



The effect of Nicotinamide, the green inhibitor, to the corrosion of stainless steel in acidic media

Gülden Asan*

Hitit University Vocational School of Technical Sciences, Corum, 19030, Türkiye

Highlights:

- Protection of stainless steel from corrosion
- Use of nicotinamide as a green inhibitor
- Corrosion rate measurement with Tafel Polarization Method

Keywords:

- Stainless steel
- Corrosion
- Tafel Polarization
- Nicotinamide
- Inhibitor

Article Info:

Research Article
Received: 27.01.2022
Accepted: 16.06.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1064200

Correspondence:

Author: Gülden Asan
e-mail:
guldenasan@hitit.edu.tr
phone: +90 507 923 8341

Graphical/Tabular Abstract

Although the usage amounts of metals vary in all countries in the world, one of the most commonly used is steel, with its longevity, high strength and variety of uses. Steel is particularly resistant to corrosion in acidic medium. Acids, on the other hand, are indispensable substances in the industry and are highly corrosive medium. In order to reduce this corrosive effect, the use of inhibitor is widely used because it is a practical and economical method. Due to the harmful effects of many of these, the tendency to use environmentally friendly inhibitors, which are more commonly referred to as green inhibitors, has increased. In Figure A, the graphical representation of the experimental setup and the % inhibitory efficiency graph obtained for stainless steel at different holding times in 0.1 M HCl acid solution are given.

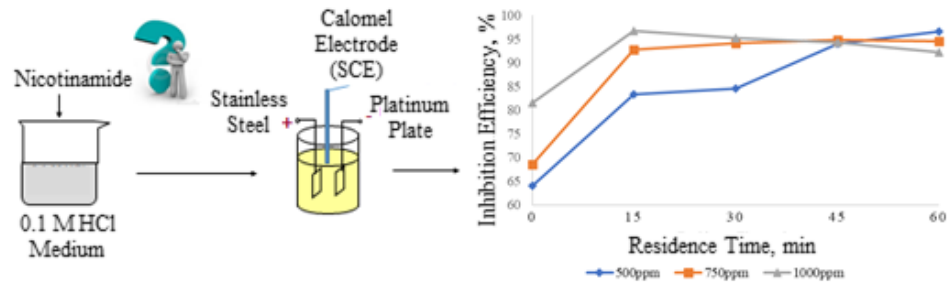


Figure A. Tafel Polarization curves obtained for steel at different residence times in 0.1 M HCl solution containing different concentration (500 ppm, 750 ppm and 1000 ppm) nicotinamide

Purpose:

In this study, it was aimed to protect stainless steel from corrosion by using green inhibitor nicotinamide.

Theory and Methods:

In the experiments, the acid solution was prepared using Merck brand 37% Hydrochloric Acid solution and distilled water. Nicotinamide, an environmentally friendly green inhibitor, was used as the inhibitor. Measurements were taken by adding different concentrations of nicotinamide (Sigma Aldrich) to the solution. Corrosion resistance of stainless steel in 0.1 M HCl acid medium and after adding nicotinamide at different concentrations was measured with Ivium Technologies De Regent 178 5611 HW Eindhoven model device using alternating voltammetry and Tafel polarization method.

Results:

As a result, nicotinamide proved to be an effective inhibitor in protecting stainless steel from corrosion. At 500 ppm nicotinamide concentration, the inhibitory efficiency was 96.6% after 60 minutes, and 94.8% after 45 minutes of waiting at 750 ppm nicotinamide concentration. When the concentration increased to 1000 ppm, the lowest corrosion rate value was reached in 15 minutes, thus saving time. Inhibitory efficiency of 96.8% was obtained at 1000 ppm nicotinamide concentration in 15 minutes of holding time.

Conclusion:

Nicotinamide has proven that it can be used safely in the protection of stainless steel from corrosion, due to its environmental friendliness and high corrosion inhibitory effectiveness.



Asidik ortamda paslanmaz çeliğin korozyonuna yeşil inhibitör olan Nikotinamidin etkisi

Gül den Asan*

Hitit Üniversitesi Teknik Bilimler Meslek Yüksekokulu, Çorum, 19030, Türkiye

Ö N E Ç İ K A N L A R

- Paslanmaz çeliğin korozyondan korunması
- Yeşil inhibitör olarak nikotinamid kullanımı
- Tafel Polarizasyon Yöntemi ile korozyon hızı ölçümü

Makale Bilgileri

Araştırma Makalesi

Geliş: 27.01.2022

Kabul: 16.06.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1064200

Anahtar Kelimeler:

Paslanmaz çelik,
korozyon,
tafel polarizasyonu,
nikotinamid,
inhibitör

ÖZ

Paslanmaz çelik tüm dünyada en çok kullanılan metallerden birisidir. Paslanmaz çeliğin asidik ortamda korozyon direnci düşük olduğu için ve endüstride asit kullanımı çok yaygın olduğundan paslanmaz çeliğin korozyondan korunması önem arz etmektedir. Bu çalışmada inhibitör olarak çevre dostu olan nikotinamid bileşiği paslanmaz çeliğin korozyondan korunmasında kullanıldı. Çalışmada öncelikle paslanmaz çeliğin 0,1 M HCl asit çözeltisinde elektrokimyasal davranışını belirlemek için dönüşümlü voltmetri tekniği kullanıldı. Daha sonra 0,1 M HCl asit çözeltisinde Tafel polarizasyon yöntemi nikotinamid inhibitörü olmadığında, 500 ppm, 750 ppm ve 1000 ppm nikotinamid varlığında paslanmaz çeliğin korozyon davranışını tayin etmek için uygulandı. Bu 3 farklı derişimde inhibitör 0, 15, 30, 45 ve 60 dakikalık sürelerde bekletilerek her bir derişim için optimum süre tayini yapıldı. En yüksek inhibitör etkinliği 1000 ppm nikotinamid derişiminde 15 dakikalık bekletme süresinde % 96,8, süre kısıtlaması olmadığında 500 ppm nikotinamid derişiminde 60 dakikalık bekletme süresinde inhibitör etkinliği %96,6 olarak bulundu. Elde edilen sonuçlar gösterdi ki nikotinamid, paslanmaz çeliğin korozyondan korunmasında etkin bir şekilde kullanılabilir ve çevre dostu olması sebebiyle de korozyondan korunma sağlanırken çevreye ve canlılara zarar verilmemiş olur.

The effect of Nicotinamide, the green inhibitor, to the corrosion of stainless steel in acidic media

H I G H L I G H T S

- Protection of stainless steel from corrosion
- Use of nicotinamide as a green inhibitor
- Corrosion rate measurement with Tafel Polarization Method

Article Info

Research Article

Received: 27.01.2022

Accepted: 16.06.2022

DOI:

10.17341/gazimmfd.1064200

Keywords:

Stainless steel,
corrosion,
tafel polarization,
nicotinamide,
inhibitor

ABSTRACT

Stainless steel is the most used metal all over the world. Since the corrosion resistance of steel is low in acidic medium and the use of acid in industry is very common, it is important to protect the steel from corrosion. In this study, the environmentally friendly nicotinamide compound was used as an inhibitor to protect steel from corrosion. In the study, firstly, the cyclic voltammetry technique was used to determine the electrochemical behavior of the steel in 0.1 M HCl acid solution. Then, Tafel Polarization Method in 0.1 M HCl acid solution was applied to determine the corrosion behavior of steel in the absence of nicotinamide inhibitor, in the presence of 500 ppm, 750 ppm and 1000 ppm nicotinamide. The optimum time was determined for each concentration by keeping the inhibitor at these 3 different concentrations for 0, 15, 30, 45 and 60 minutes. The highest inhibitory efficiency was found to be 96.8% in 1000 ppm nicotinamide concentration in 15 minutes holding time, and 96.6% at 500 ppm nicotinamide concentration in 60 minutes holding time in the absence of time limitation. The results obtained showed that nicotinamide can be used effectively in the protection of stainless steel from corrosion, and due to its environmental friendliness, corrosion protection is provided while not harming the environment and living things.

*Sorumlu Yazar/Yazarlar / Corresponding Author/Authors : *guldenasan@hitit.edu.tr / Tel: +90 507 923 8341

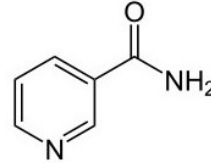
1. Giriş (Introduction)

Gelişen dünyamızda kullanımı giderek artan metaller çevrenin etkisi ile korozyona uğrarlar. Bütün metaller ve alaşımları dünya atmosferinde kararsızdırlar ve bunun sonucu olarak korozyon kaçınılmazdır [1]. Korozyonun çevreye yaptığı zararlarla bütün canlılar olumsuz etkilendiği gibi korozyonun sebep olduğu olumsuzluklar ülkelere ciddi maddi kayıplar da getirmektedir [2-4]. Korozyonun önlenmesi için çeşitli yöntemler mevcuttur [5]. Bunlardan bazıları; metal yüzeyini boyamak, yüzeye koruyucu kaplama yapmak, korozif ortamı değiştirmek, inhibitör kullanımıdır [6, 7]. Dünyadaki bütün ülkelerde metallerin kullanım miktarları farklılık gösterse de en çok kullanılan ortak metal uzun ömürlü olması, mukavemetinin yüksek olması ve kullanım çeşitliliği ile çeliktir. Çelik; inşaat sektöründe, köprü yapımında, yüksek ısıya dayanıklı ekipmanlarda, kimya sanayiinden, mutfak eşyalarına kadar aklımıza gelebilecek birçok yerde kullanılmaktadır [8, 9]. Modern yapı malzemelerinin gelişimi, çeliğe bağlı olmuştur [10]. Çelik özellikle asidik ortamlarda korozyona dayanıksızdır [11]. Asitler ise endüstride vazgeçilemez maddelerdir ve oldukça aşındırıcı ortamlardır [12-14]. Bu aşındırıcı etkiyi azaltmak için inhibitör kullanımı pratik ve ekonomik bir metot olduğundan yaygın olarak kullanılmaktadır [15, 16]. Korozyondan korunma için kullanılan inhibitörler organik ve inorganik inhibitörler olarak sınıflandırılmaktadır. Bunların birçoğunun zararlı etkileri nedeniyle günümüzde daha çok yeşil inhibitör adıyla anılan çevre dostu inhibitör kullanımına yönelim artmıştır [17, 18]. Çünkü yeşil inhibitörlerin kullanımından önce kullanılan inhibitörler pahalı kimyasallardı ve toksik etkileri nedeniyle çevreye zarar vermekteydiler [19, 20]. Bundan dolayı birçok ülkede kullanımı kısıtlandı veya yasaklandı [21]. İnhibitörlerin korozyondan koruma etkinlikleri adsorpsiyon özellikleri ile ilgilidir. İnhibitörlerin, metal yüzeyine adsorbe olmasını fiziksel adsorpsiyon ve kimyasal adsorpsiyon olarak iki şekilde düşünebiliriz. Fiziksel adsorpsiyonda, adsorbe olan türlerdeki iyonik yükler ile metal yüzeyi arasında bir elektrostatik etkileşim vardır ve daha çok düşük sıcaklıklarda etkilidir. Kimyasal adsorpsiyonda ise yükün paylaşımı veya inhibitörden metal yüzeyine transferi söz konusudur. Bu nedenle kimyasal adsorpsiyon fiziksel adsorpsiyona göre daha kuvvetlidir ve yüksek sıcaklıklarda daha karardır [22]. Kükürt, azot, fosfor ve hidroksil grupları gibi yapılar bulunduran inhibitörler içerdikleri bu polar gruplar yardımıyla metal yüzeyine kuvvetli adsorpsiyon yaparlar [23, 27]. Bu çalışmada çevre dostu bir inhibitör olarak nikotinamid kullanıldı. Nikotinamid; B3 vitamini olduğundan çevreye zararlı değil faydalı bir maddedir ve aynı zamanda korozyon inhibitörü olarak etkin bir ajandır. Literatür

incelendiğinde ikibinli yılların başlangıcından itibaren nikotinamidin metalleri korozyondan korumak için inhibitör olarak kullanıldığını görmekteyiz. Nikotinamid; demir, bakır, alüminyum gibi farklı metaller ve bu metaller için asidik, bazik, klorürlü olmak üzere farklı ortamlarda korozyon direncini artırmak için kullanılmıştır [28, 30]. Çelik için yapılan çalışmalarda genellikle nikotinamidin asidik ortamda yumuşak çeliğin korozyondan korunmasında kullanıldığı görülmektedir [22, 31, 32]. Daha önceki çalışmalarımızda alüminyum ve bakır korozyonuna karşı nikotinamidin etkin bir koruyucu inhibitör olduğunu kanıtlamıştık [33, 34]. Bu çalışmada da yaygın kullanılan paslanmaz çeliğin asidik ortamda korozyondan korunması için nikotinamidin inhibitör etkinliği araştırıldı.

2. Deneysel Metot (Experimental Method)

Korozyon çalışmalarının yapıldığı deney düzeneği Şekil 1'de görülmektedir. Deneylerde asit çözeltisi, Merck marka 37%'lik Hidroklorik asit çözeltisi ile distile su kullanılarak hazırlandı. İnhibitör olarak çevre dostu yeşil inhibitör olan Nikotinamid kullanıldı. Nikotinamid (Sigma Aldrich) çözeltiye farklı derişimlerde ilave edilerek ölçümler alındı. Nikotinamidin molekül formülü Şekil 2'de görülmektedir [35]. Korozyon dirençleri dönuşümlü voltametri ve Tafel polarizasyon yöntemi kullanılarak paslanmaz çeliğin 0,1 M HCl asit ortamında ve farklı konsantrasyonlarda nikotinamid ilavesi sonrası İviem Technologies De Regent 178 5611 HW Eindhoven model cihazı ile ölçüldü. Ölçümler üç ağızlı korozyon hücresinde gerçekleştirildi. Çalışma elektrotu olarak polyester reçineye gömülmüş ve 1 cm² yüzey alanına sahip Ç 316 elektrot (316 paslanmaz çelik bileşimi: %16 krom, %10 nikel ve %2 molibden), karşı elektrot olarak Pt levha ve referans elektrot olarak da lugine yerleştirilmiş doygun kalomel elektrot kullanıldı. Her ölçümden önce çalışma elektrotunun yüzeyi 4000'lik zımpara kâğıdı ile temizlenerek, saf su ve etil alkolden geçirildi. Kullanıma hazır hale getirilen elektrot ile ölçümler alındı.



Şekil 2. Nikotinamidin molekül formülü (Molecular formula of nicotinamide)

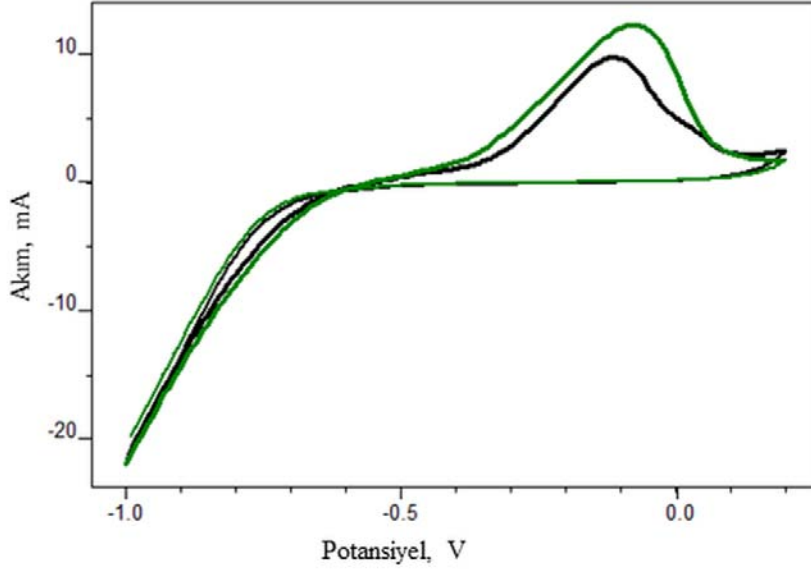


Şekil 1. Deney düzeneği (The experimental setup)

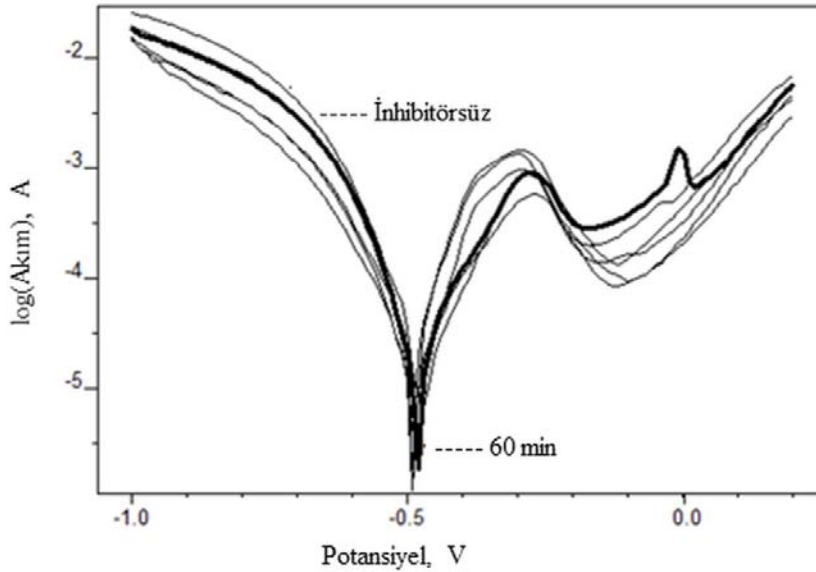
3. Sonuçlar ve Tartışmalar (Results and Discussions)

Dönüşümlü voltametri ile elektrot yüzeyinde gerçekleşen indirgenme/yükseltgenme olayları, tersinir olup olmaması, difüzyon veya adsorpsiyon ile ilgili bilgi sağlanabilir. Paslanmaz çeliğin 0,1 M HCl asit çözeltisindeki elektrokimyasal davranışını belirlemek için -1.0 V ile +0.2 V arasında 200 mV/s tarama hızında dönüşümlü voltamogramı alındı. Şekil 3'de paslanmaz çeliğin 0,1 M HCl asit çözeltisindeki dönüşümlü voltamogramı görülmektedir. İleri yönde yapılan potansiyel taramasında -0,5 V'dan sonra anodik akım geçmeye başlamıştır ve paslanmaz çelikte bir yükseltgenme piki görülmüştür. +0,2 V'dan -1,0 V'a kadar ters yönde taraması ile metal -0,6 V'a kadar pasif durumdadır. Ancak bu potansiyelden sonra elektron olarak indirgenmektedir.

Asidik bir ortamda nikotinamid inhibitörü ilavesi inhibitör moleküllerinin çelik yüzeyine adsorpsiyonu ile çelik yüzeyinde korozyonu önleyen koruyucu bir tabaka oluşmasını sağladı. İnhibitör olarak kullanılan nikotinamid ilk olarak 500 ppm olacak şekilde çözeltiye ilave edildikten sonra bekletilmeden Tafel polarizasyon eğrisi alınarak buna 0 dakika ölçümü adı verildi. Daha sonra bekletme süresinin inhibitör etkinliğine etkisini görmek amacıyla 15, 30, 45 ve 60 dakika beklettikten sonra çelik elektrodun Tafel polarizasyon eğrileri alındı. Farklı bekletme sürelerinde alınan Tafel polarizasyon eğrileri üst üste çakıştırılarak Şekil 4'de verildi. Elektrodun inhibitör içeren çözeltide bekletme süresinin artırılmasıyla korozyon hızında düşüş beklenmektedir. Bekletme süresinin artırılmasıyla inhibitörün yüzeye tutunması için fırsat tanınmış olduğundan korozyon hızının düşmesi yani inhibitör etkinliğinde artış beklenen bir durumdur. Tablo 1'de alınan ölçüm değerleri verildi.



Şekil 3. Paslanmaz çeliğin 0,1 M HCl asit çözeltisinde elektrokimyasal davranışı (Electrochemical behavior of stainless steel in 0.1 M HCl acid solution)



Şekil 4. 500 ppm nikotinamid içeren 0,1 M HCl asit çözeltisinde farklı bekletme sürelerinde paslanmaz çelik için elde edilen Tafel Polarizasyon eğrileri (Tafel Polarization curves obtained for steel at different residence times in 0.1 M HCl acid solution containing 500 ppm nicotineamide)

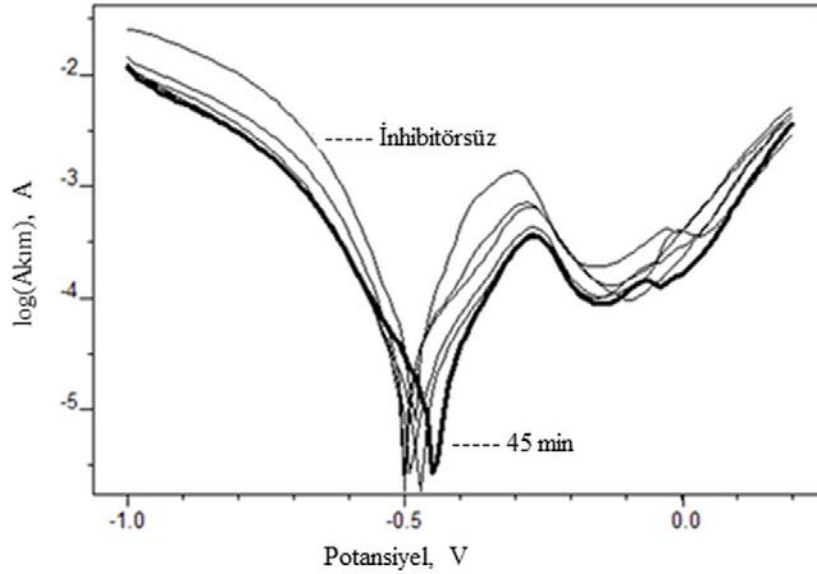
Şekilden de tablodan da görüldüğü gibi nikotinamid ortamında çelik elektrodun bekletme süresi arttığında korozyon potansiyelinde çok fazla pozitif değerlere kayma gözlenmedi. Korozyon potansiyeli birbirine yakın değerler aldı. Tablo 1'e bakıldığında 60 dakikalık bekletmede en düşük korozyon hızı 0,023 mm/yıl ve inhibitör etkinliği %96,6 olarak elde edildi.

Nikotinamid derişiminin çelik korozyonuna etkisini incelemek için 500 ppm derişiminden sonra 750 ppm ve 1000 ppm nikotinamid 0,1 M HCl asit çözeltisine ilave edildi ve optimum bekletme süresi tayini bütün derişimlerde yapıldı. Şekil 5'e ve Tablo 2'ye bakıldığında 45 dakikalık bekletmede en iyi korozyon potansiyeli ve en düşük korozyon hızı elde edildi. En düşük korozyon hızı 45 dakikalık bekletme süresinde 0,035 mm/yıl ve inhibitör etkinliği %94,8 olarak

elde edildi. Şekil 6 ve Tablo 3 incelendiğinde 15 dakikalık bekletmede en düşük korozyon hızı elde edildi. En düşük korozyon hızı 15 dakikalık bekletme süresinde 0,022 mm/yıl ve inhibitör etkinliği %96,8 olarak elde edildi. En düşük korozyon hızına 15 dakikada ulaşıldığından zamansal olarak bir avantaj sağlanmış oldu. Şekil 7 incelendiğinde 500 ppm nikotinamid konsantrasyonunda 60 dakikalık bekletme sonrası inhibitör etkinliği %96,6 iken 750 ppm nikotinamid konsantrasyonunda 45 dakikalık bekletme sonrası inhibitör etkinliği %94,8 olarak tespit edildi. Derişim 1000 ppm'e çıktığında ise en düşük korozyon hızı değerine 15 dakikada ulaşarak süreden kazanç sağlanmış oldu. 1000 ppm nikotinamid derişiminde 15 dakikalık bekletme süresinde inhibitör etkinliği %96,8 olarak elde edildi. 1000 ppm'lik nikotinamid derişiminde 15 dakikalık bekletme süresini geçtiğinde inhibitör etkinliğinde düşüş gözlemlendi.

Tablo 1. 500 ppm Nikotinamid İçeren 0,1 M HCl asit Çözeltisinde Bekletme Süresinin Çelik Korozyonuna Etkisi
(Effect of Residence Time on Stainless steel Corrosion in 0.1 M HCl acid Solution Containing 500 ppm Nicotinamide)

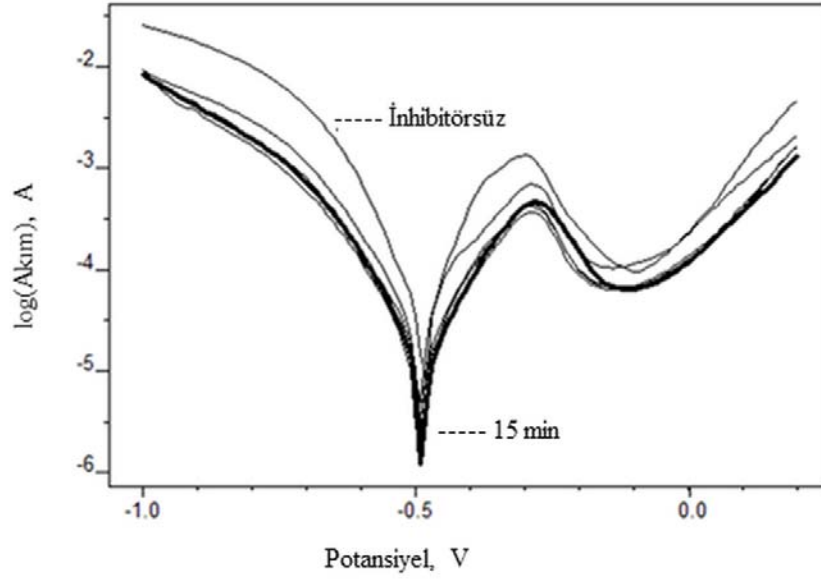
Derişim, (ppm)	Bekletme Süresi, (min.)	E_{cor} , (V)	I_{cor} , (μ A)	R_p , (ohm)	Korozyon Hızı, (mm/y)	% İnhibitör Etkinliği
0	0	-0,478	57,92	376	0,680	---
	0	-0,492	20,77	725	0,244	64,1
	15	-0,487	9,61	1593	0,113	83,4
500	30	-0,463	8,91	1646	0,105	84,6
	45	-0,495	3,48	1689	0,041	94,0
	60	-0,452	1,99	2244	0,023	96,6



Şekil 5. 750 ppm nikotinamid içeren 0,1 M HCl asit çözeltisinde farklı bekletme sürelerinde paslanmaz çelik için elde edilen Tafel Polarizasyon eğrileri
(Tafel Polarization curves obtained for steel at different residence times in 0.1 M HCl acid solution containing 750 ppm nicotinamide)

Tablo 2. 750 ppm Nikotinamid İçeren 0,1 M HCl asit Çözeltisinde Bekletme Süresinin Çelik Korozyonuna Etkisi
(Effect of Residence Time on Stainless steel Corrosion in 0.1 M HCl acid Solution Containing 750 ppm Nicotinamide)

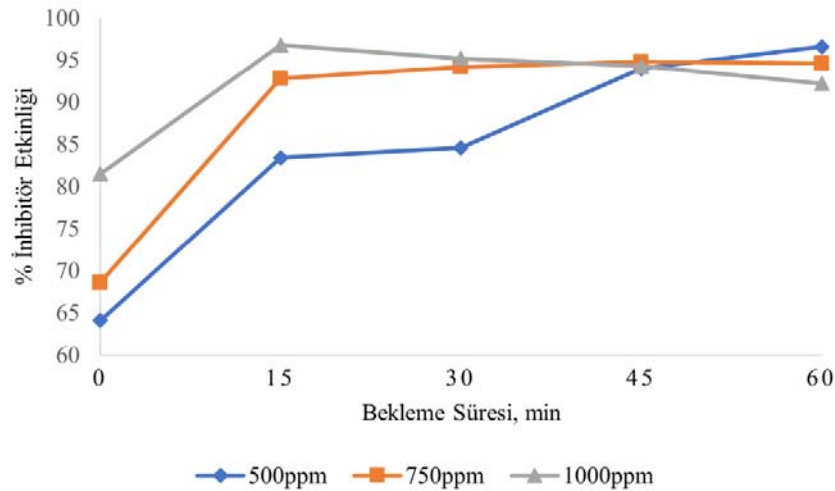
Derişim, (ppm)	Bekletme Süresi, (min.)	E_{cor} , (V)	I_{cor} , (μ A)	R_p , (ohm)	Korozyon Hızı, (mm/y)	% İnhibitör Etkinliği
0	0	-0,478	57,92	376	0,680	---
	0	-0,501	18,17	1096	0,213	68,6
	15	-0,492	4,17	2072	0,049	92,8
750	30	-0,491	3,34	2218	0,039	94,2
	45	-0,450	3,00	2401	0,035	94,8
	60	-0,477	3,13	2190	0,037	94,6



Şekil 6. 1000 ppm nikotinamid içeren 0,1 M HCl asit çözeltisinde farklı bekleme sürelerinde paslanmaz çelik için elde edilen Tafel Polarizasyon eğrileri
(Tafel Polarization curves obtained for steel at different residence times in 0.1 M HCl acid solution containing 1000 ppm nicotinamide)

Tablo 3. 1000 ppm Nikotinamid İçeren 0,1 M HCl asit Çözeltisinde Bekletme Süresinin Çelik Korozyonuna Etkisi
(Effect of Residence Time on Stainless steel Corrosion in 0.1 M HCl acid Solution Containing 1000 ppm Nicotinamide)

Derişim, (ppm)	Bekletme Süresi, (min.)	E_{cor} , (V)	I_{cor} , (μ A)	R_p , (ohm)	Korozyon Hızı, (mm/y)	% İnhibitör Etkinliği
0	0	-0,478	57,92	376	0,680	---
	0	-0,491	10,71	930	0,126	81,5
1000	15	-0,492	1,86	2589	0,022	96,8
	30	-0,489	2,81	2106	0,033	95,2
	45	-0,501	3,29	1655	0,039	94,3
	60	-0,501	4,49	1399	0,053	92,2



Şekil 7. 500 ppm, 750 ppm ve 1000 ppm nikotinamid içeren 0,1 M HCl asit çözeltisinde farklı bekleme sürelerinde paslanmaz çelik için elde edilen % inhibitör etkinliği (Inhibition efficiency % obtained for steel at different residence times in 0.1 M HCl acid solution containing different concentration (500 ppm, 750 ppm and 1000 ppm) nicotinamide)

4. Sonuçlar (Conclusions)

Sonuç olarak nikotinamid hem çevre dostu olması hem de korozyon inhibitör etkinliğinin yüksek olmasından dolayı paslanmaz çeliğin

korozyondan korunmasında güvenle kullanılabileceğini ispatlamış oldu. Nikotinamid derişimi küçük tutulduğunda en yüksek inhibitör etkinliğine ulaşabilmek için geçen süre artarken, derişim adsorplanacak moleküllerden daha fazla artırıldığında ise korozyon

hızı negatif etkilendi. Bunun nedeni; adsorpsiyonla yüzeye tutunmada koruyucu tabaka kalınlaştığında yüzeyde hatalar oluşarak geçirgenlik artabilmekte bu da korozyon direncinin azalmasına neden olmaktadır. Süre olarak bir kısıtlama olmadığında daha düşük derişimdeki 500 ppm nikotinamid derişimini, daha hızlı koruma sağlanmak istendiğinde ise 1000 ppm nikotinamid derişimini kullanmak avantaj sağlamaktadır.

Kaynaklar (References)

- Hansson CM. The impact of corrosion on society. *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci.*, 42 (10), 2952–62, 2011.
- Javaherdashiti R. How corrosion affects industry and life. *Anti-Corrosion Methods Mater.*, 47 (1), 30–4, 2000.
- Kesavan D, Gopiraman M, Sulochana N. Chemical Science Review and Letters Green Inhibitors for Corrosion of Metals: A Review. *Chem Sci Rev Lett.*, 1 (1), 1–8, 2012.
- Kocaman E, Kılınc B, Şen Ş, Şen U., Effect of chromium content on Fe(18-x)Cr_xB₂(X=3,4,5) hardfacing electrode on microstructure, abrasion and corrosion behavior, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University.*, 36 (1), 177–90, 2020.
- Matik U., Improvement of surface properties of iron based powder metal compacts by electroless NiB coating, *Journal of the Faculty of Engineering and Architecture of Gazi University*, 33 (4), 1603–10, 2018.
- Asan G, Asan A. Corrosion protection of AISI 1010 using doped MoS₂ conductive polymers. *J Turkish Chem Soc Sect A Chem.*, 7 (1), 2020.
- Hosseini M, Mertens SFL, Ghorbani M, Arshadi MR. Asymmetrical Schiff bases as inhibitors of mild steel corrosion in sulphuric acid media. *Mater Chem Phys.*, 78 (3), 800–8, 2003.
- Wang X, Chen JG, Su G feng, Cui C, Li HY. Application of electromagnetism method to characterize the degradation behavior in structural mild steel within the elastic range. *Constr Build Mater*, 241, 118011, 2020.
- Asan A. RESEARCH ARTICLE EFFECT OF 5-NITRO-2-FURALDEHYDE ON CORROSION OF CARBON CR (without inhibitor)., 2 (2), 137–42, 2019.
- Bjorhovde R. Development and use of high performance steel. *J Constr Steel Res.*, 60 (3–5), 393–400, 2004.
- Soltani N, Tavakkoli N, Khayatkashani M, Jalali MR, Mosavizade A. Green approach to corrosion inhibition of 304 stainless steel in hydrochloric acid solution by the extract of *Salvia officinalis* leaves. *Corros Sci.*, 62, 122–35, 2012.
- Rani BEA, Basu BBJ. Green inhibitors for corrosion protection of metals and alloys: An overview. *Int J Corros.*, 2012 (i), 2012.
- Abboud Y, Abourriche A, Saffaj T, Berrada M, Charrouf M, Bennamara A, et al. The inhibition of mild steel corrosion in acidic medium by 2,2'-bis(benzimidazole). *Appl Surf Sci.*, 252 (23), 8178–84, 2006.
- Chauhan LR, Gunasekaran G. Corrosion inhibition of mild steel by plant extract in dilute HCl medium. *Corros Sci.*, 49 (3), 1143–61, 2007.
- Al-Fakih AM, Aziz M, Sirat HM. Turmeric and ginger as green inhibitors of mild steel corrosion in acidic medium. *J Mater Environ Sci.*, 6 (5), 1480–7, 2015.
- Chen Y, Jiang YY, Chen H, Zhang Z, Zhang JQ, Cao CN. Corrosion inhibition of mild steel in acidic medium by linseed oil-based imidazoline. *JAOCS, J Am Oil Chem Soc.*, 90 (9), 1387–95, 2013.
- Azzaoui K, Mejdoubi E, Jodeh S, Lamhamdi A, Rodriguez-Castellón E, Algarra M, et al. Eco friendly green inhibitor Gum Arabic (GA) for the corrosion control of mild steel in hydrochloric acid medium. *Corros Sci.*, 129 (September), 70–81, 2017.
- Mohana KN, Badica AM. Effect of sodium nitrite-borax blend on the corrosion rate of low carbon steel in industrial water medium. *Corros Sci.*, 50 (10), 2939–47, 2008.
- Deyab MA. Egyptian licorice extract as a green corrosion inhibitor for copper in hydrochloric acid solution. *J Ind Eng Chem.*, 22, 384–9, 2015.
- Stupnišek-Lisac E, Gazivoda A, Madžarac M. Evaluation of non-toxic corrosion inhibitors for copper in sulphuric acid. *Electrochim Acta.*, 47 (26), 4189–94, 2002.
- ASAN G, ASAN A. Çeliklerin Korozyonuna Boraksın Etkisi. *J Boron.*, 6 (3), 332–7, 2021.
- Aljourani J, Raieisi K, Golozar MA. Benzimidazole and its derivatives as corrosion inhibitors for mild steel in 1M HCl solution. *Corros Sci.*, 51 (8), 1836–43, 2009.
- Verma DK, Dewangan Y, Dewangan AK, Asatker A. Heteroatom-Based Compounds as Sustainable Corrosion Inhibitors: An Overview, *J Bio- Tribo-Corrosion*, 7 (1), 2021.
- Gurudatt DM, Mohana KN, Tandon HC. Adsorption and corrosion inhibition characteristics of some organic molecules containing methoxy phenyl moiety on mild steel in hydrochloric acid solution. *Mater Discov.*, 2, 24–43, 2015.
- Nahlé A, Abu-Abdoun II, Abdel-Rahman I. Inhibition of mild steel corrosion by 3-benzoylmethyl benzimidazolium hexafluoroantimonate in acidic solution. *Int J Corros.*, 2012, 45–7, 2012.
- Moretti G, Quartarone G, Tassan A, Zingales A. 5-Amino- and 5-Chloro-Indole As Mild Steel Corrosion Inhibitors in Sulphuric Acid. *Electrochim Acta.*, 41 (13), 1971–80, 1996.
- Döner A, Solmaz R, Özcan M, Kardeş G. Experimental and theoretical studies of thiazoles as corrosion inhibitors for mild steel in sulphuric acid solution. *Corros Sci.*, 53 (9), 2902–13, 2011.
- Bashir S, Sharma V, Kumar S, Ghelichkhan Z, Obot IB, Kumar A. Inhibition performances of nicotinamide against aluminum corrosion in an acidic medium. *Port Electrochim Acta.*, 38 (2), 107–23, 2020.
- Hippolyte CN, Serge BY, Sagne A, Creus J, Albert T. Nicotinamide Inhibition Properties for Copper Corrosion in 3.5% NaCl Solution: Experimental and Theoretical Investigations. *J Mater Sci Chem Eng.*, 06 (03), 100–21, 2018.
- Tüken T, Yazici B, Erbil M. The effect of nicotinamide on iron corrosion in chloride solutions. *Turkish J Chem.*, 26 (5), 735–42, 2002.
- Chakravarthy MP, Mohana KN, Pradeep Kumar CB. Corrosion inhibition effect and adsorption behaviour of nicotinamide derivatives on mild steel in hydrochloric acid solution. *Int J Ind Chem.*, 5 (2), 1–21, 2014.
- Jeeva M, Venkatesa Prabhu G, Rajesh CM. Inhibition effect of nicotinamide and its Mannich base derivatives on mild steel corrosion in HCl. *J Mater Sci.*, 52 (21), 12861–88, 2017.
- Asan G, Asan A. Inhibitor effect of nicotinamide on corrosion of aluminum. *J Mol Struct.*, 1201, 2020.
- Asan G. Protection of Copper From Corrosion With Nicotinamide Inhibitor. *Hittite J Sci Eng.*, 8 (3), 273–277, 2021.
- Karaer E, Köse DA. Novel mixed ligand complexes of alkaline earth metals with coumarilic acid and nicotinamide. *J Turkish Chem Soc Sect A Chem.*, 8 (2), 659–76, 2021.

