



برگزیده مقالات اولین و دومین همایش ملی

کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

به کوشش: مهدی رازانی و بهرام آجورلو

۱۳۹۱-۱۳۹۲

برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی
کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و
مرمت میراث فرهنگی

دانشگاه هنر اسلامی تبریز
(۲۵ و ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲-۱۳۹۱)

به کوشش
مهدی رازانی و بهرام آجورلو



دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱۳۹۳

سرشناسه	:	همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (نخستین: ۱۳۹۱: تبریز)
عنوان و نام پدیدآور	:	برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی.../ به کوشش مهدی رازانی، بهرام آجورلو.
مشخصات نشر	:	تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	:	۴۱۵ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار: ۲۲×۲۹ س.م.
شابک	:	978-600-93946-8-5
وضعیت فهرست نویسی	:	فیپا
موضوع	:	باستان‌سنجی -- ایران -- کنگره‌ها
موضوع	:	آثار فرهنگی -- ایران -- نگهداری و مرمت -- کنگره‌ها
شناسه افزوده	:	آجورلو، بهرام، ۱۳۵۴ - گردآورنده
شناسه افزوده	:	رازانی، مهدی، ۱۳۶۳ - گردآورنده
شناسه افزوده	:	همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (دومین: ۱۳۹۲: تبریز)
رده بندی کنگره	:	۸۱۳۹۳۵/۷۵/۷CC
رده بندی دیویی	:	۹۳۰/۱۰۲۸
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۷۵۶۵۵۲



برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی
در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۱۳۹۱-۱۳۹۲

مهدی رازانی و بهرام آجورلو (به ویرایش)

ناشر: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، نشر الکترونیک
نوبت چاپ اول: ۱۳۹۳
تعداد صفحه و قطع: - وزیری

امور فنی و نظارت بر آماده سازی: مؤسسه فرهنگی میراث مهر آفرین
(با همکاری: سحر احمد خان بیگی، نگار کاظمی پور و سمیرا جعفری)

تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، صندوق پستی، ۴۵۶۷-۵۱۳۸
کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱؛ تلفن: ۰۴۱)۳۵۴۱۹۹۷۰
research@tabriziau.ac.ir

فهرست مندرجات

پیشگفتار

بیانیه‌ی تبریز

بخش اول: برگزیده‌ی مقالات باستان‌سنجی

- ۱-۱۶ نشر القائی اشعه‌ی ایکس القائی پروتن (PIXE)
روشی غیرتخریبی برای تجزیه و تحلیل مواد در باستان‌سنجی
مسعود باقرزاده کثیری
- ۱۷-۳۵ منشاء یابی اُبسیدین‌های یافته‌شده از کاوش تپه بوینو خدا آفرین آذربایجان
به‌روش PIXE
سمیه نوری، کمال‌الدین نیکنامی، بهرام آجورلو، محمد علیزاده سولا
- ۳۷-۵۷ فرآیند گذار از عصر مفرغ به عصر آهن بر اساس مطالعات آزمایشگاهی
سفال‌های تپه سگزآباد دشت قزوین
حسن طلایی، احمد علی یاری
- ۵۹-۸۷ تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) در بررسی‌های
آرکئومتالورژی معادن باستانی محدوده‌ی جیان و فریادان در استان فارس
سید محمد امین امامی، بامشاد یغمایی
- ۸۹-۱۰۵ مطالعات اولیه زمین‌باستان‌شناسی بر روی مواد و مصالح خاکی
(موضوع موردی: بررسی مواد و مصالح به کار رفته در کهن‌دژ و ارگ تاریخی توس)
معین اسلامی
- ۱۰۷-۱۳۲ جعل و تقلب در آثار باستانی و هنرهای تجسمی
(مفاهیم، گونه‌شناسی، سرنوشت قانونی و روش‌های بررسی)
مهدی رازانی، بهناز نصیرزاده
- ۱۳۳-۱۴۹ گاه‌شناسی درختی و اصول آن در مطالعه‌ی آثار تاریخی
محسن محمدی آچالویی، محمد معین دلداز

بخش دوم برگزیده‌ی مقالات حفاظت و مرمت میراث فرهنگی

- ۱۶۴-۱۵۱ مروری بر کاربرد روش‌های الکتروشیمیایی در حفاظت و مرمت آثار تاریخی فلزی
حمیدرضا بخشنده فرد
- ۱۹۸-۱۶۵ مروری بر روش‌های آنالیز بست در نقاشی
امیرحسین کریمی، غلامرضا وطنخواه
- ۲۲۹-۲۰۹ ردیابی فناوری ساخت در ریزساختارهای آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی
- ۲۴۸-۲۳۱ بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند فارس به‌عنوان بازدارنده‌ی طبیعی خوردگی در حفاظت اشیاء برنزی تاریخی
وحید پورزرقان
- ۲۶۷-۲۴۹ لزوم به کارگیری مطالعات مکانیسم تخریب در معماری صخره‌کند روستای کندوان
مهدی رازانی، سیدمحمد امین امامی، علیرضا باغبانان، خوزه دلگادو رودریگوئز
- ۲۸۴-۲۶۹ ارزیابی روش‌های استحکام‌بخشی جهت بهبود مشخصات مقاومتی سنگ‌های آهکی لوماشل
احسان محمدی، علیرضا باغبانان، فرشاد رضانی‌فر، حمید هاشم‌الحسینی، مهدی رازانی
- ۳۰۷-۲۸۵ نقدی بر روش‌های حفاظت و مرمت تزئینات در مسجد مظفریه تبریز
سعید مهریار، مهدی رازانی
- ۳۳۳-۳۰۹ مطالعه و بررسی فنی لایه‌های دیوارنگاره‌ی سقف گنبد بقعه‌ی سیدرکن الدین یزد
یاسر حمزوی، رسول وطن‌دوست
- ۳۵۹-۳۳۵ مطالعات فن و آسیب‌شناسی یک نمونه تاپستری از مجموعه‌ی تاپستری‌های کاخ موزه‌ی نیاوران
مینا ناظر، محمد مرتضایی
- ۳۷۶-۳۶۱ مروری بر فنون و روش‌های طلاکاری آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی، محمدعلی گل‌عذار، احمد صالحی کاخکی

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند فارس به‌عنوان بازدارنده طبیعی خوردگی در حفاظت اشیا برنزی تاریخی

وحید پور زرقان

مریی دانشکده هنر و معماری دانشگاه زابل
(مکاتبات: v_poorzarghan@uoz.ac.ir)

چکیده

بیماری برنز مهم‌ترین عامل در تخریب اشیاء برنزی محسوب می‌شود. روش‌های مختلفی برای مقابله با این عارضه ارایه شده است که مناسب‌ترین این روش‌ها، روش استفاده از بازدارنده‌های خوردگی AMT و BTA است. این بازدارنده‌ها در حین بازدارندگی، سرطان‌زا و سمی هستند. در این پژوهش برای برطرف کردن چنین چالشی، بازدارنده طبیعی عسل، در غلظت‌های ۱۲۰۰ppm تا ۲۰۰۰ppm در محیط خورنده محلول کلرید سدیم ۵M/۰ بر روی آلیاژ برنز با درصد مشابه به آلیاژهای باستانی (Cu-10Sn)، به روش دستگاهی پتانسیو استات، روش کاهش وزن و محوطه رطوبت‌ساز مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از داده‌ها نشان می‌دهد که بهترین میزان بازدارندگی عسل در غلظت ۱۸۰۰ppm در محیط خورنده است. نتایج حاصل از تصاویر و آنالیز SEM-EDX نشان دهنده تأثیر مؤثر این بازدارنده است.

واژگان کلیدی: خوردگی، بیماری برنز، بازدارنده‌های طبیعی،

عسل، پتانسیو استات، SEM-EDX

۱- مقدمه

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 فرایندهای فیزیولوژیکی شوند. بازدارنده از کلمه لاتین

Inhibere به معنی مانع شدن، جلوگیری کردن یا حفظ کردن است. بازدارنده در غلظت‌های پایین در محیط‌های خورنده هستند که باعث به تعویق انداختن خوردگی فلزات می‌شوند. این مواد می‌توانند به صورت جامد، مایع و یا گاز باشند و در محیط‌های بسته، گازی و آبی بکار رون (Groysman, 2010). در اواخر دهه‌ی پنجاه، بازدارنده‌های آلی در صنعت توسعه یافتند. این بازدارنده‌ها در زمینه‌ی حفاظت و مرمت آثار فلزی تاریخی استفاده گردیدند. یکی از این بازدارنده، بازدارنده‌ی بسیار رایج بنزوتری آزول می‌باشد که برای درمان بیماری برنز و آلیاژهای مس و حفاظت از آثار برنزی بکار می‌رود (Brnich and Madsen 1967). این بازدارنده نخستین بار در صنعت برای جلوگیری از خوردگی آلیاژهای مس استفاده شده است. بازدارنده دیگری که برای جلوگیری از خوردگی آلیاژهای مس معرفی گردیده است ۲- آمینو-۵-مرکاپتو-۱،۳،۴-تی‌آدی‌آزول می‌باشد. این بازدارنده ابتدا در صنعت مورد ارزیابی واقع گردید و پس از آن در زمینه حفاظت و مرمت آثار فلزی به‌عنوان یک روش درمانی برای بیماری برنز پیشنهاد گردید (Ganorkar 1988). بازدارنده‌های آلی دیگری نیز برای حفاظت آلیاژهای مس بکار رفته است که از مشتقات این بازدارنده‌ها می‌باشند. مهم‌ترین مشکل این بازدارنده‌ها سمیت و سرطان‌زا بودن این بازدارنده‌هاست. بازدارنده‌های طبیعی نیز در صنعت مورد بررسی و آزمایش قرار گرفته‌اند. یکی از این بازدارنده‌های طبیعی عسل است که در سال ۱۹۹۸ میلادی توسط ای. وای. ال-اتری در دانشگاه مصر مورد آزمایش قرار گرفت (El-Etri 1998). در سال ۲۰۰۰ میلادی آزمایش دیگری بر روی خوردگی فولاد کربن‌دار در محیط‌های پر نمک توسط وای. ال-اتری و ام. عبدالله صورت گرفت که از عسل به‌عنوان بازدارنده مناسبی در محیط‌های نمک‌دار معرفی گردید. در می ۲۰۰۴ میلادی در دانشگاه منچستر از ترکیب آلی عسل و روزماری بر روی چهار فلز: آلومینیوم، مس، آهن و روی به‌عنوان بازدارنده مورد ارزیابی قرار گرفت. در سال ۲۰۰۸ بر روی عسل طبیعی و شیر تراب سیاه به‌عنوان بازدارنده قلع آزمایشاتی انجام گرفت. در این تحقیق که بر روی قوطی‌های کنسرو در دانشکده صنایع غذایی و بیولوژیکی در دانشگاه زاگرب و بخش صنایع غذایی دانشگاه جی.جی. استروس مایر صورت گرفت نتایج قابل قبولی بدست آمد (Radojčić, 2008).

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۳۳)

در این مقاله از عسل به‌عنوان بازدارنده بر روی آلیاژ ریخته‌گری شبیه به آلیاژهای تاریخی (Cu-10Sn) مورد آزمایش و ارزیابی قرار می‌گیرد. برای کاربرد و استفاده این مواد به‌عنوان بازدارنده‌های طبیعی بر روی آثار فلزی تاریخی لازم است بازده بازدارندگی و تأثیرات مختلف این مواد، مورد آزمایش و ارزیابی قرار گیرد.

۲- روش تحقیق

در این مقاله برای انجام آزمایش‌ها در تعیین قدرت بازدارندگی عسل از دستگاه پتانسیو استات مدل SAMA 500 electro analyzer system ، شامل سه الکتروود، الکتروود کمکی از جنس پلاتین، الکتروود مرجع از نوع جیوه کلرید اشباع (کالومل و الکتروود کاری که به صورت میل‌های به طول ۷/۵ سانتی‌متر، قطر ۰/۷۳ سانتی‌متر با ترکیب (Cu-10Sn) تهیه گردید. سپس با کاغذ سمباده با شماره های ۴۰۰ تا ۲۲۰۰ پولیش و جلا داده شده است. برای کالیبره کردن دستگاه از تکنیک Liner sweep Voltammetry (LSV) tofel plot استفاده شد. همچنین از روش کلاسیک کاهش وزن، محوطه رطوبت‌ساز و در نهایت برای ارزیابی مهندسی سطوح و قدرت بازدارندگی عسل از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM - EDX ساخت شرکت فیلیپس از کشور هلند و مدل XL30 استفاده شد. نتایج حاصل از داده‌های دستگاه پتانسیو استات، محوطه رطوبت‌ساز و کاهش وزن کلاسیک بر روی نمودارهای آماری نشان داده شده است (پور زرقان و دیگران ۱۳۸۹، ص ۴۱-۷۱).

۳- بحث

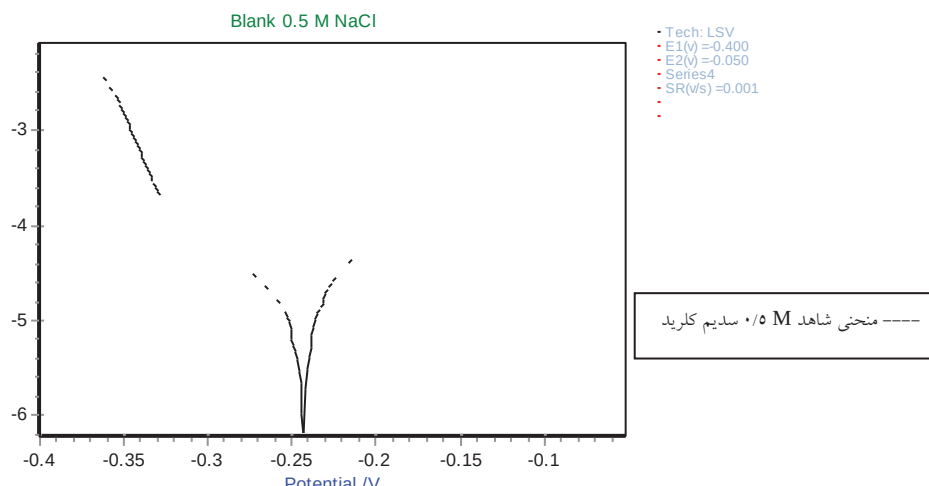
عسل یک محصول طبیعی و غلیظ شده آلی با یک کمپلکس پیچیده شکر است. که شامل میزان کمی مواد تشکیل دهنده‌ی دیگر مثل ماده‌های معدنی، پروتئین‌ها، ویتامین‌ها، اسیدهای آلی، فلاونیدها، اسیدهای فنولیک و آنزیم‌ها می‌باشد (Bertonclj, Jamnik 2007). مقدار ترکیبات عسل مطابق با یافته‌هایی که بر روی ترکیبات عمومی ۵۰۰ نمونه عسل در ایالت متحده آمریکا (جدول ۱) و مطالعاتی که در کشورهای دیگر انجام شده است بدست آمده است (White 1975a).

جدول (۱) میانگین ترکیب ۵۰۰ نمونه عسل و میزان تغییر دامنه (White 1962, p297)			
مشخصات اندازه گیری شده	میانگین	انحراف استاندارد	دامنه
درصد رطوبت	۱۷/۲	۱/۴۶	۱۳/۴-۲۲/۹
درصد لویلوس	۳۸/۱۹	۲/۰۷	۲۷/۲۵-۴۴/۲۶
درصد دکستروز	۳۱/۲۸	۳/۰۳	۲۲/۰۳-۴۰/۷۵
درصد ساکروز	۱/۳۱	۰/۹۵	۰/۲۵-۷/۵
درصد بیشتر شکرها	۱/۵۰	۱/۰۳	۰/۱۳-۸/۴۹
درصد نامعین	۳/۱	۱/۹۷	۰/۰-۱۳/۲
pH	۳/۹۱	-	۳/۴۲-۶/۱۰
اسید آزاد meq/kg	۲۲/۰۳	۸/۲۲	۶/۷۵-۴۷/۱۹
لاکتون meq/kg	۷/۱۱	۳/۵۲	۰/۰۰۰-۱۸/۷۶
مجموع اسیدها meq/kg	۲۹/۱۲	۱۰/۳۳	۸/۶۸-۵۹/۴۹
لاکتون/ اسید آزاد	۰/۳۳۵	۰/۱۳۵	۰/۰۰۰-۰/۹۵۰
درصد خاکستر	۰/۱۶۹	۰/۱۵	۰/۰۲۰-۱/۰۲۸
درصد نیتروژن	۰/۴۰۱	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰-۰/۱۳۳
میزان عناصر حیاتی	۲۰/۸	۹/۷۶	۲/۱-۶۱/۲

ترکیبات و ویژگی‌های عسل‌های متفاوت به منبع گیاهی، آب و هوا، جغرافیا و فاکتورهای دیگری وابسته است (Bertoncelj, Dobersek, jamnik, golob 2007).
۳-۱- تهیه محلول شاهد

برای ساختن محلول شاهد از کلرید سدیم M, Merck ۰/۵ استفاده شد. این محلول در ظرف مخصوص دستگاه به حجم ۱۰۰ ml ریخته شد. پس از کالیبره شدن دستگاه شروع به رسم منحنی پلاریزاسیون می‌کند. نکته قابل توجه در منحنی‌های رسم شده توسط دستگاه، این است که در هر بار دستگاه یک Ecorr ثبت می‌کند. برای چندین مرتبه باید این عملیات را تکرار کرد تا بتوان مقدار پتانسیل خوردگی نسبتاً ثابتی را ثبت کرد. در منحنی پلاریزاسیون نمودار (۱) برای محلول شاهد M ۰/۵ سدیم کلرید مقدار پتانسیل خوردگی برابر ۲۴۳ mV- ثبت شد.

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۳۵)



نمودار (۱): منحنی پلاریزاسیون تافل برای محلول ۰/۵ M سدیم کلرید

۲-۳- تهیه محلول اولیه از عسل

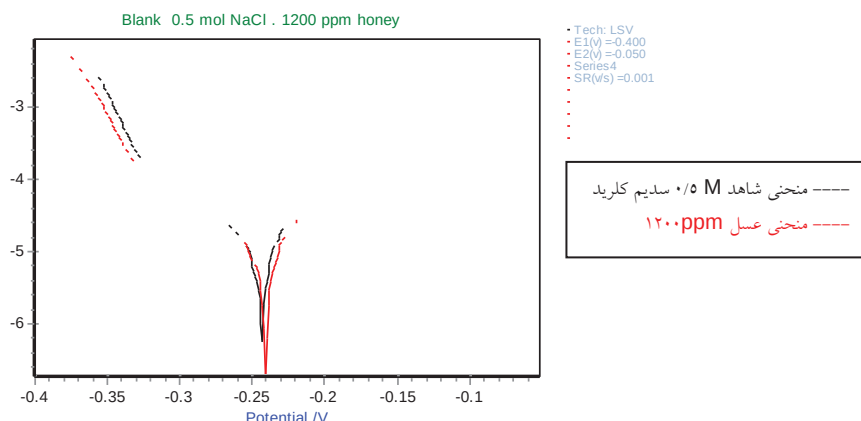
عسل مورد نظر از یکی از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان شیراز تهیه شد. برای تهیه محلول، عسل به اندازه‌های مورد نظر بوسیله ترازوی دیجیتال توزین شد و با آب مقطر به حجم رسانده شد.

محلول عسل برای این آزمون از ۱۲۰۰ ppm تا ۲۰۰۰ ppm تهیه شد. سپس هر یک از این ppm به صورت جداگانه با محلول خورنده سدیم کلرید ۰/۵ M مخلوط گردید تا بوسیله دستگاه پتانسیو استات قدرت بازدارندگی آن مورد بررسی قرار گیرد (پور زرقان و دیگران ۱۳۸۹، ۴۸)

برای بررسی و آزمون دقیق نرخ خوردگی، پتانسیل خوردگی و قدرت بازدارندگی محلول مورد نظر در هر ppm خاص لازم است آزمایش چندین بار تکرار شود. داده‌های دستگاه پتانسیو استات در جدول (۲) آورده شده است. در ادامه تحلیل نمودارها با حجم‌های ۱۲۰۰ ppm تا ۲۰۰۰ ppm نسبت به محلول شاهد آورده شده است. در نمودار (۲) پلاریزاسیون تافل در ۱۲۰۰ ppm محلول عسل در حضور محلول سدیم کلرید ۰/۵ M دیده می‌شود که پتانسیل خوردگی بازدارنده ۲۳۹ mV - است که با

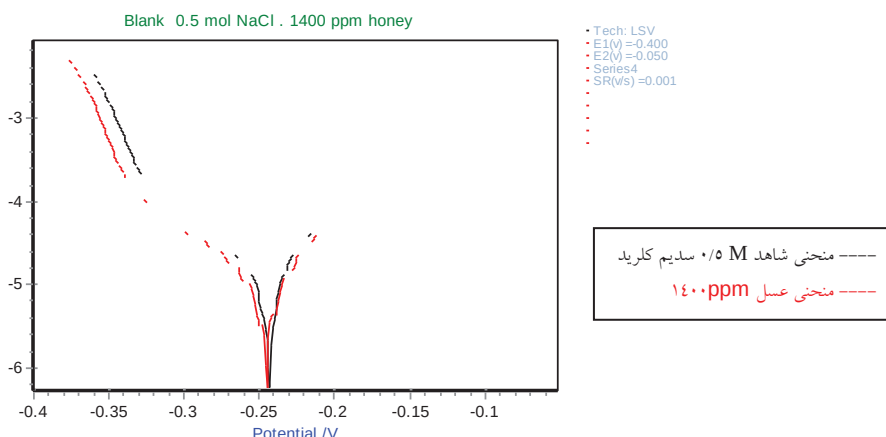
(۲۳۶) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

توجه به محلول شاهد، نمودار بازدارنده تغییر جهتی به سمت مقادیر مثبت دارد. علاوه بر تغییر پتانسیل افت جریان نیز در هر دو شاخه‌ی آنودی و کاتدی محسوس می‌باشد.



نمودار (۲): منحنی پلاریزاسیون تافل عسل با غلظت ۱۲۰۰ ppm

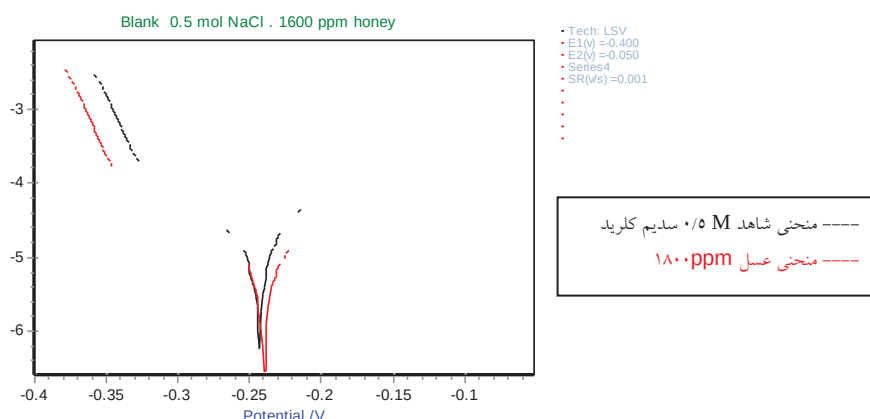
در نمودار (۳) پلاریزاسیون تافل محلول عسل در ۱۴۰۰ ppm است. پتانسیل خوردگی محلول بازدارنده -245 mV است که نسبت به محلول شاهد 2 mV به سمت مقادیر مثبت تغییر جهت داده است. جریان خوردگی در شاخه‌ی آنودی و کاتدی افت ناچیزی دارد.



نمودار (۳): منحنی پلاریزاسیون عسل با غلظت ۱۴۰۰ ppm

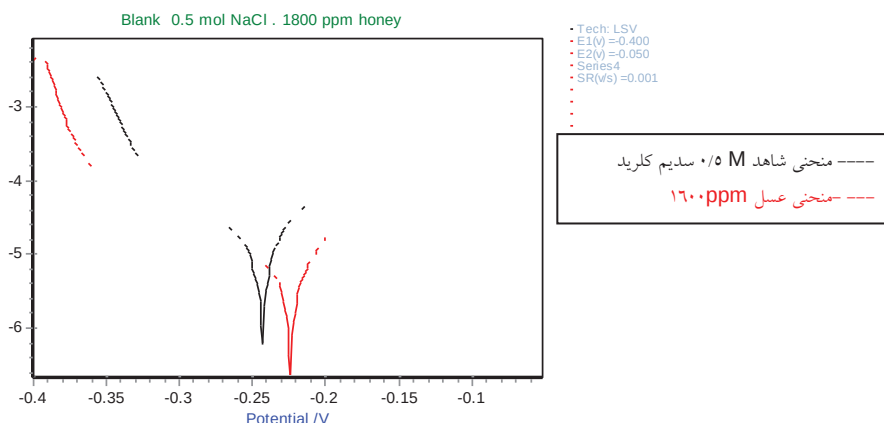
بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۳۷)

این منحنی پلاریزاسیون تافل نمودار (۴) که مربوط به غلظت ۱۶۰۰ ppm است در پتانسیل خوردگی برابر با ۲۳۹ mV - تغییری دیده نمی‌شود. افت جریان خوردگی نیز در دوشاخه‌ی کاتدی و آندی محسوس است.



نمودار (۴) : منحنی پلاریزاسیون عسل با غلظت ۱۶۰۰ ppm

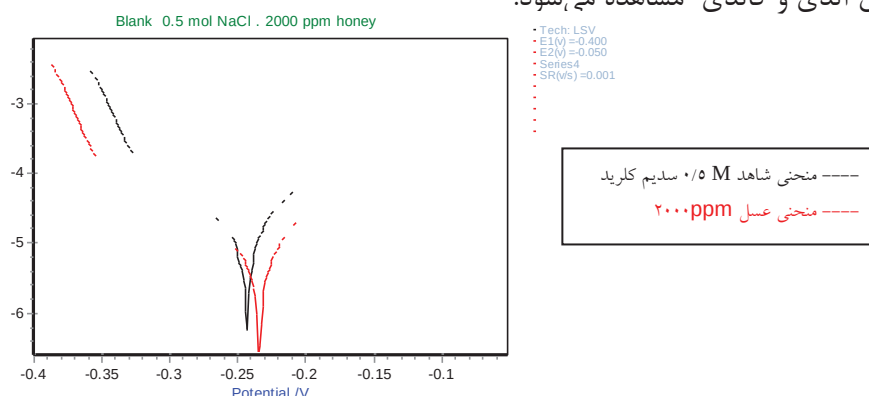
در غلظت ۱۸۰۰ ppm نسبت به دیگر غلظت‌ها تغییر مشهودی در پتانسیل خوردگی ایجاد شده است. پتانسیل خوردگی به ۲۲۴ mV - در جهت مثبت (آند) جابجا شده است که ۱۹ mV - نسبت به پتانسیل خوردگی محلول شاهد مثبت تر شده است (نمودار ۵). افت جریان کوچکی نیز در این منحنی مشاهده می‌شود.



نمودار (۵) : منحنی پلاریزاسیون عسل ۱۸۰۰ ppm و محلول شاهد

(۲۳۸) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

در غلظت ۲۰۰۰ ppm نیز پتانسیل خوردگی به ۲۳۴ mV- می‌رسد (نمودار ۶) که نسبت به محلول شاهد ۹ mV مثبت تر شده است و کاهش جریان کوچکی در شاخه-های آندی و کاتدی مشاهده می‌شود.



نمودار (۶): منحنی پلاریزاسیون عمل ۲۰۰۰ ppm با محلول شاهد

۴- محاسبه بازده بازدارندگی با استفاده از محاسبات دستگاه پتانسیو استات برای به دست آوردن درصد بازده بازدارندگی IE % مطابق رابطه ی (۱) که در آن I_{corr} دانسیته جریان خوردگی با بازدارنده و I^0 دانسیته جریان خوردگی بدون بازدارنده می باشد، محاسبه می شود.

$$IE = \frac{I^0_{corr} - I_{corr}}{I^0_{corr}} \times 100 \quad (1)$$

روش دیگر برای محاسبه درصد بازده بازدارندگی استفاده از رابطه (۲) است که در آن R_p مقاومت پلاریزاسیون با استفاده از رابطه زیر محاسبه می شود (Dillman 2007).

$$\theta = 1 - \frac{R_{p \text{ without inhibitor}}}{R_{p \text{ with inhibitor}}} \times 100 \quad (2)$$

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۳۹)

در این آزمایشات دانسیته‌ی جریان خوردگی، نرخ خوردگی و وزن هم‌ارز در حضور و عدم حضور بازدارنده بوسیله‌ی استاندارد (ASTM ,G 102-98) محاسبه شده است (Dean,1987).

برای محاسبه دانسیته جریان مطابق رابطه زیر که:

$$i_{corr} = \frac{I_{corr}}{A} \quad (۳)$$

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

I_{corr} = جریان خوردگی (μA)

A = سطح تماس (cm^2)

$$CR = K1 \frac{i_{corr}}{\rho} EW \quad (۴)$$

CR = نرخ خوردگی (mpy)

$K1 = 3.27 \times 10^{-3}$ (mm g/ μA cm yr)

ρ = دانسیته (g/cm^3)

داده های دستگاه پتانسیو استات با استفاده از روابط بالا محاسبه شده و در جدول (۲) آورده شده است

جدول (۲) محاسبات جریان و پتانسیل خوردگی، مقاومت الکترولیت، دانسیته جریان، ضرایب شیب کاتدی و آندی و نرخ خوردگی عسل با استفاده از دستگاه پتانسیو استات							
Concentration honey (W/V)	-Ecorr (mv)	RP (ohm)	Ba (v/dec)	Bc (v/dec)	I corrosion (A)	i corrosion (A/cm ²)	Corrosion rate (mpy)
1200 ppm	239	916.7	0.0441	0.0512	2.371*10 ⁻⁵	5.673*10 ⁻⁵	24.781
1400 ppm	245	1940	0.0426	0.0543	1.121*10 ⁻⁵	2.681*10 ⁻⁵	11.711
1600 ppm	239	1458	0.0614	0.0795	1.491*10 ⁻⁵	3.567*10 ⁻⁵	15.581
1800 ppm	224	2871	0.0572	0.0672	7.572*10 ⁻⁶	1.81*10 ⁻⁵	7.911
2000 ppm	234	1743	0.0378	0.0402	1.247*10 ⁻⁵	2.984*10 ⁻⁵	13.035

(۲۴۰) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

با استفاده از داده‌های به‌دست آمده از دستگاه پتانسیواستات قدرت بازدارندگی محلول اقلایا در جدول (۳) محاسبه شده است.

جدول (۳) درصد بازدارندگی عسل با غلظت‌های مختلف با استفاده از داده‌های دستگاه پتانسیو استات		
Concentration honey(W/V)	i corrosion (A/cm ²)	IE %
Blank	6.497×10^{-5}	-
1200 ppm	5.673×10^{-5}	13
1400 ppm	2.681×10^{-5}	59
1600 ppm	3.567×10^{-5}	46
1800 ppm	1.81×10^{-5}	73
2000 ppm	2.984×10^{-5}	55

۵- روش کلاسیک کاهش وزن

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 نمونه فلزی را قبل و بعد از قرار گرفتن در محیط خورنده (در غیاب و حضور بازدارنده) محاسبه می‌کنند. زمان انجام این آزمایش طولانی است، ولی به دلیل اینکه نتایج حاصل از این روش واقعی‌تر از روش الکتروشیمیایی است، هنوز مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Tang and et al 2005) که کاهش وزن نمونه در حضور عامل بازدارنده و W_0 کاهش وزن نمونه در عدم حضور عامل بازدارنده می‌باشد که با استفاده از رابطه (۵) به‌دست می‌آید.

$$IE = I - \frac{\Delta W_{inhibitor}}{\Delta W_{blank}} \times 100 \quad (5)$$

برای انجام آزمایش به روش کلاسیک الکترودهای تهیه شده (تصویر ۱) با درصد (Cu-10Sn) به صورت کوپنهای گرد با قطر ۰/۷۳ سانتی‌متر و ضخامت ۲ میلی‌متر بریده شدند کوپن‌ها با استفاده از کاغذ سنباده، با درجه‌های ۴۰۰، ۸۰۰، تا ۲۲۰۰ پولیش و جلا داده شدند. سپس کوپن‌ها در الکل چربی زدایی و در آب مقطر شستشو شدند.

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۴۱)

نمونه‌های شستشو داده شده به مدت یک ساعت در آون در ۸۰ درجه سانتی گراد حرارت داده شد. سپس کوپن‌ها به مدت یک ساعت در دسیکاتور قرار داده شد و در نهایت کوپن‌ها برای غوطه ور شدن در محلول عسل توزین شدند (تصویر ۲).



تصویر (۲) : کوپن‌های آماده شده برای غوطه ور سازی

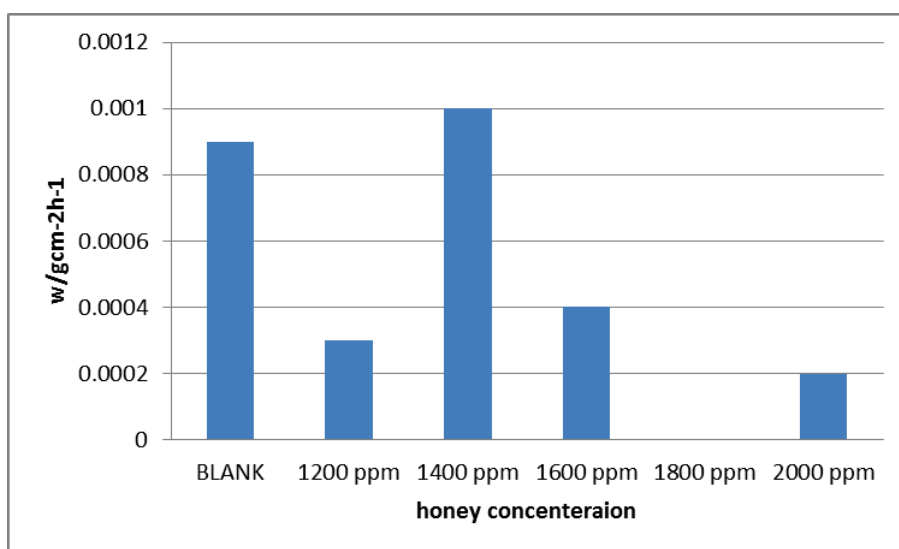


تصویر (۱) : الکترودهای تهیه شده برای برش کوپن‌ها

بعد از یک ماه غوطه هوری در محلول بازدارنده در حضور محیط خورنده سدیم کلرید ۵M/۰ هر هفته یکی از کوپن‌ها از محلول شاهد و محلول اقاچیا بیرون آورده و با استفاده از رابطه (۵) قدرت بازدارندگی بازدارنده در هر هفته محاسبه شد. این عمل به مدت ۴ هفته بر روی کوپن‌ها انجام شد. نتایج حاصل از قدرت بازدارندگی نمونه مورد نظر در جداول و نمودارهای (جدول ۴ تا نمودار ۱۰) آورده شده است.

جدول (۴): درصد بازدارندگی عسل با غلظت‌های مختلف در محیط خورنده سدیم کلرید ۵ / مولار بعد از یک هفته غوطه‌وری				
Concentration honey and 0.5 M NaCl (w/v)	W0	Wcorr	IE %	
Blank	2.1185	2.1176	—	
1200 ppm	2.5038	2.5035	92	
1400 ppm	2.6235	2.6225	-	
1600 ppm	2.0282	2.0278	56	
1800 ppm	2.1533	2.1533	100	
2000 ppm	2.1530	2.1528		

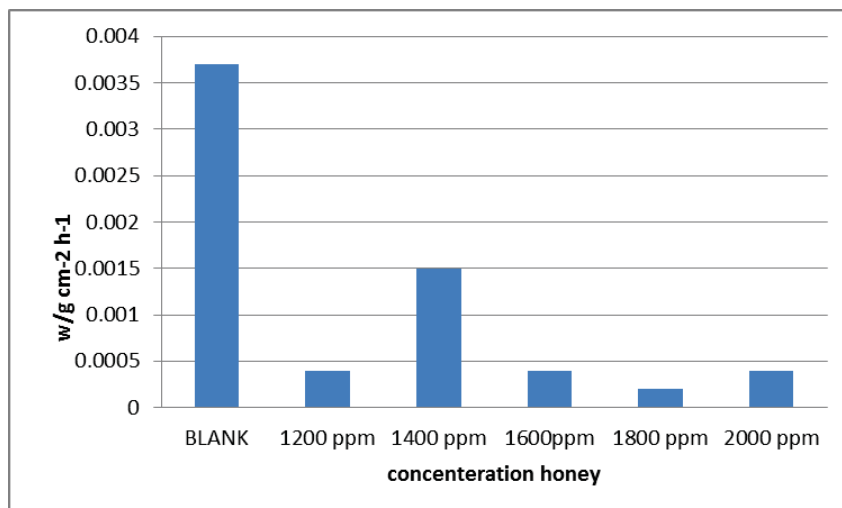
(۲۴۲) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی



نمودار (۷) میزان کاهش وزن بر اساس غلظت ۱۸۰۰ ppm بعد از یک هفته غوطه‌وری

جدول (۵) درصد بازدارندگی عسل با حجم‌های مختلف در محیط خورنده سدیم کلرید ۵/ مولار بعد از دو هفته غوطه‌وری				
Concentration honey and 0.5 M NaCl (W/V)		W0	Wcorr	IE %
Blank		2.0607	2.0570	-
1200	ppm	2.6329	2.6325	56
1400	ppm	2.0137	2.0122	60
1600	ppm	2.5312	2.5308	90
1800	ppm	2.2467	2.2465	95
2000	ppm	2.5412	2.5408	

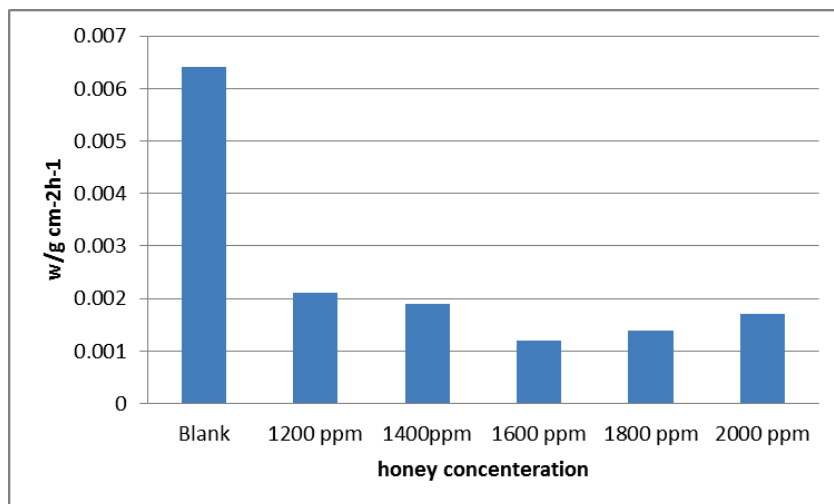
بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۴۳)



نمودار (۸) میزان کاهش وزن بر اساس غلظت ۱۸۰۰ ppm بعد از دو هفته غوطه‌وری

جدول (۶) درصد بازدارندگی عسل با غلظت‌های مختلف در محیط خورنده سدیم کلرید ۵/ مولار بعد از سه هفته غوطه‌وری			
concentration honey and 0.5 M NaCl (W/V)	W0	Wcorr	IE %
Blank	2.6629	2.9205	-
1200 ppm	2.6041	2.6020	49
1400 ppm	2.6036	2.6017	54
1600 ppm	2.5916	2.5904	71
1800 ppm	2.61 69	2.6155	66
2000 ppm	2.6035	2.6018	

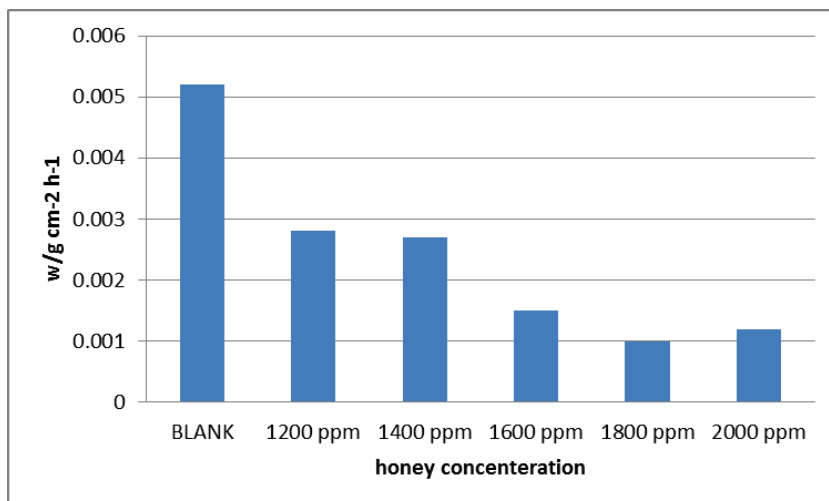
(۲۴۴) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی



نمودار (۹) میزان کاهش وزن بر اساس غلظت ۱۸۰۰ ppm بعد از سه هفته غوطه‌وری

جدول (۷) درصد بازدارندگی عسل با غلظت‌های مختلف در محیط خورنده سدیم کلرید ۵ / مولار بعد از چهار هفته غوطه‌وری			
Concentration honey and 0.5 M NaCl (W/V)	W0	Wcorr	IE %
Blank	2.6890	2.6250	-
1200 ppm	2.6703	2.6675	47
1400 ppm	2.6228	2.6201	41
1600 ppm	2.5203	2.5188	72
1800 ppm	2.9855	2.9845	81
2000 ppm	2.6834	2.6822	

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۴۵)

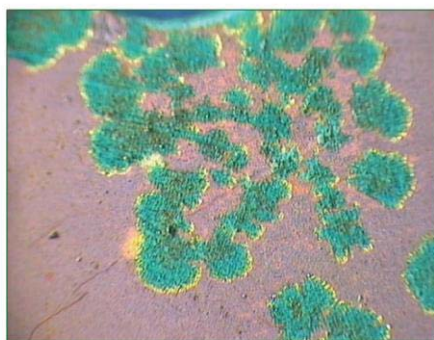


نمودار (۱۰) میزان کاهش وزن بر اساس غلظت ۱۸۰۰ ppm بعد از چهار هفته غوطه‌وری

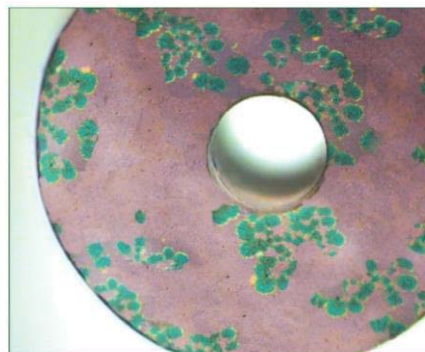
۶- آزمایش در محفظه رطوبت

بعد از تهیه کردن کوپن‌ها، با درصد (Cu-10Sn)، با استفاده از کاغذ سنباده با درجه‌ها ۴۰۰ تا ۲۲۰۰، کوپن‌ها را کاملاً پولیش کرده تا سطحی کاملاً صاف و یکنواخت ایجاد گردد. بعد از این مرحله کوپن‌ها با آب مقطر شستشو داده شده و به وسیله الکل چربی زدایی شدند. نمونه‌ها به مدت یک ساعت در آون در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد قرار داده شد. کوپن‌ها به مدت ۲۴ و ۴۸ ساعت در محلول‌های عسل با غلظت ppm ۱۰۰۰ غوطه‌ور شدند. بعد از بیرون آوردن، کوپن‌ها از محلول‌های به مدت یک ساعت در دمای اتاق خشک گردیدند و برای بررسی تغییر رنگ ظاهری بر روی سطوح کوپن‌ها از آنها عکس گرفته شد (تصاویر ۳ تا ۶) برای تسریع‌سازی خوردگی، نمونه‌ها به محفظه رطوبت انتقال یافتند. کوپن‌ها در رطوبت نسبی 95 ± 2 و دمای ۲۵ تا ۳۰ درجه سانتی-گراد قرار داده شدند. نمونه‌ها مطابق با استانداردهای (ASTM, G85) و (ISO, 9227) تحت اسپری کلرید سدیم ۰/۵ M قرار گرفتند. بعد از چهار هفته نمونه‌ها از محوطه رطوبت‌ساز بیرون آورده شدند و برای ارزیابی تأثیر بازدارنده بر روی سطوح کوپن‌ها، به-وسیله دستگاه SEM-EDX مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفتند (تصاویر ۷ تا ۱۰)

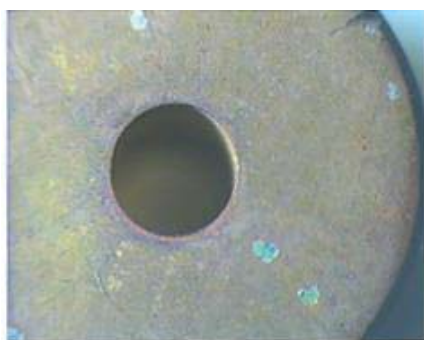
(۲۴۶) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی



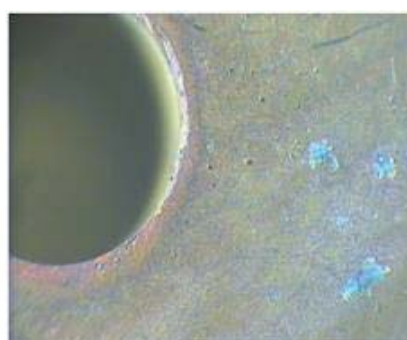
تصویر (۴): کوپن در محل خورنده سدیم کلرید ۰/۵ M بعد از ۳۰ روز غوطه وری. بزرگنمای ۶۰ X



تصویر (۳): کوپن در محل خورنده سدیم کلرید ۰/۵ M بعد از ۳۰ روز غوطه وری. بزرگنمای ۴۰ X



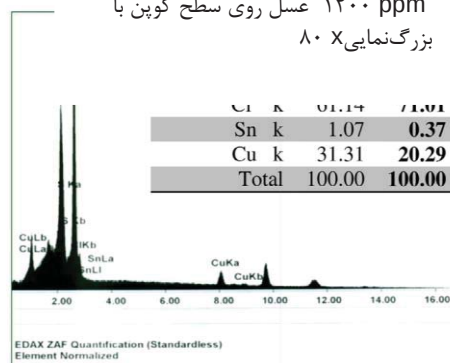
تصویر (۶): خورده شدن سطح کوپن در ۱۲۰۰ ppm



تصویر (۵): خورده شدن سطح کوپن در ۱۲۰۰ ppm عسل روی سطح کوپن با بزرگنمایی ۸۰ X

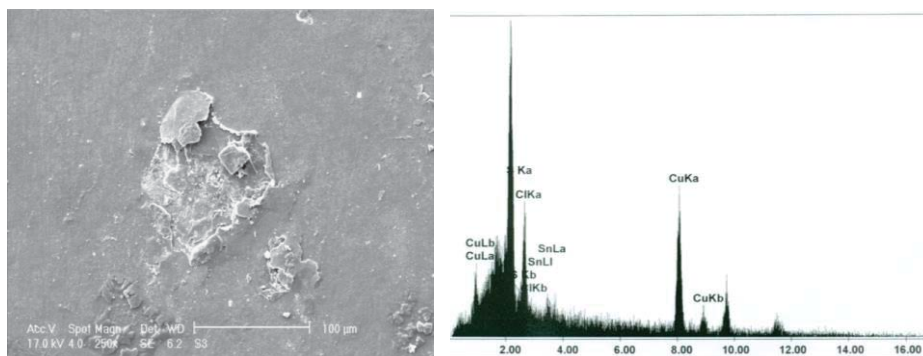


تصویر (۸): SEM از نمونه شاهد در برابر محلول خورنده سدیم کلرید ۰/۵M



تصویر (۷): آنالیز EDX از نمونه شاهد در برابر محلول خورنده سدیم کلرید ۰/۵M

بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند ... (۲۴۷)



تصویر (۱۰): SEM از سطح کوپن حاوی بازدارنده در حضور محلول خورنده سدیم کلرید ۵M

تصویر (۹): آنالیز EDS از سطح کوپن حاوی بازدارنده در حضور محلول خورنده سدیم کلرید ۵M

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی عسل، با استفاده از دستگاه پتانسیو استات مشخص گردید که داده‌های حاصل از این دستگاه قدرت بازدارندگی عسل در ۱۸۰۰ ppm با نرخ خوردگی ۷/۹۱۱ برابر با ۷۳٪ برای آلیاژ برنز با درصد (Cu-10Sn) نشان می‌دهد. با استفاده از داده‌های دستگاه پتانسیو استات مختلط بودن این بازدارنده نیز محرز شد. در روش کلاسیک کاهش وزن قدرت بازدارندگی عسل میمند فارس ۸۱٪ محاسبه شده است. در تصاویر SEM که برای بررسی سطوح کوپن‌ها در محلول خورنده سدیم کلرید ۵M/۰ در حضور بازدارنده عسل انجام گرفت نشان دهنده‌ی یکنواخت بودن و عدم خوردگی سطوح کوپن‌هاست.

منابع

- پورزرقان، وحید، وطنخواه، غلامرضا، بخشنده فرد، حمیدرضا، (۱۳۸۹)، بررسی و امکان استفاده از عسل به عنوان بازدارنده خوردگی در حفاظت اشیاء برنزی تاریخی، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی هنر دانشگاه اصفهان.
- Bard, A. J., & Faulkner, L. R. (1980). *Electrochemical methods: fundamentals and applications* (Vol. 2). New York: Wiley.

Bertonceli, J., Doberšek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007). Evaluation of the phenolic content, antioxidant activity and colour of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822-828.

Brinch Madsen, H, (1985), Benzotriazole: a perspective, *Corrosion inhibitors in conservation* London: The united kingdom institute for conservation, pp.19-21

Dean. S. W, 1987, *Materials Performance*, 26. pp. 51-52.

Dillman, P. Berranger, G. Piccardo. Matthiesen, P. (2007). Corrosion of metallic heritage artifacts *European Feaderal of Corrosion*, Woodhead, pp 335-360

El-Etre, A. Y. (1998). Natural honey as corrosion inhibitor for metals and alloys. I. Copper in neutral aqueous solution. *Corrosion Science*, 40(11), 1845-1850.

Ganorkar, M. C., Rao, V. P., Gayathri, P., & Rao, T. S. (1988). A novel method for conservation of copper-based artifacts. *Studies in conservation*, 33(2), 97-101.

Radojčić, I., Berković, K., Kovač, S., & Vorkapić-Furač, J. (2008). Natural honey and black radish juice as tin corrosion inhibitors. *Corrosion Science*, 50(5), 1498-1504..

Tang. L, Li. X, Li. L, Qu. Q, Mu. G, Liu. G, (2005), *Mat. Chem. Phys.* 94. 353.

White, J. W., Jr. (1950). New crystallized fruit spread shows commercial promise. *Food fnd.* 22, 1216-1298