Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

Research Paper

Feasibility of Using White Fig Sap (Ficus carisa) and Sidr Honey Synergistically as Corrosion Inhibitors for Ancient Alloys Composed of Cu-10Sn

Vahid Pourzarghan *[1], **Hamidreza Bakhshandefard**[2], **Afshin Ebrahimi**[3]

1. Ph.D. Graduate in the Conservation of Cultural Heritage, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Art, Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Department of Conservation and Restoration, Faculty of Conservation and Restoration, Isfahan University of Art, Isfahan, Iran
3. Faculty Member of the Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Research Center for Conservation and Restoration of Historical Works, Tehran, Iran

* Correspondence: Vahidpourzarghan@gmail.com

Abstract

Bronze disease is one of the most significant threats affecting historical bronzes. Neglecting bronze artifacts suffering from this condition can lead to their destruction and obliteration. Consequently, numerous strategies have been proposed in the field of bronze artifact conservation. However, over time, these methods have either caused further damage to the objects or have been less favored due to their excessively high costs. One of the most important methods proposed for treating bronze disease is the use of corrosion inhibitors. Nevertheless, considering the toxicity and carcinogenicity of these substances, the issue can be partially addressed by replacing them with natural materials. The aim of this research is to investigate the feasibility of using eco-friendly inhibitors, specifically white fig sap (Ficus Carica) and natural honey, synergistically on a Cu-10Sn alloy in the presence of a 0.5 M sodium chloride corrosive medium. Based on potentiometric measurements, the corrosion rate when using these inhibitors synergistically at a concentration of 1800 ppm is 14.6, indicating an inhibition efficiency of 50%. This inhibition is characterized as anodic polarization type. In the weight loss method, the inhibition efficiency was also reported as 50% in the presence of the corrosive medium at the fourth week. SEM-EDX analysis showed a reduction in the amount of chloride corrosion products. However, the most significant factor observed in the scanning electron microscope images is pitting corrosion and severe phase separation in the matrix of these simulated ancient alloys.

Keywords: Cu-10Sn alloy, Synergistic, Inhibitor, White fig sap, Natural honey, Potentiometry.

Received: 2024/11/4
Revised: 2025/3/19
Accepted: 2025/4/28
Published: 2025/6/30

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Introduction

Numerous methods have been proposed for the conservation and restoration of historical bronzes (Dillman, 2007; Price et al., 1996; Otieno-Alego & Neath, 1998; Ellingson et al., 2004; Weil, 1980; Eggert, 1994; Brostoff & Delari, 1998; Mourey, 1996; Mourey & Gzerwinski, 1993). Corrosion inhibitors are generally defined as substances that, at appropriate concentrations, reduce the rate of chemical reactions. These materials can prevent the growth of biological agents and halt various physiological processes (Groysman, 2010). In this context, numerous organic inhibitors have been evaluated for the protection of historical artifacts (Faltermeier, 1999). However, one of the critical issues associated with these inhibitors is their toxicity and carcinogenic properties (Dillman, 2007). Notably, organic inhibitors play a significant role in controlling bronze disease in both industrial applications and cultural heritage conservation (Scott, 2002). Benzotriazole, with the formula $C_6H_5N_3$ and a nitrogenous compound (Faltermeier, 1999), has been investigated to overcome such challenges. Additionally, the effectiveness of natural inhibitors, including natural honey, has been explored for their application on historical bronzes (Pourzarghan, 2010). The use of Salvia officinalis extract in a 0.5 molar sodium chloride corrosive environment has

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

also been studied (Vatankhah et al., 2011). Furthermore, green tea extract has been investigated as a corrosion inhibitor on ancient copper-based alloys (Vatankhah et al., 2013). This research focuses on evaluating the inhibitive efficacy of white fig sap on the Cu-10Sn alloy.

Materials and Methods

The working electrode with Cu-10Sn composition was prepared by casting and its composition confirmed by Quantumeter analysis; rod specimens (10 cm × 1 cm) were polished using SiC papers from P400 to P5000. Electrochemical measurements used a SAMA 500 potentiostat in a standard three-electrode cell (platinum counter, SCE reference, Cu-10Sn working electrode). LSV (Tafel) was applied to determine inhibition efficiency with potential limits E1 = −0.4 V and E2 = 0.05 V vs E_{corr}, scan rate 0.001 V/s, and 20 min immersion prior to measurement, following ASTM G5. Weight-loss tests employed circular coupons (1 cm diameter, 2 mm thick) immersed in 0.5 M NaCl with and without synergistic inhibitors (honey and white fig sap) at 1000–1800 ppm; weights were recorded weekly for four weeks. Accelerated corrosion used a humid chamber (RH 95% ± 2%, 25–30°C) with 0.5 M NaCl salt spray per ASTM G85/ISO 9227 for three weeks. Surface characterization was performed by SEM-EDX (Philips XL30).

Results and Discussion

The composition of the fabricated Cu−10Sn alloy was verified using quantometer analysis, confirming it matched the target ancient composition (Table 1). For the corrosion inhibition study, white fig sap and Sidr honey were used as natural inhibitors. Fig sap solutions were prepared at concentrations of 1000, 1200, 1400, 1600, and 1800 ppm in a 0.5 M sodium chloride corrosive medium. Sidr honey was used at a fixed concentration of 1800 ppm for synergistic tests. Potentiodynamic polarization tests were conducted, with curves color-coded as follows: black for the corrosive medium alone, red for fig sap at various concentrations, and blue for the synergistic mixture of fig sap and honey (Figure 2). The results showed a positive shift in corrosion potential (E_{corr}) towards more anodic values with the addition of inhibitors, particularly for the synergistic system. For instance, in the system with 1800 ppm of both inhibitors, Ecorr shifted to -209 mV compared to -243 mV for the blank.

Inhibition efficiency (IE%) was calculated from corrosion current density using the standard formula: $IE\% = [(I^{o}_{_corr} - I_{_corr}) / I^{o}_{_corr}] \times 100$, where $I^{o}_{_corr}$ and $I_{_corr}$ are corrosion current densities without and with inhibitor, respectively. Polarization resistance (Rp) and corrosion rate (CR) were also determined according to ASTM G102-98. The data (Tables 2 & 3) indicated that inhibition efficiency generally increased with inhibitor concentration, reaching a maximum of 49% for the 1800 ppm synergistic mixture (Figure 3).

The classical weight loss method was employed over four weeks to corroborate the electrochemical findings. The inhibition efficiency from weight loss was calculated as $IE\% = [1 - (\Delta W_{_inhibitor} / \Delta W_{_blank})] \times 100$. The results (Table 4, Figure 4) showed variable but supportive trends, confirming the inhibitory action. To accelerate corrosion and examine surface morphology, samples were placed in a humidity chamber (95±2% RH, 25-30°C) with salt spray, following ASTM G85 and ISO 9227 standards. Subsequently, Scanning Electron Microscopy (SEM) and Energy Dispersive X-ray (EDX) analysis were performed.

SEM images of the control sample revealed monoclinic structures characteristic of chloride corrosion products like atacamite and paratacamite (Figures 5a, 5b). EDX analysis confirmed high chlorine content on this surface (Figure 6). For samples treated with the synergistic inhibitor, EDX showed reduced chlorine presence (Figure 7). However, the corresponding SEM images (Figures 5c, 5d) revealed that this combination, despite improving electrochemical parameters, induced significant pitting corrosion and phase separation on the alloy surface.

Conclusion

This study investigated the synergistic combination of natural honey and white fig sap as a green corrosion inhibitor for Cu-10Sn bronze alloy in a 0.5 M NaCl environment. Building upon previous research where honey alone showed approximately 80% inhibition efficiency at 1800 ppm, the blend was evaluated across a concentration range of 1000 to 1800 ppm.

Potentiodynamic polarization and weight-loss methods consistently indicated an inhibition efficiency of around 50% for the synergistic mixture at 1800 ppm, with a corresponding corrosion rate of 14.6 mpy. While EDX analysis confirmed a reduction in surface chloride content on treated coupons, SEM imaging revealed a critical drawback: the inhibitor combination induced severe localized damage, specifically extensive pitting corrosion and phase segregation on the alloy surface.

Therefore, despite showing moderate inhibitory performance in electrochemical tests, the fig sap and honey synergy ultimately failed to prevent corrosion and instead promoted damaging localized attack under the tested conditions. This underscores the necessity for more extensive investigation into natural inhibitors. Future work should focus on exploring synergistic combinations of fig sap with other natural extracts, such as thyme honey, beetroot juice, or saffron extract, to identify more effective and non-damaging formulations for archaeological metal conservation.

Author Contributions: V.H. was responsible for funding acquisition, preparation of laboratory materials (including electrode fabrication), instrumental analysis, data processing and analysis, and the writing of the original draft. H.B. and A.A. conducted the critical review, reading, and editing of the manuscript.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: All data generated or analyzed during this study are included in this published article.

Acknowledgments: The authors wish to express their sincere gratitude to Dr. Vatankhah for his consultation on this project. The authors are also grateful to the two anonymous reviewers for their constructive comments and suggestions, which significantly improved the clarity and content of this manuscript.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflicts of interest.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

امکان سنجی استفاده از شیره انجیر سفید (Ficuse caric) و عسل کنار به‌صورت هم‌افزا به‌عنوان بازدارنده خوردگی در آلیاژهای باستانی با درصد Cu-10Sn

وحید پور زرقان[1*]، حمیدرضا بخشنده‌فرد[2]، افشین ابراهیمی[3]

۱. دانش آموخته دکتری حرفه‌ای رشته مرمت آثار تاریخی دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
۲. دانشیار گروه حفاظت و مرمت آثار تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
۳. عضو هیات علمی پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: Vahidpourzarghan@gmail.com

چکیده

یکی از مهم‌ترین آسیب‌های وارده به برنزهای تاریخی، بیماری برنز است. بی‌توجهی به آثار مفرغی که دچار بیماری برنز شده‌اند، باعث تخریب و نابودی شی برنزی می‌شود. از این‌رو در بحث حفاظت از آثار برنزی، راهکارهای بسیاری ارائه شده است. با اینحال این روش‌ها به مرور دچار آسیب بیشتر به این اشیا شده و یا به دلیل هزینه بسیار بالا، کمتر مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهم‌ترین روش‌هایی که برای درمان بیماری برنز ارائه شده است، استفاده از بازدارنده‌های خوردگی است. اما با توجه به سمیت و سرطان‌زا بودن این مواد، می‌توان با جایگزین کردن مواد طبیعی، تا حدودی بر این مشکل فایق آمد. هدف از این مقاله، امکان‌سنجی استفاده از بازدارنده‌های دوستدار محیط زیست شامل شیره انجیر سفید (Fisuse Caric) و عسل طبیعی به‌صورت هم‌افزا بر روی آلیاژی با ترکیب Cu-10Sn در حضور محیط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار است. با توجه به بررسی‌های انجام شده با دستگاه پتانسیومتری، نرخ خوردگی در زمان استفاده از این بازدارنده‌ها به‌صورت هم‌افزا در غلظت ۱۸۰۰ppm، برابر با ۱۴/۶ است که قدرت بازدارندگی ۵۰ درصد را نشان می‌دهد و دارای بازدارندگی از نوع پلاریزاسیون آندی است. در روش کاهش وزن نیز قدرت بازدارندگی در هفته چهارم در حضور محیط خورنده، ۵۰ درصد گزارش شده است. در بررسی‌های SEM-EDX، مقدار محصولات خوردگی کلریدی کاهش یافته است، اما مهمترین عاملی که در تصاویر میکرسکوپ الکترونی روبشی مشاهده شده است، خوردگی حفره‌ای (Pitting Corrosion) و جدایش فازی شدید در زمینه این آلیاژهای شبه باستانی است.

دریافت: ۱۴۰۳/۸/۱۴
آخرین اصلاح: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹
پذیرش: ۱۴۰۴/۲/۸
انتشار: ۱۴۰۴/۴/۹

Copyright: ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

واژگان کلیدی: آلیاژ Cu-10Sn، هم افزا، بازدارنده، شیره انجیر سفید، عسل طبیعی، پتانسیومتری.

۱. مقدمه

آسیب‌های ناشی از خوردگی را می‌توان مهمترین آسیب در آثار فلزی به شمار آورد. در طول تاریخ روش‌های مختلفی برای جلوگیری از خوردگی فلز بکار گرفته شده است که شامل استفاده از موم‌ها، پوشش دهنده‌ها می‌باشد (Dillman 2007, Price et al, 1996. Otieno-alego &Neath, 1998. Ellingson et al, 2004. Weil1980. Eggert 1994. Brostoff & delari, 1998. mourey,1996. Mourey & Gzerwiniski, 1993). با گذشت زمان و توسعه در زمینه‌ی خوردگی ترکیباتی به‌عنوان بازدارنده در راستای کند کردن فرآیندهای خوردگی فلزات معرفی گردید. بازدارنده‌های آلی با ترکیبات مختلفی مورد ارزیابی قرار گرفته است (Faltermeier, 1999). مشکل عمده این ترکیبات سمی و سرطان‌زا بودن آن‌هاست (Dillman, 2007). برای برطرف ساختن چنین مشکلاتی شاید ترکیبات جدید با کارآیی بهتری لازم باشد. ترکیبات طبیعی (مانند گونه‌های مختلف گیاهی، آمینو

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

اسیدها و عسل) به‌نظر می‌رسد هم از نظر اقتصادی، و هم محیط زیست و دردسترس بودن ویژگی‌های یک بازدارنده‌ی خوب را داشته باشد (Faltermeier 1995, 122). برای کاربرد و استفاده این مواد به‌عنوان بازدارنده‌های طبیعی بر روی آثار فلزی تاریخی لازم است بازده بازدارندگی و تاثیرات مختلف این مواد مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد. یکی از این بازدارنده‌های طبیعی عسل است که مورد آزمایش وارزیابی قرار گرفته است (Pourzarghan, 2010). در راستای حفاظت از آثار برنزی یکی از مناسب‌ترین روش‌های حفاظتی، کنترل شرایط حفاظتی است. که برای تامین چنین سیستمی هزینه بسیار زیادی لازم است. از این رو استفاده از بازدارنده‌ها در متن حفاظت آثار برنزی جهت جلوگیری از بیماری‌های برنز، نقش مهمی را ایفا می‌کند (Pourzarghan, 2010).

بازدارنده‌ها به طور عمومی موادی هستند که در غلظت‌های مناسب، میزان واکنش‌های شیمیایی را کاهش می‌دهند. این مواد می‌توانند از رشد عوامل بیولوژیکی جلوگیری کنند و باعث متوقف ساختن فرآیندهای فیزیولوژیکی شوند. بازدارنده از کلمه‌ی لاتین inhibere به‌معنی مانع شدن، جلوگیری کردن یا حفظ کردن می‌باشد. بازدارنده در غلظت‌های خیلی کم در محیط‌های خورنده باعث به تعویق انداختن خوردگی فلزات می‌شود. غلظت‌های بازدارنده‌های خوردگی می‌توانند از 1ppm تا 1500 ppm باشد. این مواد می‌توانند به صورت جامد، مایع و یا گاز باشند و در محیط‌های بسته، گازی و آبی بکار روند (Groysman, 2010). از مهم‌ترین بازدارنده‌ها در حوزه صنعت و در حوزه میراث فرهنگی، با ترکیبات آلی، نقش بسیار مهمی در کنترل بیماری برنز (Scott, 2002) را دارند، بنزو تری آزول با فرمول C6H5N3 با ترکیب نیتروژنی (Faltermeier, 1999) که درای یک ترکیب حلقوی است و AMT با ترکیبات گوگردی (Ganorkar, 1988). از مهمترین بازدارنده‌ها با قدرت بالای ۹۸٪ بازدارندگی هستند (Faltermerier 1999, 123) که قدرت بازدارندگی این نوع بازدارنده‌ها بر اساس ترکیب ترکیبات فسفری >گوگردی > ترکیبات نیتروژنی > ترکیبات اکسیژن‌دار آنها افزایش می‌یابد. اما به هر حال از مهمترین آسیب این بازارنده‌ها برای محیط زیست و جانداران، سمیت و سرطلان زا بودن آنهاست. در این راستا در چند سال اخیر توجه زیادی به بازدارنده‌های دوستار محیط زیست شده است. یکی از این بازدارنده‌ها سدیم کربوکسیلات‌ها با زنجیرهای طولی کربنی بعنوان بازدارنده خوردگی مورد مطالعه قرار گرفته است. این ترکیب بر روی فلزات زیادی مثل، مس، آهن، روی، آلیاژهای منیزم و سرب آزمایش شده است. ترکیبات این ماده سمی نیستند و از اسیدهای چرب ، روغن‌های گیاهی مثل (کولزا، گل آفتاب گردان، درخت خرما)، مشتق شده‌اند همچنین، چندتا از فرمول‌های ضدخورندگی مبنی بر سدیم کربوکسیلات بافرمول $CH_3(CH_2)n\text{-}2COONa$، مشخص شده است. امروزه از آن به‌عنوان حفاظتی موقت بر روی قطعه‌های فلزی در انبار کردن، حمل و نقل در صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. این باردارنده با ۸۵٪ قدرت بازدارندگی مورد ارزیابی قرار گرفته است (Dillman, 2007; 325). از بازدارنده‌های طبیعی دیگر استفاده از عسل طبیعی ات که در سال ۱۹۹۸ میلادی توسط ای.وای . ال–اتری از بخش شیمی دانشگاه بُن‌ها مصر مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش قابلیت بازدارندگی عسل طبیعی روی خوردگی مس در محلول سدیم کلرید ۰/۵ مولار، بوسیله‌ی لندازه‌گیری کاهش وزن و تکنیک پلاریزاسیون کاتدی بررسی شد و مشاهده گردید که بازده این بازدارنده با افزایش غلظت آن افزایش می‌یابد (El-Etri, 1998). بررسی و آزمایش‌هایی بوسیله‌ی ین جین یی در می ۲۰۰۴ میلادی در دانشگاه منچستر برای تعیین بازدارندگی ترکیبات آلی مثل عسل و رزماری (اکلیل کوهی) انجام گرفت. این آزمایش‌ها بر روی چهار فلز، آلومینیوم، مس، آهن و روی در محلول سدیم کلرید و سدیم سولفات انجام شد. بررسی‌های الکتروشیمیایی بوسیله دستگاه پتاسیودینامیک نشان داد که شیره‌ی رزماری زمانیکه فلز روی در محلول سدیم کلرید پلاریزه شده باشد مقداری تاثیر بازدارندگی کاتدی از خود نشان می‌دهد (Yee, 2004a-b). آزمایش‌ها دیگری در سال ۲۰۰۸ میلادی بر روی عسل طبیعی و شیره‌ی ترب سیاه انجام گرفت و به‌عنوان بازدارنده قلع معرفی گردید. در این تحقیق مشخص گردید که بازده عسل اقاقیا کمتر از عسل بلوط بوده است و با اضافه کردن شیره‌ی ترب سیاه به هر دو عسل بازده آن‌ها تغییر پیدا کرده است. در این بررسی که برای استفاده از حفاظت از قلع در قوطی‌های کنسروی در دانشگاه جی. جی استروس‌مایر مورد بررسی قرار گرفت (Radojčić, 2008). در زمینه حفاظت آثار برنزی تحقیق‌های کمی صورت گرفته است. همچنین تحقیق دیگری توسط پور زرقان و دیگران بر روی بازدارندگی عسل میمند فارس بر روی آلیاژهای شبیه باستانی با ترکیب Cu-10Sn مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مطلوب با استفاده از دستگاه پتانسیومتری، روش کلاسیک کاهش وزن و محوطه رطوبت ساز مورد ارزیابی قرار گرفت و قدرت بازدارندگی در این آلیاژ به ۸۱٪ محاسبه گردید (Pourzarghan et al, 2010, 2017). بررسی دیگری بر روی میوه اقاقیا (Robinia pseudoacacia) بر روی آلیاژ شبه باستانی با ترکیب Cu-10Sn مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده، حاصل از دستگاه پتانسیو متری و روش کلاسیک کاهش وزن قدرت بازدارندگی این بازدارنده را بالای ۹۰٪ نشان دادند . اما بررسی‌های میکرسکوپ الکترونی SEM نشان از خوردگی بین دانه‌ای در این نوع آلیاژ می‌باشد (Pourzarghan et al, 2021). همچنین استفاده از عصاره گیاه Salvia Officinalis در محیط خورنده ۰/۵ مولار سدیم کلرید مورد بررسی قرار گرفته است (وطن‌خواه و دیگران، ۱۳۹۰). از دیگر بازنداره‌های خوردگی که برروی آلیاژهای پایه مسی باستانی مورد بررسی قرار گرفت استفاده از

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

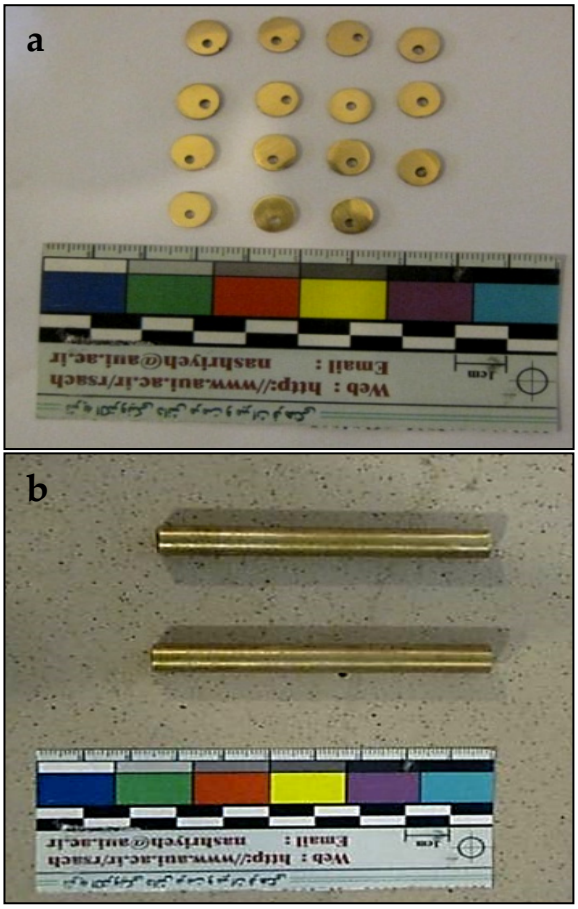
عصاره چای سبز است (وطن‌خواه و دیگران، ۱۳۹۰). در این تحقیق به بررسی قدرت بازدارندگی شیره انجیر سفید برروی آلیاژ Sn-10Cu پرداخته شده است.

در این مقاله برای ارزیابی بازدارندگی همزمان شیره انجیر سفید و عسل طبیعی از روش‌های زیر برای امکان‌سنجی قدرت بازدارندگی این دو ماده دوستار محیط زیست استفاده شده است.

۲. مواد و روش ها

۲-۱-تهیه الکترود کاری با درصد مشابه با آلیاژهای باستانی Cu-10Sn

برای این منظور الکترود کاری به روش ریخته‌گری با درصد(Cu-10Sn) تهیه گردید (Hassairi et al, 2007). درصد ترکیبات این الکترود با روش کوانتومتر مورد آنالیز قرار گرفت. الکترودها به صورت میله‌ای به طول Cm ۱۰و قطر Cm ۱تهیه گردید. سپس با کاغذ سمباده با شماره های ۴۰۰ تا ۵۰۰۰ پولیش و جلا داده شد (شکل ۱، الف و ب).



شکل ۱. کوپن‌های ساخته شده (الف) و الکترود ساخته شده (ب) با ترکیب Cu-10Sn جهت بررسی های الکتروشیمیایی (Pourzarghan et al., 2010)

Figure 1. Fabricated coupons (a) and fabricated electrode (b) with Cu-10Sn composition for electrochemical investigations (Pourzarghan et al, 2010).

۲-۲- استفاده از دستگاه پتانسیومتری

دستگاه مورد استفاده در این آزمایشات، دستگاه پتانسیو استات مدل SAMA 500 Electro Analyzer System، شامل سه الکترود، الکترود کمکی ازجنس پلاتین، الکترود مرجع از نوع کلرید جیوه اشباع (کالومل) و الکترود کاری (نمونه مورد بررسی) می‌باشد. همان‌طور که گفته شد این دستگاه شامل یک منبع تغذیه تولید جریان به صورت dc می‌باشد. در قسمت جلو این دستگاه سه پورت برای اتصال سه الکترود پیل وجود دارد. منبع تغذیه این دستگاه برای نمایش داده‌ها به یک کامپیوتر متصل شده است. قسمت پیل شامل یک ظرف ۱۰۰ میلی لیتر برای محلول الکترولیت و دارای درب پوششی که قسمت‌های خالی بر روی این درب برای وارد کردن الکترودها به داخل ظرف تعبیه شده است. برای بررسی درصد قدرت بازدارندگی از تکنیک Liner Sweep Voltammety (LSV) Tafel plot استفاده گردید. در قسمت پارامتر دستگاه، اختلاف پتانسیل E_1=۰/۴ و E_2 =۰/۰۵ بر حسب ولت تعریف شده است. برای Scan Rate ۰/۰۰۱(V/s) در نظر گرفته شد. زمان غوطه وری قبل از هر اندازه‌گیری ۲۰ دقیقه برای دستیابی به پتانسیل تعادلی در نظر گرفته شد. این آزمایش مطابق با استاندارد (ASTM,G_5) انجام شد (Stern,1958).

۲-۳- استفاده از روش کاهش وزن

برای انجام آزمایش به روش کلاسیک الکترودهای تهیه شده با درصد (Cu-10Sn) به صورت کوپن‌های گرد با قطر ۱سانتیمتر و ضخامت ۲ میلیمتر بریده شدند (شکل ۱، ب) با توجه به آزمایش کاهش وزن، کوپن‌های ساخته شده را در معرض محیط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار و در مجاورت بازدارنده‌ها با غلظت ۱۰۰۰ppm، ۱۲۰۰ ppm، ۱۴۰۰ ppm، ۱۶۰۰ppm تا ۱۸۰۰ ppm از بازدارنده‌های عسل و شیره انجیر سفید قرار داده. و برای هر هفته، از هفته اول تا هفته ۴، کوپن شاهد که در معرض محلول خورنده قرار گرفته، را با کوپنی که در مجاورت محلول باردارنده قرار داشته را بیرون آورده و مقدار تغییرات وزن آن محاسبه خواهد شد.

۲-٤- استفاده از محوطه رطوبت‌ساز

برای تسریع سازی خوردگی، نمونه‌ها به محفظه‌ی رطوبت انتقال یافتند. کوپن‌ها دررطوبت نسبی ۲±۹۵ و دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد قرار داده شدند. نمونه‌ها مطابق با استانداردهای (ASTM,G_{85}) و (ISO,9227) تحت اسپری کلرید سدیم M ۰/۵ قرار گرفتند.

بعد از سه هفته نمونه‌ها از محوطه‌ی رطوبت ساز بیرون آورده شدند و برای ارزیابی تاثیر بازدارنده بر روی سطوح کوپن‌ها و تهیه مقطع عرضی، مورد بررسی قرار گرفتند.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

۲-۵- استفاده از آنالیز SEM-EDX

در این آزمایش برای آنالیز و مهندسی سطوح خورده شده در حضور بازدارنده‌ها از SEM-EDX استفاده شده است. دستگاه SEM بکار رفته ساخت شرکت فیلیپس از کشور هلند و مدل XL30 می‌باشد. در زیر تصاویر SEM مربوط به کوپن‌هایی که به مدت یک ماه در محلول خورنده در حضور و غیاب بازدارنده بوده‌اند نشان داده شده است.

۳. یافته ها و بحث

برای بررسی آلیاژها ساخته شده و اندازه‌گیری درصد وزنی این آلیاژ مطابق با درصدهای باستانی با استفاده از دستگاه کوانتومتر مورد بررسی قرار گرفت و درصد آلیاژ ساخته شده مورد ارزیابی قرار گرفت (جدول ۱).

جدول ۱. درصد وزنی ترکیبات آلیاژ ساخته شده با استفاده از دستگاه کوانتومتر

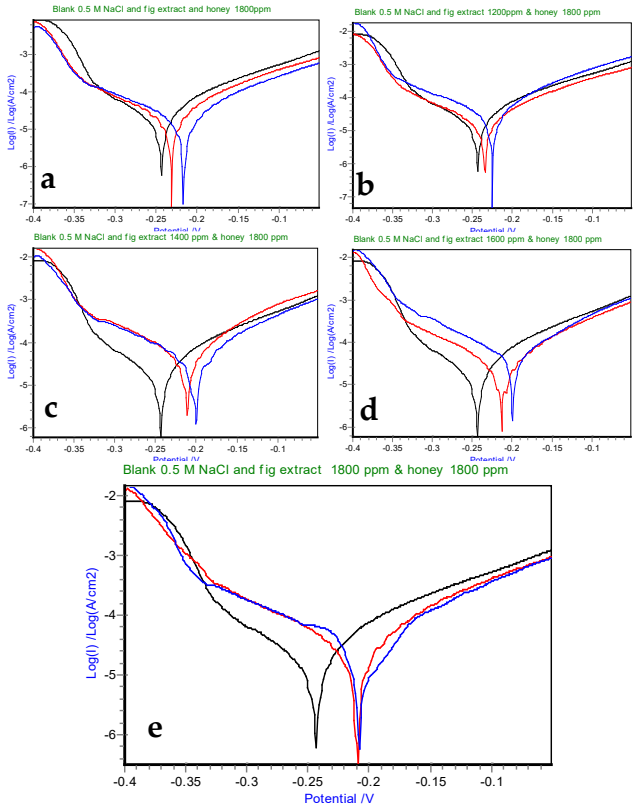
Table 1. Weight percentage composition of the fabricated alloy as determined using a quantometer.

Element	Cu	Sn	Si	S
Percent	89/82	9/99	0/07	0/021

۳-۱-تهیه محلول اولیه از شیره‌ی انجیر برای آزمایش‌ها با دستگاه پتانسیو متری و روش کاهش وزن

در این تحقیق، شیره انجیر سفید از بخش تحقیقات کشاورزی اصفهان تهیه گردید، برای تهیه محلول بازدارنده در محصط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار، شیره انجیر را به حجم ppm ۱۰۰۰، ppm ۱۲۰۰، ppm ۱۴۰۰، ppm۱۶۰۰ تا ppm۱۸۰۰ ساخته و در محیط محلول خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار به حجم ml ۱۰۰ رسانده و هر کدام را به‌طور جداگانه، با دستگاه پتانسیومتری مورد ارزیابی قرار گرفت. برای هر غلظت ppm، ۳ بار با دستگاه پتانسیومتری در محیط خورنده مورد بررسی قرار گرفت. که نمودارها در منحنی‌های پلاریزاسیون به رنگ قرمز نشان داده شده است.

شیره‌ی انجیر شامل ترکیبات پکتین، مقداری شکرهای بی‌اثر یعنی آروبینوس، گلاکتوز و رهامنوس می‌باشد. همچنین پلی ساکاریدهای اسیدی در شیره‌ی انجیر وجود دارد که گفته می‌شود پلی ساکاریدهای خطی شامل α(1-4)-D-galacturonic اسید، باقیمانده و مشتق ۲- رامنوس می‌باشد (Arvaniti et al, 2019). ترکیب دیگر برای بررسی قدرت بازدارندگی شیره انجیر به‌صورت هم افزا، استفاده از عسل طبیعی است (Pourzarghan et al, 2017). عسل محصول طبیعی و غلیظ شده آلی با یک کمپلکس پیچیده شکر است. که شامل میزان کمی از دیگر مواد تشکیل دهنده‌ی آن مثل ماده‌های معدنی، پروتیین‌ها، ویتامین‌ها، اسیدهای آلی، فلاونیدها، اسیدهای فنولیک و آنزیم‌ها می‌باشد (Bertonclj & Jamnik, 2007). عسل طبیعی مورد نیاز نیز از بخش تحقیقات کشاورزی اصفهان تهیه گردید. در بررسی روش دستگاهی پتانسیومتر منحنی سیاه‌رنگ مربوط به محیط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار، نمودار قرمز رنگ مربوط به شیره انجیر در محیط خورنده، در غلظت‌های مختلف ppm ذکر شده و نمودار آبی رنگ مربوط به شیره انجیر و عسل طبیعی به‌صورت هم‌افزا در غلظت‌های ppm۱۸۰۰عسل طبیعی (Pourzarghan et al, 2017) در شکل ۲، منحنی‌های (الف تا ه) آورده شده است.



شکل ۲. منحنی پلاریزاسیون تافل با خطوط مشکی مربوط به محیط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار، با خطوط قرمز نشان‌دهنده شیره انجیر سفید، آبی منحنی هم‌افزا عسل کنار و شیره انجیر سفید الف) منحنی پلاریزاسیون تافل مربوط به عسل کنار با غلظت ppm۱۸۰۰ و انجیر سفید با غلظت ppm ۱۰۰۰، ب) منحنی پلاریزاسیون تافل مربوط به عسل کنار با غلظت ppm۱۸۰۰ و شیره انجیر سفید با غلظت ppm ۱۲۰۰، ج) منحنی پلاریزاسیون تافل مربوط به عسل کنار با غلظت ppm۱۸۰۰ و شیره انجیر سفید با غلظت ppm ۱۴۰۰، د) منحنی پلاریزاسیون تافل مربوط به عسل کنار با غلظت ppm۱۸۰۰ و شیره انجیر سفید با غلظت ppm ۱۶۰۰، ه) منحنی پلاریزاسیون تافل مربوط به عسل کنار با غلظت ppm۱۸۰۰ و شیره انجیر سفید با غلظت ppm ۱۸۰۰

Figure 2. Tafel polarization curves with black lines representing the corrosive environment of 0.5 M sodium chloride. Red lines indicate white fig sap, and blue lines represent the synergistic curves of Sidr honey and white fig sap. (a) Tafel polarization curve for Sidr honey at 1800 ppm and white fig sap at 1000 ppm; (b) Tafel polarization curve for Sidr honey at 1800 ppm and white fig sap at 1200 ppm; (c) Tafel polarization curve for Sidr honey at 1800 ppm and white fig sap at 1400 ppm; (d) Tafel polarization curve for Sidr honey at 1800 ppm and white fig sap at 1600 ppm; (e) Tafel polarization curve for Sidr honey at 1800 ppm and white fig sap at 1800 ppm.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

در شـــکل‌های ۲، مربوط به نمودارهای پلاریزاســـیون، در نمودار الف) پتانســـیل خوردگی مربوط به محیط خورنده ۲۴۳ mV–، و شـــیره انجیر با پتانسیل خوردگی ۲۳۱ mV– نسبت به پتانسیل مرجع و به‌صورت هم افزار در نمودار آبی رنگ با پتانسیل خوردگی ۲۱۶ mV–، محاسبه شده است که با افت کوچک جریان در شـــاخه آندی و کوچک دیده شـــده اســـت. در نمودارهای ج و د، نیز مانند نمودار های ذکر شـــده اســـت در این دو نمودار پلاریزاسیون پتانسیل خوردگی نسبت به محیط خوردنده به سمت مثبت‌ها تغییر یافته که نمودار آبی رنگ که به‌صـورت هم افزا اسـت با افت ناچیز در شاخه کاتدی دیده می‌شود. در شکل ۲: منحنی پلاریزاسیون ه) نمودار شیره انجیر در غلظت ۱۸۰۰ppm با عسل و شیره انجیر به‌صورت هم افزا با ppm ۱۸۰۰ بر روی یکدیگر قرار گرفته است با پتانسیل خوردگی ۲۰۹ mV–، به سمت مثبت‌ها جابجا شده است در این نمودار نسبت به محیط خورنده، با پتانسیل خوردگی ۲۴۳mV–، نسبت به پتانسیل مرجع ثبت شده است.

۳-۲- محاســـبه بازده بازدارندگی با اســـتفاده از محاســـبات دستگاه پتانسیومتر

برای بدست آوردن درصد بازده بازدارندگی IE% مطابق رابطه‌ی (۱-۲) که در آن I_{corr} دانســـیه‌ی جریان خوردگی با بازدارنده و I^0 دانســـته‌ی جریان خوردگی بدون بازدارنده می‌باشد محاسبه می‌شود.

$$IE=\frac{I^0_{Corr}-I_{Corr}}{I^0_{Corr}}\times 100 \qquad (۱-۲)$$

روش دیگر برای محاســـبه‌ی درصـــد بازده بازدارندگی مطابق رابطه‌ی (۲-۲) که در آن R_p مقاومت پلاریزاســـیون بدون بازدارنده و در حضـــور بازدارنده می‌باشد محاسبه می‌شود (Dillman, 2007).

$$R_p=\frac{R_p without\ inhibitor}{R_p with\ inhibitor}\times 100 \qquad (۲-۲)$$

در این آزمایش‌ها دانسیته‌ی جریان خوردگی، نرخ خوردگی و وزن هم‌ارز در حضور و عدم حضور بازدارنده بوسیله‌ی استاندارد (ASTM ,G 102-98) محاسـبه شـده اسـت (Dean, 1987). برای محاسـبه‌ی دانسـیته‌ی جریان مطابق رابطه‌ی زیرکه

$$I_{Corr}=\frac{I_{Corr}}{A} \qquad (۳-۲)$$

i_{corr} = دانسیته جریان خوردگی ($\mu A/cm^2$)

I_{corr}= جریان خوردگی (A)

A= سطح تماس (cm^2)

میزان نرخ یا سرعت خوردگی مطابق رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود

$$CR=K1\frac{i\ corr}{\varrho}\ EW \qquad (۴-۲)$$

CR= نرخ خوردگی (mpy)

K_1= ۳/۲۷ ×۱۰$^{-۳}$ (mm g/μA cm yr)

K_1= ۳/۲۷ ×۱۰$^{۳-}$ (mm g/μA cm yr)

ρ= دانسیته (g/cm^3)

نتایج حاصل از دستگاه پتانسیومتری شامل پتانسیل خوردگی، جریان خوردگی، دانسیته‌ی خوردگی، ضرایب شیب آندی و کاتدی و میزان خوردگی در جدول ۲، آورده شـده اسـت. قدرت بازدارندگی شـیره انجیر سـفید در غلظت‌های مختلف و عسل کنار در غلظت ppm ۱۸۰۰ به‌صورت هم‌افزا در جدول ۳، آورده شده است همچنین درصد بازدارندگی بدست آمده از روش پتانسیومتری در شکل ۳، آورده شده است.

جدول ۲. تاثیر بازدارندگی شیره انجیر و عسل کنار با غلظت‌های مختلف با استفاده از پتانسیل خوردگی، جریان خوردگی، دانسیته‌ی خوردگی، ضرایب شیب آندی و کاتدی و میزان خوردگی با استفاده از دستگاه پتانسیو متری

Table 2. Inhibitory effects of fig sap and Sidr honey at various concentrations, assessed using corrosion potential, corrosion current, corrosion current density, anodic and cathodic Tafel slopes, and corrosion rate via potentiostat measurements.

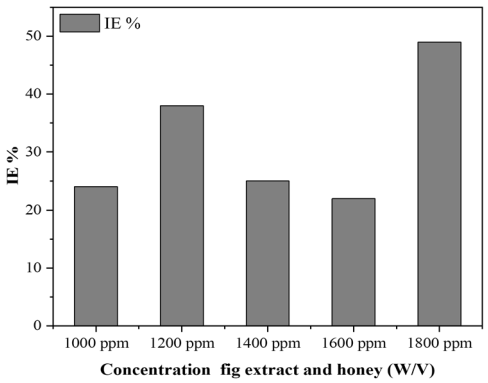
Concentratin Fig and honey (W/V)	-E corr (mv)	R_p (Ohm)	B_a (v/dec)	B_c(v/dec)	I Corrosion (A)	i corrosion (A/cm^2)	Corrosion rate (mpy)
blank	243	800.5	0.0607	0.0688	2.716×10^{-5}	6.497×10^{-5}	28.381
1000 ppm	216	1048	0.0472	0.0501	2.074×10^{-5}	4.963×10^{-5}	21.680
1200 ppm	225	1282	0.0685	0.105	1.62×10^{-5}	4.057×10^{-7}	18.067
1400 ppm	199	1199	0.0541	0.0699	1.813×10^{-5}	4.922×10^{-5}	19.316
1600 ppm	199	1015	0.0802	0.0802	2.142×10^{-5}	5.124×10^{-5}	30.181
1800 ppm	208	1591	0.0643	0.0547	1.366×10^{-5}	3.33×10^{-5}	14.559

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

جدول ۳. درصد بازدارندگی شیره‌ی انجیر و عسل کنار به‌صورت هم‌افزا با استفاده از داده‌های دستگاه پتانسیومتری

Table 3. Synergistic inhibition percentage of fig sap and Sidr honey based on data from the potentiometric device.

Concentration extract Fig and honey (W/V)	*i corrosion (A/cm²)*	*IE %*
Blank	6.497×10^{-5}	-
1000 ppm	4.963×10^{-5}	24
1200 ppm	4.057×10^{-5}	38
1400 ppm	4.922×10^{-5}	25
1600 ppm	5.124×10^{-5}	22
1800 ppm	3.33×10^{-5}	49



شکل ۳. نمودار ستونی درصد قدرت بازدارندگی محاسبه شده عسل کنار و شیره انجیر در حضور محلول سدیم کلرید ۰/۵ مولار

Figure 3. Bar chart illustrating the calculated percentage inhibition efficiency of Sidr honey and fig sap in the presence of a 0.5 M sodium chloride solution.

۳-۳- استفاده از محاسبه کلاسیک کاهش وزن برای قدرت بازدارندگی

روش کاهش وزن به علت عدم نیاز به دستگاه (به غیر از استفاده از ترازوی دیجیتالی) ساده‌ترین روش در مطالعه بازدارنده‌های خوردگی است. در این روش تغییرات وزن نمونه‌ی فلزی را قبل وبعد از قرارگرفتن در محیط خورنده (در غیاب و حضور بازدارنده) محاسبه می‌کنند. زمان انجام این آزمایش طولانی است، ولی به‌دلیل اینکه نتایج حاصل از این روش واقعی‌تر از روش الکتروشیمیایی است هنوز هم به‌کار می‌رود (Tang et a, 2005) .

که W_{corr} کاهش وزن نمونه در حضور عامل بازدارنده و W_0 کاهش وزن نمونه در عدم حضور عامل بازدارنده می‌باشدکه با استفاده از رابطه‌ی (۳-۱) زیر بدست می‌آید.

$$IE=1-\frac{\Delta W_{inhibitor}}{\Delta W_{blank}}\times100 \qquad (۳-۱)$$

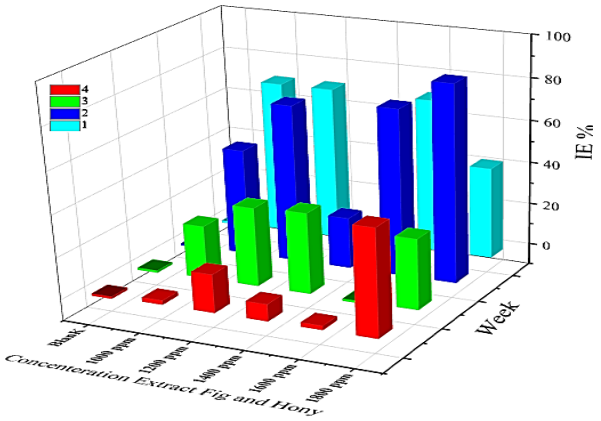
زمان انجام این آزمایش طولانی است، ولی به‌دلیل این که نتایج حاصل از این روش واقعی‌تر از روش‌های الکتروشیمیایی است هنوز به‌کار می‌رود. نتایج حاصل از این روش در جدول ۴، آورده شده است. همچنین بازده آن در شکل ۴، از هفته اول تا هفته چهارم نسبت به کوپن شاهد در حضور محلول خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار آورده شده است.

جدول ٤. درصد بازدارندگی شیره انجیربا غلظت‌های مختلف و عسل با غلظت ppm ۱۸۰۰درمحلول خورنده سدیم کلرید ۵/ مولار بعد ازیک هفته ، دو هفته، سه هفته و چهار هفته غوطه‌وری

Table 4. Percentage inhibition of white fig sap at various concentrations and Sidr honey at a concentration of 1800 ppm in a 0.5 M corrosive sodium chloride solution after one week, two weeks, three weeks, and four weeks of immersion

Number of weeks	weight loss	Inhibitor Concentration (ppm)					
		Blank	**1000 ppm**	**1200 ppm**	**1400 ppm**	**1600ppm**	**1800 ppm**
Week 1	W_0	1.0583	1.2270	1.2058	1.5746	1.2938	1.5986
	W_{corr}	1.0576	1.2268	1.2056	1.5734	1.2936	1.5982
	IE %	–	72	72	-71	72	43
Week 2	W_0	1.0601	1.6000	1.3699	1.5809	1.6089	1.8235
	W_{corr}	1.0567	1.5983	1.3690	1.5873	1.6080	1.8232
	IE %	–	50	74	24	78	92
Week 3	W_0	1.6202	1.1780	1.1477	1.5328	1.2148	1.6107
	W_{corr}	1.6262	1.1750	1.1465	1.5303	1.2107	1.6080
	IE %	–	25	70	38	–	33
Week 4	W_0	1.4253	1.0145	1.6412	1.8836	1.1959	1.4865
	W_{corr}	1.4203	1.0046	1.6374	1.8790	1.1910	1.4840
	IE %	–	2	18	8	2	50

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

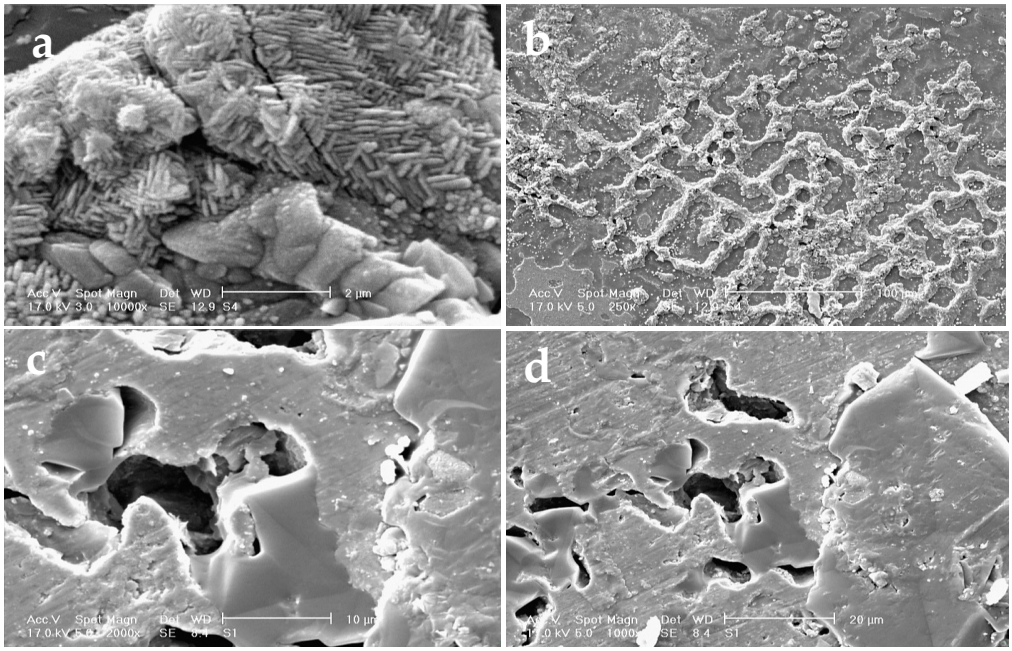


شکل ٤. میزان بازده بازدارندگی عسل کنار با غلظتppm ۱۸۰۰ و شیره انجیر سفید غلظت با غلظت‌های ppm۱۰۰۰ تا ppm ۱۸۰۰ بعد از یک تا چهار هفته که با رنگ‌های مشخص در راهنمای منحنی آورده شده است.

Figure 4. Inhibition efficiency of Sidr honey at a concentration of 1800 ppm and white fig sap at concentrations ranging from 1000 to 1800 ppm, measured over periods of one to four weeks. Data are represented using distinct colors as specified in the curve legend.

۳-٤- استفاده از محفظه رطوبت‌ساز جهت تسریع در امر خوردگی

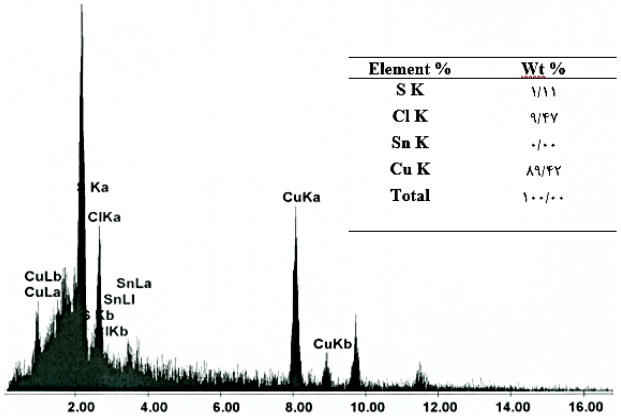
بعد از بیرون آوردن کوپن‌ها از محلول‌های به مدت یک ساعت در دمای لتاق خشک گردیدند و برای بررسی تغییر رنگ ظاهری بر روی سطوح کوپن‌ها از آنها عکس گرفته شد. برای تسریع سازی خوردگی، و بررسی‌های میکرسکوپ الکترونی نوری، نمونه‌ها به محفظه‌ی رطوبت انتقال یافتند. کوپن‌ها دررطوبت نسبی ۹۵±۲ و دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه‌ی سانتیگراد قرار داده شدند. نمونه‌ها مطابق با استانداردهای (ASTM,G85) و (ISO,9227) تحت اسپری کلرید سدیم ۰/۵ M قرار گرفتند. بعد ازچهار هفته نمونه‌ها از محوطه‌ی رطوبت ساز بیرون آورده شدند و برای ارزیابی تاثیر قدرت بازدارندگی بر سطح کوپن‌ها مورد آنالیز SEM-EDX قرار گرفت. در بررسی‌ها و آنالیزهای SEM در کوپن‌هایی که در معرض محیط خورنده ۰/۵ مولار سدیم کلرید قرار گرفته‌اند وجود ساختارهای مونوکلنیک که نشان‌دهنده محصولات خوردگی کلریدی احتمالاً از نوع آتاکامیت و پارتاکامیت هستند مشخص شده است (شکل ۵، الف و ب). درتصاویر (ج و د) بعد از قرار گیری کوپن‌ها در حضور بازدانده هم افزار شیره انجیر سفید و عسل کنار قرار گرفته است نشان داده شده است. با توجه به قدرت بازدارندگی این دو نوع ماده طبیعی با روش پتانسیومتر و روش کاهش وزن، و همچنین نتایج EDX (شکل ۶و ۷) که باعث کاهش افت کلر در محصولات خوردگی شده است. اما به‌هر حال در تصاویر SEM نشان داده شدکه این دو ماده در غلظت‌های ذکر شده، به‌صورت هم‌افزا به شدت خوردگی حفره‌ای و جدایش فازی ایجاد می‌کنند و بازدارنده مناسبی برای آثار تاریخی نمی‌باشند.



شکل ۵. تصاویر SEM (الف و ب) از کوپن در حضور محلول ۰/۵M سدیم کلرید بعد از یک ماه، تصاویر (ج و د) از کوپن در حضور محلول ترکیبی عسل با غلظت ppm۱۸۰۰ و شیره انجیر با غلظت ppm ۱۸۰۰در محلول ۰/۵M سدیم کلرید بعد از یک ماه

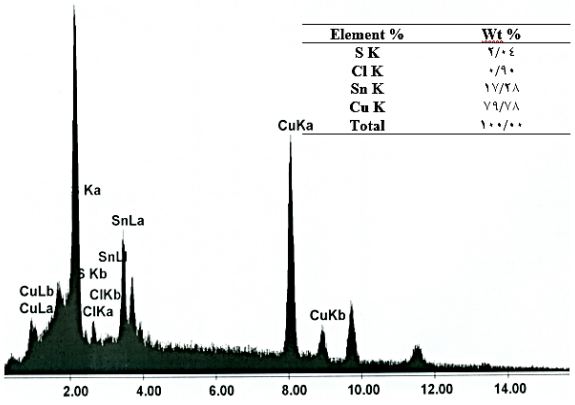
Figure 5. SEM images (a and b) of the coupon in the presence of a 0.5 M sodium chloride solution after one month; images (c and d) of the coupon in the presence of a combined solution of honey at 1800 ppm and fig sap at 1800 ppm in a 0.5 M sodium chloride solution after one month.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026



شکل ٦. آنالیز EDX از کوپن شاهد در محلول سدیم کلرید ۰/۵ مولار

Figure 6. EDX analysis of the control coupon in a 0.5 M sodium chloride solution.



شکل ۷. آنالیز EDX از نمونه قرار گرفته در محلول ۱۸۰۰ppm عسل میمند در ترکیب با شیره‌ی درخت انجیر سفید ppm ۱۸۰۰بعد از یک ماه قرار گیری در محلول ۰/۵ M سدیم کلرید

Figure 7. EDX analysis of the sample immersed in a solution of 1800 ppm Meymand honey combined with white fig tree sap at 1800 ppm, after one month of immersion in a 0.5 M sodium chloride solution.

٤. نتیجه‌گیری

بازدارنده‌های طبیعی یا بازدارنده‌های دوستار محیط زیست یکی از مهم‌ترین جایگزن برای بازدارنده‌های آلی با ترکیبات سمی و سرطان‌زا محسوب می‌شوند. به‌هر حال تحقیقات محدودی بر روی بازدارنده‌های طبیعی در حوزه فلزات باستانی انجام شده است. یکی از بازدارنده‌های خوردگی بر روی آلیاژهای باستانی با ترکیب Cu-10Sn، بازدارنده عسل طبیعی است که بهینه این نوع بازدارنده با غلظت ۱۸۰۰ppm، حدود ۸۰ درصد ارزیابی شده است. در این مقاله با توجه به حداکثر رساندن قدرت بازدارندگی عسل، با ماده طبیعی دیگر، شیره انجیر در غلظت‌های ۱۰۰۰ppm تا ppm ۱۸۰۰ ، به‌صورت هم‌افزا، مورد ارزیابی و بررسی قرار گرفت. نتایج حاصله از دستگاه پتانسیومتر در غلظت ۱۸۰۰ppm، نرخ خوردگی برابر با ۱۴/۶ و قدرت بازدارندگی ۵۰ درصد ارزیابی شده است. با توجه به قطعی و واقعی بودن در قدرت بازدارندگی، با استفاده از روش کاهش وزن کلاسیک، قدرت این بازدارنده در حضور سدیم کلرید ۰/۵ مولار، نیز ۵۰ درصد محاسبه گردید. به‌هر حال برای ارزیابی بیشتر، نمونه‌های پس از قرار گیری در بازدارنده‌ها به‌صورت غوطه‌وری، و قرارگیری آن در محوطه رطوبت ساز، برای شدت خورندگی تحت اسپری ۰/۵ مولار سدیم کلرید طی چهار هفته قرار گرفت. سپس کوپن‌ها برای بررسی سطوح خورده شده با آنالیز SEM-EDX مورد ارزیابی قرار گرفت. در آنالیز EDX مقدار کلرید کوپن نسبت به کوپن قرار گرفته در معرض بازدارنده هم افزا کاهش یافته است اما به هر حال در تصاویر SEM کوپن‌هایی که در معرض بازدارنده در حضور سدیم کلرید ۰/۵ مولار قرار گرفته‌اند به شدت دچار خوردگی حفره‌ایی (Pitting Corrosion) و جدایش فازی Phase Segregation قرار گرفته است. به هرحال آزمایش‌های نشان داد که قدرت بازدارندگی، باردانده‌های هم‌افزا شیره انجیر سفید و عسل کنار، در حضور محیط خورنده سدیم کلرید ۰/۵ مولار، نه تنها باعث باردارندگی نشده است بلکه آسیب شدیدی در حضور این بازدارنده ایجاد شده‌است.

پیشنهادات

با توجه به اینکه بازدارنده‌های طبیعی یا دوستدار محیط زیست بازدارنده‌هایی هستند که نیاز به بررسی و آزمایش‌های بیشتری دارند. لذا برای بهینه کردن قدرت بازدارندگی شیره انجیر نیازمند هم افزا کردن این عصاره با مواد دیگر است. این بازدارنده‌های هم افزا می تواند از قبیل عسل آویشن، آب چغندر و زعفران باشد که نیازمند بررسی و آزمایش‌هایی بر روی بهینه کردن این بازدارنده‌ها می‌باشد که تحقیقات متعددی در این زمینه می‌طلبد.

سپاسگزاری: نویسندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب دکتر وطن‌خواه جهت مشاوره در این پروژه، کمال تشکر ابراز گردد. همچنین از دو داور ناشناس که در تصحیح و موارد مفید در جهت فهمش بهتر این مقاله، نویسندگان را راهنمایی کرده‌اند، نهایت تشکر ابراز می‌گردد.
مشارکت نویسندگان: در این مقاله، تامین مالی، تهیه مواد آزمایشگاهی از قبیل تهیه الکترود، آنالیزهای دستگاهی، تجزیه و تحلیل داده‌های موجود و نوشتن پیش نویس اصلی به عهده و. ح و بررسی و خوانش مقاله و ویرایش آن به عهده ح. ب و ا. ا بوده است.
تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است.
تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.
دسترسی به داده ها و مواد: مجموعه داده در صورت درخواست از نویسندگان در دسترس است. داده‌های خام پشتیبانی کننده نتایج این مقاله در صورت درخواست، توسط نویسندگان در دسترس قرار خواهد گرفت.

[DOI: 10.66224/jra.2025.11.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 19:56 +0330 on Monday November 2nd 2026

References

Arvaniti, O. S., Samaeas, Y., Gatidou, G. N., Thomaidis, S., & Stasinakis, A. S. (2019). Review on fresh and dried figs: Chemical analysis and occurrence of phytochemical compounds, antioxidant capacity and health effects. *Food Research International*, *119*, 244–267. https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.055

ASTM. (1994). *Standard practice for calculation of corrosion rates and related information from electrochemical measurements* (ASTM G102-89).

Bertoncelj, J., Dobersek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, *105*(2), 822–828. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.01.060

Brostoff, L. B., & de la Rie, E. R. (1998). Corrosion inhibitors for copper and copper alloy artifacts: A review. In *Metals 98* (pp. 320–328). James & James Ltd.

Dean, S. W. (1987). Corrosion rate measurements by polarization resistance. *Materials Performance*, *26*(12), 51–52.

Dillman, P., Berranger, G., Matthiesen, P., & Piccardo, M. (2007). Chapter 11: Corrosion of metallic heritage artefacts. In *Corrosion of metallic heritage artefacts: European Federation of Corrosion publication number 46* (pp. 335–360). Woodhead Publishing.

Eggert, G. (1994). Are commercial corrosion protection oils applicable for the conservation of objects made from copper alloys? *AATA*, *31*(2), 114–117.

Ellingson, L. A., Shedlosky, T. J., Bierwagen, G. P., de la Rie, E. R., & Brostoff, L. B. (2004). Evaluation of corrosion inhibitors for copper and copper alloys. *Studies in Conservation*, *49*(1), 53–62.

Faltermeier, R. B. (1995). *The evaluation of corrosion inhibitors for application to copper and copper alloy archaeological artefacts* [Unpublished doctoral dissertation]. University College London. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1317947/1/307582.pdf

Faltermeier, R. B. (1999). A corrosion inhibitor test for copper-based artifacts. *Studies in Conservation*, *44*(2), 121–128.

Groysman, A. (2010). *Corrosion for everybody*. Springer.

Hassairi, H., Bousselmi, L., Khosrof, S., & Triki, E. (2008). Characterization of archaeological bronze and evaluation of the benzotriazole efficiency in alkali medium. *Materials and Corrosion*, *59*(1), 32–40. https://doi.org/10.1002/maco.200704064

Mourey, W. (1996). Evaluation of a new treatment for copper and copper alloy objects. In *Metals 95* (pp. 225–227). James & James Ltd.

Mourey, W., & Czerwinski, E. (1993). Contribution to *ICOM-CC 10th Triennial Meeting* (pp. 779–785).

Otieno-Alego, V., Neath, G., Hallam, D., & Creagh, D. (1998). The application of synchrotron radiation to the study of corrosion inhibitors for bronze. In *Metals 98* (pp. 309–314). James & James Ltd.

Pourzarghan, V. (2010). *The possibility of using natural honey as a corrosion inhibitor in ancient Cu-10sn alloys* [Unpublished master's thesis]. Isfahan University of Art.

Pourzarghan, V., & Fazeli-Nasa, B. (2021). The use of *Robinia pseudoacacia* L fruit extract as a green corrosion inhibitor in the protection of copper-based objects. *Heritage Science*, *9*, Article 75. https://doi.org/10.1186/s40494-021-00545-w

Pourzarghan, V., Sarhaddi-Dadian, H., & Bakhshandefard, H. (2017). Feasibility study of natural honey use as corrosion inhibitor in protecting the bronze artifacts. *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, *17*(3), 301–309. https://doi.org/10.5281/zenodo.1048935

Price, C., Hallam, D., Heath, G., Creagh, D., & Ashton, J. (1996). The conservation of copper and copper alloy objects. In *Metals 95* (pp. 223–241). James & James Ltd.

Radojčić, I., & Berković, K. (2008). Natural honey and black radish juice as tin corrosion inhibitors. *Corrosion Science*, *50*(5), 1498–1504. https://doi.org/10.1016/j.corsci.2008.01.013

Tang, L., Li, X., Li, L., Qu, Q., Mu, G., & Liu, G. (2005). A study on the inhibition of mild steel corrosion by an extract of *Lycium barbarum* leaves. *Materials Chemistry and Physics*, *94*(2–3), 353–359.

Vatankhah, G. R., Bakhshandehfard, H. R., Golozar, M. A., & Sabzalian, M. R. (2013). Green tea extract (*Camellia sinensis*): A non-toxic plant inhibitor for controlling corrosion in historical copper artifacts. *Science Journal Maremat & Me'mari-e Iran (Quarterly)*, *1*(4), 85–96.

Weil, P. (1975). Contribution to *ICOM-CC 4th Triennial Meeting* (pp. 21–24).

Yee, J. Y. (2004). *Green inhibitors for corrosion control: A study on the inhibitive effects of extracts of honey and Rosmarinus officinalis L. (rosemary)* [Unpublished doctoral dissertation]. Corrosion and Protection Centre. https://doi.org/10.1201/9781003394631-1

Yee, J. Y. (2004). A study on the inhibitive effects of extracts of honey and *Rosmarinus officinalis* L. (rosemary). (Report). Corrosion and Protection Centre. https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7491497/

Pourzarghan, V.; Bakhshandefard, H & Ebrahimi, A. (2025). Feasibility of using white Fig Sap (Ficus carisa) and Sidr Honey Synergistically as Corrosion Inhibitors for Ancient Alloys Composed of Cu-10Sn. *Journal of research on Archaeometry, 11*(1), 11106. DOI: 10.61882/jra.2025.11.106