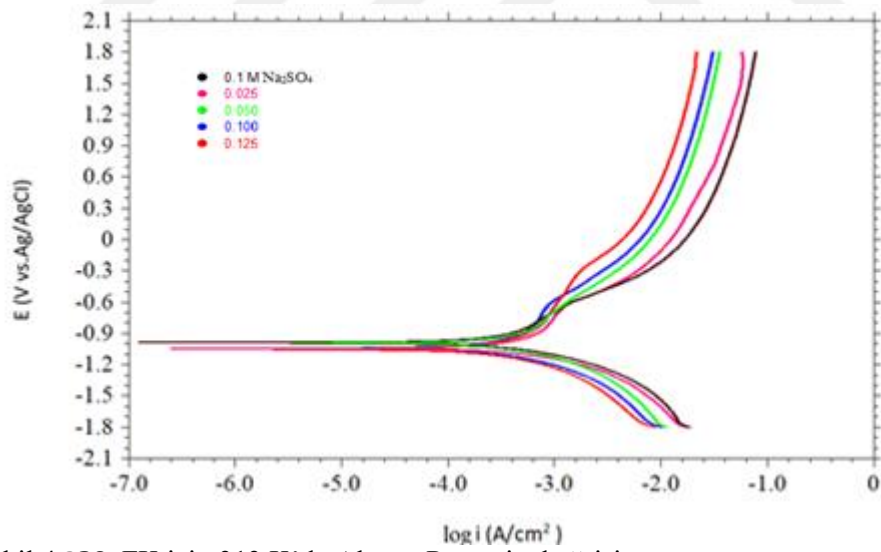
Şekil 4.235. FK için 313 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



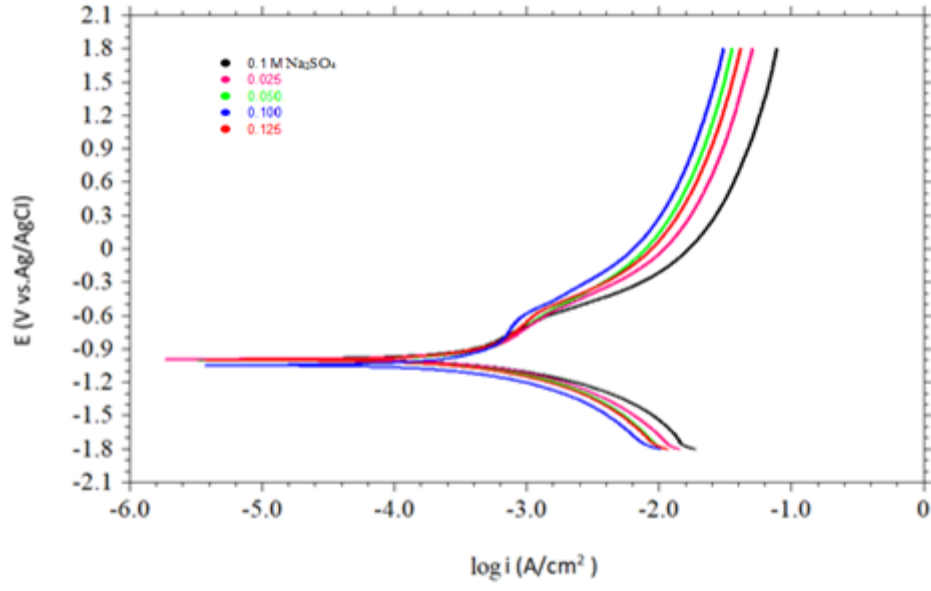
Şekil 4.236. FK için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.237. FK için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.238. FK için 313 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

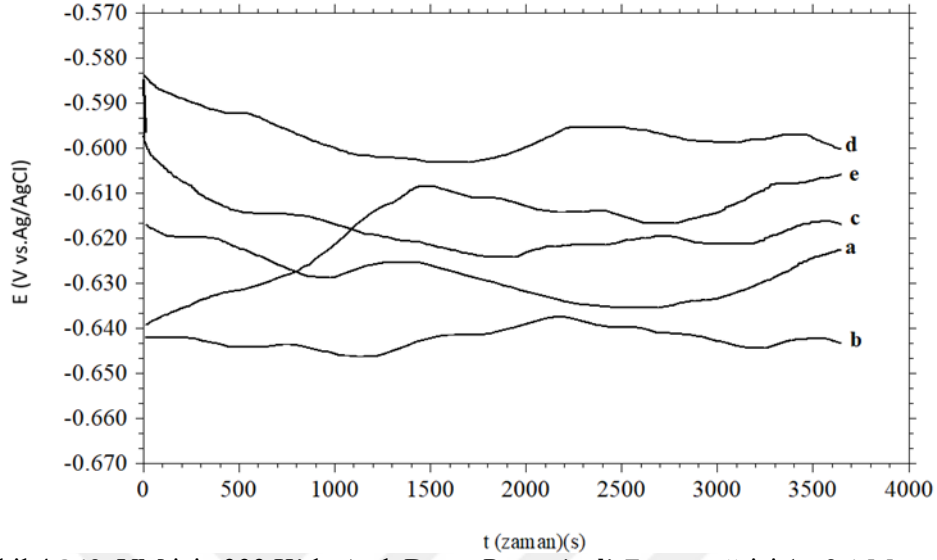


Şekil 4.239. MO için 313 K’de Akım-Potansiyel eğrisi.

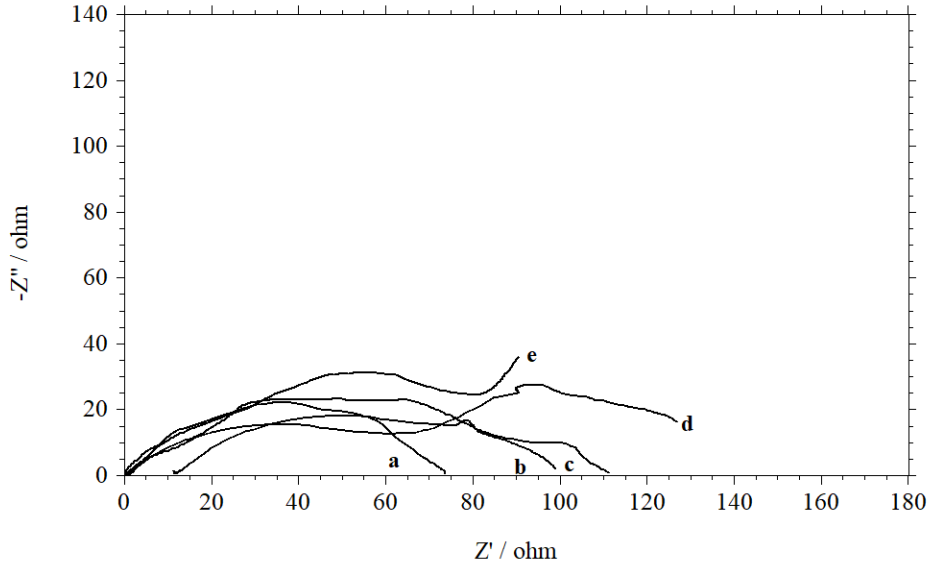
Çizelge 4.86. 313 K’de, pH’sı 7,0’da olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	123.03	323.57	-0.615	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	117.49	338.83	-0.614	-
	5.00	139.32	285.74	-0.637	11.69
	10.00	147.91	269.14	-0.598	16.82
	12.50	165.96	239.87	-0.573	25.87
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	148.25	268.53	-0.617	17.01
	5.00	182.81	217.76	-0.607	32.70
	10.00	215.28	184.92	-0.603	42.85
	12.50	250.61	158.85	-0.596	50.91
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	144.54	275.42	-0.617	14.88
	5.00	204.17	194.98	-0.596	39.74
	10.00	223.87	177.82	-0.587	45.04
	12.50	257.04	154.87	-0.593	52.14

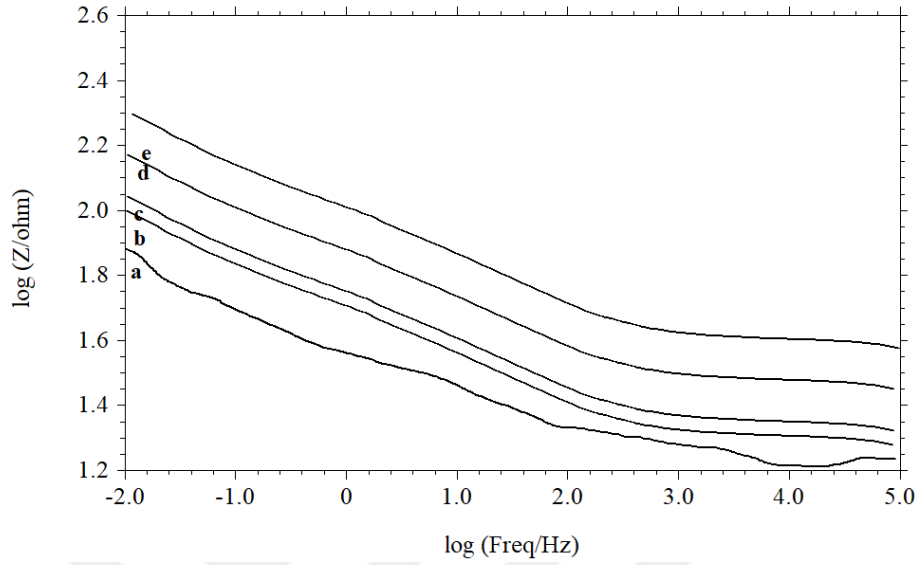
Çizelge 4.86’da inhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltide almıştır. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 52,14 olarak VM + sülfat ortamında tespit edilmiştir. (Şekil 4.231; 4.239). Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde akım yoğunluğu $323,57 \mu A/cm^2$ derişimi artması ile azalma olmuş ve 313 K pH= 7,0’da $154,87 \mu A/cm^2$ olarak en düşük değeri almıştır.



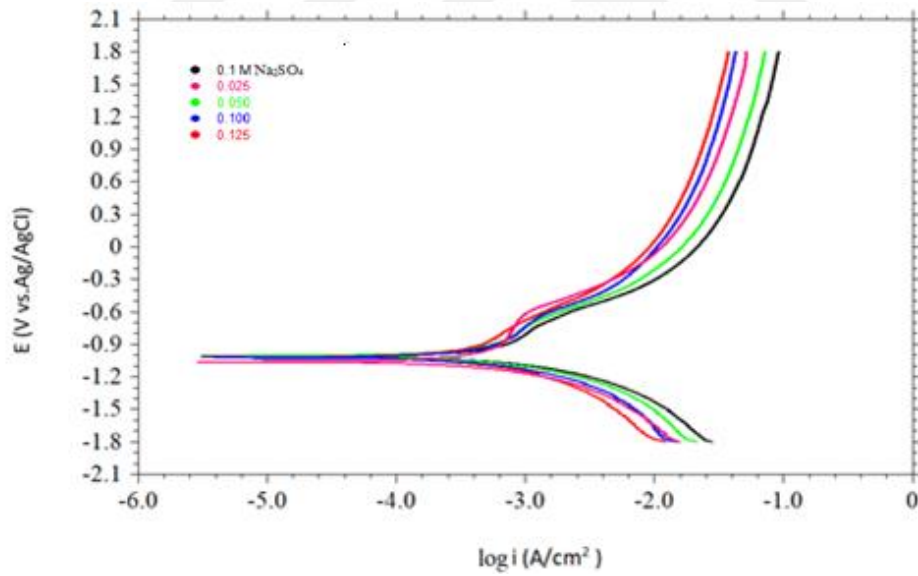
Şekil 4.240. VM için 333 K'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



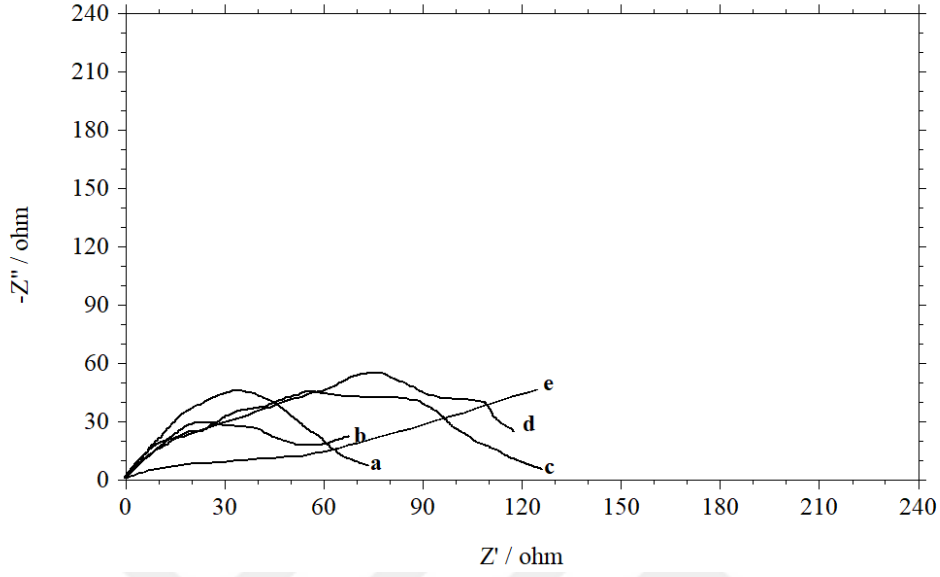
Şekil 4.241. VM için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



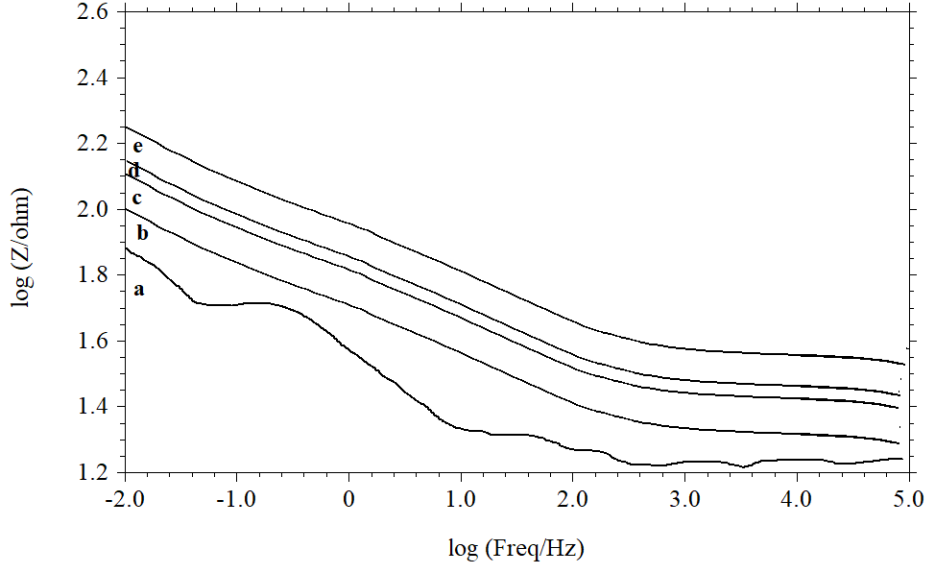
Şekil 4.242. VM için 313 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c;0,050 mM, d;0,100 mM, e; 0,125 mM).



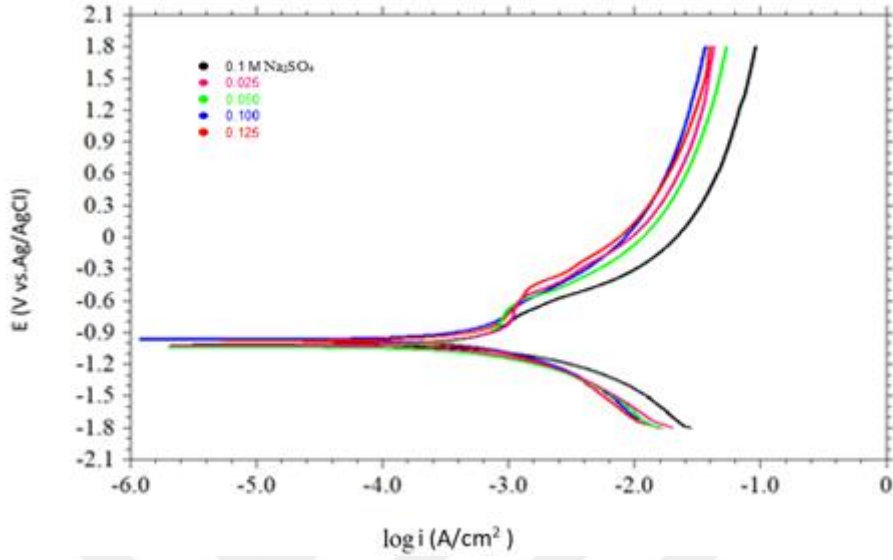
Şekil 4.243. VM için 333 K’de Akım-Potansiyel eğrisi.



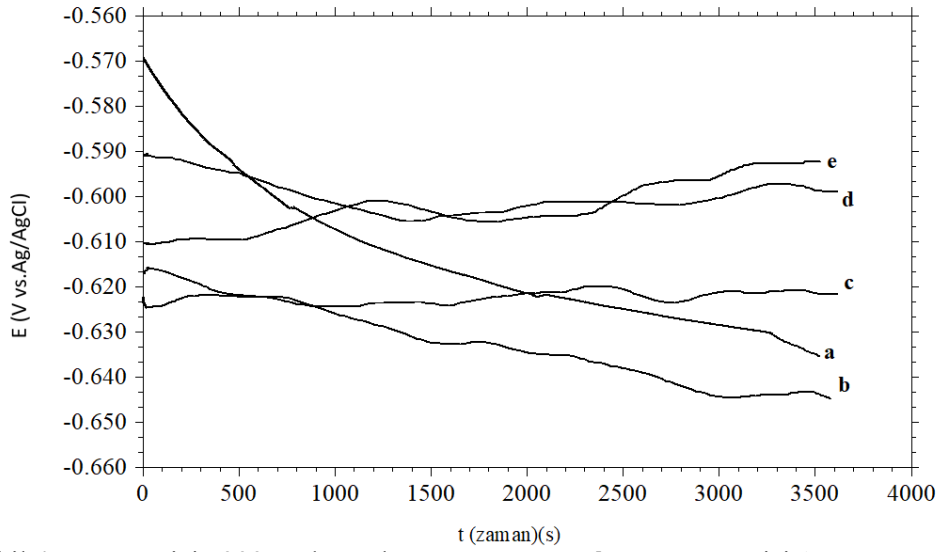
Şekil 4.244. FK için 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



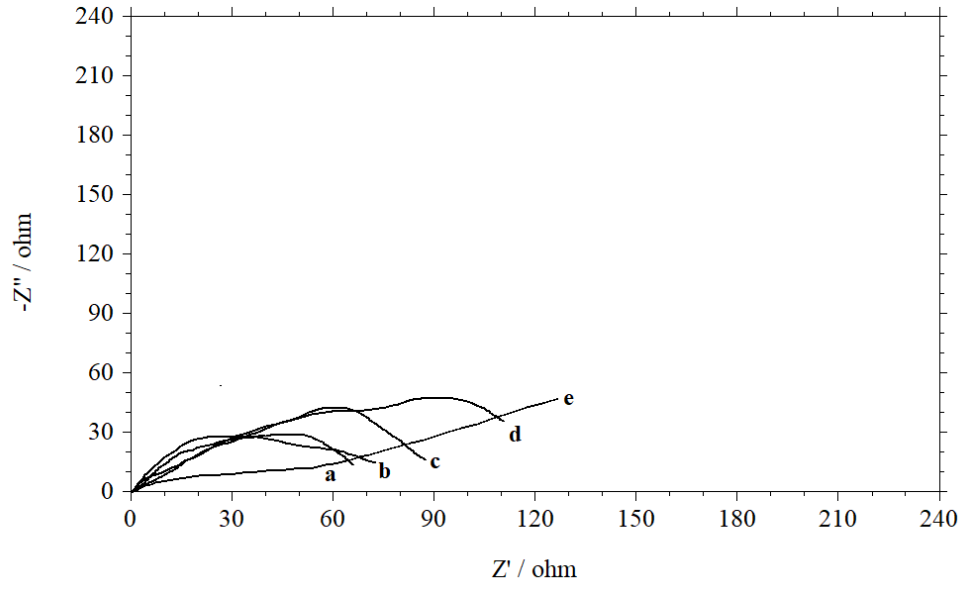
Şekil 4.245. FK için 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



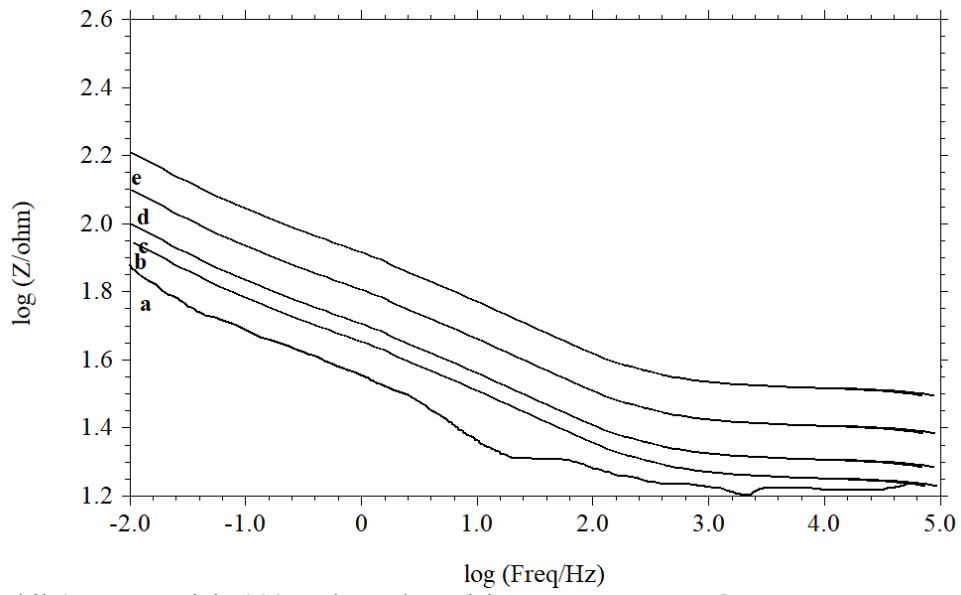
Şekil 4.246. FK için 333 K’de Akım-Potansiyel eğrisi.



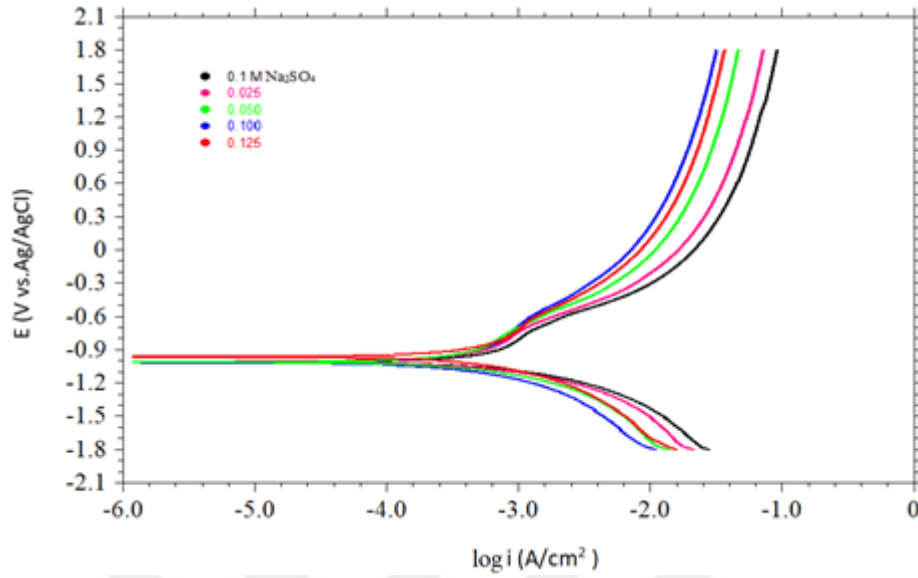
Şekil 4.247. MO için 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.248. MO için 333 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.249. MO için 333 K'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



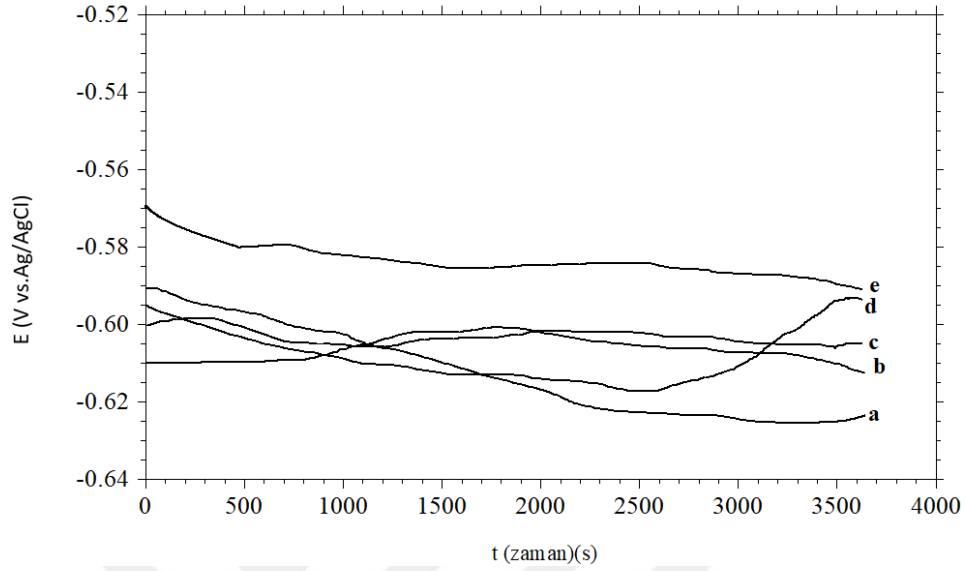
Şekil 4.250. MO için 333 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.87. 333 K’de, pH’sı 7,0’da olan korozyon potansiyeli (E_{kor}); korozyon Akımı (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi ($\bar{I}E$)

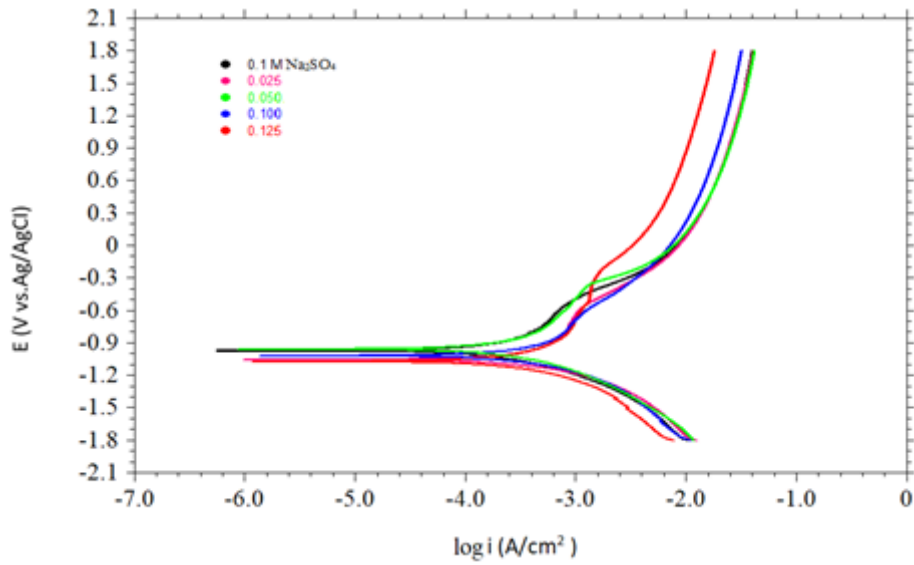
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	$\bar{I}E$ (%)
0.1M Na_2SO_4	-	74.13	537.01	-0.637	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	81.28	489.78	-0.645	8.80
	5.00	102.56	388.15	-0.621	27.72
	10.00	131.83	301.97	-0.599	43.77
	12.50	162.18	245.46	-0.592	54.29
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	100.00	398.09	-0.627	25.87
	5.00	128.83	309.00	-0.645	42.46
	10.00	141.25	281.83	-0.601	47.52
	12.50	177.83	223.86	-0.621	58.31
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	100.00	398.09	-0.639	25.87
	5.00	112.20	354.80	-0.621	33.93
	10.00	150.66	264.23	-0.614	50.80
	12.50	186.21	213.79	-0.610	60.19

Çizelge 4.86’da 333 K’de, pH’sı 7,0’da İnhibitör içermeyen 0,1 M Na₂SO₄ çözeltisinde yumuşak çelik için R_p değeri 74,13 Ω olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır (Çizelge 4.87.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır. Çizelge 4.87’de İnhibisyon etkinliği en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır.

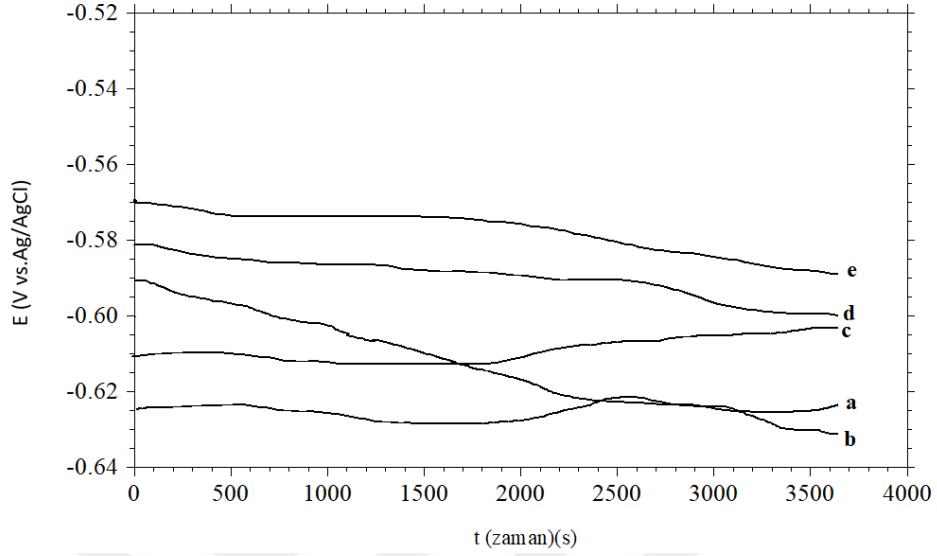
Şekil 4.240-250’de görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Variamin Mavisi, Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj şeklindedir. En yüksek inhibitor etkinliği 333 K de % 60,19 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir. Korozyon akımı ortama inhibitor eklendikçe azalmıştır. En yüksek inhibitor özelliği gösteren Variamin Mavisi (VM), en yüksek derişimde en düşük korozyon akımı 213,79 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ olarak hesaplanmıştır. Akım - Potansiyel eğrilerinde korozyon akımı, ortama inhibitor eklendikçe daha negatif bölgelere ve daha pozitif bölgelere kaydığı için karma inhibitor özelliği göstermektedir. Korozyon potansiyelleri derişimin artması ile pozitif kaymıştır. Açık devre potansiyeline karşı-zaman eğrisi alınmış bir saatin sonunda 0,005 V genlikte ve 10⁵ Hz ile 5x10⁻³ Hz frekans aralığında tarama yapılarak impedans diyagramları (Nyquist eğrileri) elde edilmiştir.



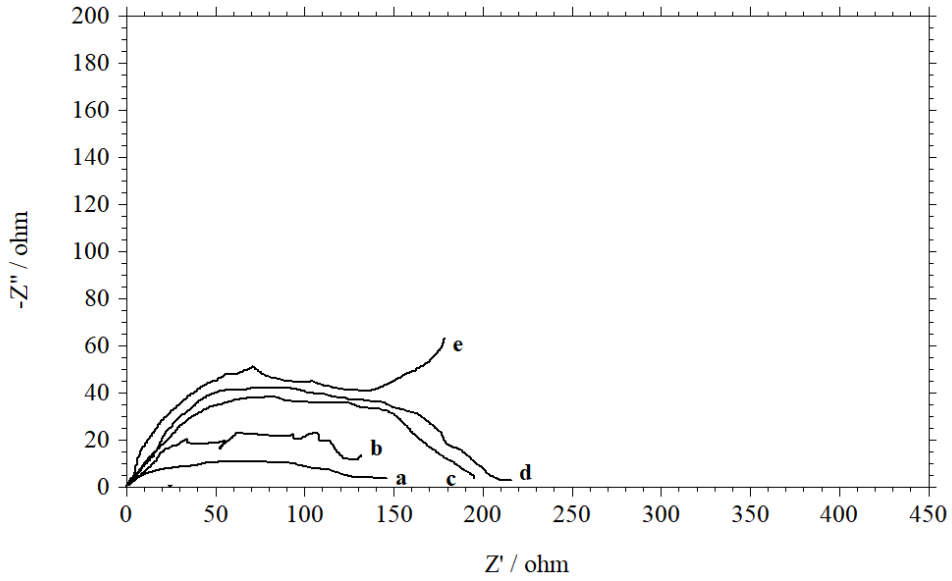
Şekil 4.251. VM 298 K 'de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



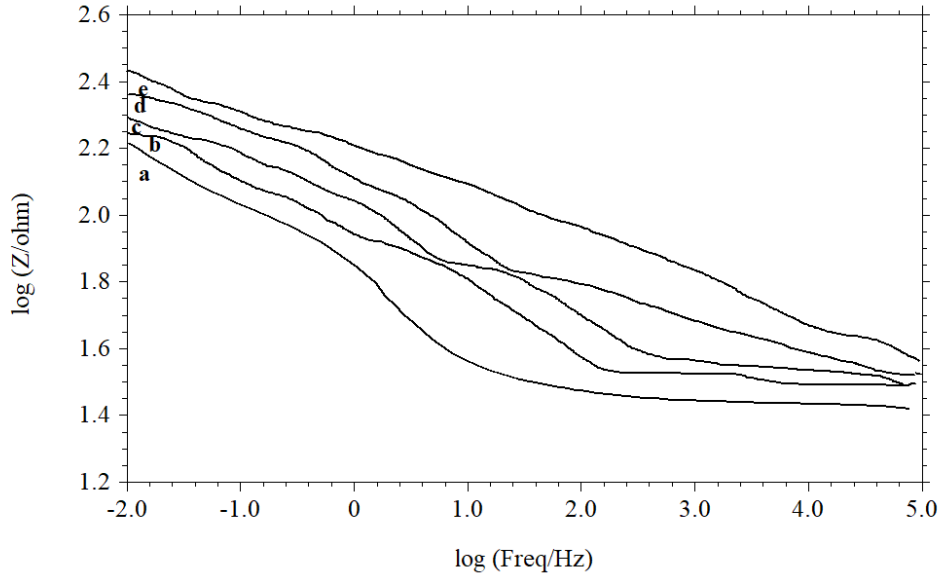
Şekil 4.252. VM 298 K'de Akım - Potansiyel eğrisi.



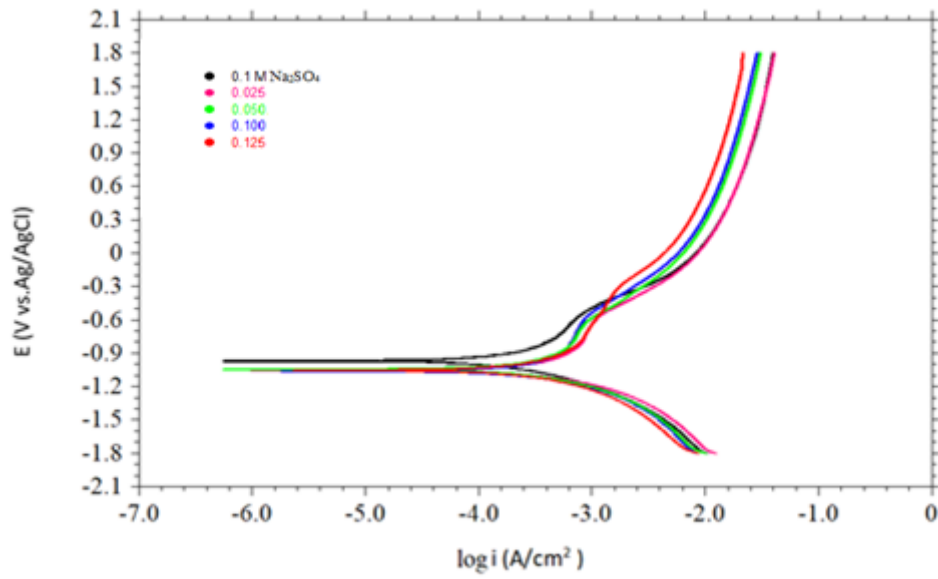
Şekil 4.253. FK 298 K 'de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



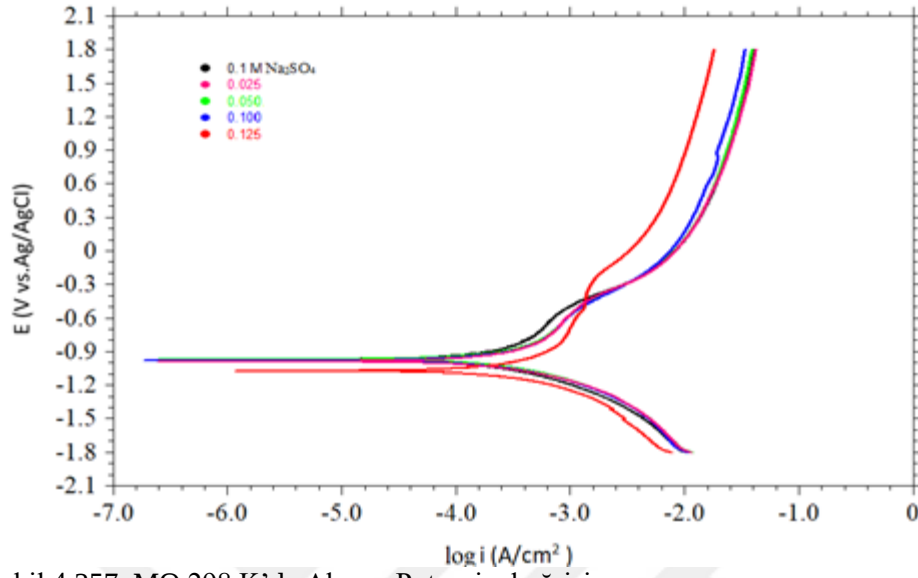
Şekil 4.254. FK 298 K'de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.255. FK 298 K' de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d;0,100mM, e;0,125 mM).



Şekil 4.256. FK 298 K' de Akım - Potansiyel eğrisi.



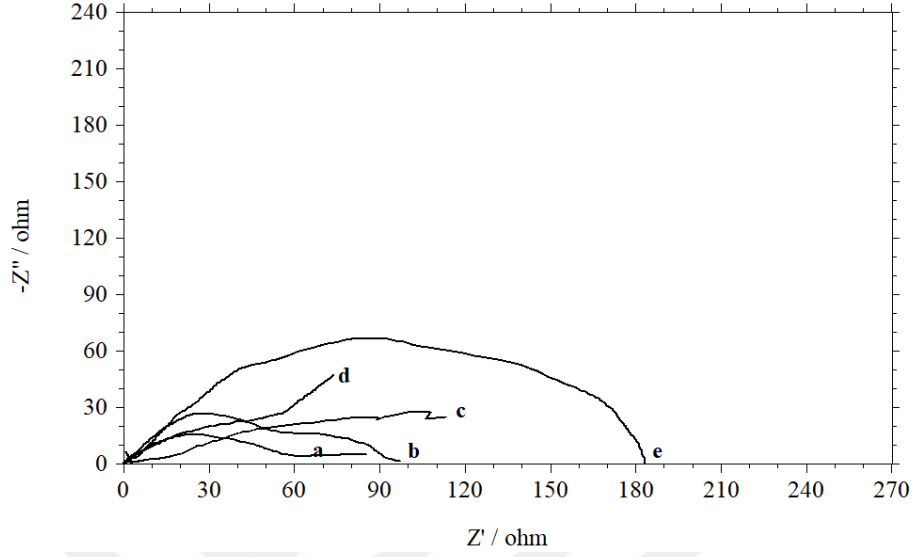
Şekil 4.257. MO 298 K’de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.88. 298 K’de, pH’sı 9,0’da korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

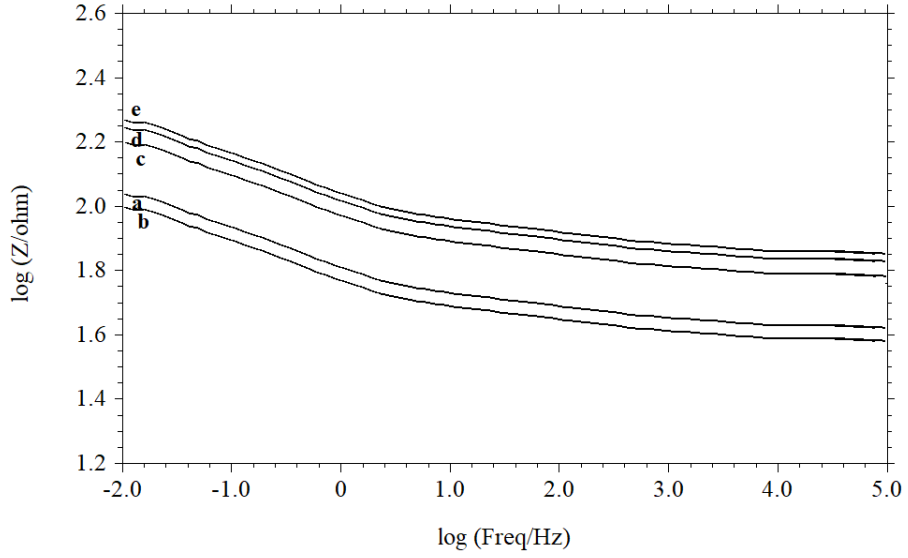
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	162.18	245.46	-0.624	-
MO + 0.1M Na_2SO_4	2.50	154.38	257.86	-0.611	-
	5.00	186.64	213.29	-0.594	13.11
	10.00	224.91	176.99	-0.581	27.89
	12.50	283.14	140.59	-0.590	42.72
FK + 0.1M Na_2SO_4	2.50	177.83	223.86	-0.633	8.80
	5.00	204.17	194.98	-0.604	20.57
	10.00	229.61	173.38	-0.600	29.37
	12.50	269.15	147.91	-0.589	39.74
VM + 0.1M Na_2SO_4	2.50	223.87	177.82	-0.613	27.56
	5.00	249.46	159.58	-0.605	34.99
	10.00	263.00	151.36	-0.594	38.33
	12.50	291.74	136.45	-0.591	44.41

Çizelge 4.88’de, 298 K’de, pH’sı 9,0’da İnhibitör içermeyen 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde yumuşak çelik için R_p değeri 162,18 Ω olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125 mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır (Çizelge 4.88.). İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır.

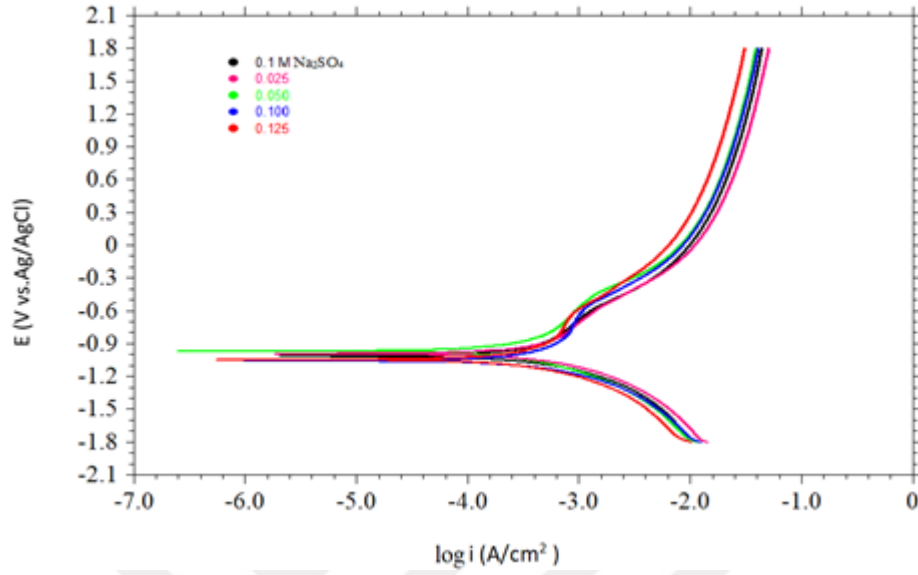
Şekil 4.251-257’de görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Variamin Mavisi, Metil Oranj ve Fenol Kırmızısı şeklindedir. En yüksek inhibitor etkinliği 298 K de % 44,41 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisi + sülfat ortamında tespit edilmiştir.



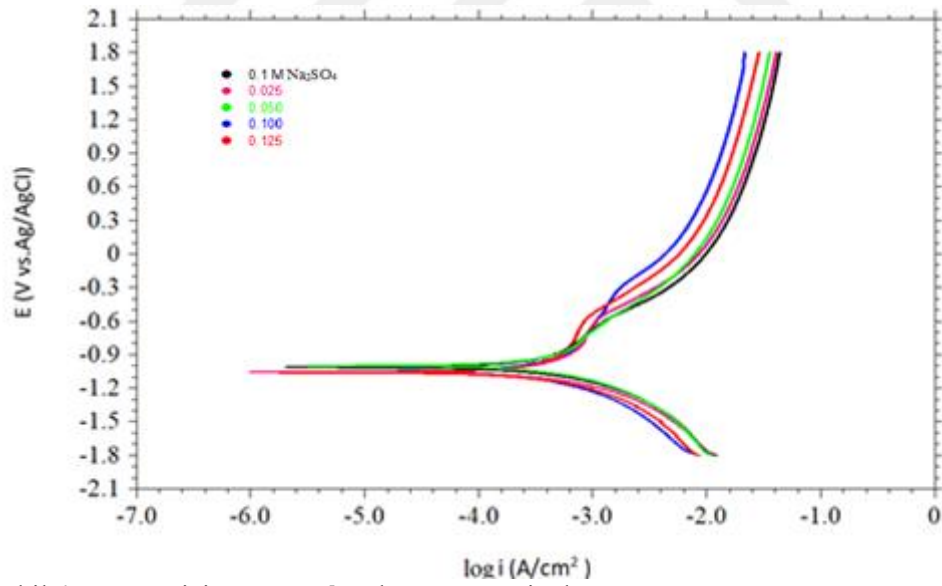
Şekil 4.258. VM 313 K' de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



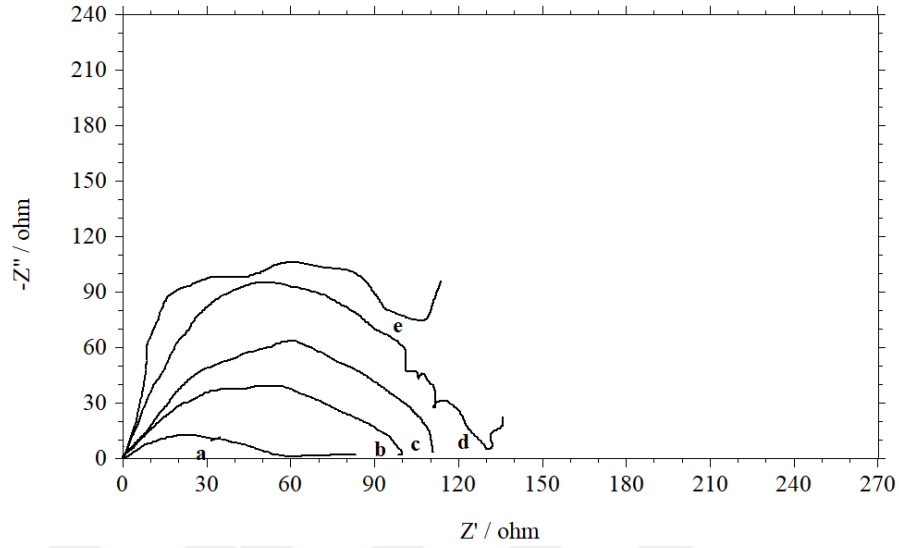
Şekil 4.259. VM 313 K' de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



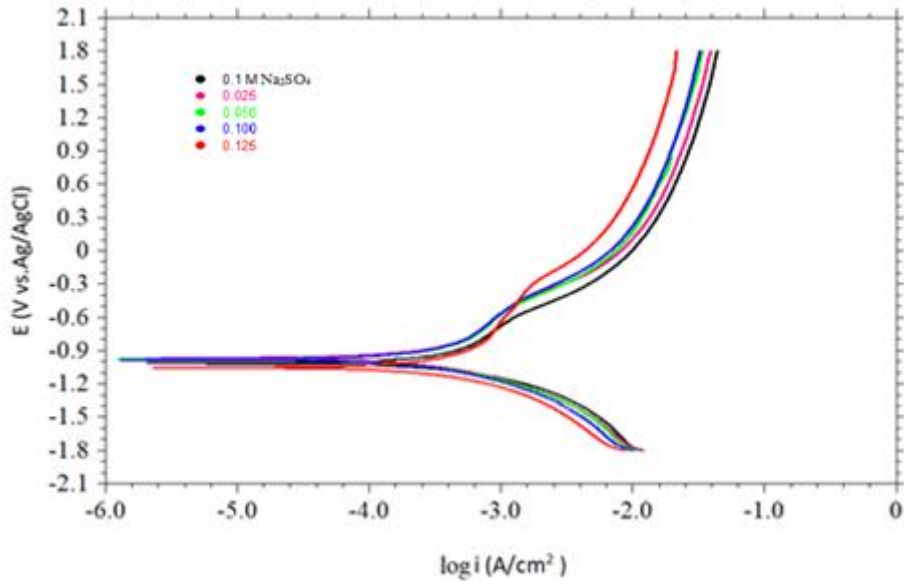
Şekil 4.260. VM 313 K' de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4.261. FK için 313 K' de Akım - Potansiyel eğrisi.



Şekil 4. 262. MO için 313 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125 mM).



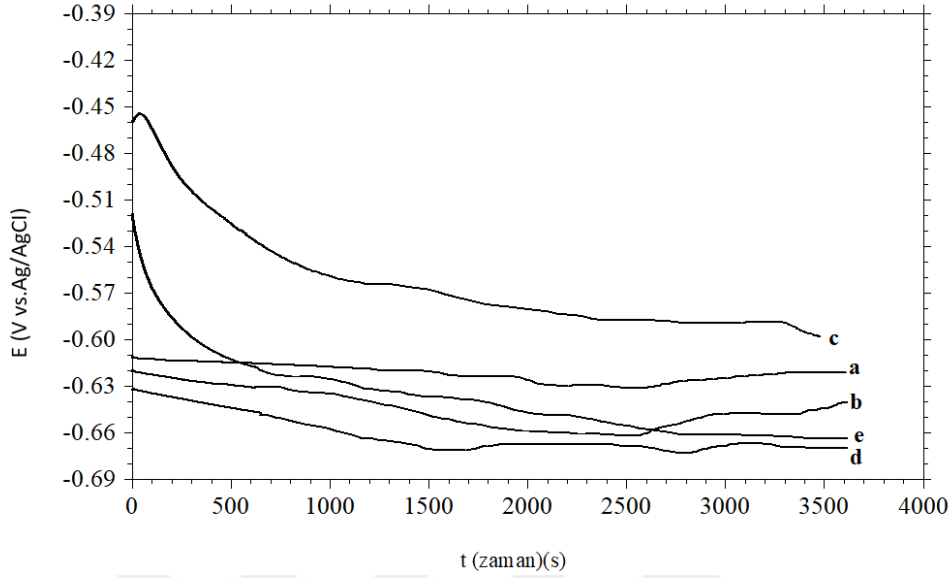
Şekil 4.263. MO için 313 K’ de Akım - Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.89. 313 K’de, pH’sı 9,0’da olan korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

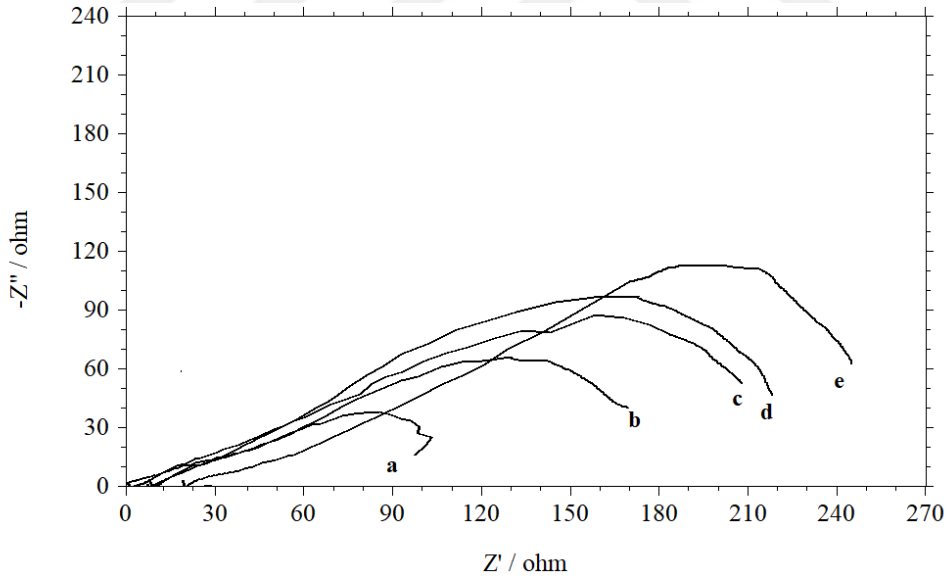
	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	109.64	363.09	-0.644	-
MO + Na_2SO_4	2.50	102.32	389.06	-0.650	-
	5.00	112.20	354.80	-0.641	2.28
	10.00	149.96	265.46	-0.622	26.89
	12.50	178.50	223.02	-0.632	38.58
FK + Na_2SO_4	2.50	107.50	370.32	-0.657	-
	5.00	142.88	278.62	-0.655	23.26
	10.00	201.50	197.56	-0.640	45.59
	12.50	178.50	223.02	-0.633	38.58
VM + Na_2SO_4	2.50	100.00	398.09	-0.638	-
	5.00	162.92	244.35	-0.633	32.70
	10.00	172.78	230.40	-0.614	36.54
	12.50	181.97	218.77	-0.610	39.75

Çizelge 4.89’da 313 K’de, pH’sı 9,0’da İnhibitör içermeyen 0,1 M Na_2SO_4 çözeltisinde yumuşak çelik için R_p değeri 109,64 Ω olmuştur. Sıcaklık artışı ile azalma olmuştur. Bu ortama inhibitör eklendikçe, R_p değerlerinde artışlar olmuştur. R_p en yüksek değerini 0,125mM’lık boyar madde içeren çözeltilerde almıştır. İki buçuk saat bekleme süresi sonunda R_p değerlerinden hesaplanan % İE değerleri, ortama inhibitör eklendikçe artmıştır.

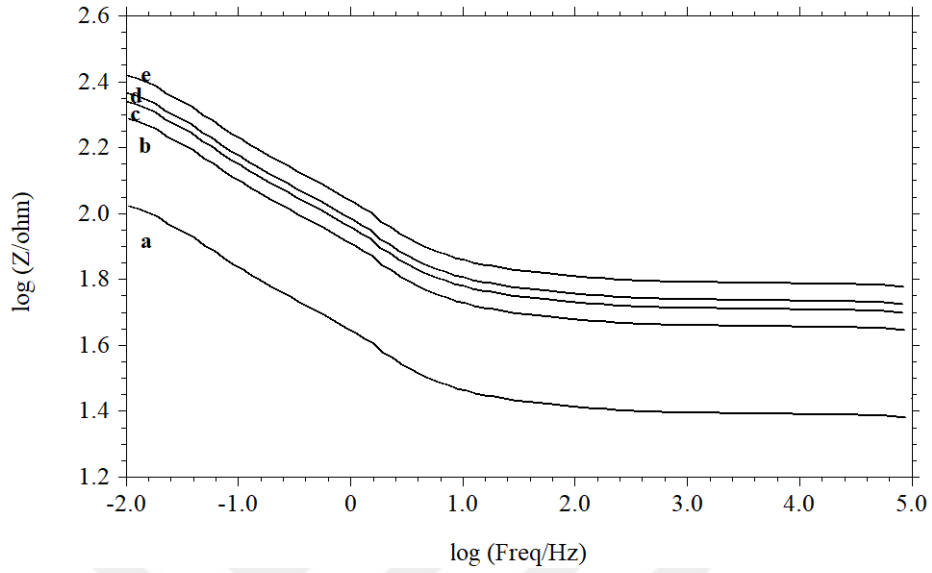
Şekil 4.258-263’de görüleceği üzere derişim arttıkça inhibisyon etkinliği artan boyar maddeler sırasıyla; Variamin Mavisı, Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj şeklindedir. En yüksek inhibitor etkinliği 313 K de % 39,75 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisı + sülfat ortamında tespit edilmiştir.



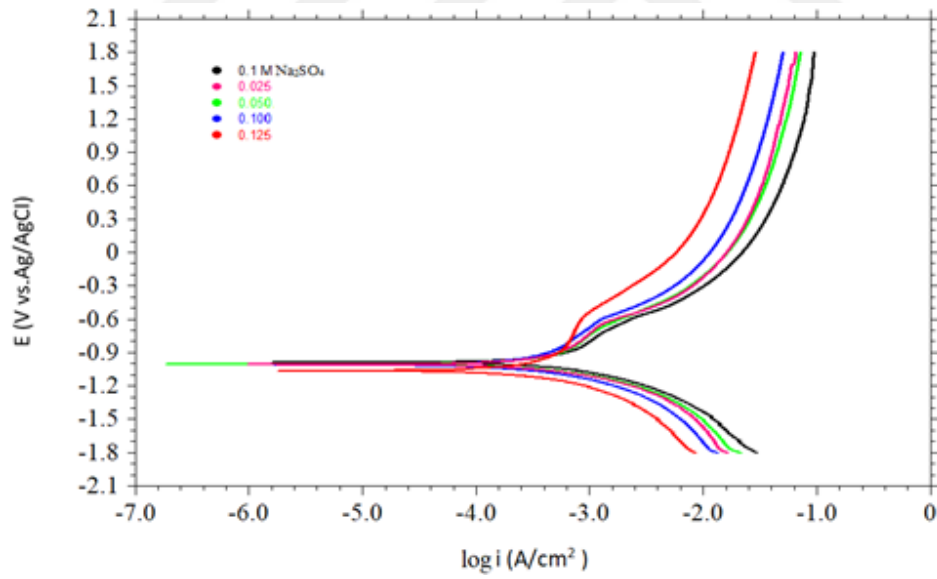
Şekil 4.264. VM 333 K’de Açık Devre Potansiyeli - Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



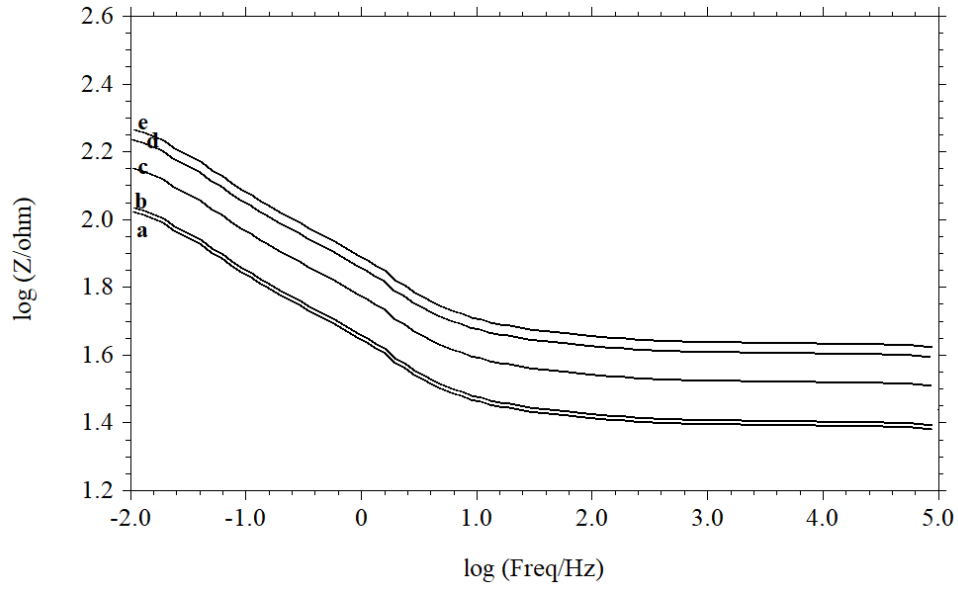
Şekil 4.265. VM 333 K’de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



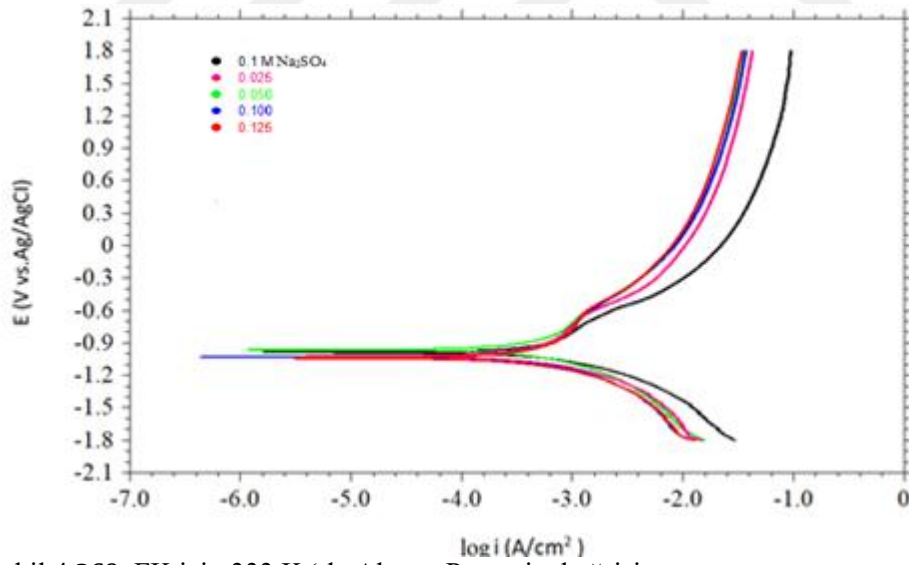
Şekil 4.266. VM 333 K’de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100mM, e; 0,125 mM).



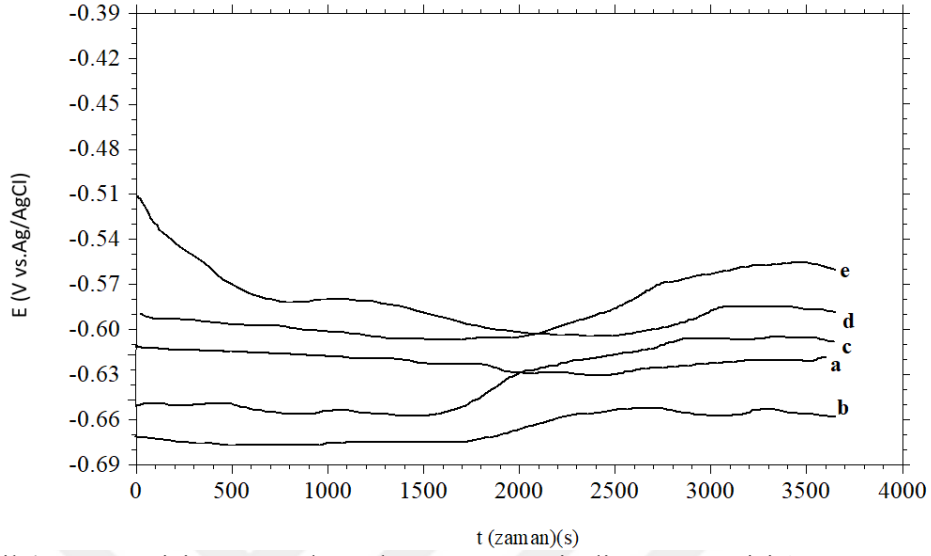
Şekil 4.267. VM 333 K ‘de Akım-Potansiyel eğrisi.



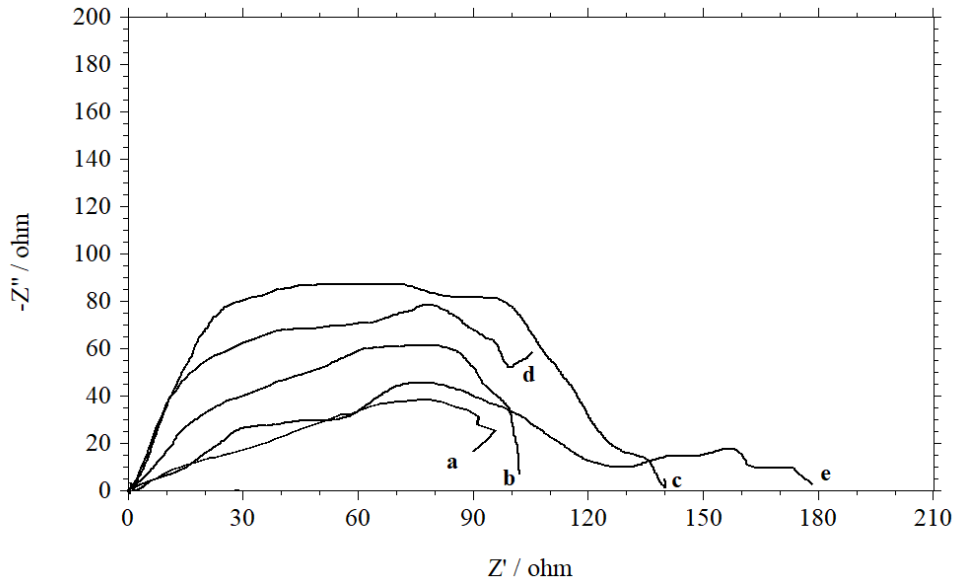
Şekil 4.268. FK için 333K 'de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



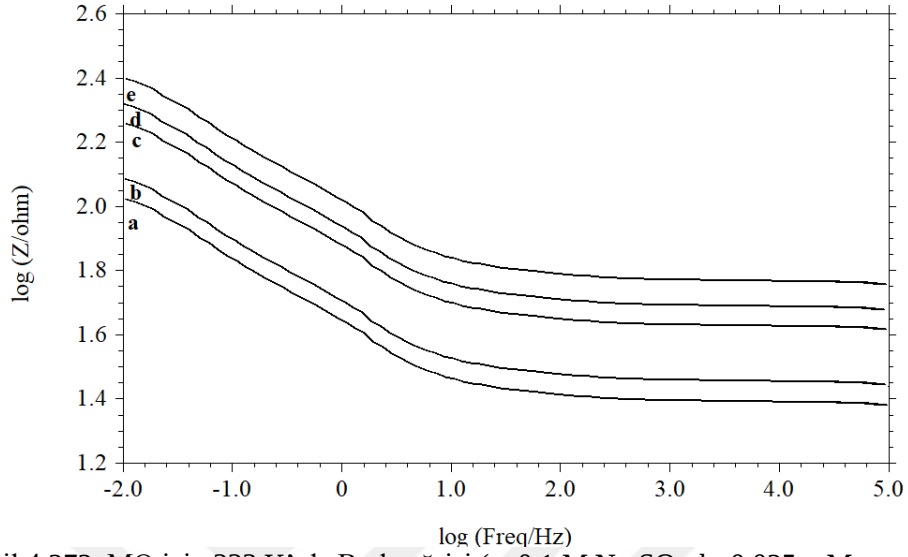
Şekil 4.269. FK için 333 K 'de Akım - Potansiyel eğrisi.



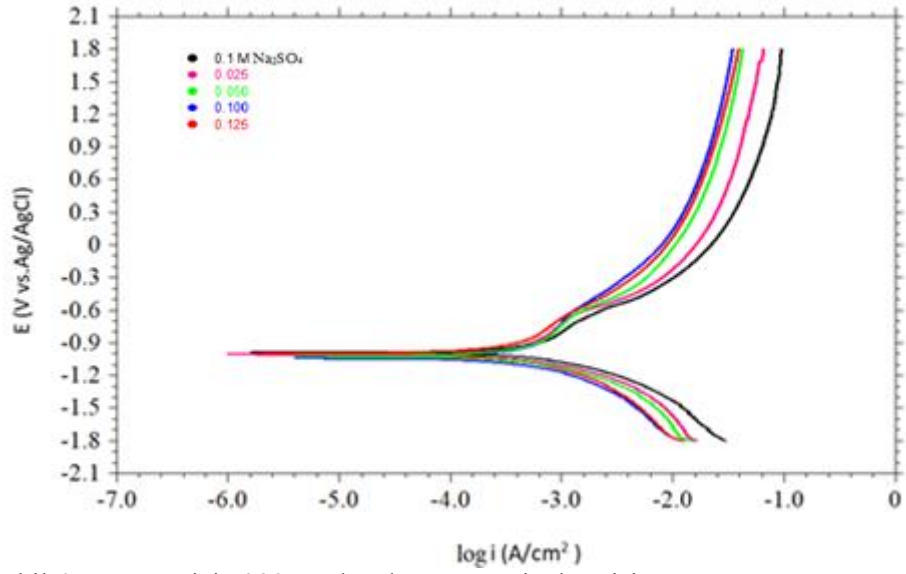
Şekil 4.270. MO için 333 K’ de Açık Devre Potansiyeli-Zaman eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.271. MO için 333 K’ de Nyquist eğrisi (a; 0,1 M Na₂SO₄, b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125mM).



Şekil 4.272. MO için 333 K' de Bode eğrisi (a; 0,1 M Na_2SO_4 , b; 0,025 mM, c; 0,050 mM, d; 0,100 mM, e; 0,125 mM).



Şekil 4.273. MO için 333 K' de Akım-Potansiyel eğrisi.

Çizelge 4.90. 333 K’de, pH’sı 9,0 korozyon potansiyeli, (E_{kor}); korozyon akımı, (i_{kor}); polarizasyon direnci, (R_p); inhibitör etkinlik yüzdesi (İE)

	Konsantrasyon (mmol/L) $\times 10^{-2}$	R_p (Ω)	i_{kor} ($\mu A/cm^2$)	E_{kor} (V/ Ag/AgCl)	İE (%)
0.1M Na_2SO_4	-	103.00	386.49	-0.621	-
MO + Na_2SO_4	2.50	104.71	380.18	-0.659	1.63
	5.00	141.25	281.83	-0.609	27.08
	10.00	171.00	232.80	-0.590	39.77
	12.50	183.02	217.51	-0.561	43.72
FK + Na_2SO_4	2.50	119.00	334.53	-0.638	13.45
	5.00	183.23	217.26	-0.650	43.79
	10.00	213.79	186.21	-0.610	51.82
	12.50	251.00	158.60	-0,549	58.96
VM + Na_2SO_4	2.50	193.00	206.26	-0.641	46.63
	5.00	221.12	180.03	-0.598	53.42
	10.00	229.01	173.83	-0.671	55.02
	12.50	255.33	155.91	-0.665	59.66

0,1 M Na_2SO_4 içinde çeliğin korozyon prosesinin aşamaları inhibitör varlığında şu şekilde verilmiştir:



Eğer metal yüzeyini kaplayacak kadar yeterli $Fe (\text{Inh})_{ads}$ mevcut değilse, korozyon çeliğin açık olan kısımlarından devam eder. Yüksek inhibitör konsantrasyonlarında metal yüzeyi adsorblanmış inhibitör tabakası ile kapatılır $Fe (\text{Inh})_{ads}$ ve böylece korozyona neden olan iyonların metale ulaşması engellenmiş olur. MO’nun inhibisyon etkilerinin daha iyi olmasının nedeni yapısında bulunan Azo grubunun (-N=N-) metal yüzeyine adsorpsiyonunun kolay olmasından dolayı olduğu düşünülmüştür. Böylece metalden çözeltiye doğru hidrofobik bir bariyer

oluşturularak agresif iyonların metale yaklaşmasına engel olduğu kanaatine varılmıştır.

4.20. Adsorpsiyon İzotermeleri

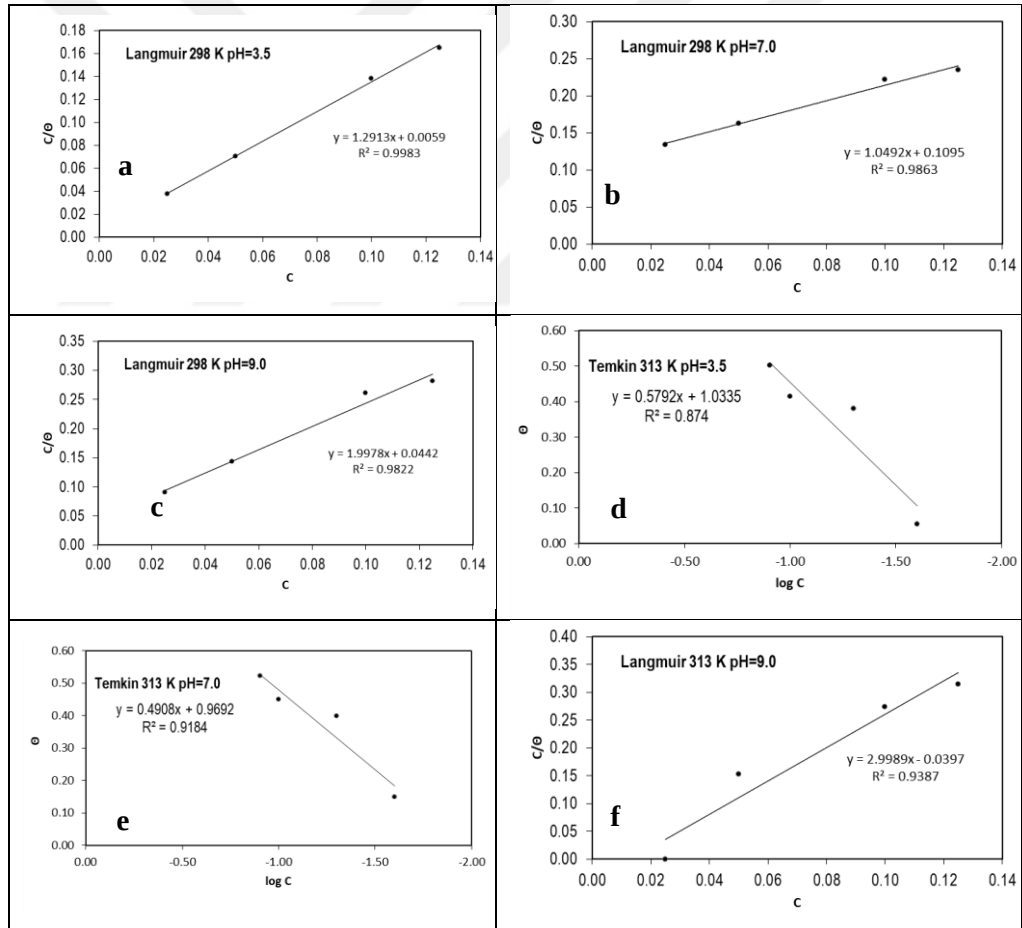
Sıcaklığın ΔG_{ads}° değerine etkisini belirlemek amacıyla 298 K – 333 K’de farklı derişimlerdeki inhibitörlerin iki buçuk saat denge sonunda EIS ölçümlerinden elde edilen yüzey kaplama kesri (θ) değerleri kullanılarak her sıcaklıkta uygun olan (R^2 değeri bire en yakın olan) adsorpsiyon izotermi çizilmiştir (Şekil 4.274-276). Bu izotermiilerden hesaplanan ΔG_{ads}° değeriiler Çizelge 4.90; 4.95; 4.100’de verilmiştir. ΔG_{ads}° değeriiler sıcaklık arttıkça -20 kJ/mol’den daha negatif değeriiler almıştır.

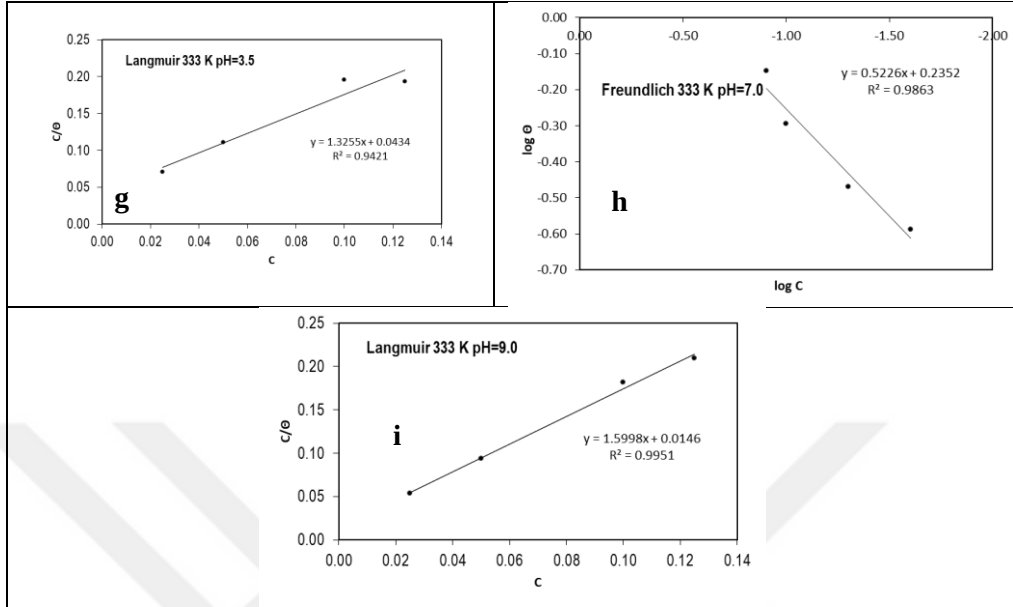
Metil oranjin pH=3,5’de 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre sırası ile Temkin, Dubinin ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre Langmuir, Temkin ve Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre sırası ile Freundlinch, Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değeriine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değeriilerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

Metil oranjin pH=7,0’da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre Langmuir, Temkin ve Freundlinch adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etikiniiliklerine göre sırası ile Temkin, Temkin Langmuir adsorpsiyon izotermine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izotermine R^2 değeriine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değeriilerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu

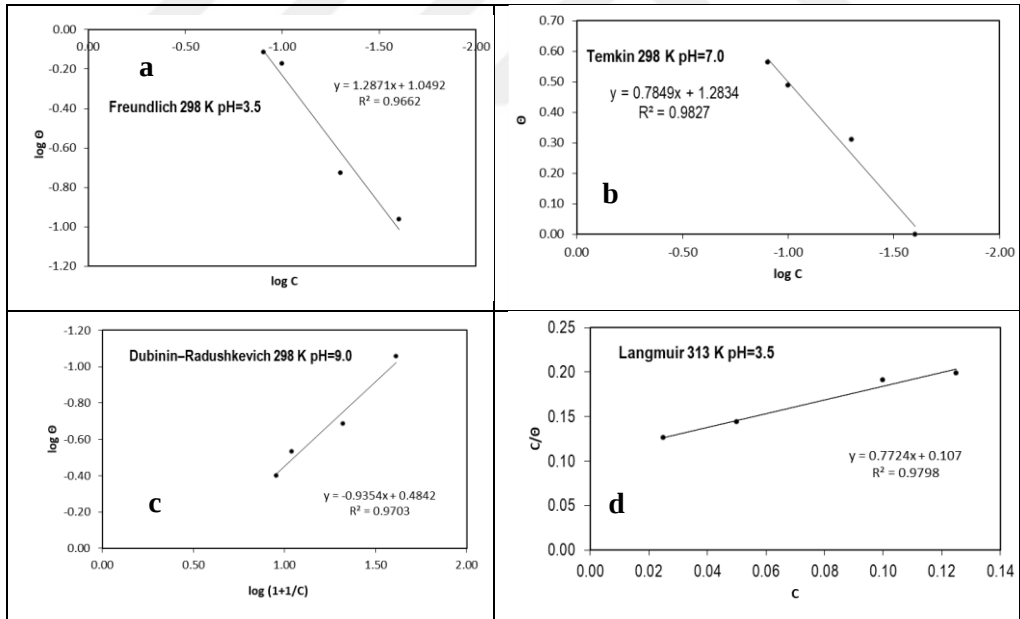
için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.

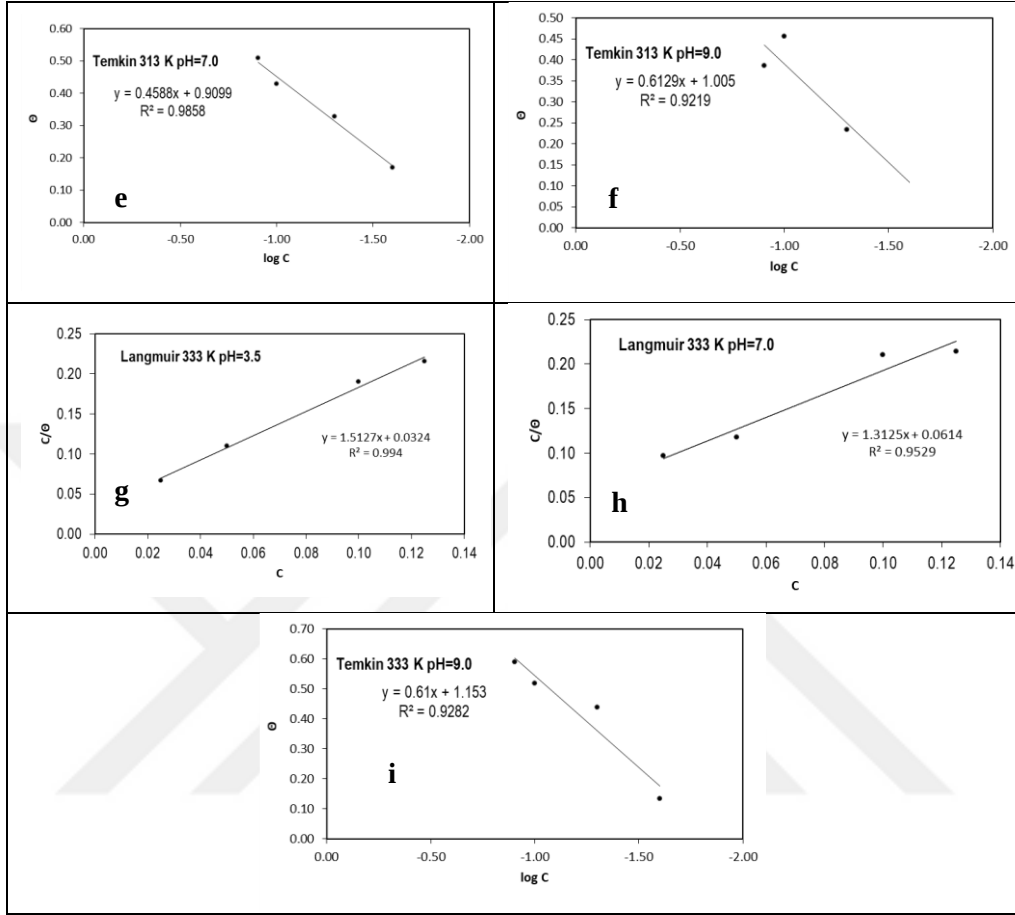
Metil oranjin pH=9,0'da 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Temkin adsorpsiyon izoterminine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Variamin Mavisinin 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre Langmuir, adsorpsiyon izoterminine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Fenol Kırmızısının 298; 313; 333 K sıcaklıklarda inhibisyon etkinliklerine göre sırası ile Freundlinch, Temkin adsorpsiyon izoterminine uygun olduğu kanıtlanmıştır. Her ne kadar kimyasal adsorpsiyon izoterminine R^2 değerine göre daha yakın olsa da ΔG_{ads}° değerlerine göre -20 kJ/mol civarında olduğu için fiziksel adsorpsiyon söz konusudur.



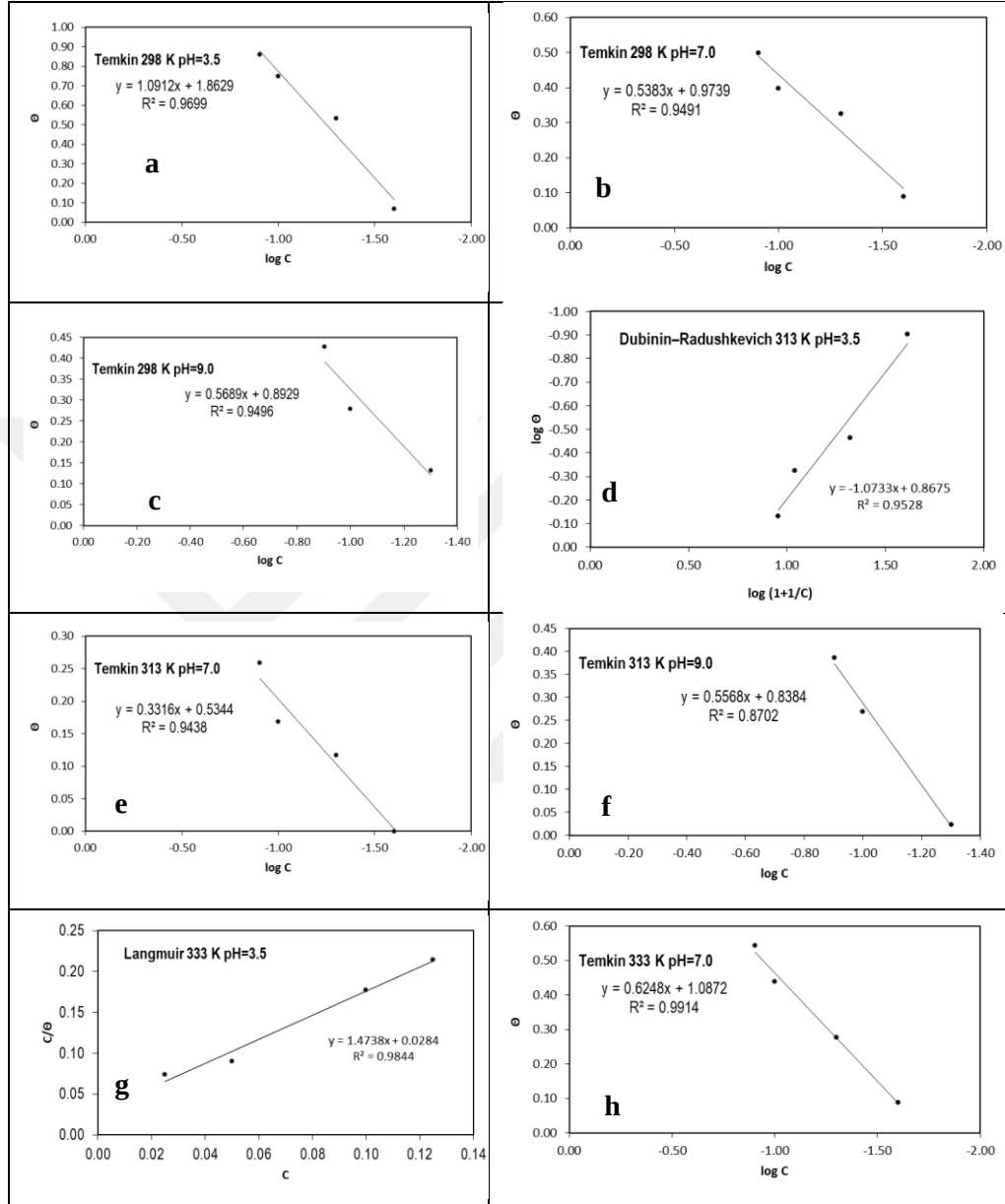


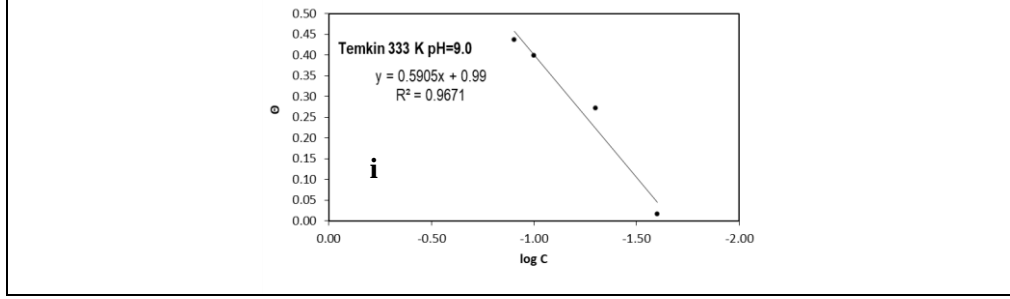
Şekil 4.274. VM için adsorpsiyon izotermi.





Şekil 4.275. FK için adsorpsiyon izotermi.





Şekil 4.276. MO için adsorpsiyon izotermi.

4.21. Yumuşak Çeliğin 0,1 M Na₂SO₄ Çözeltilerinde Saptanan ΔG_{ads}° , ΔS_{ads}° ve ΔH_{ads}° Değerleri

Ortama inhibitör eklendikçe ΔS_{ads}° değerleri azalmıştır. İnhibitör bileşiklerinde ΔS_{ads}° değerlerinin ortama inhibitör eklendikçe daha da azalması çözeltide bulunan inhibitör molekülleri ile su moleküllerinin yer değiştirmesi sonucu düzensizliğin azalması ile açıklanabilir (Çizelge 4.91). Aynı zamanda korozyon devam ettiği için de bazı boyar maddelerin maksimum konsantrasyonlarında artma da söz konusu olmuştur. Saptanan ΔH_{ads}° değerleri genel olarak VM; FK; MO için tüm sıcaklıklarda negatif olmuştur. Bazı derişimlerde ve sıcaklıklarda pozitif olmuştur. ΔH_{ads}° 'nin, negatif değerleri inhibitör moleküllerinin adsorpsiyon süreçlerinin bahsedilen sıcaklıklarda ekzotermik olduğu ve polarizasyon direncinin sıcaklık artışıyla azalması bu sonuçla da uyumlu olmuştur (Çizelge 4.91 - 104). Adsorpsiyon entalpisi -200 kJ/mol civarında olan etkileşimler sonundaki tutunmalar kimyasal adsorpsiyondur. Tanecikler ve yüzey arasında kovalent bağ oluşmaktadır. Çoğu kimyasal adsorpsiyonlar ekzotermik olduğu halde bazı kimyasal adsorpsiyonlar endotermik olabilir.

Çizelge 4.91. pH=3,5’de ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM+ 0.1M Na_2SO_4	FK+ 0.1M Na_2SO_4	MO+ 0.1M Na_2SO_4
298	-39.78	-26.95	-25.52
313	-28.34	-34.24	-28.79
333	-38.93	-39.74	-40.10

Çizelge 4.92. pH = 3,5 ‘de ΔS_{ads}° değerleri

Inhibitör Derişimi (mmol/L)	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° J/mol. K)
0	Metil Oranj	137.836
2.5×10^{-2}		-126.809
5.0×10^{-2}		-82.701
10.0×10^{-2}		308.752
12.5×10^{-2}		-27.567
2.5×10^{-2}	Fenol Kırmızısı	110.269
5.0×10^{-2}		-159.889
10.0×10^{-2}		-115.782
12.5×10^{-2}		-33.081
2.5×10^{-2}	VM	308.752
5.0×10^{-2}		-391.453
10.0×10^{-2}		-363.886
12.5×10^{-2}		-231.564

Çizelge 4.93. MO için pH =3,5 ‘de ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	15.555 -63.309 -50.165 66.488 -33.735
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	14.353 -68.481 -54.676 67.849 -37.419
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	5.799 -82.327 -67.640 62.714 -49.280

Çizelge 4.94. FK için pH =3,5 ‘de ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	14.125 5.910 -74.597 -61.453 -36.808
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	8.903 0.274 -84.285 -70.480 -44.594
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	6.159 -3.021 -92.983 -78.295 -50.756

Çizelge 4.95. VM için pH =3,5 ‘de ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	1.295 52.228 -156.433 -148.218 -108.786
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	14.803 68.299 -150.865 -142.236 -100.820
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	6.969 63.884 -169.284 -160.104 -116.041

Çizelge 4.96. pH=7,0’da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM	Fenol Kırmızısı	Metil Oranj
298	-32.54	-26.45	-27.13
313	-28.51	-28.67	-30.06
333	-34.25	-37.97	-30.01

Çizelge 4.97. pH =7,0'da ΔS°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS°_{ads} , J/mol.K)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	Metil Oranj	-16.540 -22.054 93.728 22.054 154.376
2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	Fenol Kırmızısı	66.161 -132.322 82.701 -60.648
2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	VM	-44.107 27.567 60.648 33.081

Çizelge 4.98. MO için pH =7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-32.059 -33.702 0.801 -20.558 18.874
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-35.237 -36.963 -0.723 -23.157 18.260
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	-35.518 -37.354 1.202 -22.666 21.397

Çizelge 4.99. FK için pH =7,0'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-31.379 -6.734 -65.882 -1.805 -44.523
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-33.847 -7.962 -70.087 -2.784 -47.653
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	-43.478 -15.938 -82.033 -10.430 -58.166

Çizelge 4.100. VM için pH =7,0 'da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-37.469 -45.684 -24.325 -14.467 -22.682
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-33.687 -42.316 -19.881 -9.527 -18.156
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	-39.758 -48.938 -25.070 -14.054 -23.234

Çizelge 4.101. pH=9,0'da ΔG_{ads}° değerleri

Sıcaklık(K)	Serbest Enerji (ΔG_{ads}° kJ/mol)		
	VM	Fenol Kırmızısı	Metil Oranj
298	-34.79	-28.86	-27.35
313	-36.82	-28.41	-28.89
333	-41.95	-29.85	-30.27

Çizelge 4.102. pH =9,0 'da ΔS_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Ortam	Entropi Değişimi (ΔS_{ads}° , J/mol.K)
0	Metil Oranj	16.540
2.5×10^{-2}		-264.645
5.0×10^{-2}		-82.701
10.0×10^{-2}		-49.621
12.5×10^{-2}		159.889
2.5×10^{-2}	Fenol Kırmızısı	-27.567
5.0×10^{-2}		-253.618
10.0×10^{-2}		-55.134
12.5×10^{-2}		220.537
2.5×10^{-2}	VM	-154.376
5.0×10^{-2}		38.594
10.0×10^{-2}		-424.534
12.5×10^{-2}		-407.994

Çizelge 4.103. MO için pH =9,0 ‘da ΔH°_{ads} değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-22.421 -106.214 -51.995 -42.137 20.297
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-23.713 -111.724 -54.776 -44.421 21.155
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	-24.762 -118.397 -57.810 -46.794 22.973

Çizelge 4.104. FK için pH =9,0 ‘da ΔH°_{ads} değerleri

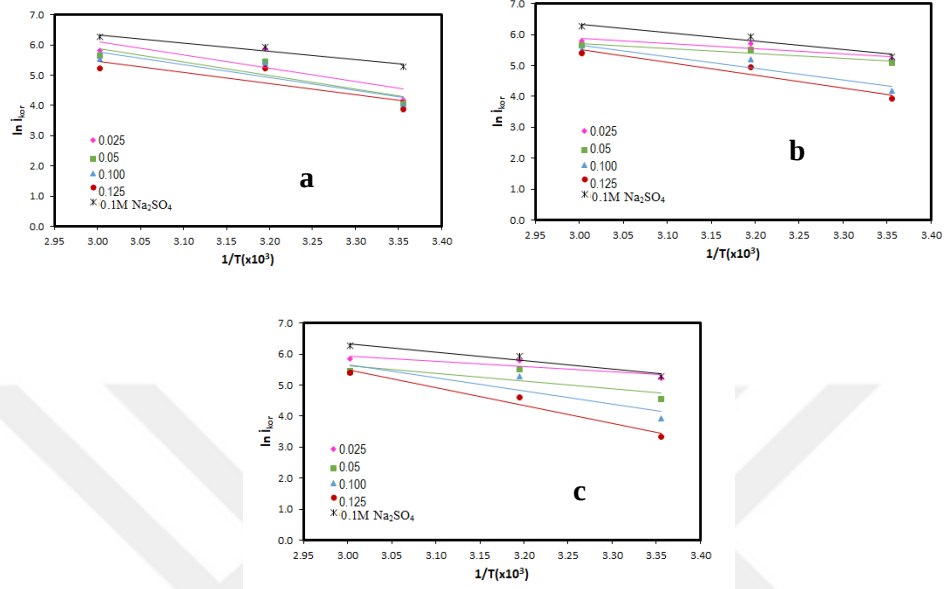
İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH°_{ads} , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-23.931 -37.075 -104.438 -45.290 36.860
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-23.233 -37.039 -107.792 -45.667 40.618
0 2,5x10 ⁻² 5,0x10 ⁻² 10,0x10 ⁻² 12,5x10 ⁻²	333	-24.342 -39.030 -114.305 -48.210 43.589

Çizelge 4.105. VM için pH =9,0'da ΔH_{ads}° değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L)	Sıcaklık (K)	Entalpi Değişimi (ΔH_{ads}° , kJ/mol)
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	298	-29.861 -80.794 -23.289 -161.301 -156.372
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	313	-31.643 -85.140 -24.740 -169.699 -164.522
0 2.5x10 ⁻² 5.0x10 ⁻² 10.0x10 ⁻² 12.5x10 ⁻²	333	-36.442 -93.357 -29.098 -183.320 -177.812

4.22. Arrhenius Doğruları

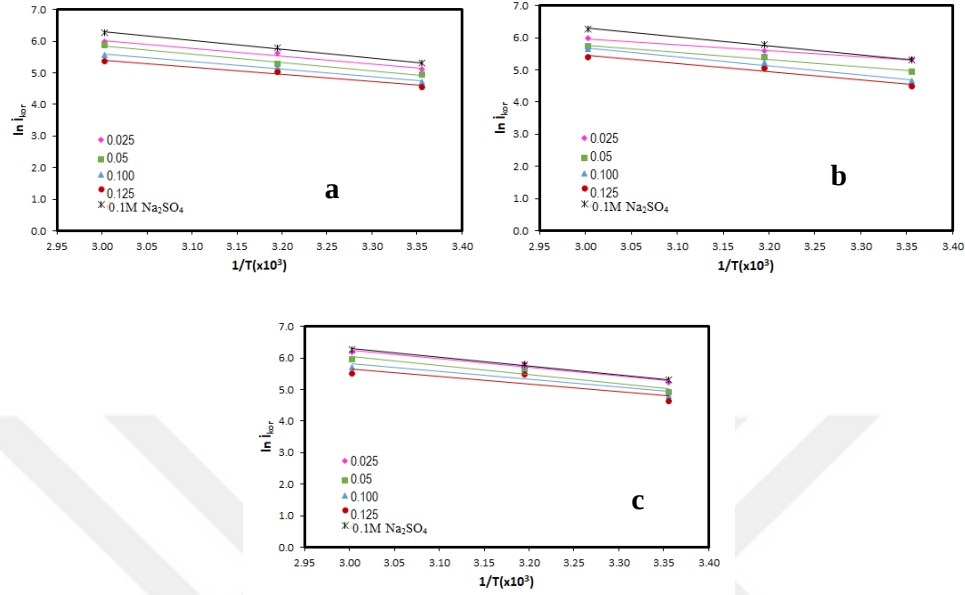
Yumuşak çeliğin pH = 3,5; 7,0; 9,0, 298; 313; 333 K sıcaklıklarda, Sülfat ve Sülfat + xM VM, FK ve MO içeren ortamlardaki Aktivasyon Enerjileri artan konsantrasyon ile artmıştır.



Şekil 4.277. pH=3,5’da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.

Çizelge 4.106. pH=3,5’da E_a^* değerleri

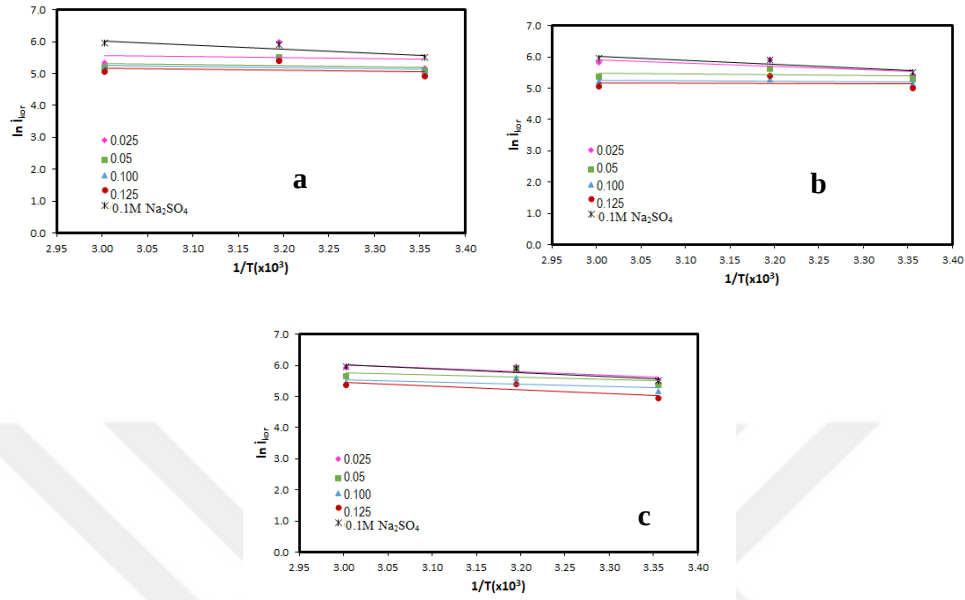
İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO + 0.1M Na_2SO_4
0		-	-
2.50	22.52	14.15	14.26
5.00	37.13	13.18	20.94
10.00	37.00	30.98	34.88
12.50	35.27	34.50	47.85
	30.80		



Şekil 4.278. pH=7,0'da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.

Çizelge 4.107. pH=7,0'da E_a^* değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM + 0.1M Na_2SO_4	FK+ 0.1M Na_2SO_4	MO+ 0.1M Na_2SO_4
0	22.77	-	-
2.50	20.48	15.26	18.66
5.00	21.85	18.43	14.39
10.00	20.09	23.18	20.36
12.50	18.84	21.49	22.64

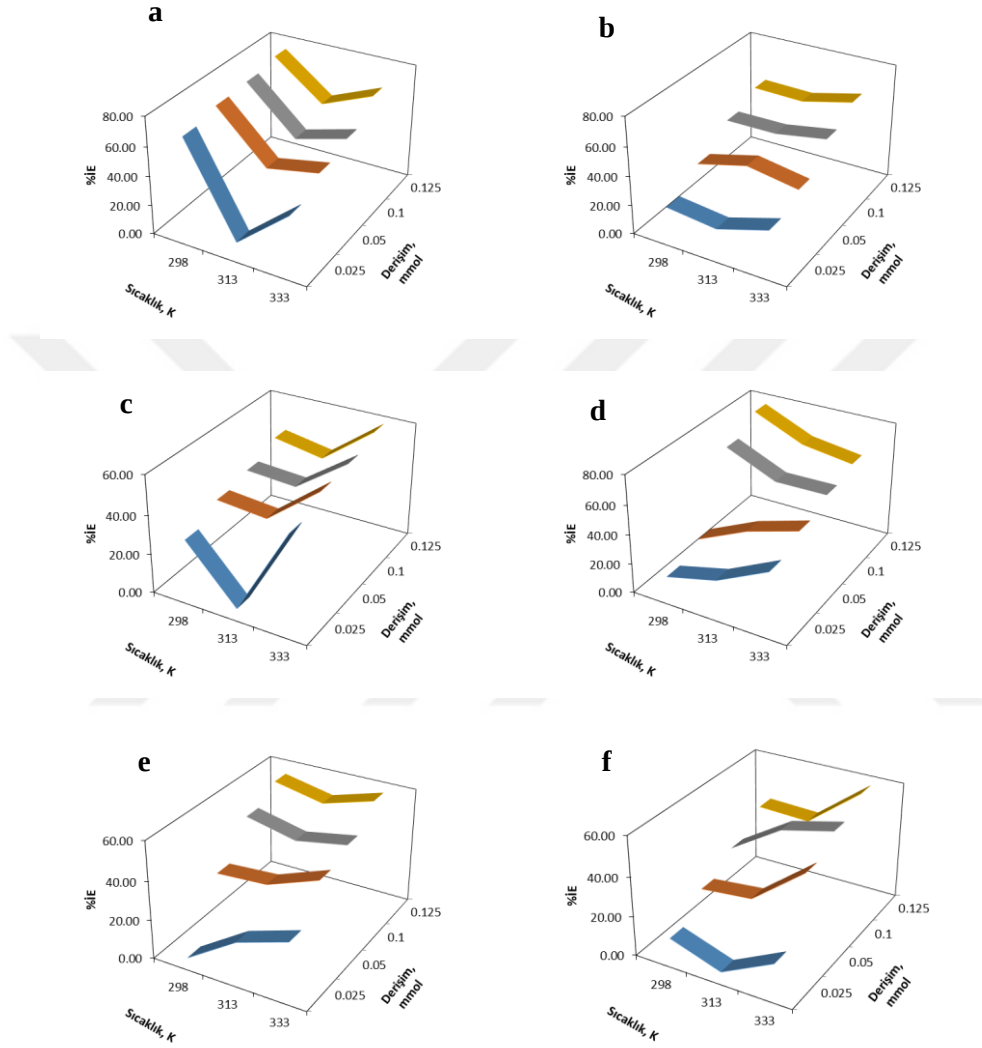


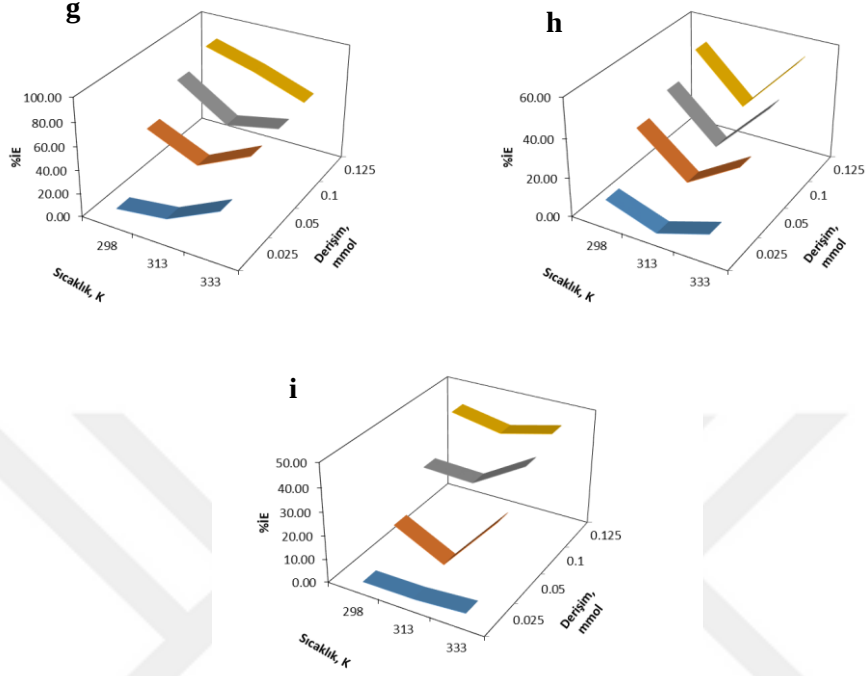
Şekil 4.279. pH=9,0'da VM (a), FK (b), MO (c) Arrhenius doğruları.

Çizelge 4.108. pH=9,0'da E_a^* değerleri

İnhibitör Derişimi (mmol/L) $\times 10^{-2}$	Aktivasyon Enerjisi (E_a^* , kJ/mol)		
	VM+ 0.1M Na_2SO_4	FK + 0.1M Na_2SO_4	MO+ 0.1M Na_2SO_4
0	10.45	-	-
2.50	24.78	90.27	88.27
5.00	23.30	21.26	60.41
10.00	27.69	15.47	60.72
12.50	25.74	11.22	99.23

4.23. İnhibisyon Etkinliği Değerleri



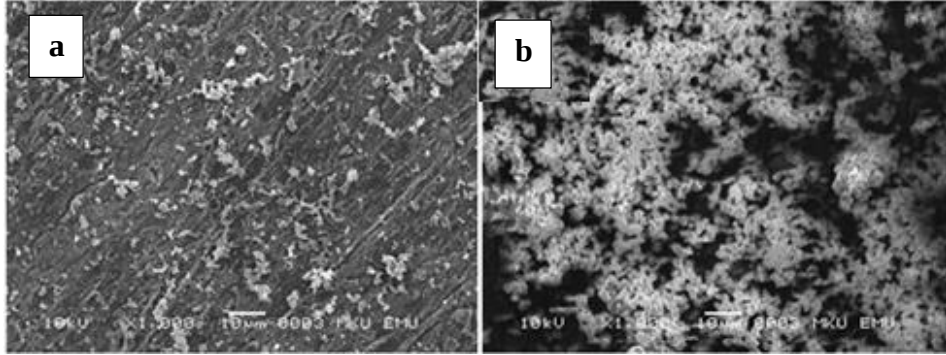


Şekil 4.280. VM + 0,1 M Na₂SO₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (a; b; c), FK + 0,1 M Na₂SO₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (d; e; f), MO + 0,1 M Na₂SO₄ sırasıyla pH=3,5; 7,0; 9,0 (g; h; i) için inhibisyon etkinliği değerleri.

Farklı sıcaklık ve derişimlerde VM, FK ve MO için Nyquist ve Bode eğrilerinden bulunan inhibisyon etkinliği değerleri üç boyutlu grafikler halinde çizilerek Şekil 4.280’de verilmiştir. Bu grafikten inhibisyon etkinliği değerlerinin çalışılan her derişimde sıcaklık artışıyla sistematik olarak azalma göstermediği net bir şekilde görülmektedir.

4.24. SEM bulguları

Elektrotların SEM tekniği ile incelenmiş, 1000 kat büyütülmüş yüzey mikrografları Şekil 4.281’de verilmiştir. Bu mikrograflardan kolayca görüldüğü gibi eklenen inhibitörlerde yüzeylerin düz bir görünüm aldığı, kara lekelerin ve çukurcukların yok olduğu görülmektedir.



Şekil 4. 281. pH= 3,5’ de 0,1 M Na₂SO₄ (a), 0,1 M Na₂SO₄ + 0,125 mmol/L MO (b)elde edilen sem görüntüleri.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Yumuşak çelik ve bakırın 298; 313; 333 K'de pH=3,5; 7,0; 9,0'da % 3,5 NaCl ve % 3,5 NaCl+ xM Variamin Mavisi, Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj içeren ortamlarda, 0,1 M Na₂SO₄ + 0,1 M Na₂SO₄ + xM Variamin Mavisi, Fenol Kırmızısı ve Metil Oranj içeren ortamlardaki korozyon davranışları araştırılmıştır (x: 0,025; 0,050; 0,100; 0,125 mM). Yumuşak çelik ve bakırın yüzey morfolojileri taramalı elektron mikroskobu ile ölçülmüştür. Elde edilen deneysel sonuçlardan kinetik ve termodinamik parametreler belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir.

- 1) Bakırın impedans bulgularına göre; polarizasyon direnci (R_p) derişime bağlı olarak artmış ve buna bağlı olarak Bakırın % 3,5 NaCl ortamında en etkin inhibitör etkinliği gösteren pH ve sıcaklık; 298 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda Fenol Kırmızısı içeren ortamda inhibisyon etkinliği %94,99 olmuştur. 313 K'de pH=7,0'da 0,125 mmol/L konsantrasyonda en yüksek inhibitor etkinliği 313 K de %87,33 ile VM +klorür ortamında, 333 K'de pH=9,0'da en yüksek inhibitor etkinliği %80,00 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisi +klorür ortamında tespit edilmiştir. Bakırın 0,1 M Na₂SO₄ ortamında en etkin inhibitör etkinliği gösteren pH ve sıcaklık; 298 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda Varyamin Mavisi içeren ortamda inhibisyon etkinliği %81,80 olmuştur. 313 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda en yüksek inhibitor etkinliği %82,62 ile Varyamin Mavisi içeren ortamında, 333 K'de pH=3,5'de en yüksek inhibitor etkinliği %77,61 ile 0,125 mmol/L derişim ile Variamin Mavisi ortamında tespit edilmiştir. Bakır , % 3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamında inhibisyon aktivitesindeki artış, inhibitörün konsantrasyonu arttıkça bakır yüzeyine bağlanan organik moleküllerin

sayısındaki artış ile ilgili olduğu belirlenmiştir.

- 2) Bakırın; % 3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamında yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri 298; 313; 333 K'de pH=3,5; 7,0; 9,0'da boyar maddelerin varlığında incelenmiş, boyar maddelerin derişimi ile yüzeye adsorpsiyon artarken buna bağlı olarak akımın azaldığı saptanmıştır. Bu durum boyar maddelerin derişimlerinin artmasıyla bakırın yüzeyine boyar madde moleküllerinin iyi adsorplanmasına bağlı olarak iyonik iletkenlik her iki uçtada azalmakta ve karma tip bir inhibitör olduğunu göstermektedir.
- 3) Yumuşak çeliğin impedans bulgularına göre; polarizasyon direnci (R_p) derişime bağlı olarak artmış ve buna bağlı olarak yumuşak çeliğin %3,5 NaCl ortamında en etkin inhibitör etkinliği gösteren pH ve sıcaklık; 298 K'de pH=9,0'da 0,125 mmol/L konsantrasyonda Variamin Mavisi içeren ortamda inhibisyon etkinliği %93,69 olmuştur. 313 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda en yüksek inhibitor etkinliği 313 K de %91,09 ile VM +klorür ortamında, 333 K'de pH=7,0'da en yüksek inhibitor etkinliği %87,41 ile 0,125 mmol/L derişim ile Metil oranj +klorür ortamında tespit edilmiştir. Yumuşak Çeilğin 0,1 M Na₂SO₄ ortamında en etkin inhibitör etkinliği gösteren pH ve sıcaklık; 313 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda Varyamin Mavisi içeren ortamda inhibisyon etkinliği %82,62 olmuştur. 333 K'de pH=3,5'de 0,125 mmol/L konsantrasyonda en yüksek inhibitor etkinliği %77,61 ile Variamin Mavisi içeren ortamında, 298 K'de pH=7,0'da en yüksek inhibitor etkinliği %74,88 ile 0,125 mmol/L derişim ile Metil Oranj ortamında tespit edilmiştir. Yumuşak çelik metalinde % 3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamında inhibisyon aktivitesindeki artış, inhibitörün konsantrasyonu arttıkça yumuşak çelik yüzeyine bağlanan organik moleküllerin sayısındaki artış ile ilgili olduğu belirlenmiştir.

- 4) Yumuşak çeliğin; % 3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamında yarı-logaritmik akım-potansiyel eğrileri 298; 313; 333 K'de pH=3,5; 7,0; 9,0'da boyar maddelerin varlığında incelenmiş, boyar maddelerin derişimi ile yüzeye adsorpsiyon artarken buna bağlı olarak akımın azaldığı saptanmıştır. Bu durum boyar maddelerin derişimlerinin artmasıyla bakırın yüzeyine boyar madde moleküllerinin iyi adsorplanmasına bağlı olarak iyonik iletkenlik her iki uçtada azalmakta ve karma tip bir inhibitör olduğunu göstermektedir. Deneysel bulgular, elektron alan hidroksil grubu varlığı nedeniyle derişimin yükselmesiyle korozyon sürecini boyar maddenin inhibitör konsantrasyonu arttıkça iyi inhibitör özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur.
- 5) İnhibitör moleküllerin bakır ve yumuşak çelik yüzeyine adsorpsiyonun ağırlıklı olarak Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu ve serbest enerji değişimi (ΔG_{ads}°) -20 kJ/mol civarında kaldığı ve inhibitörlerin ekzotermik işlemde kendiliğinden adsorbe edildiğini ve adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermiştir. ΔG_{ads}° , ΔS_{ads}° ve ΔH_{ads} gibi termodinamik adsorpsiyon parametreleri inhibitörlerin kendiliğinden, ekzotermik süreçte adsorplandıklarını ve adsorpsiyonun fiziksel olduğunu göstermiş, inhibitör molekülleri, yapılarında bulunan azot ve kükürt atomlarının ortaklaşmamış elektron çiftleri ile metalin etkileşim sonucu koruyucu bir film tabakası oluşturarak yüzeyde tutunduğu göstermiştir.
- 6) Aktivasyon Enerjisinin (E_a^*); derişimle artması, her iki ortamda da bakır ve yumuşak çeliğin yüzeyinde boyar maddelerin inhibitör etkisinin fiziksel olarak adsorplandığını ifade etmektedir.
- 7) Elektrot yüzeylerinin SEM görüntülerinde, yumuşak çelik ve bakır elektrotlarda % 3,5 NaCl ve 0,1 M Na₂SO₄ ortamındaki girinti çıkıntılı

çukur görünümünde büyük kara lekeler görülmekteyken boyar madde içeren ortamlarda yüzeyin kaplandığı gözlemlenmiştir.

- 8) Tavsiye edilen derişim, pH ve sıcaklığın altında ve üstünde korozyon hızında artış gözlenebileceğı göz önünde bulundurulmalıdır.
- 9) Isıtma-soğutma sistemlerinde kullanılan bakır ve yumuşak çeliğın boyar madde molekülleri ile koruma uygulamalarının sabit sıcaklıkta (298 K) ve pH=3,5'de ve 0,125 mM konsantrasyonlarda yapılması önerilir.

KAYNAKLAR

- Almajid, A., et al., Electrochemical Corrosion Behavior of API X-70 5L Grade Steel in 4.0 wt. % Sodium Chloride Solutions after Different Immersion Periods of Time. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2014.
- Al-Sabagh, A. M., Abd-El-Bary, H.M., El-Ghazawy, R.A., Mishrif, M. R., Hussein, B.M. "Corrosion inhibition efficiency of linear alkyl benzene derivatives for carbon steel pipelines in 1M HCl", *Egyptian Journal of Petroleum*, 20, 33–45, 2011.
- Atta, A.M., Gama, I A., El-Mahdy., and Hamad, A., Al-Lohedan., Application of Amphiphilic 2-Acylamido-2-Methylpropane Sulfonic Acid - co-N-Isopropyl Acrylamide Nanogels as Thin Film Coatings. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10 ,102 – 111, 2014.
- Atta, A.M., et al., Application of Silica/polyacrylamide nanocomposite as Anticorrosive layer for Steel. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10, 151 - 16, 2014.
- Bedaira, M.A., El-Sabbaha, M.M.B., Foudab, A.S., Elaryiana, Synthesis, H.M., electrochemical and quantum chemical studies of some prepared surfactants based on azodye and Schiff base as corrosion inhibitors for steel in acid medium, *Corros. Sci.* 128, 54–72, 2017.
- Berrissoul, A., ADafali, A., A comparative study on the corrosion behavior of mild steel and aluminum alloy in acidic medium using green corrosion inhibitor. *Physical Sciences*, 19-31, 2019.
- Bockris, J.O.M., Reddy, A.K.N., "Modern Electrochemistry", Vol.2, Plenum Press, New York, 1997.
- Cui, Y., et al., Characterization of corrosion scale formed on stainless steel delivery pipe for reclaimed water treatment. *Water Research*, 816-825, 2016.
- Çelik, S., Yüksek Lisans Tezi. Çukurova Üniversitesi, 2012.
- Dubinin, M.M. and Radushkevich, L.V. The Equation of the Characteristic Curve of Activated Charcoal. *Proceedings of the Academy of Sciences, Physical*

- Chemistry Section, 55, 331,1947.
- Elleithy, W.M., Sharif, A.M., Maslehuddin, M. and Azad, A.K., “Effects of Effect of Holidays and Surface Damage to FBEC on Reinforcement Corrosion”, Construction and Building Materials, Vol. 12, No. 4, 185-193, 1998.
- Emregül, K.C., Hayvalı, M., Studies on the Effect of Vanillin and Protocatechualdehyde on the Corrosion of Steel in Hydrochloric Acid, Material Chemistry and Physics 83, 209–216, 2003a.
- Erbil, M., Alternatif Akım (AC) İmpedansı Yöntemiyle Korozyon Hızının Belirlenmesi. Doğa, TU Kim. D.C. 11 S. 3,1987.
- Erbil, M., Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması, Segem, Ankara, s: 3–146, 1984.
- Erbil M., Korozyon–1: Segem, Ankara, 1985.
- Erbil, M., Korozyon (İlkeler – Önlemler), Poyraz Ofset, Ankara, s: 1–3, 2012.
- Feier, B., et al., Highly Selective Electrochemical Detection of Copper (II) Using N, N’-bis(acetylacetone)ethylenediimine as a Receptor. Int. J. Electrochem. Sci., 10,121 – 139,2014.
- Frumkin, A.N., Z. Phys. Chem., vol. 116, p. 466. (1925). [33] Frumkin, A.N., Z. Phys., vol. 35, p. 792,1926.
- Gupta, N.K., Verma, C., Quraishi, M.A., Mukherjee, A.K., Schiff's bases derived from lysine and aromatic aldehydes as green corrosion inhibitors for mild steel: Experimental and theoretical studies, J. Mol. Liq. 215, 47–57, 2016.
- İsmail, I., et al., Corrosion Protection of Mild Steel by the Synergetic effect of Sodium Dodecylbenzenesulfonates and Zinc Sulfate in Sodium Chloride Solution. Int. J. Electrochem. Sci., 14, 11491 – 11508,2019.
- Kılınççeker, G. Cu, Zn, Pirinç ve Fe’nin Sulu Çözeltilerdeki Korozyon Davranışları Üzerine Fosfat İyonlarının Etkileri.Doktora Tezi, 1-142, 1998.
- Kılınççeker, G. Çelik, S. Experimental and computational investigation of variamine blue as an inhibitor for copper in chloride solution. Journal of dispersion science and technology,2020.

- Kılınççeker, G. Çelik, S. Electrochemical adsorption properties and inhibition of copper corrosion in chloride solutions by ascorbic acid: experimental and theoretical investigation. *Ionics*, 19, 11, 1655-1662, 2012
- Kılınççeker, G. Galip, H. The effect of acetate ions on electrochemical behavior of copper in chloride solutions. *Mater. Chem. Phys.*, 110, 380, 2008.
- Kılınççeker, G. The effects of acetate ions on electrochemical behaviour of brass in chloride solutions. vol. 329, p. 112, 2008.
- Kılınççeker, G., Baş, M., The Inhibition Effect of (E)-2-Hydroxy-5-(2-benzylidene) Aminobenzoic Acid on Corrosion behaviour of Mild Steel in 1.0 M HCl Solution, *Protection of Metals and Physical Chemistry of Surfaces*, 414-426, 2020.
- Li, L, Qu, Q., Bai, W., Yang, F., Chen, Y., Zhang, S., Ding, Z., “Sodium diethyldithiocarbamate as a corrosion inhibitor of cold rolled steel in 0.5 M hydrochloric acid solution” *Corrosion Science*, 59, 249– 257, 2012.
- Ocampo, L.B.M., et al., Using Hibiscus Sabdariffa as Corrosion Inhibitor for Al in 0.5 M H₂SO₄. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 10, 388 – 403, 2014.
- Magalhães, M., et al., Inhibitory Action of *Ilex paraguariensis* Extracts on the Corrosion of Carbon Steel in HCl Solution. *Int. J. Electrochem. Sci.*, 2014.
- Negm, N.A., Elkholy, Y.M., Zahran, M.K., Tawfik, S.M., “Corrosion inhibition efficiency and surface activity of benzothiazol-3-ium cationic Schiff base derivatives in hydrochloric acid”, *Corrosion Science*, 52, 3523–3536, 2010.
- Oulmas, C., et al., Comparative study of Cu–Zn coatings electrodeposited from sulphate and chloride baths. *Heliyon*, 2019.
- Özkır D., Bazı Azür Bileşikleri ve Türevlerinin Asidik Ortamda Yumuşak Çeliğin Elektrokimyasal Davranışına Etkilerinin Belirlenmesi, Niğde Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Doktora Tezi, s: 160–163, 2012.
- Perry, S.C., P et al., Pourbaix Diagrams as a Simple Route to First Principles

- Corrosion Simulation. J. Electrochem. Soc. 166 C3186,2019.
- Pourbaix, M., Atlas of Electrochemical Aqueous Solutions, Pergamon Press, 1966.
- Rahal, C., Masmoudi, M., Abdelhedi., R, Sabot, R., Jeannin, M., Bouaziz, M., Refait, P., Olive leaf extract as natural corrosion inhibitor for pure copper In 0.5 M NaCl solution: A study by voltammetry around OCP. Journal of Electroanalytical Chemistry: 769, 53–61, 2016.
- Rahiman, A.F.S.A, Sethumanickam, S., Corrosion inhibition, adsorption and thermodynamic properties of poly(vinyl alcoholcysteine) in molar HCl, Arabian J. Chem. 10, 3358–3366, 2017.
- Salghi1, R., et al., 2, 10-dimethylacridin-9(10H)-one as New Synthesized Corrosion Inhibitor for C38 Steel in 0.5 M H₂SO₄ Int. J. Electrochem. Sci., 10,259 – 271,2014.
- Sarikaya, Y., Fizikokimya., Gazi Kitabevi, Ankara, 2004.
- Singh, D.K., Ebenso, E.E., Singh, M.K., Behera, D., Udayabhanu, G., John, R.P., Non-toxic Schiff bases as efficient corrosion inhibitors for mild steel in 1 M HCl: Electrochemical, AFM, FE-SEM and theoretical studies, J. Mol. Liq. 250, 88–99, 2018.
- Stern, M., Geary, A.L., Electrochemical Polarization, I. A Theoretical Analysis of the Shape of Polarization Curves, J. Econ. Soc. 104, 56-63, 1957.
- Soltani, N., Khayatkashani, M., Gundelia tournefortii as a Green Corrosion Inhibitor for Mild Steel in HCl and H₂SO₄ Solutions. Int. J. Electrochem. Sci., 10,46-62,2014.
- Scully, J.R. Polarization Resistance Method for Determination of Instantaneous Corrosion Rate. *Corrosion* 56 (02),2000.
- Song, Y., et al., Effects of chloride ions on corrosion of ductile iron and carbon steel In soil environments. Scientific Reports,1-13,2017.
- Tank, Y., et al., The Corrosion Behavior of Pure Iron under Solid Na₂SO₄ Deposit in Wet Oxygen Flow at 500 °C. Materials, 6144-6157, 2014.
- Temkin, M.J., Pyzhev, V., Acta. Physiol. Chem. USSR, 12: 271,1940.

- Umoren, U., et al., Inhibition of mild steel corrosion in HCl solution using chitosan. Cellulose, 2013.
- Üneri, S., Korozyon İnhibitörlerinin Prensipleri ve Pratiği, Segem, Ankara, s: 121, 1984.
- Wang, F., et al., 6-dibutylamino-1,3,5-triazine-2,4-dithiolmonosodium as an inhibitor of brass corrosion in 0.5 M sodium chloride solution. Int. J. Electrochem. Sci., 2019.
- Wheat, H.G., “Using Polymers to Minimize Corrosion of Steel in Concrete”, Cement and Concrete Composites, 24, 119–126, 2002.
- Vrsalović, L., et al., Corrosion Protection of Copper in Sodium Chloride Solution using Propolis. Int. J. Electrochem. Sci., 13, 2102 – 2117, doi: 10.20964/02.71, 2017.
- Zhen, C., et al., Fabrication and Electrocatalytic Performance of a TwoDimensional β -PbO₂ Macroporous Array for Methyl Orange Degradation. nt. J. Electrochem. Sci., 14, 7790 – 7810, doi: 10.20964/08.45, 2019.



ÖZGEÇMİŞ

Sema ÇELİK; İlk, Orta ve Lise eğitimini Adana'da tamamladı. 2003 yılında başladığı Cumhuriyet Üniversitesi Ahmet Çuhadaroğlu MYO Gıda Teknolojisi Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl başladığı Mustafa Kemal Üniversitesi Kimya Bölümünden 2008 yılında mezun oldu. 2008 yılında Çukurova Üniversitesi YADİM'de hazırlık okudu. 2009 yılında başladığı Fizikokimya Anabilim dalı Fizikokimya Laboratuvarı 'nda yüksek lisans eğitimini 2012 yılında tamamladı. Bir adet uluslararası dergide yayını bulunmaktadır. 2013 yılında, Fizikokimya Laboratuvarı 'nda doktora eğitime başladı ve halen bu bölümde bilimsel çalışmalarına devam etmektedir. Uluslararası bilimsel toplantılarda, bildiri kitabında basılan 1 adet poster 8 adet yayını bulunmaktadır.2 Bilimsel Araştırma Projesinde tez öğrencisi olarak görev almış 2 Üniversite-Sanayi iş birliği projesinde yurt içinden araştırmacı olarak görev almıştır. Enerji ve Yağ alanlarında Uluslararası bilimsel toplantılarda, bildiri kitabında basılan 1 adet poster 5 adet yayını bulunmaktadır.2020 yılında Journal Of Dispersion Science And Technology dergisinde yayınlanan bildirisi vardır.2010-2013 yıllarında Nur İlaç fabrikasında, 2013-2021 yılları arasında Aves Enerji Yağ ve Gıda San. A.Ş' de görev yapmıştır. 2020 yılında İleri Seviye Mentorluk Eğitimi almıştır. Mart 2021'den beri Kadooğlu Yağ San. Tic. AŞ firmasında Ar-Ge ve Kalite Müdürü olarak çalışmaya devam etmektedir. Hali hazırda Çukurova Üniversitesi ve Kadooğlu Yağ San. Tic. AŞ ile Üniversite-Sanayi iş birliği projesinde yurt içinden araştırmacı olarak görev almaktadır.





EKLER



Tezden Sunulan Bildiriler:

1. *Yumuşak çeliğin % 3,5 NaCl çözeltisindeki (pH=3,5) elektrokimyasal davranışlarına Variamin mavisi ve Fenol kırmızısının etkisi*” IMSEC, 2017.
2. “*The Inhibition Effects Of Variamine Blue On Corrosion Behaviour Of Copper In Chloride Solution*”, KCC, 2018.
3. “*Yumuşak çeliğin Klorür Çözeltisindeki Korozyon Davranışlarına Metil Oranjin İnhibitör Etkisi*” IMSEC, 2018.
4. “*Bakırın Klorür Çözeltisindeki Korozyon Davranışlarına Fenol Kırmızısının İnhibitör Etkileri*” KORSEM, 2018.
5. “*Bakırın Sulu Ortamlardaki Elektrokimyasal Davranışı Üzerine Variamin Mavisinin Etkileri*” MULTİDİSİPLİNER, 2019.
6. “*Yumuşak çeliğin pH=7,0’da Sulu ortamlardaki Elektrokimyasal davranışı Üzerine Fenol Kırmızısının Etkileri*” ULUSLARARASI AKDENİZ SEMPOZYUMU, 2019.
7. “*Yumuşak çeliğin Sulu Ortamlardaki elektrokimyasal davranışı Üzerine Metil Oranjin sabit Sıcaklıktaki Etkileri*” ULUSLARARASI AKDENİZ SEMPOZYUMU, 2019.
8. “*Yumuşak çeliğin Sodyum Sülfatlı Ortamlardaki Elektrokimyasal Davranışına Metil Oranjin İnhibisyon Etkisinin Araştırılması*” ULUSLARARASI AKDENİZ SEMPOZYUMU, 2019.
9. “*Yumuşak çeliğin Sodyum Sülfatlı Ortamlardaki Elektrokimyasal Davranışına Fenol Kırmızısının İnhibisyon Etkisinin Araştırılması*” ULUSLARARASI AKDENİZ SEMPOZYUMU, 2019.
10. “*Experimental and computational investigation of variamine blue as an inhibitor for copper in chloride solution*” JOURNAL OF DISPERSION SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2020

Bilimsel Araştırma projeleri:

- 1- FBA-2018-10136 Klorürlü Ortamlarda Bakırın Elektrokimyasal Davranışlarına
Variamin Mavisinin İnhibisyon Etkisinin Belirlenmesi 2018-2019
- 2- FBA-2019-12178 Yumuşak çeliğın sodyum sülfat çözeltisindeki elektrokimyasal
davranışlarına metil oranjin etkisinin araştırılması 2019-2020

