

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
حَمْدًا لِلَّهِ الْحَمِيدِ



دانشگاه هنر اصفهان

دانشکده مرمت

گروه دکتری مرمت

رساله دکتری رشته مرمت گرایش اشیاء تاریخی و فرهنگی

تحلیل ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی در مجموعه‌های برنزی به دست

آمده از حفاری با تمرکز بر سیستم فلز-محیط-خوردگی

استادان راهنما:

دکتر سید محمدامین امامی

دکتر پرویز دوامی

استاد مشاور:

دکتر حسین احمدی

پژوهشگر:

امید عودباشی

شهریورماه ۱۳۹۲

اظهار نامه دانشجو

اینجانب امید عودباشی دانشجوی دوره دکتری رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی

دانشگاه هنر اصفهان به شماره دانشجویی ۸۷۲۱۲۰۵۱۰۵ گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارائه شده در این رساله با عنوان تحلیل ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی در مجموعه‌های برنزی به دست آمده از حفاری با تمرکز بر سیستم فلز-محیط-خوردگی توسط شخص اینجانب انجام شده و صحت و اصالت مطالب نگارش شده مورد تایید می‌باشد و در موارد استفاده از کار دیگر محققان به مرجع مورد استفاده اشاره شده است. همچنین گواهی می‌نمایم که مطالب مندرج در رساله تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری ارائه نشده است و در تدوین متن رساله چارچوب مصوب دانشگاه را به طور کامل رعایت کرده‌ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های
ناشی از تحقیق، همچنین چاپ و تکثیر، نسخه‌برداری، ترجمه و اقتباس از
این رساله دکتری، برای دانشگاه هنر اصفهان محفوظ است.
نقل مطالب با ذکر منبع بلامانع است.



دانشگاه هنر اصفهان

دانشکده مرمت

گروه دکتری مرمت

رساله دکتری رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی آقای امید عودباشی تحت

عنوان

تحلیل ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی در مجموعه‌های برنزی به دست آمده از

حفاری با تمرکز بر سیستم فلز-محیط-خوردگی

ارایه شده به مدیریت تحصیلات تکمیلی دانشگاه به عنوان بخشی از فعالیت‌های تحصیلی لازم برای اخذ درجه دکتری که در تاریخ توسط هیات داوران زیر بررسی و با نمره و درجه به تصویب نهایی رسید.

- | | |
|-------|--|
| امضاء | ۱- استاد راهنما آقای دکتر سید محمدمین امامی با مرتبه علمی استادیار |
| امضاء | ۲- استاد راهنما آقای دکتر پرویز دوامی با مرتبه علمی استاد |
| امضاء | ۳- استاد مشاور آقای دکتر حسین احمدی با مرتبه علمی استادیار |
| امضاء | ۴- استاد داور داخل آقای دکتر حمیدرضا بخشنده‌فرد با مرتبه علمی استادیار |
| امضاء | ۵- استاد داور داخل آقای دکتر حسام اصلانی با مرتبه علمی استادیار |
| امضاء | ۶- استاد داور خارج آقای دکتر محمود پیکری با مرتبه علمی استادیار |
| امضاء | ۷- استاد داور خارج آقای دکتر محمد علی گل‌عذار با مرتبه علمی استاد |

امضای مدیر گروه دوره دکتری

سپاسگزاری

از استادان عزیز و بزرگوارم آقایان پروفیسور پرویز دوامی، دکتر سید محمدامین امامی و دکتر حسین احمدی برای راهنمایی‌ها، کمک‌ها و ارائه نظرات موثر در شکل‌گیری و پیشرفت روند این پژوهش بسیار سپاسگزارم.

از دوستان و همکاران عزیز و محترم آقایان و خانم‌ها محمد مرتضوی، بهنود سیاپوش، مهناز بهاری، امیرحسین کریمی، محسن محمدی، رضا وحیدزاده، دکتر پرویز هلاکویی، مهری قبادی، مهشید شیردوانی، مریم میرزازعی، مژگان محمدی، دلارام کاردار طهران و همچنین از اساتید محترم دانشکده مرمت آقایان دکتر احمد صالحی کاخکی (ریاست محترم دانشکده)، دکتر حمیدرضا بخشنده‌فرد، دکتر غلامرضا وطنخواه، عباس عابد اصفهانی، داریوش حیدری بنی، دکتر مرتضی حصاروی و دکتر فرشید ایروانی که با کمک‌ها و راهنمایی‌هایشان اینجانب را در پیشبرد بخش‌های مختلف این پژوهش یاری نمودند سپاسگزارم.

از کارشناسان و همکاران محترم دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان آقایان و خانم‌ها فرزانه ریسمانچیان، غزاله زاهدی، ابوذر طاهری، ستاره نادری، جواد جمشیدی، زینب شایگان‌فر، شهلا پاپویز، روح‌الله رشیدی، رسول قاسمی و همچنین آقای صالح غایی (دفتر پژوهش، معاونت پژوهشی دانشگاه)، برای همکاری در بخش‌های مختلف اداری و آزمایشگاهی سپاسگزاری می‌نمایم.

از دکتر بهزاد مفیدی نصرآبادی سرپرست هیئت باستان‌شناسی محوطه هفت تپه و همکارانشان آقایان و خانم‌ها علی زلقی، بابک رفیعی، فخریه عبدالمهی، مهنوش دباغ، رویا خزائلی و ساناز بیضایی، همکاران و دوستان در پروژه حفاظت و مرمت چغازنبیل و هفت تپه آقایان و خانم‌ها مظفر فرهادپور (مدیر پایگاه)، سهیلا ذکوی، سجاد پاک‌گوهر، محمدرضا رکنی، سعید نژادروحو، علی عبدالخانی، رحیم بنا، امید هوتن، و سرپرستان هیئت باستان‌شناسی محوطه سنگتراشان لرستان آقایان عطا حسن‌پور و دکتر مهرداد ملکزاده جهت همکاری در ارائه اطلاعات مربوط به محوطه‌های باستانی مورد مطالعه در این پژوهش، فراهم نمودن شرایط جهت مطالعه محوطه‌ها و دسترسی به نمونه‌های مختلف سپاسگزارم.

بخش بزرگی از نتایج ارائه شده در این رساله حاصل آزمایش‌های انجام شده در مرکز پژوهش متالورژی رازی و مساعدت همه جانبه بخش‌های مختلف در این مرکز بود. از دوستان و کارشناسان محترم مرکز پژوهش متالورژی رازی آقایان و خانم‌ها بهنام رحمانی، مینا قدردان، لعبت رعیت‌خواه، فاطمه غفاری، مینا اسدی جوزانی، سپیده علی‌اصغری، دکتر زکی احمد و نیلوفر غفاریان (دفتر اصفهان) جهت کمک در انجام مطالعات و آزمایش‌ها و کلیه همکاران آنها در بخش‌های مختلف مرکز تشکر می‌نمایم.

از کارشناسان محترم آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان آقای حمیدرضا عابدی و خانم فاطمه نصیرایی جهت انجام و پیگیری نتایج آنالیز XRD، آقایان ابراهیم آبرون (مدیر عامل) و میرمسعود فرمان‌آرا (معاون فنی) از اداره کل آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان اصفهان جهت همکاری در انجام آزمایش‌های دانه‌بندی نمونه‌های خاک و آقایان فرهاد ایل‌بگ و محمدولی سلطانی که در آماده‌سازی مقاطع صیقلی اینجانب را یاری نمودند، سپاسگزارم.

از پژوهشگرانی که دوستانه به سوالات اینجانب پاسخ داده و نتایج پژوهش‌هایشان را در اختیار بنده قرار دادند، سپاسگزار می‌نمایم، آقایان و خانم‌ها: دکتر کریستوفر پتر تورنتون (C. P. Thornton) موزه دانشگاه پنسیلوانیا، دکتر لوک روبیولا (L. Robbiola)، پروفیسور دیوید ای. اسکات (D. A. Scott) دانشگاه UCLA، دکتر برونو اورلات (B. Overlaet) موزه سلطنتی هنر و تاریخ بروکسل، دکتر لیندسی سلوین (L. Selwyn) موسسه مرمت کانادا، پروفیسور ارنی هرینک (E. Haerinck) دانشگاه گنت بلژیک، پروفیسور یون ساندو (I. Sandu) دانشگاه الکساندرو یون کوزا رومانی، پروفیسور گرهارد اگرت (G. Eggert) آکادمی ایالتی هنر و طراحی اشتوتگارت آلمان، دکتر پیتر نورثوور (P. Northover) دانشگاه آکسفورد، پروفیسور آندرس جی. نورد (A. G. Nord) شورای میراث ملی سوئد، پروفیسور الیزابت پای (E. Pye) دانشگاه UCL، پروفیسور وینست سی. پیگوت (V. C. Pigott) دانشگاه UCL، اگنا اولن (I. Ullen) موزه ملی باستان‌شناسی استکهلم، جیمز کروفرود (J. Crawford) دانشگاه وارویک انگلستان، دکتر ورنر گروین (W. Gerwin)، پروفیسور جان‌تاتان اشلی-اسمیت (J. Ashley-Smith) مدیر پروژه "ارزیابی تخریب" و مدیر سابق بخش حفاظت موزه ویکتوریا و آلبرت، دکتر روبرت والر (R. Waller) استادیار دانشگاه کوپن کانادا و رئیس شرکت نگهداری میراث، پروفیسور مهدی یزدی گروه زمین‌شناسی دانشگاه اصفهان، دکتر آلیس بوسیا پاتراکیس (A. B. Paterakis) موسسه ژاپنی باستان‌شناسی آناتولی ترکیه، دکتر ماندانا صاحب (M. Saheb)، دکتر نوره‌زیلان بن مد نور (N. B. Md Noor) دانشگاه تکنولوژی مالزی، دکتر صادق فیروزی دانشکده معدن و مواد دانشگاه امیرکبیر، دکتر الن فیگوردو (E. Figueiredo)، موسسه فناوری هسته‌ای پرتقال.

در نهایت از همسر مهربان و فداکارم خانم عاطفه شکفته که در طول تمامی دوره تحصیل و پژوهش همراه و یاور بنده بوده و اینجانب را در تمامی مشکلات و سختی‌های انجام پژوهش یاری نمودند، سپاسگزاری نموده و این رساله را به شخصیت صبور، بردبار و مهربان ایشان تقدیم می‌نمایم.

تقدیم به همراه و همسر مهربانم

عاطفه

چکیده

هدف از این پژوهش به کارگیری رهیافت مطالعاتی فلز-محیط-خوردگی جهت درک صحیح ریخت‌شناسی و مکانیزم خوردگی در مجموعه‌های برنزی باستانی و استفاده از نتایج حاصل از آن در ارزیابی بحران مجموعه‌های برنزی پیش، در حین و پس از حفاری جهت حفاظت پیشگیرانه این مجموعه‌ها است. به این منظور دو محوطه باستانی هفت تپه خوزستان (دوره ایلام میانه) و سنگتراشان لرستان (عصر آهن II و III) انتخاب شده و محیط خاک آنها از نقطه‌نظر عوامل موثر بر خوردگی و نمونه‌های اشیاء برنزی از نقطه‌نظر تکنولوژی فلزگری و مکانیزم و ریخت‌شناسی خوردگی مورد مطالعات آزمایشگاهی قرار گرفته است. نمونه‌های خاک با استفاده از روش‌های آنالیز شیمیایی و دستگاهی مانند XRD و XRF، اندازه‌گیری نمک‌های محلول و شناسایی خواص فیزیکی خاک مطالعه شده‌اند. شناخت تکنولوژی فلزگری با استفاده از روش‌های SEM-EDS و متالوگرافی صورت گرفته است. جهت شناسایی ماهیت و لایه‌نگاری خوردگی از روش‌های XRD، SEM-EDS و متالوگرافی استفاده شده است. نتایج رهیافت مطالعاتی فلز-محیط-خوردگی در دو محوطه بیانگر دو محیط خاک متفاوت از نقطه‌نظر خوردگی است. محیط خاک محوطه هفت تپه به شدت خورنده است در حالی که خاک محوطه سنگتراشان در شرایط تاحدی خورنده قرار دارد. مطالعات خوردگی در نمونه‌های فلزی نیز نشان دهنده سه گونه ریخت‌شناسی خوردگی در محوطه هفت تپه همراه با وقوع خوردگی فعال و بیماری برنز در اشیاء محوطه بود. سه گونه خوردگی رخ داده در نمونه‌های هفت تپه مشابهت‌هایی با خوردگی نوع دوم در برنزهای باستانی داشت اما تفاوت‌هایی در ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی در اشیاء این محوطه مشاهده شد. از سوی دیگر ریخت‌شناسی و مکانیزم خوردگی در اشیاء محوطه سنگتراشان شامل ساختاری سه لایه‌ای همراه با تشکیل پاتین غنی از قلع در سطح نمونه‌های برنزی بود که تا حد زیادی با خوردگی نوع اول شناخته شده در برنزهای باستانی مطابقت داشت. با توجه به نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی، یک روش ارزیابی بحران پیش و در حین و در نهایت پس از حفاری برقرار گردید. نتایج ارزیابی بحران بیانگر شرایط بحرانی در اشیاء حفاری نشده و حفاری شده مجموعه برنزی محوطه هفت تپه و نیز شرایط پایدار در اشیاء محوطه سنگتراشان بود. در پایان یک رهیافت حفاظت پیشگیرانه در سه حالت نگهداری در محل، حین حفاری و پس از حفاری بر اساس نتایج حاصل از رهیافت فلز-محیط-خوردگی و ارزیابی بحران در مجموعه‌های برنزی و با توجه به تجربیات و نتایج تحقیقات موجود در این زمینه برقرار شد.

واژگان کلیدی

مجموعه‌های برنزی باستان‌شناسی، رهیافت فلز-محیط-خوردگی، محیط خاک، ارزیابی بحران، حفاظت باستان‌شناسی، حفاظت پیشگیرانه

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
س	کوتاه‌نوشت‌ها
ش	پیشگفتار
۱	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱- بیان مساله
۲	۱-۱-۱- مقدمه
۲	۱-۱-۲- حفاظت و باستان‌شناسی
۴	۱-۱-۳- مجموعه‌های برنزی باستانی
۸	۱-۱-۴- سیستم فلز-محیط-خوردگی
۱۰	۱-۲- اهمیت و ضرورت پژوهش
۱۱	۱-۳- سوال‌های پژوهش
۱۲	۱-۴- اهداف پژوهش
۱۳	۱-۵- فرضیه
۱۵	فصل دوم: مبانی نظری و پیشینه پژوهش
۱۶	۱-۲- مقدمه
۱۶	۲-۲- خوردگی
۱۷	۲-۳- خوردگی برنزه‌های باستانی در خاک
۲۵	۲-۴- محیط خاک
۲۵	۲-۴-۱- ماهیت خاک
۲۶	۲-۴-۲- عوامل موثر بر خوردگی در خاک
۲۸	الف- ترکیب شیمیایی خاک
۳۰	ب- pH خاک
۳۱	ج- رطوبت خاک
۳۲	د- هواگیری خاک
۳۳	ه- بافت و دانه‌بندی خاک

۳۴	و- مقاومت الکتریکی خاک
۳۴	ز- پتانسیل احیاء
۳۴	ح- باکتری‌های احیاء کننده سولفات (SRB)
۳۵	۵-۲- مطالعات انجام شده بر روی خوردگی برنزه‌های تاریخی در محیط خاک
۴۱	۶-۲- حفاظت و مرمت اشیاء برنزی حفاری شده
۴۷	فصل سوم: روش‌شناسی پژوهش
۴۸	۱-۳- مقدمه
۴۸	۲-۳- محوطه‌های باستانی
۴۹	۱-۲-۳- محوطه هفت تپه خوزستان
۵۰	الف- مجموعه برنزی هفت تپه
۵۱	۲-۲-۳- محوطه سنگتراشان لرستان
۵۳	الف- مجموعه برنزی سنگتراشان
۵۵	۳-۳- روند پژوهش
۵۷	۴-۳- نمونه‌برداری
۵۷	۱-۴-۳- خاک
۵۹	۲-۴-۳- فلز
۶۳	۵-۳- روش‌های آزمایشگاهی
۶۳	۱-۵-۳- خاک
۶۳	الف- آماده‌سازی نمونه‌ها
۶۳	ب- شناسایی ترکیب شیمیایی خاک (XRF)
۶۳	ج- شناسایی ترکیب فازی خاک (XRD)
۶۴	د- دانه‌بندی خاک
۶۴	ه- میزان آب و مواد فرار
۶۴	و- pHسنجی
۶۵	ز- هدایت الکتریکی خاک
۶۵	ح- اندازه‌گیری نمک‌های محلول

۶۶	۳-۵-۲- فلز
۶۶	الف- مشاهدات میکروسکوپی و متالوگرافی
۶۶	ب- آنالیز شیمیایی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی
۶۷	ج- آنالیز کیفی محصولات خوردگی (XRD)
۶۹	فصل چهارم: نتایج و بحث
۷۰	۴-۱- مقدمه
۷۰	۴-۲- زمین شناسی و اقلیم شناسی
۷۳	۴-۳- ماهیت خاک
۷۳	۴-۳-۱- مشخصات ظاهری
۷۴	۴-۳-۲- ترکیب شیمیایی خاک
۷۹	۴-۳-۳- دانه بندی خاک
۸۲	۴-۳-۴- اندازه گیری رطوبت (آب) و مواد آلی
۸۳	۴-۳-۵- هدایت الکتریکی خاک
۸۴	۴-۳-۶- pHسنجی
۸۵	۴-۳-۷- نمک های محلول
۸۸	۴-۳-۸- ارزیابی شرایط خاک
۹۴	۴-۴- تکنولوژی فلزگری
۹۴	۴-۴-۱- ترکیب آلیاژ
۹۴	الف- محوطه هفت تپه
۹۷	ب- محوطه سنگتراشان
۱۰۰	۴-۴-۲- مطالعات ریزساختاری
۱۰۰	الف- متالوگرافی
۱۰۸	ب- ناخالصی ها
۱۱۱	۴-۵- مطالعات خوردگی
۱۱۱	۴-۵-۱- مشاهدات
۱۱۴	۴-۵-۲- لایه نگاری خوردگی

۱۱۴	الف- لایه‌نگاری نمونه‌های محوطه هفت تپه
۱۳۳	ب- لایه‌نگاری نمونه‌های محوطه سنگتراشان
۱۴۱	۴-۵-۳- شناسایی محصولات خوردگی
۱۴۳	۴-۶- تحلیل ریخت‌شناسی و مکانیزم خوردگی
۱۴۳	۴-۶-۱- ریخت‌شناسی و مکانیزم خوردگی در برنزه‌های هفت تپه
۱۵۳	۴-۶-۲- ریخت‌شناسی و مکانیزم خوردگی در برنزه‌های سنگتراشان
۱۶۳	۴-۶-۳- ارزیابی ریخت‌شناسی خوردگی
۱۶۸	۴-۷- شرایط حفاظتی در مجموعه‌های برنزی
۱۶۸	۴-۷-۱- ارزیابی بحران در مجموعه‌های برنزی
۱۷۲	الف- ارزیابی بحران پیش و در حین حفاری
۱۷۶	ب- ارزیابی بحران در محیط نگهداری
۱۸۳	۴-۸- رهیافت فلز-محیط-خوردگی، مجموعه‌های برنزی و حفاظت پیشگیرانه
۱۸۳	۴-۸-۱- رهیافت فلز-محیط-خوردگی، مجموعه‌های برنزی و ارزش‌ها
۱۸۷	۴-۸-۲- رهیافت فلز-محیط-خوردگی، مجموعه‌های برنزی و ارزیابی بحران
۱۸۹	۴-۸-۳- مراحل رهیافت فلز-محیط-خوردگی
۱۹۴	۴-۹- حفاظت پیشگیرانه مجموعه‌های برنزی باستانی
۱۹۶	۴-۹-۱- نگهداری در محل
۱۹۸	۴-۹-۲- حفاظت حین کاوش
۲۰۱	۴-۹-۳- حفاظت پس از کاوش
۲۰۵	فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها
۲۱۳	پی‌نوشت‌ها
۲۱۵	منابع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۶۰	جدول ۳-۱- مشخصات نمونه‌های فلزی انتخاب شده از دو محوطه تحت مطالعه
۷۳	جدول ۴-۱- مشخصات رنگی نمونه‌های خاک دو محوطه بر اساس جدول رنگ مانسل
۷۴	جدول ۴-۲- نتایج آنالیز XRF نمونه‌های خاک هفت تپه بر پایه درصد وزنی.
۷۶	جدول ۴-۳- نتایج آنالیز XRD و فازهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک هفت تپه.
۷۷	جدول ۴-۴- نتایج آنالیز XRF نمونه‌های خاک سنگتراشان بر پایه درصد وزنی
۷۹	جدول ۴-۵- نتایج آنالیز XRD و فازهای شناسایی شده در نمونه‌های خاک سنگتراشان
۸۰	جدول ۴-۶- درصد ماسه و رس + لای در نمونه‌های خاک.
۸۵	جدول ۴-۷- نتایج اندازه‌گیری آب و مواد آلی، هدایت الکتریکی و pH در خاک دو محوطه
۸۶	جدول ۴-۸- نتایج اندازه‌گیری نمک‌های محلول موجود در نمونه‌های خاک دو محوطه.
۹۳	جدول ۴-۹- ارزش‌گذاری پارامترهای موثر بر خوردگی و دسته‌بندی خاک بر اساس خوردگی
۹۶	جدول ۴-۱۰- نتایج آنالیز SEM-EDS ۷ نمونه فلزی محوطه هفت تپه بر پایه درصد وزنی
۹۸	جدول ۴-۱۱- نتایج آنالیز SEM-EDS ۲۲ نمونه فلزی محوطه سنگتراشان بر پایه درصد وزنی
۱۰۹	جدول ۴-۱۲- نتایج آنالیز SEM-EDS آخال‌های نمونه فلزی دو محوطه بر پایه درصد وزنی
۱۱۳	جدول ۴-۱۳- معیار ارزیابی وضعیت نمونه‌ها و محاسبه فاکتور فرسایش (<i>Fdet</i>)
۱۱۸	جدول ۴-۱۴- نتایج آنالیز SEM-EDS لایه‌های خوردگی نمونه‌های گروه یک محوطه هفت تپه
۱۲۴	جدول ۴-۱۵- نتایج آنالیز SEM-EDS لایه‌های خوردگی نمونه‌های گروه دو محوطه هفت تپه
۱۳۱	جدول ۴-۱۶- نتایج آنالیز SEM-EDS لایه‌های خوردگی نمونه‌های گروه سه محوطه هفت تپه
۱۳۹	جدول ۴-۱۷- نتایج آنالیز SEM-EDS لایه‌های خوردگی نمونه‌های محوطه سنگتراشان
۱۴۱	جدول ۴-۱۸- نتایج آنالیز XRD محصولات خوردگی در ۲۰ نمونه متعلق به محوطه هفت تپه
۱۴۲	جدول ۴-۱۹- نتایج آنالیز XRD محصولات خوردگی در ۱۵ نمونه متعلق به محوطه سنگتراشان
۱۵۲	جدول ۴-۲۰- مشخصات محصولات خوردگی شناسایی شده در نمونه‌های دو محوطه
۱۶۷	جدول ۴-۲۱- پارامترهای موثر و معیارهای اندازه‌گیری فاکتور شدت خوردگی در نمونه‌های برنزی
۱۷۴	جدول ۴-۲۲- تعیین برآیندهای محتمل در محیط خاک (PIs)
۱۷۶	جدول ۴-۲۳- مقادیر استفاده شده و اندازه‌گیری شده اهمیت بحران محیط دفن در دو محوطه

- جدول ۴-۲۴- تعیین برآیندهای محتمل موزه (PI_M) ۱۷۹
- جدول ۴-۲۵- مقادیر استفاده شده و اندازه گیری شده اهمیت بحران محیط نگهداری اشیاء در دو موزه ۱۸۱
- جدول ۴-۲۶- مشخصات ریخت شناسی خوردگی و آسیب های احتمالی موثر بر ارزش های دو مجموعه ۱۸۷
- جدول ۴-۲۷- مراحل و آزمون های مقدماتی و پیشرفته مورد نیاز در مطالعه مجموعه های برنزی باستانی ۱۹۳

فهرست شکل‌ها

عنوان	صفحه
شکل ۱-۱- نمودار مطالعه ریخت‌شناسی و شرایط حفاظتی مجموعه‌های برنزی.	۹
شکل ۱-۲- چرخه تغییر اشیاء برنزی باستانی از تولید تا خوردگی.	۱۷
شکل ۲-۲- طرح شماتیک تاول‌های خوردگی در برنزهای باستانی.	۲۰
شکل ۳-۲- طرح شماتیک لایه‌ها در خوردگی نوع اول و دوم برنزهای باستانی.	۲۲
شکل ۴-۲- عوامل متعدد موثر بر خوردگی اشیاء فلزی در محیط خاک.	۲۷
شکل ۱-۳- موقعیت جغرافیایی محوطه هفت تپه در دشت خوزستان.	۵۰
شکل ۲-۳- موقعیت جغرافیایی محوطه سنگتراشان در ناحیه لرستان.	۵۲
شکل ۳-۳- طرح شماتیک روند انجام پژوهش.	۵۶
شکل ۴-۳- نقشه محوطه هفت تپه و محل نمونه‌برداری خاک	۵۸
شکل ۵-۳- نقشه محوطه سنگتراشان و محل نمونه‌برداری خاک	۵۸
شکل ۱-۴- منحنی تغییرات متوسط بیشینه و کمینه رطوبت نسبی در ناحیه هفت تپه و خرم‌آباد	۷۲
شکل ۲-۴- نمودار تفاوت مقدار اکسیدها و عناصر شناسایی شده در نمونه‌های خاک هفت تپه.	۷۴
شکل ۳-۴- نمودار XRD نمونه HT.27-01 متعلق به محوطه هفت تپه.	۷۶
شکل ۴-۴- نمودار تفاوت مقدار اکسیدها و عناصر شناسایی شده در نمونه‌های خاک سنگتراشان.	۷۷
شکل ۵-۴- نمودار XRD نمونه ST.01 متعلق به محوطه سنگتراشان.	۷۹
شکل ۶-۴- نمودار مقایسه نسبت ماسه به ذرات ریزدانه در نمونه‌های خاک دو محوطه.	۸۰
شکل ۷-۴- نمودار دانه‌بندی الک-هیدرومتری در نمونه‌های خاک دو محوطه.	۸۱
شکل ۸-۴- نمودار درصد آب و مواد آلی موجود در نمونه‌های خاک دو محوطه.	۸۳
شکل ۹-۴- نمودار میزان هدایت محلول خاک در نمونه‌های دو محوطه	۸۳
شکل ۱۰-۴- نمودار pH در نمونه‌های خاک دو محوطه	۸۴
شکل ۱۱-۴- نمودار تفاوت مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های خاک محوطه هفت تپه	۸۷
شکل ۱۲-۴- نمودار تفاوت مقدار آنیون‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های خاک محوطه سنگتراشان	۸۷
شکل ۱۳-۴- نمودار خطی مقایسه هدایت الکتریکی و مجموع یون‌های محلول اندازه‌گیری شده خاک	۸۹
شکل ۱۴-۴- نمودار مقایسه خوردگی نمونه‌های خاک دو محوطه بر پایه اندیس خوردگی خاک.	۹۴

- شکل ۴-۱۵- نمودار نتایج ترکیب آلیاژ در ۷ نمونه محوطه هفت تپه. ۹۶
- شکل ۴-۱۶- طیف آنالیز SEM-EDS نمونه HT.09-12/N محوطه هفت تپه. ۹۶
- شکل ۴-۱۷- نمودار فازی سیستم مس-قلع ۹۷
- شکل ۴-۱۸- نمودار نتایج ترکیب آلیاژ در ۲۲ نمونه محوطه سنگتراشان. ۹۹
- شکل ۴-۱۹- طیف SEM-EDS نمونه ST.03-10 محوطه سنگتراشان. ۹۹
- شکل ۴-۲۰- نمودار سیستم Cu-Fe-S بر اساس نتایج آنالیز SEM-EDS آخال‌های سولفیدی ۱۱۰
- شکل ۴-۲۱- نمودار نتایج ارزیابی فاکتور فرسایش در نمونه‌های دو محوطه ۱۱۴
- شکل ۴-۲۲- طرح شماتیک ساختار و ریخت‌شناسی خوردگی نمونه‌های گروه یک محوطه هفت تپه ۱۴۴
- شکل ۴-۲۳- طرح شماتیک ساختار و ریخت‌شناسی خوردگی نمونه‌های گروه دو محوطه هفت تپه ۱۴۴
- شکل ۴-۲۴- طرح شماتیک ساختار و ریخت‌شناسی خوردگی نمونه‌های گروه سه محوطه هفت تپه ۱۴۵
- شکل ۴-۲۵- منحنی Eh-pH برای سیستم Cu-Sn-Cl-H₂O ۱۵۰
- شکل ۴-۲۶- منحنی Eh-pH برای سیستم Cu-Sn-Cl-H₂O ۱۵۰
- شکل ۴-۲۷- منحنی Eh-pH برای سیستم Cu-SO₃-H₂O ۱۵۳
- شکل ۴-۲۸- طرح شماتیک ریخت‌شناسی خوردگی نمونه‌های محوطه سنگتراشان ۱۵۴
- شکل ۴-۲۹- نمودار رابطه بین فاکتور انحلال مس و میزان اتمی قلع در آلیاژ ۱۵۵
- شکل ۴-۳۰- منحنی Eh-pH برای سیستم Cu-CO₂-H₂O ۱۶۱
- شکل ۴-۳۱- منحنی Eh-pH برای سیستم Cu-Sn-CO₂-H₂O ۱۶۲
- شکل ۴-۳۲- رابطه بین نرخ و ریخت‌شناسی خوردگی در برنزهای هفت تپه و سنگتراشان. ۱۶۵
- شکل ۴-۳۳- نمودار شدت خوردگی در نمونه‌های محوطه هفت تپه و سنگتراشان. ۱۶۸
- شکل ۴-۳۴- رابطه بین مدیریت و ارزیابی بحران ۱۶۹
- شکل ۴-۳۵- سه نوع بحران (مخاطره) شناخته شده بر اساس تکرار و شدت آنها ۱۷۰
- شکل ۴-۳۶- خطرات احتمالی تاثیرگذار بر مجموعه‌های برنزی باستانی پیش و پس از حفاری ۱۷۱
- شکل ۴-۳۷- اهمیت بحران در دو محوطه بر اساس برآیندهای محتمل اندازه‌گیری شده. ۱۷۶
- شکل ۴-۳۸- اهمیت بحران در محیط نگهداری دو مجموعه بر اساس برآیندهای محتمل. ۱۸۱
- شکل ۴-۳۹- رابطه بین رهیافت فلز-محیط-خوردگی، ریخت‌شناسی و ارزش‌ها در مجموعه‌های برنزی. ۱۸۵
- شکل ۴-۴۰- ارزیابی بحران، حفاظت پیشگیرانه و رهیافت فلز-محیط-خوردگی در مجموعه‌های برنزی. ۱۸۸

- شکل ۴-۴۱- مراحل به کارگیری رهیافت فلز-محیط-خوردگی در مجموعه‌های برنزی باستانی. ۱۹۱
- شکل ۴-۴۲- روند حفاظت پیشگیرانه در مجموعه‌های برنزی باستانی ۱۹۵
- شکل ۴-۴۳- روند تصمیم‌گیری در زمینه نگهداری در محل در محوطه‌ها و مجموعه‌های باستان‌شناسی. ۱۹۷
- شکل ۴-۴۴- روند حفاظت پیشگیرانه در مجموعه‌های برنزی باستانی پس از حفاری در محیط نگهداری ۲۰۲
- شکل ۵-۱- کاربرد نتایج حاصل از رهیافت مطالعاتی فلز-محیط-خوردگی در ریخت‌شناسی خوردگی و شرایط حفاظتی مجموعه‌های برنزی باستانی. ۲۱۰

فهرست عکس‌ها

صفحه	عنوان
۱۹	عکس ۱-۲- ظهور لکه‌های سبز روشن و بیماری برنز در دو نمونه شیء برنزی باستانی.
۵۱	عکس ۱-۳- تعدادی از اشیاء برنزی مجموعه هفت تپه
۵۳	عکس ۲-۳- تصویر محدوده حفاری شده محوطه سنگتراشان و اشیاء برنزی در حین حفاری.
۵۴	عکس ۳-۳- تعدادی از اشیاء برنزی مجموعه محوطه سنگتراشان.
۶۱	عکس ۳-۴- تصویر ۲۶ نمونه فلزی انتخاب شده از محوطه هفت تپه خوزستان.
۶۲	عکس ۳-۵- تصویر ۲۲ نمونه ظرف فلزی انتخاب شده از محوطه هفت تپه خوزستان.
۷۴	عکس ۴-۱- مشخصات ظاهری نمونه‌های خاک محوطه هفت تپه و سنگتراشان.
۱۰۲	عکس ۴-۲- ریزساختار پیش از اچ نمونه‌های فلزی محوطه هفت تپه
۱۰۲	عکس ۴-۳- ریزساختار پیش از اچ نمونه HT.09-12/N
۱۰۳	عکس ۴-۴- ریزساختار اچ شده نمونه‌های فلزی محوطه هفت تپه
۱۰۵	عکس ۴-۵- ریزساختار پیش از اچ تعدادی نمونه‌های فلزی محوطه سنگتراشان
۱۰۵	عکس ۴-۶- ریزساختار پیش از اچ نمونه ST.22-11
۱۰۶	عکس ۴-۷- ریزساختار اچ شده تعدادی نمونه‌های فلزی محوطه سنگتراشان
۱۰۶	عکس ۴-۸- ریزساختار اچ شده نمونه ST.22-11
۱۱۰	عکس ۴-۹- تصاویر میکروسکوپی SEM-BSE آخال‌های موجود در ساختار نمونه‌های هفت تپه
۱۱۰	عکس ۴-۱۰- تصاویر میکروسکوپی SEM-BSE آخال‌های موجود در ساختار نمونه‌های سنگتراشان
۱۱۲	عکس ۴-۱۱- تصاویر میکروسکوپی سطح نمونه‌های هفت تپه با استفاده از میکروسکوپ استریو
۱۱۲	عکس ۴-۱۲- تصاویر میکروسکوپی سطح نمونه‌های سنگتراشان با استفاده از میکروسکوپ استریو.
۱۱۶	عکس ۴-۱۳- تصویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه HT.06-12/N متعلق به گروه یک هفت تپه
۱۱۶	عکس ۴-۱۴- تصویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه HT.07-12/N متعلق به گروه یک هفت تپه
۱۱۶	عکس ۴-۱۵- تصویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه HT.09-12/N متعلق به گروه یک هفت تپه
۱۱۷	عکس ۴-۱۶- تصویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه HT.05-5-531/4 متعلق به گروه یک هفت تپه
۱۱۷	عکس ۴-۱۷- تصویر میکروسکوپی پلاریزان از نمونه HT.10-95-72 متعلق به گروه یک هفت تپه
۱۱۹	عکس ۴-۱۸- تصویر SEM-BSE از نمونه‌های گروه اول هفت تپه و لایه‌های آنالیز شده