

अवधिपार लोपिनवीर दवा का संक्षारण (जंग)

अवरोधक के रूप में अनुप्रयोग

Use of Expired lopinavir drug as Corrosion Inhibitor

जितेन्द्र भावसार¹ एवं वी. के. मिश्र²

Jeetendra Bhawsar¹ and V. K. Mishra²

¹Department of Chemistry, ²Department of Physics
Atal Bihari Vajpayee Hindi Vishvavidhyalay, Bhopal (M.P.)

jitendra.bhawsar@gmail.com, vkmishra74@yahoo.com

<https://doic.org/10.0729/VP.2024523098>

सारांश

अवधिपार लोपिनवीर दवा की छह अलग-अलग सांद्रता में 2M H₂SO₄ विलयन में हल्के स्टील के संक्षारण निरोधक व्यवहार की जांच तापमापीय और भारात्मक तकनीकों का उपयोग करके की गई। लोपिनवीर दवा का उपयोग वायरल संक्रमण और मुख्य रूप से एचआईवी/एड्स के इलाज के लिए किया जाता था। हालाँकि यह उपचार के लिए SARS-CoVid-19 के संक्रमण के बाद प्रकाश में आया, लोपिनवीर दवा 500 पीपीएम सांद्रता पर अम्लीय माध्यम में हल्के स्टील के क्षरण को कुशलता से रोकती है। यह देखा गया कि जांच की गई दवा की संक्षारण अवरोधक दक्षता 303K तापमान पर 500 पीपीएम सांद्रता पर 89.97% थी और तापमान में वृद्धि के साथ यह कम होती गई।

खुले बर्तन प्रयोग में तापमापीय विधि का उपयोग करके लोपिनवीर दवा की संक्षारण निरोधक दक्षता अधिकतम सांद्रता पर 85.8% पाई गई। धातु की सतह पर दवा के अणुओं के रासायनिक अधिशोषण द्वारा इलेक्ट्रोड सतह को अवरुद्ध करके अवधिपार लोपिनवीर दवा के अणुओं की संक्षारण निरोधक घटना पर चर्चा की गई। अधिशोषण की प्रक्रिया लैंगमुइर अधिशोषण समतापी वक्र का अनुसरण करती है।

Abstract

The corrosion behavior of mild steel in 2M H₂SO₄ solution at six different concentrations of expired lopinavir drug was investigated using thermometric and gravimetric techniques. The lopinavir drug was used to treat viral infections, primarily HIV/AIDS. Although it came to light after the invasion of SARS-CoVid-19 for treatment, the lopinavir drug efficiently inhibits the corrosion of mild steel in an acidic medium at 500 ppm concentration. It was observed that the corrosion inhibition efficiency of the investigated drug was 89.97% at 500 ppm concentration at 303K temperature and then it decreased with an increase in temperature. The corrosion inhibition efficiency of the lopinavir drug using the thermometric method in the open vessel experiment was found to be 85.8% at maximum concentration. The corrosion inhibition phenomena of expired lopinavir drug molecules on mild steel were discussed by blocking the electrode surface by the chemisorption of drug molecules onto the metal surface. The process of adsorption follows the Langmuir adsorption isotherm.

मुख्य शब्द : संक्षारण अवरोध, लोपिनवीर दवा, लैंगमुइर अधिशोषण समतापी वक्र, तापमापीय विश्लेषण, भारात्मक विश्लेषण।

Keywords: corrosion inhibition, lopinavir drug, Langmuir adsorption isotherm, thermometric analysis, gravimetric analysis.

परिचय

औद्योगिक क्षेत्र विशेष रूप से तेल और गैस उद्योग में संक्षारण एक प्रमुख विषय है, जहां स्टील पाइपलाइन और उपकरण संक्षारक वातावरण के संपर्क में आते हैं [1]। हल्के स्टील, कम लागत और उत्कृष्ट यांत्रिक गुणों के कारण आमतौर पर विभिन्न संरचनाओं और उपकरणों के निर्माण में उपयोग किया जाता है। हालाँकि, सल्फ्यूरिक एसिड जैसे अम्लीय वातावरण में इसकी संक्षारण की संवेदनशीलता एक प्रमुख चिंता का विषय है। हल्के स्टील के क्षरण से न केवल सामग्री का क्षरण और आर्थिक नुकसान होता है, बल्कि सुरक्षा के लिए भी खतरा पैदा होता है।

संक्षारण से निपटने के लिए, विभिन्न संक्षारण अवरोधक विकसित और प्रयुक्त किए गए हैं। संभावित संक्षारण अवरोधकों में से एक फार्मास्यूटिकल्स [2-4] है, जो विभिन्न संक्षारक वातावरणों में कुशल संक्षारण अवरोधक गुण प्रदर्शित करते पाए गए हैं। अवधिपर दवाएं, जो अब उपयोग के लिए उपयुक्त नहीं हैं, आमतौर पर उनका निस्तारण कर दिया जाता है, जिससे पर्यावरण प्रदूषण होता है। हालाँकि, इन्हें संभावित रूप से संक्षारण अवरोधक के रूप में उपयोग किया जा सकता है, जिससे पर्यावरण प्रदूषण और अपशिष्ट उत्पादन को कम करने में सहायता मिल सकती है।

लोपिनवीर, एक दवा जो मुख्य रूप से एचआईवी/एड्स के इलाज के लिए उपयोग की जाती है, हाल ही में कोविड -19 के खिलाफ इसके संभावित उपयोग की जांच की गई है [5,6]। लोपिनवीर को रासायनिक रूप से [1S-[1R*, (R*), 3R*, 4R*]]-N-[4 [[(2,6डिमिथाइलफेनॉक्सी)एसिटाइल] एमिनो]-3-हाइड्रॉक्सी-5-फिनाइल-1 के रूप में नामित किया गया है। (फेनिलमिथाइल) पेंटाइल] टेट्राहाइड्रो-अल्फा-(1-मिथाइलथाइल)2-ऑक्सो-1 (2H)-पाइरीमिडीनेएसिटामाइड। इसका आणविक सूत्र $C_{37}H_{48}N_4O_5$ है, और इसका आणविक भार 628.80 [7] है। लोपिनवीर को विभिन्न संक्षारक वातावरणों में कुशल संक्षारण अवरोधक गुण प्रदर्शित करते पाया गया है। हालाँकि, सल्फ्यूरिक अम्ल में हल्के स्टील पर इसके संक्षारण अवरोधक गुणों की गहराई से जांच

नहीं की गई है। इस अध्ययन में, अवधिपर लोपिनवीर दवा की छह अलग-अलग सांद्रता में 2M H_2SO_4 विलयन में हल्के स्टील के संक्षारण व्यवहार की जांच तापमापीय और भारात्मक तकनीकों का उपयोग करके की गई है। लैंगमुइर समतापी वक्र का उपयोग हल्के स्टील पर अवधिपर लोपिनवीर दवा अणुओं के संक्षारण अवरोध घटना का विश्लेषण करने के लिए किया गया है। इस अध्ययन के निष्कर्ष संभावित रूप से नए संक्षारण अवरोधकों के विकास में योगदान दे सकते हैं, और अवधिपर दवाओं के उपयोग से पर्यावरण प्रदूषण और अपशिष्ट उत्पादन में कमी लाई जा सकती है।

प्रयोगिक कार्य

सामग्री और विधि

हल्के स्टील तख्ती से $5 \times 5 \times 0.5$ सेमी³ माप के हल्के स्टील के कूपन प्राप्त किए गए थे। बाद में कूपनों को एमरी पेपर से पॉलिश किया गया। पॉलिश करने के बाद, कूपन को इथेनॉल से धोया गया और 1 मिनट के लिए एसीटोन से साफ़ किया गया, और फिर इथेनॉल और विआयनीकृत (डीआई) पानी से धोया गया। अंत में, उन्हें हवा का उपयोग करके सुखाया गया। इस अध्ययन में उपयोग किया गया अम्लीय घोल मर्क स्पेशलिटीज़ प्राइवेट लिमिटेड से प्राप्त 98% H_2SO_4 को आसुत जल के साथ तनु करके तैयार किया गया था।

भारात्मक विश्लेषण

भारात्मक विश्लेषण की तकनीक आमतौर पर संक्षारण निरोधक की दक्षता निर्धारित करने के लिए प्रयुक्त की जाती है [8-10]। इस विधि में नमूने को एक निर्धारित अवधि (T) के लिए संक्षारण माध्यम में डुबोने के बाद उसके वजन में होने वाली कमी को मापना शामिल है। परीक्षण 100 मिलीलीटर बीकर का उपयोग करके किया गया, जो तीन अलग-अलग तापमानों 303K, 313K और

323K, पर कूपन को 2M H₂SO₄ के अम्लीय माध्यम में 6 घंटे के लिए रखा गया। अंत में स्टील कूपन को आसुत जल और एसीटोन का उपयोग करके साफ किया गया। अवधिपार लोपिनवीर दवा की उपस्थिति और अनुपस्थिति में कम कार्बन स्टील की सतह की संक्षारण दर की गणना समीकरण (1) का उपयोग करके की गई।

$$\text{संक्षारण की दर (मिमी/वर्ष) CR} = \frac{87.6 \times W}{\text{DAT}} \dots(1)$$

जहाँ W = भार में कमी (मिलीग्राम में), D = स्टील का घनत्व (ग्राम/सेमी³ में), A = स्टील का पृष्ठीय क्षेत्रफल (सेमी² में), T = समय (घंटों में)

संक्षारण अवरोध दक्षता (%IE) और सतह कवरेज (θ) क्रमशः समीकरण (2) और (3) का उपयोग करके निर्धारित की गई :

$$\% \text{ IE} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

$$\theta = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \dots\dots\dots (3)$$

जहाँ W₁ और W₂ क्रमशः अवरोधक की उपस्थिति और अनुपस्थिति में संक्षारण दर हैं।

तापमापीय विधि

लोपिनवीर दवा की संक्षारण अवरोधक दक्षता निर्धारित करने के लिए, हल्के स्टील के कूपन को 1X1 सेमी टुकड़ों में काटा गया और विभिन्न ग्रेड के एमरी पेपर से घिसा गया। आसुत जल और एसीटोन के साथ क्रमिक सफाई बाद, तापमापीय विधि का उपयोग किया गया जैसा कि पहले विभिन्न लेखकों द्वारा वर्णित किया गया है [8,11-13]। इस समय तंत्र का तापमान 30°C था। प्रारंभिक से अंतिम तापमान तक समय के साथ तापमान में बदलाव (30 मिनट) दर्ज किया गया। समीकरण (4) और (5) को क्रमशः अभिक्रिया संख्या (RN) और संक्षारण निरोधक दक्षता (%IE) की गणना करने के लिए नियोजित किया गया।

$$\text{RN } (^\circ\text{C}/\text{min}) = \frac{T_m - T_i}{t} \dots\dots\dots (4)$$

$$\% \text{I} = \frac{\text{RN}_{\text{aq}} - \text{RN}_{\text{wi}}}{\text{RN}_{\text{aq}}} \times 100 \dots\dots\dots(5)$$

इन समीकरणों में, 'T_m' और 'T_i' क्रमशः समय 't' के बाद बर्तन के अंतिम और प्रारंभिक तापमान को दर्शाते हैं। RN_{aq} और RN_{wi} क्रमशः अवरोधक की उपस्थिति और अनुपस्थिति में अभिक्रिया संख्या का प्रतिनिधित्व करते हैं।

सतह परीक्षण

सतहों का विश्लेषण सतह आकृति विज्ञान को समझने में महत्वपूर्ण भूमिका निभाता है। हल्के स्टील (एमएस) इलेक्ट्रोड पर अम्लीय माध्यम के संक्षारक प्रभावों का मूल्यांकन करने और लोपिनवीर दवा अवरोधक मिलाने से पहले और बाद में सतह की स्थलाकृति जांच करने के लिए परीक्षण किए गए। नमूने तैयार करने के लिए छह हल्के स्टील कूपन को पॉलिश किया गया। कूपन को 303K पर 6 घंटे के लिए लोपिनवीर दवा अवरोधक के बिना 2M H₂SO₄ विलयन में डुबोया गया। फिर 500 पीपीएम लोपिनवीर दवा मिलाकर यही प्रयोग दोहराया गया। सभी छह नमूनों की सतह की जांच की गई और 10X आवर्धन पर एक ऑप्टिकल माइक्रोस्कोप का उपयोग करके तुलना की गई।

परिणाम और चर्चा

भारतमक विश्लेषण

2M H₂SO₄ विलयन में हल्के स्टील के लिए संक्षारण अवरोधक के रूप में अवधिपार लोपिनवीर दवा की प्रभावकारिता की जांच करने के लिए **भारतमक विश्लेषण** विधि का उपयोग किया गया। विभिन्न सांद्रता के परीक्षण विलयन में अवरोधक की उपस्थिति और अनुपस्थिति में वजन में कमी (mmpy) निर्धारित की गई। प्रति वर्ष मिलीमीटर में संक्षारण दर, सतह कवरेज क्षेत्र (A) और निरोधक दक्षता (%IE) निर्धारित किए गए। तालिका 1 में विभिन्न सांद्रता और अलग-अलग तापमान पर (303K, 313K और 323K) पर 5X5X0.5 सेमी³ हल्के स्टील कूपन के लिए भारतमक विश्लेषण के प्रयोगात्मक परिणाम प्रस्तुत हैं। यह देखा गया कि H₂SO₄ में हल्के स्टील के क्षय की

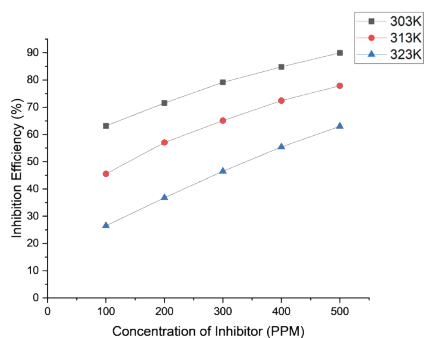
प्रारंभिक दर धीमी थी, जिसका श्रेय मूल रूप से धातु की सतह पर मौजूद ऑक्साइड फिल्म को दिया जा सकता है। अवरोधक की घटती सांद्रता के साथ हल्के स्टील के नमूनों का वजन कम हो गया। 2M H₂SO₄ में लोपिनवीर की विभिन्न सांद्रता और विभिन्न तापमानों (303K, 313K और 323K) पर संक्षारण की दर (एमएमपीआई में) और सतह कवरेज क्षेत्र ए तालिका 1 में सूचीबद्ध हैं। चित्र 1 और 2 संक्षारण अवरोधक दक्षता (%IE) की भिन्नता प्रस्तुत करते हैं। (%IE) और क्रमशः विभिन्न तापमानों पर अवरोधकों की विभिन्न सांद्रता का उपयोग करके हल्के स्टील के

क्षरण की दर, काली रेखाएँ 303K पर (%IE) का, लाल रेखाएँ 313K के लिए, और नीली रेखाएँ 323K के लिए प्रतिनिधित्व करती हैं। यह स्पष्ट था कि लोपिनवीर दवा की सांद्रता बढ़ने से संक्षारण की दर में कमी आई, जबकि सतह कवरेज क्षेत्र (A) और संक्षारण अवरोधक दक्षता का प्रतिशत (%IE) बढ़ गया।

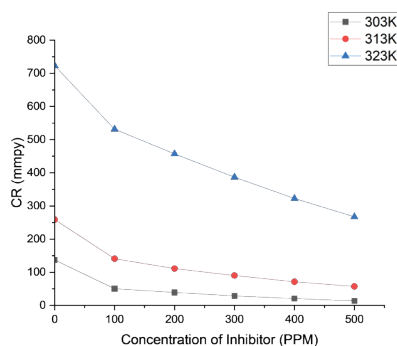
इसलिए, परिणामों से निष्कर्ष निकाला जा सकता है कि अध्ययन की गई दवाएं अम्लीय माध्यम में स्टील के विघटन के लिए प्रभावी अवरोधक थीं। जहाँ अवरोधक की मात्रा बढ़ने के साथ % IE में वृद्धि हुई।

तालिका 1: विभिन्न तापमानों पर 6 घंटे के लिए लोपिनवीर दवा की विभिन्न सांद्रता की अनुपस्थिति और उपस्थिति 2M H₂SO₄ विलयन में हल्के स्टील के लिए संक्षारण प्राचल

विसर्जन काल	अवरोधक की सांद्रता (पीपीएम)	303 K		313K		323K	
		संक्षारण दर (CR) (mmpy)	अवरोधक दक्षता (% IE)	संक्षारण दर (CR) (mmpy)	संक्षारण अवरोधक दक्षता (% IE)	संक्षारण दर (CR) (mmpy)	(%) IE
6 घंटे	खाली	137.26	-	258.89	-	723.12	-
	100	50.59	63.14	140.98	45.55	531.55	26.49
	200	39.06	71.54	111.22	57.04	457.16	36.78
	300	28.64	79.13	90.39	65.09	386.85	46.50
	400	20.83	84.82	71.42	72.41	322.50	55.40
	500	13.76	89.97	57.28	77.87	267.45	63.01



चित्र 1: 2M H₂SO₄ घोल में अलग-अलग तापमान पर अवरोधक (पीपीएम) के रूप में अवधिपर लोपिनवीर दवा की सांद्रता और हल्के स्टील की संक्षारण अवरोधक दक्षता (%IE)



चित्र 2: 2M H₂SO₄ घोल में अलग-अलग तापमान पर अवरोधक (पीपीएम) के रूप में लोपिनवीर दवा की सांद्रता और हल्के स्टील की संक्षारण दर (mmpy)

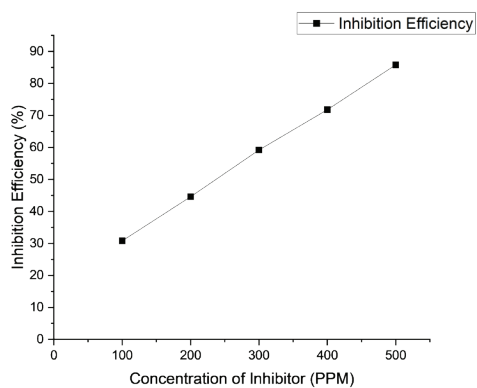
तापमापीय विधि

तापमापीय माप तकनीक [13] का उपयोग 500 पीपीएम पर लोपिनवीर दवा की उपस्थिति में $2M H_2SO_4$ में हल्के स्टील के संक्षारण के लिए अभिक्रिया संख्या (RN) निर्धारित करने के लिए किया गया था, जिसके परिणामस्वरूप अभिक्रिया संख्या (RN) का मान 0.538 था। लोपिनवीर

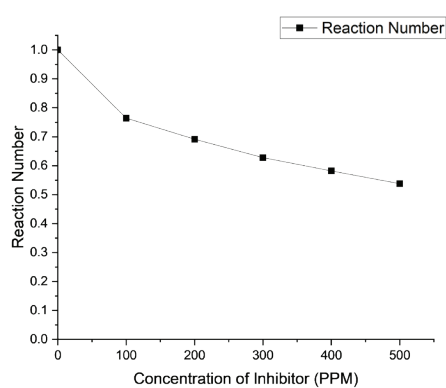
दवा की अलग-अलग सांद्रता जोड़ने पर, अभिक्रिया संख्या (RN) का मान 0.764 से $0.538 ^\circ C$ /मिनट की सीमा के भीतर कम हो गया। अभिक्रिया संख्या (RN) के मान में कमी संक्षारण अवरोधक की दक्षता में वृद्धि को दर्शाती हैं। लोपिनवीर दवा की सांद्रता बढ़ने के साथ अभिक्रिया संख्या (RN) में कमी से दवा की H_2SO_4 में हल्के स्टील के क्षरण को रोकने की क्षमता का पता चलता है।

तालिका 2: $30^\circ C$ पर $2M H_2SO_4$ विलयन में हल्के स्टील के लिए अवधिपार लोपिनवीर दवा की विभिन्न सांद्रता की अभिक्रिया संख्या (R.N.) और निरोधक क्षमता (%IE)

अवरोधक की सांद्रता (पीपीएम)	अभिक्रिया संख्या (RN)	संक्षारण अवरोधक दक्षता %IE
खाली	1	-
100	0.764525994	30.8
200	0.691562932	44.6
300	0.628140704	59.2
400	0.582072177	71.8
500	0.538213132	85.8



चित्र 3: अवरोधक (पीपीएम) के रूप में अवधिपार लोपिनवीर दवा की सांद्रता और $2M H_2SO_4$ विलयन में हल्के स्टील की (%IE) संक्षारण अवरोधक दक्षता



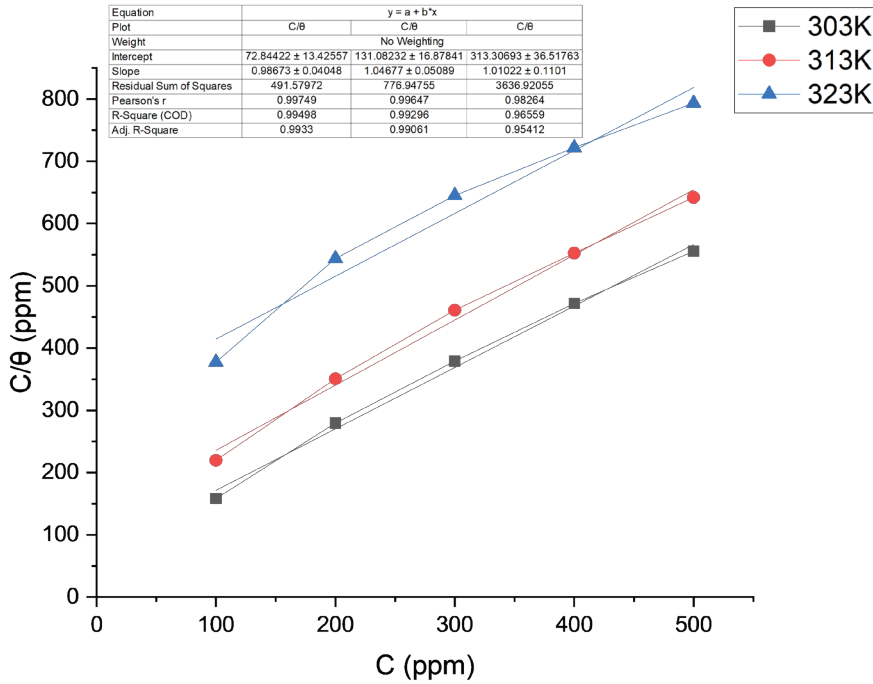
चित्र 4: अवरोधक (पीपीएम) के रूप में अवधिपार लोपिनवीर दवा की सांद्रता और $2M H_2SO_4$ समाधान में हल्के स्टील की प्रतिक्रिया संख्या

संक्षारण निरोधक की प्रक्रिया को अधिशोषण के आधार पर समझा जा सकता है [14,15]। इस अध्ययन में, अवधिपर लोपिनवीर की विभिन्न सांद्रता (C) के लिए सतह कवरेज (θ) मूल्यों की गणना वजन घटाने के डेटा का उपयोग करके की गई थी। परिणामी डेटा का ग्राफिक रूप से विश्लेषण log C / θ बनाम log C को प्लॉट करके

किया गया था। लैंगमुइर अधिशोषण समतापी वक्र डेटा को अच्छी तरह से फिट करने के लिए पाया गया था, जिसका R² का मान 1 के करीब था। लैंगमुइर समतापी वक्र समीकरण द्वारा दिया गया है (समीकरण 6) [16, 17]:

$$\log C/\theta = \log C - \log K \dots\dots\dots(6)$$

जहां K मोलर अधिशोषण गुणांक है।



चित्र 5: विभिन्न तापमानों में हल्के स्टील कूपन पर लोपिनवीर का लैंगमुइर अधिशोषण समतापी वक्र

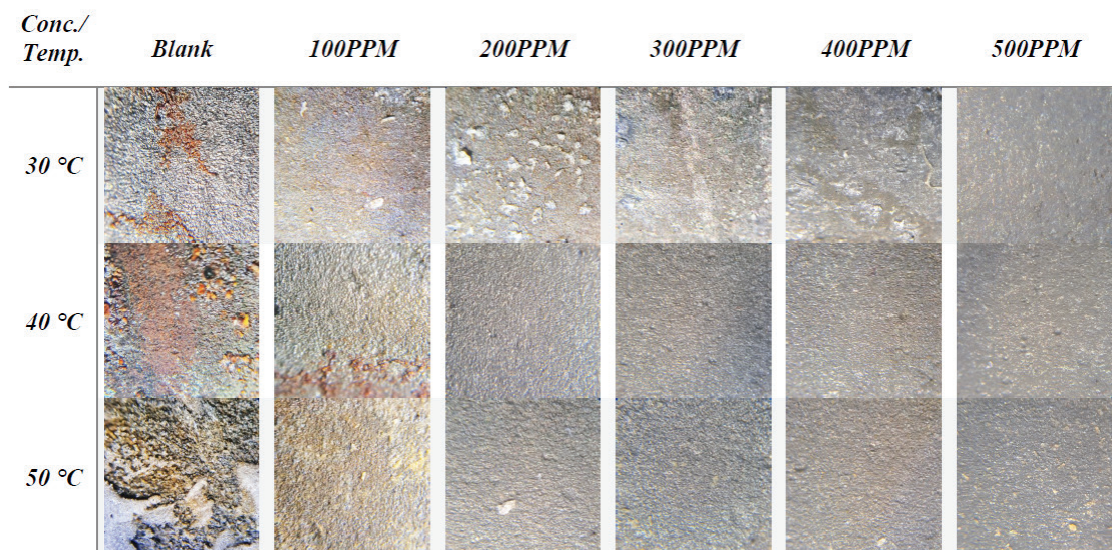
किसी धातु की सतह पर अवरोधक अधिशोषण की प्रकृति उसके अधिशोषण की मुक्त ऊर्जा से निर्धारित होती है। लगभग -20 kJ/mol या इससे कम का ΔG मान भौतिक अधिशोषण को इंगित करता है, जो आवेशित अणुओं और आवेशित धातु सतहों के बीच इलेक्ट्रोस्टैटिक आकर्षण के कारण होता है। दूसरी ओर, रसायन अवशोषण तब होता है जब कार्बनिक अणुओं और धातु की सतह के बीच चार्ज का स्थानांतरण होता है, जिसके परिणामस्वरूप एक समन्वय बंधन बनता है, और यह तब होता है, जब ΔG मान -40 kJ/mol या अधिक होता है [13,18]। मुक्त ऊर्जा का मान समीकरण (7) का उपयोग करके प्राप्त किया गया।

$$\Delta G_{ads}^0 = -RT \ln(10^6 K_{ads}) \dots\dots\dots(7)$$

ΔG⁰_{ads} का परिकलित मान -24.54 से -26.82 तक था, जो रासायनिक अधिशोषण का सुझाव देता है।

सतही परीक्षण

भारतमक विश्लेषण के बाद, प्रत्येक कूपन की सतह विज्ञान की जांच की गई और 10X आवर्धन के साथ एक ऑप्टिकल सूक्ष्मदर्शी का उपयोग करके चित्रित किया गया। कूपन को दिन के प्रकाश में रखा गया, और उन्हें प्रकाश से रोशन करके छवियों को लिया गया।



चित्र 6: 303, 313 और 323 K तापमान पर लोपिनवीर की अलग-अलग सांद्रता के साथ 2M H₂SO₄ में डुबोए गए हल्के स्टील कूपन की ऑप्टिकल सूक्ष्म छवियां, 10X आवर्धन पर ली गईं।

निष्कर्ष

इस अध्ययन में परिणामों से संकेत मिलता है कि अवधिपार लोपिनवीर सल्फ्यूरिक एसिड में हल्के स्टील पर कुशल संक्षारण अवरोधक गुण प्रदर्शित करता है और लैंगमुइर अधिशोषण समतापी वक्र को संक्षारण निरोधक घटना

का विश्लेषण करने के लिए उपयुक्त मॉडल पाया गया। इसलिए, संक्षारण अवरोधकों के रूप में लोपिनवीर जैसी अवधिपार दवाओं का उपयोग संभावित रूप से नए संक्षारण अवरोधकों के विकास को नयी दिशा दे सकता है, साथ ही साथ पर्यावरण प्रदूषण और अपशिष्ट उत्पादन को कम करने में भी योगदान दे सकता है।

शोध पत्र में प्रयुक्त अंग्रेजी शब्दों की समानार्थक हिंदी शब्दावली

Alphabetically sorted terminology in English	वर्णमाला अनुक्रमित हिंदी शब्दावली
Corrosion	संक्षारण
Expired	अवधिपार
Gravimetric analysis	भारात्मक विश्लेषण
Inhibitor	अवरोधक
Isotherm	समतापी वक्र
Reaction number	अभिक्रिया संख्या
Thermometric analysis	तापमापीय विश्लेषण

सन्दर्भ:

- [1] N. Y. Abu-Thabit and A. S. H. Makhoulf Hand, Nanoceramic Nanocomposite Coatings Mater. 515 (2015)
- [2] N. Vaszilcsin, V. Ordodi and A. Borza, Int. J. Pharm., 431: 241 (2012)
- [3] R.K. Pathak and P. Mishra, International Journal of Science and Research, 5: 671-677 (2016)
- [4] J. B. Muhamad and W. S. Carla, Indones. J. Chem., 21(5): 1316 – 1336 (2021)
- [5] R. S. Cvetkovic and K. L. Goa, Drugs, 63: 769 (2003)
- [6] S Joshi, J Parkar, A Ansari, A Vora, D Talwar, M Tiwaskar, S Patil and H Barkate, Int. J. Infect. Dis. 102: 501 (2021)
- [7] G.D. Killi, R. K. Maddinapudi, S. K.r Dinakaran, A. Harani, Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences, 50(2): 301-307 (2014)
- [8] O. Onukwuli, M. Omotioma and I. Obiora-Okafo, Port. Electrochim. Acta, 38: 19 (2020)
- [9] N. O. Obi-Egbedi and I. B. Obot, Corros. Sci., 53: 263 (2011)
- [10] D. Zinad, M. Hanoon, R. Dawood, S. Ibrahim, A. Al-Amiery, M. Takriff and A. Kadhum, Int. J. Corros. Scale Inhib. 9: 228 (2020)
- [11] J. Bhawsar, P. K. Jain and P. Jain, Alexandria Eng. J., 54: 769 (2015)
- [12] P. Dohare, D. S. Chauhan, A. A. Sorour and M. A. Quraishi, Mater. Discov. 9: 30 (2017)
- [13] J. Bhawsar, Jain, P. Iran. J. Chem. Chem. Eng., 41(10): 3365-3376 (2022)
- [14] A. Singh, K. R. Ansari, D. S. Chauhan, M. A. Quraishi, H. Lgaz and I.M. Chung, J. Colloid Interface Sci., 560: 225 (2020).
- [15] M. Bobby Kannan, M. Rahuma, H. Khakbaz and R. Melchers, Waste Manag., 145: 38 (2022)
- [16] A. M. El-Kot and A. R. Ismail, Asian J. Chem., 3: 432 (2010)
- [17] E.E. Ebenso, N.O. Eddy, A.O. Odiongenyi, Afr. J. Pure Appl. Chem., 2: 107-115 (2008)
- [18] H. Jafari, I. Danaee, H. Eskandari, M. Rashvand Avei, Industrial & Engineering Chemistry Research, 52(20): 6617–6632 (2013).