ÇANKIRI KARATEKİN ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

TÜRK KAHVESİNİN HİDROKLORİK ASİT (HCl) ORTAMINDA KARBON ÇELİĞİ L 80 ÜZERİNDEKİ YEŞİL ASİT KOROZYON ÖNLEME REAKSİYONU VE TERMODİNAMİK PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Mustafa Yousif HUSSEİN

KİMYA MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ÇANKIRI
2023

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Mustafa Yousif HUSSEİN tarafından hazırlanan **"Türk Kahvesinin Hidroklorik Asit (HCI) Ortamında Karbon Çeliği L 80 Üzerindeki Yeşil Asit Korozyon Önleme Reaksiyonu ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi"** adlı tez çalışması 09/02/2023 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalında **Yüksek Lisans Tezi** olarak kabul edilmiştir.

Danışman **:** Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülten YALÇIN

Jüri Üyeleri **:**

Başkan **:** Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülten YALÇIN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Ercan AYDOĞMUŞ
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Firat Üniversitesi

Üye **:** Dr. Öğr. Üyesi Muhammed Bora AKIN
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı
Çankırı Karatekin Üniversitesi

Yukarıdaki sonucu onaylarım

Prof. Dr. İbrahim ÇİFTÇİ

Enstitü Müdürü

ETİK İLKE VE KURALLARA UYGUNLUK BEYANNAMESİ

Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğine göre hazırlamış olduğum "**Türk Kahvesinin Hidroklorik Asit (HCI) Ortamında Karbon Çeliği L 80 Üzerindeki Yeşil Asit Korozyon Önleme Reaksiyonu ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi**" konulu tezin bana ait, özgün bir çalışma olduğunu; çalışmamın hazırlık, veri toplama, analiz ve bilgilerin sunumu olmak üzere tüm aşamalarında bilimsel etik ilke ve kurallara uygun davrandığımı, tezin içerdiği yenilik ve sonuçları başka bir yerden almadığımı, tezde kullandığım eserleri usulüne göre kaynak olarak gösterdiğimi, tezin Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'nden başka bir bilim kuruluna akademik amaç ve unvan almak amacıyla vermediğimi ve bu çalışmanın Çankırı Karatekin Üniversitesi tarafından kullanılan "Bilimsel İntihal Tespit Programı" ile tarandığını, "intihal içermediğini" beyan ederim. Çalışmamla ilgili yaptığım bu beyana aykırı bir durumun saptanması halinde ortaya çıkacak tüm ahlaki ve hukuki sonuçlara razı olduğumu bildiririm. Çankırı Karatekin Üniversitesi Lisansüstü Eğitim-Öğretim ve Sınav Yönetmeliğinin ilgili maddeleri uyarınca gereğinin yapılmasını arz ederim (09/02/2023).

Mustafa Yousif HUSSEİN

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

TÜRK KAHVESİNİN HİDROKLORİK ASİT (HCI) ORTAMINDA KARBON ÇELİĞİ L 80 ÜZERİNDEKİ YEŞİL ASİT KOROZYON ÖNLEME REAKSİYONU VE TERMODİNAMİK PARAMETRELERİN İNCELENMESİ

Mustafa Yousif HUSSEİN

Çankırı Karatekin Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülten YALÇIN

Bu çalışmada, "Türk Kahvesinin Hidroklorik Asit (HCI) Ortamında Karbon Çeliği(C) L 80 Üzerindeki Yeşil Asit Korozyon Önleme Reaksiyonu ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi" çalışması yapılmıştır. Hidroklorik asit ile asitlendirme, petrol rezervuarlarının geçirgen verimliliğini arttırmak ve petrol kuyularının temizliğini sağlamak amacı ile uygulanır. Bu yöntem, zamanla petrol kuyusunun sondaj ve üretim için kullanılan ekipmanlarında ve borularında korozyona neden olur. Bu sebeple kullanılan HCl'in, karbon çeliği L80 üzerinde meydana gelecek korozyonu önleme çalışmaları önem taşımaktadır. Çevre dostu yeşil inhibitörler korozyon önleme çalışmalarında kullanılmaktadır. Bu çalışmadaki amaç, ağırlık kaybı testi ve yüzey çalışmaları yaparak korozyon hızının hesaplanması ve korozyon önleyici etkinliğin hesaplanması ve değerlendirilmesi çalışmalarıdır.

Korozyon hızının 3, 4, 5, 6 saat olduğu ve 30, 50, 60, 70, 80, 90 °C'de korozyon önleyici Türk kahvesinin 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 g ağırlık kaybı yöntemi hesaplamaları yapılmıştır. Sonrasında, inhibitör tarafından inhibisyon verimlilikleri % E ve yüzey kaplaması Θ hesaplanmıştır. Ayrıca korozyon sürecinde aktivasyon enerjisi Ea, adsorpsiyon ısısı ΔH_{ads}, termodinamik denge halindeyken reaksiyon parametreleri incelendi. Adsorpsiyon süreci için sabit (K), Gibbs serbest enerjisindeki değişim ΔG_{ads} ve adsorpsiyon süreci içinde entropi değişimi ΔS_{ads} hesaplanmıştır ve farklı sıcaklıklarda gerçekleştirilen denemelerde, adsorpsiyon dengesine ait deneysel veriler Langmuir izotermi ile değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Langmuir izoterm modelinin daha uygun olduğunu göstermiştir. Elde edilen sonuçlar, korozyon önleyicinin Türk kahvesi, asidik ortamda % 15 HCl'de C - Çelik L 80 alaşımı için iyi bir korozyon önleyici olduğunu göstermiştir.

Ayrıca, yüzey çalışmaları için SEM, EDX ve FTIR analizleri yapılarak metal yüzeyin Türk kahvesi inhibitörü ile korunduğunu göstermiştir.

2023, 119 sayfa

ANAHTAR KELİMELER: Karbon çeliği L80 korozyonu, Hidroklorik asit (HCl), Türk kahvesi, Yeşil asit korozyon önleyicisi, Korozyon ağırlık kaybı ölçümü.

ABSTRACT

Master of Science Thesis

TURKISH COFFE AS A GREEN ACID CORROSION INHIBITOR OF CARBON STEEL L 80 IN HYDROCHLORIC ACID (HCl) AND INVESTIGATION OF THE THERMODYNAMIC PARAMETERS OF THE REACTION

Mustafa Yousif HUSSEIN

Çankırı Karatekin University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Chemical Engineering

Advisor: Asst. Prof. Dr. Zehra Gülten YALÇIN

In this study, the study of "Green Acid Corrosion Prevention Reaction and Thermodynamic Parameters of Turkish Coffee on Carbon Steel(C) L 80 in Hydrochloric Acid (HCI) Environment" was conducted. Acidification with hydrochloric acid is applied to increase the permeability of oil reservoirs and to ensure the cleanliness of oil wells. This method causes corrosion in the oil well's equipment and pipes used for drilling and production over time. For this reason, it is important to prevent corrosion of the HCl used on carbon steel L80. Environmentally friendly green inhibitors are used in corrosion prevention studies. The aim of this study is to calculate the corrosion rate and to calculate and evaluate the anti-corrosion effectiveness by performing weight loss test and surface studies. Calculations of 1,2,3,4,5,6,7 g weight loss method of anti-corrosion Turkish coffee at 30, 50, 60, 70, 80, 90 °C and corrosion rate of 3, 4, 5, 6 hours were made. . Afterwards, the inhibition efficiencies E% and the surface coverage Ɵ by the inhibitor were calculated. In addition, the activation energy Ea, the heat of adsorption ΔHads, and the reaction parameters in the thermodynamic equilibrium state were investigated during the corrosion process. The constant (K) for the adsorption process, the change in Gibbs free energy ΔGads and the entropy change ΔSads during the adsorption process were calculated, and the experimental data of the adsorption equilibrium were evaluated with the Langmuir isotherm in the experiments carried out at different temperatures. The obtained results showed that the Langmuir isotherm model is more suitable. The obtained results showed that the corrosion inhibitor is a good corrosion inhibitor for C - Steel L 80 alloy in Turkish coffee, 15 % HCl in acidic medium. In addition, SEM, EDX and FTIR analyzes were performed for surface studies, showing that the metal surface was protected with a Turkish coffee inhibitor.

2023, 119 pages

Keywords: Carbon steel L 80 corrosion, Hydrochloric acid (HCl), Turkish coffee, Green acid corrosion inhibitör, Corrosion weight loss measurement

ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR

"Türk Kahvesinin Hidroklorik Asit (HCI) Ortamında Karbon Çeliği L 80 Üzerindeki Yeşil Asit Korozyon Önleme Reaksiyonu ve Termodinamik Parametrelerin İncelenmesi" adlı bu çalışma 2021-2022 yılları arasında hazırlanarak Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü'ne "Yüksek Lisans Tezi" olarak sunulmuştur.

Öncelikle bu işi bitirebilme gücünü ve sıhhatini veren Allah'a şükrediyorum. Her zaman beni destekleyen ve bana inanılmaz bir anlayış gösteren değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Zehra Gülten YALÇIN'a sonsuz teşekkür ederim. Dr. Ghassan Burhan Yaqoub'a da tavsiyeleri ve rehberlikleri için teşekkür ederim.

Hayatım boyunca beni destekleyen anneme teşekkürlerimi sunarım. Değerli aileme, gösterdikleri destek ve sabırdan dolayı şükranlarımı sunarım.

Ayrıca hayatımın başlangıcından bu ana kadar bana ders veren tüm hocalarıma da teşekkür ederim.

Mustafa Yousif HUSSEIN
Çankırı, Şubat 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET ..... **i**
ABSTRACT ..... **ii**
ÖNSÖZ VE TEŞEKKÜR ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **iv**
SİMGELER DİZİNİ ..... **vi**
KISALTMALAR DİZİNİ ..... **vii**
ŞEKİLLER DİZİNİ ..... **viii**
ÇİZELGELER DİZİNİ ..... **xiv**
1. GİRİŞ **1**
1.1Korozyonun Temelleri **1**
1.2Korozyona Etki Eden Faktörler **2**
1.3Korozyonun Önlenmesi **5**
1.4Korozyon Önleyici **9**
1.5Korozyon İnhibitörleri Türleri **9**
1.6Yeşil İnhibitörler **10**
2. LİTERATÜR ÖZETİ **12**
2.1Adsorpsiyon Teorisi **13**
2.2Çevre için Güvenli Olan Korozyon Önleyiciler **14**
2.2.1 İyonik-sıvılar (IL'ler) **15**
2.2.2 Makrosiklik bileşikler **17**
2.2.3 İlaçlar **17**
2.2.4 Son kullanma tarihi geçmiş ilaçlardan yapılan korozyon önleyiciler. **18**
2.2.5 Karbonhidratlar ve diğer biyopolimerler **18**
2.2.6 Kimyasal olarak değiştirilmiş nanomalzemeler **18**
2.2.7 Bitki Özleri **20**
3. MATERYAL VE METOT **32**
3.1Materyal Sentezinde Kullanılan Kimyasallar **32**
3.2Alaşım (karbon çeliği) Parlatma ve Temizleme Levhaları **32**
3.3L 80 C Çeliğinin Kurutulması **33**
3.4Su Banyosu **33**
3.5Hassas Terazi **33**

3.6L 80 C - Çelik Özellikleri 33
3.7Kahve çözeltilerinin hazırlanması + Hidroklorik asit 34
3.8Ağırlık Kaybı Yöntemi: 34
3.9Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR) 34
3.10 Taramalı Elektron Mikroskobisi (SEM) Analizi 34
4. BULGULAR VE TARTIŞMA 35
4.1Ağırlık Kaybı Ölçümleri 35
4.2Sıcaklığın Etkisi 47
4.3Adsorpsiyon İzotermleri 62
4.3.1 Termodinamik değişkenler 78
4.4Yüzey çalışmaları 93
4.4.1 SEM Analizi (Scanning electronic microscope) 93
4.4.2 FTIR Analizi (Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi) 97
5. SONUÇ VE ÖNERİLER 100
5.1Sonuçlar 100
5.2Öneriler 101
KAYNAKLAR 102
ÖZGEÇMİŞ 119

SİMGELER DİZİNİ

% E	Yüzde inhibisyon etkinliği
Θ	Metal yüzey kaplama derecesi
ΔG	Gibbs serbest enerjisi
ΔH	Adsorpsiyon ısısı
Δw	Metalin ağırlık kaybı (mg)
ΔS	Entropi değişimi
b	Langmuir sabiti (L/mg)
C	İnhibitör konsantrasyonu (mg/L)
E_a	Korozyon işlemi için aktivasyon enerjisi
K	Adsorpsiyon işlemi için denge sabiti
R	Evrensel gaz sabiti (8.314 J/mol.K)
R_{corr}	Korozyon oranı
S	Yüzey alanı (cm^2)
t	Asit daldırma süresi C-Çeliği (L80) (dakika)
T	Sıcaklık
W_{add}	Inhibitörlerin varlığında C-çeliğinin ağırlık kaybı (mg)
W_{free}	Inhibitörlerin yokluğunda C-çeliğinin ağırlık kaybı (mg)

KISALTMALAR DİZİNİ

EDX	Enerji dağıtıcı X-Ray analizi
FTIR	Fourier dönüşümlü kızılötesi spektroskopisi analizi
HCl	Hidroklorik asit
IL	İyonik-sıvılar
SEM	Taramalı elektron mikroskobu analizi

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Ultrason-yardımcı çoklu- bileşen reaksiyonları, organometalik ve organokalkojen kimyası (Penteado *et al.* 2018) 15
Şekil 2.2 Çevre dostu korozyon önleyiciler 15
Şekil 2.3 İmidazolyum ve nano bazlı iyonik sıvı etkileşimi (Zhang *et al.* 2017)..... 16
Şekil 2.4 Diaminopiridin ve diazopiridin ile grafen oksit sentezi (Bouayad *et al.* 2018)..... 19
Şekil 2.5 Eugenia caryophyllata'dan türetilen öjenol ve asetilöjenol'ün moleküler yapıları (Fares and Maayta 2012)..... 23
Şekil 2.6 Kuersetin'in moleküler yapısı, kırmızı soğan özü. (Beenakumari 2011) (Pareek *et al.* 2017). 23
Şekil 2.7 Calotropis özü bileşenlerinden biri olan Uscharin ve moleküler yapısı (Parhira *et al.* 2014) (Zhou *et al.* 2019)..... 24
Şekil 2.8 moleküler yapısı a) fenolik bileşik ve b) alkid reçinesi (Zulkıflı *et al*. 2021). 25
Şekil 2.9 (Sol) Bitki, yapraklar özü hazırlamak; (Sağ) Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) fotoğrafları, Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) verileri ve dört ekstraktlı ve ekstraktsız 1 M NaOH'de Al alaşım korozyonu için inhibitör verimlilikleri. 26
Şekil 4.1 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 30 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları 36
Şekil 4.2 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 50 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları 37
Şekil 4.3 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 60 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları. 37
Şekil 4.4 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 70 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları. 38
Şekil 4.5 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 80 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları. 38
Şekil 4.6 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 90 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları. 39
Şekil 4.7 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 48

Şekil 4.8 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....49
Şekil 4.9 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....49
Şekil 4.10 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....50
Şekil 4.11 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....50
Şekil 4.12 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....51
Şekil 4.13 C-Çelik L80 üzerine, % 15 H Cl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.....51
Şekil 4.14 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 52
Şekil 4.15 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 52
Şekil 4.16 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 53
Şekil 4.17 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 53
Şekil 4.18 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 54
Şekil 4.19 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 54
Şekil 4.20 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 55
Şekil 4.21 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 55
Şekil 4.22 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 56
Şekil 4.23 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 56
Şekil 4.24 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 57
Şekil 4.25 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 57
Şekil 4.26 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 58
Şekil 4.27 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 58
Şekil 4.28 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 59

Şekil 4.29 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 59
Şekil 4.30 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 60
Şekil 4.31 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 60
Şekil 4.32 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 61
Şekil 4.33 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma. 61
Şekil 4.34 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma 62
Şekil 4.35 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.....63
Şekil 4.36 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.....64
Şekil 4.37 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.....64
Şekil 4.38 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.....65
Şekil 4.39 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.....65
Şekil 4.40 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.....66
Şekil 4.41 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.....66
Şekil 4.42 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.....67
Şekil 4.43 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.....67
Şekil 4.44 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.....68

Şekil 4.45 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması 68
Şekil 4.46 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması 69
Şekil 4.47 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması 69
Şekil 4.48 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması 70
Şekil 4.49 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 70
Şekil 4.50 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 71
Şekil 4.51 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 71
Şekil 4.52 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 72
Şekil 4.53 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 72
Şekil 4.54 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 73
Şekil 4.55 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması 73
Şekil 4.56 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 74
Şekil 4.57 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 74
Şekil 4.58 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 75

Şekil 4.59 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 75
Şekil 4.60 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 76
Şekil 4.61 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 76
Şekil 4.62 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması 77
Şekil 4.63 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (3) saat için ve farklı sıcaklık. (50, 70 ve 90) °C. 79
Şekil 4.64 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (3) saat için ve farklı sıcaklık. (30, 60 ve 80) °C. 79
Şekil 4.65 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (4) saat için ve farklı sıcaklık. (50, 70 ve 90) °C. 80
Şekil 4.66 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (4) saat için ve farklı sıcaklık. (30, 60 ve 80) °C. 80
Şekil 4.67 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (5) saat için ve farklı sıcaklık. (50, 70 ve 90) °C. 81
Şekil 4.68 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (5) saat için ve farklı sıcaklık. (30, 60 ve 80) °C. 81
Şekil 4.69 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (6) saat için ve farklı sıcaklık. (50, 70 ve 90) °C. 82
Şekil 4.70 Log (C/Θ) karşı Log (C) günlüğü C-STEEL L80 korozyonu için HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) ile birlikte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları (6) saat için ve farklı sıcaklık. (30, 60 ve 80) °C. 82
Şekil 4.71 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.01, 0.03 ve 0.05) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (3) saat için. & farklı sıcaklık..... 83
Şekil 4.72 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.02, 0.04 ve 0.06) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (3) saat için. & farklı sıcaklık..... 84

Şekil 4.73 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.07) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (3) saat için. & farklı sıcaklık.....84
Şekil 4.74 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (4) saat için. & farklı sıcaklık.....85
Şekil 4.75 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.02, 0.04 ve 0.06) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (4) saat için. & farklı sıcaklık.....85
Şekil 4.76 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (%15 konsantrasyon) içinde (5) saat için. & farklı sıcaklık. 86
Şekil 4.77 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.02, 0.04 ve 0.06) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (5) saat için. & farklı sıcaklık.....86
Şekil 4.78 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (%15 konsantrasyon) içinde (6) saat için. & farklı sıcaklık.....87
Şekil 4.79 ΔG, Temp. C-STEEL L80 korozyonu için korozyon önleyici olarak (0.02, 0.04 ve 0.06) Türk kahvesinin konsantrasyonları kullanılarak HCl asit (% 15 konsantrasyon) içinde (6) saat için. & farklı sıcaklık.....87
Şekil 4.80 C-STEEL L80'in SEM'ini gösterir HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) inhibitör yokluğunda (Türk kahvesi).....93
Şekil 4.81 C-STEEL L80'in SEM'ini gösterir inhibitör varlığında (Türk kahvesi) HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon). 94
Şekil 4.82 gösterir C-STEEL L80 korozyonunun SEM'i HCl asit içinde (% 15 konsantrasyon) inhibitör yokluğunda (Türk kahvesi) 96
Şekil 4.83 gösterir C-STEEL L80 korozyonunun SEM'i HCl asit içinde (%15 konsantrasyon) inhibitör (Türk kahvesi) varlığında.....96
Şekil 4.84 FTIR analizi kahve için. 98
Şekil 4.85 Adsorpsiyon işleminden sonra C-çeliğinin yüzeyinden kazınan inhibe edilmiş kahve için FTIR analizi 99

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 1.1 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki fark (Alaqarbeh 2021) 7
Çizelge 4.1 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyon) karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (30 ve 50) ° C sıcaklıklarda ve (3 ve 4) saat periyotlarda etkisi..... 41
Çizelge 4.2 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyon) karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (60 ve 70° C) sıcaklıklarda ve (3 ve 4) saat periyotlarda etkisi..... 42
Çizelge 4.3 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyon) karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (80 ve 90) ° C sıcaklıklarda ve (3 ve 4) saat periyotlarda etkisi 43
Çizelge 4.4 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyon) karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (30 ve 50) ° C sıcaklıklarda ve (5 ve 6) saat periyotlarda etkisi..... 44
Çizelge 4.5 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyonda karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (60 ve 70) ° C sıcaklıklarda ve (5 ve 6) saat periyotlarda etkisi..... 45
Çizelge 4.6 Türk kahvesinin (inhibitör olarak), 100 ml HCl asitte (% 15 konsantrasyon) karbon çeliğinin (L80) korozyonuna (80 ve 90)°C sıcaklıklarda ve(5 ve 6) saat periyotlarda etkisi..... 46
Çizelge 4.7 C-çelik kuponu (L80) üzerindeki Türk kahvesi adsorpsiyonunun (3) saat içindeki termodinamik parametreleri..... 89
Çizelge 4.8 C-çelik (L80) kuponunda Türk kahvesi adsorpsiyonunun (4) saat içindeki termodinamik parametreleri..... 90
Çizelge 4.9 C-çelik kuponu (L80) üzerindeki Türk kahvesi adsorpsiyonunun (5) saat içindeki termodinamik parametreleri..... 91
Çizelge 4.10 C-çelik kuponu (L80) üzerindeki Türk kahvesi adsorpsiyonunun (6) saat içindeki termodinamik parametreleri..... 92

1. GİRİŞ

1.1 Korozyonun Temelleri

Modern toplumun yapı taşlarından biri metalik malzemelerdir. Endüstride metaller ve alaşımlar; asitler, tuzlu su ve kostik çözeltiler gibi zorlu ortamlarda sıklıkla kullanılır (Al-Moubaraki & Obot, 2021).

Korozyonun birçok tanımı vardır ve genellikle "Okyanusla etkileşimleri nedeniyle metallerde ve metal alaşımlarında meydana gelen, istenmeyen hasar." olarak açıklanır. Bu tanımda kullanılan okyanus kelimesi geniş bir tanım olarak kullanılmıştır. Okyanus kelimesi; su, sulu elektrolitik çözeltiler ve sıvı karışımların yanı sıra hava, bazı gazlar ve bazı eriyikler olarak ele alınmalıdır (NDUKWE, 2022).

Metal veya alaşımın yüzeyinde kapalı hücrelerin korozyon hücreleri oluşması, o metalin veya alaşımın yüzeyinin kademeli olarak tahrip olmasına neden olur. Bu işlemler malzemenin yüzeyinde devam ederse, yavaş yavaş içeriye sızar ve katı malzemenin genel yapısı korozyona uğrar (Maher vd., 2021).

Geniş anlamıyla korozyon, metalin veya alaşımı içeren metallerin doğada orijinal olarak içinde bulunduğu bileşiklerin veya cevherlerin oluşumuna dönme eğilimi olarak tanımlanır (Anwo vd., 2019).

Korozyon, farklı metallerin geçirdiği birçok değişikliği tanımlamak için kullanılan bir terimdir ve çoğu durumda metaller bileşiklere dönüşür ve saf bir element şeklinde kalamazlar. Modern teknolojilerin aşındırdığı metallerin korozyonunu değiştirmek veya önlemek için metallerin korozyonuna yılda milyonlarca dolar harcandığı tespit edildi (Al-Moubaraki & Obot, 2021; Hossain vd., 2021).

Endüstrideki korozyon, yanlış yerde ve zamanda meydana gelen kimyasal reaksiyonları temsil eder. Bu da endüstriyel inşaat ekipmanı ve malzemelerinde hasara yol açar (Dakkoune vd., 2018).

Minerallerin çoğu doğada metal oksitleri veya tuzları olan cevher şeklinde bulunur. Demir cevheri pasa benzer, çünkü çoğu demir cevheri, demir pasıyla Fe_2O_3 aynı kimyasal bileşime sahip olan hematit adı verilen demir oksittir. İşleyişte, bu cevherleri metallere dönüştürmek için enerji gerekir ve bu enerji metal oluştuktan sonra depolanır. Metal, cevherlerine dönme ve enerji kaybetme eğiliminde olduğu için kararsızdır. Bu nedenle metalde depolanan enerji ve metaldeki cevherine dönme eğilimi, korozyonu mümkün kılan şeydir (Kalisa vd., 2020; ÖZTÜRK vd., 2021; Verma vd., 2018).

Korozyon sıklıkla birbirini tamamlayan iki elektrokimyasal reaksiyon yoluyla gerçekleşir: bu reaksiyonlar, oksidasyon ve indirgeme reaksiyonlarıdır. Oksidasyon ve indirgeme proses reaksiyonları metal üzerinde farklı alanlarda gerçekleşir. Oksidasyon, anot reaksiyonu olarak; indirgeme, katot reaksiyonu olarak adlandırılır (Anwo vd., 2019; Topçu & Uzunömeroğlu, 2020).

Korozyon olgusunu incelemek için, korozyon hızını etkileyen faktörlerin bilinmesi gerekir.

1.2 Korozyona Etki Eden Faktörler

1.2.1 Birincil faktör

Korozyona uğrayan malzemenin doğası, atomları veya molekülleri arasındaki bağ kuvvetleri, kristal yapısının şekli ve modeli; onu çevreleyen kusurlar ve içerdiği kirliliklerle ilgilidir (Maher vd., 2021).

1.2.2 İkincil faktör

Korozyon ortamında korozyon hızını etkileyen faktörleri ve aşınmış malzemenin yüzeyinin maruz kaldığı malzemenin yapısını, bu maddelerin konsantrasyonunu, pH'ın etkisini, varlığını veya yokluğunu içerir. Reaksiyon ortamındaki oksijenin miktarı, sıcaklığı, basıncı; korozyon ortamında hızlandırıcı veya geciktirici malzemelerin etkisini içerir (Anwo vd., 2019; Bharatiya vd., 2019).

Korozif ortam ile metal yüzeyi arasındaki arayüzde, kimyasal/elektrokimyasal etkileşimler meydana gelir. Metalin çözelti içinde çözünmesine ve korozyon ürünlerinin oluşmasına neden olur (Reza vd., 2021; Yaqoob, 2021).

Korozyonu önleme önemlidir. Çünkü (Bharatiya vd., 2019):

İlk ve temel faktör, korozyonun neden olduğu, yıllık milyarlarca doları bulan kayıpların sınırlandırılması ve en aza indirilmesini içeren ekonomik faktördür (Anwo vd., 2019).

İkinci faktör, korozyonun sebep olduğu, kazanların, kulelerin patlaması veya basınç etkisi altındaki uçakların, metal kapların düşmesi gibi olumsuz ve tehlikeli sonuçlara yol açtığı durumlarda ekipmanın güvenliğini artırmak veya sağlamaktır. Korozyondan kaynaklanan doğrudan hasar, tesis veya sistem durması nedeniyle üretimde kayıplar gibi dolaylı hasarlara neden olur (Al-Moubaraki & Obot, 2021; Anwo vd., 2019).

Üçüncü faktör, küresel anlamda mineral kaynakların sınırlı olması ve mineral kaynakların korunmasıdır. Bunları dikkate almamak, metal yapıların üretiminde ve imalatında yüksek enerji kaybına neden olur (Anwo vd., 2019).

Ekonomik kayıpların yanı sıra, korozyona bağlı yapısal bozulmalar meydana gelebilmektedir. Korozyon meydana geldiğinde üretim, fırsat kaybı ve altyapı sorunlarından dolayı sürekli olarak bakım ve onarım gibi masraflar olmaktadır (Al-Moubaraki & Obot, 2021; Bharatiya vd., 2019). Sonuç olarak, metal korozyonunu azaltmak ve düzenlemek kritik öneme sahiptir.

Bir metalin aşındırıcı çözeltilerden izolasyonu, elektrokimyasal korozyonu önlemek için en etkili stratejilerden biridir. Korozyonu yönetmek için en popüler ve uygun maliyetli teknik ise korozyon inhibitörleri kullanmaktır (Al-Moubaraki & Obot, 2021; Bharatiya vd., 2019).

Metalin çözünmesini önlemek için sulu çözeltilerde korozyon inhibitörlerinin uygulanması yaygındır (Hosseini vd., 2009; Kadhim vd., 2021; Okewale & Adebayo, 2020).

Erozyonda büyük rolü olan asitler, aşağıdaki işlemlerde kullanıldıkları için yaygın olarak kullanılmaktadır (Danaee vd., 2020).

1- Asitle dekapaj: Metal yüzeylerden istenmeyen oksit kaplamanın çıkarılması, cilalama, kaplama, asitle temizleme gibi işlemlere hazır hale getirilmesi işlemidir (Agus Paul Setiawan vd., 2021; Danaee vd., 2020; Raja & Sethuraman, 2009; Reza vd., 2021).

2- Endüstriyel asitlerle temizlik: Bu prosedür çok önemlidir ve esas olarak buhar üreten ekipmanlardan; kimyasal, petrokimyasal reaksiyon kaplarından istenmeyen kireçlenmeleri ve tortuları gidermek için uygulanır. Hidroklorik asit bu işlemlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Kimyasal temizlik için sülfürik asit ve fosforik asidin yanı sıra hidroklorik asit de kullanılır (Danaee vd., 2020; Reza vd., 2021).

3- Petrol kuyularının asitlenmesi: Petrol rezervuarlarının verimliliği zaman geçtikçe sürekli azalmakta ve bu verimlilikteki düşüş, en önemlileri depolama tabakasının geçirgenliğinin azalması olmak üzere çeşitli nedenlerden kaynaklanmaktadır. Kimyasal asitlendirme işlemi, taşıyıcı tabakanın geçirgenliğini arttırarak, petrol kuyularının verimliliğini arttırmak için kullanılan en eski ve en önemli yöntemlerden biridir. Kimyasal asitlendirme işleminde tabaka, bazı kayaları çözen ve belirli bir derinliğe kuyu borularıyla enjekte edilen asit ile işlenir (kalsiyum karbonat kayaları). Bu işlem kaya taneleri arasındaki çimento bağını etkiler. Kuyu duvarlarını sondaj sıvısı ve diğer kirletici maddelerin etkilerinden temizlemek için de asitler kullanılır. Bu süreç, sondaj ekipmanının ve üretim ekipmanının korozyonuna neden olur (Agus *et al*.2021, Danaee *et al.* 2020; Salghi *et al.* 2017, Yaqoob 2021).

Organik bileşiklerdeki azotun ve oksijenin, fosfor atomlarının metallerini ve alaşımlarını korozyona karşı koruduğu düşünülmektedir (Agus *et al.* 2021; Danaee *et al.*

2020). Birçok sentetik kimyasalın antikorozif özelliklere sahip olduğu kanıtlanmıştır, ancak bunlar insanlara ve çevreye son derece zararlıdır (Kadhim *et al.* 2021). Korozyon inhibitörleri toksisiteleri, güvenlikleri ve çevre sorunları nedeniyle tartışmalıdır, doğal sentetik bileşikler hem güvenli hem de çevreye saygılı korozyon inhibitörleri olarak popüler hale gelmiştir. Toksik olmayan, güvenli ve etkili inhibitörlerin yanı sıra çevresel olarak iyi huylu veya yeşil olan korozyon inhibitörlerinin oluşturulması, güvenlik açısından daha fazla arzu edilir hale gelmiştir(Bammou *et al.* 2011; Bouhlal *et al*. 2020; El Ouariachi *et al.* 2010; Verma *et al*. 2018). Son on yıldaki araştırmalar, toksik olmayan çevresel inhibitörler olan yeşil ve çevre dostu çevresel inhibitörlerin kullanımına odaklanmıştır (Anwo *et al.* 2019). Doğal bitkilerden elde edilen yağlar, özler ve saf maddeler; çevrenin sağlıklı, güvenli olmasında ve kirlilikten arındırılmasında önemli bir rol oynayabilir. Law Sonia özü, Asidik çözeltilerde, Hibiscus sabdariffa özü, Garcinia kola özü, çemen otu özü, Phyllanthus amarus özü, Azadirachta indica özü, Gossypium hirsutum L. özü ve Areca Çiçeğinin hepsinin etkili çelik inhibitörleri olduğu gösterilmiştir (Agus *et al.* 2021; Verma *et al*. 2018). Araştırmaya göre diyet lifi, protein, esansiyel amino asitler ve kahve telvesinin de etkili olduğu görülmektedir (Bouhlal *et al.* 2020; Oguzie 2010). Sonuç olarak, metalleri korozyona karşı korumak için bu malzemeleri kullanmak, çevreye duyarlı ilginç bir yaklaşımdır. Ayrıca, asit türü, sıcaklık ve sıvı akış hızı, doğru inhibitörlerin seçilmesinde önemli bir rol oynar (Bharatiya *et al.* 2019; Geethanjali *et al.* 2018).

1.3 Korozyonun Önlenmesi

Belirli bir ortamda bir malzemenin korozyonunu kontrol etmek ve en aza indirmek için çok sayıda yöntem vardır.İlk ve en tipik yöntem, belirli bir aşındırıcı sistem için uygun metal veya alaşımı seçmektir. Uygun inşaat malzemeleri ve sağlam tasarım prosedürlerinin makul kullanımı ile korozyon oranları kabul edilebilir seviyelerde tutulabilir (Anwo *et al.* 2019; Verma *et al*. 2018). İkincisi, ortamdaki değişiklikler, korozyon özelliklerinde önemli değişikliklere neden olabilir. Sıcaklığın düşürülmesi, hızın düşürülmesi, oksijenin veya oksitleyicilerin çıkarılması ve konsantrasyonun değiştirilmesi, ortamdaki yaygın değişikliklerdir. (Chen *et al.* 2022; Kalisa *et al*. 2020). Bir ortama inhibitör olarak bilinen bileşiklerin eklenmesi de başka bir tekniktir (Anwo

et al. 2019). Korozyona direnmek için malzeme yüzeyine koruyucu bir kaplamanın yanı sıra katodik ve anodik koruma uygulanır (Al-Moubaraki and Obot 2021, Kolawole *et al.* 2018, J. Wang and Guo 2020).

1.3.1 Adsorpsiyon

Adsorpsiyon, adsorban kimyasal malzemenin adsorban yüzey (çelik gibi) tarafından sıvı veya gazlı bir ortamdan uzaklaştırıldığı bir yüzey işlemidir (Wang and Guo 2020).

Aslında, adsorpsiyon mekanizması, adsorbe edilen moleküller ile yüzey atomları adsorbanı arasındaki kuvvet etkileşimini içerir ve çekme-itme kuvvetlerinin gücü, adsorban materyalin yüzeyinin adsorbe edilen moleküllere ne kadar yakın olduğuna bağlıdır (Alaqarbeh 2021).

Adsorpsiyon, bir bileşenin fazdan faza geçtiği, işlemdeki belirli sınırları kestiği bir süreçtir. Adsorpsiyon süreci iki kategoriye ayrılabilir: kimyasal adsorpsiyon ve fiziksel adsorpsiyon, Fiziksel adsorpsiyon, adsorban molekülleri ve adsorbe edici yüzey arasında oluşan zayıf kuvvetleri (Van der Waals kuvvetleri) içerir. Yoğuşma işlemine çok benzer. Bu nedenle ekzotermik hale gelir ve yoğuşma işleminin gizli ısısına benzer adsorpsiyon ısısı oluşur (Alaqarbeh 2021).

Kimyasal adsorpsiyon durumunda, substrat ve adsorban arasındaki kimyasal bağ oluşumu, adsorban ve substrat arasındaki elektron yoğunluğunun yeniden düzenlenmesinin bir sonucu olarak gerçekleşir. Bu bağlanmanın doğası şöyle olabilir: iyonik veya kovalent bağ oluşur. Yüksek sıcaklıkta oluşur ve aktivasyon enerjisine sahiptir (Büyüktiryaki *et al.* 2020).

Çizelge 1.1 Fiziksel ve kimyasal adsorpsiyon arasındaki fark (Alaqarbeh 2021)

Kriterler	Fiziksel Adsorpsiyon	Kimyasal Adsorpsiyon
Özgüllük	Spesifik olmayan	Son derece spesifik
Adsorpsiyonun doğası	Adsorbanın doğasına bağlıdır	Adsorbanın doğasına bağlıdır
Tersine çevrilebilirlik	Tersine çevrilebilir süreç	Esas olarak geri döndürülemez
Entalpi	Düşük (20-40 kJ/mol)	Fiziksel adsorpsiyondan daha yüksek (40-300 kJ/mol)
Aktivasyon enerjisi	Yüksek aktivasyon enerjisi gerektirmez	Yüksek aktivasyon enerjisi gerektirir
Arayüzey bölgesinin adsorpsiyon tabakası (doygunluk)	Çoklu katmanlar	Tek katman
Yapıştırma	Bu çekim Van der Waals, London kuvvetleri ve dipol-dipol çekimi, kimyasal türden daha uzun bir mesafeye sahiptir ve substrat için kimyasal bileşim değişikliği yoktur.	Substrat ve adsorban arasında oluşan güçlü iyonik bağ veya kovalent bağ, kimyasal bileşim değişikliği vardır. Bu işlem, fiziksel türden daha kısa bir mesafeye sahiptir.

1.3.2 Adsorpsiyon İzotermleri

Adsorpsiyon izotermleri: adsorban yüzeyinin sıvı ve katı fazı arasındaki dengede olan adsorpsiyon işleminin bir açıklamasıdır. Ayrıca yüzeydeki gaz durumunda basınç ve adsorban miktarı ile denge konsantrasyonu arasındaki ilişkiyi tanımlar (Büyüktiryaki *et al.* 2020).

Adsorplanan moleküllerin, adsorpsiyon yüzeyindeki oryantasyonu hakkında bilgi elde etmede, adsorpsiyon tipini belirlemede; adsorpsiyon tabakasının kalınlığını belirlemede ve ayrıca adsorpsiyon prosesinin termodinamiğini incelemede faydalı olan birçok adsorpsiyon izotermi formu vardır (Alaqarbeh 2021).

1.3.2.1 Langmuir adsorpsiyon izotermleri

Langmuir teorisinin temel önermesi, adsorpsiyonun bir adsorban içindeki belirli homojen bölgelerde gerçekleştiği ve bir adsorbat bir kez bir yer işgal ettiğinde, orada artık adsorpsiyonun gerçekleşemeyeceğidir.

Bu izoterm aşağıdaki gibi matematiksel formülle ifade edilebilir (Yaqoob 2021):

$$\text{Log} (\theta / 1- \theta) = \log A + \log C + Q / 2.303 R T \quad (1.1)$$

C: inhibitör konsantrasyonu, θ: adsorbanın kapladığı yüzey alanı, Q: adsorpsiyon ısısı

1.3.2.2 Temkin adsorpsiyon izotermleri

Temkin izotermleri, adsorban ve adsorbat arasındaki etkileşimler nedeniyle, adsorpsiyon ısısının adsorban üzerindeki artan sorpsiyon kapsamı ile doğrusal bir şekilde azalması gerektiğini belirtmektedir.

Bu izoterm aşağıdaki gibi matematiksel formülle ifade edilebilir (Batah *et al.* 2020):

$$\Theta = (R T / Q – \alpha) \ln (A – C) \quad (1.2)$$

A ve α sabit sıcaklıkta sistem sabitleridir.

1.3.2.3 Freundlich adsorpsiyon izotermleri

Birim karbon ağırlığı başına adsorbat giderimi ile çözeltide hala mevcut olan adsorbat konsantrasyonu arasındaki denge ilişkisini ölçmek için yaygın olarak kullanılır.

Bu izoterm aşağıdaki gibi matematiksel formülle ifade edilebilir (Alaqarbeh 2021, Kadhim *et al.* 2021):

$$\text{Log } \theta = \log k + n \log C \quad (1.3)$$

1.4 Korozyon Önleyici

Korozyon önleyiciler, metalik malzemelerin korozyon hızını azaltmak için sert ortamlara küçük miktarlarda uygulanan kimyasal maddelerdir. Kimyasal adsorpsiyon veya fiziksel adsorpsiyon ile organik inhibitörler metal yüzeylerde koruyucu bir tabaka sağlayabilir. İnhibitör moleküllerin metal bir yüzeye adsorbe olma süreci, inhibitörlerin moleküler yapısından, yüzey durumundan ve yüzey fazlalığından önemli ölçüde etkilenebilir (Danaee *et al.* 2020; Kadhim *et al.* 2021). İnhibitörler, korozyon direncinde aşağıdaki etkileri göstermektedir (Muthukrishnan *et al.* 2019):

• Azalan anodik ve/veya katodik reaksiyon oranları,

• Metal yüzey üzerine reaktan difüzyon hızının düşürülmesi,

• Metal yüzeyin elektriksel direncini arttırmak.

Anodik, katodik ve karışık tip inhibitörler, etkiledikleri kısmi elektrokimyasal reaksiyona göre karakterize edilir (Li *et al.* 2011).

Özellikle hidroklorik asit çözeltilerinde karbon çeliği korozyonunun araştırılması, önemli bir endüstriyel ve bilimsel çalışma konusu olmaktadır (Fouda *et al.* 2016). Petrol sahası uygulamalarında ham petrolü, tuzlu suyu taşımak ve işlemek için kullanılan boru hatlarında ve diğer varlıklarda korozyon oranı oldukça yüksektir. Klorür çözeltilerinde, karbon çeliği korozyon oranını en aza indirmek için korozyon inhibitörlerinin araştırılması ve test edilmesi sadece akademik değil, aynı zamanda sanayi açısından da önem taşımaktadır (Bharatiya *et al.* 2019).

1.5 Korozyon İnhibitörleri Türleri

Üç farklı tipte sınıflandırılabilir (Reza *et al.* 2021):

1.5.1 Anodik inhibitörler

Bu tip korozyon önleyici, metal yüzeyinde koruyucu bir oksit film oluşturarak etki eder. Metalik yüzeyi pasivasyon bölgesine zorlayan büyük bir anodik kaymaya neden olur, bu da malzemenin korozyon potansiyelini azaltır. Anodik inhibitörlere bazı örnekler: kromatlar, nitratlar, molibdatlar ve tungstattır (Fayomi and Anawe 2018), Reza *et al.* 2021).

1.5.2 Katodik inhibitörler

Bu inhibitörler, indirgeyici türlerin metal yüzeyine difüzyonunu sınırlamak için katodik reaksiyonu yavaşlatır. Katodik zehir ve oksijen tutucular bu tip inhibitörün örnekleridir (Fayomi and Anawe 2018), Reza *et al.* 2021).

1.5.3 Karışık inhibitörler

Bunlar hem katodik hem de anodik reaksiyonları azaltan, film oluşturan bileşiklerdir. En yaygın olarak kullanılan karışık inhibitörler silikatlar ve fosfatlardır(Fayomi and Anawe 2018), Reza *et al.* 2021).

Karışık inhibitörler genellikle adsorpsiyon mekanizması ile çalışır ve bu inhibitörlere adsorbsiyon inhibitörleri denir. Genellikle inorganik inhibitörler, katodik veya anodik etkiye sahipken, organik inhibitörler ham katodik hem de anodik etkiye sahiptir, İnorganik inhibitörlerin toksik olması nedeniyle, özellikle asit ortamında çelik yapıların korunması nedeniyle çeşitli organik inhibitörler, korozyon önleyici inhibitör olarak kullanılmaktadır. Bu yüzden, asit ortamındaki çeliklerin korunmasında inorganik inhibitörlere kıyasla karışık inhibitörler daha etkilidir (Kadhim *et al.* 2021).

1.6 Yeşil İnhibitörler

Yeşil inhibitörler, olarak bilinen korozyon önleyicilerin kullanımı, toksik olmadıkları, biyolojik olarak parçalanabildikleri, düşük maliyetli ve bol miktarda bulunabildikleri için çevre dostudur (Aralu *et al.* 2021).

Bitki ekstraksiyonu korozyon inhibitörü, çevre dostu olması nedeniyle asidik ortamlarda metal korozyonunu önlemede en çok tercih edilen yöntemlerden biridir. Bitkilerin farklı kısımlarının (tohum, meyve, yaprak ve çiçek) çıkarıldığı ve korozyon olarak kullanıldığı hammaddelerin maliyeti ve bulunabilirliği göz önünde bulundurularak en çok tercih edilen yöntemlerden biridir.

Bu korozyon önleyicilerin etkinliği, molekülde S, O veya N atomları, heterosiklik bileşikler ve π-elektronları ile polar fonksiyonların varlığı ile ilgilidir (Danaee *et al.* 2020; Raja and Sethuraman 2009). Polar fonksiyon genellikle adsorpsiyon işleminin kurulması için reaksiyon merkezi olarak kabul edilir. Bu tür bileşikler metal yüzeyi emebilir ve aktif yüzey bölgelerini bloke edebilir böylece korozyon oranını düşürür.

Yeşil inhibitörlerde, metalik korozyonu emebilen, önleyebilen ve kimyasal reaksiyonları önleyebilen çeşitli bileşenler mevcuttur. Demir, yumuşak çelik, karbon çeliği, paslanmaz çelik, alüminyum alaşımı, bakır alaşımı ve diğer metal ve alaşımlara karşı etkili bir korozyon önleyici olarak haklı çıkarmak için bitki özütleme, mantarlar, polimerler, biyolojik bileşenler ve ilaçlar gibi çeşitli türler vardır. Farklı asidik, bazik ve nötr ortamlarda incelenmiştir (Eddy *et al*. 2022, Hossain et al. 2021, Ndukwe 2022).

2. LİTERATÜR ÖZETİ

Korozyon, metallerin, seramiklerin ve alaşımların bozunmasına ve kullanım amaçları için kullanılamaz hale gelmesine neden olan doğal bir olaydır (CHIOU, 2007; Kadhim *et al.* 2021; Negm *et al.* 2013; Palit 2018). Asitle temizleme, kireç çözme gibi çeşitli endüstriyel işlemler, metal ile mineral asitler, bazlar, tuzlar, hava ve su gibi güçlü aşındırıcı ortamlar arasındaki etkileşimi arttırdığından, bu sorun ciddi bir endüstriyel çalışma konusudur (Hariom *et al.* 2016), (Nwosu and Muzakir 2016). Altın hariç tüm metaller oksitlerinde termodinamik olarak kararsızdır. Sonuç olarak metal korozyonu, saf metallerin ve alaşımların oksitler, sülfürler, karbonatlar, hidroksitler, klorürler vb. gibi termodinamik olarak daha kararlı bileşiklere dönme eğilimini ifade eder. Bunun nedeni farklı ortamlardaki elektrokimyasal potansiyelleridir (Ghareba and Omanovic 2011), (Öztürk *et al*. 2021)

Yumuşak çelik, çok çeşitli endüstriyel uygulamalarda ve bina operasyonlarında, ayrıca boru hatları gibi sıvı taşımacılığında ve diğer günlük kullanımlarda yapısal bir malzeme olarak yaygın olarak kullanılmaktadır (Singh *et al.* 2017). Bununla birlikte, korunmadığı takdirde korozyonun bu temel madde için ciddi bir tehlike oluşturduğu kabul edilmektedir. Anotlama, elektrokaplama, boyama, aşındırıcı ortamın değiştirilmesi ve korozyon önleyicilerin kullanılması, korozyonun önlenmesi için seçeneklerdir (Al-Moubaraki and Obot 2021, Bharatiya *et al.* 2019; Cummings *et al.* 2005; Okewale and Adebayo, 2020). Korozyon önleyiciler organik veya inorganik, doğal veya üretilmiş olabilir. Bitki özleri veya bitki kaynaklı korozyon önleyicilerin ise korozyonu önlemenin en uygun maliyetli ve çevreye zarar vermeyen yöntemi olduğu kanıtlanmıştır (Paramasivam *et al.* 2016). Bitki özü korozyon inhibitörleri, zorlu ortamlarda metal ve alaşım korozyon oranlarını düşürmek için endüstride sıklıkla kullanılmaktadır (Philip *et al.* 2016). Bunun nedeni, bitki özü inhibitörlerinin genellikle toksik olmayan, çevre dostu, yenilenebilir ve biyolojik olarak parçalanabilir olmasıdır (Kadhim *et al.* 2021, Rani and Basu 2012).

Korozyon önleyici özelliklere sahip olduğu bildirilen bazı bitki materyalleri arasında Hemidesmus indicus yaprakları, Mansoalliacea punica yaprakları, Phoenix dactylifera

yaprakları, Ziziphus mauritiana meyvesi, Carica papaya yaprakları, Stevia rebaudiana yaprakları ve olgunlaşmamış meyve kabuğu, Argemone Mexicana yaprakları, yaprakları ve gövdesi bulunmaktadır. Xylopiaferruginea bitkisinin kabuğu ve Nauclealatifolia ekstresinin yaprakları, kabuğu ve köklerininde etkili olduğu bulunmuştur (Kalisa *et al*. 2020).

Oksijen, azot, kükürt, fosfor gibi heteroatomların mevcudiyeti ve elektron sistemleri, metal yüzey üzerinde, metalin kullanıldığı korozif ortama maruz kalmasını izole eder (Agus *et al.* 2021; Danaee *et al.* 2020; Holbrey *et al.* 2003), bu bitki özlerinin metal korozyonunu önleme mekanizmasına bağlanmıştır. Böylece metal yüzeyinin antikorozif malzemeler gibi diğer amaçlar için kahve kabuğu atıklarını kullanmak, metalik yapılarda hem çevre kirliliği hem de korozyon sorunlarıyla mücadele etmenin etkili bir yolu olacağı belirtilmektedir. Bu çalışmanın amacı, fenolik bileşikleri atık olarak kabul edilen kahve telvesinden izole etmek ve asidik bir ortamda yumuşak çelik üzerinde korozyon önleyici özelliklerini değerlendirmekti. Elde edilen sonuç olumlu olmuş ve korozyonu önlemeye bir alternatif çalışma yapıldığı görülmektedir (Cordeiro *et al.* 2018).

2.1 Adsorpsiyon Teorisi

İnhibitör etkisinin ilk adsorpsiyon teorisi, 1923'te sulu sülfürik asit ve hidroklorik asit içindeki aromatik aminler ve alkaliler gibi organik bileşikleri inceleyen Sievert ve Lueg tarafından sunuldu (Bryden 1969).

Krestzfeld ayrıca nişastayı ve mayayı, sülfürik asitte çelik geciktiriciler olarak inceleyerek, bu malzemeleri, metal yüzeyinde sürekli bir adsorban yalıtım tabakası oluştuğu için muhafaza etti. Çoğu inhibitör, metal yüzeyinde adsorbe edilmiş bir tabaka oluşturarak işlev görür ve muhtemelen metalin kalınlığında tek tabakada bir artış olmaz, bu da H^+ yükünün uzaklaştırılmasını ve metal iyonlarının çözünmesini durdurur (Anees 2013).

Schunkert, sulu dağılabilir kolloidler (jelatin, nişasta ve albümin) üzerine yaptığı çalışmasında, bunların metalin anot bölgelerine tutunan ve korozyonu engelleyen böylece çözeltideki metal iyonlarının transferini geciktiren inhibitörler olduğu sonucuna varmıştır (Anees 2013).

Terano ve Takasaki ayrıca kükürt içeren inhibitörlerin etkisini incelemiş ve metallerin korunmasının tam adsorpsiyon bandından kaynaklandığı görüşünü savunmuştur(Anees A. Khadom, 2013).

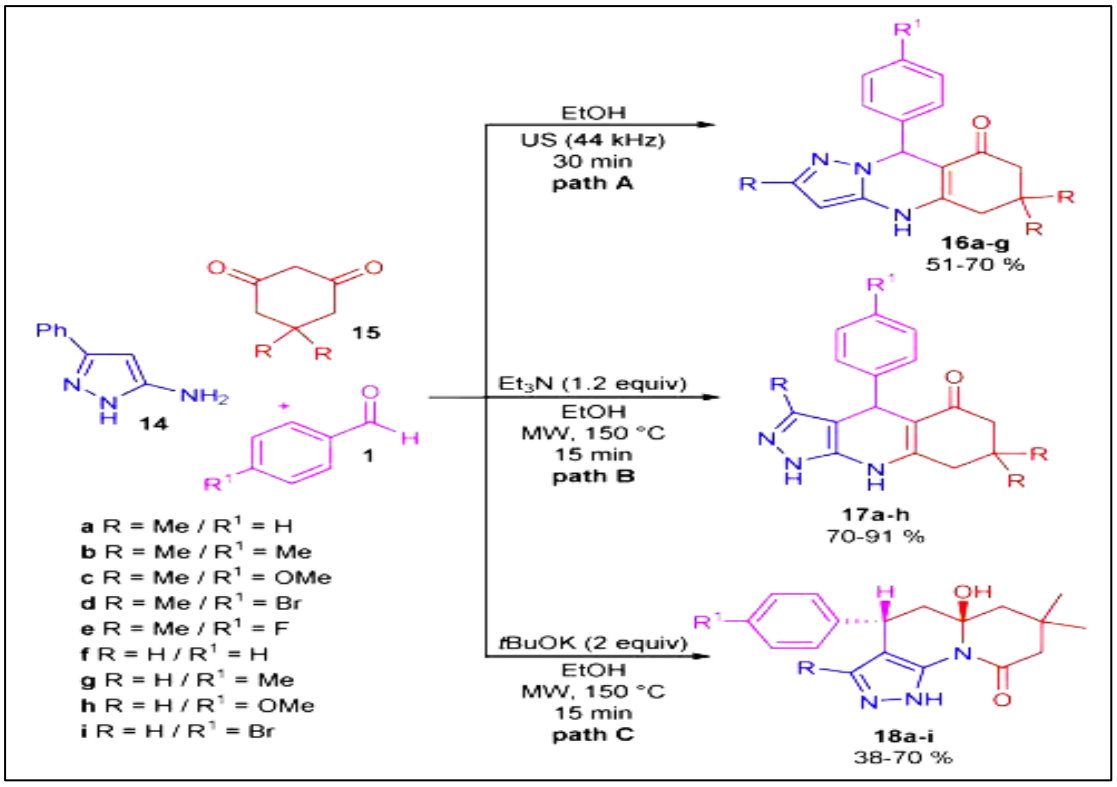
Shaker ve çalışma arkadaşları(2008), HCI asit çözeltilerinde karbon çeliğine korozyon inhibitörü olarak heksametilen tetramin eklenmesinin etkisini araştırdı ve metal yüzeyinde adsorpsiyon ile çalışan organik inhibitörlerden birinin, inhibitör konsantrasyonunu yükselttiği keşfedildi. Bu da adsorpsiyon etkinliğinin. İnhibitörün metal yüzeyi kaplamasından dolayı artmasına neden olur.

Harek and Larabi (2004) yaptıkları çalışmada, dövülebilir çeliğin HCI çözeltisinde korozyon sürecinde bir inhibitör gibi oksalik kullandılar. Bu maddenin 1 mol/L HCI asitte korozyonu iyi engellediğini ve maddenin konsantrasyonunun artmasıyla inhibisyon etkinliğinin arttığını bulmuşlardır. 5 x 104 mol/L konsantrasyonunda % 93'e ulaşmak için eklendi (Harek & Larabi, 2004; Shetty, 2018).

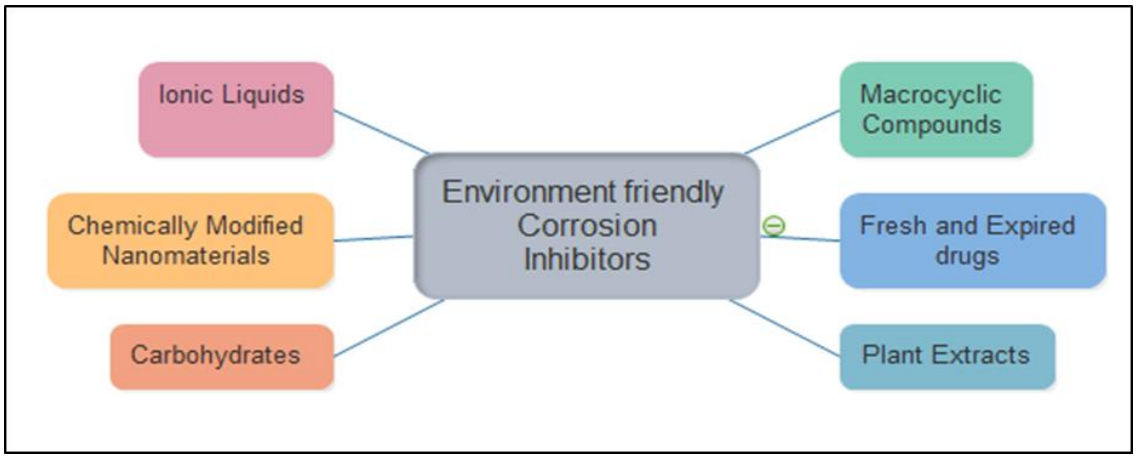
Wang ve çalışma arkadaşları (2018), bir adsorban tabaka oluşturmaya çalışan HCI çözeltisinde dövme çeliğin korozyonunu azaltmak için bir madde Polianilin (PANi) kullandılar. Böylece çeliğin yüzeyinde bu maddenin konsantrasyonu artırılarak inhibisyon verimi % 90'a kadar ulaştı (Beygisangchin vd., 2021; Bhadra vd., 2020).

2.2 Çevre için Güvenli Olan Korozyon Önleyiciler

İyonik sıvılar, makrosiklik kimyasallar farmasötikler ve karbonhidrat polimerleri, şemada gösterildiği gibi, literatürde bulunan çevre dostu korozyon önleyiciler arasındadır (Bharatiya vd., 2019) (Şekil 2.1).



Şekil 2.1 Ultrason-yardımcı çoklu- bileşen reaksiyonları, organometalik ve organokalkojen kimyası (Penteado *et al.* 2018)



Şekil 2.2 Çevre dostu korozyon önleyiciler(Bharatiya *et al.* 2019)

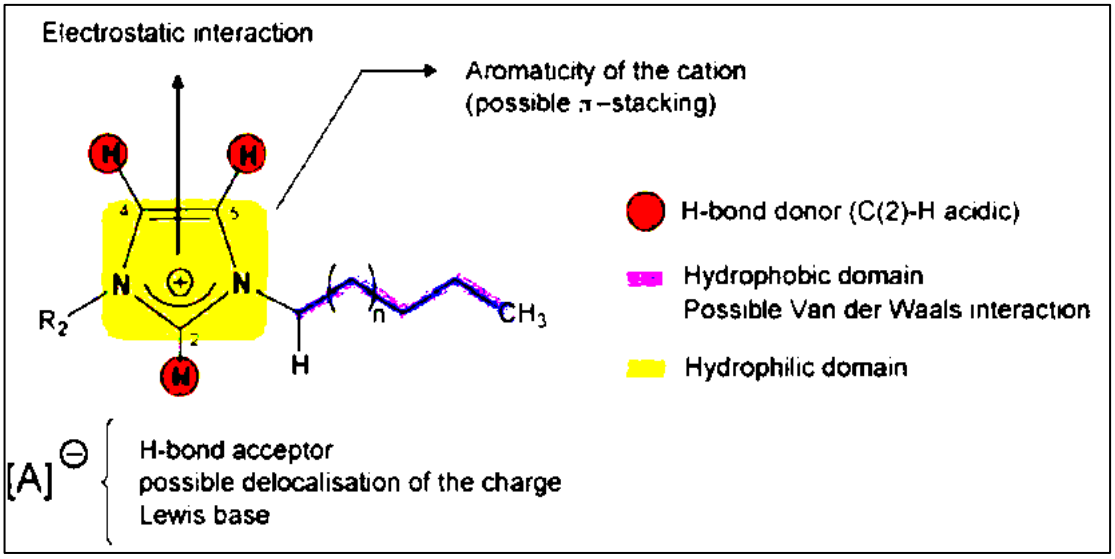
2.2.1 İyonik-sıvılar (IL'ler)

Çözünmeyen iyonların (IL'ler) % 80'den fazlası organik katyonlardan (piperidinyum, pirolidinyum ve imidazolyum gibi) ve organik veya inorganik iyonlardan (klorür ve

bromür gibi) oluşur. Yanmazlıkları ve büyük olvasyon potansiyelleri nedeniyle yeşil çözücüler olarak adlandırılırlar (Flieger & Flieger, 2020).

Delokalize elektrostatik yükler ve esnek yapılar, organik katyonlardan ve inorganik/organik iyonlardan oluşan IL'lerin sonucudur. Kolumbik kuvvetler (yüklü parçacık karşılıklı.elektrostatik çekim/itme), van der Waals temasları (polarizasyon), dipol dipol, hidrojen bağı ve solvofobik etkileşimlerin tümü, diğer malzemelerde yaygın olmayan bir ilişki oluşturmak üzere birleşir (Şekil 2.3) (Zhang *et al.* 2017).

Bu miseller, elektrolitin arayüzey gerilimini azaltarak yüzeyin ıslanmasına ve aşındırıcı elektrolitlerin zenginleşmesine izin verir (Zhang *et al.* 2017). Suyu seven kutup başları ve sudan nefret eden uzun karbon zincirleri bundan sorumludur. Anodik metalik bozulma ve katodik hidrojen gelişimi, sıradan organik korozyon inhibitörleri gibi metal yüzeyinde adsorbe olan bu inhibitörler tarafından ertelenir. Çeşitli benzersiz özellikler, IL'lerin metalik korozyonu önlemek için ekolojik olarak kabul edilebilir seçenekler olarak tanınmasını sağlar (El-Hajjaji *et al.* 2018; Verma *et al*. 2018).



Şekil 2.3 İmidazolyum ve nano bazlı iyonik sıvı etkileşimi (Zhang *et al.* 2017)

Yüksek kimyasal ve termal kararlılık, yüksek polarite, yüksek çözünürlük ve daha az tehlikeli davranış, düşük uçuculuktaki bileşiklerin tüm özellikleridir. Bu nedenle, çeşitli elektrolitik ortamlarda çok sayıda IL, paslanmaz çelik dahil olmak üzere çok çeşitli

metaller ve alaşımları için etkili korozyon önleyiciler olarak test edilmiştir (Brennecke and Maginn 2001).

2.2.2 Makrosiklik bileşikler

Makrosiklik olarak bilinen kimyasallar, boyutları çok büyük olan heterosiklik bileşiklerdir.. Bazı örnekler ftalosiyaninler, taç eterler ve porfirinlerdir. Bu moleküller, çok sayıda heteroatom, yalnız elektron çifti ve p-elektronunun varlığı nedeniyle metal yüzeyinde yoğun bir şekilde adsorbe olan ve metalin korozyon oranını düşüren varsayılmış korozyon inhibitörleri ailesini temsil eder (Quraishi and Chauhan 2021).

2.2.3 İlaçlar

Kimyasal ilaçlar, doğaları ve biyolojik kökenleri nedeniyle geleneksel tehlikeli korozyon inhibitörlerine yeşil ve çevre dostu alternatifler olarak kabul edilir (Danaee *et al 2020;* Quraishi and Chauhan 2021). Adsorpsiyon için ve korozyonu önlemek için ilaçlar, polar fonksiyonel gruplar ve aromatik halkalar gibi elektronca zengin birkaç konum içerir. Metaller ve alaşımlar için korozyon önleyiciler, bir dizi deneysel ve hesaplamalı yöntem kullanılarak değerlendirilmiştir (Ganjoo *et al.* 2022; Yousefi *et al.* 2015). Antihipertansif, antibakteriyel, antibiyotik ilaçlar gibi; tarivid, spectinomycin, paromomisin, streptomisin, rhodanine azosulpha, Penisilin, Ampicillin, Cloxacillin, Azitromy, korozyonu önleyebilen birçok ilaçtan sadece birkaçıdır (Bharatiya *et al.* 2019), (Fayomi and Anawe 2018).

İyi bir inhibitör-metal yüzey etkileşimi, polar fonksiyonel grupların varlığı ve bağlanmayan p-elektron formundaki önemli konjugasyon tarafından desteklenir. Polar fonksiyonel gruplara sahip ilaç bileşikleri, polar elektrolitik solüsyonlarda daha fazla çözünür ve daha düşük dozajlarda daha etkili korozyon inhibisyonu sağlar.

2.2.4 Son kullanma tarihi geçmiş ilaçlardan yapılan korozyon önleyiciler.

Korozyon önleyici olarak taze farmasötiklerin kullanımı, yüksek maliyetleri nedeniyle önerilmemektedir. Süresi dolmuş ilaçlar ise korozyon önleyici olarak kullanılabilir. Birçok ilacın, son kullanma tarihlerini geçtikten sonra bir yıla kadar etkili olduğu söylenir. Eski ilaçların son kullanma tarihinden sonra 10 yıla kadar etkinliğini koruyabildiği kanıtlanmıştır (Quraishii and Rawat 2001). Bir literatür taramasına göre, birkaç ilaç, kullanım süreleri dolduktan çok sonra bile etkili korozyon önleyiciler olarak kullanılabilir (Ansari *et al.* 2018; Bentiss *et al.* 2009). Bu bağlamda, Ahamad and Quraishi (2010) yaptıkları çalışmada, son kullanma tarihleri geçmiş ilaçların korozyon önleyici olarak nasıl kullanılabileceğine dair bir özet verir.

2.2.5 Karbonhidratlar ve diğer biyopolimerler

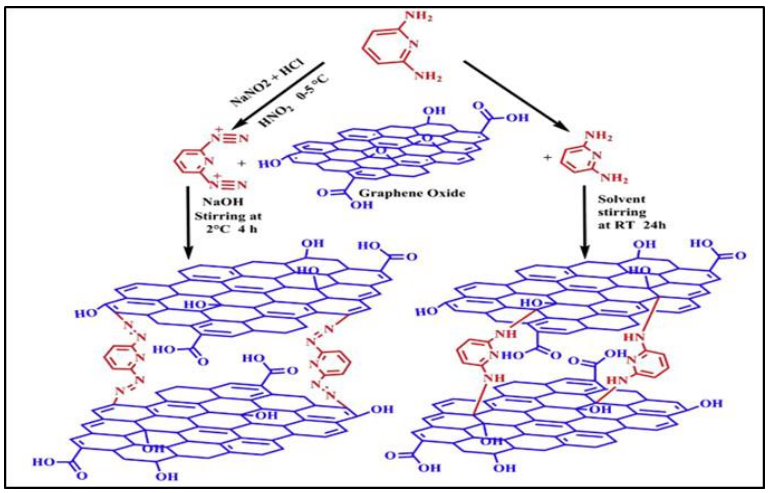
Doğal olarak oluşan karbonhidratlar, biyolojik olarak parçalanabilmeleri, biyolojik olarak uyumlu olmaları ve su içeren ortamlarda yüksek çözünürlüğe sahip olmaları nedeniyle son zamanlarda potansiyel bir korozyon önleyici sınıfı olarak dikkat çekmiştir (Shukla and Quraishi 2009). Kitosan(chitosan) (Ghazoui *et al.* 2013, Singh *et al.* 2013). Selüloz (Singh and Quraishi 2011), karboksimetil selüloz dâhil olmak üzere birçok korozyon önleyici türü hakkında raporlar mevcuttur (Gece, 2011), nişasta (Sandford-Smith 2003), arap zamkı (Organization 2011), pektin (Dohare *et al.* 2017) ve diğer karbonhidrat türevleri. Çeşitli biyopolimerlerin çözünürlüğü ve ayrıca inhibitör olarak etkinlikleri, son zamanlarda kimyasal değişikliklerin kullanılmasıyla geliştirilmiştir (Dohare *et al.* 2017, Dohare *et al.* 2017).

2.2.6 Kimyasal olarak değiştirilmiş nanomalzemeler

Nanopartiküller geleneksel olarak korozyon önleyici kaplamalar yapmak, ayrıca hidrofobikliği artırmak ve gözenekliliği azaltmak için kullanılmıştır. Sucul ortamlarda metal korozyon inhibitörleri olarak nanoparçacıkların kullanımı, son zamanlarda ortaya çıkan nanoteknoloji araştırmalarının yeni bir konusudur. Sonuç olarak, çinko oksit (ZnO) ve gümüş nanoparçacıkların (AgNp) çelik inhibitörü olarak Asidik koşullarda

kullanımı üzerine araştırmalar (Dohare *et al.* 2018; Dohare *et al.* 2017) yapılmıştır. kitosan, selüloz ve dekstran gibi biyolojik polimerlerle kombinasyon. Bu biyolojik polimerler, çeliğin korozyonunu önlemek için kullanıldı. Asit çözeltilerinde karbon çeliği korozyon inhibitörleri üzerine yaptıkları çalışmada, (Chauhan *et al.* 2016, Vaszilcsin *et al.* 2012) grafen oksit (GO) ile kimyasal olarak işlevselleştirilmiş heterosiklik bileşikler bildirmiştir.

Bunun bir sonucu olarak dietilentriamin (DETA) (Chauhan *et al.* 2016), diazopiridin (DAZP), diaminopiridin (DAMP) (Şekil 2.4) (Rajeswari *et al.* 2013), aminoazobenzen (AAB) gibi çeşitli kimyasal değiştiriciler), diaminobenzen (DAB) (Kalaivani *et al.* 2013) ve p-aminophenol (Bello *et al.* 2010), grafen oksit (GO)'i kimyasal olarak işlevselleştirmek için kullanılmıştır. Grafen oksit GO kimyasal bir işleme tabi tutulduğunda, ortaya çıkan nanopartiküller, aşındırıcı sıvılarda önemli ölçüde geliştirilmiş çözünürlük ve dağılabilirlik sergiledi.



Şekil 2.4 Diaminopiridin ve diazopiridin ile grafen oksit sentezi (Bouayad *et al.* 2018).

GO'nun yüzeyine eklenen organik değiştiriciler, mükemmel korozyon önleyiciler olarak çalışabilir. Ayrıca, GO ile birlikte kullanıldıklarında metal yüzeyin kaplamasını güçlendirir ve korozyon önleme davranışını iyileştirir.

2.2.7 Bitki Özleri

Bitki özleri genellikle yeşil, korozyon önleyiciler olarak düşünülür (Ndukwe 2022) ve özütleme tekniği ayarlarına bağlı olarak, özüt belirli fitokimyasallar içerebilir (Ön muameleler, sıcaklık, çözücü türü vb.). Fitokimyasallar, bitkilerde doğal olarak bulunan kimyasal bileşiklerdir. Söz konusu fitokimyasallar fenolik bileşikler, organik asitler, esterler, alkaloidler, flavonoidler, tannik asitler ve bitkiye göre değişen diğer maddelerdir. Bitki özlerinin biyolojik kökenleri, yani yeşil korozyon inhibitörleri nedeniyle genellikle biyouyumlu oldukları düşünülür. Bununla birlikte, yeşil inhibitörleri keşfetmeyi amaçlayan araştırmalar, doğada organik inhibitör bozunabilirliğinin kapsamlı bir incelemesinden faydalanacaktır. Çünkü biyolojik bozunma, mikrobiyal aktivite, su, UV-görünür ışık ve diğer faktörlerden etkilenen karmaşık bir süreçtir (Ndukwe 2022). Organik bileşenin kendisi yeşil olmasına rağmen, bozunma döngüsünün ara ürünleri çevre için tehlikeli olabilir.

Fitokimyasallar, çelik, demir ve diğer ekipmanları paslanmaya karşı korumak için tanenler ve türevlerinin kullanıldığı 1960'lardan beri korozyon inhibitörleri olarak kullanılmaktadır (Chaubey *et al.* 2017; Verma *et al*. 2018). 1972'de bitki özleri ilk kez bir makalede korozyon önleyici olarak kaydedildi. Tütün bitkisinin gövde ve dal ekstraktlarının, tuzlu çözeltilerde ve sert asidik dekapaj çözeltilerinde metal ve çeliği korozyondan koruduğu tespit edilmiştir (Alvarez *et al.* 2018). Yaprak özleri, 2 M HCl çözeltilerinde etkili yumuşak çelik korozyon önleyicileri olduğunu kanıtladı. Araştırmacılar, yalnızca yüzde 0.01 tütün konsantrasyonu (100 ppm) ile yüzde 96'lık bir maksimum önleyici etkinlik buldular. Çıkarılan tütün, alkaloidler ve terpenler dahil olmak üzere çok sayıda kimyasal bileşene sahiptir (Asadi *et al.* 2019). Tüm bu bileşenlerin korozyon önleme gibi elektrokimyasal etkilere sahip olduğu bulunmuştur (Casaletto *et al.* 2018).

1981'de Srivastava ve Srivastava, tütün, karabiber, hint tohumu, Akasya sakızı ve ligninin asidik bir çözeltide etkili çelik korozyon önleyicileri olduğunu keşfettiler. Lignin ve karabiber de asidik ortamlarda etkili alüminyum inhibitörleri olarak

gösterilmiştir. Yüzde 5'lik bir HCl çözeltisinde, hint tohumu, karabiber ve lignin, karbon çeliği korozyonunu % 60-70 oranında azaltmıştır (De Souza and Spinelli 2009).

(Azzaoui *et al.* 2017) Sekiz farklı bitkiden alınan alkollü ekstraktların yumuşak çelik üzerindeki korozyon etkinliğini araştırdı. 0,5 M HC1 içinde, Artemisia sieberi ve Tripleurospermum auriculatum (0.01 g/100 mL) özleri yaklaşık yüzde 91 verimlilik gösterdi. Calligonumcomosum (CC) ekstraktının 2 M HCl solüsyonunda bakır korozyonunu önlemedeki etkinliği incelendi. 0.8 g/L CC özü ile polarizasyon deneyleri maksimum % 80 etkililiği ortaya çıkardı (Wang *et al.* 2018). Coriandrum sativum L. (CSE) tohumlarının sulu özütü, 1 M fosforik asit içinde alüminyum korozyonu için yeşil bir inhibitör olarak incelenmiştir. 30 ^{o}C'de 500 ppm CC en etkiliydi (% 71.51) (Umoren *et al.* 2015).

Opuntia ficus indica, Aloe vera'nın yapraklarından ve portakal, mango meyvelerinin kabuklarından elde edilen sulu ekstraktların, suyla seyreltildikleri takdirde HCl ve H_2SO_4'ün asit çözeltilerindeki çelik ve alüminyumun korozyonunu önleyebildiği gösterilmiştir.

Al ve Zn en iyi mango kabuğu ekstresi ile korunurken Cu en iyi nar meyve kabuğu ekstresi ile korunmuştur (Patni *et al.* 2013).

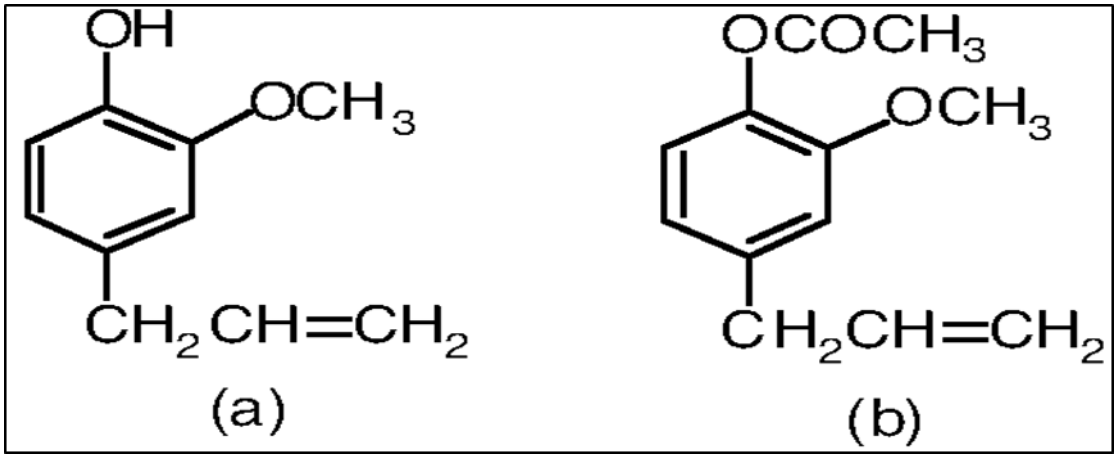
1 M HCl çözeltisinde, sulu bir Okaliptüs yaprağı özütü, yumuşak çelik ve bakır korozyonunu önledi (Dehghani *et al.* 2019). Engelleme etkinliği, galvanostatik polarizasyon, kütle kaybı ölçümleri ve yüzey karakterizasyon yöntemleri kullanılarak incelenmiştir. İnhibisyonun, özütün konsantrasyonu ve sıcaklık azaldıkça daha etkili olduğu gösterildi. Karışık tip bir inhibitör olan özüt, katodik kontrol için yüksek bir eğilime sahiptir ve hem katodik hem de anodik süreçleri engellediği görülmüştür (El Hamdani *et al*., 2015).

Faustin ve çalışma arkadaşları (2015), Opuntia özütünün metal korozyonun önlenmesinde gerekli araştırmayı yapmışlardır. Ekstraktların alüminyum asit korozyonunu bastırma kabiliyetini incelemek için ağırlık kaybı, termometri, hidrojen

evrimi ve polarizasyon teknikleri kullanmışlardır. 2 M HCl çözeltisinde özütün etkili bir alüminyum korozyon önleyici olduğu bulmuşlardır. Ekstraktın konsantrasyonu ne kadar yüksek olursa, inhibisyon o kadar etkili olmuştur. Langmuir adsorpsiyon izoterminin, özütün aktivitesini tanımladığı bulundu. Opuntia özütünün, klorür iyonları mevcut olduğunda metalin korozyona uğramasını engellediğini iddia edilmektedir (Anupama *et al.* 2016).

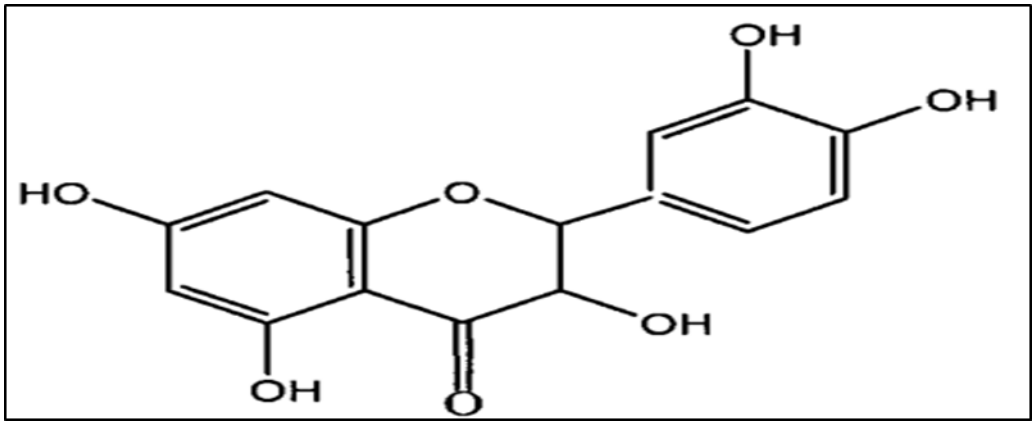
Kına (Lawsonia) yapraklarının sulu ekstraktının asidik, nötr ve alkali çözeltilerde korozyon önleyici olarak kullanılabileceği bulunmuştur. Lawsonia, Afrika ve Asya'da tıbbi ve boyama uygulamaları için yetiştirilmektedir (Bhardwaj *et al.* 2021). Ekstraktın korozyon önleyici özellikleri, test edilen üç metalin hepsinde bulundu. Yazarlara göre (Kumar and Mohana 2014) inhibisyon derecesi metalin doğasına ve ortamın tipine göre belirlenir. Sonuçlara göre, Lawsonia özütü, inhibitör aktivitesinin asitten alkaline, nötre yükselmesi nedeniyle karışık bir inhibitördür. Lawsonia moleküllerinin metal yüzeye yapışmasının zorluğu göz önüne alındığında, ekstraktın engelleyici etkisi tartışılmıştır. Langmuir adsorpsiyon izotermi (Sharma *et al.* 2020) tarafından incelenen tüm sistemlerde gözlemlenmiştir. Çelik ve nikel için bir korozyon inhibitörü olan Lawsone (2-hidroksi-1,4 naftokinon), metal katyonları arasında bir kompleks oluşumuna katkıda bulunan bir bileşen olduğu düşünülüyordu (Okerulu and Onyema 2015).

1 M HCl çözeltisi içinde. (Okewale and Adebayo 2020) Karanfil çivisinden izole edilen iki bileşik olan öjenol ve asetilöjenol, çelik korozyonunu bastırma yetenekleri açısından test edildi. Deney sırasında ağırlık azalmasını ölçmek için araştırmacılar tarafından elektrokimyasal empedans spektroskopisi ve ölçekler kullanıldı. Diyagram, her ikisi de vanilloid olan öjenol ve asetilöjenolün kimyasal yapılarını göstermektedir. Şekil 2.6 bunun bir örneğini göstermektedir.



Şekil 2.5 Eugenia caryophyllata'dan türetilen öjenol ve asetilöjenol'ün moleküler yapıları (Fares and Maayta 2012).

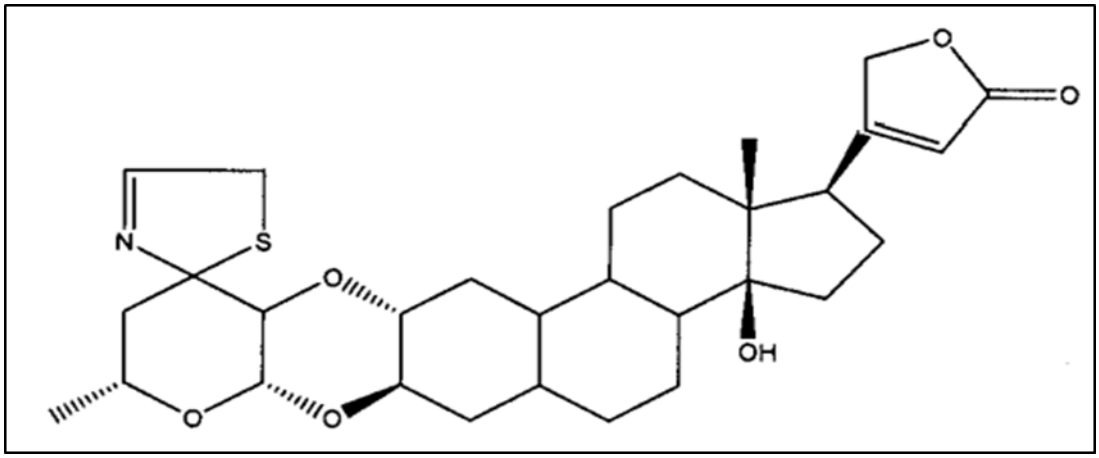
Ağırlık kaybı yaklaşımını kullanan Alfred ve iş arkadaşı James ve diğerlerine göre kırmızı soğan kabuğu aseton özü, hidroklorik asit çözeltisinde çinko korozyonunu engelledi. Araştırmada, farklı ekstrakt konsantrasyonların çinko korozyonu üzerinde önemli bir etkiye sahip olduğu bulunmuştur. İnhibisyon etkinliği sıcaklık ve konsantrasyona göre değişir (Adindu *et al*. 2017); Chaubey *et al.* 2021). Birincil kurucu kimyasal yapısı tasvir edilen kırmızı soğan kabuğu özü, 0.08 g/L konsantrasyonda % 90'ın üzerinde bir inhibitör etkililik elde etti. Örneğin, Şekil 2.7 bu noktayı göstermektedir.



Şekil 2.6 Kuersetin'in moleküler yapısı, kırmızı soğan özü. (Beenakumari 2011) (Pareek *et al.* 2017).

Calotropis gigantea yaprakları, lateks ve meyve alkollü özleri, bazik çözeltide yumuşak çelik korozyon inhibitörleri olarak incelenmiştir (Sharmila *et al.* 2010). Basit bir çözümde, özler yumuşak çelik korozyonunu % 81'e kadar azalttı. Calotropis procera'nın ağırlık kaybı, elektrokimyasal, SEM ve UV teknikleri kullanılarak sülfürik asit ortamındaki "yumuşak çelik" korozyonunu baskılayabildiği belirlendi (Pushpanjali and Rao 2017).

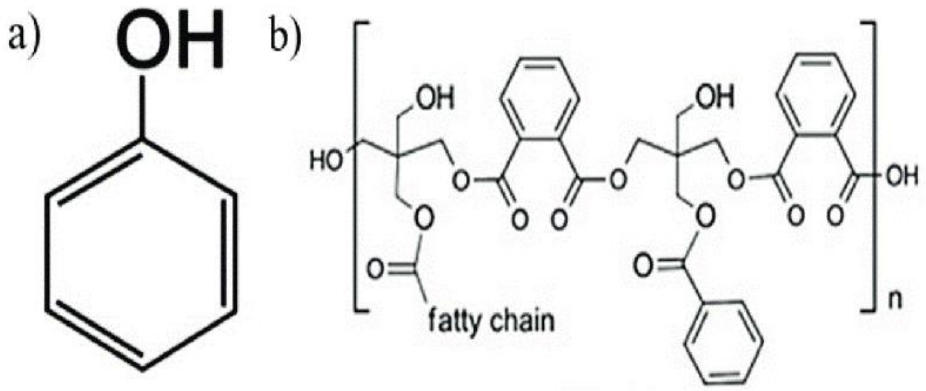
Calotropis-proceranın, ortam sülfürik asit içeriyordiğinde yumuşak çelik korozyonunu önemli ölçüde inhibe ettiği görülmüştür (Yadav *et al.* 2018). Calotropis'in benzersiz nitelikleri sayesinde birçok hastalık tedavi edilebilebilmektedir. Uscharin, Calotropis özütünün ana bileşenidir (Şekil 2.8). Uscharin'in metal yüzeylerde adsorpsiyonu üzerine yapılan önceki araştırmalara göre, azot, kükürt ve oksijen içeriği önemli bir rol oynamaktadır.



Şekil 2.7 Calotropis özü bileşenlerinden biri olan Uscharin ve moleküler yapısı (Parhira *et al.* 2014) (Zhou *et al.* 2019).

Narenciye aurantifolia yaprağı ekstresi (CAL), alkid boyada korozyon önleyici katkı maddesi olarak kullanılmış ve 0.2M HCl içinde test edilmiştir. Fourier transform kızılötesi (FTIR) spektroskopisi, birkaç aktif fonksiyonel grup ve alkid boya ile CAL özü arasında kompleksleşme oluşumunu göstermiştir. Yeni modifiye edilmiş boyanın korozyon değerlendirmesi, ağırlık kaybı ölçümleri, elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) ve taramalı elektron mikroskobu (SEM) ile yapılmıştır. Her hafta

CAL ekstresinin konsantrasyonu arttıkça ağırlık kaybı yüzdesinin azaldığı, daldırma periyodunun etkisinin ise her konsantrasyon için ters bir eğilim gösterdiği bulunmuştur. Bir taramalı elektron mikroskobu (SEM) kullanan bir morfolojik analiz çalışması, CAL özü ve alkid reçinesi arasında çapraz bağlanmayı doğrularken, birkaç kaplama kusuru gözlendiği görülmüştür. Bu nedenle, CAL özütü, asidik ortam uygulaması için alkid boyada korozyon önleyici katkı maddesi olarak kabul edilebilir bir potansiyel göstermektedir. CAL ekstresi fenolik bileşik ile temsil edilir, çünkü CAL'nin en etkili bileşiği fenolik bileşiklerdir (Şekil 2.9). Fenolik bileşik ve alkid reçine monomerinin moleküler yapısı yapılan çalışmalarda görülmektedir (Zulkıflı *et al*. 2021).

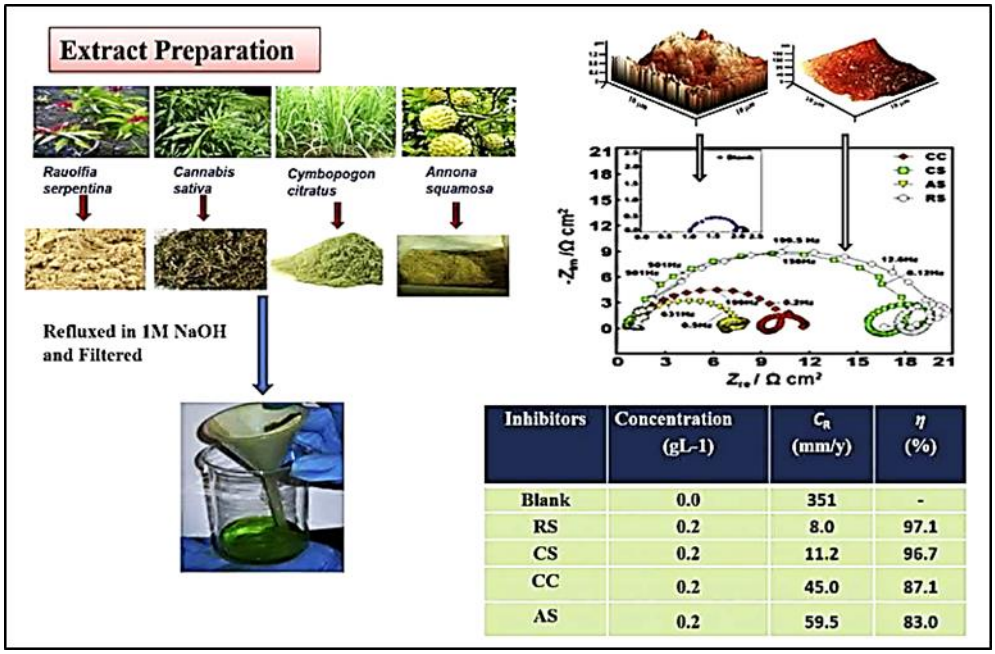


Şekil 2.8 moleküler yapısı a) fenolik bileşik ve b) alkid reçinesi (Zulkıflı *et al*. 2021).

Yaprak, gövde, kök, çiçek, meyve, posa ve diğer bitki parçaları etkili korozyon önleyicilerdir (Ndukwe 2022, Umoren *et al*. 2015). Bitki özleri ucuz, çevre dostu korozyon önleyicilerdir. Heteroatomlu fitokimyasallar, korozyonu azaltmak için metal yüzeylere tutunur (Aralu *et al.* 2021). (Şekil 2.10) bitki özü işlemesini ve korozyon önleyici uygulamasını gösterir.

Bitki özleri, diğerlerinin yanı sıra flavonoidler, alkaloidler, kateşinler ve terpenoidlerden oluşan bitki proteinleri, polisakaritler ve vitaminlerden üretilen amino asitler gibi çeşitli fitokimyasallar içerir. Bu kimyasallar heteroatomlar, heterosiklik halkalar ve ankraj

merkezleri içerir ve canlılar üzerinde düşmanca bir etkisi yoktur (Bouyanzer *et al*. 2010; Chauhan *et al*. 2019, Jung and Yi 2012; Verma *et al*. 2018).



Inhibitors	Concentration (gL-1)	C_R (mm/y)	η (%)
Blank	0.0	351	-
RS	0.2	8.0	97.1
CS	0.2	11.2	96.7
CC	0.2	45.0	87.1
AS	0.2	59.5	83.0

Şekil 2.9 (Sol) Bitki, yapraklar özü hazırlamak; (Sağ) Atomik kuvvet mikroskobu (AFM) fotoğrafları, Elektrokimyasal empedans spektroskopisi (EIS) verileri ve dört ekstraktlı ve ekstraktsız 1 M NaOH'de Al alaşım korozyonu için inhibitör verimlilikleri.

Fitokimyasallar,alkaloidler, saponinler, glikozitler ve tanenler, sebze kabuklarında, yapraklarda ve meyvelerde bol miktarda bulunur (Li *et al*. 2014). Bitki yaprakları ayrıca tıbbi durumlarını ve çeşitli farmakolojik uygulamalar için potansiyel etkinliklerini açıklayan mineraller ve ikincil metabolitler de dahil olmak üzere faydalı bileşenler içerir (Quadri *et al.* 2017, Solomon *et al.* 2017). Fitokimyasal zenginlikleri nedeniyle, aşağıda ayrıntılı olarak açıklandığı gibi paslanmayı önlemek için kullanılıp kullanılamayacaklarını görmek için bazı araştırmalar yapılmıştır.

Gnetum, Africana

Gnetum africana, popüler bir Afrika sebzesidir. (Solomon *et al.* 2017) Eddy ve çalışma arkadaşları (2022), tarafından Gnetum africana etanol özütü, H_2SO_4'te yumuşak çelik korozyonu üzerinde test edildi. 303 ve 333 K'da 0.1 ila 0.5 g/L sırasıyla yüzde 43.33-72.1 ve 60.53-67.11 oranında inhibe etti. Bu sebzenin etkinliğini test etmek için gravimetrik, gazometrik ve termometrik yöntemler kullanıldı. Ekstraktın inhibitör kapasitesi verimliliği, ekstrakttan antrakinon, saponin, alkaloid, tanen, kardiyak glikozit ve alkaloidin adsorptif özellikleriyle bağlantılı olduğu tespit edilmiştir. Sıcaklık ve standart serbest enerji değişimi azaldığında 0.1 ila 0.5 g/L inhibitör dozlarında 22.42 ila 77.38 J/mol fiziksel adsorpsiyon en etkili inhibitör mekanizması olarak belirlendi. Bu, azalan engelleyici etkinlik ve daha düşük standart serbest enerji değişim değerleri ile tutarlıdır. Korozyon önleme dinamikleri, çeşitli inhibitör dozlarında aktivasyon enerjisi hesaplanarak incelenmiştir. Konsantrasyon arttıkça aktivasyon enerjisi de yükseldi, bu da konsantrasyondaki artışla adsorpsiyon gücünün de arttığını gösteriyor. İnhibitörün adsorpsiyon özelliklerini eşleştirmek için Langmuir izotermi ve başka bir adsorpsiyon izotermi kullanıldı. Pozitif etkileşimler kullanarak, inhibitör bileşikler hedef molekülleri çekebildi (Eddy *et al*. 2022).

Solomon ve çalışma arkadaşları (2018), bir Gnetum africana asit (HCl) özütü kullanılarak % 95 korozyon önleme elde edildi. Düşük adsorpsiyon ısısı nedeniyle ekzotermik ve fiziksel adsorpsiyon uyumludur. Aktivasyon değerleri, düşük dozlarda 26 kJ/mol'den büyük dozlarda 200'ün üzerine kadar değişir ve bu, fiziksel ve kimyasal adsorpsiyona işaret eder.

Lasianthera-Africana

Lazanthera-africana olarak bilinen bir sebze, Nijerya, Kamerun ve Fildişi Sahili de dahil olmak üzere Afrika'nın birçok yerinde bulunabilir (Eddy *et al*. 2022). Ayrıca bu bitkinin yaprağının paslanmayı önlemeye yardımcı olabileceği de kanıtlanmıştır. Gupta ve diğerleri (2019) çalışmalarında, Lasianthera-africana bitkisinin yaprağının etanol özütünün değişen sıcaklıklarda H_2SO_4'in neden olduğu yumuşak çeliğin korozyonunu

en aza indirmeyi başarmışlardır. Bitki özündeki adsorpsiyon serbest enerji varyasyonları, normal şartlar altında yumuşak çelik korozyonu için adsorpsiyon serbest enerjisinin yüzde 20'sinden fazla değildi. Bu dalgalanmalar Langmuir ve Temkin sabitleri kullanılarak değerlendirildi ve -11.01 ile -16.88 kJ/mol arasında değişiyordu. Langmuir ve Temkin'in adsorpsiyon izotermi varsayımları güçlü bir şekilde destekleniyor ve fiziksel adsorpsiyon süreci hakkında yeni bilgiler ortaya çıkardığı görülmüştür. Sıcaklık yükseldikçe korozyonun etkin olma süreci düşmekte ve bunu ortaya koyan deneysel sonuçlarla fiziksel adsorpsiyon mekanizması doğrulandığı görülmektedir.

Ek olarak, düşük ekzotermik adsorpsiyon ısısı ve öngörülen aktivasyon enerjisi, çalışmanın bulgularını desteklemektedir. Daha sonra yazarlar, termodinamik ve kinetik teorilerine dayanan önemli olan çalışmayı tamamladılar. Son aşama olarak, kızılötesi spektrumu kullanarak özütün adsorpsiyonunu artıran fonksiyonel gruplarını tanımlamışlardır. Bu da H_2SO_4'ün neden olduğu yumuşak çeliğin korozyonunu durdurmak için korozyon sürecinde son aşama olmaktadır

Gupta ve çalışma arkadaşları (2017), yaptıkları çalışmada üç farklı bitkiden elde edilen özler kullanmışlardır. Bunlar, kırmızı fıstık kabuğu özü, Lasianthera africana ve P. beauv müsilaj olup yüzde 99,48 ile en yüksek inhibitör etkinliğine sahip oldukları tespit edilmiştir. Lasianthera africana yaprağının fitokimyasal bileşenlerinin bitkinin verimliliği ile ilişkili olduğu da gösterilmiştir (Eddy *et al*. 2022).

Kabak

Baig ve çalışma arkadaşları (2019), kabak çekirdeği ekstresinin korozyon önleyici özelliklerini ve ayrıca inhibisyon etkinliği ile zaman, konsantrasyon ve diğerleri gibi değişkenler arasındaki istatistiksel korelasyonu araştırdı. Araştırmaları, engellemenin nasıl çalıştığı hakkında çok fazla ayrıntıya girmedi. NaCl'de alüminyum korozyonunun önlenmesi için (El Hamdani *et al.* 2015) 1 g/L'de maksimum % 95 etkinliğe sahip 1 g/L veya 1 g/L kabak çekirdeği kullanmıştır. Korozyon önlendiğinde atomik kuvvet mikroskobu, taramalı elektron mikroskobu ve hatta X-ışını kırınımı kullanılarak gerçek

bir çözeltide metal yüzeylere sağlanan koruma seviyesinin boş bir çözeltininkiyle değerlendirilmesi mümkün olmuştur. Bu araştırmalarda elektrokimyasal yöntemler kullanılarak "özütlerin" "katodik inhibitör" olarak çalıştığı ve adsorpsiyon izoterm eğrilerine en uygun olanın Langmuir izotermi olduğu bulunmuştur.

Ayrıca, Okewale ve Adebayo (2020), karbon çeliği korozyonunu önlemek için bir inhibitör olarak doğal ve çevre dostu atık malzemelerin kullanımına odaklandı. Karbon çeliği üzerinde minimum korozyon oranını elde etmek için karbon çeliği korozyonunu etkileyen proses faktörlerinin optimizasyonu yapılmıştır.

Üç değişken izlendi ve etkileri gözlemlendi; sıcaklık, kabak çekirdeği ekstresi konsantrasyonu, maruz kalma süresi ve bunların karbon çeliğinin korozyon hızı üzerindeki karşılık gelen etkileri tespit edildi. Model tarafından tahmin edilen en düşük korozyon hızı, 178.07 ppm balkabağı özü konsantrasyonu, 2,26 saat maruz kalma süresi ve 35.28oC sıcaklık gibi optimum koşullarla 2,5427 mm/yıl'dır. Koşullar üç kopya halinde doğrulandı ve 2.75 mm/yıl'lık bir korozyon hızı elde edildi (Eddy *et al*. 2022); Okewale and Adebayo 2020).

Ocimum Ücretsiz (Ocimum Gratissimum)

Birçok yerde Ocimum gratissimum yaprağı hem baharat hem de sebzedir ve çok çeşitli yemeklerde kullanılır. Güney Asya, Afrika, Meksika, Bolivya ve Brezilya, bitkinin bulunabileceği ülkelerden sadece birkaçıdır. Çeşitli çalışmalarda Ocimum gratissimum yaprağı ekstresi ile metal absorpsiyonunun azaldığı gözlenmiştir. Ocimum-gratissimum yaprak özütü, yumuşak çeliğin 0,5 M H_2SO_4 ve 1 M HCl varlığında korozyona uğramasını önleme kabiliyeti açısından gravimetrik, elektrokimyasal, FTIR ve taramalı elektron mikroskobu ile test edilmiştir (Adindu *et al.* 2017). H_2SO_4 ve HCl için sırasıyla yüzde 92.4 ve yüzde 71.1 etkili inhibitörlerdi (Gerengi *et al.* 2015). FTIR spektrumları ile korozyonu durdurulan metallerin pürüzsüz yüzeylere sahip olduğu keşfedilirken, taramalı elektron mikroskobu görüntüleri inhibitörün adsorpsiyonunun yüzeyde bulunan fonksiyonel gruplara bağlı olduğunu gösterdi (Eddy *et al*. 2022).

Murraya Koenegii

Açık devre potansiyel testlerinde, yapılan bir çalışmada, Murraya-koenigii yaprağı ekstresinin, çözeltiyi polarize ederek, 1 M HCl'de yumuşak çelik korozyonunu azalttığını bulunmuştur (Beenakumari 2011), (Al-Otaibi *et al*. 2014). 120 dakikalık daldırmanın ardından, % 94,2'lik bir maksimum engelleyici etkinliğe ulaştığı ağırlık kaybı ölçümlerinden tespit edilmiştir. Daha uzun temas süreleri ve daha düşük sıcaklıklar, ilacın engelleyici etkisini güçlendirdiği görülmüştür. Ağırlık kaybı ve elektrokimyasal ölçümler arasında bir tutarsızlık olmadığı ve HCl çözeltisindeki karbon çeliğinin oldukça büyük bir miktarda engellendiği görülmektedir. Gravimetrik, gazometrik ve empedans çalışmaları ile ölçüldüğü gibi, inhibisyon etkinliği sırasıyla % 80,4 ile % 84,66, % 78,6–82,46 ve % 81,2–84,56 aralığında bulunmuştur. Langmuir adsorpsiyon modeli, inhibitörün katodik aktivitesinden ziyade anodik aktivitesine uygun olduğu görülmüştür (Pushpanjali and Rao 2017). Murraya koenigii yaprak özütünün HCl çözeltisinde alüminyum korozyonunun anodik bir inhibitörü olduğunu doğruladı (Shabani-Nooshabadi *et al.* 2015). Düşük bir ekstrakt konsantrasyonunda, % 92'lik bir inhibitör etkisi elde edebildiler. Ekstrakta hem fiziksel hem de kimyasal adsorpsiyon yollarına bakıldığında, Langmuir modelinin her ikisini de kullandığı görülmektedir (Eddy *et al.* 2022). Murraya koenigii yaprak özütünün, 0.1 N trioksonitrat (V) içeren asidik bir ortamda yumuşak çelik korozyonunu önlemede etkili olduğu bir açlışamda tespit edilmiştir. Çalışma, inhibitörün sıralı bir şekilde adsorbe edildiğini göstermektedir(Prabhu and Rao 2013).

Siyah Biber

Başka bir çalışmada, siyah biber (Xylopia aethiopica) meyve özlerinin yumuşak çelik için korozyon önleyici etkisi araştırıldı. Meyvenin heksan, su ve etanol özütleri, 5 M H_2SO_4 çözeltisine daldırılmış yumuşak çelik üzerine oda sıcaklığında uygulandı. Korozyon önlemenin etkinliği ve mekanizması gravimetrik teknikler, Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi, Taramalı Elektron Mikroskobu ve Ekstraktların Fitokimyasal analizleri kullanılarak incelenmiştir. Langmuir ve Freundlich adsorpsiyon izotermleri de ağırlık kaybı verileri üzerinde test edildi. Ekstraktların

konsantrasyonundaki artışın inhibisyon etkinliğinin artmasıyla sonuçlandığı gözlenmiştişr. Özütlerin mevcut aralığı şuydu: su özütü (% 30,38-93,00), heksan özütü (% 38,90-97,18) ve etanol özütü (% 41,32-98,32). Bununla birlikte, ekstrakt konsantrasyonunun artmasıyla korozyon hızı azalmıştır. Ekstraktların her birini kullanan korozyon önleme süreci, Langmuir izotermi tarafından Freundlich izoterminden daha iyi tanımlanmıştır (Giwa and Adetunji 2020).

Çay Ağacı Özü ve Ana Bileşenleri

Çay ağacı özü, kozmetik, gıda ve ilaç endüstrilerinde uygulanmış ve kimyasal olarak sentezlenmiş bileşiklerin yerini almak için yeşil umut verici bir korozyon inhibitörü olarak kullanılabileceği gözlenmiştir.

Çay ağacı özütü ve bileşenleri (α-terpineol, 1,8-cineole ve terpinen-4-ol), 1 M HCl çözeltisinin varlığında yumuşak çelik için tek tip korozyon ve paslanmaz çelik için oyuk korozyonu üzerinde antikorozif bir etki göstermiştir. FTIR, Raman spektroskopisi ve EIS kullanılarak yapılan yüzey karakterizasyon analizi ve lazer taramalı konfokal mikroskopi gözlemleri, 1 M HC1 çözeltisine çay ağacı özütünün eklenmesinin paslanmaz çelik için çukurlaşma alanını ve derinliğini azalttığını göstermiştir, 298 K'de yumuşak çelik ve paslanmaz çeliğin korozyonu sırasıyla % 77 ve % 86'ya kadar engellenmiştir, İnhibitör performansına katkıda en etkili bileşen, % 83 inhibisyon etkinliği ile α-terpineol olarak (Kim and Shin 2021).

3. MATERYAL VE METOT

Çalışmada, L 80 C Çeliği 2,7 x 4,8 x 0,6 ebatlarında kesildi. Yeşil inhibitor olarak değişik ağırlıklarda Türk Kahvesi Mehmet Efendi kullanıldı. Korozyon testi için % 37'lik HCl asitten hazırlanmış, % 15'lik konsantrasyonda çözeltiler hazırlandı. Belirli ebatlarda kesilen L 80 C çeliğinin yüzeyinin temizliği ve parlatılması işlemleri gerçekleştirildi. L 80 Temizlik için once zımpara ile ön işlem gerçekleştirildi Daha sonra % 99 saflıkta Aldrich Aseton ile yüzeyin parlatılması yapıldı. Parlatma işleminden sonra Heraeus Instruments T6 marka Etüv'de 60°C'de kurutma gerçekleştirildi. Kurutma sonrası L 80 çeliğin boş tartımı Balance XPR204S marka hassas terazi ile alındı. 8 tane 100 mL hacme sahip behere hazırlanan % 15'lik HCl asit çözeltisinden 100 mL ilave edildi. Yeşil inhibitor Türk Kahvesinden 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 gram tartılarak HCl olan behere ilave edildi. Bir tane beher şahit denemede kullanıldı. L 80 C çeliği beherlerin içine belli sıcaklıklarda 30, 50, 60, 70, 80 ve 90 °C'de, 3, 4, 5, 6 h korozyon reaksiyonu için su banyosunda bekletildi. Sıcaklığın sabit tutulması için Nüve NB 5 su banyosu 4 Litre kullanıldı.

Beherden çıkarılan L 80 C çeliğin ağırlık ölçümü hassas terazide gerçekleştirildi. Sonrasında saf su ile durulama ve kurutma gerçekleştirildi. Korozyon sonrası L 80 C çeliğinin Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntüleri alındı. Carl Zeiss Sigma 300 VP Fe-SEM cihazı kullanılmıştır.

3.1 Materyal Sentezinde Kullanılan Kimyasallar

Korozyon testinde ticari % 37'lik HCl asit çözeltisinden % 15 konsatrasyonunda çözelti hazırlanmıştır. L 80 C çeliğinin yüzeyini temizlemede % 99 saflıkta Aldrich aseton kullanılmıştır.

3.2 Alaşım (karbon çeliği) Parlatma ve Temizleme Levhaları

L80 C çeliği belirlenen ebatlarda kesildikten sonra yüzey pürüzlülüğünü gidermek için zımpara ile işlem görmüştür. Bundan sonra yüzeylerinin parlatılması ve temizlenmesi için aseton ile muamele edilmiştir.

3.3 L 80 C Çeliğinin Kurutulması

Parlatma işleminden sonra Heraeus Instruments T6 marka Etüv'de 60°C'de kurutma gerçekleştirildi.

3.4 Su Banyosu

Reaksiyon sıcaklığını sabit tutarak korozyon reaksiyonunu kontrol etmek ve reaksiyon ortamını gerekli sıcaklığa getirmek amacıyla su banyosu kullanıldı. UTGE-4000 220-240 V 50-60 Hz marka ve modelde su banyaosu kullanılmıştır.

3.5 Hassas Terazi

Korozyon önleyici Türk kahvesi ve metal parçaların L80 karbon çeliği ağırlıklarını deneyleri yapmadan önce ve sonra ölçmek için hassas terazi kullanılır. Terazinin marka ve modeli, Balance XPR204S'dir.

3.6 L 80 C - Çelik Özellikleri

API standardı 5CT'ye uygun olarak üretilmiştir. Bu sertlik testi gereksinimi olan kontrollü bir akma dayanımı malzemesidir. Normalde C-Steel L80 , hidrojen sülfür ortamlara sahip kuyularda kullanılır.

Karbon çeliğinin kimyasal bileşimi C-Steel L80 Manufacture Company-Continental Aloys & Services'ten temin edilmiştir.

Mn =% 1.900 , Si = % 0.450 ,C =% 0.430 , Ni = % 0.250 , P = % 0.030, S = % 0.030, Cu= % 0.350 , Fe = % 96,56.

3.7 Kahve çözeltilerinin hazırlanması + Hidroklorik asit

Yedi farklı ağırlıkta kahve (1, 2, 3, 4, 5, 6 ve 7) g, 100 mL hidroklorik asit içinde çözülerek sırasıyla 7 farklı konsantrasyon 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05, 0.06 ve 0.07 mg/mL elde edildi.

3.8 Ağırlık Kaybı Yöntemi:

L 80 C çeliğinin deneye başlamadan önce boş tartımları alındı. Yeşil inhibitör Türk Kahvesinin değişik ağırlık oranlarında 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06 ve 0,07 mg/mL hazırlanan beherlerde % 15'lik HCl çözeltisine ilave edildi. Çözeltinin homojen olması için karışım sürekli karıştırıldı. Bunda sıcaklık önemli olduğu için 30, 50, 60, 70, 80 ve 90 ° C'de 3, 4, 5 ve 6 saatlik reaksiyonların gerçekleşmesi için su banyosunda tutuldu. Bu esnada L 80 C çelik levhalar beherlere daldırıldı. Metal parçalar çıkarıldı, iyice temizlendi, aseton ve seyreltilmiş hidroklorik asit ile yıkandı, daha sonra safsızlıkları ve tortuları gidermek için distile su ile durulandı. Tamamen kuruduktan sonra ağırlık kaybını bulmak için parçalar yeniden tartıldı. Deneylerdeki metal parçaların ağırlık kaybı miligram olarak hesaplanmıştır (Danaee *et al.* 2020; Yaqoob 2021).

3.9 Fourier Dönüşümlü Kızılötesi Spektroskopisi (FTIR)

Korozyon sonrası L 80 C çeliği üzerinde meydana gelen değişimi FTIR ile belirlemek için analiz edilmiştir. Burada kullanılan FTIR, Bruker Tensor II FT-IR/ATR spektrometresi ile katı ve sıvı örneklerin yüzde transmisyon spektrumları orta infrared bölgesinde (4000 - 400 cm^{-1} dalga sayısı aralığında) alınmıştır.

3.10 Taramalı Elektron Mikroskobisi (SEM) Analizi

Korozyon sonrası L 80 C çeliğinin Taramalı Elektron Mikroskobunda (SEM) görüntüleri alındı. Carl Zeiss Sigma 300 VP Fe-SEM cihazı kullanılmıştır.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Çoğu metal, oksijen, su buharı, karbon dioksit veya asitler gibi çevrelerindeki bileşenlerle etkileşimleri nedeniyle bu metallerin bileşiklerinin oluşumuna yol açan korozyon olgusuna maruz kalır (Yaqoob 2021). Bu önemli, çözümü mümkün olmayan veya pahalı olmayan problemlerden biridir (Anwo *et al.* 2019) ve korozyon hızı, birim alanın ağırlığındaki azalma hızı olarak tanımlanır.

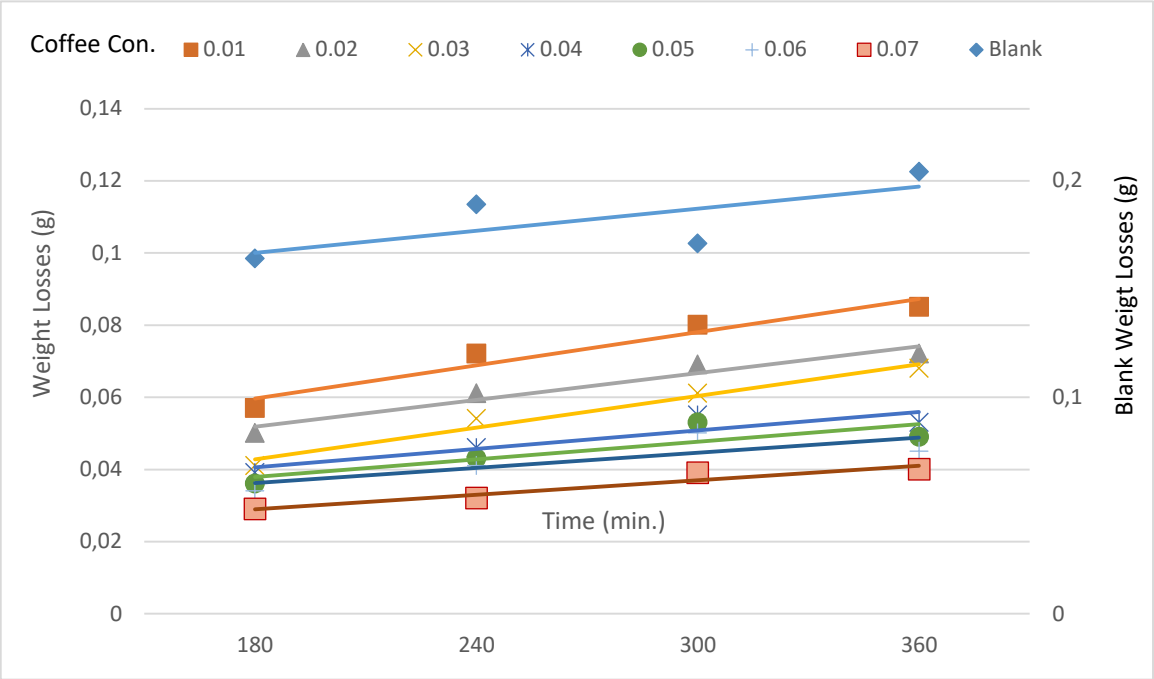
İnhibitörler, korozif ortama katılarak metallerin yüzeyinde istenmeyen korozyon oranını ve korozyon hızını azaltmak için kullanılır (Hossain *et al.* 2021).

Karbon çeliği (C-Steel L80) başta petrol sektörü olmak üzere birçok endüstriyel alanda kullanılmaktadır(Cordeiro *et al.* 2018).

Bu çalışmada, Türk kahvesinin korozyon önleyici inhibitör olarak etkisini incelemek için % 15'lik HCl çözeltisinden 100 mL alındı. Öncesi şahit deneme ile birlikte L 80 C Çeliği plakaları behere daldırıldı. Belli sürelerde belli sıcaklıklarda plakalar beher içinde tutuldu. Deney süresi bitiminde plakalar beherden çıkarıldı. Reaksiyon öncesi ve sonrası ağırlık tartımları alınarak korozyon etkisi incelendi.

4.1 Ağırlık Kaybı Ölçümleri

Bu çalışmada, L80 C- çeliği için korozyon önleyici olarak Türk kahvesinin değişik ağırlık konsantrasyonunda, % 15'lik HCl çözeltisinde homojen karışımı sağlanarak ağırlık farkından korozyona uğrama reaksiyon parametreleri belirlenmiştir. Korozyon sonrası L80 C çeliği tartılmış, ilk baştaki boş tartımıyla farkı bulunmuştur. Deneysel parametrelerden ağırlık kaybı ve zaman grafikleri çizilmiştir (Şekil 4.1). 30 C°'de 3, 4, 5 ve 6 saat boyunca farklı konsantrasyonlarda Türk kahvesi (boş, 0,01, 0,02, 0,03, ,04 0,05, 0,06, 0,07) (Batah *et al. 2020,* Cordeiro *et al. 2018,* Hossain *et al. 2021,* Reza *et al.* 2021).

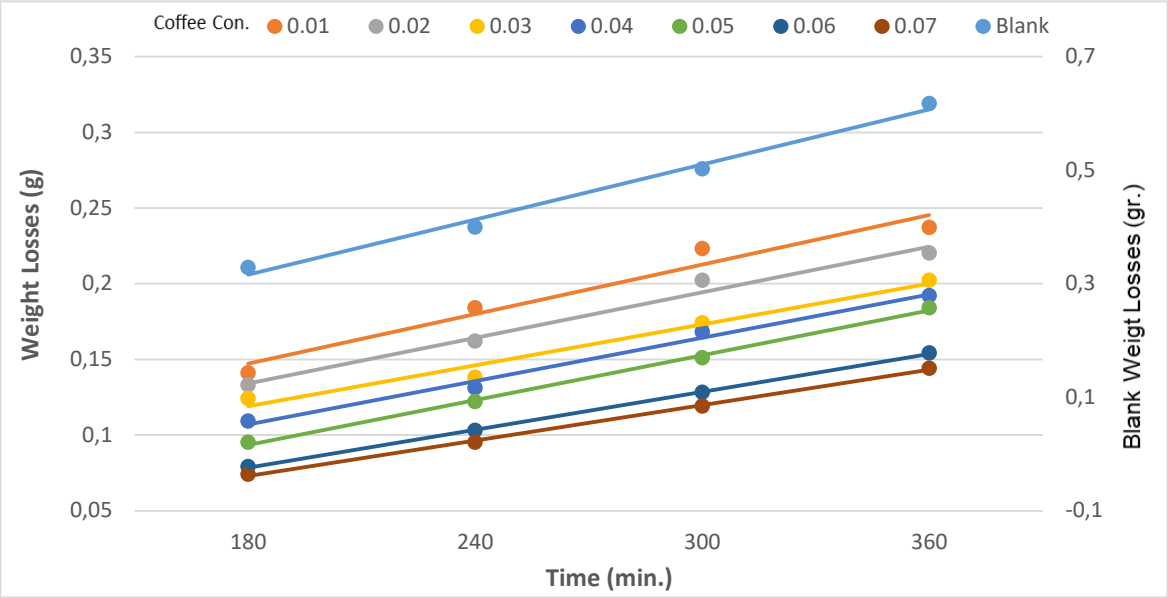


Şekil 4.1 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 30 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları

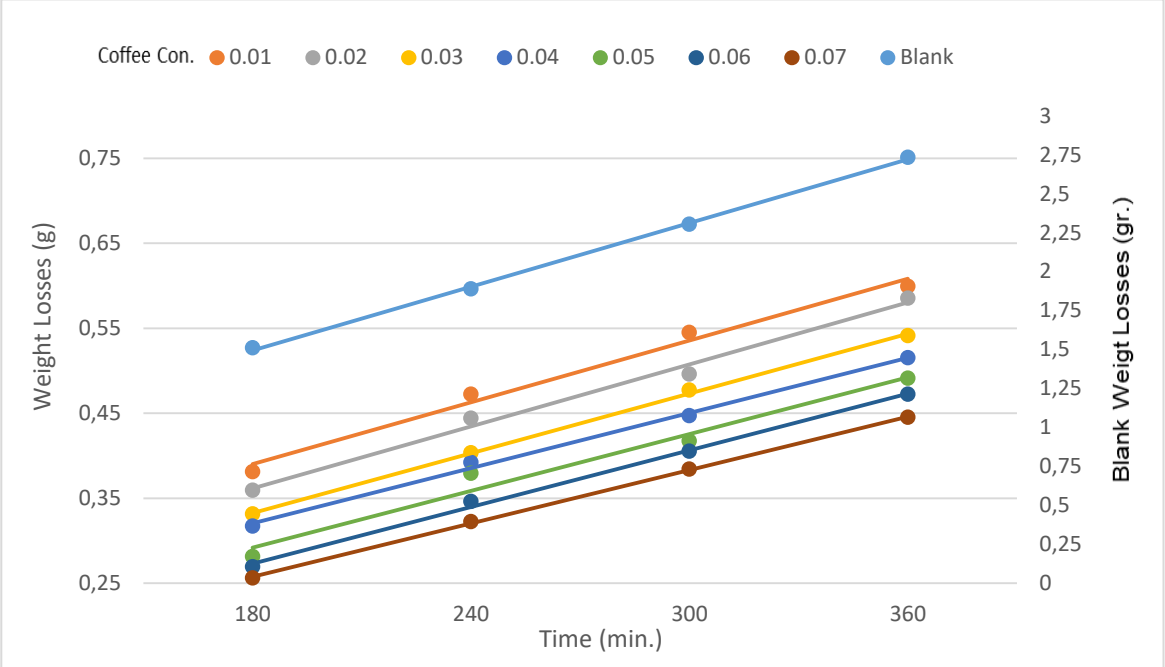
Türk kahvesi varlığında L80 C Çeliği ağırlık kaybının boş çözeltide elde edilenden çok daha düşük olduğu ve ağırlık kaybının farklı inhibitör konsantrasyonlarına göre değiştiği gözlenmiştir. Örneğin; 0,01 konsantrasyonu 180 dakika ve 30°C'de ki 0,07 konsantrasyonuyla karşılaştırıldığında 30 °C'de ağırlık kayıplarının 0,057 olduğunu ve sırasıyla 0,029 olduğu görülmektedir. Burada ağırlık kayıplarının değerlerinde büyük bir fark olduğu görülmektedir. Türk kahvesi varlığında L 80 C Çeliğinin ağırlık kaybı zamanla lineer azalma ile boş(blank) çözeltide elde edilenden çok daha düşüktür.

İnhibitör konsantrasyonu arttığında, ağırlık kayıplarında bir azalma sonucu elde edilmiştir (Çizelge 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6).

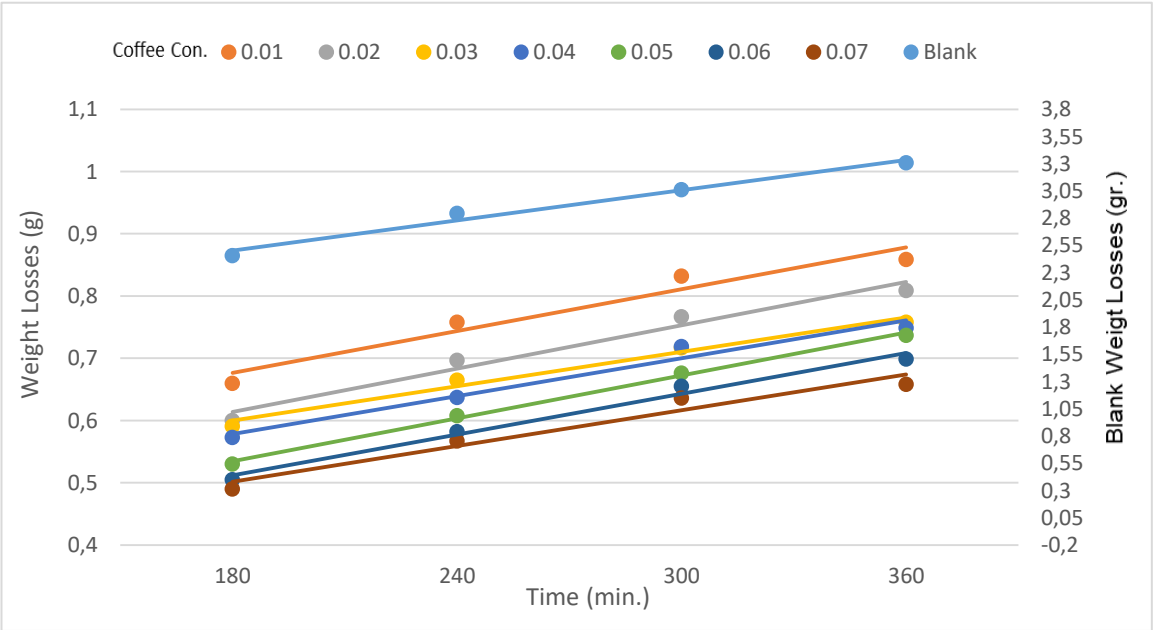
Şekil 4.2-Şekil 4.6'ya kadar Türk kahvesinin farklı konsantrasyonlarda, önce boş, sonra sırasiyle 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07 varlığında 50-60-70-80-90 °C'de ve 3, 4, 5 ve 6 saat sürelerde benzer eğriler elde edilmiştir.



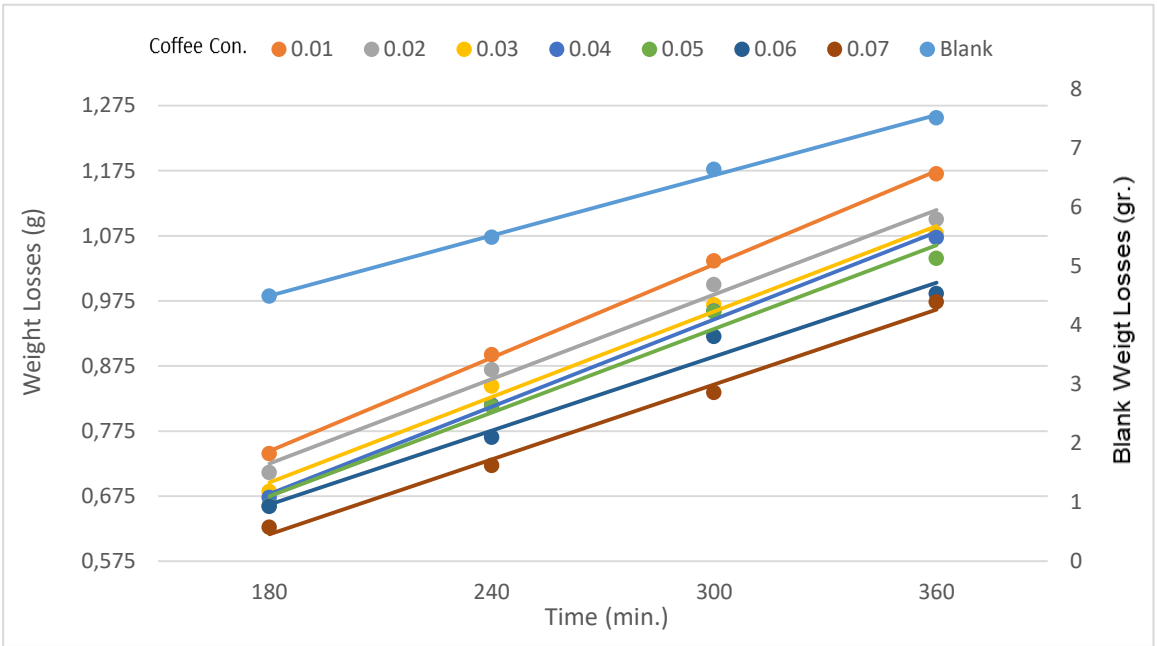
Şekil 4.3 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 50 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları.



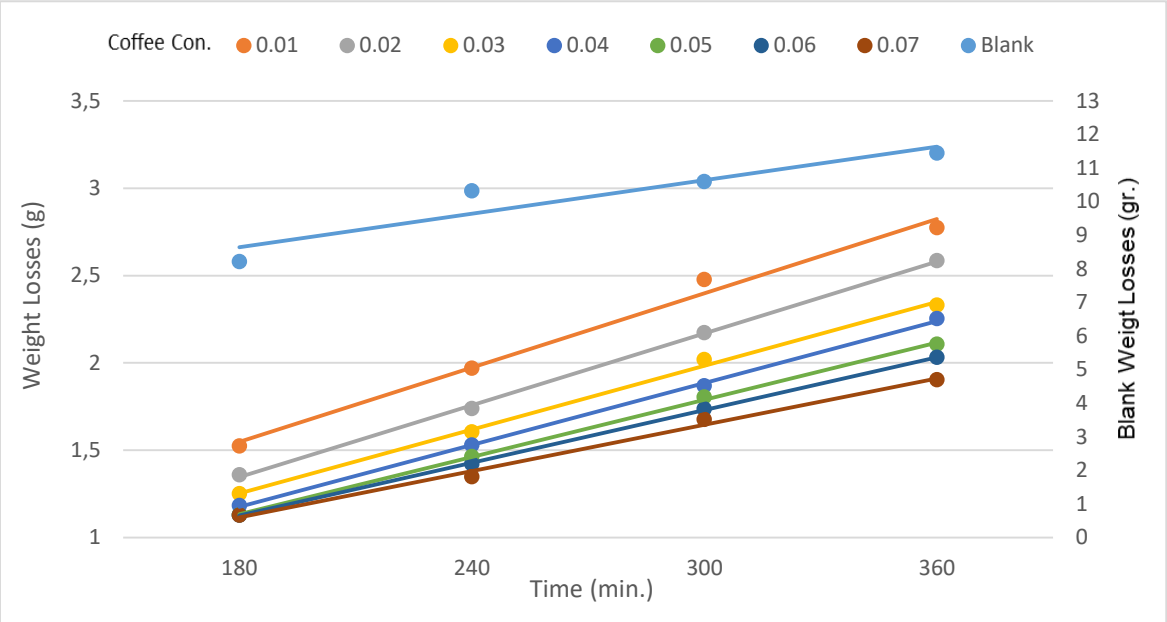
Şekil 4.4 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 60 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları.



Şekil 4.5 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 70 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları.



Şekil 4.6 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 80 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları.



Şekil 4.7 Korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda kahve kullanıldığında 90 °C sıcaklıkta, % 15 HCl konsantrasyonda, L 80 C Çeliği korozyonu için zamana karşı ağırlık kayıpları.

Yapılan çalışmada, L 80 C Çeliği ağırlık kayıplarının zamanla arttığını bunun da korozyonun metal üzerinde asit etkisinin artmasından kaynaklı olduğu görülmektedir. Ancak, boş eğriye kıyasla ağırlık kayıplarının çok daha az olduğunu tespit edilmiştir. Ayrıca, eğrileri birbirleriyle karşılaştırarak ve eklenen inhibitör konsantrasyonlarına kıyasla ağırlık kayıplarını hesaplayarak, korozyon oranlarını düşürerek inhibitörün etkinliği tespit edilmiştir (Danaee *et al.* 2020). Emici malzemenin kaplanması, L80 C Çeliği kayıp ağırlıklarını azalttı. Bunun sebebi ise, inhibitörün önce metal yüzeye adsorbe edildiğini ve ardından korozyon sürecini engellediği düşünülmektedir (Reza vd., 2021).

Korozyon önleyicinin yüzde verimi % E ve korozyon önleyicilerin kapladığı yüzey alanını temsil eden metal yüzey kaplama derecesi Θ, aşağıdaki denklemler kullanılarak hesaplanmıştır (Bharatiya *et al.* 2019; Hossain *et al.* 2022).(Aralu *et al.* 2021). Reza *et al.* 2021).

$$\% E = [(1- (W_{add} / W_{free})] \times 100 \quad (4.1)$$

$$\Theta = [1 – (W_{add} / W_{free})] \quad (4.2)$$

E verimlilik, W_{add} ve W_{free} sırasıyla inhibitörlerin varlığında ve yokluğunda C-çeliğinin ağırlık kaybıdır.

Rcorr korozyon oranı aşağıdaki denklemden hesaplandı (Reza vd., 2021). (4.3)

$$Rcorr = \Delta w / S. t \quad (4.3)$$

S: yüzey alanı cm^2, t: asit daldırma süresidir L80 C-çeliğin min , Δw: metalin ağırlık kaybıdır mg.

Çizelge (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5) ve (4.6) farklı konsantrasyonlarda korozyon önleyici Türk kahvesi varlığında ve yokluğunda L80 C-çeliğinin ağırlık kaybını göstermektedir.

İnhibitör konsantrasyonundaki artışla verimlilik değerleri ve kaplanan yüzey alanı artışı yapılan deney sonuçlarında elde edildi.

Numunenin korozyon süresinin artmasıyla korozyon hızı azalmaktadır L80 C çeliği, 30 °C'de ve 0,01 inhibitör eklenirken, korozyon hızı 0,526700967 mg/cm²h idi. 180 dakikalık bir sürede, korozyon hızı ancak aynı konsantrasyonla kademeli olarak azalır. Daldırma süresinin artmasıyla, 240 dakikalık zamanda korozyon hızı 0.495371033 mg/cm².h olur. 300 dakikalık bir zamanda korozyon hızı 0,451987616 mg/cm².h ve 360 dakikada korozyon hızı 0,407027302 mg/cm².h olarak hesaplandı.

Çizelge 4.1 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 30 ve 50 ° C sıcaklıklarda, 3-4 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 3 saat				Zaman 4 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².saat)
Blank	30	0.164	0	0	1.50745214	0.189	0	0	1.26483674
0.01		0.057	65.2439	0.652439	0.52670097	0.072	61.90476	0.619048	0.49537103
0.02		0.05	69.5122	0.695122	0.46184427	0.061	67.72487	0.677249	0.41563553
0.03		0.041	75	0.75	0.39357305	0.054	71.42857	0.714286	0.36779129
0.04		0.039	76.21951	0.762195	0.3648365	0.046	75.66138	0.756614	0.32143736
0.05		0.036	78.04878	0.780488	0.33450596	0.043	77.24868	0.772487	0.30567735
0.06		0.034	79.26829	0.792683	0.32636261	0.041	78.30688	0.783069	0.30069056
0.07		0.029	82.31707	0.823171	0.27994169	0.032	83.06878	0.830688	0.21266528
Blank	50	0.328	0	0	2.9288957	0.399	0	0	2.75491604
0.01		0.141	57.0122	0.570122	1.27476295	0.184	53.88471	0.538847	1.25387748
0.02		0.133	59.45122	0.594512	1.22480493	0.162	59.3985	0.593985	1.11070279
0.03		0.124	62.19512	0.621951	1.12627342	0.138	65.41353	0.654135	0.95030851
0.04		0.109	66.76829	0.667683	0.99675005	0.131	67.16792	0.671679	0.92267036
0.05		0.095	71.03659	0.710366	0.87954656	0.122	69.42356	0.694236	0.85092849
0.06		0.079	75.91463	0.759146	0.73830258	0.103	74.18546	0.741855	0.71467824
0.07		0.074	77.43902	0.77439	0.69596098	0.095	76.19048	0.761905	0.67058571

Çizelge 4.2 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 60 ve 70 ° C sıcaklıklarda, 3-4 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 3 saat				Zaman 4 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².saat)
Blank	60	1.509	0	0	13.8239223	1.887	0	0	13.0866451
0.01		0.381	74.75149	0.747515	3.47509153	0.472	74.98675	0.749868	3.23923093
0.02		0.359	76.20941	0.762094	3.30653109	0.444	76.47059	0.764706	3.03678615
0.03		0.331	78.06494	0.780649	3.04958384	0.403	78.64335	0.786433	2.79615671
0.04		0.317	78.99271	0.789927	2.95033021	0.392	79.22629	0.792263	2.6996799
0.05		0.281	81.3784	0.813784	2.68814118	0.379	79.91521	0.799152	2.62674932
0.06		0.269	82.17362	0.821736	2.5313978	0.346	81.66402	0.81664	2.38707612
0.07		0.256	83.03512	0.830351	2.49706887	0.322	82.93588	0.829359	2.31737368
Blank	70	2.457	0	0	24.0865351	2.845	0	0	20.4848391
0.01		0.66	73.13797	0.73138	6.38184308	0.758	73.35677	0.733568	5.44283728
0.02		0.6	75.57998	0.7558	5.80649282	0.697	75.50088	0.755009	4.97552925
0.03		0.591	75.94628	0.759463	5.72997563	0.665	76.62566	0.766257	4.7187484
0.04		0.573	76.67888	0.766789	5.5128701	0.637	77.60984	0.776098	4.5979766
0.05		0.53	78.42898	0.78429	5.17998999	0.608	78.62917	0.786292	4.49225677
0.06		0.505	79.44648	0.794465	4.94182348	0.582	79.54306	0.795431	4.20097705
0.07		0.4899	80.06105	0.800611	4.85159987	0.567	80.0703	0.800703	4.10054211

Çizelge 4.3 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 80 ve 90 ° C sıcaklıklarda, 3-4 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 3 saat				Zaman 4 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².hsaat)
Blank	80	4.493	0	0	40.9525268	5.49	0	0	37.4165794
0.01		0.74	83.52994	0.835299	6.7525888	0.892	83.75228	0.837523	5.94583584
0.02		0.711	84.17538	0.841754	6.45206956	0.869	84.17122	0.841712	5.87656429
0.03		0.682	84.82083	0.848208	6.17595868	0.844	84.62659	0.846266	5.69968341
0.04		0.673	85.02114	0.850211	6.11415759	0.815	85.15483	0.851548	5.53728666
0.05		0.66	85.31048	0.853105	6.14171734	0.813	85.19126	0.851913	5.52700398
0.06		0.659	85.33274	0.853327	6.03068971	0.765	86.06557	0.860656	5.1978527
0.07		0.627	86.04496	0.86045	5.73119332	0.722	86.84882	0.868488	4.90675267
Blank	90	8.213	0	0	71.3740703	10.322	0	0	69.1730331
0.01		1.524	81.44405	0.814441	14.062673	1.968	80.93393	0.809339	13.7973583
0.02		1.3582	83.4628	0.834628	12.6267134	1.738	83.16218	0.831622	12.2774101
0.03		1.25	84.78023	0.847802	11.5382414	1.603	84.47006	0.844701	11.3922575
0.04		1.183	85.59601	0.85596	11.0058592	1.528	85.19667	0.851967	10.521445
0.05		1.129	86.2535	0.862535	10.6628737	1.462	85.83608	0.858361	10.5363598
0.06		1.128	86.26568	0.862657	10.6138533	1.421	86.23329	0.862333	10.0524055
0.07		1.127	86.27785	0.862779	9.69542431	1.347	86.9502	0.869502	9.61231061

Çizelge 4.4 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 30 ve 50 ° C sıcaklıklarda, 5-6 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 5 saat				Zaman 6 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².hsaat)
Blank	30	0.171	0	0	0.92932762	0.204	0	0	0.87233617
0.01		0.08	53.21637	0.532164	0.45198762	0.085	58.33333	0.583333	0.4070273
0.02		0.069	59.64912	0.596491	0.39771974	0.072	64.70588	0.647059	0.34371545
0.03		0.061	64.32749	0.643275	0.3505586	0.068	66.66667	0.666667	0.32015789
0.04		0.055	67.83626	0.678363	0.32425613	0.053	74.01961	0.740196	0.25457906
0.05		0.053	69.00585	0.690058	0.30071263	0.049	75.98039	0.759804	0.23511348
0.06		0.05	70.76023	0.707602	0.29323965	0.045	77.94118	0.779412	0.22220774
0.07		0.039	77.19298	0.77193	0.20755279	0.04	80.39216	0.803922	0.18912744
Blank	50	0.502	0	0	2.72941791	0.617	0	0	2.72221575
0.01		0.223	55.57769	0.555777	1.22064032	0.237	61.58833	0.615883	1.08307605
0.02		0.202	59.76096	0.59761	1.09331024	0.22	64.3436	0.643436	1.0010174
0.03		0.174	65.33865	0.653386	0.94748535	0.202	67.26094	0.672609	0.92744105
0.04		0.168	66.53386	0.665339	0.91281031	0.192	68.88169	0.688817	0.8828122
0.05		0.151	69.92032	0.699203	0.84467964	0.184	70.17828	0.701783	0.84068937
0.06		0.128	74.50199	0.74502	0.70426022	0.154	75.04052	0.750405	0.70609424
0.07		0.119	76.29482	0.762948	0.65733509	0.144	76.66126	0.766613	0.65909078

Çizelge 4.5 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 60 ve 70 ° C sıcaklıklarda, 5-6 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 5 saat				Zaman 6 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².saat)
Blank	60	2.303	0	0	12.6026048	2.732	0	0	12.5813273
0.01		0.545	76.33521	0.763352	2.99666243	0.599	78.07467	0.780747	2.7178549
0.02		0.496	78.46287	0.784629	2.75313891	0.585	78.58712	0.785871	2.6805008
0.03		0.477	79.28789	0.792879	2.64104978	0.541	80.19766	0.801977	2.47079349
0.04		0.447	80.59053	0.805905	2.50102111	0.515	81.14934	0.811493	2.42715244
0.05		0.417	81.89318	0.818932	2.36406619	0.491	82.02782	0.820278	2.26228916
0.06		0.405	82.41424	0.824142	2.27522977	0.472	82.72328	0.827233	2.24434871
0.07		0.384	83.3261	0.833261	2.16846242	0.445	83.71157	0.837116	2.12158139
Blank	70	3.063	0	0	17.7191318	3.309	0	0	15.400382
0.01		0.832	72.83709	0.728371	4.86424546	0.859	74.0405	0.740405	3.95669469
0.02		0.767	74.95919	0.749592	4.36472483	0.809	75.55153	0.755515	3.7855604
0.03		0.717	76.59158	0.765916	4.17374904	0.758	77.09278	0.770928	3.54440797
0.04		0.719	76.52628	0.765263	4.1820318	0.749	77.36476	0.773648	3.57442828
0.05		0.676	77.93013	0.779301	3.90975182	0.737	77.72741	0.777274	3.5166576
0.06		0.655	78.61574	0.786157	3.78833886	0.699	78.87579	0.788758	3.35466111
0.07		0.636	79.23604	0.79236	3.73752689	0.658	80.11484	0.801148	3.12882782

Çizelge 4.6 İnhibitör olarak Türk kahvesinin, % 15 HCl konsantrasyonunda L 80 C Çeliğinin korozyonuna 80 ve 90 ° C sıcaklıklarda, 5-6 saat sürelerde etkisi

İnhibitör Konsantrasyonu	Sıcaklık	Zaman 5 saat				Zaman 6 saat			
		Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}	Ağırlık Kaybı	Verim	θ	R_{corr}
		g	%		(mg/cm².saat)	g	%		(mg/cm².saat)
Blank	80	6.638	0	0	37.3864411	7.514	0	0	33.2642726
0.01		1.036	84.39289	0.843929	5.63147538	1.17	84.42907	0.844291	5.25365735
0.02		1	84.93522	0.849352	5.51614576	1.1	85.36066	0.853607	5.14692121
0.03		0.969	85.40223	0.854022	5.44076362	1.078	85.65345	0.856534	5.02603467
0.04		0.959	85.55288	0.855529	5.41654288	1.072	85.7333	0.857333	5.08659549
0.05		0.958	85.56794	0.855679	5.39705539	1.04	86.15917	0.861592	4.91143363
0.06		0.92	86.1404	0.861404	5.0513536	0.986	86.87783	0.868778	4.65760465
0.07		0.834	87.43597	0.87436	4.73532702	0.973	87.05084	0.870508	4.60379015
Blank	90	10.593	0	0	58.531006	11.445	0	0	52.5253471
0.01		2.477	76.61663	0.766166	13.6361885	2.773	75.77108	0.757711	12.7639322
0.02		2.173	79.48645	0.794865	12.1647418	2.584	77.42246	0.774225	11.8418472
0.03		2.019	80.94024	0.809402	11.220781	2.33	79.64176	0.796418	10.7053788
0.04		1.867	82.37515	0.823752	10.4151558	2.253	80.31455	0.803145	10.3755077
0.05		1.804	82.96989	0.829699	10.1659576	2.106	81.59895	0.81599	10.0733547
0.06		1.736	83.61182	0.836118	9.9174498	2.031	82.25426	0.822543	9.64623811
0.07		1.676	84.17823	0.841782	9.50037979	1.902	83.38139	0.833814	8.92098317

4.2 Sıcaklığın Etkisi

Korozyon hızına sıcaklığın etkisi incelendiğinde aşağıdaki sonuçlar elde edildi.

180 dakikalık bir asit daldırma süresi ile 30 °C'lik bir sıcaklıkta, inhibitör konsantrasyonu 0,01, korozyon hızı 0,526700967 mg/cm².saat olmuştur. Ancak aynı inhibitör konsantrasyonunda 0,01 ve aynı asit daldırma süresi 180 dakika sıcaklığın sadece 50°C'ye yükseltilmesiyle korozyon hızı artmaya başladı ve 1,274762948 mg/cm².h olarak sonuç elde edildi.

Ayrıca, aynı koşullarda, asit ve inhibitör konsantrasyonu 0,01 ile 180 dakikalık daldırma süresi, her deney için sıcaklıkları sadece 60, 70, 80, 90 °C'ye çıkarmak, korozyon oranları sırasıyla 3,47509153, 6,38184308, 6,7525888 ve 14,062673 mg/cm².h değeri elde edilmiştir.

Korozyon işlemi için aktivasyon enerjisi Ea değerleri Arrhenius denklemi kullanılarak hesaplanmıştır (Danaee *et al*. 2020).

Korozyon hızı değerlerinin artan sıcaklıkla artması, sıcaklığın kullanılan inhibitör Türk kahvesi üzerinde doğrudan bir etkiye sahip olduğunu gösterir. Burada sıcaklığın L80 C-Çelik yüzeyinde inhibitörün adsorpsiyonunu azalttığı, inhibitör kaplama işlemini azalttığı, kaplanan yüzey alanını küçültüğü tespit edildi. Böylece, sıcaklığın etkisinin olumsuz olduğu sonucunu elde ettik, inhibisyon sürecini azaltır ve asit korozyon hızını arttırır.

Korozyon işlemi için aktivasyon enerjisi (Ea) değerleri Arrhenius denklemi (115) kullanılarak hesaplanmıştır (Danaee *et al.* 2020, Yaqoob 2021).

$$\text{Log } R_{corr} = \log A - (Ea / 2.303\ R\ T) \qquad (4.4)$$

R_{corr} = ağırlık kaybının korozyon hızı.

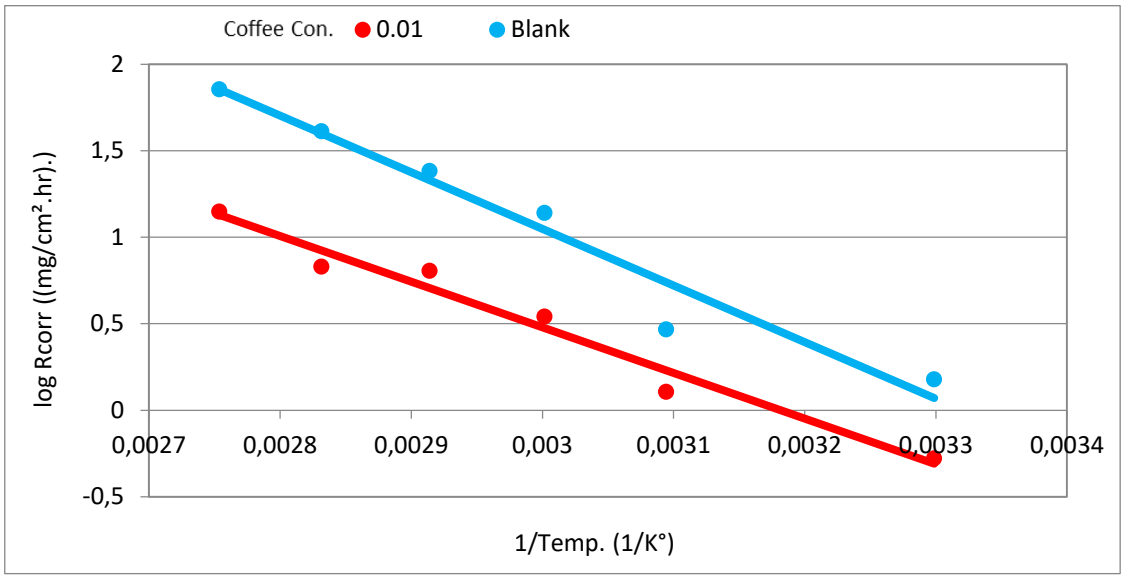
A = Arrhenius sabiti.

R = Genel gaz sabiti.

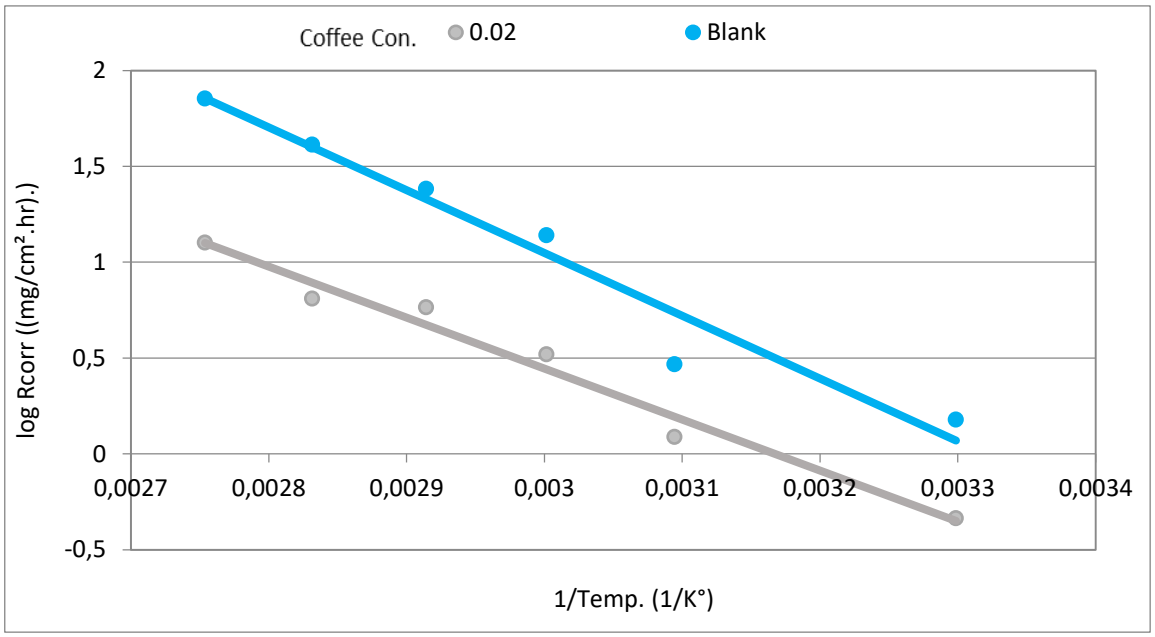
T = Mutlak sıcaklık.

Türk kahvesi yokluğunda(Blank) ve farklı konsantrasyonlarda Türk kahvesi varlığında (boş, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07) bir korozyon önleyici olarak 180, 240, 300 ve 360 dakikalık bir asit daldırma süresi ile farklı sıcaklıklarda 50-60-70-80-90 C°, Log Rcorr için 1/sıcaklık garfiği çizildi. Burada, Ea değerleri düz çizgilerin eğimlerinden elde edildi (Yaqoob 2021).

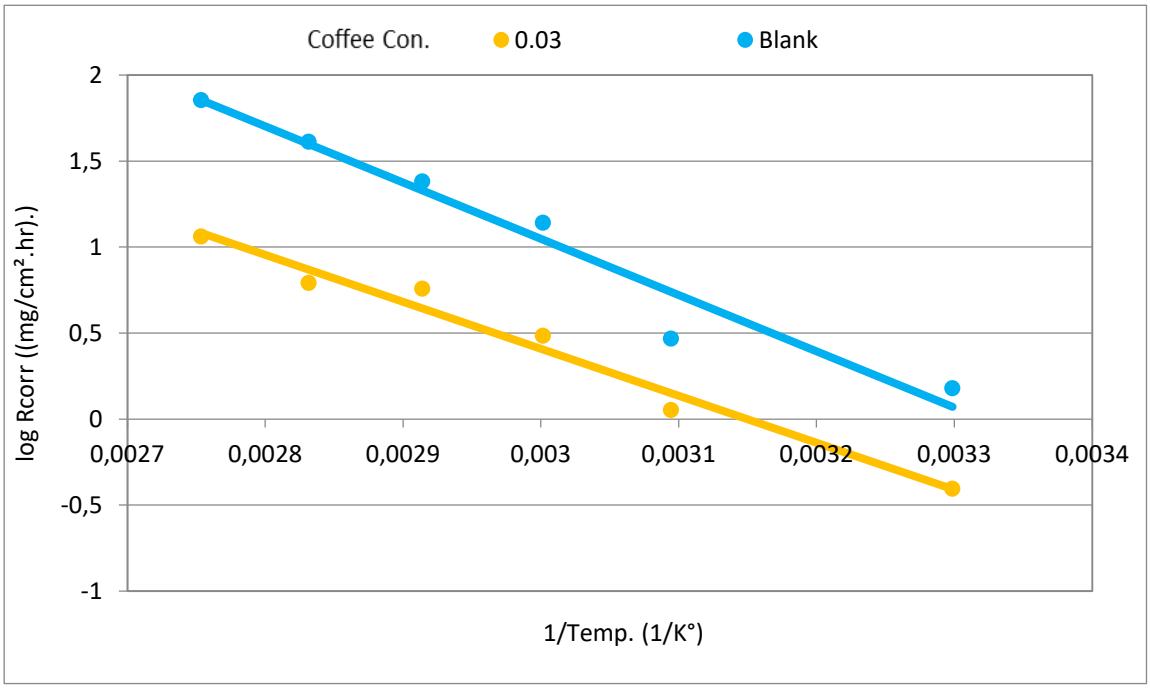
Şekil 4.7 den 4.34'e kadar olan Şekiller bir korozyon önleyici olarak farklı konsantrasyonlarda Türk kahvesi ile Arrhenius diyagramını log Rcorr'a karşı 1/Sıcaklık göstermektedir.



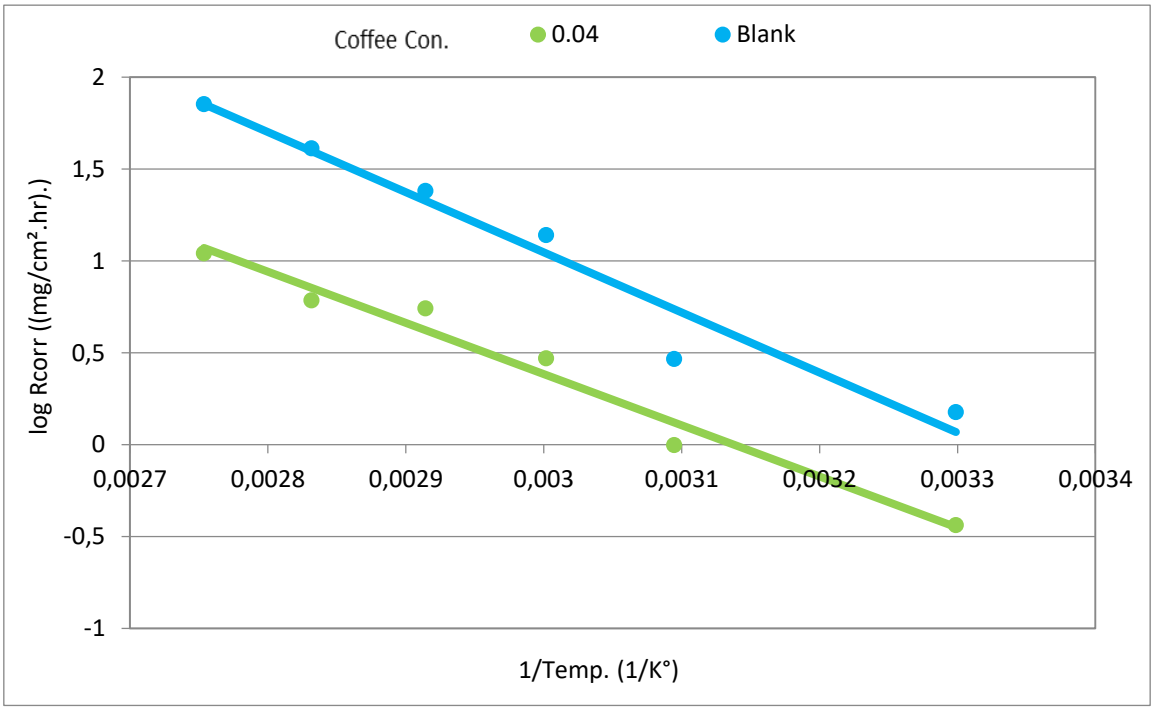
Şekil 4.8 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonu şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



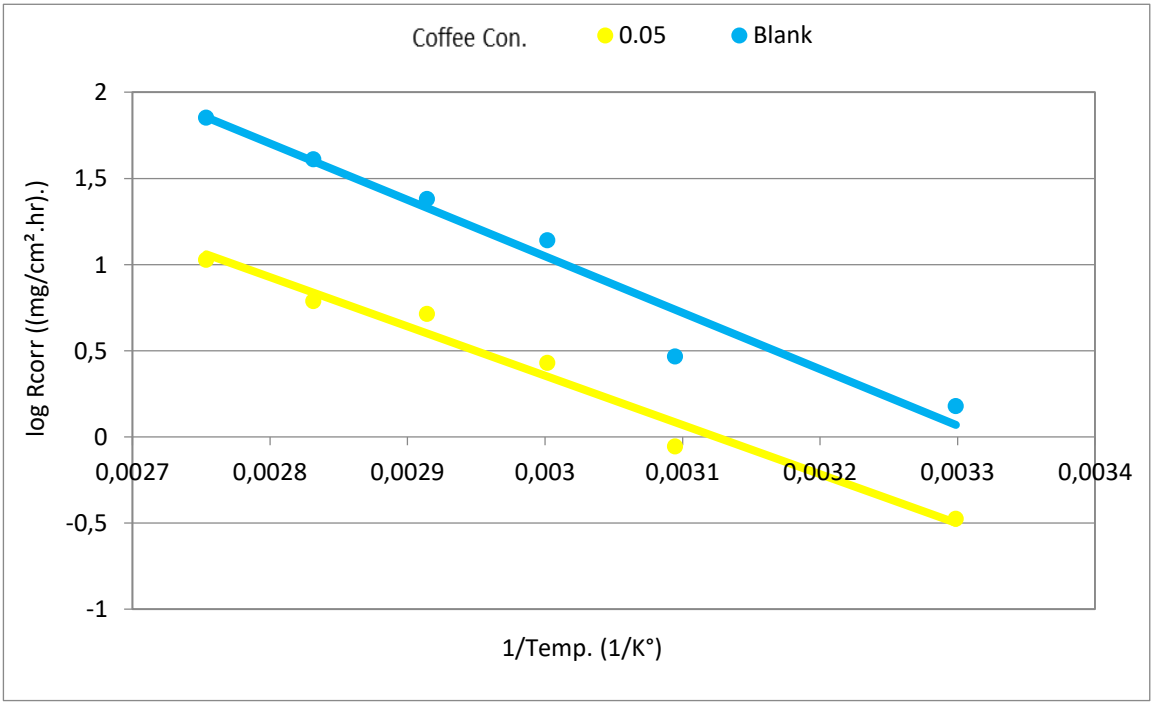
Şekil 4.9 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



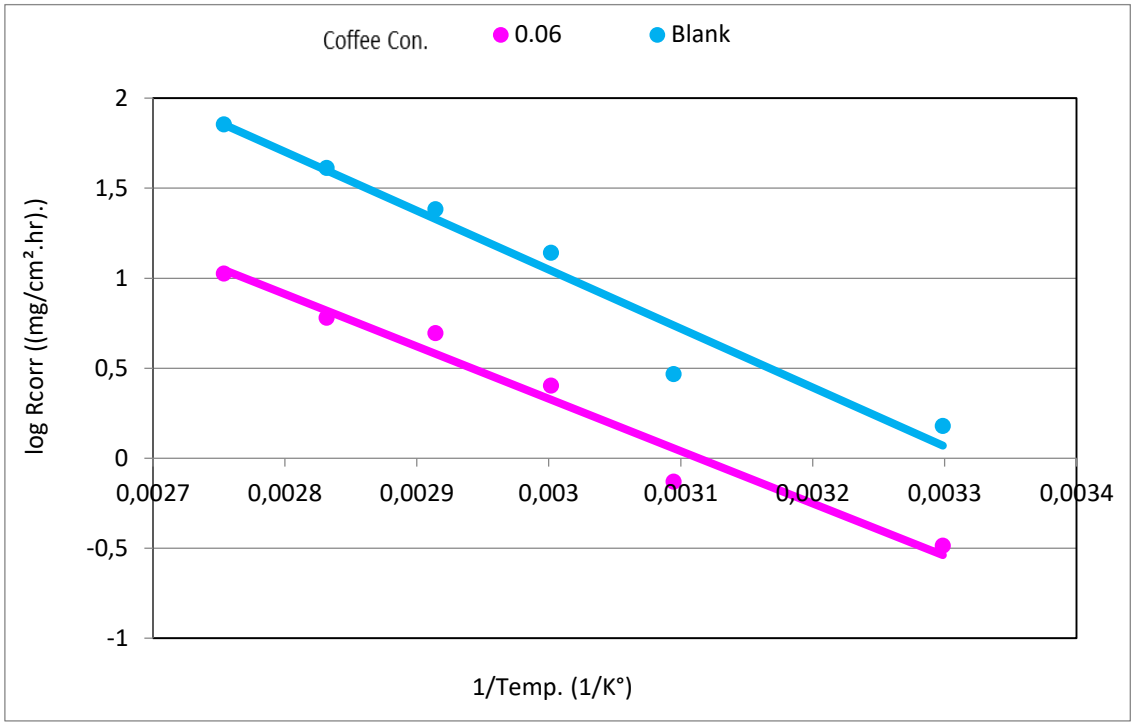
Şekil 4.10 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



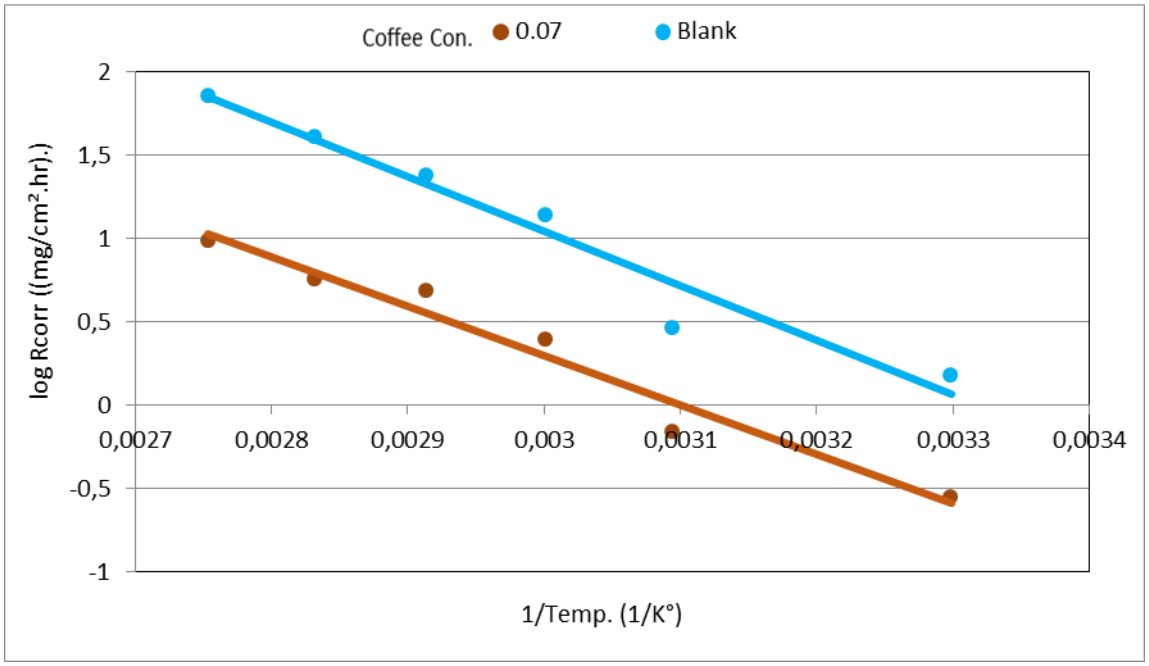
Şekil 4.11 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



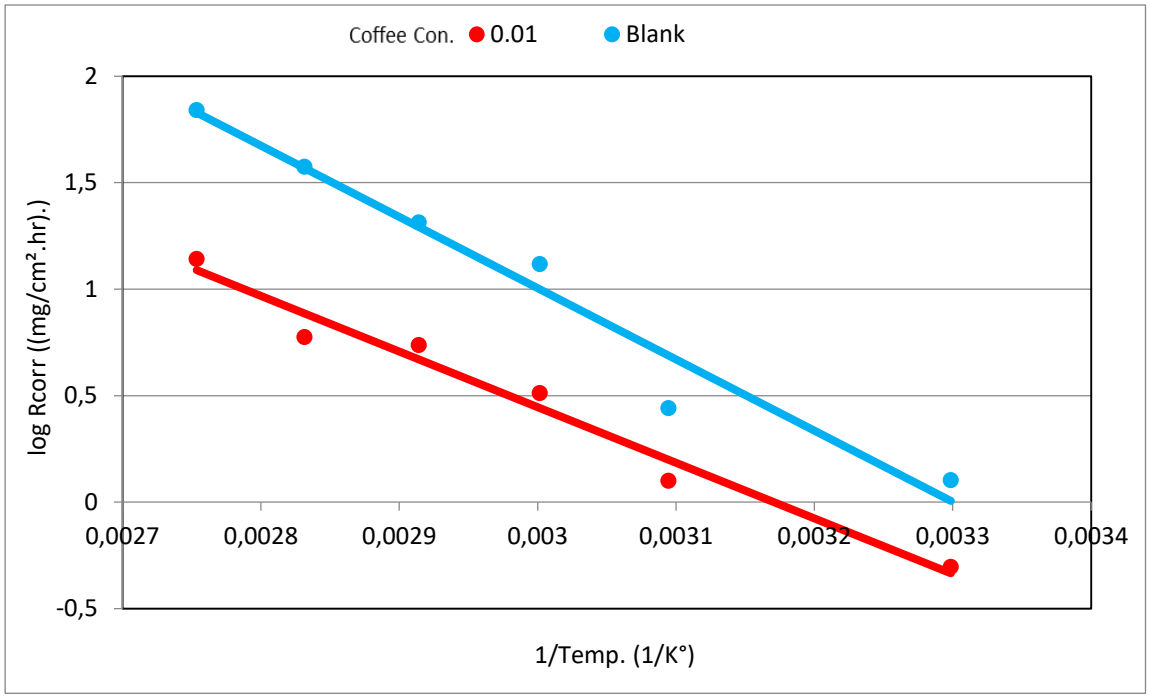
Şekil 4.12 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



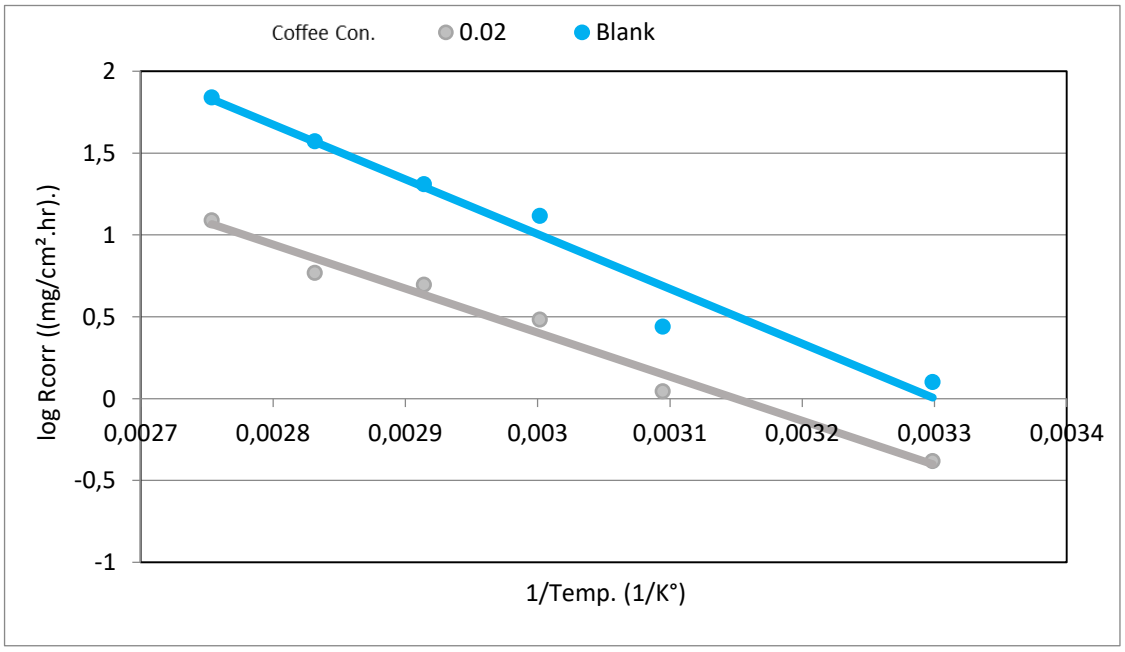
Şekil 4.13 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



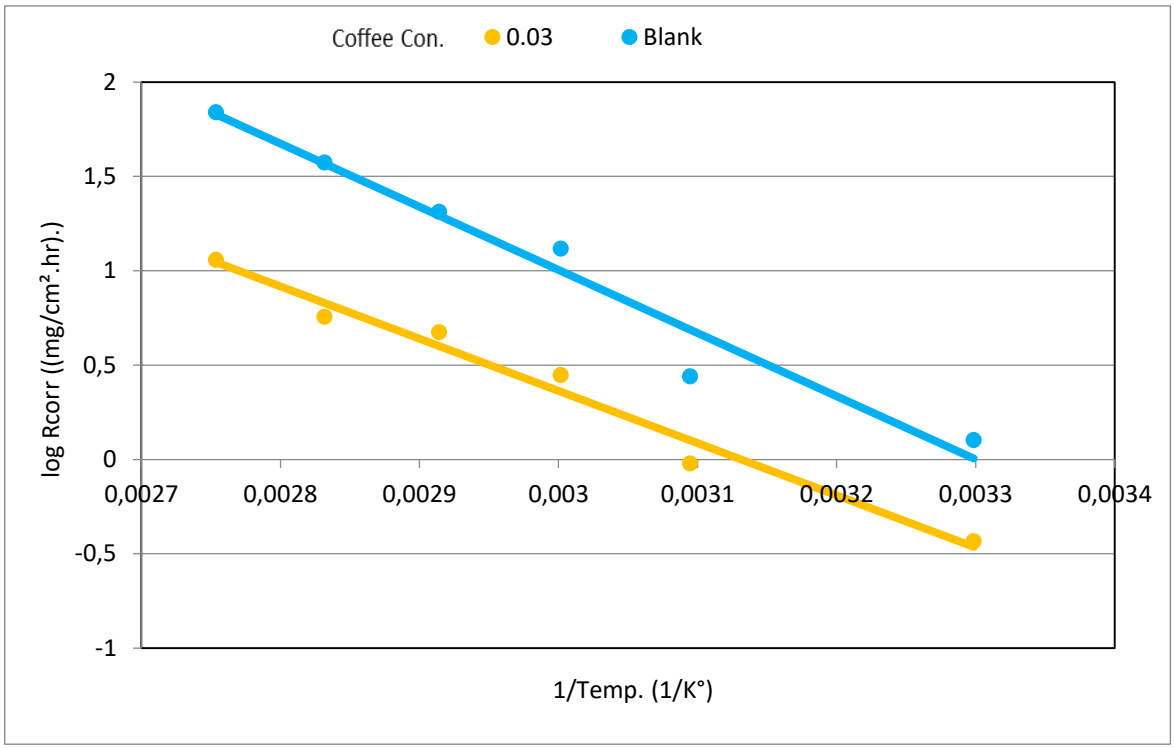
Şekil 4.14 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 3 saat sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



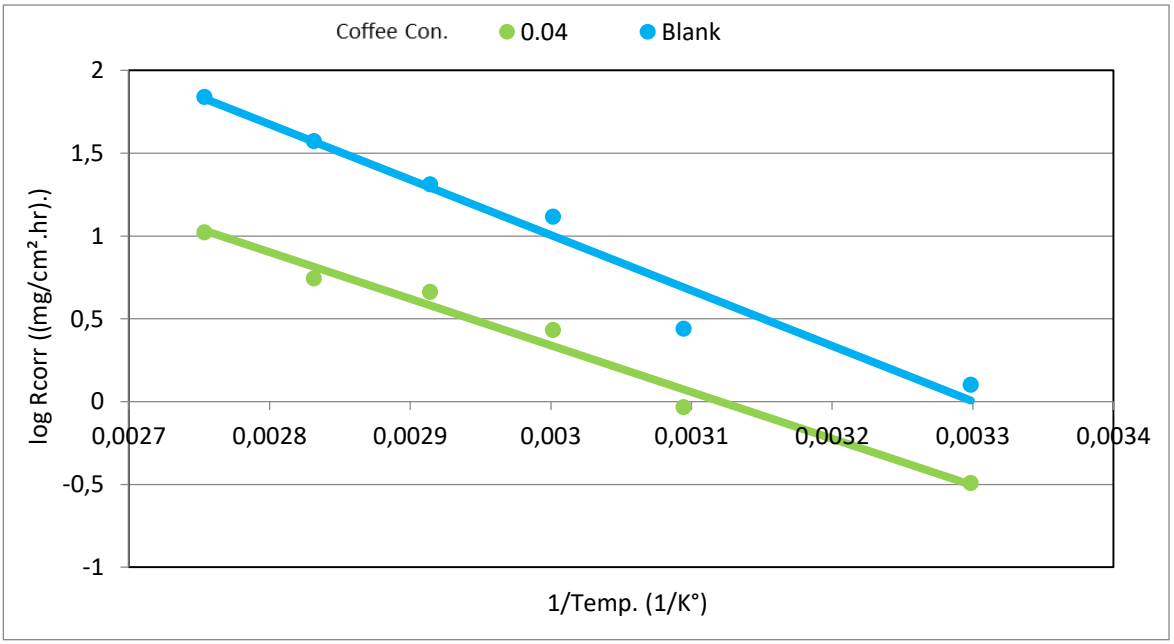
Şekil 4.15 L 80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



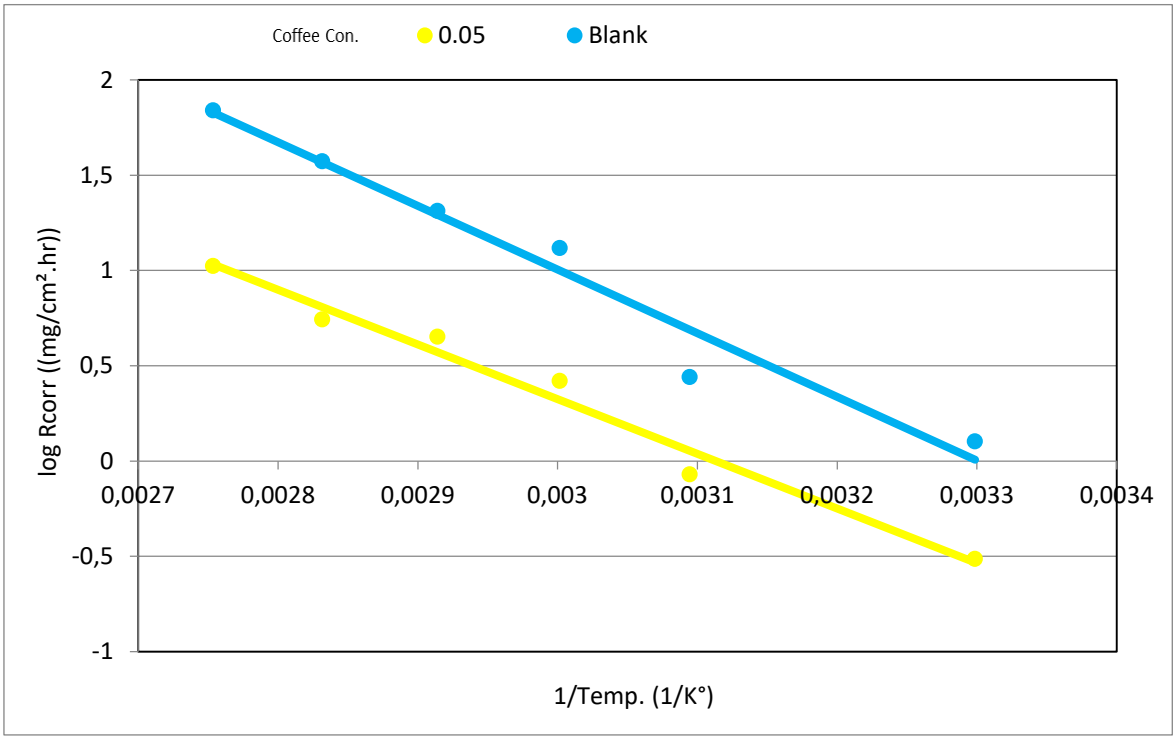
Şekil 4.16 L80 **C**-Çelik, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



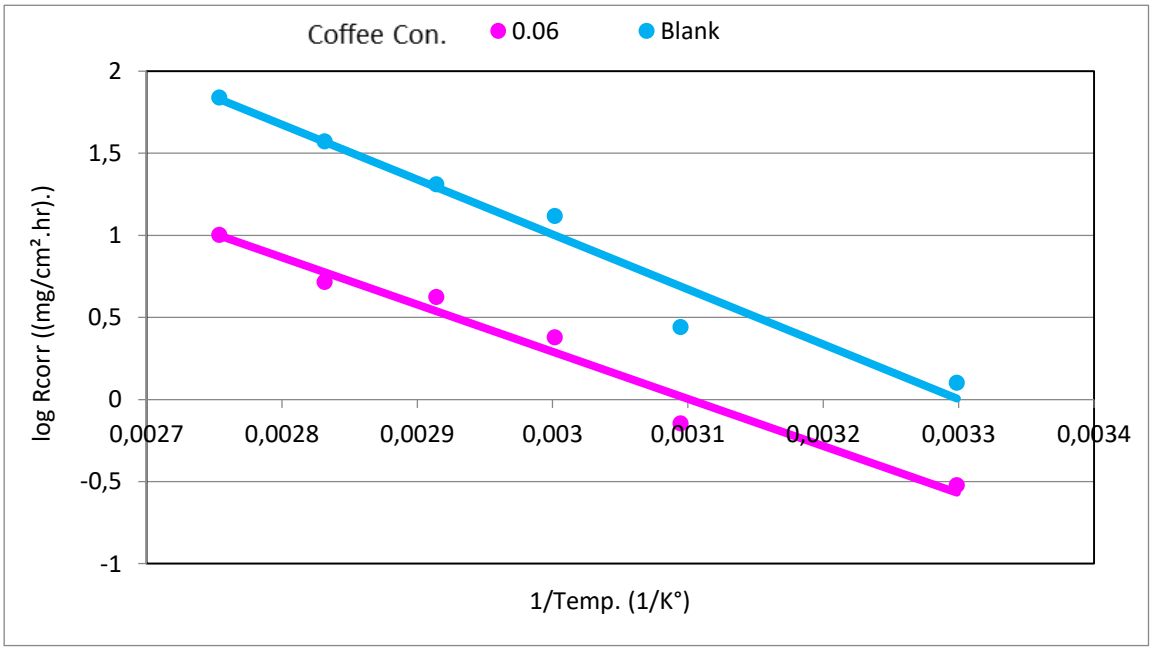
Şekil 4.17 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



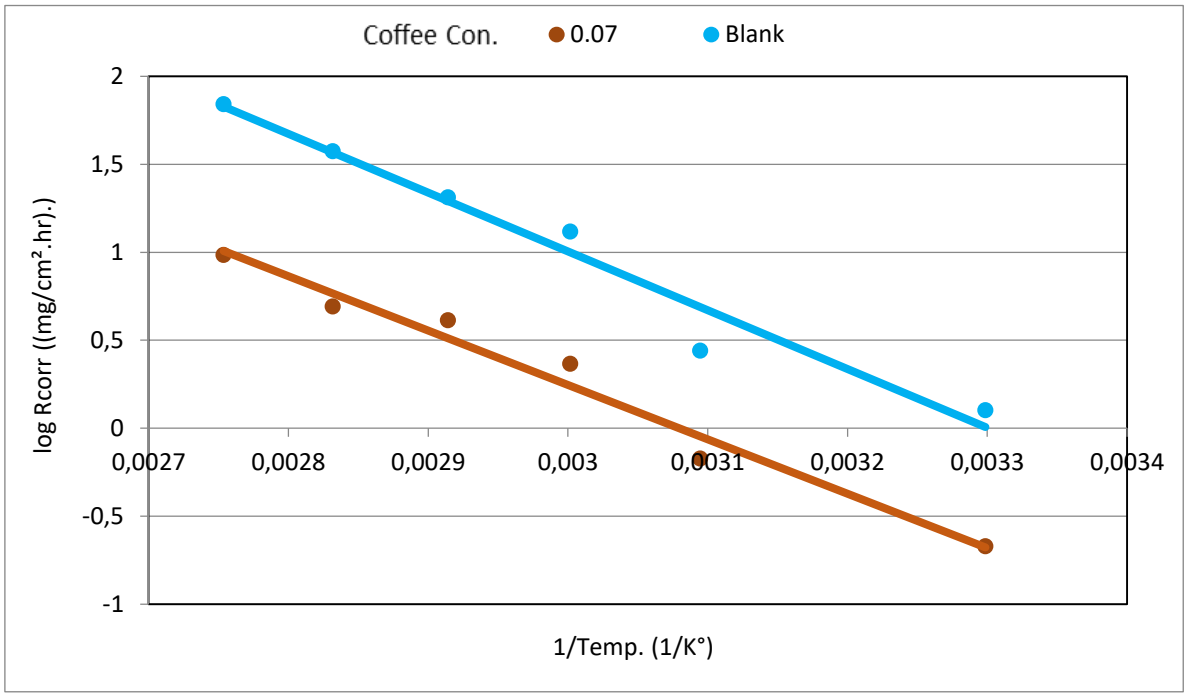
Şekil 4.18 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



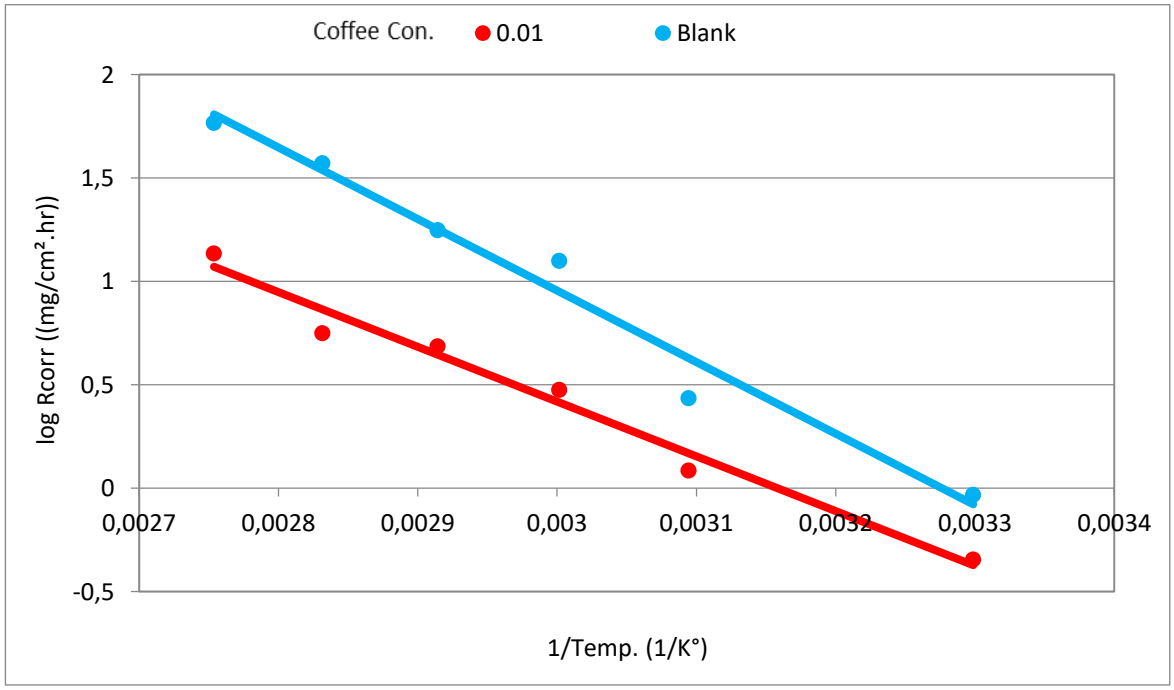
Şekil 4.19 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



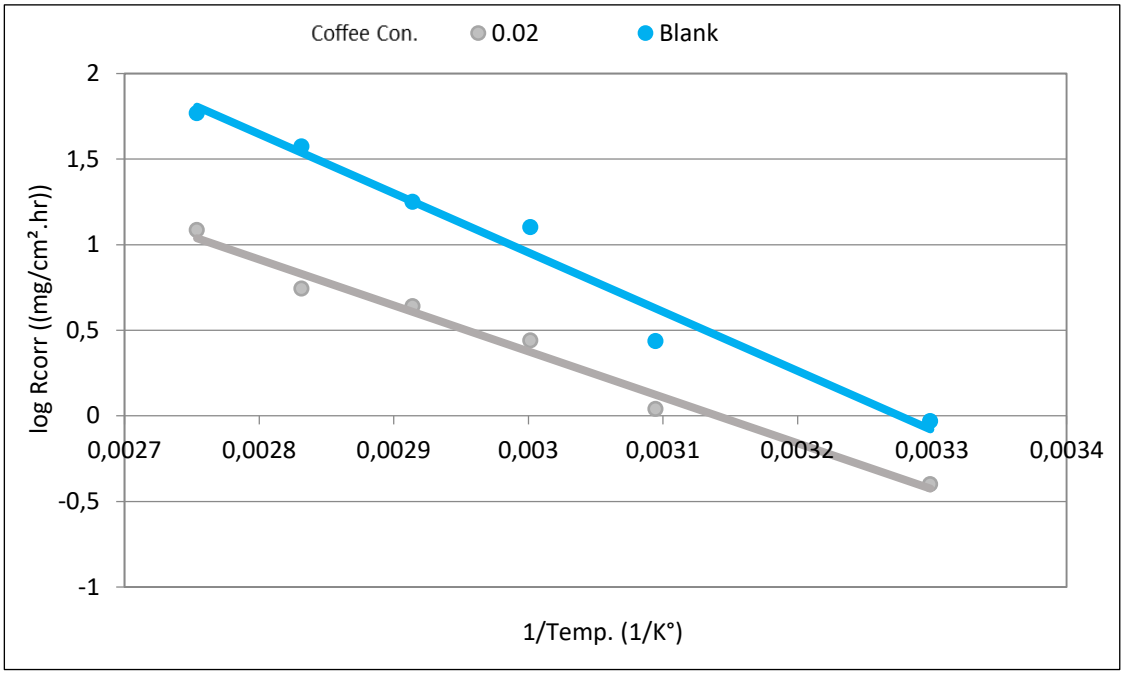
Şekil 4.20 L 80 C-Çelik, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



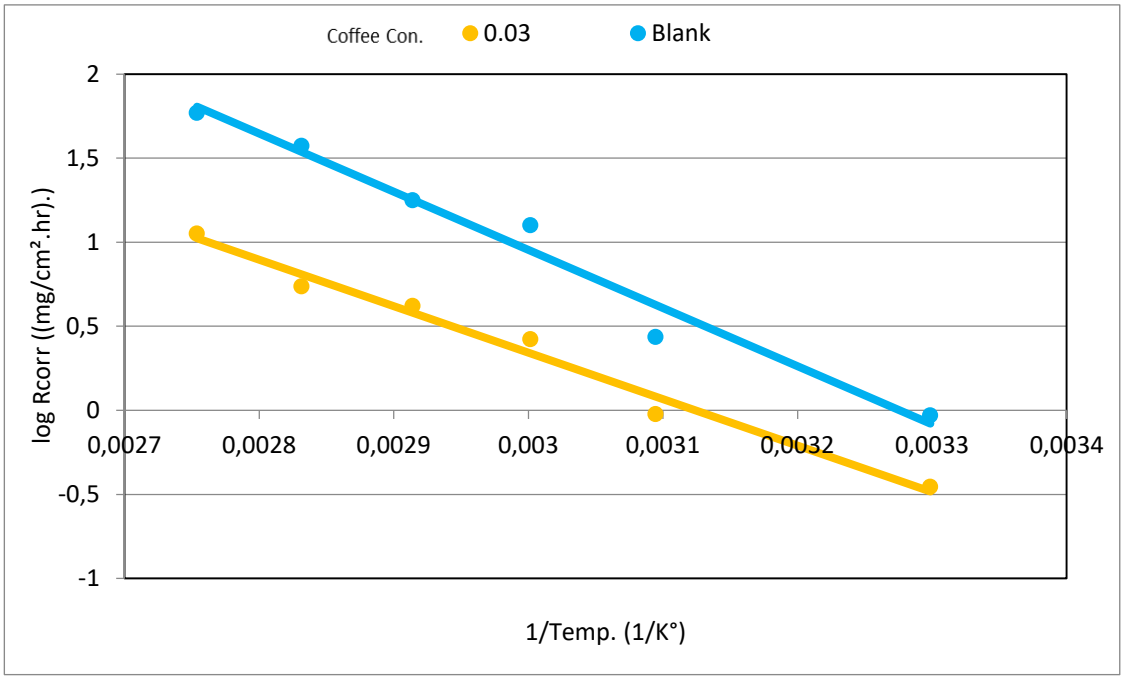
Şekil 4.21 L 80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 4 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



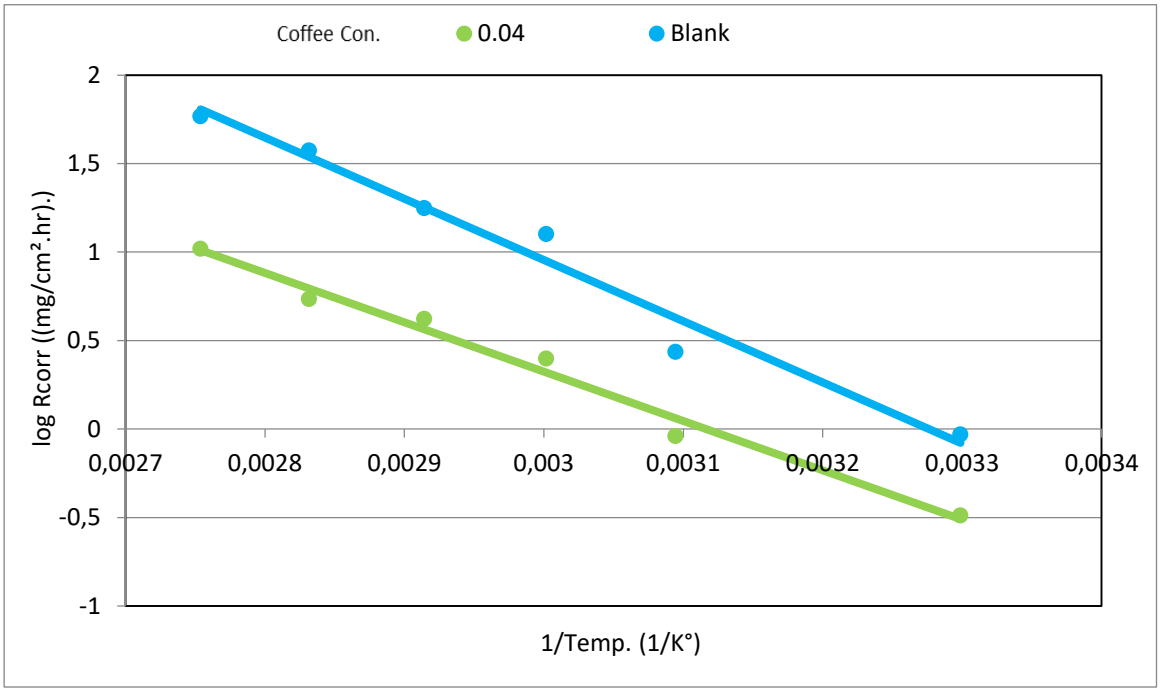
Şekil 4.22 L 80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



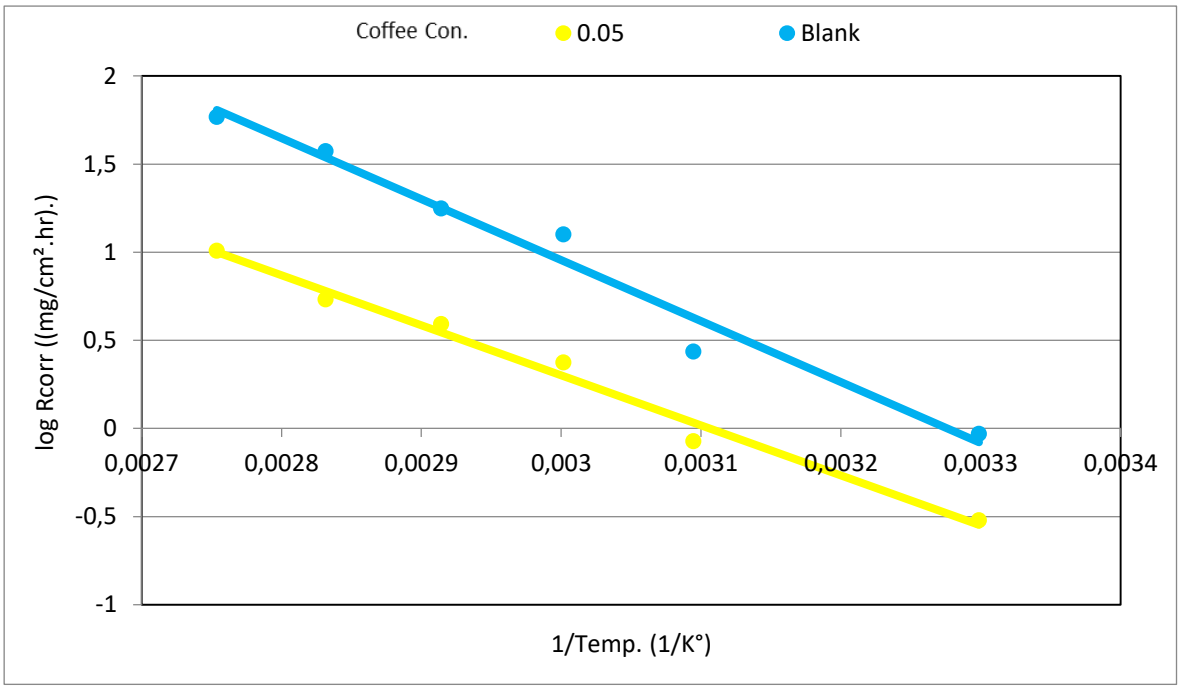
Şekil 4.23 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



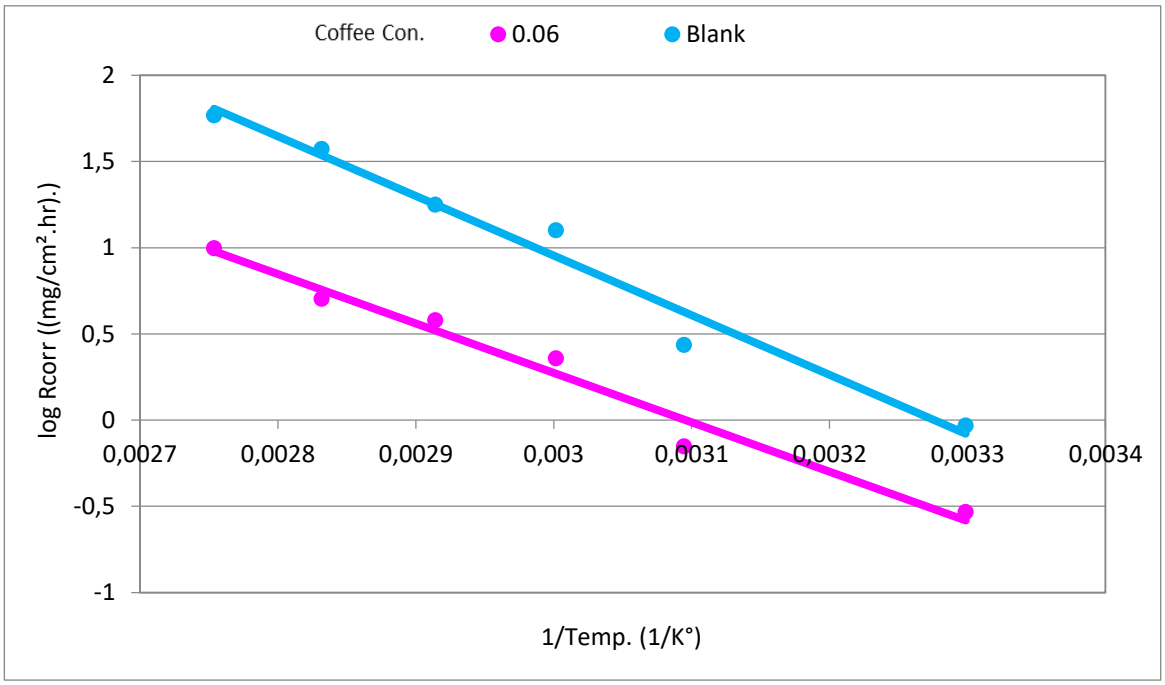
Şekil 4.24 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



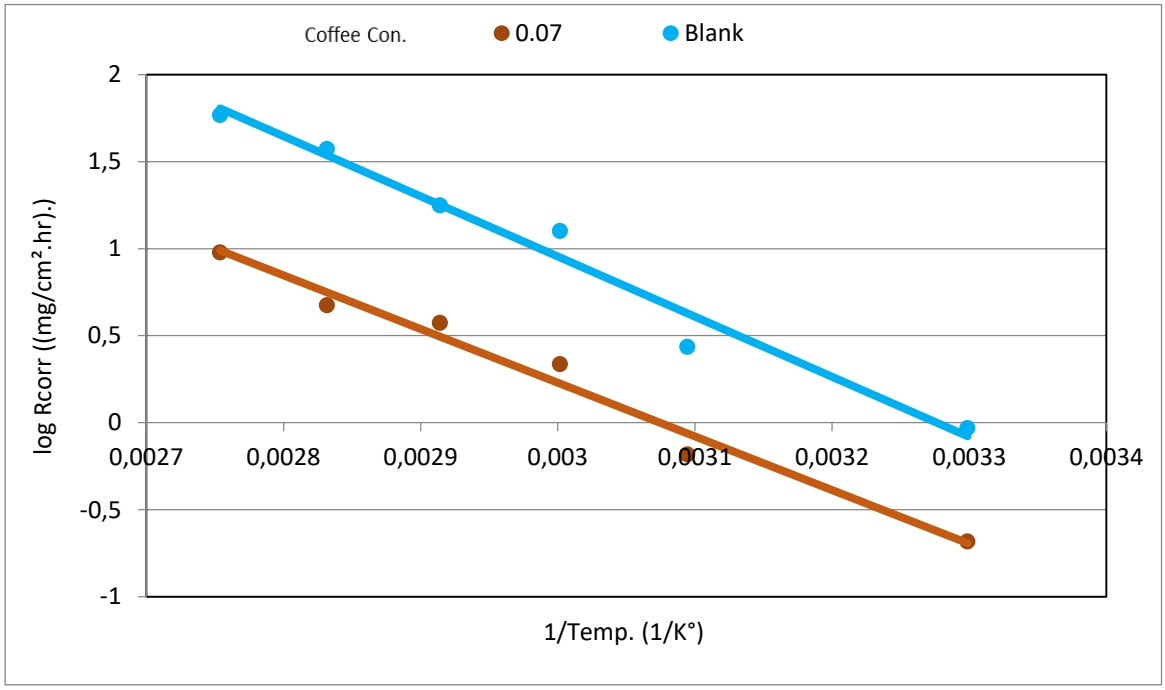
Şekil 4.25 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



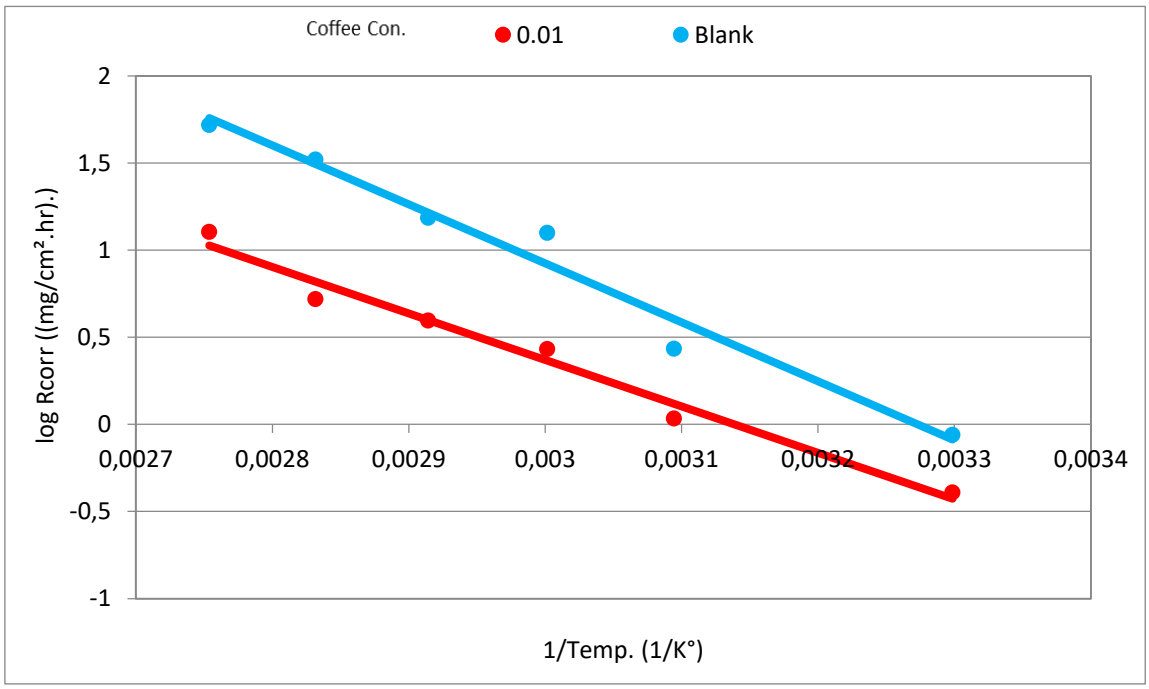
Şekil 4.26 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



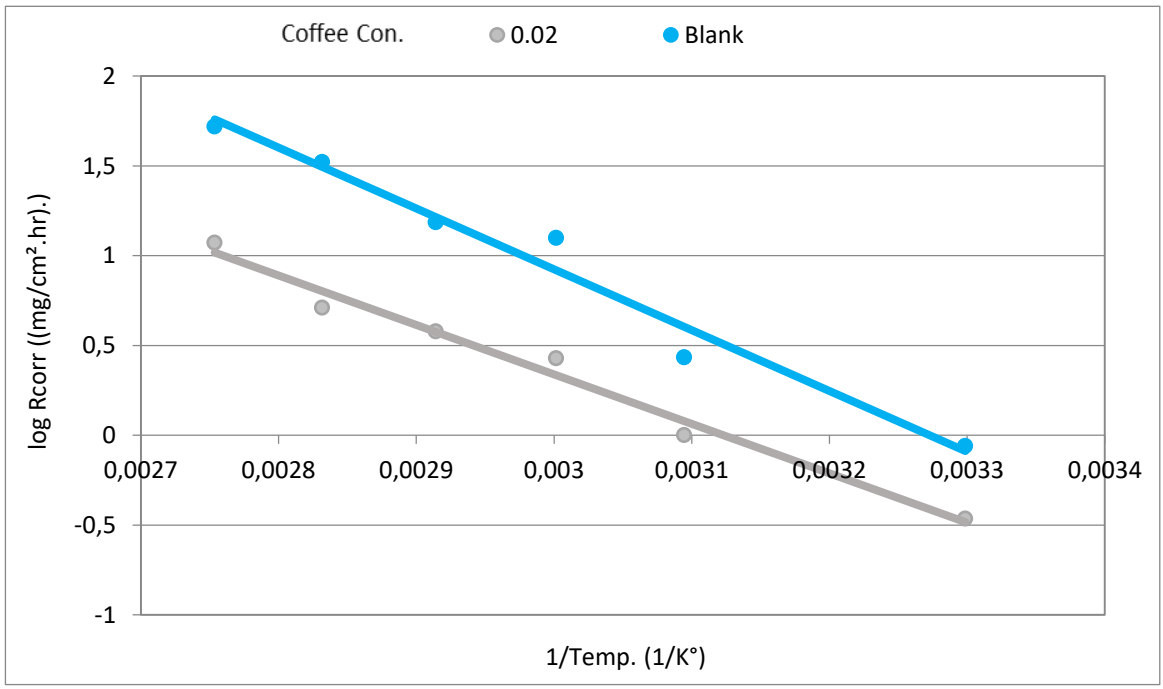
Şekil 4.27 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



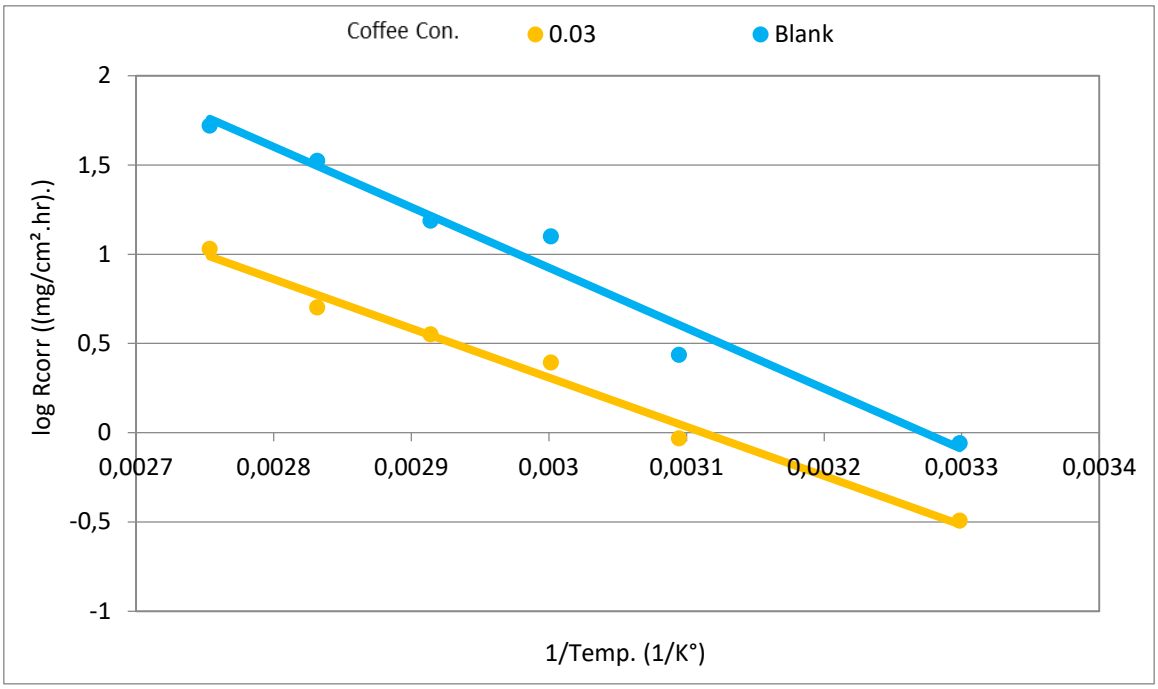
Şekil 4.28 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 5 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



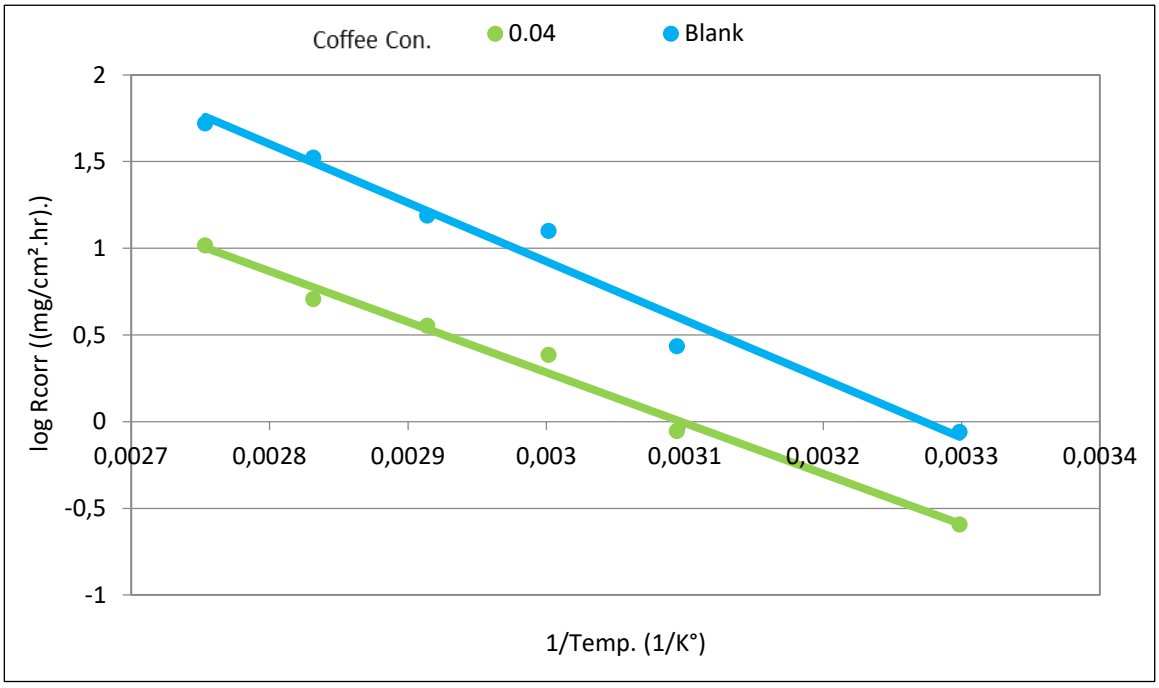
Şekil 4.29 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.01 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



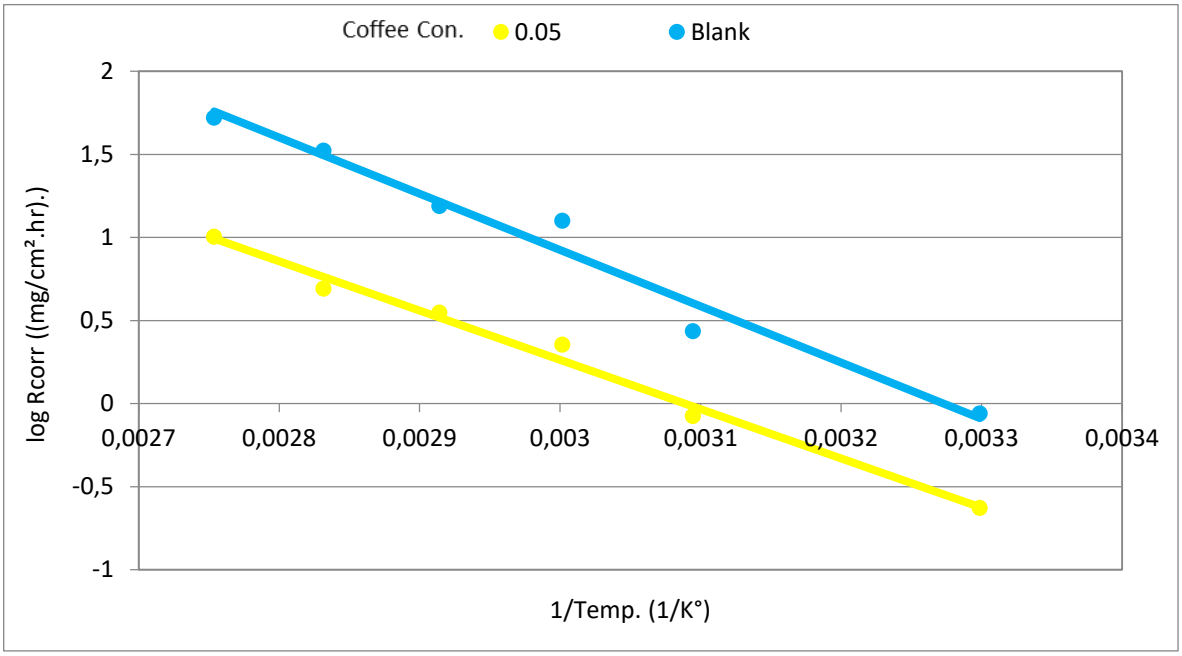
Şekil 4.30 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.02 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



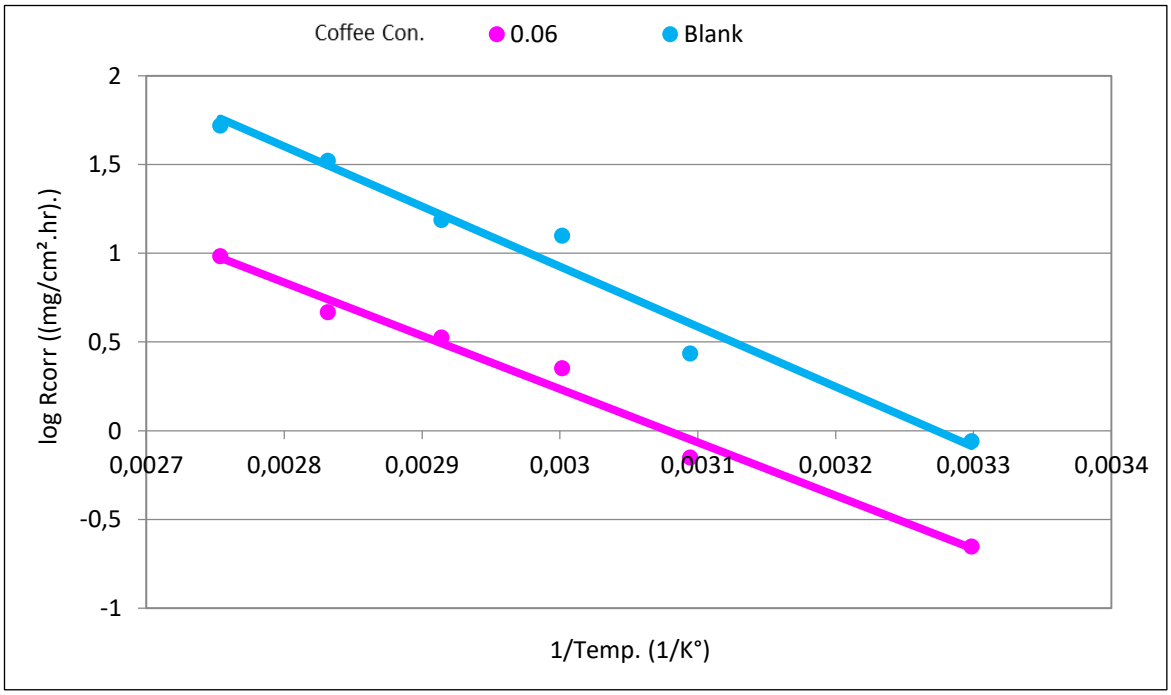
Şekil 4.31 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.03 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



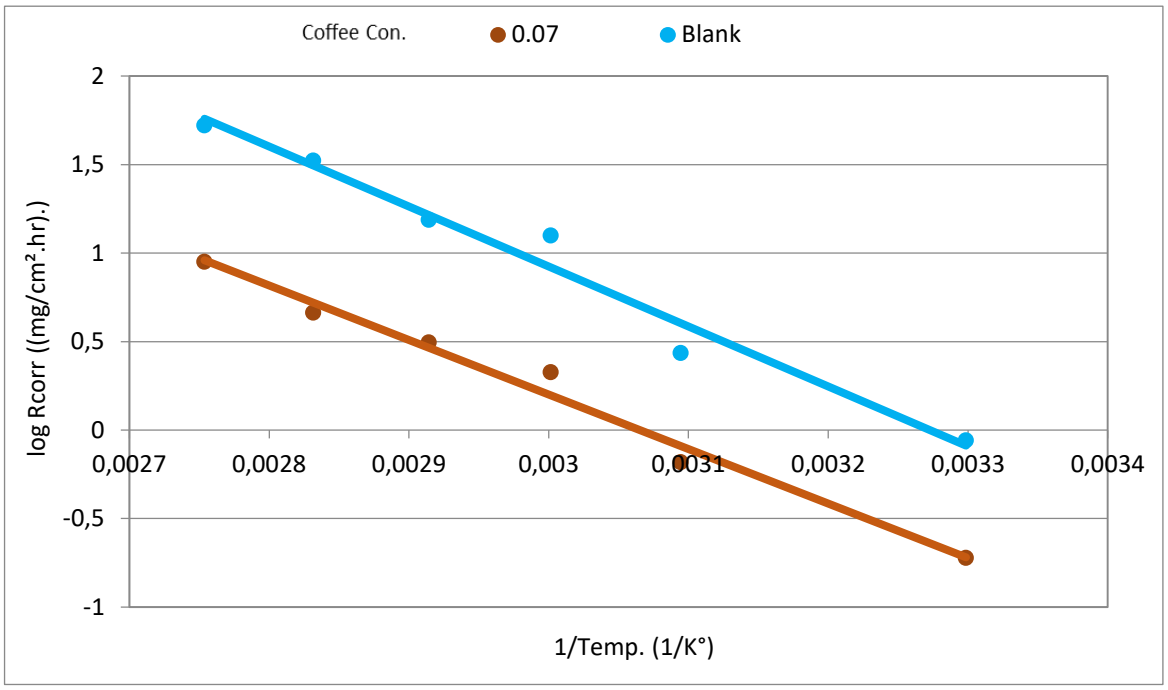
Şekil 4.32 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.04 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



Şekil 4.33 C-Çelik L80 üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.05 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



Şekil 4.34 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.06 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.



Şekil 4.35 L80 C-Çelik üzerine, % 15 HCl konsantrasyonunun şahit ve 0.07 Türk Kahvesi ile 6 saatlik sürede farklı sıcaklıklardaki deneysel çalışma.

Elde edilen aktivasyon enerjileri Ea değerleri Çizelgeler (4.7), (4.8), (4.9) ve (4.10)'da verilmiştir.

Aktivasyon enerjisinin, daldırma süresinin artmasıyla ve inhibitör konsantrasyonlarının artmasıyla artığı tespit edilmiştir.

4.3 Adsorpsiyon İzotermleri

Kullanılan inhibitörün Türk kahvesi farklı sıcaklıklarda farklı konsantrasyonlarda metal yüzey kaplama derecesi Θ değerleri Çizelgeler (4.1), (4.2), (4.3), (4.4), (4.5)'de belirtilmiştir(4.6). Bulunan metalik yüzey kaplama derecesi Θ değerleri, eklenen inhibitör Türk kahvesi konsantrasyonunun artmasıyla artmıştır.C-çeliğin yüzeyinde tek tabakalı adsorpsiyon Langmuir adsorpsiyon izotermi meydana geldi. Langmuir adsorpsiyon izotermi aşağıdaki gibi ifade edililmektedir (Yaqoob 2021).

$$(\Theta / 1- \Theta) = AC \exp (- \Delta H / RT) \qquad (4.5)$$

A = bağımsız sabit., C = inhibitör konsantrasyonu, ΔH = adsorpsiyon ısısı.

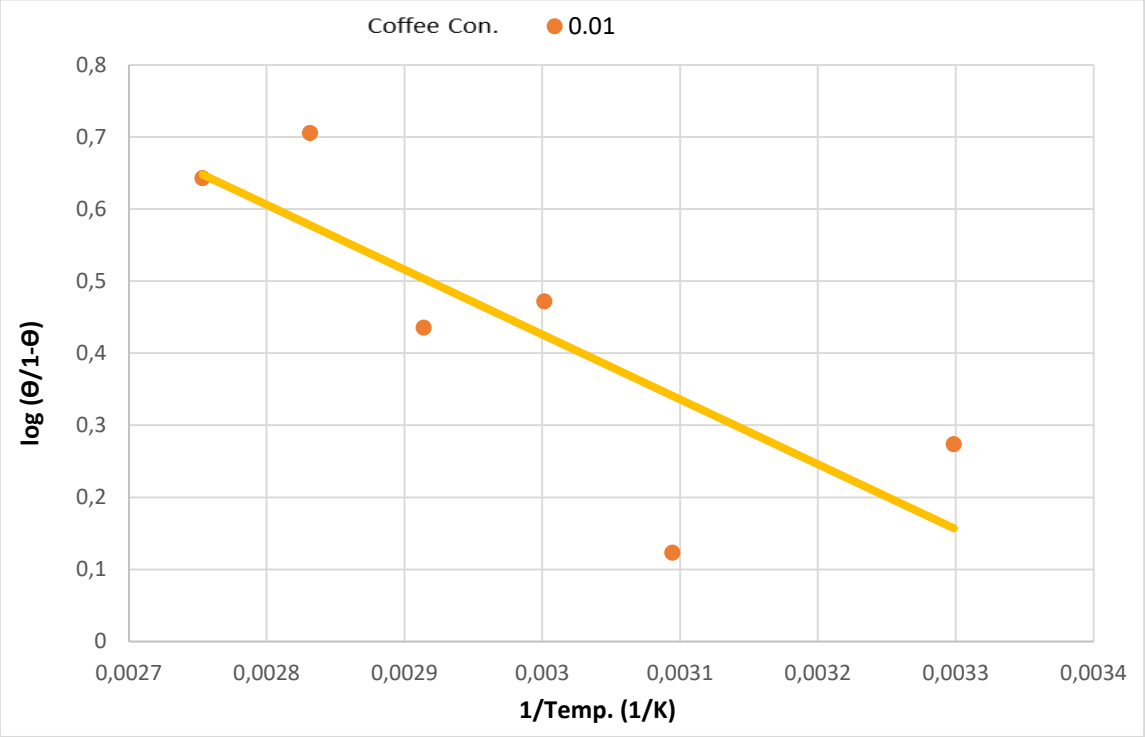
Denklem logaritmik bir ölçeğe dönüştürülebilir (Yaqoob 2021).

$$\log (\Theta / 1 - \Theta) = \log A + \log C - (\Delta H / 2.303 RT) \quad (4.6)$$

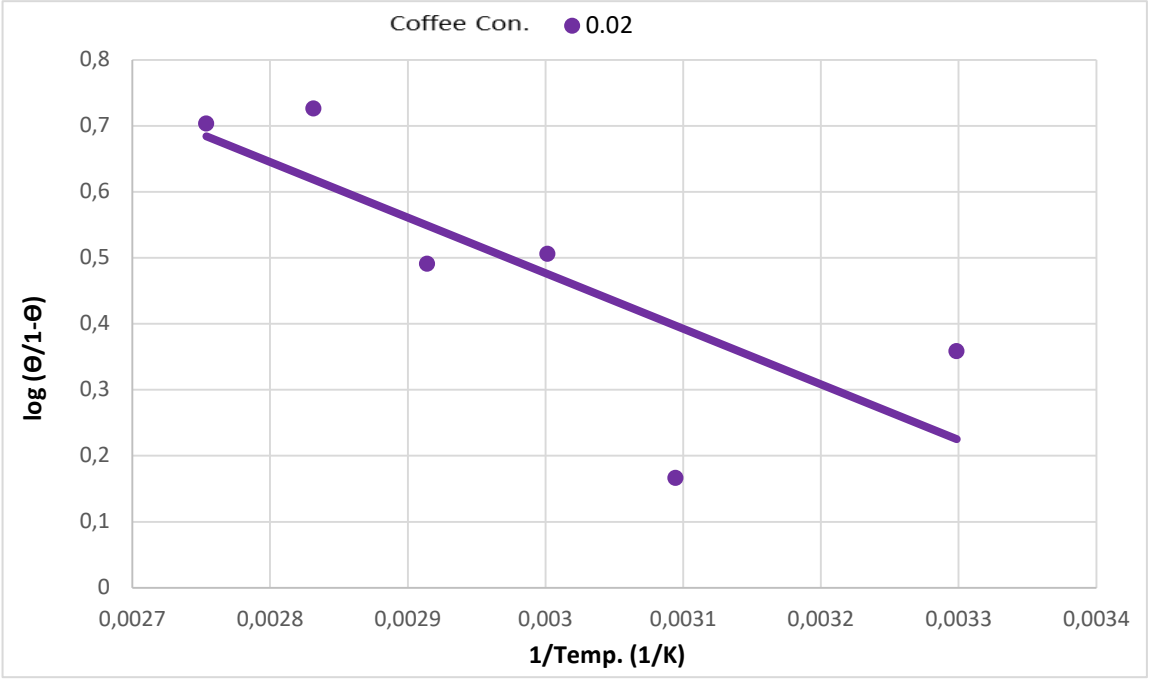
Şekil (4.35)'ten (4.62)'ye kadar olan rakamlar, aşağıdakiler arasındaki ilişkiyi temsil eder Log Θ / 1 – Θ Karşı 1/T farklı konsantrasyonlarda korozyon önleyici Türk kahvesi ile.

Tüm zamanlar 3, 4, 5 ve 6 saat için izoterm eğrileri elde edilmiş ve elde edilen veriler Çizelgeler (4.7), (4.8), (4.9) ve (4.10)'da listelenmiştir.

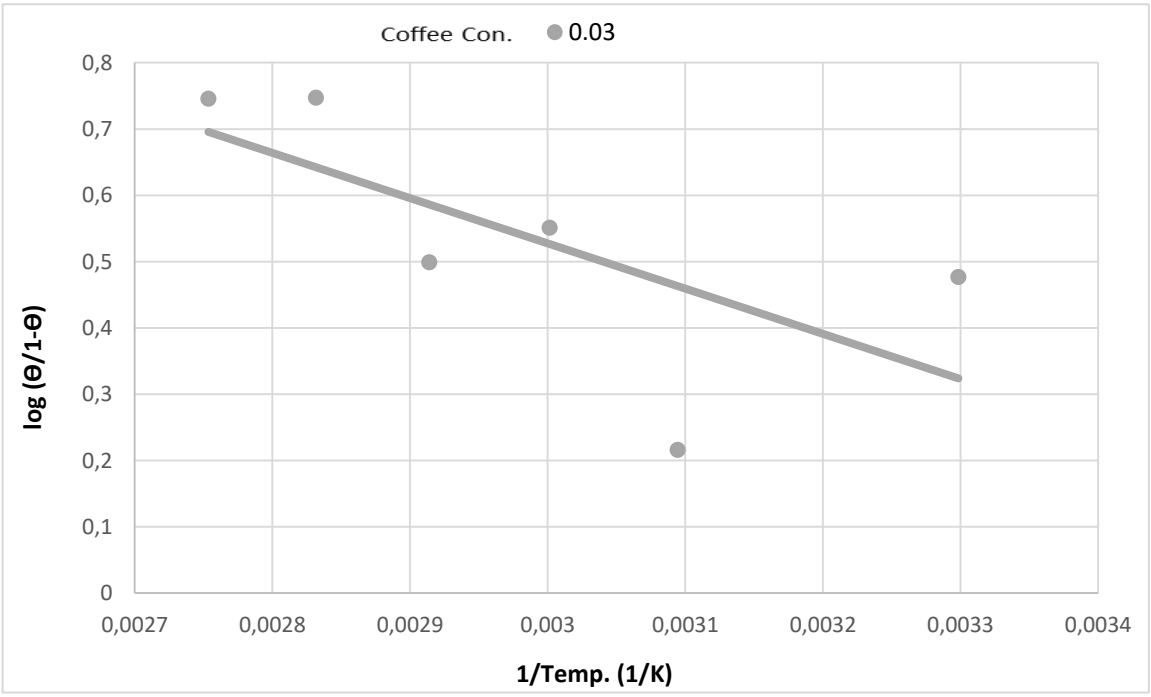
Doğrusal bir ilişki elde edilmiştir. Bu, Türk kahvesi bileşiklerinin L 80 C-Çelik alaşımına adsorpsiyonunun Langmuir adsorpsiyon izotermine uyduğu anlamına gelir (Aralu *et al.* 2021).Reza *et al.* 2021).



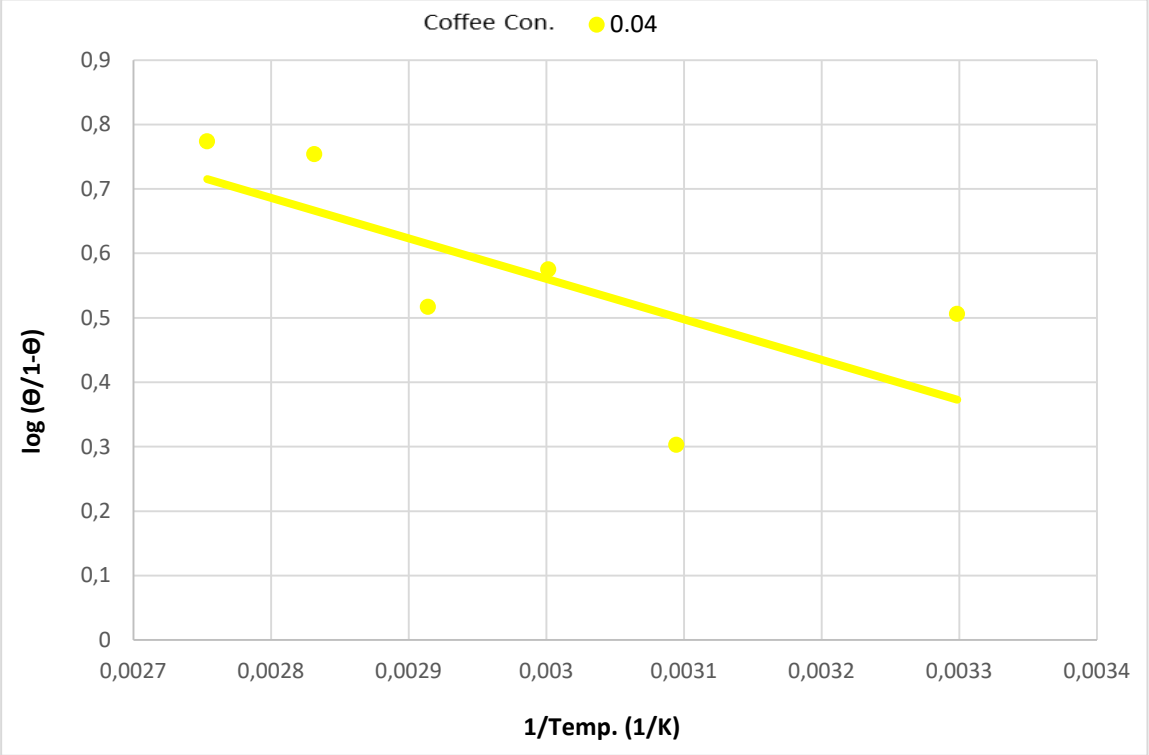
Şekil 4.36 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsantrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.



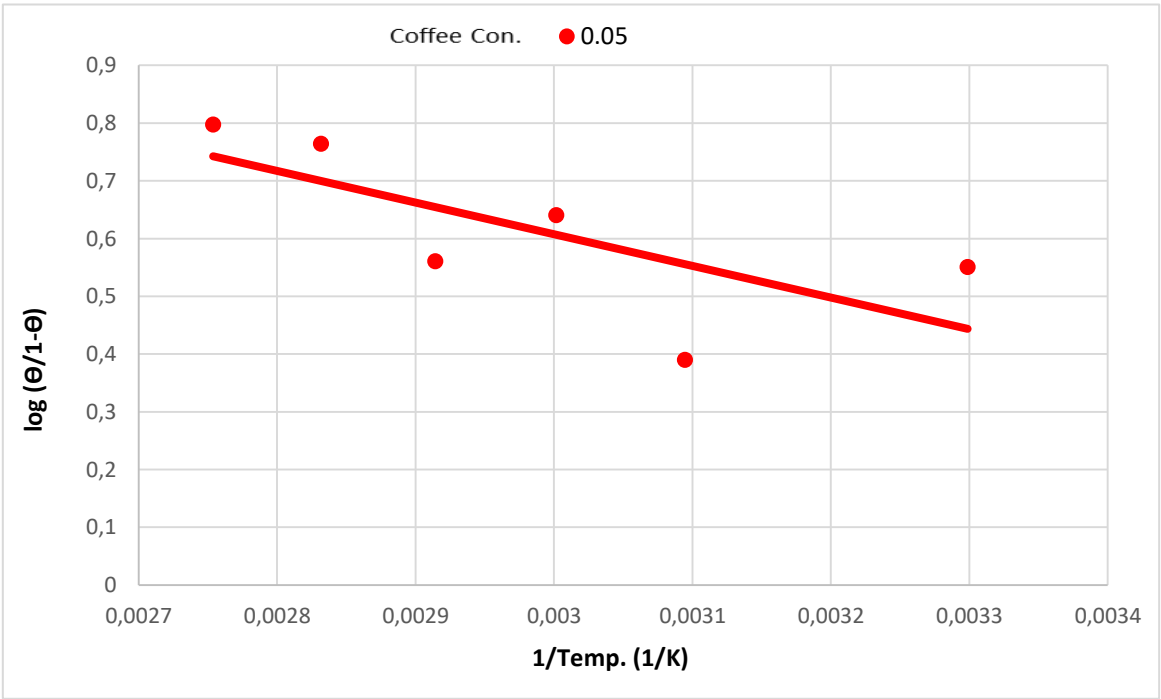
Şekil 4.37 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsantrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.



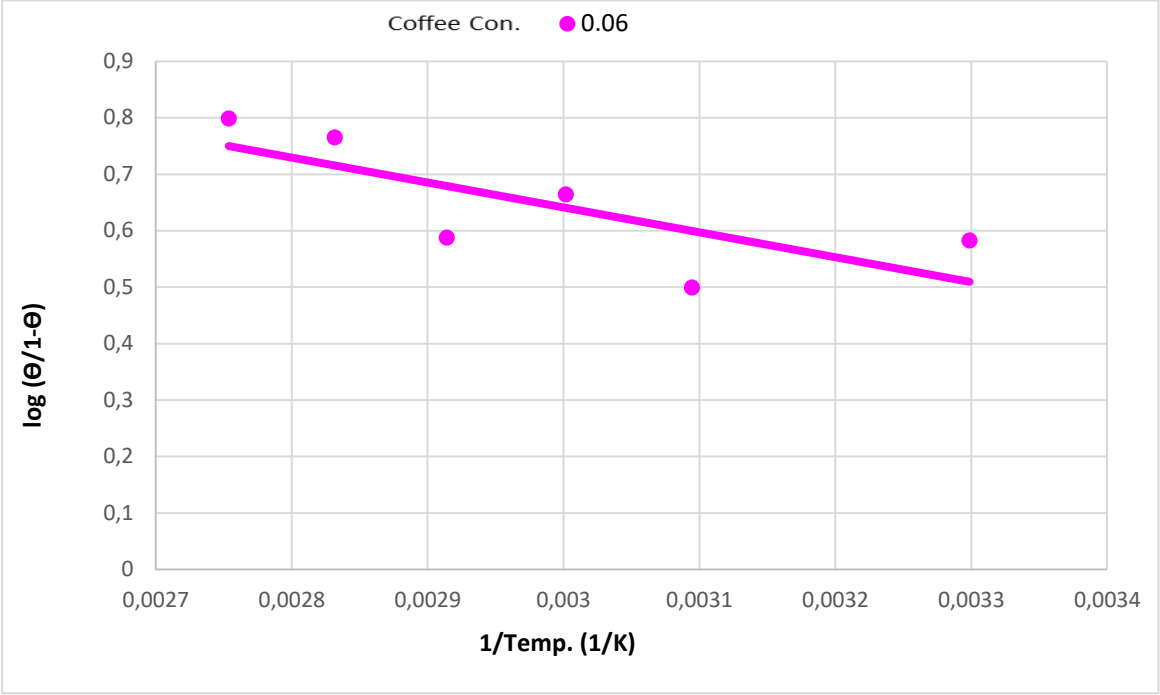
Şekil 4.38 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.



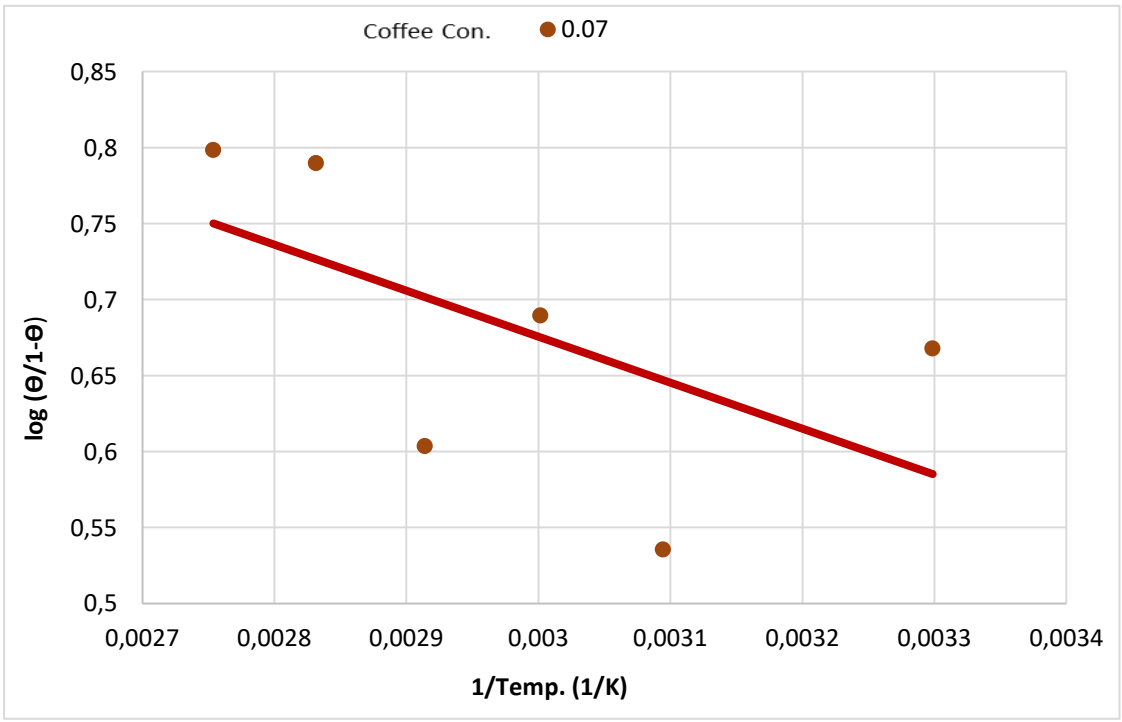
Şekil 4.39 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.



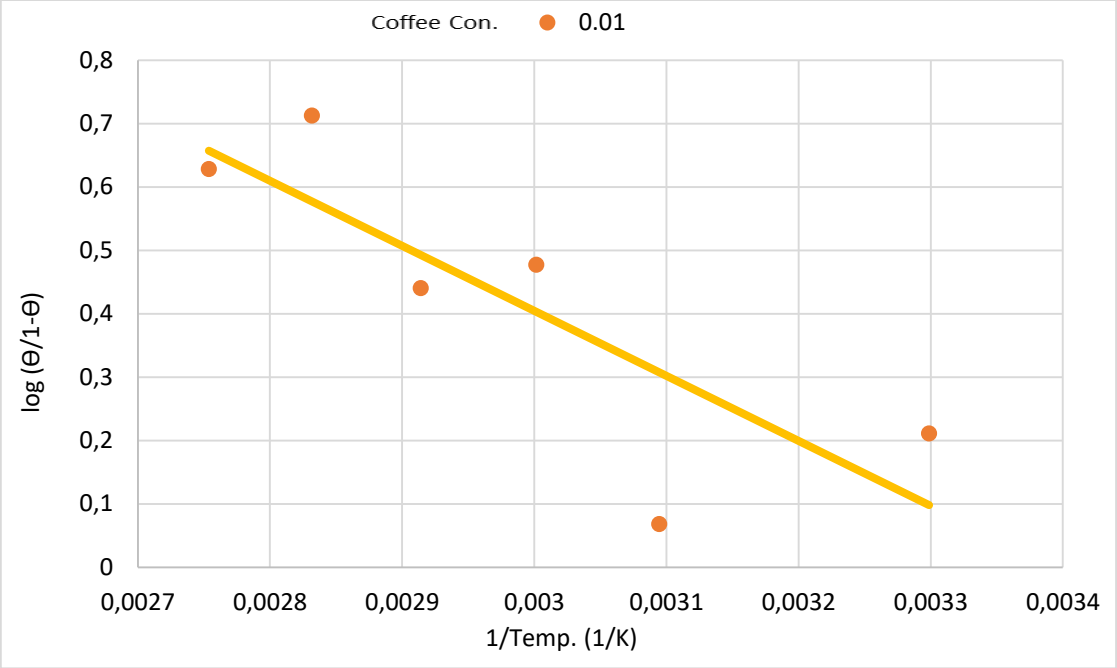
Şekil 4.40 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.



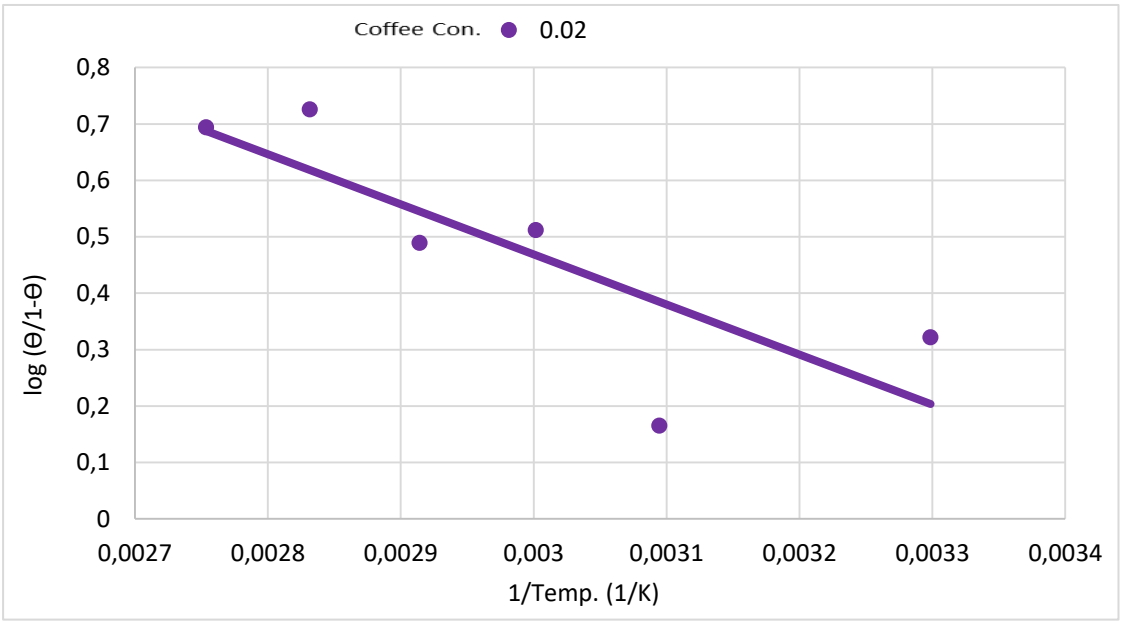
Şekil 4.41 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saattlik çalışması.



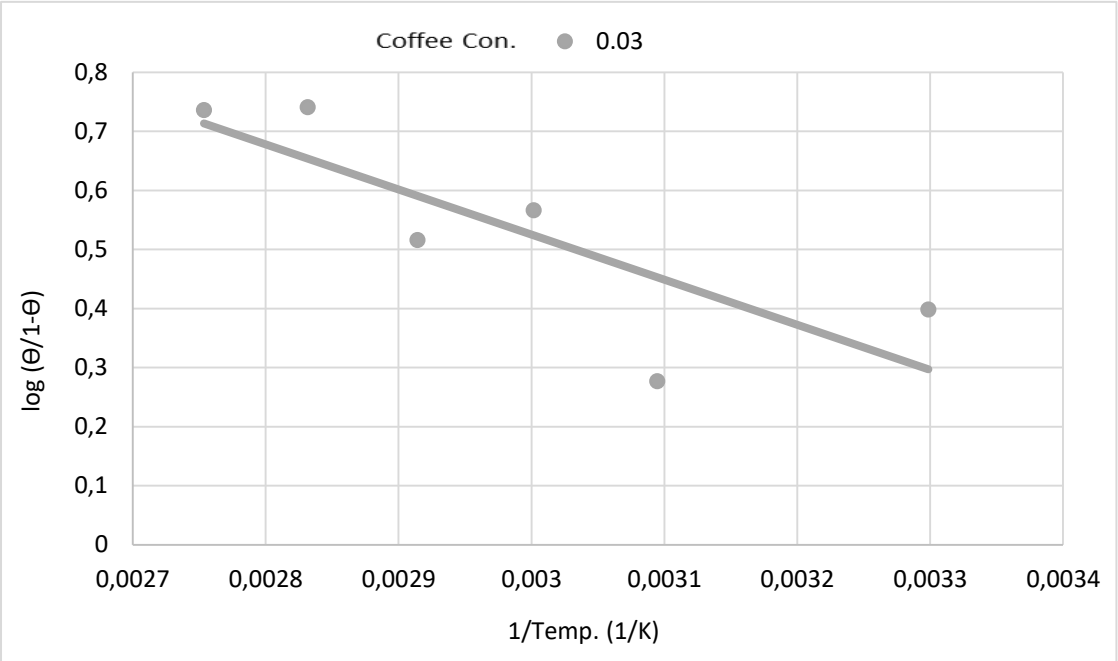
Şekil 4.42 C-steel L80 çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 3 saatlik çalışması.



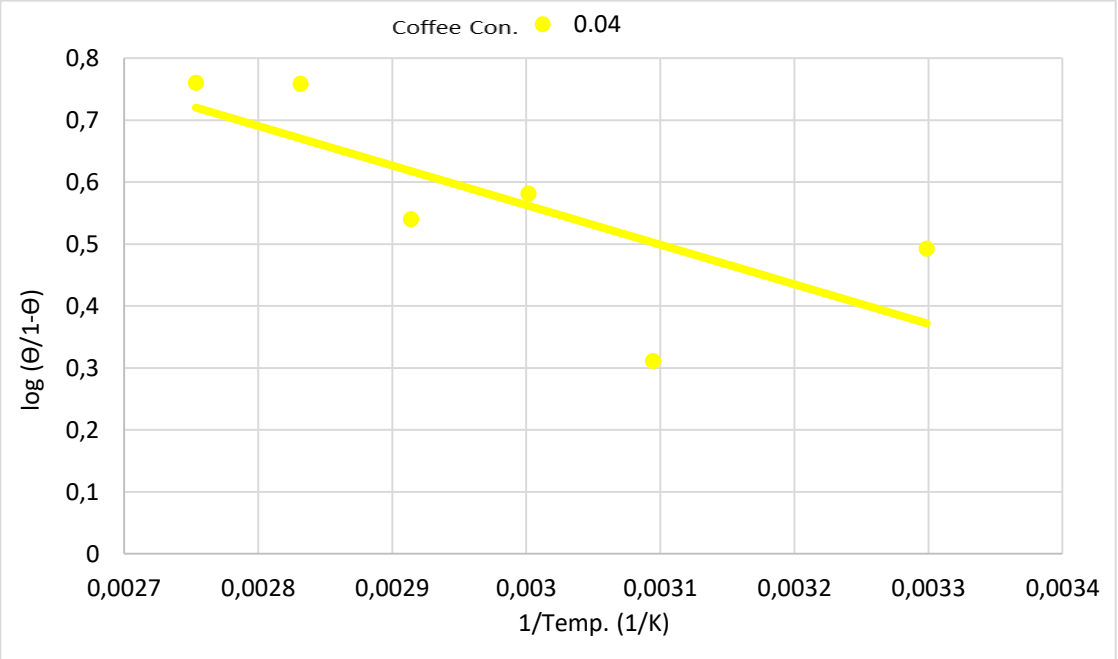
Şekil 4.43 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



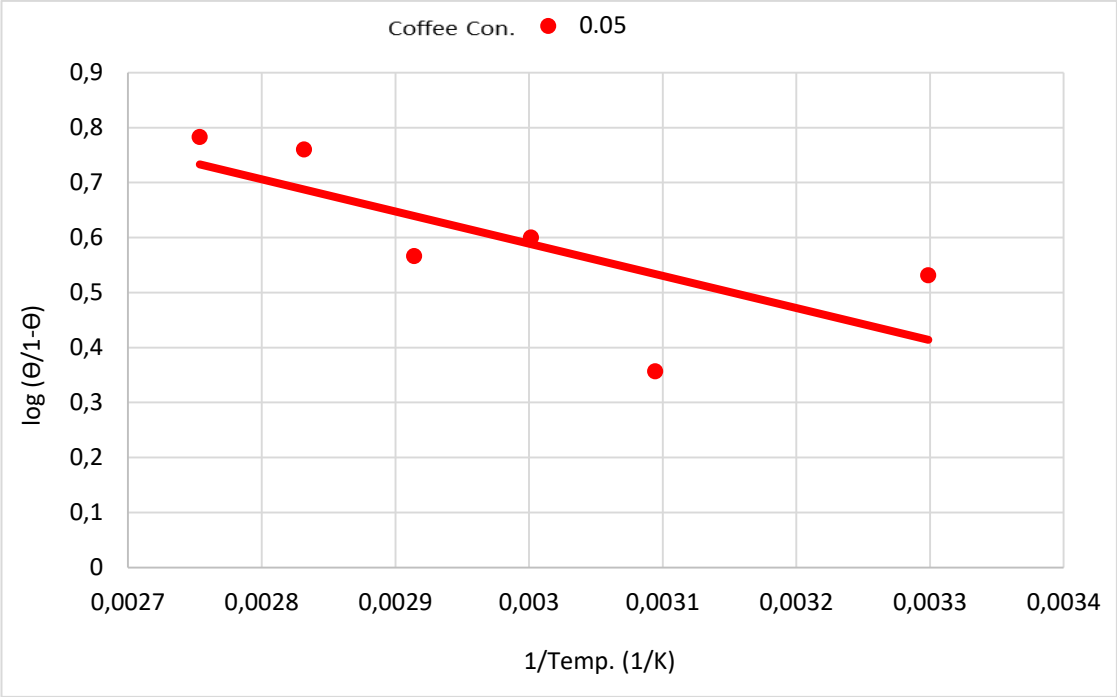
Şekil 4.44 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



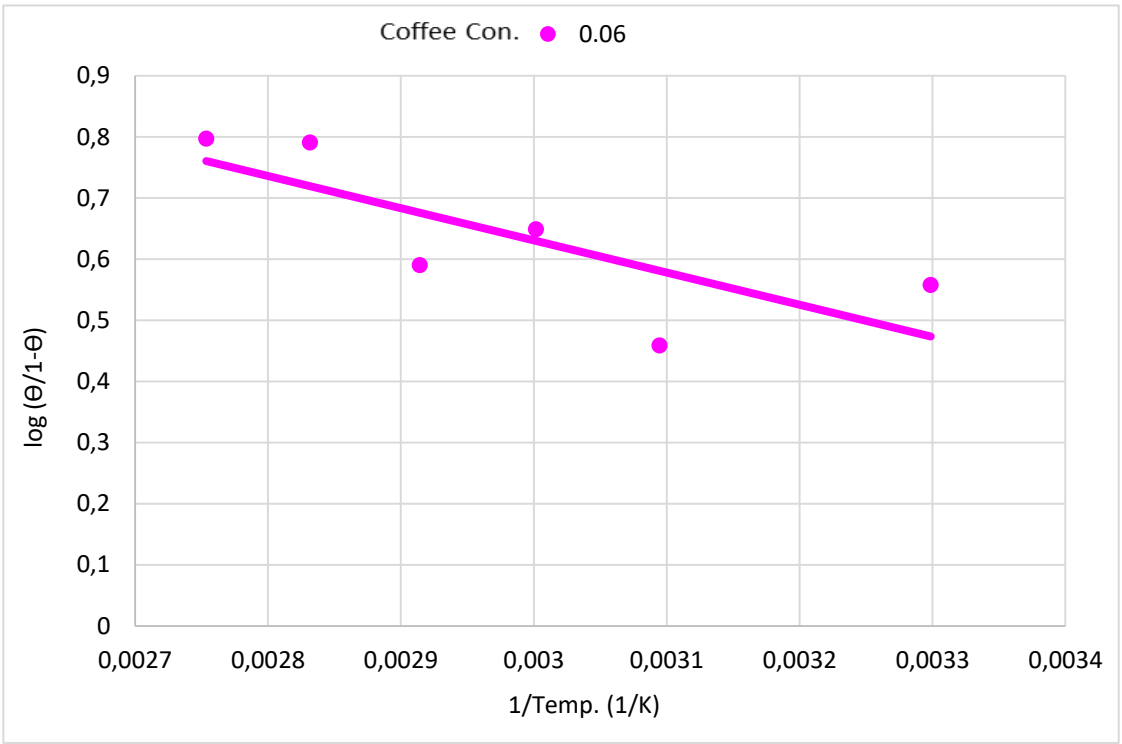
Şekil 4.45 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



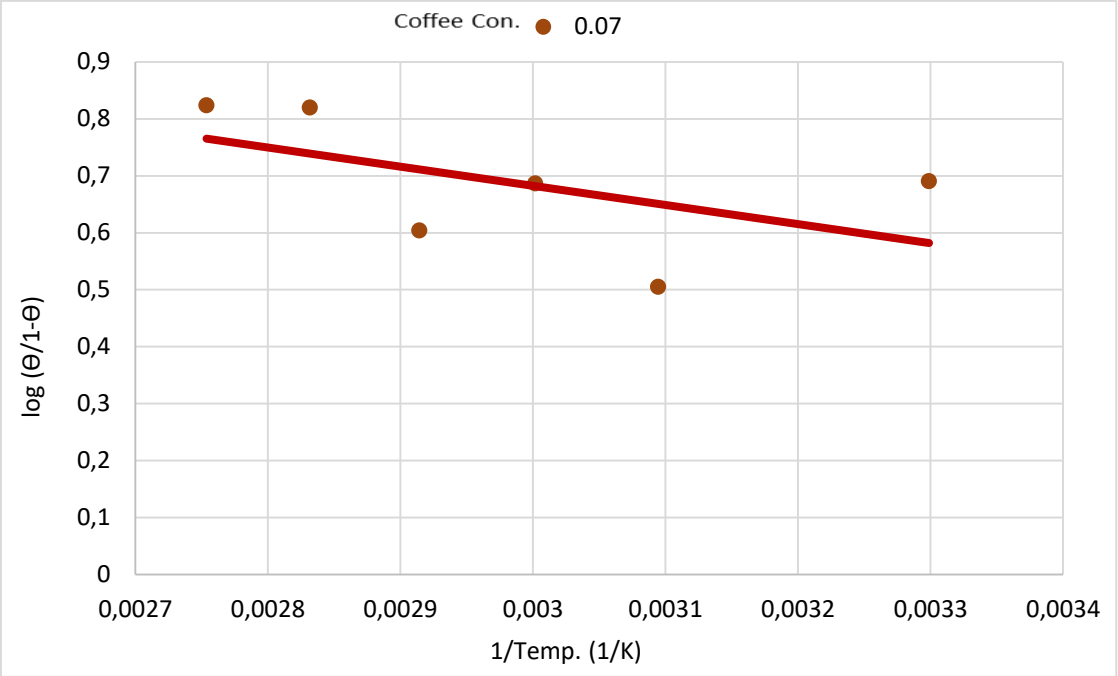
Şekil 4.46 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



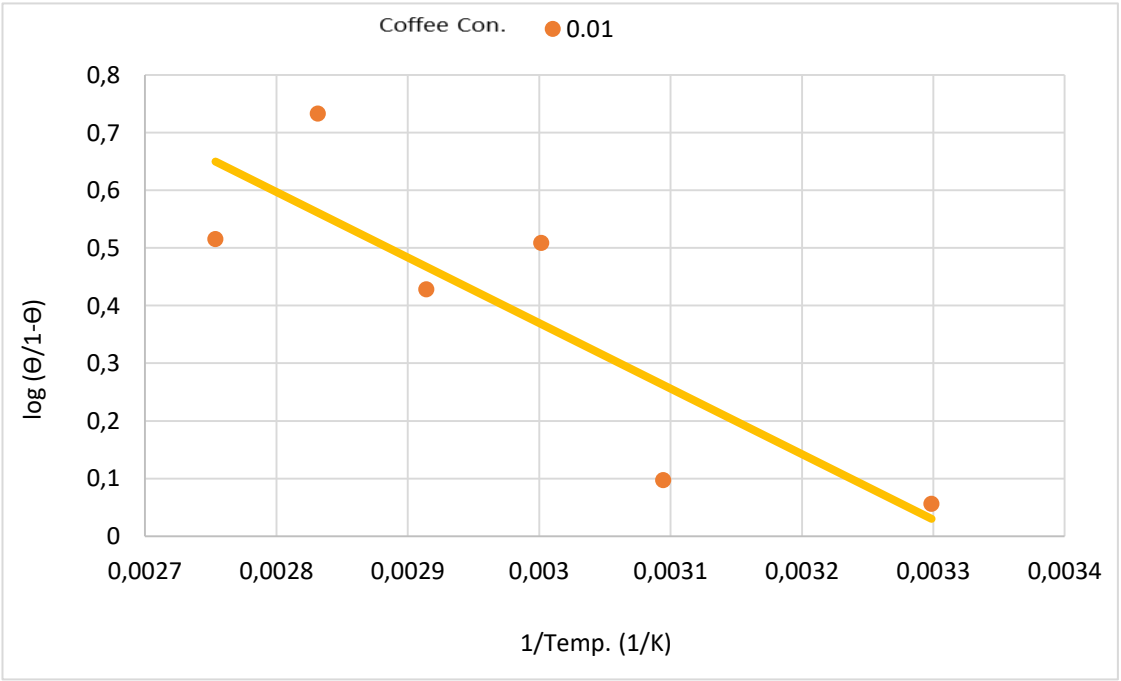
Şekil 4.47 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



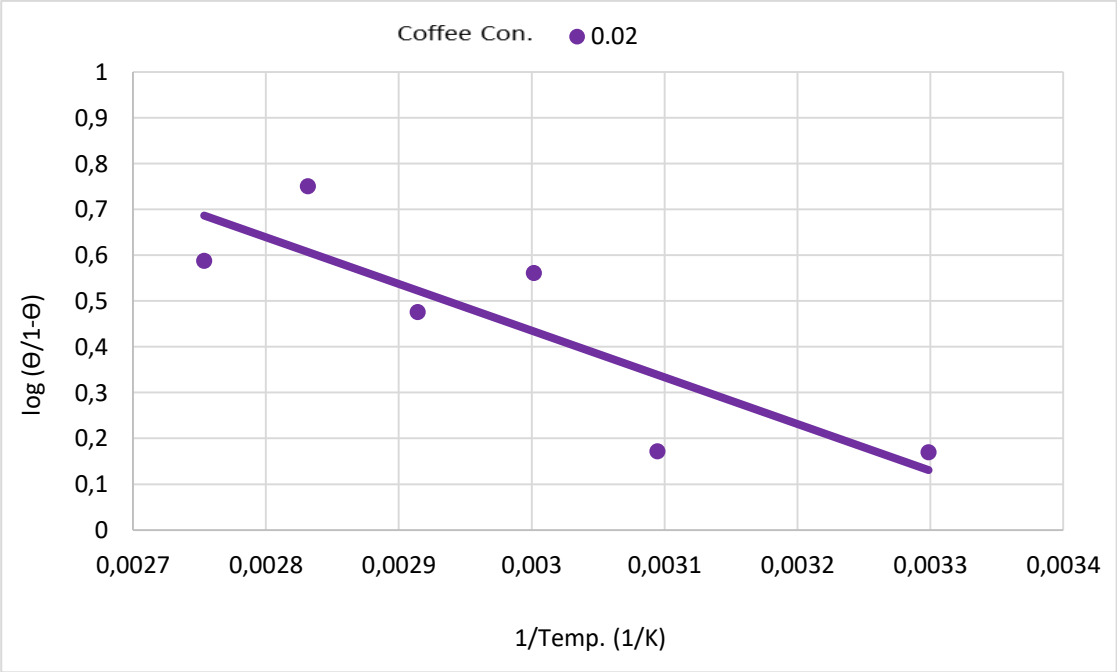
Şekil 4.48 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



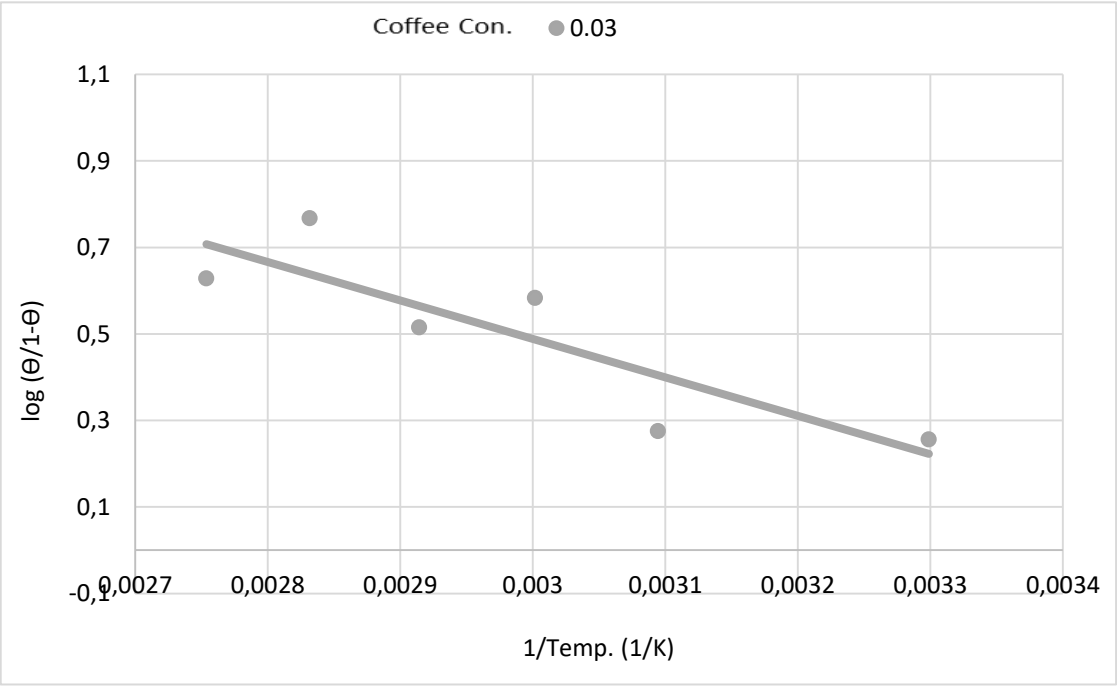
Şekil 4.49 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 4 saatlik çalışması.



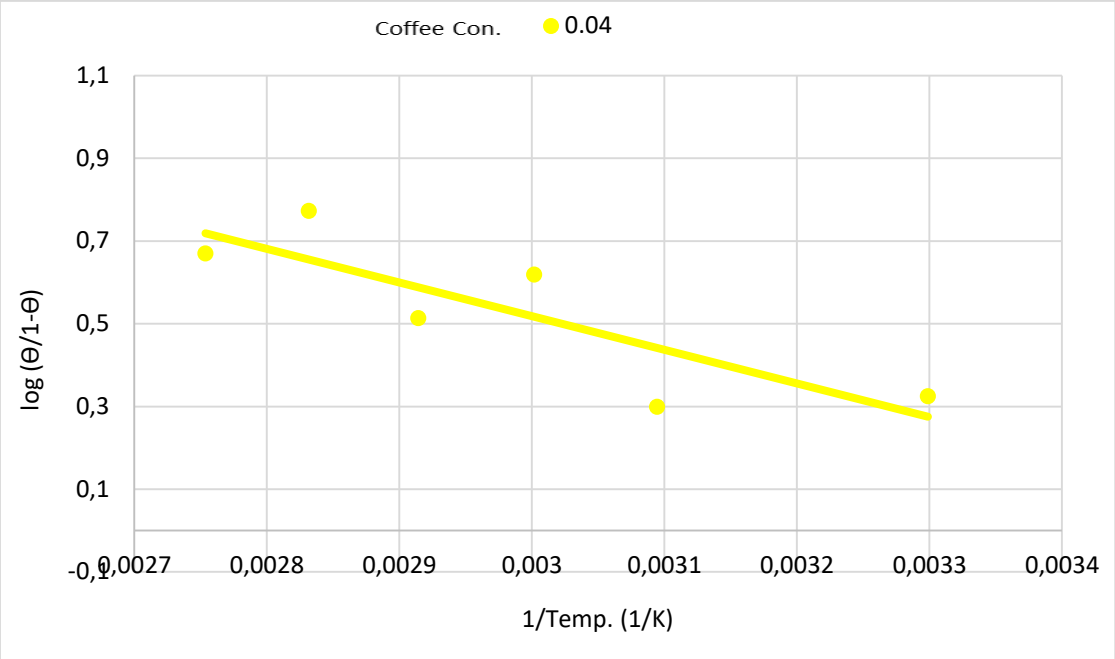
Şekil 4.50 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



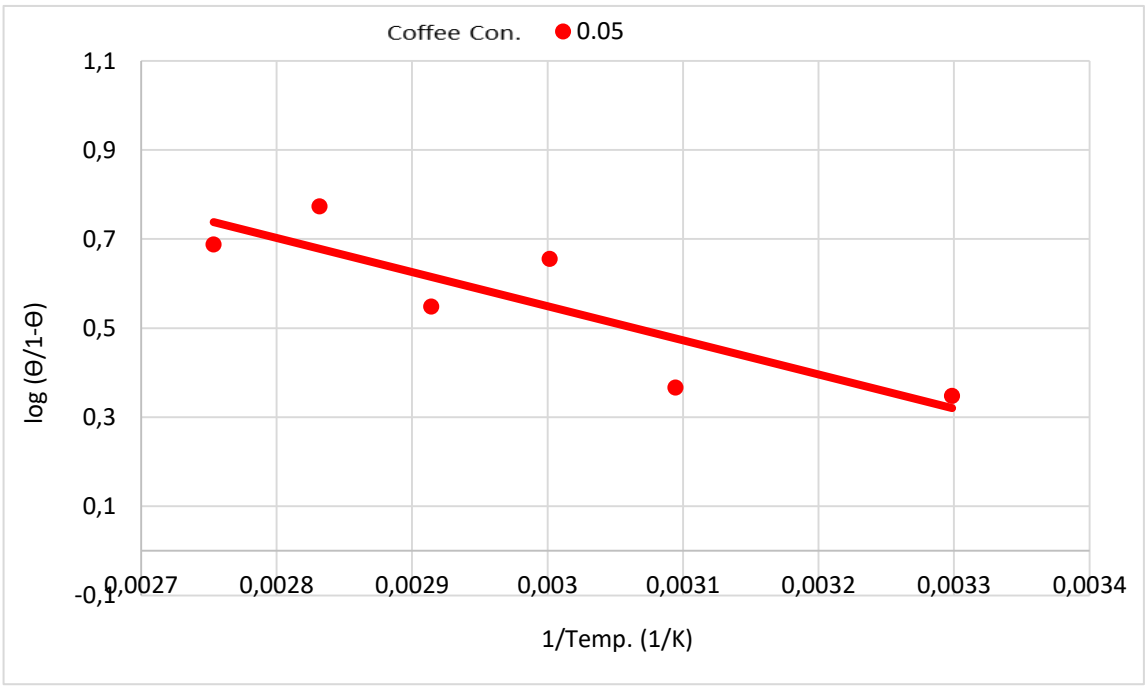
Şekil 4.51 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



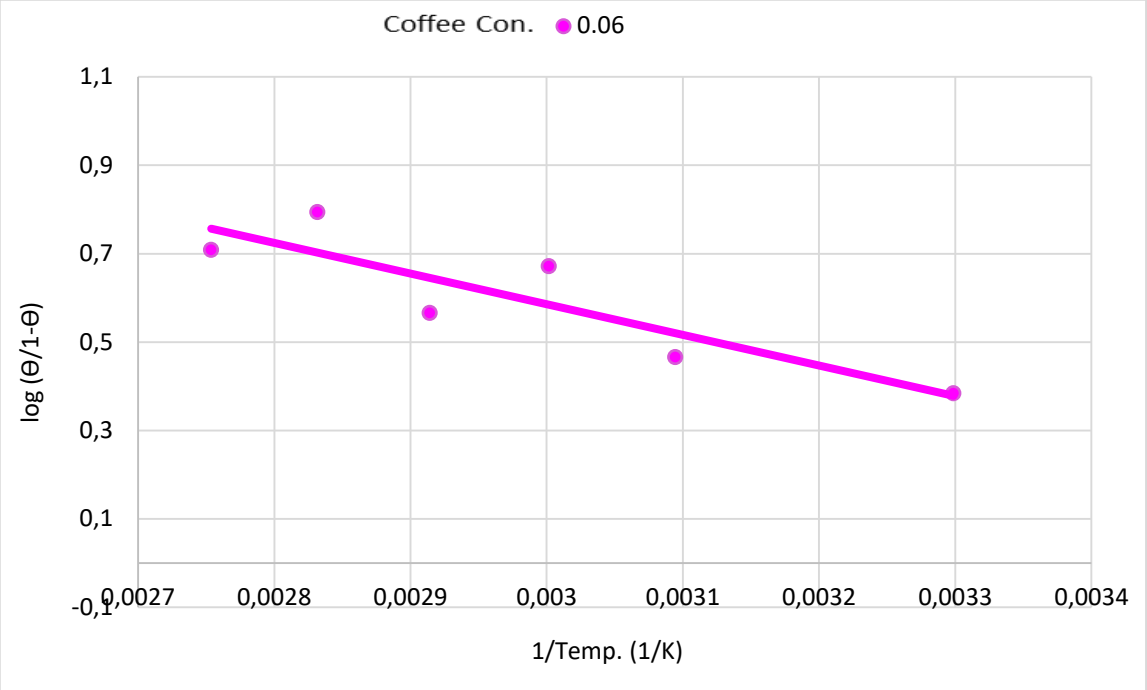
Şekil 4.52 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



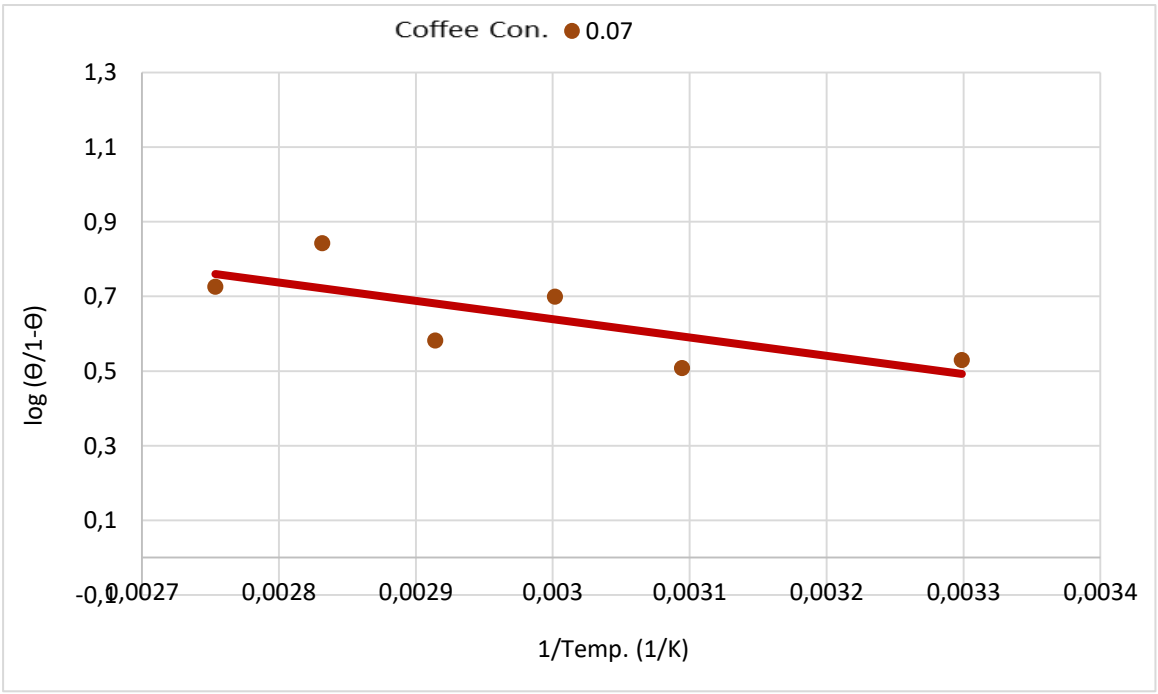
Şekil 4.53 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



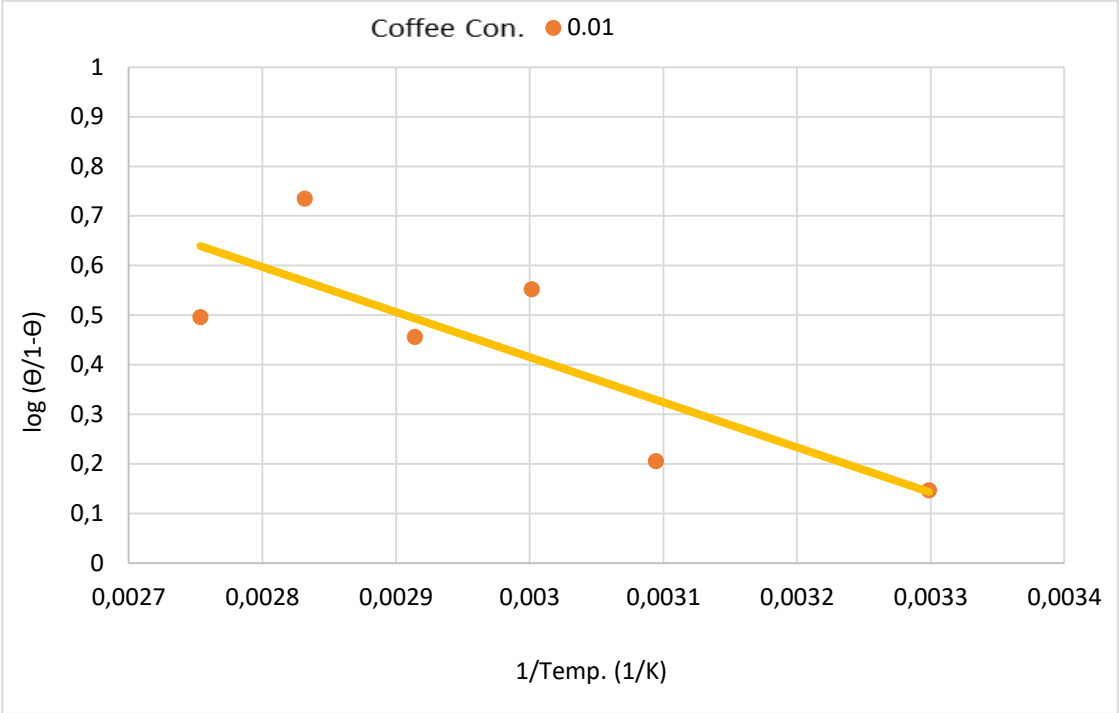
Şekil 4.54 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



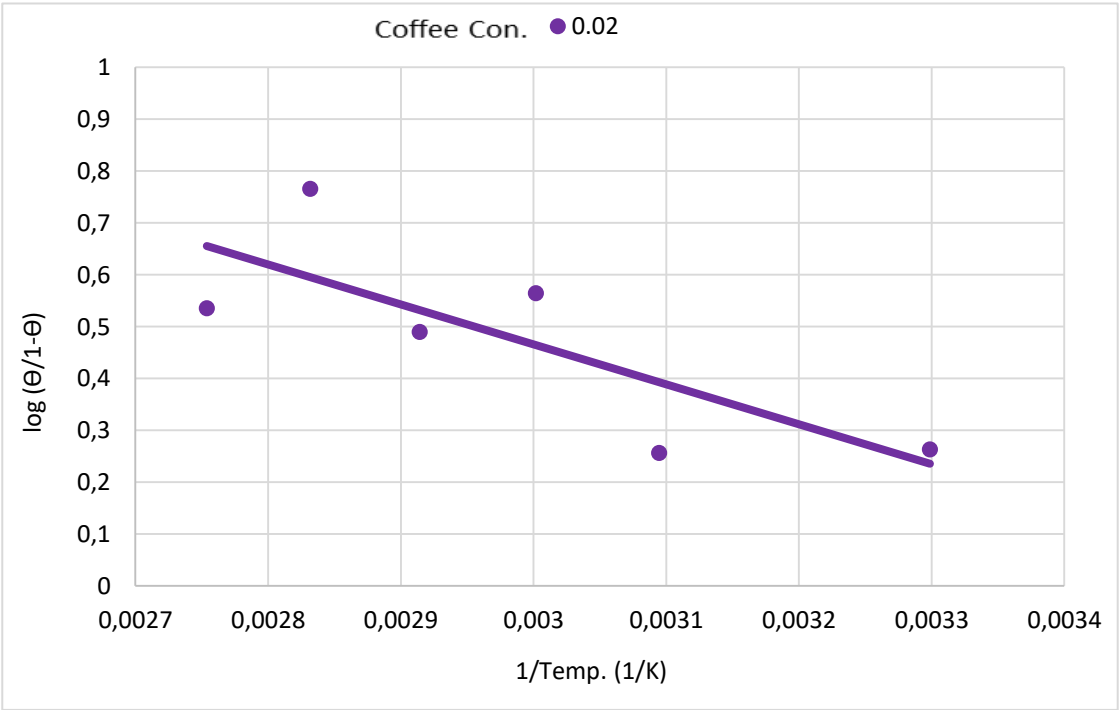
Şekil 4.55 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



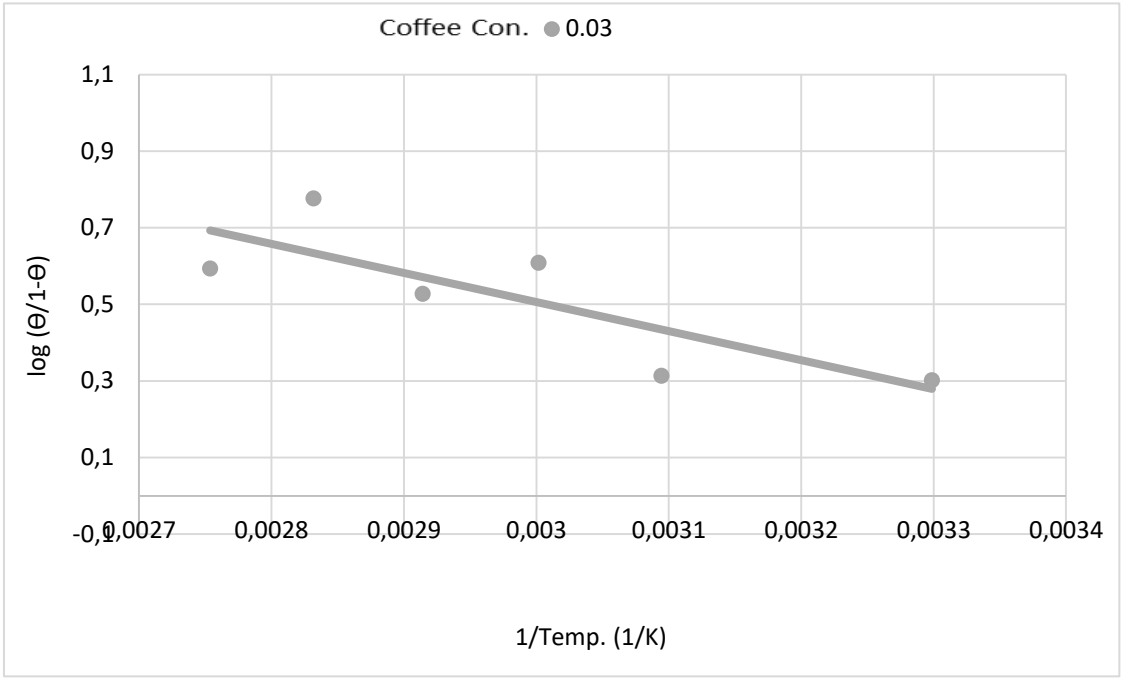
Şekil 4.56 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 5 saattlik çalışması.



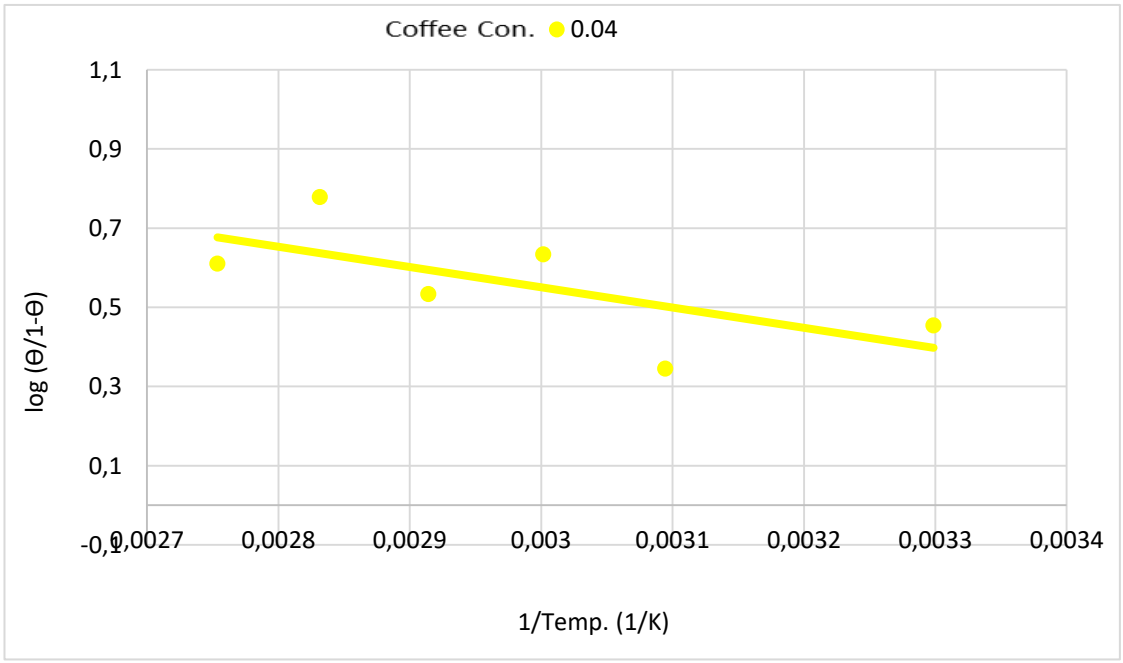
Şekil 4.57 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,01 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



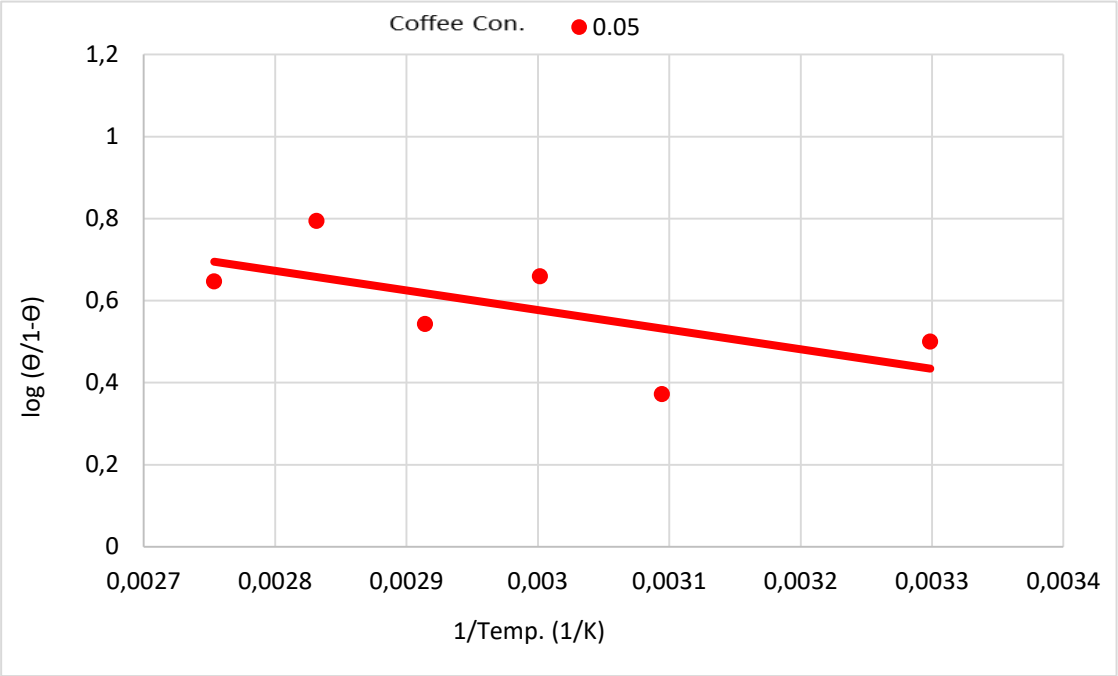
Şekil 4.58 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,02 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



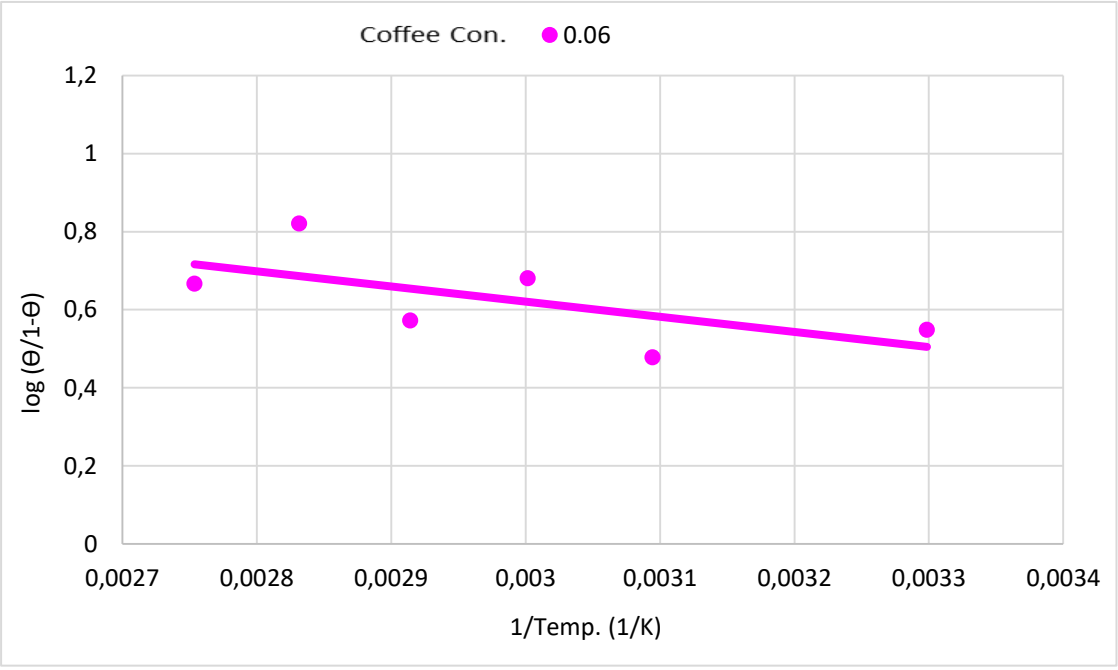
Şekil 4.59 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,03 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



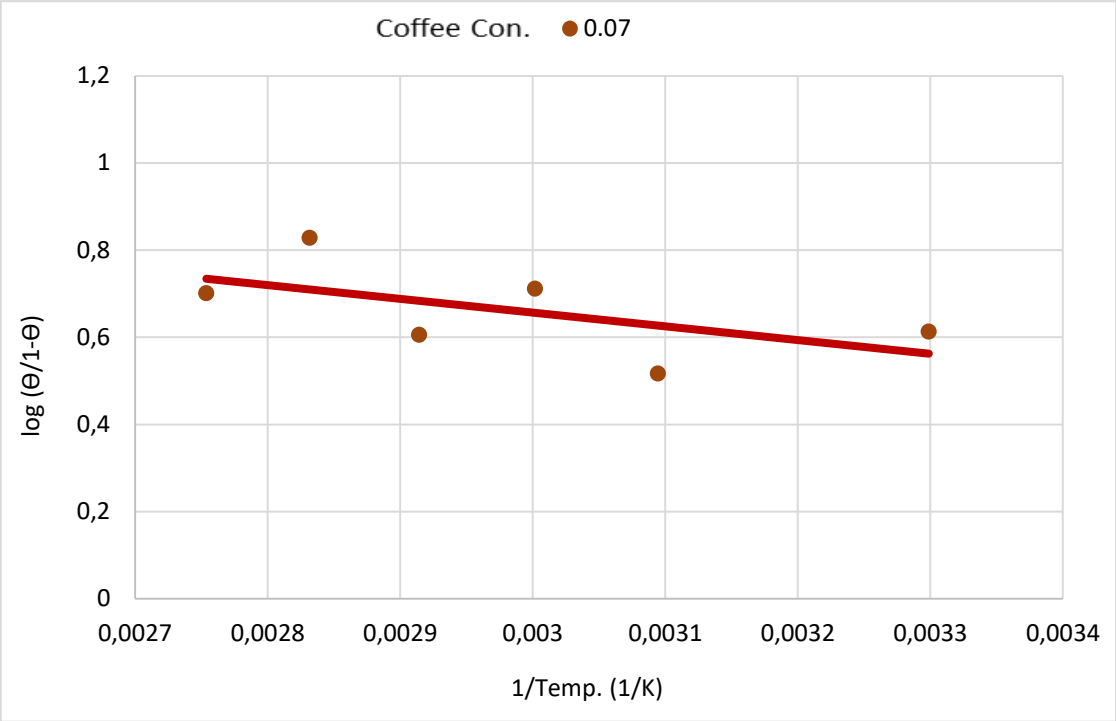
Şekil 4.60 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,04 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



Şekil 4.61 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,05 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



Şekil 4.62 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,06 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.



Şekil 4.63 L80 C-steel çeliğinde, HCI asit korozyonunu önleyici 0,07 konsatrasyondaki Türk kahvesinin log (Θ/1-Θ) ve 1\sıcaklık için 6 saattlik çalışması.

Adsorpsiyon ısısının (ΔH) değerleri, doğrunun eğiminden hesaplanabilir(Yaqoob 2021).

Eğim = (- ΔH / 2.303 R)

Çizelgeler 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da gösterildiği gibi.

Eğimlerin hafif sapması, adsorbe edilen moleküller arasındaki etkileşimlerin varlığını ve/veya bir aktif bölgeyi işgal eden fitokimyasal moleküllerin sayısının bir olmadığını göstermektedir (De Souza *et al.* 2016).

ΔH'nin pozitif değerleri, karbon çeliğinin yüzeyinde kullanılan inhibitörün endotermik davranışını yansıtır.

Çizelgelerden görüldüğü gibi ΔH değerleri inhibitör konsantrasyonundaki artışla sürekli olarak azalmaktadır (Wei-Lung *et al.* 2012).

4.3.1 Termodinamik değişkenler

Langmuir adsorpsiyon izotermi şu şekilde formüle edilebilir (Danaee *et al.* 2020, Yaqoob 2021).

$$C / \Theta = 1 / K + C \qquad (4.7)$$

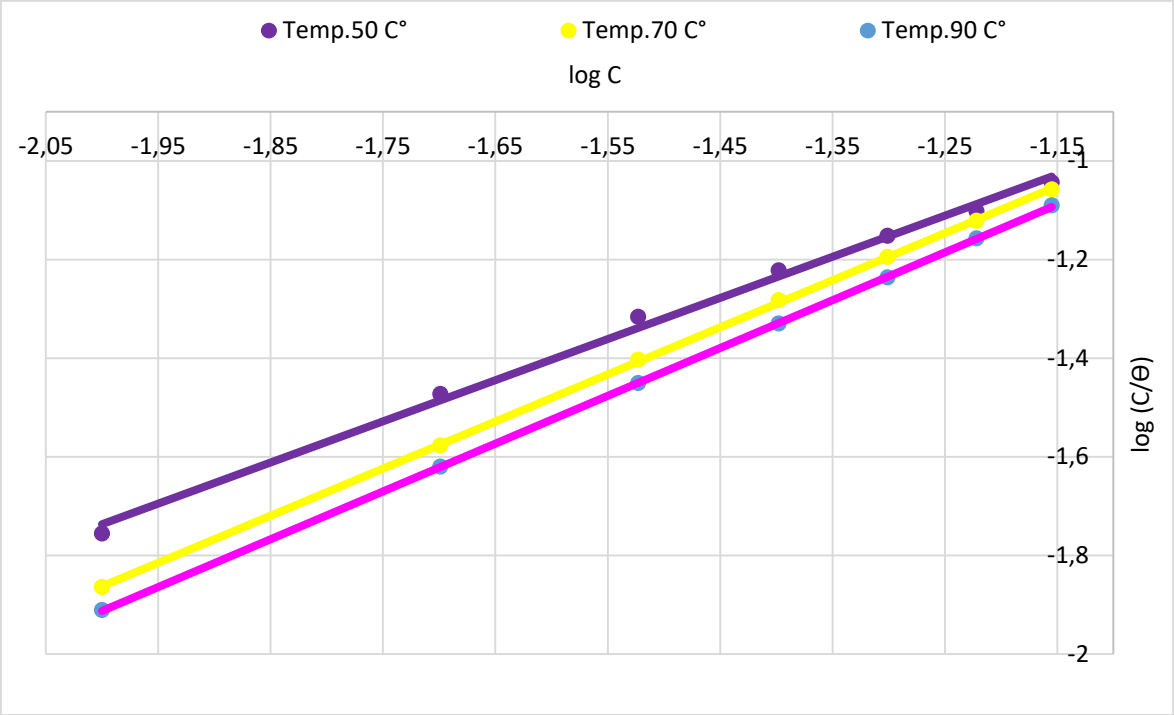
K = Adsorpsiyon işlemi için denge sabiti, C =İnhibitör konsantrasyonu.

Şekil 4.63 ila 4.70 arasındaki rakamlar, bir adsorpsiyon izoterminin bir örneği olarak Türk kahvesi inhibitörünün r grafiğini (log C / Θ Karşı log C) temsil eder.

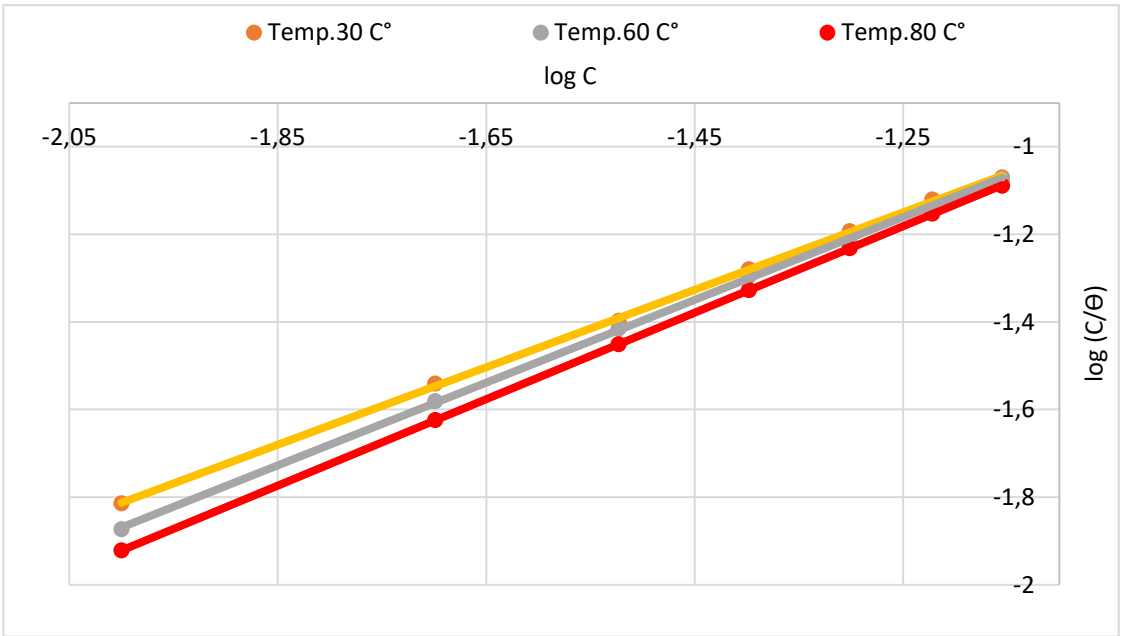
Şekillerdeki birim eğim değerine sahip düz çizgiler, Türk kahvesinin L 80 C-çeliği yüzeyinde adsorpsiyonunun Langmuir'i izlediğini göstermektedir(Aralu *et al.* 2021). Reza *et al.* 2021). Bu, inhibisyonun, moleküller birbirleriyle etkileşime girmeden, her biri bir adsorbat tutan sabit sayıda adsorpsiyon bölgesine sahip, metal yüzey üzerindeki uygun bölgelerde tek tabakalı adsorpsiyon ile gerçekleştiğini varsaymaktadır. Adsorpsiyon için denge sabiti K denklemden hesaplanabilir.

$(C/\Theta = 1/K + C)$ (Aralu *et al.* 2021).

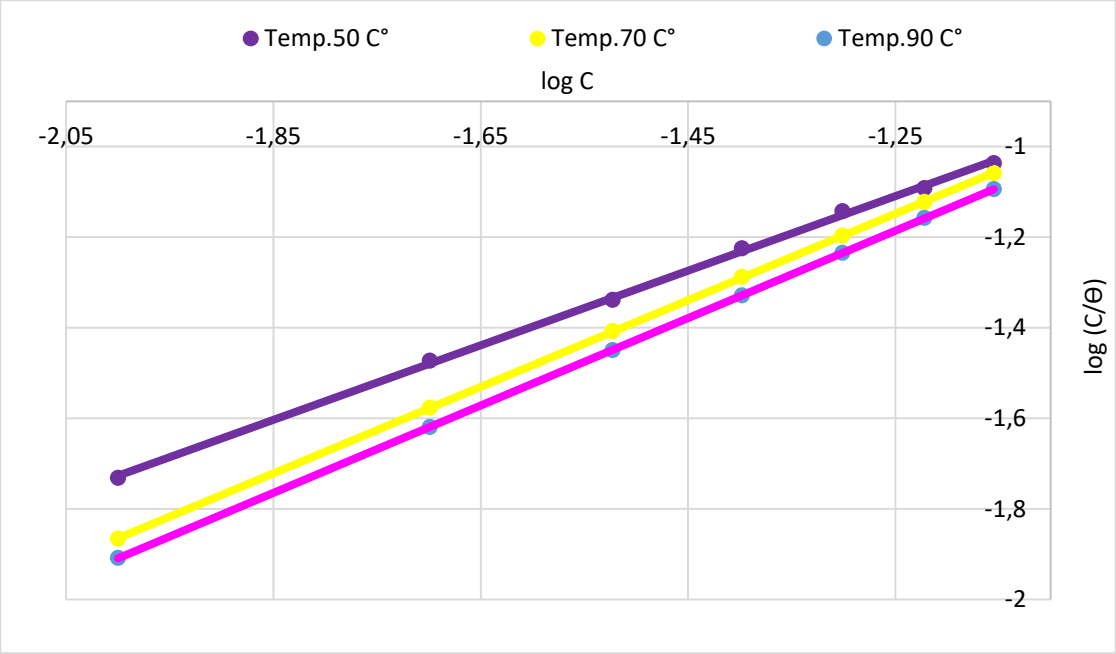
Değerler ise Çizelgeler 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da listelenmiştir.



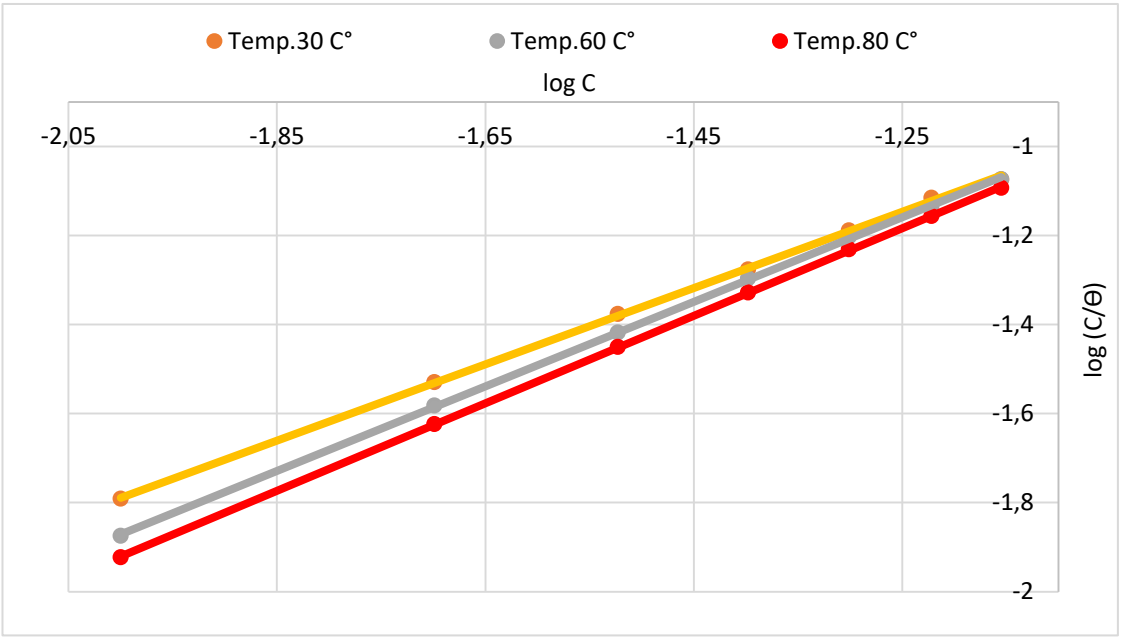
Şekil 4.64 Log C/Θ karşı Log C, L 80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonları 3 saat 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



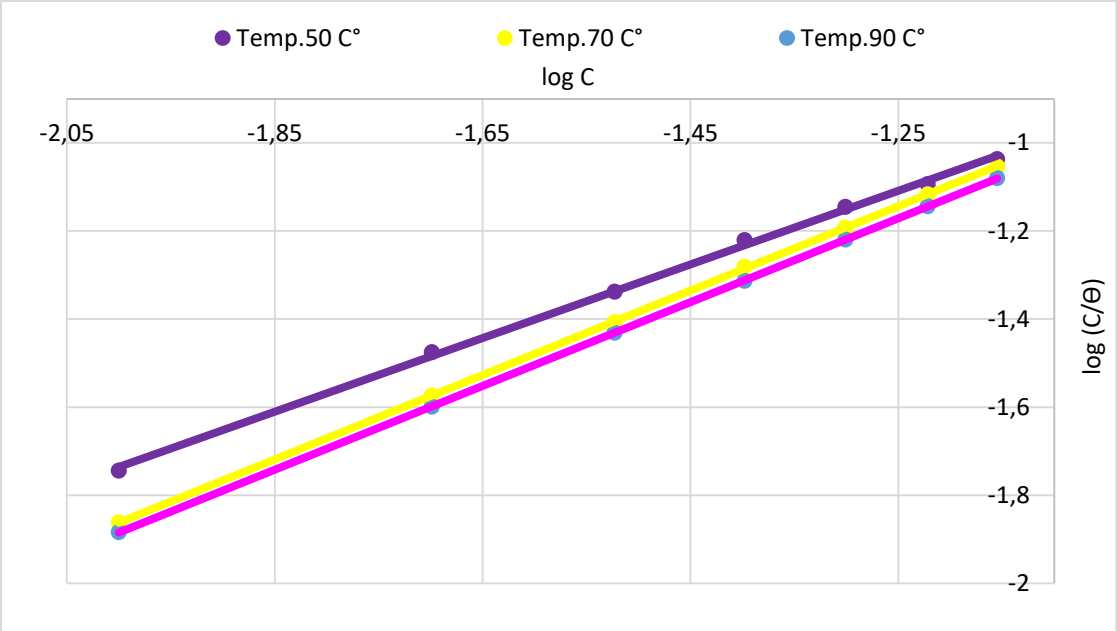
Şekil 4.65 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 3 saat 30, 60 ve 80 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



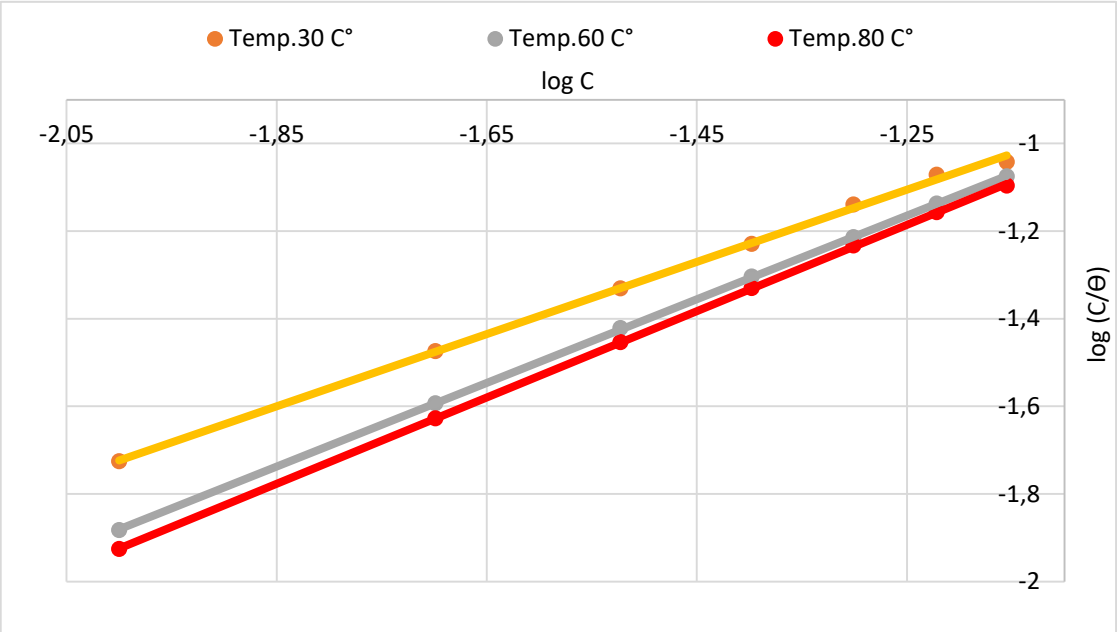
Şekil 4.66 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 4 saat 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



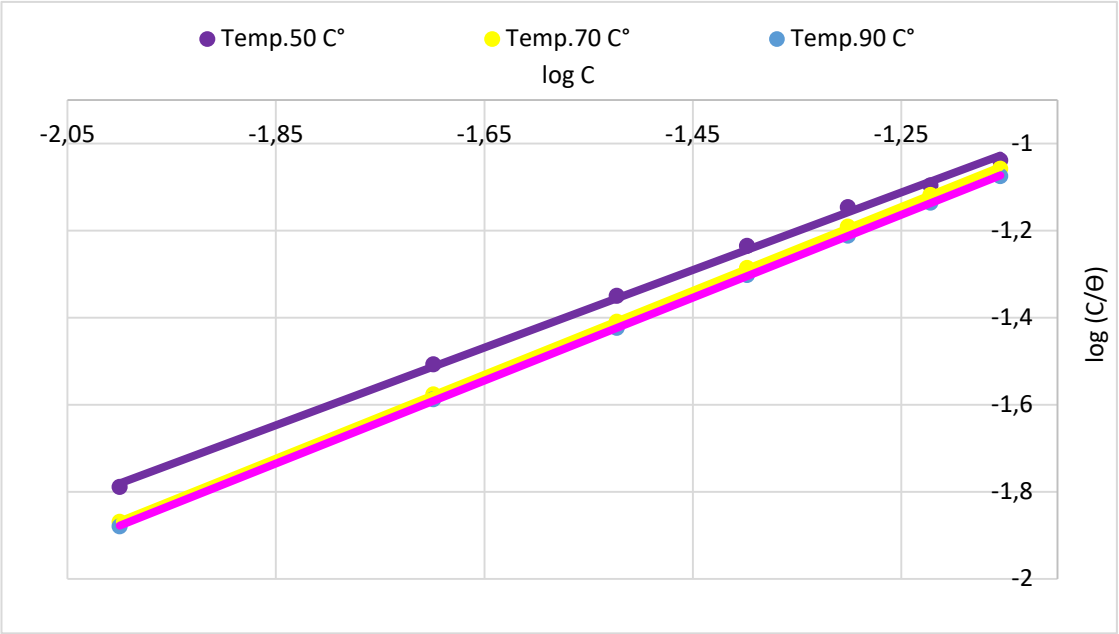
Şekil 4.67 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 4 saat 30, 60 ve 80 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



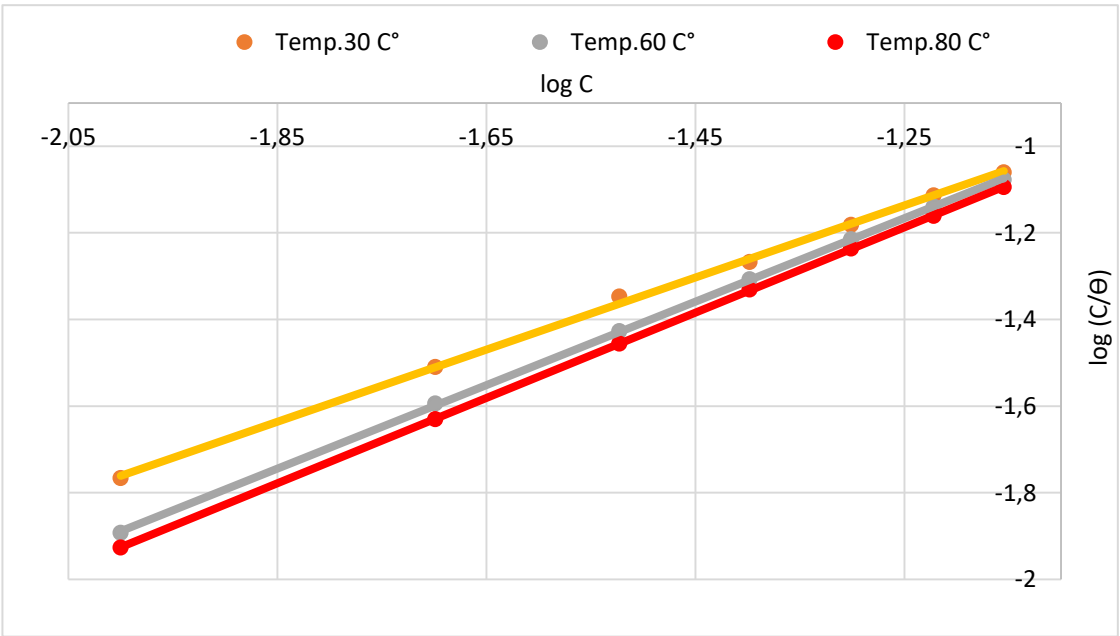
Şekil 4.68 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 5 saat 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



Şekil 4.69 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 5 saat 30, 60 ve 80 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



Şekil 4.70 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 6 saat 50, 70 ve 90 °C sıcaklıklardaki grafikleri.



Şekil 4.71 Log C/Θ karşı Log C, L80 C-Çelik korozyonu için %15 HCl asitte korozyon önleyici olarak farklı kahve konsantrasyonlarının 6 saat 30, 60 ve 80 °C sıcaklıklardaki grafikleri.

Adsorpsiyon işleminin termodinamik değişkenlerinden, incelenen bileşikler için ΔG serbest enerjinin hesabı mümkün olmaktadır (Edet and Ifelebuegu 2020).

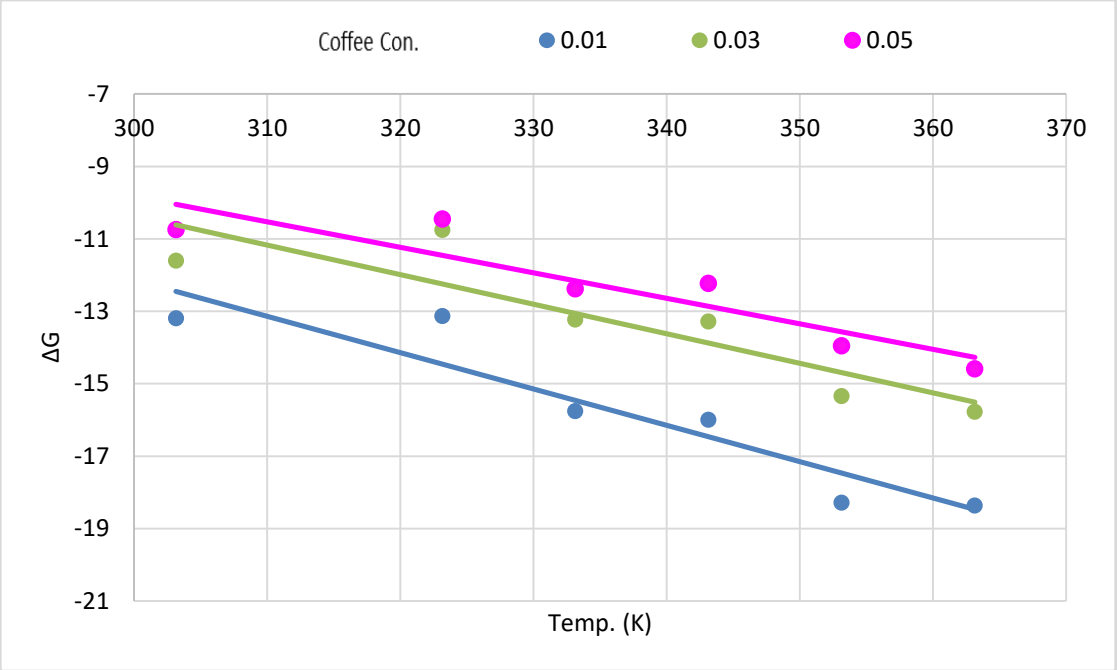
$$K_{eq} = \exp - \Delta G_{ads} / RT \quad (4.8)$$

$$\Delta G = \Delta H - T\Delta S \quad (4.9)$$

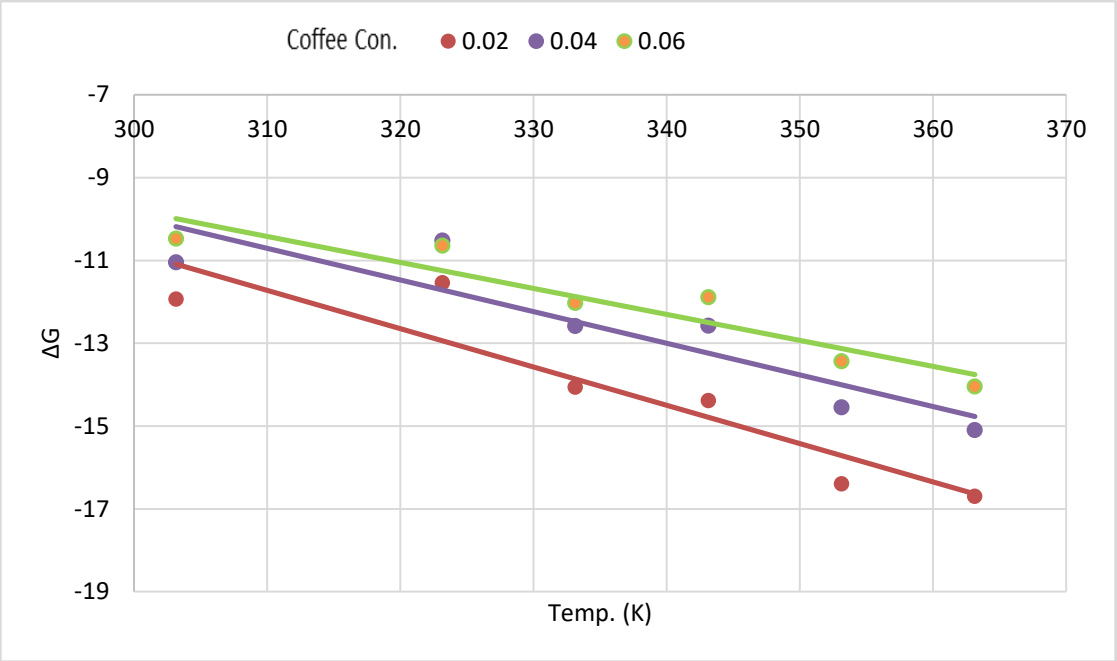
ΔS değerleri düz çizginin eğiminden hesaplanabilir(Erna *et al.* 2019).

Eğim = - ΔS

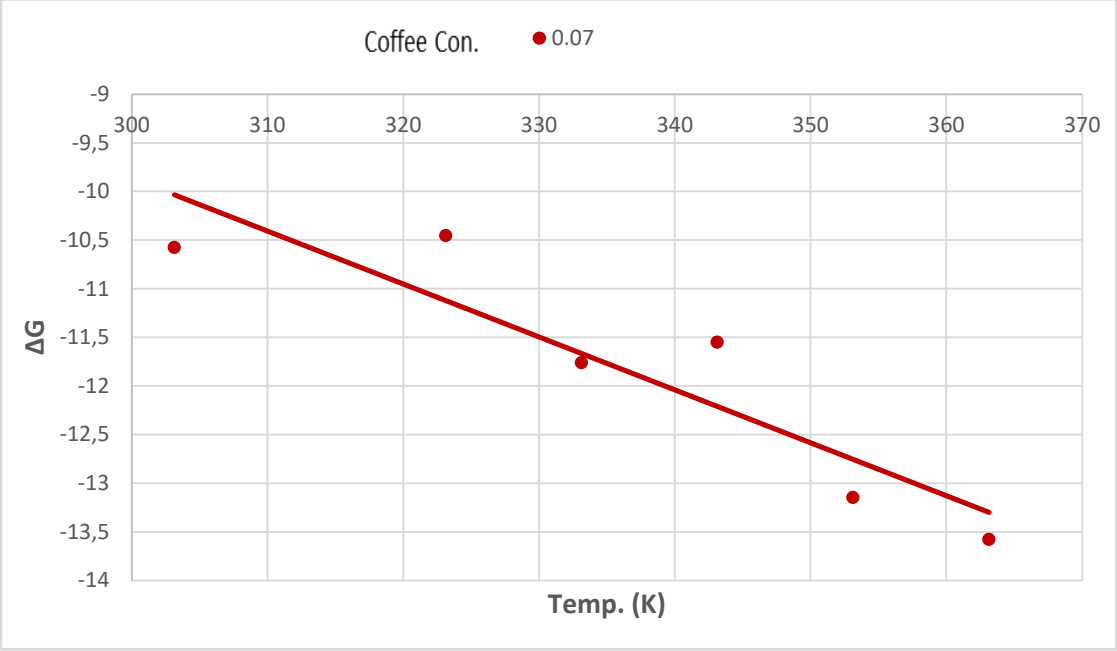
Şekil 4.71 ila 4.79 arasındaki Şekillar, (ΔG karşı Sıcaklık) arasındaki ilişkiyi temsil eder farklı konsantrasyonlarda korozyon inhibitörü (Türk kahvesi) ile.



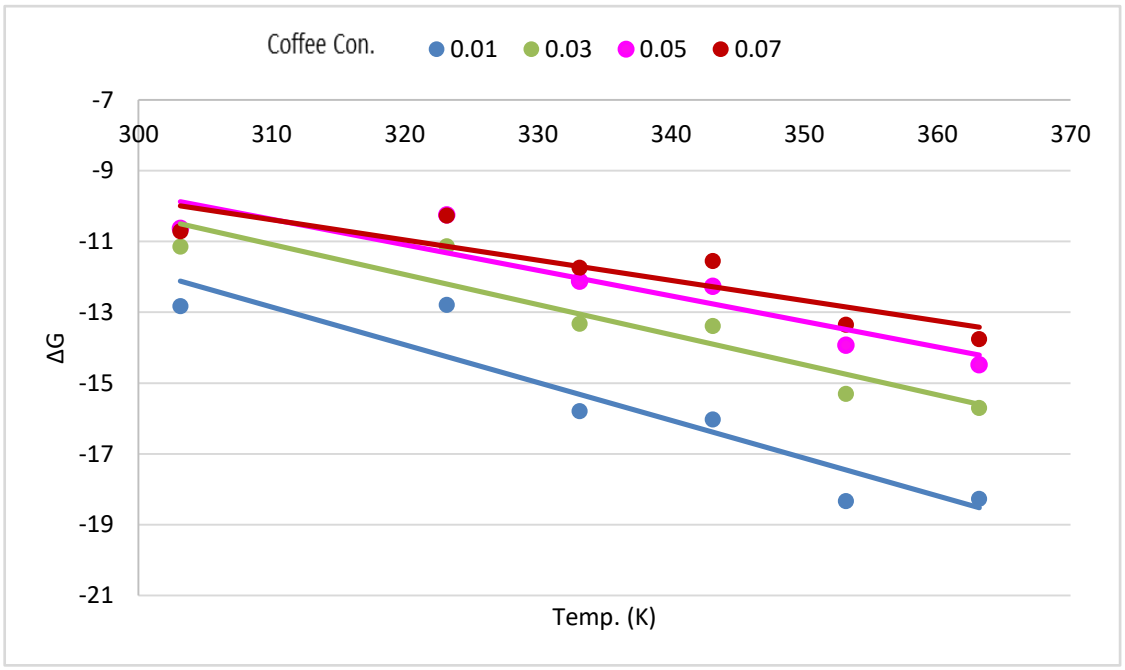
Şekil 4.72 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.01, 0.03 ve 0.05 ağırlık oranlarında 3 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



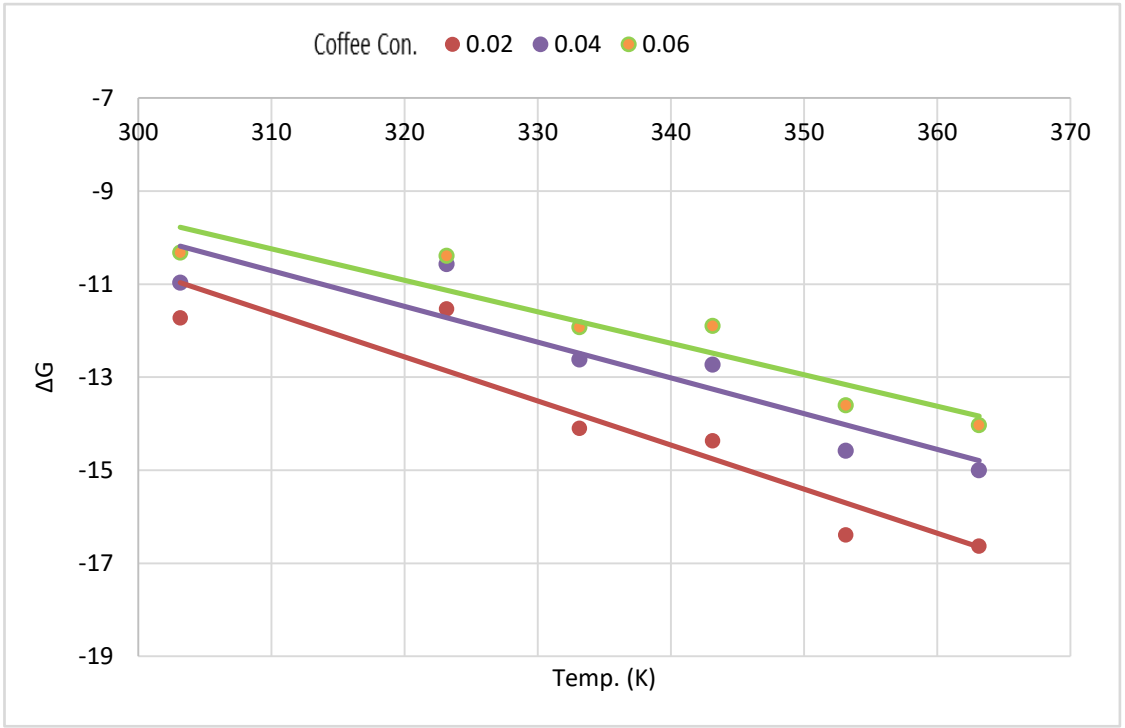
Şekil 4.73 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.02, 0.04 ve 0.06 ağırlık oranlarında 3 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



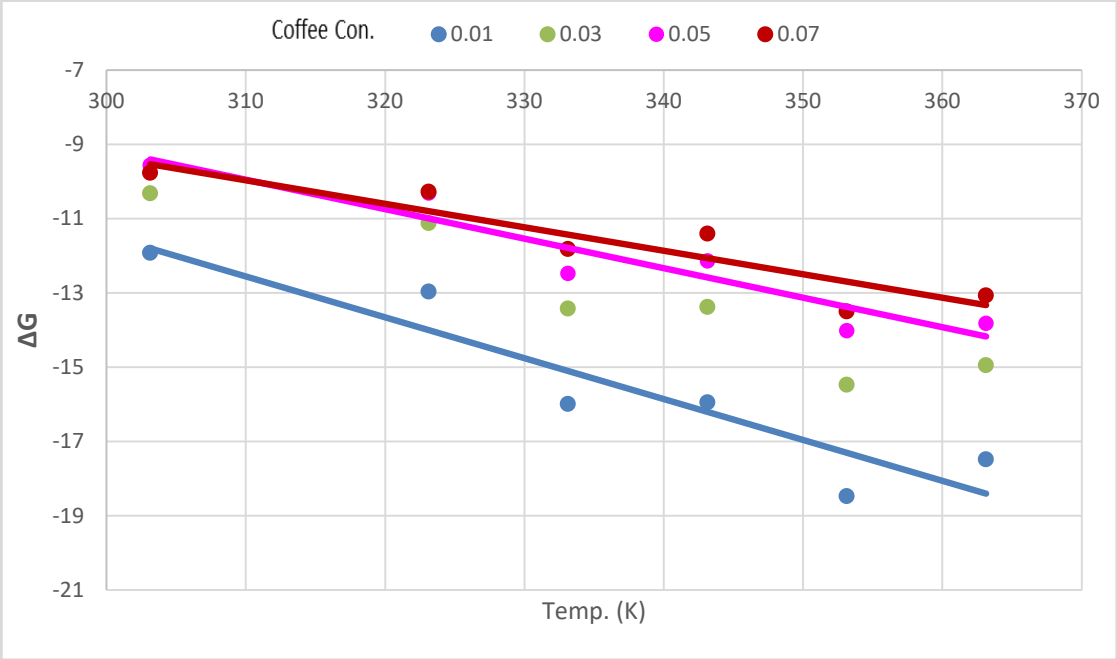
Şekil 4.74 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.07 ağırlık oranlarında 3 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



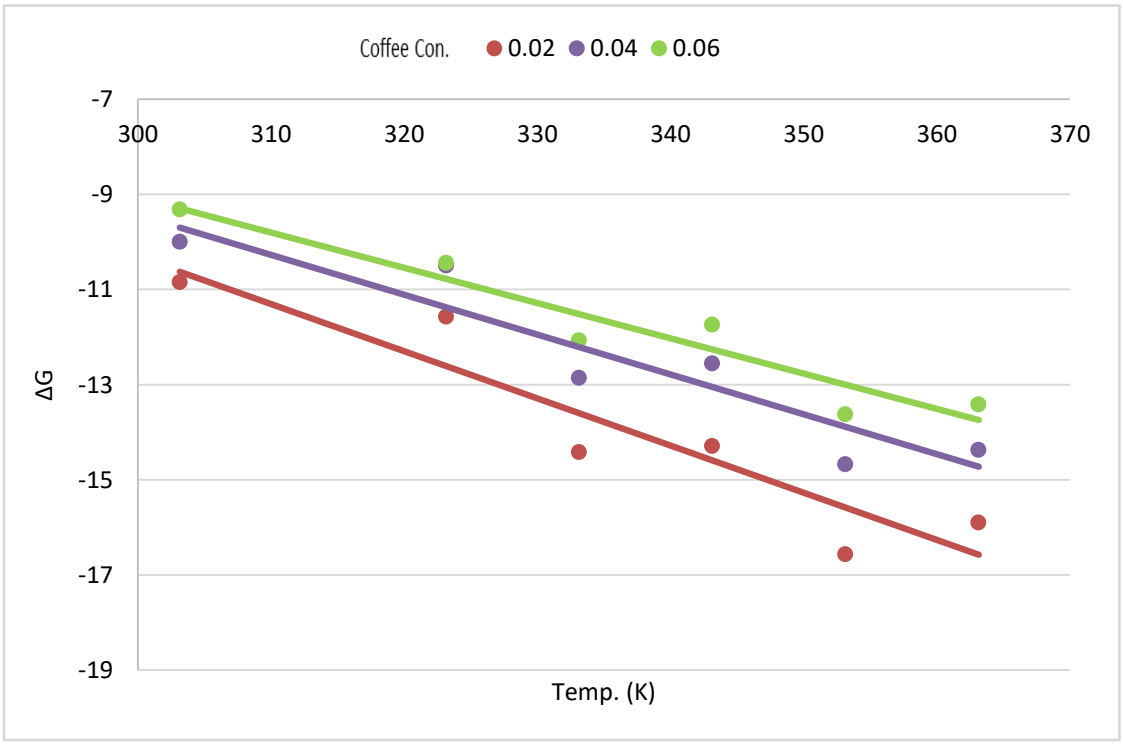
Şekil 4.75 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07 ağırlık oranlarında 4 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



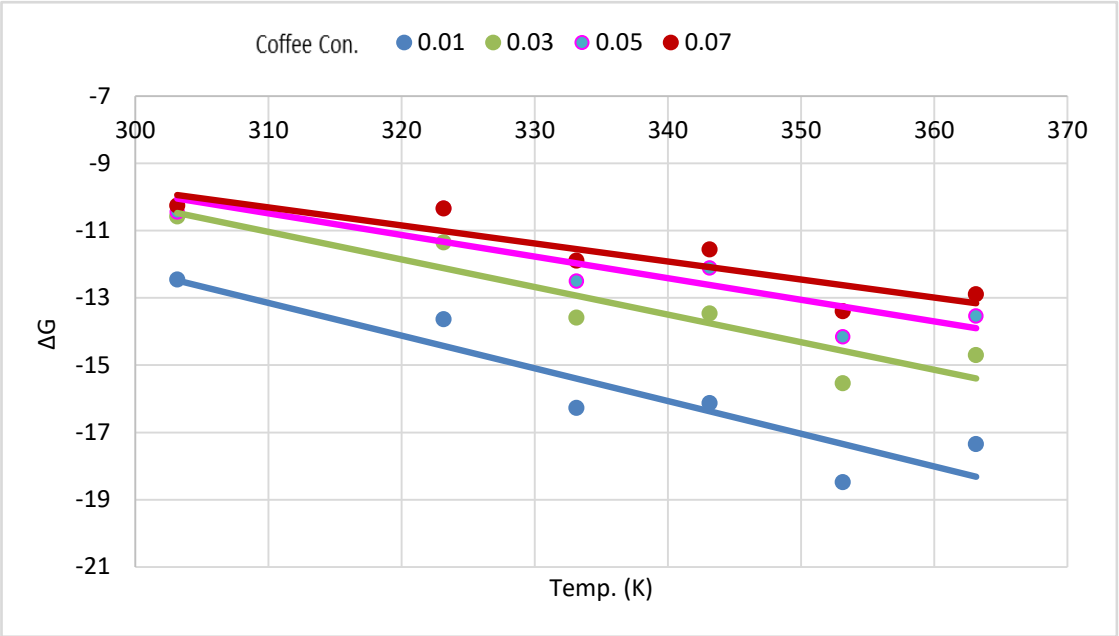
Şekil 4.76 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.02, 0.04 ve 0.06 ağırlık oranlarında 4 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim



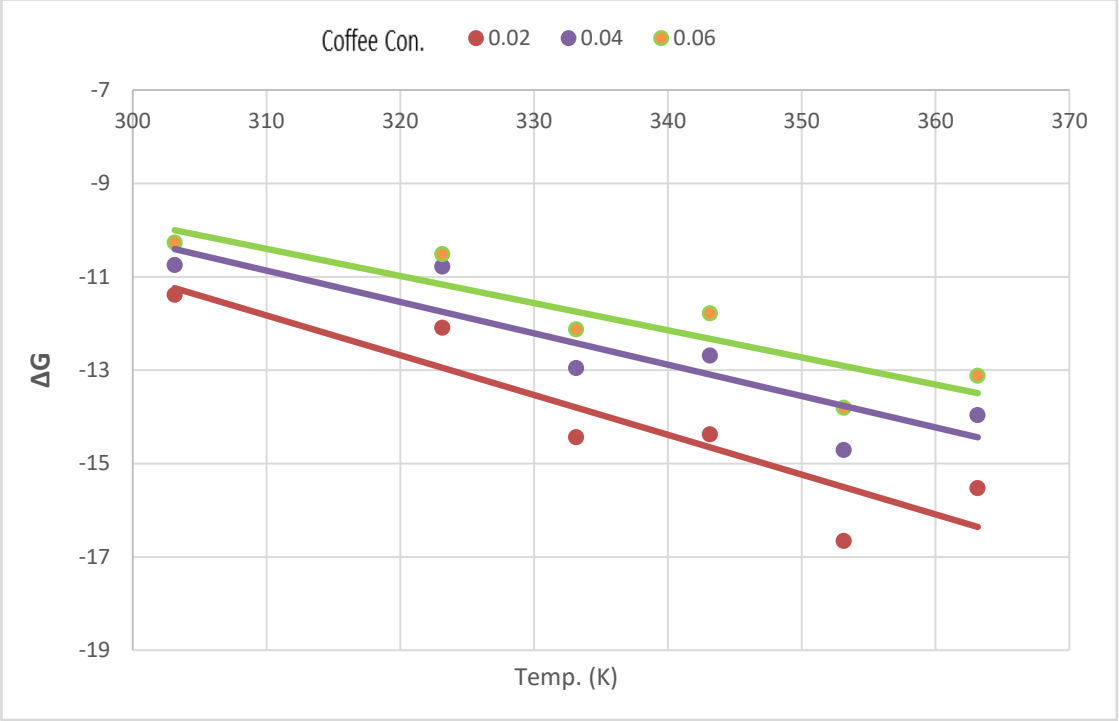
Şekil 4.76 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07 ağırlık oranlarında 5 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim



Şekil 4.77 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.02, 0.04 ve 0.06 ağırlık oranlarında 5 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



Şekil 4.78 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.01, 0.03, 0.05 ve 0.07 ağırlık oranlarında 6 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişim.



Şekil 4.79 L80 C-çeliğinin %15 HCl, Türk kahvesinin inhibitörlüğünde 0.02, 0.04 ve 0.06 ağırlık oranlarında 6 saatte sıcaklığa karşı ΔG değişimi.

Çizelgeler 4.7, 4.8, 4.9 ve 4.10'da kullanılan inhibitör konsantrasyonlarının her biri için sıcaklık aralığı 30, 50, 60, 70, 80 ve 90°C üzerinde hesaplanan ΔS_{ads} ΔG_{ads} değerleri göz önüne alındığında, ΔG_{ad}'lerin negatif değerleri kullanılan inhibitör Türk kahvesinin karbon çeliği L80 yüzeyinde kendiliğinden adsorpsiyonunu gösterir (Edet and Ifelebuegu 2020). Reaksiyonun entropi değişimi ise ΔS değeri, inhibitör konsantrasyonun artmasıyla azaldı.

L 80C-çelik üzerindeki adsorpsiyon mekanizması fiziksel adsorpsiyon olayıdır. Bu sebeple, ΔG değerleri 15.07 - 19.58 kJ arasında olup değerler 40 kJ'den küçüktür (Bouhlal *et al.* 2020, Edet and Ifelebuegu 2020, Yaqoob 2021). Fiziksel adsorpsiyon, daha yüksek sıcaklıklarda daha yüksek inhibisyon gösterecek olan kimyasal adsorpsiyonun aksine, artan sıcaklıklarda adsorpsiyonla zayıf bir şekilde sonuçlanır.

Çizelge 4.7 L80 C-Çelik üzerindeki Türk kahvesi inhibitörlüğünde, 3 saat reaksiyondaki adsorpsiyonun termodinamik parametreleri**.**

Con.	Temp.	K * 10 $^{-3}$	Ea	ΔH	ΔG	ΔS
	(K)	L/ g	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . (mol.k)$^{-1}$
0.01	303.15	187.719	50.521	17.248	-13.195	0.100
	323.15	132.624			-13.132	
	333.15	296.063			-15.763	
	343.15	272.273			-15.997	
	353.15	507.162			-18.290	
	363.15	438.911			-18.371	
0.02	303.15	114.000	50.913	16.110	-11.938	0.093
	323.15	73.308			-11.539	
	333.15	160.167			-14.061	
	343.15	154.750			-14.385	
	353.15	265.963			-16.394	
	363.15	252.349			-16.700	
0.03	303.15	100.000	52.355	13.072	-11.608	0.082
	323.15	54.839			-10.759	
	333.15	118.630			-13.229	
	343.15	105.245			-13.285	
	353.15	186.266			-15.348	
	363.15	185.680			-15.773	
0.04	303.15	80.128	53.364	12.016	-11.049	0.077
	323.15	50.229			-10.523	
	333.15	94.006			-12.585	
	343.15	82.199			-12.580	
	353.15	141.902			-14.550	
	363.15	148.563			-15.100	
0.05	303.15	71.111	54.764	10.491	-10.748	0.070
	323.15	49.053			-10.460	
	333.15	87.402			-12.383	
	343.15	72.717			-12.230	
	353.15	116.152			-13.962	
	363.15	125.492			-14.591	
0.06	303.15	63.725	55.697	8.442	-10.472	0.063
	323.15	52.532			-10.644	
	333.15	76.828			-12.026	
	343.15	64.422			-11.885	
	353.15	96.965			-13.432	
	363.15	104.684			-14.043	
0.07	303.15	66.502	58.527	5.794	-10.579	0.054
	323.15	49.035			-10.459	
	333.15	69.922			-11.765	
	343.15	57.362			-11.553	
	353.15	88.084			-13.149	
	363.15	89.821			-13.581	

Çizelge 4.8 L80 C-Çelik üzerindeki Türk kahvesi inhibitörlüğünde, 4 saat reaksiyondaki adsorpsiyonun termodinamik parametreleri.

Con.	Temp.	K * 10 $^{-3}$	Ea	ΔH	ΔG	ΔS
	(K)	L/ g	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . (mol.k)$^{-1}$
0.01	303.15	162.5	50.013	19.629	-12.831	0.107
	323.15	116.848			-12.792	
	333.15	299.788			-15.797	
	343.15	275.330			-16.029	
	353.15	515.471			-18.337	
	363.15	424.492			-18.270	
0.02	303.15	104.918	51.557	17.014	-11.729	0.095
	323.15	73.148			-11.533	
	333.15	162.500			-14.101	
	343.15	154.089			-14.373	
	353.15	265.880			-16.393	
	363.15	246.951			-16.635	
0.03	303.15	83.333	52.955	14.635	-11.148	0.085
	323.15	63.043			-11.134	
	333.15	122.746			-13.324	
	343.15	109.273			-13.392	
	353.15	183.491			-15.304	
	363.15	181.306			-15.701	
0.04	303.15	77.717	53.918	12.241	-10.972	0.077
	323.15	51.145			-10.572	
	333.15	95.344			-12.624	
	343.15	86.656			-12.730	
	353.15	143.405			-14.581	
	363.15	143.881			-15.003	
0.05	303.15	67.907	54.952	11.202	-10.632	0.072
	323.15	45.410			-10.252	
	333.15	79.578			-12.123	
	343.15	73.586			-12.264	
	353.15	115.055			-13.934	
	363.15	121.204			-14.486	
0.06	303.15	60.163	55.055	10.083	-10.327	0.068
	323.15	47.896			-10.395	
	333.15	74.229			-11.931	
	343.15	64.805			-11.901	
	353.15	102.941			-13.607	
	363.15	104.398			-14.035	
0.07	303.15	70.089	59.212	6.442	-10.712	0.057
	323.15	45.714			-10.270	
	333.15	69.432			-11.746	
	343.15	57.395			-11.555	
	353.15	94.341			-13.351	
	363.15	95.185			-13.756	

Çizelge 4.9 L80 C-Çelik üzerindeki Türk kahvesi inhibitörlüğünde, 5 saat reaksiyondaki adsorpsiyonun termodinamik parametreleri.

Con.	Temp.	K * 10 $^{-3}$	Ea	ΔH	ΔG	ΔS
	(K)	L/ g	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . (mol.k)$^{-1}$
0.01	303.15	113.750	50.659	21.785	-11.932	0.11
	323.15	125.112			-12.975	
	333.15	322.569			-16.000	
	343.15	268.149			-15.953	
	353.15	540.734			-18.478	
	363.15	327.654			-17.488	
0.02	303.15	73.913	51.427	19.527	-10.846	0.099
	323.15	74.257			-11.574	
	333.15	182.157			-14.417	
	343.15	149.674			-14.290	
	353.15	281.900			-16.565	
	363.15	193.741			-15.902	
0.03	303.15	60.109	52.859	17.026	-10.325	0.090
	323.15	62.835			-11.125	
	333.15	127.603			-13.431	
	343.15	109.066			-13.387	
	353.15	195.012			-15.483	
	363.15	141.555			-14.954	
0.04	303.15	52.727	53.391	15.577	-9.994	0.084
	323.15	49.702			-10.495	
	333.15	103.803			-12.860	
	343.15	81.502			-12.556	
	353.15	148.045			-14.674	
	363.15	116.845			-14.375	
0.05	303.15	44.528	54.381	14.663	-9.568	0.079
	323.15	46.490			-10.315	
	333.15	90.456			-12.478	
	343.15	70.621			-12.147	
	353.15	118.580			-14.022	
	363.15	97.439			-13.827	
0.06	303.15	40.333	54.868	13.269	-9.319	0.074
	323.15	48.698			-10.440	
	333.15	78.107			-12.072	
	343.15	61.272			-11.742	
	353.15	103.587			-13.625	
	363.15	85.033			-13.415	
0.07	303.15	48.352	59.076	9.428	-9.776	0.063
	323.15	45.978			-10.286	
	333.15	71.391			-11.823	
	343.15	54.515			-11.408	
	353.15	99.418			-13.505	
	363.15	76.006			-13.076	

Çizelge 4.10 L80 C-Çelik üzerindeki Türk kahvesi inhibitörlüğünde, 6 saat reaksiyondaki adsorpsiyonun termodinamik parametreleri.

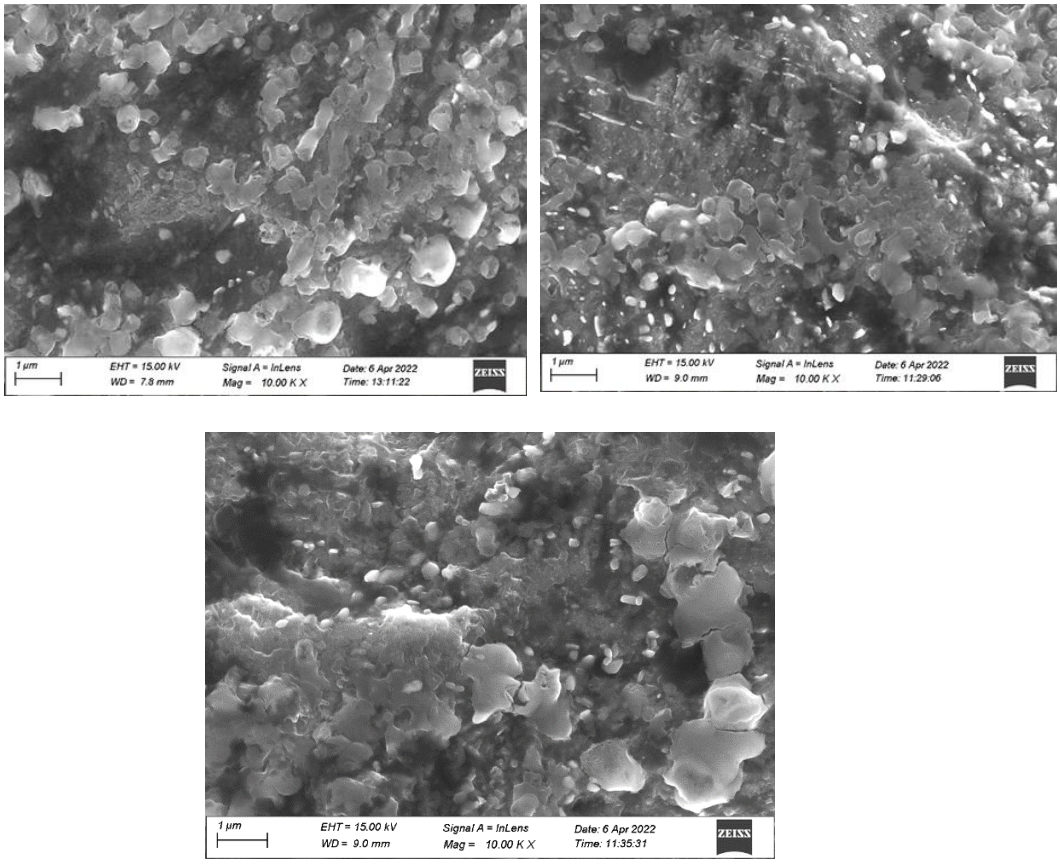
Con.	Temp.	K * 10 $^{-3}$	Ea	ΔH	ΔG	ΔS
	(K)	L/ g	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . mol^{-1}	Kj . (mol.k)$^{-1}$
0.01	303.15	140.000	51.036	17.406	-12.456	0.097
	323.15	160.338			-13.642	
	333.15	356.093			-16.274	
	343.15	285.215			-16.129	
	353.15	542.222			-18.486	
	363.15	312.730			-17.348	
0.02	303.15	91.667	52.732	14.746	-11.388	0.085
	323.15	90.227			-12.097	
	333.15	183.504			-14.438	
	343.15	154.512			-14.380	
	353.15	291.545			-16.664	
	363.15	171.459			-15.533	
0.03	303.15	66.667	52.794	14.554	-10.586	0.082
	323.15	68.482			-11.356	
	333.15	134.997			-13.587	
	343.15	112.181			-13.467	
	353.15	199.011			-15.543	
	363.15	130.401			-14.706	
0.04	303.15	71.226	55.970	9.815	-10.752	0.067
	323.15	55.339			-10.784	
	333.15	107.621			-12.960	
	343.15	85.447			-12.690	
	353.15	150.233			-14.717	
	363.15	101.997			-13.965	
0.05	303.15	63.265	56.784	9.155	-10.454	0.064
	323.15	47.065			-10.348	
	333.15	91.283			-12.504	
	343.15	69.796			-12.113	
	353.15	124.500			-14.165	
	363.15	88.689			-13.542	
0.06	303.15	58.889	57.495	7.457	-10.273	0.058
	323.15	50.108			-10.517	
	333.15	79.802			-12.131	
	343.15	62.232			-11.786	
	353.15	110.345			-13.811	
	363.15	77.253			-13.126	
0.07	303.15	58.571	59.023	6.044	-10.259	0.054
	323.15	46.925			-10.340	
	333.15	73.419			-11.900	
	343.15	57.555			-11.563	
	353.15	96.036			-13.403	
	363.15	71.676			-12.899	

4.4 Yüzey çalışmaları

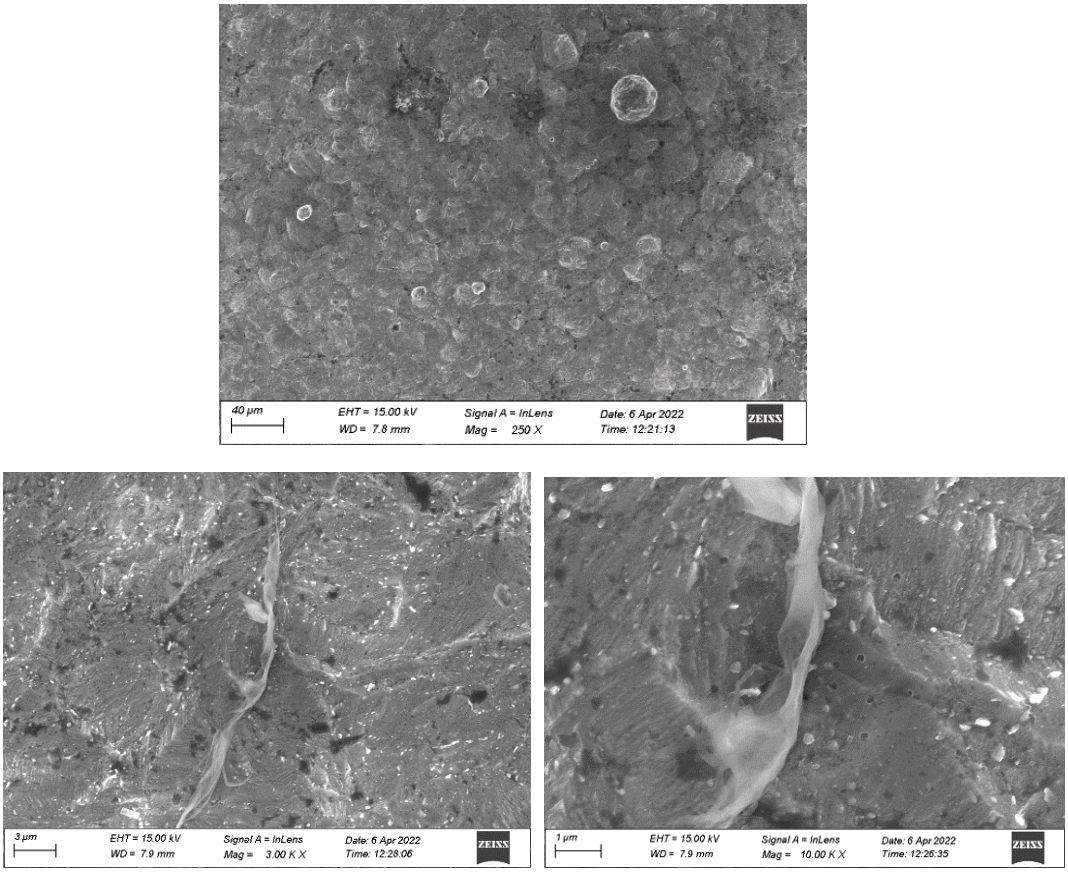
4.4.1 SEM Analizi (Scanning electronic microscope)

Şekil 4.80, 4.81'de Türk kahvesi inhibitörsüz (Blank) ve inhibitörlü %15'lik HCl asit korozyonunda L80 C çeliğinin SEM görüntüleri incelenmiştir. İnhibitör olmadan L80 C çeliğinde ciddi korozyon ve çatlaklar olduğu tespit edilmiştir(Şekil 4.80).

Buna karşılık, L 80 C çeliğinin inhibitör ile korunan yüzeyinde meydana gelen korozyon kaynaklı çukurlar ve çatlakları örten adsorbe edilmiş filmin varlığı görülmektedir (Şekil 4.81) (Bouhlal *et al.* 2020; Öztürk *et al*., 2021).



Şekil 4.80 L80 C-Çeliğinin %15 HCl ile meydana gelen korozyonunda inhibitörsüz SEM görüntüleri.



Şekil 4.81 L80 C-Çeliğinin %15 HCl ile meydana gelen korozyonunda inhibitörlü SEM görüntüleri**.**

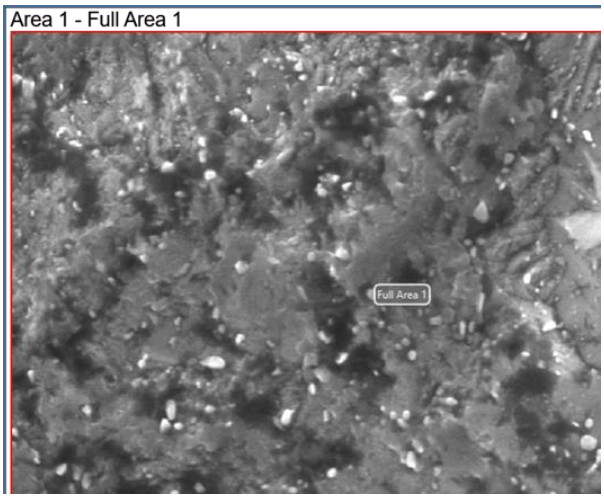
EDX Analizi (Enerji Dağıtıcı X-Ray Analizi)

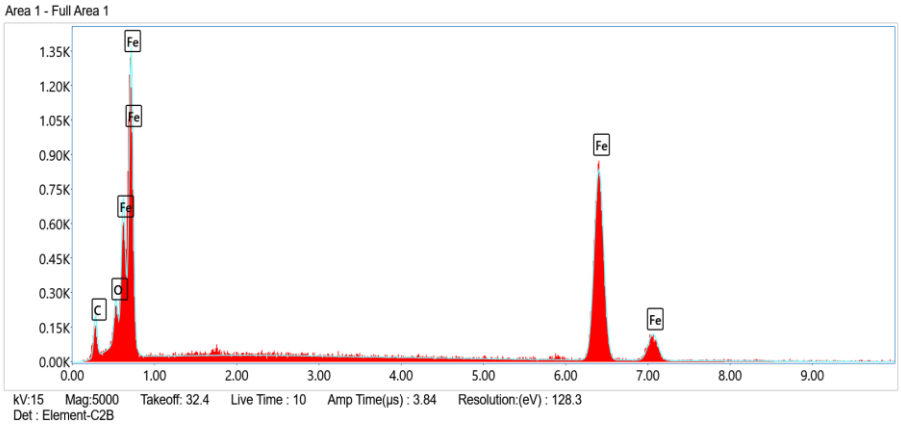
(EDX), çeşitli konsantrasyonlarda element bileşimini ölçer. EDX sonuçları, Fe, O ve C'nin varlığının bulunduğunu göstermektedir.

Bir inhibitörün eklenmesi, fenolik bileşiklerin adsorpsiyonunun bir sonucu olarak elementel oksijen yüzdesini arttırır.

L80 C-ÇELİK plaka %15 HCl aside daldırılırken, biri korozyon inhibitörü Türk kahvesi varlığında diğeri korozyon inhibitörü (Blank) olmadan aside daldırıldı. Ardından bunları çözeltiden çıkardık, incelendik ve (EDX) tarafından analiz edildi.

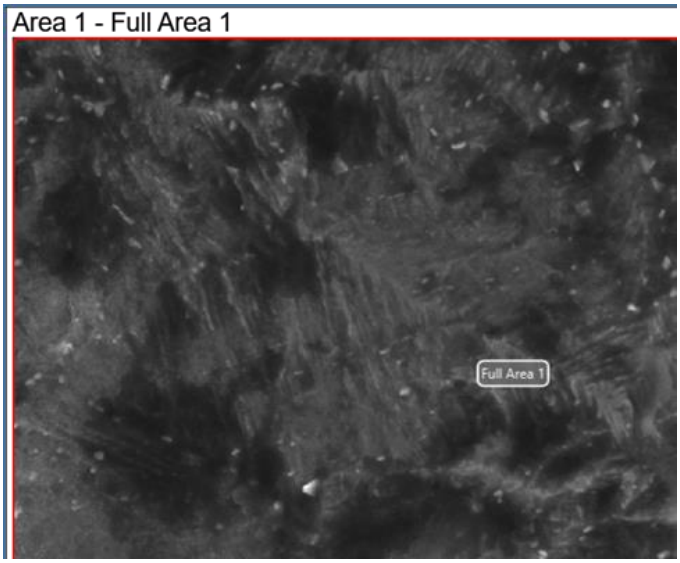
Korozyon inhibitörü ile HCl aside daldırılan modelde (EDX) analizi ile karbonun ağırlık yüzdesinin ve atomik karbon yüzdesinin daha yüksek olduğu bulunmuştur. Diğer modelden ve Şekil 4.82 ve Şekil 4.83'te gösterildiği gibi, korozyon inhibitörü ile daldırılan model yüzeyinin, ince bir korozyon inhibitörü tabakası ile kaplandığının ve korunduğunun kanıtıdır. Bu sonuçlar, inhibitör performansının da görüldüğü ağırlık kaybı ölçümleriyle tutarlıdır (Agus *et al.* 2021).

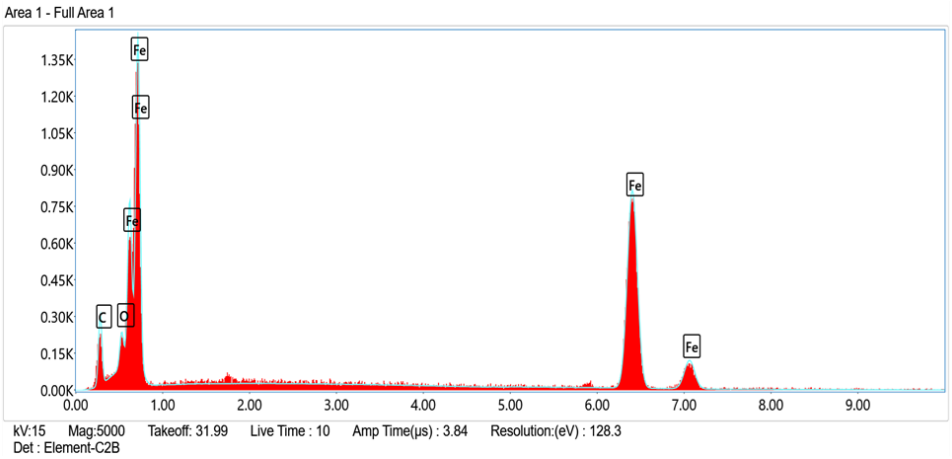




Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	R	A	F
C K	8.75	29.20	15.10	89.98	0.8109	0.1069	1.0000
O K	2.97	7.44	15.35	107.71	0.8268	0.3028	1.0000
Fe K	88.28	63.36	3.60	1182.38	0.9311	0.9839	1.0249

Şekil 4.82 L 80 C- çeliğinin korozyonunun %15 HCl asit içinde Türk kahvesi inhibitör yokluğunda SEM görüntüleri.





Element	Weight %	Atomic %	Error %	Net Int.	R	A	F
C K	13.11	39.61	13.56	143.01	0.8173	0.1110	1.0000
O K	2.43	5.50	16.13	83.42	0.8331	0.2809	1.0000
Fe K	84.46	54.88	3.64	1155.33	0.9347	0.9846	1.0251

Şekil 4.79 L 80 C- çeliğinin korozyonunun %15 HCl asit içinde Türk kahvesi inhibitör varlığında SEM görüntüleri.

4.4.2 FTIR Analizi (Fourier dönüşümü kızılötesi spektroskopisi)

FTIR analiziyle korozyona uğramış L80 çeliğinde organik bileşiklerin aktif gruplarını belirlemek ve bunlarda meydana gelen değişiklikleri görmek için inhibitörün plaka üzerindeki kararlı koordinasyon bağlarını belirlemeye yarar bu da yeni titreşim zirvelerinin oluşmasını sağlar (Dutta 2017; Hou *et al.* 2018).

İnhibitör olarak kullandığımız Mehmet Efendi Türk Kahvesinin Arap kökenli bir kahve olup literatürde bileşiminde makrobesinler olarak, karbonhidrat, protein, lipidler, su, fiber, makrobesin asitleri ve fenoller, diğer biaktif bileşenlerden oluştuğu görülmektedir(Jamjoum 2022).

FTIR spektroskopik analiz spektrumlar (test edilmeden ve reaksiyon yapılmadan önce) şöyledir :

1- 3365.62 cm^{-1} de O - H grubunun gerilme bandında polimerik bileşiklerin moleküller arası ve molekül içi hidrojen bağları nedeniyle, alkoller, fenoller ve pektin, selüloz ve ligninde olduğu gibi bir karboksilik asit oluşumu görülmektedir. O-H germe titreşimleri serbest hidroksil gruplarının ve bağlı O -H karboksilik asit bantlarının varlığını gösteren geniş bir pik aralığında meydana geldiği görülmektedir(Hao *et al.* 2017; Wei-Lung *et al.* 2012).

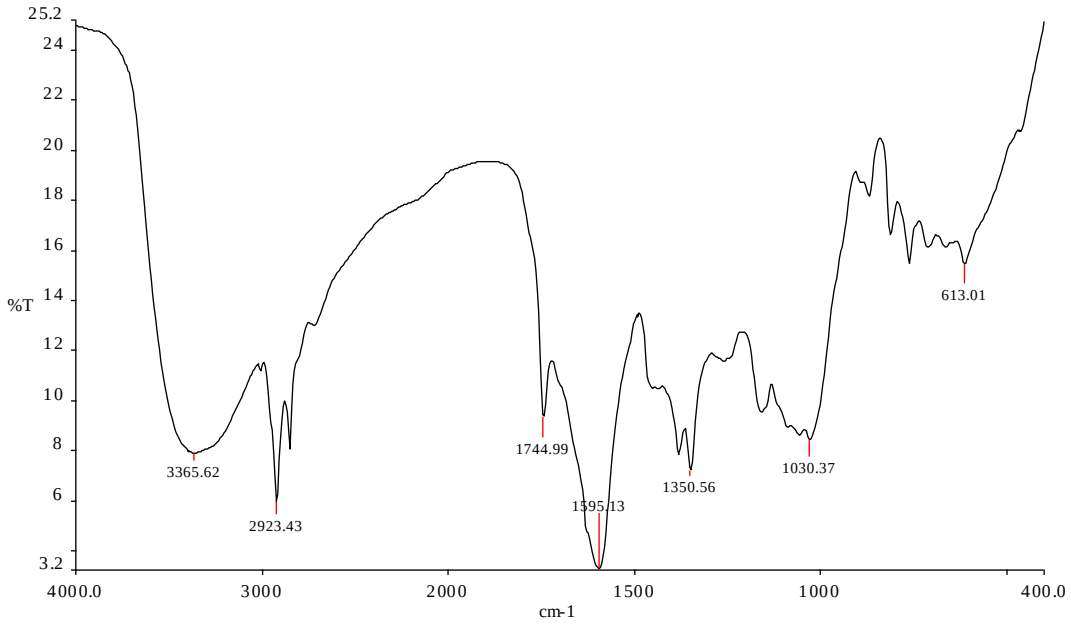
2- 2923.43 cm^{-1} 'deki bant alifatik asitlerin simetrik veya asimetrik C-H germe titreşimini gösterir(Hao *et al.* 2017; Raba *et al.* 2015; Wei-Lung *et al.* 2012).

3- Emilim pikleri 1744.99 cm^{-1} kafein gibi ksantin türevlerinden türetilen sonuçtaki karboksil bağlantısına atanmıştır (Raba *et al.* 2015; Wei-Lung *et al.* 2012).

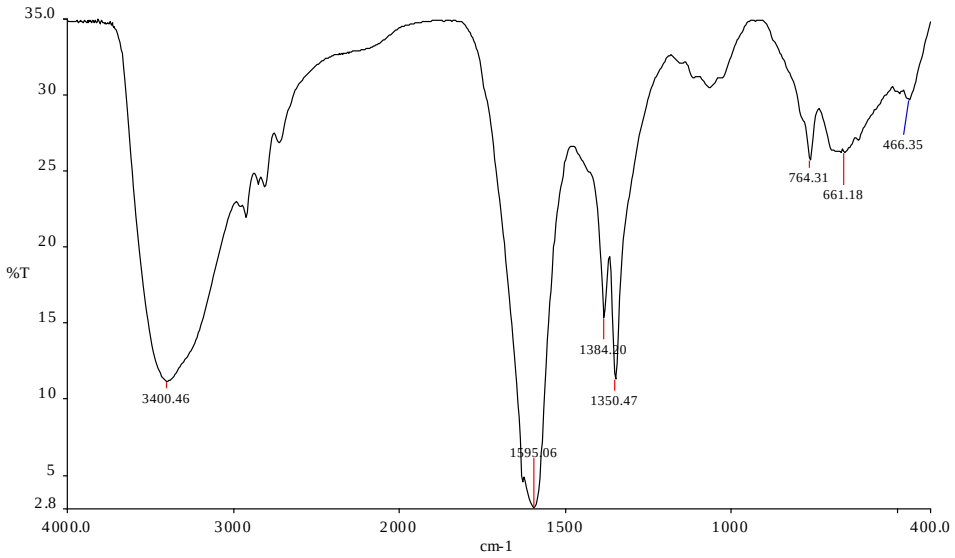
4- Bant 1112-1030.37 cm^{-1} C – O ester grubunun gerilme titreşimini gösterir (Raba *et al.* 2015).

yukarıdakilerin tümü şekil 4.84'te gösterilmiştir.

5- Korozyon testleri tamamladıktan ve reaksiyonu gerçekleştirdikten sonra, kızılötesi spektrofotometre (FTIR) kullanılarak yapılan incelemede, L80 C-çeliğin üzerindeki kahve için Şekil 4.85'te görülen spektrumlarda yukarıda bahsedilen grup 3 ve 4 ortadan kayboldu ve 466 cm^{-1}'de yeni bir bağın ortaya çıktığını fark edildi.



Şekil 4.80 FTIR analizi kahve için.



Şekil 4.81 Adsorpsiyon işleminden sonra C-çeliğinin yüzeyinden kazınan inhibe edilmiş kahve için FTIR analizi.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

5.1 Sonuçlar

L80 C çeliğinin korozyon önleyicinin Türk kahvesi yeşil inhibitör kullanıldığında %15 HCl ortamında korozyon etkisi araştırıldı. Buradaki kilit faktör, ağırlık kaybı testi ve yüzey çalışmaları kullanılarak elde edilen korozyon hızı sonuçlarından korozyon önleyici etkinliğiydi. Elde edilen sonuçlar, Türk kahvesinin asidik HCl ortamında L80 C -çeliği alaşımı için iyi bir korozyon inhibitörü olduğunu göstermiş ve inhibitör varlığında. Olduğu görülmektedir plakanın en düşük korozyon hızının 0.189127442 (mg/cm².h) turk kahve konsantrasyon 0.07 ve 360 dakikalık bir asit daldırma süresinde 30 °C'lik sıcaklıkta. Ayrıca önceki aynı koşullarda ama inhibitörsüz, plakanın korozyon hızı 0.87233617 (mg/.cm².h) idi yani korozyon hızı dört buçuk kat azalmıştır.

Langmuir adsorpsiyon izoterminin, adsorpsiyon tipini anlamak için en iyi model olduğu kanıtlanmıştır. Asidik, HCl ortamında L80 C-çelik yüzeyinde inhibitör moleküllerin adsorpsiyonu Langmuir izotermini takip eder.

Adsorpsiyonun standart serbest enerji değişim değerleri ΔG_{ads} adsorpsiyon tipinin fiziksel adsorpsiyon olduğunu ortaya çıkardı.

Ağırlık kaybı testi, sıcaklık değişikliklerinin L80 C-çeliğinin Türk kahvesi üzerindeki korozyon inhibisyonunu azaltmada önemli bir rol oynadığını kanıtladı. Sıcaklık arttıkça korozyon artar ve inhibitör konsantrasyonu önemli bir etkiye sahiptir, konsantrasyon arttığında korozyon azalır.

Adsorpsiyon değişim ısısının pozitif değeri ΔH_{ads}, adsorpsiyon reaksiyon ısısının endotermik olduğunu yani dışarıdan ısı alınarak reaksiyonun gerçekleşebileceğini göstermektedir. Reaksiyonun adsorpsiyon entropi değişiminin ΔS_{ads} pozitif değeri, serbestlik derecesinde bir artış veya adsorpsiyon sürecinin düzensizliğinde bir artış olduğunu göstermiştir.

Yüzey çalışmaları SEM, EDX ve FTIR analizleri, inhibitörler (Türk kahvesi) varlığında metal yüzeyin korunduğunu göstermiştir.

5.2 Öneriler

1. Gelecekteki araştırmalarda korozyon önleyici olarak çift bağ içeren bileşiklerin kullanılabileceğini ve inhibisyonlarının etkinliğini belirlemek için aşağıdaki şartların sağlanamsı gerektiğini göstermektedir.

2. Asit konsantrasyonu yüksek olan en iyi inhibitörlere ulaşmak için kullanılan asit konsantrasyonunun arttırılması gerektiği,

3. 90 °C'nin üzerindeki yüksek sıcaklıkların kullanılması gerektiği,

4- Daha uzun aralıklarla 6 saatten fazla bir zaman için çalışma yapmanın daha uygun olacağını,

5- Korozyonu önleyen, çevreyi ve insan sağlığını koruyan daha yeşil anti-korozyon önleyici malzemeleri keşfetmek için yeşil malzemeler üzerinde daha fazla çalışmanın yapılamsı gerektiğini,

KAYNAKLAR

Adindu, C. B., Chidiebere, M. A., Chizoruo, I. E., Ogukwe, C. E., & Oguzie, E. E. 2017. Protecting mild steel from acid corrosion using extract from ocimum gratissimum leaves. Int. Lett. Chem. Phys. Astron, 73, 9–21.

https://doi.org/10.18052/www.scipress.com/ilcpa.73.9

Agus Paul Setiawan, K., Ridhova, A., Priyotomo, G., Elya, B., Maksum, A., Sadeli, Y., Sutopo, S., Aditiyawarman, T., Riastuti, R., & Soedarsono, J. W. 2021. Development of white tea extract as green corrosion inhibitor in mild steel under 1 M hydrochloric acid solution. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(6), 110.

Ahamad, I., & Quraishi, M. A. 2010. Mebendazole: New and efficient corrosion inhibitor for mild steel in acid medium. Corrosion Science, 52(2), 651–656. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.10.012

Al-Moubaraki, A. H., & Obot, I. B. 2021. Corrosion challenges in petroleum refinery operations: Sources, mechanisms, mitigation, and future outlook. Journal of Saudi Chemical Society, 25(12), 101370.

Al-Otaibi, M. S., Al-Mayouf, A. M., Khan, M., Mousa, A. A., Al-Mazroa, S. A., & Alkhathlan, H. Z. 2014. Corrosion inhibitory action of some plant extracts on the corrosion of mild steel in acidic media. Arabian Journal of Chemistry, 7(3), 340–346. https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2012.01.015

Alaqarbeh, M. 2021. Adsorption phenomena: definition, mechanisms, and adsorption types: short review. RHAZES: Green and Applied Chemistry, 13, 43–51.

Alvarez, P. E., Fiori-Bimbi, M. V., Neske, A., Brandán, S. A., & Gervasi, C. A. 2018. Rollinia occidentalis extract as green corrosion inhibitor for carbon steel in HCl solution. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 58, 92–99. https://doi.org/10.1016/j.jiec.2017.09.012

Anees A. K. 2013. COPPER ALLOYS IN ACIDS: Prevention, kinetics, and

mathematical views.pdf. Lambert Academic Publishing. https://www.academia.edu/10404372/_corrosion_of_copper_alloys_in_acids

Ansari, K. R., Ramkumar, S., Chauhan, D. S., Salman, M., Nalini, D., Srivastava, V., & Quraishi, M. A. 2018. Macrocyclic compounds as green corrosion inhibitors for aluminium: Electrochemical, surface and quantum chemical studies. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 7(3), 443–459. https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-3-13

Anupama, K. K., Ramya, K., & Joseph, A. 2016. Electrochemical and computational aspects of surface interaction and corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid by phyllanthus amarus leaf extract (PAE). Journal of Molecular Liquids, 216, 146–155. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2016.01.019

Anwo, A. B., Ajanaku, K. O., Fayomi, O. S. I., & Olanrewaju, A. 2019. Efficacy of Corrosion phenomena, challenges and control in steel industry: An overview. Journal of Physics: Conference Series, 1378(3), 32055.

Aralu, C. C., Chukwuemeka-Okorie, H. O., & Akpomie, K. G. 2021. Inhibition and adsorption potentials of mild steel corrosion using methanol extract of Gongronema latifoliuim. Applied Water Science, 11(2), 1–7.

Asadi, N., Ramezanzadeh, M., Bahlakeh, G., & Ramezanzadeh, B. 2019. Utilizing lemon balm extract as an effective green corrosion inhibitor for mild steel in 1M HCl solution: A detailed experimental, molecular dynamics, Monte Carlo and quantum mechanics study. Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 95, 252–272. https://doi.org/10.1016/j.jtice.2018.07.011

Azzaoui, K., Mejdoubi, E., Jodeh, S., Lamhamdi, A., Rodriguez-Castellón, E., Algarra, M., Zarrouk, A., Errich, A., Salghi, R., & Lgaz, H. 2017. Eco friendly green inhibitor gum Arabic (GA) for the corrosion control of mild steel in hydrochloric acid medium. Corrosion Science, 129, 70–81. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2017.09.027

Baig, N., Chauhan, D. S., Saleh, T. A., & Quraishi, M. A. 2019. Diethylenetriamine functionalized graphene oxide as a novel corrosion inhibitor for mild steel in

hydrochloric acid solutions. New Journal of Chemistry, 43(5), 2328–2337. https://doi.org/10.1039/c8nj04771e

Bammou, L., Mihit, M., Salghi, R., Bouyanzer, A., Al-Deyab, S. S., Bazzi, L., & Hammouti, B. 2011. Inhibition effect of natural Artemisia oils towards tinplate corrosion in HCl solution: chemical characterization and electrochemical study. International Journal of Electrochemical Science, 6(5), 1454–1467.

Batah, A., Anejjar, A., Bammou, L., Belkhaouda, M., & Salghi, R. 2020. Effect of apricot almond oil as green inhibitor for steel corrosion in hydrochloric media. Portugaliae Electrochimica Acta, 38(4), 201–214.

Beenakumari, K. S. 2011. Inhibitory effects of Murraya koenigii (curry leaf) leaf extract on the corrosion of mild steel in 1M HCL. Green Chemistry Letters and Reviews, 4(2), 117–120. https://doi.org/10.1080/17518253.2010.514866

Bello, M., Ochoa, N., Balsamo, V., López-Carrasquero, F., Coll, S., Monsalve, A., & González, G. 2010. Modified cassava starches as corrosion inhibitors of carbon steel: An electrochemical and morphological approach. Carbohydrate Polymers, 82(3), 561–568. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2010.05.019

Bentiss, F., Lebrini, M., Vezin, H., Chai, F., Traisnel, M., & Lagrené, M. 2009. Enhanced corrosion resistance of carbon steel in normal sulfuric acid medium by some macrocyclic polyether compounds containing a 1,3,4-thiadiazole moiety: AC impedance and computational studies. Corrosion Science, 51(9), 2165–2173. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2009.05.049

Beygisangchin, M., Abdul Rashid, S., Shafie, S., Sadrolhosseini, A. R., & Lim, H. N. 2021. Preparations, properties, and applications of polyaniline and polyaniline thin films—A review. Polymers, 13(12).

Bhadra, J., Alkareem, A., & Al-Thani, N. 2020. A review of advances in the preparation and application of polyaniline based thermoset blends and composites. Journal of Polymer Research, 27(5), 1–20.

Bharatiya, U., Gal, P., Agrawal, A., Shah, M., & Sircar, A. 2019. Effect of corrosion on

crude oil and natural gas pipeline with emphasis on prevention by ecofriendly corrosion inhibitors: a comprehensive review. Journal of Bio-and Tribo-Corrosion, 5(2), 1–12.

Bhardwaj, N., Sharma, P., & Kumar, V. 2021. Phytochemicals as steel corrosion inhibitor: An insight into mechanism . Corrosion Reviews (C. 39, Sayı 1, ss. 27–41). De Gruyter. https://doi.org/10.1515/corrrev-2020-0046

Bouayad, K., Rodi, Y. K., Elmsellem, H., El Ghadraoui, E. H., Ouzidan, Y., Abdel-Rahman, I., Kusuma, H. S., Warad, I., Mague, J. T., Essassi, E. M., Hammouti, B., & Chetouani, A. 2018. Imidazo[4,5-b]pyridines as a new class of corrosion inhibitors for mild steel: Experimental and DFT approach. Moroccan Journal of Chemistry, 6(1), 22–34.

Bouhlal, F., Labjar, N., Abdoun, F., Mazkour, A., Serghini-Idrissi, M., El Mahi, M., Skalli, A., & El Hajjaji, S. 2020. Chemical and electrochemical studies of the inhibition performance of hydro-alcoholic extract of used coffee grounds (HECG) for the corrosion of C38 steel in 1M hydrochloric acid. Egyptian Journal of Petroleum, 29(1), 45–52.

Bouyanzer, A., Hammouti, B., Majidi, L., & Haloui, B. 2010. Testing natural fenugreek as an ecofriendly inhibitor for steel corrosion in 1 M HCl. Portugaliae Electrochimica Acta, 28(3), 165–172. https://doi.org/10.4152/pea.201003165

Brennecke, J. F., & Maginn, E. J. 2001. Ionic liquids: Innovative fluids for chemical processing. Içinde AIChE Journal (C. 47, Sayı 11, ss. 2384–2389). American Institute of Chemical Engineers. https://doi.org/10.1002/aic.690471102

Bryden, J. O. 1969. Corrosion rate determination of steel discs(electrodes) pretreated with monomer, polymer solutions. Lehigh University, Dept. of Chemical Engineering.

Büyüktiryaki, S., Keçili, R., & Hussain, C. M. 2020. Functionalized nanomaterials in dispersive solid phase extraction: advances & prospects. TrAC Trends in Analytical Chemistry, 127, 115893.

Casaletto, M. P., Figà, V., Privitera, A., Bruno, M., Napolitano, A., & Piacente, S. 2018. Inhibition of Cor-Ten steel corrosion by “green” extracts of brassica campestris. Corrosion Science, 136, 91–105. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2018.02.059

Chaubey, N., Qurashi, A., Chauhan, D. S., & Quraishi, M. A. 2021. Frontiers and advances in green and sustainable inhibitors for corrosion applications: A critical review. Journal of Molecular Liquids, 321, 114385.

Chaubey, N., Yadav, D. K., Singh, V. K., & Quraishi, M. A. 2017. A comparative study of leaves extracts for corrosion inhibition effect on aluminium alloy in alkaline medium. Ain Shams Engineering Journal, 8(4), 673–682. https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.08.020

Chauhan, D. S., Quraishi, M. A., Sorour, A. A., Saha, S. K., & Banerjee, P. 2019. Triazole-modified chitosan: A biomacromolecule as a new environmentally benign corrosion inhibitor for carbon steel in a hydrochloric acid solution. RSC Advances, 9(26), 14990–15003. https://doi.org/10.1039/c9ra00986h

Chauhan, D. S., Sorour, A. A., & Quraishi, M. A. 2016. An overview of expired drugs as novel corrosion inhibitors for metals and alloys. International Journal of Chemistry and Pharmaceutical Sciences, 4(12), 680–691.

Chen, L., Dong, B., Liu, W., Wu, F., Li, H., & Zhang, T. 2022. Failure analysis of corrosion products formed during CO2 pre-corrosion of X70 and 3Cr steels: Effect of oxygen contamination. Engineering Failure Analysis, 140, 106529.

Cordeiro, R. F. B., Belati, A. J. S., Perrone, D., & D’Elia, E. 2018. Coffee husk as corrosion inhibitor for mild steel in HCl media. International Journal of Electrochemical Science, 13(12), 12188–12207.

Cummings, A. L., Waite, S. W., & Nelsen, D. K. 2005. Corrosion and corrosion enhancers in amine systems. Brimstone Sulfur Conference. Banff, AB, Canada.

Dakkoune, A., Vernières-Hassimi, L., Leveneur, S., Lefebvre, D., & Estel, L. 2018. Risk analysis of French chemical industry. Safety science, 105, 77–85.

Danaee, I., RameshKumar, S., RashvandAvei, M., & Vijayan, M. 2020.

Electrochemical and quantum chemical studies on corrosion inhibition performance of 2, 2'-(2-hydroxyethylimino) bis [N-(alphaalpha-dimethylphenethyl)-N-methylacetamide] on mild steel corrosion in 1M HCl solution. Materials Research, 23.

De Souza, F. S., & Spinelli, A. 2009. Caffeic acid as a green corrosion inhibitor for mild steel. Corrosion Science, 51(3), 642–649. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.12.013

Dehghani, A., Bahlakeh, G., Ramezanzadeh, B., & Ramezanzadeh, M. 2019. Potential of Borage flower aqueous extract as an environmentally sustainable corrosion inhibitor for acid corrosion of mild steel: Electrochemical and theoretical studies. Journal of Molecular Liquids, 277, 895–911. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.01.008

Dohare, P., Chauhan, D. S., Hammouti, B., & Quraishi, M. A. 2017. Experimental and dft investigation on the corrosion inhibition behavior of expired drug lumerax on mild steel in hydrochloric acid. Analytical and Bioanalytical Electrochemistry, 9(6), 762–783.

Dohare, P., Chauhan, D. S., & Quraishi, M. A. 2018. Expired podocip drug as potential corrosion inhibitor for carbon steel in acid chloride solution. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 7(1), 25–37. https://doi.org/10.17675/2305-6894-2018-7-1-3

Dohare, P., Chauhan, D. S., Sorour, A. A., & Quraishi, M. A. 2017. DFT and experimental studies on the inhibition potentials of expired Tramadol drug on mild steel corrosion in hydrochloric acid. Materials Discovery, 9, 30–41. https://doi.org/10.1016/j.md.2017.11.001

Dutta, A. 2017. Fourier transform infrared spectroscopy. Spectroscopic methods for nanomaterials characterization, 73–93.

Eddy, N. O., Ibok, U. J., Garg, R., Garg, R., Iqbal, A., Amin, M., Mustafa, F., Egilmez, M., & Galal, A. M. 2022. A Brief Review on Fruit and Vegetable Extracts as Corrosion Inhibitors in Acidic Environments. Molecules, 27(9), 2991.

Edet, U. A., & Ifelebuegu, A. O. 2020. Kinetics, isotherms, and thermodynamic modeling of the adsorption of phosphates from model wastewater using recycled brick waste. Processes, 8(6), 665.

El-Hajjaji, F., Messali, M., Aljuhani, A., Aouad, M. R., Hammouti, B., Belghiti, M. E., Chauhan, D. S., & Quraishi, M. A. 2018. Pyridazinium-based ionic liquids as novel and green corrosion inhibitors of carbon steel in acid medium: electrochemical and molecular dynamics simulation studies. Journal of Molecular Liquids, 249, 997–1008.

El Hamdani, N., Fdil, R., Tourabi, M., Jama, C., & Bentiss, F. 2015. Alkaloids extract of Retama monosperma (L.) Boiss. seeds used as novel eco-friendly inhibitor for carbon steel corrosion in 1 M HCl solution: Electrochemical and surface studies. Applied Surface Science, 357, 1294–1305. https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2015.09.159

El Ouariachi, E., Paolini, J., Bouklah, M., Elidrissi, A., Bouyanzer, A., Hammouti, B., Desjobert, J. M., & Costa, J. 2010. Adsorption properties of Rosmarinus of ficinalis oil as green corrosion inhibitors on C38 steel in 0.5 M H2SO4. Acta Metallurgica Sinica (English Letters), 23(1), 13–20.

Erna, M., Herdini, H., & Futra, D. 2019. Corrosion inhibition mechanism of mild steel by amylose-acetate/carboxymethyl chitosan composites in acidic media. International Journal of Chemical Engineering.

Fares, M. M., Maayta, A. K., & Al-Qudah, M. M. 2012. Pectin as promising green corrosion inhibitor of aluminum in hydrochloric acid solution. Corrosion Science, 60, 112–117. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2012.04.002

Faustin, M., Maciuk, A., Salvin, P., Roos, C., & Lebrini, M. 2015. Corrosion inhibition of C38 steel by alkaloids extract of Geissospermum laeve in 1M hydrochloric acid: Electrochemical and phytochemical studies. Corrosion Science, 92, 287–300. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2014.12.005

Fayomi, O. S. I., Anawe, P. A. L., & Daniyan, A. 2018. The impact of drugs as corrosion inhibitors on aluminum alloy in coastal-acidified medium. Corrosion

inhibitors, principles and recent applications, 79.

Flieger, J., & Flieger, M. 2020. Ionic liquids toxicity—benefits and threats. International Journal of Molecular Sciences, 21(17), 6267.

Fouda, A. S., Megahed, H. E., Fouad, N., & Elbahrawi, N. M. 2016. Corrosion Inhibition of Carbon Steel in 1 M Hydrochloric Acid Solution by Aqueous Extract of Thevetia peruviana. Journal of Bio- and Tribo-Corrosion, 2(3), 1–13. https://doi.org/10.1007/s40735-016-0046-z

Ganjoo, R., Sharma, S., Shabbirbhai, B. A., Elsaeed, S. M., & Kumar, A. 2022. Ionic liquids as green and sustainable corrosion inhibitors II. Içinde Eco-Friendly Corrosion Inhibitors: Principles, Designing and Applications (C. 233, ss. 391–410). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91176-4.00008-8

Gece, G. 2011. Drugs: A review of promising novel corrosion inhibitors. Içinde Corrosion Science (C. 53, Sayı 12, ss. 3873–3898). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2011.08.006

Geethanjali, R., Menaka, R., & Subhashini, S. 2018. Gravimetric and electrochemical study of temperature effect of PVA grafted terpolymer on corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid. Materials Today: Proceedings, 5(8), 16246–16257.

Gerengi, H., Jazdzewska, A., & Kurtay, M. 2015. A comprehensive evaluation of mimosa extract as a corrosion inhibitor on AA6060 alloy in acid rain solution: Part I. Electrochemical AC methods. Journal of Adhesion Science and Technology, 29(1), 36–48. https://doi.org/10.1080/01694243.2014.973159

Ghareba, S., & Omanovic, S. 2011. 12-Aminododecanoic acid as a corrosion inhibitor for carbon steel. Electrochimica Acta, 56(11), 3890–3898. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2011.02.031

Ghazoui, A., Saddik, R., Hammouti, B., Zarrouk, A., Benchat, N., Guenbour, M., Al-Deyab, S. S., & Warad, I. 2013. Inhibitive effect of imidazopyridine derivative towards corrosion of C38 steel in hydrochloric acid solution. Research on Chemical Intermediates, 39(6), 2369–2377. https://doi.org/10.1007/s11164-012-

0763-y

Giwa, A. A., Adetunji, A. T., & Wewers, F. 2020. Assessment of Negro pepper (Xylopia aethiopica) fruit extracts as corrosion inhibitors for Mild steel.

Gupta, R. K., Malviya, M., Ansari, K. R., Lgaz, H., Chauhan, D. S., & Quraishi, M. A. 2019. Functionalized graphene oxide as a new generation corrosion inhibitor for industrial pickling process: DFT and experimental approach. Materials Chemistry and Physics, 236, 121727. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2019.121727

Gupta, R. K., Malviya, M., Verma, C., Gupta, N. K., & Quraishi, M. A. 2017. Pyridine-based functionalized graphene oxides as a new class of corrosion inhibitors for mild steel: An experimental and DFT approach. RSC Advances, 7(62), 39063–39074. https://doi.org/10.1039/c7ra05825j

Hao, L., Wang, P., & Valiyaveettil, S. 2017. Successive extraction of As (V), Cu (II) and P (V) ions from water using spent coffee powder as renewable bioadsorbents. Scientific reports, 7(1), 1–12.

Harek, Y., & Larabi, L. 2004. Corrosion inhibition of mild steel in 1 mol dm− 3 HCl by oxalic N-phenylhydrazide-N-phenylthiosemicarbazide. Kem. Ind, 53(2), 55–61.

Hariom, Kumar, H., Kumar, P., Vikas, & Bala, A. 2016. Corrosion inhibition of mild steel by using Hexylamine as corrosion inhibitor in acidic medium. Der Pharma Chemica, 8(19), 268–278.

Holbrey, J. D., Turner, M. B., & Rogers, R. D. 2003. Selection of ionic liquids for green chemical applications. ACS Symposium Series, 856, 2–12. https://doi.org/10.1021/bk-2003-0856.ch001

Hossain, N., Asaduzzaman Chowdhury, M., & Kchaou, M. 2021. An overview of green corrosion inhibitors for sustainable and environment friendly industrial development. Journal of Adhesion Science and Technology, 35(7), 673–690.

Hossain, N., Chowdhury, M. A., Rana, M., Hassan, M., & Islam, S. 2022. Terminalia arjuna leaves extract as green corrosion inhibitor for mild steel in HCl solution. Results in Engineering, 100438.

Hosseini, S. M. A., Salari, M., & Ghasemi, M. 2009. 1-Methyl-3-pyridine-2-yl-thiourea as inhibitor for acid corrosion of stainless steel. Materials and Corrosion, 60(12), 963–968. https://doi.org/10.1002/maco.200905214

Hou, X., Lv, S., Chen, Z., & Xiao, F. 2018. Applications of Fourier transform infrared spectroscopy technologies on asphalt materials. Measurement, 121, 304–316.

Jamjoum, Y.B.Y. 2022. Formation of furdurals and degradation of bioactive compounds during microwawe roasting of arabica coffee beans. MSc Thesis, Deparment of Food Engineering, Çukurova University Instıtute of Natural and Applied Sciences , Adana.

Jung, S., & Yi, H. 2012. Fabrication of chitosan-poly(ethylene glycol) hybrid hydrogel microparticles via replica molding and its application toward facile conjugation of biomolecules. Langmuir, 28(49), 17061–17070. https://doi.org/10.1021/la303567p

Kadhim, A., Betti, N., Al-Bahrani, H. A., Al-Ghezi, M. K. S., Gaaz, T., Kadhum, A. H., & Alamiery, A. 2021. A mini review on corrosion, inhibitors and mechanism types of mild steel inhibition in an acidic environment. International Journal of Corrosion and Scale Inhibition, 10(3), 861–884.

Kalaivani, R., Arasu, P. T., & Rajendran, S. 2013. Inhibitive Nature of Carboxymethylcellulose with Zn2+ Ion. Chemical Science Transactions, 2(4), 1352–1357. https://doi.org/10.7598/cst2013.618

Kalisa, N. D., Muhizi, T., Niyotwizera, J. J. Y., Barutwanayo, J. B., & Nkuranga, J. B. 2020. Kinetics and Thermodynamics Investigations on Corrosion Inhibiting Properties of Coffee Husks Extract on Mild Steel in Acidic Medium. Rwanda Journal of Engineering, Science, Technology and Environment, 3(1).

Kim, J.-Y., Shin, I., & Byeon, J.-W. 2021. Corrosion Inhibition of Mild Steel and 304 Stainless Steel in 1 M Hydrochloric Acid Solution by Tea Tree Extract and Its Main Constituents. Materials, 14(17), 5016.

Kolawole, F. O., Kolawole, S. K., Agunsoye, J. O., Adebisi, J. A., Bello, S. A., & Hassan, S. B. 2018. Mitigation of corrosion problems in API 5L steel pipeline-a

review. J. Mater. Environ. Sci, 9(8), 2397–2410.

Kumar, C. B. P., & Mohana, K. N. 2014. Phytochemical screening and corrosion inhibitive behavior of Pterolobium hexapetalum and Celosia argentea plant extracts on mild steel in industrial water medium. Egyptian Journal of Petroleum, 23(2), 201–211.

Li, M.L., Li, R. H., Xu, J., Han, X., Yao, T. Y., & Wang, J. 2014. Thiocarbohydrazide-modified chitosan as anticorrosion and metal ion adsorbent. Journal of Applied Polymer Science, 131(17), 8437–8443. https://doi.org/10.1002/app.40671

Li, X., Deng, S., & Fu, H. 2011. Blue tetrazolium as a novel corrosion inhibitor for cold rolled steel in sulfuric acid solution. Materials Chemistry and Physics, 129(3), 696–700. https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2011.05.042

Maher, M., Iraola-Arregui, I., Youcef, H. Ben, Rhouta, B., & Trabadelo, V. 2021. The synergistic effect of wear-corrosion in stainless steels: A review. Materials Today: Proceedings.

Muthukrishnan, P., Prakash, P., Jeyaprabha, B., & Shankar, K. 2019. Stigmasterol extracted from Ficus hispida leaves as a green inhibitor for the mild steel corrosion in 1 M HCl solution. Arabian Journal of Chemistry, 12(8), 3345–3356.

Ndukwe, A. I. 2022. Green inhibitors for cororosıon of metals in acidic media a review. Academic Journal of Manufacturing Engineering 20(2).

Negm, N., Yousef, M., & Tawfik, S. 2013. Impact of Synthesized and Natural Compounds in Corrosion Inhibition of Carbon Steel and Aluminium in Acidic Media. Recent Patents on Corrosion Science, 3(1), 58–68. https://doi.org/10.2174/2210683911303010007

Nwosu, F. O., & Muzakir, M. M. 2016. Thermodynamic and adsorption studies of corrosion inhibition of mild steel using lignin from siam weed (chromolaena odorata) in acid medium. Journal of Materials and Environmental Science, 7(5), 1663–1673.

Oguzie, E. E. 2010. Evaluation of the inhibitive effect of some plant extracts on the acid

corrosion of mild steel. Corrosion. 2010.

Okerulu, I. O., & Onyema, C. T. 2015. Comparative Assessment of Phytochemicals, Proximate and Elemental Composition of Gnetum africanum (Okazi) Leaves. American Journal of Analytical Chemistry, 06(07), 604–609. https://doi.org/10.4236/ajac.2015.67058

Okewale, A. O., & Adebayo, T. 2020. Investigation of pumpkin pod extract as corrosion inhibitor for carbon steel in HCl Solution. Nigerian Journal of Technology, 39(1), 173–181. https://doi.org/10.4314/njt.v39i1.19

Organization, W. H. 2011. Guidelines for Medicine Donations Revised 2010. WHO Library Cataloguing-in-Publication Data.

Öztürk, S., Özkanlı, M. M., Akyıldız, İ., Kara, T., & Çelik, F. 2021. Asidik ortamda korozyon inhibitörü görevi üstlenen üç pozitif azot Atomu içeren tri-katyonik yüzey aktif maddelerin sentezi. European Journal of Science and Technology, June. https://doi.org/10.31590/ejosat.792128

Palit, S. 2018. Recent advances in corrosion science: a critical overview and a deep comprehension. Direct Synthesis of Metal Complexes, 379–411.

Paramasivam, S., Kulanthai, K., Sadhasivam, G., & Subramani, R. 2016. Corrosion inhibition of mild steel in hydrochloric acid using4-(pyridin-2yl)-N-p-tolylpiperazine-1-carboxamide. International Journal of Electrochemical Science, 11(5), 3393–3414. https://doi.org/10.20964/10109

Pareek, S., Sagar, N. A., Sharma, S., & Kumar, V. 2017. Onion (Allium cepa L.). Fruit and vegetable phytochemicals: Chemistry and human health, 2, 1145–1162.

Parhira, S., Zhu, G.-Y., Jiang, R.-W., Liu, L., Bai, L.-P., & Jiang, Z.-H. 2014. 2′-Epi-uscharin from the latex of Calotropis gigantea with HIF-1 inhibitory activity. Scientific reports, 4(1), 1–7.

Patni, N., Agarwal, S., & Shah, P. 2013. Greener approach towards corrosion inhibition. Chinese Journal of Engineering, 2013, 1–10.

Penteado, F., Monti, B., Sancineto, L., Perin, G., Jacob, R. G., Santi, C., & Lenardão, E. J. 2018. Ultrasound-Assisted Multicomponent Reactions, Organometallic and Organochalcogen Chemistry. Asian Journal of Organic Chemistry, 7(12), 2368–2385.

Philip, J. Y. N., Buchweshaija, J., & Mwakalesi, A. 2016. Corrosion Inhibition of Amino Pentadecylphenols (APPs) Derived from Cashew Nut Shell Liquid on Mild Steel in Acidic Medium. Materials Sciences and Applications, 07(08), 396–402. https://doi.org/10.4236/msa.2016.78036

Prabhu, D., & Rao, P. 2013. Coriandrum sativum L. - A novel green inhibitor for the corrosion inhibition of aluminium in 1.0 M phosphoric acid solution. Journal of Environmental Chemical Engineering, 1(4), 676–683. https://doi.org/10.1016/j.jece.2013.07.004

Pushpanjali Rao, S. A., & Rao, P. 2017. Corrosion inhibition and adsorption behavior of Murraya koenigii extract for corrosion control of aluminum in hydrochloric acid medium. Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 53(5), 475–485. https://doi.org/10.3103/S1068375517050088

Quadri, T. W., Olasunkanmi, L. O., Fayemi, O. E., Solomon, M. M., & Ebenso, E. E. 2017. Zinc Oxide Nanocomposites of Selected Polymers: Synthesis, Characterization, and Corrosion Inhibition Studies on Mild Steel in HCl Solution. ACS Omega, 2(11), 8421–8437. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01385

Quraishi, M. A., & Chauhan, D. S. 2021. Drugs as Environmentally Sustainable Corrosion Inhibitors. Içinde Sustainable Corrosion Inhibitors II: Synthesis, Design, and Practical Applications (ss. 1–17). ACS Publications.

Quraishi, M. A., Chauhan, D. S., & Saji, V. S. 2021. Heterocyclic biomolecules as green corrosion inhibitors. Journal of Molecular Liquids, 341, 117265.

Quraishii, M. A., & Rawat, J. 2001. A Review on Macrocyclics as Corrosion Inhibitors. Corrosion Reviews, 19(3), 273–300. https://doi.org/10.1515/CORRREV.2001.19.3-4.273

Raba, D. N., Poiana, M.-A., Borozan, A. B., Stef, M., Radu, F., & Popa, M.-V. 2015. Investigation on crude and high-temperature heated coffee oil by ATR-FTIR spectroscopy along with antioxidant and antimicrobial properties. PLoS One, 10(9), e0138080.

Raja, P. B., & Sethuraman, M. G. 2009. Inhibition of corrosion of mild steel in sulphuric acid medium by ITCalotropis procera/IT. Pigment and Resin Technology, 38(1), 33–37. https://doi.org/10.1108/03699420910923553

Rajeswari, V., Kesavan, D., Gopiraman, M., & Viswanathamurthi, P. 2013. Physicochemical studies of glucose, gellan gum, and hydroxypropyl cellulose - Inhibition of cast iron corrosion. Carbohydrate Polymers, 95(1), 288–294. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.02.069

Rani, B. E. A., & Basu, B. B. J. 2012. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview. Içinde International Journal of Corrosion (C. 2012). Hindawi. https://doi.org/10.1155/2012/380217

Reza, N. A., Akhmal, N. H., Fadil, N. A., & Taib, M. F. M. 2021. A Review on plants and biomass wastes as organic green corrosion inhibitors for mild steel in acidic environment. Metals, 11(7), 1062.

Salghi, R., Jodeh, S., Ebenso, E. E., Lgaz, H., Ben Hmamou, D., Ali, I. H., Messali, M., Hammouti, B., & Benchat, N. 2017. 6-phenylpyridazin-3(2H)one as new corrosion inhibitor for C38 steel in 1 M HCl. International Journal of Electrochemical Science, 12(4), 3309–3322. https://doi.org/10.20964/2017.04.45

Sandford-Smith, J. 2003. Outdated drugs may be useful [7]. Içinde British Medical Journal (C. 326, Sayı 7379, s. 51). British Medical Journal Publishing Group. https://doi.org/10.1136/bmj.326.7379.51

Shabani-Nooshabadi, M., Hoseiny, F. S., & Jafari, Y. 2015. Green Approach to Corrosion Inhibition of Copper by the Extract of Calligonum comosum in Strong Acidic Medium. Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science, 46(1), 293–299. https://doi.org/10.1007/s11661-014-2634-1

Shaker, N. O., Kandeel, E. M., & Abdelwahab, S. A. 2008. P-cresol/Formaldehyde-Based sunflower epoxy esters for surface coatings. Journal of dispersion science and technology, 29(8), 1173–1179.

Sharma, R., Garg, R., & Kumari, A. 2020. A review on biogenic synthesis, applications and toxicity aspects of zinc oxide nanoparticles. Içinde EXCLI Journal (C. 19, ss. 1325–1340). Leibniz Research Centre for Working Environment and Human Factors. https://doi.org/10.17179/excli2020-2842

Sharmila, A., Prema, A. A., & Sahayaraj, P. A. 2010. Influence of Murraya koenigii (curry leaves) extract on the corrosion inhibition of carbon steel in HCL solution. Rasayan Journal of Chemistry, 3(1), 74–81.

Shetty, P. 2018. Hydrazide derivatives: an overview of their inhibition activity against acid corrosion of mild steel. South African Journal of Chemistry, 71, 46–50.

Shukla, S. K., & Quraishi, M. A. 2009. Ceftriaxone: A novel corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid. Journal of Applied Electrochemistry, 39(9), 1517–1523. https://doi.org/10.1007/s10800-009-9834-1

Singh, A. K., Ebenso, E. E., & Quraishi, M. A. 2013. Corrosion inhibition behavior of cefuzonam at mild steel/HCl acid interface. Research on Chemical Intermediates, 39(7), 3033–3042. https://doi.org/10.1007/s11164-012-0815-3

Singh, A. K., & Quraishi, M. A. 2011. Adsorption properties and inhibition of mild steel corrosion in hydrochloric acid solution by ceftobiprole. Journal of Applied Electrochemistry, 41(1), 7–18. https://doi.org/10.1007/s10800-010-0202-y

Singh, A., Talha, M., Xu, X., Sun, Z., & Lin, Y. 2017. Heterocyclic Corrosion Inhibitors for J55 Steel in a Sweet Corrosive Medium. ACS Omega, 2(11), 8177–8186. https://doi.org/10.1021/acsomega.7b01376

Singh, P., Chauhan, D. S., Srivastava, K., Srivastava, V., & Quraishi, M. A. 2017. Expired atorvastatin drug as corrosion inhibitor for mild steel in hydrochloric acid solution. International Journal of Industrial Chemistry, 8(4), 363–372. https://doi.org/10.1007/s40090-017-0120-5

Solomon, M. M., Gerengi, H., Kaya, T., & Umoren, S. A. 2017. Performance Evaluation of a Chitosan/Silver Nanoparticles Composite on St37 Steel Corrosion in a 15% HCl Solution. ACS Sustainable Chemistry and Engineering, 5(1), 809–820. https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.6b02141

Solomon, M. M., Gerengi, H., & Umoren, S. A. 2017. Carboxymethyl Cellulose/Silver Nanoparticles Composite: Synthesis, Characterization and Application as a Benign Corrosion Inhibitor for St37 Steel in 15% H2SO4 Medium. ACS Applied Materials and Interfaces, 9(7), 6376–6389. https://doi.org/10.1021/acsami.6b14153

Solomon, M. M., Umoren, S. A., Obot, I. B., Sorour, A. A., & Gerengi, H. 2018. Exploration of Dextran for Application as Corrosion Inhibitor for Steel in Strong Acid Environment: Effect of Molecular Weight, Modification, and Temperature on Efficiency. ACS Applied Materials and Interfaces, 10(33), 28112–28129. https://doi.org/10.1021/acsami.8b09487

Souza, E.C. do C. A. de, Ripper, B. de A., Perrone, D., & D'Elia, E. 2016. Roasted coffee extracts as corrosion inhibitors for mild steel in HCl solution. Materials Research, 19, 1276–1285.

Topçu, İ. B., & Uzunömeroğlu, A. 2020. Properties of corrosion inhibitors on reinforced concrete. Journal of Structural Engineering, 3(2), 93–109.

Umoren, S. A., Obot, I. B., Madhankumar, A., & Gasem, Z. M. 2015. Performance evaluation of pectin as ecofriendly corrosion inhibitor for X60 pipeline steel in acid medium: Experimental and theoretical approaches. Carbohydrate Polymers, 124, 280–291. https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.036

Vaszilcsin, N., Ordodi, V., & Borza, A. 2012. Corrosion inhibitors from expired drugs. International Journal of Pharmaceutics, 431(1–2), 241–244. https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2012.04.015

Verma, C., Ebenso, E. E., Bahadur, I., & Quraishi, M. A. 2018. An overview on plant extracts as environmental sustainable and green corrosion inhibitors for metals and alloys in aggressive corrosive media. Içinde Journal of Molecular Liquids (C. 266, ss. 577–590). Elsevier. https://doi.org/10.1016/j.molliq.2018.06.110

Wang, J., & Guo, X. 2020. Adsorption isotherm models: Classification, physical meaning, application and solving method. Chemosphere, 258, 127279.

Wang, K., Lai, C., Tan, B., Xie, B., Zhu, S., Zhu, H., Liu, K., & Wei, J. 2018. Corrosion inhibition of mild steel by S-benzyl-O,O'-dialkyldithiophosphates in HCl solution. International Journal of Electrochemical Science, 13(3), 2627–2640. https://doi.org/10.20964/2018.03.06

Wei-Lung, C., Chih-Ta, W., Kai-Yu, H., Ya-Chieh, C., & Chi-Min, S. 2012. Investigation of indium ions removal from aqueous solutions using spent coffee grounds. International Journal of Physical Sciences, 7(16), 2445–2454.

Yadav, K., Gupta, A., Victoria, S. N., & Manivannan, R. 2018. Murraya koenigii as Green corrosion inhibitor for mild steel in nitric acid medium. Indian Journal of Chemical Technology, 25(1), 94–100.

Yaqoob, G. B. 2021. Paraformaldehyde as a corrosion inhibitor for carbon steel in (% 15) HCl. Journal of Petroleum Research and Studies, 11(2), 1–14.

Yousefi, A., Javadian, S., Dalir, N., Kakemam, J., & Akbari, J. 2015. Imidazolium-based ionic liquids as modulators of corrosion inhibition of SDS on mild steel in hydrochloric acid solutions: Experimental and theoretical studies. RSC Advances, 5(16), 11697–11713. https://doi.org/10.1039/c4ra10995c

Zhang, S., Zhang, J., Zhang, Y., & Deng, Y. 2017. Nanoconfined Ionic Liquids. Içinde Chemical Reviews (C. 117, Sayı 10, ss. 6755–6833). ACS Publications. https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.6b00509

Zhou, X., Chen, L., Jiang, Z., Chen, X., Luo, P., & Bai, L. 2019. Synthesis of 21-Alkylidenes and 21-Alkylol Analogues of Uscharin and Their Effects on Intracellular Calcium in Cardiac Cells. ChemistrySelect, 4(19), 5512–5517.

Zulkıflı, M. F. R., Bahrın, S. N. S., Abdullah, S., Ghazalı, M. S. M., Norsanı, W.A.N. M., & Nık, W.A.N. 2021. Cıtrus aurantıfolıa leaf Extract as a potentıal antıcorrosion additive in alkyd paint for mıld steel. Journal of Sustainability Science and Management, 16(3), 10–20.

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Adı ve Soyadı : Mustafa Yousif Hussein

Eğitim

Yüksek Lisans	Çankırı Karatekin Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Kimya Mühendisliği Anabilim Dalı	2020-Halen
Lisans	Kimya Mühendisliği Lisans	1995-1999