

**BAZI AMİNOASİTLERİN ASİDİK ÇÖZELTİLERDE
ALÜMİNYUMUN KOROZYONU ÜZERİNE İNHİBİTÖR
ETKİLERİNİN İNCELENMESİ**

Fehmiye Esra YIKMAZ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KİMYA MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

TEMMUZ 2013

ANKARA

Fehmiye Esra YIKMAZ tarafından hazırlanan “BAZI AMİNOASİTLERİN ASİDİK ÇÖZELTİLERDE ALÜMİNYUMUN KOROZYONU ÜZERİNE İNHİBİTÖR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ” adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Doç. Dr. Ayşe TOSUN

.....

Tez Danışmanı, Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Mübeccel ERGUN

.....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Doç. Dr. Ayşe TOSUN

.....

Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı, G.Ü.

Yrd. Doç. Dr. Aylin AYTAÇ

.....

Kimya Anabilim Dalı, G.Ü.

Tez Savunma Tarihi: 25/07/2013

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

TEZ BİLDİRİMİ

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

Fehmiye Esra YIKMAZ

BAZI AMİNOASİTLERİN ASİDİK ÇÖZELTİLERDE ALÜMİNYUMUN KOROZYONU ÜZERİNE İNHİBİTÖR ETKİLERİNİN İNCELENMESİ

(Yüksek Lisans Tezi)

Fehmiye Esra YIKMAZ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Temmuz 2013

ÖZET

Bu çalışmada hafif, sağlam, korozyon dayanımı yüksek olan alüminyumun kullanıldığı sistemlerde asitle temizleme (Pickling) işlemi sonucunda meydana gelen korozyonun önlenmesi amaçlanmıştır.

Alüminyumun korozyonunu önlemek amacıyla aminoasit inhibitörleriyle çalışılmıştır. Tafel ekstrapolasyonu ve lineer polarizasyon direnci yöntemiyle korozyon hızı belirlenmiş ve inhibitör etkinlikleri hesaplanmıştır.

Kütlece 2000 ppm derişim ve 20°C sıcaklıkta %1 HCl çözeltisi içerisinde kullanılan inhibitörlerden yüksek etkinlik değeri elde edilenlerin; inhibitör etkinlikleri sıcaklıkla ve inhibitör derişimiyle incelenmiştir. Bu inhibitörlerden, L-Aspartic acid, DL-Aspartic acid, L-Cysteine hydrochloride monohydrate, D (-) Mandelic acid, Oxalic Acid, N-Acetyl-L-cysteine ve D-Phenylalanine için en yüksek inhibitör etkinliği 3000 ppm'de sırasıyla %91,4, %92,7, %84,5, %91, %92, %93 ve %97, Glycolic acid için 2500 ppm'de %95, L-Arginine için 2000 ppm'de %86, L-Histidine ve L-Methionine için 5000 ppm'de sırasıyla %85 ve %82 olarak bulunmuştur. Yüksek inhibitör etkinliğine sahip olan inhibitörlerin %1 H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki alüminyumun korozyonuna etkileri sıcaklıkla ve derişimle incelenmiş ve en yüksek inhibitör etkinlikleri L-Aspartic acid, D-Phenylalanine ve Glycolic acid için 20°C sıcaklıkta 5000 ppm'de sırasıyla %51,

%48,5 ve %28,5 olarak bulunmuştur. Çalışma sonucunda artan inhibitör derişimiyle inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir.

Aminoasitlerin metal yüzeyine adsorbe olarak etkidikleri düşünülerek, Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin adsorpsiyon izotermleri çizilmiştir. İnhibitörlerin aktivasyon enerjilerini (E_a) hesaplanmış ve inhibitörün koruyuculuğu aktivasyon enerjisi ile de desteklenmiştir.

Bilim Kodu : 912.1.041
Anahtar Kelimeler : İnhibitör, aminoasitler, korozyon, alüminyum
Sayfa Adedi : 137
Tez Yöneticisi : Doç. Dr. Ayşe TOSUN

**INVESTIGATION OF INHIBITION EFFECT OF SOME AMINOACIDS ON
ALUMINIUM IN ACIDIC MEDIA**

(M. Sc. Thesis)

Fehmiye Esra YIKMAZ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

July 2013

ABSTRACT

In this study, it is aimed to prevent corrosion arising from the pickling processes undergone with acids in the systems that contains aluminum, which is light, durable and highly resistant to corrosion.

Amino acid inhibitors were used to prevent corrosion on aluminum. The corrosion rate was determined by Tafel extrapolation and linear polarization methods and inhibitor efficiencies were calculated.

The efficiencies of highly efficient inhibitors, selected among inhibitors in 1% HCl solution at 2000 ppm and 20°C, were analyzed with respect to the concentrations and temperature in the 1 % HCl solution. The highest efficiencies were calculated 91,4%, 92,7%, 84,5%, 91%, 92%, 93% and 97% for L-Aspartic Acid, DL-Aspartic Acid, L-Cysteine Hydrochloride Monohydrat, D(-) Mandelic Acid, Oxalic Acid, N-Acetyl-L-Cysteine and D-Phenylalanine at 3000 ppm respectively; 95% for Glycolic Acid at 2500 ppm; 86% for L-Arginine at 2000 ppm; 85% and 82% for L-Histidine and L-Methionine at 5000 ppm respectively. The effects of inhibitors having high efficiencies on the corrosion of aluminum in 1% H₂SO₄ solution is investigated with respect to concentration and temperature. The highest efficiencies were found for L-Aspartic Acid, D-Phenylalanine and Glycolic acid at 20°C temperature and

5000 ppm as 51%, 48.5% and 28.5% respectively. As a result of experiments, it was observed that the efficiency of inhibitor improves by increase in concentration of inhibitor.

Considering that amino acids acted as adsorbent on metal surfaces, Langmuir, Freundlich, Temkin and Frumkin adsorption isotherms were drawn. Activation energies (E_a) of inhibitors are calculated and the protection of inhibitor was also supported by activation energy.

Science Code : 912.1.041
Keywords : Inhibitors, aminoacids, corrosion, aluminum
Page Number : 137
Supervisor : Assoc. Prof. Dr. Ayşe TOSUN

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca bana her türlü yardım ve desteğini esirgemeyen hocalarım Prof. Dr. Mübeccel ERGUN ve Doç. Dr. Ayşe TOSUN'a teőekkürlerimi sunarım.

Hayatım boyunca hep yanımda olan ve öğrenim hayatım boyunca beni sürekli destekleyen çok sevdiğim aileme teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi
TEŞEKKÜR.....	viii
İÇİNDEKİLER	ix
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ	xiv
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xxi
1. GİRİŞ	1
2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI.....	2
2.1. Korozyonun Tanımı ve Önemi.....	2
2.2. Korozyon Reaksiyonları.....	2
2.3. Korozyon Türleri.....	4
2.3.1. Çukur korozyonu.....	5
2.4. Korozyondan Korunma Yöntemleri.....	7
2.5. Korozyon İnhibitörleri ve Sınıflandırılması	7
2.5.1. İnhibitörlerin sınıflandırılması	8
2.5.2. İnhibitör etkinliğinin belirlenmesi.....	13
2.5.3. İnhibitör etkinliklerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar	15
2.6. Pasiflik.....	16
2.7. Korozyon Hızı Ölçme Yöntemleri	17
2.7.1. Kütle kaybı yöntemi	17
2.7.2. Elektrokimyasal yöntemler.....	18

Sayfa

2.8. Akım Potansiyel Eğrilerini Elde Etme Yöntemleri.....	23
2.8.1. Galvanostatik yöntem.....	23
2.8.2. Potansiyostatik yöntem	25
2.9. Adsorpsiyon	26
2.9.1. Adsorpsiyon izotermi.....	27
2.10. Literatür Araştırması	30
3. MATERYAL VE METOT	40
3.1. Kullanılan Maddeler.....	40
3.2. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler.....	40
3.3. Kullanılan İnhibitörler.....	40
3.4. Deney Elektrotlarının Hazırlanması.....	40
3.5. Deneylerin Yapılışı	41
4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA	43
4.1. Alüminyumun %1'lik HCl Çözeltisindeki Korozyon Parametreleri	43
4.2. 2000 ppm İnhibitör İçeren %1 HCl Çözeltisi İçindeki İnhibitör Etkinlikleri .	46
4.2.1. N-Acetyl-L-cysteine.....	49
4.2.2. DL-Aspartic acid	54
4.2.3. D(-) Mandelic acid	59
4.2.4. L-Aspartic acid	65
4.2.5. Oxalic acid dihydrate	71
4.2.6. Glycolic acid	76
4.2.7. D-Phenylalanine	82
4.2.8. L-Arginine	87
4.2.9. L-Cysteine hydrochloride monohydrate.....	93

	Sayfa
4.2.10. L-Methionine.....	100
4.2.11. L-Histidine	105
4.3. Alüminyumun %1 H ₂ SO ₄ Çözeltisindeki Korozyon Parametreleri.....	111
4.4. İnhibitör İçeren %1 H ₂ SO ₄ Çözeltisi İçindeki İnhibitör Etkinlikleri	113
4.4.1. D-Phenylalanine	114
4.4.2. Glycolic acid	118
4.4.3. L-Aspartic acid	123
5. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	128
KAYNAKLAR	133
ÖZGEÇMİŞ	137

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.1. Kütlece %1 HCl ortamında değişik sıcaklıklarda alüminyumun korozyon parametreleri	46
Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan inhibitörler için bazı bilgiler	47
Çizelge 4.3. Kütlece %1 HCl ortamında 20°C sıcaklıkta 2000 ppm sabit amino asit konsantrasyonunda alüminyumun korozyon parametreleri	48
Çizelge 4.4. Kütlece %1 HCl ortamında N-Acetyl-L-cysteine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	50
Çizelge 4.5. Kütlece %1 HCl ortamında DL-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	56
Çizelge 4.6. Kütlece %1 HCl ortamında D(-) Mandelic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	61
Çizelge 4.7. Kütlece %1 HCl ortamında L-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	67
Çizelge 4.8. Kütlece %1 HCl ortamında Oxalic acid dihydrate derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	73
Çizelge 4.9. Kütlece %1 HCl ortamında Glycolic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	78
Çizelge 4.10. Kütlece %1 HCl ortamında D-Phenylalanine konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	84
Çizelge 4.11. Kütlece %1 HCl ortamında L-Arginine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	89
Çizelge 4.12. Kütlece %1 HCl ortamında L-Cysteine hydrochloride monohydrate derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri	95
Çizelge 4.13. Kütlece %1 HCl ortamında L-Methionine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	101
Çizelge 4.14. Kütlece %1 HCl ortamında L-Histidine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	107

Çizelge	Sayfa
Çizelge 4.15. Kütlece %1 H ₂ SO ₄ ortamında değişik sıcaklıklarda alüminyumun korozyon parametreleri.....	113
Çizelge 4.16. Kütlece %1 H ₂ SO ₄ ortamında L-Sisteinhidroklorürmonohidrat derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	115
Çizelge 4.17. Kütlece %1 H ₂ SO ₄ ortamında Glycolic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	120
Çizelge 4.18. Kütlece %1H ₂ SO ₄ ortamında L-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri.....	124

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Demirin korozyonuna anodik (pasifleştirici) inhibitörlerin etkisi	8
Şekil 2.2. İnhibitörlerin polarizasyon eğrilerine etkisi.....	9
Şekil 2.3. Bir korozyon hücresinin Evans diyagramı.....	14
Şekil 2.4. Pasifleşme özelliği gösteren bir metalin anodik polarizasyon eğrisi	16
Şekil 2.5. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri.....	20
Şekil 2.6. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu	21
Şekil 2.7. Polarizasyon direnci eğrisi	22
Şekil 2.8. Galvanostatik Yöntemle Elde Edilen Akım Potansiyel Eğrisi	24
Şekil 2.9. Potansiyostatik Yöntemle Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrisi.....	26
Şekil 3.1. Deney düzeneği.....	42
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 HCl çözeltisi içinde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	45
Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 HCl çözeltisi içinde elde edilen lineer polarizasyon eğrileri.....	45
Şekil 4.3. %1 HCl çözeltisi içinde $\ln i - 1/T$ grafiği.....	46
Şekil 4.4. N-Acetyl-L-cysteine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	49
Şekil 4.5. N-Acetyl-L-cysteine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	50
Şekil 4.6. N-Acetyl-L-cysteine'nin moleküler yapısı	51
Şekil 4.7. a) N-Acetyl-L-cysteine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) N-Acetyl-L-cysteine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) N-Acetyl-L-cysteine Temkin adsorpsiyon izotermi d) N-Acetyl-L-cysteine Frumkin adsorpsiyon izotermi	52
Şekil 4.8. N-Acetyl-L-cysteine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri.....	53

Şekil	Sayfa
Şekil 4.9. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm N-Acetyl-L-cysteine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	54
Şekil 4.10. DL-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	55
Şekil 4.11. DL-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	55
Şekil 4.12. DL-Aspartic acid 'in moleküler yapısı	57
Şekil 4.13. a) DL-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi b) DL-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi c) DL-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi d) DL-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	57
Şekil 4.14. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm DL-AsparticAcid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	59
Şekil 4.15. D(-) Mandelic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	60
Şekil 4.16. D(-) Mandelic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	60
Şekil 4.17. D(-) Mandelic acid'in moleküler yapısı.....	62
Şekil 4.18. a) D(-) Mandelic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi b) D(-) Mandelic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi c) D(-) Mandelic acid Temkin adsorpsiyon izotermi d) D(-) Mandelic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	62
Şekil 4.19. D(-) Mandelic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri.....	64
Şekil 4.20. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm D(-) Mandelic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	65
Şekil 4.21. L-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	66
Şekil 4.22. L-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	66
Şekil 4.23. L-Aspartic acid'in yapısı	68

Şekil	Sayfa
Şekil 4.24. a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermini b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermini c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermini d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermini.....	68
Şekil 4.25. L-Aspartic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermini ile deneysel θ değerleri.....	70
Şekil 4.26. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Aspartic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	71
Şekil 4.27. Oxalic acid dihydrate için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	72
Şekil 4.28. Oxalic acid dihydrate için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	72
Şekil 4.29. a) Oxalic acid dihydrate Langmuir adsorpsiyon izotermini b) Oxalic acid dihydrate Freundlich adsorpsiyon izotermini c) Oxalic acid dihydrate Temkin adsorpsiyon izotermini d) Oxalic acid dihydrate Frumkin adsorpsiyon izotermini	74
Şekil 4.30. Oxalic acid dihydrate için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermini ile deneysel θ değerleri.....	76
Şekil 4.31. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm Oxalic Acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	76
Şekil 4.32. Glycolic acid için 1500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	77
Şekil 4.33. Glycolic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	78
Şekil 4.34. a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermini b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermini c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermini d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermini	79
Şekil 4.35. Glycolic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermini ile deneysel θ değerleri	81
Şekil 4.36. Kütlece %1 HCl + 1500 ppm Glycolic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	82
Şekil 4.37. D-Phenylalanine için 2500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	83

Şekil	Sayfa
Şekil 4.38. D-Phenylalanine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	83
Şekil 4.39. D-Phenylalanine'nin moleküler yapısı	85
Şekil 4.40. a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	85
Şekil 4.41. Kütlece %1 HCl + 2500 ppm D-phenylalanine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	87
Şekil 4.42. L-Arginine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	88
Şekil 4.43. L-Arginine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	88
Şekil 4.44. L-Arginine'nin moleküler yapısı	90
Şekil 4.45. a) L-Arginine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) L-Arginine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) L-Arginine Temkin adsorpsiyon izotermi d) L-Arginine Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	90
Şekil 4.46. L-Arginine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri	92
Şekil 4.47. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Arginine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	93
Şekil 4.48. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için 2500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	94
Şekil 4.49. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	94
Şekil 4.50. L-Cysteine hydrochloride monohydrate'nin moleküler yapısı	96

Şekil	Sayfa
Şekil 4.51. a) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Langmuir adsorpsiyon izotermi b) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Freundlich adsorpsiyon izotermi c) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Temkin adsorpsiyon izotermi d) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	97
Şekil 4.52. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri	99
Şekil 4.53. Kütlece %1 HCl + 2500 ppm derişimde L-Cysteine hydrochloride monohydrate çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği	99
Şekil 4.54. L-Methionine'in için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	100
Şekil 4.55. L-Methionine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	101
Şekil 4.56. L-Methionine'in moleküler yapısı	102
Şekil 4.57. a) L-Methionine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) L-Methionine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) L-Methionine Temkin adsorpsiyon izotermi d) L-Methionine Frumkin adsorpsiyon izotermi	103
Şekil 4.58. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Methionine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği	105
Şekil 4.59. L-Histidine için 4000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	106
Şekil 4.60. L-Histidine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	106
Şekil 4.61. L-Histidine'nin moleküler yapısı	108
Şekil 4.62. a) L-Histidine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) L-Histidine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) L-Histidine Temkin adsorpsiyon izotermi d) L-Histidine Frumkin adsorpsiyon izotermi	108
Şekil 4.63. L-Histidine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri	110

Şekil	Sayfa
Şekil 4.64. Kütlece %1 HCl + 4000 ppm L-Histidine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği	111
Şekil 4.65. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	112
Şekil 4.66. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde elde edilen lineer polarizasyon eğrileri.....	112
Şekil 4.67. %1 H ₂ SO ₄ çözeltisi içinde $\ln i - 1/T$ grafiği.....	113
Şekil 4.68. D-Phenylalanine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	114
Şekil 4.69. D-Phenylalanine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	115
Şekil 4.70. a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	116
Şekil 4.71. Kütlece %1 H ₂ SO ₄ + 2000 ppm D-Phenylalanine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	118
Şekil 4.72. Glycolic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	119
Şekil 4.73. Glycolic acid için 25°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	119
Şekil 4.74. a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermi d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi.....	121
Şekil 4.75. Kütlece %1 H ₂ SO ₄ + 2000 ppm Glycolic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği.....	122
Şekil 4.76. L-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri.....	123
Şekil 4.77. L-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri	124

Şekil	Sayfa
Şekil 4.78. a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izoterminin	
b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izoterminin	
c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izoterminin	
d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izoterminin.....	125
Şekil 4.79. Kütlege %1 H ₂ SO ₄ + 2000 ppm L-Aspartic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği	127

SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

Simgeler Açıklama

C	Adsorplanan maddenin çözeltideki derişimi
E_{cor}	Korozyon potansiyeli
E_a	Aktivasyon enerjisi
E_f	Anot pasif potansiyeli
E_{pp}	Pasifleşme potansiyeli
E_d	Denge potansiyeli
E_{HOMO}	En yüksek dolu moleküler orbital enerjisi
f	Yüzeyin pürüzlülük faktörü
I_c	kritik akım
i_{cor}	Korozyon akımı
I_o	İnhibitörsüz ortamdaki korozyon hızı
I_{inh}	İnhibitörlü ortamdaki korozyon hızı
I_{pas}	Pasiflik bölgesinde korozyon hızı
n	Oksidasyon olan atom başına kaybolan elektron sayısı
R_p	Polarizasyon direnci
R_s	Çözelti direnci
T	Sıcaklık
β_a	Anodik reaksiyon Tafel eğimi
β_c	Katodik reaksiyon Tafel eğimi
ρ	Yoğunluk
K_{ads}	Adsorpsiyon sabiti
θ	Yüzey kaplanma kesri
ΔG	Serbest enerji
ΔG^o_{ads}	Adsorpsiyon serbest enerjisi
ΔH	Entalpi

Kısaltmalar Açıklama

AC	Alternatif akım empedans yöntemi
AM	Atomik kütle (g)
EIS	Elektrokimyasal empedans spektroskopisi
FTIR	Fourier Transfer Infrared Spektroskopisi
IE	İnhibitör etkinliği
mpy	Kütle kaybı (yılda mil olarak azalma mil/yıl)

1. GİRİŞ

Korozyon metallerin çevreleriyle vermiş oldukları kimyasal ve elektrokimyasal tepkimeler sonucunda yapılarının bozulması olarak tanımlanmaktadır. Metaller doğada bileşik halinde bulunurlar ve bu bileşiklerinden emek, para ve zaman harcanarak elde edilirler. Fakat metaller termodinamik olarak kararlı hallerine dönme eğilimindedirler. Bu durumda metaller için korozyon kaçınılmaz olur.

Korozyon ekonomik açıdan her ülkenin büyük kayıplara uğramasına neden olmasının dışında sağlık, malzeme kaybı, çevre kirliliği gibi zararlara da neden olmaktadır. Korozyon her şeyden önce insan sağlığına zarar veren bir olaydır. Bilindiği gibi bakırın korozyon ürünlerinin insan sağlığı için çok zararlı olması nedeni ile bakır kaplar yüzyıllarca kalayla kaplanarak kullanılmışlardır. Uçaklarda bazı önemli parçaların korozyon nedeni ile kırılması (yorulmalı korozyon, gerilim korozyon çatlaması gibi nedenlerle) uçağın düşmesine ve can kaybına neden olabilir. Korozyon dünyadaki sınırlı metal kaynaklarının en önemli israf nedenidir. Her yıl üretilen metalik malzemelerin yıllık miktarına yaklaşık 1/3'ün ün korozyon nedeni ile kullanılmaz hale geldiği tahmin edilmektedir. Bunun yanında korozyon ortamı kirletir ve ayrıca kirli ortam metal korozyonunu hızlandırır.

Korozyonu önlemek için birçok yöntem mevcut olup bunlardan birisi de inhibitör kullanımıdır. İnhibitörler ortama eklendiklerinde korozyon reaksiyonlarını yavaşlatan veya durduran maddelerdir. İnhibitör kullanımı, özellikle sıcak su ve buhar kazanlarının kimyasal temizleme işlemlerinde etkin olarak kullanılan bir yöntemdir.

Yapılan bu çalışmada %1'lik HCl ve %1'lik H₂SO₄ Çözeltisi içindeki alüminyumun korozyonuna aminoasit inhibitörlerin etkisi araştırılmıştır. İnhibitörlerin adsorpsiyon izotermeleri de çizilerek etki mekanizmaları açıklanmaya çalışılmıştır.

2. KURAMSAL TEMELLER VE LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

2.1. Korozyonun Tanımı ve Önemi

Genel olarak metal veya alaşımlarının çevreleriyle kimyasal ve elektrokimyasal reaksiyonları sonucu bozunmaları korozyon olarak adlandırılmaktadır [1].

Sanayide kullanılan metallerin çoğu atmosferik hava da dahil olmak üzere birçok farklı ortamda kararlılıklarını kaybederler. Altın ve platin gibi soy metallerin dışındaki metallerin tamamı doğada oksitlenmiş halde bulunurlar. Bu metalleri oksitlerinden ayırıp elde edebilmek zor bir iş olmakla beraber büyük miktarlarda hammadde, enerji ve insan gücü kullanımı ile gerçekleşir. Termodinamik anlamda ise böyle bir durumda metaller daha yüksek bir enerji düzeyine taşınırken, entropileri düşer. Metallerin doğadaki durumlarına dönme eğilimi korozyon olayının gerisindeki itici güçtür [2].

Korozyonun yavaş ilerleyen bir süreç olması sebebiyle zararlı sonuçlarının görülmesi uzun zaman almaktadır. Metalik malzeme korozyon sonucunda özelliğini yitirerek malzemenin aşınması, delinmesi suretiyle kullanılamaz hale gelmekte ve kullanım ömrü azalmaktadır [2]. Ayrıca proseslerde verim kaybına neden olmaktadır. Bu durum da göz ardı edilemeyecek ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Bazı tahminlere göre, korozyonun bir ulusa maliyeti gayri safi milli hasılanın % 3,5-5,0'ine ulaşmaktadır. Türkiye için bu değer % 4,5'dan daha az olmadığına ilişkin tahminler vardır [2]. Korozyon sadece ekonomik kayıp olarak ortaya çıkmamakta, korozyon sonucu oluşan zararlı ürünler çevre kirliliğine de neden olmakta ve insan sağlığını da tehdit etmektedir.

2.2. Korozyon Reaksiyonları

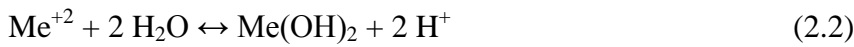
Korozyon birbiri ile elektriksel ve elektrolitik teması olan ve aralarında potansiyel farkı oluşan iki metalik bölge veya nokta arasında meydana gelir [3]. Daha açık bir şekilde ifade edilecek olursa; korozyon olayının meydana gelebilmesi için; anot ve

katot bölgeleri olmalı, anot ve katot arasında potansiyel farkı bulunmalı, anot ve katotu birleştiren elektronik iletken bir yol bulunmalıdır. Yani anot ve katot iyonlarına ayrılmış bir elektrolit içine daldırılmış bulunmalıdır [4].

Korozyon, elektrolit içerisindeki iyon ve moleküllerin elektrot yüzeyine doğru difüzlenerak yüzeyde adsorbe olmasıyla başlar. Yüzeye adsorbe olan bu moleküller elektrokimyasal tepkimeye girerek ürün oluşturur. Daha sonra yüzeyde oluşan bu ürünler desorplanarak çözelti içine difüzlener. Oluşan ürünlerin yüzeyden desorplanması dolayısıyla korozyon reaksiyonları sürekli gerçekleşmektedir. Korozyon ürünlerinin yüzeyden uzaklaşması korozyonun sürmesini sağlar [5]. Bu bölge veya noktalardan potansiyel bakımından daha asil olanın yüzeyinde katodik reaksiyon meydana gelir, daha aktif olan diğer bölge veya nokta ise çözünür ve bu bölgede ise anodik reaksiyon meydana gelir [3].

Anodik Reaksiyon: Anodik reaksiyon metal atomlarının negatif yük kaybederek iyonlaşmaları ve pozitif yüklü metal iyonlarının da su molekülleri ile birleşerek elektrolite karışmalarıdır [6]. Anodik olayda elektron üretilir ve korozyon anotta oluşur.

Anodik tepkimeler:



Katodik Reaksiyon: Katodik reaksiyon, anodik reaksiyonda üretilen elektronların indirgenebilen iyon veya moleküller tarafından alınarak indirgenmesi olayıdır [6].

Katodik tepkimeler:

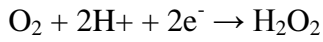


Katot reaksiyonu ortam koşullarına bağlı olarak değişkenlik göstermektedir. Elektrolit ortamının pH'ına ve çözünmüş oksijen derişimine bağlı olarak başlıca katot reaksiyonları aşağıda verilmektedir [5].

Hidrojen iyonlarının indirgenmesiyle hidrojen gazı çıkışı,



Hidrojen peroksit oluşturmak üzere oksijen indirgenmesi,



Su oluşturmak üzere oksijen indirgenmesi,



Nötral ve alkali ortamlarda oksijen indirgenmesi,



Bir korozyon olayının mekanizmasının ayrıntılı olarak incelenebilmesi için elektrokimyasal termodinamik ve elektrokimyasal kinetik hesaplamalarının yapılması gerekir. Termodinamik hesaplamalar bize malzemenin bulunduğu ortamda korozyona uğrayıp uğramayacağı hakkında fikir verir. Bir tepkimenin kendiliğinden yürümesi tepkime serbest enerjisinin (ΔG) işaretine bağlıdır. Bu durumu korozyon için düşünecek olursak metallerin elektrolitik ortamda korozyona uğrayıp uğramayacağı serbest enerji değişimi ile belirlenir. Serbest enerji değişimi reaksiyon eğiliminin ölçüsüdür. Reaksiyonun gerçekleşebilmesi için ΔG 'nin negatif olması gereklidir. Reaksiyonun eğilimi ΔG 'nin negatif değeri ile artar [6]. Sonrasında termodinamik olarak olanaklı olan korozyon tepkimelerinin kinetiği araştırılarak korozyona uğrayacak malzemeler için korozyon hızını belirlemek gerekir.

2.3. Korozyon Türleri

Korozyon; genel, mekanik ve bölgesel faktörlerin etkisiyle oluşmasına göre olmak üzere 3 ana sınıfta toplanabilen, 14 farklı çeşitte meydana gelebilmektedir. Bunlar: üniform korozyon, çukur korozyonu, galvanik korozyon, çatlak korozyonu, kabuk altı korozyonu, filiform korozyon, seçimli korozyon, taneler arası korozyon, erozyonlu korozyon, aşınmalı korozyon, stres korozyonu, yorulmalı korozyon, hidrojen kırılabilirliği ve mikrobiyolojik korozyondur.

Genel korozyon türü olan üniform korozyon, metal yüzeyinin her noktasında korozyon reaksiyonlarının aynı biçimde yürümesi ile metal yüzeyinin her yanda aynı aşınmasıyla gerçekleşen, korozyonun en çok rastlanan türüdür. Bu korozyon türüne homojen dağılımlı korozyon da denmektedir. Üniform korozyon sonucunda, metal kalınlığı her noktada aynı derecede incelir.

Bölgesel korozyon türü olan çatlak korozyonu; metal yüzeyinde bulunan, sıvının içine girebileceği kadar geniş olan çatlak, dar bir aralık veya iki levha arasında kalan boşluk içine çevrede bulunan elektrolitin girmesi ile meydana gelmektedir. Bu dar alanlarda, başlangıçta korozyon tepkimeleri aynı biçimde yürür fakat oksijenin tükenmesinden sonra oksijen indirgenmesi olmaz ama metal çözünmesi artar. Bunun sonucu olarak bu bölgeler anot, çatlağın çevresindeki metal yüzeyler ise katot olur [4].

Mekanik korozyona örnek olarak verilebilecek erozyonlu korozyon, metal ile korozif ortam arasındaki bağıl hareket nedeniyle metalin aşınması şeklinde meydana gelir [4].

2.3.1. Çukur korozyonu

Çukur korozyonu metal yüzeyinin bazı noktalarında çukur oluşturarak meydana gelen korozyon türüdür. Bu tip korozyon olayında anot ve katot bölgeleri birbirinden kesin bir şekilde ayrılmıştır. Anot yüzeyin herhangi bir noktasında açılan çukurun içindeki dar bir bölge, katot ise çukurun çevresindeki büyük alandır [7].

Çukur korozyonu genellikle klor ve brom iyonları içeren nötr ortamlarda oluşur. İndirgenebilen metal iyonlarının klorürlerini içeren ortamlar çukurcu korozyonu yönünden en tehlikeli olanlardır. Bu ortamlarda katodik olay klorürlerden kaynaklanan metal iyonlarının indirgenmesidir. Bu durumda oksijene gerek olmadığı gibi oksijen miktarının çukurcu korozyonuna etkisi ihmal edilebilir düzeydedir [1].

Çukur korozyonu, belli bir bölgede olması, nicel olarak ölçümünün zor olması, uzun zaman sonra bir anda ortaya çıkabilmesi nedeniyle tahmininin güç olmasından dolayı en tehlikeli korozyon türüdür. Bu korozyon türü bölgesel olması sebebiyle metalin bir ya da birden çok yerden delinmesine neden olarak yapılan işi aksatır. Çukur korozyonu durgun çözeltilerde meydana gelir. Durgun haldeki ortamın değiştirilerek akış haline getirilmesi korozyon oluşma ihtimalini önemli ölçüde azaltabilir. Çukur korozyonunda metalin türü de önemli rol oynar. Pasifleşme özelliği olan metal ve alaşımlar çukurcuk korozyonuna daha duyarlıdır.

Hidrojen ve klor iyonları birçok metal ve alaşımın çözünmesini hızlandırdığından çukur korozyonu hızla ilerler. Bu ortamlarda çukurcuk korozyonunun oluşması şu şekilde gerçekleşir:

Klor iyonları pasif tabakanın içine sızarak metalin o yerlerde aktifleşmesini sağlar. Aktifleşen metal hızla çözünerek yer yer çukurcukların oluşmasına yol açar. Hızlı çözünme sonucunda ortam metal iyonları açısından zenginleşir. Oluşan elektrik yüklerinin dengelenmesi amacıyla metal iyonlarının yüküne eşdeğer miktarda klor iyonu çukurcukların içinde elektrokimyasal reaksiyona girerek metal klorürleri meydana getirir ve aşağıdaki reaksiyon meydana gelir.



Katodik olay çukurcukların yeterli miktarda oksijenle temas edebilen ağız kısımlarında oluşmaya devam etmesiyle, metal çözünmesi çukurcuk diplerine doğru devam eder [1].

Çukur korozyonunun önlemesi için birçok yöntem uygulanabilir. Bu yöntemlerin içinde en iyisi korozyon direnci en iyi olan malzemeyi kullanmaktır. Malzemelerin kullanıldıkları ortamda çukur korozyonuna karşı alınabilecek başlıca önlemler şunlardır:

1. Korozif ortama inhibitörler eklemek,

2. Katodik koruma yapmak,
3. Anodik koruma yapmak,
4. Klorürlü ortamların oksijen değişimini azaltmak,
5. Malzemeyi boya gibi korozyona dayanıklı maddelerle kaplamak,
6. Oksijen ve oksitleyici maddelerin ortamda düzenli olarak dağılımını sağlamak

2.4. Korozyondan Korunma Yöntemleri

Korozyonu önlemek için birçok yöntem mevcuttur. Bu yöntemler çalışma koşullarına bağlı olarak farklılık göstermektedir. Bu yöntemleri aşağıda belirtildiği şekilde kısaca üç ana grup altında toplayabiliriz [8].

1. Kimyasal yöntemler:
İnhibitör kullanımı, çevrenin kimyasal bileşiminin değiştirilmesi
2. Elektrokimyasal yöntemler:
Katodik koruma, anodik koruma
3. Koruyucu kaplama (boya) yapılarak metalin çevresinden izole edilmesi

2.5. Korozyon İnhibitörleri ve Sınıflandırılması

İnhibitörler, ortama az miktarda eklendiklerinde korozyon reaksiyonlarını yavaşlatan ya da durduran kimyasal maddelerdir. İnhibitörler bir veya birkaç mekanizma aracılığı ile etki gösterirler. Başlıca inhibitörler dört farklı mekanizmayla korozyonu önlerler. Bunlar sırasıyla [9];

1. Metal yüzeyine adsorplanarak yüzeyde birkaç molekül kalınlığında film oluşturma,
2. Yüzeyde çökelek oluşturarak yüzeyi kaplama,
3. Metalle reaksiyona girerek korozyona neden olup, oluşan korozyon ürünleriyle yüzeyde pasif film oluşturma,
4. Aşındırıcı iyonların etkisini ortadan kaldırma veya aşındırıcı iyonları ortamdaki uzaklaştırma

2.5.1. İnhibitörlerin sınıflandırılması

İnhibitörler etki ettikleri reaksiyonlara, etkime biçimlerine ve yapılarına göre değişik şekilde sınıflandırılabilirler.

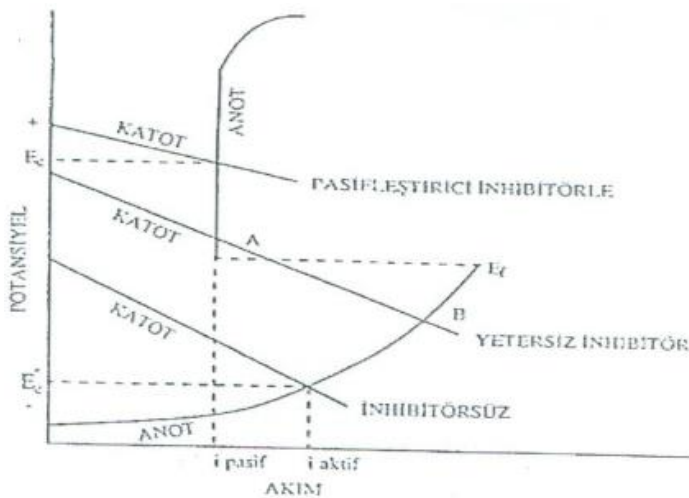
Etki ettikleri reaksiyona göre;

Anodik İnhibitörler: Anodik inhibitörler anot bölgelerine doğru göç ederek metali pasifleştirirler. Bu inhibitörler genellikle; ortofosfat, silikat, nitrit, kromat gibi inorganik maddelerdir. Anodik inhibitörler anodik polarizasyonu artırarak anodik potansiyeli pozitif yöne doğru kaydırırlar.

İki tür pasifleştirici inhibitör vardır. Bunlar;

- Kromat, nitrit, nitrat gibi oksitleyici anyonlar
- Fosfat, molibdat gibi oksitleyici özelliği olmayan iyonlar

Sodyum kromat ve sodyum nitrit gibi pasifleştirici inhibitörlerin işlev görebilmeleri için oksijen gerekmez. Bunlar Şekil 2.1’de E_f ile gösterilen anot pasif potansiyelinin pozitifte kayması oranında anodik pasifleşme sağlarlar.



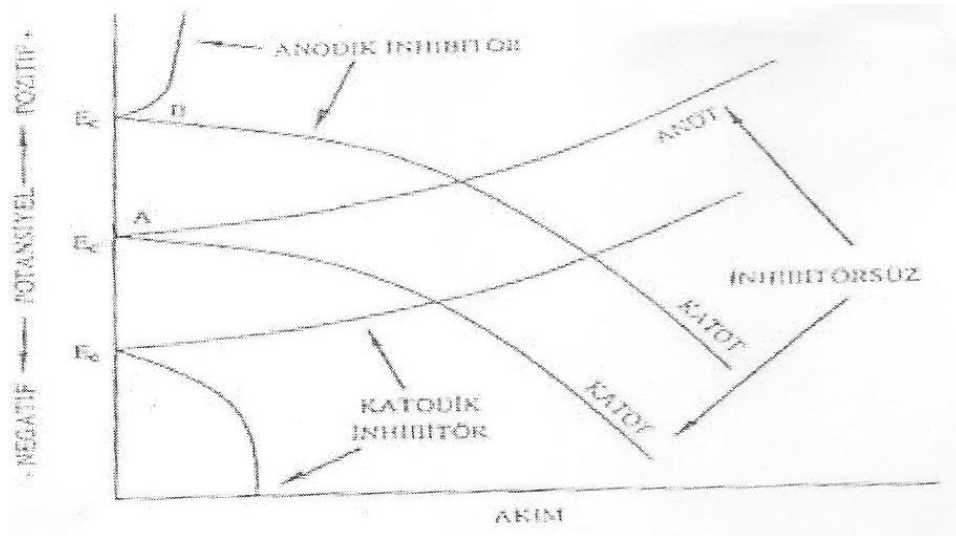
Şekil 2.1. Demirin korozyonuna anodik (pasifleştirici) inhibitörlerin etkisi

İnhibitörün anodik bölgelere adsorpsiyonu ile akımın düşmesi sonucu depolarize olan katodik eğri ile anodik eğri pasif bölgede kesişirler. Eğer inhibitör derişimi yetersizse katodik eğri anodik eğriyi aktif (çözünme) bölgede keseceğinden korozyon hızı artar. Bu durumda pasiflik kararsız olacağından çukur oluşumu gözlenir.

Anodik inhibitörler geniş çapta kullanılmalarına rağmen, ortamda gerekli miktardan daha az bulunmaları halinde tüm anot yüzeyinin örtülmemesi sonucunda çukurcuk korozyonu oluşumuna neden olabilmektedirler.

Katodik İnhibitörler: Katodik inhibitörler katodik reaksiyonların ilerleme hızlarını yavaşlatarak korozyon hızını azaltırlar ve korozyon potansiyelini negatif değerlere kaydırırlar. Katodik inhibitörler, metal yüzeyindeki katot reaksiyonun gerçekleştiği alanı küçülterek ya da katodik reaksiyon basamaklarını yavaşlatarak korozyon hızını azaltırlar.

Katodik inhibitörler anodik polarizasyon eğrisi üzerinde etkili olmazken katodik akımı düşürür ve korozyon potansiyelini Şekil 2.2’de görüleceği gibi negatif değerlere kaydırır.



Şekil 2.2. İnhibitörlerin polarizasyon eğrilerine etkisi

Katodik inhibitörler korozyonu önleme etkinliklerine göre şu şekilde sınıflandırılabilir:

1. Arsenik ve antimon gibi hidrojen indirgenmesini önleyen katodik inhibitörler
2. Oksijen indirgenmesini önleyen katodik inhibitörler (Örn. sodyum sülfid)
3. Ortamın pH'ını artırarak yüzeyde az çözünür bileşik oluşturan katodik inhibitörler. Bu grup inhibitörlere örnek olarak kalsiyum karbonat ve çinko sülfat verilebilir [10].

Karma inhibitörler: Karma inhibitörler hem anodik hem de katodik reaksiyonlar üzerine etkirler. Bu nedenle etkilerini ölçülen potansiyele göre tahmin etmek zordur. İnhibitörün ortamda bulunmadığı ve ortamda bulunduğu koşullarda saptanan korozyon akımları arasındaki farktan etkinlikleri saptanabilir. Çoğu zaman korozyon potansiyelleri fazla değişmez, sistemin özelliklerine göre, anodik ya da katodik inhibitörlerin de karma inhibitör gibi davranması olanaklıdır [11].

Etkime biçimlerine göre:

Film oluşturan inhibitörler: Bu organik bileşikler metal yüzeyinde adsorbe edilerek hem anodik hem de katodik reaksiyonu yavaşlatırlar. Aminler, hidrazin, imidazolinler ve asetil alkoller bu gruba örnek olarak verilebilir [8]. Elektrolit filmi inhibitörleri elektrot yüzeyinde bir difüzyon tabakası oluşturarak tepkimelerin gidişini yavaşlatır. Elektrot yüzeyine ya da elektrot yüzeyinden dışarıya madde taşınması güçleşir (difüzyon polarizasyonu) ve sınır akıma ulaşılır. Bunu sonucu homojen kimyasal tepkimelerin yürümesi de yavaşlar (tepkime polarizasyonu). Böyle bir elektrolit filmi ancak, elektriksel çift tabakanın çözelti tarafında ve çözelti içine doğru oluşabilir. [10].

Buhar fazı inhibitörleri: Çok yüksek buhar basıncına sahiptirler. Kullanılırken metalin yakınına yerleştirilerek, sublimasyon ve kondenzasyonla metal yüzeyine geçerler. Genel olarak kapalı sistemlerde kullanılırlar [4]. Buhar fazı inhibitörlerine

morfolin, oktadesilamin, disikloheksilamin nitrit ve sikloheksilamin karbonat örnek olarak verilebilir.

Oksijen bağlayıcılar (korozif tüketiciler): Sodyum Sülfid ve Hidrazin gibi korozif tüketiciler sulu çözeltilerden oksijeni indirgenme tepkimesiyle harcarlar.



Oksijen bağlayıcılar korozyonda katodik tepkimeyi oksijenin indirgenmesinin denetlediği yerlerde çok etkindir. Ama kuvvetli asit çözeltilerde etkin değildirler.

Yapılarına göre;

İnorganik inhibitörler: Bu inhibitörler çoğunlukla nötr elektrolitler içinde kullanılır ve anodik reaksiyon üzerine etki ederek metalin pasifleşmesini sağlarlar [5].

Organik İnhibitörler: Genel olarak bu inhibitörler organik bileşiklerdir. Metalin bütün yüzeyine adsorplanarak genelde hem anodik reaksiyonu hem de katodik reaksiyonu engellerler. Organik inhibitörler, genellikle yüzeyi kapatarak korozif ortamla etkileşebilecek yüzey alanını azaltarak etkilerini gösterirler.

Oksijen, azot ve nitrojen gibi heteroatom içeren ve moleküllerinde çiftli bağlar bulunduran ve bu sayede metal yüzeyine adsorbe olanlar etkin organik inhibitör olarak kullanılmaktadır. Bu inhibitörler;

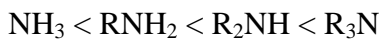
1. Organik nitrit ve aminler gibi azot içeren bileşikler
2. HS^- ya da S^{2-} ya da halkada kükürt içeren bileşikler
3. Hem kükürt hem azot içerenler
olmak üzere 3 grupta toplanabilir.

Organik inhibitörlerle sağlanan inhibisyon oranına etki eden faktörler şöyle sıralanabilir;

1. Organik bileşimin kapladığı alan
2. Karbon zincirinin uzunluğu
3. Metale bağlanma kuvveti
4. Fonksiyonel grupların sayısı ve bağ cinsi
5. Metal yüzeyinde çözünmeyen katı kompleks oluşumu
6. Bileşiklerin konformasyonu [10]

Organik moleküllerde bulunan –OH, –COH, –COOH, –SN, –CO gibi gruplar, ikili ve üçlü bağlar ve eşlenmemiş elektronlar madde ile metalin kolayca etkileşmesini sağlayarak etkin bir inhibisyon meydana getirebilirler [12].

Aminlerin adsorpsiyonu amin – metal bağlarının gücüne ve aminin çözünürlüğüne bağlıdır. Amin–metal bağının gücü azot atomunun elektron yoğunluğunun büyük olması ve bu elektronların ko-ordinat bağ oluşturma kapasitesi ile ilgilidir. Alifatik aminlerin inhibitör gücü aşağıda verilen sıraya göre değişmektedir.



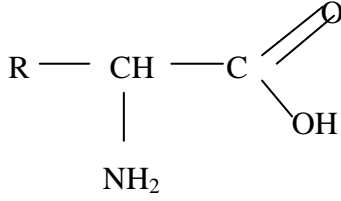
(R; metil, propil, butil ya da amil grupları olabilir.)

Kükürtün azottan daha iyi bir elektron vericisi olmasından dolayı bağ yapma eğilimi daha yüksektir. Bu nedenle kükürt içeren inhibitörler genellikle azot bileşiklerinden daha etkindirler. Çoğu kez inhibitörün etkinliği molekül kütlesi ile artar. Kükürt içeren inhibitörler için inhibitör etkisi, kükürdün bağlı olduğu alkil köküne göre aşağıdaki sıraya göre artar [4]:

Metil < Etil < Propil < Butil < Amil

Aminoasitler: Amino asitler amin ve karboksil grubu içeren bileşiklerdir. Toksik olmamaları, ucuz olmaları, sulu ortamda tamamen çözülebilir ve yüksek saflıkta hazırlanabilir olmaları nedeniyle korozyon inhibitörü olarak kullanılmada oldukça avantajlıdır [4].

Genel yapıları:



2.5.2. İnhibitör etkinliğinin belirlenmesi

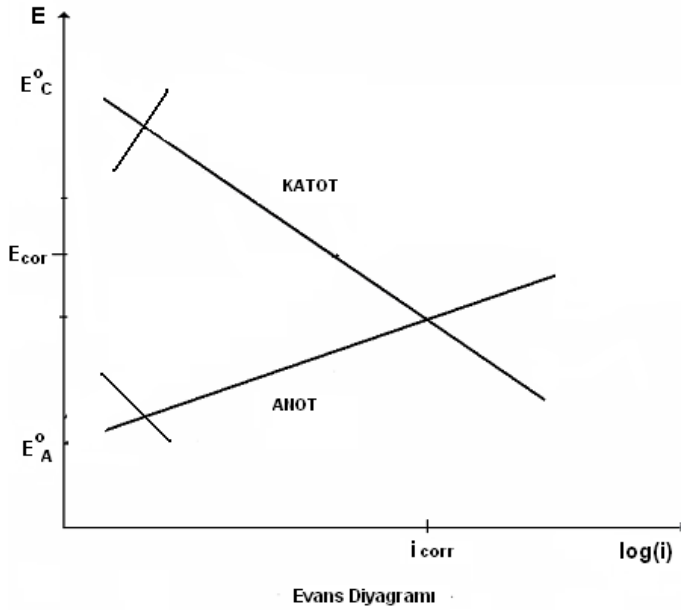
İnhibitör etkinliği, inhibitörlü ve inhibitörsüz ortamda ölçülen korozyon hızı yardımıyla Eş. 2.10 kullanılarak hesaplanabilir.

$$\% \text{İnhibitör Etkinliği} = \frac{\dot{I}_o - \dot{I}_{\text{inh}}}{\dot{I}_o} \times 100 \quad (2.10)$$

\dot{I}_o = İnhibitörsüz koşullarda belirlenen korozyon hızı

\dot{I}_{inh} = İnhibitörlü koşullarda belirlenen korozyon hızı

İnhibitör etkinliğinin belirlenmesinde Tafel denklemleri yardımıyla çizilen Evans diyagramlarından yararlanılabilir. Burada anodik ve katodik eğrilerin kesişim noktası korozyon akımını göstermektedir.



Şekil 2.3. Bir korozyon hücresinin Evans diyagramı

Korozyon hücresinde anodik reaksiyon metalin çözünmesi reaksiyonudur.



Katot reaksiyonu çözünmüş oksijen içeren nötral çözeltilerde oksijen indirgenmesi şeklindedir.



Anotta ve katotta yürüyen bu iki reaksiyonun dengeye ulaşması ile bir denge potansiyel oluşur. Bu potansiyele korozyon potansiyeli (E_{cor}) denir. Grafikte katodik ve anodik polarizasyon eğrilerinin kesim noktası korozyon akımını (i_{cor}) verir. Şekil 2.3'te görüldüğü üzere, polarizasyon eğrilerinin eğimine göre korozyon hızı artar veya azalır. Çözelti içerisine uygun bir inhibitör katılarak polarizasyon eğrilerinden birinin (veya ikisinin) eğimleri daha dik hale getirilirse, korozyon hızında azalma olacaktır [7].

2.5.3. İnhibitör etkinliklerinin belirlenmesinde göz önünde bulundurulması gereken hususlar

Metal korozyonuna etkiyen çok çeşitli faktörler olmasından dolayı inhibitör uygulamalarında bunlara dikkat etmek gerekir. Metalin türü, ortamın bileşimi, çözeltinin pH'ı, çözeltinin havalandırılıp havalandırılmadığı, ortamda bulunması muhtemel mikroorganizmalar, çözelti sıcaklığı, mekanik etkiler, dizayn vb. etkin faktörlerdir [12].

Metalin türüne bağlı olarak inhibitör etkinliği farklılık gösterir. Bir inhibitör bazı metaller için tamamen inhibitör etkisi gösterirken, başka bir metal için aşındırıcı olabilir. Birden fazla metalin bir arada kullanıldığı sistemlerde, tüm metalleri koruyabilecek karışımlar hazırlamak gerekir. İnhibitörler kullanılacağı ortama uygun seçilmelidir. İnhibitörlerin en fazla etkin olduğu pH aralıkları vardır. Bu yüzden sistemin pH'ına uygun inhibitör seçilmesi önemlidir [11].

Sistemin sıcaklığı da inhibitörün etkinliğini belirlemekte önemli rol oynar. Birçok inhibitör yüksek sıcaklıklarda etkinliğini kaybeder. Sıcaklık arttıkça adsorpsiyon azaldığından dolayı Adsorpsiyonla etkiyen inhibitörlerin sıcaklıkla etkinlikleri azalır.

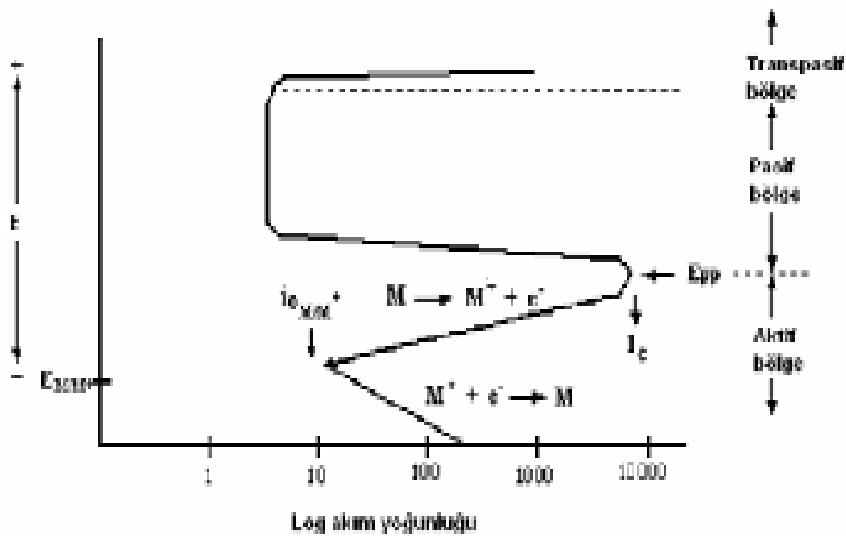
Çoğu inhibitörlerin yaklaşık nötr çözeltiler içinde etkin olabilmeleri için ortamda çözünmüş oksijenin bulunması gerekir. Çözünmüş oksijen atmosfer oksijeni (hava) ile denge halindedir. İnhibitörün oksijenle birlikte etkin olduğu koşullarda çözünmüş oksijen azalacağından çözelti karıştırılarak hava oksijeninin daha kolay çözünmesi ya da çözünmüş oksijen-hava oksijeni dengesinin sürekli olması sağlanır. Böyle durumlarda kullanılan inhibitör oksitleyici olmadığından hareketsiz ya da karıştırılmayan çözeltilerde daha çok inhibitör kullanmak gerekir. Hareketli sistemlerde hem hava oksijeninin hem de inhibitörün metal yüzeyine ulaşması kolay olur [11].

2.6. Pasiflik

Pasiflik basitçe bir metalin bazı çevresel koşullarda kimyasal tepkime verme yeteneğini yitirmesi olarak tanımlanabilir. Pasif durumda metalin korozyon hızı çok düşüktür. Ayrıca pasif durum çoğu zaman kararlı bir durum değildir. Pasiflik metal yüzeyinde oluşan ince bir filme dayanmaktadır [4].

Korozyona dirençli metal alaşımlarının geliştirilmesi veya metal alaşımının seçimi pasifleşme eğiliminin karşılaştırılmasını gerektirmektedir. Pasifleşen metal ve alaşımlar anodik yönde polarize edilirse genellikle tipik bir akım – potansiyel eğrisi verirler. Bu eğriler yardımıyla metalin pasifleşme eğilimi incelenebilir. (Şekil 2.4)

Anodik yükseltgenme sonucu metal yüzeyine kazandırılan özellikten dolayı, pasiflik en önemli elektrokimyasal olaylardan biridir. İyon haline gelen metal yüzeyden uzaklaşıp çözelti içine karışmak yerine, daha yüzeyde iken oksijenle birleşerek yüzeyde çökelirse, metal ile ortam arasındaki bağlantıyı keseceğinden korozyonun daha fazla sürmesini önler. Metal oksitler halinde yüzeyde oluşan film tabakası çeşitli kalınlıklarda ve çeşitli gözeneklerde olabilir [10].



Şekil 2.4. Pasifleşme özelliği gösteren bir metalin anodik polarizasyon eğrisi

Şekil 2.4'te görüldüğü gibi, başlangıçta potansiyel artırıldıkça korozyon hızı da artar. Bu bölge aktif bölge olarak tanımlanır. Fakat akım yoğunluğu kritik değere ulaştığında (I_c), potansiyel birden yükselir. Bu durum pasifleşmenin başladığını göstermektedir. Pasifleşme durumunda korozyon hızı bir anda binde bir veya daha fazla düşer. Aktif bölgede potansiyel artırıldıkça metalin çözünme hızı artıp, oluşan metal iyonları ortama geçerken, E_{pp} potansiyelinde metal hidroksit ya da oksidin çözünürlük çarpımı aşılarak metal yüzeyinde hidroksit ya da oksit olarak çökmeye başlar. Oksit örgüsünün bir yandan bozulup bir yandan oluşması bu bölgede salınımlara neden olur [4]. Pasif hale erişildikten sonra, potansiyel anodik yönde artırılmaya devam edilirse, korozyon hızının artık değişmediği görülür. Bu durum metal yüzeyinde oluşan pasif tabaka kırılıncaya kadar devam eder. Metal korozyon hızının sabit kaldığı bu bölge pasif bölge olarak tanımlanır. Potansiyel belli bir değere erişince pasif film kırılarak bozulur. Bu noktadan sonra korozyon hızında yeniden artış görülür. Böylece transpasif bölge başlamış olur. Pasif bölgenin büyüklüğü, metalin cinsine ve içinde bulunduğu ortam koşullarına göre değişir. Asitlik ve sıcaklık arttıkça pasif bölge gittikçe daralır. Buna karşılık pasif bölgenin korozyon hızında (i_{pas}) artış görülür [13].

2.7. Korozyon Hızı Ölçme Yöntemleri

Metalin birim zamandaki çözünme miktarı korozyon hızı olarak tanımlanmaktadır. Korozyon hızının bilinmesi korozyona karşı önlemler alınabilmesi bakımından önemlidir. Korozyon hızı ölçme yöntemleri, kütle kaybı yöntemi ve elektrokimyasal yöntemler olmak üzere iki grup altında toplanabilir. Daha hızlı ve doğru ölçüm sağlaması açısından elektrokimyasal yöntemler daha yaygın kullanım alanına sahiptirler.

2.7.1. Kütle kaybı yöntemi

Korozif ortama yerleştirilen çalışma elektrodunun yapılan deney sonucunda kütledeki azalma, korozyon hızını vermektedir. Bu yöntem de kütle kaybı yöntemi olarak bilinmektedir.

Bu yöntemde, kütle kaybı testleri için hazırlanmış ve yüzeyi temizlenmiş numune tartıldıktan sonra, korozif ortamda belirli bir süre bekletilir. Korozyon ürünleri temizlendikten sonra yeniden tartılan numunenin kütle azalmasının gram, miligram veya yüzde ağırlık azalması olarak ifadesi korozyon hızını verir. Kütle azalması, numunenin korozyon ortamında kalma süresine bağlıdır. Numunenin şekli de korozyon hızını etkiler [14].

Bu yöntemin uygulanabilmesi için deney süresinin uzun tutulması gerekmektedir. Buna rağmen çok sağlıklı sonuçlar elde edilmesi mümkün değildir. Çünkü uzun zamanda oluşan korozyon hızı belirlenebilirken, anlık korozyon hızı belirlenemez.

Kütle kaybında en çok kullanılan birim mpy (yılda mil olarak azalma)'dir. Korozyon hızı hesaplanırken Eş. 2.13'den yararlanılabilir:

$$\text{mpy} = \frac{129(AM)(i)}{n\rho} \quad (2.13)$$

mpy = kütle kaybı (mil/yıl)

AM = atomik kütle (g)

i = korozyon akım yoğunluğu (mA/cm²)

ρ = yoğunluk (g/cm³)

n = oksidasyon olan atom başına kaybolan elektron sayısı [15]

2.7.2. Elektrokimyasal yöntemler

Korozyon olayları bir tek çözünme tepkimesinden oluşmaz. Elektrot yüzeyinde birçok indirgenme ve yükseltgenme tepkimesi birlikte yürür. Bu yüzden elektrokimyasal yöntemlerle korozyon olayı incelenirken tüm sistemin davranışını topluca gösteren karma potansiyel kuramından yararlanılır. Tek bir elektrokimyasal olayda, yükseltgenme akımının indirgenme akımına eşit olduğu potansiyele denge potansiyeli (E_d), iki veya daha fazla indirgenme ve yükseltgenme tepkimesinin

birlikte yürüdüğü bir ortamda toplam indirgenme akımının toplam yükseltgenme akımına eşit olduğu potansiyele ise korozyon potansiyeli (E_{cor}) denir [16].

Elektrokimyasal yoldan korozyon hızının belirlenmesi, korozyona uğrayan metal üzerindeki anot ve katot yüzeyleri arasındaki akımın ölçülmesidir. Akım veya potansiyelden birinin kontrollü olarak değiştirilmesine karşın diğerinin aldığı değerlerin grafiğe geçirilmesi ile akım – potansiyel eğrileri elde edilir. Korozyon hızı ölçümünün özü akım-potansiyel ölçülmesidir [17].

Elektrokimyasal korozyon hızı ölçümlerinin avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Korozyon hızı ölçümlerinin kısa sürede yapılmasını sağlar.
2. Kütle kaybı veya kimyasal analitik yöntemlerle belirlenmesi zor olan düşük korozyon hızlarının doğru olarak ölçümlerini mümkün kılar.
3. Kütle kaybı yöntemiyle denemeyen yapıların korozyon hızlarını belirlemede kullanılır [18].

Elektrokimyasal yöntemlerle korozyon hızının belirlenmesinde yaygın olarak kullanılan metotlar aşağıda verilmektedir.

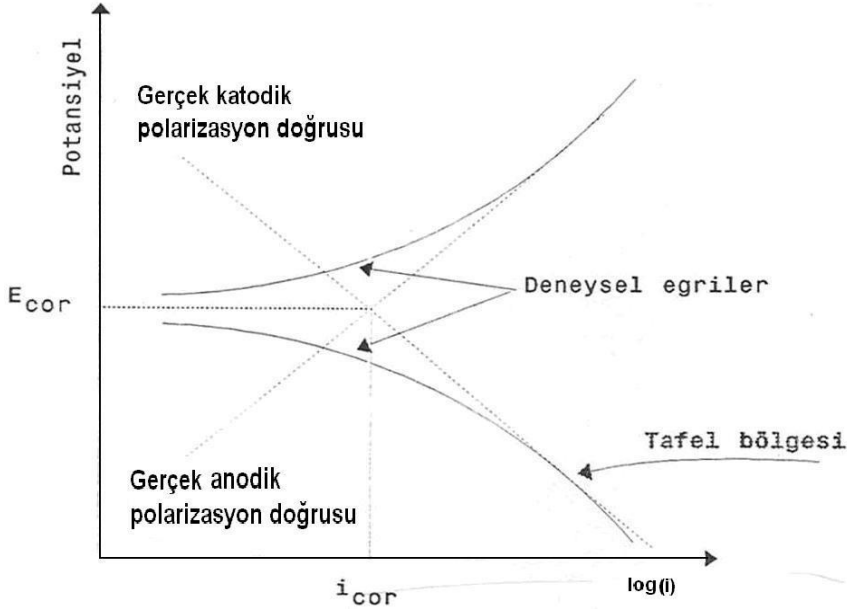
Tafel Ekstrapolasyon Yöntemi

Tafel ekstrapolasyon yönteminde, katodik veya anodik Tafel polarizasyon eğrileri belirlenir ve bunların çizgisel kısımları uzatılarak kesim noktasından o sistemin korozyon hızı (i_{corr}) ve korozyon potansiyeli E_{corr} Şekil 2.5'deki gibi belirlenir [4].

Bu yöntem hızlı sonuç verir. Anodik ve katodik tafel eğrileri birlikte elde edilemediğinde, yalnız birinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu ile korozyon hızı veya akımı belirlenebilir [14].

Tafel ekstrapolasyon yönteminin doğruluğu, kütle kaybı yönteminden daha fazladır. Çok düşük korozyon hızlarını bu yöntemle belirlemek mümkündür. Ancak bu

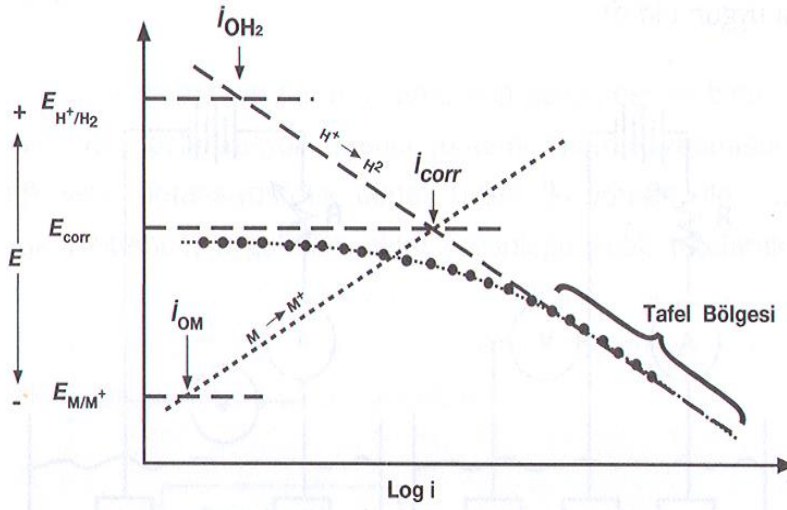
yöntem yalnızca bir indirgenme reaksiyonu içeren sistemlere uygulanabilir. Aksi halde Tafel bölgesinden sapmalar olur [19].



Şekil 2.5. Anodik ve katodik polarizasyon eğrileri [18]

Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu yöntemi

Bu yöntemde Şekil 2.6' da görüldüğü üzere yalnız katodik polarizasyon eğrisi elde edilir. Yöntemin duyarlılık derecesi yüksektir. Bu yöntemle çok küçük korozyon hızının kısa sürede belirlenmesi ve sistemin korozyon hızının sürekli olarak denetlenmesi mümkün olmaktadır. Ancak, bu yöntemin uygulanmasında bazı sıkıntılar mevcuttur. Doğruluğundan emin olmak için Tafel bölgesi en az on kat bir akım yoğunluğu bölgesinde uzanmalıdır. Birçok korozyon sisteminde, bu duruma derişim polarizasyonu ve diğer etkenler nedeniyle erişilemez. Ayrıca yöntem sadece bir indirgenme basamağı olan sistemlere uygulanır. Çünkü birden çok indirgenme basamağının olduğu sistemlerde Tafel bölgesinde sapma gözlenir. Bu yöntem özellikle, direnç polarizasyonu nedeniyle anodik Tafel eğrisi elde edilmiyorsa korozyon hızının çabuk belirlenmesinde kullanılır [4].



Şekil 2.6. Katodik polarizasyon eğrisinin korozyon potansiyeline ekstrapolasyonu [18]

Lineer polarizasyon direnci yöntemi

Stern ve Geary'e göre aktivasyon polarizasyonu ile kontrol edilen bir sistemde, korozyon potansiyeli (± 10 mV) dolayında uygulanan Δi akımı etkisiyle oluşan ΔE potansiyel farkı arasında Eş. 2.14'teki gibi çizgisel bağıntı mevcuttur [4].

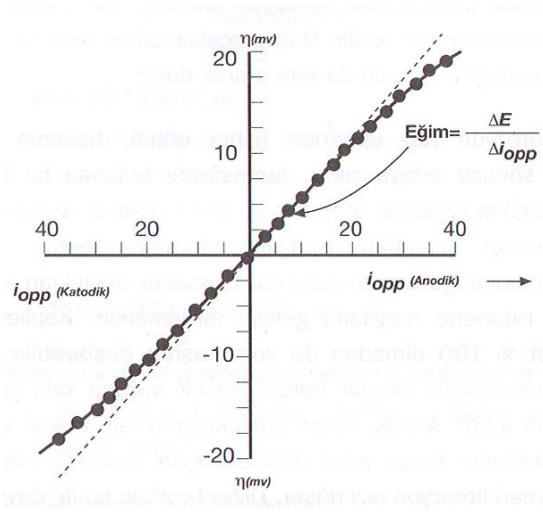
$$\frac{\Delta E}{\Delta i} = \frac{\beta_a \times \beta_c}{2,3(i_{cor})(\beta_a + \beta_c)} \quad (2.14)$$

β_a, β_c = anodik ve katodik reaksiyonların Tafel eğimleri

$\Delta E/\Delta i$ = polarizasyon direnci (mV/mA)

i_{cor} = korozyon akımı

Şekil 2.7'de gösterildiği üzere akım-potansiyel eğrisinin eğimi bilindiği takdirde Eş. 2.14 kullanılarak korozyon hızı hesaplanabilir.



Şekil 2.7. Polarizasyon direnci eğrisi [18]

Polarizasyon direnci yöntemi ile diğer yöntemlerle belirlenmesi olanaklı olmayan çok küçük korozyon hızları ölçülebilir, ortalama korozyon hızı belirlenmesinden başka herhangi bir andaki korozyon hızı belirlenebilir ve korozyon hızı belirlemeleri çok kısa sürede yapılabilir. Bununla birlikte çok korozif ortamlarda ve direnci çok büyük ortamlarda ölçmeler zor olur ve çok hata içerir. Yüksek dirençli ortamlarda yapılan ölçümlerde başarıyla kullanılabilen alternatif akım impedansı yöntemiyle ise çok daha iyi sonuçlar elde edilebilmektedir. Ölçümlerin korozyon potansiyeli civarında yapılmasıyla yüzey polarize edilmediğinden tekrarlanabilirliği yüksektir [20].

Alternatif akım empedans yöntemi (AC)

Son yıllarda geniş kullanım alanı bulan alternatif akım empedans ölçme tekniği ile korozyon hızı belirlenebildiği gibi kaplamaların korozyon direnci, dielektrik ölçümleri, elektro organik sentezde adsorpsiyon ve desorpsiyon mekanizmaları saptanabilir. Bu yöntem metal-çözelti ara yüzeyinde oluşan çift tabakanın alternatif akım impedansının ölçülmesine dayanmaktadır. Uygulamada çift tabaka kapasitesi ve metal yüzeyi ile çözeltinin iç kısmı arasındaki dirençlerden oluşan bir elektronik eşdeğer devre tasarlanır. Bu yöntemle yüksek dirençli ortamlarda da ölçüm yapılabilmektedir.

$$Z' - \left[\left(R_s + \frac{R_p}{2} \right) \right]^2 + (Z'')^2 = \frac{(R_p)^2}{2} \quad (2.15)$$

Z' = Gerçek impedans

Z'' = Kompleks impedans

R_s = Çözelti direnci

R_p = Polarizasyon direnci

Yukarıdaki bağıntı kullanılarak kompleks diagramdan çözelti direnci (R_s) ile polarizasyon direncini (R_p) belirlemek olanaklı olmaktadır [20].

2.8. Akım Potansiyel Eğrilerini Elde Etme Yöntemleri

Korozyon hızının belirlenmesinde, metal ve alaşımların pasiflik durumlarının denetlenmesinde elektrokimyasal yöntemlerle elde edilen akım-potansiyel eğrilerinden yararlanılmaktadır. Akım – potansiyel eğrileri, galvanostatik ve potansiyel-statik olmak üzere başlıca iki yöntem kullanılarak elde edilmektedir.

2.8.1. Galvanostatik yöntem

Bu yöntemde çalışma, yardımcı ve referans olmak üzere üç elektrotlu sistemde, incelenmekte olan elektroda anodik ve katodik yönde sabit bir dış akım uygulanır. Akım yoğunlukları değiştirilerek aynı işlemler tekrar edilir ve bulunan değerler grafiğe geçirilerek, akım potansiyel eğrileri elde edilir. Bu yolla akım – potansiyel eğrilerinin elde edilmesi başlıca iki yöntemle yapılır.

Yarı kararlı galvanostatik yöntem

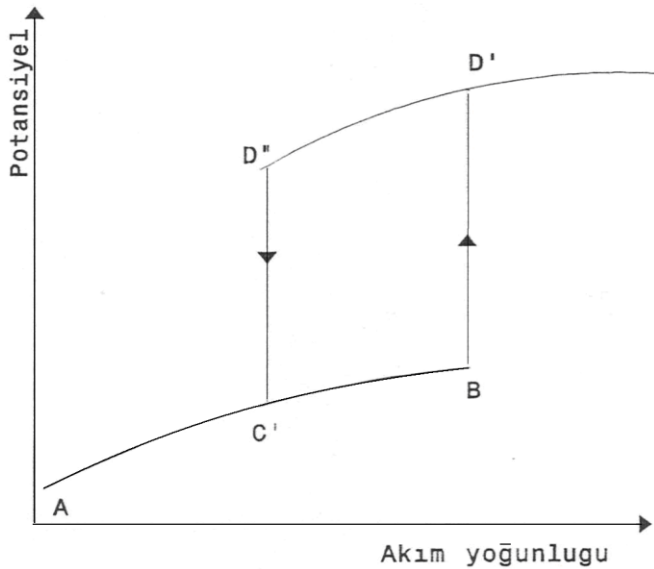
Bu yöntemle elektroda belirli bir akım uygulanıp elektrodun potansiyeli belirli bir süre sonra okunur. Akım uygulamasından belirli bir süre sonra okunan elektrot

potansiyelleri, uygulanan akımlara karşı grafiğe alınarak akım – potansiyel eğrileri elde edilir.

Kararlı galvanostatik yöntem

Bu yöntemde elektroda belirli büyüklükte bir akım uygulanıp, elektrot potansiyeli sabit kalıncaya kadar beklenir. Potansiyel sabit kalınca akım yeniden artırılır. Bu yolla her bir akıma karşı okunan elektrot potansiyelleri grafiğe alınarak akım – potansiyel eğrileri çizilir [21].

Galvanostatik yöntemde galvanostat adı verilen cihazlar kullanılır. Her farklı akım değerine karşılık gelen bir potansiyel vardır. Uygulanan akım yoğunluğu aktif – pasif dönüşüm için geçerli olan kritik akım yoğunluğuna ulaştığında potansiyel, ani bir değişimle transpasif bölgeye kayar (Şekil 2.8). Bu nedenle, transpasif bölgenin başladığı nokta olan çukur oluşma potansiyeli güvenilir bir şekilde elde edilemez ve pasif bölgede metalin durumu incelenemez. Ancak akım potansiyel eğrisinin aktif ve transpasif bölgesini izlemek mümkün olur [10].



Şekil 2.8. Galvanostatik Yöntemle Elde Edilen Akım Potansiyel Eğrisi

2.8.2. Potansiyostatik yöntem

Bu yöntemde incelenen elektrodun potansiyeli bir potansiyostat ile sabit bir değerde tutularak bu potansiyele karşı gelen akım yoğunluğu ölçülür. Farklı potansiyelerde ölçümler tekrarlanarak potansiyel-akım yoğunluğu değerleri grafiğe geçirilir. Polarizasyon eğrilerini elde etmek için geniş ölçüde potansiyostatik yöntem kullanılmaktadır. Bu yöntem potansiyelin değişme hızına bağlı olarak üç şekilde uygulanır.

Potansiyostatik yöntem

Bu yöntemde potansiyel belirli bir hızla değiştirilerek, beklemeden akım değerleri elde edilir. Çok değişik tarama hızlarında çalışılabilir. Bu yöntemde önemliolan nokta potansiyelin sürekliliğinin sağlanmasıdır.

Yarı kararlı potansiyostatik yöntem

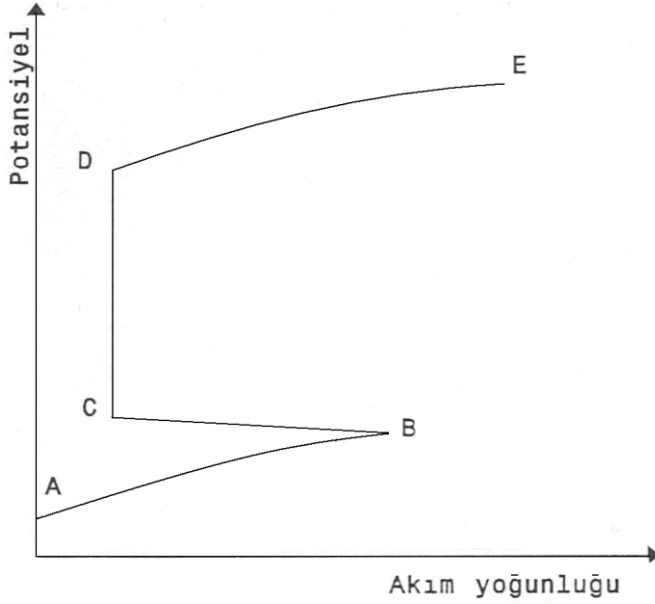
Potansiyel her potansiyel basamağında belirli süre beklenerek, belirli adımlarda değiştirilir ve akım değişimi gözlenir.

Kararlı potansiyostatik yöntem;

Akım sabit kalıncaya kadar belirli bir potansiyelde beklenir, akım sabit hale geldikten sonra potansiyel değiştirilerek işlem tekrarlanır. Bu yöntem yarı kararlı yöntemin yavaşlatılmış biçimidir.

Akım potansiyel eğrilerini elde etmek amacıyla kullanılan iki yöntem karşılaştırıldığında, potansiyostatik yöntem daha iyi sonuçlar verir. Potansiyostatik yöntemin üç şeklinde de elektrokimyasal dengenin kurulması, potansiyelin değişim hızına bağlıdır. Potansiyeli istenen adımlarla değiştirerek pasifliği ayrıntılı olarak incelemek mümkündür. Potansiyel ne kadar yavaş değiştirilirse dengenin kurulması o kadar kolay olur. Potansiyostatik yöntemde elektrokimyasal denge kurulamaz. Çünkü her potansiyel basamağında dengenin kurulması için gereken süre kadar

beklenmez. Yarı kararlı potansiyostatik yöntemde, denge, tam olarak kurulamaz. Kararlı potansiyostatik yöntemde, uygulanan her potansiyelde beklendiğinden denge tam olarak sağlanır. Kısa sürede sonuç vermesi nedeniyle potansiyostatik ve yarı kararlı potansiyostatik yöntem daha çok kullanılır (Şekil 2.9).



Şekil 2.9. Potansiyostatik Yöntemle Elde Edilen Akım-Potansiyel Eğrisi

2.9. Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, atom, iyon ya da moleküllerin bir katı üzerine tutunması şeklinde tanımlanır. Tutunan taneciklerin yüzeyden ayrılmasına desorpsiyon, katıya adsorplayıcı, katı yüzeyinde tutunan maddeye ise adsorplanan adı verilir [23].

Metal-çözelti arayüzeyinde adsorpsiyon kimyasal veya fiziksel olarak meydana gelebilir. Genel olarak 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 edilir. ΔG°_{ads} değerinin -40 kJ/mol ve daha yüksek olduğu durumlarda, organik molekülden metal yüzeyine koordine tip bağ yapmak için yük transferini gerektiren etkileşimler (kemisorpsiyon) olur [30].

Fiziksel adsorpsiyon sırasında adsorplanan tanecikler ile katı yüzeyi arasında Van der Waals çekim kuvvetleri etkinken, kimyasal adsorpsiyon sırasında ise tanecikler ile yüzey arasında genellikle de kovalent bağ gibi bir kimyasal bağ oluşmaktadır [22].

İnhibitörlerin adsorpsiyon derecesi metalin yüzey yükü ve doğası, inhibitörün adsorpsiyon şekli, inhibitörün kimyasal yapısı ve çözeltinin tipi gibi birtakım faktörlere bağlıdır. İnhibitörün kimyasal yapısında oksijen, nitrojen, sülfür ve fosfor gibi heteroatomlar, üçlü bağlar ve aromatik halkaların bulunması adsorpsiyon prosesini geliştirir. Ayrıca inhibitörün yapısında sübstitute benzen halkalarının bulunması inhibisyonun iyi olmasını sağlamaktadır [23].

2.9.1. Adsorpsiyon izotermi

İnhibitör derişimi ile yüzeyin kaplanma kesri arasındaki ilişkiler, çeşitli bilim adamlarınca, adsorpsiyon izotermi olarak matematik bağıntılar halinde verilmiştir. Esasta kaplanma kesrinin inhibitör derişimi ile değişimini belirten bu izotermi, bazı katsayılar ve düzeltme terimleriyle birbirlerinden ayrılmaktadır [11].

Sabit sıcaklıkta adsorban tarafından adsorplanan madde miktarı ile denge basıncı veya derişimi arasındaki bağıntıya adsorpsiyon izotermi adı verilir. Metal yüzeyindeki kaplanma kesri Eş. 2.16'dan yararlanılarak hesaplanmaktadır.

$$\theta = 1 - \left[\frac{i_{\text{inhibitörlü}}}{i_{\text{inhibitörsüz}}} \right]_{\text{sabit E}} \quad (2.16)$$

Burada i akımı göstermektedir. İnhibitörlü ortamda ve saf çözelti ortamındaki korozyon hızları deneysel olarak belirlendikten sonra Eş. 2.16'dan yararlanılarak θ kesri bulunur. θ bulunduktan sonra, adsorpsiyon izotermi bağıntılarından yararlanılarak, adsorpsiyonun hangi izoterme uyduğu belirlenir.

Yapılan birçok korozyon araştırmaları sonucunda inhibitörün yapısı ve derişimine bağlı olarak değişik adsorpsiyon izotermi söz konusu olduğu bulunmuştur. Bu

izotermiler: Freundlich, Langmuir, Temkin, Frumkin, Hill de Boer ve Parson adsorpsiyon izotermileridir.

Freundlich adsorpsiyon izotermi

Freundlich adsorpsiyon izoterminde, Langmuir izoterminden farklı olarak adsorbanın (metal yüzeyinin) değişik adsorpsiyon potansiyellerinde heterojen bir yüzeye sahip olduğu kabul edilmiştir.

$$\theta = K C^n \text{ veya } \log \theta = \log K + n \log C$$

θ yüzey kaplanma kesri, C çözültideki inhibitör derişimi ve K adsorpsiyon denge sabitidir. Burada n heterojenlik faktörüdür ve 1/n değeri 0 ile 1 arasında değeri alır. Bu değeri sifira yaklaştıkça yüzeyin heterojenlik seviyesi artmaktadır [22].

Langmuir adsorpsiyon izotermi

Fiziksel bir adsorpsiyonu belirten Langmuir adsorpsiyon izotermine göre kaplanma kesri ile inhibitör derişimi arasındaki bağıntı Eş. 2.17'de verilmiştir.

$$\theta/(1-\theta) = K[C] \quad (2.17)$$

θ = kaplanma kesri (kg adsorplanan madde/kg adsorban)

C = adsorplanan maddenin çözültideki derişimi (kg/m³)

Burada θ , yüzey kaplanma kesri, I, çözültideki inhibitör derişimi ve K adsorpsiyon denge sabitidir. Yukarıdaki bağıntıdan $\theta / (1-\theta) - [I]$ derişiminin doğrusal olduğu görülmektedir. Deneysel sonuçların bu derişimi doğrulaması adsorpsiyonun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğunu gösterir. Kapanma kesrinin çok küçük olduğu ($\theta \ll 1$) ve çok büyük ($\theta \approx 1$) olduğu koşullarda adsorpsiyonun bu izoterme uyduğunu kabul edilmektedir [11].

Langmuir'in teorik yaklaşımı aşağıdaki kabullere dayandırılmıştır;

1. Katı yüzeylerinin belli sayıda adsorpsiyon merkezi içerir. Herhangi bir sıcaklık ve basınçta dengede bu adsorpsiyon bölgelerinin θ gibi bir kesri adsorplanan moleküller tarafında işgal edilmiştir, $1-\theta$ kadarı ise işgal edilmemiş durumdadır. Buna göre yüzeyin örtülü kesri θ ve örtülü olmayan kesri ise $1-\theta$ olarak gösterilebilir.
2. Her bir adsorpsiyon merkezine bir molekül tutunabilir.
3. Adsorpsiyon ısısı bütün adsorpsiyon merkezleri için aynıdır ve yüzeyin örtülü kesrine bağlı değildir.
4. Farklı merkezler üzerine bağlanmış moleküller arasında hiçbir etkileşme yoktur. Bir molekülün işgal edilmemiş bir merkeze bağlanması veya işgal ettiği bir noktayı terk etme şansı komşu adsorpsiyon merkezlerinin dolu olup olmamasına bağlı değildir.
5. Katı yüzeyinde heterojen bölgeler bulunmaz [22].

Temkin adsorpsiyon izotermi

Temkin izotermi, yüksüz moleküllerin heterojen yüzeye kimyasal adsorpsiyonunu karakterize eder ve bağıntı Eş. 2.18'deki gibidir.

$$\exp(f.\theta) = (K.C) \quad (2.18)$$

Burada, C inhibitör derişimini, K adsorpsiyon denge sabitini, f ise yüzeyin pürüzlülük faktörünü göstermektedir [22].

Frumkin adsorpsiyon izotermi

Frumkin adsorpsiyon izotermi, Langmuir izoterminin bir uzantısıdır. Adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler.

$$\ln\left(\frac{\theta}{1-\theta}[C]\right) = \ln k + 2\alpha\theta \quad (2.19)$$

Eş. 2.19’da gösterilen Frumkin izotermine, θ yüzey kaplanma kesrini, α adsorpsiyon tabakasındaki moleküler etkileşimleri tanımlayan bir terimdir [27]. C çözeltildeki inhibitör derişimi, k ise adsorpsiyon denge sabitidir. $\alpha >0$ ise çekim kuvvetlerinin hakim olduğu, $\alpha <0$ ise itim kuvvetlerinin hakim olduğu ve $\alpha =0$ durumunda ise etkileşimin olmadığı kabul edilmiştir. $\alpha =0$ durumunda izoterm Langmuir’e uyar [22].

2.10. Literatür Araştırması

İnhibitör kullanılarak korozyon hızının azaltılması konusunda yapılan literatür araştırması sonucu elde edilen bazı çalışmalar aşağıda belirtilmiştir.

Lee ve ark. (2008) bakırın %0,5’lik HCl çözeltisi içindeki korozyonunda serine, threonine ve glutamicacid inhibitörlerinin etkinliklerini elektrokimyasal yöntemler kullanarak belirlemişlerdir. Elektrokimyasal polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemlerini kullanarak 1 mM inhibitör derişimlerinde yapılan deneyler sonucunda inhibitör verimleri serine, threonine ve glutamicacid için sırasıyla %54,7, %83,4 ve %90,4 olarak bulunmuştur. Bütün inhibitörlerin katodik akım yoğunluğunu bastırıldığı ve korozyon potansiyellerini daha negatif değerlere kaydırarak katodik inhibitör olarak davrandıkları görülmüştür. Ayrıca aminoasit ile bakır yüzey arasındaki etkileşim FTIR kullanılarak belirlenmeye çalışılmıştır. FT-IR analizi sonucunda aminoasitin bakır yüzeyiyle Cu-N ve Cu-O gibi kuvvetli kimyasal yüzey bağları yaptığı gözlemlenmiştir [24].

Hua ve ark. (2010) yeni sentezlenen üç alkilimidazolyum (1-bütül-3-metilimidazolyum klorit (BMIC), 1-hekzil-3- metilimidazolyum klorit (HMIC) and 1-oktil-3- metilimidazolyum klorit (OMIC)) iyonik sıvısının 1,0 M HCl içindeki alüminyum korozyonuna etkisini potansiyodinamik polarizasyon, elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve kütle kaybı yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir.

Bütün ölçümler inhibitör derişiminin arttıkça korozyon etkinliğinin arttığını ve inhibitörlerin korozyon verimlerinin OMIC >HMIC> BMIC şeklinde olduğunu göstermiştir. 5×10^{-4} ile 1×10^{-2} M inhibitör derişimi aralığında yapılan deneylerde en yüksek verimler 1×10^{-2} M derişimde OMIC, HMIC ve BMIC için sırasıyla %94, %90 ve %92 olarak bulunmuştur. Polarizasyon eğrileri bu inhibitörlerin karma tip inhibitör olduklarını göstermiştir. Çalışmada inhibitörlerin adsorpsiyon izotermeleri de incelenmiş ve bütün inhibitörlerin Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu ve fiziksel mekanizmaya sahip olduğu görülmüştür. Bununla birlikte aktivasyon enerjisi (E_a), aktivasyon entropisi (ΔS), aktivasyon entalpisi (ΔH), adsorpsiyon denge sabiti (K_{ads}) ve adsorpsiyon serbest enerjisi (ΔG) gibi termodinamik parametreler de belirlenmiştir. Artan inhibitör derişimiyle ΔH ve E_a 'nın arttığı, ΔS 'in ise azaldığı görülmüştür. Sıcaklığın etkisini gözlemek için bütün inhibitörlerle 303-333 K sıcaklık ve 5×10^{-4} ile 1×10^{-2} M inhibitör derişimi aralığında çalışılmış ve en yüksek inhibitör verimi 1×10^{-2} M ve 303 K'de OMIC, HMIC, BMIC için sırasıyla %93, %90, %81 olarak bulunmuştur. Sıcaklığın artmasıyla inhibitör veriminin azaldığı görülmüştür [25].

Obot ve ark. (2008) 0,02-2M HCl ortamlarında 30-60°C sıcaklık aralıklarında alüminyumun korozyonuna *Raphia Hookeri* bitkisinin yapışkan salgısının etkisini kütle kaybı ve termometrik yöntemleri kullanarak incelemişlerdir. Yapışkan salgı asit çözeltisi içerisinde inhibitör gibi davranmıştır. Korozyon veriminin inhibitör derişiminin artmasıyla arttığı, sıcaklığın artmasıyla azaldığı görülmüştür. En yüksek inhibitör verimi, 0,5 g/L derişimde 30°C sıcaklıkta 56,30 olarak hesaplanmıştır. *Raphia hookerinin* inhibitif etkisi salgının içerdiği fitokimyasal kontitüentlerin alüminyum yüzeyine adsorbe olmasıyla açıklanmıştır. Salgının Tempkin adsorsiyon izotermine uyduğu görülmüştür. Termodinamik parametreler adsorpsiyon prosesinin kendiliğinden olduğunu göstermiştir [26].

Sorkhabi ve ark. (2005) 1M HCl + 1M H₂SO₄ çözeltisindeki saf alüminyumun korozyonuna alanin, leusin, valin, prolin, metiyonin ve triptofen gibi aminoasitlerin inhibitif etkisini kütle kaybı yöntemi, lineer polarizasyon ve SEM yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. 25°C'de 0,0001M – 0,1M inhibitör derişimleri arasında

yapılan deneylerde en yüksek verim 0,1M inhibitör derişimlerinde triptofen=%91 > metiyonin=%56,3 > prolin= %58,2> leusin=%62,4> valin=%63,3 > alanin=%81 şeklinde sıralanmıştır. Yapılan çalışmada artan inhibitör derişimi için verimin arttığı, artan sıcaklıkla ise verimin düştüğü gözlenmiştir. Alanin ve prolinin artan inhibitör derişimiyle E_{corr} potansiyelini daha negatif değerlere kaydırıldığından dolayı katodik inhibitör olarak davrandığı görülmüştür. Leusin ve valin 10^{-4} M derişimin üzerinde anodik inhibitör olarak davranırken, metiyonin 10^{-2} M derişime kadar anodik ve katodik tepkimeler üzerine etki ederken bu derişimden daha yüksek derişimlerde katodik inhibitör gibi davranmaktadır. Artan derişimle triptofan anodik inhibitör olarak davranmaktadır. Bütün inhibitörlerin alüminyumun üzerine adsorpsiyonu Langmuir ve Frumkin adsorpsiyon izotermine uymuştur. İnhibitör etkinliği derişim, sıcaklık ve aminoasitin moleküler yapısına bağlı olarak değişmektedir. Aminoasit yapısında oksijen ve nitrojen gibi heteroatomların ve aromatik halkaların bulunmasının inhibitör etkinliğinde önemli artışa neden olduğu görülmektedir [27].

Umoren ve ark. (2010) 2M H_2SO_4 çözeltisi içindeki yumuşak çeliğin korozyonuna karboksimetilselulozların (CMC) inhibitif etkilerini ve adsorpsiyon davranışlarını 30-60°C arasında kütle kaybı yöntemi, hidrojen dönüşümü ve termometrik yöntemleriyle incelemişlerdir. 0,1 g/L- 0,5g/L inhibitör derişimlerinde ve 30-60°C sıcaklıklarda yapılan deneyler sonucunda en yüksek verim 30°C ve 0,5 g/L derişimde % 64,8 olarak hesaplanmıştır. Deneysel çalışmalar sonucunda inhibitif etkinin artan inhibitör derişimiyle arttığı, artan sıcaklıkla ise azaldığı görülmüştür. CMC'nin yumuşak çelik yüzeyine adsorpsiyonunun Langmuir ve Dubinin-Radushkevich izoterm modellerine yaklaştığı görülmüştür [28].

Duran ve ark. (2012), 1,5-bis[2-(2-hydroxybenzylideneamino)phenoxy]-3-oxopentane (D1), 1,5- bis[2-(5-chloro-2-hydroxybenzylideneamino)phenoxy]-3-oxopentane (D2) and 1,5-bis[2-(5-bromo- 2-hydroxybenzylideneamino)phenoxy]-3-oxopentane (D3) isimli üç schiff bazını sentezleyerek, bu bazların 0,1 M HCl çözeltisi içindeki alüminyumun korozyonuna inhibitif etkilerini elektrokimyasal empedans spektroskopisi, Tafel polarizasyon ve taramalı elektron mikroskopisi yöntemleriyle araştırmışlardır. Yapılan çalışmalar sonucunda bu bileşiklerin inhibitör

özellikleri gösterdiğini ve alüminyumun yüzeyine adsorpsiyonlarının Temkin adsorpsiyon izotermine uyduğu görülmüştür. Polarizasyon sonuçları, çalışılan schiff bazlarının katodik inhibitör olduklarını ve inhibitör verimlerinin azalan sırayla $D3 > D2 > D1$ olduğunu göstermiştir. 10 ile 100 μM inhibitör derişimleri aralığında yapılan deneyler sonucunda elde edilen en yüksek verim 100 μM derişimde; D3 için %64,4, D2 için %62,4, D1 için ise %61,4 olarak hesaplanmıştır. Verimlerin farklı olmasının sebebini ise bu bazların yapısı ve alüminyum yüzeyine adsorpsiyonu kolaylaştıran elektronegatif klor ve brom iyonlarının varlığıyla açıklamışlardır. Çalışmalar alüminyumun korozyonunda artan inhibitör derişiminde verimlerinin arttığını ve kullanılan yöntemlerden EIS ve Tafel polarizasyon yöntemlerinin birbirlerinin yerine tercih edilebileceklerini göstermiştir [29].

Quraishi ve ark. (2003) 1 N HCl ve 1 N H_2SO_4 çözeltileri içindeki yumuşak çeliğin korozyonuna bazı substite dianilllerin etkisini kütle kaybı ve elektrokimyasal yöntemlerle araştırmışlardır. 1,4-di-dimethyl aminobenzyledene aminophenylene (DDAP); 1,4-divanilledene aminophenylene (DVAP); 1,4-disalicyledene aminophenylene (DSAP); 1,4-dibenzyledene aminophenylene (DBAP) ve 1,4-dicinnamyledene aminophenylene (DCAP) dianilleriyle 35°C 'de ve 25 ile 500 ppm inhibitör derişimi aralığında yapılan deneyler sonucunda en yüksek verim 500 ppm inhibitör derişiminde 1 N HCl ortamında %99,26, 1 N H_2SO_4 ortamında ise %99,04 olarak DCAP'te elde edilmiştir. Diğer inhibitörler için de yine 500 ppm de azalan sırayla $\text{DCAP} > \text{DBAP} > \text{DDAP} > \text{DVAP} > \text{DSAP}$ olarak verimler değışmiştir. Korozyon inhibisyonunun mekanizmasının belirlenmesi için bütün dianillerin aktivasyon enerjisi ve adsorpsiyon serbest enerjisi hesaplanmıştır. Bu hesaplamalar sonucunda bu maddelerin yumuşak çeliğe adsorpsiyonları Temkin adsorpsiyon izotermine uygun olduğu belirlenmiştir. Potansiyodinamik ölçümlerle bu inhibitörlerin karma tip inhibitör oldukları ve korozyonu metal yüzeydeki aktif siteleri bloke ederek etkidikleri görülmüştür [30].

Obot ve ark. (2008) flukonazolün alüminyum ve hidroklorik asit arasındaki ara yüz davranışını $30\text{--}50^\circ\text{C}$ arasında kütle kaybı yöntemini kullanarak incelemişlerdir. Sonuçlar flukonazolün asidik ortamdaki alüminyumun korozyonunda etkili bir

inhibitör olduğunu göstermiştir. Deneyle 0,1 M HCl ortamında, 2×10^{-5} ile 1×10^{-4} M flukonazol derişimi ve 30–50°C sıcaklık aralığında gerçekleştirilmiştir. Deneyle sonucunda en yüksek verim, 30°C sıcaklıkta ve 1×10^{-4} M flukonazol derişiminde %82,4 olarak bulunmuştur. Yapılan araştırmada artan flukonazol derişimiyle inhibisyon veriminin arttığı, artan sıcaklıkla ise verimin azaldığı gözlenmiştir. Araştırmada fukonazolün adsorpsiyon davranışları da incelenmiş ve inhibitörün alüminyumun yüzeyine adsorpsiyonunun Temkin adsorpsiyon izoterm modeline uyduğu görülmüştür. Ayrıca aktivasyon enerjisi E_a ve adsorpsiyon serbest enerjisi ΔG_{ads} değerleri hesaplanarak fiziksel adsorpsiyonun mekanizması önerilmiştir. Flukonazolün inhibitif davranışlarını ve moleküler yapısını daha iyi doğrulamak için kuantum kimyası çalışması yapılmıştır. Kuantum kimya hesaplamaları, FLC moleküllerinin alüminyum yüzeyindeki katyonik türler gibi adsorbe olmasından başka; oksijen, nitrojen ve benzilik karbonlar gibi kendi aktif merkezlerini kullanan moleküler türler gibi de adsorbe olabildiğini göstermiştir [31].

Muradliharan ve ark. (2008) farklı derişimlerde cinnamaldehit kullanarak, çeliğin 30°C ve 4,76 mM/L derişimdeki sitrik asit çözeltisindeki 6-24 saat daldırma zamanı aralığında korozyon davranışını kütle kaybı yöntemi, potansiyodinamik ölçümler ve empedans ölçümleriyle incelemişlerdir. 0,76 mM/L ile 15,15 mM/L arasındaki cinnamaldehit derişimlerinde yapılan deneyle sonucunda en yüksek verim %82,2 ile 15,15 mM/L derişiminde elde edilmiştir. Artan inhibitör derişimiyle verimin arttığı gözlenmiştir. Karbon çeliğinin üzerindeki adsorplanmış koruyucu inhibitör filminin oluşması FTIR çalışmalarıyla gösterilmiştir. Bu çalışmalar sonucunda cinnamaldehitin oksijen atomu Fe^{+2} ile birleşerek, metal yüzeyinde Fe^{+2} inhibitör kompleksi oluşturması mekanizmasını açıklamaktadır [32].

Issadi ve ark. (2011) 1M HCl çözeltisi içindeki yumuşak çeliğin korozyonuna iki Schiff bazının inhibitif etkilerini elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve Tafel polarizasyon yöntemleriyle incelemişlerdir. 4,40-bis(3-karboksaldehit tiyofen) difenil diimino eter (L1) ve 4,40-bis(3-karboksaldehit tiyofen) difenil diimino etan (L2) sentezlenerek deneyle gerçekleştirilmiştir. 1×10^{-4} ve 5×10^{-3} M L1 ve L2 derişim aralığında yapılan deneyle sonucu en yüksek verim, 5×10^{-3} M L1 derişiminde %92

olarak hesaplanmıştır. Potansiyodinamik ve elektrokimyasal empedans yöntemleri sonucunda bu iki Schiff bazının karma tip inhibitör oldukları ve artan inhibitör derişimiyle verimin arttığı gözlenmiştir. Çalışmada inhibitörlerin adsorpsiyon eğrileri de incelenmiş ve bu inhibitörlerin Langmuir adsorpsiyon izotermine uydukları görülmüştür. L1 ve L2 için sırasıyla ΔG_{ads} -32,16 kJ/mol ve -30,79 kJ/mol olarak hesaplanmış ve ΔG_{ads} negatif değerinden adsorpsiyon olayının kendiliğinden gerçekleştiği görülmüştür [33].

Hammouti ve ark. (2004) glisin, leusin, D-L aspartik, arginin ve metiyonin aminoasit inhibitörlerinin pH=5 olan sitrik asit çözeltisindeki saf demirin korozyon davranışına etkilerini, kütle kaybı, polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi ölçümleriyle incelemiştir. Öncelikle 1×10^{-2} M inhibitör derişimlerinde deneyler yapılmış ve bu deneyler sonucunda glisin, leusin, d-L aspartik, arginin ve metiyonin için verimler sırasıyla %-3, %38, %54, %58 ve %84 olarak bulunmuştur. En yüksek verime ulaşan Metiyonin için detaylı deneyler yapılmış ve verimin inhibitör derişimiyle değişimi araştırılmıştır. 5×10^{-5} M ile 2×10^{-2} M metiyonin derişimleri arasında yapılan deneyler sonucunda; en yüksek verim 2×10^{-2} M derişimde %95 olarak bulunmuş ve artan inhibitör derişimiyle verimin arttığı görülmüştür. Metiyoninin Tafel polarizasyon eğrisine bakıldığında, E_{corr} korozyon potansiyelini katodik yönde değiştirdiğinden dolayı katodik inhibitör olduğu, adsorpsiyon eğrisinin ise Temkin adsorpsiyon izotermine uyduğu görülmüştür. 10^{-2} M metiyonin derişiminde 30-60°C sıcaklık aralığında verimin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde ise, sıcaklığın artmasıyla verimin düştüğü gözlenmiştir [34].

Mahdavian ve Ashhari (2010) 1M Hidroklorik asit çözeltisi içindeki yumuşak çeliğin korozyonuna merkaptazol bileşiklerinin etkisini polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemlerini kullanarak incelemiştir. 2-merkaptobenzimidazol (MBI) ve 2-merkaptobenzoksazol (MBO) bileşikleriyle 0,05 mM ve 1 mM derişim aralığında yapılan ölçümler sonucunda artan inhibitör derişimiyle verimin arttığı ve en yüksek verimin 1 mM MBI derişiminde %96 olduğu görülmüştür. Polarizasyon eğrileri değerlendirildiğinde her iki inhibitörün de anodik ve katodik polarizasyon eğrilerini bastırıldığı ve karma tip inhibitör olarak davrandığı

görülmüştür. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve polarizasyon ölçüleriyle MBI'nın, MBO'ya göre daha kuvvetli korozyon inhibitörü olduğu belirlenmiştir. Araştırılan bileşiklerin çok benzer moleküler şekle, hacim ve yüzey alanına sahip olmasına rağmen farklı inhibitif etkiye sahip olmaları farklı elektronik molekül yapısıyla ilişkilendirilmiştir. Daha negatif en yüksek dolu moleküler orbital enerjisine (E_{HOMO}) sahip organik maddeler beklenenden daha iyi adsorpsiyon yeteneğine ve korozyon inhibisyonuna sahiptirler. Yapılan kuantum kimyası çalışmaları sonucunda MBO'ya göre daha negatif (E_{HOMO})'ya sahip MBI daha etkin bulunmuştur. SEM-EDX yüzey analizi ve elektrokimyasal metotlar, yüzeydeki sülfür varlığının azol bileşiklerinin yumuşak çelik yüzeyine adsorpsiyonunun doğrulandığını göstermektedir. Elektrokimyasal tekniklerin sonuçları, azol halkasındaki pirol seven nitrojen atomunun oksijen atomuna değişimi hidroklorik asit çözeltisi içindeki korozyon inhibisyonu performansını düşürdüğünü göstermektedir [35].

Amin ve ark. (2010) 1M HCl içerisindeki demirin korozyonuna seçilen inhibitörler olarak alanin (Ala), sistein (Cys) ve S-metilsistein (S-MCys)'nin inhibitif etkilerini Tafel polarizasyon ve elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleriyle incelemişlerdir. 0,1 – 5,0 mM inhibitör derişimlerinde yapılan deneyler sonucunda alanin (Ala), sistein (Cys) ve S-metilsistein (S-MCys) için en yüksek verimler 5 mM derişimde sırasıyla %75, %84,9 ve %92,9 olarak bulunmuş ve artan inhibitör derişimiyle verimin arttığı görülmüştür. Polarizasyon eğrileri incelendiğinde alaninin katodik polarizasyon eğrilerini etkileyerek korozyon potansiyelini negatif yöne kaydırıldığı ve katodik inhibitör olarak davrandığı; sistein ve S-metilsisteinin anodik ve katodik eğrilerin ikisini de etkileyerek karma tip inhibitör gibi davrandıkları belirlenmiştir. Sistein moleküler yapısında içerdiği merkaptto grubundan dolayı test edilen inhibitörler arasında en verimli inhibitör olmuştur. S-metilsistein için yapısındaki merkaptto grubundaki substite metilin sterik etkiye katkısından dolayı sisteinden daha düşük verim elde edilmiştir [36].

Khaled (2010) 1,0 M nitrik asit içerisindeki bakırın korozyonunda L-metiyonin (MIT), L-metiyoninsülfoksit (MITO) ve L-metiyoninsülfon (MITO2)'un inhibitör performansını kütle kaybı, DC polarizasyon ve AC empedans yöntemlerini

kullanarak araştırmıştır. 0,1-5 mM inhibitör derişimi aralığında yapılan deneylerde bütün inhibitörlerde artan derişimle verimin arttığı gözlenmiştir. İnhibitör verimleri L-metiyonin(MIT)<L-metiyoninsülfoksit(MITO) < L-metiyoninsülfon (MITO2) olarak sıralanmış ve en yüksek verimler 5 mM derişimde sırasıyla %87,6, %91,2 ve %94,1 olarak hesaplanmıştır. Polarizasyon eğrileri incelendiğinde metiyonin ve türevlerinin E_{corr} korozyon potansiyelinde önemli bir değişiklik meydana getirmediği ve karma tip inhibitör olarak davrandıkları belirlenmiştir. Yapılan çalışma, L-metiyonin ve türevlerinin nitrik asit ortamında bakırın korozyonu için verimli inhibitörler olduklarını göstermiştir. İnhibisyon özelliklerinin inhibitörün moleküler yapısına ve derişimine bağlı olduğu belirlenmiştir [37].

Hammouti ve ark. (2008) beş aminoasitin 1M nitrik asit çözeltilisindeki bakırın korozyonuna etkilerini kütle kaybı ve elektrokimyasal polarizasyon yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. Deneyler 10^{-3} M inhibitör derişiminde, 25°C’de üç elektrotlu sistemde gerçekteştirilmiştir. Çalışmalar sonucunda Valin(Val), Glisin(Gly), Arginin(Arg), Lisin(Lys) ve Sistin(Cys) için inhibitör verimleri sırasıyla %-15, %-4, %38, %54 ve %61 olarak elde edilmiştir. Seçilen inhibitörler içinde en yüksek verim sistinde elde edilmiştir. Nitrojen, oksijen, sülfür ve fosfor gibi heteroatom içeren organik bileşiklerin, bu heteroatomlar vasıtasıyla metal yüzeyine adsorbe olarak korozyon inhibitörü olarak kullanıldıkları bilinmektedir. Buna göre sistinin moleküler yapısında bulundurduğu –SH inhibisyon verimini artırmaktadır. –SH grubu fazla elektron vericidir ve olabildiğince adsorpsiyonun merkezi olması için kendi kendini teşvik eder. Lisinin alifatik zincirindeki nitrojen atomunun metal ile molekül arasındaki etkileşimi artırmasından dolayı, diğer inhibitörlere göre daha fazla verim elde edilmiştir. Argininin radikal grubunun nitrojen içermesine rağmen veriminin daha düşük olmasının sebebi ise nitrojen atomlarındaki tekrarlı ve sterik engellerin bulunması olarak açıklanmıştır. Valin ve glisinin verimlerinin düşük çıkması ise heteroatom içermeyen moleküler yapılarının olması şeklinde açıklanmıştır [38].

Zhang ve ark. (2008) dört aminoasitin 0,5M HCl çözeltisi içindeki bakırın korozyonuna inhibitif etkilerini potansiyodinamik polarizasyon ve elektrokimyasal

empedans spektroskopisi yöntemlerini kullanarak incelemişlerdir. 0,001 ile 0,1 M inhibitör derişimleri aralığında ve 25°C’de aspartik asit (Asp), glutamik asit (Glu), asparjin(Asn) ve glutaminle(Gln) potansiyodinamik yöntemler kullanılarak yapılan deneyler sonucunda en yüksek verimler 0,1M inhibitör derişiminde aspatikasit=%52,03<glutamik asit=53,74<Asparjin=60,68<Glutamin=73,47 olarak sıralanmıştır. Elektrokimyasal empedans spektroskopisi yöntemleriyle bulunan sonuçlar da potansiyodinamik yöntemlerle bulunanlarla uyuşmaktadır. Bu inhibitörler için adsorpsiyon izotermi de incelenmiş ve ΔG_{ads} adsorpsiyon serbest enerjileri hesaplanmıştır. Yapılan incelemelerde, bütün inhibitörlerin Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu belirlenmiş ve aspartik asit, glutamik asit, asparajin ve glutaminin ΔG_{ads} değerleri sırasıyla -20,40 kJ/mol, -22,39 kJ/mol, -23,01 kJ/mol ve -26,98 kJ/mol olarak hesaplanmıştır. Azalan ΔG_{ads} serbest enerji değerleri adsorpsiyonun arttığını göstermektedir. ΔG_{ads} serbest enerjinin -20kJ/mol ve daha düşük değerlerde olduğunda fiziksel adsorpsiyon; -40kJ/mol ve daha yüksek değerlerde olduğunda ise inhibitör molekülü ile metal yüzeyi arasında koordinat bağları oluşturmak üzere yük paylaşımı veya taşınımı olduğu bilinmektedir. Sonuçta bu dört inhibitörün de inhibitör molekülü ile bakır yüzey arasındaki elektrostatik etkileşim yoluyla adsorpsiyonu gerçekleştirdiği belirtilmektedir. Yani adsorpsiyonda fiziksel adsorpsiyon rol oynamaktadır. Yapılan potansiyodinamik ölçümler bu dört inhibitörün de karma tip inhibitör olduklarını göstermiştir. İnhibisyon verimi moleküldeki adsorpsiyon sitelerinin sayısına, molekül boyutuna ve metal yüzeyiyle etkileşim biçimine bağlıdır. Glutamin ve asparjin glutamik asitle aspartik asidin imin türevleridir. Glutamin ve asparjinin, glutamik asit ve aspartik asite göre yapılarında daha fazla azot atomu bulundurmalarından dolayı verimleri daha yüksek çıkmıştır. Glutaminin ise moleküler yapısında daha fazla metilen bulundurması, asparjine göre daha yüksek verim elde edilmesini sağlamıştır [39].

Yang ve ark. (2008) 1M HCl çözeltisindeki yumuşak çeliğin korozyonuna, korozyon inhibitörü olarak purin ve onun türevleri olan guanin, adenin, 2,6 diaminpurin, 6 tioguanin ve 2,6 ditiopurinin inhibisyon etkileri incelenmiştir. 1M HCl içindeki yumuşak çeliğin korozyonunun polarizasyon eğrileri hem katodik hem de anodik çelik korozyon proseslerinde baskın olduğunu göstermektedir. Deneysel olarak 3

elektrotlu hücre sistemi kullanılmıştır. Sistemde karsıt elektrot olarak Pt elektrot, referans elektrot olarak doymuş kalomel elektrot ve çalışma elektrodu olarak ta yumuşak çelik kullanılmıştır. Polarizasyon eğrileri ± 200 mV arasında elde edilmiştir. Polarizasyon eğrilerine bakıldığında purinlerin eklenmesiyle anodik ve katodik reaksiyonların bastırıldığı gözlenmiştir. Bütün purinler benzer molekül yapılarına sahip olmakla birlikte, farklı elektrokimyasal özellikler göstermektedir. Guanin, adenin ve 2,6 ditiyopürin E_{corr} kaymasında kesin bir eğilim göstermemektedir. Yani anodik ve katodik Tafel eğrileri purinlerin varlığında çok az değişmektedir. 6 tiyoguaninin E_{corr} az bir değişim göstermesine rağmen Tafel eğrilerinde büyük bir değişim göstermektedir. 2,6 ditiyopürin ise hem Tafel eğrilerinde hem de korozyon potansiyel değişiminde önemli farklılıklar göstermektedir. Tüm pürinler için inhibitör derişimi arttıkça inhibitör veriminin arttığı, korozyon akım verimlerinin azaldığı görülmektedir. İnhibisyon etkinliği 2,6 ditiopürinin > 6 tioguanin > 2,6 diaminpurin > adenin > guanin olarak saptanmıştır. Bütün pürinler karma tip inhibitör özelliği göstermişlerdir. Pürinlerin adsorpsiyonu Langmuir izotermine uygun bulunmuştur [40].

3. MATERYAL VE METOT

3.1. Kullanılan Maddeler

- a. Kütlece % 98,05 Al, %1,16 Si, % 0,19 S ve % 0,59 Fe içeren alüminyum
- b. %37'lik HCl
- c. %96'lık H₂SO₄
- d. Saf su
- e. Standart kalomel elektrot (SCE)
- f. Platin elektrot

3.2. Kullanılan Cihaz ve Malzemeler

- a. Potansiyostat Cihazı (Powersuite 2.40)
- b. Bilgisayar
- c. Multimetre
- d. Su Zımparası
- e. Deney (korozyon) Hücresi: Isıtıcı ceketli beher
- f. Sirkülasyonlu Su Banyosu

3.3. Kullanılan İnhibitörler

Amino Asitler

L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Cystine, N-Acetyl-L-cysteine, L-Arginine, D-Alanine, L-Methionine, L-Asparagine Monohydrate, Glycolic acid, D-Valine, D-Phenylalanine, L-Aspartic acid, DL-Aspartic acid , D(-) Mandelic acid, L-Leucine, Oxalic acid dihydrate, L-Histidin.

3.4. Deney Elektrotlarının Hazırlanması

3 elektrotlu sistemde kullanılan elektrotların hazırlanışı aşağıda verilmiştir.

Çalışma elektrodu olarak kütlece % 98,05 Al, %1,16 Si, % 0,19 S ve % 0,59 Fe içeren alüminyum elektrot kullanılmıştır. Çalışma elektrotu hazırlanırken 1 cm çaplı alüminyum silindire bakır tel perçinlenme yoluyla birleştirilmiştir. Daha sonra alüminyum silindir bir yüzü açıkta kalacak şekilde plastik bir kalıba yerleştirilip, içine polyester reçine dökülmüştür. Alüminyum silindirin polyester reçinesiyle kaplanmasıyla diğer yüzeylerin ve bakır telle alüminyum silindirin birleşim kısmının elektrolitle teması kesilmiştir. Bir süre reçinenin donması için beklendikten sonra plastik kalıptan çıkarılan alüminyum elektrotun açıkta kalan yüzü zımpara ile temizlendikten sonra çalışma elektrotu deneye hazır hale getirilmiştir.

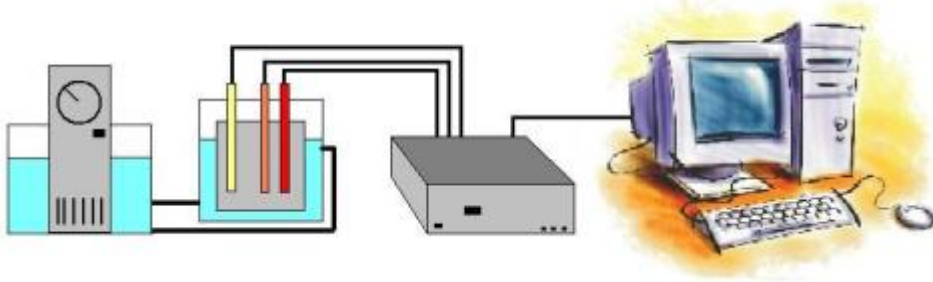
Deneylerde karşıt elektrot olarak kullanılacak platin elektrotunun hazırlanmasında ise, 1 cm² yüzey alanına sahip Pt levhaya Pt tel kaynatılarak dış bağlantı için Cu tele lehimlenmiştir. Daha sonra platin tel üzerinde cam eritilerek, bakır telin çözelti ile teması kesilmiştir. Referans elektrot olarak doygun kalomel elektrot kullanılmıştır.

3.5. Deneylerin Yapılışı

Potansiyostatik yöntemle akım potansiyel eğrilerinin elde edilebilmesi için kullanılan düzenek Şekil 3.1'de gösterilmektedir. Deney hücresi olarak ısıtıcı ceketin içine yerleştirilen beher kullanılmıştır. Beher, damıtık su ile hazırlanan %1'lik HCl ve %1'lik H₂SO₄ çözeltileri ile doldurulmuştur. Hazırlanan çözeltilerin içerisine kullanılan derişimlerde inhibitör eklenmiş ve iyice karıştırılarak homojen bir karışım elde edilmeye çalışılmıştır. Behere çalışma elektrodu olarak hazırlanan alüminyum elektrot, karşıt elektrot görevini yapan platin levha elektrot ve referans elektrot olan kalomel elektrot yerleştirilmiştir. Çalışma elektrodu ile platin elektrot yüzeyleri karşılıklı gelecek şekilde belirli uzaklıkta, kalomel elektrot ise çalışma elektroduna olabildiğince yakın yerleştirilmiştir. Elektrotlar potansiyostata ilgili yerlerinden bağlanarak devre kurulmuştur. Tüm deneylerde elektrotların çözelti içindeki konumu sabit tutulmaya çalışılmıştır. Deneyler 20, 30, 40 ve 50°C sıcaklıkta ve atmosfere açık olarak yapılmıştır. Sıcaklık, ısıtıcı ceketli deney hücresi yardımıyla sabit tutulmuştur.

Çalışmalar sırasında çeşitli inhibitörlerin derişimleri, 500 ppm – 5000 ppm arasında değiştirilmiştir. Hazırlanan alüminyum elektrodun potansiyeli, her bir çözeltide kalomel elektrota karşı multimetre yardımıyla ölçüldükten sonra ± 300 mV aralığında potansiyel – akım eğrileri potansiyostatik yöntemle elde edilmiştir. Elde edilen akım – potansiyel eğrilerinden yararlanılarak, daha önce açıklanan yöntemlerle (Bölüm 2) korozyon hızları ve her bir ortam için inhibitör etkileri belirlenmiştir.

Tüm deneyler sonuçların doğruluğunu kontrol amacı ile en az iki defa tekrarlanmıştır.



Şekil 3.1. Deney düzeneği

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışmada, alüminyumun asidik ortamdaki korozyonunu önlemek amacıyla hazırlanan %1'lik HCl çözeltisinde çeşitli amino asitlerle deneyler gerçekleştirilmiştir. Öncelikle 2000 ppm ve 20°C'da L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Cystine, N-Acetyl-L-cysteine, L-Arginine, D-Alanine, L-Methionine, L-Asparagine Monohydrate, Glycolic acid, D-Valine, D-Phenylalanine, L-Aspartic acid, DL-Aspartic acid , D(-) Mandelic acid, L-Leucine, Oxalic acid dihydrate, L-Histidine ile çalışılmıştır. Çalışılan bu inhibitörlerden inhibitör etkinliği yüksek olan L-Aspartic acid, D-Phenylalanine, DL-Aspartic acid, Glycolic acid, L-Arginine, L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Histidine, D(-) Mandelic acid, N-Acetyl-L-cysteine, Oxalic acid dihydrate ve L-Methionine ile 20, 30, 40 ve 50°C sıcaklıklarda ve 500-5000 ppm aralığındaki farklı derişimlerde deneyler yapılmıştır. Daha sonra en yüksek etkinlik değeri elde edilen, L-Aspartic acid, D-Phenylalanine, Glycolic acid inhibitörleri ile benzer deneyler %1'lik H₂SO₄ çözeltisi için yapılmıştır.

Organik inhibitörlerin etkilerini adsorpsiyonla gerçekleştiği bilinmektedir. Dolayısıyla elde edilen verilerden adsorpsiyon eğrileri çizilmiş ve inhibitörlerin hangi adsorpsiyon izotemine uygun olduğu belirlenmiştir. İnhibitörlerin $\ln i-1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius Eşitliği (Eş. 4.3) yardımıyla aktivasyon enerjileri hesaplanmıştır.

4.1. Alüminyumun %1'lik HCl Çözeltisindeki Korozyon Parametreleri

Hazırlanan %1'lik HCl çözeltisi içerisine daldırılan alüminyum elektrodun korozyon hızını belirlemek üzere potansiyostatik yöntemle katodik polarizasyon eğrileri ve lineer polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Deneyler 20°C, 30 °C, 40°C ve 50°C için tekrarlanmıştır. Katodik polarizasyon ve lineer polarizasyon eğrilerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.1 ve Şekil 4.2'de, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.1'de verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, 20 °C'da korozyon hızının 2 mA iken 50 °C'da 96,2 mA olduğu gözlenmiştir. Bu sonuçlardan da açıkça görüldüğü gibi

sıcaklık arttıkça HCl çözeltisi içerisindeki alüminyumun korozyon hızı da artmaktadır. Ayrıca sıcaklık arttıkça korozyon potansiyeli de daha negatif değerlere doğru kaymaktadır. Herhangi bir reaksiyonun hızının sıcaklıkla değişimi Arrhenius Eşitliği (Eş. 4.1) ile verilmektedir [41].

$$r = k e^{-E_a/RT} \quad (4.1)$$

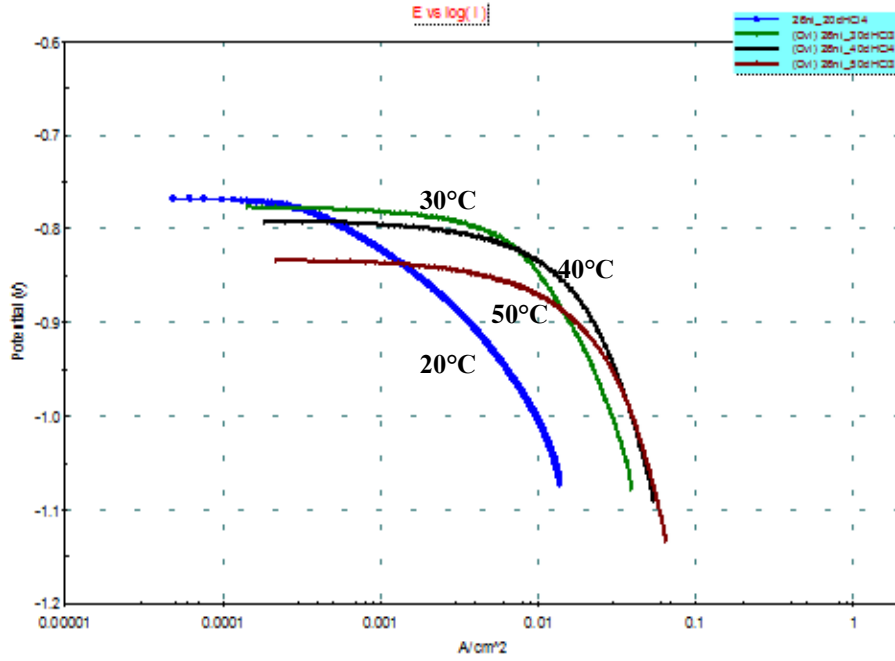
r: Reaksiyon Hızı k: Reaksiyon Hız Sabiti
 E_a : Aktivasyon Enerjisi R: Gaz Sabiti (8,314 J/mol K)
 T: Mutlak Sıcaklık (K)

Bu eşitlik korozyon hızı için düşünüldüğünde “r” ifadesinin yerine korozyon hızını simgeleyen akım yoğunluğu “i” kullanılır.

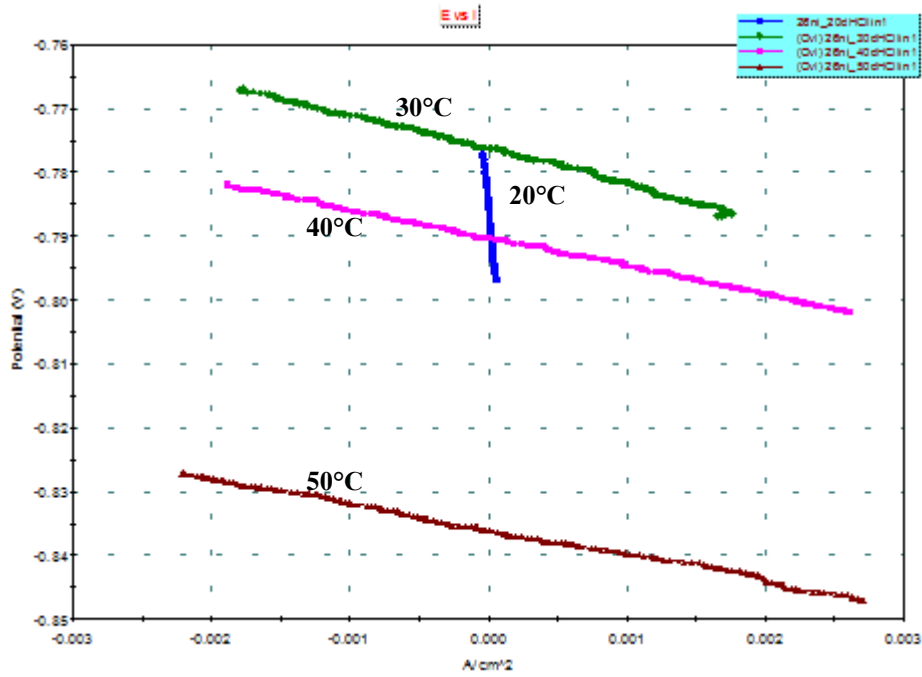
$$i = k e^{-E_a/RT} \quad (4.2)$$

$$\ln i = (E_a/RT) + \ln k \quad (4.3)$$

Çizilen $\ln i - 1/T$ grafiği Şekil 4.3'te verilmiştir. Grafiğin eğiminden alüminyumun korozyonunun aktivasyon enerjisi 43423 J/mol olarak hesaplanmıştır. Çizelgelerde verilen korozyon akımı (i_{cor}) ve inhibitör etkinliği (İE) değerlerinden 1 no'lu olanlar katodik polarizasyon, 2 no'lu olanlar ise lineer polarizasyon deneyleri sonucu elde edilen korozyon hızı ve inhibitör etkinliklerini ifade etmektedir.



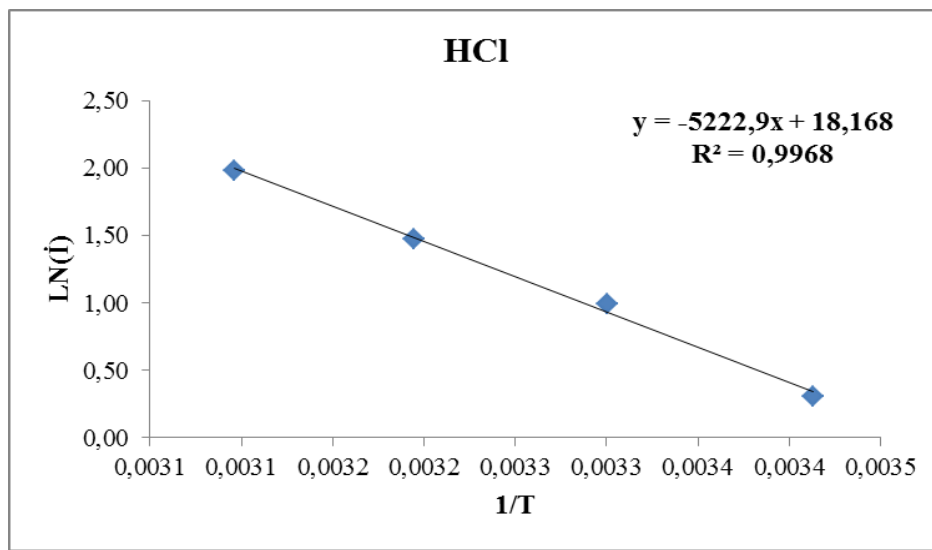
Şekil 4.1. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 HCl çözeltisi içinde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.2. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 HCl çözeltisi içinde elde edilen lineer polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.1. Kütlece %1 HCl ortamında değişik sıcaklıklarda alüminyumun korozyon parametreleri

Sıcaklık (°C)	E _{cor} (mV/SCE)	İ _{cor} 1 (mA)	İ _{cor} 2 (mA)
20	-763,8	2,0	0,84
30	-775,8	9,8	4,03
40	-790,3	29,8	4,98
50	-833,1	96,2	5,36



Şekil 4.3. %1 HCl çözeltisi içinde Ln i – 1/T grafiği

4.2. 2000 ppm İnhibitör İçeren %1 HCl Çözeltisi İçindeki İnhibitör Etkinlikleri

Alüminyumun korozyonunu önlemek için inhibitör olarak çeşitli amino asitler kullanılmıştır. Kullanılan amino asitler için bazı bilgiler Çizelge 4.2’de belirtilmiştir.

Çizelge 4.2. Çalışmada kullanılan inhibitörler için bazı bilgiler

İnhibitör Adı	Moleküler Formülü	Molekül Ağırlığı (g/mol)
L-Cystine	C ₆ H ₁₂ N ₂ O ₄ S ₂	240,30
L-Cysteine hydrochloride monohydrate	C ₃ H ₇ NO ₂ S•HCl•H ₂ O	175,64
L-Arginine	C ₆ H ₁₄ N ₄ O ₂	174,20
N-Acetyl-L-cysteine	C ₅ H ₉ NO ₃ S	163,20
D-Phenylalanine	C ₉ H ₁₁ NO ₂	165,19
L-Histidine	C ₆ H ₉ N ₃ O ₂	155,20
D(-) Mandelic acid	C ₈ H ₈ O ₃	152,14
L-Asparagine Monohydrate	C ₄ H ₈ N ₂ O ₃ ·H ₂ O	150,13
L-Methionine	C ₅ H ₁₁ NO ₂ S	149,21
L-Aspartic acid	C ₄ H ₇ NO ₄	133,11
DL-Aspartic acid	C ₄ H ₇ NO ₄	133,11
L-Leucine	C ₆ H ₁₃ NO ₂	131,17
Oxalic acid dihydrate	C ₂ H ₂ O ₄ · 2H ₂ O	126,07
D-Valine	C ₅ H ₁₁ NO ₂	117,15
D-Alanine	C ₃ H ₇ NO ₂	89,09
Glycolic acid	C ₂ H ₄ O ₃	76,05

Çizelge 4.2’de belirtilen inhibitörler 2000 ppm derişimde 20°C sıcaklıktaki kütlece %1’lik HCl ortamına ilave edilmiştir. Potansiyometrik ölçümler yapılarak korozyon hızları ve inhibitör etkinlikleri bulunmuş, elde edilen sonuçlar Çizelge 4.3’te gösterilmiştir. Çizelgeye göre inhibitör etkinliği % 50’nin üzerinde L-Aspartic acid, D-Phenylalanine, DL-Aspartic acid, Glycolic acid, L-Arginine, L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Histidine, D(-) Mandelic acid, N-Acetyl-L-cysteine, Oxalic acid dihydrate ve L-Methionine inhibitörleri ile deneylerin farklı sıcaklık ve derişimlerde yapılmasına karar verilmiştir.

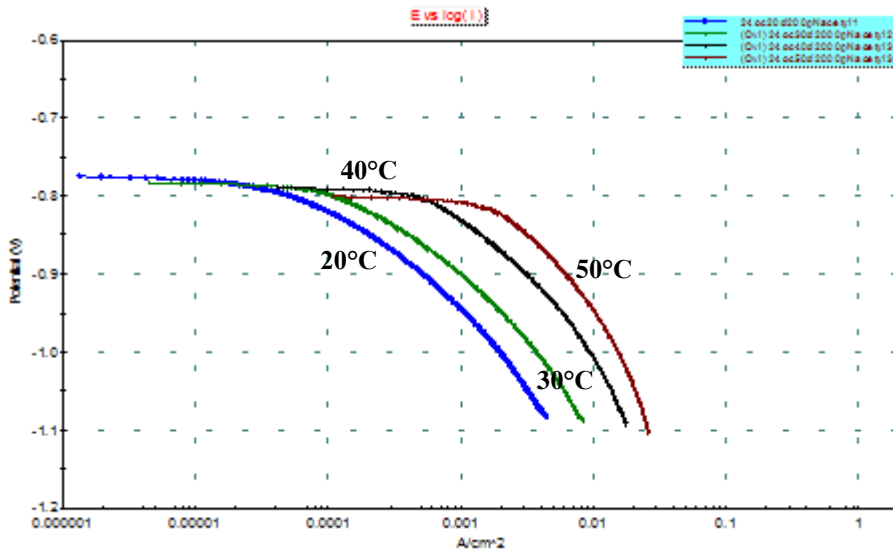
Potansiyometrik ölçümlerin sonucunda katodik ve lineer polarizasyon eğrileri çizilmiştir. Elde edilen verilerin birbirine yakın sonuç vermesinden dolayı, deney sonuçlarının değerlendirilmesi, katodik polarizasyon eğrilerinden elde edilen verilere göre yapılmıştır.

Çizelge 4.3. Kütlece %1 HCl ortamında 20°C sıcaklıkta 2000 ppm sabit amino asit konsantrasyonunda alüminyumun korozyon parametreleri

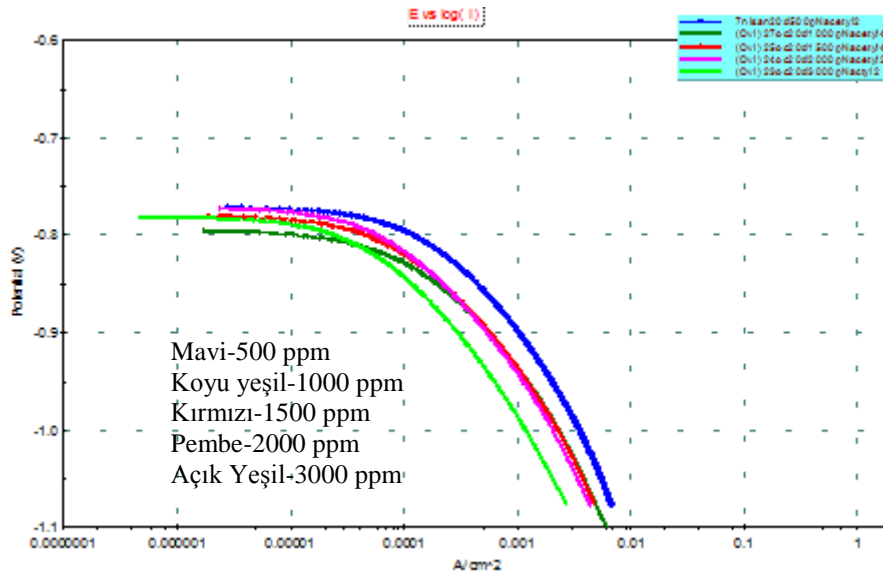
İnhibitör Adı	Ecor (mV)	İcor 1 (mA)	İcor 2 (mA)	İE 1 (%)	İE 2 (%)
N-Acetyl-L-cystein	-771	0,18	0,14	91,3	89,5
DL-Aspartic acid	-754	0,18	0,12	91,1	90,6
D(-) Mandelic acid	-759	0,20	0,13	90,3	89,9
L-Aspartic acid	-804	0,22	0,13	89,2	89,7
Oxalic acid dihydrate	-753	0,24	0,16	88,1	87,3
Glycolic acid	-759	0,29	0,17	85,8	86,9
D-Phenylalanine	-788	0,29	0,19	85,8	85,3
L-Arginine	-782	0,29	0,20	85,6	84,7
L-Cysteine hydrochloride monohydrate	-763	0,35	0,22	83,0	83,0
L-Methionine	-798	0,64	0,44	68,5	66,0
L-Histidine	-800	0,68	0,46	66,6	64,1
L-Asparagine Monohydrate	-797	1,10	0,65	45,7	49,3
D-Alanine	-769	2,07	1,31	-2,1	-1,8
D-Valine	-808	2,08	1,34	-2,6	-4,0
L-Cystine	-758	2,32	1,45	-14,2	-12,4
L-Leucine	-775	2,74	1,07	-35,0	16,9

4.2.1. N-Acetyl-L-cysteine

N-Acetyl-L-cysteine'nin, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.4'te verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500– 000 ppm aralığında değişen derişimlerde N-Acetyl-L-cysteine ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.5'te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.4'te gösterilmiştir.



Şekil 4.4. N-Acetyl-L-cysteine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.5. N-Acetyl-L-cysteine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

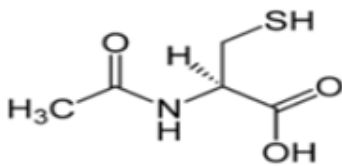
Çizelge 4.4. Kütlece %1 HCl ortamında N-Acetyl-L-cysteine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

N-acetyl-L-cystein (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)
500	-776	0,47	76,6									
1000	-801	0,32	84,2									
1500	-783	0,23	88,6									
2000	-771	0,18	91,3	-781	0,86	91,2	-787	2,66	91,1	-800	8,53	91,1
3000	-787	0,13	93,5									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının ve korozyon potansiyelinin arttığı gözlenmiştir. İnhibitör etkinliği, 2000 ppm derişimde ve 20°C sıcaklıkta %91 olarak elde edilmiştir. Aynı derişimde sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artış meydana gelmiş, inhibitör etkinliklerinde ise değişim gözlenmemiştir. Bu durum da N-Acetyl-L-cysteine'in yüksek sıcaklıklarda da etkili bir inhibitör olduğunu göstermektedir.

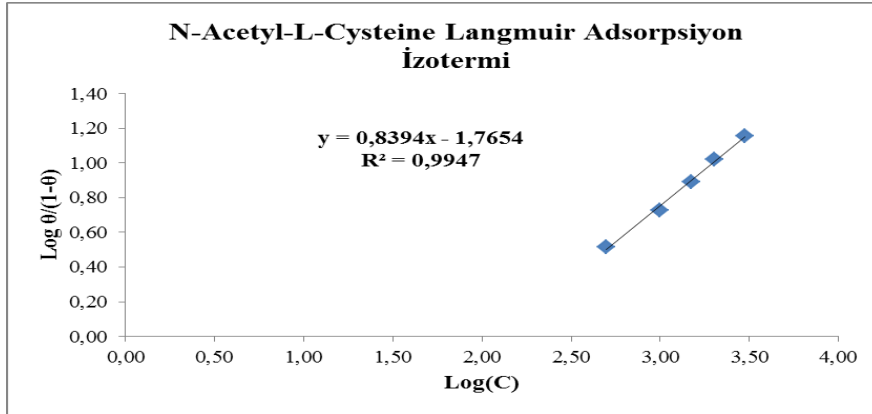
İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 500 ppm inhibitör derişiminde %76 olan etkinlik değeri, 2000 ppm’de %91 olarak bulunmuştur. 2000 ppm derişimden sonra 3000 ppm derişiminde yapılan deney sonucu elde edilen inhibitör etkinliği ise %93 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.4’e bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinde düzenli bir artma ya da azalma görülmemiştir. Bu durum, N-Acetyl-L-cysteine inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

Organik inhibitörlerin yapısında bulunan ve yüzeye adsorplanmayı sağlayan azot, oksijen, kükürt ve fosfor gibi hetero atomların etkinlikleri $O < N < S < P$ olarak sıralanmaktadır [32]. Büyük moleküllerin yüzeyi kaplama yeteneği yüksektir. Böylelikle büyük moleküller yüzeye adsorplanmayı kolaylaştırmaktadır. Molekül yapısındaki $-SH$ grubunun yapısında serbest elektron çifti bulundurması adsorpsiyonda önemli rol oynamaktadır. Şekil 4.6’da molekül yapısı verilen N-Acetyl-L-cysteine, molekül yapısında azot atomlarını bulundurmasının yanında $-SH$ grubu gibi adsorpsiyonda daha etkin rol oynayan ve azot atomlarının yanında adsorpsiyon merkezi olarak görev yapan heteroatomlar bulundurması ve büyük molekül yapısına sahip olması dolayısıyla çalışılan inhibitörler içerisinde etkinliği en fazla olan inhibitör olmuştur.

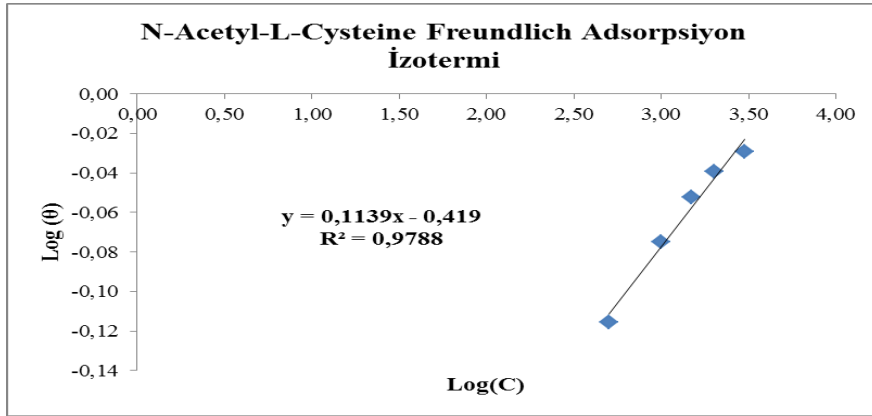


Şekil 4.6. N-Acetyl-L-cysteine’nin moleküler yapısı

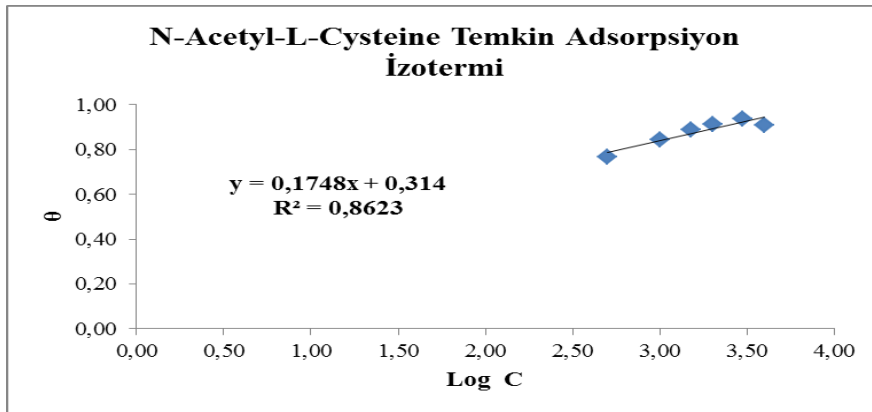
N-Acetyl-L-cysteine’nin adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.7’de verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere N-Acetyl-L-cysteine’nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Langmuir adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.7.a) uygunluk göstermektedir.



(a)

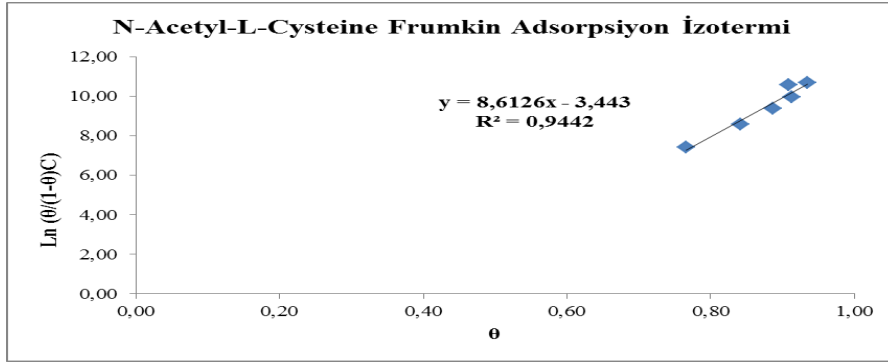


(b)



(c)

Şekil 4.7. a) N-Acetyl-L-cysteine Langmuir adsorpsiyon izotermin
 b) N-Acetyl-L-cysteine Freundlich adsorpsiyon izotermin
 c) N-Acetyl-L-cysteine Temkin adsorpsiyon izotermin
 d) N-Acetyl-L-cysteine Frumkin adsorpsiyon izotermin

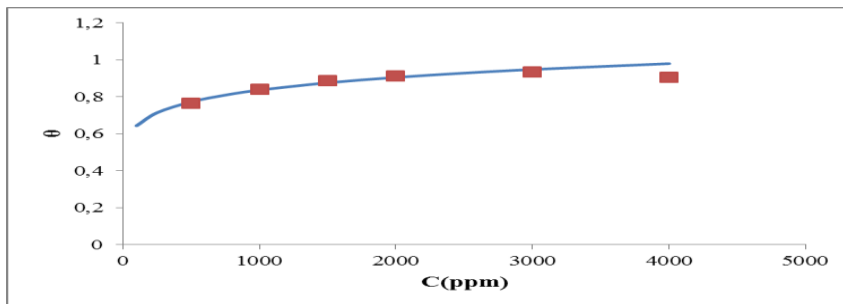


(d)

- Şekil 4.7. (Devam) a) N-Acetyl-L-cysteine Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) N-Acetyl-L-cysteine Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) N-Acetyl-L-cysteine Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) N-Acetyl-L-cysteine Frumkin adsorpsiyon izotermi

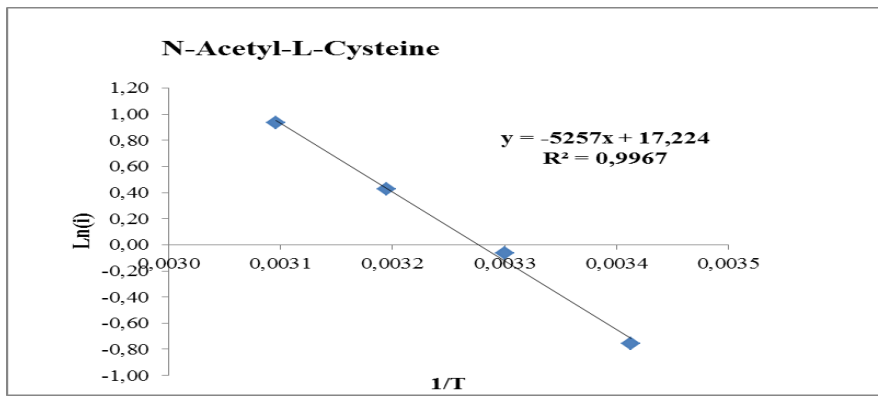
Bu durumda, adsorbe edilen moleküller arasında herhangi bir etkileşimin olmadığı, her adsorbe edilen kompleksin, aynı yapıya sahip olduğu ve adsorpsiyonun homojen bir tabaka halinde gerçekleştiği kabul edilmektedir [23].

Ayrıca N-Acetyl-L-cysteine için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.8'de görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.8. N-Acetyl-L-cysteine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

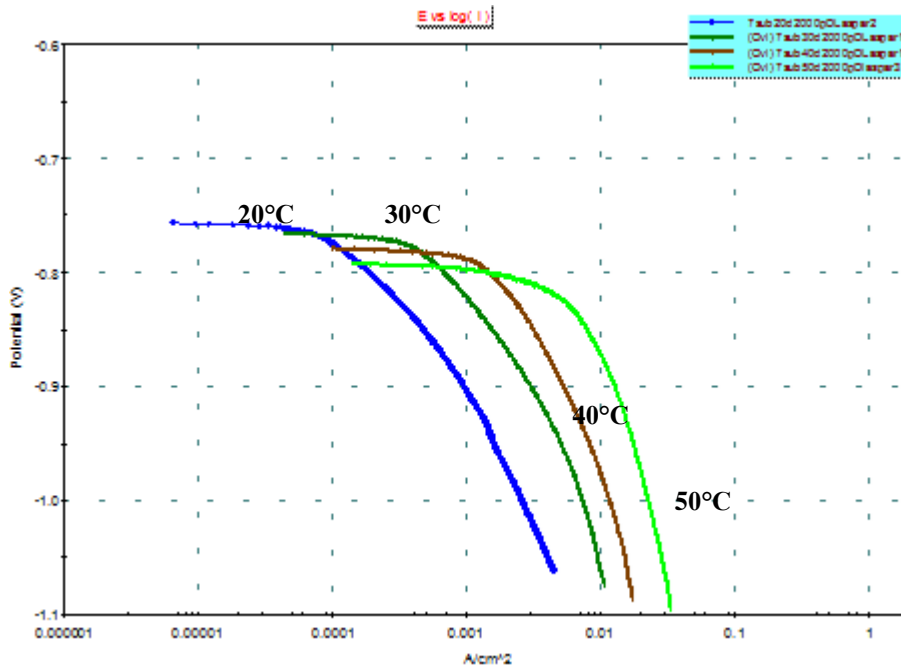
N-Acetyl-L-cysteine'in 2000 ppm'de Şekil 4.9'da verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde N-Acetyl-L-cysteine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 43706 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



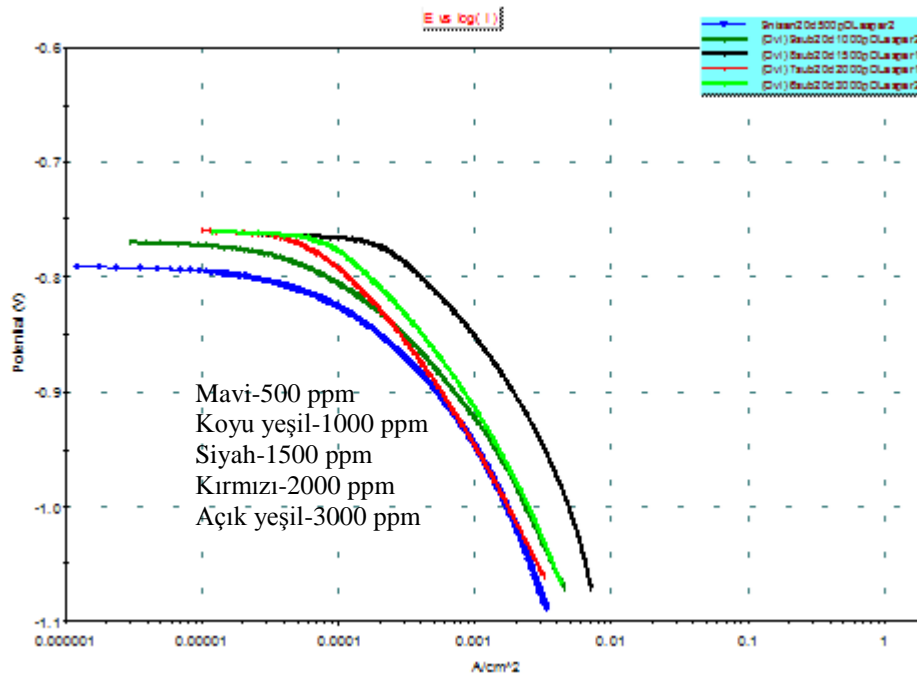
Şekil 4.9. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm N-Acetyl-L-cysteine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.2. DL-Aspartic acid

DL-Aspartic acid'in, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.10'da verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiliye 500–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde DL-Aspartic acid ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.11'de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.5'te gösterilmiştir.



Şekil 4.10. DL-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.11. DL-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

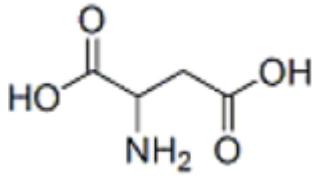
Çizelge 4.5. Kütlece %1 HCl ortamında DL-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

DL-Aspartic acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İV (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İV (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İV (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İV (%)
500	-795	0,32	84,0									
1000	-766	0,29	85,7									
1500	-754	0,29	85,7									
2000	-754	0,18	91,1	-761	1,78	81,7	-775	4,83	83,8	-792	11,06	88,5
3000	-753	0,15	92,7									

2000 ppm derişimde sıcaklığın artmasıyla korozyon akımının ve korozyon potansiyelinin arttığı, Çizelge 4.5'ten görülmektedir. İnhibitör etkinliği, 2000 ppm inhibitör derişiminde ve 20°C sıcaklıkta %91 olarak elde edilmiştir. İnhibitör etkinliği 30°C sıcaklıkta azalmış, 40°C ve 50°C'larda tekrar artmıştır.

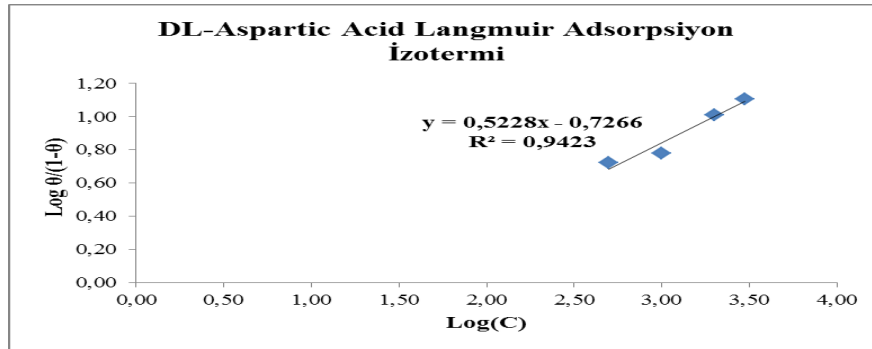
İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; derişimin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı görülmüştür. 20°C sıcaklık ve 2000 ppm inhibitör derişiminde elde edilen etkinlik değeri %91'dir. En yüksek etkinlik değeri ise 3000 ppm derişimde %92,7 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.5'e bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklıkta inhibitör derişiminin artırılmasıyla korozyon potansiyelinin daha pozitif değerlere kaydığı görülmektedir. Bu durum, DL-Aspartic acid inhibitörünün bu koşullarda anodik inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

Organik inhibitörün yapısında azot, oksijen, kükürt gibi heteroatomların bulunması adsorpsiyonda etkili olmaktadır. Ayrıca inhibitörlerin yüksek moleköl ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Şekil 4.12'de moleköl yapısı verilen DL-Aspartic acid, yapısında adsorplanmayı kolaylaştıran azot ve oksijen atomları bulundurmasından ve yüksek moleköl ağırlığına sahip olmasından dolayı etkili bir inhibitördür.

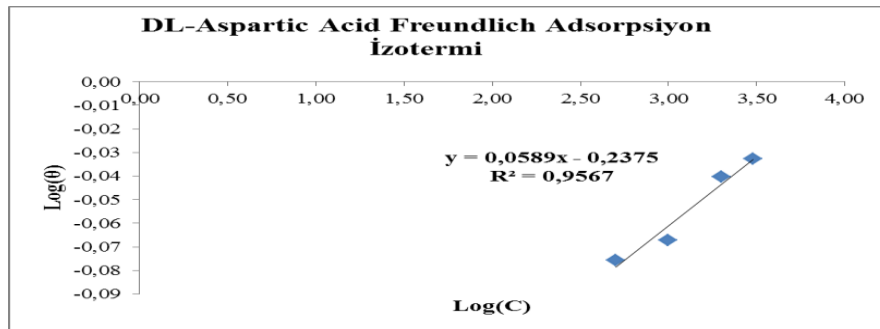


Şekil 4.12. DL-Aspartic acid 'in moleküler yapısı

DL-Aspartic acid'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.13'te verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere DL-Aspartic acid 'in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.13.d) uygunluk göstermektedir.

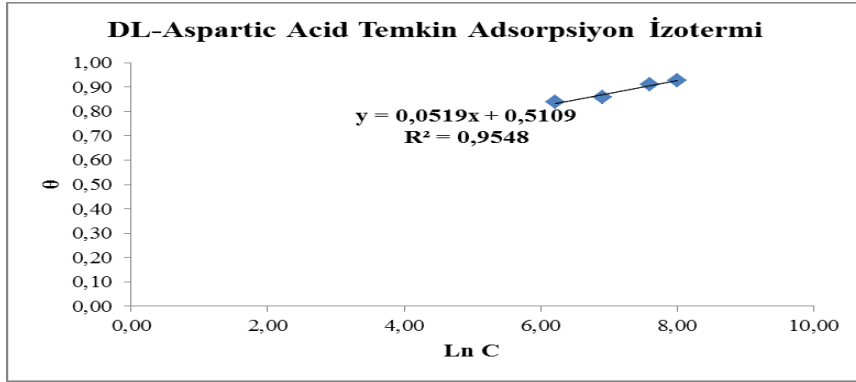


(a)

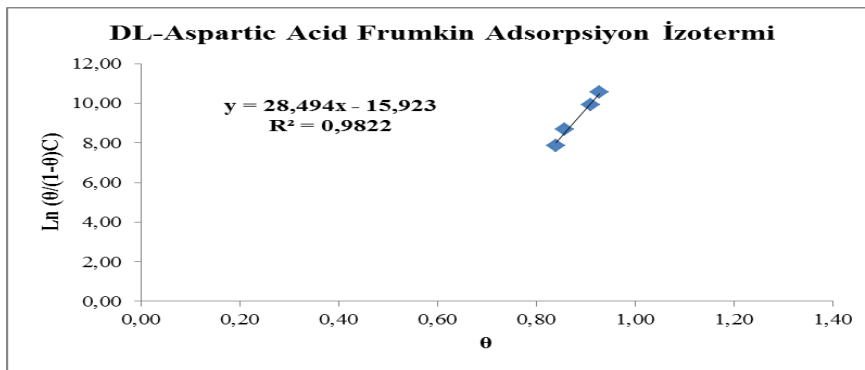


(b)

Şekil 4.13. a) DL-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) DL-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) DL-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) DL-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(c)



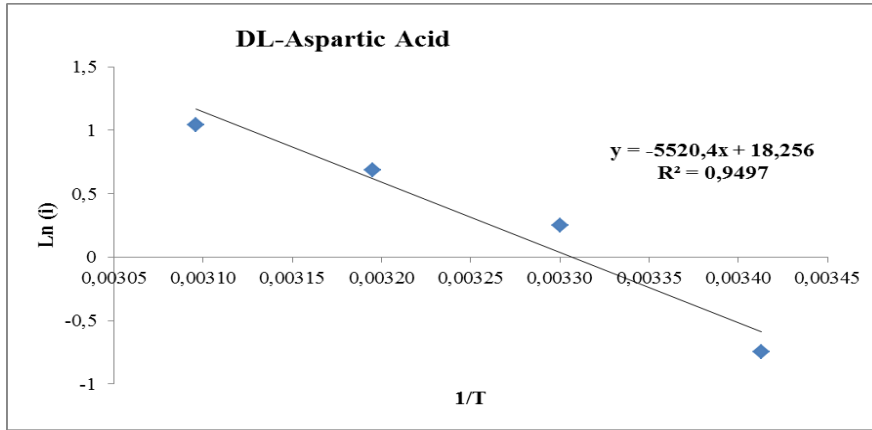
(d)

Şekil 4.13. (Devam) a) DL-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) DL-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) DL-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) DL-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27]. Şekil 4.13.d'den görüleceği gibi α pozitif değerli çıkmıştır. Bu durumda moleküllerin birbirlerini çekme kuvvetiyle etkiledikleri görülmektedir.

DL-Aspartic acid'in 2000 ppm'de Şekil 4.14'te verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde DL-Aspartic acid çözeltisi için aktivasyon enerjisi 45896 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl

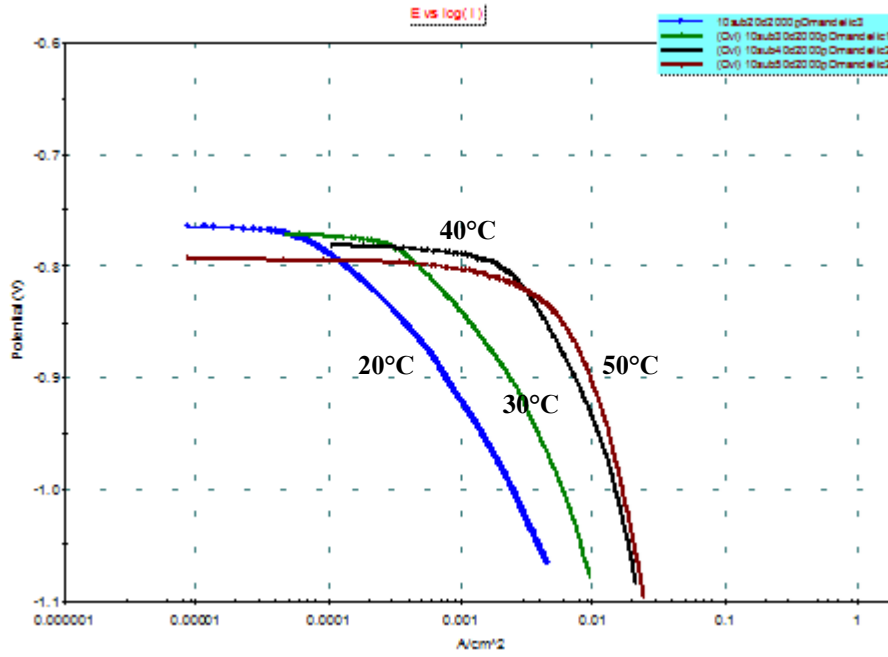
çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



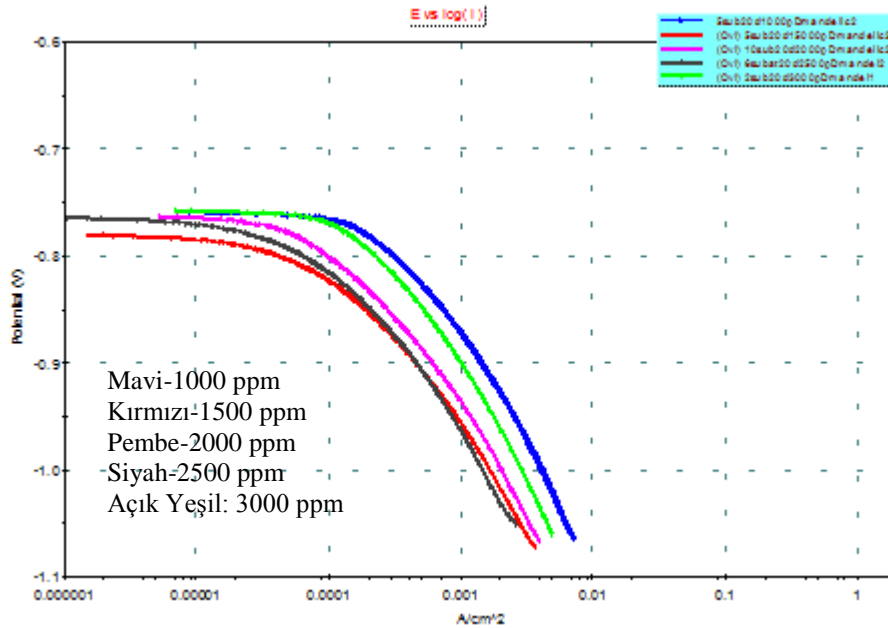
Şekil 4.14. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm DL-AsparticAcid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.3. D(-) Mandelic acid

D(-) Mandelic acid'in, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.15'te verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiliye 1000–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde D(-) Mandelic acid ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.16'da verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.6'da gösterilmiştir.



Şekil 4.15. D(-) Mandelic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.16. D(-) Mandelic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.6. Kütlece %1 HCl ortamında D(-) Mandelic acid derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

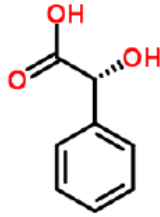
D(-) Mandeli c Acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)
1000	-757	0,31	84,5									
1500	-784	0,27	86,8									
2000	-759	0,20	90,3	-767	1,42	85,4	-782	4,28	85,6	-795	9,95	89,6
2500	-763	0,17	91,4									
3000	-755	0,18	91,1									

2000 ppm derişimde sıcaklık arttıkça korozyon akımının ve korozyon potansiyelinin arttığı gözlenmiştir. 2000 ppm inhibitör derişiminde inhibitör etkinliği %90 olarak hesaplanmıştır. İnhibitör etkinliğinin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde, 40°C'a kadar sıcaklığın artırılmasıyla etkinliğin %85'e düştüğü, 50°C sıcaklıkta ise biraz yükselerek %89 olduğu görülmüştür.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; 2500 ppm'e kadar inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı, 2500 ppm'den sonra ise değişmediği gözlenmiştir. 1000 ppm 'de %84 olan inhibitör etkinliği 2000 ppm'de %90, 2500 ve 3000 ppm'lerde ise %91 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.6'da çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyelleri incelendiğinde, derişim arttıkça korozyon potansiyelinde düzenli bir değişim gözlenmemiştir. Bu durum, D(-) Mandelic acid inhibitörünün karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

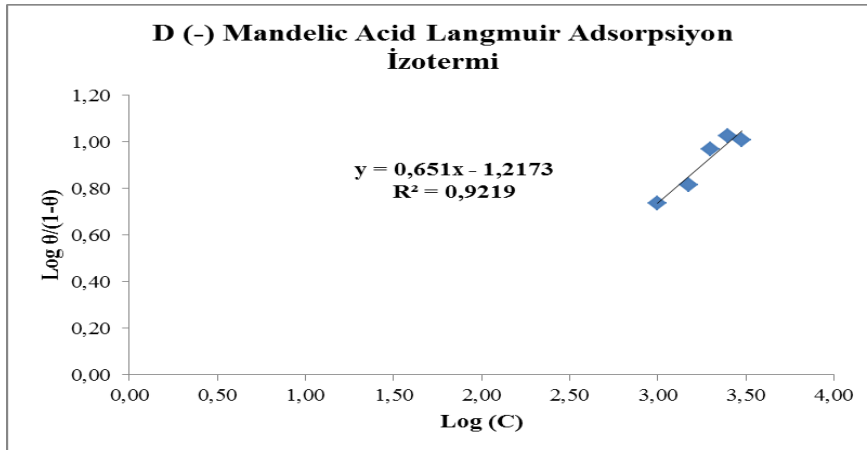
İnhibitör yapısında aromatik halkaların, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomların, uzun zincirli alifatik grupların bulunması inhibisyon etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Aromatik halkadaki elektronlar ve heteroatomlardaki elektron çiftleri alüminyumla çözünmeyen kompleksler oluşturarak yüzeyi saldırgan iyonlardan korurlar. [27]. Ayrıca inhibitörlerin yüksek moleköl ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Şekil 4.17'de moleköl yapısı verilen D(-) Mandelic acid'in yapısında aromatik benzen halkaları ve oksijen gibi

heteroatom bulundurması yüzeye adsorplanmayı artırmış ve verimin artmasına sebep olmuştur. Ayrıca D(-) Mandelic acid'in büyük molekül yapısına sahiptir ve bu durum adsorpsiyonda etkili olmuştur.



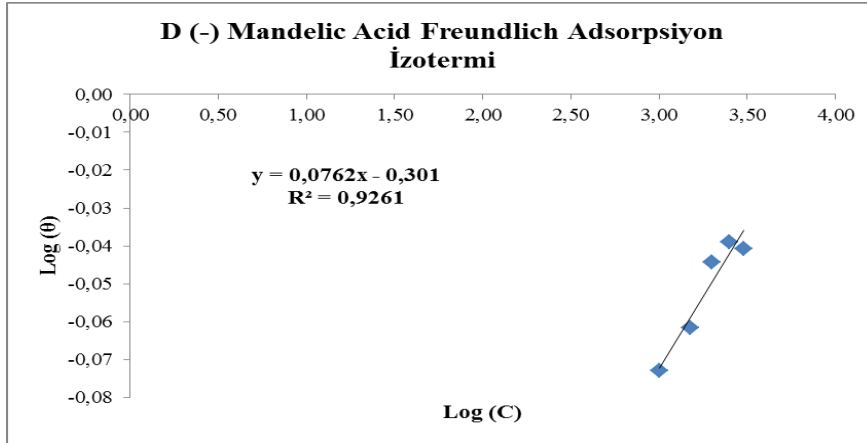
Şekil 4.17. D(-) Mandelic acid'in moleküler yapısı

D(-) Mandelic acid'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.18'de verilen izotermlerden ve R değerlerinden görüleceği üzere D(-) Mandelic acid'nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.18.d) uygunluk göstermektedir.

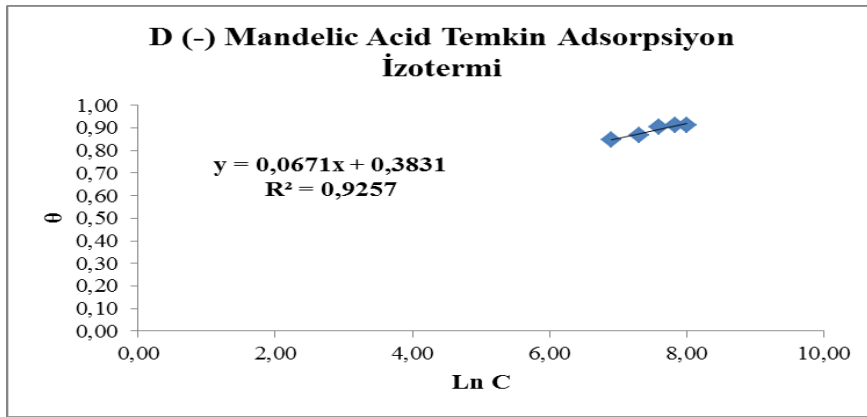


(a)

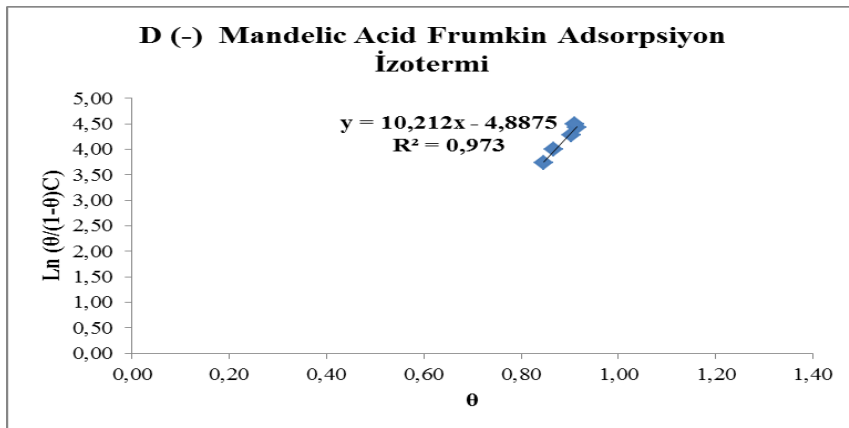
- Şekil 4.18. a) D(-) Mandelic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) D(-) Mandelic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) D(-) Mandelic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) D(-) Mandelic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)

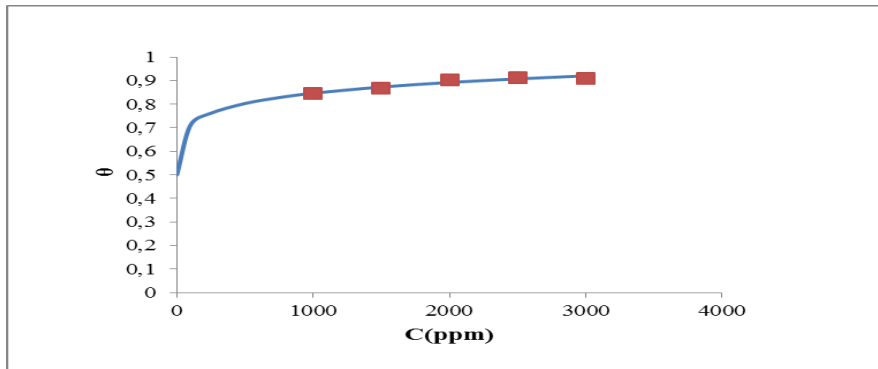


(d)

Şekil 4.18. (Devam) a) D(-) Mandelic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) D(-) Mandelic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) D(-) Mandelic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
d) D(-) Mandelic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

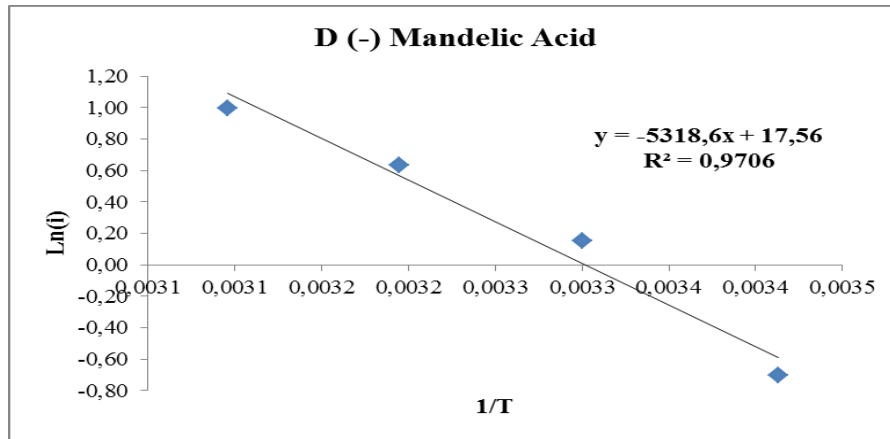
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca D(-) Mandelic acid için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.19'da görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.19. D(-) Mandelic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

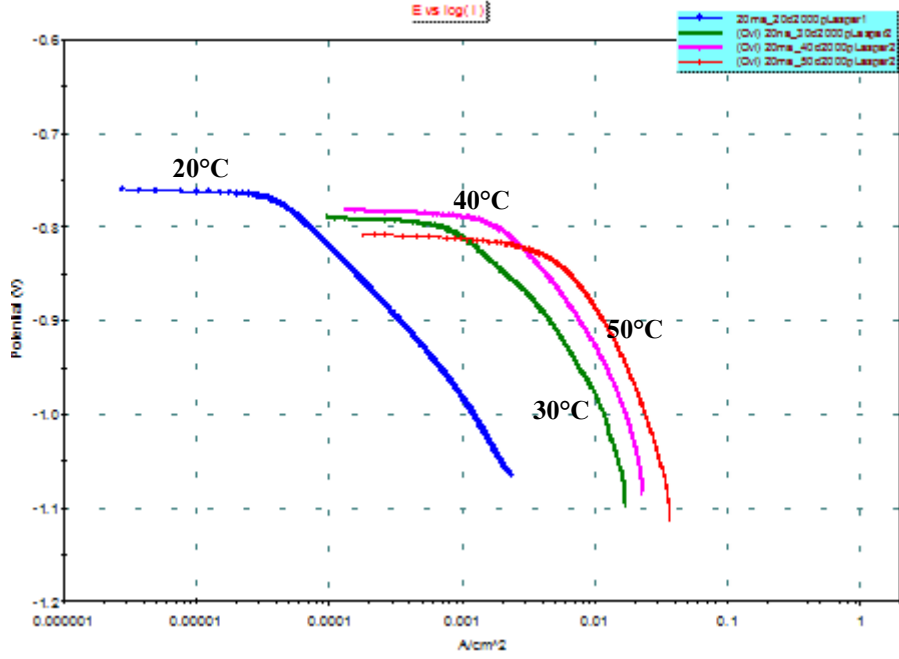
D(-) Mandelic acid'in 2000 ppm'de Şekil 4.20'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde D(-) Mandelic acid çözeltisi için aktivasyon enerjisi 44218 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



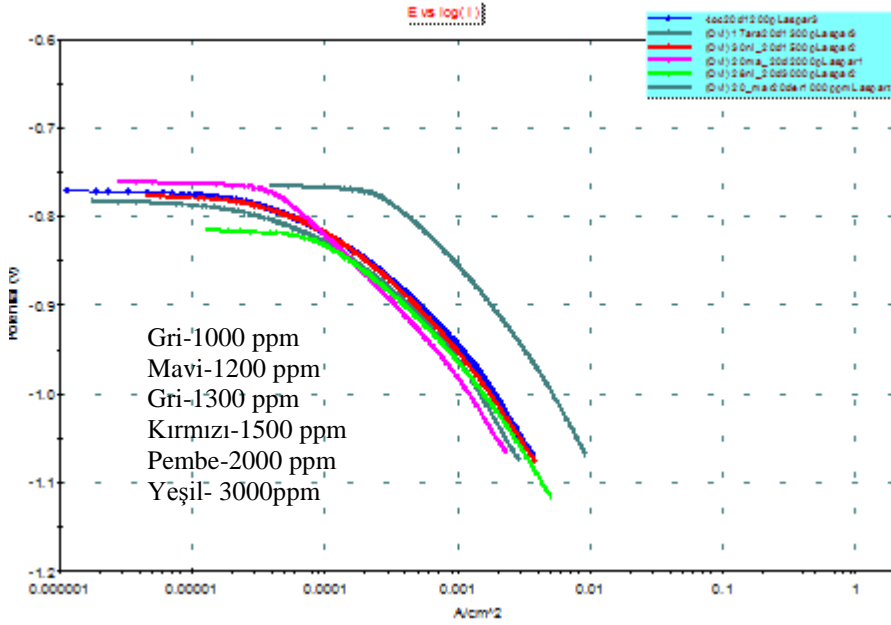
Şekil 4.20. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm D(-) Mandelic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.4. L-Aspartic acid

L-Aspartic acid'in, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.21'de verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 1000–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Aspartic acid ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.22'de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.7'de gösterilmiştir.



Şekil 4.21. L-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.22. L-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.7. Kütlece %1 HCl ortamında L-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

L-Aspartic acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)
1000	-759	0,53	73,9									
1200	-780	0,33	83,6									
1300	-775	0,26	87,0									
1500	-775	0,23	88,6									
2000	-760	0,22	89,2	-786	4,15	57,5	-775	6,42	78,5	-809	14,67	84,7
3000	-811	0,17	91,4									

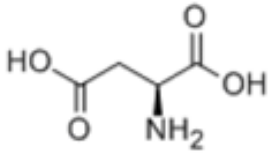
Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise daha negatif değerlere kaydığı gözlenmiştir. İnhibitör etkinliği, 20°C sıcaklıkta %89 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artışlar meydana gelmiş, fakat inhibitör etkinliklerinin 30°C'da % 57'ye düştüğü daha sonra artarak 40°C'de %78 ve 50°C'de ise %85 olduğu görülmüştür. Bu da L-Aspartic acidin yüksek sıcaklıklarda da etkin bir inhibitör olduğunu göstermektedir.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; 20°C sıcaklık, 2000 ppm inhibitör derişiminde %89 olan inhibitör etkinliği, 3000 ppm derişimde %91,4 olarak elde edilmiştir. İnhibitör etkinliğinin artan inhibitör derişimiyle arttığı gözlenmiştir. İnhibitör etkinliği, 2000 ve 3000 ppm'de sırasıyla %89 ve %91 olarak bulunmuştur.

Çizelge 4.7'ye bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin daha negatif değerlere yani katodik yöne doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum, L-Aspartic acid inhibitörünün bu koşullarda katodik inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

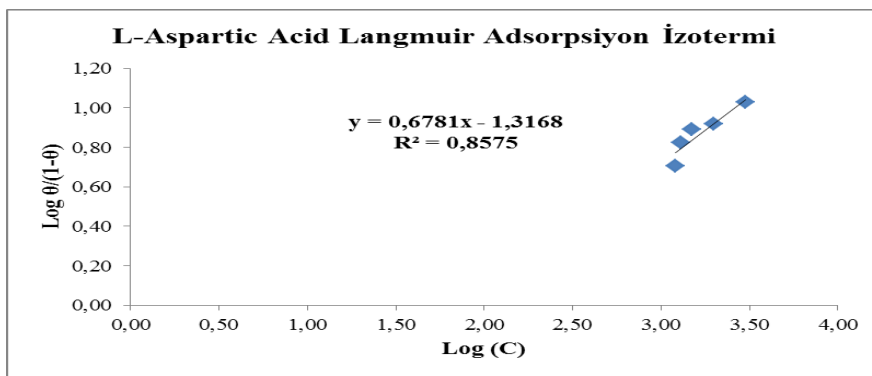
Organik inhibitörlerin yapısında bulunan ve yüzeye adsorplanmayı sağlayan azot, oksijen, kükürt ve fosfor gibi hetero atomların etkinlikleri O<N<S<P olarak sıralanmaktadır [5]. Ayrıca inhibitörlerin yüksek moleköl ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Şekil 4.23'te moleköl yapısı

verilen L-Aspartic acid, yapısında adsorplanmayı kolaylaştıran azot ve oksijen atomları bulundurmasından ve yüksek molekül ağırlığına sahip olmasından dolayı etkili bir inhibitördür. İnhibitör etkinliği moleküldeki adsorpsiyon sitelerinin sayısına, bu sitelerin yük yoğunluğuna ve moleküler büyüklüğüne bağlıdır [39]. Azot atomlarının varlığı moleküldeki adsorpsiyon site sayısının fazla olması ve daha büyük molekül yapısı L-Aspartic acid'in etkinliğinin yüksek çıkmasına sebep olmuştur.



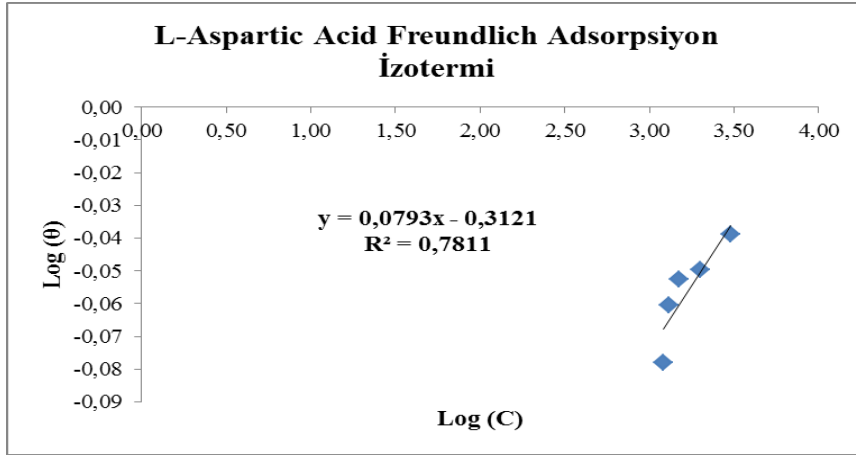
Şekil 4.23. L-Aspartic acid'in yapısı

L-Aspartic acid'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.24'te verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Aspartic acid'in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.24.d) uygunluk göstermektedir.

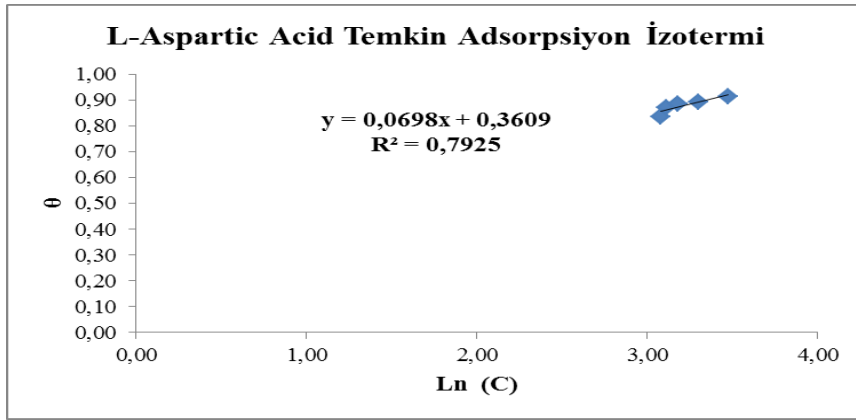


(a)

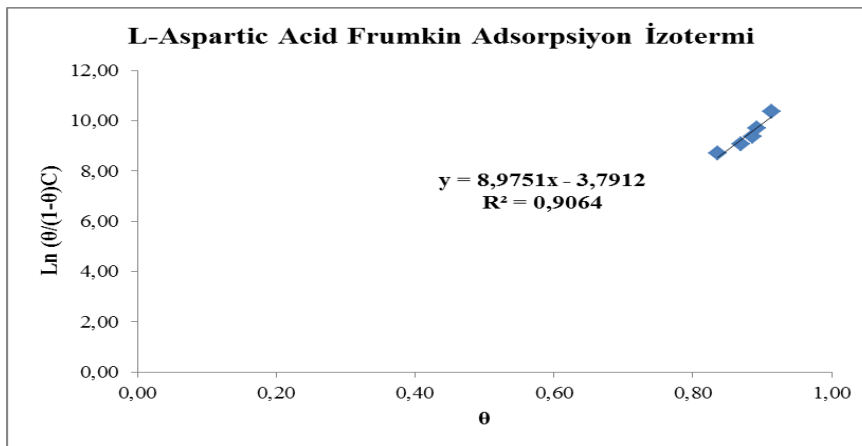
- Şekil 4.24. a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)

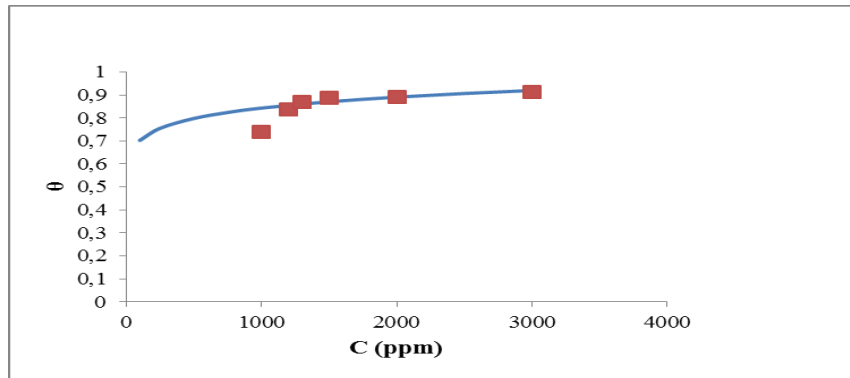


(d)

Şekil 4.24. (Devam) a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

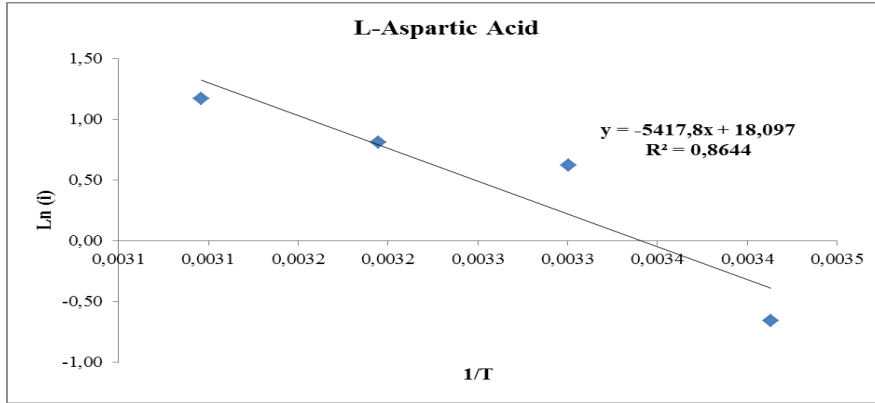
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca L-Aspartic acid için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.25'te görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izoterminin deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.25. L-Aspartic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

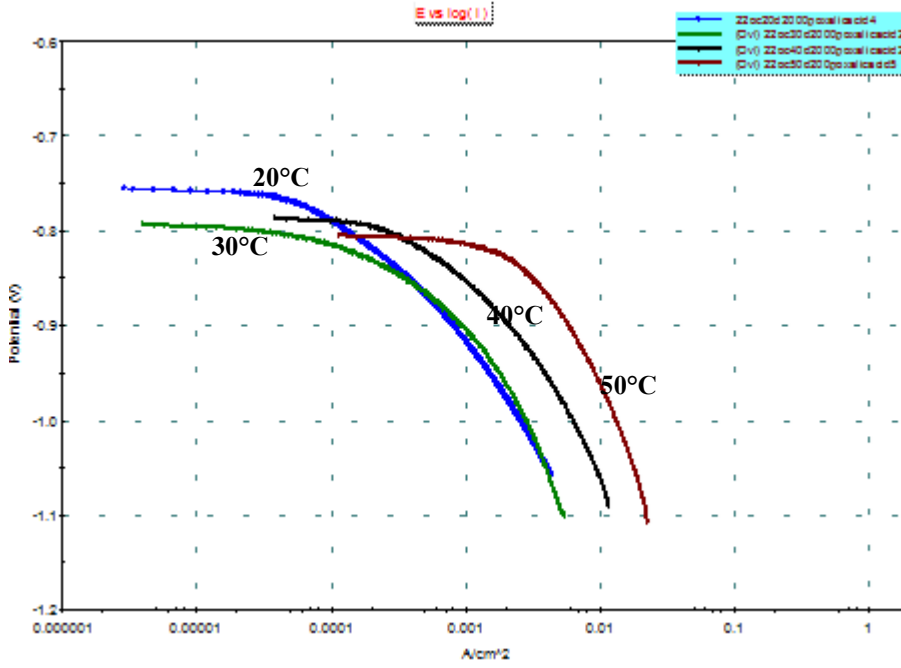
L-Aspartic acid'in 2000 ppm'de Şekil 4.26'da verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde L-Aspartic acid çözeltisi için aktivasyon enerjisi 45043 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



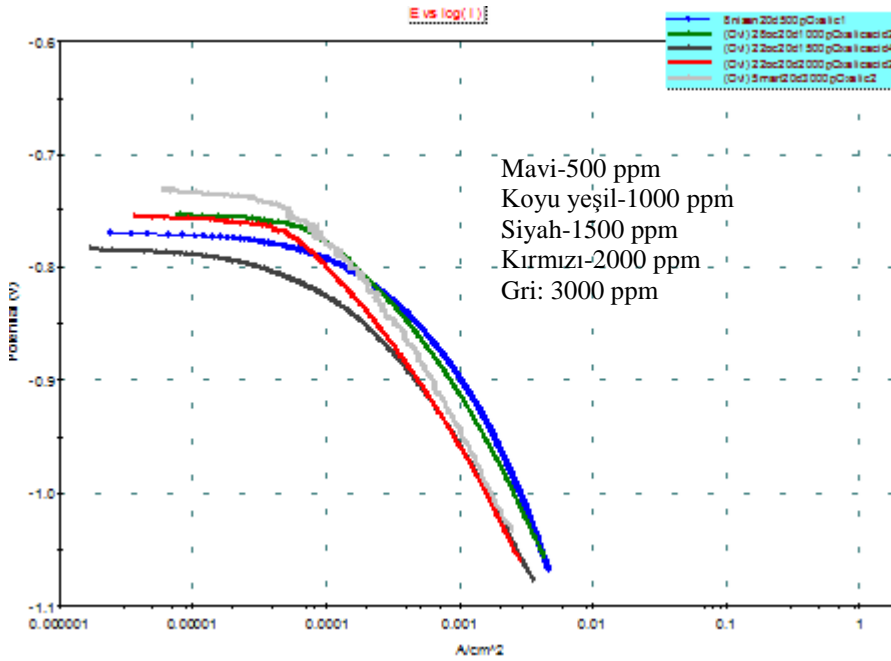
Şekil 4.26. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Aspartic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.5. Oxalic acid dihydrate

Oxalic acid dihydrate'nin, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.27'de verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde Oxalic acid dihydrate'in ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.28'de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.8'de gösterilmiştir.



Şekil 4.27. Oxalic acid dihydrate için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.28. Oxalic acid dihydrate için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

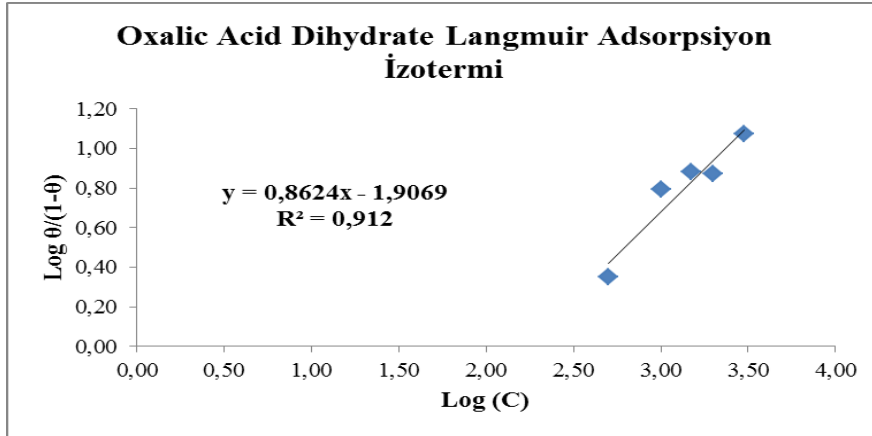
Çizelge 4.8. Kütlece %1 HCl ortamında Oxalic acid dihydrate derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

Oxalic acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)
500	-781	0,63	69,1									
1000	-750	0,28	86,1									
1500	-788	0,24	88,3									
2000	-753	0,24	88,1	-798	0,92	90,5	-783	2,90	90,3	-803	9,60	90,0

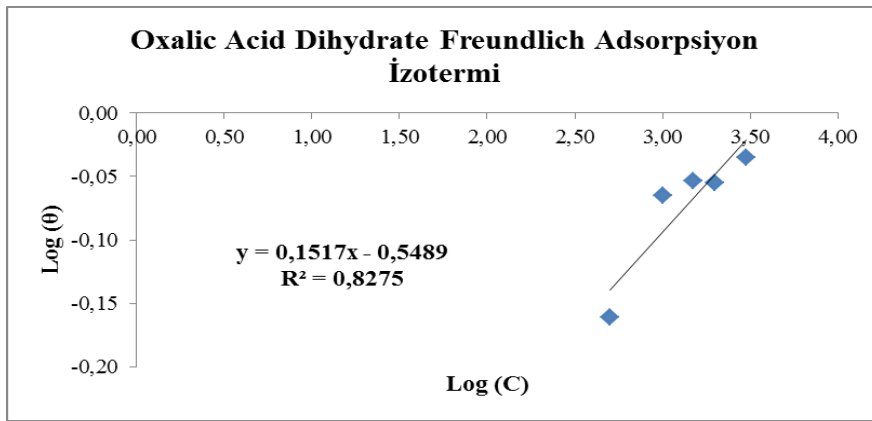
Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise daha negatif değerlere kaydığı gözlenmiştir. 2000 ppm inhibitör derişiminde inhibitör etkinliğinin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı görülmüştür.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 1000 ppm inhibitör derişiminde %69 olan etkinlik değeri, 2000 ppm'de %88 olarak bulunmuştur. 2000 ppm'den sonra yapılan deneyler sonucunda inhibitör etkinliğinin daha fazla değişmediği görülmüştür. Çizelge 4.8'deki çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyelleri incelendiğinde derişim arttıkça korozyon potansiyelinin düzenli bir artma ya da azalma göstermediği görülmektedir. Bu durum, Oxalic acid dihydrate inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

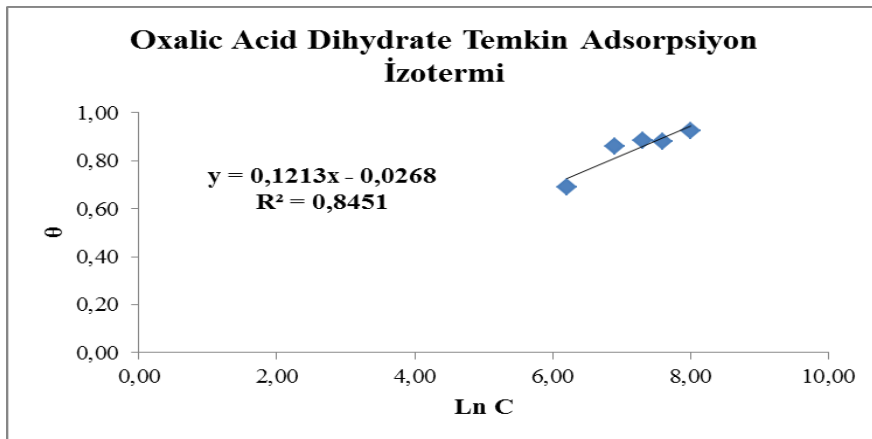
Oxalic acid dihydrate'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.29'da verilen izotermlerden ve R değerlerinden görüleceği üzere Oxalic acid dihydrate'in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.29.d) uygunluk göstermektedir.



(a)

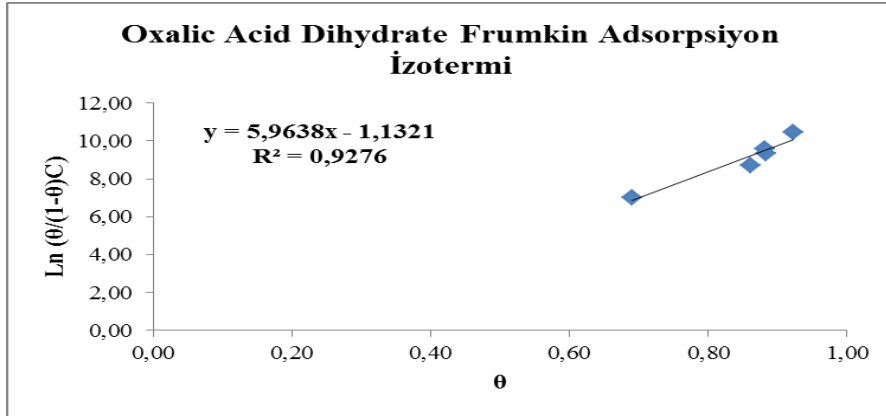


(b)



(c)

Şekil 4.29. a) Oxalic acid dihydrate Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) Oxalic acid dihydrate Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) Oxalic acid dihydrate Temkin adsorpsiyon izotermi
d) Oxalic acid dihydrate Frumkin adsorpsiyon izotermi

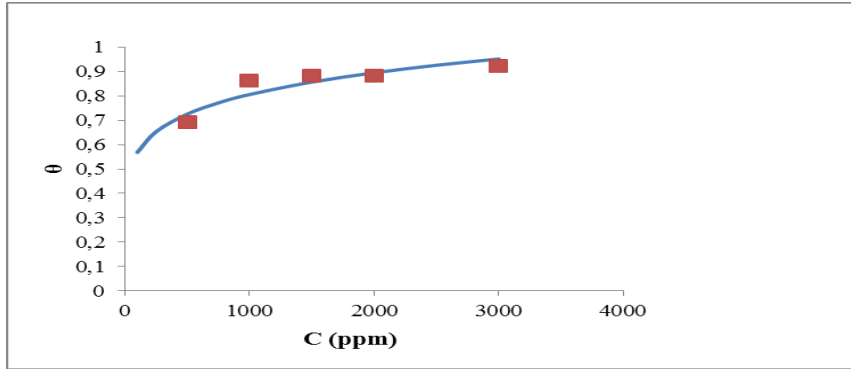


(d)

- Şekil 4.29. (Devam) a) Oxalic acid dihydrate Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) Oxalic acid dihydrate Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) Oxalic acid dihydrate Temkin adsorpsiyon izotermi
d) Oxalic acid dihydrate Frumkin adsorpsiyon izotermi

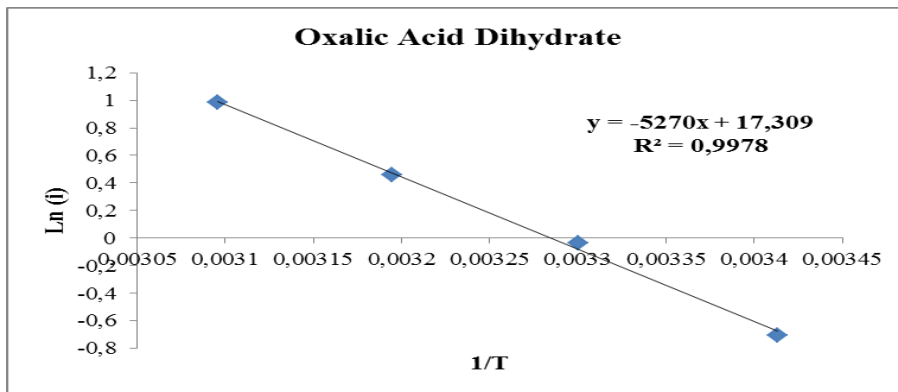
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca Oxalic acid dihydrate için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.30'da görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.30. Oxalic acid dihydrate için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

Oxalic acid dihydrate'nin 2000 ppm'de Şekil 4.31'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde Oxalic acid dihydrate çözeltisi için aktivasyon enerjisi 43814 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.

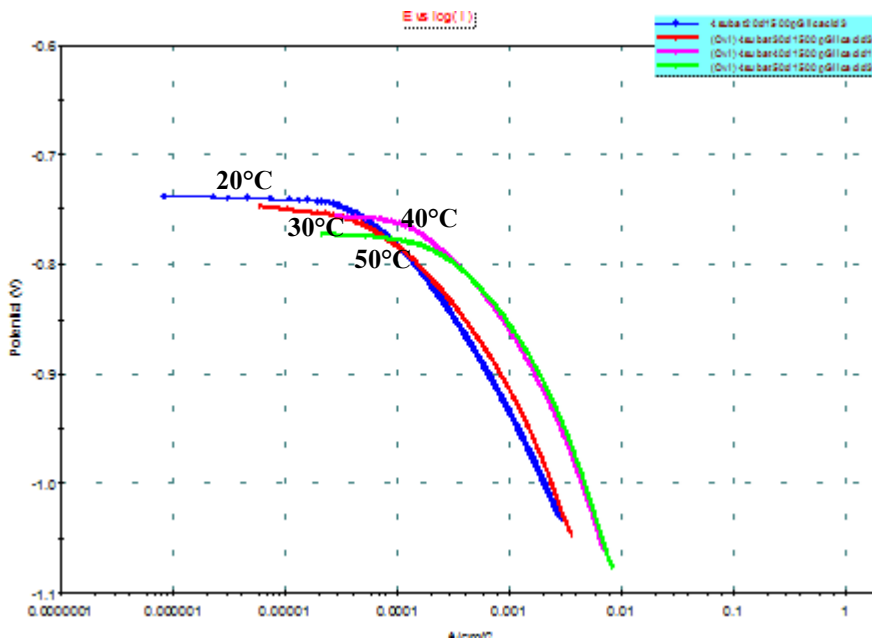


Şekil 4.31. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm Oxalic Acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

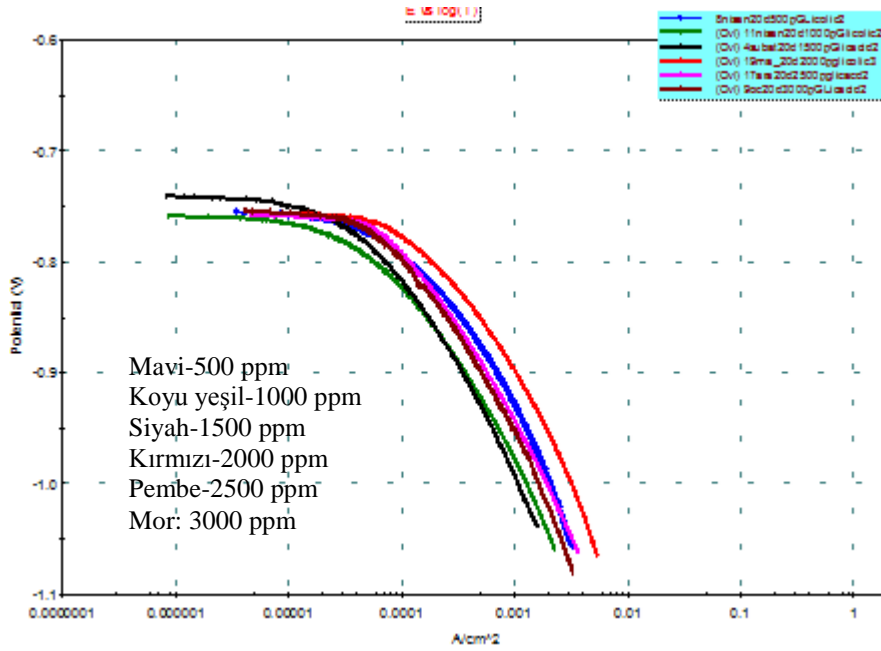
4.2.6. Glycolic acid

Glycolic acid'in, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için;

20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 1500 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.32’de verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde Glycolic acid ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.33’te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.9’da gösterilmiştir.



Şekil 4.32. Glycolic acid için 1500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.33. Glycolic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

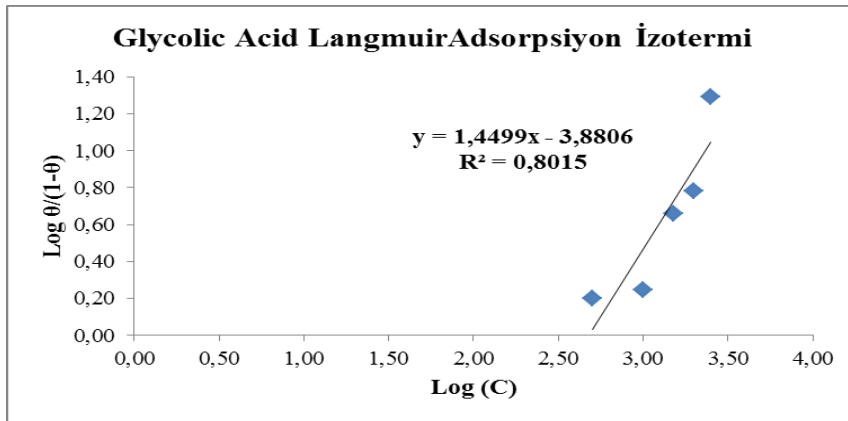
Çizelge 4.9. Kütlece %1 HCl ortamında Glycolic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

Glycolic acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)	Ecorr (mV)	İcorr (mA)	İE (%)
500	-756	0,79	61,2									
1000	-759	0,74	63,7									
1500	-739	0,37	82,0	-745	1,93	80,2	-751	6,65	77,7	-767	19,04	80,2
2000	-759	0,29	85,8									
2500	-756	0,10	95,2									
3000	-743	0,12	93,9									

Sıcaklığın artmasıyla korozyon akımının ve korozyon potansiyelinin arttığı, Çizelge 4.9'dan görülmektedir. İnhibitör etkinliği, 1500 ppm inhibitör derişiminde ve 20°C sıcaklıkta %82 olarak elde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin 40°C'a kadar düştüğü 50°C'da ise biraz artış gösterdiği gözlenmiştir.

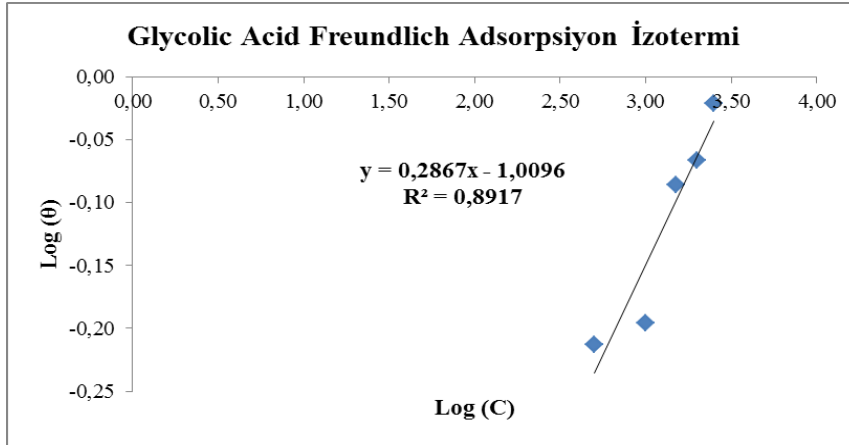
İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 500 ppm inhibitör derişiminde %61 olan inhibitör etkinliği, 2000 ppm’de %86, 2500 ppm’de %95 olarak bulunmuştur. 3000 ppm’de ise etkinlik değerinde düşüş gözlenmiş ve %94 olarak elde edilmiştir. Çizelge 4.9’a bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin düzenli bir değişim göstermediği görülmüştür. Bu durum, Glycolic acid inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

Glycolic acid’in adsorpsiyonunun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.34’te verilen izotermlerden ve R değerlerinden görüleceği üzere Glycolic acid’in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.34.d) uygunluk göstermektedir.

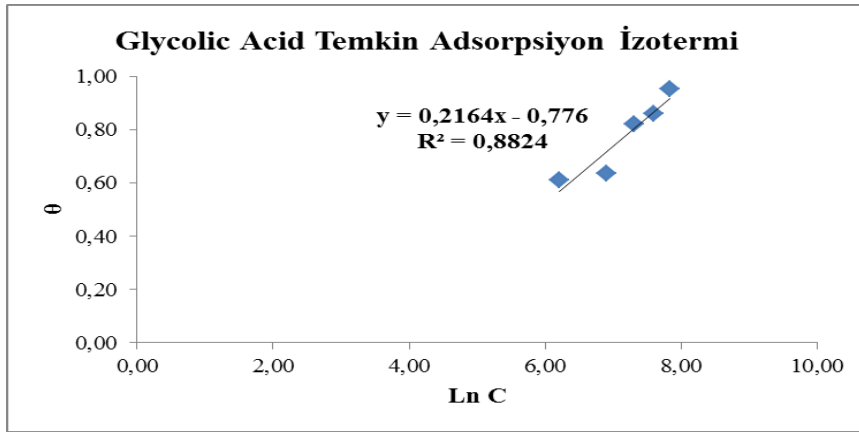


(a)

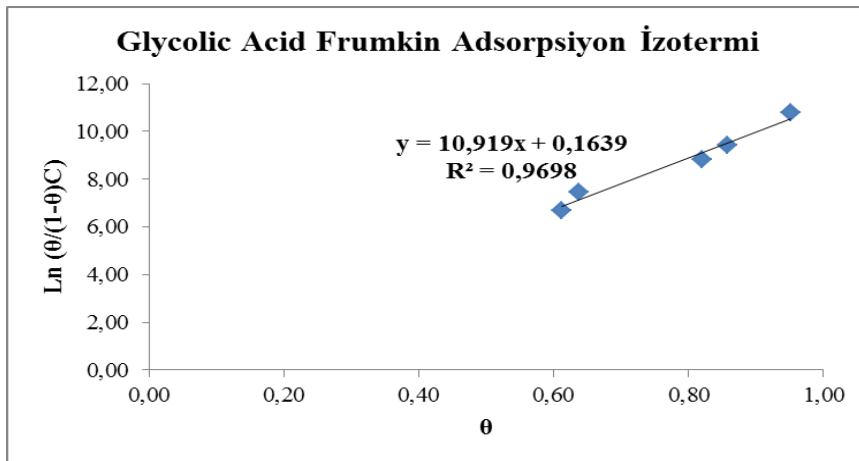
- Şekil 4.34. a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)

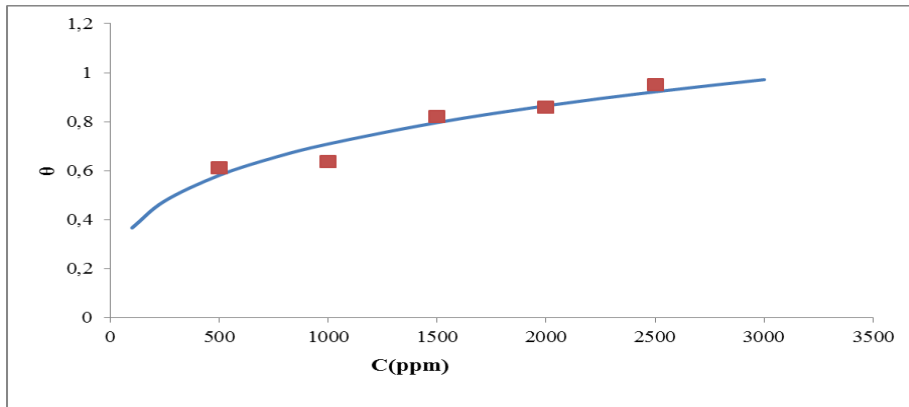


(d)

Şekil 4.34. (Devam) a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

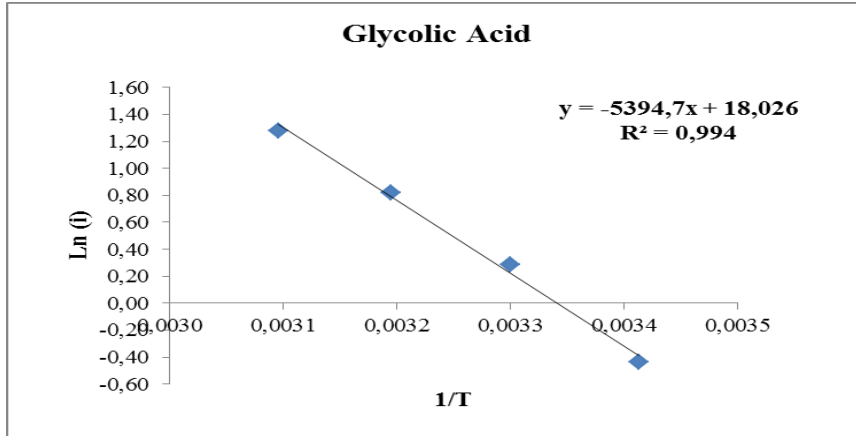
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca Glycolic acid için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.35'te görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izoterminin deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.35. Glycolic acid için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

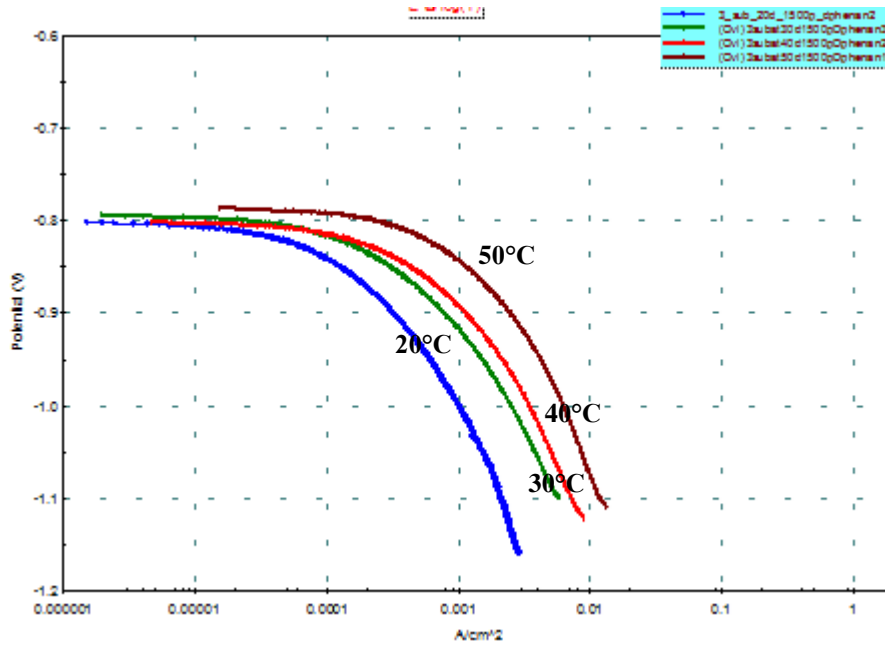
Glycolic acid'in 1500 ppm'de Şekil 4.36'da verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 1500 ppm derişimde Glycolic acid çözeltisi için aktivasyon enerjisi 44854 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



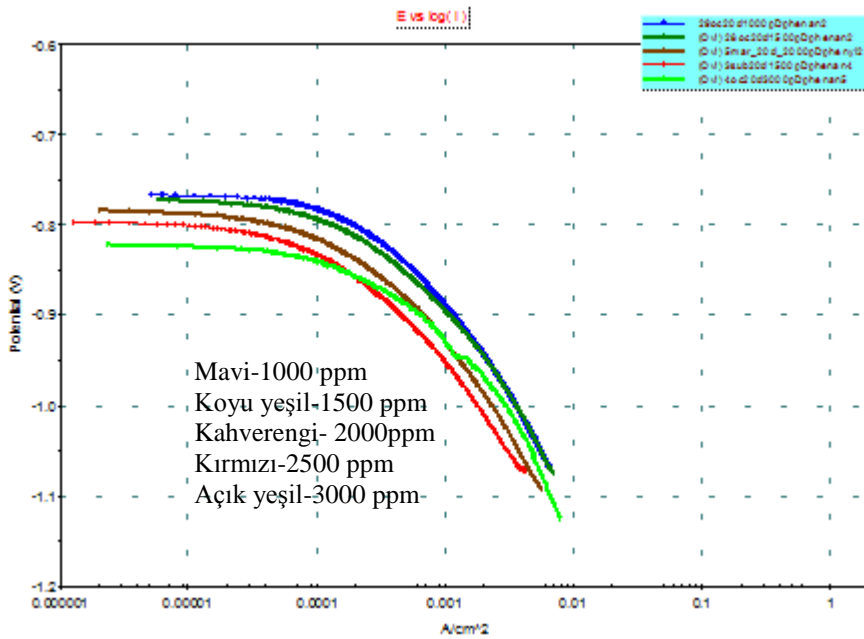
Şekil 4.36. Kütlece %1 HCl + 1500 ppm Glycolic acid çözeltisi için elde edilen Ln i – 1/T grafiği

4.2.7. D-Phenylalanine

D-Phenylalanine'nin, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2500 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.37'de verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiliye 1000–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde D-Phenylalanine ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.38'de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.10'da gösterilmiştir.



Şekil 4.37. D-Phenylalanine için 2500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.38. D-Phenylalanine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.10. Kütlece %1 HCl ortamında D-Phenylalanine konsantrasyonuna ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

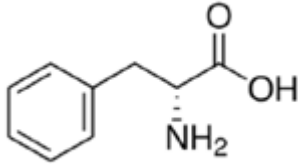
D-Phenylalanine (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20 ⁰ C			30 ⁰ C			40 ⁰ C			50 ⁰ C		
	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)
1000	-766	0,44	78,6									
1500	-774	0,41	79,8									
2000	-788	0,29	85,8									
2500	-799	0,24	88,2	-803	1,13	88,4	-791	4,71	84,2	-780	12,42	87,1
3000	-756	0,06	96,9									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise çok fazla değişim göstermediği Çizelge 4.10'dan görülmektedir. İnhibitör etkinliği, 2500 ppm inhibitör derişiminde ve 20°C sıcaklıkta %88 olarak elde edilmiştir. Sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliklerinde küçük düşüşler meydana gelmiş, 50°C'da %87 etkinlik değeri elde edilmiştir. Bu da D-Phenylalanine'nin yüksek sıcaklıklarda da kullanılabilen bir inhibitör olduğunu göstermektedir.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; 20°C sıcaklık, 2000 ppm inhibitör derişiminde %86 olan etkinlik değeri, 2500 ppm derişimde %88, 3000 ppm derişimde ise %97 olarak elde edilmiştir. Bu durum, inhibitör derişiminin artırılmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığını göstermektedir. Çizelge 4.10'a bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin daha negatif değerlere yani katodik yöne doğru kaydığı görülmektedir. Bu durum, D-Phenylalanine inhibitörünün bu koşullarda katodik inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

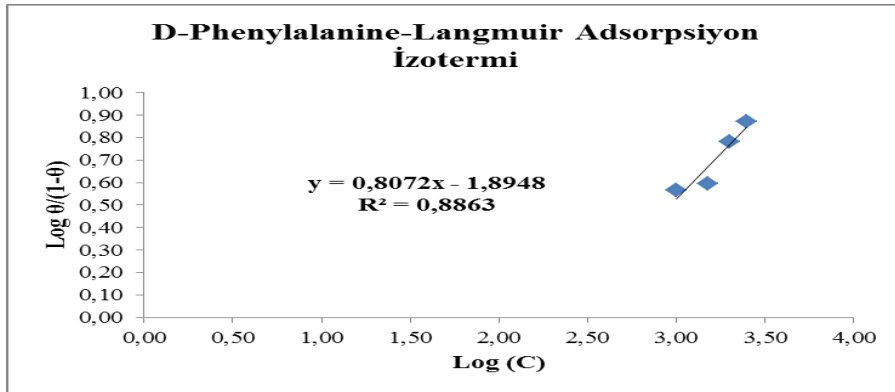
İnhibitör yapısında aromatik halkaların, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomların, uzun zincirli alifatik grupların bulunması inhibisyon etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Aromatik halkadaki elektronlar ve heteroatomlardaki elektron çiftleri alüminyumla çözünmeyen kompleksler oluşturarak yüzeyi saldırgan iyonlardan korurlar [27]. Ayrıca inhibitörlerin yüksek molekül ağırlıklarına sahip olması inhibisyon verimini etkilemektedir. Şekil 4.39'da molekül yapısı verilen D-

Phenylalanine, aromatik halka ile azot ve oksijen gibi heteroatomlar bulundurmasından ve yüksek molekül ağırlığına sahip olmasından dolayı etkili bir inhibitördür.



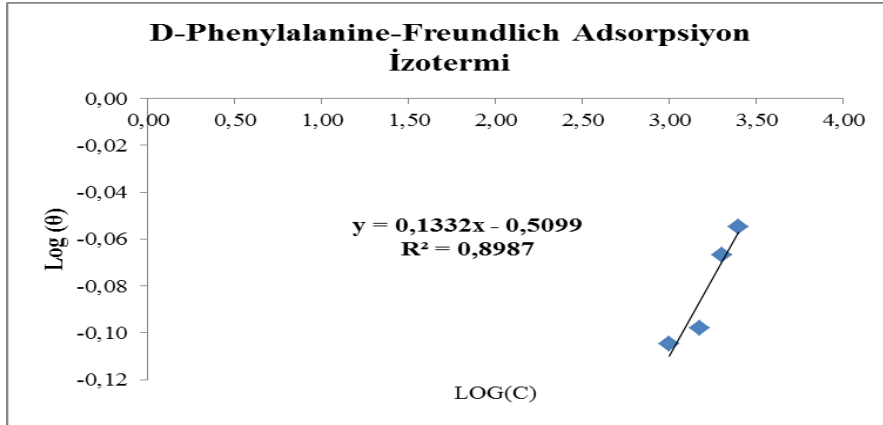
Şekil 4.39. D-Phenylalanine'nin moleküler yapısı

D-Phenylalanine'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.40'da verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere D-Phenylalanine'in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.40.d) uygunluk göstermektedir.

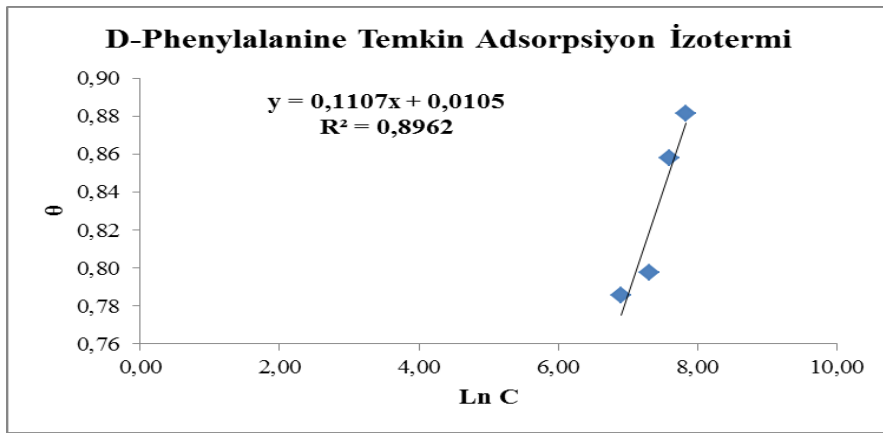


(a)

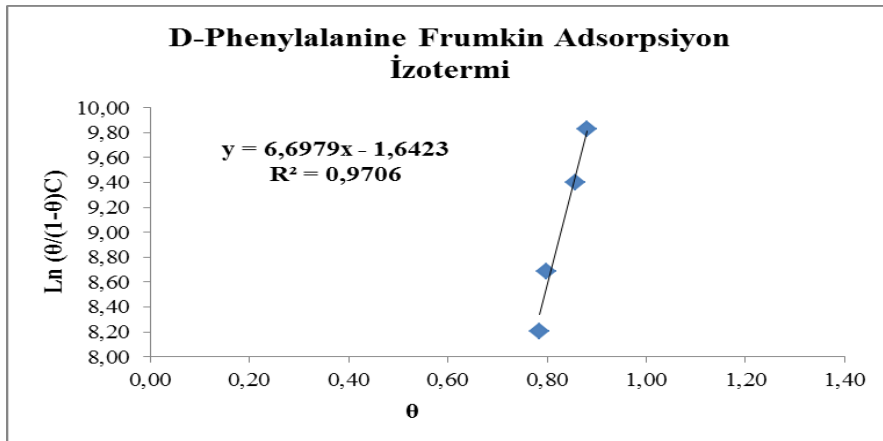
- Şekil 4.40. a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)

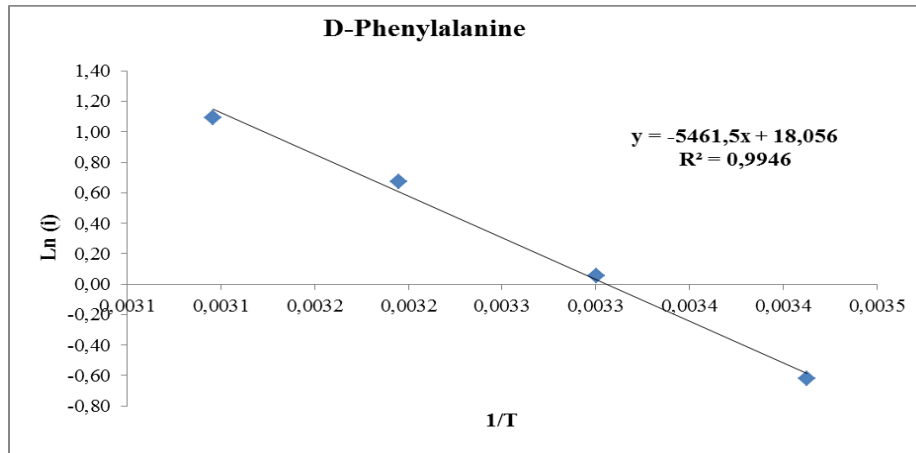


(d)

Şekil 4.40. (Devam) a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi
d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi

Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

D-Phenylalanine'in 2500 ppm'de Şekil 4.41'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2500 ppm derişimde D-Phenylalanine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 45406 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.

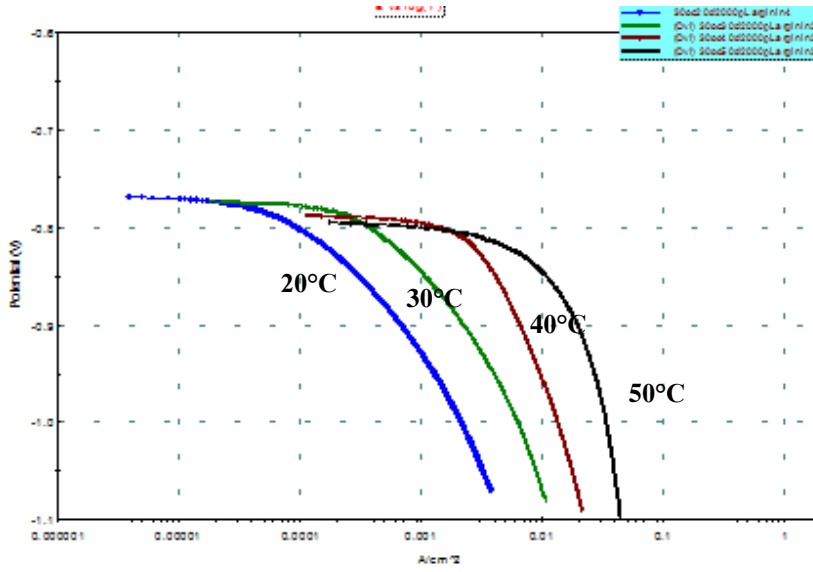


Şekil 4.41. Kütlece %1 HCl + 2500 ppm D-phenylalanine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

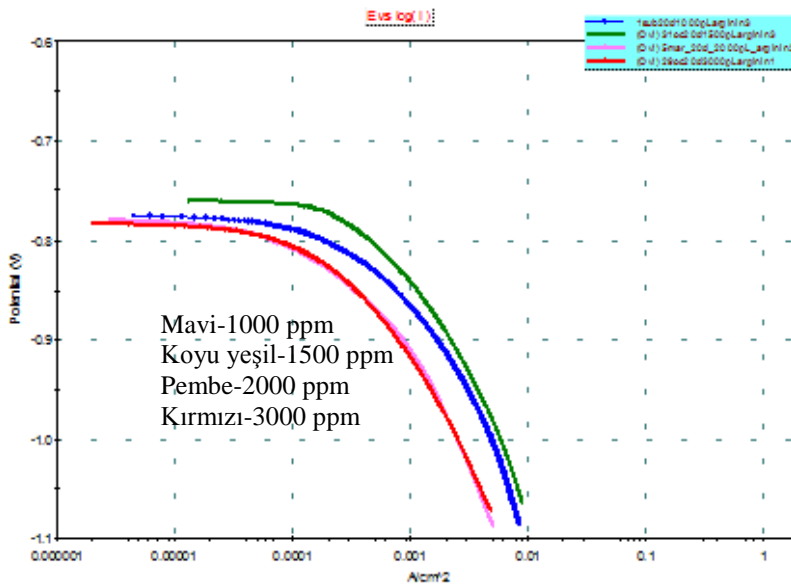
4.2.8. L-Arginine

L-Arginine'nin, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.42'de verilmiştir. Daha sonra inhibitör

etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500–3000 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Arginine ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.43'te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.11'de gösterilmiştir.



Şekil 4.42. L-Arginine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.43. L-Arginine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.11. Kütlece %1 HCl ortamında L-Arginine derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

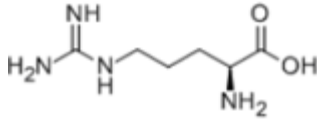
L-Arginine (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)
500	-805	1,40	31,2									
1000	-786	0,77	62,3									
1500	-752	0,62	69,2									
2000	-782	0,29	85,6	-769	1,39	85,7	-788	3,93	86,8	-795	35,45	63,1
3000	-784	0,34	83,3									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise daha negatif değerlere kaydığı gözlenmiştir. İnhibitör etkinliği, 20°C sıcaklıkta %86 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artış meydana gelmiş, inhibitör etkinliğinin ise 40°C'a kadar sabit kaldığı 50°C'da düştüğü görülmüştür. Bu da L-Arginine'nin belli sıcaklık değerlerine kadar etkin şekilde kullanılabilen bir inhibitör olduğunu göstermektedir.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 500 ppm inhibitör derişiminde %62 olan inhibitör etkinlik, 2000 ppm'de %85 olarak bulunmuştur. 3000 ppm inhibitör derişiminde elde edilen inhibitör etkinliği ise %83'dür. Çizelge 4.11'e bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin düzenli bir değişim göstermediği görülmüştür. Bu durum, L-Arginine inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

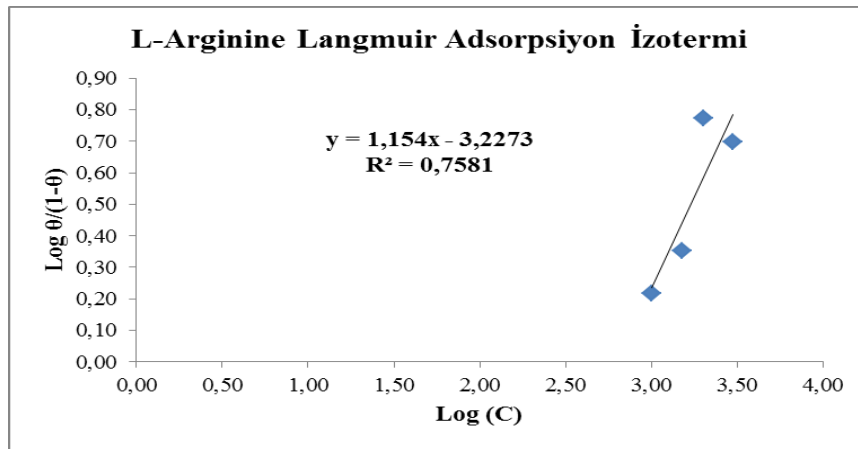
İnhibitörlerin adsorpsiyon derecesi metalin yüzey yükü ve doğası, moleküldeki adsorpsiyon sitelerinin sayısına inhibitörün adsorpsiyon şekli, inhibitörün kimyasal yapısı ve çözeltinin tipi gibi faktörlere bağlıdır. İnhibitörün kimyasal yapısında oksijen, nitrojen, sülfür ve fosfor gibi heteroatomlar, üçlü bağlar ve aromatik halkaların bulunması adsorpsiyon prosesini geliştirir [23]. Şekil 4.44'te molekül yapısı verilen L-Arginine yapısında fazla sayıda heteroatom bulundurmasına rağmen

azot atomlarındaki tautomerik yapı ve sterik engellerden dolayı inhibitör etkinliği L-Aspartic acid ve DL-Aspartic acid 'e göre daha düşük çıkmıştır [38].



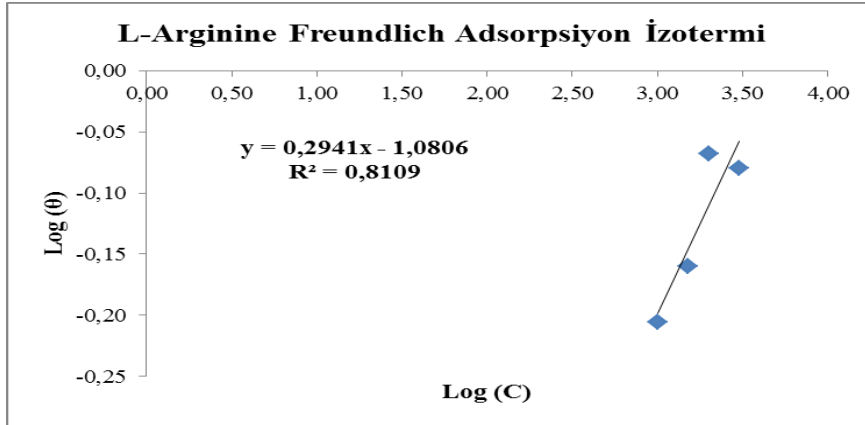
Şekil 4.44. L-Arginine'nin moleküler yapısı

L-Arginine'nin adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.45'te verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Arginine'nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.45.d) uygunluk göstermektedir.

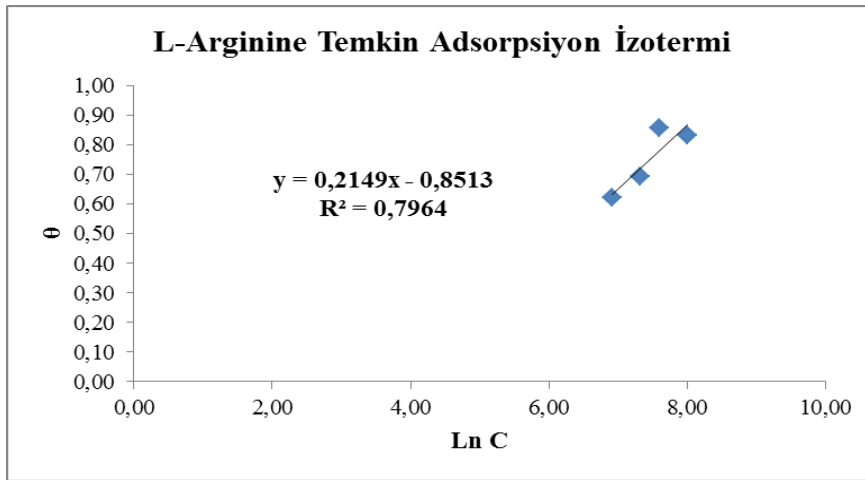


(a)

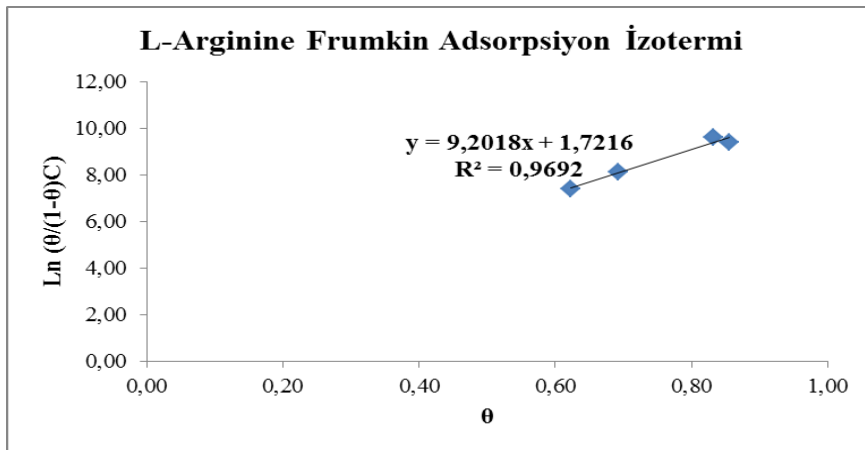
- Şekil 4.45. a) L-Arginine Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Arginine Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Arginine Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Arginine Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)



(d)

Şekil 4.45. (Devam) a) L-Arginine Langmuir adsorpsiyon izotermi

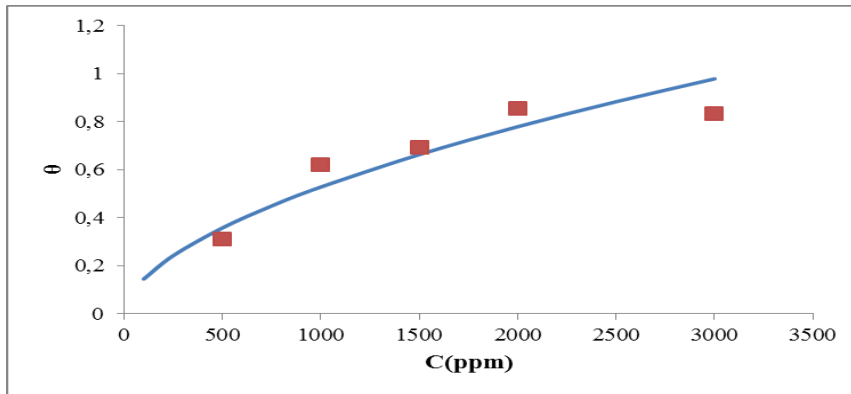
b) L-Arginine Freundlich adsorpsiyon izotermi

c) L-Arginine Temkin adsorpsiyon izotermi

d) L-Arginine Frumkin adsorpsiyon izotermi

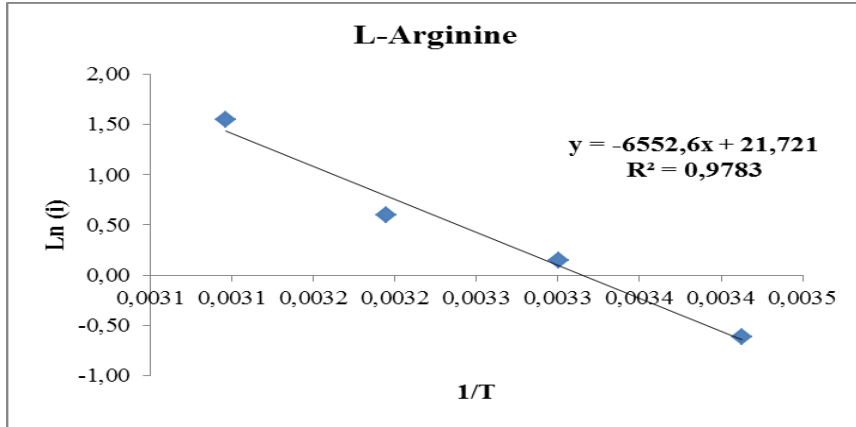
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca L-Arginine için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.46'da görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermdeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.46. L-Arginine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

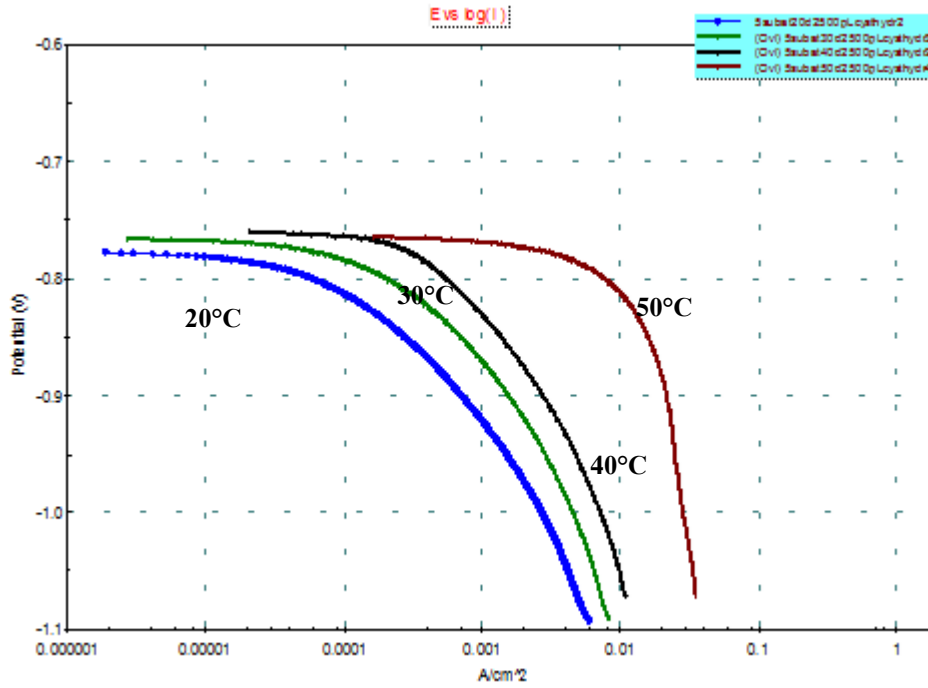
L-Arginine'nin 2000 ppm'de Şekil 4.47'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde L-Arginine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 54229 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



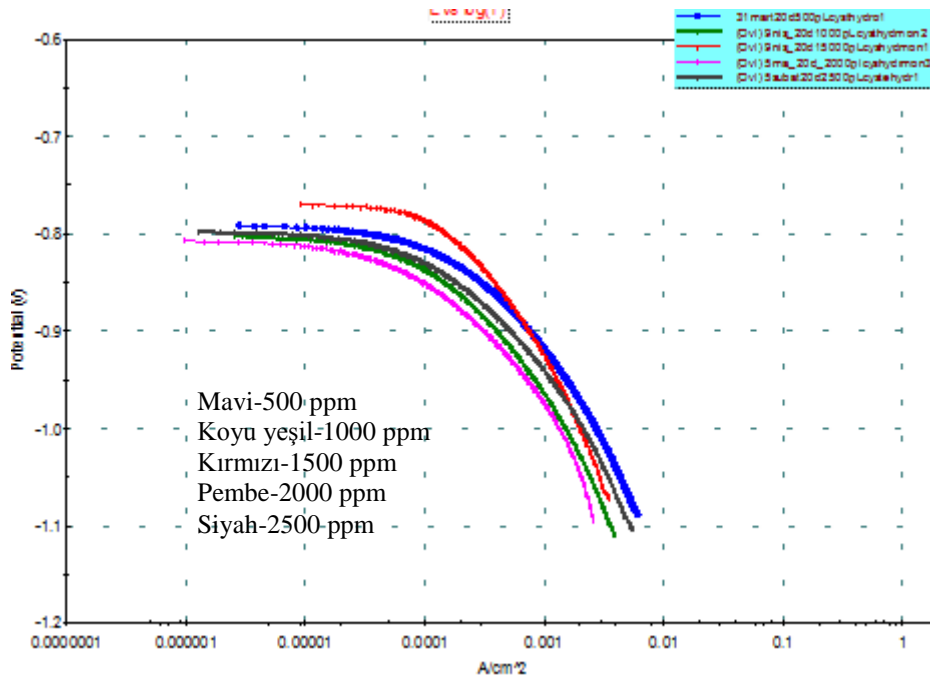
Şekil 4.47. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Arginine çözeltisi için elde edilen Ln i – 1/T grafiği

4.2.9. L-Cysteine hydrochloride monohydrate

L-Cysteine hydrochloride monohydrate'ın, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2500 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.48.'de verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500–2500 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Cysteine hydrochloride monohydrate ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.49'da verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.12'de gösterilmiştir.



Şekil 4.48. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için 2500 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.49. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.12. Kütlece %1 HCl ortamında L-Cysteine hydrochloride monohydrate derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

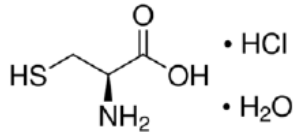
L-cystein hydrochloride monohydrate (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{cor} r (mV)	i _{corr} (mA)	iE (%)	E _{cor} r (mV)	i _{corr} (mA)	iE (%)	E _{cor} r (mV)	i _{corr} (mA)	iE (%)	E _{cor} r (mV)	i _{corr} (mA)	iE (%)
500	-787	0,48	76,4									
1000	-795	0,36	82,1									
1500	-772	0,37	81,6									
2000	-795	0,35	83,0									
2500	-781	0,34	83,1	-779	1,20	87,7	-759	5,60	81,2	-767	21,22	77,9

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise daha pozitif değerlere kaydığı gözlenmiştir. Verim, 20°C sıcaklıkta %83 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artış meydana gelmiş, inhibitör etkinliklerinde ise düşüş görülmüştür.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 500 ppm inhibitör derişiminde %76 olan inhibitör etkinliği, 2000 ppm'de %83 olarak bulunmuştur. 2000 ppm inhibitör derişiminden sonra inhibitör etkinliğinde daha fazla artış görülmemiştir. Çizelge 4.12'ye bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin düzenli bir değişim göstermediği görülmüştür. Bu durum, L-Cysteine hydrochloride monohydrate inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

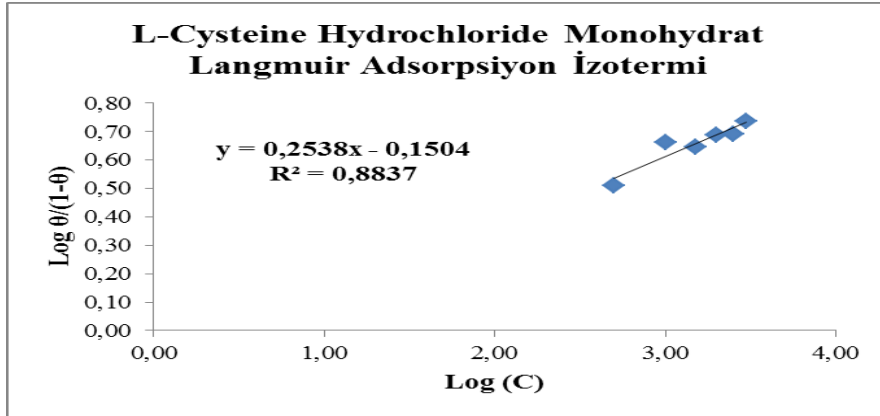
İnhibitör yapısında aromatik halkaların, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomların, uzun zincirli alifatik grupların bulunması inhibisyon etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Organik inhibitörlerin yapısında bulunan ve yüzeye adsorplanmayı sağlayan azot, oksijen, kükürt ve fosfor gibi hetero atomların etkinlikleri O<N<S<P olarak sıralanmaktadır [31]. Ayrıca inhibitörlerin yüksek molekül ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Şekil 4.50'de molekül yapısı verilen L-Cysteine hydrochloride monohydrate yapısında azot ve oksijen gibi heteroatomlar bulundurmasının yanı sıra daha fazla elektron verici olan ve kendini

azot atomlarının yanında adsorpsiyon merkezi olarak sunan –SH grubu bulundurmaktadır. Bu da L-Cysteine hydrochloride monohydrate'ın inhibisyon verimini artırmış ve etkili bir inhibitör olmasını sağlamıştır. Molekülde bulunan adsorpsiyon sitelerinin sayısı, adsorpsiyonda önemli rol oynamaktadır. L-Cysteine hydrochloride monohydrate N-Acetyl-L-Cystein'e göre daha yüksek molekül ağırlığına sahip olmasına rağmen yapısında daha az sayıda adsorpsiyon merkezi olabilecek atom bulundurduğundan verimi daha düşük elde edilmiştir.

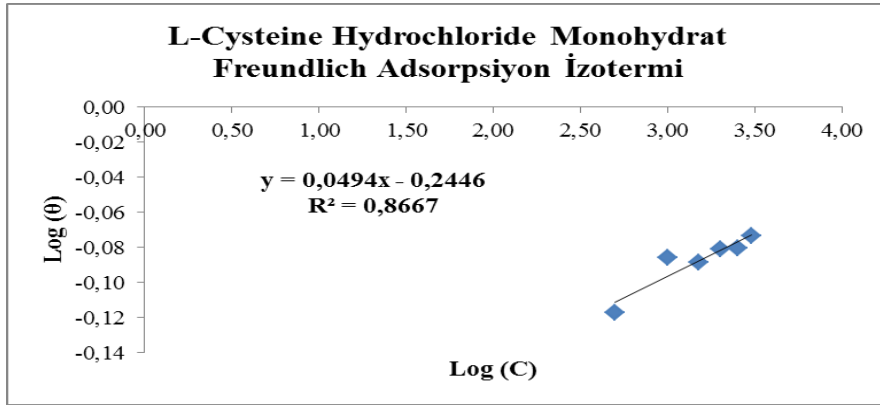


Şekil 4.50. L-Cysteine hydrochloride monohydrate'ın moleküler yapısı

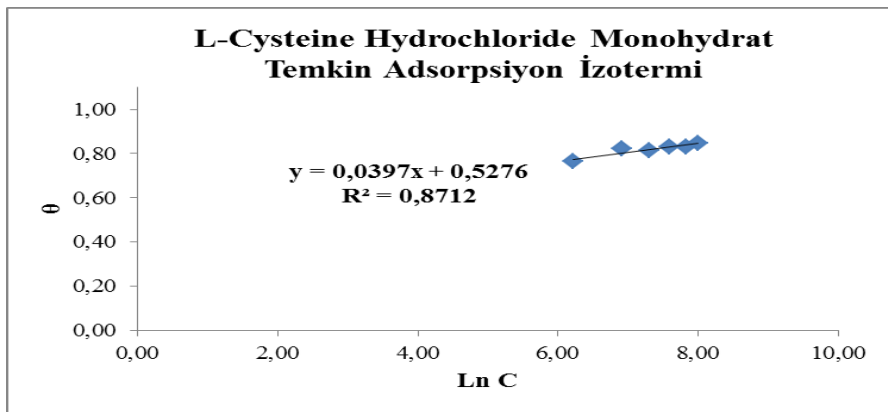
L-Cysteine hydrochloride monohydrate'ın adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.51'de verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Cysteine hydrochloride monohydrate'ın metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.51.d) uygunluk göstermektedir.



(a)

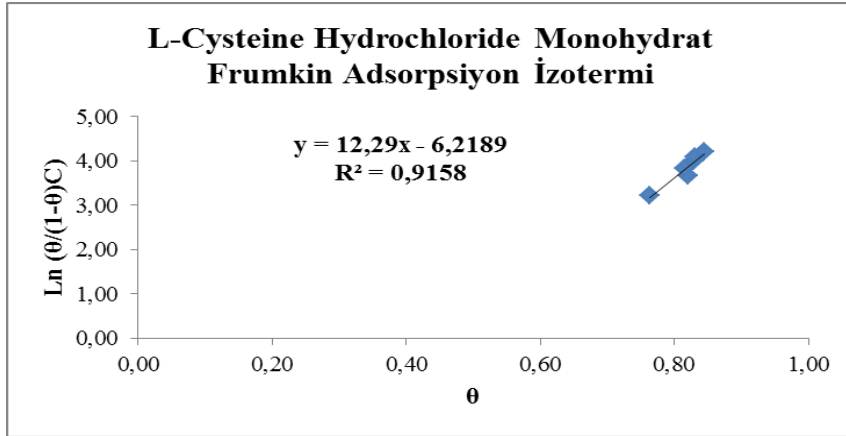


(b)



(c)

- Şekil 4.51. a) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Frumkin adsorpsiyon izotermi

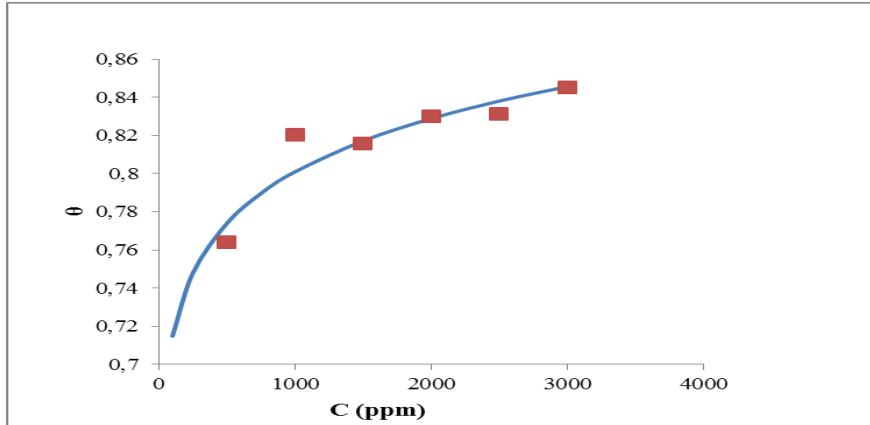


(d)

- Şekil 4.51. (Devam) a) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Cysteine hydrochloride monohydrate Frumkin adsorpsiyon izotermi

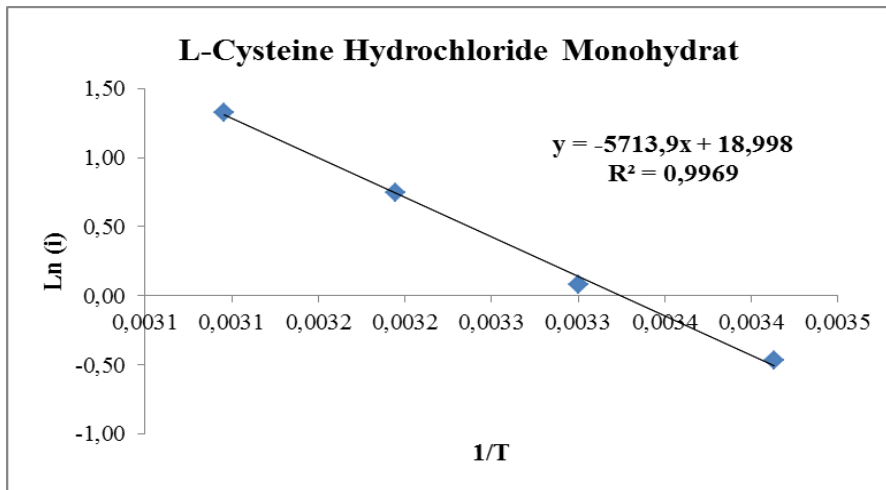
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca L-Cysteine hydrochloride monohydrate için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.52'de görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermindeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.52. L-Cysteine hydrochloride monohydrate için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

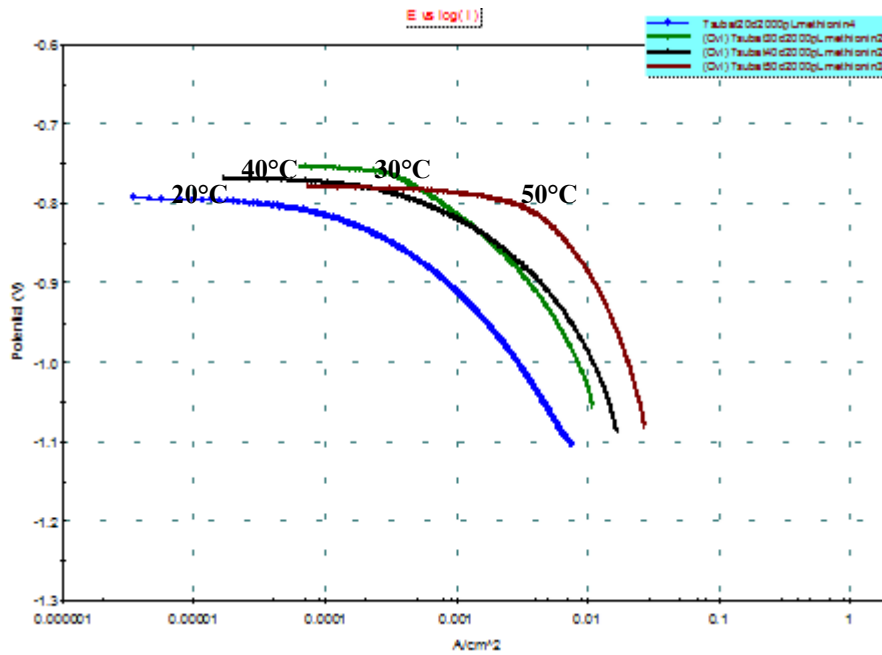
L-Cysteine hydrochloride monohydrate'nin 2500 ppm'de Şekil 4.53'te verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2500 ppm derişimde L-Cysteine hydrochloride monohydrate çözeltisi için aktivasyon enerjisi 47505 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin saf HCl çözeltisinininkine göre yüksek olması korozyon reaksiyonunun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



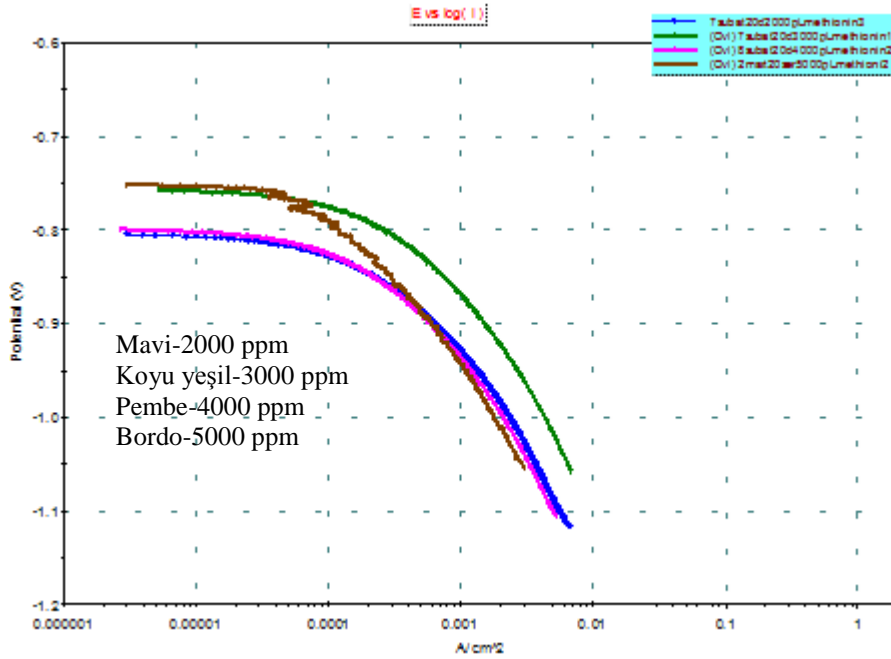
Şekil 4.53. Kütlece %1 HCl + 2500 ppm derişimde L-Cysteine hydrochloride monohydrate çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.10. L-Methionine

L-Methionine'nin, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.54'te verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 2000–5000 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Methionine'in ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.55'te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.13'te gösterilmiştir.



Şekil 4.54. L-Methionine'in için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.55. L-Methionine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.13. Kütlece %1 HCl ortamında L-Methionine derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

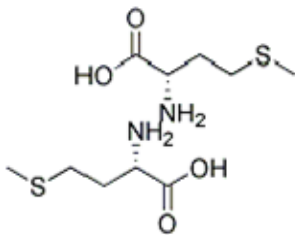
L- Methionine (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)
2000	-798	0,64	68,5	-747	1,85	81,0	-768	4,158	86,1	-778	9,56	90,1
3000	-761	0,74	69,5									
4000	-797	0,55	73,2									
5000	-746	0,37	81,9									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise azaldığı gözlenmiştir. 2000 ppm inhibitör derişiminde inhibitör etkinliğinin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı görülmüştür.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 2000 ppm inhibitör derişiminde

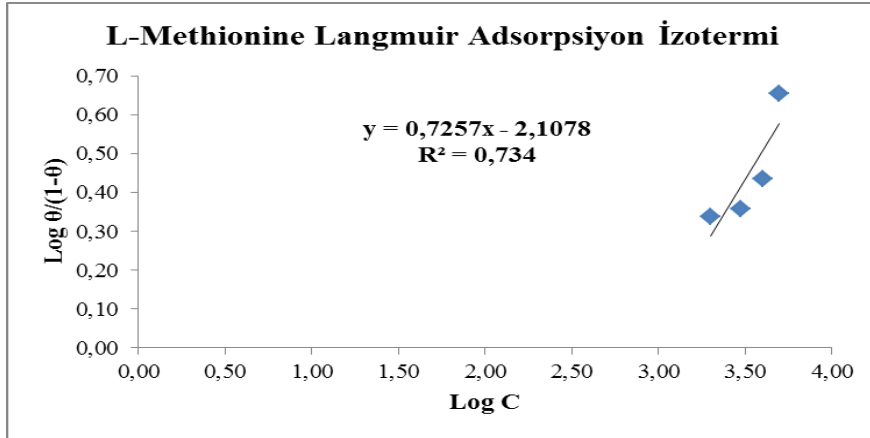
%68 olan inhibitör etkiliği, 5000 ppm'de %82 olarak bulunmuştur. Çizelge 4.13'teki çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyelleri incelendiğinde derişim arttıkça korozyon potansiyelinin düzenli bir artma ya da azalma göstermediği görülmektedir. Bu durum, L-Methionine inhibitörünün bu koşullarda karma inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

Organik inhibitörlerin yapısında azot, oksijen, kükürt gibi heteroatomların bulunması inhibisyon etkinliğini artırmaktadır. Ayrıca inhibitörlerin yüksek moleköl ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Şekil 4.56'da moleköl yapısı verilen L-Methionine yapısında azot ve oksijen gibi heteroatomlar bulundurmasının yanı sıra daha fazla elektron verici olan ve kendini azot atomlarının yanında adsorpsiyon merkezi olarak sunan –SH grubu bulundurmaktadır. Ayrıca L-Methionine yüksek moleköl ağırlığına sahiptir. Bu da L-Methionine'nin inhibisyon verimini artırmış ve etkili bir inhibitör olmasını sağlamıştır. L-Methionine'nin de N-Acetyl-L-Cystein ve L-Cysteine hydrochloride monohydrate'daki gibi moleköl yapısında adsorplanmayı artıran azot, kükürt ve oksijen gibi heteroatomlar içermesine rağmen moleköl ağırlığının daha düşük olması, kükürt atomuna bağlanan metil grubu dolayısıyla meydana gelen sterik engellerden dolayı verimi daha düşük çıkmıştır.

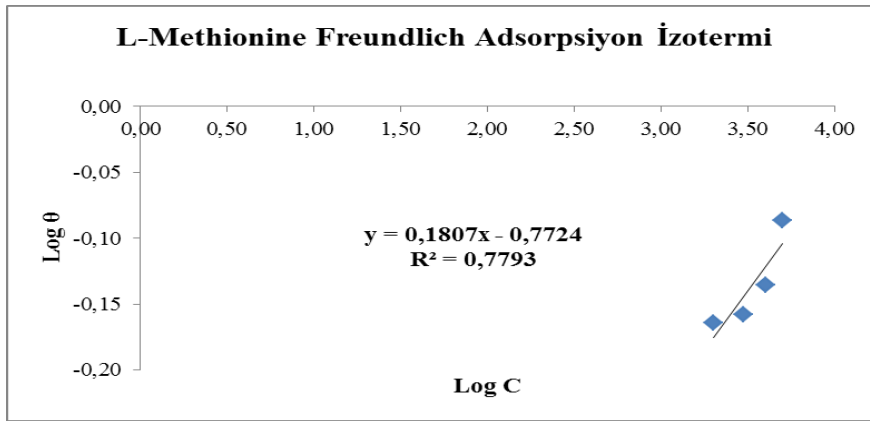


Şekil 4.56. L-Methionine'in moleköl yapısı

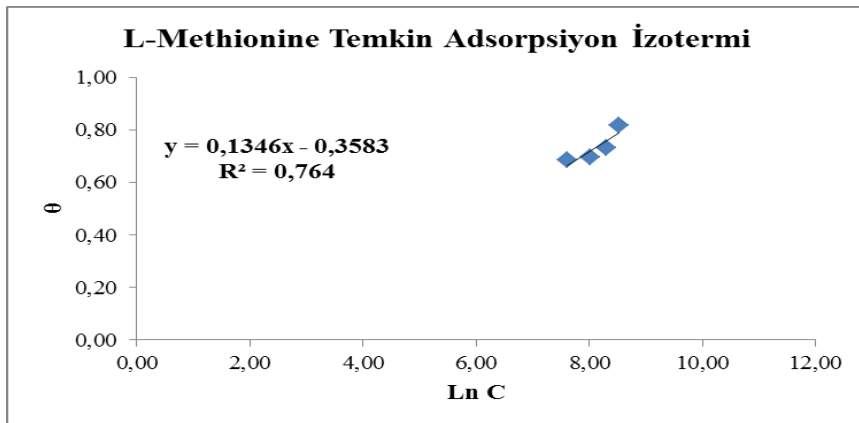
L-Methionine'in adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.57'de verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Methionine'nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.57.d) uygunluk göstermektedir.



(a)

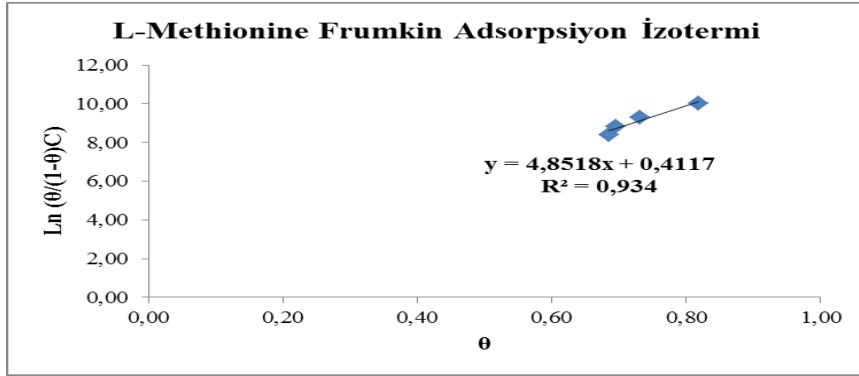


(b)



(c)

Şekil 4.57. a) L-Methionine Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) L-Methionine Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) L-Methionine Temkin adsorpsiyon izotermi
d) L-Methionine Frumkin adsorpsiyon izotermi

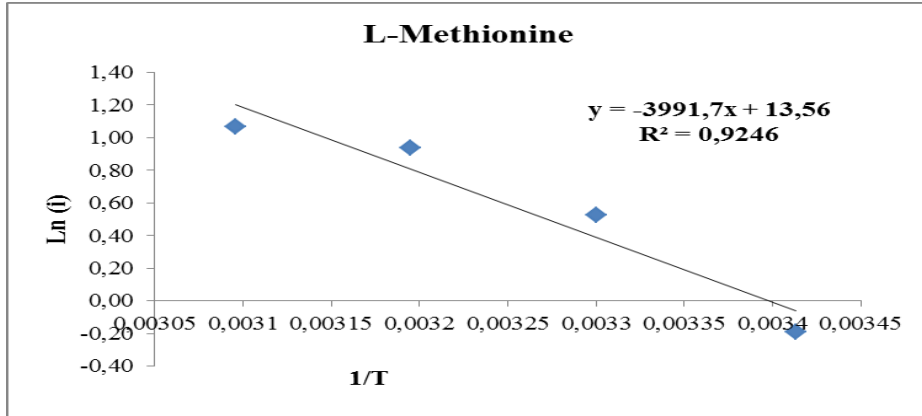


(d)

- Şekil 4.57. (Devam) a) L-Methionine Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Methionine Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Methionine Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Methionine Frumkin adsorpsiyon izotermi

Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini ifade eder [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

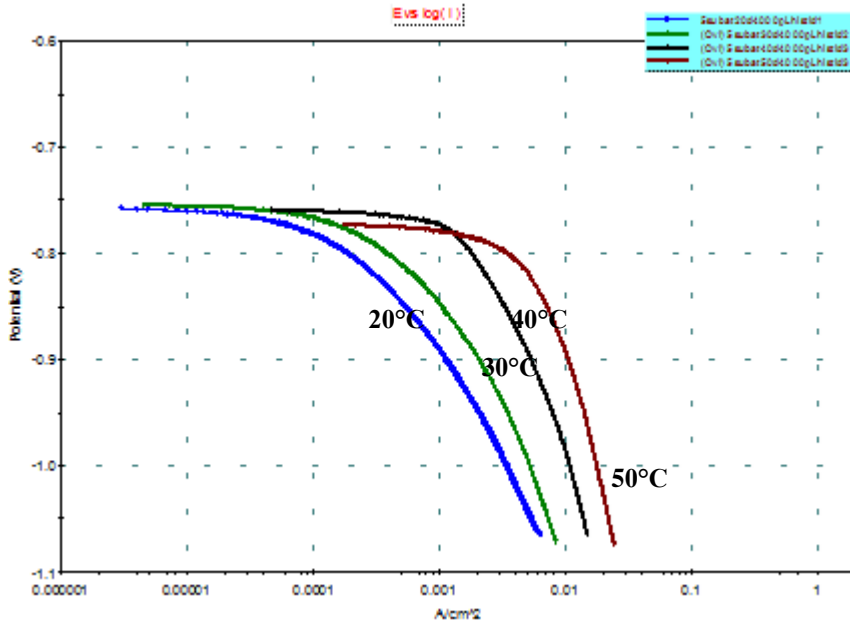
L-Methionine'nin 2000 ppm'de Şekil 4.58'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 2000 ppm derişimde L-Methionine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 33 186 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin inhibitörsüz ortamdakine göre daha düşük çıkması kimyasal adsorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir.



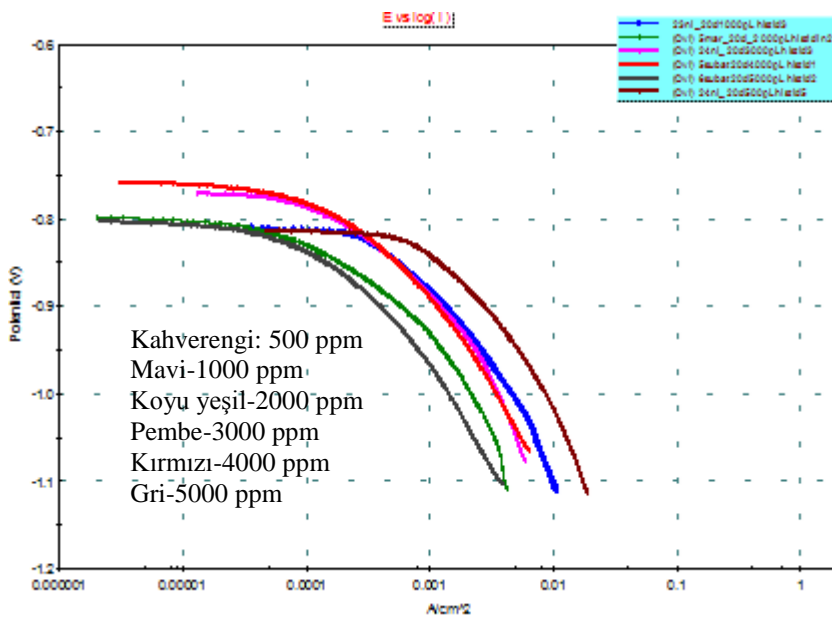
Şekil 4.58. Kütlece %1 HCl + 2000 ppm L-Methionine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.2.11. L-Histidine

L-Histidine'in, kütlece %1'lik HCl çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 4000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.59'da verilmiştir. Daha sonra inhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 500–5000 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Histidine ilave edilerek yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.60'da verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.14'te gösterilmiştir.



Şekil 4.59. L-Histidine için 4000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.60. L-Histidine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.14. Kütlece %1 HCl ortamında L-Histidine derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

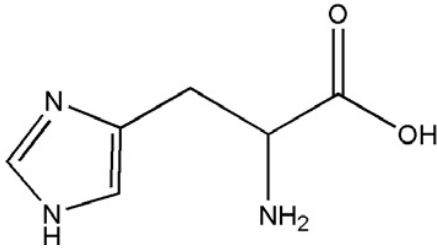
L-histidine (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)
500	-811	1,66	18,1									
1000	-803	1,19	41,6									
2000	-800	0,68	66,6									
3000	-766	0,57	71,9									
4000	-759	0,40	80,3	-750	2,21	77,3	-759	6,83	77,1	-771	10,10	89,5
5000	-803	0,31	84,8									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin ise düzenli bir değişim göstermediği gözlenmiştir. 4000 ppm inhibitör derişiminde inhibitör etkinliğinin sıcaklıkla değişimi incelendiğinde, sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin 40°C'a kadar azaldığı, 50°C 'da ise tekrar arttığı görülmüştür.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişiminin artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı gözlenmiştir. 1000 ppm inhibitör derişiminde %42 olan inhibitör etkinliği, 2000 ppm'de %67 olarak bulunmuştur. 5000 ppm inhibitör derişiminde elde edilen etkinlik değeri ise %86'dır. Çizelge 4.14'te çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyelleri incelendiğinde derişim arttıkça korozyon potansiyelinin daha pozitif değerlere kaydığı görülmektedir. Bu durum, L-Histidine inhibitörünün bu koşullarda anodik inhibitör olduğunu göstermektedir [39].

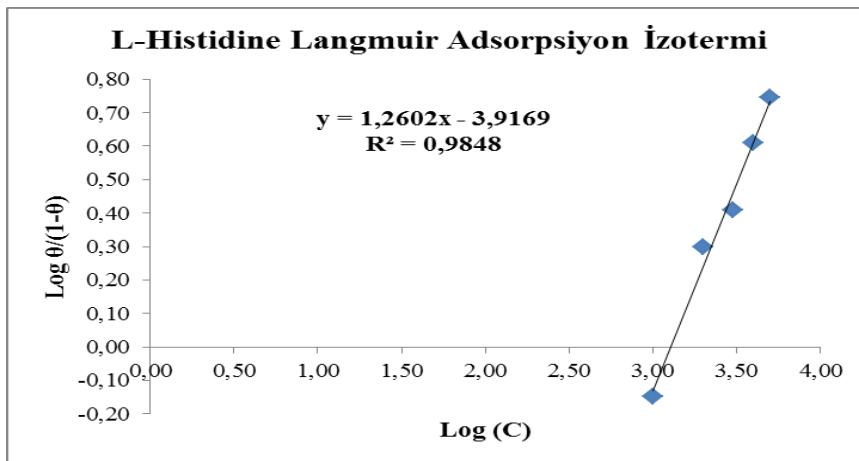
İnhibitör yapısında aromatik halkaların, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomların, uzun zincirli alifatik grupların bulunması inhibisyon etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Aromatik halkadaki elektronlar ve heteroatomlardaki elektron çiftleri alüminyumla çözünmeyen kompleksler oluşturarak yüzeyi saldırgan iyonlardan korurlar. Ayrıca inhibitörlerin yüksek moleköl ağırlıklarına sahip olmaları yüzeye olan inhibisyonlarında etkili olmaktadır [14]. Bunun yanında indol, pirol ve S-CH₃ grubu gibi grupların aminoasitte bulunması aminoasit üzerindeki pozitif yükün

kararlılığını azaltır [27]. Şekil 4.61’de molekül yapısı verilen L-Histidine, moleküler yapısında azot ve oksijen gibi heteroatomları bulundurmasının yanında pirol grubu da içermektedir. Heteroatomlar inhibisyon verimini artırırken pirol grubu kararlılığı azaltıcı etki göstermiştir.



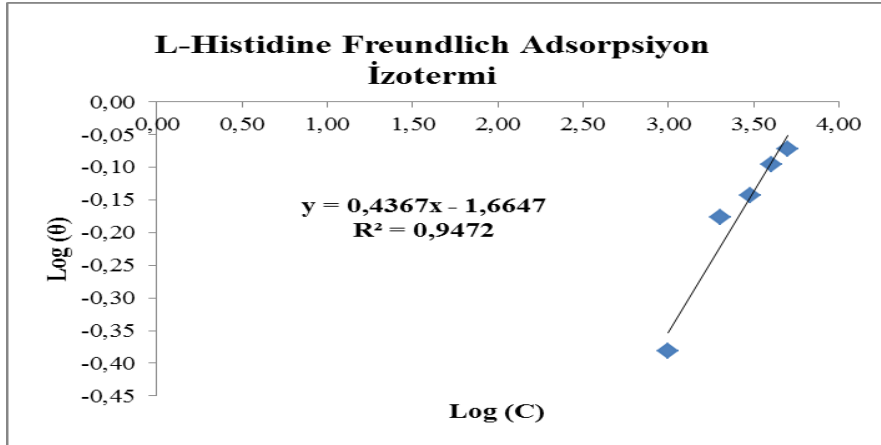
Şekil 4.61. L-Histidine’nin moleküler yapısı

L-Histidine’nin adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.62.’de verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Histidine’nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine (Şekil 4.62.d) uygunluk göstermektedir.

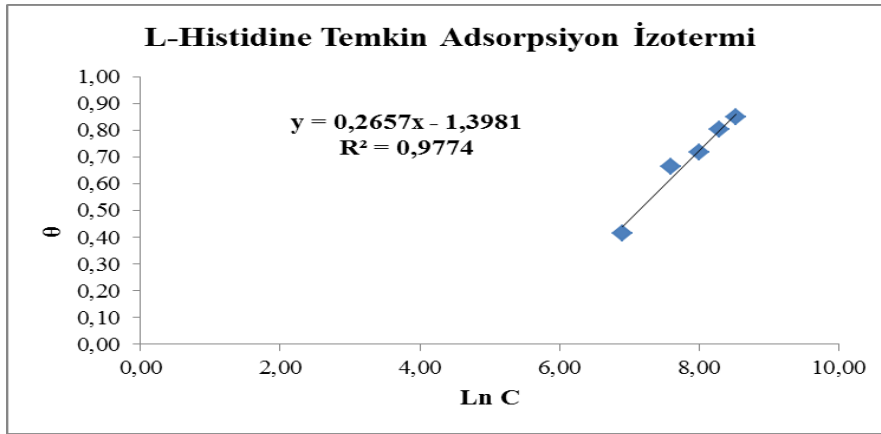


(a)

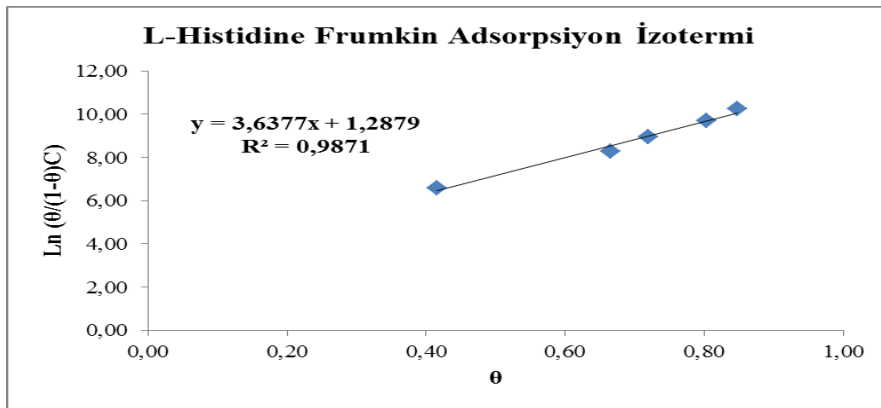
- Şekil 4.62. a) L-Histidine Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Histidine Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Histidine Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Histidine Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



(c)

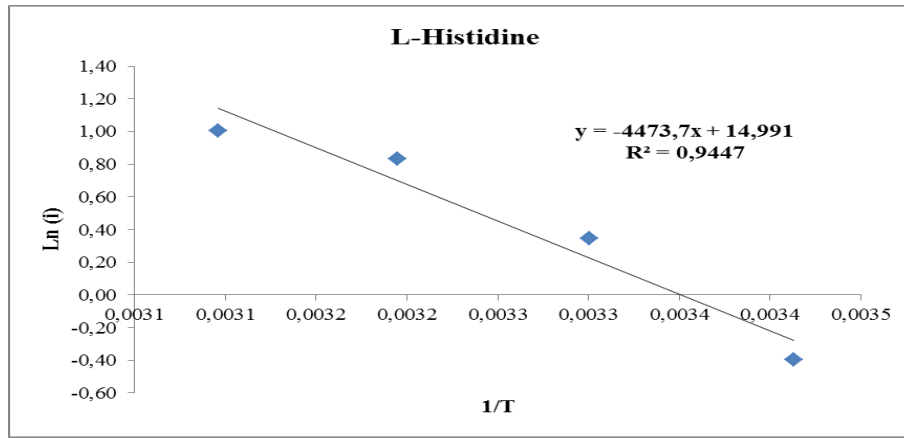


(d)

Şekil 4.62. (Devam) a) L-Histidine Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) L-Histidine Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) L-Histidine Temkin adsorpsiyon izotermi
d) L-Histidine Frumkin adsorpsiyon izotermi

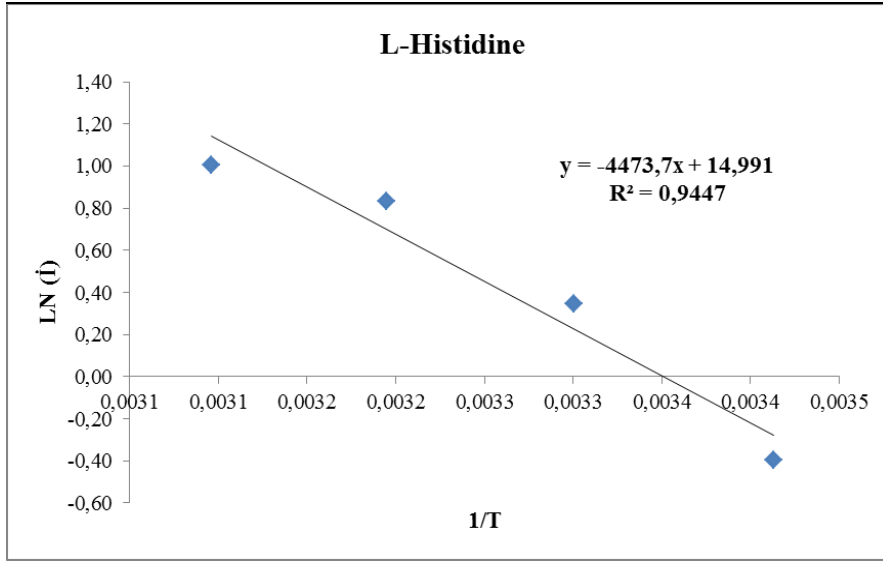
Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

Ayrıca L-Histidine için Freundlich adsorpsiyon izoterm grafiğinden elde edilen verilerin adsorpsiyon izoterm denkleminde yerine yerleştirilmesiyle ve belli derişim değerleri verilmesiyle, doğrusallaştırılmamış eğri elde edilmiş daha sonra bu eğri üzerinde deneysel veriler yerleştirilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Şekil 4.63'te görüldüğü gibi deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermdeki veriler örtüşmektedir. Bu durum da Freundlich adsorpsiyon izotermine deneysel sonuçlarla desteklendiğini göstermektedir.



Şekil 4.63. L-Histidine için doğrusallaştırılmamış teorik Freundlich izotermi ile deneysel θ değerleri

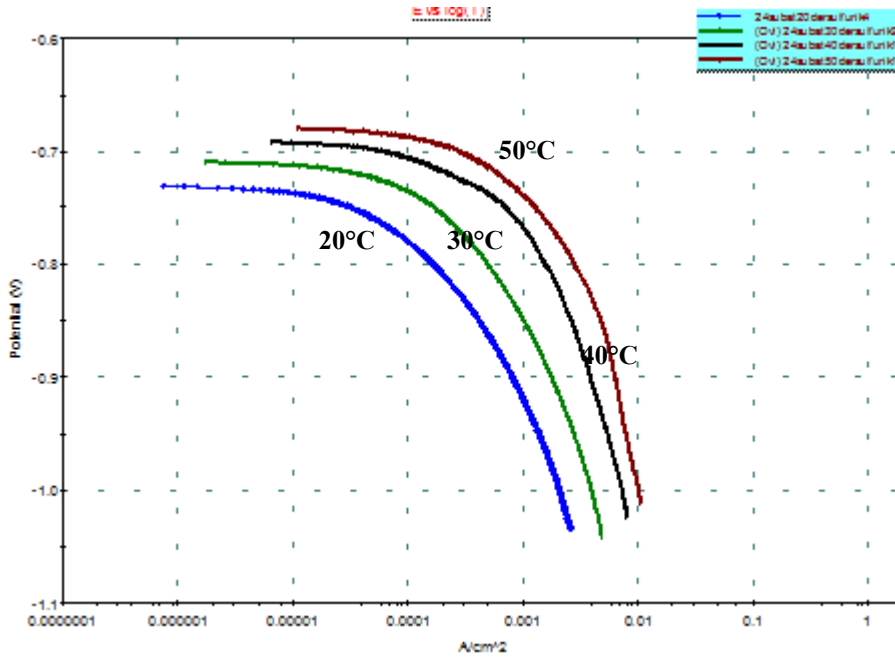
L-Histidine'nin 4000 ppm'de Şekil 4.64'te verilen Ln i – 1/T grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş.4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 HCl içine eklenmiş 4000 ppm derişimde L-Histidine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 37194 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin inhibitörsüz ortamdakine göre daha düşük çıkması kimyasal adsorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir.



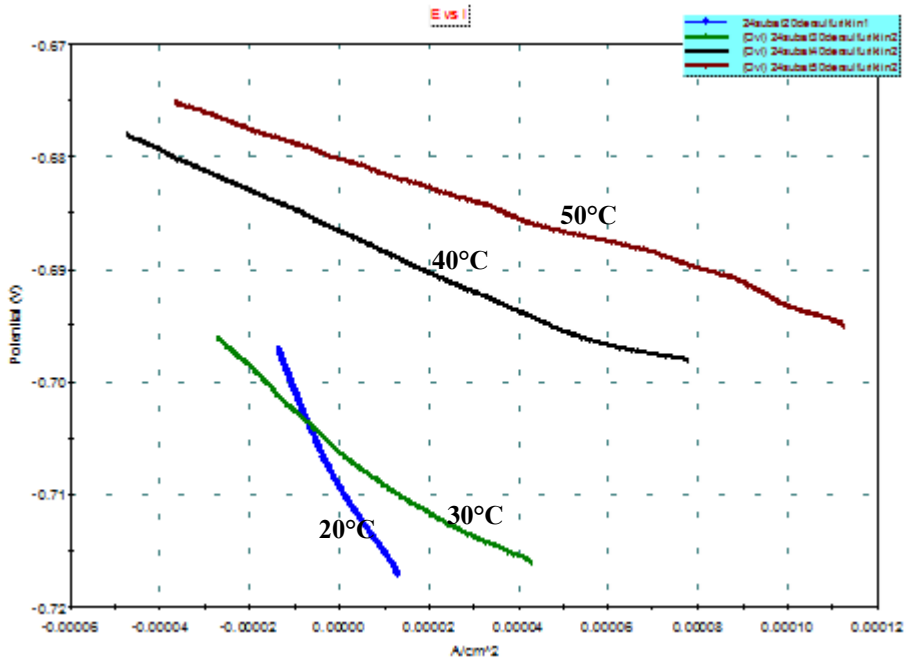
Şekil 4.64. Kütlece %1 HCl + 4000 ppm L-Histidine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.3. Alüminyumun %1 H₂SO₄ Çözeltisindeki Korozyon Parametreleri

%1'lik H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki alüminyumun korozyon hızını belirlemek için potansiyostatik yöntemle katodik polarizasyon eğrileri ve lineer polarizasyon eğrileri elde edilmiştir. Deneyler 20°C, 30 °C, 40°C ve 50°C için tekrarlanmıştır. Katodik polarizasyon ve lineer polarizasyon eğrilerine ait grafikler sırasıyla Şekil 4.65.'te ve Şekil 4.66'da, elde edilen sonuçlar ise Çizelge 4.15'te verilmektedir. Sonuçlar incelendiğinde, 20°C'da korozyon hızının 0,19 mA iken 50°C'da 3,72 mA olduğu görülmüştür. Sıcaklığın artmasıyla alüminyumun korozyon potansiyeli pozitif değerlere kaymakta olduğu, korozyon hızında da artış meydana geldiği gözlenmiştir. Herhangi bir reaksiyonun hızının sıcaklıkla değişimi Arrhenius eşitliği (Eş. 4.3) ile verilmektedir [41]. Bu eşitlik kullanılarak çizilen $\ln i - 1/T$ grafiği Şekil 4.67'de verilmiştir. Grafiğin eğiminden alüminyumun korozyonunun aktivasyon enerjisi 35630 J/mol olarak hesaplanmıştır.



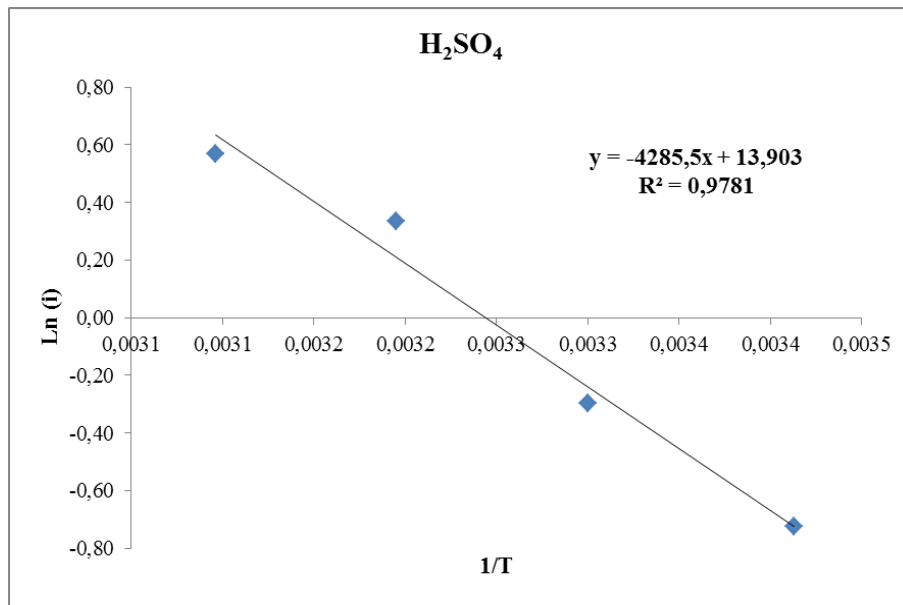
Şekil 4.65. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 H₂SO₄ çözeltisi içinde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.66. Farklı sıcaklıklar için alüminyumun kütlece %1 H₂SO₄ çözeltisi içinde elde edilen lineer polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.15. Kütlece %1 H₂SO₄ ortamında değişik sıcaklıklarda alüminyumun korozyon parametreleri

Sıcaklık (°C)	E _{cor} (mV/SCE)	İ _{cor} 1 (mA)	İ _{cor} 2 (mA)
20	-729,8	0,19	0,047
30	-711,6	0,50	0,072
40	-687,9	2,16	0,143
50	-676,0	3,72	0,174



Şekil 4.67. %1 H₂SO₄ çözeltisi içinde Ln i – 1/T grafiği

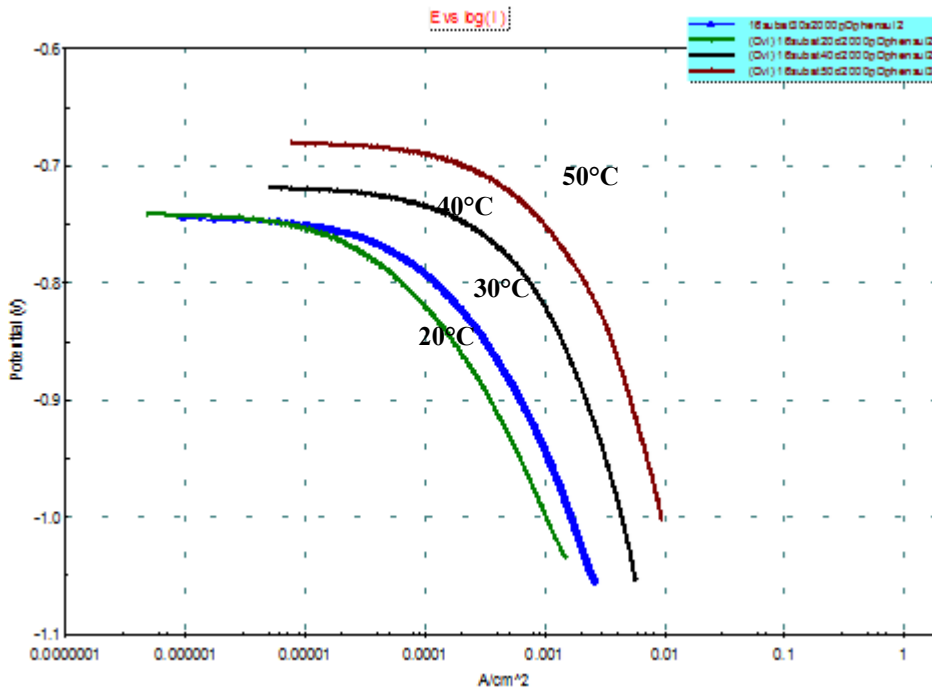
4.4. İnhibitör İçeren %1 H₂SO₄ Çözeltisi İçindeki İnhibitör Etkinlikleri

%1'lik HCl ortamında, alüminyumun korozyonunda inhibitör etkisini incelemek için 16 farklı inhibitör ile yapılan deneyler sonucunda yüksek inhibitör etkinliğine sahip L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine inhibitörleriyle, %1 H₂SO₄ çözeltisinde deneylerin farklı sıcaklık ve derişimlerde yapılmasına karar verilmiştir. Deneyler her bir inhibitör için 2000 ppm derişimde; 20°C, 30 °C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda yapılmış, sonrasında çözeltiye 2000, 4000 ve 5000 ppm olmak üzere değişik derişimlerde inhibitörler ilave edilmiştir. Potansiyometrik ölçümlerin sonucunda katodik ve lineer polarizasyon eğrileri çizilmiştir. Deney sonuçlarının

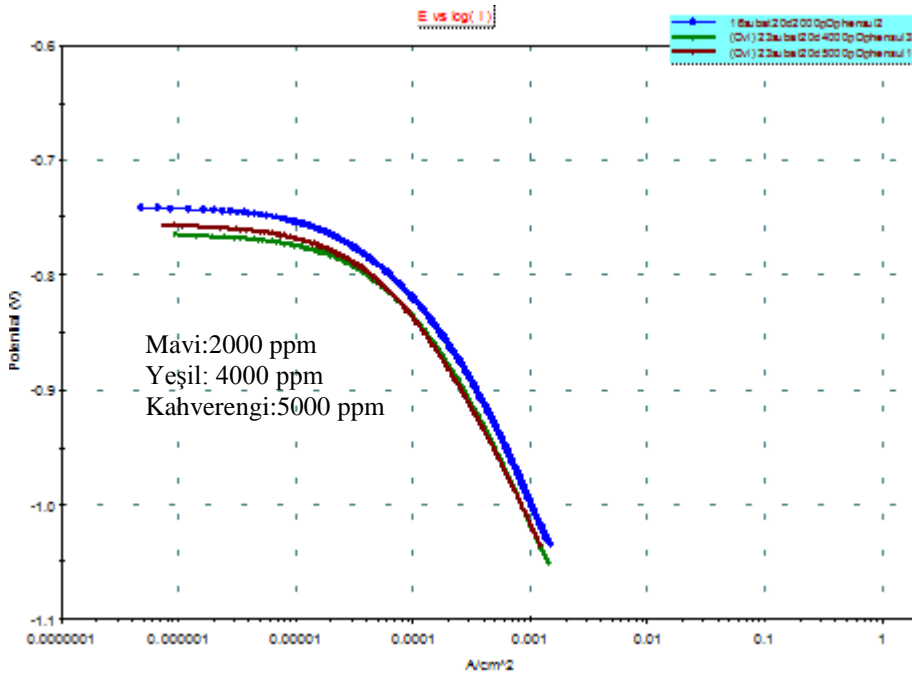
değerlendirilmesi, katodik polarizasyon eğrilerinden elde edilen sonuçlara göre yapılmıştır.

4.4.1. D-Phenylalanine

D-Phenylalanine'nin, kütlece %1'lik H_2SO_4 çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; $20^\circ C$, $30^\circ C$, $40^\circ C$ ve $50^\circ C$ sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.68'de verilmiştir. İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiliye 2000–5000 ppm aralığında değişen derişimlerde D-Phenylalanine ilave edilmiştir. Farklı derişimlerde yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.69'da verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.16'da gösterilmiştir.



Şekil 4.68. D-Phenylalanine için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.69. D-Phenylalanine için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.16. Kütlece %1 H₂SO₄ ortamında L-Sisteinhidroklorürmonohidrat derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değişen korozyon parametreleri

D-phenylalanine (ppm)	Katodik Polarizasyon Deneş Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	i _{corr} (mA)	İE (%)
2000	-737	0,10	47,8	-747	0,27	46,1	-722	1,54	28,7	-690	2,62	29,6
4000	-761	0,10	48,1									
5000	-756	0,10	48,5									

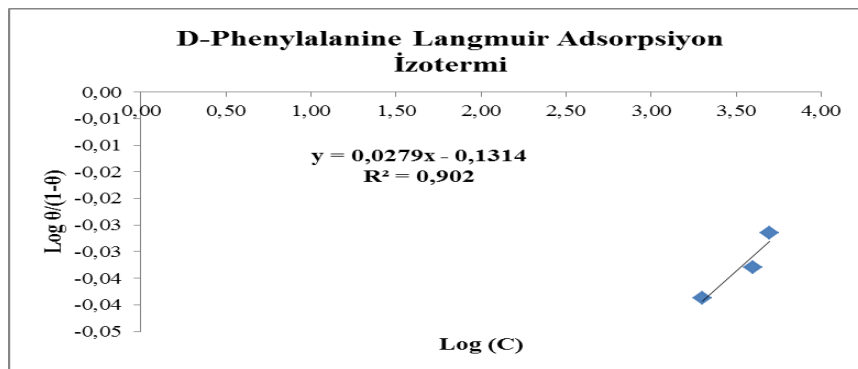
Sıcaklık arttıkça korozyon akımının arttığı, korozyon potansiyelinin daha pozitif değerlere kaydığı gözlenmiştir. İnhibitör etkinliği, 20°C sıcaklık ve 2000 ppm derişimde %47,8 olarak elde edilmiştir. Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artış, inhibitör etkinliklerinde ise azalma gözlenmiştir. 50°C sıcaklıkta elde edilen etkinlik değeri %29,6 olmuştur. Bu durum D-Phenylalanine inhibitörünün %1 H₂SO₄ ortamında yüksek sıcaklıklarda etkili bir inhibitör olmadığını göstermektedir.

İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimi incelendiğinde; inhibitör derişimi 2000 ppm'den 5000 ppm'e artırılmasına rağmen inhibitör etkinliğinin çok fazla değişmediği gözlenmiştir.

Çizelge 4.16'ya bakıldığında çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklıktaki korozyon potansiyellerinin derişim arttıkta daha negatif değerlere kaydığı görülmektedir. Bu durum, D-Phenylalanine inhibitörünün H₂SO₄ zeltisi içerisinde katodik türde bir inhibitör gibi davrandığını göstermektedir.

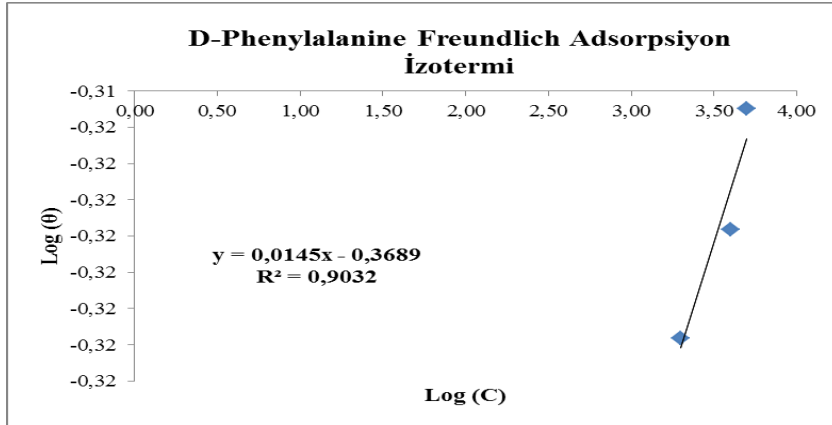
D-Phenylalanine'nin adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin adsorpsiyon izoterm grafikleri çizilmiştir. şekil 4.70'de verilen izotermelerden ve R değerlerinden görüleceği üzere D-Phenylalanine'nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Frumkin adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermektedir.

Frumkin adsorpsiyon izotermi adsorplanan moleküllerin birbirleriyle etkileştiğini ve yeni moleküllerin adsorpsiyonunu itme veya çekme kuvvetleriyle etkilediğini söyler [23]. Burada α terimi adsorpsiyon bölgesindeki moleküler etkileşimi tanımlamaktadır. α 'nın pozitif değeri inhibitörün molekülleri ile yüzey arasında çekim kuvveti olduğunu ifade etmektedir [27].

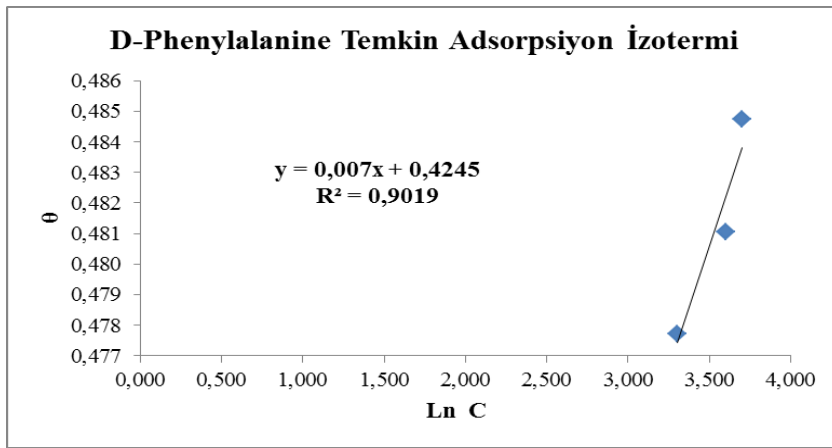


(a)

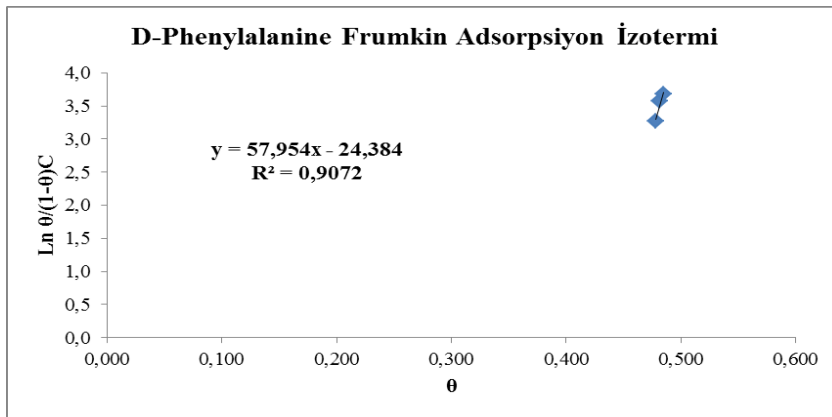
- şekil 4.70. a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi
d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



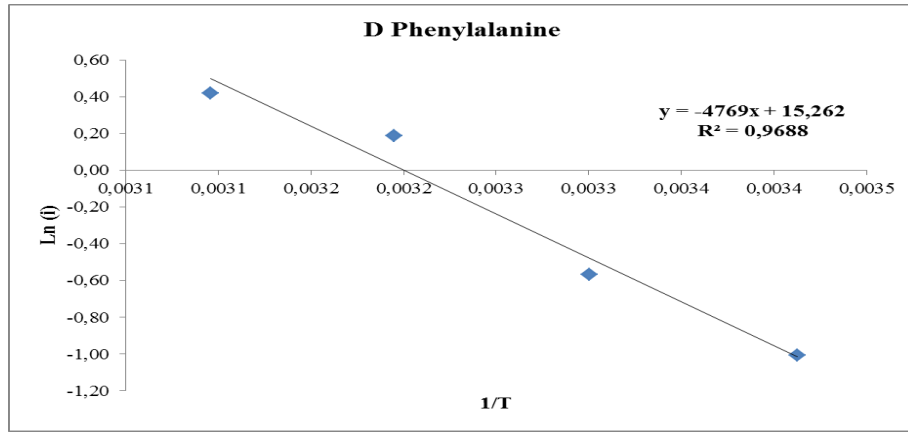
(c)



(d)

Şekil 4.70. (Devam) a) D-Phenylalanine Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) D-Phenylalanine Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) D-Phenylalanine Temkin adsorpsiyon izotermi
d) D-Phenylalanine Frumkin adsorpsiyon izotermi

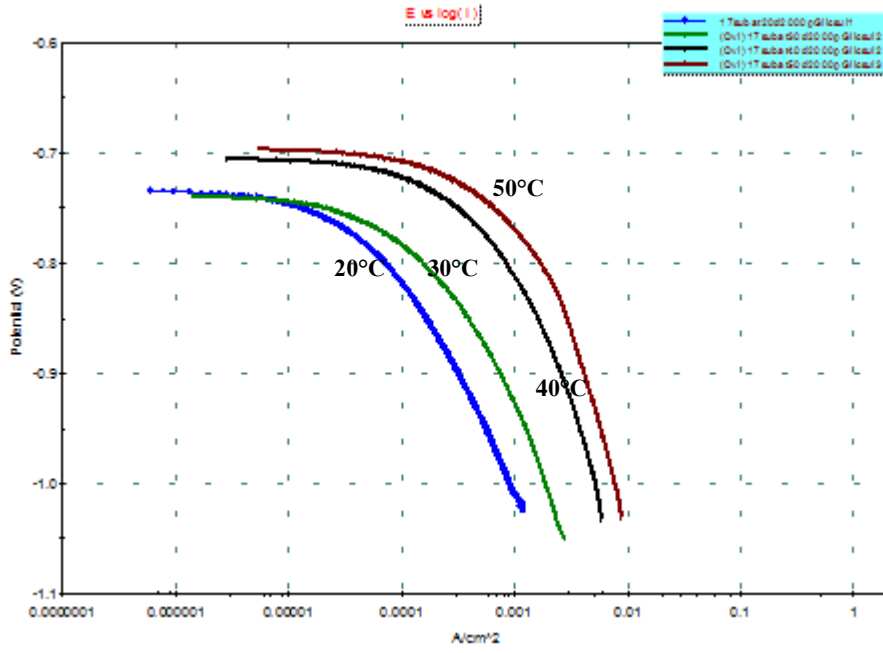
D-Phenylalanine'nin 2000 ppm'de Şekil 4.71'de verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş. 4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm D-Phenylalanine çözeltisi için aktivasyon enerjisi 39649 J/mol olarak bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin yüksek olması korozyon reaksiyonun gerçekleşmesinin daha zor olduğunu göstermektedir. Yani metalin çözünmesi zorlaşmış böylelikle korozyon hızı da azalmıştır.



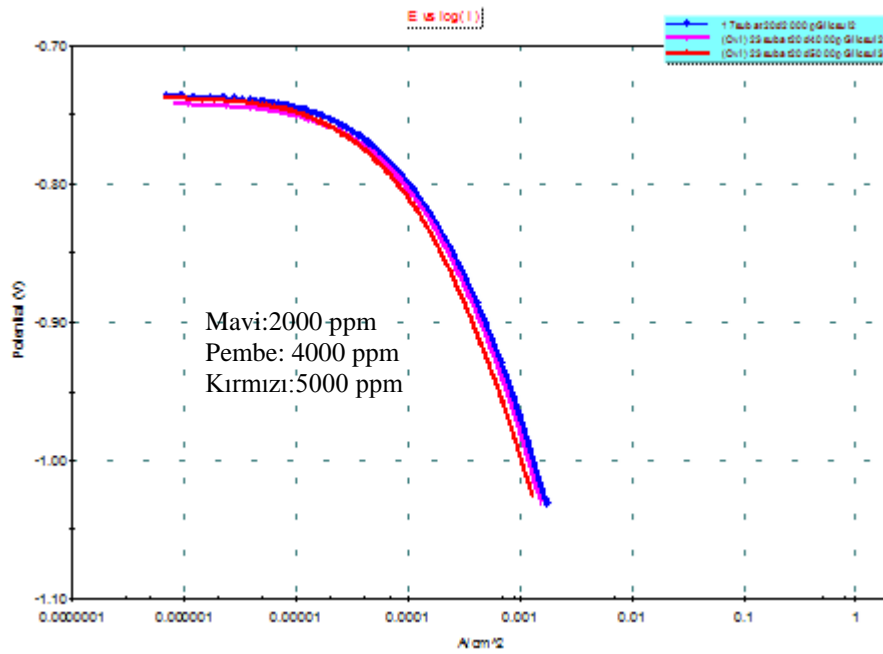
Şekil 4.71. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm D-Phenylalanine çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.4.2. Glycolic acid

Glycolic acid'in, kütlece %1'lik H_2SO_4 çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.72'de verilmiştir. İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 2000–5000 ppm aralığında değişen derişimlerde Glycolic acid ilave edilmiştir. Farklı derişimlerde yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.73'te verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.17'de gösterilmiştir.



Şekil 4.72. Glycolic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.73. Glycolic acid için 25°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.17. Kütlece %1 H₂SO₄ ortamında Glycolic acid derişimine ve sıcaklığa bağı olarak değişen korozyon parametreleri

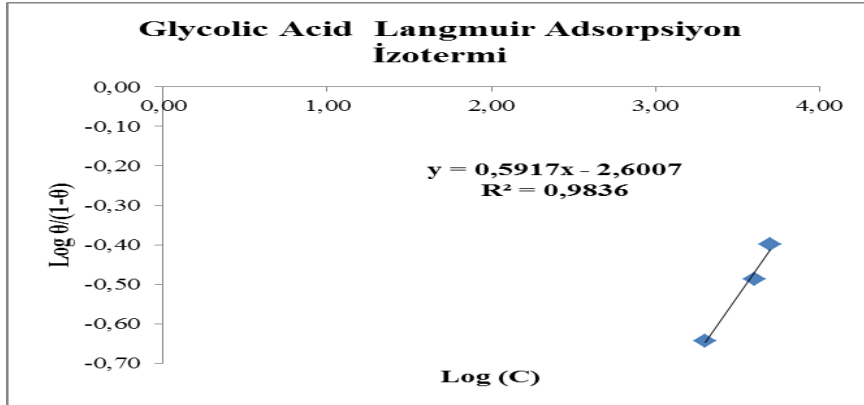
Glycolic acid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)
2000	-735	0,15	18,5	-744	0,36	29,2	-704	1,52	29,8	-698	2,69	27,5
4000	-737	0,14	24,6									
5000	-737	0,13	28,5									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artışlar gözlenmiştir. 20°C'da inhibitör etkinliği %18 olarak hesaplanmış, sıcaklığın 50°C olduğu durumda %43 olarak elde edilmiştir. Genel itibariyle sıcaklığın artmasıyla inhibitör etkinliğinin arttığı, korozyon potansiyelinin ise daha pozitif değerlere kaydığı Çizelge 4.17'de görülmektedir.

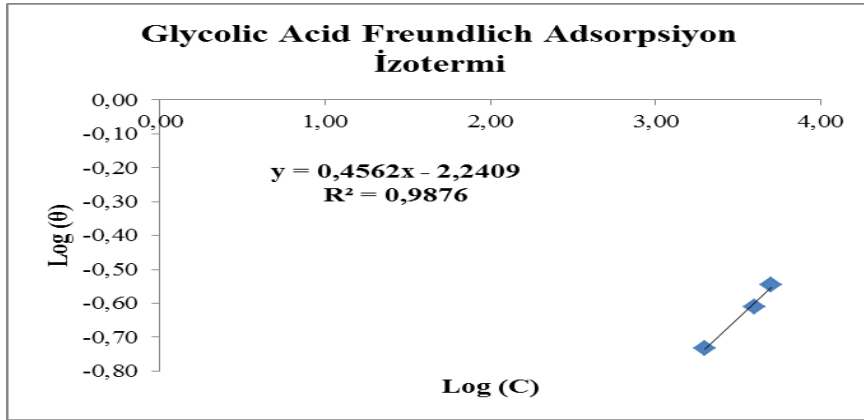
Glycolic acid inhibitörü için derişim arttıkça korozyon hızı azalmış, inhibitör etkinliği artmıştır. Eklenen inhibitör derişiminin artmasıyla korozyon potansiyellerinde değişiklik görülmemiştir. Bu durumda Glycolic acid inhibitörü %1 H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki alüminyumun korozyonunda karma türde inhibitör olarak davranmaktadır.

Glycolic acid'nin adsorpsiyonun hangi tür izoterme uygun olduğunu belirlemek amacıyla Langmuir, Freundlich, Temkin ve Frumkin adsorpsiyon izoterm grafikleri çizilmiştir. Şekil 4.74'te verilen izotermlerden ve R değerlerinden görüleceği üzere Glycolic acid'nin metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Freundlich adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermektedir.

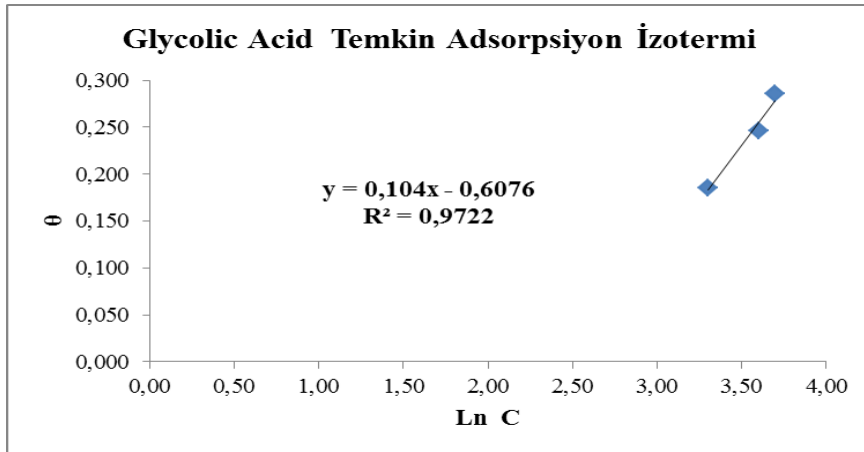
Freundlich adsorpsiyon izotermindedir, adsorbanın (metal yüzeyinin) değişik adsorpsiyon potansiyellerinde heterojen bir yüzeye sahip olduğu kabul edilmiştir.



(a)

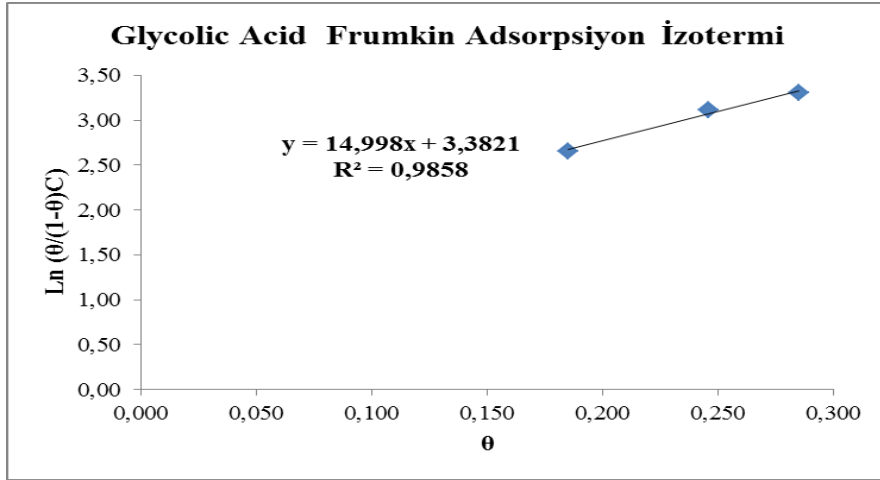


(b)



(c)

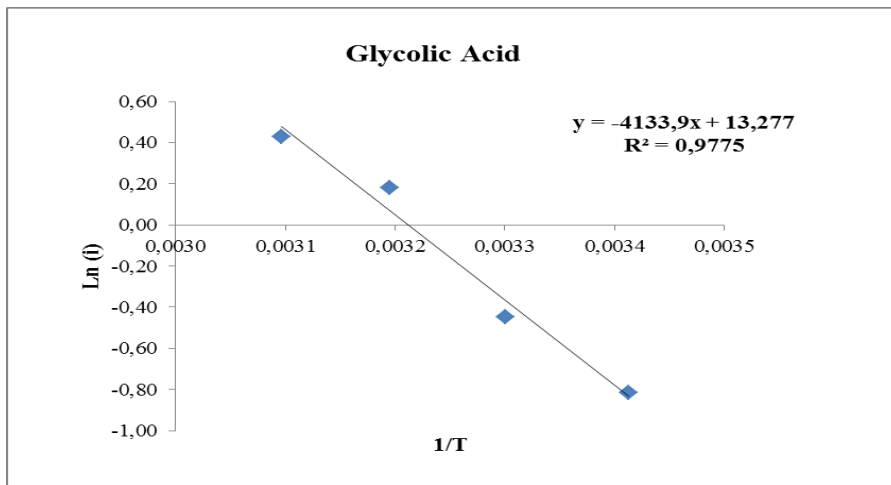
Şekil 4.74. a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(d)

Şekil 4.74 (Devam) a) Glycolic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) Glycolic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) Glycolic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) Glycolic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

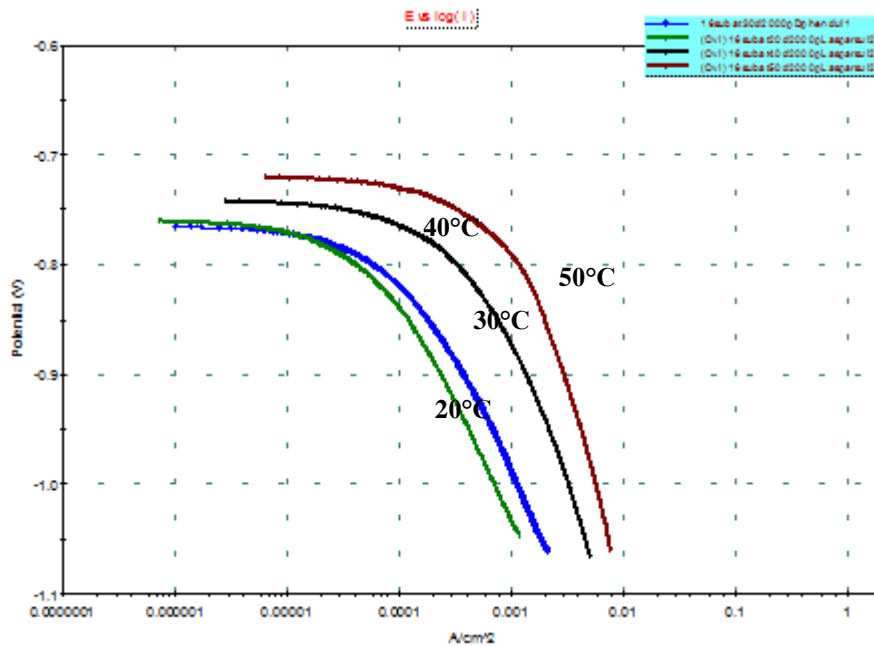
Glycolic acid'in 2000 ppm'de Şekil 4.75.'te verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş. 4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm Glycolic acid çözeltisinde aktivasyon enerjisi 34369 J/mol bulunmuştur. Aktivasyon enerjisinin inhibitörsüz ortamdakine göre düşük çıkması kimyasal adsorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir.



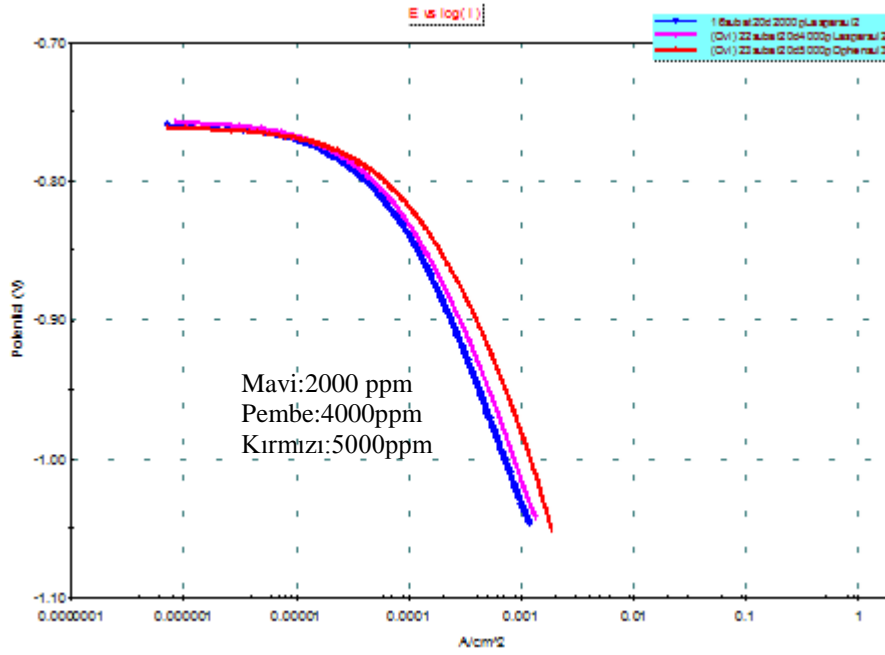
Şekil 4.75. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm Glycolic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

4.4.3. L-Aspartic acid

L-Aspartic acid'in, kütlece %1'lik H_2SO_4 çözeltisindeki alüminyum elektrotun korozyonu üzerindeki inhibisyon etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; 20°C, 30°C, 40°C ve 50°C sıcaklıklarda ve 2000 ppm derişimde deneyler yapılmıştır. Elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.76'da verilmiştir. İnhibitör etkinliğinin derişimle değişimini incelemek için çözeltiye 2000–5000 ppm aralığında değişen derişimlerde L-Aspartic acid ilave edilmiştir. Farklı derişimlerde yapılan potansiyometrik deneyler sonucu elde edilen katodik polarizasyon eğrileri Şekil 4.77'de verilmiştir. Farklı sıcaklık ve derişimlere ait deney sonuçları Çizelge 4.18'de gösterilmiştir.



Şekil 4.76. L-Aspartic acid için 2000 ppm derişim ve farklı sıcaklıklarda elde edilen katodik polarizasyon eğrileri



Şekil 4.77. L-Aspartic acid için 20°C sıcaklık ve farklı derişimlerde elde edilen katodik polarizasyon eğrileri

Çizelge 4.18. Kütlece %1H₂SO₄ ortamında L-Aspartic acid derişimine ve sıcaklığa bağlı olarak değışen korozyon parametreleri

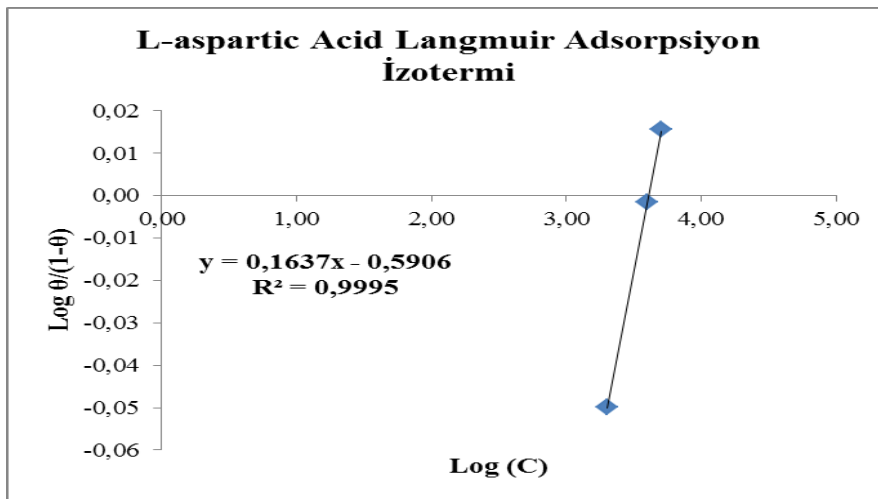
L- asparti cacid (ppm)	Katodik Polarizasyon Deney Sonuçları											
	20°C			30°C			40°C			50°C		
	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)	E _{corr} (mV)	İ _{corr} (mA)	İE (%)
2000	-759	0,10	47,1	-758	0,184	63,4	-738	0,858	60,4	-716	2,308	37,9
4000	-759	0,09	49,9									
5000	-751	0,09	50,9									

Sıcaklık arttıkça korozyon akımı değerlerinde artışlar gözlenmiştir. 20°C’de inhibitör etkinliği %47 olarak hesaplanmış, sıcaklığın 50°C olduğu durumda %38 olarak elde edilmiştir. 40°C’a kadar inhibitör etkinliğinin arttığı, 50°C’da ise düşüş gösterdiği, artan sıcaklıkla korozyon potansiyelinin daha pozitif değerlere kaydığı Çizelge 4.18’de görülmektedir.

Derişim arttıkça korozyon akımında çok küçük azalma, inhibitör etkinliğinde ise artış görülmüştür. 2000 ppm derişimde %47, 5000 ppm derişimde ise %51 etkinlik değeri

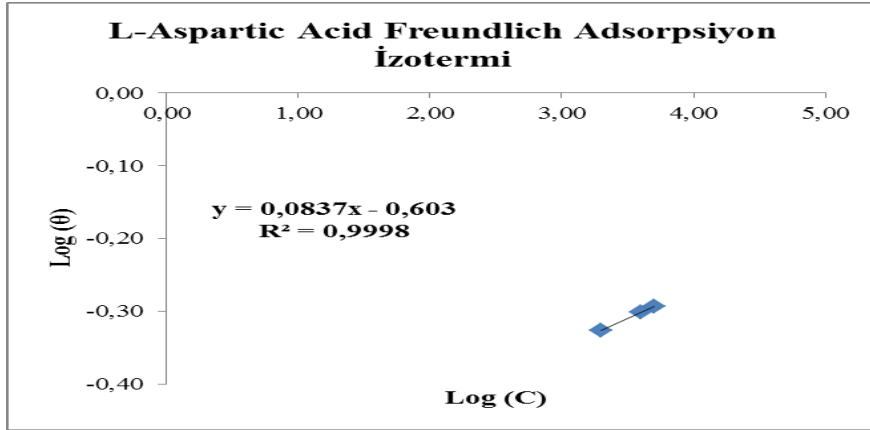
elde edilmiştir. Çizelge 4.18'den görüleceği üzere çalışılan inhibitörün 20°C sıcaklık ve farklı derişimdeki korozyon potansiyellerinin birbirine yakın olduğu gözlenmiştir. Bu durumda L-Aspartic acid inhibitörü %1 H₂SO₄ çözeltisi içerisindeki alüminyumun korozyonunda karma türde inhibitör olarak davranmaktadır.

Şekil 4.78'de verilen izotermlerden ve R değerlerinden görüleceği üzere L-Aspartic acid'in metal yüzeyindeki adsorpsiyonu Freundlich Adsorpsiyon izotermine uygunluk göstermektedir. Freundlich adsorpsiyon izoterminde, adsorbanın (metal yüzeyinin) değişik adsorpsiyon potansiyellerinde heterojen bir yüzeye sahip olduğu kabul edilmiştir

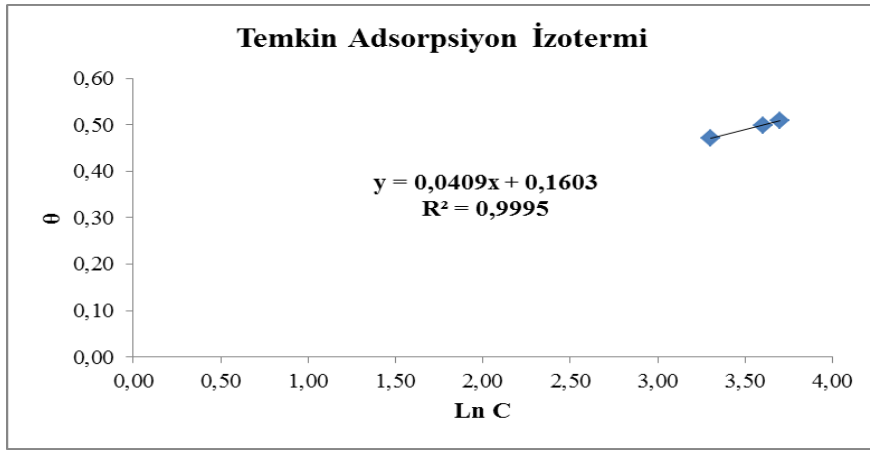


(a)

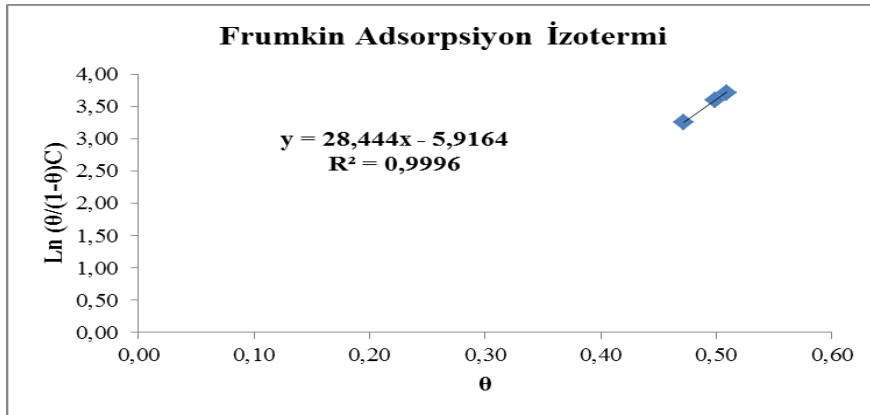
- Şekil 4.78. a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
 b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
 c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
 d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi



(b)



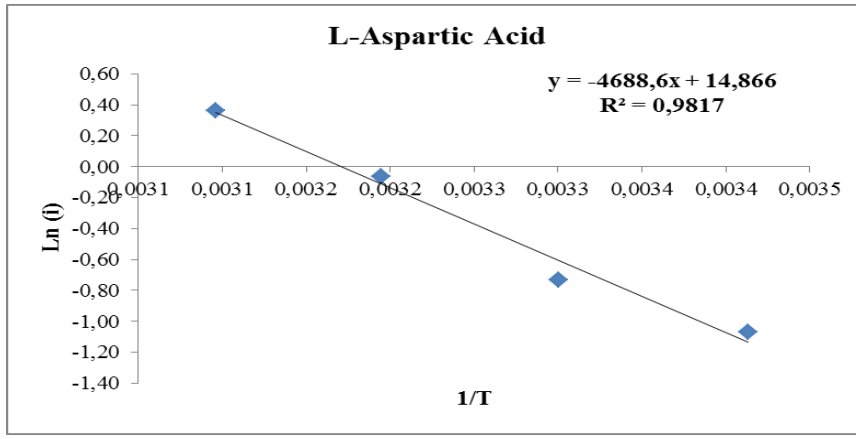
(c)



(d)

Şekil 4.78.(Devam) a) L-Aspartic acid Langmuir adsorpsiyon izotermi
b) L-Aspartic acid Freundlich adsorpsiyon izotermi
c) L-Aspartic acid Temkin adsorpsiyon izotermi
d) L-Aspartic acid Frumkin adsorpsiyon izotermi

L-Aspartic acid'in 2000 ppm'de Şekil 4.79'da verilen $\ln i - 1/T$ grafikleri çizilmiş, Arrhenius denklemi (Eş. 4.3) yardımıyla aktivasyon enerjisi (E_a) hesaplanmıştır. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm L-Aspartic acid çözeltisinde aktivasyon enerjisi 38981 J/mol bulunmuştur. Aktivasyon enerjisi inhibitörsüz ortamdakinden daha yüksek olması bize korozyon hızının azaldığını yani korumanın gerçekleştiğini göstermektedir.



Şekil 4.79. Kütlece %1 H_2SO_4 + 2000 ppm L-Aspartic acid çözeltisi için elde edilen $\ln i - 1/T$ grafiği

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

a) Alüminyumun asidik ortamdaki korozyonunu önlemek amacıyla L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Cystine, N-Acetyl-L-cysteine, L-Arginine, D-Alanine, L-Methionine, L-Asparagine Monohydrate, Glycolic acid, D-Valine, D-Phenylalanine, L-Aspartic acid, DL-Aspartic acid , D(-) Mandelic acid, L-Leucine, Oxalic acid dihydrate, L-Histidine inhibitörleri ile çalışılmıştır.

-Tüm inhibitörler ile kütlece %1'lik HCl çözeltisi içerisinde 20°C sıcaklık ve 2000 ppm derişimde yapılan deneylerde N-Acetyl-L-cysteine, DL-Aspartic acid , D(-) Mandelic acid, L-Aspartic acid, Oxalic acid dihydrate, Glycolic acid, D-Phenylalanine, L-Arginine, L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Methionine ve L-Histidine inhibitörlerinden yüksek inhibitör etkinliği elde edilmiştir. Bu inhibitörlerin etkinlikleri sırasıyla, %91,3, %91,1, %90,3, %89,2, %88,1, %85,8, %85,8, %85,6, %83, %68,5 ve %66,6 olarak bulunmuştur.

-İnhibitör etkinliğinin, inhibitör derişimiyle değişimini incelemek amacıyla yüksek etkinlik değeri elde edilen inhibitörler ile 20°C sıcaklık ve 500 - 3000 ppm aralığındaki farklı derişimlerde yapılan deneylerde L-Aspartic acid için 1000 ppm derişimde %74 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %91'e çıkmıştır. D-Phenylalanine için 1000 ppm'de %78 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %96 olarak elde edilmiştir. D(-) Mandelic acid için ise 1000 ppm'de %84 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %91'e çıkmıştır.

-DL-Aspartic acid için 500 ppm'de %84 olarak elde edilen etkinlik değeri 3000 ppm'de %93; L-Arginine için 500 ppm'de %31 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %83; L-Cysteine hydrochloride monohydrate için 500 ppm'de %76 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %84; N-Acetyl-L-cysteine için 500 ppm'de %76 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %93; Oxalic acid dihydrate için 500 ppm'de %69 olan etkinlik değeri 3000 ppm'de %92 olarak elde edilmiştir.

- L-Methionin inhibitörü için 2000 ppm'de %69 inhibitör etkinliği elde edilmiş daha fazla etkinlik değeri elde edebilmek için daha yüksek derişimlerde çalışılmıştır. En yüksek etkinlik değeri 5000 ppm'de %81 olarak elde edilmiştir.
- Bütün inhibitörler için, inhibitör derişimi arttıkça inhibitör etkinliğinin arttığı görülmüştür.
- İnhibitör etkinliğinin sıcaklıkla değişimini incelemek için; L-Aspartic acid, DL-Aspartic acid , L-Arginine, D(-) Mandelic acid, N-Acetyl-L-cysteine, Oxalic acid dihydrate ve L-Methionine inhibitörleri için 2000 ppm sabit derişimde, D-Phenylalanine ve L-Cysteine hydrochloride monohydrate inhibitörleri için 2500 ppm sabit derişimde, Glycolic acid için 1500 ppm sabit derişimde ve L-Histidine için 4000 ppm sabit derişimde; 20-50°C arası sıcaklık aralığında deneyler yapılmıştır. Oxalic acid dihydrate ve L-Methionine için sıcaklık arttıkça inhibitör veriminin arttığı gözlenmiştir. N-Acetyl-L-cysteine ve D-Phenylalanine için ise sıcaklığın artırılmasıyla inhibitör veriminde önemli bir değişiklik gözlenmemiştir. Diğer inhibitörler için sıcaklık arttıkça inhibitör etkinliğinde genellikle düşüş gözlenmiştir.
- Bu inhibitörlerin etkinliklerinin sıcaklıkla değişimleri incelendiğinde elde edilen en yüksek inhibitör etkinlikleri; N-Acetyl-L-cysteine %91,3 (20°C), DL-Aspartic acid %91,1 (20°C), D(-) Mandelic acid %90,3 (20°C), L-Aspartic acid %89,2 (20°C), Oxalic acid dihydrate %90,5 (30°C), Glycolic acid %82 (20°C), D-Phenylalanine %88,4 (30°C), L-Arginine %86,8 (40°C), L-Cysteine hydrochloride monohydrate %87,7 (30°C), L-Methionine %88 (50°C) ve L-Histidine %89,5 (50°C) olarak bulunmuştur.
- Kullanılan inhibitörlerin adsorpsiyon izotermi incelendiğinde L-Aspartic acid, D-Phenylalanine, DL-Aspartic acid , Glycolic acid, L-Arginine, L-Histidine, Oxalic acid dihydrate, L-Cysteine hydrochloride monohydrate ve L-Methionine inhibitörlerinin Frumkin adsorpsiyon izotermine; N-Acetyl-L-cysteine

inhibitörünün Langmuir adsorpsiyon izotermine; D(-) Mandelic acid inhibitörünün ise Freundlich Adsorpsiyon izotermine uyduğu görülmüştür.

- Ayrıca L-Aspartic acid, Glycolic acid, L-Arginine, L-Cysteine hydrochloride monohydrate, L-Histidine, D(-) Mandelic acid, N-Acetyl-L-cysteine ve Oxalic acid dihydrate inhibitörleri için Freundlich adsorpsiyon izotermi verilerinden yararlanılarak doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermi çizilmiş, daha sonra deneysel veriler bu eğri üzerinde gösterilerek θ değerleri karşılaştırılmıştır. Bütün grafiklerde deneysel verilerle doğrusallaştırılmamış Freundlich adsorpsiyon izotermine örtüştüğü görülmüş, Freundlich adsorpsiyon izotermi deneysel sonuçlarla desteklenmiştir.
- Çalışılan bütün organik inhibitörlerin inhibisyon etkinliklerini adsorpsiyon yoluyla gösterdikleri bilinmektedir. Bu durumda inhibitörlerin moleküler yapıları adsorpsiyonda önemli rol oynamaktadır. İnhibitör yapısında aromatik halkaların, oksijen, azot, kükürt gibi heteroatomların, uzun zincirli alifatik grupların bulunması inhibisyon etkinliğini önemli derecede artırmaktadır. Organik inhibitörlerin yapısında bulunan ve yüzeye adsorplanmayı sağlayan azot, oksijen, kükürt ve fosfor gibi hetero atomların etkinlikleri $O < N < S < P$ olarak sıralanmaktadır [32]. Aromatik halkadaki elektronlar ve heteroatomlardaki elektron çiftleri alüminyumla çözünmeyen kompleksler oluşturarak yüzeyi saldırgan iyonlardan korurlar. [27]. Büyük moleküllerin yüzeyi kaplama yeteneği yüksektir. Böylelikle büyük moleküller yüzeye adsorplanmayı kolaylaştırmaktadır. Molekül yapısındaki -SH grubunun yapısında serbest elektron çifti bulundurması adsorpsiyonda önemli rol oynamaktadır. İnhibitörlerin adsorpsiyon derecesi aynı zamanda metalin yüzey yükü ve doğası, moleküldeki adsorpsiyon sitelerinin sayısına inhibitörün adsorpsiyon şekli, inhibitörün kimyasal yapısı ve çözeltinin tipi gibi faktörlere bağlıdır.
- Moleküler yapısının büyüklüğü, diğer atomların yanında S atomu gibi kendini adsorpsiyon merkezi olarak sunan heteroatom içermesi yönünden en etkin inhibitör N-Acetyl-L-Cystein olmuştur. Ayrıca adsorpsiyon merkezi sayısının daha fazla

olması N-Acetyl-L-Cystein'in L-Cystein Hydrochloride Monohydrat'ın ve L-Methionine'nin yanında daha etkili olmasına neden olmuştur. Bunun yanında kükürt atomuna bağlanan metil grubu dolayısıyla meydana gelen sterik engellerden ve molekül ağırlığının daha düşük olmasından dolayı L-Methionine'nin etkinliği diğer inhibitörlere göre daha düşük elde edilmiştir.

- L-Arginine yapısında fazla sayıda heteroatom bulundurmasına rağmen azot atomlarındaki tautomerik yapı ve sterik engellerden dolayı benzer molekül yapısına sahip L-Aspartic acid ve DL-Aspartic acid 'e göre daha düşük etkinlik göstermiştir.
- Yapılan deneyler sonucunda moleküler yapısında aromatik halka bulunduran D-Mandelic Acid, D-Phenylalanine ve L-Histidin'in de inhibitör etkinlikleri yüksek bulunmuştur. İndol, pirol ve S-CH₃ grubu gibi grupların aminoasitte bulunması aminoasit üzerindeki pozitif yükün kararlılığını azaltır [27]. Bu durumda yapısında pirol grubu bulunduran L-Histidine için, D-Mandelic Acid ve D-Phenylalanine'den daha düşük inhibitör etkinliği elde edilmiştir.
- Aktivasyon enerjileri inhibitörsüz ortam için 43423 J/mol; N-Acetyl-L-cysteine, DL-Aspartic acid , D(-) Mandelic acid, L-Aspartic acid, Oxalic acid dihydrate, Glycolic acid, D-Phenylalanine, L-Arginine, L-Cysteine hydrochloride monohydrate için sırasıyla 43706 J/mol, 45896 J/mol, 44218 J/mol, 45043 J/mol, 43814 J/mol, 44851 J/mol, 45407 J/mol, 54478 J/mol, 47505 J/mol olarak hesaplanmıştır. İnhibitörlü ortamların aktivasyon enerjilerinin inhibitörsüz ortama göre yüksek çıkması korozyona karşı koruma sağlandığını göstermektedir. L-Histidine ve L-Methionine inhibitörleri için hesaplanan aktivasyon enerjisi değerleri ise inhibitörsüz ortamdaki değerlere göre daha düşük olarak sırasıyla 37184 J/mol ve 33186 J/mol elde edilmiştir. Bu inhibitörlerin aktivasyon enerjilerinin inhibitörsüz ortamdakine göre daha düşük çıkması kimyasal adsorpsiyonun gerçekleştiğini göstermektedir.

b) Verimi yüksek çıkan L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine inhibitörleri ile kütlece %1'lik H₂SO₄ çözeltisinde çalışılmıştır.

-2000 ppm derişim ve 20-50°C sıcaklık aralığında deneyler yapılmış, 20°C sıcaklıkta L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine inhibitörleri için elde edilen inhibitör etkinlikleri sırasıyla %47, %18 ve %48'dir. Sıcaklık arttıkça D-Phenylalanine inhibitörü için etkinlik değerlerinde düşüş, L- Aspartic Acid, Glycolic acid için ise etkinlik değerlerinde artış gözlenmiştir. L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine için en yüksek inhibitör etkinlikleri sırasıyla, %63,4 (30°C), %29,8 (40°C), %47,8 (20°C) olarak elde edilmiştir.

-L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine ile 20°C ve 2000 – 5000 ppm arasında değişen derişimlerde yapılan deneylerde inhibitör etkinliklerinde önemli dercede artış gözlenmemiş, en yüksek verimler 5000 ppm'de sırasıyla %51, %28 ve %48 olarak elde edilmiştir.

-Çalışılan inhibitörlerin adsorpsiyon izotermi incelenmiş; L- Aspartic Acid ve Glycolic acid'in Freundlich Adsorpsiyon izotermine, D-Phenylalanine'nin ise Frumkin Adsorpsiyon izotermine uyduğu görülmüştür.

-Aktivasyon enerjileri inhibitörsüz ortam için 35630 J/mol; L- Aspartic Acid, Glycolic acid ve D-Phenylalanine için sırasıyla 38981 J/mol, 34369 J/mol, 39649 J/mol olarak hesaplanmıştır. Aktivasyon enerjilerinin hesaplanmasından elde edilen sonuçlar korozyona karşı korumanın gerçekleştiğini göstermektedir.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarda, farklı metaller veya farklı asit çözeltileri ile çalışılabilir ya da HCl ve H₂SO₄ ortamında amino asitlerin ikili karışımları ile deneyler yapılarak inhibitör verimleri araştırılabilir.

KAYNAKLAR

1. Doruk, M., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Orta Doğu Teknik Üniversitesi*, Ankara, 1,9-10, 17, 57-59 (1982).
2. İnternet: Korozyon Derneği Türkiye “Korozyon ve Önemi” <http://www.korozyondernegi.org.tr/tr/> (2009).
3. ÜNERİ, S., “Korozyon İnhibitörlerinin Prensipleri ve Pratiği”, *Segem*, Ankara, 121 (1984).
4. Üneri, S., “Korozyon ve Önlenmesi”, *Korozyon Derneği*, Ankara, 29-31, 136-138, 123-127, 167, 246 –249 (1998).
5. Bölük, T., “Folium Salviae (Adaçayı) ve Radix (Liquiritae) Glycrrhizae (Meyan Kökü)’nin Civa Çeliğinin Korozyonu Üzerine İnhibitör Etkisinin Araştırılması”, Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 3-5, 9, 11 (2005).
6. Doruk, M., “Korozyon Olayının Elektrokimyasal İlkeleri”, *Güzel İstanbul Matbaası*, Ankara, 4,13 (1972).
7. Yalçın, H., Koç, T., “Korozyon ve Katodik Koruma”, *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 15-22 (1995).
8. Yalçın, H., Koç, T., “Mühendisler İçin Korozyon”, *TMMOB Kimya Mühendisleri Odası*, Ankara, 1-17 (1998).
9. Brasunas, A. Des., “Corrosion Basics an Introduction”, *An Official Nace Publication Houston*, 127 – 134, (1984).
10. Boz, H., “Organik Maddelerin Asidik Çözeltilerde İnhibitör Etkinliklerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-10, 28, 33-35 (2011).
11. Özcan M., “Tiyoüre Ve Türevlerinin Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamda Korozyonuna Sistemantik Etkilerinin Elektrokimyasal Olarak İncelenmesi”, Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Adana, 11-13,17-20 (2005).
12. Erbil, M., “Korozyon İnhibitörleri ve İnhibitör Etkinliklerinin Saptanması”, *Segem*, Ankara, 148 (1985).
13. Yalçın, H., Koç, T., “Elektrokimya”, *Palme Yayıncılık*, Ankara, 21 (2007).
14. Topal, E., “Bazı Amino Asitlerin Sulu Çözeltilerde Paslanmaz Çeliğin Korozyonu Üzerine İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, *Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü*, Ankara, 8-10, 28, 35-37 (2007).

15. Kelly, R. G., Scully, J. R., Shoesmith D. W., Buchheit, R. G., "Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering", *Marcel Dekker*, New York, 4-6 (2003).
16. Akkum, V., "Galvanik Anotla Yapılan Katodik Koruma Uygulamalarında Anot Verimliliğinin Belirlenmesi ve Ölçülmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı*, Adana, 2 - 10 (2006).
17. Doğan, T., "Bakırın, Klorürlü Ortamdaki Elektrokimyasal Davranışlarına Glikoz, Maltoz, Nişasta ve Sodyum Bütiratın Etkisi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı*, Adana, 1 - 15 (2005).
18. Yalçın, H., Koç, T., "Betonarme Demirlerinin Korozyonu ve Önlenmesi", *Gazi Üniversitesi*, Ankara, 173-177 (2004).
19. Fontana, M. G., "Corrosion Engineering", *McGRAW-HILL*, New York, 4-5, 499-503 (1986).
20. Yüce, A.O., "Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, *Çukurova Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı*, Adana, 11-14 (2005).
21. Üneri, S., "Korozyon Test ve Kontrolleri, Elektrokimyasal Yöntemler", *Segem*, Ankara, 25 (1987).
22. Keleş, H., "Yumuşak Çeliğin Asidik Ortamdaki Korozyonuna Bazı Organik Maddelerin İnhibitör Etkilerinin İncelenmesi", Doktora Tezi, *Çukurova Üniversitesi Kimya Anabilim Dalı*, Adana, 1 - 2 (2008).
23. Maayta, A.K., Al-Rawashdeh, N.A.F., "Inhibition of acidic corrosion of pure aluminum by some organic compounds", *Corrosion Science*, 46: 1129–1140 (2004).
24. Lee, K.Y., Zhang, D.Q., Cai, Q.R., Gao, L.X., "Effect of serine, threonine and glutamic acid on the corrosion of copper in aerated hydrochloric acid solution", *Corrosion Science*, 50: 3615–3621 (2008).
25. Zhang, Q.B., Hua, Y.X., "Corrosion inhibition of aluminum in hydrochloric acid solution by alkylimidazolium ionic liquids", *Materials Chemistry and Physics*, 119: 57–64 (2010).
26. Umoren, S.A., Obot, I.B., Ebenso, E.E., Obi-Egbedi, N.O., "The Inhibition of aluminium corrosion in hydrochloric acid solution by exudate gum from *Raphia hookeri*", *Desalination*, 247: 561–572 (2009).
27. Sorkhabi, H.A., Ghasemi, Z., Seifzadeh, D., "The inhibition effect of some amino acids towards the corrosion of aluminum in 1 M HCl + 1 M H₂SO₄ solution", *Applied Surface Science*, 249: 408–418 (2005).

28. Solomon, M.M., Umoren, S.A., Udosoro, I.I., Udoh, A.P., “Inhibitive and adsorption behaviour of carboxymethyl cellulose on mild steel corrosion in sulphuric acid solution”, *Corrosion Science*, 52: 1317–1325 (2010).
29. Safak, S., Duran, B., Yurt, A., Türkoğlu, G., “Schiff bases as corrosion inhibitor for aluminium in HCl solution”, *Corrosion Science*, 54: 251–259 (2012).
30. Quraishi, M.A., Jamal, D., “Dianils as new and effective corrosion inhibitors for mild steel in acidic solutions”, *Materials Chemistry and Physics*, 78: 608–613 (2003).
31. Obot, I.B., Obi-Egbedi, N.O., “Fluconazole as an inhibitor for aluminium corrosion in 0.1M HCl”, *Colloids and Surfaces A: Physicochem. Eng. Aspects*, 330: 207–212 (2008).
32. Priya, A.R.S., Muralidharan, S., Velmurugan, S., Venkatachari, G., “Corrosion inhibitor for the chemical decontamination of primary coolant systems of nuclear power plants”, *Materials Chemistry and Physics*, 110: 269–275 (2008).
33. Issaadi, S., Douadi, T., Zouaoui, A., Chafaa, S., Khan, M.A., Bouet, G., “Novel thiophene symmetrical Schiff base compounds as corrosion inhibitor for mild steel in acidic media”, *Corrosion Science*, 53: 1484–1488 (2011).
34. Hammouti, B., Zerfaoui, M., Oudda, H., Kertit, S., Benkaddour, M., “Inhibition of corrosion of iron in citric acid media by aminoacids”, *Progress in Organic Coatings*, 51: 134–138 (2004).
35. Zerfaoui, M., Oudda, H., Hammouti, B., Kertit, S., Benkaddour, M., Mahdavian, M., Ashhari, S., “Corrosion inhibition performance of 2-mercaptobenzimidazole and 2-mercaptobenzoxazole compounds for protection of mild steel in hydrochloric acid solution”, *Electrochimica Acta*, 55: 1720–1724 (2010).
36. Amin, M.A., Khaled, K.F., Mohsen, Q., Arida, H.A., “A study of the inhibition of iron corrosion in HCl solutions by some amino acids”, *Corrosion Science*, 52: 1684–1695 (2010)
37. Khaled, K.F., “Corrosion control of copper in nitric acid solutions using some amino acids – A combined experimental and theoretical study”, *Corrosion Science*, 52: 3225–3234 (2010).
38. Barouni, K., Bazzi, L., Salghi, R., Mihit, M., Hammouti, B., Albourine, A., El Issami, S., “Some amino acids as corrosion inhibitors for copper in nitric acid solution”, *Materials Letters*, 62: 3325–3327 (2008).
39. Zhang, D.Q., Cai, Q.R., Hea, X.M., Gao, L.X., Zhou, G.D., “Inhibition effect of some amino acids on copper corrosion in HCl solution”, *Materials Chemistry and Physics*, 112: 353–358 (2008).

40. Yang, Y., Li, W., Cai, L., Hou, B., “Electrochemical and Quantum chemical study of purines as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl”, *Electrochimica Acta*, 53: 5953-5960 (2008).
41. Levenspiel, O., “Chemical Reaction Engineering”, *John Wiley & Sons*, New York, 27 (1999).

ÖZGEÇMİŞ**Kişisel Bilgiler**

Soyadı, Adı : YIKMAZ, Fehmiye Esra
Uyruğu : T.C.
Doğum tarihi ve yeri : 15.03.1986, ANKARA
Medeni Hali : Bekar
Telefon : 0 (312) 296 68 98
e-mail : feyikmaz@gmail.com

Eğitim**Derece**

Lisans

Eğitim Birimi

Gazi Üniversitesi/Müh.Fak.

Kimya Mühendisliği Bölümü

Mezuniyet tarihi

2009

Lise

50. Yıl Lisesi (Y.D.A)

2004

İş Deneyimi**Yıl**

2011-Halen

Yer

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı

Görev

İş Müfettişi Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce