



دو فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

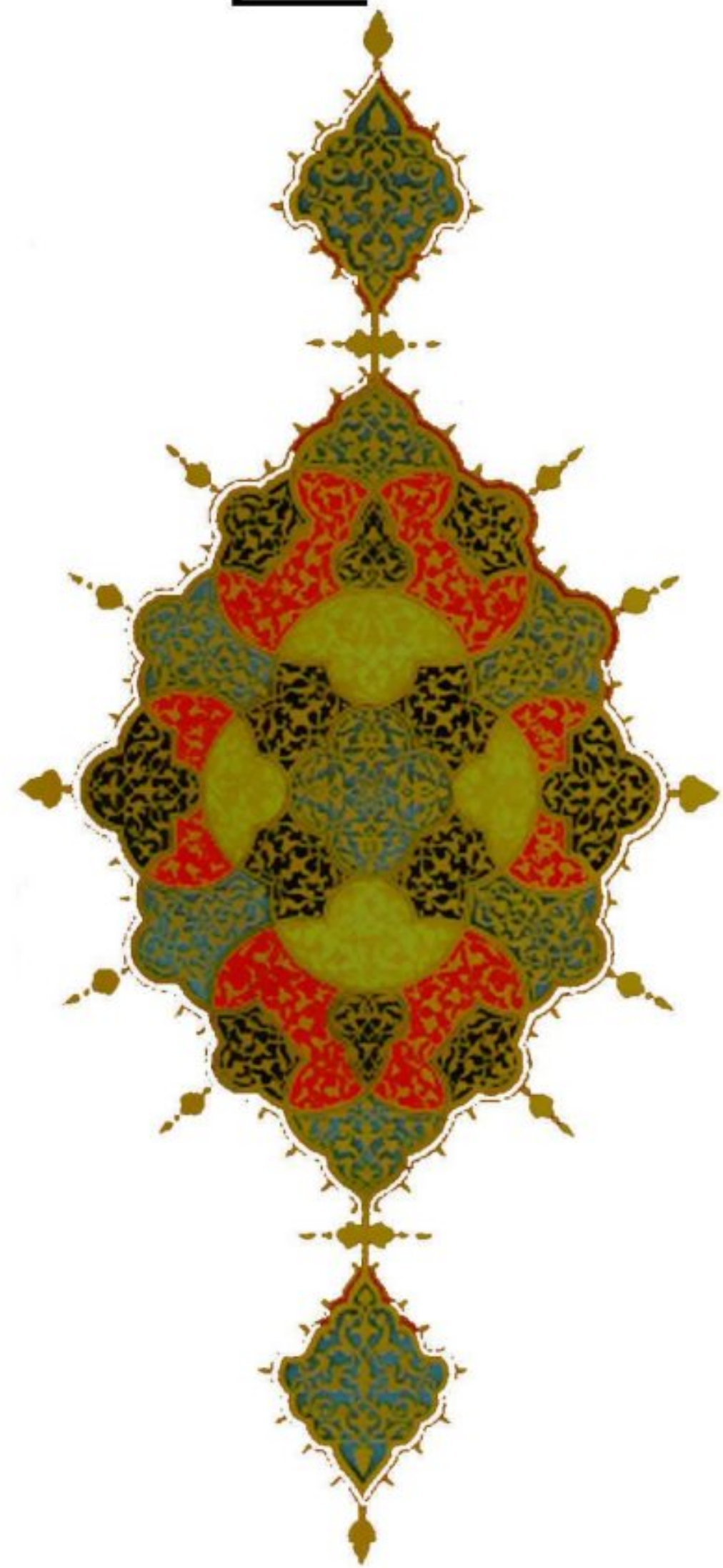
دانشگاه

دوره جدید. سال نخست. شماره ۱۰. بهار و تابستان. ۱۳۹۲



مقالات

آرایه‌های معماری اتاق مقبره‌ی بنای تاریخی پیربکران و کتیبه‌ی پنهان در آن / یاسر حمزوی، فرشاد مؤذنی.
ظهور و زوال خانه‌های صخره‌ای روستای توریستی کندوان / فریده امینی بیرامی و ابراهیم اصغری کلجاهی.
آشکارسازی و حفاظت تزئینات پنهان نقاشی در خانه صدقیانی تبریز / مصطفی کریمی فرد، مهدی رازانی، سعید مهریار.
پوشش دهی نانو کامپوزیت اکسید روی بر سطوح آثار کاغذی تاریخی و هنری / صالح ایمانی، مریم افشار پور.
اصول و مبانی الکتروشیمیایی در مبحث بازدارندگی خوردگی در آلیاژهای تاریخی / وحید پورزرقان.
پاکسازی چسبها و پوشاننده‌های آثار آهنی با استفاده از لیزر TEA Co₂ و Nd: YAG / یانک سو کو / برگردان: معصومه تفرشی.
هدف های حفاظت / کریس کیپل / برگردان: امیر حسین کریمی.
مروری بر نمک زدایی ابنیه و یادمانهای سنگی به روش ضماد گذاری، ورونیک ورگس بلمین / برگردان: سحر احمدخان بیگی.
کتاب شناسی فارسی حفاظت و مرمت میراث سنگی / مهدی رازانی.



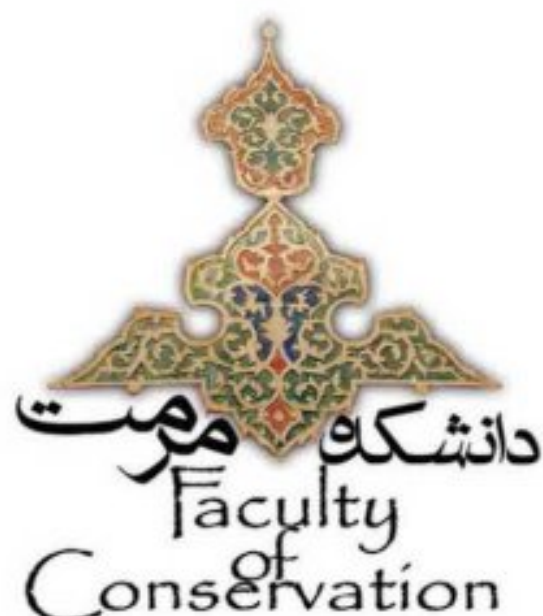


مشاوران این شماره:

امید عودباشی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 محمد مرتضوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 امیر حسین کریمی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.

شورای سردبیران بر اساس حروف الفبا:

امین نعمتی: دانشجوی دکتری مرمت بناها و بافت های فرهنگی و تاریخی.
 رضا رحمانی: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 شهرزاد امین شیرازی نژاد: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 علی نعمتی بابایلو: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 محسن محمدی: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 محمد حدادی: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 مسعود باتر: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.
 یاسر جعفری: دانشجوی دکتری مرمت بناها و بافت های فرهنگی و تاریخی.
 یاسر حمزوی: دانشجوی دکتری مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی.



محورهای مورد نظر دو فصلنامه دانش مرمت و میراث فرهنگی

مطالبی که در زیر خواهد آمد را با تأیید هیئت سردبیران و
 داوران انتشار خواهد یافت.

- ۱- مرمت: شامل انواع مقالات، ترجمه ها، دیدگاه ها، گزارش ها، مصاحبه ها و اخبار در رابطه با مباحث مرمت ابنیه - آثار و تزئینات معماری ایران و جهان.
- ۲- باستان شناسی و باستان سنجی: شامل انواع مقالات، ترجمه ها، دیدگاه ها، گزارش ها، مصاحبه ها و اخبار در رابطه با مباحث باستان شناسی و باستان سنجی در محوطه های تاریخی ایران و جهان.
- ۳- گردشگری: شامل انواع مقالات، ترجمه ها، دیدگاه ها، گزارش ها، مصاحبه ها و اخبار در رابطه با مباحث گردشگری در ایران و جهان.
- ۴- موزه داری و موزه شناسی: شامل انواع مقالات، ترجمه ها، دیدگاه ها، گزارش ها، مصاحبه ها و اخبار در رابطه با مباحث و اقدامات موزه داری و موزه شناسی در ایران و جهان.
- ۵- میراث فرهنگی: شامل انواع مقالات، ترجمه ها، دیدگاه ها، گزارش ها، مصاحبه ها و اخبار در رابطه با مباحث تاریخ هنر، صنایع دستی، معماری، شهرسازی، هنرمندان و...

صاحب امتیاز: انجمن علمی دانشجویان دانشکده ی مرمت دانشگاه هنر اصفهان.

مدیر مسئول: مهدی رازانی.
 ویراستار ادبی: پژمان الماسی نیا.
 بازخوانی مقالات: عادلہ محتشم. معصومه تفرشی.
 طراح جلد: مصطفی کریمی فرد.
 بخش معرفی کتاب: رامین محمدی و نگار کاظمی پور.
 ترجمه و تصحیح چکیده های انگلیسی: هادی زند کریمی

مسئولیت مطالب ارائه شده در مقالات بر عهده نویسندگان آنهاست.
 نشریه در ویرایش و تصحیح مقالات آزاد است.
 کلیه حقوق مادی و معنوی این نشریه برای انجمن علمی
 دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان محفوظ است.

آدرس دفتر نشریه: اصفهان - خیابان حکیم نظامی، کوچه سنگتراش ها، انتهای
 کوچه (محلہ تبریزی ها)، خانه داوید، دفتر انجمن علمی دانشکده مرمت.
 رایانامه: nashriyeh@aui.ac.ir

آرایه‌های معماری اتاق مقبره‌ی بنای تاریخی پیربکران و کتیبه‌ی پنهان آن - یاسر حمزوی، فرشاد مؤذنی.	ظهور و زوال خانه‌های صخره‌ای روستای توریستی کندوان فریده امینی بیرامی و ابراهیم اصغری کلجاهی.
آشکار سازی و حفاظت تزئینات پنهان نقاشی در خانه صدقیانی تبریز - مصطفی کریمی فرد، مهدی رازانی، سعید مهریار.	پاکسازی چسب‌ها و پوشاننده‌های آثار آهنی با استفاده از لیزر TEA Nd:YAG و Co2 - یانک سو کو - برگردان معصومه تفرشی.
اصول و مبانی الکتروشیمیایی در مبحث بازدارندگی خوردگی در آلیاژهای تاریخی - وحید پورزرقان.	پوشش دهی نانو کامپوزیت اکسید روی بر سطوح آثار کاغذی تاریخی و هنری - صالح ایمانی، مریم افشار پور
مروری بر نمک زدایی ابنیه و یادمان‌های سنگی به روش ضماد گذاری، ورونیک ورگس بلمین - برگردان: سحر احمد خان بیگی.	هدف‌های حفاظت - کریس کیپل - برگردان: امیر حسین کریمی.
کتاب‌شناسی فارسی حفاظت و مرمت میراث سنگی - مهدی رازانی.	معرفی کتاب - رامین محمدی، نگار کاظمی



سخن مدیر مسئول

اشتقاق یافتن مطالب علمی موجود در اینترنت برای پژوهشگران به باتلاقی تشبیه می شود که رهایی از آن هزینه بر و گشنده زمان است. به نحوی که یافتن اطلاعات ارزشمند در میان بسیاری مطالب هم سان و بدون سند و کم اعتبار کار بسیار دشواری شده است. خوشبختانه هم اینک از طریق پایگاه های داده ها امکان دسترسی به تلاش چندین ساله پژوهشگران حفاظت و میراث فرهنگی در زبان فارسی، امکان پذیر شده است و بسیاری از اطلاعات کتابشناسی یا در برخی موارد اصل پژوهش ها وجود دارد. اما هم چنان منابع بسیاری شامل پایان نامه ها، طرح های تحقیقاتی، گزارش ها و پرونده های ثبتی در اینترنت موجود نیست و نیاز به یک پایگاه داده های مستقل ضرورتاً در زبان فارسی احساس می گردد. گرچه تلاش هایی در این زمینه صورت پذیرفته و فرهیختگانی چنین کرده اند ولی جای آن دارد که ارگانی رسمی و ثابت قدم همانند پژوهشکده مرمت و یا مراکز علمی دانشگاهی وارد این عرصه شوند.

از جمله اقداماتی که در طی چند سال گذشته برای گسترش داده های دیجیتال حفاظت انجام گرفته، انتشار نشریه دانش مرمت و میراث فرهنگی است که در طی دوران فعالیت خود همیشه با مشکلات عدیده ای نیز مواجه بوده که باعث وقفه های طولانی مدت و عدم انتشار آن شده است. اما بار دیگر با تلاش در ایفای نقش خود به عنوان پلی در برقراری و حفظ ارتباط میان دانشجویان و متخصصین فارسی زبان، امید دارد تا حدی بتواند نیاز به وجود منابع بروز را در فضای مجازی میسر نماید و با این هدف پذیرای دریافت مقالات پژوهشی، مروری و همچنین ترجمه های جدی پژوهشگران ارجمند است.

بر خود واجب می دانم از کلیه افرادی که در به ثمر نشستن این شماره یاری رسان بوده اند سپاسگزاری نمایم. در ابتدا از نویسندگان محترم به خاطر اعتماد شان به دوره جدید نشریه و همچنین برای شکیبایی شان در اصلاح مداوم نظرات داوران، از داوران محترم که با صرف زمان لازم مقالات را خواندند و در راستای اهداف نشریه نکات را گوشزد نمودند، از شورای سردبیران و مشاوران نشریه که از هیچگونه راهنمایی و همکاری دریغ نکردند و در آخر از ویراستار، بازخوانان مقالات، مترجم، گرافیکست و همکاران نشریه تشکر می کنم که اثر پیش رو در نتیجه فعالیت ایشان آماده نشر گردیده است. در آخر نیز سپاس فراوان خود را نثار دکتر احمد صالحی کاخکی ریاست اسبق دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان و دکتر مرتضی حصاری ریاست کنونی و همچنین معاونت محترم فرهنگی دانشگاه و همکاران ایشان می نمایم که با بزرگ منشی از نشریه دانش مرمت حمایت های لازم را به عمل آوردند تا نشریه به حیات خود ادامه دهد.

باسپاس مهدی رازانی

دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی دوره جدید، سال نخست، شماره ۱۰. بهار و تابستان ۱۳۹۲



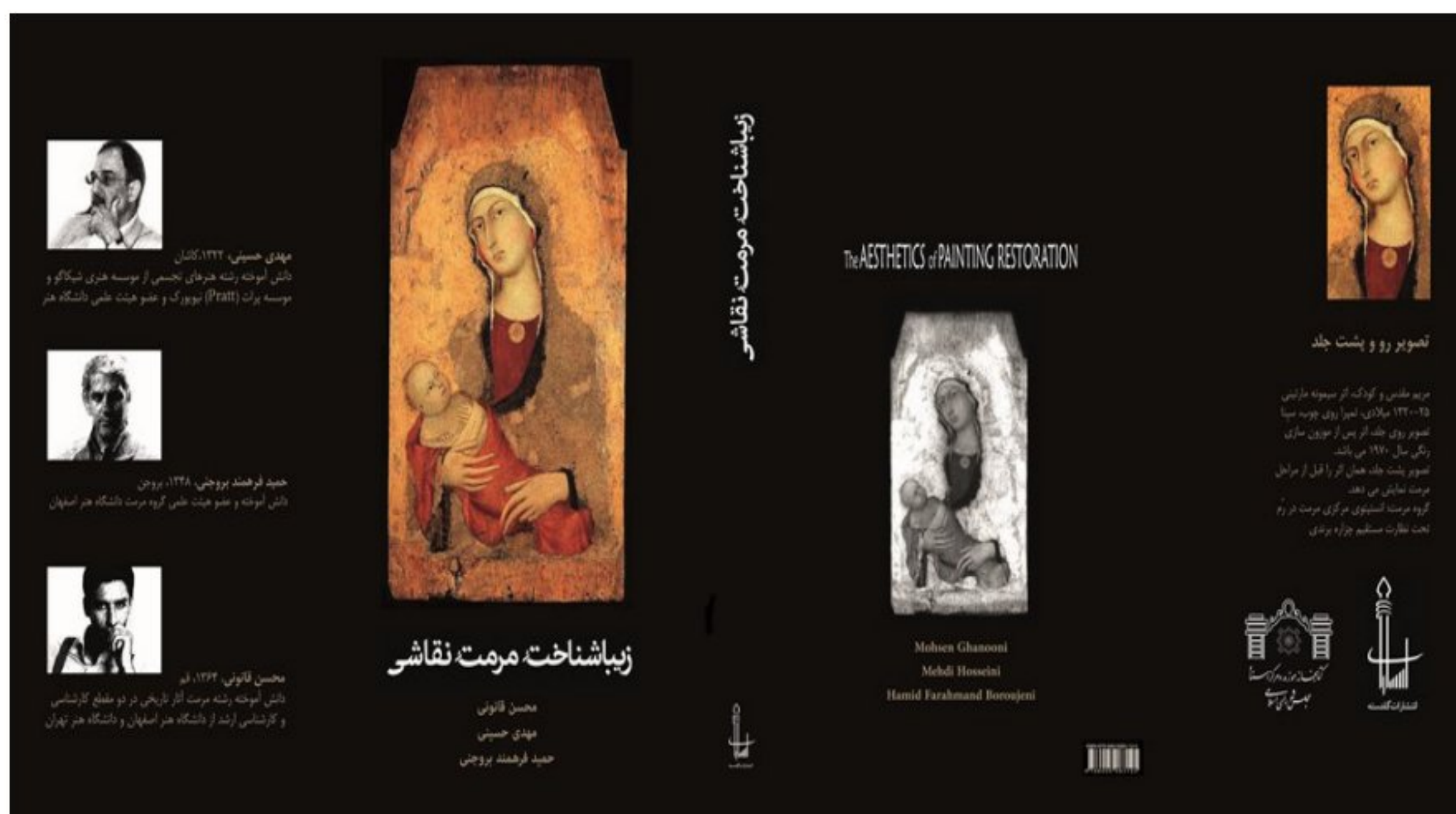
منظر فرهنگی-طبیعی دریاچه اوان منطقه الموت استان قزوین. (سجاد پیشدادی)

زیباشناخت مرمت نقاشی

مهدی حسینی، حمید فرهنگد بروجنی و محسن قانونی، اصفهان: انتشارات گلدسته، ۱۳۹۱.

کتاب زیباشناخت مرمت نقاشی در ۲۷۶ صفحه مصور، با رویکرد ارائه مبانی نظری مرمت نقاشی در ادوار مختلف تاریخی و با نگاهی زیباشناختی به این معقوله، سعی در ایجاد رابطه‌ای تاریخی میان مباحث مطروحه در مرمت نقاشی دارد. این کتاب با نگرشی جامع بر موضوع فلسفه هنر و زیبایی‌شناسی به تحلیل نقاشی، نگهداری و مرمت طی سده‌های قبل از قرن ۲۰ و در دوران معاصر پرداخته است.

در فصل اول این کتاب، تبیین و تفهیم و توضیح مسائل زیبایی‌شناسی در سده‌های مختلف و ارتباط آن‌ها با مباحث مرمت به‌خصوص مرمت نقاشی مورد بحث قرار گرفته است. در فصل دوم، به پیدایش نگره‌های فلسفی و زیبایی‌شناسانه ایتالیایی که به‌طور خاص در زمینه مرمت و به‌خصوص مرمت نقاشی بسط یافتند، پرداخته می‌شود. فصل سوم دیدگاه‌های مخالف و موافق در سده بیستم را مورد بررسی قرار داده است. این کتاب با اشاراتی به نظریه‌های تعداد زیادی از فیلسوفان و تحلیل این مباحث فلسفی و زیبایی‌شناسی، به بررسی تأثیر آن‌ها در مرمت طی دهه‌های مختلف می‌پردازد و با شواهدی از نظریه‌پردازان شناخته‌شده در عرصه تاریخ هنر، فلسفه و زیبایی‌شناسی از کسالت متن فلسفی می‌کاهد. ویژگی بارز این کتاب، استفاده از نظریات گستره وسیعی از فیلسوفان و تاریخ‌دانان است که با زبانی روان، خواننده را وارد دنیای فلسفه هنر می‌کند و به معرفی نظریه‌های شخصیت‌های تأثیرگذار این عرصه می‌پردازد. در پایان می‌توان کتاب زیباشناخت مرمت نقاشی را پلی میان سه مفهوم زیبایی‌شناسی، مرمت نقاشی و مبانی نظری مرمت دانست که سعی در ایجاد ارتباطی مفهومی میان این سه مقوله داشته و بدان می‌پردازد. کتاب حاضر، اثر تجلیل شده همایش خادمان فرهنگ مکتوب استان اصفهان در سال ۱۳۹۱ است.

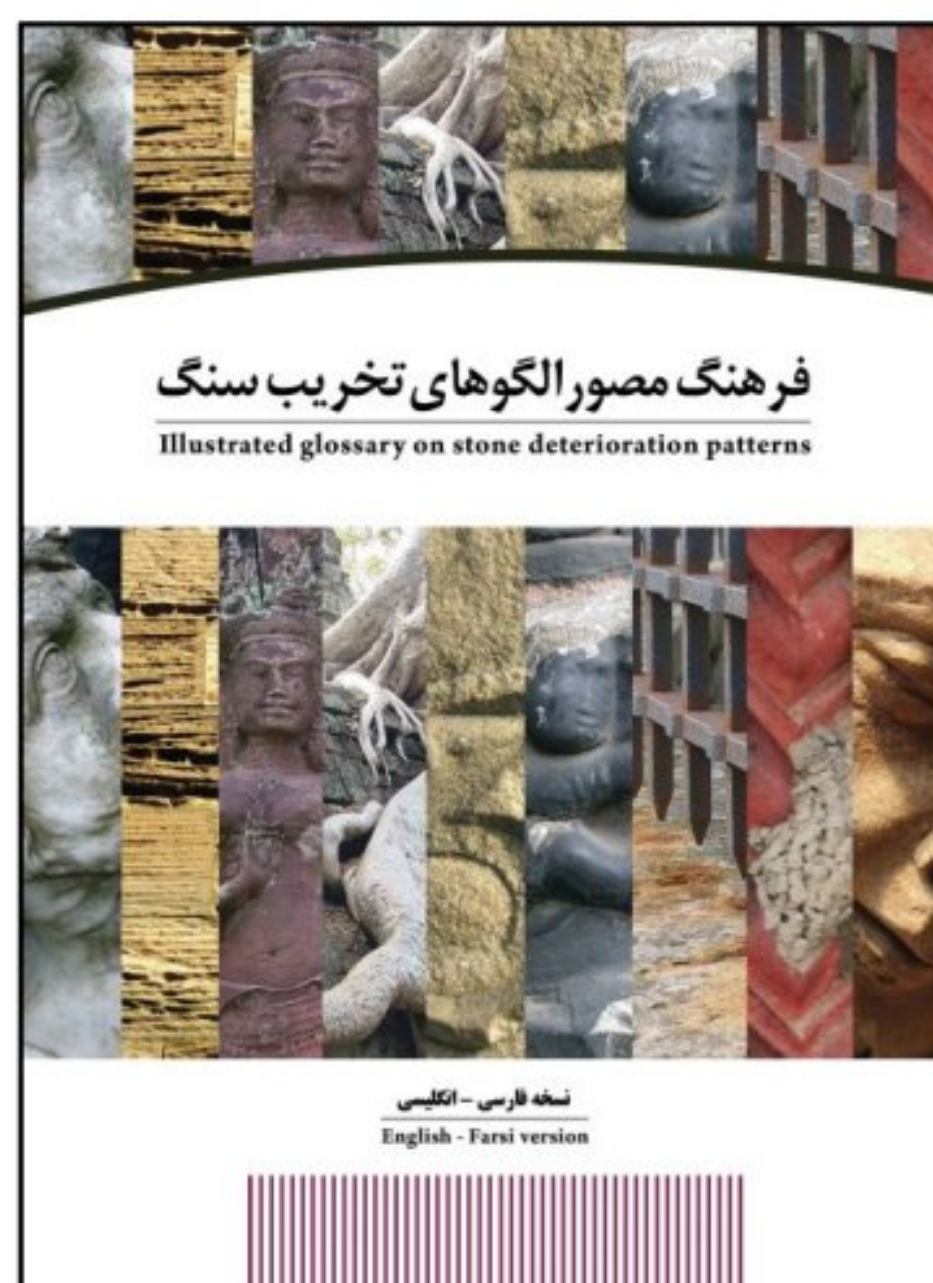


فرهنگ مصور الگوهای تخریب سنگ.

کمیته علمی بین‌المللی سنگ ایکوموس. سرویراستار ورونیک ورگس بلمین (۱۳۹۰). ترجمه

غلامرضا وطن‌خواه، مهدی رازانی. تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی.

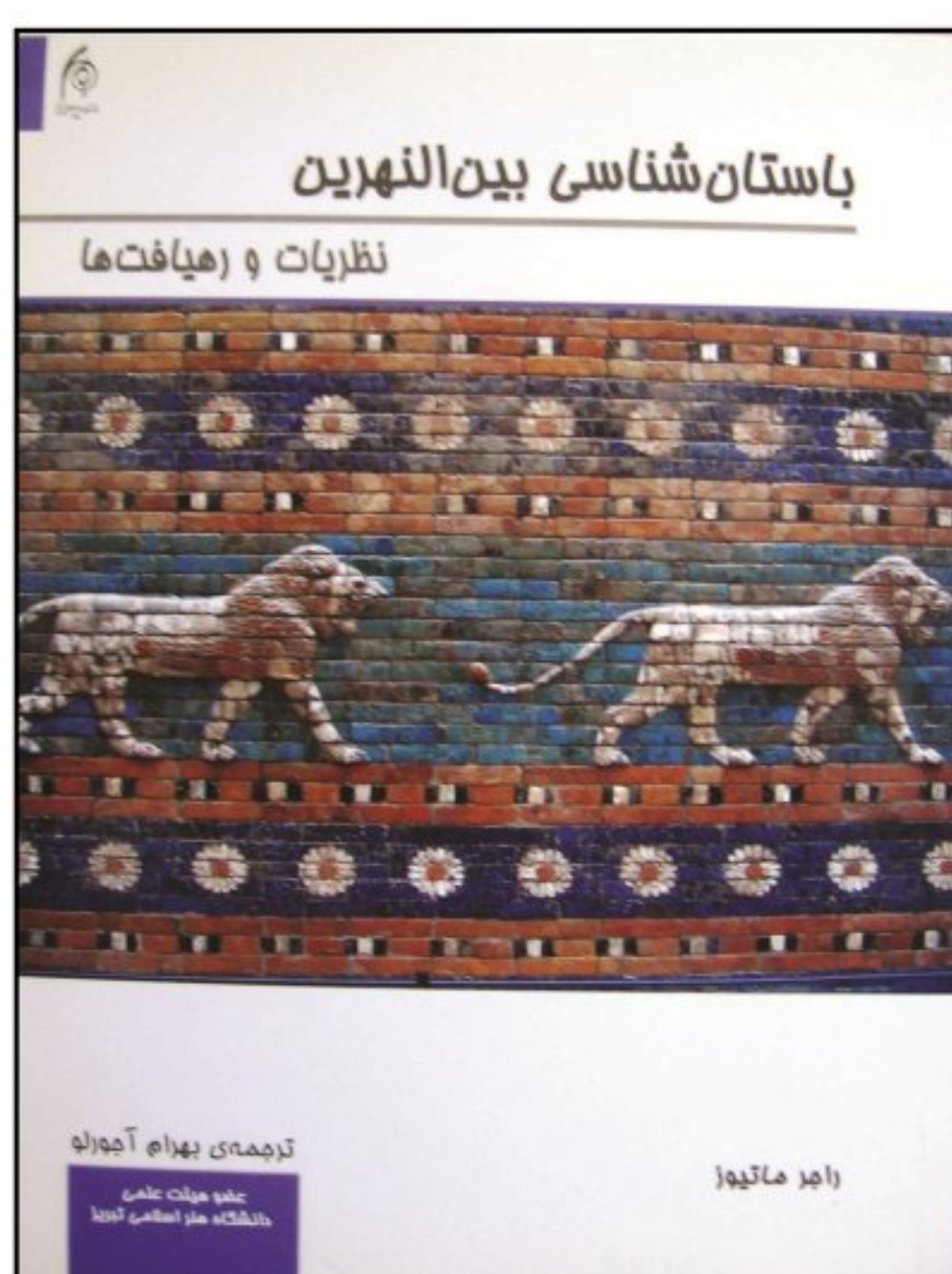
در مطالعات تخریب سنگ و محافظت از آن، ابهامات اصطلاحی منجر به مشکلات عدیده ارتباطی بین دانشمندان، حفاظتگران و کارورزان گشته که از این منظر نخستین اولویت، یافتن یک زبان مشترک است. چنانچه الگوهای تخریب قابل نمایش باشند، نامگذاری و تشریح شوند، آن‌گاه می‌توان آن‌ها را تشخیص داد و با نمونه‌های مشابه به‌صورت صحیح‌تری در مطالعات بعدی مقایسه کرد. فرهنگ مصور الگوهای تخریب سنگ به‌عنوان یک خودآموز به همت سی و پنج کارشناس خبره از نوزده کشور جهان زیر نظر کمیته علمی بین‌المللی سنگ ایکوموس (شورای بین‌المللی بناها و محوطه‌ها) طی هشت سال پژوهش و بررسی دقیق به‌همراه استفاده از واژه‌نامه‌های موجود تهیه و به‌عنوان نسخه انگلیسی - فرانسه در سال ۲۰۰۸ منتشر شده است. این فرهنگ با تعریف هفتاد و پنج واژه و اصطلاح با صد و هفده تصویر گویا، به تفکیک و تشریح مهم‌ترین آسیب‌های ظاهری سنگ‌ها اختصاص دارد. هدف ایکوموس از تدارک این فرهنگ، ابهام‌زدایی و ترویج یکنواخت‌سازی اصطلاحات مربوط به آسیب‌های سنگ‌ها برای مباحث و نوشته‌های علمی متخصصان بوده است. این فرهنگ در شش گروه (اصطلاحات کلی، ترک و تغییر شکل، جدایش، ویژگی‌های ایجاد شده در اثر از دست دادن مواد، تغییر رنگ و رسوب، تجمع زیستی) به‌صورت دو تا یازده اصطلاحی تنظیم گردیده است. ترجمه این فرهنگ ارزشمند و علمی به زبان فارسی - انگلیسی در هشتاد صفحه، خلأ نبود آن مرجع را در میان متخصصین مربوط برطرف نموده و خوشبختانه امروزه جای خود را در میان منابع فارسی باز کرده است. با توجه به ترکیب‌بندی زیبا و صفحه‌آرایی دقیق نسخه انگلیسی - فرانسه، از طرف مترجمین ترجیح داده شده که برای نسخه برگردان به فارسی نیز از همان اسلوب بهره‌برداری شود. اخیراً کمیته علمی بین‌المللی سنگ ایکوموس در راستای ترویج هرچه بیشتر این فرهنگ مصور، تمامی تصاویر آن را به صورت باکیفیت در سایت خود قرار داده و در کنار توضیحات مفید، بار دیگر آن را به‌صورت صفحات وب انتشار داده است.



باستان‌شناسی بین‌النهرین: نظریات و رهیافت‌ها

راجر ماتیوز، مترجم: بهرام آجورلو؛ نشر پروژه حسنلو، ۱۳۹۱.

باستان‌شناسی بین‌النهرین: نظریات و رهیافت‌ها به‌عنوان یک کتاب درسی دانشگاهی از سال ۲۰۰۳ م. تاکنون چهار بار در لندن تجدید چاپ شده است. ترجمه به‌جای کتاب حاضر، فقدان اثری با نگاهی نو از منظر روش‌شناسی و نظری به گذشته بین‌النهرین در بین آثار فارسی را برطرف نموده است. هم‌چنین به این دلیل که نویسنده تا زمان آغاز جنگ عراق و کویت (۱۹۹۰ م.) در بین‌النهرین در حال کاوش و پژوهش بوده، منبعی جدید، معتبر و دست اول است. چرا که بسیاری از آثار تألیفی و ترجمه‌ای منتشر شده در ایران درباره بین‌النهرین حاوی اطلاعاتی تا دهه ۱۹۷۰ م. را شامل می‌شوند؛ ویژگی مهم دیگر این کتاب، که بررسی مسائل تمدن بین‌النهرین باستان با مناطق مجاور و سرزمین‌های همسایه، ایران، ترکیه و سوریه است. نویسنده هدف از تألیف این کتاب را چنین بیان می‌کند: "هدف من از تألیف این کتاب، بازگویی اهمیت بستر و محیط تاریخی باستان‌شناسی بین‌النهرین و بررسی روش‌های روش-شناختی و نظری آن بوده است و این که چگونه باستان‌شناسی بین‌النهرین در بافت و بستر مجموعه‌ای از عرصه‌های مهم پژوهشی شکل می‌گیرد و ساخته می‌شود تا سرانجام بتوانم درباره مسیرها و جهت‌گیری‌های آتی دانش باستان-شناسی بین‌النهرین گمانه‌هایی معقول و منطقی عرضه کنم." اما هنر این کتاب، همانا اعتراف صمیمی و صادقانه نویسنده به بحث ماهیت سیاسی و استعماری باستان‌شناسی بین‌النهرین و سیاست‌زدگی مطالعات خاورمیانه بالآخره عراق کنونی و خدمت جمعی از دانشمندان و متخصصان تاریخ تمدن بین‌النهرین و شرق به آباء کلیسا و اصحاب کنیسه است که یکی از نکات قوت این کتاب در میان آثار مشابه به شمار می‌رود.



بررسی آثار تاریخی فلزی در مرمت

حمیدرضا بخشنده فرد، انتشارات دانشگاه هنر اصفهان، ۱۳۸۹

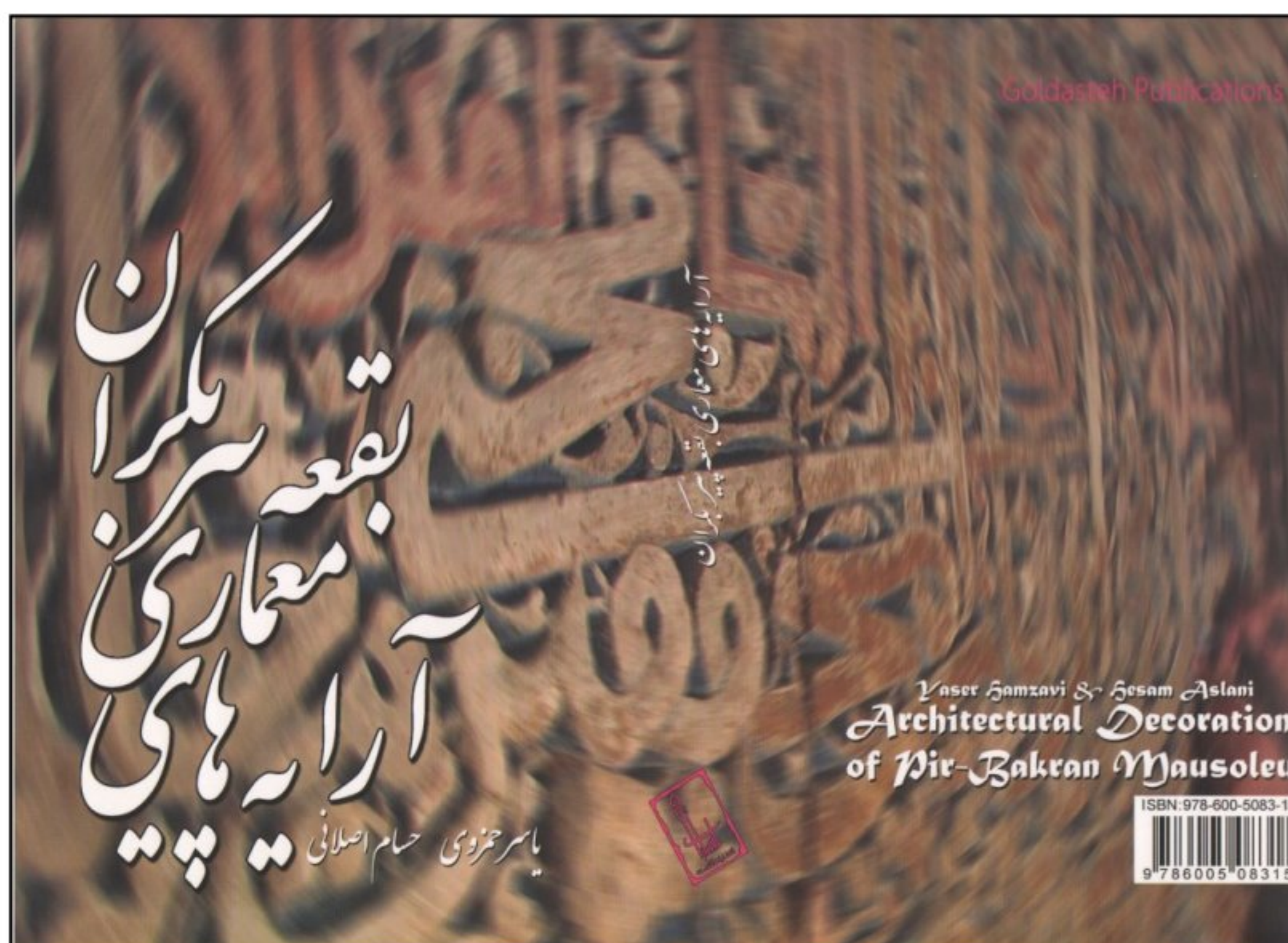
حفاظت و نگهداری از آثار تاریخی فلزی از دیدگاه مرمت مبحثی بسیار تخصصی و روشمند است که در این روند تسلط حفاظتگر بر اقداماتی چون آسیب شناسی و فن شناسی (شامل تاریخ تکنولوژی و تغییرات صورت پذیرفته در جهت شناخت روش های فرآوری) بسیار حائز اهمیت است. کتاب بررسی آثار تاریخی فلزی در مرمت کتابی تخصصی و با زبان بسیار شیوا است که به مجموعه ای از مطالب و بحث های مربوط به فن شناسی و آسیب شناسی فلزات تاریخی و ارتباط آن با مرمت آثار و نیز مطالبی چون استخراج فلزات براساس شواهد و قرائن باستان شناسی، تکنیک های ساخت فلز، فنون عمل آوری، شاخص های فلزکاری و ویژگی های فلزات و فرایندهای خوردگی و تخریب در آثار فلزی تاریخی پرداخته است. مطالب کتاب حاضر در چهار بخش و در ۲۰۸ صفحه به صورت مصور، تا حد بسیاری کمبود منابع کاربردی در زمینه حفاظت و مرمت آثار فلزی را برطرف نموده و با توجه به نیاز متخصصین حوزه مربوطه تهیه و تدوین شده است. به علاوه این کتاب فارغ از مرمتگران منبع بسیار مفیدی برای فلزکاران و دانشجویان و دانش ورزان صنایع دستی و صنایع هنری فلزی محسوب می گردد.



آرایه‌های معماری پیر بکران

یاسر حمزوی، حسام اصلانی. اصفهان: انتشارات گلدسته. ۱۳۹۱

شناخت جنبه‌های مختلف معماری و آرایه‌های بقعه تاریخی پیربکران به سبب ضعف منابع تاریخی، نهفتگی‌ها و نا روشنی‌ها دارد، و از سویی به دلیل وجود فضاهای مختلف معماری و تنوع بسیار بالای آرایه‌های معماری دارای شفافیت هاست. از آنجایی که اولین قدم حفاظت از یک اثر تاریخی و فرهنگی، معرفی صحیح ارزش‌های آن اثر می باشد، سعی شده است که در کتاب "آرایه‌های معماری بقعه پیربکران" ارزش‌های تکنیکی تزیینات بنا، ارزش‌های تاریخی، فرهنگی، هنری و زیبایی شناسی آن بررسی و معرفی شود. در فصل اول، با نگاهی به شهرستان و محله پیربکران سابقه تاریخی شهر، وضعیت توپوگرافی آن، و ویژگی‌های اقلیمی منطقه بررسی شده است. فضاهای معماری بقعه پیربکران در فصل دوم، به شکل مختصر معرفی شده و در فصل سوم با مراجعه به کتیبه‌های موجود در بنا مطالعاتی درباره شخصیت محمد بن بکران صورت پذیرفته است، همچنین در فصل چهارم، آرایه‌های معماری، بررسی و با توجه به محل قرارگیری در فضاهای مختلف معرفی شده است. مطالعه و مقایسه انواع فنون یا شیوه‌های تزئین معماری از قبیل تزیینات گچی، دیوارنگاره‌ها، تزیینات کاشی‌کاری، طلاکاری (طلاچسبانی)، حجاری و تزیینات آجری در کنار هم و متمرکز، نتایج ارزنده دیگری در پی داشته که جمع بندی آن در فصل پنجم ارائه شده است.



تعرفه‌های تبلیغ

در دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

نشریه الکترونیکی دانش مرمت و میراث فرهنگی در واقع دوره‌ی جدید نشریه‌ای است که در سال ۱۳۸۳ با نام دانش مرمت، به عنوان نخستین نشریه‌ی تخصصی مرمت آثار و ابنیه تاریخی در کشور از طرف انجمن علمی دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان منتشر شد و در پاییز ۱۳۸۷ با تغییر ساختار در شیوه‌ارائه و محورهای اصلی به صورت الکترونیکی در تارنمای دانشگاه هنر اصفهان منتشر گردیده و در حال ادامه فعالیت است. نشریه دانش مرمت در هر شماره خود شامل دو بخش است شامل: (۱) صفحات اولیه - مقدماتی و جلدها (۲) مقالات. نشریه دانش مرمت با توجه به اهداف پیش رو تصمیم به پذیرفتن تبلیغات با توجه به تعرفه ذیل همین متن از شماره نخست سال ۱۳۹۲ نموده است.

گستره توزیع نشریه به صورت اختصاصی:

- [وبسایت اختصاصی دانشگاه هنر اصفهان](#)
- [پایگاه پژوهشکده علوم انسانی و مطالعات فرهنگی کشور](#)
- [پایگاه مقالات علمی نور مربوط به مرکز تحقیقات کامپیوتری علوم اسلامی](#)
- [پایگاه نمایه مقالات حفاظت و مرمت سوشیانت](#)

تعرفه‌های تبلیغ در نشریه دانش مرمت و میراث فرهنگی برای سال ۱۳۹۲

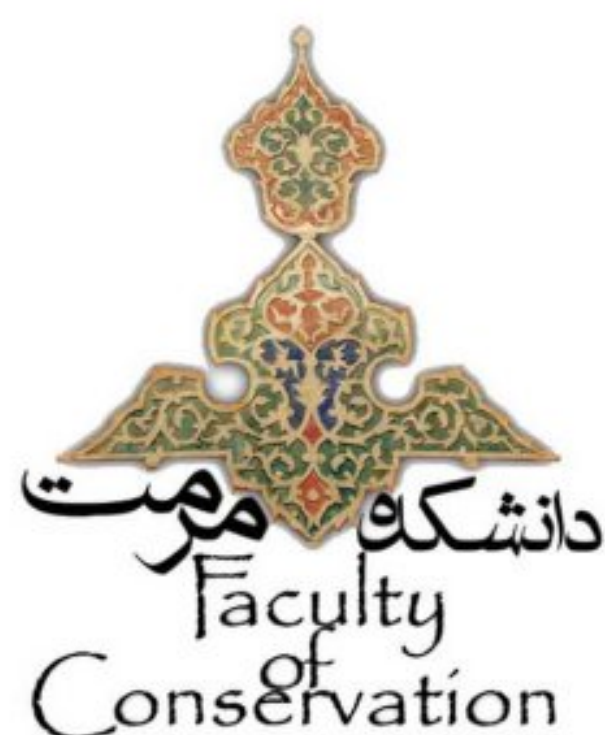
تبلیغ تجاری	شماره صفحه	تعرفه به ریال	قیمت با طراحی	قیمت بدون طراحی
صفحه A4	داخل جلد فارسی	۴۰۰۰.۰۰۰ ریال	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -
صفحه A4	داخل جلد انگلیسی	۴۰۰۰.۰۰۰ ریال	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -
صفحه A4 نصف	پشت جلد نشریه	۹.۵۰۰.۰۰۰ ریال	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -
صفحه A4	صفحه ۱	۳.۷۵۰.۰۰۰ ریال	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -
صفحه A4	صفحه ۲	۳.۵۰۰.۰۰۰ ریال	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -
صفحه A4*	۱ صفحه	۱۵.۰۰۰.۰۰۰	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال +	۵۰۰۰.۰۰۰ ریال -

*تبلیغ ویژه در دوفصلنامه دانش مرمت و میراث فرهنگی به معنای اختصاص ۱ صفحه تبلیغ در انتهای تک تک مقالات هر شماره است. که در صورت تداوم در دو شماره ۱ ساله با ۵٪ تخفیف همراه خواهد بود.



Restoration Science and Cultural Heritage Electronic Journal

New Course, Vol. 1, No.1.Spring -Summer .2013



Index Paper

Architectural Decorations in Tomb-Chamber of Pir-e Baqran Monument and its Hidden Inscriptions-Hamzavi Y, Moazzeni F.

Creation and Destruction of Rock Houses of the Kandovan Village-Amini Birami. F. Asghari Kaljahi. E.

Exposure and Conservation of Hidden Painting Decoration in the Sadaghiani House of Tabriz-Karimifard. M, Razani.M, Mahryar. S.

Znonano-Composite Coating on the Surfaces of Historic and Artistic Works on Paper- Imani. S, Afsharpoor M.

Fundamentals of Electrochemistry For Evaluating Corrosion Inhibitor In Historical Alloys-Porzarghan,V.

Removal Of Adhesives And Coatings From Iron Artifacts Using Pulsed Teaco2 And Nd:YAG-Lasers- Y Sook Koh,- Translated By: Tafreshi. M.

The Aims of Conservation. In Conservation: Principles, Dilemmas and Uncomfortable Truths-Caple, C- Translated By: Karimi. A.H.

Desalination of Masonries And Monumental Sculptures By Poulticing: AReview,V. Vergès-Belmin And H. Siedel- Translated By: Ahmad Khan Beigi. S.

Farsi Bibliography on Conservation and Restoration of Stone- Razani.M.

آرایه‌های معماری اتاق مقبره بنای تاریخی پیربکران و کتیبه پنهان در آن

یاسر حمزوی*، فرشاد مؤذنی**

*دانشجوی دوره دکتری مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان، yaserhamzavi99@gmail.com

**کارشناس ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی

چکیده

بقعه پیربکران از نظر تنوع آرایه‌های معماری در کشور ایران کم‌نظیر است. تکنیک‌های مختلف آرایه گچی، آجری، سنگی، کاشی کاری، دیوارنگاری و طلاکاری در این بنا به چشم می‌خورد که در نوع خود، از نظر تاریخی، هنری و فنی بسیار ارزشمند است. معماری این بقعه و آرایه‌های آن در دوره‌های مختلفی ساخته شده است که استفاده از مصالح گوناگون، قرارگیری لایه‌ها بر روی یکدیگر، کتیبه‌های تاریخ‌دار و غیره شواهدی بر این ادعا هستند. کتیبه گچی طلا کاری شده در اتاق مقبره، یکی از زیباترین و مهم‌ترین کتیبه‌های این بناست که از نظر فنی مورد مطالعه قرار گرفته است. حین بررسی این کتیبه، آثاری از کتیبه‌ای دیگر نمایان گشت که تلفیقی از گچ و کاشی بود. در این مقاله، آرایه‌های معماری اتاق مقبره، معرفی شده و همچنین کتیبه‌ی گچی و کاشی‌کاری ضلع شمالی مورد بررسی قرار گرفته است.

واژگان کلیدی: بقعه پیربکران، اتاق مقبره، آرایه‌های معماری، کتیبه پنهان.

Architectural Decorations in Tomb-chamber of Pir-e Baqran Monument and Its Hidden inscriptions

Hamzavi.Y**, Moazzeni,.F*

**Ph.D Candidate in conservation of Historic and Cultural Properties , Art University in Isfahan

*M.A in Conservation and Restoration of Cultural Objects, Art University of Isfahan

Abstract

Pir-e Baqran monument is one of unique historical buildings of Iran in term of architectural decorations. Different decorative techniques including stucco, brickwork, stonework, tile work, wall painting and gilding with high technical, historical and artistic values can be observed in this monument. According to the factors including “application of different building material”, “the manner of layers” and “the dated inscriptions” it can be said that the monument has build in different periods. The gilded stucco inscription in the tomb-chamber is one of most important and beautiful inscriptions of this monument which has been technically studied here. During the examination of this inscription the evidences of another inscription composed of tile and plaster were found. In this paper architectural decoration of tomb-chamber and plaster inscription and tile working of south side has been described.

Keywords: Pir-e Baqran Monument, Ilkhanid period, Tomb chamber, Architectural Decoration, Tile inscription

۱. مقدمه

بقعه تاریخی پیربکران یکی از بناهای شاخص دوره ایلخانی است. حفظ تقدس در نزد مسلمانان و یهودیان، هویت بخشی به محیط پیرامون، معماری خاص برگرفته از معماری ساسانی، آرایه های معماری مفصل و قابل توجه (آرایه های آجری، آرایه های گچی، آرایه های کاشی کاری، آرایه های سنگی و دیوارنگاره ها)، تعدد چشم گیر کتیبه ها، یادگار نوشته های تاریخی بسیار زیاد از جمله مواردی است که این بنا را نزد مردم و پژوهشگران ارزشمند ساخته است. با وفات پیر در شب دهم ماه ربیع الاول سال ۷۰۳ هجری قمری - آنچنان که بر سنگ قبر وی حک گردیده است و دفن او در محل تدریسش، این اتاق انتهایی شمالی ایوان به اتاق مقبره تبدیل گردید.

مسدود کردن فضای باز این اتاق با دیوار مشبک، نام گذاری اتاق مقبره را برای این فضا پرمعنی ساخت. سنگ قبر متناسب با شأن و منزلتش ساخته شده و به زیبایی حجاری گردید. تزیینات درونی اتاق دگرگون شده و کتیبه هایی به فضا اضافه گردیدند.

همان طور که اشاره شد یکی از ارزشمندترین بخش های این بنا، آرایه های معماری آن است. شاید بتوان گفت بقعه پیربکران از شمار اندک بناهای ایران باشد که تنوع تکنیکی بسیار زیادی در اجرای آرایه های معماری دارد و از این نظر یکی از منابع خوب مطالعاتی به شمار می رود.

در مورد این بنای باارزش در سال های گذشته مطالعاتی صورت گرفته و عملیات حفاظتی و مرمتی طی چند سال در قسمت های مختلف بنا انجام پذیرفته که سابقه اهم فعالیت های علمی و اجرایی صورت گرفته در این بنا به این شرح است: بررسی های علمی و تصویربرداری از بنا توسط پروفسور پوپ، بررسی های تکمیلی بنا توسط گروه پژوهشی ویلبر، مرمت های اضطراری توسط انجمن ملی آثار باستانی، مرمت های علمی و نقشه برداری دقیق توسط هیأت ایزمئو، مرمت های دوره ای و اضطراری توسط سازمان میراث فرهنگی، مستندسازی سه بعدی و اسکن لیزر، مطالعات، مستندسازی ها، طرح های مرمت و مرمت های علمی توسط اداره کل میراث فرهنگی اصفهان (حمزوی، ۱۳۸۶). امید است پژوهشگران ایرانی بر بخش های مختلف این بنای ارزشمند، تحقیقات جامعی انجام داده و نتایج آن را منتشر نمایند.

۲. شهر پیربکران

بقعه تاریخی پیربکران « شماره ثبت ۱۰۱، تاریخ ثبت ۱۳۱۰/۱۰/۱۵ » (پازوکی، ۱۳۸۴) در شهری با همین نام در فاصله سی کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع شده است (ت. ۱). منطقه در دشتی هموار با شیب بسیار ملایم قرار گرفته و کوه ایران کوه در شمال غرب، کوه ابوموسی در مرکز و زاینده رود در غرب این منطقه قرار دارد (حمزوی، ۱۳۹۱ : ۱۳). قدیمی ترین اثر تاریخی در پیربکران قطعه سنگ سیاهی است که از زیر خاک بیرون آورده شده و به منزله لنگه دری بوده به ابعاد ۷۵×۹۵ سانتی متر و دارای ۱۱ سطر به خط عبری مربوط به ۸۶۷ سال قبل می باشد. البته باید اضافه کرد به ادعای مؤلف تاریخ یهود، منطقه لنجان و مخصوصاً پیربکران از دوران قبل از اسلام یکی از مراکز بزرگ یهودی نشین بوده و آثار تاریخی آن را به شوشندخت ملکه یزدگرد اول که خود یهودی بوده نسبت می دهند (جیب لوی، ۱۳۳۴) (رفیعی مهرآبادی، ۱۳۵۲ : ۸۶۳-۸۶۵). علی اصغر مصطفوی مهاجرت یهودیان را به ایران از اوایل حکومت هخامنشی می داند که در قرون بعدی تا اصفهان و ناحیه لنجان پیش رفتند. (مصطفوی، ۱۳۶۹ : ۲۹) وجه تسمیه شهر پیربکران به پیدایش آرامگاه و بقعه پیربکران که متعلق به قرن ۸ هجری و از دوران سلطان اولجایتو است، بر می گردد. شهر پیربکران از نمونه شهرهایی است که بافت قدیم خود را چندان حفظ نکرده و دستخوش تغییرات و ساخت و سازهای جدید بوده است. اولین و قدیمی ترین محله در این شهر، محله پیر می باشد که اطراف آن باغ و زمین کشاورزی بوده است.



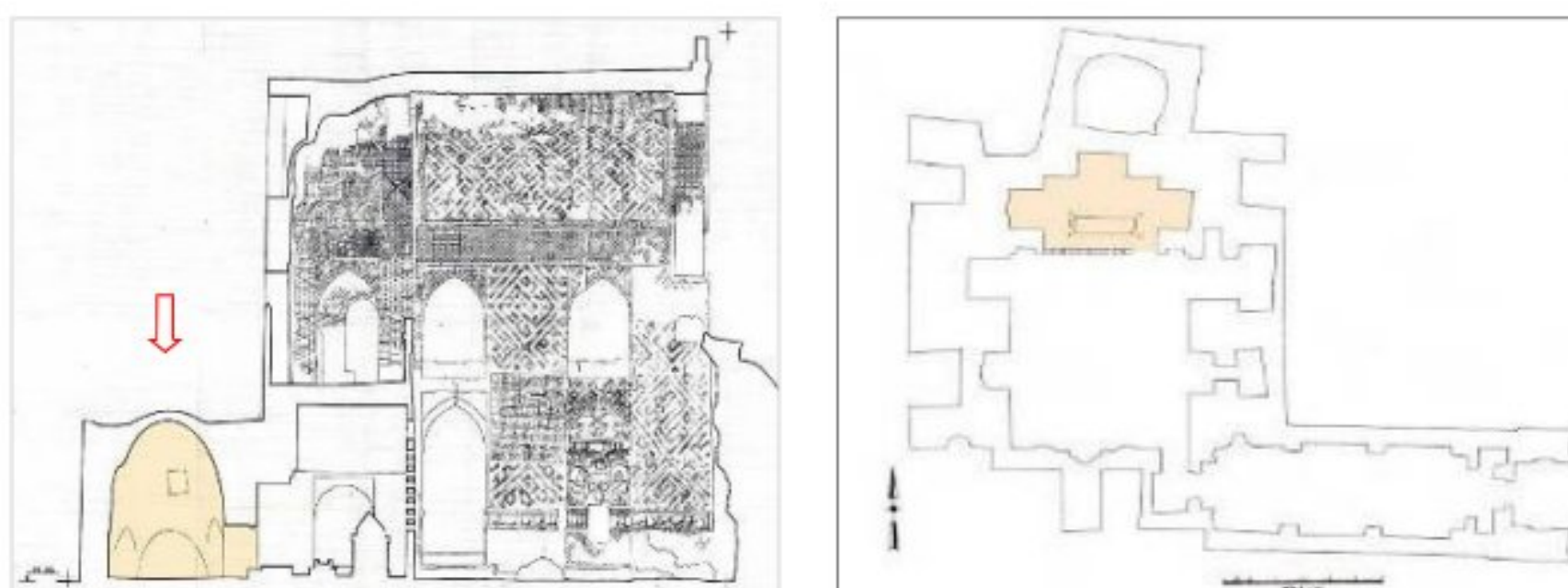
تصویر ۱: نمایی از شهر پیربکران و بنای تاریخی آن

۳. نگاهی گذرا به تاریخ ساخت این بنا و آرایه‌های آن

پژوهشگران زیادی به این منطقه سفر نموده و این بنا را از نزدیک دیده‌اند که برخی از ایشان در مورد آن توضیحاتی داده‌اند که به چند مورد آن اشاره می‌شود: «هنگامی که پیربکران در سیزدهم ربیع‌الاول سال ۷۰۳ هـ ق درگذشت، او را در ایوانی که در آن تدریس می‌کرد به خاک سپردند» (گذار، ۱۳۷۵: ۲۱۸). «بنای بقعه پیربکران به ایوان کسری مشابیهت دارد و معلوم می‌گردد هنوز در آن زمان از سبک دوره ساسانیان پیروی می‌کرده‌اند» (رفیعی مهرآبادی، ۱۳۵۲: ۸۵۰). «محمد ابن بکران که معاصر با سلطان محمد خدابنده (اولجایتو) بوده، از مشایخ و مدرسین و زهاد مشهور این ناحیه در نیمه دوم قرن هفتم هجری بوده و در محل فعلی به خاک سپرده شده است» (عقابی، ۱۳۷۶: ۲۲). بقعه پیربکران در نزدیکی اصفهان نمونه گویایی از بناهای تک‌ایوانی یادآور طاق کسری است. آرایش مفصل آن شامل کاشی ظریف و گچ‌بری پرمایه است. (پوپ، ۱۳۸۸: ۱۸۳)

در منابع تاریخی، مانند معماری اسلامی ایران در دوره‌ی ایلخانی و آثار ایران، ساخت این بنا را به سه دوره تقسیم کرده‌اند: ابتدا فضای چله‌خانه (ت. ۲) و آرامگاه پیربکران (ت. ۳)، سپس ایوان بنا که دارای سقف بلند و در اطراف آن ایوان چها و غلام‌گردش‌ها قرار دارد و در نهایت، سردر و رواق بقعه که از کوچه مجاور آن به صحن بقعه منتهی می‌گردد (هنر فر، ۱۳۵۰: ۲۵۳. گذار، ۱۳۷۵). البته قابل ذکر است که از نظر نگارنده، بخش چله‌خانه قبل‌تر از دیگر قسمت‌ها ساخته شده است و هم‌زمان با ساخت اتاق مقبره نبوده.

هسته‌اولیه بنا اتاقی کوچک و محقر با سقف گنبدی است، قاعده اتاق مربع‌شکل بوده و هر ضلع آن دارای ابعادی معادل $\frac{4}{3}$ متر می‌باشد. گوشه‌سازی به منظور تبدیل فضای مربع‌شکل به سقف گرد گنبدی از ارتفاع پایین و تقریباً هم‌سطح زمین آغاز شده است از این رو ارتفاع طاق سقف کوتاه و کمتر از ۴ متر است. خصوصیات مزبور باعث گشته تا تعیین دوره ساخت میسر نباشد.



تصویر ۲: موقعیت چله‌خانه نسبت به اتاق مقبره و ایوان اصلی

تصویر ۳: موقعیت اتاق مقبره نسبت به ایوان اصلی و چله‌خانه

۳-۱. کتیبه‌های تاریخی بنا: کتیبه را در لغت به دسته‌ای از سپاه لشکر یا رمه اسپان معنا کرده‌اند اما در اصل به معنای نوشته و کتابت بوده است که الف آن به ی تبدیل شده است و در اصطلاح معماری به نوشته یا نقوشی گفته می‌شود که بر اجزای بنا مانند سنگ و مصالح تاریخی از جمله آجر، چوب، کاشی و گچ نوشته می‌شود و عموماً محل نگارش آن‌ها در بنا در حاشیه دور سردر عمارت‌ها یا دیوار مساجد، مقبره‌ها یا بقاع متبرک می‌باشد (دانش یزدی، ۱۳۸۷: ۵). آن‌ها حاوی اطلاعاتی هستند که در انتقال افکار و اندیشه از نسلی به نسل دیگر نقش بسزایی دارند (خانی‌پور، ۱۳۸۳: ۱۶۰) و از کنار هم قرار گرفتن خط و نقش به دست می‌آیند که موضوع این کتیبه‌ها در دوره اسلامی می‌تواند آیه‌های قرآن، و ادعیه و احادیث و نام ائمه و مدح و ثنای بانیان بناها و اشعار حکیمانه فارسی و عربی با درون‌مایه مذهبی و فرمان‌های تاریخی و تاریخ ساخت اثر و ... باشد (شایسته‌فر، ۱۳۸۰: ۶۸). تحلیل این نوشته‌های ارزشمند تاریخی می‌تواند رمزگشای مسائل مبهم تاریخ باشد.

کتیبه‌های متعدد و گوناگون از کتیبه‌های گچی، کاشی تا کتیبه‌های سنگی به شیوه‌های گوناگون و متفاوتی در بنا اجرا شده است که به چهار مورد آن (سه کتیبه گچی و یک کتیبه سنگی) اشاره می‌شود:

- کتیبه گچ‌بری انتهای راهرو ورودی (۷۰۳ ه ق): «هذه العماره المبارک الشیخ المشایخ المسلمین محمد بن بکران فی ثلث و سبعمائه» (هنر فر، ۱۳۵۰: ۲۵۴).

- کتیبه گچ‌بری انتهای اتاق مقبره (۷۰۳ ه ق): کتیبه بزرگ‌تر- مادر- با خط ثلث شامل عبارت: «هذه الروضة المقدس الشیخ المشایخ المسلمین قدوه ارباب المحققین محیی معالم الشریعه کاشف الاسرار الحقیقه واقف باثار الالوهیه حجه الحق علی الخلق محمد بن بکران نور الله قبره فی سنه ثلث و سبعمائه» و متن کتیبه‌ی کوچک‌تر به خط کوفی: «بسم الله الرحمن الرحیم الحمد لله رب العالمین الرحمن الرحیم مالک يوم الدين ایاک نعبد و ایاک نستعین اهدنا» می‌باشد. (ت. ۴)

یکی از زیباترین گچ‌بری‌های این بنا کتیبه انتهای اتاق مقبره است که نشان‌دهنده هنر دوره ایلخانی است. در این دوره روند هنر گچ‌بری به سرحد کمال مطلوب رسید. از میان آثار به جا مانده از این دوران می‌توان به محراب ارزشمند پیربکران اشاره کرد. (زمرشیدی، ۱۳۸۴: ۷۲ و ۷۳)

- کتیبه حجاری وجه غربی سنگ قبر (۷۰۳ ه ق): «هذه الروضة المقدسه المبارک لشیخ المشایخ المسلمین قدوه ارباب المحققین محیی معالم الشریعه مطیم معالم الطریقه کاشف اسرار الحقیقه حجه الحق علی الخلق هادی الخلق الی الحق العارف باسرار الربوبیه الواقف باثار الالوهیه محمد بن بکران جعلها الله روضه من ریاض الجنه له فی الیله الیلیا عاشر شهر ربیع الاول سنه ثلث و سبعمئه عمل سراج» (ت. ۵)



تصویر ۴: کتیبه گچی طلاکاری شده مادر و بچه به خط ثلث و کوفی، ضلع شمالی اتاق مقبره

- کتیبه گچبری داخل ایوانچه ضلع شرقی ایوان (۷۱۲ ه ق): « هذه الصفة المباركة الشيخ المشايخ المسلمين قدوه ارباب المحققين محمد بن بکران قدس الله روح العزيز سنة اثنی عشر و سبعمائه » (ت. ۶)



ت. ۵: کتیبه حجاری وجه غربی سنگ قبر، ۷۰۳ ه.ق

ت. ۶: کتیبه گچی تاریخ دار در ضلع شرقی ایوان اصلی بنا

اتاق مقبره درواقع فضایی است بین چله‌خانه و صحن یا ایوان اصلی بنا که دو قبر در آن قرار دارد. (شکل ۹) در سه قسمت شرقی، غربی و شمالی آن، ایوانچه‌هایی تعبیه شده که هرکدام دارای آرایه‌هایی است و بخش جنوبی اتاق توسط دیوار مشبک مسدود شده.

آرامگاه و مدفن پیربکران در ضلع شمالی بقعه واقع و به اتاقک گنبد داری که مقدم بر آن قرار گرفته تکیه زده است و با طاق محفوظی که در زمان صاحب قبر محل تدریس او بوده، اتصال دارد و اطراف آن با آرایه‌های گچی و کاشی‌کاری تزئین شده است (رفیعی مهرآبادی، ۱۳۵۲: ۸۵۰. گذار و دیگران، ۱۳۷۱: ۲۱۷. هنرفر، ۱۳۵۰: ۲۶۰-۲۶۱). درمورد زمان ساخت و همچنین کاربری آن، ویلبر با تردید اظهار نظر می‌کند: ظاهراً شیخ بکران، که مدرسی معزز و حکیم و صوفی بود، نقطه‌ای را برای دیدار و تدریس شاگردان خود انتخاب کرده بود که مجاور اتاق گنبد فعلی است. (ویلبر، ۱۳۴۶: ۱۳۲) یعنی زمانی که ایوان ساخته نشده بوده، پیر در اتاقک جلوی چله‌خانه به تدریس می‌پرداخته که در حال حاضر اتاق مقبره است. مسدود کردن فضای باز این اتاق با دیوار مشبک، نام‌گذاری اتاق مقبره را برای این فضا پر معنی ساخت. سنگ قبر متناسب با شأن و منزلتش ساخته شده و به زیبایی حجاری گردید. آرایه‌های درونی اتاق دگرگون شده و کتیبه‌هایی به فضا اضافه گردیدند. تقدس ایجاد گشته، زمینه لازم برای دفن یکی دیگر از بزرگان - از نام وی نشانی در دست نیست و گویا یکی از شاگردان بزرگ شیخ بوده است - را فراهم ساخته و سنگ مزار دیگری با حجاری مفصل بر مزار دوم قرار گرفته است.

۲-۳: آرایه‌های دیواره شمالی: در انتهای شمالی اتاق طاقی با قوس کلیل به متابعت از قوس سقف اتاق قرار گرفته است. «در شیوه آذری دگرگونی‌هایی در نیارش ساختمان رخ داد. در دوره نخست آن که زمان آمیختگی شیوه‌های پیشین با معماری بومی آذربایجان بود، از چفت کلیل آذری که در آن سرزمین روایی بود بهره‌گیری شد. این چفت در همه جای ایران به همین نام به کار رفت» (پیرنیا، ۱۳۹۰: ۲۱۷).

دیواره‌های اطراف آن - وجوه شمالی، شرقی و غربی - از کاشی معقلی با طرح هشت و چلیپای فیروزه ای و لاجورد پوشیده شده است. در ارتفاع ۱۰۳ سانتی متری از کف آثاری از ۱۵ عدد کاشی خشتی مربع شکل به ابعاد حدودی ۲۴ در ۲۴ سانتی متر بر ملات گچ دیده می شود که متأسفانه در حال حاضر اثری از آن ها نیست. تمامی سطح زیر قوس کلیل در این بخش از لبه کاشی های مربع شکل تا نوک قوس با آرایه توپی ته آجری (نقوش مهری) تزئین یافته است. کلمه محمد طرح کلی نقوش مهری مورد استفاده در این بخش می باشد. سطح نقوش مهری را با رنگ سفید رنگ آمیزی کرده اند (ت. ۷).



تصویر ۷: آرایه های ضلع شمالی اتاق مقبره

بالای دیواره‌ی روبه‌رو و روی ردیف کاشی‌های مربع‌شکل، آرایه گچی زیبایی وجود دارد. حاشیه‌ای از نقوش گیس‌باف دور آن را تزئین کرده و طرح داخلی قرینه بوده و از نقوش گیاهی منحنی‌شکل تشکیل شده است. سطح نقوش با زاویه کمی به طرف داخل پخ داده شده و جلوه‌ای خاص را متجلی می‌سازد. در عصر ایلخانی شیوه‌ها و ابعاد کاربرد آرایه گچ‌بری به سرحد کمال مطلوب خود می‌رسد به گونه‌ای که با وجود ابداعاتی که در دوره‌های بعد پدید می‌آید این هنر هرگز به شکوه خود در عهد ایلخانی نمی‌رسد (مکی نژاد، ۱۳۸۸: ۱۷۳).

لچکی‌های دو طرف قوس کلیل دارای گچ‌بری ظریف با تزئین لانه زنبوری بوده، سطح برخی نقوش سفید و زمینه آبی‌رنگ است. در میان گچ‌بری‌های هر طرف، شمسه کاشی کاری شده مدوری دیده می‌شود. کاشی‌های مورد استفاده فیروزه‌ای و لاجوردی و از طرح‌های هندسی شش‌کند، ستاره‌ای شش‌تند و طبل استفاده گردیده است. از میان کاشی‌های مورد استفاده در شمسه‌ها تنها سه عدد باقی مانده و بقیه مفقود گشته‌اند.

بخش عمده‌ای از دیواره شمالی اتاق مقبره، به‌خصوص زیر قوس را کتیبه‌ای گچی پوشانده که به دلایل مختلفی خاص، در بین دیگر کتیبه‌های بنا ویژه گشته است. دو کتیبه به خط ثلث و کوفی به شیوه مادر و بچه در سه ردیف اجرا گشته‌اند (ت. ۴).

سطح کتیبه کوفی و نقوش تزئینی و کتیبه ثلث (کلیه سطوح برجسته) با لایه نازکی از ورق طلا پوشیده شده که کتیبه گچی کوفی با رنگ قرمز، قلم‌گیری شده است (حمزوی، ۱۳۹۱: ۱۳۲).

قلم‌گیری قرمز باعث اختلاف بین دو کتیبه شده است و زمینه خالی با رنگ آبی رنگ‌آمیزی شده. این کتیبه گچی تنها نمونه طلاکاری شده این بنا است که نسبتاً سالم باقی مانده و از ارزش هنری، تاریخی و فنی بالایی برخوردار است. قسمت زیر کتیبه حاشیه‌ای کاشی کاری شده وجود دارد که از ترکیب کاشی‌هایی به شکل شش‌تند و کاشی‌های دایره‌شکل ایجاد شده و در ارتفاع ۲۶۶ سانتی متر از کف اتاق روی سه دیواره شمالی و شرقی و غربی دور می‌زند.

فواصل بین کاشی‌ها در این حاشیه با گچ بری تزئین گشته است. بخش زیادی از کاشی‌ها ریخته و فقط قطعات دایره‌شکل با رنگ لاجورد تیره باقی مانده است. عدم وجود حتی یک عدد از کاشی‌های شش‌تند، نشان ارزشمندی این کاشی‌ها و دلیل سرقت آن‌ها بوده است. در دو طرف ایوانچه، سطح دیواره از کف اتاق تا زیر نوار حاشیه‌ای کاشی کاری شده با طرح شش‌تند و دایره، نمای دیواره با طرح هشت و چلیپا کاشی کاری شده است. البته بخش زیادی از ازاره سمت چپ ریخته است. زیر حاشیه کاشی دایره و شش‌تند، یک ردیف کاشی خشت مربع‌شکل وجود داشته که اکنون فقط اثر آن‌ها روی ملات چسباننده مشخص است.

۳-۳: آرایه‌های جبهه غربی اتاق مقبره: دیوار غربی اتاق مقبره دارای طاقی فرورفته با قوس کلیل است. لچکی‌های دو طرف قوس همچون لچکی‌های ایوانچه شمالی این اتاق دارای گچ‌بری با نقوش اسلیمی، تزئینات لانه زنبوری و شمشه‌های کاشی کاری مشابه هستند. شمشه‌های این بخش در مقایسه با دیگر شمشه‌ها از اوضاع بهتری برخوردارند.

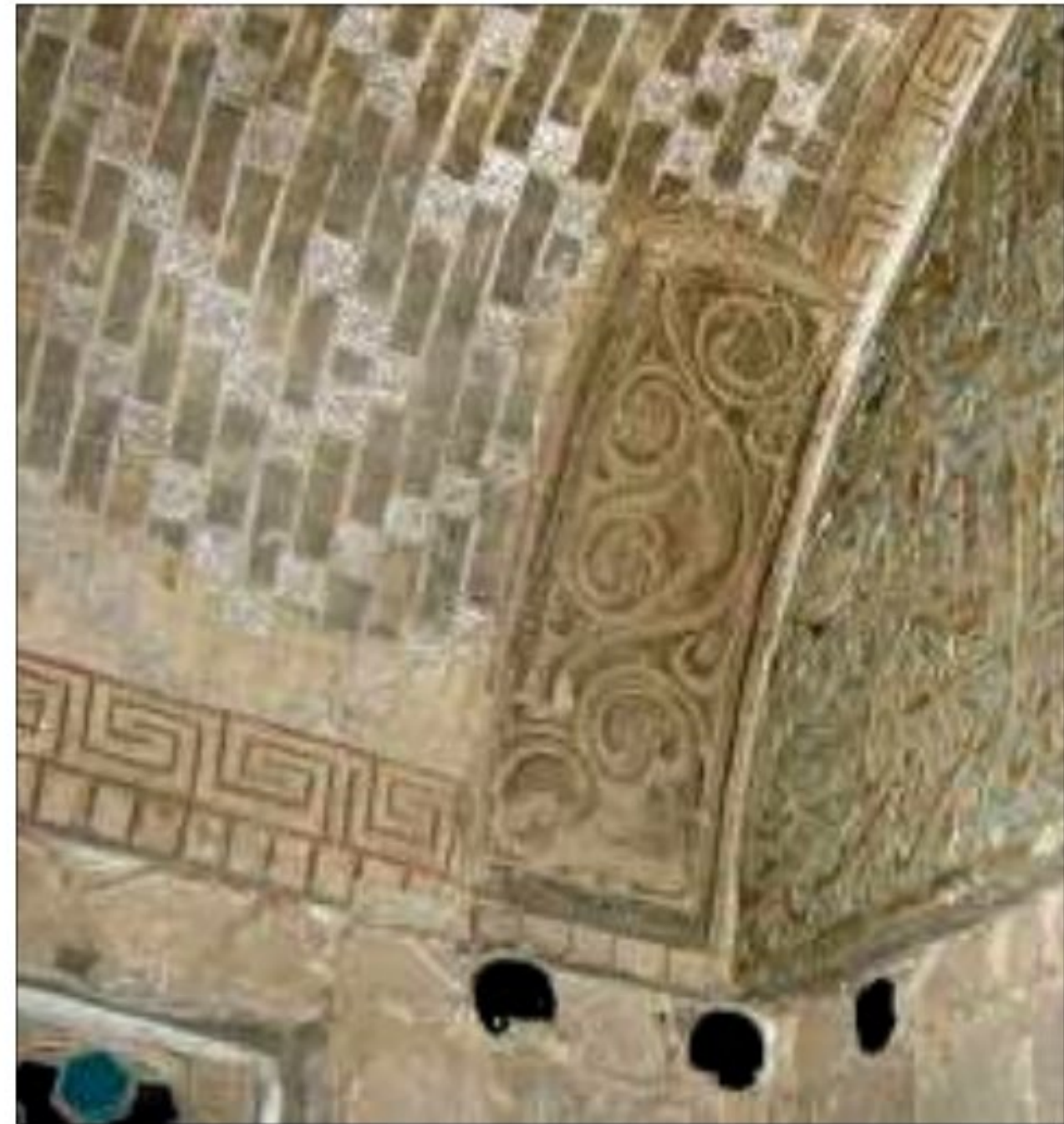
زمینه آرایه‌های گچی با رنگ آبی نقاشی شده و سطح روی گچ‌بری‌ها دارای رنگ سفید است. وجوه سه‌گانه داخلی همچون دو قسمت مشابه در دیوارهای شمالی و شرقی دارای ازاره کاشی کاری شده با کاشی‌های اختر و چلیپای لاجورد و فیروزه‌ای می‌باشد، نکته قابل تأمل درباره این کاشی‌ها ابعاد بزرگ‌تر آن‌ها به نسبت قسمت‌های مشابه است. ابعاد این کاشی‌ها مشابه کاشی‌های اختر زرین‌فام در طاق‌نماهای ردیف دوم جبهه شمالی بوده و با توجه به مفقود شدن همه کاشی‌ها احتمال زرین‌فام بودن آن‌ها قوی به نظر می‌رسد. (حمزوی، ۱۳۹۱: ۱۳۴)

ردیف کاشی‌های خشتی تا کناره سمت راست دریچه کوچک انتهای ایوانچه ادامه یافته است. کتیبه‌ی نیمه کاره‌ای بالای دریچه وجود دارد که خود شاهدی از فن اجرای کتیبه‌های خط کوفی بنایی با این تکنیک است. این کتیبه گچی تا مرحله رنگ‌گذاری و مشخص کردن مربع‌های کتیبه اجرا پیش رفته و درنهایت ناتمام رها شده که جهت مشخص نمودن قسمت‌های مورد نظر، از رنگ قرمز اخرا استفاده شده است. لازم به ذکر است که در دیگر قسمت‌های بنا، جهت علامت‌گذاری آرایه‌ها به هنگام ساخت و اجرای آن، از همین رنگ استفاده شده است.

آرایه‌های تویی ته‌آجری سطوح گچی زیر قوس را پوشانده‌اند و با رنگ سفید برجسته‌نمایی شده‌اند. دیواره‌های کناری ایوانچه با کاشی‌های معمول هشت و چلیپا تزئین شده که با بقیه دیواره‌ها هماهنگ می‌باشد. ردیف کاشی خشتی بالای ایوانچه‌ها در این دیواره نیز وجود دارد که البته فقط اثر آن بر ملات گچ باقی ست. تزئینات زیر طاق کلیل اتاق آرامگاه به نقوش موسوم به مهری شامل عبارت «محمد و علی» محدود می‌شود.

سقف دریچه یا پنجره انتهایی تیرپوش چوبی است که توسط سوسک‌های چوب‌خوار و زنبورهای حفار آسیب دیده است. بر لبه سمت چپ و گوشه طاق اتاق، شروع یک گچ‌بری دیده می‌شود که بعد از حدود یک متر ناتمام رها شده، شواهد بصری گویای الحاق شدن این گچ‌بری بر بدنه اصلی است (ت.۸).

۴-۳: آرایه‌های جبهه شرقی: وجه شرقی اتاق مقبره که به قرینه دیوار روبه‌رو (وجه غربی) ساخته شده دارای اجزای مشابهی است (ت.۹) آنچه که این بخش را از دیگر وجوه متمایز ساخته، انبوه یادگاری‌هایی است که برخی به‌سبب پرداخت بیشتر، به کتیبه‌های خطاطی شده می‌مانند.^۱



تصویر ۸: آرایه گچی ناتمام ضلع غربی اتاق مقبره

تصویر ۹: آرایه‌های ضلع شرقی اتاق مقبره

قوس ایوانچه کلیل بوده و تمامی زیر قوس پوشیده از آرایه‌های گچی با نقوش موسوم به مهری است. کف ایوانچه، اندکی از کف اتاق بالاتر است و با آجرهایی به ابعاد 30×30 سانتی‌متر فرش شده، از این کف فرش تا ارتفاع ۱۰۰ سانتی‌متری، دیواره‌ها از کاشی معقلی با طرح شش و طبل به رنگ‌های لاجورد و فیروزه‌ای پوشیده شده که بخش‌هایی از آن ریخته است.

آثار کاشی‌های خشتی مربع‌شکل که در ایوانچه جبهه شمالی وجود داشت، در این بخش نیز دیده می‌شود متأسفانه در این قسمت نیز تمامی کاشی‌ها مفقود شده‌اند و فقط یک نوار باریک کاشی لاجورد باقی مانده است.

در انتهای ایوانچه و بالای ردیف کاشی‌های خشتی، کتیبه‌ای گچی با خط کوفی بنایی وجود دارد که متن «سبحان الله و الحمد لله و لا اله الا الله و الله اکبر و لاحول و لا قوه الا به الله العلی العظیم» را می‌توان بر آن دید. روش اجرای این کتیبه مانند کتیبه‌ی ناتمام در دیوار غربی است؛ ابتدا سطح دیوار را با خط‌کشی، شطرنجی کرده سپس مربع‌هایی که باید متن کتیبه را بسازند با رنگ قرمز علامت‌گذاری کرده‌اند، آنگاه مربع‌های اضافه را تراش داده و زمینه‌ی کار را فرو برده‌اند، در آخر زمینه‌ی فرورفته را با قرمز رنگ‌آمیزی کرده‌اند. در بخش‌های مختلف این بنا جهت نمایان ساختن بیشتر آرایه‌ها و همچنین وحدت و یکپارچگی بخشیدن به آرایه‌های مختلف معماری از قبیل کاشی‌کاری، گچ‌بری، نقاشی و ...، استفاده از رنگ، جایگاه ویژه‌ای دارد. تکنیک استفاده از رنگ برای مشخص کردن عناصر ساختمانی یا تزئینی به‌منظور تاکید بر برخی قسمت‌های ساختمان یا تزئین به‌صورت یک ویژگی همیشگی معماری اسلامی باقی مانده است (هیل، ۱۳۷۵: ۱۰۵).

پشت‌بغل‌ها یا لچکی‌های دو طرف قوس کلیل بالای طاق مورد بحث همانند دو بخش مشابه در دیواره‌های شمالی و غربی با گچ‌بری و شمشه‌های کاشی‌کاری شده زینت یافته و خوشبختانه از وضعیت بهتری برخوردارند.

زمینه گود گچ‌بری آبی، سطح نقوش سفید و کاشی‌های داخل شمشه فیروزه‌ای و لاجوردند. نقوش در دو طرف قرینه بوده و اسلیمی‌ها با نقوش ظریف لانه زنبوری پوشانده شده‌اند. ازاره‌های دیواره‌های کناری ایوانچه نیز با ارتفاع معمول و همچون دیگر بخش‌ها با کاشی اختر و چلیپا پوشانده شده‌اند. ردیفی از کاشی‌های خشتی مربع‌شکل بالای ازاره قرار

می گرفته که اکنون تنها جای خالی آن باقی مانده است. حاشیه کاشی کاری مرکب از کاشی های گرد لاجورد و شش تندی که همگی مفقود شده اند به همراه گچ بری فضاهای مابین، فصل جداکننده سطوح کاشی کاری پایین و سطوح گچ اندود بالا و مزین به نقوش مهری است. سقف اتاق مقبره با آرایه های گچی توپی ته آجری به صورت منظم تزئین شده است که پس از اتمام آن، رنگ سفید روی آن اجرا شده است.

۴- کتیبه پنهان در اتاق مقبره

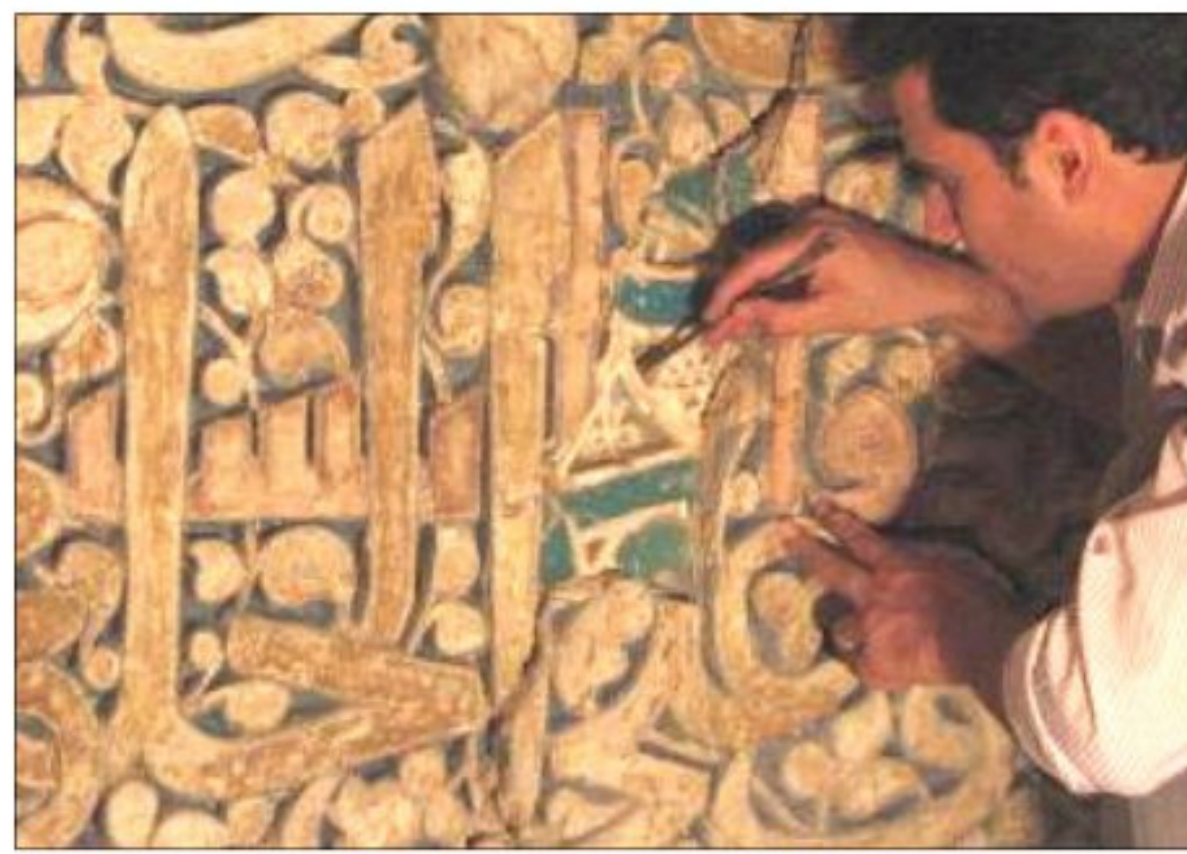
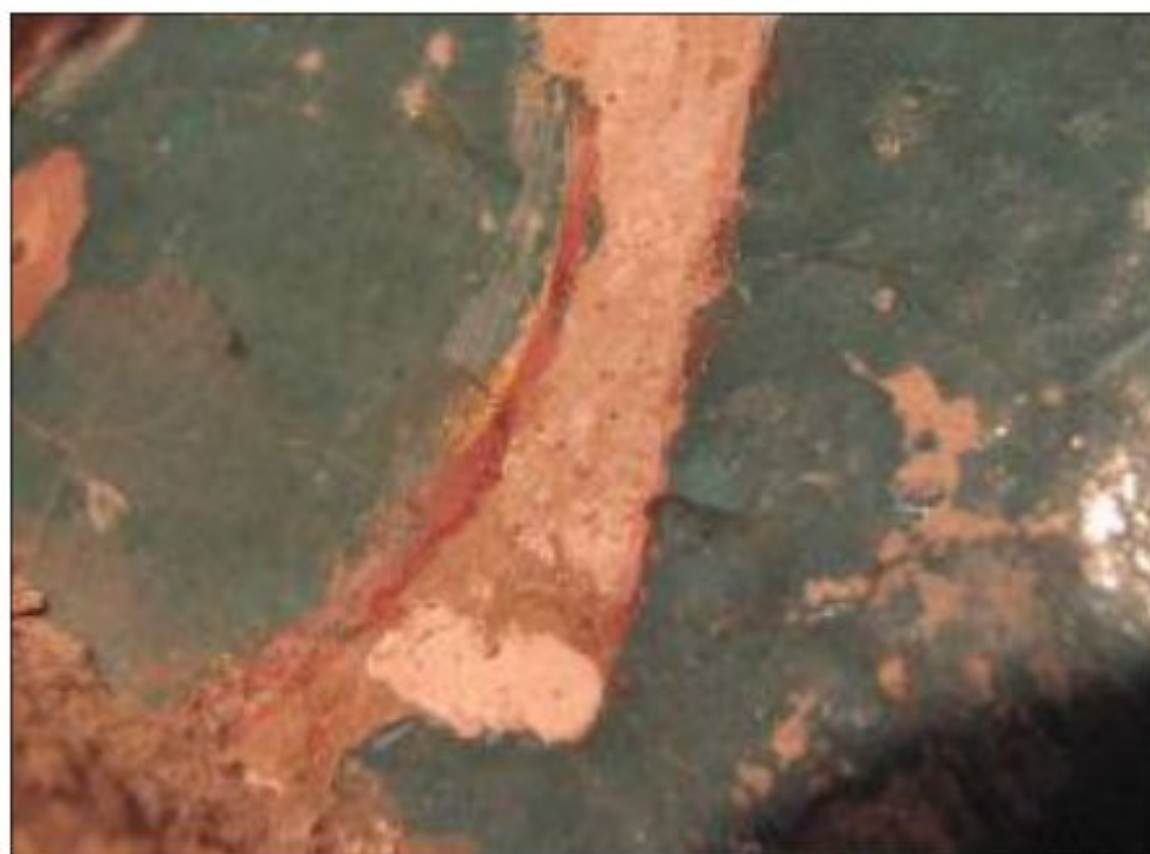
کتیبه گچی مادر و بچه ضلع شمالی اتاق مقبره در سال ۷۰۳ ه. ق اجرا شده است (ت. ۴). تکنیک اجرای آن به صورت آرایه گچی برجسته است و سطح رویی آن طلاکاری شده.

ترک بزرگ سازه های سقف از میانه این کتیبه نیز می گذرد و در ادامه مسیر به سمت پایین از قوس درگاه چله خانه نیز عبور می کند. ترک ایجاد شده بر کتیبه باعث کشف آرایه های گچی و کتیبه ای از جنس کاشی گردید (ت. ۱۰) که به نظر می رسد مربوط به دوره اول تزئینات این بنا (زمانی که محمد بن بکران در قید حیات بوده) باشد. این کتیبه قبل از وفات شیخ اجرا شده بوده که با مرگ وی و اجرای کتیبه گچی تاریخ دار، این بخش به طور کامل پوشانده شده است.

با توجه به بررسی های میدانی انجام گرفته و شواهد موجود، به نظر می رسد کتیبه کاشی کاری به خط ثلث بوده (مانند بیشتر کتیبه های گچی موجود در بنا) که تک رنگ است. استفاده از کاشی فیروزه ای رنگ، زیبایی خاصی به کتیبه داده. و تکنیک اجرای کتیبه کاشی کاری، معرق بوده که زمینه آن به وسیله آرایه های گچی تزئین شده است. نمونه این کتیبه در ایوان مسجد جامع اشترجان اجرا شده بوده که در حال حاضر بخش اندکی از آن باقی است.

یکی از گونه های آمود، کاشی تراش یا معرق است که تا پیش از شیوه آذری، کمتر به کار رفته است (پیرنیا، ۱۳۹۰: ۲۲۲) و شکل کامل شده کاشی معرق را باید از قرون هشتم به بعد دانست (بزرگمهری، ۱۳۸۹: ۱۰۴)

برای نشان دادن زیبایی اثر و ظرافت بیشتر آن، لبه های کاشی معرق به قطر حدوداً ۵ میلی متر با گچ اجرا شده که ادامه تزئینات گچی است. مرز مشترک کاشی و گچ، رنگ قرمز به صورت قلم گیری (دورگیری) اجرا شده است. همچنین شواهدی از ورق طلا روی کاشی فیروزه ای رنگ موجود است. (ت. ۱۱) به نظر می رسد در زمان اجرای کتیبه، سطح کاشی فیروزه ای رنگ به صورت کامل طلاکاری شده است.



تصویر ۱۰: نمایان شدن بخشی از کتیبه کاشی معرق

تصویر ۱۱: دورگیری قرمز لبه کاشی و طلاکاری

تزئینات گچی زمینه کار از نظر برجستگی در دو لایه اجرا شده که لایه اول، هم سطح کتیبه کاشی کاری بوده و لایه دوم کمی پایین تر است (ضخامت گچ در این قسمت کمتر است).

روی تزئینات گچی شواهدی از رنگ آبی به چشم می‌خورد. (ت. ۱۲) ایرانیان در فن استفاده از خط به‌عنوان هنر برای کاربرد در تزئین بناها، اضافه بر کتابت، نقوش دیگری از گیاهان را نیز به کار می‌بردند (یاوری، ۱۳۹۰: ۷۴).



ت. ۱۲: آرایه های گچی زمینه کتیبه کاشی کاری

۵. نتیجه

اهمیت بنای تاریخی پیربکران و تزئینات ارزشمندش با توجه به فقدان اطلاعات تخصصی مرتبط نشان از لزوم شناخت بناهای این چینی از منظر ساختار کالبدی و آرایه‌های معماری این دوره است، و بایست بیش از پیش آنگونه که شایسته است مورد توجه و عنایت هنر دوستان و پژوهشگران قرار گیرند.

۶. پی نوشت

۱- یادگار نوشته‌های موجود در بقعه پیربکران از نظر تاریخی، ادبی، عرفانی در حال مطالعه و بررسی است که نتیجه آن در آینده منتشر خواهد شد.

۷. منابع و مآخذ

اتینگهاوزن، ریچارد و الگ گرابر (۱۳۸۷)، «هنر و معماری اسلامی (۱)» ترجمه یعقوب آژند، تهران، سمت.
 اقبال، عباس (۱۳۶۴)، «تاریخ مغول» تهران؛ امیرکبیر.
 بزرگمهری، زهره و آناهیتا خدادادی (۱۳۹۰)، «آمودهای ایرانی (شناخت، آسیب شناسی و مرمت)». تهران، سروش دانش.
 پازوکی، ناصر و عبدالکریم شادمهر (۱۳۸۴) «آثار ثبت شده ایران در فهرست آثار ملی» تهران، سازمان میراث فرهنگی و گردشگری کشور.
 پوپ، آرتور (۱۳۵۵)، «هنر ایران در گذشته و آینده» ترجمه عیسی صدیق؛ تهران؛ مدرسه عالی خدمات جهانگردی.
 پوپ، آرتور (۱۳۸۸)، «معماری ایران» ترجمه غلام حسین صدری افشار، تهران، نشر اختران، چاپ هشتم.
 پیرنیا؛ محمد کریم (۱۳۹۰)، «سبک شناسی معماری ایرانی» تهران، سروش دانش، چاپ دهم.
 حمزوی، یاسر (۱۳۸۶)، «گزارش عملیات حفاظت و مرمت بقعه پیربکران» اداره کل میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری استان اصفهان.

-حمزوی، یاسر (۱۳۸۸)، «مستندنگاری و حفاظت تزئینات معماری مقبره پیربکران» میراث ملی، فصلنامه تخصصی میراث فرهنگی، ویژه مجموعه گزارش‌های دومین همایش نقد مرمت، سازمان میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری.

حمزوی، یاسر و حسام اصلانی (۱۳۹۱)، «آرایه‌های معماری بقعه پیربکران» اصفهان، گلدسته. خانی پور، رضا (۱۳۸۳)، «کتیبه و کتیبه نگاری» کتاب ماه هنر، شماره ۷۷: ۱۶۴-۱۶۰ دانش یزدی، فاطمه (۱۳۸۷)، «کتیبه‌های اسلامی شهر یزد»، تهران: سبحان نور. رفیعی مهر آبادی، ابوالقاسم (۱۳۵۲)، «آثار ملی اصفهان» انجمن آثار ملی؛ تهران. زمرشیدی، حسین (۱۳۸۴)، «معماری ایران - مصالح شناسی سنتی» تهران، زمرد. شایسته فر، مهناز (۱۳۸۰)، «کتیبه‌های اسلامی» کتاب ماه هنر، شماره ۳۱: ۷۳-۶۸ گذار، آندره (۱۳۷۵)، «آثار ایران»، ترجمه ابو الحسن سرو قد مقدم؛ آستان قدس رضوی؛ چاپ سوم. لوی، جیب (۱۳۳۴)، «تاریخ یهود ایران» طهران، کتاب فروشی یهود ابروخیم. مصطفوی، علی اصغر (۱۳۶۹)، «ایرانیان یهودی» انتشارات بامداد. مکی نژاد، مهدی (۱۳۸۸)، «تاریخ هنر ایران در دوره اسلامی - تزئینات معماری» تهران، سمت، چاپ دوم. مهریار، محمد (۱۳۸۲)، «فرهنگ جامع نام‌ها و آبادی‌های کهن اصفهان» فرهنگ مردم؛ چاپ اول. ویلبر، دونالد (۱۳۴۶)، «معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانی» ترجمه عبدا... فریار؛ بنگاه ترجمه و نشر کتاب با همکاری فنی موسسه انتشارات فرانکلین. هنر فر، لطف الله (۱۳۵۰)، «گنجینه آثار تاریخی اصفهان»، تهران، چاپ خانه زیبا، چاپ دوم. هیل، درک و گرابر اولک (۱۳۷۵)، «معماری و تزئینات اسلامی» برگردان مهرداد وحدتی دانشمند، تهران، انتشارات علمی و فرهنگی. یآوری، حسین و سارا حکاک باشی (۱۳۹۰)، «سیری در عناصر و تزئینات معماری ایران» تهران، توتیا.

ظهور و زوال خانه‌های صخره‌ای روستای توریستی کندوان

فریده امینی بیرامی^۱ و ابراهیم اصغری کلجاهی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی زیست‌محیطی دانشگاه تبریز، ۳۳۹۲۷۲۳-۰۴۱۱، amini_birami@yahoo.com

^۲ استادیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه تبریز، ۳۳۹۲۷۲۳-۰۴۱۱، دورنگار: ۳۳۵۶۰۲۷-۰۴۱۱، e-asghari@tabrizu.ac.ir

چکیده

روستای کندوان یکی از مناطق زمین‌گردشگری ایران است که در استان آذربایجان شرقی و جنوب شهرستان اسکو قرار دارد. این روستا به‌خاطر صخره‌های مخروطی‌شکل در بردارنده خانه‌های روستایی از شهرت بالایی برخوردار است. سنگ‌های مخروطی‌شکل این روستا در معرض عوامل مخرب متعددی قرار دارند. فرسایش و هوازدگی در امتداد صفحات شکستگی موجود در توده سنگ، مهم‌ترین عامل ایجاد اشکال مخروطی بوده ولی با ادامه فرسایش و عدم حفاظت و مرمت، خانه‌های صخره‌ای مذکور در معرض تخریب قرار گرفته‌اند. براساس مطالعات میکروسکوپی، توده سنگ روستای کندوان به‌خاطر داشتن اجزای تشکیل‌دهنده ناپایدار، با جورشدگی ضعیف و گردشگی بالا، مقاومت و دوام پایینی در برابر عوامل مخرب و تنش‌های وارده دارد. علاوه بر آن، توده سنگ کندوان سنگی است با چگالی پایین و تخلخل بالا که این ویژگی‌ها باعث شده است سنگ‌ها ظرفیت بالایی برای جذب آب داشته باشد. درصد جذب بالای آب به‌همراه چرخه‌های ذوب و انجماد باعث متلاشی شدن آن می‌شود. سختی و مقاومت فشاری پایین این سنگ‌ها نیز باعث فرسایش‌پذیری سریع و دوام پایین آن‌ها برای متحمل شدن فشار روباره است. رشد و توسعه کلنی‌های زیستی از جمله گل‌سنگ‌ها به‌طور گسترده در سطح خانه‌ها دیده می‌شود که فعالیت آن‌ها به بافت سنگ آسیب می‌زند. همچنین در سال‌های اخیر به‌دلیل فعالیت‌های غیراصولی اهالی و انتقال آب و برق و گاز و غیره، خانه‌های سنگی مذکور با سرعت بیشتری در حال تخریب هستند.

واژه‌های کلیدی: روستای کندوان، زمین‌گردشگری، فرسایش، معماری صخره‌ای، هوازدگی

Creation and Destruction of Rock Houses of the Kandovan Village

Farideh Amini Birami¹, Ebrahim Asghari Kaljahi²

¹ M.Sc. Student in environmental geology, University of Tabriz

² Assistant professor of geology department, University of Tabriz

Abstract: Kandovan village, located in south of Ousku town of East Azerbaijan province, is one of the geotourism sites of Iran. Cone-shaped rocky houses in this village are exposed to various deterioration factors. Erosion and weathering along the fractured system have been among the most important factors of creating cone-shaped or conical rocks in Kandovan, however progress of erosion without any protection and restoration measures have been caused to deterioration. Microscopic studies revealed that rock mass, because of its unstable components along with the quality of poorly-sorted and well-rounded, has low durability and strength against destructive agents and imposed stresses. In addition, Kandovan rock mass has low density and high porosity which have resulted in the high absorption of water. This along with freezing-melting cycles has led to the disintegration of rocks. Low hardness and compressive strength of these rocks have increased their potential of credibility and lower their durability where overburden pressure occurs. The growth of biological colonies such as lichens whose activities can damage the rock texture, can be widely seen on the surface of the houses. In addition to above, these rocky houses are quickly destroyed by their inhabitants' non-standard construction activities in recent years.

Keywords: Kandovan Village, Geotourism, Erosion, Rocky architecture, weathering.

۱- مقدمه

سنگ از نخستین مصالح تمدن ساز بوده است، روزی به عنوان محل زندگی مانند غار و پناهگاه و روزی به عنوان مصالح معماری به صورتی که از آن برای ساخت کاخ و قلعه پادشاهان، بناهای مسکونی، نیایشگاه‌ها و غیره استفاده می‌شده است. با توجه به مکان مورد استفاده از سنگ و نوع کاربری آن، سنگ‌ها تحت تأثیر عوامل مختلف تخریب قرار می‌گیرند. روستای کندوان تنها روستای صخره‌ای جهان است که هم‌اکنون نیز دارای سکنه بوده و زندگی در آن جریان دارد (مقیمی اسکویی و موسی‌زاده ۱۳۸۵، ۲۶). معماری صخره‌ای روستای کندوان در رابطه با خانه‌های طبیعی و مناظر اطرافش، زیبایی خاصی را آفریده که در تصویر (۱) نمایی از آن نشان داده شده است. این روستا در سیستم جهانی UTM^۱، در زون 38S و در مختصات $X = 610000$ و $Y = 4184000$ قرار داشته و از نظر تقسیمات کشوری در شهرستان اسکو در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. ساکنین اولیه روستای کندوان، در روستای باستانی حيله‌ور ساکن بوده‌اند. بنا به روایات متعددی از جمله حمله مغول‌ها، اهالی از این روستا که حدود ۲ کیلومتر با کندوان فاصله دارد، کوچ کرده و در کندوان سکنی گزیده‌اند (وبگاه سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی، ۱۳۹۱).



تصویر ۱: خانه‌های سنگی - مخروطی روستای کندوان (مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۲)

سالانه گردشگران داخلی و خارجی زیادی برای بازدید از این شاهکار مشترک طبیعت و انسان به کندوان مسافرت می‌کنند. به صورتی که گردشگری به مهم‌ترین منبع درآمد اهالی تبدیل شده است. روستای کندوان به عنوان بخش سنگی طبیعت به واسطه عوامل زمین‌شناسی و طبیعی شکل گرفته است. این پدیده کم‌نظیر طبیعی و انسانی به واسطه عوامل مختلفی در حال تخریب است. لذا لزوم شناخت عوامل مخرب آن به عنوان مطالعات زمینه برای اقدامات حفاظتی و مرمتی بیش از پیش احساس می‌شود.

از مهم‌ترین عوامل مخرب بناهای سنگی، هوازدهی می‌باشد. فرایند هوازدهی به دو گروه کلی، فیزیکی و شیمیایی تقسیم می‌شود. در اثر فرایندهای گروه اول، سنگ‌ها بدون تغییر در ترکیب شیمیایی، به قطعات کوچکتر شکسته و خرد می‌شوند. در فرایندهای گروه دوم، سنگ‌ها علاوه بر این که دچار تغییرات فیزیکی می‌گردند، تغییراتی نیز در ترکیب شیمیایی آن‌ها حاصل شده که موجبات تجزیه شدن و از هم پاشیدگی آن‌ها فراهم می‌گردد (خانلری ۱۳۷۷، ص ۱۲۰). معمولاً این فرایندها در کنار هم و به کمک یکدیگر منجر به هوازدهی سنگ می‌شوند (P, Cook and Doornkamp 1990 316)، علاوه بر این‌ها، هوازدهی بیولوژیکی نیز نوع دیگری از هوازدهی است که توسط موجودات زنده صورت می‌پذیرد؛ مانند تغییراتی که بر اثر ریشه گیاهان، قارچ‌ها، گل‌سنگ‌ها و غیره در زمین ایجاد

می‌شوند (خانلری ۱۳۷۷؛ Sawyer 1989, P.3). مطالعه حاضر، سعی دارد تا عوامل طبیعی و غیرطبیعی دخیل در شکل‌گیری و تخریب خانه‌های سنگی - مخروطی شکل روستای کندوان را معرفی کند. بررسی کلی عوامل مخرب آثار سنگی می‌تواند یک خط مشی کلی برای حفاظت‌گران آثار تاریخی ایجاد نماید تا با بررسی عوامل، راهکارهایی جهت حفاظت و جلوگیری از فرسایش و تخریب اتخاذ نمایند.

۲- مواد و روش‌ها

عوامل کنترل‌کننده رفتار سنگ‌ها در برابر عوامل مخرب از جمله هوازدگی به دو گروه عوامل درونی شامل خواص و ویژگی‌های ذاتی سنگ مانند ترکیب کانی‌شناسی، صفحات ضعیف، شکستگی‌های داخل سنگ، اندازه دانه، شکل دانه‌ها نوع اتصال دانه‌ها به یکدیگر، فضاهای خالی، گونه سنگ و عوامل بیرونی شامل فرایندهایی که محیط اطراف سنگ در یک محدوده از زمان بر سنگ تأثیر می‌گذارند، مانند شرایط اقلیم و آب و هوا تقسیم‌بندی می‌شوند. جهت بررسی عوامل درونی موثر بر تخریب توده سنگ اقدام به مطالعات میدانی، پتروگرافی، آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی روی توده سنگ روستای کندوان شده که نحوه بررسی در ادامه ارائه گردیده است.

۲-۱- مطالعات میدانی

با بررسی سیستم درز و شکستگی توده سنگ کندوان، سه دسته درز اصلی شناسایی شد که این عامل از نظر نحوه شکل‌گیری و تخریب خانه‌های مخروطی اهمیت دارد. علاوه بر این، در مطالعات میدانی عوامل مخرب انسانی و رشد گسترده کلونی‌های زیستی در سطح خانه‌ها به عنوان عامل هوازدگی بیولوژیکی آن‌ها شناسایی شده است (تصویر ۲). ریشه گیاهانی مانند گل‌سنگ‌ها و خزه‌ها به واسطه نفوذ در بافت سنگ و ترشح اسیدهای آلی به تدریج باعث هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سنگ می‌شوند (Chen et al., 2000, PP 130-124 و Warscheid and , P 350 Braams, 2000 و Topal and Sozmen, 2003 , 209-208).



تصویر ۲: رشد کلنی‌های زیستی در سطح خانه‌های سنگی روستای کندوان

۲-۲- مطالعات سنگ‌شناسی

بررسی‌های سنگ‌شناسی اطلاعاتی از ترکیب کانی‌شناسی، ابعاد و شکل کانی‌ها، نحوه پراکندگی ریزترک‌های سنگ و غیره می‌دهد. متداول‌ترین روش برای مطالعات این ویژگی‌ها، استفاده از مقاطع نازک میکروسکوپی است. لذا برای انجام مطالعات سنگ‌شناسی از توده سنگ روستای کندوان مقاطع نازک تهیه شده است.

۲-۳- آزمایشات فیزیکی و مکانیکی

آزمایشات فیزیکی و مکانیکی سنگ این امکان را فراهم می‌کنند تا میزان حساسیت آن را در برابر تنش‌های وارد شده از قبیل انبساط و انقباض، فشار روباره، فرسایش، جذب آب و غیره تعیین شود. جهت تعیین حساسیت توده سنگ خانه‌ها، ویژگی‌های فیزیکی شامل چگالی، تخلخل، درصد جذب آب و ضریب اشباع سنگ هر کدام بر روی ۳ نمونه سالم با وزن تقریبی ۵۰ گرم و ویژگی‌های مکانیکی شامل سختی و مقاومت فشاری تک‌محوری به‌وسیله چکش اشمیت بر قسمت‌های سالم سنگ تشکیل‌دهنده خانه‌های روستا براساس استانداردهای ASTM و ISRM به شرح زیر اندازه‌گیری شده است.

الف- تعیین چگالی و تخلخل

چگالی (جرم مخصوص) سنگ تابع حجم منافذ، درز و شکاف‌ها و سایر فضاهای خالی موجود در سنگ می‌باشد. چگالی سنگ به صورت‌های مختلفی بیان می‌شود که در طبقه‌بندی‌های مهندسی طبق رابطه (۱) از چگالی خشک استفاده می‌شود. چگالی خشک (ρ_d) جرم واحد حجم سنگ در حالت خشک می‌باشد که در آن M_s وزن خشک نمونه‌ها و V_t حجم کل نمونه‌ها است که به روش موم اندود کردن و غوطه‌ورسازی به‌دست می‌آید.

$$\rho_d = M_s / V_t \quad (1)$$

تخلخل کل^۲، نسبت حجم کل منافذ موجود در سنگ به حجم کل نمونه است. تخلخل کل در حالت کلی به صورت رابطه (۲) بیان می‌شود. برای محاسبه تخلخل سنگ از روش اشباع نمونه و شناورسازی استفاده شده است. برای انجام این آزمایش، ۱۰ قطعه سنگ با حداقل وزن ۵۰ گرم را انتخاب کرده و سطح آن‌ها شسته می‌شود تا گرد و خاک روی آن باقی نماند. نمونه‌های سنگ در شرایط خلأ و با مکش ۸۰۰ پاسکال به مدت حداقل یک ساعت اشباع شده و وزن اشباع سنگ (M_{sat}) به‌دست آمده است. سپس سنگ‌ها به داخل یک سبد توری منتقل و در آب غوطه‌ور می‌شوند تا وزن غوطه‌وری نمونه اندازه گرفته شود (M_{sub}). آنگاه نمونه‌ها داخل گرم‌خانه با حرارت ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده می‌شوند و وزن خشک آن‌ها تعیین می‌شود. برای به‌دست آوردن تخلخل، ابتدا حجم کل نمونه و فضاهای خالی را طبق روابط (۳) و (۴) به‌دست آورده و آن‌ها را در رابطه (۲) جای‌گذاری می‌کنند. هرچه سنگی دارای چگالی پایین و تخلخل بالا باشد، مقاومت آن در برابر عوامل و تنش‌های وارده مانند ناشی از انبساط و انقباض کاهش می‌یابد (ISRM, 1981).

$$\text{تخلخل کل} = (V_v / V) \times 100 \quad (2)$$

$$V = (M_{sat} - M_{sub}) / \rho_w \quad (3)$$

$$V_v = (M_{sat} - M_s) / \rho_w \quad (4)$$

ب- درصد جذب آب^۳

درصد جذب آب، میزان توانایی یک سنگ برای جذب آب را نشان می‌دهد که مقدار آن به نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده و تخلخل سنگ وابسته است. هرچه سنگی دارای مقادیر بالایی از کانی‌های رسی و تخلخل باشد، توانایی جذب آب و آسیب‌پذیری بالایی خواهد داشت. برای به‌دست آوردن این کمیت ابتدا نمونه سنگ را در گرم‌خانه ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و وزن خشک (M_s) آن به‌دست آورده می‌شود، سپس آن را به مدت ۲۴ ساعت در آب اشباع کرده و وزن اشباع (M_{sat}) آن نیز به‌دست آورده و با استفاده از رابطه (۵) درصد جذب آب محاسبه می‌شود (BSI, 1975).

$$\text{درصد جذب آب} = (M_{sat} - M_s) \times 100 / M_s \quad (5)$$

ج- ضریب اشباع سنگ^۴

ظرفیت طبیعی سنگ برای جذب آب، ضریب اشباع نامیده می‌شود. یک سنگ با ضریب اشباع آب بالای ۰/۸ دوام خیلی پایینی نسبت به فرایند ذوب و انجماد متوالی دارد (Anon, 1975). برای به‌دست آوردن ضریب اشباع سنگ، ابتدا آن را به مدت ۲۴ ساعت در گرم‌خانه ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد خشک کرده و وزن خشک آن به‌دست می‌آید. سپس نمونه‌های سنگ را به مدت ۲۴ ساعت در آب سرد غوطه‌ور ساخته و وزن اشباع اندازه‌گیری می‌شود. نمونه‌های اشباع به مدت ۵ ساعت در آب جوشانده می‌شوند تا آب به داخل تمام منافذ سنگ نفوذ نماید و سپس وزن آن دوباره اندازه‌گیری شده و ضریب اشباع طبق رابطه (۶) محاسبه می‌شود (Topal and Doyuran, 1997, PP 175- 187 و TS 699, 1987).

$$S = (W_c - W_d) / (W_b - W_d) \quad (۶)$$

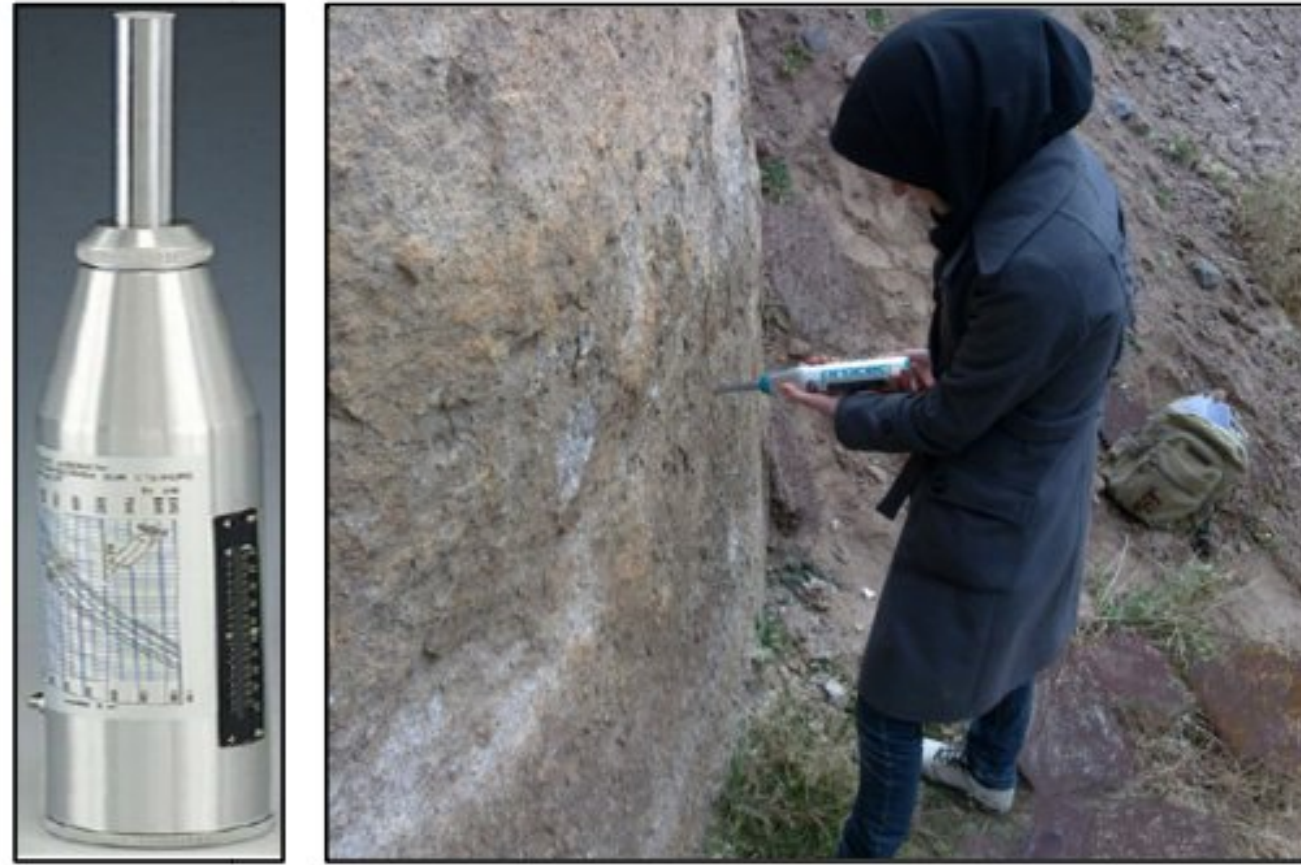
در این رابطه W_d وزن خشک نمونه، W_c وزن اشباع در آب سرد و W_b وزن اشباع در آب جوش می‌باشد.

د- سختی سنگ^۵

سختی سنگ تابعی از عوامل ذاتی متفاوتی چون نوع کانی، ابعاد دانه‌ها، چسبندگی مرزی کانی‌ها، مقاومت و رفتار الاستیک و پلاستیک سنگ می‌باشد. ترکیب و اندرکنش این عوامل، تعیین‌کننده سختی یک سنگ است. یک روش اندازه‌گیری سختی در محل استفاده از چکش اشمیت می‌باشد. در این روش، نوک چکش روی سطح صاف سنگ قرار گرفته و ضربه اعمال می‌شود. میزان واجهش چکش قرائت شده و به‌عنوان مقیاسی برای تعیین سختی استفاده می‌شود. سختی اشمیت، کاربردهای مختلفی در طبقه‌بندی سنگ‌ها و تعیین خواص مهندسی آن‌ها دارد. در یک طبقه‌بندی که توسط Brand و Philipsonm در سال ۱۹۸۴ انجام گرفته است، سنگ‌ها براساس سختی چکش اشمیت از نظر شدت هوازدگی به ۶ گروه طبقه‌بندی شده‌اند (جدول ۱). سختی اشمیت با مقاومت فشاری تک-محوری که نشان‌دهنده مقاومت یک سنگ برای متحمل شدن فشار در یک جهت است، نسبت مستقیم دارد (ISRM, 1978) و (فهیمی فر و سروش، ۱۳۸۰، صفحات ۱۶۷-۱۵۹). برای به‌دست آوردن سختی توده سنگ خانه‌های روستا در چندین نقطه روی آن‌ها اقدام به اندازه‌گیری سختی با چکش اشمیت شده است (تصویر ۳).

جدول ۱: شاخص درجه هوازدگی براساس عدد چکش اشمیت (Brand and Philipsonm., 1984).
(هر عدد واجهش برابر با 10 kg/cm^2 می‌باشد)

درجه	توصیف
تازه	عدد واجهش اشمیت حدود ۶۰ است، نشانه‌ای از رنگ‌برگشتگی ندارد.
کمی هوازده	عدد واجهش اشمیت بیش از ۴۵ و کمتر از ۶۰ است، تغییر رنگ در امتداد ناپیوستگی‌ها آغاز شده و به‌صورت جزئی به داخل سنگ نفوذ کرده است.
نیمه هوازده	عدد واجهش اشمیت حدود ۲۵ تا ۴۵ است، تغییر رنگ داده است، هوازدگی در ناپیوستگی‌ها نفوذ کرده است.
خیلی هوازده	عدد واجهش اشمیت تا ۲۵ است، تغییر رنگ شدید داده است. تمام سنگ تغییر رنگ داده است هسته‌هایی از سنگ ممکن است هوازده وجود داشته باشد.
کاملاً هوازده	با چکش اشمیت هیچ واجهشی ندارد، سنگ تجزیه شده است.
خاک برجا	سنگ کاملاً تغییر رنگ داده و تجزیه شده است. با دست به‌سادگی خرد می‌شود. ظاهری ترد و از هم پاشیده دارد.



تصویر ۳۰: اندازه‌گیری سختی واجهشی سنگ با چکش اشمیت

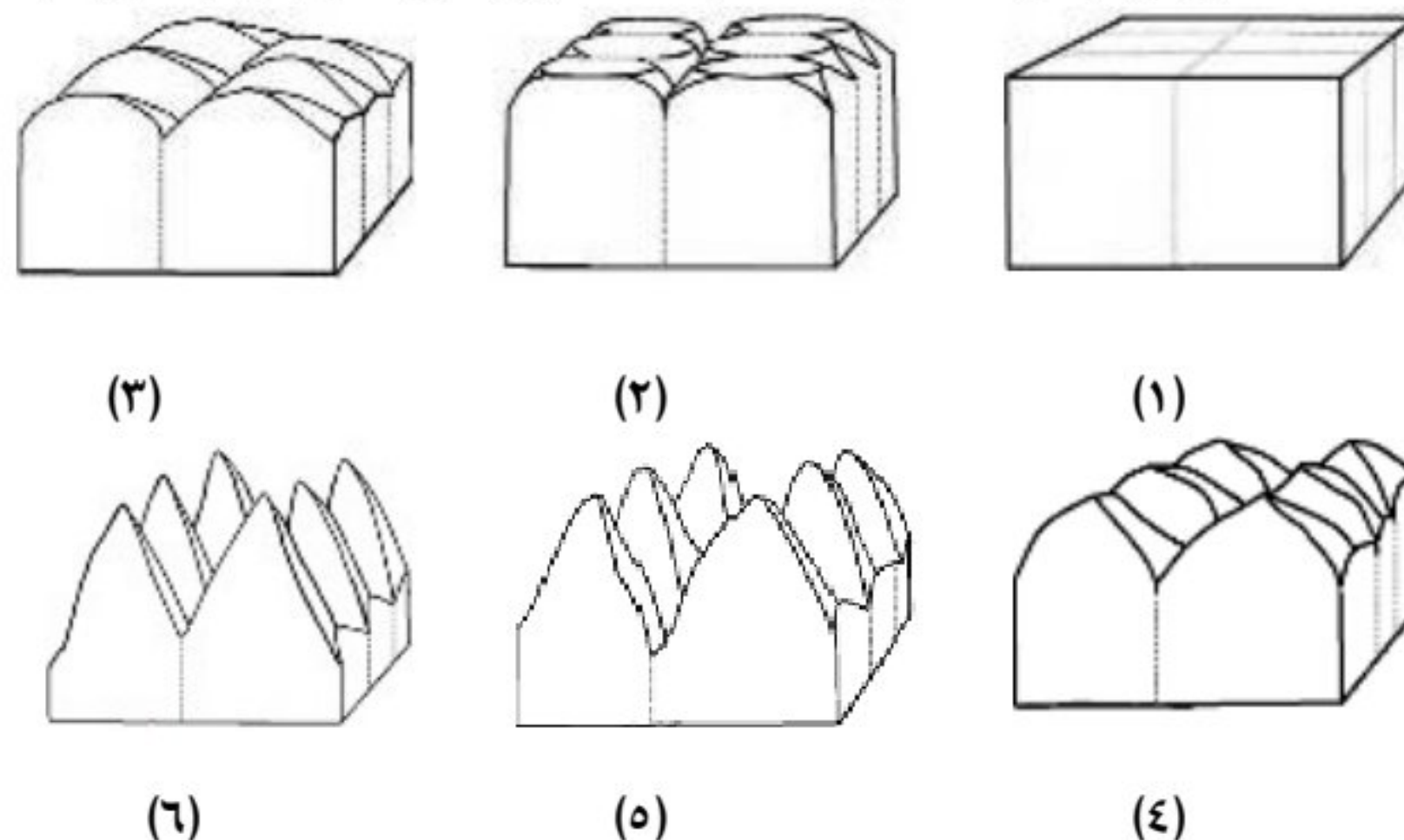
۳- نتایج و بحث

۳-۱- شرایط اقلیمی منطقه

منطقه کندوان دارای اقلیم سرد و خشک بوده و به‌طور متوسط دمای هوا در ماه‌های آذر، دی، بهمن و اسفند به زیر صفر و در برخی سال‌ها تعداد روزهای یخبندان به ۲۰۰ روز در سال بالغ می‌شود. بنابراین، خانه‌های سنگی روستا به‌صورت مداوم تحت تأثیر فرایند ذوب و انجماد، منبسط و منقبض می‌شوند. براساس بررسی‌های هواشناسی، میانگین حداقل دمای سالیانه ۳- درجه و حداکثر مقدار آن ۱۹ درجه سانتی‌گراد تعیین شده است. بر اساس مطالعات انجام شده، عوامل مخرب سنگ‌های مخروطی، شکل روستا را می‌توان به شرح زیر بیان کرد:

۳-۲- نقش شکستگی سنگ‌ها در شکل‌گیری و تخریب خانه‌ها

آتشفشان سهند هنگام فعالیت خود مانند جزیره‌ای به‌وسیله دریایی کم‌عمق احاطه شده بود. مواد خارج شده از آن در این حوضه کم‌عمق ته‌نشین شده و رسوبات یک‌پارچه آذرآواری با نام ایگنیمبریت^۶ را به‌وجود آوردند (معین وزیری و امین سبحانی، ۱۳۵۶، ص ۵۲). با توجه به بررسی‌های محلی انجام شده هوازدگی و فرسایش ناشی از عوامل طبیعی مثل باران، برف، باد و غیره در امتداد سه دسته شکستگی اصلی ایجاد شده در این توده سنگ ایگنیمبریتی، باعث ایجاد شکل مخروطی خانه‌های سنگی این روستا شده است (امینی بیرامی و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۴). مراحل شکل‌گیری سنگ‌های مخروطی شکل را می‌توان به‌صورت تصویر (۴) تجسم کرد. شکستگی‌ها به‌عنوان سطوح ضعف توده سنگ این امکان را فراهم نموده‌اند که با هوازدگی و فرسایش در امتداد آن‌ها، خانه‌های مخروطی شکل ایجاد شوند اما ادامه این فرایندها، شکستگی‌ها را به محل مناسبی برای نفوذ آب‌های جوی به داخل خانه‌ها تبدیل کرده است که افزایش رطوبت داخل خانه‌ها باعث تخریب آن‌ها می‌شود (تصویر ۵).



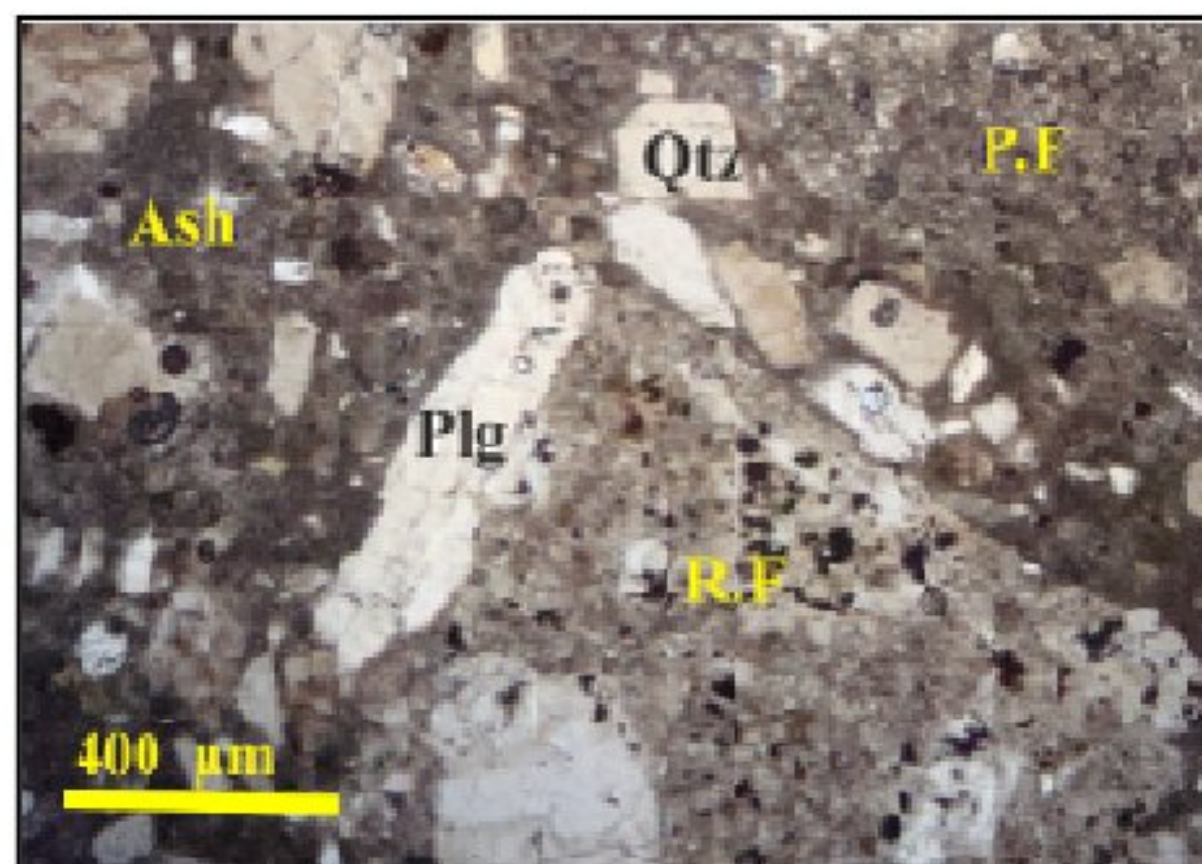
تصویر ۴۰: طرح شماتیک از مراحل شکل‌گیری خانه‌های سنگی - مخروطی روستای کندوان (امینی بیرامی و همکاران، ۱۳۹۱، ص ۴)



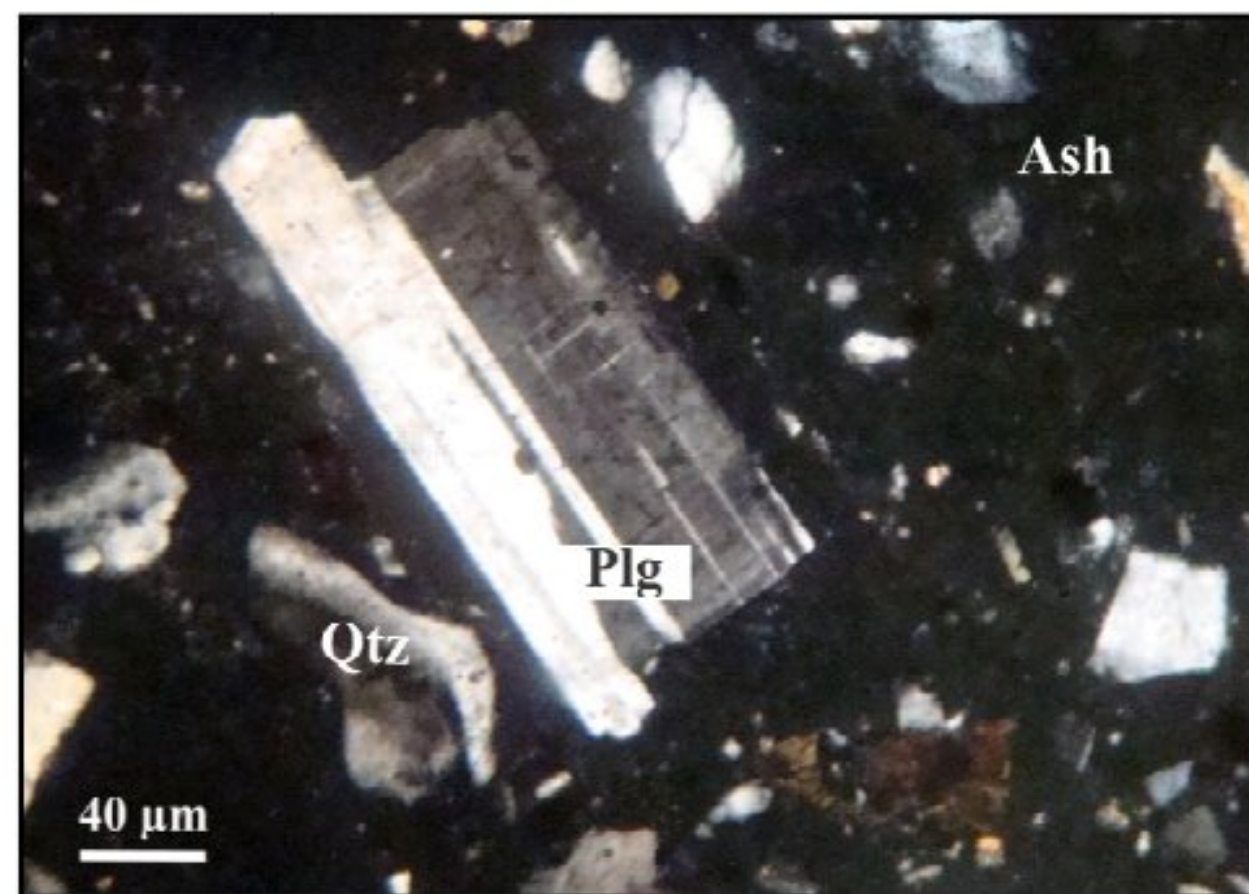
تصویر ۵: نفوذ آب در امتداد شکستگی‌ها به داخل توده سنگ

۳-۳- مطالعات سنگ‌شناسی

براساس مقاطع میکروسکوپی تهیه شده، جنس سنگ خانه‌های روستای کندوان، ایگنیمبریت می‌باشد. این نوع سنگ یک سنگ آذرآواری شامل مخلوطی از قطعات سنگی و پامیس بوده و تک‌کانی‌ها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن، کوارتز و شیشه آتشفشانی است (تصویرهای ۶ و ۷). ویژگی‌های سنگ‌شناسی یک سنگ شامل نوع کانیه‌ها، اندازه و شکل دانه‌ها از عوامل درونی مؤثر در تخریب یک سنگ هستند (Erosy and Waller, 1995). سنگ‌هایی که دارای درصد بالایی از کانیه‌های مربوط به اواخر سری تبلور ماگما هستند (مانند کوارتز) مقاومت بالایی دارند، همچنین سنگ‌هایی که دارای یکنواختی اندازه دانه‌ها یا جورشدگی خوب، دانه‌هایی با گردشدگی پایین هستند به دلیل افزایش سطح تماس دانه‌ها و درجه درهم شدگی بالا وقتی تحت تأثیر فشار قرار می‌گیرند، این فشار در سطح بیشتری توزیع شده و اثر مخرب کمتری خواهد داشت. توده سنگ روستای کندوان به خاطر داشتن درصد بالایی از کانیه پلاژیوکلاز و قطعات پامیس که در حضور آب هوازده شده و مقاومت خود را از دست می‌دهند، همچنین جورشدگی ضعیف به صورتی که محدوده اندازه دانه‌ها از چند سانتی‌متر تا میکرون را شامل می‌شود و به دلیل این که اجزای تشکیل دهنده آن گردشده هستند، مقاومت و دوام پایینی دارند.



تصویر ۶: مقاطع میکروسکوپی از توده سنگ کندوان - نور معمولی (راست)، نور پلاریزان (چپ)
(R.F.: قطعات سنگ، P.F.: قطعات پامیس، Ash: خاکستر، Qtz: کوارتز، Plg: پلاژیوکلاز)



تصویر ۷۰: درشت‌بلور کانی پلاژیوکلاز، کوارتز و شیشه آتشفشانی - نور پلاریزان

۳-۴- ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی

آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی براساس استانداردهای شرح داده شده در بخش مواد و روش‌ها بر نمونه‌های سالم سنگ انجام گردیده و نتایج حاصل در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: نتایج آزمایش‌های فیزیکی و مکانیکی انجام شده روی توده سنگ کندوان

کمیت	تعداد نمونه‌ها	روش آزمایش	مقدار	واحد
چگالی خشک	۳	ISRM, 1981	۱/۵۰	gr/cm ³
تخلخل	۳	ISRM, 1981	۴۵ - ۵۰	%
درصد جذب آب	۳	BSI, 1975	۱۰~۱۲	%
ضریب اشباع سنگ	۳	TS 699, 1981	> ۰/۸	-
سختی	سطح سالم خانه‌ها	ISRM, 1978	۲۰۰ - ۲۵۰	kg/cm ²
مقاومت فشاری تک-محوری	سطح سالم خانه‌ها	ISRM, 1978	۲۰۰ - ۲۵۰	kg/cm ²

با توجه به نتایج فوق، توده سنگ کندوان سنگی است با چگالی (وزن مخصوص) پایین و تخلخل بالا که این ویژگی‌ها باعث شده است سنگ در حضور آب باران و برف، ظرفیت زیادی برای جذب آب داشته باشد. درصد جذب بالای آب به همراه چرخه‌های ذوب و انجماد متوالی باعث متلاشی شدن بافت سنگ می‌شود. با هر انجماد و ذوب، آب به عمق بیشتری از سنگ نفوذ کرده و به حجم بیشتری از آن آسیب می‌زند. خصوصاً این که داشتن ضریب اشباع بیش از ۰/۸ حساسیت بالای سنگ به انجماد را نشان می‌دهد. همان‌طور که در تصویر ۸ نشان داده شده است، نتیجه این فرایندها پوسته‌پوسته شدن سنگ و ریزش سطح خانه‌ها شده است. براساس طبقه‌بندی Brand و Philipsonm (۱۹۸۴) در حالت کلی توده سنگ کندوان نیمه هوازده تا خیلی هوازده است، بنابراین اجزای آن جوش‌خوردگی پایینی دارند و در برابر عوامل فرسایشی به شدت فرسایش می‌یابد.



تصویر ۸۰: تصاویری از پوسته پوسته شدن سنگ و ریزش سطح خانه‌ها

همان‌طور که ذکر شد، رابطه مستقیمی بین سختی اندازه‌گیری شده با چکش اشمیت و مقاومت فشاری تک-محوری سنگ وجود دارد. بنابراین، سنگ تشکیل‌دهنده خانه‌های روستای کندوان استحکام پایینی برای تحمل فشارهای وارده دارند. با توجه به این‌که ساکنان روستا برای افزایش فضای داخل خانه‌ها، حفاری‌های جدیدی را از سمت داخل خانه‌ها انجام می‌دهند، ضخامت دیواره خانه‌ها کمتر شده و و با از دست رفتن قدرت تحمل سنگ، تخریب‌ها افزایش یافته و دیواره فرو می‌ریزد.

۳-۵- عوامل مخرب انسانی

روستای کندوان علاوه بر معماری کم‌نظیر خانه‌های روستایی به‌سبب آب و هوای مناسب کوهستانی، مراتع سرسبز، آب معدنی گوارا و محیط آرام، سالانه پذیرای گردشگران داخلی و خارجی زیادی است. پدیده گردشگری ضمن این‌که توسعه و پیشرفت را برای منطقه به ارمغان آورده ولی آسیب‌های جدی هم به روستا وارد می‌سازد. علاوه بر تراکم بالای جمعیت به‌خصوص در ایام تعطیلات، آلودگی هوای ناشی از تردد وسایل نقلیه گردشگران و رهاسازی زباله‌ها از مهم‌ترین عواقب عدم مدیریت صحیح گردشگری است.

همچنین اهالی روستا به‌منظور آب و برق‌رسانی به خانه‌ها اقدام به حفاری، مدفون‌سازی لوله و نصب ستون و تیرک کرده‌اند که این عمل نیز به بقای خانه‌های سنگی آسیب زده است. کندن بیشتر داخل خانه‌ها به‌منظور افزایش فضای زندگی، احداث دیوار با مصالح جدید، نصب در و پنجره فلزی نیز باعث بر هم زدن چهره طبیعی و معماری صخره‌ای روستا شده است (تصویر ۹).



تصویر ۹۰: تصاویری از بر هم خوردن چهره طبیعی روستا به‌واسطه فعالیت‌های انسانی

۴- نتیجه گیری

به طور کلی عوامل مخرب سنگ‌های مخروطی روستای کندوان را می‌توان به هوازگی فیزیکی، شیمیایی، بیولوژیکی و عوامل انسانی تقسیم‌بندی کرد. سست بودن توده سنگ، فرسایش و هوازگی در امتداد شکستگی‌ها، مهم‌ترین عامل ایجادکننده شکل مخروطی سنگ‌های روستای کندوان است. وجود شکستگی‌ها به عنوان سطوح ضعف توده سنگ و سختی پایین آن باعث تشدید فرسایش در امتداد شکستگی‌ها شده است. شرایط اقلیمی حاکم در منطقه به عنوان یک عامل بیرونی، تداوم چرخه‌های انجماد- ذوب آب در سنگ را به دنبال داشته است. افزایش حجم ناشی از انجماد آب موجود در منافذ سنگ عامل هوازگی فیزیکی و وجود آب به عنوان یک عامل شیمیایی باعث هوازگی شیمیایی سنگ شده است. ویژگی‌های فیزیکی خاص توده سنگ کندوان از جمله چگالی پایین، تخلخل و درصد جذب آب بالا فرایندهای هوازگی را تشدید می‌کنند.

کلنی‌های زیستی مهم‌ترین عامل هوازگی بیولوژیکی توده سنگ کندوان می‌باشند که با نفوذ ریشه آن‌ها در سنگ و ترشح اسیدهای آلی به تدریج سنگ را تخریب می‌کنند. هرچند که در سال‌های اخیر به دلیل فعالیت‌های انسانی نامناسب، تخریب سنگ‌های خانه‌ها از روند طبیعی خارج شده و سرعت بیشتری پیدا کرده است، ولی خوشبختانه اخیراً سازمان میراث فرهنگی استان آذربایجان شرقی اقدام به تعیین محل و ساخت شهرک مسکونی در محل دیگری نموده که انتظار می‌رود با انتقال اهالی به آن محل شاهد کاهش عوامل مخرب انسانی باشیم. اما این بدین معنی نیست که برای حفظ این معماری صخره‌ای نیاز به اجرای طرح‌های حفاظت و مرمت سنگ وجود ندارد.

۵- پی‌نوشت‌ها

- 1- Universal Transverse Mercator coordinate system
- 2- Total Porosity
- 3- Water absorption
- 4- Saturation coefficient
- 5- Rock hardness
- 6- Ignimbrite

۶- منابع

امینی بیرامی، فریده؛ اصغری کلجاهی، ابراهیم و حاجی‌علیلو بناب، مسعود؛ (۱۳۹۱) «بررسی نقش ساختارهای زمین‌شناسی در تشکیل و تخریب مخروط‌های سنگی روستای گردشگری کندوان»، نخستین همایش میراث زمین‌شناختی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. مجموعه مقالات ژئوتوریسم سازمان زمین‌شناسی کشور.

خانلری، غلامرضا؛ (۱۳۷۷) «زمین‌شناسی مهندسی»، همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا، شماره ۱۲۶.

فهیمی‌فر، احمد و سروش، حامد؛ (۱۳۸۰) «آزمایش‌های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها»، آزمون‌های آزمایشگاهی انتشارات آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک، جلد اول، ۷۱۹ صفحه.

معین وزیری، حسین و امین سبحانی، ابراهیم؛ (۱۳۵۶) «سهند از نظر ولکانولوژی و ولکانوسدیمانتولوژی». چاپ دانشگاه تربیت معلم تهران.

مقیم‌اسکویی، حمید رضا و موسی زاده، اسفندیار. (۱۳۸۵)، اسکو از ساحل دریاچه ارومیه تا قله سهند با تاکید بر جاذبه‌های توریستی کندوان، شهرداری اسکو.

Anon, P.; (1975) «Testing porous building stone : Stone Handbook ». Architects J. 13, 337-339. Brand, W. E. and Philipsonm, H. B.; (1984) «Site Investigation and Geotechnical Engineering Practice in Hong Kong», Getech. Eng. (J. Southeast Asian Geotech. Soc.), Sci. 2, 105.

BSI; (1975) «Testing aggregates: Part 2. Methods for determining the physical properties». British Standards Institution (BS812), 20 pp.

Chen, J., Blume, H. P. and Beyer, L.; (2000) «Weathering of rocks induced by lichen colonization - a review», Catena 39, 121-146.

Cook, R. U. and Doornkamp, J. C.; (1990) «Geomorphology in environmental management» Oxford.

Ersoy, A. and Waller, M. D. (1995) «Textural characterization of rocks », Engineering Geology, 39, pp. 123-136. <http://www.eakandovan.ir/articles>, received : 16/3/2012

ISRM; (1978) «Commission on Testing Methods, Suggested methods for determining hardness and abrasiveness of rocks », Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomechanic Abstr. 15 (3): 97 – 103.

ISRM; (1981) «Rock Characterization, Testing and Monitoring », Pergamon Press, Oxford, 211 pp.

Sawyer, K. E.; (1989) « Landscape Studies (An introduction to geomorphology) », Arnold, Second edition.

Topal, T. and Sozmen, B.; (2003) « Deterioration mechanisms of tuffs in Midas monument», Engineering Geology 47, pp 175-87.

Topal, T., and Doyuran, V.; (1997) « Engineering geological properties and durability assessment of the Cappadocian tuff », Engineering Geology 68, 201-223.

TS699; (1987) « Dogal yapı taslari », Turk Standartlari Enstitusu, TS2513, 6 pp.

Warscheid, Th. and Braams, J.; (2000) «Biodeterioration of stone: a review», International Biodeterioration and Biodegradation 46, pp 343-368.

آشکارسازی و حفاظت تزئینات پنهان نقاشی در خانه صدقیانی تبریز

مصطفی کریمی فرد*، مهدی رازانی*، سعید مهریار**

*دانشگاه هنر اسلامی تبریز

**دانشگاه تبریز

چکیده: آشکارسازی و طرح حفاظت و مرمت بخشی از تزئینات پنهان شده در قسمت (اتاق گوشوار) بنای کوشک دو طبقه در ضلع جنوب غربی خانه صدقیانی در محله مقصودیه تبریز موضوع مورد بحث این مقاله است. در همین راستا با توجه به پنهان بودن این نقاشی‌ها در زیر لایه‌ای از گچ کُشته، شناسایی وسعت، گونه و تکنیک نقاشی‌ها و همچنین میزان آسیب و روش آشکارسازی و خارج نمودن آنها از زیر لایه گچ مهم‌ترین سؤالات و اهداف این تحقیق بوده است. در همین راستا، انجام مطالعات آزمایشگاهی جهت شناسایی مواد تشکیل دهنده و تکنیک اجرای این نقوش توسط روش‌های آزمایشگاهی میکروسکوپی الکترونیکی روبشی (SEM-DEX) و اسپکتروسکوپی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR) به‌علاوه استفاده از شیمی تر و بررسی‌های میکروسکوپی و ماکروسکوپی لایه‌های موجود صورت پذیرفت که منجر به شناسایی رنگدانه‌هایی از قبیل: اکسید آهن، ایندیگو، مالاکیت و به‌همراه روغن خشکانه گردید که نشان از رنگ و روغن بودن نقاشی‌های فوق بود. در ادامه پس از شناخت نسبی از وضعیت اثر مذکور با مطالعات فن شناسی و آسیب‌شناسی، فرسودگی‌های موجود و براساس اصول مبانی نظری مرمت مبنی بر پاکسازی لایه‌های الحاقی و زدودن بخش‌هایی که اصالت اثر را مخدوش کرده‌اند، اقدام برداشتن لایه‌های گچ از سطح نقاشی‌ها انجام پذیرفت که در نهایت موجب آشکار شدن ته‌رنگ و طرح‌های اصلی نقاشی‌های ازاره پنهان خانه صدقیانی شد در همین راستا، برای حفاظت از این آثار، پس از تمیزکاری- ترکیبی از الکل و استون- استحکام‌بخشی و تثبیت لایه‌ها، جهت ایجاد یکپارچگی بصری اثر، بازسازی رنگی قسمت‌های کمبود با استفاده از آبرنگ انجام پذیرفت.

کلمات کلیدی: دیوارنگاره، مرمت و حفاظت، آشکارسازی، میکروسکوپ الکترونی روبشی، خانه صدقیانی تبریز.

Exposure and Conservation of Hidden Paintings Decoration in the Sadaghiani House of Tabriz

Karimifard*. M, Razani.M*, Mahryar. S**

Tabriz Islamic Art University

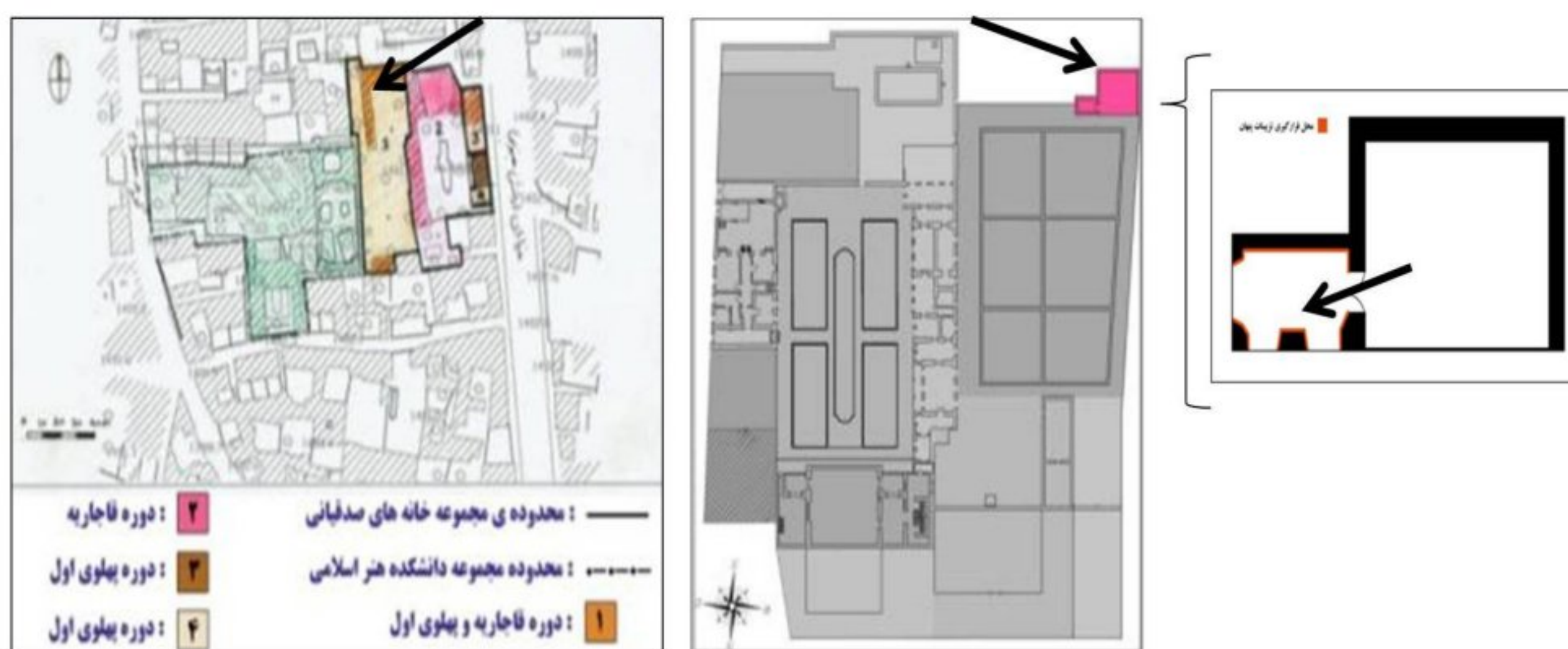
Tabriz University

Abstract: Exposure and conservation and restoration plan of a part of hidden decoration in the adjoining room of tow-stage belvedere in the west-northern side of Sadaghiani House, located in the Maghsudie alley (in Naw-bar district) of Tabriz, is the subject of this paper. In this regard, following a brief history, location of mentioned decoration in the Sadaghiani House has been described where the hidden decorations were located under the plaster layer on the plinth. Comparative studies of revealed decorations, material analysis of components through SEM and FTIR methods as well as microscopic and macroscopic examination were done. After the technological and pathological studies which enabled us understand the condition of the decorations, the deteriorations resulting from damaging factors were investigated and appropriate decision was made for intervention in the work based on the theoretical background. Conservation activities including documentation, removing the surface plaster layer, cleaning with a complex of ethanol and acetone and finally consolidation by primal were accomplished. In the final step in order to make a visual integrity, loss parts were retouched using watercolor.

Keywords: Wall-painting, Conservation and restoration, SEM, Sadaghiani house of Tabriz, Exposure

۱. مقدمه

برخی از تزئینات در ابنیه تاریخی پوشاننده تزئینات دوره ماقبل خود هستند، که بعضاً به صورت تصادفی گوشه‌ای از آن‌ها آشکار و به وجود آن پی برده می‌شود. از جمله آرایه‌های معماری کاخ چهل‌ستون اصفهان که توسط گروه ایزمئو از زیر لایه‌ای از گچ بیرون آورده شد (Zander 1968). و یا برداشت لایه گچ از روی تزئینات در خانه قدسیه اصفهان که توسط بهنام پدram صورت پذیرفت (پدram ۱۳۷۶). دیوارنگاره موجود در مجموعه خانه صدقیانی^۱ یکی دیگر از این موارد است. در همین راستا پس از اثبات ضرورت دخالت در اثر، مطالعات تاریخی تطبیقی بنای مورد نظر شروع گردید و به تحولات صورت گرفته در آن پرداخته شد و با بیرون آوردن این دیوارنگاره‌ها از زیر لایه گچ، آسیب‌های وارده بر این قسمت از بنا بررسی گردید و مطالعه فن‌شناسی و سبک‌شناسی این تزئینات با روش‌های آزمایشگاهی صورت پذیرفت و پس از آگاهی یافتن از وضعیت کنونی اثر با مستندنگاری کامل برای مرمتی اصولی و حفاظتی پایدار اقدام گردیده که کلیه عملیات مذکور در این مقاله به‌طور مختصر آورده شده است. خانه صدقیانی در حال حاضر در منطقه ۸ شهرداری تبریز، بین چهارراه باغ شمال و میدان شهرداری (ساعت) و طبق تقسیم‌بندی قدیمی شهر، در کوی مقصودیه از محله نوبر قرار دارد. خانه صدقیانی به‌صورت مجموعه‌ای متشکل از چند خانه و حیاط و باغچه است که طبق مدارک موجود در پرونده ثبتی آن به‌صورت به‌هم پیوسته در دوره‌های تاریخی متفاوت دچار تغییراتی شده است. (شکل ۱). این خانه در گذشته متعلق به خاندان حاج علی‌اکبر صدقیانی از تاجران بزرگ و معتبر تبریز بوده که برخی نوادگان او تا یک دهه پس از مرگش نیز در این خانه سکونت داشتند. آسیب‌های زمان جنگ و فرسودگی‌های پی در پی موجب متروکه شدن این خانه گشت تا این که در تاریخ ۱۲/۱۱/۱۳۸۱ این بنا در فهرست آثار ملی به شماره ۷۴۹۸ ثبت گردید (پرونده ثبتی خانه صدقیانی، تارنمای ایرانشهر) پس از ساخت خیابان جدیدی در سمت شمالی این مجموعه، بخش قابل ملاحظه‌ای از آن از میان رفت تا این که این مجموعه برای اعطای کاربری جدید به دانشگاه هنر اسلامی تبریز واگذار گردید (نقشه ۳ و ۲).



شکل ۱- پلان خانه صدقیانی که دوره‌های تاریخی آن را مشخص می‌کند (مأخذ: پرونده ثبتی خانه صدقیانی، تارنمای ایرانشهر).

نقشه ۲- فضاهای مختلف درون مجموعه (قسمت حوضخانه با رنگ قرمز مشخص شده است) (مأخذ: صدقیانی ۱۳۸۸).

نقشه ۱- پلان طبقه دوم حوضخانه و راهرو حاوی تزئینات پنهان (مأخذ: نگارنده).

در گوشه ضلع جنوبی غربی خانه صدقیانی بنای دوطبقه‌ای وجود دارد که توصیف آن بدین گونه است: این بنا دارای دو طبقه می‌باشد؛ طبقه نخست تقریباً چند پله پایین‌تر از سطح زمین و طبقه دوم روی آن قرار گرفته است. اما هیچ راه ارتباطی و راه‌پله‌ای میان این دو طبقه وجود ندارد. در طبقه پایین فضایی شبیه حوضخانه وجود دارد. طبقه بالای فضای کوشک شامل اتاقی است که به راهرو متصل می‌باشد. در دیواره این راهرو طاقچه‌هایی به سبک اوایل قاجار به چشم می‌خورد، دلیل وجود این راهرو دقیقاً روشن نیست. دیوارنگاره‌های مورد نظر در زیر یک لایه گچی پایین این طاقچه‌ها در قسمت ازاره این راهرو قرار دارد که پس از ریختگی قسمتی از لایه دیوار مذکور به‌طور اتفاقی بیرون آمده و بلافاصله توسط گروه احیا و مرمت خانه صدقیانی، شناسایی و مورد حفاظت اولیه قرار گرفته است به‌طوری که به‌وسیله یک لایه فوم و کارتن جهت حفاظت هرچه بیشتر پوشانده شده است (تصویر ۱).



تصویر ۱- حفاظت سریع تزئینات ازاره، پس از مراحل اولیه آشکارسازی (مأخذ: نگارنده آبان ۱۳۹۰).

۲. شناخت دیوارنگاره‌های ازاره بنای خانه صدقیانی

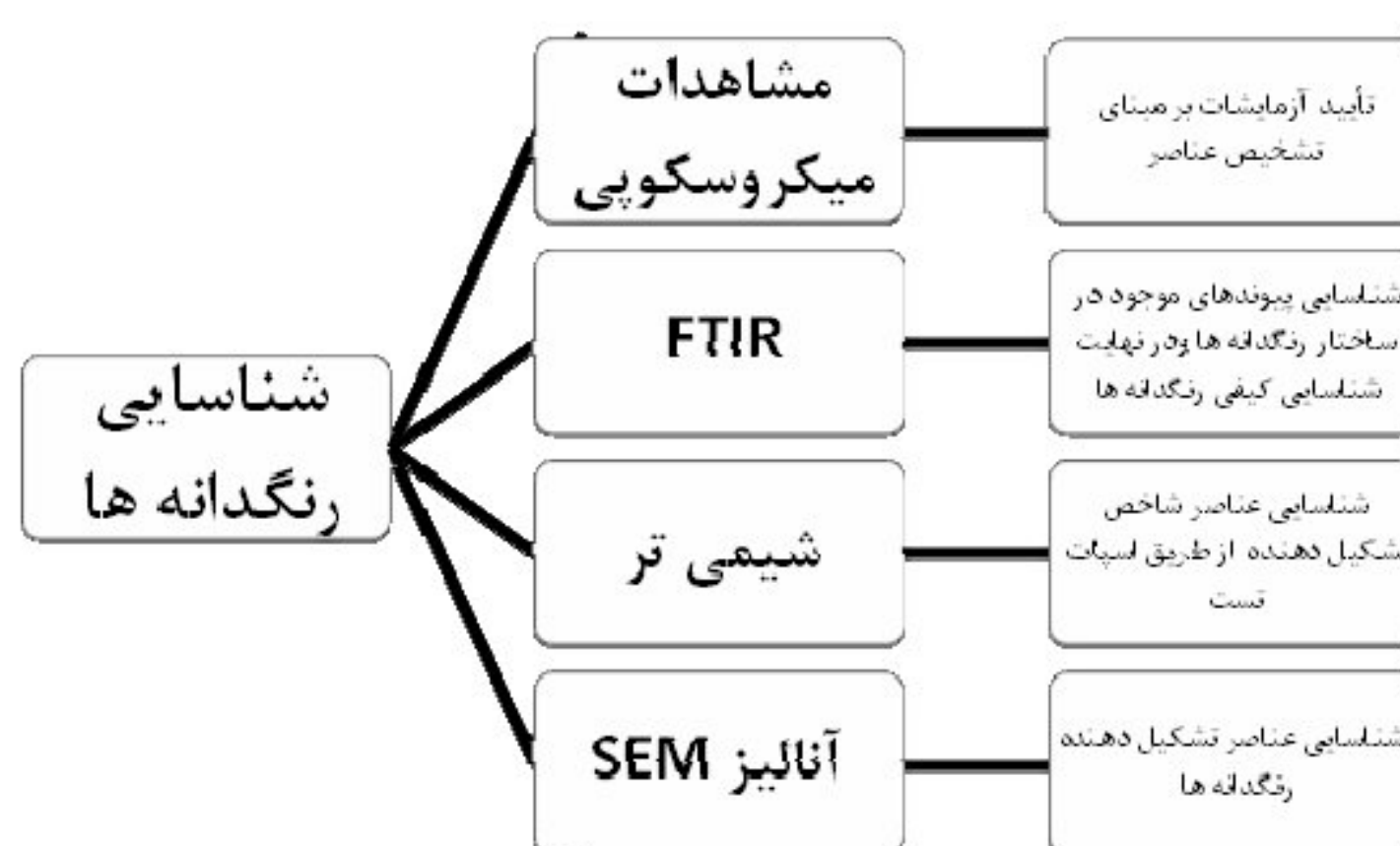
طبق مطالعات به عمل آمده بر محل‌های ریخته شده از ازاره قبل از آشکارسازی کلی، نقاشی‌های ازاره مذکور دارای لایه‌های مشابه دیگر نقاشی‌های دیواری در ایران است. این دیوارنگاره‌ها شامل تکیه‌گاهی از آجر پخته، لایه آستر از کاهگل، لایه بستر زیرین از کشته گچی، لایه بستر رویی از گچ زنده ریزدانه (با توجه به مشاهدات میکروسکوپی) و سپس لایه رنگ که با آن نقش‌مایه‌ها به اجرا درآمده‌اند که برای مشخص شدن نوع رنگ استفاده شده است. در این نقاشی‌ها از روش‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود. آخرین لایه موجود، لایه‌ای الحاقی از گچ است که پس از گذشت مدتی روی همه این نقش‌مایه‌ها کشیده شده است (تصویر ۲).



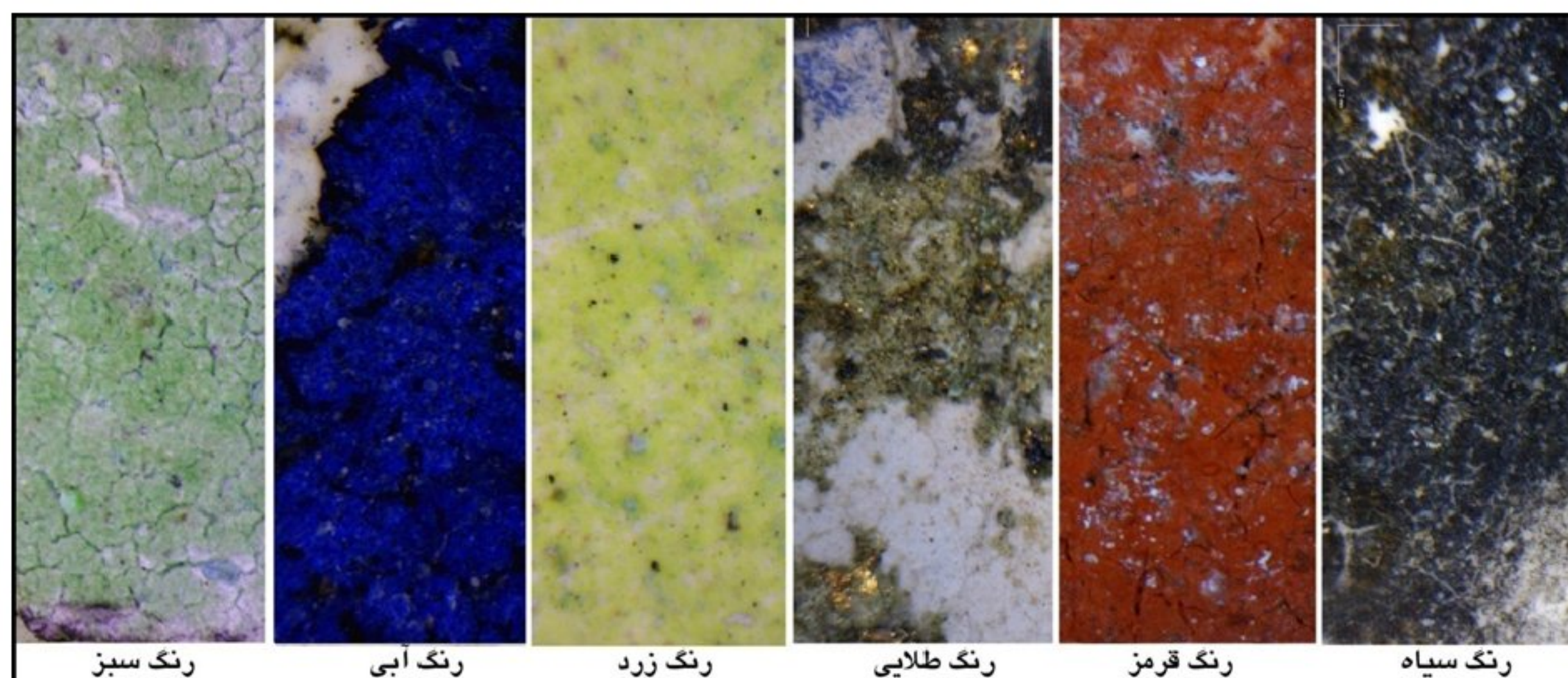
تصویر ۲- لایه‌های موجود در ازاره مورد نظر در خانه صدقیانی.

۳. شناسایی رنگدانه‌های موجود با روش‌های آزمایشگاهی

بررسی‌های میکروسکوپی، مشاهدات سطحی همچنین ریخت‌شناسی و مطالعات ظاهری رنگدانه‌ها با لوپ دیجیتال صورت گرفت و تصاویر آن ثبت گردید (تصویر ۳). به‌منظور شناسایی رنگدانه‌های به‌کار رفته در نقاشی‌های دیواری خانه صدقیانی پس از تعیین نقاط مناسب در قسمت‌هایی از دیوارنگاره و با استفاده از تکه‌های ریخته شده از آن در پایه دیوار، از رنگدانه‌های مختلف به مقدار اندک برای بررسی‌های آزمایشگاهی نمونه‌برداری شد. در نمونه رنگ سیاه موجود پس از مشاهدات اولیه در درون کوره قرار داده شد و دمای کوره را تا ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد بالا برده شد، نمونه موجود، ۲۵ دقیقه در این دما باقی ماند. پس از سرد شدن و بیرون آوردن نمونه از کوره مشاهدات نشان می‌داد نمونه رنگ سیاه از روی گچ محو گشته است. رنگ‌پریدگی نمونه موجود ثابت نمود که رنگینه مورد نظر دارای ریشه آلی می‌باشد. با توجه به نتایج به‌دست آمده و همچنین تجربیات موجود در استفاده از این رنگدانه در نقاشی‌های دیواری، رنگینه موجود احتمالاً دوده می‌باشد که از سوزاندن مواد آلی به‌دست آمده است (نمودار ۱)



نمودار ۱- روند تکوین و انجام آزمایشات.



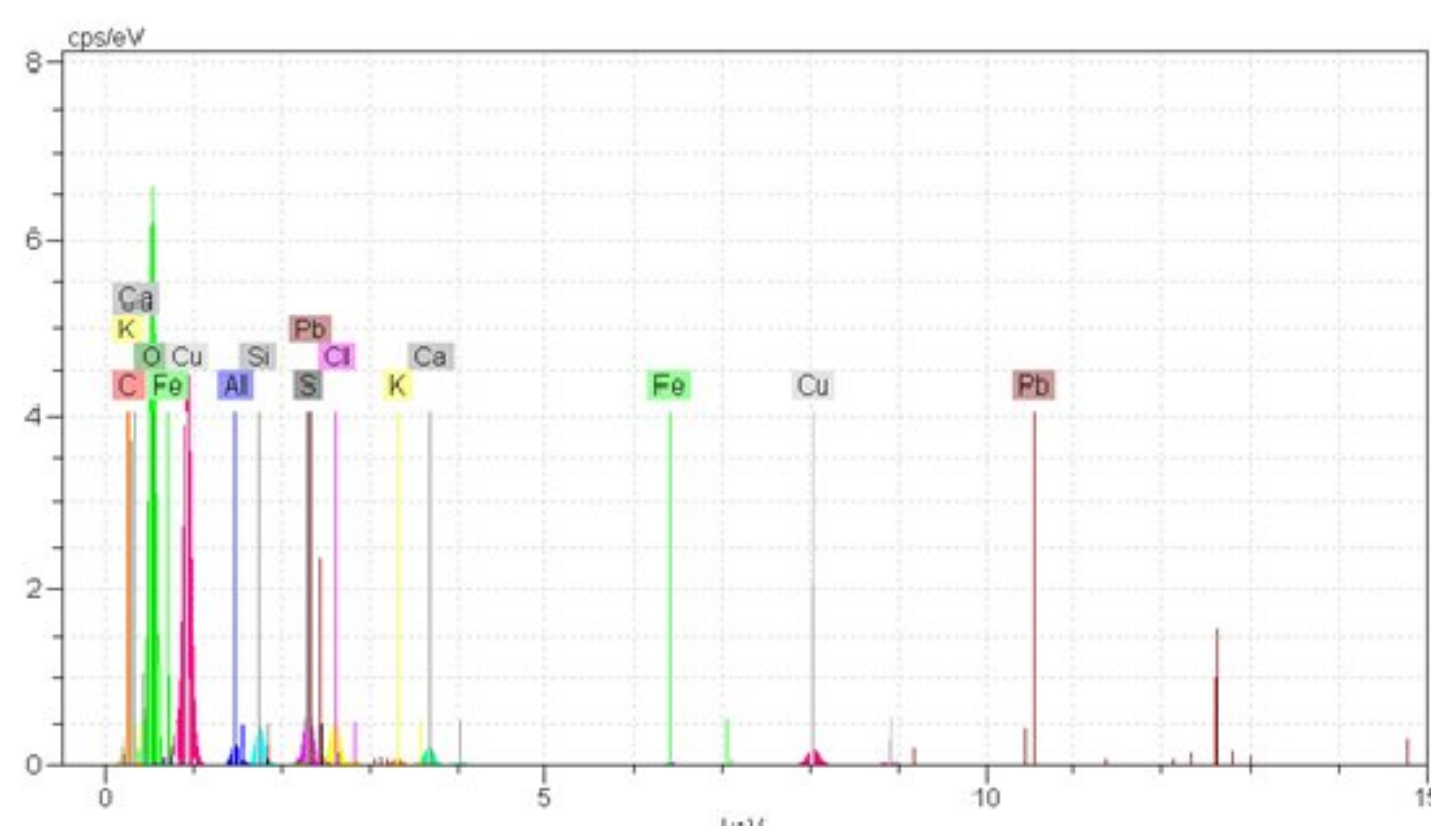
تصویر ۳- تصاویر میکروسکوپی از رنگدانه‌های ازاره خانه صدقیانی با استفاده از لوپ دیجیتال بزرگ‌نمایی ۵۰-۲۰۰ برابر.

یکی از شیوه‌های آزمایش نمونه رنگ‌های دیوارنگاره‌های خانه صدقیانی، روش تجزیه شیمیایی به روش تست نقطه‌ای است. که در انجام آن پس از جدا کردن رنگدانه‌ها از لایه‌ای گچی که روی آن قرار گرفته بود، پودر به‌دست آمده درون لوله‌های آزمایش قرار داده شد و از سه محلول اسید نیتریک غلیظ، سودسوزآور ۴ نرمال، هیدروکلریک اسید ۳ نرمال

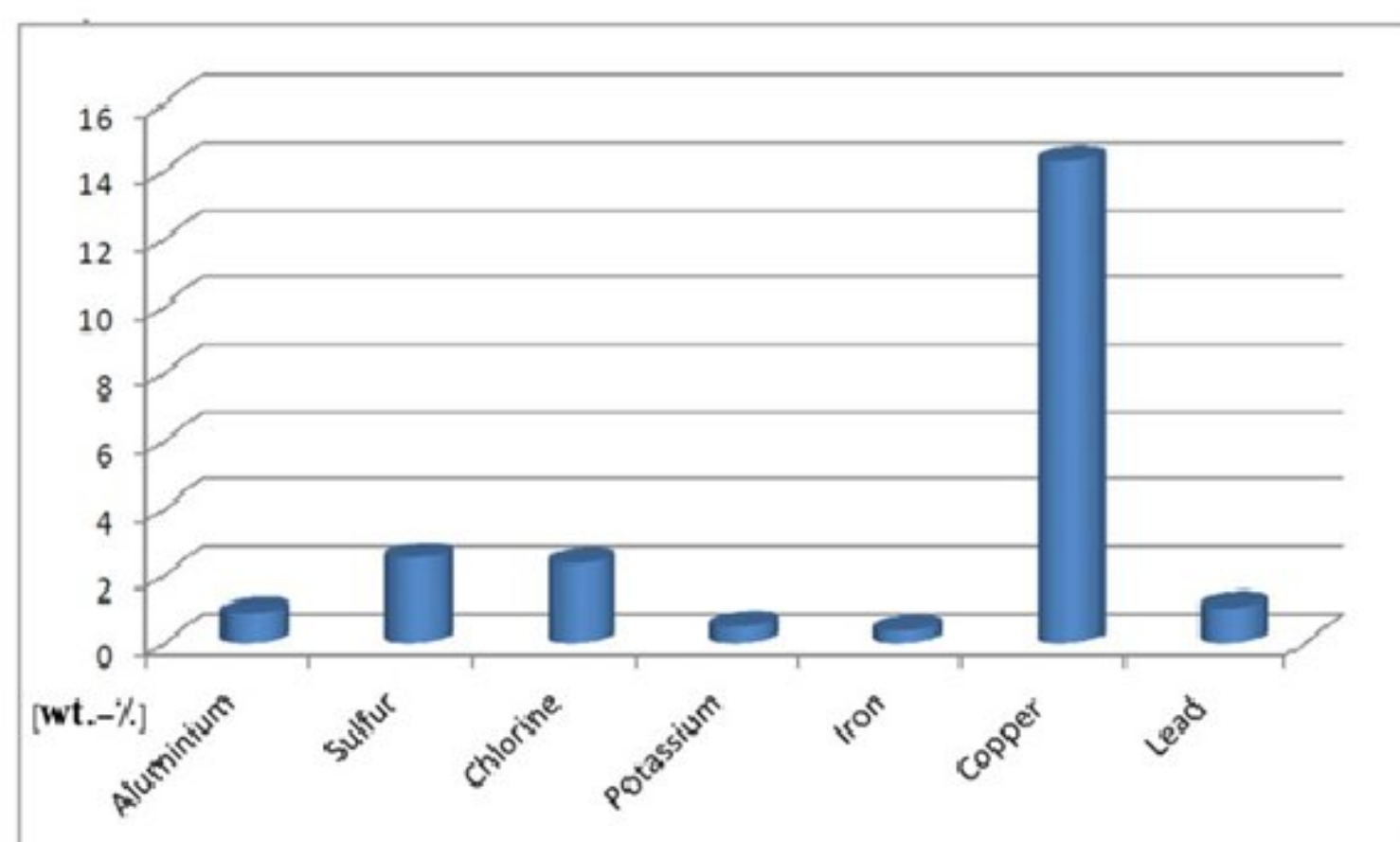
برای انحلال آن طبق دستور عمل استفاده گردید و واکنش‌های صورت گرفته با جدول شناسایی رنگ‌دانه‌ها مقایسه شد (ریسمانچیان ۱۳۸۲). نتایج این آزمایشات، وجود اکسید آهن یا اکسید آهن هیدراته را در رنگ قرمز و احتمال ایندیگو بودن رنگ آبی را تا حدودی مشخص می‌نمود. شناسایی بست در رنگ‌های به کار برده شده در دیوارنگاره‌های موجود نیز با روش آزمایش پرمنگنات پتاسیم^۲ صورت پذیرفت (کریمی و وطن‌خواه ۱۳۸۸، ۹۴). نتیجه آزمون نشان می‌داد در رنگ‌های موجود از بست‌های روغنی استفاده شده است (تصویر ۴).



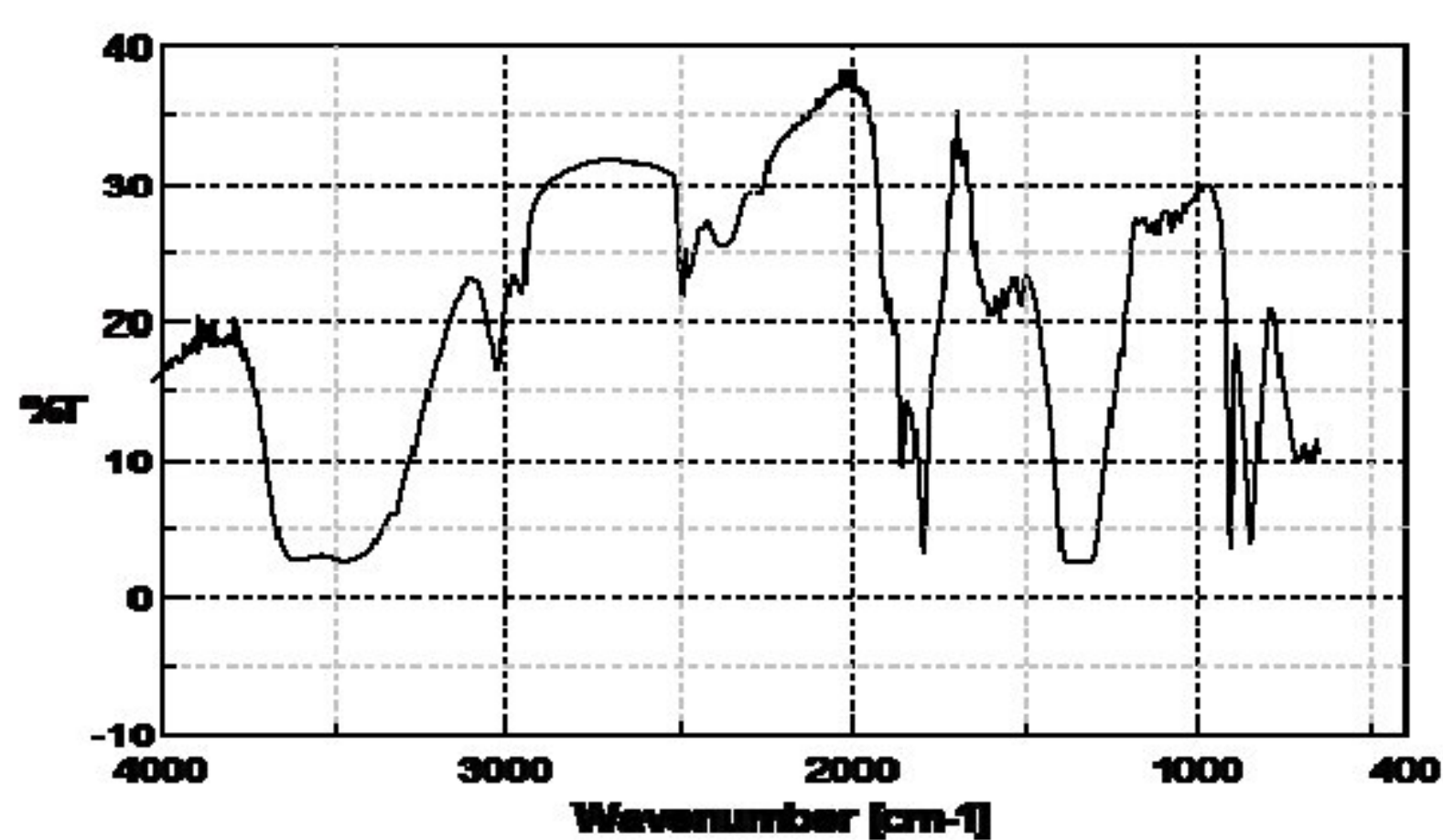
تصویر ۴- آزمون بست با پرمنگنات پتاسیم که محلول بنفش پس از یک دقیقه به رنگ قهوه‌ای درآمده و رسوب قهوه‌ای نیز به جا ماند. آنالیز رنگدانه‌های نقاشی موجود با روش‌های دستگاهی ادامه یافت، این آزمایش‌ها با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM-EDX^۳، صورت پذیرفت. همچنین طیف‌سنجی نمونه‌های موجود از نقاشی‌ها نیز توسط دستگاه تبدیل فوریه FTIR^۴ انجام شد، در بررسی نتایج طیف‌های FTIR به غیر از نمونه رنگ آبی و رنگ سبز که تا حدودی قابل مقایسه با نمونه‌های شاهد می‌باشند، بقیه رنگ‌ها به علت نبود طیف شاهد جهت مقایسه طیف‌ها برای ما قابل تشخیص نبود. در تحلیل داده‌های دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نیز عناصر موجود در هر رنگ مشخص گردید که با توجه به وجود مقدار بالای مس در نتیجه آنالیز رنگ سبز ثابت شد که رنگدانه مذکور یکی از دو رنگدانه مالاکیت (سبز کوهی) و یا سبز زنگار است. اما مشاهدات بصری و این رنگدانه و تمایل کم این رنگ به سمت آبی، مالاکیت بودن این رنگدانه را ثابت می‌کرد (تصاویر ۵ تا ۱۰).



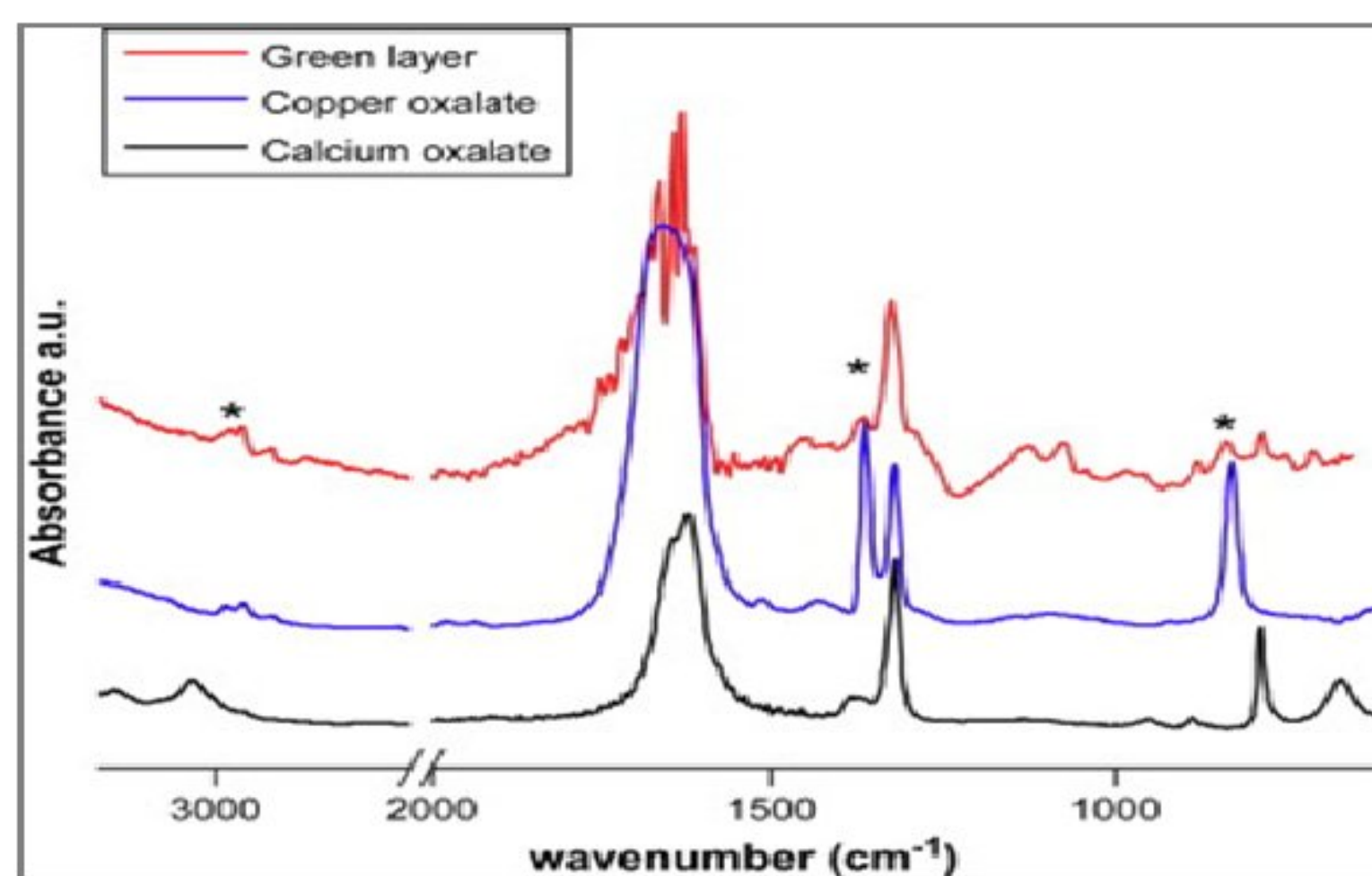
تصویر ۵- آنالیز SEM رنگ سبز.



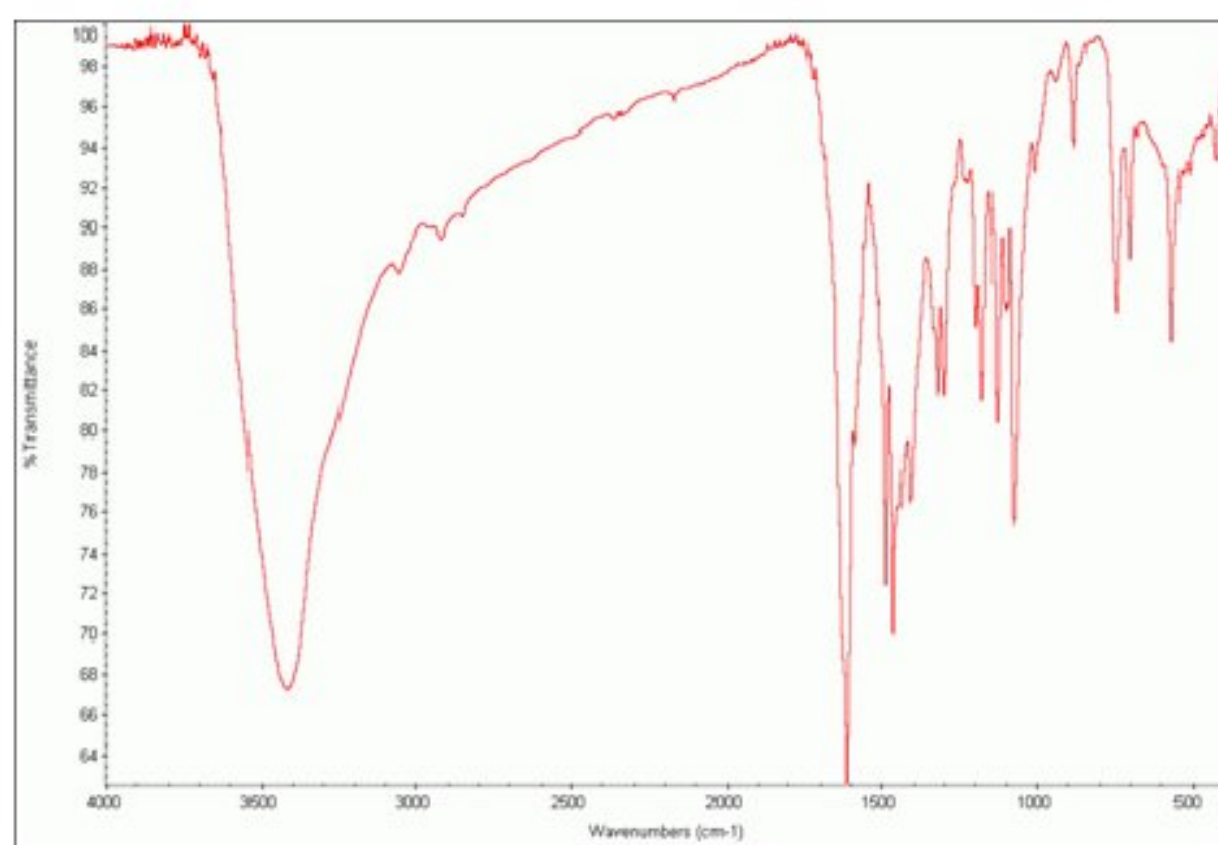
تصویر ۶- نمودار کمی مواد تشکیل دهنده رنگ سبز.



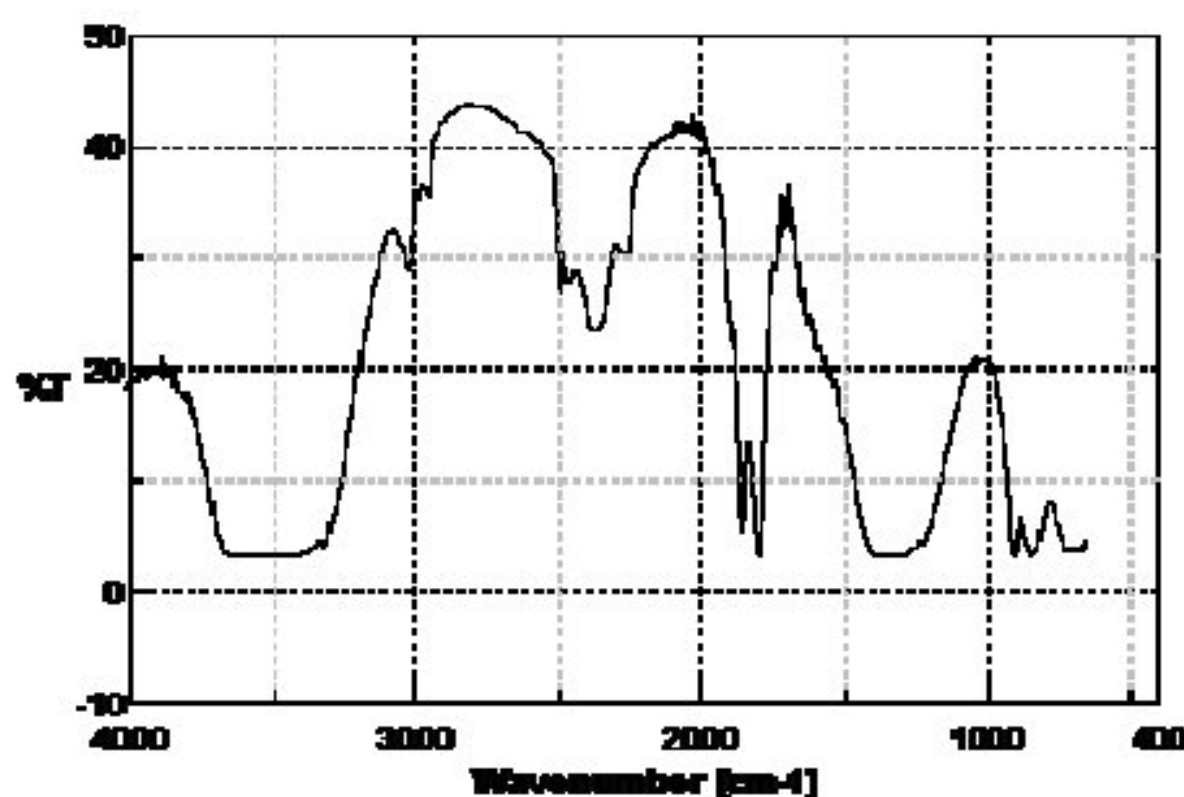
تصویر ۷- طیف $FTIR$ رنگ سبز.



تصویر ۸- طیف سبز مس شاهد سبز (مأخذ: www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207408000216).



تصویر ۱۰- طیف FTIR آلودگی شاهد



تصویر ۹- طیف FTIR رنگ آبی.

۴. عوامل اصلی آسیب‌رسان در ازاره‌خانه صدقیانی

ازاره که قسمت‌های پایین دیوار را شامل می‌شود، در معرض تماس بیشتری با عوامل محیطی قرار دارد. از نظر سازه‌ای نیز این قسمت از دیوار مورد هجوم آسیب‌های متعددی واقع می‌شود که ازاره را دچار فرسایش می‌کند. برخی از عوامل آسیب‌رسان در ازاره حاوی دیوارنگاره در خانه صدقیانی عبارت‌اند از:

رطوبت: که با توجه به تخریب بخشی از سقف بنا توسط نزولات جوی به وجود آمده بود. عدم رسیدگی و مراقبت و حفاظت پس از متروکه شدن محل.

فاکتورهای ساختاری و عوامل ناشی از مواد و مصالح استفاده شده در ایجاد ازاره.

تغییرات دما و تأثیرات باد و جریانات هوا با توجه به عدم پوشش مناسب محل.

عوامل بیولوژیک آسیب‌رسان که در اثر رشد میکروارگانیسم‌ها باعث سستی لایه‌های تزئینات شده است.

عوامل انسانی که در زمان ایجاد لایه گچ الحاقی و همچنین در زمان نصب لایه کارتون و فوم، با کوبیدن میخ‌هایی در نقاط مختلف ازاره صورت گرفته بود.

عوامل ذکر شده باعث تخریب لایه‌های مختلف دیوارنگاره در نقاطی از ازاره مذکور شده بود. این آسیب‌ها عبارت‌اند از:

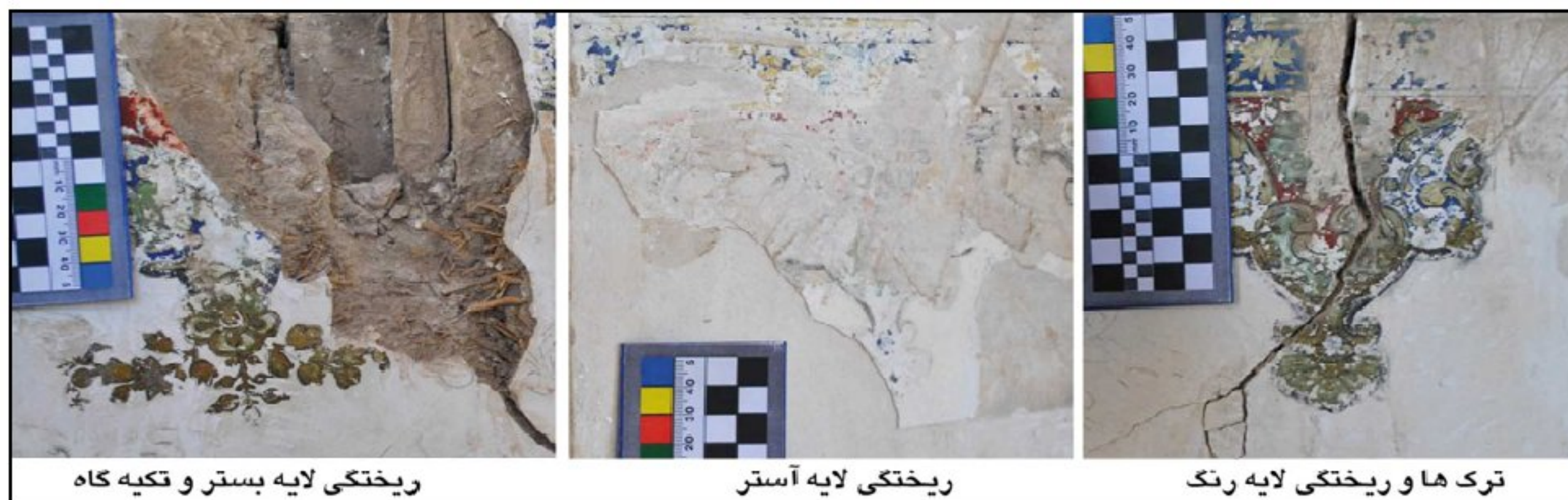
تغییر، ساییدگی و ریختگی و کمبود لایه رنگ.

ریختگی و فقدان لایه رنگ به همراه لایه آستر نقاشی.

ریختگی و فقدان لایه رنگ و آستر به همراه لایه بستر نقاشی.

ریختگی و فقدان لایه رنگ، آستر، بستر نقاشی به همراه بخشی از تکیه‌گاه.

ترک‌ها و ریزترک‌های مویی و طبله لایه رنگ (تصویر ۱۱).



ریختگی لایه بستر و تکیه‌گاه

ریختگی لایه آستر

ترک‌ها و ریختگی لایه رنگ

تصویر ۱۱- قسمتی از آسیب‌های موجود در دیوارنگاره.

دوفصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی
دوره جدید، سال نخست، شماره ۱۰، بهار و تابستان ۱۳۹۲

۵. اقدامات عملی و گزارش کار مرمت

هدف از آشکارسازی تزئینات پنهان، حفظ ارزش‌های زیبایی‌شناسی و تاریخی همچنین حذف عوامل آسیب‌رسان و بازیابی مشخصه‌های بارز فرهنگی آن است. قشر آلودگی و لایه گچ الحاقی با پوشاندن تزئینات زیرین مشکلات فراوانی را به وجود می‌آورد. به همین دلیل عملیات آشکارسازی و مرمت آن پس از اطمینان از تکمیل مراحل مرمت بنای راهرو حاوی تزئینات با مستندنگاری کامل آغاز شد. مشاهدات نشان‌دهنده فرسودگی و ریختگی لایه بستر و حتی سستی تکیه‌گاه ازاره و به‌طور میانگین ۳۰ سانتی‌متر از پایین‌ترین قسمت بود. همچنین قشری از رسوبات محیطی و گرد و خاک بر لایه گچ الحاقی رویی چسبیده بود. قشر گچی اول یا همان لایه پوشاننده تزئینات در هر قسمت از ازاره، ویژگی‌های متفاوتی را نشان می‌داد. پس از گمانه‌هایی که در قسمت‌های مختلف این لایه برای مکان‌یابی دقیق تزئینات زیرین زده شد، مشخص گردید که تزئینات نقاشی حدوداً ۲۵ سانتی‌متر از بالای ازاره را در سرتاسر دو طرف راهرو در بر می‌گیرد. بدین منظور جهت برداشت هرچه صحیح‌تر لایه رویی، راه‌حل‌های مختلف بررسی شد. برای یافتن روش مناسب جداسازی لایه گچ الحاقی با کمترین میزان دخالت و آسیب به تزئینات، آزمایشاتی صورت گرفت به‌طوری‌که تست حلال در قسمت کوچکی از بخش پایینی ازاره توسط حلال‌های مختلف انجام شد. نتیجه این برداشت‌های آزمایشی نشان داد با توجه به سستی بست در لایه رنگ زیرین، استفاده از آب مقطر و رساندن رطوبت به لایه رویی می‌تواند باعث سهولت کار با کمترین آسیب گردد. این عمل با ایجاد خطوطی عمود بر هم، روی سطح لایه گچی توسط پشت تیغ بیستوری و ضمدگذاری توسط پنبه خیس شده با آب مقطر صورت گرفت. این خطوط که با فشار اندکی بدون تأثیر بر تزئینات زیرین ایجاد شد، در قسمت‌هایی که ضخامت لایه الحاقی نسبتاً زیادتر بود اجرا گردید. دلیل این عمل، رساندن بهتر رطوبت به لایه الحاقی و همچنین برداشت کنترل شده این لایه از سطح تزئینات بود. پنبه خیس به مدت یک دقیقه روی لایه گچ رویی قرار داده شد و پس از نفوذ رطوبت که باعث سستی و جدایش از لایه گچ و رنگ زیرین شد، پنبه را برداشته و با تیغ بیستوری به آرامی لایه گچ رویی سست شده از لایه زیرین جدا گردید (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۲- برداشت لایه‌ی رویی با استفاده از آب مقطر به روش ضمدگذاری با پنبه بر اساس مراحل ذکر شده.

استفاده از رطوبت برای قسمت‌هایی از کار بسیار مناسب بود و برداشت را به‌طور صحیح انجام می‌داد اما در بعضی از قسمت‌ها به‌دلیل بست سست رنگدانه‌های به‌کار رفته برای اجرای نقوش، هرگونه رطوبت و مایعی باعث چسبیدن بیشتر لایه رنگ به سطح زیرین گچ رویی می‌گردید و ریختگی لایه رنگ تشدید می‌شد. به‌دلیل واکنش متفاوت قسمت‌های مختلف لایه گچ رویی در هنگام برداشت که ناشی از ضخامت متفاوت آن در نقاط مختلف بود، برخی نقاط به‌صورت خشک (مکانیکی) و در برخی نقاط به‌صورت خیس (با استفاده از آب مقطر) برداشت صورت پذیرفت. عملیات حذف لایه کشیده شده روی تزئینات ازاره آغاز شد که تمامی این عملیات به‌صورت دقیق و جزئی مستندنگاری گردید (تصویر ۱۳).



تصویر ۱۳- برداشت مکانیکی لایه گچ رویی ازاره توسط ابزار مکانیکی و به صورت خشک.

حین انجام عملیات برداشت در بخش‌هایی از پایین ازاره در هنگام برداشت لایه رویی، رنگ سیاهی بر لایه‌های جدا شده از ازاره دیده می‌شد. در این زمان، برداشت قسمت‌های پایین به‌صورت خشک ادامه پیدا کرد تا اگر نقشی بر روی ازاره وجود داشته باشد، در صورت تماس با رطوبت از بین نرود. ادامه کار به آرامی و با استفاده از انواع مختلف تیغ بیستوری انجام شد. پس از تشدید رنگدانه‌های سیاه‌رنگ چسبیده به گچ رویی در بخش‌هایی نقوش تذهیب کمرنگی مشاهده گردید که از زیر لایه گچ رویی بیرون آمد. مشاهدات نشان داد در برخی از بخش‌های پایینی ازاره، مانند ۲۵ سانتی‌متر بالایی اقدام به کشیدن نقوشی شده است اما ظاهراً در طرح اولیه که در برخی نقاط به‌صورت گرته‌کردن و در قسمت‌هایی با مداد اجرا شده، کار متوقف گردیده است. این لایه مخصوصاً در قسمت‌های گرته شده بسیار ضعیف به‌نظر می‌رسد و حتی به مرحله قلم‌گیری و واضح کردن طرح نیز نرسیده است. لایه مذکور در قسمت‌هایی که نزدیک به بالای ازاره و تزئینات اصلی است، با مداد اجرا شده بود (تصویر ۱۴).



تصویر ۱۴- طرح‌های اجرا شده با مداد بدون رنگ.

هنگام اجرا شدن لایه گچ رویی در بیشتر قسمت‌هایی که گرته کردن نقش صورت پذیرفته است، این رنگدانه‌های مشکی با رطوبت گچ کشیده شده روی آن ترکیب گشته و از بین رفته بود و تنها رگه‌هایی از رنگ سیاه بر لایه گچ رویی باقی مانده بود. ضعف تکنیکی، طرز کشیدن ماله و فشار آن روی لایه زیرین و همچنین رطوبت‌های مختلف بعدی که در قسمت آسیب‌ها، پیشتر به آن پرداخته شد نیز در از میان رفتن این نقوش سهمی بسزا داشته‌اند. نقوش مذکور بسیار کم‌رنگ، سست، بدون رنگ‌گذاری و بدون تقارن خاصی به‌طور پراکنده در برخی نقاط اجرا شده بود. نقاطی که نقوش از زیر لایه گچ بیرون آمده بود به‌طور کامل حفظ شد و قسمت‌هایی که نقوشی زیر لایه گچ نبود و فاقد ارزش می‌نمود، به‌دلیل تخریب لایه بستر و ترک‌هایی که تا بالا ادامه یافته بود، همچنین به‌واسطه فرسودگی بیش از حد و پوک‌شدگی، تصمیم به برش این لایه در کمی بالاتر از فرسودگی در قسمت‌های زیرین ازاره گرفته شد. این عمل از ادامه ترک‌ها و ریختگی‌ها به طرف بالا و سرایت آن و تهدید قسمت دارای تزئینات اصلی جلوگیری می‌کرد (تصویر ۱۵).



تصویر ۱۵- برش قسمت‌های سست و بدون تزئینات در ازاره.

۱-۵. استحکام بخشی اولیه

پس از برداشت لایه گچ رویی نقاشی‌ها به‌دلیل سستی در لایه‌های مختلف دیوار، اقدام به استحکام بخشی ازاره گردید. این عمل با استفاده از پریمال AC ۳۳ رقیق شده در آب مقطر به نسبت ۱۰٪ تا ۱۵٪ انجام شد و از طریق تزریق در حفره‌ها، ترک‌ها و همچنین شکاف‌هایی که در قسمت‌های مختلف ازاره به‌وجود آمده بود، صورت پذیرفت. این عمل باعث چسبیدگی لایه‌ها به لایه زیرین شده و از آسیب بیشتر دیوارنگاره جلوگیری می‌کرد (تصویر ۱۶).



تصویر ۱۶- استحکام بخشی لایه‌ها با تزریق پریمال در زیر لایه‌ها و ترک‌ها.

۲-۵. پاکسازی و تمیزکاری سطح لایه آشکارسازی شده

نقاشی‌ها و نقوش بدون رنگ آشکار شده از زیر لایه گچ الحاقی دارای آلودگی‌ها و رسوبات سطحی فراوانی بودند، پس در این مرحله برای تمیزکاری سطح آن‌ها اقدام گردید. قبل از شروع کار، قسمت‌های بالای ازاره که بخشی از آن به طاقچه‌هایی منتهی می‌شد، از وجود گرد خاک‌های انباشته پاک شد و همچنین کف زمینی که ازاره در آن قسمت قرار داشت، از وجود زباله‌ها و خاک‌ها پاکسازی گردید. سپس از تیغ بیستوری برای برداشت خرده گچ‌های باقی مانده از برداشت استفاده شد، پس از آن با اپلیکاتور قسمت‌های لابه‌لای نقوش تمیزکاری شد، همچنین با پیچیدن پنبه‌ای بر سر اپلیکاتور، پاکسازی سطح رنگ‌ها با نرمی صورت گرفت. پس از یک مرحله پاکسازی خشک و گردگیری روی سطح از محلول تثبیت (که در ادامه به چگونگی انتخاب آن پرداخته خواهد شد) برای تثبیت اولیه لایه سست رنگ استفاده و بر نقوش اسپری گردید. در مرحله بعد با روش خیس و با استفاده از محلول الکل اتانول و استون به نسبت یک به یک، به تمیزکاری با وسایل فوق پرداخته شد. پس از بررسی نتیجه پاکسازی قسمتی از پایین ازاره مشخص گردید، ترکیب نمودن این دو حلال می‌تواند به لحاظ قابلیت کنترل سمیت، کنترل میزان تبخیر، نفوذپذیری، نحوه و میزان تأثیر و غیره مزایای خوبی در عملیات تمیزکاری داشته باشد که با شکستن پیوندهای اولیه جامدها، باعث پاک شدن و برطرف شدن آن‌ها می‌گردد. این محلول نه تنها هیچ آسیبی به رنگ دانه‌های روی ازاره نرساند بلکه توانست به خوبی گل و لای حاصل از رطوبت نزولی و خاک و آلودگی‌های روی سطح را از بین ببرد. پاکسازی سطوح سه مرتبه تکرار شد تا با دقت تمامی آلودگی‌ها زدوده شود. در بخش‌هایی که نقوش فاقد رنگ به صورت گرته بود، با احتیاط لابه‌لای نقوش تمیز شد و از کشیدن پنبه خیس بر آن‌ها جلوگیری به عمل آمد تا آسیبی به نقوش مذکور نرسد (تصویر ۱۷).



تصویر ۱۷- پاکسازی آلودگی‌ها از روی سطح نقوش.

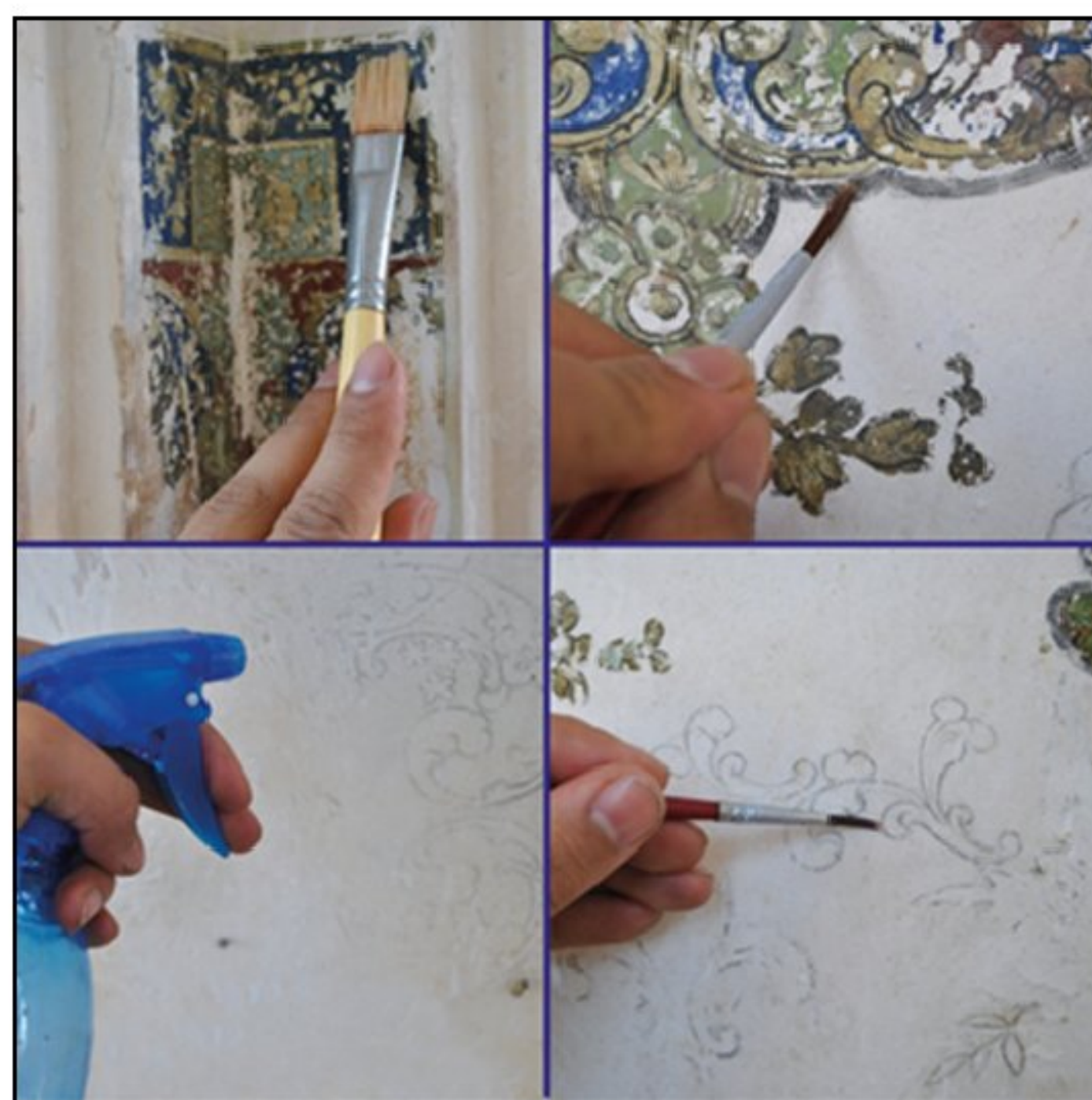
۳-۵. تثبیت لایه‌ها در ازاره آشکارسازی شده

با توجه به عدم ثبات در لایه‌های رنگی موجود بر ازاره مخصوصاً قسمت گرته‌های فاقد بست پس از پاکسازی سطحی ازاره نیاز به تثبیت کامل رنگدانه‌ها روی لایه گچ آشکار شده بود. عدم تغییر در ماهیت اصلی لایه‌های رنگ و لایه‌های زیرین در هنگام تثبیت، مهم‌ترین مسئله‌ای است که در انتخاب روش تثبیت نقوش باید مد نظر داشت. بنابراین در این مرحله در قسمت کوچکی از نقوش رنگی، توسط دو محلول پارالوئید B72 ۵٪ رقیق شده با استون و پریمال AC۳۳ ۵٪ تا ۱۰٪ رقیق شده با آب مقطر تست استحکام بخشی انجام شد. نتایج به دست آمده از این تست به ما نشان داد که رنگدانه‌ها در اثر ثبوت با پارالوئید کدر و دچار تغییر شده و رنگ‌های آن در هم کمی محو می‌شود. اما در برخورد با پریمال ۵٪ تا ۱۰٪ رنگدانه‌ها شکل ظاهری خود را حفظ نموده و تغییر و تخریبی را به همراه نداشتند (تصویر ۱۸).



تصویر ۱۸- مقایسه واکنش لایه رنگ به دو محلول پارالوئید و پریمال.

پس از آزمایش فوق، پریمال ۵٪ تا ۱۰٪ برای تثبیت سطح انتخاب شد و دلیل انتخاب این غلظت، سستی لایه‌های تشکیل‌دهنده دیوارنگاره‌ها بود که کمتر از آن تثبیت لایه‌ها را امکان‌پذیر نمی‌کرد. این عمل با قلم‌موی گرد، ریز، نرم روی خطوط گره‌شده و گوشه‌های ریزکاری شده و قلم‌موی نرم، تخت، بزرگ برای سطوح بزرگتر صورت پذیرفت. در بخش‌هایی که گره‌ها بسیار سست و کشیدن قلم‌مو باعث از بین رفتن نقش‌مایه‌ها می‌شد، از تکنیک اسپری کردن برای تثبیت استفاده شد. پریمال با ایجاد لایه‌ای نازک و فیلمی یک‌دست بر رنگدانه‌ها مانع ریختن آن‌ها از روی سطح گچی گردید (تصویر ۱۹).



تصویر ۱۹- تثبیت رنگ‌ها و نقش‌مایه‌های موجود روی ازاره با پریمال ۵٪ تا ۱۰٪.

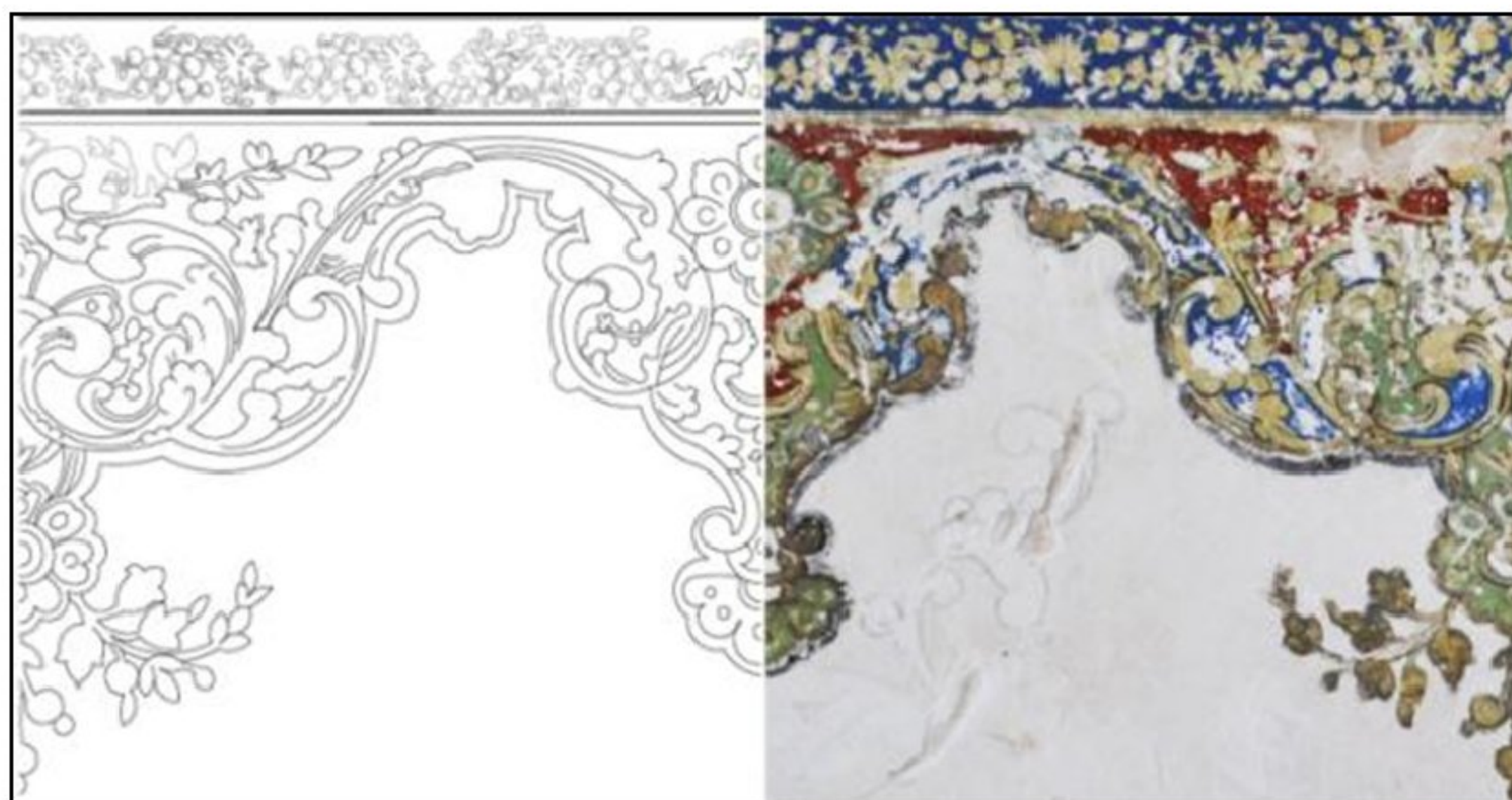
پس از تثبیت نقوش، تزریق پرمال ۱۰٪ تا ۱۵٪ در چندین مرتبه در حفره‌های موجود تکرار شد تا به استحکام بیشتر لایه‌ها کمک کند. برای جلوگیری از تخریب احتمالی لایه حاوی دیوارنگاره اصلی و انتقال بار تزئینات و همچنین اتصال بهتر آن به تکیه‌گاه و بدنه بنا، لایه بستر در قسمت‌های فوقانی ازاره از زیر با ایجاد لبه‌ای گچی تثبیت گردید تا اتصال آن به تکیه‌گاه مانع از فروریزی احتمالی آن شود (تصویر ۲۰).



تصویر ۲۰- ایجاد لبه ماهیچه‌ای در پایین کار برای انتقال بار تزئینات و اتصال بهتر آن به تکیه‌گاه و بدنه بنا.

۴-۵. موزون‌سازی رنگی

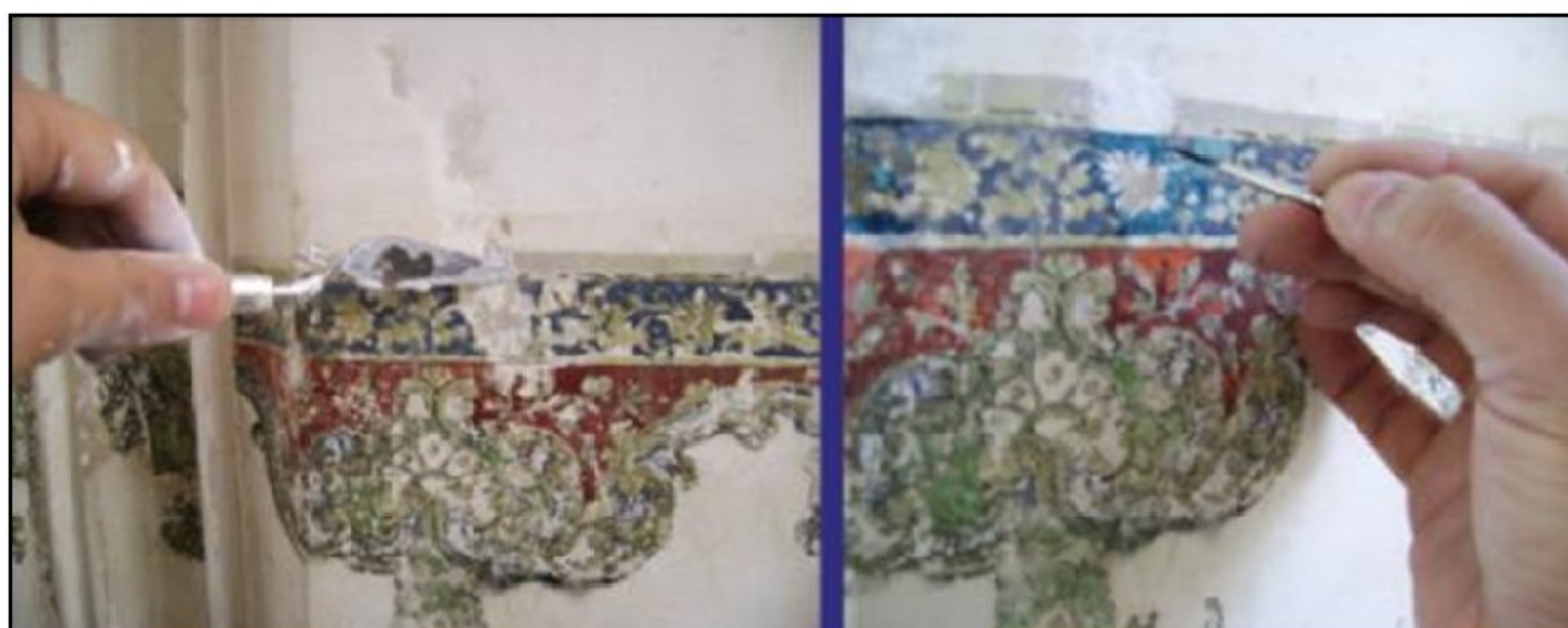
قسمتی از نقاشی‌های آشکار شده ازاره نیز به جهت شناساندن صورت اصلی نقش‌مایه‌ها و درک بهتر اثر موزون‌سازی رنگی گردید. با توجه به این که نقوش دارای رنگ ازاره در قالبی حدوداً ۴۰ سانتی‌متر در طول و ۲۰ سانتی‌متر در عرض روی بخش فوقانی ازاره تکرار شده بود، پس از برداشت طرح نقش‌مایه‌ها به وسیله نرم‌افزار از روی قسمت‌های کامل‌تر، سطح دیوار برای موزون‌سازی آماده گردید (تصویر ۲۱).



تصویر ۲۱- قسمتی از نقوش موجود که در قسمت فوقانی ازاره تکرار شده است و موزون‌سازی براساس آن صورت پذیرفت. نقوش فاقد رنگ بیرون آمده از نقاط مختلف ازاره نیز پس از عکس‌برداری دقیق، نقش‌مایه‌های آن توسط نرم‌افزار بازنگاری شدند تا برای بازسازی‌های آینده مورد استفاده قرار گیرند (تصویر ۲۲ و ۲۳).



تصویر ۲۲ و ۲۳- نقوش رنگ آمیزی نشده که به صورت طرح اولیه اجرا شده بود به همراه مستندنگاری و بازنگاری آن‌ها توسط نرم افزار. قبل از موزون سازی رنگی، قسمت‌هایی که دچار ریختگی لایه آستر و بستر بود با خمیری از گچ و پریمال AC^{۳۳} بازسازی شد؛ بدین صورت که در محل‌هایی که ریختگی تا لایه آستر ادامه داشت از گچ زبره و در لایه‌های بستر از گچ ریزدانه برای این امر استفاده شد. بتونه ساخته شده از گچ و پریمال با کاردک‌های کوچک بر ریختگی‌ها به اندازه چند میلی‌متر پایین‌تر از سطح کار قرار گرفت تا قسمت‌های مرمت شده از قسمت‌های اصلی قابل تشخیص باشد. سپس رنگ‌گذاری این قسمت‌ها از روی طرح کامل شده آن شروع شد. برای این منظور از قلم‌مو در اندازه‌های مختلف و آبرنگ برای هماهنگ‌سازی رنگی استفاده شد و رنگ‌ها به صورت چند پرده کمرنگ‌تر روی ازاره مطابق طرح گذاشته شد. تثبیت نهایی نقوش نیز با پریمال ۵٪ رقیق شده با آب مقطر بر نقوش با فاصله اسپری گردید (ت. ۲۴ و ۲۵).



تصویر ۲۴- پر کردن قسمت‌های کمبود و رنگ‌گذاری قسمت‌های فاقد رنگ.



تصویر ۲۵- قبل و بعد از موزون سازی نقاشی های آشکاره شده ازاره شمالی خانه صدقیانی.

نتیجه گیری

مراحل حفاظت از تزئینات پنهان در ازاره خانه صدقیانی، پس از حذف لایه رویی که فاقد هرگونه اعتباری از حیث زیبایی شناختی بود صورت گرفت و ارزش های فرهنگی تاریخی ازاره مذکور به آن بازگردانده شد. بخش مورد نظر از معدود قسمت های حاوی تزئینات نقاشی در خانه صدقیانی می باشد که آشکار سازی آن، قسمتی از زیبایی های این تزئینات را جلوه گر ساخت و با مورد توجه قرار دادن این بخش از بنا می توان، از نابودی اثر جلوگیری نمود. برای ارزیابی تکنیک اجرای نقش مایه ها، لایه های موجود در این تزئینات شناسایی شد و تکمیل آزمایشات بر رنگدانه ها با مقایسه نتایج صورت گرفت اما اثبات دقیق ماهیت بیشتر رنگدانه ها امکان پذیر نبود. وجود عوامل مخل مختلف، آسیب های فراوانی به کالبد و تزئینات وارد آورده بود که در هنگام اجرای عملیات مرمت این عوامل با استحکام بخشی و تثبیت کامل، کنترل شد. انتخاب روش خشک و خیس در کنار هم باعث شد برداشت لایه الحاقی تزئینات با کمترین آسیب صورت گیرد. نقوش فاقد رنگ بیرون آمده از زیر لایه الحاقی از موارد معدود پیش آمده در دیوارنگاره ها بود که حاکی از رها کردن این تزئینات در مراحل اجرای آن می باشد. بدیهی است تزئینات پس از آشکار شدن، نیازمند حفظ و نگهداری و مطالعه بیشتری هستند و ایجاد شرایط مناسب برای محافظت آن ها در آینده حائز اهمیت است.

دوره جدید، سال نخست، شماره ۱۰، بهار و تابستان ۱۳۹۲
مجله فصلنامه تخصصی دانش مرمت و میراث فرهنگی

۷. پی نوشت

۱. این دیوار نگاره در قسمت ازاره راهروی (اتاق گوشوار) طبقه فوقانی بنای حوضخانه (کوشک) در قسمت جنوب غربی قرار دارد.
۲. تست با پرمگنات پتاسیم: ۲۵ تا ۵۰ میلی گرم نمونه با محلول یک درصد پرمگنات در آب مقطر به رنگ قهوه‌ای درمی‌آید و رسوب قهوه‌ای نیز تولید می‌شود. و خود محلول نیز پس از چند دقیقه ماندن در معرض هوا قهوه‌ای می‌شود. در محلول مورد آزمایش نیز تغییر رنگ در طول یک دقیقه پس از اضافه نمودن معرف اتفاق افتاد و وجود روغن خشکانه در بست رنگدانه‌ها را ثابت کرد.
۳. میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM به مشخصات TE SCAN vege2 ۲۰۰۵- ساخت کشور جمهوری چک، که در مرکز پژوهش متالوژی رازی کرج قرار داشت.
۴. دستگاه تبدیل فوریه FTIR با مشخصات FT/IR-680plus، ساخت کشور ژاپن، موجود در دانشگاه هنر اسلامی تبریز.
۵. رنگ قرمز در HCL(3N) و NaOH(4N) و HNO₃ غلیظ قابل حل نیست و یا کمی قابل حل است. تست برای Fe با پتاسیم تیوسیانات ایجاد محلول به رنگ قرمز خونی می‌نماید که وجود اکسید آهن یا اکسید آهن هیدراته را ثابت می‌نماید.
۶. رنگ آبی در HCL(3N) و NaOH(4N) و HNO₃ به آرامی و به مقدار کم قهوه‌ای گشته و بخشی از آن پس از مدتی غوطه‌وری حل گردید. این رنگ احتمالاً ایندیگو می‌باشد.

۸. منابع

- پدرام، بهنام (۱۳۷۶)، آشکارسازی تزیینات پنهان خانه قدسیه اصفهان، مجله اثر، ش. ۲۸، ۱۷۶-۱۹۲.
- پرونده ثبتی خانه صدقیانی، ۱۳۸۱، موجود در تارنمای ایرانشهر: ذیل مدخل خانه صدقیانی در دسترس به آدرس: <http://iranshahrpedia.ir/view/22747>
- جنتنر، رادر فورد و جورج استات (۱۳۷۸)، فرهنگ فشرده رنگدانه‌های هنری، ترجمه: حمید فرهمند بروجنی با همکاری حمیدرضا بخشنده‌فرد، اصفهان: گلدسته
- ریسمانچی، فرزانه (۱۳۸۲)، جزوه آموزشی شناسایی رنگدانه‌ها، درس آزمایشگاه حفاظت و مرمت نقاشی، دانشگاه هنر اصفهان، چاپ نشده.
- صدقیانی، مریم (۱۳۸۸)، کاوشی در تاریخچه‌ی خانه‌ی صدقیانی کوی مقصودیه تبریز با توجه به اسناد و مدارک تاریخی، ارائه شده در دانشگاه شهید بهشتی تهران، (چاپ نشده).
- کریمی، امیرحسین و غلامرضا وطن‌خواه (۱۳۸۸)، شناسایی بسترهای نقاشی ایرانی به روش شیمی‌تر، مجله مرمت و پژوهش، ش. ۷، ۹۴-۹۹.
- مداحی، مهدی، شیوا حاجیانی و آرش ضیاءآبادی (۱۳۸۸)، فن شناسی و آسیب شناسی تزیینات گچبری در بنای امام زاده قاسم و آرامگاه کوچک محوطه تاریخی سمیران، مجله مرمت و پژوهش، ش. ۷، ۶۶-۷۰.
- Derrick, M., Stulik, D., & Landry, J. M. (2000). *Infrared spectroscopy in conservation science*. Getty Conservation Institute.
- Zander, G. (Ed.). (1968). *Travaux de restauration de monuments historiques en Iran: Rapports et études préliminaires*. IsMEO (Scuola grafica don Bosco).

پوشش دهی نانوکامپوزیت اکسید روی بر سطوح آثار کاغذی تاریخی و هنری

صالح ایمانی، مریم افشارپور

کارشناس ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی Saleh_imani90@yahoo.com
دکترای تخصصی شیمی مرکز پژوهشی علوم و فناوری نانو دانشگاه تهران

چکیده

در این پژوهش با کمک فناوری نانو، ایجاد یک پوشش نانویی بر سطح آثار کاغذی تاریخی و هنری جهت بهرهمندی از ویژگی های محافظتی منحصر به فرد و پایدار نانوکامپوزیت اکسید روی گزارش شده است. جهت مطالعه و بررسی های اولیه، آزمون هایی از کاغذ فیلتر به عنوان بستر پوشش شونده تهیه شدند و سپس، در شرایط پیرسازی تسریعی نوری و نیز حرارتی-رطوبتی قرار گرفتند سپس با انجام آزمون های مختلف شامل استحکام کششی، جذب قطره ای، سنجش میزان اسید و قلیا، سنجش خواص ضد باکتریایی و قارچی، آنالیز و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی و طیف سنجی مادون قرمز انتقال فوری، مورد ارزیابی واقع شدند. در نهایت این شیوه پوشش دهی روی نمونه کاغذهای مطالعاتی تاریخی شامل نسخ خطی، چاپی و کارت پستال نیز اجرا شد که دستاوردهای قابل قبولی را نشان می دهد.

واژگان کلیدی: حفاظت آثار کاغذی، نانوکامپوزیت اکسید روی، ضدباکتری، ضد رطوبت.

ZnONano-composite coating on the surfaces of historic and artistic works on paper

Imani S. Afsharpoor , M

Abstract

In this study, with the help of nanotechnology, Nano coating on the surface of an historical and artistic paper work to take advantage of features unique protective and stable ZnONano composites have been reported. For the initial study , test subjects were prepared from filter paper as the substrate and coating, optical and thermal accelerated aging conditions - including wet tensile tests were then carried out, drop uptake, measured by the amount of acid and alkali, antibacterial and antifungal properties, measurement , analysis, and scanning electron microscopy and transmission infrared spectroscopy and Fourier were evaluated. Finally, the method of coating paper studies on samples of historical manuscripts, prints and greeting cards were also acceptable results show that.

Key words: conservation of paper, ZnONano composites, antibacterial, anti moisture

۱. مقدمه

زوال کاغذ در کتاب‌ها و مواد آرشیوی به جهت تخریب بستر سلولزی آن‌هاست. تخریب بیولوژیکی، تخریب نوری، تخریب به وسیله آلاینده‌های هوا و اسیدی شدن و اکسیداسیون از جمله علل دگرگونی و تغییرات اساسی در ساختار سلولزی هستند. چندین میلیون کتاب و سند در جهان بر اثر این تخریب‌ها از بین می‌روند [Kiuberis, et al, 2005]. آگاهی از تولید محصولات با ویژگی‌های محافظتی چون خود تمیزشوندگی، ضدبو، ضدسایش، ضدباکتری و محافظ در برابر نور ماوراء بنفش توسط فناوری نانو که موجب کاهش زوال تولیدات و افزایش طول عمر آن‌ها می‌گردد، باعث شروع تلاشی علمی گردید تا امکان ایجاد تمام و یا برخی از این ویژگی‌های منحصر به فرد در آثار کاغذی تاریخی و هنری بررسی شود. بنابراین، باید اطلاعات کاملی از کاربرد نانوذرات در مواد سلولزی جمع‌آوری و یک ارتباط منطقی بین فناوری نانو و هنر حفاظت آثار تاریخی با در نظر گرفتن شرایط حساس و آسیب‌پذیری سریع آثار کاغذی و نیز مبانی حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی ایجاد کرد.

با مطالعات اولیه بر ویژگی‌های کاربرد نانو ذرات در صنایع مختلفی چون نساجی مدرن، نانوکامپوزیت‌ها و مواد هوشمند، نانوساختارهای اکسید روی به عنوان ماده مورد نظر جهت مطالعه و بررسی انتخاب و تلاش بر گردید پوشش مناسبی از این نانو ماده بر سطح آثار کاغذی تهیه شود به گونه‌ای که به خود اثر آسیبی وارد نیاید و از ویژگی‌های منحصر به فرد آن بهره‌گیری شود. از میان تمام کاربردهای این ماده و ویژگی‌های عالی آن، چند ویژگی جهت حفاظت آثار کاغذی تاریخی، فرهنگی و هنری بارز می‌نمود. حفاظت در برابر پرتوهای UV، ضدباکتری و ضدقارچ بودن و حتی ضدحشره بودن، تجزیه آلاینده‌های هوا و آبگریزی که این ویژگی‌ها کمک زیادی به حفاظت آثار تاریخی و فرهنگی از جمله آثار کاغذی خواهد کرد.

الیاف پنبه اشباع شده با نانوذرات اکسید روی، فعالیت آنتی‌باکتریال عالی را در مقابل دو باکتری نماینده، استافیلوکوکوس آئروس (*Staphylococcus aureus* - گرم مثبت) و کلبسیلا پنومونیا (*Klebsiella Pneumonia* - گرم منفی) از خود نشان دادند (Yadav, et al, 2006). تشابه ساختاری پنبه و کاغذ که هر دو از سلولز می‌باشند، ما را به بهره‌مندی از این ویژگی در حفاظت آثار کاغذی امیدوار می‌کند. نانوذرات اکسید روی نسبت به شکل‌های دیگر روی ارجحیت دارد چون سمیت آن کم است یعنی برای انسان و محیط زیست خطری ایجاد نمی‌کند و ماندگاری آن بیشتر و بازده‌اش در گندزدایی (ضد عفونی) بالاست. فعالیت آنتی‌باکتریالی نانوذرات اکسید روی در ناحیه خنثی ($\text{pH} = 7$) و بدون حضور نور می‌باشد (Vignesh, et al, 2006) و pH مناسب برای رشد باکتری‌ها هم در محدوده ۲/۷ تا ۶/۷ یعنی pH نزدیک به خنثی است (تاج‌بخش، ۱۳۶۸، ص ۵۰۳). لازم به ذکر است که نانوذرات اکسید روی در کنار دارا بودن ویژگی‌های اشاره شده، پایداری‌های دیگری چون مقاومت دمایی، پایداری مقابل نور آفتاب (Anzlovar, et al, 2008) و انعکاس طیف IR (Li.Yi, et al, 2007) و ویژگی ضدحشره‌ای (Green, et al, 2007) نیز دارد. مجموعه ویژگی‌های اشاره شده به اضافه سفیدی و هزینه اجرای کمتر نسبت به نانوذرات نقره و نانوذرات تیتانیوم، می‌تواند آن را به عنوان یک ماده مناسب و قابل اطمینان برای مصارف حفاظتی در آثار کاغذی تاریخی و هنری معرفی نمود.

۲. مواد و روش‌ها

نانوذرات اکسید روی یک نیمه‌هادی n-Type با یک باند گپ گسترده (3 eV) است. یعنی دارای تنوعی از شکل ذرات، از کرات و بیضی‌ها تا شش‌وجهی‌ها و ذرات ستاره‌مانند با توزیع اندازه ذرات باریک و بلند است. به طور نمونه از ۲۰ نانومتر تا یک میکرومتر و فضای سطحی ویژه در محدوده‌ای از ۵ تا ۶ مترمربع بر گرم. ویژگی‌های ذاتی

یک نانوذره عمدتاً به وسیله اندازه، شکل، ترکیب، شکل بلوری و مورفولوژی مشخص می‌شود (Ghule, et al, 2006). از پودر نانوذرات اکسید روی، تولید شرکت مرک استفاده گردید.

۱-۲. آماده‌سازی ترکیب پوشش‌دهنده

با توجه به این که نانوذرات اکسید روی در آب و حلال‌های آلی حل نمی‌شود، آن را به صورت ترکیب دیسپرسیونی تهیه کرده و به کار برده شد. این ترکیب از پراکنش نانوذرات اکسید روی جامد در یک مایع بی‌اثر مثل الکل اتیلیک حاصل می‌شود. عمل پراکنش به کمک دستگاه التراسونیکو در دمای محیط انجام می‌یابد.

۲-۲. آماده‌سازی و معرفی آزمون‌ها

با احتمال این که ماده و روش پیشروی، آثار کاغذی تاریخی را دچار آسیبی حبران ناپذیر کند، بنابراین از کاغذ فیلتر (واتمن) به دلیل این که جنس آن از سلولز خالص است، به عنوان آزمون‌های مطالعاتی استفاده گردید. این آزمون‌ها شامل قطعاتی در ابعاد 15×30 سانتی‌متر است که آزمون با کد A به عنوان آزمون شاهد و آزمون با کد E به عنوان آزمون پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی و آزمون با کد X به عنوان آزمون رنگ شده با رونا س و سپس پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی می‌باشند. علت استفاده از رونا س بدلیل حساسیت شدید آن در برابر طیف‌های نور و آزمایش توان حفاظتی پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی در مقابل پرتو ماوراء بنفش است. در نهایت از چند نمونه آثار تاریخی شامل نسخه خطی و چاپی که صرفاً جنبه مطالعاتی دارند جهت ایجاد پوشش استفاده گردید.

۳-۲. پوشش‌دهی به روش نانوکامپوزیت

خاصیت فوتوکاتالیستی نانوذرات اکسید روی باعث تجزیه آلاینده‌های هوا و ترکیبات آلی می‌شود. اما تماس مستقیم نانوذرات اکسید روی با کاغذ، در طول زمان باعث تجزیه سلولز و یا رنگهایی با ترکیبات آلی که در برخی آثار کاغذی وجود دارد، می‌گردد. بنابراین، استفاده از یک لایه واسطه که علاوه بر جلوگیری از تماس مستقیم، ویژگیهای ظاهری و زیبایی‌شناختی آثار را بر هم نزنند امری ضروری است. محلول کلوسل جی که یک پلیمر سلولزی است، می‌تواند این کیفیت را ایجاد نماید. بعد از پاکسازی سطحی آزمون‌ها، محلول کلوسل جی را با استفاده از قلم‌موی نرم بر سطح آن‌ها پوشش می‌دهیم. بعد از خشک شدن در دمای اتاق، دیسپرسیون آماده شده را بر سطح آزمون‌ها اسپری و دوباره در دمای اتاق خشک می‌کنیم.

۴-۲. پیر سازی تسریعی

جهت بررسی اثر گذر زمان بر آزمون‌ها و پایداری یا عدم پایداری پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی، آزمون‌ها به روش پیر سازی تسریعی حرارتی-رطوبتی به صورت مصنوعی کهنه شدند. و سپس با نمونه‌های پیرسازی نشده، مورد مقایسه قرار گرفتند. پیر سازی تسریعی حرارتی-رطوبتی طبق استاندارد (ISIRI 4706) روش تسریع در کهنه شدن کاغذ و مقوا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵٪ در مؤسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران انجام پذیرفت.

۵-۲. انواع آنالیزهای انجام شده

آنالیز و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM/EDX) جهت مشاهده، بررسی و شناسایی مورفولوژی سطحی آزمون‌ها، چگونگی ته‌نشست و شکل پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی ایجاد شده در سطح سلولزی آن‌ها، اثبات حضور ماده اکسید روی و نانوابعاد بودن آن در ترکیب پوشش‌دهی در قبل و بعد از پیرسازی تسریعی حرارتی-رطوبتی با استفاده از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل PHILIPS XL30 انجام شد. این بررسی‌ها در بخش SEM دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت. آزمون مقاومت کششی با استفاده از دستگاه آزمون مقاومت کششی

مدل Ablorentzen Wetter جهت بررسی تغییرات مقاوت کششی الیاف سلولزی در قبل و بعد از روش‌های مختلف پوشش‌دهی با نانوذرات اکسید روی و همچنین قبل و بعد از پیرسازی تسریعی آزمونه‌ها انجام یافت تا تأثیر پوشش‌دهی نانوکامپوزیت اکسید روی بر مقاوت کششی الیاف سلولزی آزمونه‌ها بررسی گردد. این آزمون طبق استاندارد شماره (ISIRI 8273-2) اندازه‌گیری ویژگی کششی کاغذ و مقوا، انجام گرفت. با توجه به ویژگی ضد آب بودن نانوکامپوزیت اکسید روی، تغییرات واکنش تمام آزمونه‌ها در برابر قطره آب مقطر، قبل و بعد از پوشش‌دهی با نانوکامپوزیت اکسید روی مورد بررسی قرار گرفت. جهت بررسی پایداری یا عدم پایداری این خاصیت بعد از پیرسازی تسریعی آزمونه‌ها در شرایط حرارتی- رطوبتی نیز آزمون جذب قطره‌ای انجام شد. البته تأثیرات آسیب‌پذیری کاغذ در شرایط رطوبت محیطی نسبت به قرار گرفتن آن در مقابل قطره آب، به مراتب کمتر و متفاوت می‌باشد. آزمون بررسی خواص ضد باکتریایی و ضد قارچی آزمونه‌ها با روش استاندارد (ISIRI 11070) بررسی خواص ضدباکتری منسوجات، البته با کمی تغییر با استفاده از چهار میکروارگانیزم معروف انجام گرفت. این میکروارگانیزم‌ها شامل باکتری گرم منفی اسپریچیا کلی به شماره ATCC1330، باکتری گرم مثبت استافیلوکوکوس اورئوس به شماره ATCC6580، مخمر کاندیدا آلبیکنس به شماره MYA-2876ATCC، قارچ آسپرژیلوس نایجر به شماره ATCC 16404 هستند. با آگاهی از آسیب‌پذیری شدید آثار کاغذی در برابر اسیدها و به اصطلاح اسیدی شدن کاغذ و تخریب اسیدی آن، امکان تأثیر دیسپرسیون مصرفی در اسیدی شدن آزمونه‌ها بوسیله انجام آزمون سنجش میزان اسید و قلیای آزمونه‌ها (pH) بررسی شد. سنجش میزان اسیدی و قلیایی آزمونه‌ها همواره قبل و بعد از پوشش‌دهی آن‌ها با نانوکامپوزیت اکسید روی با استفاده از دستگاه pH متر دیجیتالی HANNA 12VDC انجام می‌گرفت تا تأثیرات اسیدی و قلیایی مواد استفاده شده جهت ایجاد پوشش محافظتی بررسی شده و این مواد عامل آسیب برای آثار کاغذی تاریخی نگردد.

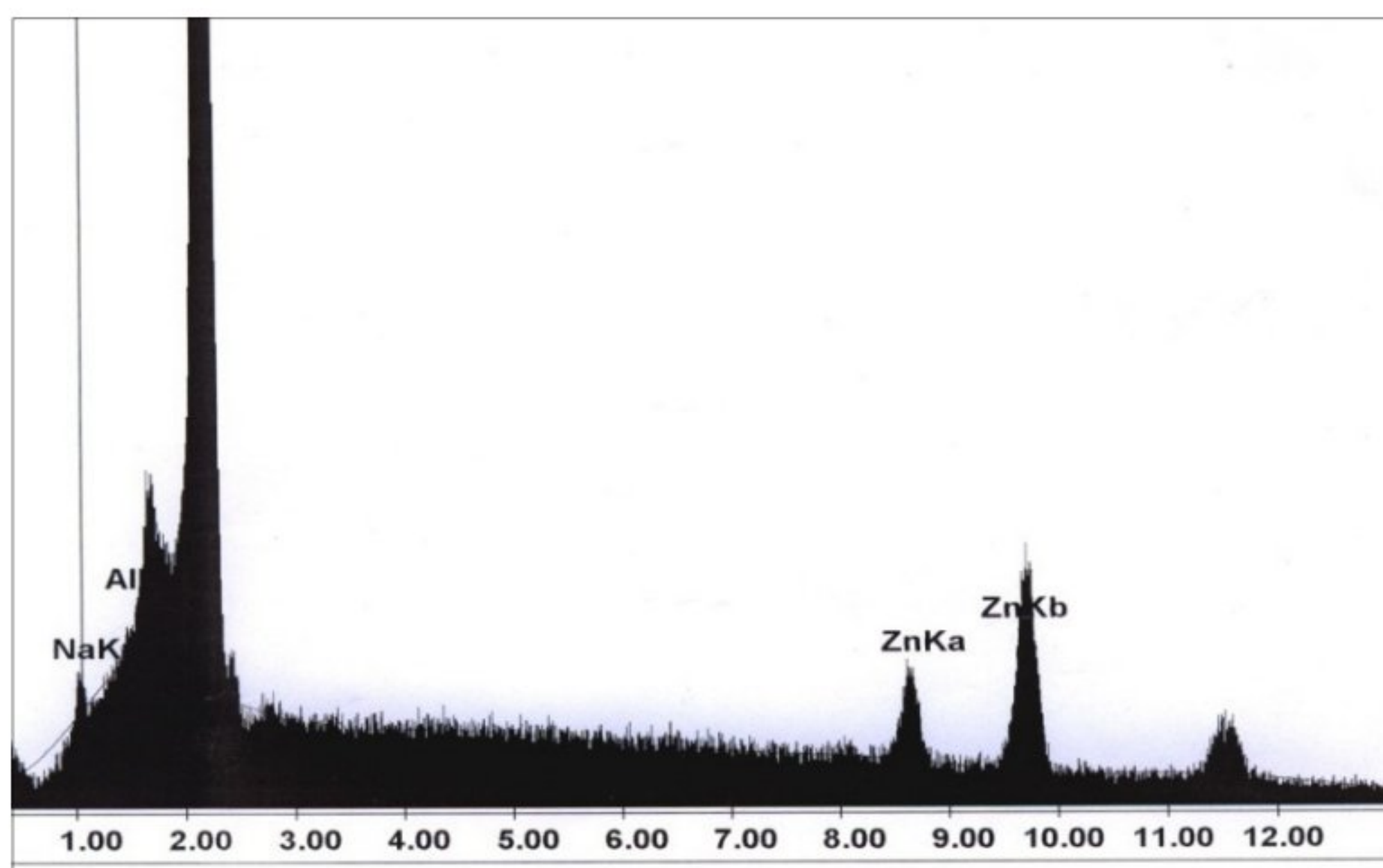
۶-۲. نتایج و بحث

مشاهدات اولیه از ظاهر آزمونه A (شاهد) قبل از پیرسازی تسریعی، نشانگر یک سطح سفید با بافت‌های ریز است. در آزمون جذب قطره‌ای مشخص شد که زمان جذب کامل قطره این آزمونه برابر ۸/۱۵ ثانیه می‌باشد و بعد از قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی حرارتی-رطوبتی تغییرات قابل‌ذکری اتفاق نمی‌افتد. چون اندازه و پراکندگی فضاهای میان‌تهی الیاف سلولزی یکسان نیست، نتایج به دست آمده نیز اندکی متفاوت می‌باشد ولی به طور کلی در یک محدوده است. زمان جذب قطره‌ای در آزمونه‌های E و X به دلیل حضور لایه واسطه کلوسل جی که یک پلیمر سلولزی است، نسبت به آزمونه A بیشتر می‌باشد. سنجش میزان اسید و قلیای آزمونه A در دمای ۲۲ درجه سلسیوس، با توجه به pH آب مقطر، نشانگر خنثی بودن آن است (pH=۷/۴). میزان pH آن بعد از پیرسازی تسریعی عدد ۲۸/۶ را نشان می‌دهد. استفاده از ترکیب کلوسل جی با میزان اسیدیته ۹۸/۵ و پس از آن دیسپرسیون نانو با میزان اسیدیته ۴۵/۶ سبب اسیدی شدن آزمونه‌های E و X حتی بعد از گذاشتن در شرایط پیرسازی تسریعی حرارتی - رطوبتی نگشته است.

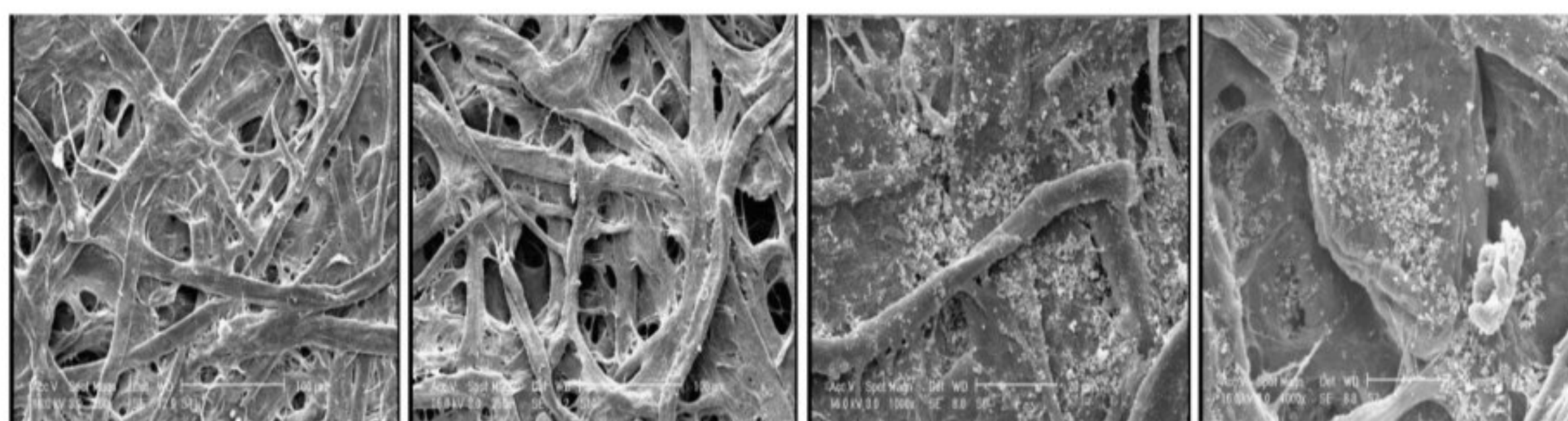
جدول ۱ - سنجش میزان مقاوت کششی انواع آزمونه‌ها

مقاومت کششی (N/۱۵mm)						
زمان کهنه‌سازی (ساعت)	0		48		144	
	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف	جهت الیاف	جهت عرضی الیاف
نمونه‌ها						
A	43	20	44	19	34	22
E	43	18	39	20	42	19
X	31	18	39	19	40	20

نتایج آزمون مقاومت کششی آزمون شاهد نشان می‌دهد که میزان مقاومت کششی در جهت طولی الیاف برابر با ۴۳ نیوتن بر ۱۵ میلی‌متر و در جهت عرضی الیاف ۲۰ نیوتن بر ۱۵ میلی‌متر می‌باشد (جدول ۱). در طول پیرسازی تسریعی در شرایط دمایی-رطوبتی، مقدار کمی از مقاومت کششی آن، در جهت عمود بر طول الیاف کاسته می‌شود. البته یکسان نبودن طول و نوع در هم تنیده شدن الیاف سلولزی کاغذ و نیز شرایط پیرسازی (دما، رطوبت و زمان) در نتایج این آزمون موثر است. با بررسی نتایج آزمون مقاومت کششی، به این نتیجه می‌رسیم که مقدار کمی بر استحکام کششی آزمون E، هم از جهت طولی الیاف و هم جهت مخالف آن افزوده شده است ولی در آزمون X، شاهد کاهش مقاومت کششی هستیم که می‌توان علت را عملیات رنگ‌آمیزی آن و قرار گرفتن در محلول رنگی با دمای بالا دانست. مشاهده و بررسی تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی آزمون A حاکی از آن است که سطح کاغذ از الیاف سلولزی در هم تنیده شده نا منظمی تشکیل یافته است و پر از فضاهای میان تهی با اندازه‌های متفاوت می‌باشد (شکل ۱-الف). بعد از پیرسازی تسریعی در شرایط دما و رطوبت، تغییری در شکل یا طول الیاف و شکست در آن‌ها دیده نشد اما در سطح بدنه الیاف حالت جمع شدگی پدیدار بود (شکل ۱-ب). تصاویر SEM از آزمون E و X نشانگر این است که نانوذرات در این روش به صورت یکنواخت بر سطح الیاف سلولزی نشسته اند و درون حفرات هم دیده می‌شوند (شکل ۱-ج). حضور نانوکامپوزیت باعث تغییر در شکل الیاف نشده است. بعد از آن که در شرایط دما و رطوبت، پیرسازی تسریعی شدند، در اندازه‌ها و شکل نانوذرات تغییری رخ نمی‌دهد و پراکندگی آنها همانند قبل از پیرسازی تسریعی است. در این روش پوشش‌دهی، نانوذرات، ابعاد نانویی خود را با وجود قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی باز هم حفظ می‌کنند. می‌توان علت آن را چسبندگی کلوسل و پیوند ایجاد شده نانوذرات اکسید روی با کلوسل جی دانست (شکل ۱-د). آنالیز EDX گرفته شده از آزمون E، حضور یون روی در نانوذرات مورد استفاده جهت پوشش‌دهی را اثبات می‌کند (نمودار ۱).



نمودار ۱ - آنالیز EDX گرفته شده از آزمون E



(الف) (ب) (ج) (د)

شکل (۱) تصویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از آزمونه A، قبل از پیر سازی (الف)، بعد از پیر سازی (ب) در بزرگنمایی $250\times$ و آزمونه E قبل از پیر سازی (ج) بعد از پیر سازی (د) با بزرگنمایی $1000\times$

جدول ۲ - درصد کاهش تعداد میکرو ارگانیسم ها در آزمونه های پوشش داده شده با نانو ذرات اکسید روی

نمونه ها	باکتری ها		قارچ ها	
	St.au	E.coli	Asp.niger	Candida.albican
A	افزایش ۳۲۱ برابر	افزایش ۹۱۴ برابر	افزایش ۳۲/۱۱ برابر	افزایش ۳/۳ برابر
E	۱۰۰ کاهش	۱۰۰ کاهش	۵/۳۷ کاهش	۶۶/۹۶ کاهش
X	۱۰۰ کاهش	۱۰۰ کاهش	۷۱/۹۵ کاهش	-

نتایج حاصل از آزمون بررسی خواص ضدباکتری و قارچ در آزمونه شاهد، نشان از افزایش تقریبی ۳۲۱ برابری در باکتری استافیلوکوکوس آرئوس و تقریباً ۹۱۴ برابری اسپریچیا کولی پس از گذشت ۲۴ ساعت از تلقیح روی آزمونه را دارد (جدول ۲). این در حالی است که آزمونه شاهد در برابر مخمر کاندیدا آلیکنس افزایش ۳/۳ برابر نشان می دهد و در برابر اسپریلوس نایجر افزایش ۳۲/۱۱ درصدی دارد. آزمون بررسی خواص ضد باکتری و قارچ بر روی آزمونه های پوشش داده شده با نانوکامپوزیت اکسید روی حاکی از تأثیرات عالی این پوشش بر کاهش رشد میکروارگانیسم ها دارد. نتایج این آزمون، کاهش ۱۰۰ درصدی رشد هر دو نوع باکتری تلقیح شده و نیز کاهش ۵/۳۷ درصدی قارچ اسپریلوس نایجر و ۶۶/۹۶ درصدی مخمر کاندیدا آلیکنس را نشان می دهد (جدول ۲).

در نهایت تعدادی از نمونه آثار کاغذی تاریخی شامل نسخه خطی، نسخه چاپی و کارت پستال که صرفاً جنبه مطالعاتی داشتند، جهت ایجاد پوشش نانوکامپوزیت اکسید روی انتخاب شدند. مشاهدات نشان می دهد که استفاده از غلظت های بالای کلوسل جی برای ایجاد لایه واسطه سبب زردشدگی نمونه های تاریخی می شود. توصیه می شود از حداقل غلظت کلوسل جی استفاده شود. استفاده از قلم مو نیز در پوشش دهی کلوسل جی می تواند باعث جابجایی و بر هم خوردن جوهر ها و رنگ های ضعیف شود.

بنابراین روش پوشش دهی کلوسل جی نیز بر سطوح آثار کاغذی تاریخی بهتر است با استفاده از روش اسپری نمودن یا غوطه وری در کمترین زمان همراه باشد. نکته جالب توجه این است که بعد از اتمام پوشش دهی تا حدودی از میزان برخی لکه ها کاسته شد و حتی محو شدن لکه ها را هم شاهد بودیم. می توان علت این امر را هم به کلوسل

جی و هم به نانوذرات اکسید روی نسبت داد. این پوشش، اثر منفی بر خطوط رنگی غیرآلی، حاشیه و جوهر نمونه ها نمی‌گذارد و باعث بروز سفیدک یا شوره در سطح کاغذ نمی‌شود.

نتایج آزمون سنجش میزان اسیدیته بر نمونه‌های مطالعاتی تاریخی، نشانگر آن است که میزان pH مواد اولیه برای کاربرد روی آثار تاریخی اصلی و ایجاد پوشش نانوذرات اکسید روی بر سطح آنها تاثیری در اسیدی شدنشان نداشته است. وقتی آزمون جذب قطره ای روی نمونه‌های مطالعاتی تاریخی پوشش داده شده به روش نانوکامپوزیتانجام شد، مشاهده گردید که قطره آب مقطر تا حدود ۲۰ دقیقه کمترین نفوذی در کاغذ نمی‌کند (جدول ۳).

نتایج این آزمون، بیانگر این است که پوشش نانوذرات اکسید روی باعث ایجاد خاصیت آبگریزی در کاغذ شده و نقش محافظتی خوبی در برابر رطوبت محیط ایفا می‌کند. آبگریز شدن کاغذ به مصون شدن آن در مقابل آسیب‌های دیگر مثل آلودگی ها، گرد و غبار و آلاینده های هوا کمک فراوانی می‌نماید.

جدول ۳ - نتایج آزمون جذب قطره‌ای آزمونه‌ها (برحسب : دهم ثانیه / ثانیه / دقیقه و زمان کهنه سازی بر حسب ساعت)

نمونه‌ها	زمان کهنه‌سازی	۰	۴۸	۱۴۴
A		۰۰/۱۵/۸	۰۰/۱۴/۶	۰۰/۱۶/۶
E		۰۰/۳۵/۰	۰۰/۳۵/۱	۰۰/۳۶/۱
X		۰۰/۲۵/۳	۰۰/۳۳/۷	۰۰/۵۴/۲
نسخه خطی (ابتدا کلوسل بعد اسپری دیسپرسیون)	بیش از ۳۰ دقیقه	—	—	—
نسخه خطی (اسپری مستقیم دیسپرسیون)	۱۳/۴۱/۱	—	—	—
نسخه خطی (شاهد)	۱۰/۲۸/۰	—	—	—
نسخه چاپی (ابتدا کلوسل بعد اسپری دیسپرسیون)	۲۱/۲۱/۶	—	—	—
نسخه چاپی (اسپری مستقیم دیسپرسیون)	۲/۲۷/۷	—	—	—
نسخه چاپی	۲/۰۰/۰	—	—	—

۳. نتیجه‌گیری

آزمون‌ها و بررسی‌ها به ما کمک نمود تا بتوانیم نانوذرات اکسید روی را به عنوان یک ماده مؤثر چندکاربردی با ویژگی‌های پایدار در حفاظت از اسناد، کتب و آثار کاغذی تاریخی و فرهنگی معرفی نماییم. این ماده به راحتی در دسترس است و از نظر قیمت نسبت به رقبایش، نانوذرات نقره و دی اکسید تیتانیم بسیار ارزان تر می‌باشد. از نظر زیبایی‌شناختی، اثر منفی بر کیفیت و کمیت آثار تاریخی نمی‌گذارد. استفاده از آن برای انسان خطری به همراه ندارد و به محیط زیست هم آسیبی نمی‌رساند و در صورت کاربرد گسترده آن، استفاده از مواد سمی و خطرناک رایج به مرور کمتر خواهد شد. روش تهیه دیسپرسیون نانوذرات اکسید روی، یک روش ساده و آسان است که به دستگاه‌های فوق العاده گران نیاز ندارد.

کلوسل جی به عنوان یک پلیمر سلولزی که همسو با الیاف سلولزی کاغذ است، علاوه بر اینکه نقش واسطه را در پوشش‌دهی الیاف بر عهده دارد و از تماس مستقیم نانوذرات اکسید روی با الیاف کاغذ جلوگیری می‌کند، می‌تواند نقش استحکام‌بخشی را نیز ایفا نماید. البته باید گفت که این استحکام‌بخشی مربوط به ابعاد آثار کاغذی و اتصال میان الیاف و ممانعت از فروپاشی آن‌هاست، البته در افزایش مقاومت کششی اثر کمتری دارد. لازم است که از کلوسل جی در غلظت‌های کمتر استفاده شود چون غلظت بالای این ماده، زردشدگی و سنگین شدن وزن آثار کاغذی را به همراه دارد. در پوشش‌دهی کلوسل جی بر سطح نسخه‌های خطی و یا رنگی پایه آلی نباید از قلم‌مو استفاده نمود زیرا حضور الکل

اتیلیک و حرکت قلم مو بر سطح نوشته ها و رنگها باعث آسیب فیزیکی می گردد. با توجه به این که حامل دیسپرسیون الکل اتیلیک می باشد و ممکن است به عنوان حلال رنگها و جوهرهای نمونه های تاریخی عمل کند، لازم است آزمون حساسیت به حلال، بر آنها انجام پذیرد و بعد از آن حامل را انتخاب نمود. انواع الکل مانند اتیلیک، متیلیک، پروپیلیک و بوتیلیک می توانند به عنوان حامل در دیسپرسیون ها مصرف شوند. آزمون جذب قطره ای نیز مشخص نمود که این نوع پوشش در محافظت کاغذ در برابر رطوبت محیط و نیز آلاینده های هوا، آلودگی ها و گرد و غبار بسیار مؤثر و مفید است. مقدار غلظت نانوذرات در آزمون کلوسل دار نسبت به نمونه های دیگر، بیشتر است و این عامل باعث می شود ویژگی های ضدباکتری، ضدقارچی، ضدحشره ای، انسداد نور UV و محافظت رطوبتی بهتر بروز نماید. نتایج آزمون کششی نیز حاکی از آن است که تمام آزمون ها در طول پیر سازی تسریعی حرارتی - رطوبتی مقداری از استحکام کششی خود را از دست می دهند. نانوماده اکسید روی و روش های پوشش دهی الیاف کاغذ به غیر از روش پوشش دهی نانوکامپوزیتی، تاثیر منفی در استحکام کششی الیاف کاغذ دارد. pH متری نشان داد که دیسپرسیون نانوذرات اکسید روی در حامل اتانول دارای میزان pH مناسبی برای کاربری در حفاظت آثار هنری کاغذی است و نیز بعد از پوشش آن بر سطح الیاف کاغذ، نشانه هایی از اثرات اسیدی شدن به خصوص بعد از قرار گرفتن در شرایط پیرسازی تسریعی مشاهده نشد.

خواص ضدباکتری و ضدقارچی نانوذرات اکسید روی هم توسط روش آزمون استاندارد شماره ۱۱۰۷۰ ISIRI اثبات گردید و نشان داده شد که در مقابل دو نماینده باکتری ها (استافیلوکوکوس آرنئوس نماینده گرم مثبت و اسپیریچیا کولی نماینده گرم منفی) که از باکتری های معروف و شایع در جهان هستند و دو نماینده قارچ ها (آسپرژیلوس نایجر و کاندیدا آلبیکان) که در بیشتر محیط های مناسب رشد حاضر هستند، جهت رسیدن به نتیجه ای عالی در زمینه حفاظت آثار کاغذی تاریخی و فرهنگی در مقابل عوامل آسیب رسان مثل میکروارگانیسم ها، حشرات، آلاینده ها، پرتوهای مضر و ... فقط استفاده از پوشش نانوذرات اکسید روی کافی نیست. کنترل شرایط محیطی و مراقبت های مداوم، امری است که همواره باید در اولویت قرار گیرد.

۴. منابع

موسسه استاندارد و تحقیقات صنعتی ایران (۱۳۷۷) روش تسریع در کهنه شدن کاغذ و مقوا در دمای ۸۰ درجه سلسیوس و رطوبت ۶۵ درصد. چاپ اول، شماره استاندارد ایران ۴۷۰۶.

- Anzlovar, Alojz. Crnjakorel, Zorica. ZigonMajda (2008). Nanocomposites with nano – to – sub – micrometer size Zinc Oxide as an effective UV absorber. KATEGORIZIRANI RA-DOVI, 29 (2), 84-87.
- Bahadur, Harish. Garg, S, C. Samanta, S,B. Sharma, R, K. Srivastava, A,K. Sood, K, N. Kishore, R. Basu, A. Rashmi. Kar, M. Pal, Perm. Bhatt, Vivekanand. Chancha, Sudhir (200). Characterization of ZnO thin films. rp.iszf.irk.ru/hawk/URSI2005/pdf/A10.7 (0306).pdf (accessed 2008/6/10)
- Green, Frederick. Ann, Arango (2007). Wood protection by commercial Silver formulations against Eastern Subterranean Termites. Paper prepared for the 38th Annual Meeting Jackson Lake Lodge, Wyoming, USA, 20-24 May.
- Gule, Kalyani. VithalGule, Anil. Chen, Bao-Jung. Chien Ling, Yong (2006). Preparation and characterization of ZnO nanoparticles coated paper and its antibacterial activity study. Green Chem, 8, 1034-1041.
- Kiuberis, Jonas. Tautkus, Stasys. Kazlauskas, Rolandas. Pakutinskiene, Irma. Kareiva, Aivaras (2005). Protective coating for paper: new development and analytical characterization, Journal of Cultural Heritage, 6 (3), 245-251

اصول و مبانی الکتروشیمیایی در مبحث بازدارندگی خوردگی در آلیاژهای تاریخی

وحید پورزرغان

عضو هیئت علمی دانشگاه زابل E mail: Vahid_poorzarghan@yahoo.com

چکیده

بیماری برنز یکی از آسیب‌های مهم آلیاژهای برنزی تاریخی محسوب می‌شود. برای تیمار کردن این بیماری از موادی آرماتیک مانند BTA، AMT و غیره استفاده می‌شود. شرایط و ارزیابی این بازدارنده‌ها نیاز به آشنایی با اصول الکتروشیمیایی دارد. هدف از این مقاله، آشنایی مختصر با اصول و مباحث نظری در زمینه الکتروشیمیایی، برای تحلیل و تفسیر داده با دستگاه پتانسیو استات است و مباحثی مانند پلاریزاسیون، روش‌های پلاریزاسیون، دانسیته جریان خوردگی I_{corr}^0 ، پتانسیل خوردگی E_{corr} و حتی سینتیک خوردگی در زمینه ارزیابی و آزمایش این مواد به‌عنوان بازدارنده را شامل می‌شود. آنالیز و نتایج این داده‌ها می‌تواند در تشخیص یک ماده به‌عنوان بازدارنده در زمینه مرمت آثار فلزی تاریخی کمک شایانی کند.

کلمات کلیدی: حفاظت، بازدارنده، الکتروشیمیایی، پتانسیو استات، آلیاژهای برنزی، تاریخی.

Fundamentals of electrochemistry for evaluating corrosion inhibitor in historical alloys

Porzarghan Vahid*

Zabol University

Abstract

Bronze disease is one of the most important damages in historical copper alloys. To treat this damage synthetic material such as BTA, AMT and etc. is used. To assess and qualify these inhibitors a comprehensive knowledge of their influence on corrosion processes are required. The aim of this paper is to present principle of electrochemical methods for analysis and interpretation of the data using Potansiostat. In addition, there are some other subjects such as polarization methods, current density, corrosion potential and even corrosion kinetics in assessment of these materials as inhibitors. The result of data can be exploited in the scope of restoring historical metal objects.

Keyword: Potansiostat, conservation, Inhibitor, bronze, electrochemical

۱. مقدمه

شرایط محیطی یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در میزان تخریب آثار تاریخی و فرهنگی در طول زمان است. در این میان، آلیاژهای مس و آهنی تاریخی در صورت مساعد بودن شرایط خاص محیطی (مانند وجود یون‌های کلریدی و رطوبت) دچار خوردگی شده و در آلیاژهای مس ایجاد بیماری برنز می‌کنند. برای تیمار کردن این بیماری از موادی مانند BTA، AMT و مواد آرماتیک دیگر استفاده می‌شود. این بازدارنده‌ها به‌خاطر سینتیکی و آروماتیک بودن اکثراً سرطان‌زا و سمی هستند. اما در این میان برای کنترل خوردگی و تأثیر قدرت بازدارندگی این مواد، نیاز به اصول و مبانی الکتروشیمی است تا بتوان این مواد را از نظر نوع بازدارندگی و قدرت بازدارندگی بررسی کرد و به این مهم دست یافت که آیا مواد مورد نظر در کل می‌توانند نقش یک بازدارنده را داشته باشند و یا نه تنها قدرت بازدارندگی ندارند بلکه باعث تسریع و شدت خوردگی می‌شوند. اما برای بررسی و قدرت بازدارندگی، پارامترهای دیگری چون دانسیته و پتانسیل

خوردگی و غیره نیاز است. برای دست یافتن به چنین پارامترهایی، نیاز به آشنایی با اصول و مبانی الکتروشیمیایی است تا بتوان آنالیزها و داده‌های استخراج شده از دستگاه‌ها را تحلیل و تفسیر نمود. این اصول نه تنها در حوزه بازدارندگی مواد بلکه در حوزه حفاظت و مونیتورینگ اشیاء فلزی در موزه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد (از نظر سرعت یا سنتیک خوردگی). طیف‌سنجی امپدانس الکتروشیمیایی، پتانسیو استات، پتانسیو دینامیکی، منحنی‌های پلاریزاسیون و منحنی‌های لانگمیر، مهم‌ترین دستگاه‌ها و آنالیزگرهایی هستند که ما را در این مهم یاری می‌رسانند (Rocca et al, ۲۰۰۷). اما برای بررسی و آنالیز مهندسی سطوح خورده شده در مراحل آزمایش می‌توان از دستگاه‌های SEM-EDX و FTIR استفاده کرد. همانطور که گفته شد برای بررسی قدرت بازدارندگی و امکان بازدارنده بودن یک ماده باید به اصول و مبانی الکتروشیمیایی نه تنها در زمینه مبحث بازدارندگی بلکه در زمینه‌های دیگر حفاظتی مانند شناسایی پیگمنت‌ها و مواد تشکیل‌دهنده لعاب (Doménech-Carbó, 2009) همچنین مونیتورینگ و سرعت خوردگی (یا سنتیک خوردگی)، در زمینه حفاظت آثار تاریخی فلزی (Leyssens et al, 2004) آشنایی لازم را کسب نمود. یکی از دستگاه‌هایی که بیشترین استفاده را در میان دستگاه‌های دیگر برای بررسی قدرت بازدارندگی و پارامترهای دیگر مانند دانسیته جریان و پتانسیل خوردگی را دارد، دستگاه پتانسیو استات است که بعد از مباحث و اصول ابتدایی الکتروشیمیایی، به معرفی این دستگاه پرداخته می‌شود (پورزرقان، ۱۳۸۹).

۲. روش تحقیق:

در این مقاله، پارامترها و اصول بررسی داده‌ها، بیشتر از دستگاه پتانسیو استات مدل SAMA 500 ElectroAnalyzer system با تکنیک Tafel plot (LSV) Liner Sweep Voltammetry استفاده شده که در زیر به آن‌ها پرداخته شده است.

۳. بحث

۱-۳. پتانسیل الکترود

در مسائل خوردگی، پتانسیل ایجاد شده در سطح الکترود غوطه‌ور در یک محلول الکترولیت، دارای اهمیت اساسی است. این مسئله از سه لحاظ بررسی می‌شود؛ اولاً می‌خواهیم نوع و مقدار پتانسیل اولیه فلزات را در موارد مختلف خوردگی تحت اثر هر نوع عاملی بشناسیم.

ثانیاً اطلاع از پراکندگی و گسترش پتانسیل اولیه در سطح فلز حائز اهمیت است. به عبارت دیگر، می‌خواهیم مقدار پتانسیل‌های نقاط مختلف تماس (فلز-الکترولیت) را بدانیم تا به این ترتیب، اختلاف پتانسیل‌های اولیه نواحی آندی و کاتدی سطح را دانسته باشیم.

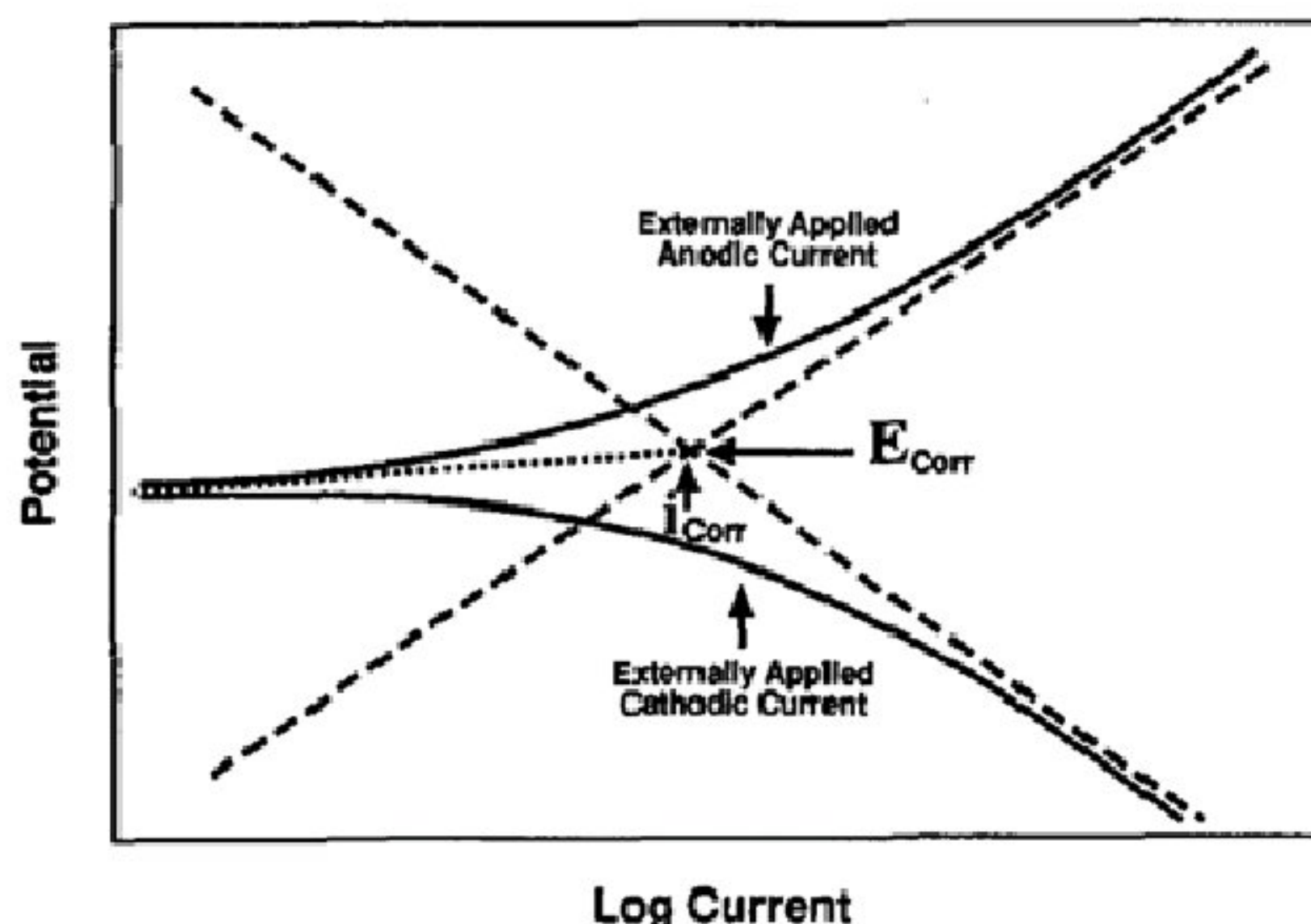
ثالثاً دانستن تغییرات پتانسیل الکترود در ضمن عملیات خوردگی در نتیجه پدیده پلاریزاسیون و واکنش‌های مختلف ثانوی بسیار مهم است. البته در عمل تعیین اختلاف، پتانسیل‌ها وقتی به یک وضعیت سکون رسیده باشند (یعنی پتانسیل الکترود که به مرور زمان در اثر پلاریزاسیون و عوامل دیگری تغییر کرده و بالاخره مقدار ثابتی یافته است) با ارزش‌تر بوده، زیرا همین اختلاف پتانسیل الکترود است که شدت جریان خوردگی و بنابراین مقدار خوردگی فلز (حل شدن نواحی آندی) را تعیین می‌کند. با این حال، دانستن مقادیر اولیه پتانسیل الکترود نیز اهمیت قابل ملاحظه‌ای دارد چرا که اختلاف پتانسیل نواحی آندی و کاتدی سطح فلز را در تماس با الکترولیت مشخص می‌کند و آن مقدار پتانسیلی که در

حالت رژیم و سکون (حالت پایدار) به دست می‌آید تا حدودی به اختلاف پتانسیل‌های اولیه مربوط است (پاشایی فرد مقدم، ۱۳۵۴، ص ۵۴).

۲-۳. روش پلاریزاسیون

از آنجا که خوردگی فرآیندی است در برگیرنده واکنش‌های اکسایش و کاهش، بنابراین می‌توان چنین انتظار داشت که قوانین الکتروشیمی جهت ارزیابی انواع خوردگی از دقت بالایی برخوردار بوده و در پاره‌ای موارد نیز روش دیگری برای بررسی وجود نداشته باشد. پلاریزاسیون از مهم‌ترین مباحثی است که به آن پرداخته می‌شود. تغییرات مقدار پتانسیل الکترودها و شدت جریانی که از الکترودها می‌گذرد در نتیجه تغییرات اختلاف پتانسیل پیل که بر اثر برقراری عبور جریان ایجاد شده است، پلاریزاسیون نامیده می‌شود. یاب‌عبارتی هرگاه جریانی که از پیل می‌گذرد برحسب زمان کم شود می‌گویند که پیل پلاریزه شده است (پاشایی فرد مقدم، ۱۳۵۴، ص ۸۰).

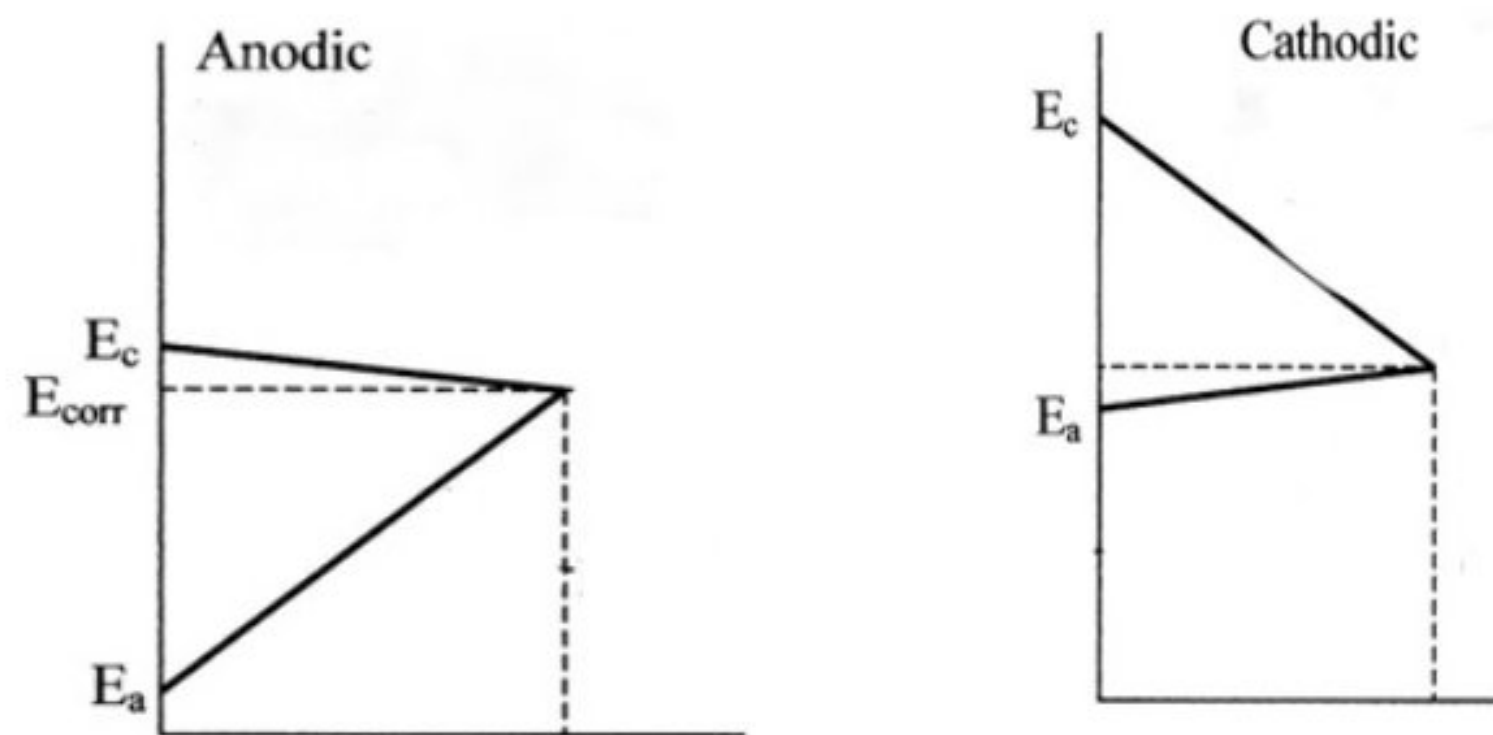
به عبارت دیگر؛ جریانی که در یک پیل الکتروشیمیایی بین آند و کاتد برقرار می‌شود بر پتانسیل الکترودها اثر می‌گذارد و با گذشت زمان و افزایش جریان، پتانسیل‌های آندی و کاتدی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. میزان تغییر پتانسیل ناشی از جریان ورودی یا خروجی از الکترودها را پلاریزاسیون می‌نامند. پتانسیلی که در آن کاتد و آند با یکدیگر به حالت تعادل برسند را پتانسیل خوردگی E_{corr} می‌گویند (شکل ۱-۱). در این نقطه، پتانسیل‌های آند و کاتد بسیار به یکدیگر نزدیک می‌شوند. مقدار جریان در نقطه پتانسیل را نیز سرعت خوردگی می‌نامند (Bard, Faulkner, 1980).



شکل (۱) منحنی حاصل از پلاریزاسیون (Baboian, 2005, p.236)

۲-۳-۱. تأثیر پلاریزاسیون بر سرعت خوردگی

پلاریزاسیون الکترودها و مقاومت الکترولیت موجب محدود شدن جریان حاصل از پیل می‌شود. در صورتی که پلاریزاسیون بیشتر در آند انجام شود، سرعت خوردگی از طریق آند کنترل می‌شود و به آن پلاریزاسیون آندی می‌گویند (شکل ۲-ب). در این حالت، پتانسیل خوردگی به پتانسیل کاتد نزدیک است. در مقابل، آنچه گفته شد چنانچه پلاریزاسیون کاتدی صورت گیرد، پتانسیل خوردگی به پتانسیل آند نزدیک‌تر است (شکل ۲-الف) (Perez, 2004).



لگاریتم دانسیته جریان (ب)

لگاریتم دانسیته جریان (الف)

شکل (۲-الف) پلاریزاسیون کاتدی، ب) پلاریزاسیون آندی (perez, 2004, p160)

۲-۴-انواع پلاریزاسیون

۲-۴-۱. پلاریزاسیون فعال سازی

این نوع پلاریزاسیون توسط عوامل بازدارنده‌ای که در واکنش وجود دارند، انجام می‌شود. آزاد شدن گاز هیدروژن در نتیجه کاهش هیدروژن را در نظر می‌گیریم. سرعت کاهش هیدروژن به غلظت یون هیدروژن، سرعت انتقال الکترون و دما بستگی دارد. در اسیدهای قوی که مقدار H^+ زیاد است، واکنش کاهش هیدروژن، واکنش کاتدی محسوب می‌شود. گاز هیدروژن تشکیل شده روی سطح کاتد را می‌پوشاند و مانع رسیدن یون‌های هیدروژن به آن می‌شود. به دلیل تشکیل لایه هیدروژن روی سطح کاتد، عمل پلاریزاسیون کاتدی انجام می‌گیرد و سرعت خوردگی کاهش می‌یابد. بنابراین در اسیدهای قوی، پلاریزاسیون فعال سازی عامل کنترل کننده می‌باشد (پور زرقان، ۱۳۸۹، ص ۳۰).

۲-۴-۲. پلاریزاسیون غلظتی

به دلیل کاهش یون‌های نزدیک سطح فلز سرعت انجام واکنش‌های الکتروشیمیایی کند می‌شود. در این صورت، سرعت واکنش توسط سرعت نفوذ یون‌های H^+ به سطح فلز کنترل می‌شود. در اسیدهای رقیق، محلول نمک و آب اکسیژن دار که غلظت یون‌های فعال در محلول کم است، سرعت خوردگی توسط پلاریزاسیون غلظتی کنترل می‌شود. در این حالت، به هم زدن محلول که سرعت نفوذ یون‌های فعال را افزایش می‌دهد، موجب کاهش پلاریزاسیون و افزایش سرعت خوردگی می‌شود. در حالی که در پلاریزاسیون فعال سازی، تلاطم و هم زدن تأثیری در پلاریزاسیون و سرعت خوردگی ندارد (Kelly, Scully, shoesmith, Buchheit, ۲۰۰۲).

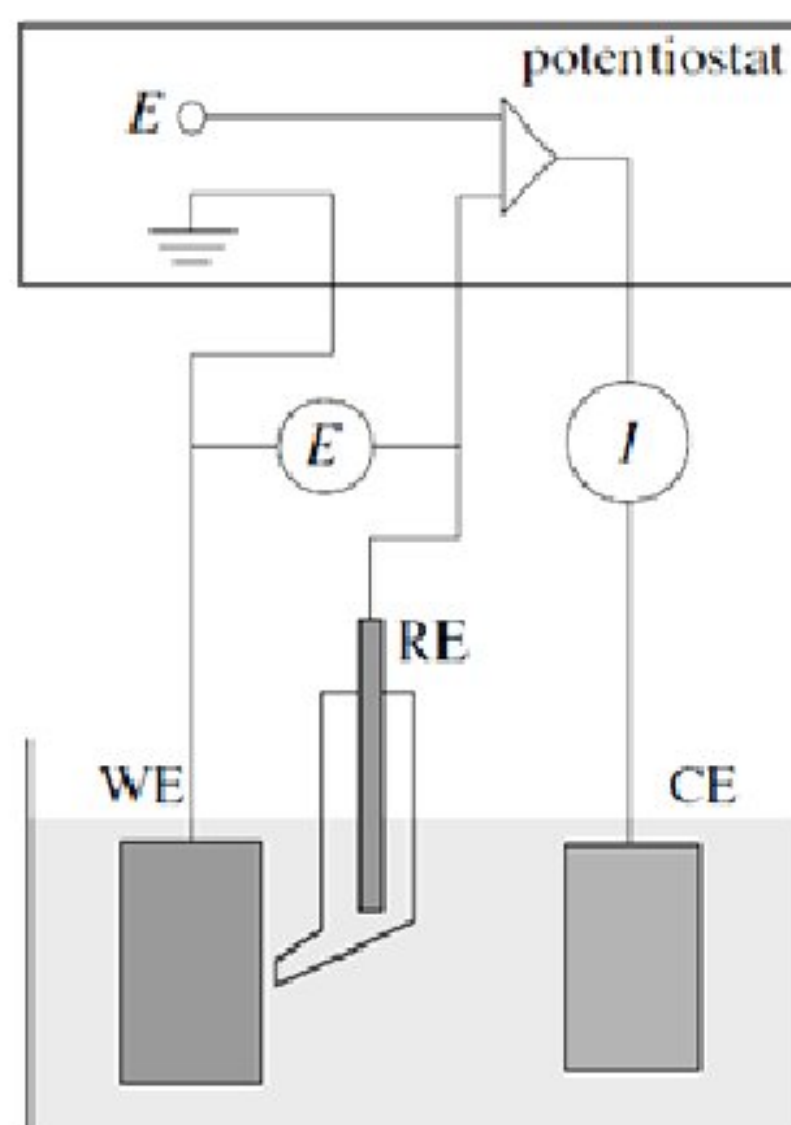
۲-۵. تعیین پتانسیل و سرعت خوردگی توسط اصول الکتروشیمی

از اولین نکاتی که در رابطه با خوردگی مطرح می‌شود، پتانسیل و سرعت خوردگی است که باید در هر مورد گزارش شود. در این راستا، به چگونگی دستیابی به موارد ذکر شده از طریق الکتروشیمی، دستگاه مربوطه و انواع بررسی‌ها می‌پردازیم.

۲-۶. معرفی دستگاه پتانسیو استات

دستگاه پتانسیو استات در واقع هنر استفاده صحیح از علم الکتروشیمی است. این دستگاه قادر به تعیین ظریف‌ترین و مهم‌ترین نکات مورد نیاز در خوردگی محیط‌های آبی است. به کمک این دستگاه می‌توان اطلاعاتی نظیر پتانسیل و

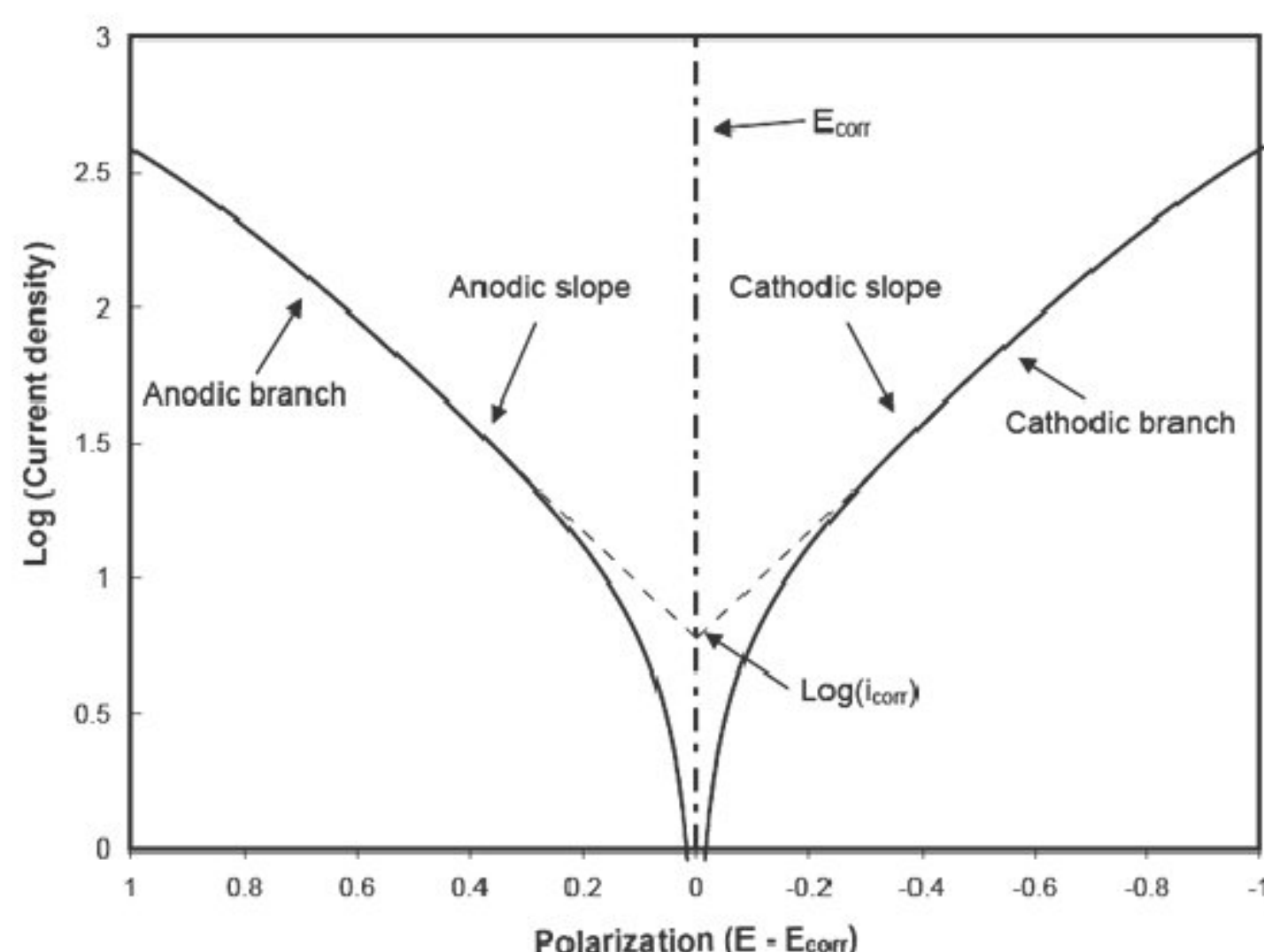
سرعت خوردگی، ضرایب بتای آندی و کاتدی، پتانسیل و دانسیته جریانی که در آن خوردگی حفره‌ای به وقوع می‌پیوندد را به‌دست آورد. در زیر چگونگی کار این دستگاه توصیف شده است (شکل ۳).



شکل (۳) - دستگاه پتانسیواستات با الکتروود کاری، الکتروود مرجع و الکتروود کمکی (Landolt, ۲۰۰۷p ۳۵).

الکتروود کاری WE، نمونه خوردگی می‌باشد (به عبارت دیگر ماده مورد بررسی). الکتروود کمکی AE یا مخالف از ماده‌ای ساخته می‌شود که واکنش‌های الکتروشیمیایی اکسیداسیون یا احیا مواد واکنشگر موجود در الکتروولیت بتواند به راحتی روی آن انجام شود اما خودش خورده نشده و موجب آلودگی الکتروولیت هم نشود. AE معمولاً از پلاتین و گرافیت چگال ساخته می‌شود. الکتروود مرجع RE الکتروودی است^(۱) که دارای پتانسیل ثابت است و پتانسیل WE توسط یک الکترومتر نسبت به این پتانسیل ثابت اندازه‌گیری می‌شود. الکترومتر یک ولتمتر با امپدانس بسیار بالا (بیشتر از 10^{14} اهم) می‌باشد که میزان جریان عبوری از آن قابل چشم‌پوشی است به گونه‌ای که بر روی پتانسیل RE و WE تأثیر نمی‌گذارد. پتانسیواستات یک منبع تغذیه جریان مستقیم dc با سرعت بالای پاسخگویی است که پتانسیل WE را نسبت به RE در یک مقدار ثابت (از پیش تعیین شده یا لحظه‌ای) نگه می‌دارد، هر چند ممکن است جریان خروجی مدار، I_{ex} ، به مقدار زیادی تغییر کند. هنگامی که اتصال پتانسیواستات از نمونه خوردگی WE قطع می‌شود، شرایط مدار باز یا سل باز برقرار گشته و WE آزادانه خورده می‌شود و پتانسیل اندازه‌گیری شده، پتانسیل مدار باز خوردگی، E_{corr} ، است که البته در این حالت جریان خروجی مدار صفر است $I_{ex}=0$ پتانسیواستات می‌تواند به گونه‌ای تنظیم شود که WE را به صورت آندی و یا کاتدی پلاریزه کند. واکنش خالصی که روی سطح WE انجام می‌شود در حالت آندی، اکسیداسیون (الکترون‌ها سطح WE را ترک می‌کنند) و در حالت کاتدی، احیا (الکترون‌ها در WE مصرف می‌شوند) می‌باشد.

با مراجعه به مدار پتانسیواستات بالا، تعیین یک منحنی پلاریزاسیون معمولاً با اندازه‌گیری پتانسیل خوردگی مدار باز، E_{corr} ، شروع می‌شود تا زمانی که به مقدار پایدار برسد (به عنوان مثال کمتر از یک میلی‌ولت تغییر در یک مدت زمان ۵ دقیقه‌ای). سپس پتانسیواستات برای کنترل در E_{corr} تنظیم می‌شود و به سل پلاریزاسیون وصل می‌شود. آنگاه پتانسیل به طور پیوسته یا پله‌ای تنظیم می‌شود و با کنترل تغییرات پتانسیل - زمان WE همزمان I_{ex} نیز اندازه‌گیری می‌شود. اگر پتانسیل لحظه‌ای به طور پیوسته افزایش یابد، منحنی پلاریزاسیون آندی به دست می‌آید و بر عکس اگر پتانسیل به طور پیوسته کاهش یابد، منحنی پلاریزاسیون کاتدی ایجاد می‌شود (شکل ۴- (باچان، انگس، ۱۹۳۰).



شکل (۴) - پلاریزاسیون فرضی با رفتار تافل برای سیستم فعال با شاخه های آندی و کاتدی (Ahmad 2008,p100)

۷-۲. برون یابی تافل

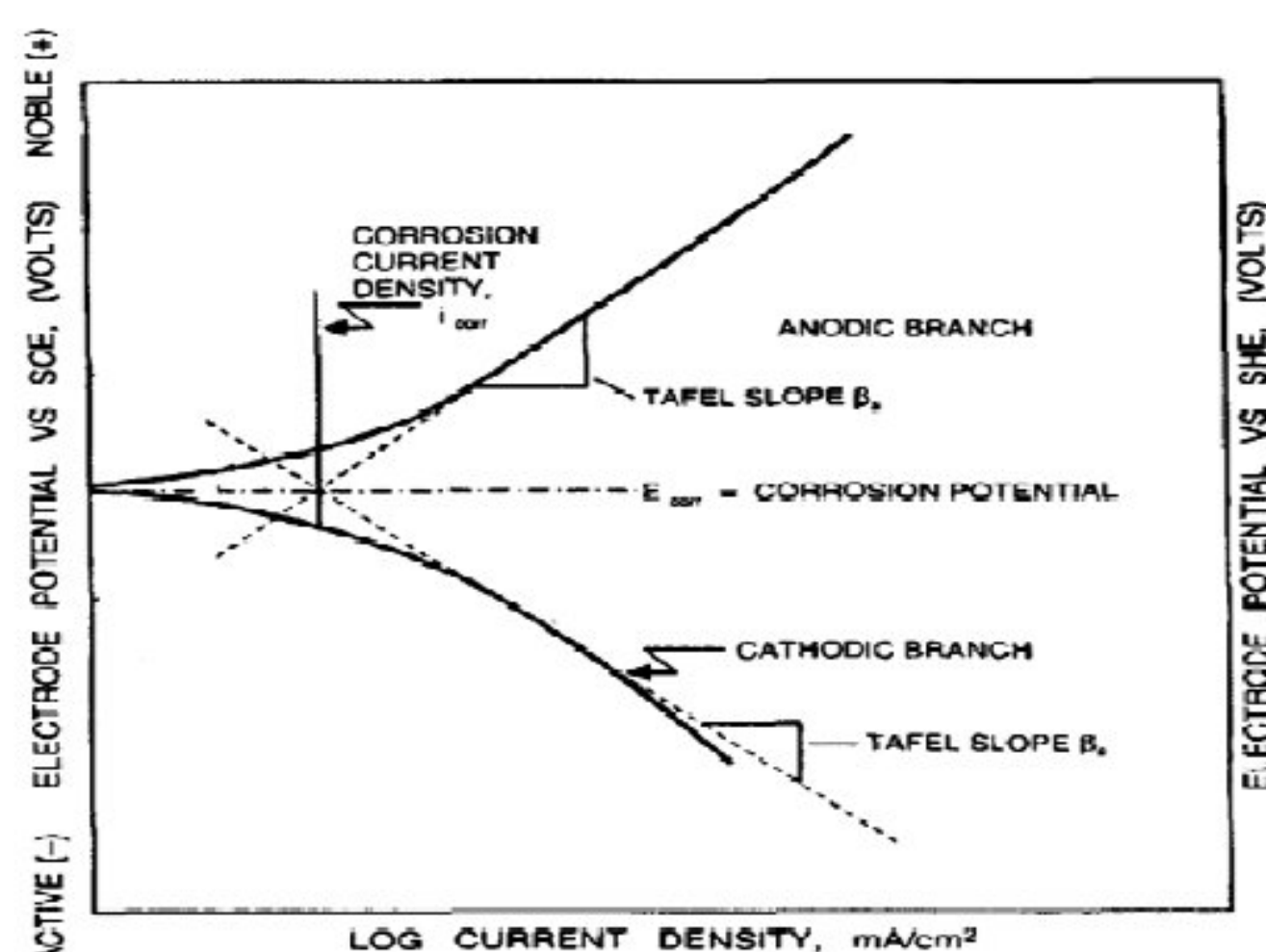
این روش برای اندازه گیری سرعت خوردگی i_{corr} استفاده می شود. با استفاده از این روش، می توان شیب های تافل

a و b را محاسبه نمود و با در اختیار داشتن این دو پارامتر و مقاومت پلاریزاسیون R_p سرعت خوردگی را می توان به دست آورد. معادله ای که در این خصوص وجود دارد، تافل نام دارد که به صورت زیر است.

$$a + b \log I = \eta \quad \text{معادله (۱)}$$

در این معادله، η مقدار پلاریزاسیون، I جریان و a و b ضرایب ثابت می باشند. برای تهیه یک منحنی تافل، پیمایش پتانسیل باید از یک پتانسیل منفی مثلاً -250 میلی ولت نسبت به پتانسیل خوردگی شروع و تا یک پتانسیل نهایی مثبت نسبت به پتانسیل خوردگی E_{corr} مانند $+250$ میلی ولت ادامه یابد. در این قسمت، اول منحنی کاتدی تافل و در بخشی بعدی منحنی آندی تافل به دست می آید. معمولاً سرعت پیمایش باید در حد $1/0$ میلی ولت بر ثانیه باشد. منحنی نهایی به صورت پتانسیل اعمالی بر حسب لگاریتم دانسیته جریان رسم می شود. برای تعیین مقدار سرعت خوردگی، باید قسمت خطی منحنی تافل (آندی یا کاتدی) را ادامه داد تا خط افقی عبور کرده از E_{corr} را قطع کند. منحنی تافل در شرایط ایده آل فقط در محدوده ای خاص به صورت خطی می باشد. برای شاخه کاتدی تافل این محدوده معمولاً بین -50 تا -250 میلی ولت نسبت به پتانسیل خوردگی می باشد. به طور مشابه برای شاخه آندی تافل این محدود بین $+50$ تا $+250$ میلی ولت نسبت به پتانسیل خوردگی خواهد بود. مقدار سرعت خوردگی از تقاطع امتداد خطی منحنی تافل و خط افقی عبور کرده، از پتانسیل خوردگی به دست می آید. در صورتی که در آزمایش انجام شده هر دو منحنی آندی و کاتدی تافل رسم شوند، امتداد نواحی خطی هر دو منحنی باید یکدیگر را در امتداد خط موازی محور افقی که از پتانسیل خوردگی می گذرد، قطع نمایند. در غیر این صورت، احتمال دارد که یکی از واکنش های آندی یا کاتدی تحت تأثیر مکانیزم پیچیده ای قرار داشته باشد. در این موارد می توان از خطی ترین قسمت منحنی تافل برای تعیین پتانسیل خوردگی استفاده نمود. شیب خطوطی که به روش های ذکر شده رسم می شوند را

ثابت‌های تافل می‌نامند (شکل-۵). شیب خط آنودی را با a و b_a و شیب خط کاتدی را با a و b_c نمایش می‌دهند (Baboian, 2005).



شکل (۵)- منحنی تافل با شیب خط آنودی a و b_a و شیب خط کاتدی a و b_c نمایش داده شده است (baboian, 2005, p110)

۲-۷-۱. استفاده از پارامترهای سینتیکی استخراج شده از منحنی‌های تافل در تفسیر عملکرد بازدارنده‌ها روی فلز

پارامترهای سینتیکی از قبیل دانسیته جریان خوردگی I_{corr} ، پتانسیل خوردگی E_{corr} و شیب خط‌های تافلی b_a و b_c را می‌توان از منحنی‌های تافل استخراج نمود. مقایسه مقادیر پارامترهای حاصل از بررسی خوردگی برنز در محلول شاهد نسبت به مقادیر مربوط به محلول حاوی بازدارنده، راهی برای درک بهتر چگونگی عملکرد بازدارنده بر روی سطح فلز خواهد بود. لذا در این قسمت چگونگی استفاده از این پارامترهای مذکور در تفسیر نتایج تجربی حاصل از بررسی بازدارنده‌های خوردگی روی سطح برنز به اختصار آورده شده است.

۲-۷-۲. دانسیته جریان خوردگی

از مقایسه دانسیته جریان خوردگی حاصل از خورده شدن فلز در محلول شاهد نسبت به محلول حاوی بازدارنده، درصد بازدارندگی بازدارنده‌ها با استفاده از رابطه (۲) زیر محاسبه می‌گردد.

$$IE_p(\%) = (1 - (I_{corr}/I_{corr}^0)) \times 100 \quad (2)$$

در رابطه بالا I_{corr}^0 و I_{corr} به ترتیب دانسیته‌های جریان خوردگی در غیاب و در حضور بازدارنده‌ها است.

۳- نتیجه‌گیری

اصول الکتروشیمیایی در روند مطالعات خوردگی فلزات در آثار تاریخی می‌تواند نقش بسیار مهمی در ارایه راهکارهای حفاظتی و مرمتی داشته باشد. در این مقاله، روش‌های ابتدایی از اصول الکتروشیمی همچون پلاریزاسیون و انواع آن، معرفی دستگاه پتانسیو استات و داده‌هایی همچون دانسیته جریان خوردگی I_{corr}^0 ، پتانسیل خوردگی E_{corr} و برون‌یابی تافل که با استفاده از آن می‌توان سرعت خوردگی (سینتیک خوردگی) را اندازه گرفت، بررسی شده است. این‌ها اصول و پارامترهایی هستند که با استفاده از آن‌ها می‌توان ماده‌ای را برای ارزیابی و آزمایش‌های اولیه به‌عنوان یک بازدارنده در آثار تاریخی فلزی معرفی نمود. در صورت مثبت بودن ماده به‌عنوان بازدارنده در آزمایش‌های بعدی از جمله قرار دادن آن در محوطه رطوبت‌ساز، کهنه‌سازی کوپن‌ها و روش کاهش وزن مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در مرحله آخر،

بازدارنده به مدت چند ماه روی نمونه‌های تاریخی مطالعاتی برای نتیجه نهایی قرار می‌گیرد. اما در بحث بازدارندگی برای آثار فلزی باید از ماده‌ای استفاده شود که تغییررنگی زیادی در محصولات خوردگی ایجاد ننماید و حتی‌المقدور در دسترس و برگشت‌پذیر باشد. همچنین نکات زیست‌محیطی ماده را باید مورد توجه قرار داد.

پی نوشت

۱. عمده ترین عیب نیم پیل های اشباع از نمک آن است که پتانسیل آن ها به تغییرات دما حساس تر است زیرا قابلیت انحلال نمک وابسته به دماست و در نتیجه، غلظت یون Cl^- های فلزی در تماس با الکتروود فلز نیز وابسته به دما خواهد بود. در این باره باید گفت حساسیت پتانسیل نیم پیل های غیراشباع به دما کمتر است.

الکتروود مرجع معمولاً از لوله های شیشه ای که الکتروود فلز مرجع و الکتروولیت را در خود جای می دهند ساخته می شوند. در انتهای لوله باید یک منفذ وجود داشته باشد تا ارتباط بین الکتروولیت پیل مرجع و محیط آبی سیستم تحت آزمایش برقرار شود. این منفذ باید به اندازه کافی بزرگ باشد تا جریانی که معمولاً کمتر از 10^{-12} A می باشد به راحتی عبور کرده و اندازه گیری شود. اما از طرف دیگر باید آن قدر این منفذ کوچک باشد تا میزان آلودگی الکتروولیت ها در اثر نفوذ به حداقل برسد. چنین منافذی در الکتروود مرجع، از طریق ذوب کردن شیشه اطراف فیبر آریست و ایجاد ترک های کنترل شده در انتهای شیشه ی لوله ای و یا به کمک سوراخ گیری های شیشه ای حاوی منافذ بسیار ریز بوجود می آیند. حسن نیم پیل های اشباع (به عنوان مثال KCl اشباع در مقایسه با KCl 1N) آن است که غلظت آنیون و در نتیجه پتانسیل نیم پیل آن ها به راحتی ثابت می ماند. در پیل های اشباع KCl، غلظت یون Cl^- ثابت می ماند و بنابراین غلظت ثابتی از یون های Hg_2^{2+} از طریق تعادل با Hg_2Cl_2 در محلول باقی میماند. در پیل های اشباعی همچون Cu/CuSO_4 غلظت یون فلز توسط مقدار اضافی نمک جامد در تماس با الکتروولیت ثابت می ماند. این پیل ها دارای محاسن زیر می باشند.

- تبخیر آب از پیل توسط ترسیب نمک جامد اضافه جبران می‌شود.

- افزودن یا حذف یون های فلز به دلیل عبور جریان از الکتروود فلز توسط ترسیب یا انحلال نمک جامد جبران می‌شود. گرچه این عامل به Cl^- ندرت در نظر گرفته می شود.

- در آماده سازی الکتروولیت فقط لازم است که مقداری نمک جامد اضافه در آن وجود داشته باشد.

۴. منابع

استنزی، ای.ای. باچان ر.ا، ۱۳۸۲، اصول خوردگی الکتروشیمیایی، احتشام زاده مریم، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، چاپ اول.
پاشایی فرد مقدم، فاطمه، ۱۳۵۴، خوردگی فلزات و آلیاژها، انتشارات دانشگاه تهران.
پور زرقان، وحید، ۱۳۸۹، بررسی و امکان استفاده از عسل به عنوان بازدارنده خوردگی در حفاظت اشیا برنزی تاریخی، پایان نامه Cl^- کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی دانشگاه هنر اصفهان.

Ahmad. Z, 2006, principles of corrosion engineering and corrosion control, Elsevier Science & Technology Books

Baboian. Robert, 2005, Corrosion Testing and Astandards. p41.

Bard. A. j. Faulkner. L. R. 1980. Electrochemical methods, back cover. New Yourk: Wiley.

Dom'enech-Carb'ó. A, Dom'enech-Carb'ó. M.T, Costa. V, 2009, Electrochemical Methods in Archaeometry, Conservation and Restoration, springer

Galtayres. A, Mongiatti. A and Marcus. P, 2007, Surface characterisation of corrosion inhibitors on bronzes for artistic casting, Corrosion of

Kelly. R.G, Scully. J. R, Shoesmith. D.W, Buchheit. R.G, 2002, Electrochemical Techniques in Corrosion Science and Engineering, Marcel Dekker, New York Basel.

Leyssens. K, adriaens. A, Patos. E, Degring. C, 2004, Study of corrosion potential measurements as a means to monitor the storage and stabilisation processes of archaeological copper artefacts, National Museum of Australia Canberra ACT

metallic heritage artefacts Investigation, conservation and prediction for long-term behavior, Published for the European Federation of Corrosion by Woodhead Publishing and Maney Publishing on behalf of The Institute of Materials, Minerals & Mining

Perez, Nestor, 2004, electrochemistry and corrosion science, kluwer academic publisher

پاکسازی چسب‌ها و پوشاننده‌های آثار آهنی با استفاده از لیزر Nd: YAG و TEA CO₂

نویسنده: سوکو. وای^(۱)

مترجم: معصومه تفرشی

چکیده

پاکسازی دقیق و انتخابی پوشاننده‌ها و آلودگی‌های سطحی می‌تواند از طریق به‌کارگیری لیزرهایی با طول موج مناسب انجام گیرد. در این مطالعه، لیزرهای Nd: YAG و TEA CO₂ برای پاک کردن چسب‌ها و پوشاننده‌های قدیمی آثار آهنی بررسی شده است. این تکنیک به طور گسترده‌ای می‌تواند به پاکسازی دقیق لایه‌های پوشاننده‌های قدیمی بدون آسیب‌رسانی به لایه‌های فلزی زیرین بپردازد. این تست روی نمونه‌های مختلف با استفاده از لیزر Nd:YAG با طول موج‌های ۵۳۲nm و ۱۰۶۴nm و لیزر TEA CO₂ با طول موج ۱۰۶۰۰nm انجام شد. نمونه‌های آزمایش با تعدادی از چسب‌ها و پوشاننده‌های مورد استفاده در مرمت آماده شده و با استفاده از این سه لیزر تمیز شدند. نتایج با روش میکروبلاستینگ مقایسه شد. مقایسه سطح تمیز شده با لیزر نیز توسط میکروسکوپ نوری و رامن انجام گرفت. مطالعات نشان داد که بهترین نتیجه با لیزر TEA CO₂ بدون آسیب به لایه زیرین حاصل گردید. سطح اصلی زیرین حفظ شده و ذرات دوباره ته‌نشین شده به‌آسانی بعد از درمان با لیزر با بیستوری یا برس پاک شدند.

۱. مقدمه

خوردگی آثار فلزی باستانی به سرعت بعد از حفاری اتفاق می‌افتد به‌خاطر وجود رطوبت و اکسیژن در محیط با اجزاء موجود در آثار، واکنش شیمیایی انجام می‌گیرد. در طول این پروسه، محصولات خوردگی در داخل و بر سطح اشیا تشکیل می‌گردد. به دلیل این تغییرات، آثار شکننده و متخلخل می‌گردند. استفاده صحیح از یک شیوه مرمتی مناسب ضروری است تا هم مواد اصلی و هم اطلاعات ساختاری جزئی روی سطح آثار حفظ گردد. آثار آهنی باستانی معمولاً با یک واکس به عنوان بخشی از درمان حفاظتی پوشیده می‌شوند تا در مقابل رطوبت و گردوغبار محیط حفظ شوند. انواع مختلفی از چسب‌ها استفاده می‌شوند تا بخش‌های شکسته شده را به هم بچسبانند. همچنین باید توجه داشت که درمان‌ها بدون مشکل نیستند. اگرچه پاک کردن چسب‌ها و پوشاننده‌های قدیمی مشکل است اما بدون کاربرد این مواد، ممکن است بعضی ارزش‌های باستان‌شناسی‌شان از بین برود. پروسه گذر زمان، قابلیت حل آن مواد را در حلال‌های آلی تغییر می‌دهد که ممکن است تمیزکاری شیمیایی مشکل و یا غیرعملی شود. در چنین مواردی، روش‌های مکانیکی همچون میکرو بلاستینگ با شن یا دیگر ساینده‌ها استفاده می‌گردد. اما این روش می‌تواند منجر به آسیب یا تمیزکاری بیش از حد سطح گردد، چرا که کنترل روش میکرو بلاستینگ مشکل و با دقت کم است.

استفاده از لیزر یکی از تکنیک‌هایی است که بر شمار وسیعی از مشکلات مرمت تست شده است و یکی از اولین مراحل عملیات، تبخیر یک ماده جاذب نوری به صورت انتخابی از یک سطح بازتابی است که پاک‌کن لیزری نامیده می‌شود. پاک‌کن لیزری در سال ۱۹۶۰ توسط آرتور اسپولو توسعه داده شد. در سال ۱۹۷۰ تمیزکاری سطح یک مجسمه مرمری با استفاده از لیزر توسط جان آسموس و محققان مرمتی انجام شد. پس از چنین آزمایش‌هایی بود که لیزرها برای مرمت و به‌منظور پاکسازی مواد مختلف استفاده شدند. هرچند تاکنون کاربردهای اندکی از تمیزکاری لیزر برای آثار فلزی

گزارش شده، اما لیزر دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی است؛ همچون توانایی تأثیر بیشتر نور لیزر، قابل پیش‌بینی بودن و تمیز کردن آثار ظریف فلزی با کمترین آسیب می‌باشد. مزیت لیزرها نسبت به روش‌های سنتی عبارت‌اند از:

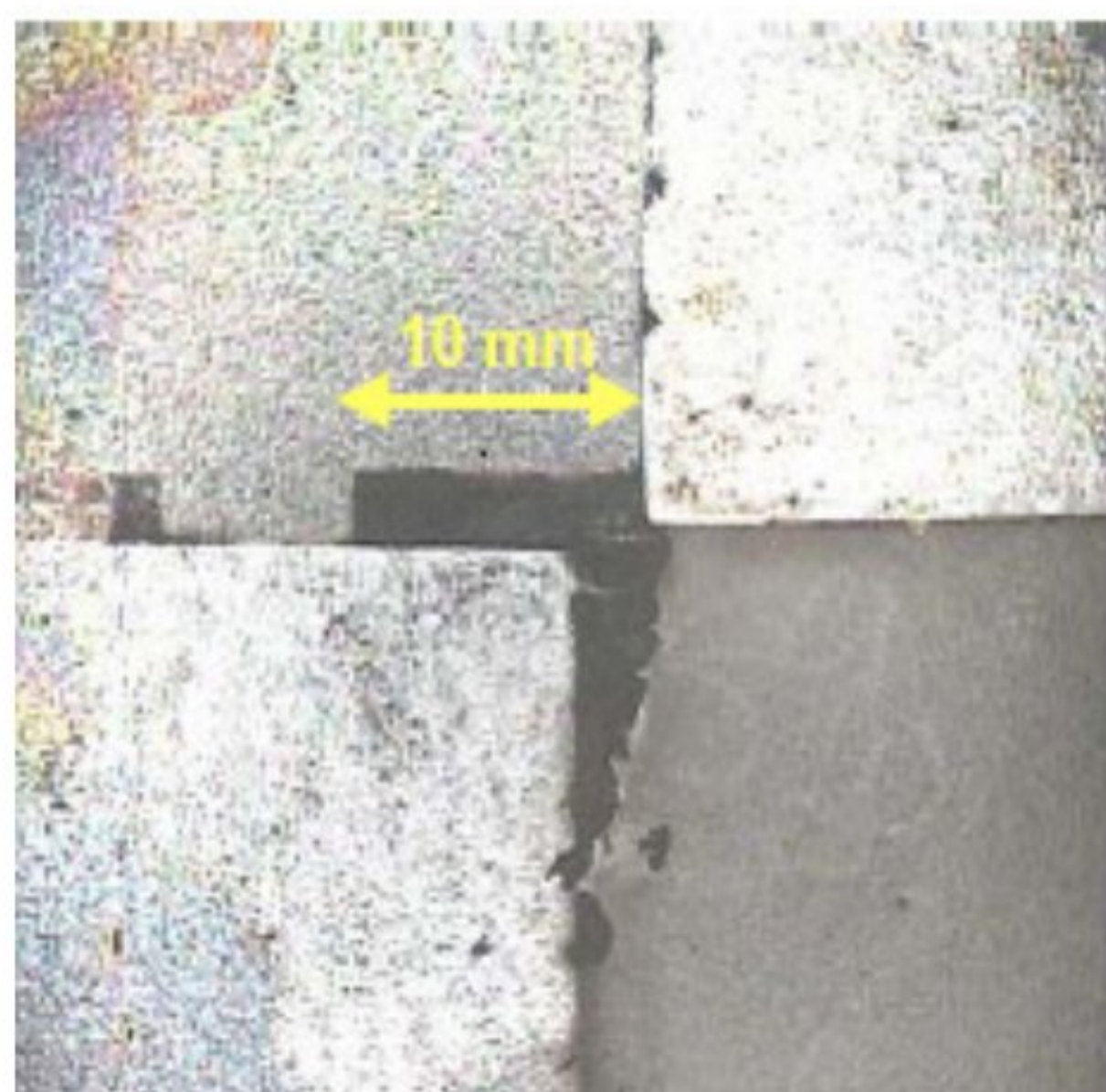
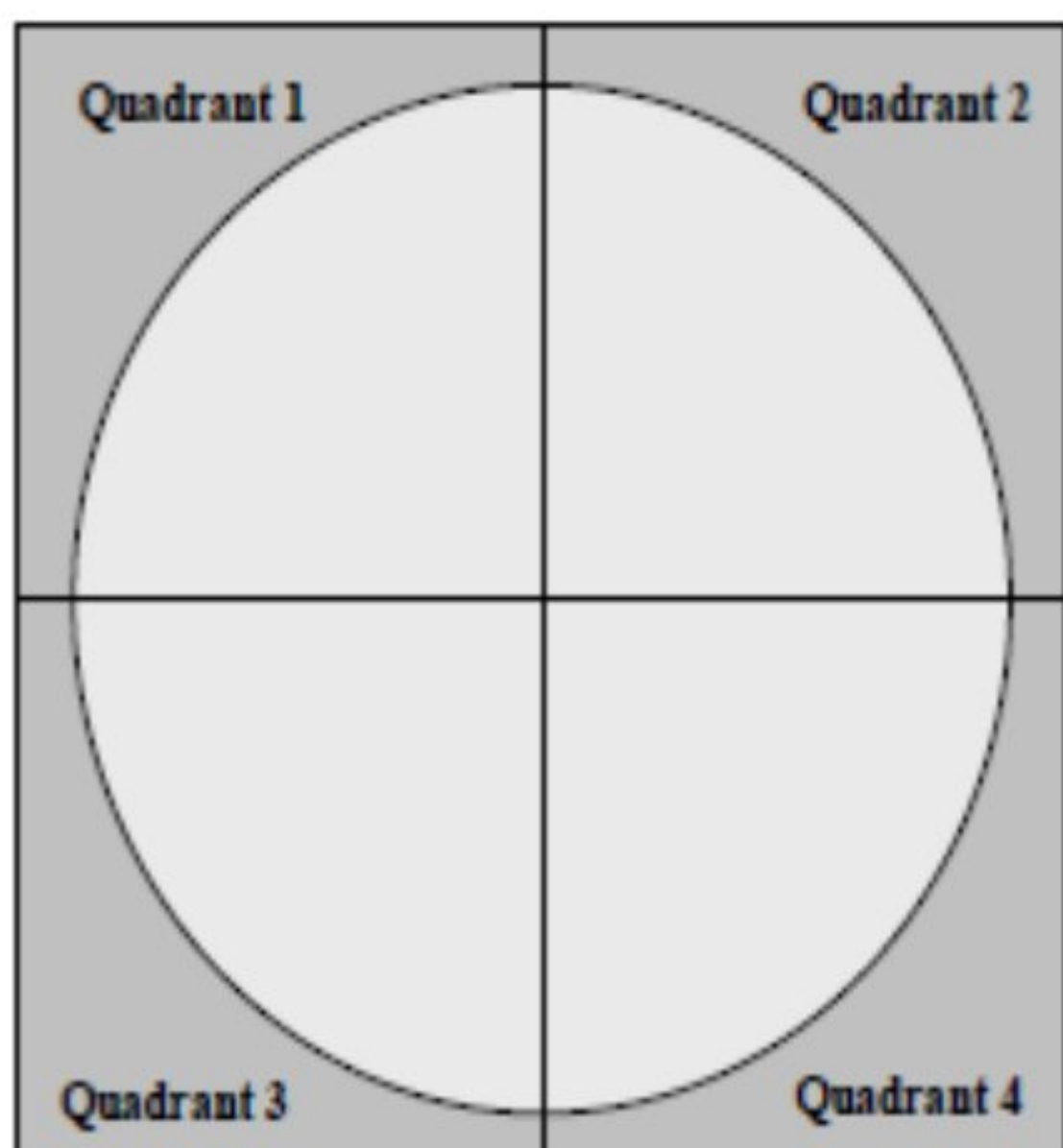
باقی نگذاشتن اثر شیمیایی بر اشیاء و محیط که برای مرمتگر هم ایمن می‌باشد. انرژی به صورت نور آزاد می‌شود و هیچگونه آسیب یا فرسودگی ایجاد نمی‌کند. پروسه پاکسازی تنها بر پوشاننده سطح انجام می‌شود در حالی که برجستگی‌های سطح حفظ می‌شوند. این تکنیک با تغییر شدت، طول موج و تمرکز قابل کنترل و انتخابی است. واقعیت این است که فلزات جذب کمی از نور لیزر مادون قرمز نشان می‌دهند که این ویژگی سبب می‌شود لیزر به وسیله‌ای مناسب برای تمیزکاری فلزات در طول مرمت تبدیل گردد.

۲. اقدامات آزمایشی

لیزرهای TEA CO₂ و Nd:YAG ابتدا روی صفحه‌های فولادی بدون خوردگی با چسب‌های مختلف مورد استفاده در مرمت، آماده شدند. این آزمایش‌ها اجازه می‌دهد تا انرژی دانسیته مطلوب برای هر چسب یا لیزر یافت شود. تأثیر این عمل بر لایه‌های زیرین نیز بررسی شد. داده‌ها و نتایج این مطالعات به‌عنوان مبنا برای بررسی‌های بعدی روی تأثیر پاکسازی اشیاء فلزی خورده شده‌ای که با انواع چسب‌ها و واکس‌ها پوشیده شده بودند، توسط هر سه لیزر مورد استفاده قرار گرفت.

۲-۱. آزمایش‌های نخستین - پاکسازی نمونه‌های بدون خوردگی

نمونه‌های بدون خوردگی با چند نوع چسب مختلف، چند روز قبل از پاکسازی پوشیده شدند. هر نمونه شامل صفحه‌های فولادی ۶۰×۶۰ میلی متری بود که با چسب‌ها به‌شکل دایره‌ای در مرکز صفحات پوشیده شد. نمونه‌ها به ۴ قسمت تقسیم شدند و هر قسمت با یک تکنیک درمان شد. ربع اول دایره با لیزر TEA CO₂، ربع دوم با Nd:YAG ۵۳۲ و ربع سوم با Nd:YAG ۱۰۶۴ و ربع چهارم نیز با میکرو بلاستینگ پاکسازی شد.



a) طرحی از صفحه‌های نمونه، ناحیه پوشیده شده از چسب - دایره مرکزی - و ۴ ربع دایره
b) یک نمونه صفحه تست شده که با چسب سیانواکریلات سیاه پوشیده و با ۴ روش تست شده است.

۲-۱-۱. پاکسازی نمونه‌های آزمایشی با لیزر TEA CO₂

آزمایش‌های نخستین با لیزر TEA CO₂ نیاز به یافتن فاصله مناسب از نقطه کانونی پرتو و انرژی دانسیته مناسب را داشت که مجموعه‌ای از ۸ فاصله مختلف تست شد. فواصل تابشی نزدیک به کانون پرتو سبب ذوب جزئی سطح شد، بنابراین استفاده از پرتو نامتمرکز ضروری بود تا از صدمه دیدن مواد جلوگیری کند. فاصله ۶۰ میلی‌متر یا ۷۰ میلی‌متر از مرکز، نتایج مطلوبی در بر داشت. این که چسب‌ها با اولین پالس پاک شوند تقریباً غیرممکن است، بنابراین چندین پالس ضروری می‌باشد.

۲-۱-۲. پاکسازی نمونه‌های آزمایشی با لیزر Nd:YAG در دو طول موج

شیوه مشابهی برای یافتن فاصله کانونی و انرژی دانسیته مناسب برای لیزر Nd:YAG نیز استفاده شد. بی‌رنگ شدن سطح در زمانی که انرژی دانسیته یا تعداد تکرار پالس‌ها بالا بود، اتفاق افتاد. به ربع دوم و سوم دایره انرژی دانسیته مطلوب با لیزر Nd:YAG ۵۳۲nm (نور سبز) و Nd:YAG ۱۰۶۴nm (مادون قرمز) تابیده شد. ۶ نوع چسب استفاده شدند که به‌استثنای سیانواکریلات سیاه، همه چسب‌ها در هر دو طول موج شفاف و نیمه‌شفاف بودند. چسب‌ها در همه موارد، پاک یا شکننده شده و به کمک دست پاک شدند. انرژی دانسیته مورد استفاده از ۵/۰-۲ j/cm بود چرا که بالاتر از این مقدار سبب ذوب سطح فلز می‌شود.

۲-۲. پاکسازی نمونه‌های دارای خوردگی و پوشش داده شده

انرژی دانسیته مطلوب برای هر پوشاننده توسط نمونه صفحه‌های فولادی پوشیده شده و دارای خوردگی آزمایشی مشخص شد و درجات مختلفی از پرتوهای نامتمرکز به‌وسیله تغییر فاصله و در نتیجه اندازه نقطه‌ای از متمرکز نمودن لنزها به‌دست آمد. برای لیزر TEA CO₂ فاصله مطلوب ۷۰+ میلی‌متر از مرکز و انرژی دانسیته در حدود ۷ j/cm می‌باشد.

جدول (۱)

فاصله از مرکز	۷۰+ میلی متر انرژی دانسیته ۷ j/cm
پارالوئید (HMG)B72	چسب‌ها با ۱ یا ۲ پالس پاک شدند
نیترات سلولز (Karlssons glue)	چسب‌ها با ۱ یا ۲ پالس پاک شدند
اپوکسی (Araldite)	در مجموع چسب‌ها پاک نشده و سطح هم تیره شد
ژل سیانواکریلات (Loctite 454)	چسب‌ها پوسته‌پوسته شده و پاک شدند
سیانواکریلات (Loctite 407)	بعد از چندین پالس چسب‌ها پوسته‌پوسته شده ولی در کل پاک نشدند
سیانواکریلات سیاه (Loctite 480)	چندین پالس لازم بود ولی در کل چسب‌ها پاک نشده و سطح تیره شد
واکس میکروکریستالین (Ter Hell 5495)	چسب‌ها با ۱ یا ۲ پالس پاک شدند
دی نیترو 4010 مایع	چسب‌ها با ۱ یا ۲ پالس پاک شدند
دی نیترو 29241 خمیر	چسب‌ها با ۱ یا ۲ پالس پاک شدند j/cm

جدول (۲)

۱.۹ j/cm	لیزر Nd:YAG (۵۳۲nm سبز)
چسب‌ها پاک شده، سطح فلز هم سیاه شده	پارالوئید (HMG)B72
چسب‌ها به راحتی پاک شده، همچنین سطح فلز سیاه شده	نیترات سلولر (Karlssons glue)
چسب‌ها پوسته پوسته شده، همچنین سطح فلز سیاه شده	اپوکسی (Araldite)
چسب‌ها پوسته پوسته شده، همچنین سطح فلز سیاه شده	ژل سیانواکریلات (Loctite 454)
سطح شیء تیره شده	سیانواکریلات (Loctite 407)
چسب‌ها پاک شده، سطح فلز هم سیاه شده	سیانواکریلات سیاه (Loctite 480)
سطح فلز تیره شده اما چسب‌ها پاک نشدند	واکس میکرو کریستالین (Ter Hell 5495)
سطح فلز تیره شده اما چسب‌ها پاک نشدند	دی نیترو ل 4010 مایع
سطح فلز تیره شده اما چسب‌ها پاک نشدند j/cm	دی نیترو ل 29241 خمیر

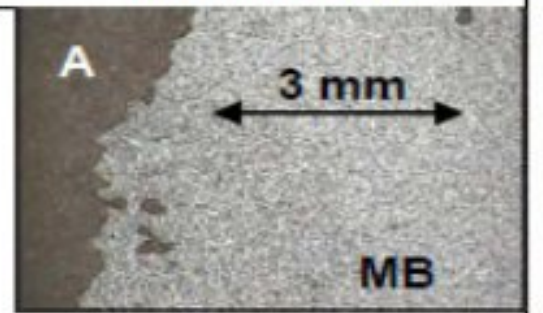
جدول (۳)

۰.۴-۲ j/cm	لیزر Nd:YAG (۱۰۶۴nm)
چسب بی رنگ و مات شده، سطح فلز ذوب شده	پارالوئید (HMG)B72
چسب بی رنگ و خشک شده	نیترات سلولر (Karlssons glue)
چسب بی رنگ شده ولی پاک کردن آن مشکل بود	اپوکسی (Araldite)
چسب بی رنگ شده و روی سطح باقی مانده، همچنین سطح ذوب شده	ژل سیانواکریلات (Loctite 454)
چسب بی رنگ شده و روی سطح باقی مانده، همچنین سطح ذوب شده	سیانواکریلات (Loctite 407)
چسب بی رنگ شده و به آرامی تقریباً پاک شده، ولی پوسته پوسته نشده	سیانواکریلات سیاه (Loctite 480)
در j/cm ۰.۵ چسب به آسانی پاک شده	واکس میکرو کریستالین (Ter Hell 5495)
در j/cm ۰.۴ چسب بی رنگ و پوسته پوسته شده	دی نیترو ل 4010 مایع
در j/cm ۰.۵ چسب به آسانی پاک شده، به مقدار جزئی سطح تیره شده	دی نیترو ل 29241 خمیر

۳. نتایج

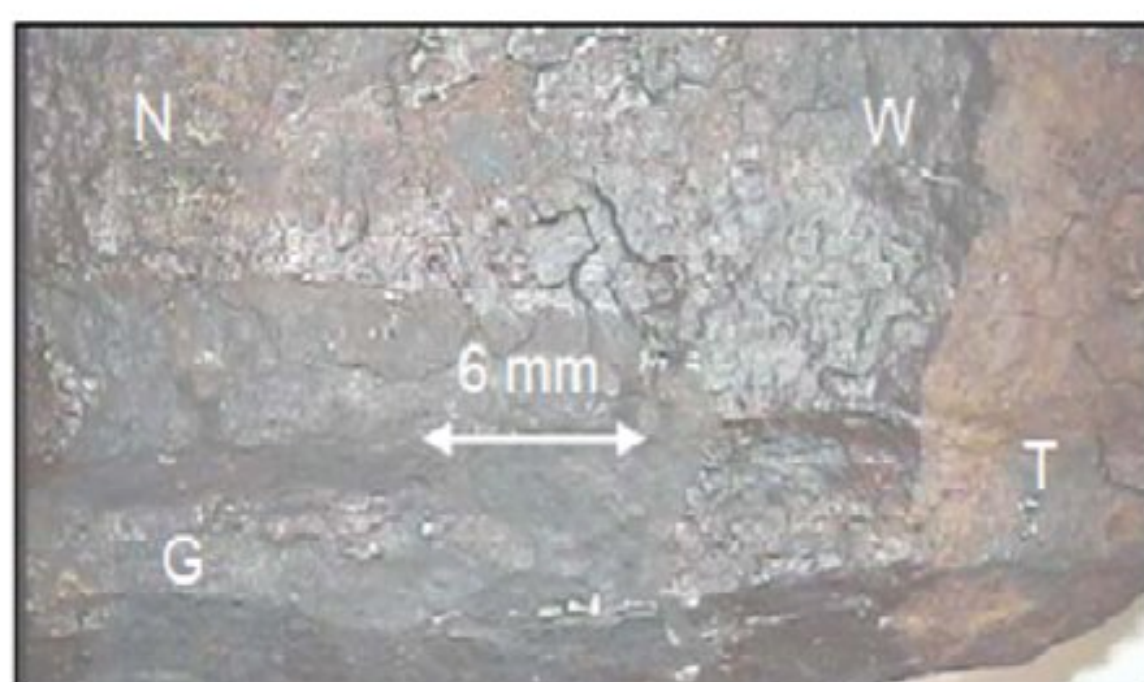
پاکسازی با لیزر TEA CO₂ بهترین نتایج را در برداشت. سطح نمونه‌های آزمایشی بعد از پاکسازی تمیز و درخشان بود اما به مقدار جزئی بی رنگ شدگی با حالتی رنگین کمانی مشاهده شد. این امر به خاطر تشکیل یک لایه شفاف و خیلی نازک اکسید بود که سبب تداخل نوری می‌گردد. رنگ‌های مشابه رنگین کمان بر سطح فلزاتی که اشعه به آنها تابیده نشده هم مشاهده شده است.

پاکسازی چسب‌ها از نمونه‌های آهنی خورده شده با استفاده از لیزر Nd:YAG، نتایجی مشابه با نمونه‌های آزمایشی خورده نشده داشت. چسب‌ها بی‌رنگ و پوسته‌پوسته شدند. سطوح اکسید شده به مقدار جزئی در انرژی دانه‌سسته بالا و یا بعد از چندین پالس تیره شدند. امکان استفاده از پالس‌های نزدیک مادون قرمز و نورمرئی سبز لیزر Nd:YAG برای تمیز کردن سطوح فلزی اکسید شده و درخشان، به نظر می‌رسد به‌خاطر خطر ذوب و نیز تیره شدن سطح به‌واسطه تغییرات دمایی و فتوشیمیایی همچنین تأثیرات دی‌هیدراته شدن محدود شده‌اند.

a. TEA CO ₂ laser	b. Nd:YAG Green laser	c. Nd:YAG Infrared laser	d. Micro blast
			
O. Original metal surface T. Cleaned by TEA CO ₂ laser	G. Cleaned by Nd:YAG laser 532 nm (green) A. Remains of araldite after cleaning	A. Remains of araldite after cleaning N. Cleaned by Nd:YAG laser 1064 nm	A. Remains of araldite after cleaning MB. Cleaned by Micro Blast

نمونه‌های آزمایشی پوشش داده شده با آرالدیت

قسمت شکسته شده از ظرف چدنی قدیمی، با واکس میکروکریستالین پوشیده شده



N- لیزر Nd: YAG در طول موج ۱۰۶۴ nm

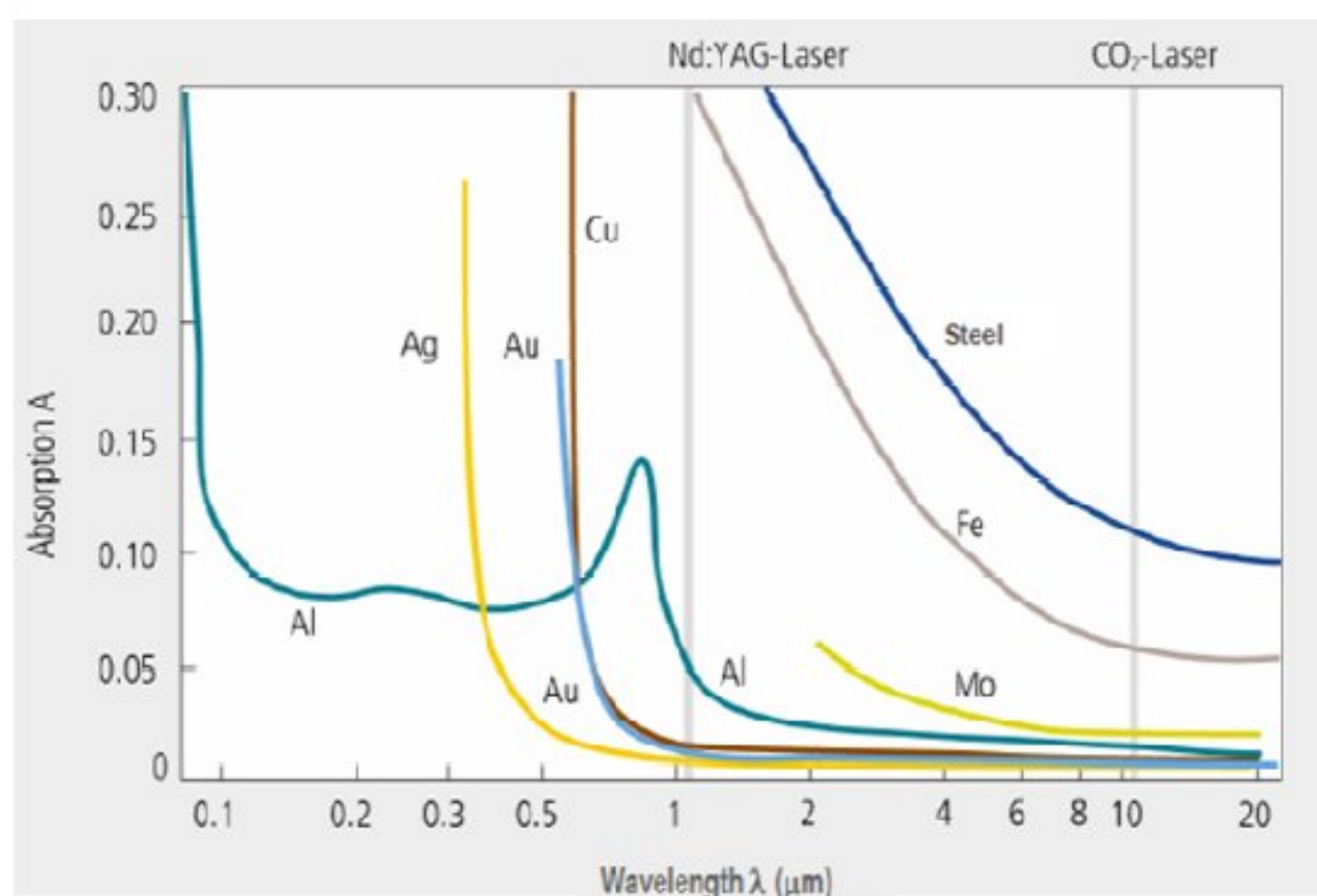
G- لیزر Nd: YAG در طول موج ۵۳۲nm

W- بخش پوشیده شده با واکس میکروکریستالین

T- لیزر TEA CO₂

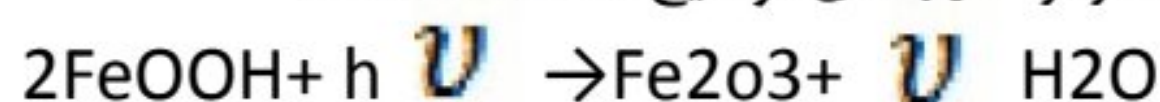
۴. بحث

لیزر TEA CO₂ (AlltecAllmark 870) با اشعه ساطع شده در طول موج ۱۰۶۰۰nm در پالس‌های کوتاه، در طول ۱۰۰-۱۰۰۰ نانو ثانیه و با انرژی ۲-۴ ژول در تکرار سرعت ۲۰Hz استفاده گردید. در تصویر زیر می‌توان دید که در طول موج ۱۰۶۰۰ اغلب فلزات جذب کمی داشتند هرچند مواد پوشاننده‌ی ارگانیک، جذب بالایی در این طول موج نشان می‌دهند. به همین دلیل، لیزر TEA CO₂ مناسب‌ترین شیوه برای پاکسازی آثار فلزی است.



ویژگی جذب فلزات مختلف در طول موج‌های مورد استفاده، در این تصویر نشان داده شده‌اند. از آنجایی که آنها دارای جذب کمی در سطح فلز هستند، لیزرهای با طول موج بلند، در این مورد TEA CO_2 - احتمال آسیب کمتری به آثار فلزی دیده می‌شود. به عبارت دیگر، ترکیبات آلی جذب بالایی در دور از مادون قرمز دارند اما در نور مرئی و نزدیک به مادون قرمز نیمه شفاف یا انتقال یافته هستند.

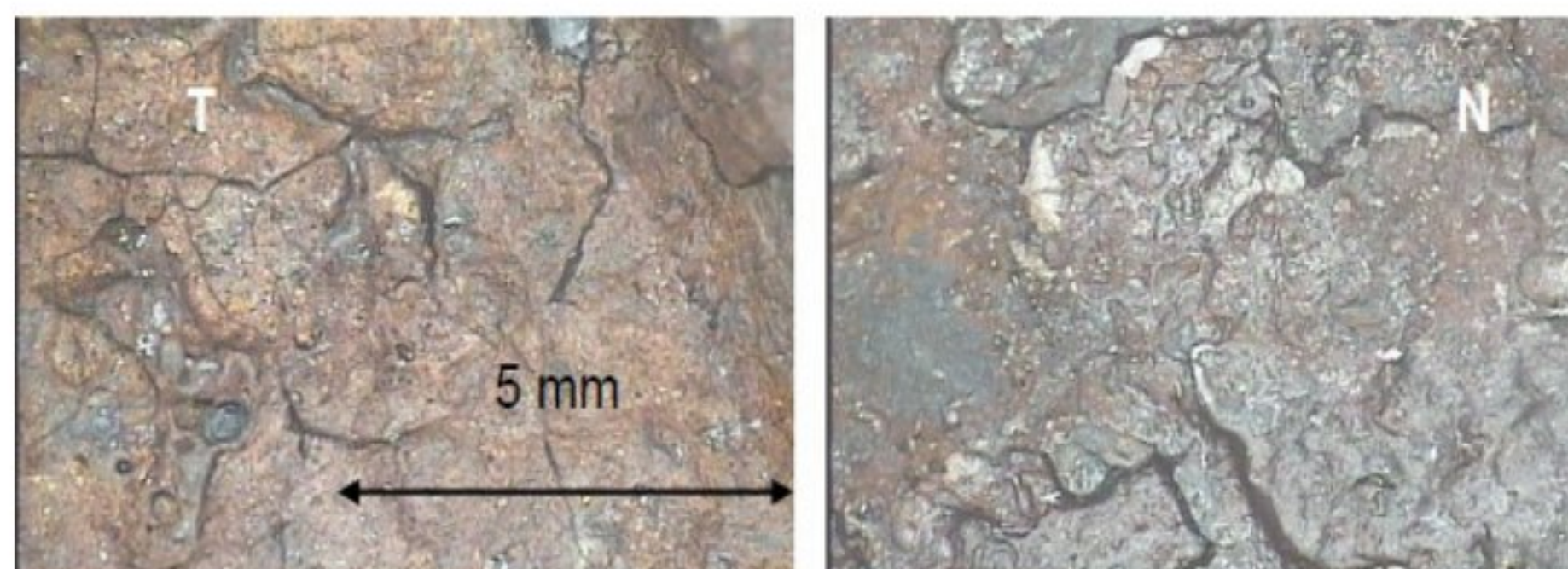
جذب اشعه در ترک‌های آلی به دلیل واکنش فوتون‌ها با رادیکال‌های مختلف می‌باشد. فوتون‌های لیزر TEA CO_2 با انرژی $E = h\nu = 0.116 \text{ eV}$ رادیکال‌های OH ، CH ، CN را تحریک کرده و سبب گرم شدن و تبخیر ترکیبات می‌شوند. اگر انرژی دانسیته خیلی بالا باشد، حتی سطوح با جذب پائین هم تحت تأثیر قرار خواهند گرفت. این حالت در بعضی از تست‌ها مشاهده شد. اشعه می‌تواند سبب سیاه‌شدگی بر سطوح خورده شده، گردد؛ اما فقط با تکرار پالس‌ها و دانسیته بالا. مکانیزم واکنش با دی هیدراته شدن زنگ قرمز - قهوه ای توضیح داده شده است:



در دانسیته‌های بالاتر، اکسیدهای آهن متفاوتی تشکیل شده که دمای ذوب‌شان پائین‌تر از دمای آهن فلزی است، که ذوب شوند. با این اتفاق، شکل کوچک گوی‌مانندی می‌تواند روی سطح تشکیل گردد. که چنین وضعیتی غیر ممکن نیست. لیزر TEA CO_2 حساسیت کمتری نسبت به خطاهای اپراتور در هنگام حفاظت و تمیزکاری آثار آهنی دارد. تجزیه شیمیایی و گرمایی‌ای که ممکن است اتفاق افتد، سبب آسیب جبران‌ناپذیر سطح می‌شود. برای همه لیزرهای تست شده، این مورد صادق است اما به احتمال زیاد در طول موج‌های کوتاه اتفاق می‌افتد.

۱-۴. لیزر Nd:YAG در طول موج IR و Green

لیزر Nd:YAG در مدت زمان کوتاه ۱۰ نانوثانیه، پالس‌هایی با انرژی ۰.۵ ژول در طول موج مادون قرمز ۱۰۶۴ و ۰.۲۵ ژول در طول موج سبز ۵۳۲ نانومتر ساطع شد. سرعت تکرار پالس بالاتر از ۱۰ HZ بود. انرژی فوتون پرتوهای IR و به- ترتیب در حدود 1.8 eV و 2.36 eV است واکنش نور سبز و نزدیک مادون قرمز با فلزات و پوشاننده‌های آلی کاملاً با تابش لیزر TEA CO_2 متفاوت است. هر دو نور نزدیک مادون قرمز و نور مرئی از کل سطح پوشش شده عبور کرده - به استثنای سیانواکریلات سیاه - و توسط سطح فلز جذب شده است. همچنین پالس‌های لیزر با سطح فلز برخورد می‌کنند، میزان کوچکی از سطح ذوب و بخار شده، فشار بخار تولید شده، منجر به ایجاد پدیده‌ای به نام جدایش می‌شود. (ورقه‌ورقه شدن یا خرد شدن پوشاننده‌های روی سطح فلز). این پروسه منجر به ذوب لایه‌ی خیلی نازک سطح حتی در انرژی دانسیته پائین می‌گردد. در بعضی موارد، پوشاننده‌ها ممکن است ترک خورده اما معمولاً با استفاده از روش‌های دستی پاک می‌شوند.



سطح یک شیء چدنی قدیمی که توسط واکس میکروکریستالین پوشش داده شده که با لیزر TEA CO_2 طول موج ۱۰۶۰۰ و پالس لیزر Nd:YAG طول موج ۱۰۶۰ به ترتیب پاک شده است. تیره شدن سطح اثر، بیشتر در طول موج

کوتاه لیزر Nd:YAG به دلیل دی هیدراته شدن گرما و فوتوشیمیایی $\text{Fe}(\text{OH})_2$ و تشکیل FeO است. در موارد مشابه، پاکسازی پوشش‌ها با لیزر Nd:YAG نسبت به اشعه لیزر TEA CO_2 تأثیر کمتری دارد. سطح توسط تجزیه ترموشیمیایی $\text{Fe}(\text{OH})_2$ وجود آمده، معمولاً با لیزر Nd:YAG بیشتر مشاهده شد. بنابراین در این پروسه وقتی لیزر Nd:YAG کار برده می‌شود، حساسیت و دقت عمل و عملکرد اپراتور برای تمیزکاری مورد توجه است. تغییرات فتوشیمیایی در سطوح پوشش داده شده ارگانیک نیمه‌شفاف همچون چسب‌ها نیز رخ می‌دهد. چسب سیانواکریلات سیاه نور لیزر Nd:YAG را به‌خاطر این که شامل ذرات کربن جاذب در طول موج‌های Nd:YAG است، جذب می‌کند. به‌همین دلیل سیانواکریلات سیاه تنها چسبی است که مستقیماً از سطح فلز با نور لیزر Nd:YAG برداشته می‌شود.

۲-۴- ارزیابی توسط رامان

FTIR و Raman به‌منظور آنالیز و شناسایی مواد آلی و ترکیبات معدنی مختلف همچون پوشاننده‌های سطح در اثر حاضر به کار برده شده است. رامان ابزاری اصلی است که در این بررسی مورد استفاده است. وسیله به‌کار برده شده یک میکروسکوپ Raman، RENISHAW 200 با لیزر یون آرگون در 514nm و بزرگنمایی $50\times$ تا $20\times$ بود. میزان لایه آالدیت روی سطح آهنی که اشعه بر آن تابیده نشده، در حدود 3071 CM^{-1} و 2910 cm^{-1} است. آالدیت بر سطحی که توسط لیزر Nd:YAG تابیده شده، بسیار کم باقی مانده است. بعد از تابش، ترکیبات تغییر کردند و رامان شیفت پیدا کرده و به عدد موج‌های 3077 CM^{-1} و 2924 CM^{-1} تغییر کرده است. این به‌خاطر تغییرات کم فوتو و ترموشیمیایی در ترکیبات آالدیت است. روی نمونه‌های آزمایشی فولاد تابیده شده با لیزر TEA CO_2 باقی‌مانده آالدیت مشاهده نشده است. بر چدن قدیمی پوشیده شده با واکس میکروکریستالین، خطوط طیفی واکس به‌طور واضح در تعداد موج‌های 2849 CM^{-1} و 2881 CM^{-1} تشخیص داده شد. در سطح مشابه، به‌دنبال تابش لیزر TEA CO_2 هیچ اثری از واکس پوشش نشان داده نشد. اگرچه خطوط طیفی جدید به‌ترتیب در حدود 1580 ، 1340 و 3896 CM^{-1} ظاهر شدند. این‌ها به‌خاطر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. چسب تجاری دی نیترو که به‌عنوان پوشش سطح محافظ آثار آهنی استفاده شده، خطوط طیفی به‌ترتیب 2181 CM^{-1} و 2843 CM^{-1} دارد. روی سطوح تابیده شده با لیزر TEA CO_2 هیچ اثری از دی نیترو نشان داده نشد. خطوط طیفی جدید بین 1591 CM^{-1} و 275 CM^{-1} ، به‌خاطر وجود اکسیدهای آهن و هیدروکسیدهای آهن هستند. لیزر Nd:YAG منجر به تیرگی سطح نمونه‌ها شد و این بیشتر در طول موج کوتاه‌تر آشکار گردید. طیف‌سنجی همچنین اثرات باقی‌مانده از دی نیترو بر سطح نمونه را آشکار نمود. بنابراین نتیجه می‌شود که پالس‌های لیزر Nd:YAG در طول موج‌های نزدیک مادون قرمز و نور مرئی برای پاکسازی پوشش‌های سطح آثار آهنی قدیمی چندان مناسب نیستند، در صورتی که به‌کارگیری دقیق یک لیزر TEA CO_2 برای پاکسازی موفقیت‌آمیز است.

۵. نتیجه‌گیری

هنگام انتخاب یک لیزر برای پاکسازی آثار باستانی خورده شده، شرایط فیزیکی و شیمیایی مواد می‌بایست بررسی شوند. لیزرهای به کار برده شده در این آزمایش، TEA CO_2 و Nd:YAG به‌ترتیب از نور مرئی، نزدیک و دور از مادون قرمز می‌باشند. یک ویژگی مهم فلزات، جذب ضعیفشان در دور از مادون قرمز است. هرچند حتی پالس‌های لیزر TEA CO_2 که دور از مادون قرمز هستند، اگر در دانسیته‌متجاوز از حدود استفاده شوند، می‌توانند سبب آسیب سطح گردند. تغییرات فیزیکی و شیمیایی به‌خاطر فرسودگی مواد ارگانیک می‌تواند قابلیت جذب اشعه را در طول موج معین

تغییر دهد. مؤثرترین دانسیته برای تمیزکاری، به ضخامت پوششی که قرار است پاک شود، بستگی دارد. فاکتورهای دیگری که بر میزان تمیزکاری اثر می‌گذارند، برای مثال: رنگ سطح، اکسیداسیون، تخلخل و زبری سطح می‌باشند. تأثیر تمیزکاری یک لیزر معین روی مواد مختلف می‌تواند به‌طور قابل ملاحظه‌ای مورد نظر باشد. اکسیدهای سطحی، انرژی لیزر را بیشتر از سطوح فلزی تمیز جذب می‌کنند. به همین دلیل، باید مراقب بود زیرا حتی با لیزرهای TEA CO₂ دی هیدراته شدن و بی‌رنگ شدن خوردگی اجتناب‌ناپذیر است. البته از بروز چنین مشکلاتی می‌تواند در هنگام تمیزکاری به-واسطه بررسی دقیق و تعیین حدود دانسیته‌ها برای مواد خاص جلوگیری کرد.

پی نوشت

1. SookKoh Y.,(2006). Removal of adhesives and coatings from iron artifacts using pulsed TEACo₂ and Nd: YAG-lasers. Laser cleaning as a conservation technique for corroded metal artifacts 5:61-74.



هدف‌های حفاظت^۱ کریس کیپل^{۱۱} برگردان: امیر حسین کریمی

درآمد

هر جامعه چیزهای مهمی برای نگهداری دارد و این در اروپای قرن بیست و یکم، معمولاً به آن معناست که چنین چیزهایی را در موزه می‌گذارند و مرمت‌گران و مسئولان موزه را به "مراقبت" آن‌ها می‌گمارند. ولی ما مرمتگران همواره بر چگونه حفظ کردن این آثار و نه چرایی حفظ آن‌ها تمرکز کرده‌ایم. ما وقتمان را با مرمتگران دیگر به بحث پیرامون "مبانی اخلاقی" حفظ آثار هنری و گله از عدم توافق بین زمینه‌های مختلف آن می‌گذرانیم. در همین حال، موزه‌ها دانشگاه‌ها و جامعه مشغول تصمیم‌گیری درمورد وجود اشیایی که مراقب آنها هستیم و مؤسساتی که این اشیاء در آن‌ها نگهداری می‌شوند، هستند و ما ساکت و صامت نشسته‌ایم. آیا دیدگاه دقیق، جامع و فراگیری درمورد حفظ آثار وجود دارد؟ آیا مجموعه‌ای از اهداف آشکار برای کارمان داریم؟ آیا می‌توانیم این هدف‌ها را به صورت بندبند در متنی کمتر از ۵۰۰ صفحه فهرست کنیم؟ (مثل آنچه استنلی پرایس و دیگران^۱ در ۱۹۹۶ انجام دادند؟) اگر نتوانیم به سادگی و آشکارا به جامعه دلیل فعالیت‌مان را بگوییم، چه حقی داریم که ارزشمندترین گنجینه‌های جامعه را به دست ما سپرده اند؟ در متن پیش رو، اهداف اساسی کار حفظ آثار را برخواهم شمرد. اما آیا (با این کار) می‌توانم به وضوح بگویم حفاظت آثار چیست؟ و آیا این اهداف تا آینده‌ای نزدیک پایدار می‌ماند؟

^۱ - این مقاله ترجمه‌ای است از:

•Caple, C. (2009). The Aims of Conservation. In Conservation: Principles, Dilemmas and Uncomfortable Truths. Richmond, A. & Bracker, A. Elsevier / Butterworth-Heinemann. 25-31.

^{۱۱} - کریس کیپل مدیر دوره تحصیلات تکمیلی حفظ آثار هنری دانشگاه دورهام (از ۱۹۸۸) و مرمتگر اشیای موزه یورک کاستل است. از او تا به حال دو کتاب زیر منتشر شده است:
Objects: Reluctant Witnesses to the Past. London: Routledge.
(2006)

Conservation Skills: judgement, method and decision making. London: Routledge. (2000).

۱. نگهداری و گسترش

هر جامعه چیزهایی را به‌خاطر ارزششان برای اعضای جامعه حفظ می‌کند. این ارزش‌ها، ارزش‌های مذهبی، زیبایی‌شناختی، نقش آیینی یا مناسبتی اشیا، ارتباط اشیا با شخصیت‌های مورد احترام جامعه و ارزش آموزشی و اطلاعاتی اشیا هستند. جامعه همواره چیزهایی را نگهداری می‌کند تا باقی بمانند و ارزششان در چشم جامعه افزوده شود. این کار به روش‌های مختلفی انجام می‌شود؛ مثلاً برخی اشیا را در آیین‌ها به کار می‌گیرند. پاک می‌کنند، تعمیر می‌کنند، استفاده و تدهین می‌کنند. در این مورد از فرهنگ‌های گذشته و حال، می‌توان مثال‌هایی آورد:

- **اشیایی که اجزاءشان دوباره کنار هم چیده می‌شد.** ظروف رومی جزیره ساموس که با بست‌های سربی و جام‌های شراب قرن هفدهمی که با بندهای سربی^۲ وصالی می‌شدند، دیگر کاربرد اولیه خود را نداشتند و به‌خاطر ارزش موروثنی‌شان دوباره به هم چسبانده می‌شدند.

- **اشیایی که دوباره رنگ می‌شدند.** نقاشی‌های غارهای محل زندگی بومیان استرالیا^۳، مجسمه‌های مذهبی کلیساهای کاتولیک فرانسه^۴ و اشیا و بناهای مائوری^۵ به‌خاطر احترام به ارواح، نیاکان و یا قدیسان مدام رنگ می‌شدند. این کار نیروی این اشیا را احیا می‌کرد.

- **اشیایی که مرمت می‌شدند.** اشیایی مانند آثار لاک‌ی ژاپنی؛ اوروشی^{۱۱۱} به‌شکل اولیه خود مرمت می‌شدند چون احساس می‌شد اگر به‌صورت آسیب‌دیده و ناقص باقی بمانند، بی‌احترامی خواهد بود. در نتیجه، هیچ تفاوتی بین بخش مرمت‌شده و اصل اثر قائل نمی‌شدند. مراسم سنتی، ابزار و مواد خاصی در این کار استفاده می‌شد، چون خود عمل تعمیر نیز باید با کمال احترام انجام می‌گرفت.^۶

- **بخور دادن و نگهداری اشیا.** برخی بومیان آمریکایی اشیایی خاصی را که با شخصیت‌های خاص ارتباط داشتند، نگهداری می‌کردند. حمله حشرات به این اشیا تنها با عصاره‌های گیاهی خاص قابل دفع بود که برای انسان‌ها هم ضرری نداشته باشند.^۷ این کار، خلوص روحی و نیروی آن شیء را حفظ می‌کرد که همچون موجود جاندار پنداشته می‌شد.

از قرن نوزدهم به‌بعد، کشورهای آمریکایی و اروپایی ارج نهادن به چیزهایی را آغاز کردند که ارزشی بیش از اسباب خانه یا نماد داشتند. این اشیا اطلاعات مهمی از گذشته در بر داشتند، آن‌گونه که در بیانیه جامعه نگهداری بناهای کهن در ۱۸۷۷ آمده است.^۸ در نتیجه، "نگهداری و افزودن ارزش" برای این جامعه به‌معنای ترمیم، نگهداری، تمیزکاری، وصالی دوباره و گذاشتن اشیا در موزه‌ها، گالری‌های هنری، کتابخانه‌ها و بایگانی‌ها بود. اصطلاح "حفاظت" یکی از اصطلاحاتی بود که در همین زمان به کار گرفته شد و برای مثال در کتابچه دستورالعمل RIBA^{IV} در سال ۱۸۶۵ با نام "حفاظت یادمان‌ها و آثار کهن"^۷ آمده است. با این همه، معنای دقیق اصطلاح حفاظت را هر کسی به‌نحوی تفسیر می‌کرد که بسته به زمینه جغرافیایی، فرهنگی و نوع آثاری که حفظ می‌شد، تفاوت می‌کرد.^۹

هدف حفاظت را می‌توان "منظور" یا "نیت‌های" حفاظت آن چیزهایی دانست که افراد محرک عملیات حفاظت می‌خواهند حفظ کنند. تجلی این هدف و روند حفاظت، به دو صورت بروز می‌کند: آنچه گفته (یا نوشته) شده و آنچه انجام شده است (کار حفاظتی که روی اثر یا بناها انجام شده است).

^{III} -Urushi

^{IV} - RIBA: Royal Institute of British Architects

^V -Conservation of Ancient Monuments and Remains

جامعه مدرن و موزه ها

قرن هفدهم و هجدهم (دوران روشنگری) شاهد سخنرانی‌ها (مجمع سلطنتی میراث^{VI} در ۱۶۶۰ پایه‌گذاری شد) و انتشار کتاب‌هایی بود که ایده‌های پیشرو را به گونه‌ای منطقی بر پایه مشاهده و طبقه‌بندی جهان مادی (طبیعی) بیان می‌کردند. نظام طبیعت^{VII} نوشته لینه^{VIII} (منتشر شده در ۱۷۳۵) از این دست آثار است. از این زمان به بعد جوامع اروپایی و آمریکایی، بیشتر و بیشتر در قالب منطق و علم به جهان می‌نگریستند. اشیاء مدارکی (سند مادی) از گذشته و حال جوامع فراهم می‌ساختند. نمونه‌های طبیعی، مثال کوچکی از ابعاد و ماهیت جهان طبیعی بودند. ابزارها اصول علمی را بیان می‌کردند و آثار هنری، احساسات و ایده‌ها و سلیقه‌های زیبایی‌شناختی را بازتاب می‌دادند و نمادها و معانی آن‌ها در جامعه را پیش چشم می‌گذاشتند. اشیاء، نمونه‌های طبیعی، ابزارها یا آثار هنری حفظ شده در این مجموعه‌ها، مخزن‌ها و ویتترین‌ها را می‌شد بارها مورد آزمون و پژوهش قرار داد تا اطلاعات بیشتری آشکار شود. همچنین از طریق نمایشگاه‌های عمومی، امکان انتقال این اطلاعات به اعضای جامعه وجود داشت. این اشیاء، نمونه‌های طبیعی، ابزارها و آثار هنری گواه ما بودند. مدارکی مادی بودند که تقریباً برای هر بخش از جلوه پیشرفت بشری و نیروهای طبیعی سندی دربرداشتند.

باستان‌شناسان و انسان‌شناسان چیزها را همچون تجلی همزمان وجود در سه شکل متفاوت می‌بینند؛ اشیای کاربردی (خلق شده برای برآوردن منظوری خاص)، اشیای نمادین (دارای معنای زمینه فرهنگی) و اسناد تاریخی (ثبت‌کننده گذشته خود شیء، ساخت آن، کاربرد و وجود آن به عنوان اثر کاربردی یا نمادین)^{۱۱، ۱۲}. جامعه معمولاً اشیاء جمع شده در موزه‌ها و گنجینه‌ها را همچون مدارک تاریخی می‌داند که برای شناخت گذشته خود یا دیگر فرهنگ‌ها، اطلاعات (اسناد) فراهم می‌کنند.

شیوه‌های گوناگون حفظ میراث

- معماران بر بناها تمرکز دارند و هدفشان پایش و تکمیل (حفظ و مرمت) بناها به عنوان ساختارهایی یکپارچه است. معماران می‌دانند که هزینه‌های نگهداری بنا (همچون جلوگیری از نفوذ رطوبت و ایزوله کردن) بسیار بالاست، بنابراین بناهایی که باید حفظ شوند، ناگزیر از داشتن کاربری هستند. در نتیجه، گاه دخالت‌های کوچک در ساختار بنا لازم است تا خدمات مورد نیاز امروزی (همچون سیم‌کشی‌های برق)، خطوط ارتباطی و لوله‌های آب و فاضلاب) فراهم شوند. این گونه است که هدف نگهداری بنا محقق می‌شود.

- در حفظ آثار هنری از نقاشی‌های رنگ و روغن تا مجسمه‌ها، تمرکز اصلی بر تصویری است که اثر از نظر بصری تجسم می‌بخشد و ارتباط یا خلق هیجان و احساسی را در بیننده موجب می‌شود. حفاظت‌گرانی که روی آثار هنری کار می‌کنند، قصد حفظ و بازگردانی کیفیت و جوهر اولیه این تصویر را دارند. بحثی که بر سر تمیزکاری آثار هنری وجود دارد، چه درمورد ورنی زرد شده تابلوی رنگ و روغن یا در مورد چرکی نقاشی‌های دیواری، مثل دیوارنگاره‌های نمازخانه سیستین، بر اصالت تصویر و پاسخ زیبایی‌شناختی بیننده به آن تأکید دارد^{۱۳}.

- حفاظت‌گران آثار باستان‌شناسی و مردم‌شناختی بر پایش (نگهداری) اثر باقی‌مانده و پاکسازی چرکی و زنگار روی آن، برای آشکار کردن اطلاعات بیشتر درمورد اثر و گذشته آن تأکید دارند. با این حال آنچه سند گذشته بوده، تغییر

^{VI} -Royal Society

^{VII} - Systema Naturae

^{VIII} - Linneas

کارل لینه (۱۷۰۷-۱۷۷۸ م.)؛ گیاه‌شناس سوئدی. پایه‌گذار شیوه نوین طبقه‌بندی گیاهان و جانوران

کرده است. نشان باقی مانده از مواد آلی، حفظ شده در مواد معدنی خوردگی یک شمشیر آهنی وایکینگ‌ها از سندی^{IX}، اسنادی از ساختار و ترکیب غلاف شمشیر قرن دهم میلادی^{۱۳} در اختیار می‌گذارد. اطلاعاتی که نزدیک بود یک نسل پیشتر از بین برود. در اینجا درک گسترده از آنچه نشانی از گذشته با خود دارد و نیاز به شناسایی، ثبت و نگهداری آن، با تمرکز بیشتر بر حفاظت بافته‌ها جلوه کرده است^{۱۴}.

پس آنچه ما می‌خواهیم نگهداری کنیم و در جامعه گسترش دهیم و نیز چگونگی انجام اعمال ما بر مبنای نوع اشیاء، شیوه‌های گوناگون حفظ میراث و نیز در گذر زمان تفاوت خواهد داشت. به همین گونه، بر مبنای نیازهای کلان جامعه در نگهداری اشیاء، هدف‌های حفاظت آثار تاریخی نیز باید ماهیتی مفهومی داشته باشد که در آن مفهوم، سنت‌ها و شیوه‌های متفاوت حفاظت جای گیرند و با پیشرفت تکنولوژی و گسترش دانش، مجبور نشویم هر بار به آن مفهوم شاخه‌ای بیفزاییم.

مثلث ن.ا.ب

براساس تعریفی که در سال ۱۹۸۴ کمیته حفاظت مؤسسه بین المللی موزه‌ها از مرمتگر - حفاظت‌گر ارائه می‌کند؛ "کار مرمتگر-حفاظت‌گر بررسی، نگهداری و حفظ و مرمت اموال فرهنگی است". پیش از این جایی گفته بودم که حفاظت را می‌توان به صورت سه هدف در رقابت با یکدیگر دید. این سه هدف بقای اثر را به عنوان سند تاریخی تضمین می‌کنند و ارزش آن را گسترش می‌دهند^{۱۵} (شکل ۱):

- **آشکارسازی**: تمیزکاری و ظاهر کردن شکلی اثر برای آشکار کردن جلوه "اصیل"، پیشین و "معنی‌دارتر" آن است. این جلوه بازیابی می‌شود تا ناظر، که معمولاً بازدیدکننده موزه است، از شیء تأثیر بصری واضح‌تری دریافت کند.
- **بررسی**: تحقیق، کاوش و تحلیل شیء برای بازگردانی اطلاعات آن است. این بررسی شامل مشاهدات بصری مطالعات گونه‌شناختی، پرتونگاری اشعه ایکس، آنالیز مولکولی یا عنصری و حتی آزمایشات تخریبی مانند برداشت مقاطع متالوگرافی است.
- **نگهداری**: تضمین حیات شیء در شکل فعلی فیزیکی و شیمیایی آن و جلوگیری از تخریب بیشتر با استفاده از فرایند تثبیت و حفظ (با مداخله در اثر) و یا حفاظت بازدارنده است

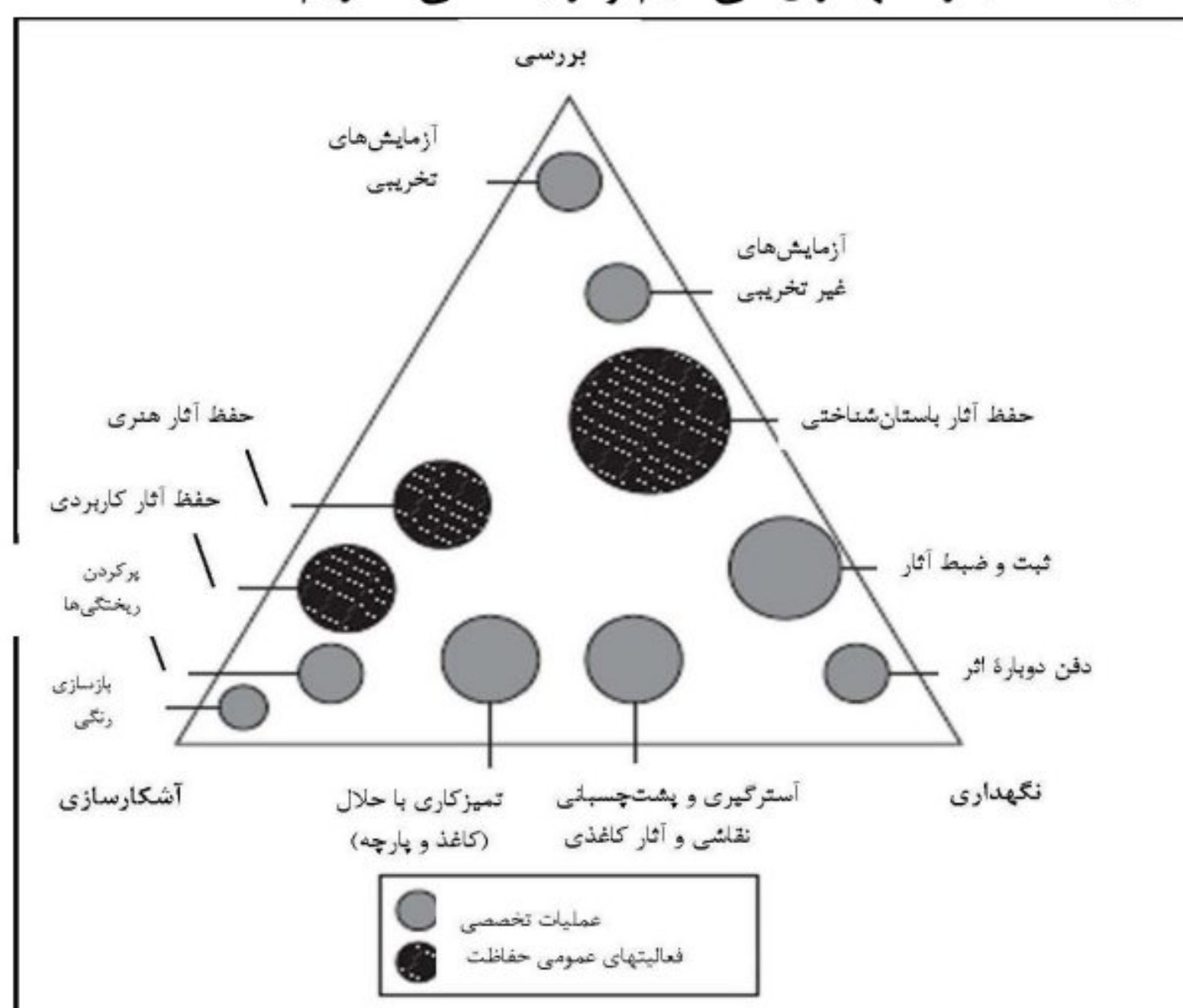
توازن بین این هدف‌ها مثلثی را شکل می‌دهد. این مثلث فضایی به وجود می‌آورد که هر کنشی درون آن اتفاق بیفتد را حفاظت می‌نامیم. در این فضا است که مرمتگران و حفاظت‌گران حرفه‌ای کار می‌کنند (شکل ۱). تمیزکاری یک شیء شاید به حفظ آن کمک کند و یا شکل اصلی آن را هویدا کند و اطلاعات نهفته آن را آشکار سازد.

اگر بپذیریم که این مثلث به دقت هدف‌های فرایند حفظ آثار را توضیح می‌دهد، پس شما اگر تنها اشیاء را بسته‌بندی می‌کنید و در مخزنی نگه می‌دارید، کنشی در پیشگیری از تخریب انجام می‌دهید. کنش آگاهانه دقت در شماره‌زنی درست اشیاء و جعبه‌ها، شیء را به شناسنامه موزه‌ای آن (چکیده اطلاعات موجود در مورد شیء) متصل می‌کند و به ما امکان می‌دهد که این اطلاعات را برای نمایش بازیابی کنیم. این کنش‌ها در مجموعه فعالیت‌های حفاظت جای می‌گیرند.

^{IX} - Sanday

جزیره سندی در مجمع‌الجزایر اورکنی اسکاتلند، که به‌خاطر شمشیر یافت‌شده در یکی از مقابر وایکینگ‌ها مشهور است. (درمورد بررسی‌های انجام شده بر این اثر نک p.121, Caple. Chris, Objects reluctant witnesses to the past, Routledge 2006)

پیشبرد آگاهانه این اهداف در توازن با یکدیگر به آن معنا نیست که شما حتماً مرمتگر دارای مدرکی هستید که با هدف‌های حفاظت درگیری دارید. چنین رویه‌ای نیاز به سرمایه قابل توجه ندارد، بلکه تنها درک روشنی نیاز دارد از این که چرا ما به عنوان یک جامعه اشیا را نگهداری می‌کنیم و ارجمند می‌شماریم.



(شکل ۱) - مثلث ن.ا.ب حفاظت

و اما..

اما آینده پیشرفت‌هایی را به همراه دارد که نمی‌توان به‌آسانی آن‌ها را با هدف‌های حفاظت که پیش از این گفته شد، تطبیق داد:

- **بازگردانی به مکان اصلی:** موزه‌ها در پاسخ به فشار اجتماعی و سیاسی بومیان، در حال بازگرداندن استخوان‌ها و اشیای آیینی از مجموعه‌های خود برای تدفین دوباره به مردم هستند. این اشیا و اطلاعات یگانه‌ای که دربردارند، نگهداری نمی‌شوند و برای همیشه از دنیای دانش و درک علمی خارج می‌شوند.
- **ادامه دادن به مجموعه‌سازی:** منطق چنین حکم می‌کند که ما توانایی نگهداری تعداد بی‌نهایتی از اشیا را نداریم. آیا اشیایی از مجموعه‌ها به فروش خواهند رسید یا استانداردهای نگهداری را پایین می‌آوریم؟ کدام گزینه پیش روی حفاظت‌گران میراث باید برای رسیدن به اهداف حفاظت انتخاب شود. گزینه‌های ارزان‌تری چون فراهم کردن آرشیوهای تصویری و نوشتاری (مجموعه‌های مجازی) نیز وجود دارد که البته در نگهداری اثر مادی قابل بررسی دوباره از برهمکنش پیشرفت جامعه بشری و نیروهای طبیعی ناتوان هستند. این چنین آرشیوهایی شاید مغلو‌تر و محدودتر از آنچه در حال حاضر می‌پنداریم، باشند. این مجموعه‌ها آشکارا توانایی حفظ آنچه را که امکان دارد در آینده بخواهیم درمورد اشیایشان بدانیم ندارند. راستی چطور می‌شد ثابت کنیم انسان اولیه پیل‌داون^x جعلی است، اگر تنها تصاویر آن باقی مانده بود؟

^x - Piltdown

ستخوان‌های حیوانی که در اوایل قرن بیستم به‌عنوان باقی‌مانده‌های انسان اولیه در انگلیس به مجامع علمی ارائه شد و تا سال‌ها جعلی بودن آن کشف نده بود تا در سال ۱۹۴۹ با تعیین میزان فلورنور در آن مشخص شد که جعلی است. انسان پیل‌داون به‌عنوان نمونه‌ای از محدودیت نظر کارشناسان

- **پیشرفت‌های علمی؛** ما توانایی استخراج اطلاعات بیشتر و بیشتری از اشیاء، برای مثال باقی‌مانده‌های آلی درون سفال‌ها یا DNA موجود در نمونه‌های تاریخ طبیعی و استخوان‌های باستانی را داریم. بهترین مکان‌ها برای نگهداری اطلاعات نهفته این نمونه‌ها، به‌فرض در نیتروژن مایع، بسیار گران است و قابل مقایسه با شرایط نمایش، دسترسی و مقایسه و تطبیق با تحقیقات دیگر نیست.

- **تحول در کارکرد موزه‌ها؛** موزه‌های ملی، محلی و دیگر ادارات صاحب مجموعه‌های موزه‌ای امروز بیشتر به نیازهای کوتاه‌مدت سرگرمی و آموزش جامعه توجه دارند. میزان موفقیت در برآوردن این نیازهاست که با کمیت تعداد بازدیدکننده‌های هر موزه اندازه‌گیری می‌شود. دلیل نخستین وجود مجموعه‌ها به‌عنوان سند یا منبع اطلاعات درمورد گذشته، فراموش شده و سرمایه موزه‌ها بیشتر و بیشتر از حفظ آثار و پژوهش و تحقیق (بررسی) بر نمایش آثار (آشکارسازی) متمرکز شده است.

امروزه آرمان‌های عصر روشنگری فراموش شده و ارزش‌های جامعه به‌نحو روزافزونی بر سرگرمی عمومی، بالا بردن رفاه شخصی و اصول بنیادی مذهبی متمرکز است. بر این مبنا، جامعه دلیل نگهداری میراث گذشتگان را بازتعریف خواهد کرد. آیا حافظان میراث نیز باید اهداف خود را بازتعریف کنند؟ آیا اگر جامعه بخواهد میراث خود را به گونه‌ای نگه‌دارد و گسترش دهد که دیگر آشکارسازی، بررسی و نگهداری این آثار را نخواهد، ما باید از حفظ میراث دست بکشیم؟

خبره در برابر بررسی‌های علمی مورد توجه مورخان است (نک: Caple. Chris, Objects reluctant witnesses to the past, Routledge (2006, p.207)

- 1 - Nicholas Stanley-Price, M. Kirby Talley Jr. and Alessandra Melucco Vaccaro, *Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage* (Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1996).
- 2 - Hugh Willmott, "A group of 17th century glass goblets with restored Stems: Considering the archaeology of repair," *Post Medieval Archaeology*, Volume 35 (2001): 96 – 105.
- 3 - L. Maynard, "Restoration of Aboriginal Rock Art – the moral problem," *Proceedings of the National Seminar on the Conservation of Cultural Materials* (Perth: AICCM, 1973).
- 4 - Tiamat Molina and Marie Pincemin, "Restoration Acceptable to Whom?" *Restoration: Is It Acceptable?* (British Museum Occasional Paper No. 99) (London: British Museum, 1994).
- 5 - Gerry Barton and Sabine Weik, "Ma–ori carvings: Ethical considerations in their conservation," *ICOM-CC 7th Triennial Meeting, Copenhagen 1984* (Copenhagen: ICOM-CC, 1984).
- 6 - Shin Yakihashi, "The preservation and handing down of traditional urushi art techniques in Japan," *Urushi* (Marina del Rey: Getty Conservation Institute, 1988).
- 7 - Ann Drumheller and Marian Kaminitz, "Traditional Care and Conservation, the merging of two disciplines at the National Museum of the American Indian," *Preventive Conservation Practice, Theory and Research: 1994 IIC Ottawa Congress* (London: IIC, 1994).
- 8 - William Morris, "Manifesto of the Society for the Protection of Ancient Buildings," *Historical and Philosophical Issues in the Conservation of Cultural Heritage* (Los Angeles: The Getty Conservation Institute, 1996) (first published in 1877).
- 9 - Elizabeth Pye, *Caring for the Past* (London: James and James, 2001), pp. 26 – 30.
- 10 - Susan M. Pearce, *Interpreting Objects and Collections* (London: Routledge, 1994), p. 12.
- 11 - Chris Caple, *Objects: Reluctant Witnesses to the Past* (London: Routledge, 2006) 6 – 11.
- 12 - Gerry Hedley, "Cleaning and meaning: The Ravished image reviewed" *The Conservator*, Vol. 10 (1986): 2 – 6.
- 13 - Olwyn Owen and Magnar Dalland, *Scar, A Viking Boat Burial on Sanday, Orkney* (Edinburgh: Historic Scotland, 1999) 103 – 112.
- 14 - Mary Brooks, Alison Lister, Dinah Eastop, and Tarja Bennett, "Artefact or Information? Articulating the Conflicts in Conserving Archaeological Textiles," *Archaeological Conservation and its Consequences: IIC 1996 Copenhagen Congress* (London: IIC, 1996).
- 15 - Chris Caple, *Conservation Skills: Judgement, Method and Decision Making* (London: Routledge, 2000) 31 – 35.

مروری بر نمک‌زدایی ابنیه و یادبودهای سنگی به روش ضمادگذاری^۱ ورونیک ورگس بلمین و هاینر زایدل مترجم: سحر احمد خان بیگی

چکیده

نمک‌زدایی با ضمادگذاری بر استخراج نمک‌های محلول از طریق قرار دادن مواد خیس جاذب بر سطح شیء یا ابنیه‌ی در حال درمان اشاره دارد. علی‌رغم استفاده‌ی متداول از این روش در حفاظت ابنیه، گاهی محقق با نتایج متناقضی مواجه می‌شود. در مقاله‌ی پیش رو روش‌های مختلف ضمادگذاری به‌منظور نمک‌زدایی آثار معرفی شده است تا ضمن پرداختن به این مسئله، تحقیقات و مطالعات بیشتری را برای ارتقا دانش در این زمینه پیش روی قرار دهد. واژگان کلیدی: نمک، نمک‌زدایی، ضمادگذاری، بازدهی(راندمان)

۱- مقدمه

مرمتگران، دانشمندان و حفاظتگران، بسیاری از روش‌های نمک‌زدایی را شناسایی و معرفی کرده‌اند. این موضوع از چنان اهمیتی در زمینه‌ی حفاظت برخوردار است که بیش از صدها مقاله در ارتباط با این مبحث منتشر شده است؛ با این حال مقالات مروری در این زمینه بسیار نادرند. در سال ۲۰۰۱، مجله مونومنتال (تاریخی) فرانسه مروری را بر مبحث نمک‌زدایی منتشر نمود [۱] و در همان سال انجمن WTA در آلمان مجموعه‌ای از پیشنهادات با تکیه بر نمک‌زدایی توسط ضمادگذاری را منتشر کرد [۲]. همچنین کتاب "Mauersalze und Architekturoberflächen" [۳] شامل تازه‌ترین مقالات به زبان انگلیسی و آلمانی مرتبط با مبحث نمک‌زدایی است. مقاله‌ی پیش رو تنها به موضوع نمک‌زدایی اختصاص یافته است چرا که این روش عموماً در حفاظت ابنیه تاریخی مورد استفاده قرار می‌گیرد و گاهی اوقات نتایج سؤال‌برانگیزی در پی دارد. تلاش ما بر آن بوده است تا مقاله براساس آخرین روش‌های نمک‌زدایی از سال ۲۰۰۲ به بعد را ارائه شود [۴].

^۱ . ترجمه فوق از منبع زیر انجام شده است.

Verges-Belmin, V., and H. Siedel. 2005. Desalination of masonries and monumental sculptures by poulticing: A review. *Restoration of Buildings and Monuments: an International Journal = Bauinstandsetzen und Baudenkmalpflege: Eine international Zeitschrift* 11: 391–408

۲- خلاصه ای از دیگر روش‌های نمک‌زدایی

به غیر از ضمادگذاری، روش‌های پیشنهادی برای مقابله با مشکلات ناشی از نمک‌ها را می‌توان در سه دسته طبقه‌بندی نمود:

- دسته‌ای از روش‌ها تلاشی بر استخراج نمک‌ها ندارند با این حال با مداخله در دمای اقلیم مورد نظر، موجب نامحلول شدن نمک‌ها و یا کاهش تأثیرات آن‌ها می‌شوند. جهت دریافت اطلاعات بیشتر در مورد درمان‌هایی با به کارگیری ترکیبات باریم در نامحلول نمودن نمک‌ها، می‌توان به مقالات آخر متنی [۵] و وبر^۲ [۶] مراجعه نمود. اصول دخالت و نمونه‌های کاربردی مداخله در دمای اقلیم را می‌توان در منابع [۷-۹] یافت.
- روش‌های دیگر همانند انتشار (شستشو در حمام سرپوشیده) و همرفت^۳ (در خلاء یا فشار آب استخراج) سعی بر استخراج نمک‌ها از بستر دارند و مهاجرت الکتریکی برخی مواقع عامل کمکی این روش‌ها در نظر گرفته می‌شود [۴].
- آن دسته از روش‌هایی که واکنش‌های مرتبط با میکروپزشناسی [۱۰-۱۲] و یا گرم‌خانه‌های [۱۳] ریزموجی که هنوز در بوته‌ی آزمایش قرار دارند، را استفاده می‌کند.

۳- نقش اصلی نمک‌زدایی به روش ضمادگذاری

ضماد از یک یا چند ماده‌ی خیس آب دوست تهیه شده و بر سطح اثر اعمال می‌گردد. آب از لایه‌ی ضماد به داخل منافذ اثر نفوذ کرده و از این طریق، موجب حل شدن نمک‌های محلول می‌شود. تفاوت غلظت میان نمک‌های محلول در شئ (با تراکم بیشتر) و آبی لایه‌ی ضماد (با تراکم کمتر) موجب حرکت یون‌ها به سمت بیرون و در نهایت انتشار نمک‌ها می‌شود. عامل دیگر مهاجرت نمک‌ها، تبخیر رطوبت ضماد خیس به طرف هوای اطراف بوده و این مهم سبب می‌شود تا نمک‌ها بر اثر انتقال موئینگی از بستری که متصل به لایه ضماد در حال تبخیر است، به سمت بیرون حرکت کنند. اگر آب آلوده به نمک بتواند کاملاً به داخل ضماد رانده شود و در طول دوره تبخیر شدن رطوبت ضماد، داخل آن باقی بماند، نمک‌ها سرانجام درون ضماد متبلور خواهند شد.

۳-۱ پارامترها

سه مرحله‌ی متوالی در نمک‌زدایی به روش ضمادگذاری که شامل محلول نمودن، گسترش و نفوذ نمک‌ها و تبلور آن‌هاست، به پارامترهای مختلفی بستگی دارد.

۳-۱-الف رطوبت

حل شدن یون‌ها در شئ همان رفتاری را دنبال می‌کند که در تکنیک شستشوی سربسته دیده می‌شود، اما در این مورد تحقیقی، میزان نمک‌های فعال بستگی به عمق ناحیه مرطوب شده دارد. آبی که به داخل سنگ نفوذ می‌کند، هم از رطوبت اولیه، از شستشوی جزیی یا دیگر منابع خارجی و یا از خود ضماد ناشی می‌شود.

^۲ . نمک دیوار و سطوح معماری
^۳ .انتقال گرما(در مایع)

• مرطوب شدن با آب ضما

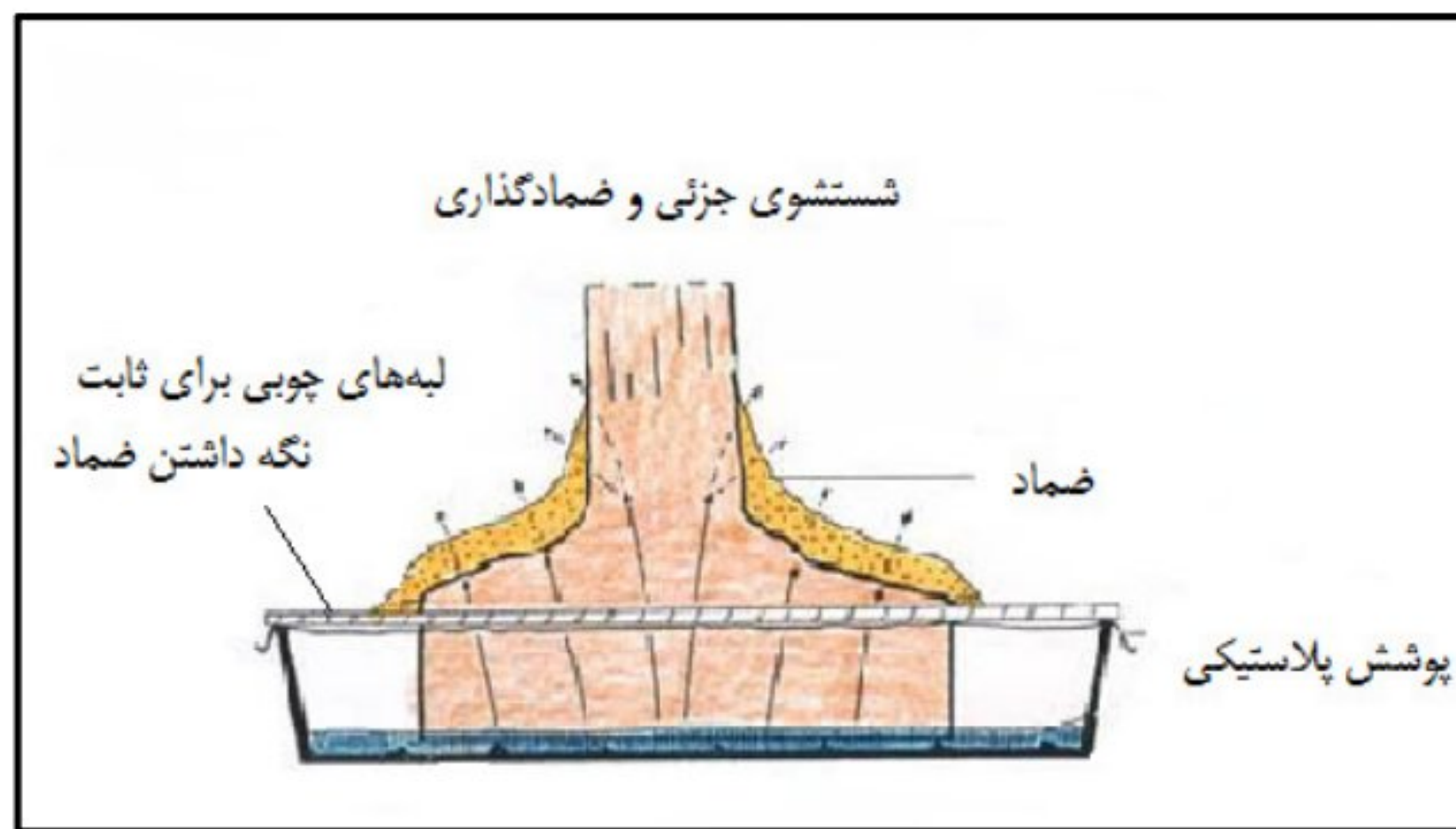
در صورت مرطوب شدن بستر با آب ضما، رطوبت زیاد در عمق اثر نفوذ نمی‌کند. برای مثال، پس از ۹۰ دقیقه استعمال کاغذ خشک‌کن بر سنگ‌آهکی نو، آب تا ۲ سانتی‌متر در آن نفوذ می‌کند [۱۴]. این عدد ضریب نفوذ مویینگی نگهداری آب در سنگ است (۲/۳ سانتی‌متر در ۳۰ دقیقه) [۱۵]. به‌عنوان مثال در کلیسای سنت مارک باسیلیکا در ونیز، تنها دو سانتی‌متر از سنگ پس از ۱۰ مرتبه استعمال ضما پودر سلولزی، نمک‌زدایی شد [۱۶]. نتایج محتمل نشان دهنده‌ی آن است که آن دسته از ضماهایی که در طول دوره نمک‌زدایی مرطوب باقی می‌مانند، می‌توانند نسبت به موارد مشابهی که اجازه خشک شدن به آن‌ها داده می‌شود، تأثیر مناسب‌تری داشته باشند [۱۷]. با این وجود، این موضوع هنوز تحت بررسی و مطالعه است. در گزارش‌های اخیر، نمک‌زدایی به روش ضماگذاری مرطوب به نسبت اعمال خشک آن از تأثیر کمتری برخوردار است [۱۸، ۲]. برخی ضماها با داشتن قابلیت نگهداری میزان بالایی از آب و خاصیت مویینگی پایین، روند خشک شدن شان ممکن است به کندی صورت بگیرد (حتی اگر مرطوب نگاه داشته نشوند) و به همین جهت یون‌ها با انتشار خود به طرف ضما حرکت می‌کنند و این روند بسیار کند صورت می‌گیرد. نمک‌ها به‌جای آن که با فشار کشش مویینگی همراه با آب از بستر خارج شوند، به سرعت به طرف بیرون کشیده می‌شوند. در نتیجه هرچه ضما دیرتر خشک شود، فرآیند نمک‌زدایی نسبت به سریع خشک شدن ضما، از تأثیر گذاری کمتری برخوردار است [۱۹]. حتی در مواردی دیده شده فرآیند رانده شدن نمک‌ها به داخل سنگ در نتیجه مرطوب بودن ضما میسر شده است [۲۰]. هرچند تأثیر مورد قبلی در خشک بودن ضما نیز مشاهده شده است [۲۱، ۲۲، ۱۹]. از مرطوب نمودن ضمادی که در حال خشک شدن بر بستر است، بایست اجتناب گردد، چراکه موجب حرکت دوباره نمک‌های ضما به عقب و به سمت داخل سنگ می‌شود [۲۳]. متأسفانه، تحقیقات در این مورد بیشتر برپایه یک مورد مطالعاتی است و تاکنون طرح جامع کاربردی، نظری و مستندی شناسایی نشده است.

• خیس نمودن مستقیم مواد ضما

برای چسبندگی و اتصال هرچه بیشتر ضما به بستر و حل کردن نمک‌ها، چندین محقق، خیس نمودن بستر مورد استعمال ضما را پیشنهاد نموده‌اند [۲۴، ۲]. نویسندگان به‌ندرت اطلاعاتی درباره میزان آب آن داده‌اند، هرچند این میزان به‌طور منطقی به جذب مویینگی سنگ، ملات، تراکم نمک‌ها و موارد دیگر بستگی دارد [۲]. میزان آبی که در مورد مطالعاتی [۲۵] بیان شده است، بسیار زیاد بود. ۲۰۰ لیتر در ساعت (L/h) برای ۷ متر مربع و در طی چند روز به‌منظور دستیابی به حداکثر میزان عمق نمک‌زدایی که تنها ۱۰ سانتی‌متر را در بر گرفت.

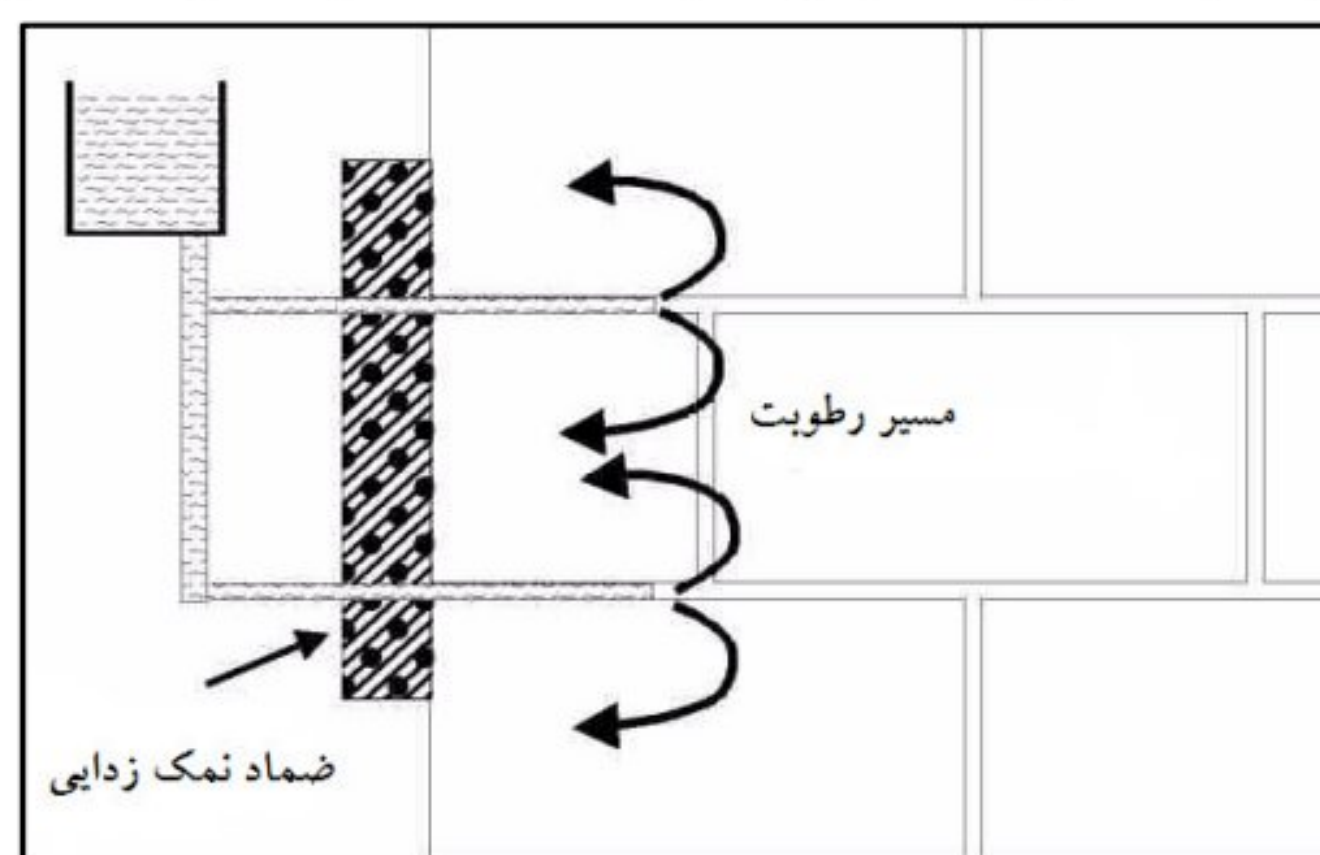
• خیس نمودن مواد به وسیله شستشوی مقطعی یا منشأ بیرونی

بهترین نتیجه می‌تواند روی آثار سنگی تکی به‌دست آید؛ همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است، در این روش آب بر یک سمت سنگ و ضما در طرف مقابل آن، به کاربرده می‌شود [۲۸-۲۶، ۲۱]. این روش به‌ویژه برای نمک سنگ‌هایی که با غوطه‌وری کامل در آب زدوده می‌شوند، مطرح است؛ در این بین، این روش درمان برای اشیایی با شکل ظاهری خاص، ضعیف بودن سطح (تورق سطح) و بالا بودن انبساط رطوبتی^۴ سنگ، مناسب در نظر گرفته نمی‌شود [۲۱، ۲۷].



شکل ۱- نمک‌زدایی به‌وسیله شستشو و ضمادگذاری جزئی [۲۱] (Siedel, 1996)

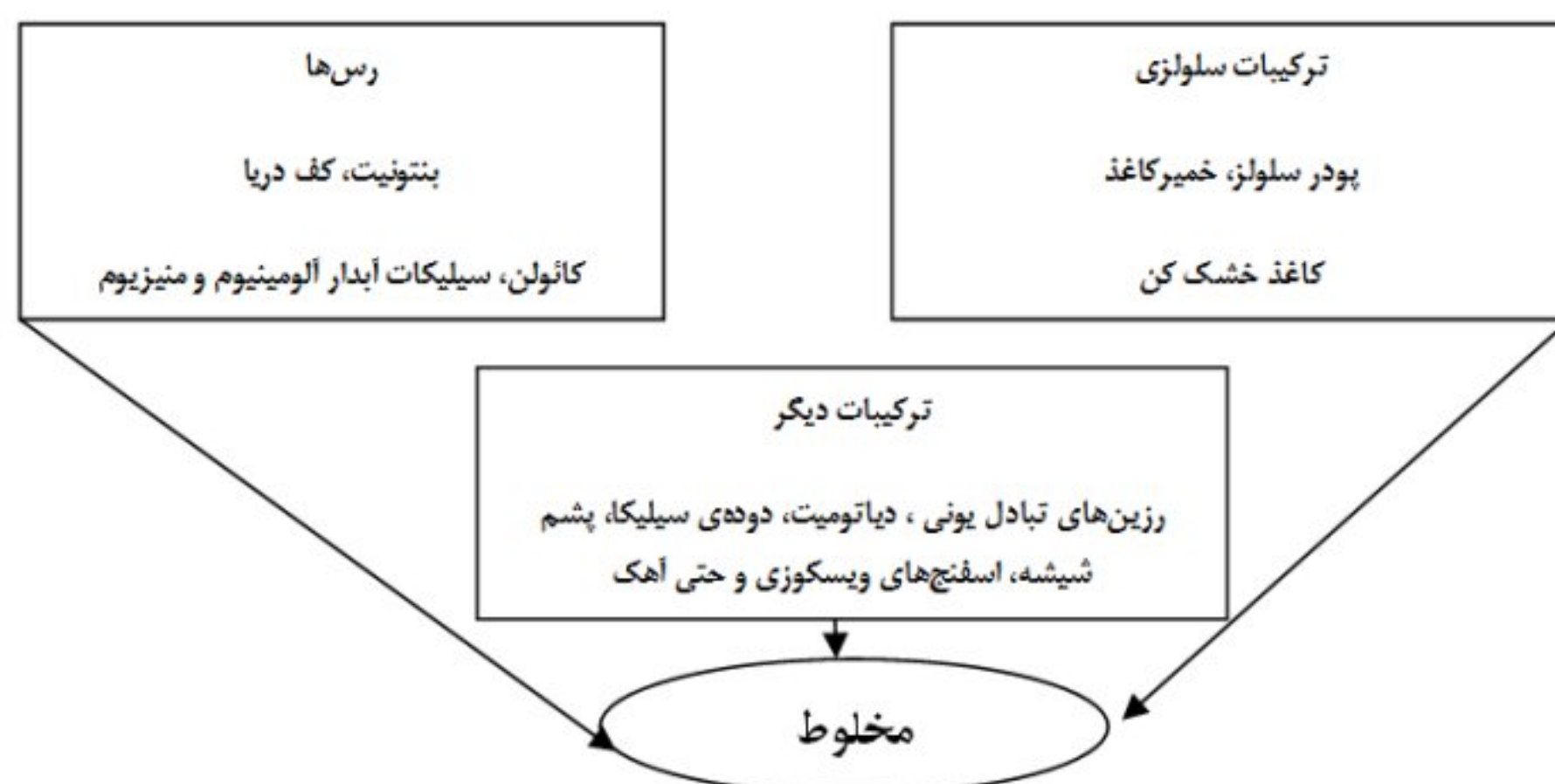
در رابطه با به کار بردن این روش و امکان رشد قارچ‌ها بر برخی موارد، بایستی بسیار ملاحظه‌کارانه عمل نمود [۲۷، ۲۹]. این روش معمولاً محدود به اشیایی می‌شود که امکان انتقال آن به کارگاه حفاظت‌گر وجود داشته باشد و همچنین روی اشیایی نظیر ستون‌ها که بتوان حفاظت آن‌ها را در محل خود اثر انجام داد، نیز مناسب است. به این صورت که ضماد بر یک طرف ستون به کار برده شده و طرف مقابل به‌طور ثابت مرطوب می‌شود. روش درمانی مشابهی در سایت (محل) نیز برای آجرکاری یافت شده است؛ که در آن آب از طریق حفره‌های عمیق ایجاد شده در بندهای دیوار، به داخل تزریق می‌شود (شکل ۲). همزمان، نمکی که آب تزریق شده را آلوده می‌کند، به‌وسیله ضماد به کار برده شده در همان سمت دیوار جذب می‌شود [۳۱]. در یک مطالعه موردی دیگر، این روش (تزریق فرآیند فشرده‌سازی) برای دیوارهای نازک با ضخامت کم (۲۴ سانتی‌متر) که حجم بالایی از نمک را در خود دارند، شناسایی شد که در آن، ضمادهای اضافی در پشت دیوار اعمال شدند [۳۲]. انتقال نمک‌ها به داخل لایه ضماد در این دیوار، توسط تنظیمات دمایی پایدار ولی به‌شدت متفاوت پایین و بالای تاق آجرکاری نازک (رطوبت نسبی بالا در مقابل رطوبت نسبی پایین) که نمک‌زدایی شده بود، به اجبار انجام شد. در نهایت، لایه ضماد خشک‌کننده در پشت (بالای تاق، در مجاورت هوای خشک) به‌منظور حفظ نقاشی‌های دیواری که حجم بالایی از نمک را در خود دارند، اعمال شد [۳۳]. در صورتی که شرایط معماری اجازه آن را دهد، می‌توان بنا را از بالاترین سطح خود خیس کرده و لایه ضماد را در زیر سقف بنا اعمال نمود [۳۴-۳۵]. این روش برای ساختار بنا بسیار مخاطره‌آمیز است چرا که می‌تواند موجب شسته شدن نقاشی‌های دیواری شود [۳۵].



شکل ۲- تزریق آب و استخراج نمک با ضمادگذاری یا روش فشرده‌سازی تزریق [۲] (Grassegger et al, 2003)

۳-۱-ب ترکیبات ضما

خاک رس و ترکیبات سلولزی اغلب بیشترین استفاده را در میان مواد و مصالح آزمایش شده (شکل ۳)، داشته‌اند. ترکیبات دیگر چه معدنی نظیر دیاتومیت، دوده‌ی سیلیکا^۵، پشم شیشه، اسفنج ویسکوز و حتی آهک در حالت ملات کشته شده تا مواد آلی همانند رزین‌های تبادل یونی هستند که معمولاً کمتر استفاده می‌شوند.



شکل ۳- مواد ی که در تهیه‌ی ضما استفاده می‌شوند

• خاک‌ها

سیلیکات آبدار آلومینیوم و منیزیم، سپیولیت، کائولن و بنتونیت معمولاً بسته به ظرفیت جذب بالا و کارایی‌شان در متون علمی معرفی می‌شوند (جدول ۱).

جدول ۱: منابعی که در آن‌ها به ضماهای رسی اشاره شده است.

نوع ضما	در منابع زیر نقل شده است
رس	[۱۶]، [۲۵]، [۲۶]، [۳۶-۳۷]
آتاپولویت	[۲۵]، [۳۶]، [۳۸]، [۳۹-۴۱]
سپیولیت	[۲۵]، [۳۵-۳۷]، [۴۱-۴۲]
بنتونیت	[۳۶]، [۴۱]، [۴۳]
کائولن	[۲۷]، [۳۷]، [۴۳]

خاصیت چسبندگی کانی‌های مذکور (زیرمجموعه خاک‌ها) دارای ارزش بالایی است اما گاهی اوقات، باقی‌مانده ضما گلی به علت داشتن چسبندگی بالا پس از فرآیند نمک‌زدایی بر سطح بستر باقی می‌ماند. بنابراین این روش برای اشیائی با ارزش بالا همانند بناهایی با حجم قابل توجه تزئینات به کار نمی‌رود [۳۹]. هیدروسلیکات منیزیم (Sepiolite) به کار

^۵ ترکیب دوده سیلیسی در بتن، به طور قابل توجهی سبب افزایش مقاومت فشاری و کاهش جذب سطحی اولیه می‌گردد. دوده ی سیلیس، که با عنوان میکرو سیلیکا (MS) یا دوده ی سیلیسی چگالیده شده نیز شناخته می‌شود، محصول جنبی تولید فلز سیلیکون یا آلیاژهای فروسیلیکون است (مترجم).

برده شده در کاغذ ژاپنی بر اشیای قیمتی و باارزش آزمایش و نتیجه گرفته شد که پودر سلولز از این ترکیب کارآمدتر و مناسبتر است [۴۲]. مونت موریولونیت و ورمیکولیتها به علت داشتن بالاترین میزان جذب آب و بیشترین تورم پس از جذب آب، فعالترین خاکهای رسی هستند؛ متأسفانه نتایج استفاده از آنها ثابت می‌کند که با داشتن درصد بالای انقباضشان، می‌توانند منجر به بالا رفتن خطر جدا شدن سطوح شکننده اثر شده و موجب از دست رفتن هرچه سریعتر تماس با بستر ضماگذاری شود. مواد دربردارنده خاک می‌توانند حالت پلاستیکی داشته باشند به این ترتیب که در حضور مقدار معینی آب شکل‌پذیر شده و به این حالت، حد خمیری آنها گفته می‌شود. اندازه‌ی این شاخص از ۵۷ تا ۱۲۳ درصد وزنی از خاکی تا خاک دیگر متغیر است. هرچه مقدار آب افزایش پیدا کند، مواد به حالت شکل‌پذیر باقی مانده تا به نقطه‌ای برسند که در آن رفتار گل‌مانندی از خود نشان دهند. این مقدار دوم آب، حد مایع نامیده می‌شود. تفاوت میان این دو حد خمیری و حد مایع، دامنه‌ی خمیری نامیده می‌شود. برای مثال،^۶ خاک‌رس بر پایه‌ی آتاپولوزیت می‌تواند در ۱۰۰ درصد وزنی میزان رطوبت خمیر شود و تا ۲۰۰ درصد حجمی به حالت خمیر باقی بماند. دیگر کانی‌های خاک به غیر از مونت موریولونیتها، دامنه‌ی خمیری کمی دارند.

• ترکیبات سلولزی

معمولاً در ترکیب مواد ضما از خمیر کاغذ و پودر سلولز استفاده می‌شود (جدول ۲) که با وجود وقت‌گیر بودن آماده شدن آنها، نسبت به خاک‌رس، کار با این مواد راحت‌تر است. جدا از زمان‌بر بودنشان، این مواد به‌سختی آب را نگه داشته و در نتیجه چسبندگی ضعیفی طی قرارگیری‌های عمودی از خود نشان می‌دهند.

جدول ۲: معرفی ضمادها بر پایه‌ی سلولز در منابع زیر

نوع ضما	در منابع زیر نقل شده است
سلولز (پنبه‌ی خام)	[۴۶]، [۲۶]
پودر سلولز	[۴۷-۴۸]، [۴۲]، [۳۸]، [۲۸]، [۲۶]، [۱۶]
کاغذ جاذب	[۴۶]، [۴۰]، [۳۸]
کاغذ خشک‌کن	[۴۲]
خمیر کاغذ	[۴۹]، [۴۶-۴۷]، [۳۷]، [۲۶-۲۷]
کاغذ صاف‌کن	[۴۲]، [۲۶]
روزنامه	[۳۷]
خاک چوب	[۲۶]

مطالعه‌ای که در موزه‌ی بریتانیا انجام شده است، نشان می‌دهد کاغذهای خشک‌کن، نمک را بهتر از پودر سلولز جذب می‌کنند [۴۲]. مطالعه‌ی دیگری نشان می‌دهد روزنامه‌های له‌شده می‌توانند به‌عنوان پایه‌ی ضما در تزئینات ساختمان‌ها استفاده شوند [۳۷]. گفتن این نکته نیز حائز اهمیت است که بعضی از کاغذها در بردارنده‌ی مقداری نمک هستند و خمیر کاغذ حاصل شده از آنها تمایل به سریع خشک‌شدن دارد [۲۷]. مقایسه در مطالعات مختلف نشان می‌دهد [۴۵]، [۴۴] که پودر سلولز نسبت به مخلوط ترکیبات خاک رس از موفقیت کمتری برخوردار است.

^۶. سیلیکات آلومینیوم و منیزیم آبدار

• ترکیبات دیگر

دیاتومیت و دوده‌ی سیلیس به‌ندرت در ترکیبات ضماد استفاده می‌شوند [۳۶، ۲۵]، مواد غیرمعمول دیگر همانند آهک آب‌دیده [۲۶]، پودر برنج و تالک [۳۶] و حتی آزبست (پنبه نسوز)، ماده‌ی بسیار سرطان‌زا [۲۶]، نیز از جمله ترکیبات به کار برده در ضماد است. از اسفنج‌های ویسکوز نیز در چندین مورد استفاده شده است [۳۱-۳۰]؛ این اسفنج‌ها قابلیت شستشو و استفاده‌ی چندین باره دارند. سنجش رزین‌های تبادل یونی نیز با موفقیت‌هایی روبه‌رو شده است [۵۰]، [۲۶]؛ با این حال استفاده‌ی آن‌ها به نظر آسان نمی‌آید چراکه ترکیبی از رزین‌های کاتیونی و آنیونی با وجود مؤثر بودنشان، مقدار جزئی pH اسیدی دارند [۵۱].

• آمیزه‌ها (مخلوط‌ها)

سنجش انواع بیشتر مخلوط‌ها در جدول ۳ آمده است، با این حال عملکرد ویژه‌ی هر جزء مشخص نیست. مخلوط آتاپولوژیت سلولز (به نسبت ۲ به ۱ وزنی) از شمار ترکیباتی با خواص چسبندگی و شکل‌پذیری مناسب و انقباض کم به هنگام خشک شدن محسوب می‌شود [۳۸]. مخلوط دیگر که بر پایه‌ی سلولز، بنتونیت و ماسه است (به نسبت ۱:۱:۶ حجمی) خصوصیتی نظیر سختی و انقباض کم به هنگام خشک شدن دارد [۲۸]. همان اجزا اگر به نسبت ۱:۱:۴ با یکدیگر مخلوط شوند، در برابر پدیده‌ی انقباض، رفتارهای خشک شدن و کارا بودن در استخراج نمک‌ها برای اجزای ضماد عملکرد بسیار مناسبی دارند [۱۹]. استفاده از سلولزهایی با فیبر بلند (۷/۰ میلی‌متر) و ماسه با دانه‌بندی متوسط (۱-۵/۰ میلی‌متر) مخلوط با بنتونیت نسبت به ترکیب فیبرهای کوتاه‌تر سلولز (۳/۰ میلی‌متر) و ماسه با دانه‌بندی درشت‌تر (۲-۱ میلی‌متر) موجب چسبندگی بالاتری در ضماد می‌شوند [۵۲]. لامباردو و سایمون^۷، نتایج خوبی با استفاده از ترکیب سدیم زئولیت که نمک‌ها را در ساختار کانی خود حل نموده و آن‌ها را از معادله ساختاری حذف می‌کند، به دست آورده‌اند [۱۹]. برای نمک‌زدایی مجسمه‌های پلی‌کروم در می‌میزن^۸ از مخلوط ماسه و دوده‌ی سیلیکا استفاده شده است [۵۳]. در سال ۱۹۹۸ دُماسلوسکی^۹ و همکارانش کتابی در ارتباط با حفاظت بناهای آجری منتشر کردند [۴۵] که در آن فصلی به نمک‌زدایی اختصاص یافته است. در این فصل، اطلاعات بسیار دقیقی در ارتباط با اصطلاحات علمی نمک‌زدایی تهیه شده و می‌توان آزمایش‌های نسبی روش‌ها و طرز تهیه‌ی ضمادهای متفاوت را در این کتاب پیدا کرد (شکل ۴). شاخص‌های آزمایش شده در این شکل شامل چسبندگی، انقباض، شکل‌پذیری و تأثیرات نمک‌زدایی است، آخرین شاخص به منزله‌ی میزان نمک استخراج شده در مقایسه با میزان نمکی اصلی است که در آجر آلوده شده (به نمک) وجود دارد. ضریب دیگری با نماد WC وضع شده است که معرف نسبت وزن آب به وزن خشک ضماد است (این ضریب هم برای مواد منفرد و هم برای ترکیبی از مواد مختلف در نظر گرفته می‌شود). در شرایط تجربی می‌توان به سهولت دریافت ضمادهایی که تنها با مواد سلولزی درست شده‌اند به نسبت ضمادهایی که در ساختارشان از خاک رس استفاده شده، از بازده کمتری برخوردارند.

7. Lombardo & Simon

8. Mimizan

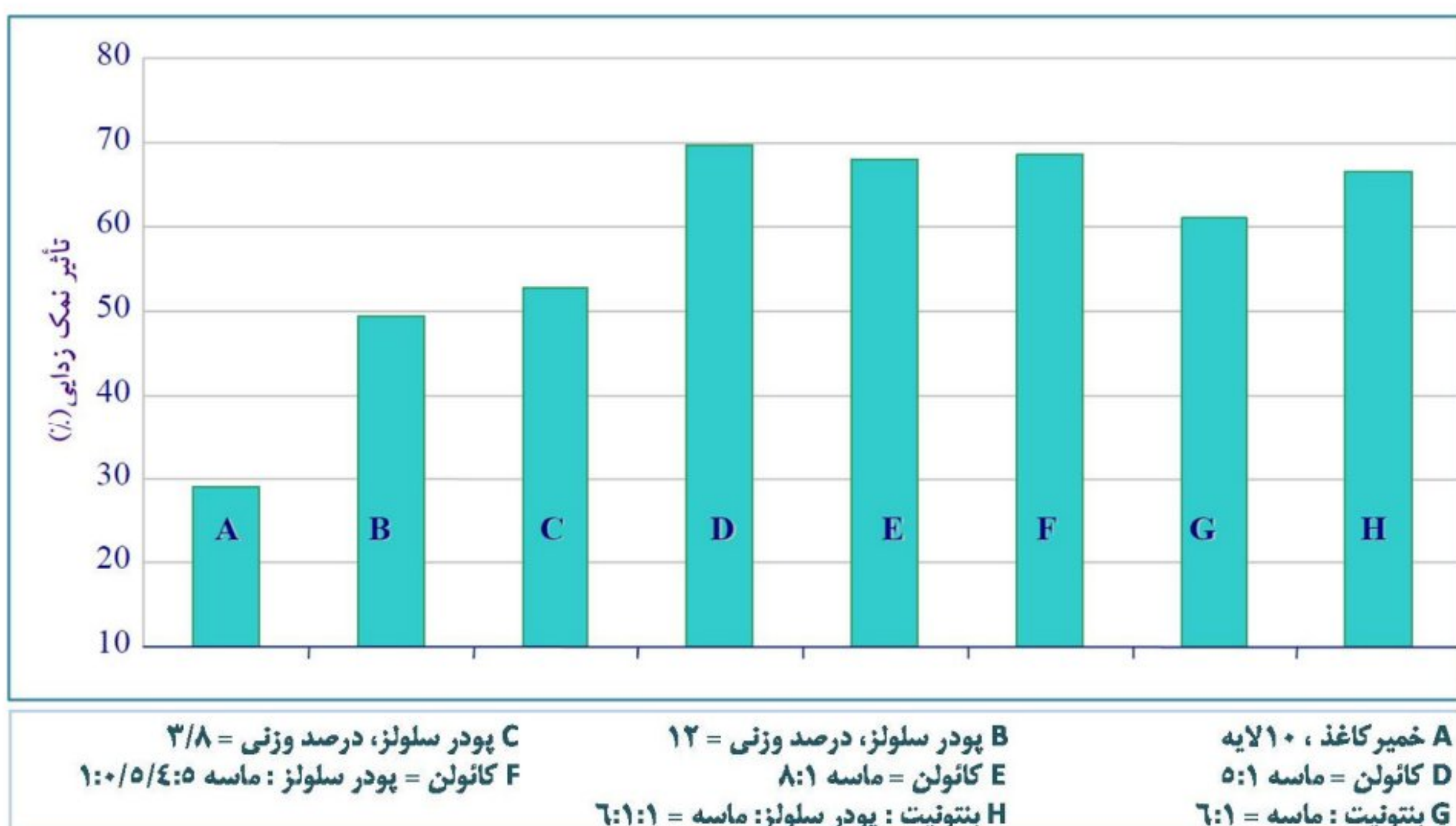
9. Domaslawski

جدول ۳: معرفی ضمادهای بر پایه‌ی ترکیبات مختلف در منابع زیر

در منابع زیر نقل شده است	نوع ضماد
[۱۹][۲۴]	سلولز / ماسه
[۳۸]	سلولز / آتاپولژیت
[۴۸]	سلولز به علاوه‌ی ملات گل و آهک
[۲۸]	سلولز / بنتونیت / ماسه
[۲۸]	سلولز / بنتونیت
[۲۵-۲۶]	ملات آهک
[۲۶]	کائولن / ماسه
[۲۷]	کائولن / کاغذ
[۴۴][۲۴][۱۹]	کائولن / سلولز / ماسه
[۱۹]	کائولن / سیلیکات آلومینیمی سدیم - ماسه

ترکیب کائولن و ماسه به نسبت وزنی ۱ به ۵، بهترین نتیجه را در تهیه‌ی ضماد داده است. مطالعه‌ی نسبی ترکیبات مختلف ضمادها بر سنگ در وضعیت عملی، توسط اگلوفاستین و اوراس^{۱۰} منتشر شده است [۴۴]. آن‌ها همچنین دریافتند که ضمادی که ساختار آن را تنها سلولز تشکیل می‌دهد به نسبت ضمادی که در ساختارش ترکیبی از کانی‌های رسی، سلولز و ماسه به کاربرده شده از تأثیر کمتری برخوردار است. بهترین نتایج از ترکیب کائولن، سلولز و ماسه به نسبت حجمی ۱:۱:۴ گرفته شده است. ترکیب مذکور، تأثیر نهایی مورد مطالعات تطبیقی دیگری را نیز با موفقیت روبه‌رو کرده است [۲۶]. نقطه‌ضعفی که برای این ترکیب ذکر شده، چسبندگی بالای بقایای ضماد پس از برداشتن آن از سطح شیء است (شکل‌گیری پوشش خاکستری یا سفید بر سطح اثر [۴۴]).

کاغذهای ژاپنی با داشتن خصوصیتی از قبیل لک نکردن لایه‌ی زیرین و بالا بردن چسبندگی ضماد [۴۴]، [۱۹] به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تراند. اخیراً از پشم شیشه به‌عنوان افزودنی در ضمادهایی که بر پایه‌ی ماسه، سلولز و آتاپولژیت هستند، استفاده می‌شود. حتی چندین بنا در محوطه‌های بیرونی با استفاده از پشم شیشه به‌صورت تنها ماده‌ی در برگیرنده‌ی ضماد، نمک‌زدایی شده‌اند [۵۴]. این ماده‌ی فیبری، مقاومت طولانی‌مدتی را برای ضماد فراهم می‌کنند. ضمادهای آهکی در مواردی که نیاز است ضماد تا مدت‌ها بر اثر باقی بماند، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این قبیل لایه‌ی قربانی فرصتی را به وجود تا عملیات مرمتی آغاز گردد. خواص برخی افزودنی‌ها شناخته‌شده است، حتی اگر به‌صورت کمی اندازه‌گیری نشده باشد (جدول ۴).



شکل ۴- تأثیرات گونه‌های مختلف ضماد بر بازدهی فرآیند نمک‌زدایی آجرها [۴۵] (Domaslowski et al. 1998)

جدول ۴: خصوصیات مواد افزودنی^{۱۰}

ماده‌ی افزودنی	در منابع زیر نقل شده است	مزایا	معایب
ماسه	[۲][۲۸][۴۵]	انقباض ناشی از خشک شدن را کاهش می‌دهد	—
پنتا کلرو فئات سدیم	[۲۷]	از رشد قارچ‌ها جلوگیری می‌کند	—
تورسازی (با آهن گالوانیزه یا با پلاستیک)	[۲۵][۴۸]	موجب چسبندگی بیشتری می‌شود	—
ترکیب چهار اتمی آمونیاک	[۵۵]	از رشد قارچ‌ها جلوگیری می‌کند	مانع از اندازه‌گیری ضریب انتشار می‌شود
توری که از حلقه‌های طناب کف‌ی با روزن‌های بزرگ ساخته شده است	[۲۵]	از فرو افتادن لایه‌ی ضماد جلوگیری می‌کند	—
پارچه‌ی تنزیب	[۵۵-۵۶]	از زوال سطح اثر جلوگیری می‌کند	موجب کاهش چسبندگی لایه‌ی ضماد به بستر می‌شود
سورفکتانت ^{۱۰}	[۵۱]	موجب چسبندگی بیشتری می‌شود	—
آگار آگار، سریشم، ژل‌های پروتئینی، کربوکسی متیل سلولز	[۲][۳۷]	موجب چسبندگی بیشتری می‌شود	انتقال آب را کاهش می‌دهد

۱۰ سورفکتانت‌ها معمولاً ترکیباتی آلی هستند که دارای گروه‌های هیدروفوبیک که نقش دمودنباله را دارد و گروه‌های هیدروفیلیک که نقش سر را دارد است؛ بنابراین معمولاً به طور ناچیز در آب و حلال‌های آلی حل می‌شوند. سورفکتانت ماده‌ای است که هنگامی که به مقدار بسیار ناچیز استفاده می‌شود، کشش سطحی آب را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (مترجم).

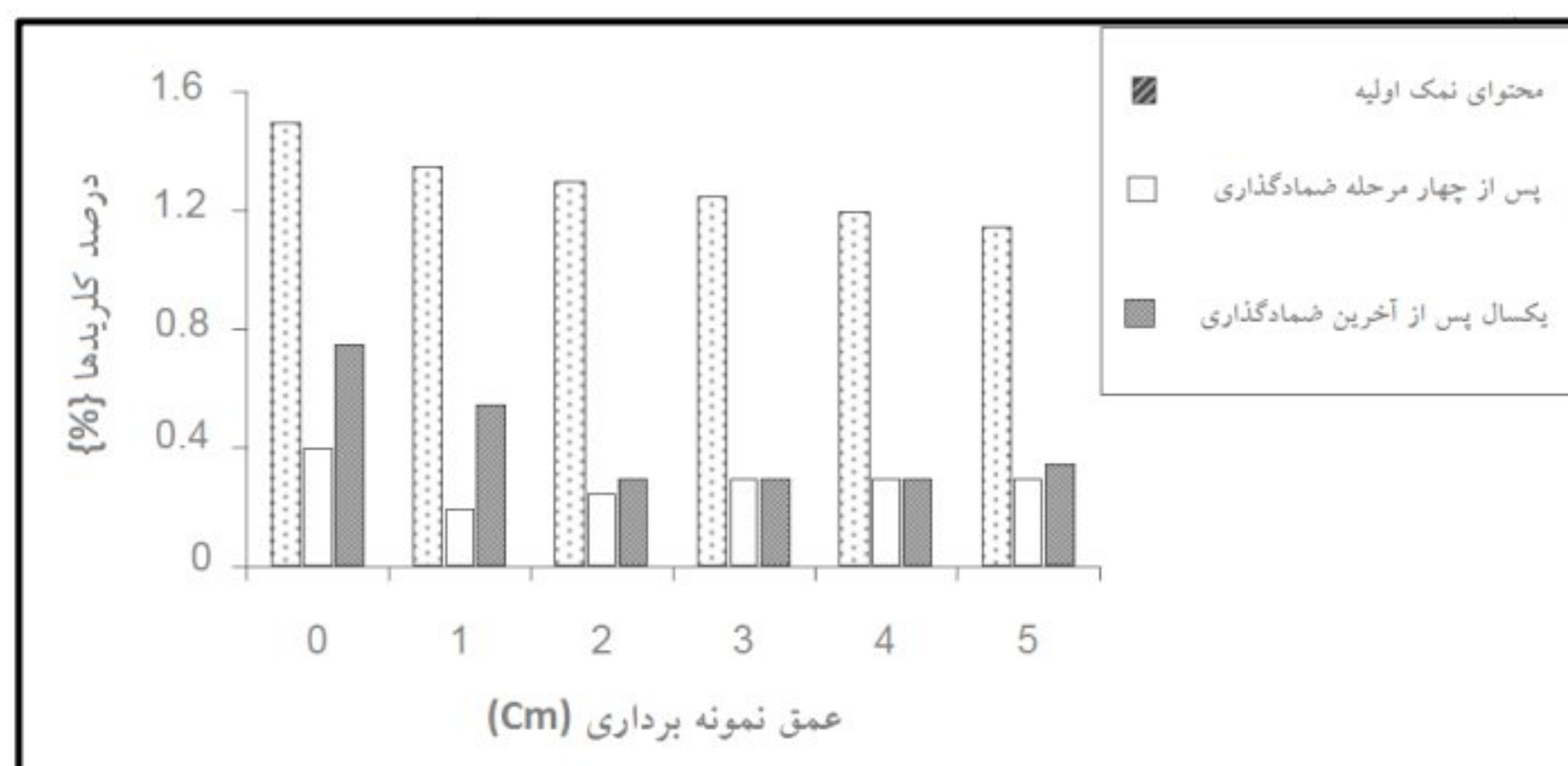
۳-۲ پارامترهای دیگر

برخی مواد نظیر ملات‌های قربانی و محصولات تبلیغاتی بر پایه‌ی سیپولیت‌ها دربردارنده‌ی نمک‌های محلول هستند [۴۸]، [۳۷]، با این حال تنها مقدار ناچیزی از نمک را می‌توان در چندین گونه خاک رس [۱۹] و سلولز [۲۳] شناسایی کرد. عموماً، اپراتورها سعی بر اعمال ضخیم‌ترین لایه‌ی ممکن با موادی که در دست دارند، داشته و تلاش آنها بر دوری از خراب شدن خود به خودی مواد ضمد پس از اعمال آنها است. این امر بایست مطابق با ضخامت ۱-۲ سانتی‌متر ضمد باشد. تا آنجا که می‌دانیم تنها یک بررسی در ارتباط با این موضوع انجام شده است [۵۷]. پژوهشگران دریافته‌اند که اعمال یک لایه‌ی ضخیم ضمد کربوکسیل متیل سلولز نسبت به اعمال چندین لایه‌ی نازک آن، از بازده کمتری برخوردار است. دما، رطوبت نسبی، شرایط تهویه (هوارسانی) و چسبندگی ضمد بر هر دو مورد حرکت انتقالی محلول‌ها و محل رسوب نمک‌ها یا یکی از این دو مورد تأثیر می‌گذارد. در شرایطی که فرآیند تبخیر سریع رخ دهد، منجر به بالا رفتن خطر قطع شدن اتصالات مویی آب شده و به این ترتیب موجب فراهم‌آوری شرایط تبلور نمک‌ها در داخل سنگ به جای تبلور آنها در ضمد می‌شود [۲۶]. به همین دلیل، برخی پژوهشگران محافظت از لایه‌ی ضمد با پوشش پلاستیکی برای کاهش انتقال جنبشی آب را توصیه می‌کنند [۴۳]. در صورت بی‌حفاظ ماندن ضمد در محوطه‌های بیرونی، آب باران و قطرات شبنم می‌توانند ضمد را دوباره مرطوب نموده و این امر نفوذ دوباره‌ی نمک‌ها به داخل سنگ را فراهم می‌کند [۲۶]. این مهم حاکی از آن است که پیش‌بینی تداوم روند نمک‌زدایی با محدودیت قابل توجهی همراه است. نیروی گرانشی در دیوارهای راست (عمودی)، موجب پخش شدن نامنظم آب هم در لایه‌ی ضمد و هم در بستر زیر ضمد می‌شود: تینزل^{۱۲} [۲۳] دریافته است میزان رطوبت و تراکم نمک‌ها در ضمد‌های سلولزی پس از گذشت ۱۰-۲۱ روز در بخش زیرین به نسبت بخش بالایی منطقه‌ی پوشانده شده، به بالاترین حد خود می‌رسد.

۴- مزایا و معایب کلی و پیشنهادات

بهتر است که قبل از اعمال لایه‌ی ضمد، اثر برس کشیده و تمیز شود چرا که این عمل موجب حذف شدن بخش مهمی از نمک سطح می‌شود [۵۸]، [۲۶]. هنگامی که مرمتر با ابنیه سروکار دارد، توصیه می‌شود که گچ‌کاری‌ها، اندود ماسه‌وآهک و ملات بندکشی [۵۹] به شرط نداشتن ارزش تاریخی برداشته شوند. در مواردی که سطوح یا دارای ارزش بالای هنری یا و یا دارای استحکام کمی هستند، روند تمیزکاری بایست با دقت ویژه‌ای انجام شود. گاهی حتی اقدامات مرمت اضافی (به عنوان پیش‌تحکیم، تثبیت با پارچه‌ی توری، تنزیب) برای اجتناب از دست رفتن مواد به هنگام اعمال و برداشت ضمد ضروری هستند [۵۶]، [۲۱]. معمولاً اعمال ضمد بر سطوح حساس یا دارای ارزش هنری با دست انجام می‌شود. ابزار مورد استفاده برای ضمدگذاری بر روی سطوح بزرگتر ساختمان‌های سنگی یا ساختمان‌های آجری بزرگ و ناهموار ماشینی است که اعمال اندود ماسه و آهک را بر این سطوح امکان‌پذیر می‌سازد [۴۴]، [۲۴]. مزایایی از قبیل چسبندگی بهتر و هزینه‌ی کمتر ابزار و به صرفه بودن آنها به لحاظ زمانی از عوامل مهم انتخاب مواد مطرح می‌شوند. پیش از این اشاره شد که یکی از محدودیت‌های بزرگ تکنیک ضمدگذاری این است که تنها عمق محدودی از اثر نمک‌زدایی می‌شود [۳۹]، [۱۶]. دیوارهایی با ضخامت بیش از ۱ متر می‌توانند به راحتی آلوده شوند، با این حال عمق نمک‌زدایی به سختی بیشتر از ۵ تا ۱۰ سانتی‌متر می‌شود. پوسیدگی از طریق تبلور نمک‌ها اغلب پس از مدت زمانی، دوباره شروع می‌شود [۳۹]، [۵۶]. مثال خوبی از نمک‌زدایی، اتاقی است که در برج لندن طی قرن هفدهم ساخته

شده است. دیوارهای قرون وسطایی توسط هالیت‌ها آلوده شده و پس از ۴ مرحله‌ی موفقیت‌آمیز ضمادگذاری با گل، محتویات کلریدی به میزان سطح رضایت‌بخشی کاهش یافت. یک سال بعد، متأسفانه، سطح سنگ دوباره آلوده گشت (شکل ۵)

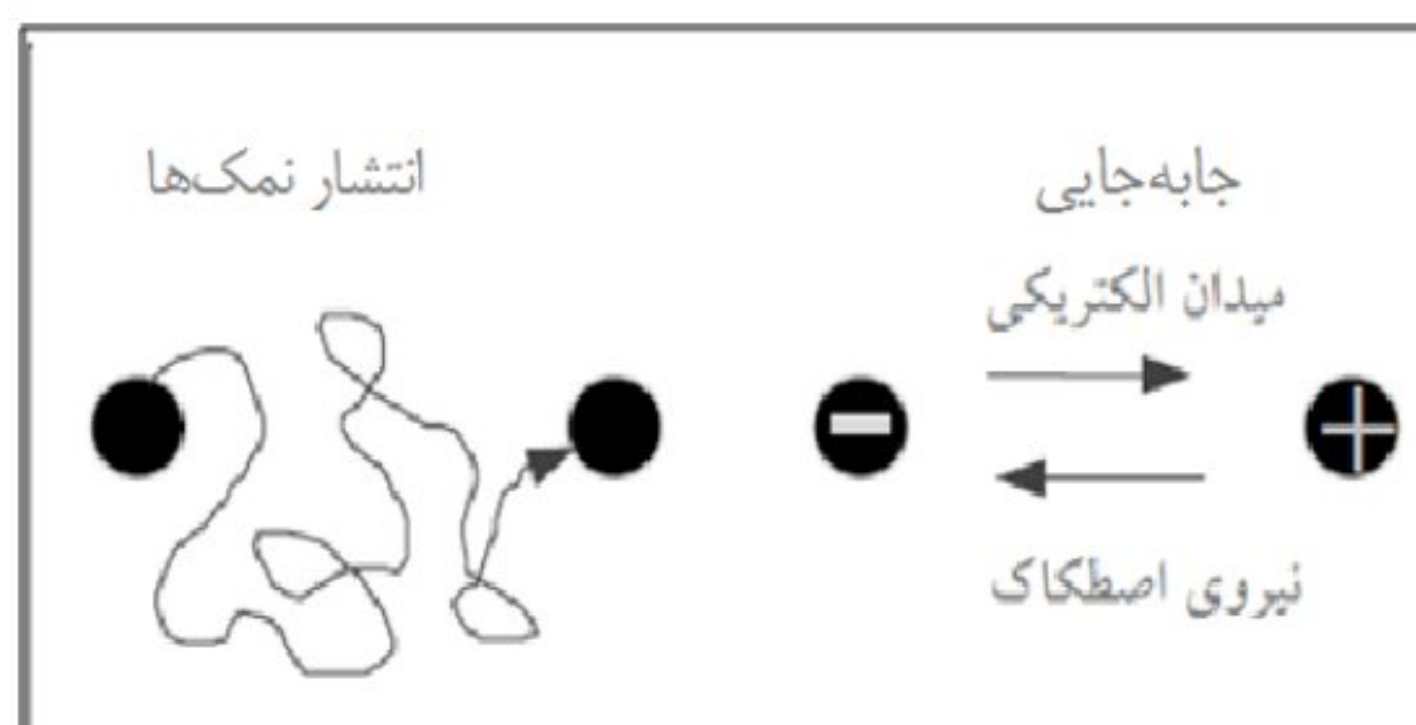


شکل ۵- تغییر تدریجی میزان کلریدها به عنوان تابعی از عمق در بنای سنگی پس از نمک‌زدایی با ضماد [۳۹] (M.J. Bowley, 1975) در بسیاری از موارد، نمی‌توان به نمک‌زدایی کاملی رسید بنابراین مناسب‌ترین اقدام برای اثر آسیب دیده می‌تواند نمک‌زدایی سطح شیء به منظور تسهیل اجرا، تعبیه محصولات استحکامی و ایجاد بهترین وضعیت برای اتصال اندوهای تعمیر شده باشد. این مهم، موجب موفقیت روند استحکام بخشی در مواقعی است که استحکام شیء توسط حجم بالای نمک‌ها، در معرض خطر قرار گرفته است [۶۰-۶۱]. علاوه بر آن، در بعضی موارد در صورت حذف شدن علت اصلی انتقال نمک‌ها، استخراج نمک‌های سطحی می‌تواند کافی باشد. برای مثال، اقدامات کارآمد در برابر نفوذ آب می‌تواند موجب کاهش میزان قابل توجهی از معضلات تخریبی نمک بر قسمت‌های بالای تاق دروازه شود. سطح دانش ما برای پیش‌بینی چنین ثباتی بسیار کم است.

۵- تسریع‌کننده‌ی فرآیند نمک‌زدایی با استفاده از روش‌های الکتروفورز

۱-۵ اصول و شاخص‌ها:

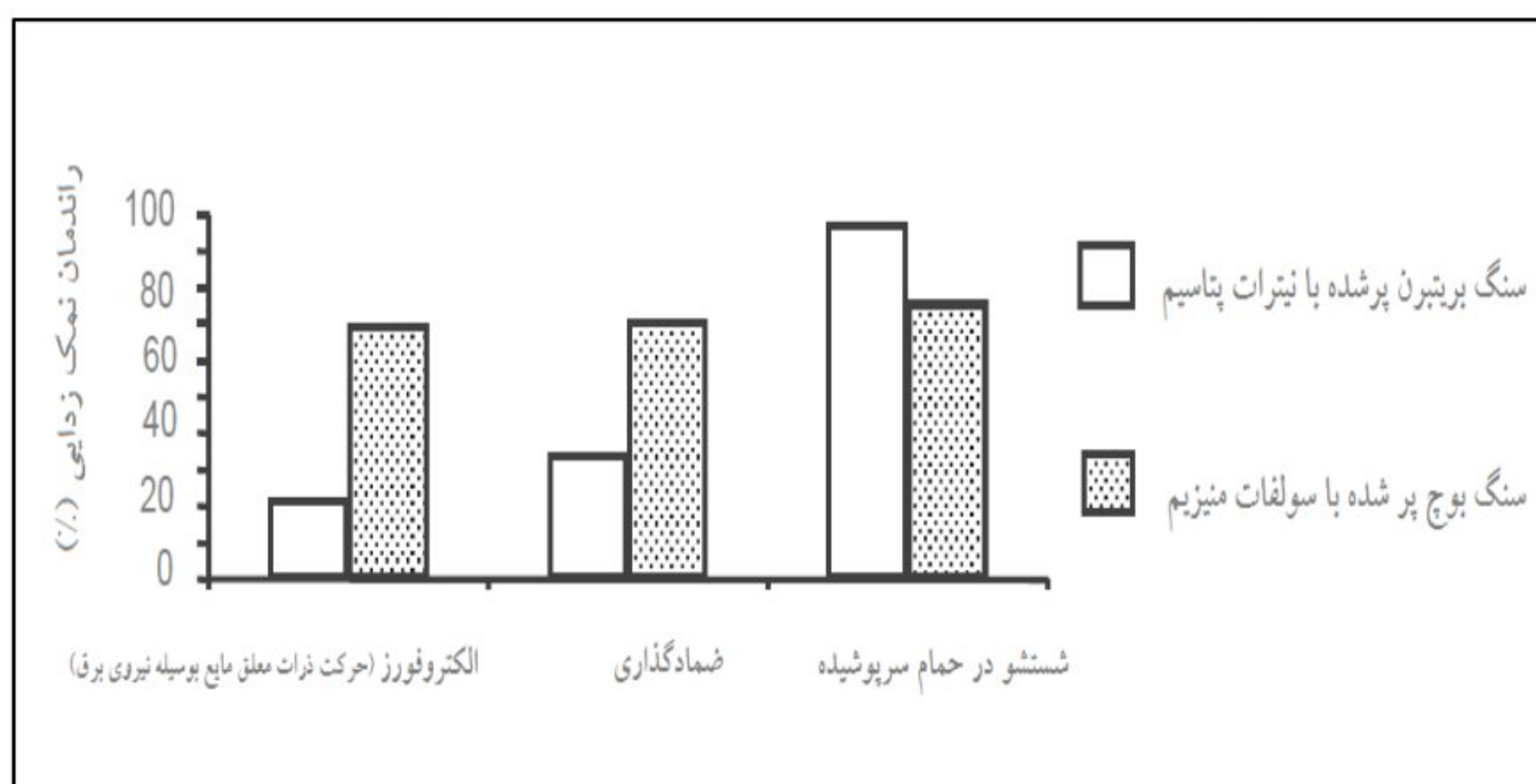
میدان الکتریکی در (داخل) محلول (تحلیل جسم به وسیله‌ی جریان برق) میان دو الکترود ایجاد می‌شود. میدان الکتریکی گسترش تصادفی یون‌ها و انواع قطب‌های باردار را به جابه‌جایی مستقیمی به سمت الکترودها منتقل می‌کند (شکل ۶).



شکل ۶- حضور میدان الکتریکی انتشار نامنظم را به جابه‌جایی جهت‌داری تبدیل می‌کند [۶۲] (Andrade et al., 1995).

آند و کاتد به ترتیب به سمت بارهای منفی و مثبت جذب و سپس کشیده می‌شوند. الکترودها داخل لایه‌ی ضمد در دو طرف شئ که قبلاً خیس‌انده شده است، قرار داده می‌شوند. این روش بر مصالحی از قبیل سنگ [۳۸]، [۳۴]، [۲۶] چوب [۶۳]، نقاشی‌های دیواری [۶۴] و آجرها [۶۵] آزمایش شده است. این روش نسبتاً شناخته شده بیشتر برای برداشت نمک‌های کلریدی از بتن استفاده می‌شود [۶۶]، [۶۲].

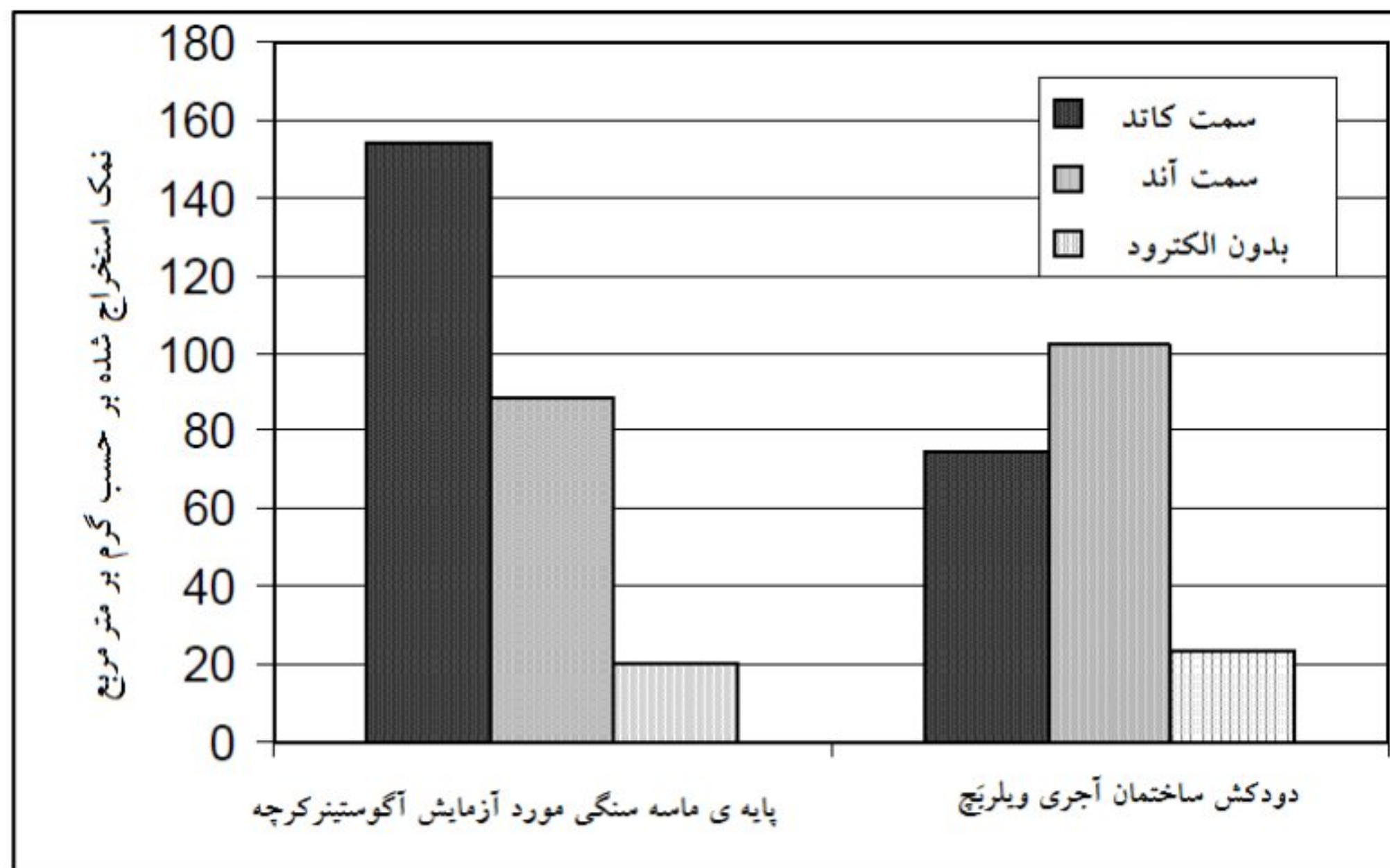
در این روش، اولین الکترودها داخل ضمد اعمال شده بر بستر قرار داده می‌شود و الکترودهای دیگر سیستم استوار خود بتن است. زمینه‌ی نظری انتشار الکتریسیته در مورد بتن مورد مطالعه قرار گرفته است. فرآیندهای مهاجرت را می‌توان توسط قوانین الکتروشیمیایی فارادی، نرنست پلانک و نرنست اینشتین [۶۲] بیان و اندازه‌گیری نمود. بازده این روش‌ها تاکنون به طور مجاب‌کننده‌ای ثابت نشده است و در بسیاری از نمونه‌ها، اعمال این روش بدون هیچ‌گونه قیاسی با روش‌های دیگر انجام می‌شود، برای مثال در نمونه‌ای به‌منظور نمک‌زدایی ساختمان آجری در نویزیل تنها مطالعه‌ی آزمایشگاهی موثقی که یافته شد [۳۸] روی یک ماسه سنگ انجام گرفته است (شکل ۷).



شکل ۷- مقایسه‌ی سه روش نمک‌زدایی بر دو گونه ماسه‌سنگ [۳۸] (B. Legrum, 1993)

در آن صورت، کارایی روش الکتروفورز^۹ به نظر تکامل نیافته‌تر و یا هم‌ارز با آن و یا روش‌های دیگر است. اخیراً سنجشی با مخلوطی از بنتونیت، سلولز و ماسه برای تقویت ماسه‌سنگ و آجرکاری دودکش در جای اصلی‌اش انجام شد [۲۴]. الکترودهای تیتانیوم (ولتاژ با جریان مستقیم: ۹۷ ولت) با ضمد به مدت ۶ هفته به کار برده شد. بازده روش الکتروفورز در هر دو مورد به صورت قابل توجهی بهتر از ضمد‌های عادی و معمولی بود. پیامدهای جانبی منفی، از جمله تغییرات شدید میزان pH ($10 > 3$) و تغییرات رنگی قهوه‌ای (ترکیبات آهن) و سفید (اکسید تیتانیوم) بر ماسه‌سنگ بودند (شکل ۸). پژوهشگران نتیجه‌گیری کردند که این روش توانایی بالایی برای کاهش روش وقت‌گیر ضمدگذاری به روش معمولی دارد، با این حال، نیازمند به کنترل دائمی به هنگام اجرا است [۲۴].

۹. الکتروفورز از شناخته شده‌ترین روش‌های آزمایشگاهی برای جداسازی بیومولکول‌ها است. به‌طور کلی الکتروفورز حرکت ذرات پراکنده در داخل مایعی تحت تأثیر یک میدان الکتریکی یکنواخت را گویند (مترجم).



شکل ۸- بازدهی نمک زدایی با روش ضمادگذاری همراه با گذاشتن الکترود در لایه ی ضماد [۲۴]

۶- بررسی روش هایی برای نظارت نمک زدایی

قابل اطمینان ترین روش برای نظارت بر روند نمک زدایی، اندازه گیری صحیح نمک های داخل اثر است. با این حال در بسیاری از موارد نمونه برداری از اثر امکان پذیر نیست؛ بازدهی نمک زدایی را می توان هم با اندازه گیری یون ها و هم با اندازه گیری رسانایی متوسط نمک زدایی تعیین نمود.

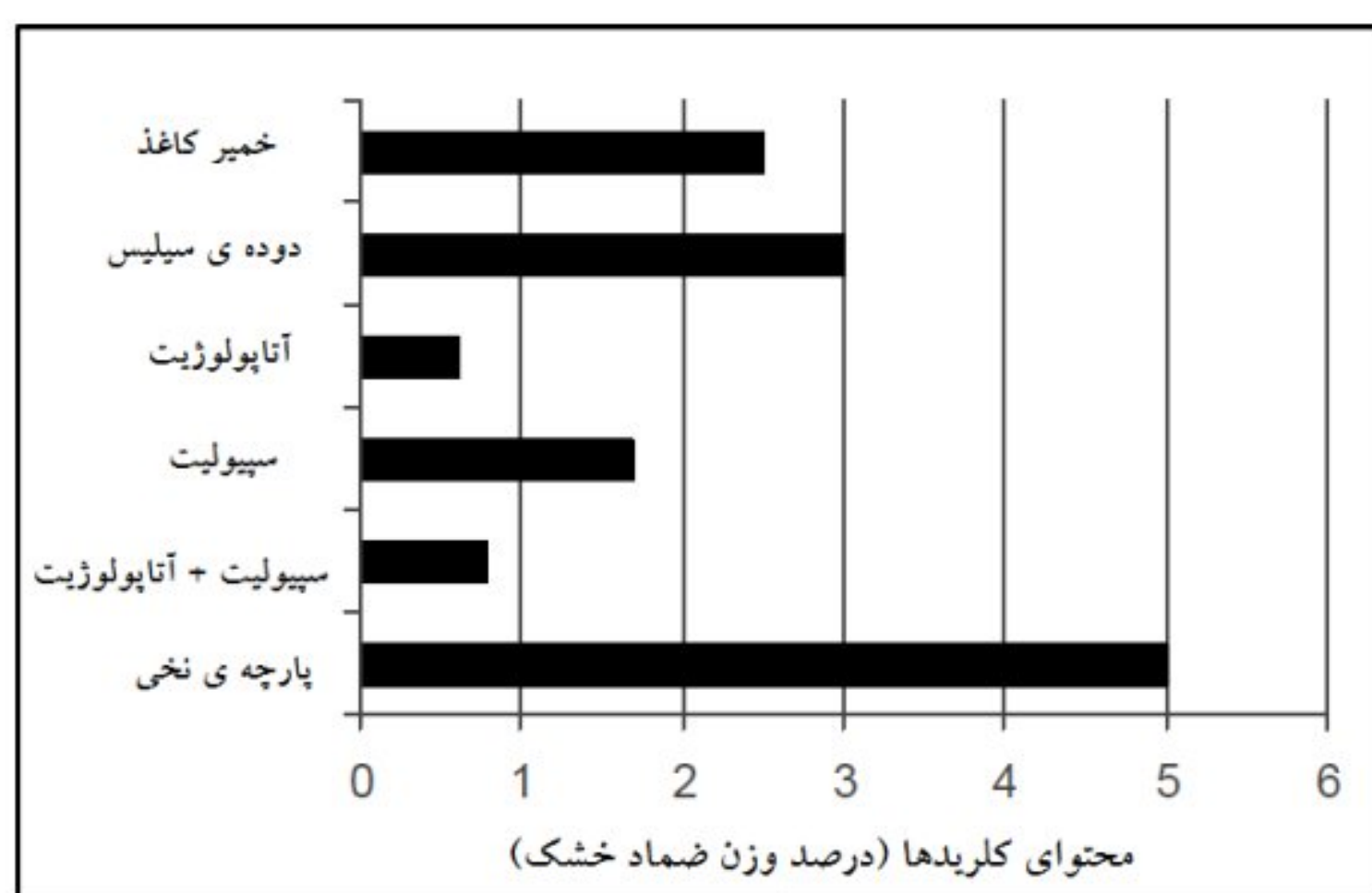
۶-۱ نظارت مستقیم بر آثار

پودر سنگ ناشی از مته زنی بدون استفاده از آب جمع آوری شده [۶۷]، [۵۶]. و یون های مختلف پس از استخراج تعیین و شناسایی می شوند. روش استخراج نرمال ۱۳/۸۳ استاندارد ایتالیایی [۶۸] برای چنین برنامه های کاربردی نسبتاً خوب تنظیم شده است. بایست بپذیریم با وجود طیف گسترده ای از اقدامات استخراجی نمک ها در آزمایشگاه، محدوده زمانی روند نمک زدایی از ۱۰ دقیقه تا ۲۴ ساعت است و نسبت آب به نمونه های مختلف انتخاب می شود [۶۹]. بنابراین بایست با احتیاط به مقایسه ی نتایج به دست آمده توسط آزمایشگاه های مختلف پرداخت، خصوصاً اگر نمونه حاوی گچ باشد [۷۰]. هیچ عقیده ی عمومی که بتواند حفاظت قابل اطمینانی برای اشیاء در حد آستانه ی نمک تضمین کند، وجود ندارد. کلریدها جزو نمک هایی هستند که قادرند با مقدار کمتر از یک درصد وزنی [۷۱]، موجب تخریب سنگ ها شوند. این حد اغلب به اندازه ۰/۱ درصد وزنی [۷۲] در نظر گرفته می شود. سولفات ها همچنین به همان صورت آستانه ی بزرگ و قابل سنجشی دارند، مگر این که با کلسیم تشکیل گچ را بدهند. تنها در آن صورت، جمع شدگی های زیاد می تواند بی خطر باشد. اخیراً وی تی ای مارکبلت^{۱۴} آلمانی [۲]، پیشنهادتی را با محدوده ی تجمع بسیار پایین عناصر (یون کلر کمتر از ۰/۰۳ درصد، یون نیترات کمتر از ۰/۰۵ درصد، یون سولفات کمتر از ۰/۰۱ درصد وزنی) تهیه نمود که می تواند مبنای مناسبی

برای اصلاحات مبتنی بر توافق طرفین از مقادیر در سطح بین المللی باشد. این تکنیک شامل اندازه‌گیری محتوای رطوبت نم‌گیر پودرهای مته در ۹۵٪ رطوبت نسبی به‌جای اندازه‌گیری محتوای نمکی است. روش MS۱۲۷RILEM TC- [۷۳] به نظر نمی‌رسد برای کنترل کل محتوای نمک کافی باشد. اول از همه، نمک‌هایی (همانند گچ) که دارای رطوبت نسبی متعادل بالاتر از ۹۵٪ هستند؛ در اندازه‌گیری به‌حساب نمی‌آیند. مشکل دیگر در پی بررسی گارچ و دیگران^{۱۵} در سال ۱۹۹۱ نشان داده شده است [۷۴]. این پژوهشگران نشان داده‌اند ماسه‌سنگ مشابه در صورت آلوده شدن به نمک‌های مختلف، ممکن است هم دماهای جذب سطحی رطوبت مختلفی داشته باشد. در نتیجه، اگر چنین ماسه‌سنگی با غلظت‌های متفاوت نمک‌های مختلف، نمک‌دار شده باشد، محتوای آب آن در ۹۵٪ رطوبت نسبی به‌طور قابل توجهی متفاوت خواهد بود. بنابراین محتوای رطوبت نم‌گیر، همیشه تابع محتوای کل نمک نیست، با این حال ممکن است به نوع نمک و یا ترکیب نمک‌های محتوی شئ بستگی داشته باشد. در تجزیه و تحلیل‌هایی عادی می‌توان مقدار کل نمک را به‌جای غلظت یون منفرد اندازه‌گیری نمود. نمک‌های محلول از نمونه به وسیله‌ی روشی که در بالا برای آنالیز اقسام یون‌ها ذکر شد، استخراج شدند. پس از صاف شدن و بخار شدن محلول، محتوای کلی نمک‌ها را می‌توان با اندازه‌گیری ساده جاذبه‌ی سطحی تعیین نمود. این تکنیک ارزان‌تر است و به تکنیک‌ها و تجزیه و تحلیل‌های پیچیده نیازی ندارد.

۶-۲ نظارت غیرمستقیم بر ضماها

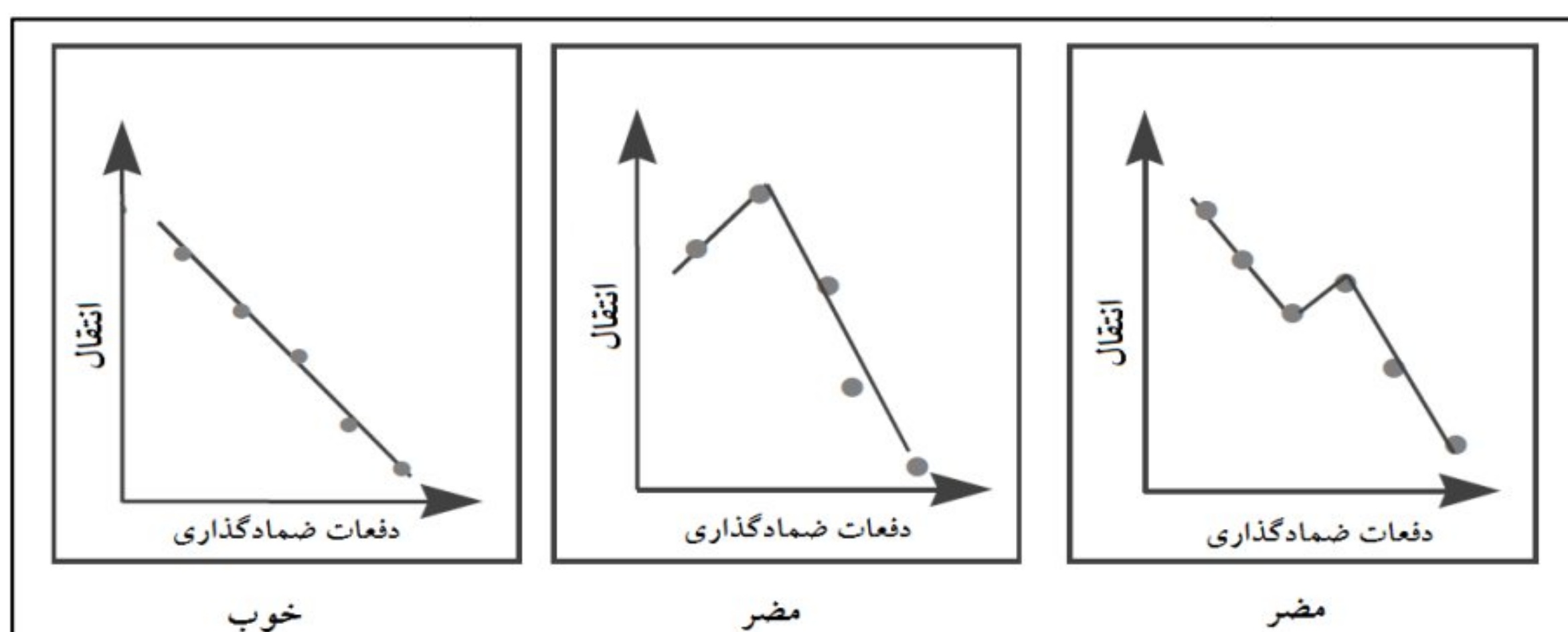
نظارت با تعیین نمودن محتوای نمک کلی، اقسام یون منفرد یا از طریق اندازه‌گیری رسانایی انجام می‌شود. در گام اول، مواد ضما بایستی واریسی شوند تا فقدان نمک‌ها معلوم شود [۴۸]، [۳۷]، [۲۹]، [۱۹]. سنجش میزان گونه‌های یونی ضماهایی که بر پایه‌ی کائولن است، مشکل است چرا که کائولینیت همانند دیگر کانی‌های رسی می‌تواند کاتیون‌ها را جذب کند و دلیل دیگر این که این ماده به‌سادگی الک نمی‌شود. اندازه‌گیری رسانایی سوسپانسیون مواد ضما در آب، روشی معتبر و آسان است. در صورت مقایسه‌ی چندین مواد ضما، بهتر است نتایج به‌جای درصد وزنی به‌صورت گرم بر متر مربع یا سانتی‌متر بر مترمربع بیان شود. درحقیقت، وزن خشک ناحیه‌ای که با ضما پوشانده می‌شود، بستگی زیادی به چگالی ظاهری، نگهداری آب و دامنه‌ی شکل‌پذیری دارد (شکل ۹). موارد گفته شده در صورتی صدق می‌کند که ضما ضخامت یکسانی از یک نقطه به نقطه‌ای دیگر در همان اجرا نداشته باشد.



شکل ۹- محتوای کلریدی ضماهای مختلف بازدهی نمک‌زدایی همسانی دارند (۲۵ گرم بر متر مربع) بیان شده در درصد وزنی [۱] (Vergès-Belmin & Bromblet, 2001)

¹⁵ Garrecht et al

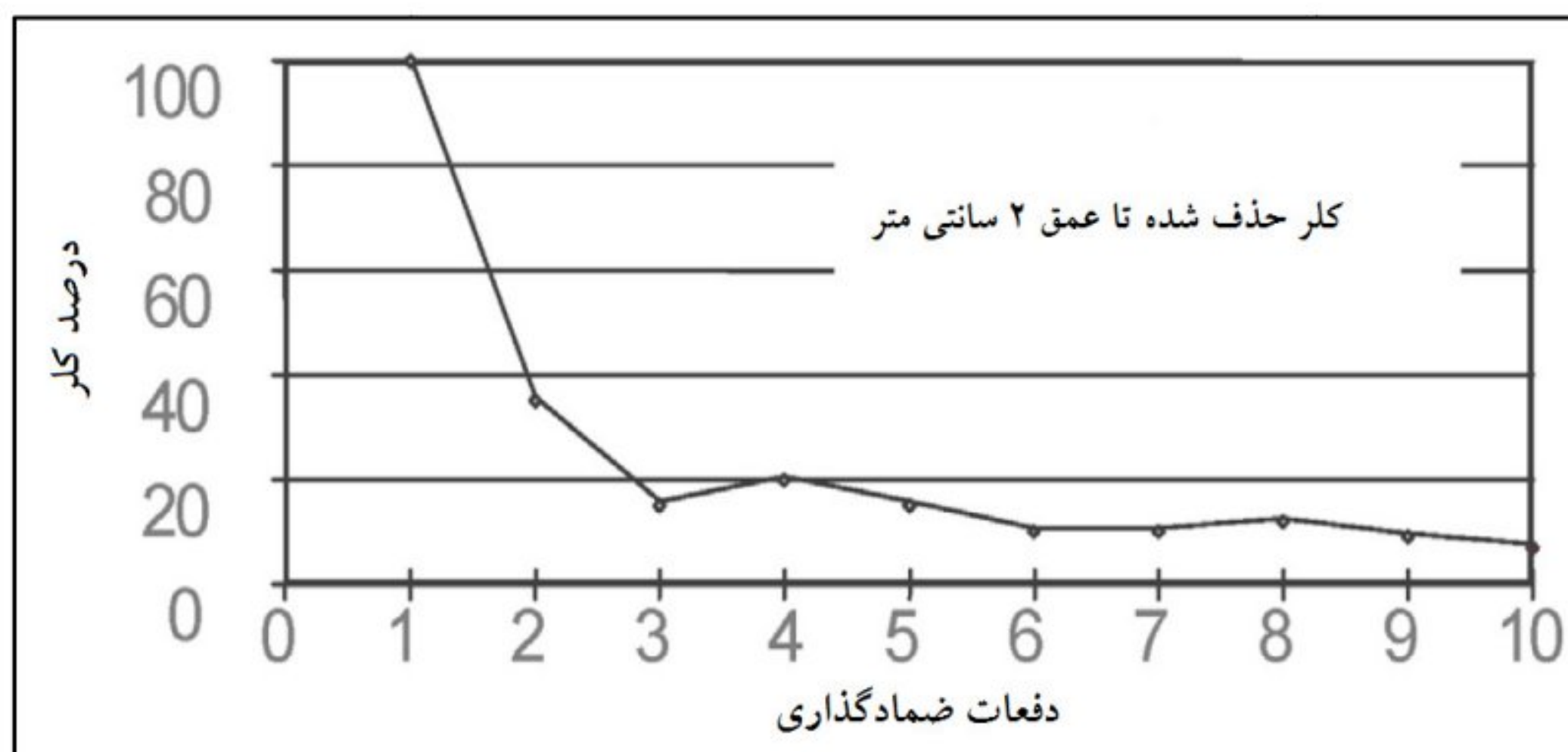
در صورتی که افزودنی‌های تبدیل به یون شده همانند آمونیوم بایوسید چهار جزئی به آب، به منظور خیس نمودن ضما د اضافه شوند؛ اندازه‌ی رسانایی ممکن است تغییر یابد [۵۵]. بسیاری از کانی‌های رسی همانند مونت موریلونیت (کانی متورم‌کننده بنتونیت که گاهی اوقات در کائولن نیز حضور دارد) می‌تواند یون‌ها را در سطح خود کاملاً حفظ کند. این خاصیت، ظرفیت جذب نامیده می‌شود و ممکن است موجب برهم زدن میزان رسانایی [۴۱] یا استخراج نمک‌ها به کمک آب برای مقدار بیشتری از یون‌ها شود. در نظارت بر روند نمک‌زدایی با ضما دبر پایه‌ی خاک رس، همواره باید این محدودیت‌ها را به حساب آورد. بالسترم و دیگران^{۱۶} [۲۷] پیشنهاد می‌کند مواد قبل از استخراج نمک‌ها در دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد به منظور تجزیه و تحلیل سوزانده شوند. برخی از پژوهشگران سعی در به تعریف معیاری برای ارزیابی ضما د نمک‌زدایی دارند. شکل ۱۰ یکی از پیشنهادات را نشان می‌دهد [۷۵]: اگر تکامل تدریجی انتقال به دنبال یک کاهش منظم باشد، نمک‌زدایی موفق متصور خواهد شد.



شکل ۱۰- توصیه‌ای برای بهینه نمودن فرآیند نمک‌زدایی به عقیده‌ی Ciabach & Sajibinski منحنی نشان دهنده‌ی رسانندگی هر ضما دگذاری موفق‌آمیز بر اثر است. ثابت شده است که فرآیند نمک‌زدایی با وجود حاصل شدن تغییرات خوب تدریجی ممکن است با موفقیت روبه‌رو نشود [۷۵].

درواقع، مواردی وجود دارد که با وجود آن که روند نمک‌زدایی تکامل تدریجی توصیه شده را به دقت پیروی می‌کند، با این حال هنوز هم ناموفق است چرا که همان‌طور که در شکل ۱۱ نشان داده می‌شود، نمک‌ها تنها تا عمق محدودی حذف می‌شوند [۱۶]. ضما د بایست زمانی برداشته شود که خود به خود از بسترش جدا می‌گردد [۶۷]، [۱۶] یا زمانی که کاملاً خشک شده باشد. سپس لایه‌ی ضما د جدید بر سطح اعمال می‌شود و این روند یک مرتبه، دو مرتبه و یا مراتب بیشتری تکرار می‌شود. اغلب تنها زمانی می‌توان متوجه شد روند نمک‌زدایی به پایان خود رسیده است که دیگر هیچ کاهش مجددی در انتقال آب توسط ضما د مشاهده نشود. این درواقع یعنی روند نمک‌زدایی که برای کل اثر به کار برده شده، بلکه به این مفهوم است که تنها عمق خیس‌شده‌ی اثر بسته به میزان آب موجود در لایه‌ی ضما د و بسته به کشش مویینگی بستر نمک‌زدایی شده است. در بعضی موارد، عمق ناحیه‌ی نمک‌زدایی شده به ۱-۲ سانتی‌متر رسیده است.

¹⁶. Ballestrem et al



شکل ۱۱- دنباله‌گیری میزان کلرید در طول نمک‌زدایی با ضمادگذاری. پژوهشگران متوجه شدند که نمک‌زدایی مؤثر تنها تا عمق دو سانتی‌متری اثر نفوذ کرده است (Fassina & Molteni, 1994). [۱۶]

۷- نتیجه‌گیری

شیوه ضمادگذاری در صورتی که تمام مصالح و مواد خیس شوند، می‌تواند تأثیرگذار باشد؛ برای مثال زمانی که جسم تا حدی از یک طرف در حمام غوطه‌ور باشد و طرف دیگر آن با لایه‌ی ضماد پوشیده شود، با جابه‌جایی مستقیم رطوبت از طریق بستر به داخل ضماد، می‌تواند به طرق مختلف در ضماد حفظ شود. در بسیاری از موارد، ضماد نمک‌زدایی حتی اگر محتویات نمک به سطح بسیار پایین در نزدیکی سطح جسم خود کاهش یابد، به‌صورت جزئی بر اثر باقی می‌ماند. استفاده از روش‌های الکتروفوریک زمانی که روی ضماد اعمال شود، به‌استثنای مورد بتن، تا زمانی دور از باور و مجاب‌کننده بود. روال نمک‌زدایی بایست کنترل شود و این عمل در صورت امکان با اندازه‌گیری نمک‌های باقی‌مانده در خود جسم تعیین می‌شود. نظارت‌های انجام شده بر ضماد، تضمینی برای نمک‌زدایی کامل تلقی نمی‌شود و در نتیجه نمی‌تواند موثق در نظر گرفته شود. تنها اطلاعاتی که می‌توان از میزان نمک موجود در ضماد گرفت، این است که آیا استخراج نمک هنوز هم در حال پیشرفت است (اگر نمک‌ها هنوز در لایه‌ی ضماد وجود داشته باشند، می‌توان با ضمادگذاری‌های بیشتری به استخراج نمک‌ها پرداخت) و یا به پایان رسیده (نمک‌ها دیگر در لایه‌ی ضماد وجود ندارند، به همین دلیل ضمادگذاری‌های بیشتر سودمند نخواهد بود). با این حال، در بسیاری از موارد عملی، به‌لحاظ نقطه نظر اقتصادی، اجرای تعداد زیادی چرخه‌ی ضمادگذاری امکان‌پذیر نیست (هرچند، مقدار کوچکی از نمک هنوز هم می‌تواند با اعمال چرخه‌های بیشتر ضمادگذاری، استخراج شود). مرحله‌ای از کار که اجرای فرآیند بایست متوقف شود، می‌تواند در صورت متعاقب نمودن میزان نمک موجود در ضماد، ارزیابی شود (کارآمدی استخراج بیشتر در مقابل هزینه‌ها). مدل‌سازی انتقال نمک‌ها مسئله‌ای است که هنوز به تحقیقات گسترده‌تری نیاز دارد. این موضوع تاحدودی در مواردی همانند آلیاژهای مس [۷۵]، بتن [۶۲] و سنگ‌ها یا شیشه‌های بازیافته از کشتی‌های غرق شده [۷۷] به‌خوبی مورد مطالعه قرار گرفته است. رویکردهای موجود [۷۸-۷۹] تاکنون به‌طور قطع قابل اجرا در حفاظت علمی نیست. مدل‌سازی پیشرفته مطمئناً یک گام بزرگ به جلو در بهبود روش‌های نمک‌زدایی است. این امر به‌ویژه برای ضمادی که خواص آن به‌اندازه کافی شناخته نشده صحیح‌تر به نظر می‌رسد. گفته می‌شود که روش‌های موجود حتی برای اندازه‌گیری آب و انتقال بخار برای آن دسته از مواد شکننده تعبیه نشده است. در راستای توضیح این مطالب باید تلاش‌هایی صورت بگیرد. سؤال

دیگری که در مرمت سنگ‌ها باقی می‌ماند، پرداختن به این مطلب است که آیا نمک‌زدایی مجسمه‌ها و ابنیه در محوطه‌های بیرونی با وجود آگاهی به این مهم که تنها چند سانتی‌متر از سطح نمک‌زدایی خواهد شد، ارزشی دارد یا خیر؟ نتیجه مورد بحث این است که فرآیند نمک‌زدایی برای کمک کردن به درمان‌هایی نظیر استحکام بخشی و اعمال ملات‌های تعمیری در بهترین شرایط ممکن انجام می‌شود.

منابع

1. V. Vergès-Belmin and P. Bromblet, *La pierre et les sels*, in Monumental ۲۰۰۱, ۲۲۴-۲۶۲, Direction du Patrimoine, Paris (۲۰۰۱).
2. G. Grassegger, P. J. Koblschek, M. Auras, H. Ettl, K. Häfner, G. Hilbert, C. Kaps, H. Leisen, R. Niemeyer, E. von Plewhe-Leisen, J. Pühringer, H. Siedel, K. Terheiden, E. Wendler and H.W. Zier, *Zerstörungsfreies Entsalzen von Naturstein und anderen porösen Baustoffen mittels Kompressen (Non-destructive desalination of natural stones and other porous building materials with poultices)*, WTA Merkblatt ۳-۱۳-۰۱/D, WTA publications, München. Draft version ۲۰۰۱, revised final version ۲۰۰۳.
3. H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, *Mauersalze und Architekturoberflächen*, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
4. V. Vergès-Belmin, *Desalination of porous building materials: a review*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۱۲۱-۱۳۷, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
5. M. Matteini, *Mineralische Festigungsmittel zur Konservierung von Objekten aus porösem Material aus dem Bereich der Kunst und Archäologie (Mineral consolidants for the conservation of objects from porous materials in the field of art and archaeology)*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۱۷۳-۱۸۴, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
6. J. Weber, *Insolubilisation of sulfate salts by baryum hydroxides : principles and experiences*.
7. *Insolubilisation des sulfates par les hydroxydes de baryum: principes et expérimentations*, in Enduits dégradés par les sels: pathologies et traitements, Journée technique internationale, Paris ۲۰۰۴. Dossier technique ICOMOS-France ۶ (۲۰۰۴).
8. S. Laue, *Salze und Raumklima in historischen Gebäuden*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۶۵-۷۱, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
9. S. Laue, *Climate controlled salt crystallizations (Contrôle de la cristallisation des sels par une action sur l'environnement climatique)*, in: Enduits dégradés par les sels: pathologies et traitements. Journée technique internationale, Paris ۲۰۰۴. ۱۰ p, Doss. Tech. ICOMOS-France n° ۶ (۲۰۰۴).
10. P. Bollingtoft and P. Klenz Larsen, *The use of passive climate control to prevent salt decay in Danish churches*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۹۰-۹۳, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
11. M. Wilimzig, *Desalting of nitrates by denitrification* in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۳۳-۲۴۰, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
12. M. Wilimzig, *Einfluss von Mikroorganismen auf bauschädliche Salze*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۷۹-۸۲, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
13. G. Ranalli, M. Chiavarini, V. Guidetti, F. Marsala, M. Matteini, Zanardini and Sorlini C., *The use of microorganisms for the removal of nitrates and organic substances on artistic stoneworks*, in: "Proceedings of the ۸th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Berlin, Germany. Josef Riederer, editor, Berlin, p. ۱۴۱۵-۱۴۲۰ (۱۹۹۶).
14. V. Minder-Heng, A.-J. Berteaud and V. Vergès-Belmin *Migration de l'eau dans les roches sous microondes en vue du dessalement des pierres de taille*, Studies in Conservation, ۳۹, ۲, ۱۲۱-۱۳۱ (۱۹۹۴).
15. S.M. Bradley and D. Thickett, *An investigation into the movement of moisture and solute salts*, in Proceedings of the ۷th International Congress

- on Deterioration and Conservation of Stone, J. Delgado Rodriguez, F. Henriques and F.T. Jeremias, Editors, vol. ۱, ۴۱۷-۴۲۶, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon (۱۹۹۲)
16. C. Samson-Gombert, *Influences de l'environnement urbain et maritime sur les alterations d'un calcaire en oeuvre: la pierre de Caen*, Thèse, Université de Caen, U.F.R. des Sciences de la Terre et de l'aménagement régional (۱۹۹۳).
 17. V. Fassina and C. Molteni, *Problemi di conservazione connessi all'umidità delle murature: la diagnostica e le tecnologie conservative applicate al restauro della cripta di S. Marco in Venezia*, in La conservation dei monumenti nel bacino del Mediterraneo = The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the ۳rd International Symposium, V. Fassina, H. Ott, F. Zezza, Editors, ۸-۳-۸۱۳, Venice (۱۹۹۴).
 18. F. Grüner and G. Grassegger, *Der Einfluss der Kompressentrocknung auf den Entsalzungseffekt Laborversuche zur quantitative Erfassung*, in : WTA Schriftenreihe, ۸, ۴۲-۵۷ (۱۹۹۶).
 19. K. Terheiden and C. Kaps, *Sandsteine im Sanierungsprozess der Kompressenentsalzung. Laboruntersuchungen zur Diffusion und Advektion*, in FAS ۱۲ (۱۲. Hanseatische Sanierungstage Wismar), ۱۵۵-۱۶۶ (۲۰۰۱).
 20. T. Lombardo and S. Simon, *Desalination by poulticing: laboratory study on controlling parameters*, in Proceedings of the ۱۰th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Stockholm, ۳۳۳-۳۳۰, ICOMOS Sweden, Stockholm (۲۰۰۴).
 21. M. Steiger and H.-H. Neumann, *Pilotobjekt Kampischer Hof, Stralsund: Vergleichende Salzmessungen in Klimakammer III vor und nach der Entsalzungsmaßnahme*, Institut für Anorganische und Angewandte Chemie, Abteilung Angewandte Analytik, Universität Hamburg, App., unpublished report (۱۹۹۵).
 22. H. Siedel, *Experiences from desalting of tuffstone and sandstone monuments by compresses*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۱۹۱-۱۹۸, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
 23. H. Siedel, *Entsalzung von Naturstein – Methoden und Probleme*, in Stein – Zerfall und Konservierung, S. Siegesmund, M. Auras and R. Snethlage, Editors, ۱۰۲-۱۰۸, Edition Leipzig, Leipzig (۲۰۰۵).
 24. C. Tinzl, *Verminderung von Salzkonzentrationen in Kalkmörtel mittels Zellstoffkompressen – Ein Diskussionsbeitrag aus restauratorischer Sicht*, Arbeitshefte des Bayerischen Landesamtes für Denkmalpflege ۷۸, ۷۰-۷۴ (۱۹۹۶).
 25. M. Auras and G. Melisa, *Kompressenentsalzung – Wirkungsprinzip, Materialien, Anwendung, Fallbeispiele*, in Salze im historischen Natursteinmauerwerk, IfS-Tagung ۲۰۰۲ (IfS Report ۱۴), ۴۱-۵۲, Institut für Steinkonservierung, Mainz (۲۰۰۲).
 26. J. Ashurst and N. Ashurst, *Stone Masonry*, vol. ۱, Practical Building Conservation Series, English Heritage Technical Handbook ۱, Gower Technical Press, Aldershot (۱۹۹۰).
 27. W. Domasłowski, O. Kozanecka, J. Krauze et al. *La conservation préventive de la pierre*, traduit par Irena Woszyck pour le compte de l'ICOMOS, Musées et Monuments XVIII, UNESCO, Paris (۱۹۸۲).
 28. A. Ballestrem, P. de Henau and M. Dupas, *Traitement de pierres sculptées contaminées par les sels et contrôle du dessalement*, in Bulletin de l'Institut royal du Patrimoine artistique (Bruxelles) ۱۲, ۲۴۷- ۲۶۸ (۱۹۷۰).
 29. H. Schuh and H. Ettl, *Entsalzung mit Kompressen in der Denkmalpflege*, Bautenschutz und Bausanierung ۱۵, ۸۶-۸۹ (۱۹۹۲).
 30. G. Rager, M. Payre and L. Lefèvre, *Mise au point d'une méthode de dessalement pour des sculptures en pierre polychromée du XIVe siècle*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۴۱-۲۵۶, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
 31. P. Friese and A. Protz, *Entsalzung von Mauerwerk und Wandmalerei. Transportmechanismen und Beispiele für die praktische Anwendung*, in Mauersalze und Architekturoberflächen, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۱۴۸-۱۵۳, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
 32. P. Friese and B. Hermoneit, *Entsalzung von Ziegelmauerwerk mit dem Injektionskompressenverfahren*, Bautenschutz und Bausanierung ۱۶, ۲۶-۲۷ (۱۹۹۳).
 33. P. Friese and A. Protz, *Entsalzung mit zweiseitiger Kompressen*, Bautenschutz und Bausanierung ۲۰, ۱۰-۱۳ (۱۹۹۷).
 34. P. Klenz Larsen, *The development and testing of a salt extracting mortar*, in International Journal for Restoration of Buildings and Monuments ۷, ۷۹-۹۰ (۲۰۰۱).
 35. B. Mouton, *Le dessalement du cellier de Loëns à Chartres (۲۸)*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۷۹-۲۸۸, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
 36. P. Friese and A. Protz, *Salzschäden an Ziegelmauerwerk und praktische Erfahrungen mit Entsalzungsverfahren*, Bautenschutz und Bausanierung ۱۷, ۳۹-۴۵ (۱۹۹۴).
 37. W. Domasłowski *Les problèmes actuels de protection et conservation des monuments en pierre*, in Patrimonio historico artistico y contaminacion, Encuentro europeo (organisée par) Consorcio para la organizacion de Madrid

- capital europea de la cultura, Madrid, ۱۹-۲۱ noviembre ۱۹۹۲, ۱۵۵-۱۶۲, Consorcio para la organizacion de Madrid capital europea de la cultura, Madrid (۱۹۹۲).
38. E. De Witte, M. Dupas, S. Peters, (۱۹۹۶) *Dessalement de voûtes d'un fumoir de hareng*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۱۷۶-۱۹۰, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶)
 39. B. Legrum, *Die Entsalzung von Steindenkmälern: ein Forschungsprojekt der VW-Stiftung*, Arbeitsblätter für Restauratoren ۲۶ (۲), Gruppe ۶, ۲۸۲-۲۸۸ (۱۹۹۳).
 40. M. J. Bowley, *Desalination of stone: a case study*, Building Research Establishment, Garston ۴۶ (۱۹۷۵).
 41. G. Galli, M. Matteini, A. Moles et al., *Intervento di desalinazione del dossale di G. Di Rignano di Verona*, in Atti del ۳rd Congresso Internazionale Deterioramento e conservazione della pietra = Proceedings of the ۳rd International Congress Deterioration and Conservation of Stone, ۴۹۱-۴۹۸, Fondazione "Giorgio Cini", Venice (۱۹۷۹).
 42. L. Lazzarini and G. Lombardi, *Bentonite for cleaning and desalination of stones*, in Preprints of the ۹th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, Dresden, German Democratic Republic, ۳۳۶-۳۳۹, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (۱۹۹۰).
 43. S. M. Bradley and S. B. Hanna, *The effect of soluble salt movements on the conservation of an Egyptian limestone standing figure*, in Case Studies in the Conservation of Stone and Wall Paintings, Preprints of the contributions to the Bologna Congress, ۲۱-۲۶ September ۱۹۸۶, edited by N. S. Brommelle and P. Smith, ۵۷-۶۱, The International Institute for Historic and Artistic Works London (۱۹۸۶).
 44. C. de F. Barbosa, C. C. Santiago and M. M. de Oliveira, *The use of Brazilian bentonites for cleaning purposes in Conservation of Stone and other Materials*, Proceedings of the International RILEM/UNESCO Congress, Paris ۱۹۹۳ (= RILEM Proceedings ۲۱), J. Thiel, Editor, ۵۵-۵۵۷, E. & F. N Spon, London, New York, Tokyo (۱۹۹۳).
 45. P. Egloffstein and M. Auras, *Kompresenentsalzung – Ein Materialvergleich*, in ۱۰ Jahre Institut für Steinkonservierung e.V., Festschrift, (IfS Report ۱۰), ۶۳-۷۴, Institut für Steinkonservierung, Mainz, (۲۰۰۰).
 46. W. Domasłowski, M.-K. Lewandowska, J.-W. Lukaszewicz, *Badanie nad Konserwacją murów ceglanych (Research on the conservation of brick masonries)*, Torun University Publishers (۱۹۹۸).
 47. L. Lefevre and T. de Courville, *Etude et restauration des fonts baptismaux de l'église Saint-Etienne à Port-sur-Saône: étude sur les consolidants de la pierre*, Mém. fin études, Paris, IFROA. (۱۹۸۶)
 48. J. G. Faugère, J. Derion, L. Savariaud et al., *Elimination des sels solubles présents dans des pierres sculptées gallo-romaines au moyen de pâtes à base de cellulose en poudre*, in Ve congrès international sur l'altération et la conservation de la pierre, Actes = Proceedings of the ۵th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, ۱۰۱۷-۱۰۲۴, Lausanne: Presses Polytechniques Romandes (۱۹۸۵).
 49. S. Simon, C. Herm, A. Porst and J. Pursche, *Desalination and control of salt transport phenomena experience with compress renderings in the ring crypt of St. Emmeram, Regensburg*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۱۴۵-۱۶۰, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
 50. J. Weber, *Salt-induced deterioration of Romanesque wall paintings in the church of St. Georgen, Styria, Austria. A case study aiming better understanding of the behavior of salt systems in ancient walls*, in Conservation of architectural surfaces: stones and wall covering, International workshop (UNESCO, Venezia ricerca), Venice ۱۹۹۲, G. Biscontin and L. Graziano, Editors, ۹۷-۱۰۳, Il Cardo, Venice (۱۹۹۳).
 51. W. Domasłowski and A. Tomaszewska-Szewczyk, *Desalting of stones by means of ion exchangers*, in Proceedings of the ۸th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, J. Riederer, Editor, ۱۳۷۱-۱۳۸۱, Berlin (۱۹۹۶).
 52. C. Naud and M. M. Castaldi, *Utilisation des absorbants pour le nettoyage des fresques*, in Preprints of the ۹th Triennial Meeting of ICOM Committee for Conservation, Dresden, German Democratic Republic, ۵۲۴-۵۲۹, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (۱۹۹۰).
 53. K. Terheiden, K. Wienke and C. Kaps, *Kompresenentsalzung – Einfluss des Kompresenmaterials auf den regenerativen Schadsalztransport*, WTA-Colloquium ۲۰۰۲ Erhalten, Umnutzen, Ertüchtigen, Tagungsbeiträge, ۲۸۵ - ۲۹۳, Aedificatio Verlag Freiburg (۲۰۰۲).
 54. P. Bromblet, T. Vieweger, A. Blanc and S. Demailly, *Une démarche originale pour assurer la conservation d'un monument altéré par les sels*, in Monumental ۲۰۰۲, ۱۴۴-۱۴۷, Direction du patrimoine, Paris (۲۰۰۲).
 55. J.-D. Mertz and P. Loutrel, *Le dessalement des tuffeaux du château des duc de Bretagne à Nantes par la méthode de nettoyage Tollis*, Pierre Actual ۷, ۶۸-۷۵ (۲۰۰۱).
 56. T. Vieweger, D. Groux and M. Labouré, *Le dessalement de la façade de l'église Notre-Dame-la-Grande de Poitiers : méthode et application aux contraintes de chantier*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۰۷-۲۱۷, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).

57. V. Vergès-Belmin, *Le dessalement de la façade de l'église Notre-Dame-la-Grande de Poitiers : contrôles d'efficacité*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۱۹-۲۳۲, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
58. E. De Witte and M. Dupas, *Cleaning poultrices based on EDTA*, in Proceedings of the ۷th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, J. Delgado Rodriguez, F. Henriques and F.T. Jeremias, Editors, vol. ۲, ۱۰۲۳-۱۰۳۱, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon (۱۹۹۲).
59. A. Arnold, *Altération et conservation d'oeuvres culturelles en matériaux poreux affectés par des sels*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۳-۲۰, SFIIC, Champs-sur-Marne (۱۹۹۶).
60. C. Arendt, *Trockenlegungs- und Salzabkämpfungsmaßnahmen an Mauwerk*. Bautenschutz und Bausanierung ۱۵, ۵۳ – ۵۷ (۱۹۹۳). L. Sattler, *Steinfestigung an salzbelasteten Gesteinen*, Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall-Steinkonservierung ۱۹۹۰, ۲, ۱۶۵-۱۶۹ (۱۹۹۲).
61. G. Grassegger and S. Adam, *Untersuchungen zur Entwicklung der mikroskopischen Gefüge von Kieselsäureester-Gelen in Porenräumen mit und ohne Salz-, Feuchtestöreffekte*, in Jahresberichte aus dem Forschungsprogramm Steinzerfall-Steinkonservierung (۱۹۹۲) ۴, ۱۲۷ – ۱۳۴ (۱۹۹۴).
62. C. Andrade, M. Castellote, D. Cervigón and C. Alonso, *Chloride migration in concrete : theory and modelling*. International Journal for Restoration of Buildings and Monuments ۱, ۴۸۵-۵۰۷ (۱۹۹۵).
63. S. de La Baume, *Dessalement des bois archéologiques par électrophorèse*, in Conservation, restauration des biens culturels, Recherches et techniques actuelles, journées (organisées par l') ARAAFU ; Université Paris I, ۱۹۸۷, ۲۰-۲۸, ARAAFU, Paris (۱۹۸۷).
64. D. Moraru, *Mural paintings desalting*, in Preprints of the ۵th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation, Zagreb, Yugoslavia, ref. ۷۸/۱۵/۶, ۱۹ p., International Council of Museums, Paris (۱۹۷۸).
65. G. Fauck, D. Lefèvre and F. Peyre, *Application de l'électro-lessivage au dessalement des briques émaillées sur le moulin Saulnier à Noisiel (۷)*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۵۷-۲۶۸, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
66. N. Rafai, G. Martinet, H. Hornain and Y. Conti, *Efficacité et conséquences de la déchloration électrochimique d'un béton au contact d'eau de mer*, in Le dessalement des matériaux poreux, Journées d'études de la SFIIC, Poitiers, ۲۸۹-۲۹۸, SFIIC, Champs-sur-marne (۱۹۹۶).
67. M. J. Bowley, *Desalination of stone : a case study*, Report from the Building Research Establishment, Garston, United Kingdom, ۹pp. (۱۹۹۵).
68. Gruppo Normal-C, *Methodologie chimiche, NORMAL ۱۳/۸۳: Dosaggio dei sali solubili*, CNR Centro di studio di Milano e Roma sulle cause di deperimento e sui metodi di consevazione delle opere d'arte, ICR Istituto Centrale del Restauro (۱۹۸۳).
69. H.W. Zier *Untersuchung der Salzbelastung – Analysenmethoden, Bewertung, Grenzwerte*, in Salze im historischen Natursteinmauerwerk, IfS-Tagung ۲۰۰۲ (IfS Report ۱۴), ۳۱-۳۹, Institut für Steinkonservierung, Mainz (۲۰۰۲).
70. M. Steiger, H. H. Neumann, T. Grodten et al., *Salze in Natursteinmauerwerk, Probenahme, Messung und Interpretation*, in Denkmalpflege und Naturwissenschaft, Natursteinkonservierung II, R. Snethlage, Editor, ۶۱-۹۲, Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart (۱۹۹۸).
71. V. Vergès-Belmin, *Répartition des sels et cartographie des altérations sur la façade de Notre-Dame- la-Grande à Poitiers, France*, in Proceedings of the ۷th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, J. Delgado Rodriguez, F. Henriques and F.T. Jeremias, Editors, vol. ۲, ۹۲۷-۹۳۶, Laboratorio Nacional de Engenharia Civil, Lisbon (۱۹۹۲).
72. S. Simon, *Untersuchungen zur Verwitterung und Konservierung von Tuffeau am Pilotobjekt St Gatien in Tours*, in Actes du ۷^{ème} colloque du programme Franco-Allemand de Recherche pour la Conservation des Monuments Historiques, Bonn ۱۹۹۶, J.-F. Filtz, Editor, ۳۷۳-۳۸, Programme Franco-Allemand de Recherche pour la conservation des monuments historiques, Champs sur Marne (۱۹۹۶).
73. RILEM TC ۱۲۷ – MS ۱۹۹۸, *Tests for masonry materials and structures. Recommendations. M.S-A. ۱. Determination of the resistance of wallets against sulfates and chlorides*, Materials and Structures, ۳.۱, ۲-۹ (۱۹۹۸).
74. H. Garrecht, H.K. Hilsdorf and J. Kropp, *Der Einfluss von Salzen auf die hygrischen Eigenschaften mineralischer Baustoffe*, Arbeitshefte SFB ۳۱۵, Universität Karlsruhe, ۱۰, ۳۹-۴۱ (۱۹۹۱).
75. J. Ciabach and S. Skibinski, *Analyses of the total salt content and control of salt removal from stone historical objects*, in La conservazione dei monumenti nel bacino del Mediterraneo = The Conservation of Monuments in the Mediterranean Basin, Proceedings of the ۱st International Symposium, F. Zezza, Editor, ۲۲۵-۲۲۸, Grafo, Bari (۱۹۸۹).

76. D. MacLeod, *Stabilization of corroded copper alloys: a study of corrosion and desalination mechanisms*, in Preprints of the 8th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation, Sydney, Australia, ۱۰۷۹ - ۱۰۸۵, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (۱۹۸۷).
77. D. MacLeod and J. A. Davies, *Desalination of glass, stone and ceramics recovered from shipwreck sites*, in Preprints of the ۸th Triennial Meeting of the ICOM Committee for Conservation, Sydney, Australia, ۱۰۰۳-۱۰۰۷, The Getty Conservation Institute, Los Angeles (۱۹۸۷). ۷۸. H. Ettl and M. Krus, *Salzreduzierung mit verschiedenen Kompressen am Schloss Frankenberg und begleitende rechnerische Untersuchungen*, in *Mauersalze und Architekturoberflächen*, Tagungsbeiträge ۲۰۰۲, H. Leitner, S. Laue and H. Siedel, Editors, ۱۳۸ - ۱۴۲, Hochschule für Bildende Künste, Dresden (۲۰۰۳).
78. R. Kriegel, K. Terheiden and Kaps C., *Simulation verfahrenstechnischer Grenzfälle der Kompressenentsalzung – Vergleich der numerischen Simulation mit experimentellen Daten von Labor-Untersuchungen*, WTA-Kolloquium ۲۰۰۲ Erhalten, Umnutzen, Ertüchtigen, Aedificatio Verlag Freiburg, ۲۹۵-۳۰۵ (۲۰۰۲).

کتاب‌شناسی فارسی حفاظت و مرمت میراث سنگی

مهدی رازانی
دانشگاه هنر اصفهان

ایران سرزمینی نیمه‌کوهستانی است و انواع مختلف سنگ در آن به فراوانی یافت می‌شود. این سرزمین شاهد دوره‌های شکوهمند معماری کاملاً سنگی در ادوار مختلف بوده است، اما به علت گرم و خشک بودن بسیاری از مناطقش به تدریج این نوع معماری کاربرد خود را از دست داده و به جای آن، استفاده از معماری ترکیبی خشتی-سنگی و خشتی-آجری رایج گردیده است. با این وجود، سنگ در موارد مختلف و در قالب آثار، اشیاء و تزئینات معماری همچنان کارایی خود را حفظ کرده است (پیرنیا، ۱۳۸۱، ۳۲).

جایگاه میراث و یادمان‌های سنگی و اهمیت تعمیر و حفاظت از آن‌ها، باعث گردیده تعمیر و نگهداری سنتی سنگ از قدمتی چند هزار ساله در ایران برخوردار باشد. شواهد موجود نشان می‌دهند که این امر، حداقل تاریخی ۲۵۰۰ ساله داشته و تداوم خود را تا عصر حاضر حفظ کرده است، از جمله شاخص‌ترین این تعمیرات سنتی می‌توان به تعمیرات آثار سنگی طی دوران شکوهمند هخامنشی در تخت جمشید، پاسارگاد (عودباشی، ۱۳۸۴؛ ایلینا، ۱۳۵۱) و نیز نقش برجسته‌ی بیستون در کرمانشاه اشاره نمود (مهدی‌آبادی، ۱۳۸۵).

اما براساس تعاریف امروزی حفاظت و مرمت آثار تاریخی فرهنگی، برای نخستین بار در ایران اقدامات صورت گرفته در حوزه حفاظت سنگ به قرارداد ۱۳۱۰ ه.ش موسسه شرق‌شناسی دانشگاه شیکاگو مبنی بر کاوش و مرمت تخت جمشید برمی‌گردد (مجد، ۱۳۸۶)، این قرارداد، گروه کاوش محوطه تخت جمشید را موظف می‌کرد در کنار عملیات حفاری، اقدامات مرمتی نیز روی مصالح و از جمله بقایای سنگی، با هدف بازیابی شکل نخستین معماری اولیه پردازند. در این دوره و حتی تا حدود سی سال بعد، کلیه اقدامات حفاظت از سنگ‌های تاریخی به بازسازی بخش‌های مفقود به وسیله ملات ماسه-سیمان و استفاده از میله‌های فولادی برای وصالی قطعات شکسته منحصر می‌شد (شیخ‌السلام، ۱۳۸۷؛ مهدی‌نژاد، ۱۳۷۴، هراتی، ۱۳۸۲ و ۱۳۸۳ و ۱۳۸۷) که عمده آن را نیز متخصصین خارجی انجام می‌دادند. در این بین برخی اقدامات تعمیری توسط ارتشیان علاقه‌مند به حوزه‌ی میراث فرهنگی ثبت شده است که از آن جمله می‌توان برپاسازی مجسمه شاپور ساسانی در غار شاپور کازرون (۱۳۳۶ ه.ش) اشاره کرد.

با وجود دغدغه ایجاد شده نسبت به حفاظت علمی‌تر از میراث سنگی کشور، گروه ایتالیایی ایزمئو در سال ۱۳۴۳ ه.ش کار خود را در مجموعه تخت جمشید و پاسارگاد آغاز کردند و تا سال ۱۳۵۷ ه.ش ادامه دادند این گروه مرمتی هرچند به تربیت برخی نیروهای متخصص در زمینه‌های مختلف و از جمله مرمت سنگ پرداختند، اما مبحث مرمت سنگ در ایران و تخت جمشید را به یک اقدام وارداتی تبدیل نمودند (رازانی، ۱۳۸۹). متأسفانه تا آن زمان در ایران، آنچنان که باید مهارت‌ها و تجربه‌هایی لازم در این حوزه وجود نداشت و حتی هیچ منبع آموزشی یا مطالعات موردی و گزارش اقدامات اجرایی تألیف نشده بود. تقریباً هم‌زمان با تأسیس سازمان حفاظت از آثار باستانی (

۱۳۴۴.ه.ش)، نخستین نوشته‌ها به زبان فارسی در ارتباط با حفاظت و مرمت سنگ در قالب چند مقاله‌ی کوتاه و مختصر در مجله‌ی هنر و مردم توسط دکتر جاوید فیوضات ترجمه شده و به چاپ رسید (در خلال سال‌های ۱۳۴۴ تا ۱۳۴۹.ه.ش) (فیوضات، ۱۳۸۲).

در همین دوران (۱۳۴۵-۱۳۵۷.ه.ش) کارهای مهمی در زمینه مرمت سنگ توسط متخصصین ایرانی که عموماً باستان-شناس بودند صورت پذیرفت همانند: عملیات بازسازی و مرمت معبد آناهیتا بيشاپور طی سال‌های ۱۳۴۷ الی ۱۳۵۰.ه.ش، تعمیرات میل اژدها در نورآباد ممسنی در استان فارس توسط علی‌اکبر سرفراز (معصومی ۱۳۸۲) و همچنین معبد آناهیتا در کنگاور و تاق گرا در سرپل ذهاب (۱۳۵۲-۱۳۵۵.ه.ش) توسط سیف‌الله کامبخش فرد انجام گرفت (کامبخش فرد، ۱۳۵۵). بعد از انقلاب با شکل‌گیری ساختارهای علمی و آموزشی دانشگاهی در حوزه حفاظت و مرمت، برخی از فعالیت‌های دانشگاهی و به‌خصوص پایان‌نامه‌های دانشجویی به سمت و سوی حفاظت از میراث سنگی گرایش یافت و تا به امروز نیز مهم‌ترین کارهای تحقیقاتی در زمینه مرمت سنگ طی همین پایان‌نامه‌های دانشجویی انجام می‌شود. در ادامه با تأسیس میراث فرهنگی کشور در سال ۱۳۶۴.ه.ش (حجت، ۱۳۷۶) و به تبع آن ارگانی که در انتها نامش پژوهشکده‌ی مرمت شد، اقدامات به‌صورت جدی‌تری پیگیری گردید و پایگاه‌های اختصاصی سازمان میراث فرهنگی در محوطه‌های میراث جهانی نیز اقدامات عملی بسیاری را طی چند دهه‌ی اخیر توسط متخصصین فارغ‌التحصیل دانشگاهی در حوزه‌ی مرمت و استادکاران باتجربه به انجام رسانیده‌اند. برخی نکات مهم در حوزه‌ی حفاظت و مرمت سنگ که در سیر مطالعات حفاظت و مرمت سنگ در ایران قابل طرح است، در ادامه بیان شده:

اغلب پژوهش‌های صورت گرفته، در زمینه‌ی اشیاء منقول سنگی بوده و کمتر در رابطه با سازه‌ها و ابنیه سنگی انجام شده است که این امر نیاز جدی به ورود دانشجویان و متخصصین مرمت بنا و سازه‌های تاریخی و گسترش مطالعات در حوزه‌های ابنیه و میراث سنگی را طلب می‌کند؛ این در حالی است که متخصصین دیگر علوم در دانشکده‌های فنی و مهندسی به فعالیت‌های ارزشمندی پرداخته‌اند که متأسفانه ارتباط آن‌ها با این حوزه بسیار کم‌رنگ است.

برخی محققان در رشته‌ها و تخصص‌های دیگر وارد حوزه‌ی مرمت میراث فرهنگی شده‌اند که از جمله می‌توان به زمین‌شناسان، بیولوژیست‌ها، معدن‌کاران، کانی‌شناسان، متخصصین علم مواد و شیمی‌دان‌ها اشاره نمود. این امر نویدبخش علمی‌تر شدن مطالعات کلی حوزه‌ی مرمت و به‌صورت اختصاصی گرایش حفاظت سنگ است.

در ایران به برگزاری دوره‌های آموزشی حفاظت و مرمت سنگ بسیار بی‌توجهی شده و تنها یک دوره‌ی بین‌المللی توسط مرکز تحقیقات حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری با همراهی سازمان یونسکو در سال ۱۳۷۶.ه.ش برگزار شده است. لازم به ذکر است تا سال ۱۳۸۹.ه.ش که کارگاه حفاظت و مرمت سنگ به‌صورت مستقل در دانشگاه هنر اسلامی تبریز راه‌اندازی شد، این مبحث در کارگاه‌های تخصصی دوره‌های آموزشی دانشگاهی تدریس نمی‌شده است.

با بررسی کلی منابع فارسی حفاظت و مرمت سنگ می‌توان گفت هرچند حجم اطلاعات افزایش یافته است، اما متأسفانه محتوای آن‌ها آن‌گونه که باید تغییر نکرده و جز برخی موارد انگشت‌شمار دست‌آورد نوینی حاصل نشده است. در بهترین حالت، ترجمه‌ی تألیفات از دیگر زبان‌ها انجام شده است. گرچه لزوم برگردان برخی منابع اصیل و دست اول برای عدم دوباره‌کاری در فضای کنونی الزامی است، اما نباید از اهمیت تحقیقاتی که براساس مشکلات بومی و برای رفع آن‌ها انجام می‌گیرد، غافل شد.

نکته‌ی دیگر این است که پژوهش‌های انجام شده در حد بررسی و ارائه‌ی طرح باقی مانده‌اند و کمتر پژوهشی به اقدام عملی حفاظت و مرمت ختم شده است. علاوه بر این، تا به امروز تمرکز اصلی مطالعات حفاظت و مرمت سنگ در

کشور بیشتر بر شناخت فنی استوار بوده تا ارائه‌ی راهکار درمانی برای مشکلات موجود که این خود ضعف بزرگی بوده و لازم است این تحقیقات در عمل نیز ارزیابی شوند.

به‌تازگی برخی سایت‌ها، مقالات و مجلات قدیمی و جدید را بارگذاری کرده و در دسترس علاقه‌مندان قرار داده‌اند. همچنین حجم بالایی از پایان‌نامه‌هایی که بعد از سال ۱۳۸۷ ه.ش به انجام رسیده، در پایگاه ایران‌داک (www.irandoc.ir) موجود است، اما همچنان فضای مجازی از لحاظ منابع فارسی در ارتباط با حفاظت و مرمت سنگ بسیار ضعیف است.

با وجود جامعه‌ی کوچک متخصصین این حوزه در منابع فارسی با بی‌اخلاقی انتشاراتی مواجهیم، به‌نحوی که برخی از نوشته‌ها و مقالات با عناوین یکسان و حتی هم‌سان و بدون تغییر در محتوا در چند محل مختلف به چاپ رسیده‌اند. در عرصه‌ی مطالعات بیولوژیک و آفات زیستی میراث سنگی کشور تحقیقات چندانی صورت نگرفته است و مطالعات کنونی نیز بسیار پراکنده بوده و نیاز به افزایش مطالعات تخصصی در این زمینه ضرورتاً وجود دارد.

معضل گرافیتی (دیوارنویسی) در رابطه با میراث سنگی رو به افزایش است و ابزاری مانند لیزر علی‌رغم کاربرد گسترده در مرمت آثار، همچنان در ایران مهجور بوده و آنچنان که باید مورد مطالعه و آزمون قرار نگرفته است.

برخی بناها و میراث سنگی کشور، مستندنگاری دقیق و اسکن لیزری شده‌اند که از آن جمله می‌توان به سایت‌هایی چون تخت جمشید، طاق بستان و بیستون اشاره نمود. مطالعاتی نیز در حوزه‌ی نانو تکنولوژی و پوشش‌های آبگریز در سطح دانشگاهی و پایان‌نامه‌های کارشناسی ارشد انجام شده و یا در حال انجام است.

هنر سنگ‌تراشی رو به فراموشی است و کاربرد سنگ در مصالح معماری، امروزه بیشتر به سنگ‌نما و تزئین در ساختمان‌ها تبدیل شده است. با وجود این که طی سه دهه‌ی اخیر با تولید چند برابری سنگ و صادرات آن مواجه بوده‌ایم، لیکن تولیدات هنری سنگ نزول کرده و در حال فراموشی است.

بسیاری از اقدامات مرمتی انجام شده طی چند دهه‌ی اخیر به‌صورت صحیح و دقیق مستندنگاری نشده‌اند و اطلاعات چندانی از روش‌های مرمت و مواد مورد استفاده در دسترس نیست. همچنین علی‌رغم شناسایی هنرهای صخره‌ای و نقش‌کنده‌های متعدد در گوشه و کنار ایران، هیچ‌گونه متولی حفاظت و نگهداری یا مطالعات روشمند برای حفاظت از آن‌ها در نظر گرفته نشده و حتی فرآیند ثبت و ضبط آن‌ها با مشکل مواجه است.

مبحث موزه‌های سنگ در طی چند سال اخیر رویکردی جدید در موزه‌های برون‌محوطه‌ای بوده است. موزه‌ها و مجموعه‌های تاریخی بسیاری در کشور از فضاهای باز بیرونی‌شان برای به نمایش در آوردن آثار سنگی استفاده می‌کنند که متأسفانه در هیچ‌کدام از این موارد حداقل شرایط ابتدایی موزه‌داری رعایت نمی‌شود و درواقع این‌گونه آثار و اشیاء سنگی رها شده و بیشتر تخریب می‌شوند.

مطالعات اخیر پاسخگوی تنوع میراث سنگی کشور نیست و در مناطق و قابلیت‌های گوناگون، نیاز به بررسی‌های عمیق علمی و تجویز نسخه‌های داخلی با توجه به شرایط زیست‌محیطی بومی وجود دارد. در رابطه با برخی موضوعات نیاز به مطالعات بسیاری وجود دارد و هنوز آن‌طور که باید بدین عرصه‌ها وارد نشده‌ایم؛ از جمله مبحث سنگ‌های پلی-کروم و حفاظت از صخره‌نگاری‌ها، شناسایی و حفاظت از معادن تاریخی، سنگ‌های جایگزین در ابنیه تاریخی سنگی و... به‌علاوه در دیگر موضوعات نیاز به عمق‌بخشی مطالعات و ارزیابی مرمت‌های قبلی به‌شدت احساس می‌شود.

گفتنی است از ذکر منابعی که به مطالعات حفاظت و مرمت نپرداخته و تنها به معرفی آثار سنگی اقدام کرده‌اند، اجتناب شده است. همچنین منابع ذیل تنها منابع موجود در زبان فارسی هستند و نه منابعی که مربوط به آثار ایران بوده به زبان‌های دیگر نشر شده‌اند.

کتاب ها

استانبولو، تی و جی آر ج وان اسپرن دی بوئر، ۱۳۷۴، اضمحلال و حفاظت مواد ساختمانی متخلخل در بناهای سنگی، ترجمه: شهلا ذبیحی، اصفهان انتشارات مولانا [نسخه اصلی ۱۹۷۶].

آموروسو، ج. ج، فاسینا، ۱۳۷۰، فرسودگی سنگ و حفاظت از آن؛ آلودگی جوی، تمیز کردن، استحکام بخشی و حفاظت، مترجم: رسول وطن دوست، تهران: میراث فرهنگی [نسخه اصلی ۱۹۸۳].

بخشعلی بختیاری، سعید و جمشید روح شهباز، زهرا درودیانی، ۱۳۸۴، تعیین کیفیت تعدادی از سنگ های ساختمانی ایران، تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

بخشعلی بختیاری، سعید، میرزایی، سعید، علیوچه، حسین، ۱۳۸۳، راهنمای انتخاب سنگ ساختمانی، تهران: مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن، چاپ چهارم.

ورگس بلمین، ورونیک [سر ویراستار]، ۱۳۹۰، ایکوموس کمیته علمی بین المللی سنگ. فرهنگ مصور الگوهای تخریب سنگ، مترجمین: غلامرضا وطنخواه، مهدی رازانی، تهران: سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی [نسخه اصلی ۲۰۰۸].

حلمی، فریده، ۱۳۸۵، واژه نامه تخصصی سنگ ها، تهران: امیرکبیر، چاپ اول.

زارع، ناظم، ۱۳۸۸، تخت جمشید: راهنمای بازدید حفاظت و مرمت سنتی سنگ ها، مروودشت، فاتحان راه دانش.

یلدیز، آن بریت، ۱۳۵۱، بررسی و مرمت در تخت جمشید و دیگر اماکن باستانی فارس - افسر، کرامت الله تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران.

شیروانی، مریم، ۱۳۸۷، آسیب شناسی و حفاظت از سنگ های تاریخی ناشر: تخت جمشید، نوبت چاپ: اول

فهیمی فر، احمد و حامد سروش، ۱۳۸۰، آزمایش های مکانیک سنگ، مبانی نظری و استانداردها، تهران: شرکت سهامی آزمایشگاه فنی مکانیک خاک تهران. چاپ اول.

کسیانی اول، جمال، ۱۳۸۴، اطلس معادن سنگ های تزئینی و نمای ایران معادن و ذخائر معدنی، تهران: گستره.

میرزایی علویجه، حسین، سعید بخشعلی بختیاری، جمشید روح شهباز، ۱۳۸۴، راهنمای انتخاب سنگ ساختمانی، سنگ های ساختمانی، تهران: وزارت مسکن و شهرسازی، مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن.

فصل از کتاب

پلندرلیت، هرولد جیمز. و ا.ای. ورنر، ۱۳۷۶، حفاظت، نگهداری و مرمت آثار هنری و تاریخی: درمان، مرمت و بازسازی، ترجمه ی رسول وطن دوست، دانشگاه هنر، تهران. صص ۳۶۷-۴۰۸. تجدید چاپ (۱۳۸۲ و ۱۳۹۱). [نسخه ی اصلی ۱۹۷۱].

رهبر، شهرام، ۱۳۸۴، دوره های تعمیراتی و مرمتی تخت جمشید، شیراز: بنیاد پژوهشی پارسه، پاسارگاد.

ری درر، ژوزف، ۱۳۷۶، روش های جدید مرمت و نگهداری اموال فرهنگی، مترجمان: ابوالفضل سمنانی، حمید فرهمند بروجنی، تهران: دانشگاه هنر، چاپ اول.

فلامکی، منصور، ۱۳۸۷، تکنولوژی مرمت معماری: تهران: فضا.

فیوضات، جاوید، ۱۳۸۲، فرهنگ دانستنی های علمی و عملی برای محافظت و ترمیم آثار هنری، تهران: وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی؛ سازمان چاپ و نشر کتاب.

پایان نامه‌ها

اکبری فرد، مریم، ۱۳۸۶، آسیب شناسی، حفاظت و مرمت تعدادی از ظروف مرمرین شهرسوخته زابل، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

اکبری فرد، مریم، ۱۳۹۱، بررسی فنی، آسیب شناسی و ارائه ی طرح حفاظت کتیبه ی معرق سنگ و کاشی خدای خانه مسجد عتیق شیراز پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

اسدیان، فریناز، ۱۳۸۴، مطالعه فنی - آزمایشگاهی و مقایسه برخی از نقش برجسته های استان کرمانشاه با برخی از نقش برجسته های دامنه زاگرس، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشکده هنر و معماری. گروه مرمت. دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

افشاری نژاد، حکیمه، ۱۳۹۱، فن شناسی، آسیب شناسی و حفاظت و مرمت دو نمونه ظروف کلریتی متعلق به موزه ی جیرفت، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده ی هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

الیاسی، مجید، ۱۳۸۲، بررسی آسیب های وارده بر نقش سرستون گاو در آرامگاه داریوش اول در نقش رستم و حفاظت و مرمت آن، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان.

باطنی، مینا، ۱۳۸۲، مواد استحکام بخش در سنگ های آهکی، پایان نامه کارشناسی ارشد: مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان

بذلجو، محمدرضا، ۱۳۸۲، پژوهشی در حفاظت و مرمت آثار منحصر بفرد محوطه میراث جهانی تخت جمشید (تحلیل روش میله گذاری و کاربرد پیچ سنگ) در مرمت آثار سنگی، پایان نامه کارشناسی ارشد: مرمت بناها و بافت های تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت. دانشگاه هنر اصفهان.

بخشایی، هومن، ۱۳۹۰، بررسی عوامل مخرب محیطی در روند فرسایش سنگ برجسته ساسانی در خان تختی و ارائه طرح حفاظتی، پایان نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

بصیری، سمیه، ۱۳۸۶، ارایه طرح حفظ و مرمت حوض مروارید عمارت هشت بهشت اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

پور خسروانی، سمیه، ۱۳۸۸ حفاظت و مرمت ازاره های حجاری شده قاجاری مربوط به عمارت تخریب شده کاخ خورشید شیراز (موجود در محوطه باز موزه پارس)؛ پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

پور مقدم، امیر رضا، ۱۳۸۱، معرفی روش های پاکسازی گل سنگ ها (پاسارگاد)، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

حمیدی کچوری، ساغر، ۱۳۷۱، بررسی و مطالعه سنگ های تاریخی تخت فولاد و حفاظت و مرمت آرامگاه استاد فولاد حلوائی (بابا فولاد)، پایان نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

خسروی علیا، محمد مهدی، ۱۳۸۶، پاکسازی گلسنگ ها و پژوهشی بر پرکننده های ترک در پنجره (درگاهک) جنوب غربی کاخ تچر، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

خضری، زهره، ۱۳۸۸، مصالح شناسی مرمت آناستیلوزی با نگاه ویژه به محوطه میراث جهانی پاسارگاد، پایان نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

خوشدلی، حمید رضا، ۱۳۶۸، اشیاء سنگی در مرمت، پایان نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

خواجه‌پور، افسون، ۱۳۸۸، بررسی فرآیند تخریب سنگ‌های آهکی در آرامگاه کورش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

رازانی، مهدی، ۱۳۸۸، بررسی های آرکئومتریکی سنگ‌های سیاه تمدن جیرفت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

رضوی، مژگان، ۱۳۸۷، حفاظت و مرمت دو قطعه سنگ مربوط به دوره قاجار متعلق به مجموعه تاریخی تخت فولاد اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی، گروه مرمت آثار تاریخی و فرهنگی دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

رهی، اکبر، ۱۳۸۸، حفاظت و مرمت سنگ نوشته متعلق به تکیه مادر شاهزاده در اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

زمانی، نرجس، ۱۳۸۸، نگاهی نوین به حفاظت شیر سنگی در محوطه قبرستان‌های تاریخی استان چهارمحال و بختیاری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

زمانیان، مجید، ۱۳۸۸، مقایسه کاربرد دیسپرسیون نانو ذرات هیدروکسید کلسیم در الکل با روش شیر آهک در استحکام بخشی آثار سنگ آهکی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

ساری‌خانی، زهره، ۱۳۸۸، بررسی عوامل مؤثر در پالایش سطوح سنگی محوطه پاسارگاد با نگاه ویژه به هوازدگی فیزیکی و نقش آن در فرسایش، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

سنگ‌تراش، قدسیه، ۱۳۸۶، حفاظت و مرمت سه نمونه سفال خاکستری محوطه باستانی اسپیدژ، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

شیخ‌السلام، رضا، ۱۳۸۲، حفاظت و مرمت سرستون گاو دروازه ناتمام تخت جمشید، پایان‌نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

شیخ‌الاسلام، رضا، ۱۳۸۷، بررسی و امکان سنجی استفاده از سیمان‌های بهینه شده با میکرو سیلیس در مرمت آثار سنگی مجموعه جهانی پارسه - پاسارگاد، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

شیرانی، مریم، ۱۳۸۷، آسیب شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد و پیشنهاد راه حل حفاظتی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

طاهری کریمی، آزاده، ۱۳۸۲، آسیب‌شناسی، فن‌شناسی و مرمت‌آزاره‌های سنگی مسجد سپهسالار تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

طاهریان، بهرام، ۱۳۷۱، مرمت و حفاظت سنگ‌های آهکی، مرمت یک سنگاب، پایان‌نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

عباسیان، حمیده، ۱۳۸۹، حفاظت و مرمت شیر سنگی منقوش به عنوان سنگ قبر، پایان‌نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

عبدالهی، پریسا، ۱۳۸۶، آسیب‌شناسی، فن‌شناسی و ارائه طرح حفاظتی سنگ‌نگاره انسان بالدار، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده هنر و معماری. گروه مرمت. دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

عطاری، مهشید، ۱۳۸۸، بررسی استحکام بخشی و حفاظت از سنگ آهک سیاه در محوطه میراث جهانی پاسارگاد با استفاده از پلیمرها، امکان سنجی استفاده از نانو ذرات، پایان نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، پردیس باغ ملی، دانشگاه هنر تهران.

عطایی، رضا، ۱۳۷۵، بررسی مرمت آناستیلوز در تخت جمشید و مرمت سرستون گاو از کاخ صد ستون، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان.

علیزاده مبارکه، آزاده، ۱۳۸۹، بررسی حفاظت و مرمت شیر سنگی منقوش متعلق به موزه مردم شناسی شهر چمگردان، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

عیسی زهی، سیروس، ۱۳۷۴، مطالعه تاریخی حفاظتی مرمتی نقوش حکاکی شده به دیواره های غار کرفتو(سقز)، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

فرج زاده، سرو، ۱۳۹۰، فن شناسی، آسیب شناسی و ارائه طرح حفظ و مرمت نقش برجسته رنگ آمیزی شده قاجاری در طاق بستان، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

فرد معصومی، علیرضا، ۱۳۸۵، نقش کاربردی و تزئینی ازاره در معماری ایران (مطالعه موردی آسیب شناسی و روش درمان ازاره های بنای گنبد سلطانی، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده هنر و معماری. گروه مرمت. دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

فرهنگ دوست، نگینه، ۱۳۸۴، سنگ شناسی فنی و آزمایشگاهی نقش برجسته های پیش از اسلام در استان فارس، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشکده هنر و معماری. گروه مرمت. دانشگاه آزاد اسلامی تهران مرکز.

فری، خسرو، ۱۳۶۸، علل ضایعات و پوسیدگی در سنگ های قره کلیسا و مرمت بخشی از آن، پایان نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

قنبری، زهرا، ۱۳۸۷، مرمت و پاکسازی و طرح حفاظتی سرستون های بیستون، پایان نامه کارشناسی، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

کردی، مهدی، ۱۳۸۹، بررسی ساختاری و آسیب شناسی سنگ های قرمز کلیسای سنت استپانوس جلفا با ارائه پیشنهاد های حفاظتی، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

کردوانی، لی لی، ۱۳۸۲، استحکام بخشی ساختاری سنگ های آهکی در بنا های تاریخی و بررسی عوامل فرساینده، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

کریمی، امیر، ۱۳۸۸، حفاظت، مرمت و آسیب شناسی ستون های سنگی خورده محلات (دوره اشکانی)، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز.

کوشکی، داریوش، ۱۳۹۱، حفظ و مرمت حوض خانه ی صدقیانی تبریز، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده هنر های کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

کیانی، یدالله، ۱۳۸۳، تاثیر مخرب نمک های محلول بر روی آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان.

متقی، محمد کریم، ۱۳۷۱، بررسی کاربرد سنگ، حفاظت و مرمت آن در معماری بنا های دوره صفوی اصفهان، مرمت و نصب و حفاظت بخشی ازاره های سنگی مسجد امام (شاه) اصفهان، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

محبی، حمیدرضا، ۱۳۷۲، شناخت و بررسی نقوش و مسائل حفاظتی و مرمتی در طاق بزرگ طاق بستان، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

محمد رشیدی، محمود، ۱۳۷۱، حفاظت و مرمت ظروف سنگی، پایان نامه کارشناسی آثار تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

محمدی، رامین، ۱۳۹۱، حفظ و مرمت سه نمونه از ظروف مرمری یافت شده در کاوش‌های باستان‌شناسی حوزه‌ی تمدنی هلیل رود (جیرفت)، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده‌ی هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

محمدی، علمدار، ۱۳۷۶، مطالعه حفاظتی و مرمت شیر سنگی، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

محمودی، مجتبی، ۱۳۸۸، حفاظت و مرمت یک شیر سنگی منقوش متعلق به موزه مردم شناسی شهر چمگردان، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

منتظری، حسین، ۱۳۸۸، حفاظت و مرمت سنگ قبر خواجه شمس الدین در لارستان، پایان نامه کارشناسی، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

مهدی آبادی، مریم، ۱۳۸۲، بررسی اثرات تخریبی آلاینده‌ها بر آثار صخره‌ای بیستون و طاق بستان، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

مهدی آبادی، ملیحه، ۱۳۷۲، بررسی و شناخت آسیب‌های کتیبه داریوش در بیستون، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

مهدی آبادی، ملیحه، ۱۳۷۶، آسیب شناسی عمده‌ترین نقش برجسته‌های کرمانشاه و پیشنهاد راه‌حل‌های حفاظتی، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

مهدی‌نژاد، جمال‌الدین، ۱۳۷۴، آسیب شناسی سنگ‌های تخت جمشید و ارائه طرح مرمتی بر اساس ترکیبات جدید ملات سیمان آمیخته پوزولان و آهک، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان.

موسوی اصل، سوده، ۱۳۸۹، حفظ و مرمت و بخشی از نقاشی‌های روی سنگ ازاره‌ای ایوان آینه‌ی کاخ چهلستون، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

میرزایی، مجید، ۱۳۸۴، حفاظت و مرمت بخشی از ازاره‌های سنگی مدرسه قدسیه، پایان نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

ناصری، زهره، ۱۳۹۱، حفظ و مرمت سنگ قبر مرمری موزه‌ی سنگ آذربایجان، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشکده‌ی هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

ناصری پورتکلو، رضا، ۱۳۸۸، مرمت سه ظرف سنگ صابون متعلق به تمدن حوزه هلیل رود، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

نامداری، احسان، ۱۳۸۶، حفاظت و مرمت دو عدد هاون سنگی ساسانی (بیشاپور)، پایان نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

نعمتی موردراز، امین، ۱۳۸۷، امکان سنجی کاربرد کامپوزیت‌های پلیمری در مرمت بناهای سنگی مطالعه‌ی موردی مسجد مورک دهدشت، پایان نامه کارشناسی ارشد: مرمت بناها و بافت‌های تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

نعمتی موردراز، پیمان، ۱۳۸۸، پاکسازی بخشی از نقش برجسته‌های ایلمایی تخته سنگ ش. دوی تنگ سروک، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

نیازی، فتح الله، ۱۳۸۳، آسیب شناسی و بررسی راه‌حل‌های حفاظتی و مرمت پیکره سنگی هرکول در بیستون، پایان‌نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

هراتیان اردستانی، ناهید، ۱۳۸۲، مطالعه، شناخت و بهینه سازی ملات ماسه سیمان در مرمت‌های آثار سنگی تخت جمشید - مرمت یک قطعه از سنگ تاج طاوچه کاخ صد ستون پایان‌نامه کارشناسی مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

هراتیان اردستانی، ناهید، ۱۳۸۴، بررسی تاثیرات مخرب ملات ماسه و سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

یاوری، فاطمه، ۱۳۹۰، حفاظت و مرمت سه عدد ظرف سنگ کلریتی مربوط به تمدن هلیل رود جیرفت، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل.

مقاله‌ها

آل یاسین، مرتضی و حقدین، آذر دخت، ۱۳۷۰، اثرهای باران‌های اسیدی روی بناهای سنگی تاریخی، فصلنامه سنگ-های تزئینی ایران، انتشارات وزارت معادن و فلزات، سال اول، ش. ۱، بهار ۱۳۷۰.

امامی، سید محمد امین، ۱۳۷۶، ارتباط بررسی‌های زمین‌شناسی با آسیب‌شناسی مصالح و محوطه‌های تاریخی، مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۴ تا ۸ اسفند ۱۳۷۵، به کوشش: رسول وطن‌دوست ناشر: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، ۴۵۵-۴۶۵.

امان‌اللهی، حمید، ۱۳۸۴، مطالعه تنوع سنگ‌های به کار رفته در تختگاه تخت جمشید (بر اساس مطالعات باستان‌شناختی و نتایج سنگ‌شناسی، دو فصلنامه پژوهش‌های باستان‌شناسی و مطالعات میان رشته‌ای سال دوم، ش. ۲، پاییز و زمستان. ۶۶-۸۰.

امین شیرازی‌نژاد، شهرزاد، ۱۳۷۸، بررسی کاربرد پوشش حفاظتی پلکان شرقی کاخ آپادانا-تخت جمشید، چهارمین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۷-۱۰ اسفند ماه ۱۳۷۸، مجموعه مقالات سومین و چهارمین همایش بین‌المللی سالانه حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری، به کوشش: رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده مرمت اشیا تاریخی و تزئینات معماری و سازمان میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری کشور.

بدلجو، محمدرضا، ۱۳۸۳، در آمدی بر طراحی سیستم‌های نگهدارنده و تقویت کننده سنگ در تخت جمشید، پارسه (کارنامه بنیاد پژوهشی پارسه، پاسارگاد) سال اول، ش. ۱، زمستان.

بسیکتین، گویدو، ۱۳۶۴، دخالت‌های حفاظتی بر روی الواح سنگی، ترجمه مریم کیانی، مجله اثر، ش. ۱۰ و ۱۱، بهمن ماه ۲۰۵-۲۰۸.

بصیری، سمیه، ۱۳۸۷، مجسمه داوود اثر میکل آنژ، بررسی روند تخریب، مرمت و انجام آزمایشات، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، سال ۲، ش. ۴، بهار و تابستان. ۱۸۷-۱۹۲.

بصیری، سمیه، بهنام پدرام، ۱۳۸۸، مواد پرکننده و شیوه‌های پر کردن قسمت‌های کمبود در مرمت آثار سنگی، دو فصل نامه تخصصی مرمت اشیا فرهنگی و بناهای تاریخی، س. ۴، ش. ۷، پاییز و زمستان. ۱۵۱-۱۶۴.

بصیری، سمیه، بهنام پدرام. ۱۳۸۸، طرح مرمت حوض مروارید عمارت هشت بهشت اصفهان، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، سال سوم، ش. ۴۳.۶-۷۰.

بهرمان، علیرضا، ۱۳۸۵، گزارش مرمت سنگ ازاره‌های مدرسه عالی شهید مطهری، مجموعه مقالات پنجمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی-فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری، دبیرخانه دائمی همایش، به کوشش دکتر رسول وطن‌دوست، تهران: رسانه پرداز، پژوهشکده حفاظت و مرمت.

بهرمان، علیرضا، ۱۳۸۴، مطالعات آزمایشگاهی شناخت ویژگی‌های فنی سنگ در آثار صخره‌ای ایران، مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۴-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۴، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی.

بهرمان، علیرضا، ۱۳۹۱، مطالعات علمی آزمایشگاهی فرآیند تخریب در نقش برجسته فیروز آباد، مجموعه مقالات هشتمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۳-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۶، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. صص ۱۱۳-۱۲۶.

حیدری، ابراهیم، ۱۳۶۹، جابجایی و دوباره سازی کلیسای زور زور، میراث فرهنگی، سال اول، ش. ۲، زمستان. ۲۸-۳۳. خضری، زهره، ۱۳۸۷، نظری بر مرمت آناستلوزی و تجارت اجرا آن در بناها و محوطه‌های فرهنگی-تاریخی ایران، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، سال چهارم، ش. ۲، بهار و تابستان. ۲۳-۳۲.

خلیلی زنوز، حسن، ۱۳۸۳، کاربرد لیزر در حوزه حفاظت از آثار تاریخی، نشریه اطلاع رسانی و کتابداری، پیام بهارستان، آذر، ۴۲.۶۲-۶۷.

رازانی، مهدی، ۱۳۹۰، واژه شناسی حفاظت سنگ، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، ش. ۷، سال چهارم، پاییز و زمستان. ۱۶۵-۱۷۷.

رازانی، مهدی و یوسف مجید زاده و سید محمد امین امامی، ۱۳۹۱، بررسی مقدماتی روش ساخت و تزئین سنگ های کلریتی حوزه تمدنی هلیل رود، گردهمایی دوم گنجینه‌های فراموش شده هنر ایران، فرهنگستان هنر آذرماه. تهران: انتشارات فرهنگستان هنر. ۴۸۱-۵۰۰.

راهساز، حسن، ۱۳۷۷، مرمت و بازسازی دروازه شمال شرقی تالار صد ستون، مجموعه مقالات دومین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۷-۲۲ آبان ۱۳۷۶، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۲۰-۵۴.

رحیمی، مجدالدین، ۱۳۹۱، بررسی مکانیسم رفتاری آب در آثار و محوطه‌های سنگی و صخره‌ای، مجموعه مقالات هشتمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۳-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۶، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۶۰۱-۶۰۸.

سید آبادی، شبنم، هایدی خمسه و علی اصغر میر فتح، ۱۳۹۱، نگاه اجمالی بر روش‌های سنتی و نوین ترمیم و به‌سازی سنگ‌های گوهری، مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی، به کوشش عبدالکریم شادمهر و دیگران، تهران: پژوهشگاه مواد و انرژی و پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری. ۳۷۷-۳۸۹.

شیروانی، مریم، عباس عابد اصفهانی، ۱۳۷۸، آسیب شناسی سنگ‌های سیاه مجموعه پاسارگاد و پیشنهاد راه حل حفاظتی، دو فصلنامه، پژوهش مرمت، سال دوم، ش. چهارم، مهر و تابستان.

صراف، محمد حسین، امیر یوزباشی، کامران احمدی، محمد علی بهره‌ور. ۱۳۹۱، نقش محلول‌های اسیدی و ذرات محیطی در فرسایش سنگهای مرمر مدرسه چهار باغ اصفهان، مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و

حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی، به کوشش عبدالکریم شادمهر و دیگران، تهران: پژوهشگاه مواد و انرژی و پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری. ۳۱۹-۳۱۱.

عبداللهی، پریسا، وطندوست، رسول، ۱۳۹۰، فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه راهکار حفاظتی سنگ نگاره انسان بالدار، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، ش. هفتم، سال چهارم، پاییز و زمستان ۱۳۹۰. ۱۵۰-۱۳۹.

عمو اغلی، بهروز، ۱۳۷۷، حفاظت و مرمت سنگ قبر کشف شده متعلق به یک امیرزاده از تپه خشتی توس، ۷۳۳ ه. ق، مجموعه مقالات دومین همایش حفاظت و مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، به کوشش: رسول وطندوست، تهران: پژوهشکده مرمت و سازمان میراث فرهنگی کشور.

عودباشی، امید، ۱۳۸۴، نگاهی به تعمیرات سنگ در دوره هخامنشی بر پایه مبانی نظری مرمت، مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری ۱۴-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۴، به کوشش رسول وطندوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی.

فری، خسرو، ۱۳۷۶، طرح مرمت سنگ‌های دیوار آبسیدان شمالی قره کلیسا، مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۴ تا ۸ اسفند ۱۳۷۵، به کوشش رسول وطندوست، ناشر: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، ۴۶۶-۴۷۴.

فلامکی، محمد منصور، ۱۳۵۴، قره کلیسا از معماری تا مرمت بنای تاریخی، فرهنگ و معماری ایران، سازمان حفاظت از آثار باستانی، فروردین ۱۱-۱۹.

قبادی، آزاده، بهرمان، علیرضا، طالبیان، محمد حسن، ۱۳۸۷، آسیب‌شناسی نقش برجسته تنگ چوگان در بیشاپور (تاجگذاری شاپور اول از اهورامزدا و پیروانش)، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، سال ۲، ش. ۴، بهار و تابستان ۱۳۸۹. ۱۶۱-۱۷۰.

کامبخش فرد، سیف‌الله، ۱۳۵۵، عملیات مرمت در معبد ناهید کنگاور، فرهنگ و معماری، اثر مجله سازمان حفاظت از آثار باستانی، ش. ۴، تابستان. ۵۱-۷۶.

کردی، مهدی، عباس عابد اصفهانی، سید محمد امین امامی، ۱۳۸۹، نقش ساختاری سنگ قرمز کلیسای سنت استپانوس جلفا در مکانیسم تخریب، دو فصلنامه مرمت و پژوهش ۱۳۸۹، ش. ۸، سال ۴، ۱۰۷-۱۱۵.

کمال، سورنا، ۱۳۶۳، روش‌های مرمت مجسمه‌ای سنگی، ساپتما تریکا، ترجمه مهرداد وحدتی دانشمند، اداره کل موزه ها تهران، گروه پژوهش و برنامه ریزی، اسفند ۹۰-۲۵.

لونیودی، م، ۱۳۹۱، اصول و روش مداخله برای مرمت و بازسازی مترجم رضا رشید فر، دو فصلنامه مرمت و پژوهش، ش. ۹، سال پنجم پاییز و زمستان ۱۳۹۱. ۷۳-۷۸.

لوین، س.ز.، ۱۳۵۵، علل ضایعات و پوسیدگی سنگ‌ها در ابنیه باستانی ایران و چاره جویی آن، فرهنگ و معماری، ش. ۴، تابستان. ۲۴-۵۰.

لوین، س.ز.، ۱۳۶۱، محافظت از سنگهای باستانی و خشت خام در ایران، ترجمه احمد هرمزی، اثر، سال سوم، ش. ۷۰ و ۸۰. ۱۱۹-۱۴۰.

متقی، محمد کریم، ۱۳۷۷، شناخت سنگ در معماری صفوی قاجار اصفهان، سومین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۸-۱۱ آذرماه، ۱۳۷۷، مجموعه مقالات سومین و چهارمین همایش بین‌المللی سالانه حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری، به کوشش: رسول وطندوست، تهران: پژوهشکده مرمت و سازمان میراث فرهنگی کشور.

محبعلی، شهریار، وطن دوست، رسول، ۱۳۷۶، علل شوره زنی سنگ های آهکی در بناهای تاریخی، مجموعه مقالات نخستین همایش مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری. ۴-۸ اسفند ۱۳۷۵، به کوشش رسول وطن دوست، تهران: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۴۳۳-۴۵۴.

محبعلی، شهریار، وطن دوست، رسول، ۱۳۷۷، علل شوره زنی سنگ های آهکی در بناهای تاریخی، مجموعه مقالات پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، به کوشش رسول وطن دوست، تهران: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۱۳۵-۱۵۰.

محمد رشیدی، محمود، ۱۳۷۶، مرمت حصار سنگی بقعه شیخ شهاب الدین اهری، مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۴ تا ۸ اسفند ۱۳۷۵، به کوشش: رسول وطن دوست تهران: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۴۲۶-۴۳۲.

محمدی پریسا، گوریوشینا آنا، مارکوات یورگن، کرومباین ولفگانگ، الیزابت، ۱۳۸۹، قارچ های جدا شده از منطقه تخت جمشید، مطالعه ای برای شناسایی عوامل فرسایش زیستی میراث فرهنگی کشور، زیست شناسی ایران ش. ۲۳، (۵). ۶۷۲-۶۷۹.

محمدی، پریسا، کرومباین ولفگانگ، ۱۳۹۰، زیست خوردگی بقایای سنگی باستانی در آثار یادمانی تخت جمشید، ترجمه کامیار عبدی، مجله باستان پژوهی، دوره جدید ش. ۸ و ۹. ۲۵-۲۹.

محمدی، پریسا، ایجاد پناه ساروی، مریم، ۱۳۹۱، مقایسه اثر نانو ذرات اکسید تیتانیوم و نقره در کنترل رشد قارچ های جدا شده از سطوح سنگی آثار باستانی کشور، مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی، به کوشش عبدالکریم شادمهر و دیگران، تهران: پژوهشگاه مواد و انرژی و پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری. ۴۳۹-۴۴۶.

معماریان، حسین، ۱۳۶۶، متلاشی شدن سنگ ها و پیدایش خاک، جغرافیا، رشد آموزش زمین شناسی، ش ۲۰-۹. ۲۹-۲۰. مقصودی، مهران، خوش اخلاق فرامرزی، حنفی علی، روستا ایمان، ۱۳۸۹، پهنه بندی فرایندهای هوازدگی سنگ ها بر اساس مدل های پلتیر در شمال غرب ایران، پژوهش های جغرافیای طبیعی (پژوهش های جغرافیایی) زمستان ۴۲ (۷۴): ۳۵-۴۶.

مهدی آبادی، ملیحه، ۱۳۷۶، عوامل موثر در تخریب آثار صخره ای، مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی و تزئینات وابسته به معماری ۴ تا ۸ اسفند ۱۳۷۵، به کوشش: رسول وطن دوست ناشر: دانشگاه هنر، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی. ۴۱۴-۴۲۴.

مهدی آبادی، ملیحه، ۱۳۷۶، بررسی و شناخت آسیب های: کتیبه داریوش بیستون، مجله اثر ش. ۲۸. ۶۱-۷۱. نظری، فرهاد، دوستانی، سعید، ۱۳۸۳، پژوهشی در معادن سنگ معبد آناهیتا کنگاور، مجله اثر، ش. ۴۲-۵۲، ۴۳-۶۴. هراتی، روح الله، حسین زاده، سید رضا، ۱۳۸۶، بررسی هوازدگی سنگ های نمای ساختمان در کلان شهر مشهد، تحقیقات جغرافیایی زمستان ش. ۲۲. دوره ۴، ش. پیاپی ۸۷. ۱۴۵-۱۶۶.

هراتی اردستانی، ناهید، ۱۳۸۳، بررسی آسیب های وارده کاربرد ملات ماسه سیمان در مرمت آثار سنگی تخت جمشید، گاهنامه تخصصی انجمن علمی مرمت، دانش مرمت، بهار ۸۳، پیش ش. ۱۳-۲۲.

هراتی اردستانی، ناهید، ۱۳۸۴، بررسی تاثیرات ملات ماسه و سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی و فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری ۱۴-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۴، به کوشش رسول وطن دوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی.

هراتی اردستانی، ناهید، عابد اصفهانی، عباس، ۱۳۸۷، بررسی تأثیرات ملات ماسه و سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، دو فصلنامه مرمت و پژوهش ۱۳۸۷، ۷۹-۸۴.
هرمزی، احمد، ۱۳۶۷، گزارشی از فرسایش سنگ در آثار باستانی فارس، اثر، ش. ۱۵ و ۱۶، پاییز و زمستان. ۱۲۰-۱۶۳.

استانداردهای ملی ایران در مبحث سنگ‌های ساختمانی

واژه نامه‌ی سنگ‌های تزئینی و نما، ش. استاندارد ۸۲۲۸، سال تدوین: ۱۳۸۴.
سنگ‌های تزئینی و نما، تعیین مقاومت خمشی، روش آزمون، ش. استاندارد ۸۲۲۹، سال تدوین: ۱۳۸۴.
مصالح ساختمانی، تعیین مقاومت سایش در اثر رفت و آمد با استفاده از دستگاه سایش تیبر، ش. استاندارد ۸۲۳۰، سال تدوین ۱۳۹۰.
مصالح ساختمانی، روش‌های تعیین تاب گسیختگی فشاری و خمشی مصالح سنگی، ش. استاندارد ۶۱۷، سال تدوین ۱۳۷۵.
مصالح ساختمانی، تعیین ضریب گسیختگی، ش. استاندارد ۵۶۹۷- سال تدوین: ۱۳۸۹.
مصالح ساختمانی، بررسی سنگ نگاری سنگ‌های ساختمانی، ش. استاندارد ۱۳۲۳۴، سال تدوین: ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی، تعیین مقاومت در برابر پیر شدگی ناشی از شوک حرارتی، روش آزمون، ش. استاندارد ۱۳۲۲۹، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی- تعیین مقاومت در برابر تبلور نمک- روش آزمون، ش. استاندارد ۱۳۲۳۰، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی- تعیین انرژی گسیختگی - روش آزمون، ش. استاندارد ۱۳۲۳۱، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی- تعیین مقاومت در برابر پیری با فعال کردن دی‌اکسید سولفور (SO_2) در حضور رطوبت- روش آزمون، ش. استاندارد ۱۳۲۳۲، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی، تعیین مقاوت فشاری روش آزمون ش. استاندارد ۵۶۹۸، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی، تعیین جذب آب و وزن مخصوص، روش آزمون ش. استاندارد ۵۶۹۹، تاریخ تدوین ۱۳۹۰.
سنگ‌های ساختمانی، بازرسی و تعمیر سنگ‌های ساختمانی بیرونی دیوارها و نماهای آجری، ش. استاندارد ۱۳۲۳۵، تاریخ تدوین: ۱۳۸۹.
سنگ‌های ساختمانی-سنگ لوح، تعیین جذب آب - روش آزمون، ش. استاندارد ۱۴۲۱۲، تاریخ تدوین ۱۳۹۰.
سنگ‌های ساختمانی- سنگ لوح، مقاومت در برابر هوازدگی - روش آزمون، ش. استاندارد ۱۴۲۱۵، تاریخ تدوین ۱۳۹۰.
سنگ‌های ساختمانی- سنگ لوح، آزمون خمشی سنگ لوح (بار شکست، ضریب گسیختگی، ضریب کشسانی)- روش آزمون، ش. استاندارد ۱۴۲۱۷، تاریخ تدوین ۱۳۹۰.
مصنوعات سنگی، تعاریف و طبقه‌بندی، ش. استاندارد ۱۴۷۰۴، سال تدوین: ۱۳۹۱.
مصالح سنگ طبیعی تعیین مقاومت در برابر یخ‌زدگی، روش آزمون، ش. استاندارد ۱۴۹۵۹، تاریخ تدوین فروردین ۱۳۹۲.
تعیین مقاومت سایشی پوشش‌های آلی به وسیله ساینده تاب، روش آزمون، ش. استاندارد ۱۴۹۸۰، تاریخ تدوین فروردین ۱۳۹۲.
سنگ طبیعی- تعیین سرعت انتشار صوت-روش آزمون، ش. استاندارد ۱۶۰۱۵، تاریخ تدوین: فروردین ۱۳۹۲.
سنگ طبیعی - تعیین ضریب انبساط حرارتی خطی - روش آزمون، ش. استاندارد ۱۶۰۱۶، تاریخ تدوین: فروردین ۱۳۹۲

سنگ‌های ساختمانی، روش تعیین تاب فشاری مصالح سنگی - روش آزمون ش. استاندارد ۶۶۵، تاریخ تدوین ۱۳۷۲

سنگ‌های ساختمانی - تعیین ضریب الاستیسیته خمشی - روش آزمون ش. استاندارد ۱۳۲۳۳، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی، گرانیته، ویژگی‌ها، ش. استاندارد ۵۶۹۴، سال تدوین: ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی، سنگ آهک، ویژگی‌ها، ش. استاندارد ۵۶۹۵، سال تدوین: ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی - تراورتن - ویژگی‌ها، ش. استاندارد ۱۳۲۴۷، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی، مرمریت، ویژگی‌ها، ش. استاندارد ۵۶۹۶، سال تدوین: ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی - بررسی سنگ‌نگاری سنگ‌های ساختمانی - راهنما، ش. استاندارد ۱۳۲۳۴، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.

سنگ‌های ساختمانی - بازرسی و تعمیر سنگ ساختمان بیرونی دیواره‌های آجری و نماها - راهنما ش. استاندارد ۱۳۲۳۵، تاریخ تدوین ۱۳۸۹.

علائم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علائم سنگ‌های رسوبی)، ش. استاندارد ۷۱۹، سال تدوین ۱۳۷۵.

علائم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علائم سنگ‌های آذرین)، ش. استاندارد ۹۶۲، سال تدوین ۱۳۷۵.

علائم ترسیمی برای نقشه‌ها و مقاطع زمین شناسی (علائم سنگ‌های دگرگونی)، ش. استاندارد ۹۶۴، سال تدوین ۱۳۷۵.

منابع بخش نخست کتابشناسی

پیرنیا، محمد کریم، ۱۳۸۱، مصالح ساختمانی (آژند، اندودف آمود)، تالیف، تدوین و تعلیق: زهره بزرگمهری: تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور (پژوهشگاه)

حجت، مهدی، ۱۳۷۶، میراث فرهنگی در ایران و سیاست‌هایی برای یک کشور اسلامی، انتشارات سازمان میراث فرهنگی، چاپ اول

رازانی، مهدی، ۱۳۸۹، بررسی بنیان‌های مرمت در ایران (با نگاهی به خانه تاریخی داوید نخستین مدرسه‌ی مرمت در جلفای اصفهان، گنجینه، کتاب تخصصی علمی - پژوهشی هنرهای ایرانی و اسلامی، فرهنگستان هنر، کتاب چهارم.

کام بخش فرد؛ سیف الله، ۱۳۵۵، معبد آناهیتا و تاق گرا - کاوش‌ها و بازسازی‌ها ویژگی اثر: گزارش‌های چهارمین مجمع سالانه کاوش‌ها و پژوهش‌های باستان شناسی در ایران، انتشارات مرکز باستان شناسی ایران

عودباشی، امید، ۱۳۸۴، نگاهی به تعمیرات سنگ در دوره هخامنشی بر پایه مبانی نظری مرمت، مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۴-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۴، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی.

فیوضات، جاوید، ۱۳۸۲، فرهنگ دانستنی‌های علمی و عملی برای محافظت و ترمیم آثار هنری، تهران: وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی؛ سازمان چاپ و نشر کتاب.

معصومی غلام رضا، ۱۳۸۲، تاریخچه علم باستان شناسی در ایران، تهران: سمت

مهدی آبادی، ملیحه، ۱۳۸۵، سنگ نگاره داریوش در بیستون و مرمت های هنگام ساخت آن، اثر، ش. ۴۰-۴۱، ۵-۱۵

مجد، محمدقلی، ۱۳۸۶، آمریکا و ایلغار آثار باستانی ایران، ترجمه‌ی بهرام آجرو، تهران: کارنگ.

مهدی نژاد، جمال الدین، ۱۳۷۴، آسیب شناسی سنگ‌های تخت جمشید و ارائه طرح مرمتی بر اساس ترکیبات جدید ملات سیمان آمیخته پوزولان و آهک، پایان نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشگاه هنر اصفهان.

شیخ الاسلام، رضا، ۱۳۸۷، بررسی و امکان سنجی استفاده از سیمان‌های بهینه شده با میکرو سیلیس در مرمت آثار سنگی مجموعه جهانی پارسه - پاسارگاد، پایان نامه کارشناسی ارشد: مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

هراتی، ناهید، ۱۳۸۲، مطالعه شناخت و بهینه سازی ملات ماسه سیمان در مرمت‌های آثار سنگی تخت جمشید - مرمت یک قطعه از سنگ تاج طاقچه کاخ صد ستون پایان نامه کارشناسی مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.

هراتی اردستانی، ناهید، ۱۳۸۳ بررسی آسیب‌های وارده کاربرد ملات ماسه سیمان در مرمت آثار سنگی تخت جمشید، گاهنامه تخصصی انجمن علمی مرمت، دانش مرمت، بهار ۸۳، پیش شماره. ۱۳-۲۲.

هراتی اردستانی، ناهید، ۱۳۸۴، بررسی تأثیرات ملات ماسه و سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی و تزیینات وابسته به معماری ۱۴-۱۶ آذرماه، ۱۳۸۴، به کوشش رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی.

هراتی اردستانی، ناهید، عابد اصفهانی، عباس، ۱۳۸۷، بررسی تأثیرات ملات ماسه و سیمان در مرمت آثار سنگی محوطه میراث جهانی تخت جمشید، دو فصلنامه مرمت و پژوهش ۱۳۸۷. ۷۹-۸۴.

یلیم، آن‌بریت، ۱۳۵۱، بررسی و مرمت در تخت جمشید و دیگر اماکن باستانی فارس - افسر، کرامت الله تهران: سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران.