



نوع مقاله: پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶

پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵

صفحات: ۲۱-۴۲

10.52547/mmi.201.14010425 

استفاده از ملاط‌های بهینه‌شده با مواد دورریز در تثبیت بدنه و کف قبور موزه عصر آهن تبریز

مهدی رازانی* نسرین داداش‌زاده** فریبا مجیدی***

چکیده

ملاط‌های پایه‌آهکی به دلیل ویژگی‌های قابل قبولی که نسبت به رطوبت دارند؛ از دوران گذشته در امر حفاظت و مرمت بسیار مقبول بوده‌اند. در این میان، مشکل رطوبت صعودی در بیشتر گورستان‌های باستان‌شناسی که با حفظ بقایای حاصل از کاوش (همانند بقایای استخوانی و اشیای مدفون شده) در محل، تبدیل به سایت‌موزه شده‌اند، وجود دارد. لذا به نظر می‌رسد یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش صدمات رطوبت، با توجه به نیاز ضروری به تثبیت بدنه‌های در حال ریزش و ایزوله نمودن کف گورها، استفاده از ملاط‌های سازگار باشد. این پژوهش که روی گورها و بقایای اسکلتی در سایت‌موزه عصر آهن تبریز تمرکز دارد، با هدف تثبیت بدنه گورها و همچنین قطع ارتباط اسکلت‌های تاریخی با زمین و رطوبت صعودی، اقدام به بهینه‌سازی ملاط‌های پایه‌آهکی با استفاده از پوزولان‌های طبیعی حاصل از مواد دورریز (پوسته برنج و فضولات حیوانی و چوب به صورت خاکستر) کرده است. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی (چگالی سنجی، تخلخل سنجی، میزان جذب آب، موئینگی) و آزمون‌های استقامتی (آزمون‌های پیرسازی تسریعی شامل: چرخه‌های تر و خشک شدن، انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک و دوام‌داری) روی فرمولاسیون‌های مختلف ملاط، نشان داد ترکیباتی که با پوزولان خاکستر فضولات حیوانی ساخته شده‌اند، در مقابل آزمون‌های استقامتی و سنجه‌های فیزیکی مقاومت بهتری دارند؛ با توجه به نتایج بیان شده، از ملاط منتخب در حفاظت و مرمت بدنه و کف گورهای سایت‌موزه عصر آهن تبریز با تثبیت بدنه‌ها و ایجاد حایل حفاظتی استفاده می‌شود. نتایج این اقدام پس از ۳ سال، رضایت‌بخش تفسیر شده است. اما با توجه به عدم قطع رطوبت صعودی مشکلاتی برای قبور به وجود آمده است و اقدام عاجل و فوری قطع رطوبت صعودی بر اساس مطالعات هیدرولوژی است.

کلیدواژگان: ملاط پایه‌آهکی، حفاظت، پوزولان طبیعی، موزه عصر آهن تبریز، اسکلت‌های تاریخی.

* دانشیار، عضو هیئت‌علمی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول). m.razani@tabriziau.ac.ir

** کارشناس ارشد باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

*** کارشناسی ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی، مدرس در دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

مقدمه

استفاده از ملاط‌ها تاریخچه‌ای ناشناخته و کمتر مطالعه‌شده دارد اما به‌سادگی می‌توان گفت ملاط‌ها در قالب کاربردهایی همانند آندود بیرونی و درونی ساختمان‌ها و لایه‌های پوشش‌دهنده و محافظت‌کننده از مصالح ساختمانی در قالب موادی چسبنده به مصالح و چسباننده مصالح، از دوران پیش از تاریخ تا امروز کاربرد داشته‌اند (Veiga et al, 2001). در بسترهای تاریخی و فرهنگی، مطالعات مختلفی روی ملاط‌ها انجام شده است. در این قالب‌ها: ۱. مطالعات فاز ساخت و ساز، ۲. شناخت ویژگی‌های مصالح، ۳. منشأیابی (و سن‌یابی)، ۴. ارزیابی میزان مواد چسباننده/ مصالح دانه‌ای، ۵. ترکیبات بهینه برای اقدامات حفاظتی و مرمتی و ... (رازانی و دیگران ۱۳۹۹). از طرفی، حفاظت و نگهداری از آثار به‌دست‌آمده در محوطه‌های باستان‌شناسی شامل: گورها و محتوای آن‌ها، بقایای معماری و پی‌ها بعد از کاوش از جمله اصول اخلاقی و حرفه‌ای باستان‌شناسی علمی است. نکته مهم در این زمینه، ماهیت بقایا و مواد حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی است که از لحاظ مواد و مصالح ساختمانی در بیشتر مواقع، بسیار سست و نامستحکم هستند و به علل مختلف این بقایا بعد از مدتی آسیب می‌بینند. گورستان‌های تاریخی، منابع مهم فرهنگی و تاریخی‌اند که منعکس‌کننده اطلاعات ارزشمند فرهنگی، تاریخی، رویدادها، مذهب، سبک زندگی و نشان دادن الگوهای سکونت‌گاهی کسانی هستند که در آن دوره تاریخی به خاک سپرده شده‌اند. بی‌توجهی به گورهای تاریخی، منجر به از دست دادن اطلاعات مهمی در این سایت‌ها می‌شود (Thomas, B. 2019). از این‌رو، حفاظت از قبور تاریخی در حالت برجا هنگامی که گورها شامل اسکلت‌ها و اشیای همراه هستند یکی از چالش برانگیزترین اقدامات حفاظتی است. در این زمینه، مهم‌ترین اقدامیکه صورت گرفته، عمدتاً در سطوح بیرونی، با اقداماتی همانند تثبیت خرداقلیم به‌صورت موقت یا دائم (پوشش‌دهی محوطه و سقف حفاظتی) و در سطوح زیرین، با هدایت و کنترل آب‌های زیرزمینی است. گل آهک یک پوشش سنتی است که در بیشتر محوطه‌های باستانی موجب استحکام‌بخشی بافت‌هایی سست همچون بدنه گورهای تاریخی می‌گردد. آهک هیدراته (Limewash) با دی‌اکسید کربن هوا ترکیب شده و طی فرایندی به نام کربناته شدن منجر به تشکیل کربنات کلسیم می‌گردد که ساختاری مستحکم و بادوام است. این ترکیب، خاصیت تنفس‌پذیری دارد؛ یعنی اجازه انتقال رطوبت را از داخل بافت بدنه و دیواره‌های گور به خارج می‌دهد و مانع از تجمع رطوبت پشت ملاط

می‌شود. در رابطه با آسیب‌شناسی اسکلت‌های تاریخی مطالب زیادی نوشته شده که همگی بر اهمیت حفاظت و مرمت هنگام کاوش‌های باستان‌شناسی تأکید دارند (Millard, 2001). در این رابطه، یکی از محوطه‌های مهم درون‌شهری شمال غرب کشور، محوطه باستانی عصر آهن مجاور مسجد کبود تبریز است که شمال بنای تاریخی مسجد کبود تبریز با طول (شرقی- غربی) تقریباً ۲۷۵ متر و عرض (شمالی- جنوبی) به‌طور متوسط ۱۰۵ متر قرار گرفته است. باتوجه‌به آسیب‌های رطوبت‌صعودی و تخریب بدنه‌های گور و آسیب دیدن آن‌ها با اسکلت‌های باستانی موجود در مجموعه، این مطالعه با هدف شناسایی راهکاری حفاظتی برای حفظ بقایای اسکلتی موجود روی گورهای شماره ۸۱/۷ و ۸۱/۸ و ۸۱/۹ و ۸۲/۲، در بخش ورودی موزه انجام گرفت (تصویر ۱). ضرورت حفظ و مرمت علمی گورهای مذکور باتوجه‌به رطوبت‌صعودی بسیار زیاد که موجب آسیب به استخوان‌ها می‌گردد و همچنین ریزش بدنه‌های گور به داخل آن‌ها، ایجاب می‌کند تا استفاده از راهکارهای سازگار و توجیه‌پذیر از لحاظ مبانی مداخلات در بقایای باستان‌شناسی و همچنین مبانی نظری مداخله در امر حفاظت و مرمت، در اولویت اقدامات حفاظتی قرار داده شود. در این زمینه، تحقیق حاضر برای دست‌یابی به ملاطی بهینه برای استفاده در حفاظت بدنه‌ها و کف گورهای باستانی موزه عصر آهن تبریز و تلاش در حفاظت از اسکلت‌های به‌نمایش گذاشته‌شده، در محل، انجام شده است. بدین‌منظور، اقدام به ساخت رده‌های مختلف ملاط‌های آهک پوزولانی و سنجش ویژگی‌های مختلف ترکیبات با استفاده از آنالیزهای فیزیکی و مقاومتی بر مبنای اقلیم شهر تبریز که موزه عصر آهن در آن قرار دارد، شد. پس از دستیابی به فرمولاسیون بهینه، با در نظر گرفتن تمامی موارد حفاظتی، در ۴ گور مذکور گذاشته شد که در مقاله به شرح این موارد پرداخته شده است.

پرسش‌های پژوهش

سؤالات این تحقیق عبارتند از:

- الف. در وضعیت کنونی، مهم‌ترین آسیب‌های بروز کرده در محوطه قبور موزه عصر آهن تبریز کدام‌اند؟
- ب. چگونه می‌توان از مصالح موجود و ارزان‌قیمت برای حفاظت، مرمت و تثبیت بدنه‌ها و کف گورهای موجود در موزه استفاده کرد؟
- ج. چگونه می‌توان ملاط پایه‌آهکی را از لحاظ آزمایشگاهی بررسی کرد و توسعه داد تا در شرایط مرطوب موزه بتواند از بروز آسیب رطوبت‌صعودی جلوگیری کند؟

روش پژوهش

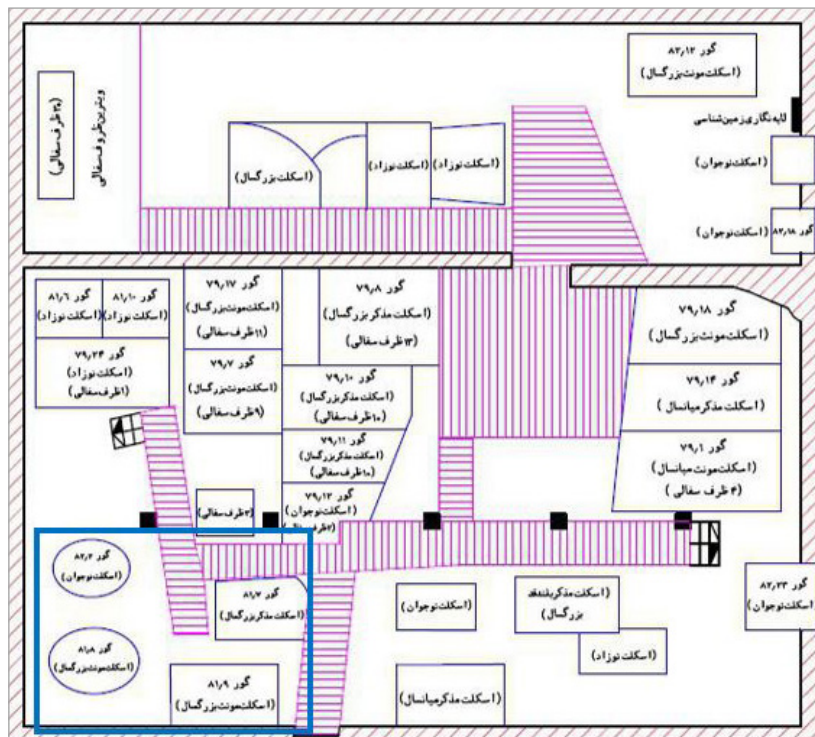
تحقیق حاضر، با روش توسعه‌ای- تجربی برمبنای مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی انجام شده است. در مرحله نخست مطالعات میدانی، وضعیت کنونی آسیب قبور ثبت شد. در ادامه، براساس نتایج به دست آمده ملاط‌های حفاظتی برای تثبیت بدنه و کف گور ساخته شد و بعد از آزمون‌های پیرسازی و مقاومت‌سنجی و تحلیل اطلاعات، نمونه‌ملاط بهینه انتخاب گردید. در مرحله دوم عملیات میدانی، از ملاط مذکور در ۴ گور تاریخی براساس فرمولاسیون به دست آمده از آزمایشات، استفاده شد.

پیشینه پژوهش

الف. پیشینه مطالعاتی محوطه باستانی موزه عصر آهن تبریز

محوطه باستانی مسجد کبود و بخش عمده آن در قالب موزه عصر آهن تبریز، سال ۱۳۷۶ (ه.ش)، هنگام فعالیت‌های ساختمان‌سازی اتفاقی کشف شد. این محوطه شمال خیابان امام خمینی شهر تبریز و شمال شرق بنای مسجد کبود واقع شده است (تصویر ۱). کاوش‌های علمی- باستان‌شناسی محوطه از سال ۱۳۷۸ به سرپرستی نصرت‌الله معتمدی آغاز

شد و طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ به سرپرستی علیرضا هژبری نویری ادامه یافت (هژبری نویری، ۱۳۸۳: ۲۶۶). در این محوطه، پس از اتمام لایه‌های اسلامی یک وقفه لایه‌های فرهنگی به عمق یک‌متر وجود دارد. پس از برداشت این لایه طبیعی متشکل از ماسه و سنگ‌های رودخانه‌ای آثار چندین لایه استقرار موقت با قطعه سفال‌های خاکستری، نخودی و قرمز رنگ به چشم می‌خورد. گورستان عصر آهن مستقیماً زیر این لایه‌ها قرار دارد (تصویر ۲)؛ در مجموع، ۱۰۸ گور از آن به دست آمده است که بیشتر از نوع چاله‌ای ساده هستند (هژبری نویری، ۱۳۸۱: ۵). به دست آمدن تعداد زیادی قبر در لایه‌های گوناگون نشانگر استفاده طولانی از این محوطه است. نیز، با توجه به اشیای کشف شده همراه تدفین‌ها، در برخی از قبور تلفیقی از آثار فرهنگی عصر آهن I و II، می‌توان نتیجه گرفت که در این گورستان، تداوم فرهنگی بین دو لایه وجود داشته است و محدوده زمانی آن به اوایل عصر آهن II برمی‌گردد، و این محوطه قبل از اینکه گونه‌های شاخص و سفال نخودی عصر آهن III رواج یابد، متروک شده است. با در نظر گرفتن نمونه‌های کربن ۱۴ محوطه‌هایی همچون حسنلو و دینخواه‌تپه و همچنین با مقایسه و گاه‌نگاری نسبی داده‌های مسجد کبود و مقایسه آن با سایر محوطه‌های هم‌زمان آن، این محوطه را می‌توان بین ۸۰۰-۱۲۰۰ ق.م.



تصویر ۱. نقشه محوطه موزه عصر آهن تبریز و قبوری که در کادر آبی رنگ براساس راهکار پیشنهادی این تحقیق، اقدامات حفاظت و مرمت روی آن‌ها انجام شده است (آرشیو موزه عصر آهن تبریز).

تاریخ‌گذاری کرد (هژبری نوبری، ۱۳۸۳: ۲۷۰). باتوجه‌به موقعیت استراتژیک محوطهٔ مسجد کبود تبریز، واقع شدن آن میان شهر، هم‌جواری آن با بنای تاریخی مسجد کبود تبریز و نزدیکی به موزه آذربایجان، احداث موزه‌ای باز و حفظ آثار در جای خودشان، پیشنهاد گردید (مجیدی، ۱۳۸۳). سایت موزه عصر آهن تبریز سی‌ام اردیبهشت سال ۱۳۸۶ در محل این محوطه باستانی، افتتاح شد (بزاز دستفروش، ۱۳۹۴: ۱۷۹)، (تصویر ۲).

ب. پیشینه مطالعاتی بهسازی ملاط‌های آهک پوزولانی

قدیمی‌ترین استفاده از آهک در فناوری ساختمان، تا آنجا که ما در حال حاضر می‌دانیم، به هزارهٔ چهارم قبل از میلاد در آناتولی و فلسطین باز می‌گردد. در آن تاریخ، به‌نظر می‌رسد آهک تنها، وسیله‌ای برای رنگ‌آمیزی دیوارها بوده است (Trocca, 2009: 50). در ایران، یکی از استفاده‌های تاریخی از ملاط‌های آهک پوزولانی را می‌توان به دوره هخامنشی زمان داریوش اول بین سال‌های ۵۵۰ تا ۵۳۰ ق.م. نسبت داد؛ که در اندود کف‌سازی تزئینی تخت جمشید مورد استفاده قرار گرفته است (Oudbashi et al., 2022). حال آنکه، استفاده از ملاط آهک برای ساخت دیوارها بسیار جدیدتر

است. عملکرد ساختاری ملاط آهک و بتن، به قبل از سوم پیش از میلاد در روم ثبت برمی‌گردد و مصادف با افزودن مواد پوزولانی است که شیمی و فناوری آهک اصلاح گردیده است. یکی از راه‌های افزایش استحکام ملاط‌های پایه‌آهکی، استفاده از مواد افزودنی به‌شکل پوزولان است (Brzyski, Przemysław. 2018). اصطلاح پوزولان، از کلمه ایتالیایی "پوزولانا" از رسوبات خاکستر آتشفشانی یعنی ذرات کوچک و متوسط مواد سیلیسی مذاب که از طریق یک آتشفشان طی فوران به هوا پرتاب می‌شوند، گرفته شده است. گدازه سیلیسی که حاوی آلومینیوم و مقادیر کمتری از دیگر اتم‌های فلزی مانند آهن و پتاسیم است، پس از سرد شدن سریع در هوا، برخی از آلومینات‌های کریستالی سیلیس را تشکیل می‌دهد، اما بخش بزرگی از آن به‌صورت ذرات شیشه‌ای آمورف، به‌شکل گرد، جامد می‌شود که در آن مقداری حباب‌های گاز به دام می‌افتد (پوکه، اصطلاحی است که زمین‌شناسان برای آن استفاده می‌کنند). خاصیتی که پوزولان را در عصر کلاسیک گران‌بها کرده و امروزه هنوز هم کاملاً مفید است، توانایی مواد شیشه‌ای برای واکنش با آهک و آب در دمای اتاق است که توده‌ای سخت را تشکیل



تصویر ۲. تصاویری از فضاهای داخلی و مسیرهای حرکتی داخل محوطهٔ سرپوشیده موزه عصر آهن (نگارندگان)

ج. مبانی و نحوه حفاظت از اسکلت‌های باستانی

استخوان، ماده‌ای است که از لحاظ فیزیولوژیکی بافت فعالی دارد و با تغییرات محیط اطرافش دچار تغییر می‌شود و مدام در حال تبادل یونی است (Price et al., 2002). همچنین، می‌دانیم مطالعات روی بقایای استخوانی با توده‌های اسکلتی جنبه‌های مختلفی را در علوم باستان‌شناختی دربر می‌گیرد که مهم‌ترین آنها عبارتند از: - دیرین جمعیت‌شناسی (تحقیق در ترکیبات، ساختار سنی، الگوهای بقا، مرگ‌ومیر، زادوولد، وضعیت سلامت و ساختار ژنتیکی جمعیت‌های گذشته)، - دیرین آسیب‌شناسی (مطالعه چگونگی و چرایی بیماری‌های باستانی)، - تحلیل رژیم غذایی کهن، - زیست‌شناسی اسکلت قرابت‌زیستی، - رفتار فرهنگی و اجتماعی در قبال مردگان، - تافانومی، - انواع خاک‌سپاری (اولیه، ثانویه و چندگانه)، (پاول و دیگران، ۱۹۷۷).

نیز، استخوان از موادی است که مکرر در یافته‌های باستان‌شناسی به دست می‌آید. آنچه بیش از پیش، اهمیت مطالعه استخوان را آشکار کرد، انقلاب رادیوکربن بود که نقطه آغاز تغییر و تحولات بزرگی در باستان‌شناسی بود. توسعه علوم و روش‌های آنالیز مواد در نیمه دوم قرن بیستم باعث گردید رویکردهای نوینی در باستان‌شناسی ظهور کند که باستان‌شناسی بیومولکولی و بیوآرکئولوژی از آن جمله است؛ که به مطالعه بقایای موجودات زنده می‌پردازند. در این میان، استخوان یکی از مهم‌ترین منابع اطلاعات محسوب می‌شود به طوری که مطالعه استخوان خود به تنهایی شاخه وسیعی از باستان‌شناسی یعنی استخوان باستان‌شناسی را به خود اختصاص داده است. در مطالعه استخوان باستان‌شناسی، به طور کلی، ویژگی‌های ژنتیکی و خصوصیات نژادی، تغذیه و اقتصاد زیستی، آب‌وهوای سکونت‌گاه‌ها، مهاجرت و جابجایی و بیماری و ... در گروه‌های انسانی باستانی مورد توجه قرار می‌گیرند (Renfrew and Bahn, 2008). از طرفی می‌دانیم حفاظت و مرمت ابنیه تاریخی و بقایای برج‌ها در محوطه‌های تاریخی بعد از کاوش‌های علمی، از چالش‌های قابل توجه مطالعات باستان‌شناسی بوده است (استانلی پرایس، ۱۳۷۷/۱۹۸۳؛ استابز، ۱۳۷۷/۱۹۸۳)؛ به نحوی که، ضرورت پرداختن به موضوع حفاظت از بقایای باستان‌شناسی طی قرن اخیر از بخش‌های مهم گنجانده شده در برنامه‌ریزی کلان آموزشی و رویکردهای باستان‌شناسی و دانش‌های مرتبط با مرمت و میراث فرهنگی بوده است و اهمیت این امر به تناوب در عرصه‌های بین‌المللی چون: قطعنامه آتن در سال ۱۹۳۳ (بند: ۴)، توصیه بین‌المللی درباره کاوش‌های باستان‌شناسی ۱۹۵۶ (بند: ۲۱)، (یونسکو، ۱۳۸۳)، منشور ونیز ۱۹۶۴ (بندهای ۱۵ به بعد) و

می‌دهد. واکنش‌گیریش نیازی به حضور هوا ندارد، بنابراین ممکن است در یک محیط بسیار مرطوب، یا حتی در زیر آب، یا در هسته یک دیوار ضخیم اتفاق بیفتد (Trocca, 2009, 50).

از مطالعات انجام شده در رابطه با بهینه‌سازی ملاط‌های آهک پوزولانی، می‌توان به مطالعات رازانی و دیگران (۱۳۹۷) در راستای بهینه‌سازی ملاط‌های سنتی پایه‌آهکی برای جایگزینی سیمان اشاره نمود که در زمینه حفاظت از سطوح بیرونی و شکاف‌های موجود در معماری صخره‌کند روستای تاریخی کندوان با استفاده از ملاط‌های آهک پوزولانی بوم صورت گرفت. نتیجه این تحقیق نشان داد، ملاط ساخته شده با استفاده از پوزولان خاکستر چوب از میان ۳۶ رده ملاط نمونه‌سازی شده بیشترین کارایی و ثمربخشی و مقاومت را در مقابل چرخه‌های پیرسازی داشته است. به علاوه، نتایج آخرین مطالعات صورت گرفته در این رابطه، کارایی ملاط‌های پایه‌آهکی را با استفاده از پوزولان خاکستر فضولات حیوانی برای به کارگیری این ملاط در حفاظت از بقایای معماری حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی پیشنهاد می‌نماید (رازانی و داداش‌زاده، ۱۳۹۹).

در دهه‌های اخیر، بسیاری از مطالعات بر بازسازی یادمان‌های تاریخی با استفاده از ملاط‌های مخلوط آهک با پوزولان‌های طبیعی متمرکز شده‌اند. بسته به نوع پوزولان انتخابی، چگالی و مقاومت فشاری ملاط ممکن است افزایش و تخلخل کاهش یابد (Gibbons, 1997). خاکستر پوسته برنج، مواد پوزولانی بسیار مؤثری هستند که به دلیل محتوای سیلیس بالا نسبت به سایر مواد افزودنی معدنی، برتری دارند. مطالعات نشان می‌دهند، افزودن پودر خاکستر پوسته برنج در ملاط‌های آهکی با افزایش ۲۸٪ مقاومت فشاری و ۹۶٪ مقاومت خمشی و همچنین ۴۰٪ کاهش موئینگی و جذب آب، موجب افزایش مقاومت و استحکام ملاط می‌گردد. همچنین، خاکستر چوب دارای مواد شیمیایی واکنش‌پذیری مانند سیلیس است (Chee et al., 2011). طبق نتایج آنالیزهای فیزیکی، شیمیایی و مورفولوژیکی نایک: خاکستر چوب از نظر مواد معدنی پتانسیل قابل توجهی داشته و می‌تواند به عنوان یک پوزولان مناسب در استحکام‌بخشی و تقویت خصوصیات فیزیکی ملاط‌ها مورد استفاده قرار گیرد (Naik., 1999). خواص فیزیکی و شیمیایی خاکستر چوب تحت تأثیر عوامل مختلفی چون: گونه درخت، منطقه رشد و شرایط اقلیم‌درختان، نحوه احتراق و دمای سوخت قرار دارد (NCASI: 1993). افزودن خاکستر فضولات گاو می‌تواند نقش مؤثری در افزایش استحکام ملاط داشته باشد (Venkatasubramanian et al., 2017).

در نهایت، منشور مدیریت میراث باستان‌شناختی ایکوموس در سال ۱۹۹۰ در لوزان (فیلدن و یوکیلتنو، ۱۳۸۶) مطرح شده است. از مهم‌ترین اقداماتی که از گذشته تا کنون برای حفاظت از بقایای استخوانی حیوانی-انسانی در محوطه‌های باستان‌شناسی ایران انجام گرفته است، می‌توان به این موارد اشاره نمود: ۱. مطالعه موقعیت قرارگیری نقشه‌برداری و بازتدفین اسکلت‌ها، ۲. نمونه‌برداری و بازتدفین که سابقه‌ای حدود ده‌ساله دارد، ۳. انتقال و جایجایی اسکلت‌ها از محوطه به موزه و انبارش آن‌ها، ۴. حفاظت و مرمت در محوطه کاوش و ایجاد موزه‌های درجا، ۵. انتقال به مراکز آموزشی و تحقیقاتی با اهداف آموزشی و پژوهشی.

در زمینه روش‌های حفاظت و انتقال و انبارش و روش‌های استحکام‌بخشی استخوان‌های تاریخی، منابع متعددی وجود دارد (Sease, 1994; Ellam, 1987; Pate, 1998).

مبحث اصلی حفاظت هنگامی رخ می‌دهد که با گزینه چهارم مواجه هستیم و قرار است استخوان‌های باستانی در محل محوطه حفاظت و مرمت شوند و همان‌جا بدون تغییرات اساسی در شیوه قرارگیری و تغییر در لایه‌ها برای مدت نامعلوم در قالب موزه درجا قرار گیرند. نظریه‌ای که، ماندگاری استخوان‌ها در چنین موقعیتی وابسته به شرایط هر محوطه، معمولاً در تماس با عوامل رطوبتی، برودتی و نمک‌ها و انواع آفات زیستی موجود در محل کاوش هستند و این عوامل موجب آسیب‌های مختلفی در بافت جاذب استخوان‌ها می‌گردند، از این‌رو، ثابت نگه داشتن شرایط محیطی و کاهش اثر مخرب یا خنثی‌سازی عوامل آسیب‌رسان و تثبیت خرداقلیم برای نگهداری بلندمدت، چالش اصلی محسوب می‌شود. در موارد دیگر مانند حفاظت در موزه و انبار، چون با شرایط کنترل‌شده فضاهای بسته مواجه هستیم، مشکلات کمتر است.

از مهم‌ترین انتشارات موجود، مطالعات انجام‌گرفته در خصوص حفاظت و مرمت استخوان‌ها و ساماندهی محوطه عصر آهن بوده که در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد در دانشگاه هنر اصفهان تألیف شده است (مجیدی، ۱۳۸۳). به‌علاوه، در رابطه با مبحث باستان‌سنجی بقایای اسکلت‌های انسانی موزه عصر آهن با روش آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار، مطالعاتی را "زندکریمی و دیگران"، ۱۳۹۴، انجام و منتشر کرده‌اند. آخرین مطالعه صورت‌گرفته در این زمینه را "کثیری و دیگران" در رابطه با سنجی نسبی استخوان‌های موزه عصر آهن تبریز بر پایه محتوای فلورن-اورانیم و نیتروژن انجام داده‌اند (Kasiri et al, 2019). به‌علاوه طی دو سال، ۱۳۹۶ و ۱۳۹۷، عملیات حفاظت و مرمت حدود ۱۰ گور از این محوطه به سرپرستی

"فریبا مجیدی" با استفاده از روش مشابه و پیشنهادی در این مقاله، به‌انجام رسیده است.

آسیب‌شناسی محوطه- موزه عصر آهن تبریز

ساختار بافت استخوان‌ها از مواد جاذب آب^۱ هستند که نسبت به درجه رطوبت و هوای اطرافشان منبسط و منقبض می‌گردند و تغییر شرایط آب‌وهوایی (نوسانات شدید در درجه حرارت و رطوبت)، باعث به‌وجود آمدن شکاف‌هایی در آن‌ها شده و سطح‌شان را پوسته‌پوسته می‌کند. همچنین به‌دلیل خاصیت ناهمگون (آنیزوتروپیک) بافت استخوان تا حد زیادی تمایل به ضرایب انبساط و انقباض در جهت‌های مختلف را دارد. علت تغییر شکل آن‌ها به‌دلیل تراکم متغیری است که ناشی از نوع بافت نمونه‌های استخوان می‌باشد. این تراکم متغیر باعث می‌شود میزان پراکندگی رطوبت در تمام نقاط آن‌ها یکسان نباشد در نتیجه، سرعت تبخیر رطوبت و یا جذب آن در تمام نقاط عاج و استخوان با یک شدت انجام نمی‌شود؛ و باعث می‌گردد نمونه به یک سمت متمایل شده و متورم شود و زمانی که در معرض گرما یا رطوبت قرار می‌گیرد، به‌آسانی تاب بردارد. مواد آلی موجود در استخوان، دایر اثر مجاورت با آب، به‌خصوص طی مدفون بودن، تجزیه شده و در نتیجه، استحکام خود را از دست می‌دهد و به یک جسم اسفنجی تبدیل می‌گردد و مواد معدنی آن به‌سهولت با خاک‌های اسیدی تجزیه می‌شود (آزادی، ۱۳۷۵:۴۷۵). برخی عوامل محیطی باعث می‌گردد یک مجموعه استخوانی علی‌رغم ناپایدار بودن‌شان، مدت زمان درازی باقی مانده و همچنان برخی خصلت‌های استخوانی آن حفظ شود. این شرایط حفاظتی در محل دفن، به سه عامل اصلی بستگی دارد: ۱. طبیعت خاک (وجود داشتن یا نداشتن رطوبت)، ۲. میزان اسیدیته (در صورتی که خاک اسیدی نباشد)، ۳. میزان آهکی بودن خاک یا جایی که امکان تراوش مواد آهکی وجود دارد؛ که در چنین شرایطی پدیده حفاظت در عالی‌ترین نوع خود رخ می‌دهد (Manifold, B. M., 2012). رطوبت، یکی از عوامل مهم آسیب‌رسان در محوطه‌های تاریخی محسوب می‌شود. شرایط اقلیمیهر منطقه در بروز عوامل آسیب‌رسان رطوبت و تأثیرات آن‌ها در فصل‌های مختلف سال متفاوت است (نوایی، ۱۳۹۶).

وضعیت پایش رطوبت و دمای موزه عصر آهن طی فصول سال به‌دست آمده، نشان‌دهنده میزان زیاد درصد رطوبت نسبی و کاهش دما در فصول سرد سال است که اختلاف فاحشی در مقایسه با استانداردهای موزه‌داری دارد. میزان زیاد رطوبت موجود در محیط و نیز افت شدید دما می‌تواند آسیب‌های بسیار جدی روی استخوان‌های تاریخی که در محل کشف

محوطه باشد. در کتاب "تاریخ و جغرافی دارالسلطنه تبریز" که در آن تاریخ ساخت قنات‌های تبریز و نیز مسیرهای هر قنات آورده شده، نزدیک‌ترین قنات به محوطه تاریخی عصر آهن قنات امام جمعه است که به رود آجی‌چای می‌ریزد (میرزا، ۱۳۷۲: ۵۲). آثار رطوبت در دیواره ضلع غربی محوطه موزه در تمام فصول سال مشهود است. به دنبال پیدا کردن منبع اصلی این رطوبت، قسمت پشتی دیواره که هنوز خاک‌برداری نشده بازدید شد و آثاری از یک لوله آب پیدا شد که امتداد آن تا نزدیکی دیواره ضلع غربی یعنی درست قسمتی که همیشه مرطوب بود، ادامه داشت و اطراف این لوله تا شعاع چندمتری آن خیس بود. به احتمال زیاد، این لوله به آب شهری وصل است و به‌طور کامل از انشعابات لوله فاضلاب مادر قطع نگردیده است. عدم سیر کولاسیون مناسب رطوبت و هوا در بناهای تاریخی نیز یکی از عوامل افزایش رطوبت در محیط می‌تواند باشد. سقف ایجادشده در محوطه تاریخی عصر آهن یکی از نامناسب‌ترین روش‌ها برای پوشاندن چنین محوطه‌هایی است. در فصل‌های بارانی میزان رطوبت در این سوله بسیار افزایش می‌یابد، به نحوی که حتی برای افراد نیز نفس کشیدن را مشکل می‌سازد. سقف کوتاه محوطه موزه نیز امکان تهویه مناسب و گردش جریان هوا را به راحتی امکان‌پذیر نمی‌نماید. سقف‌های مناسب به منظور حفاظت از محوطه‌های تاریخی به صورت پوشش حفاظتی است که گردش جریان هوا به راحتی میسر می‌کند. با وجود عوامل آسیب‌رسان در این سایت موزه شاید نتوان عوامل آسیب‌رسان درونی را مهار کرد اما با اتخاذ روش‌های حفاظتی مختلف و مناسب، می‌توان سرعت تخریب را کم کرده و یا از آسیب‌های بعدی جلوگیری به عمل آورد (تصویر ۳).

نگهداری می‌شوند، داشته باشد. چراکه اگر رطوبت نسبی بیشتر از ۸۰٪ باشد و دمای محیط تا حدود ۴°C سردتر شود، شرایط لازم برای ایجاد پدیده میعان مهیا می‌گردد. لذا این گونه مواقع، اگر میعان مشاهده شود، در هوای سرد خطر تشکیل یخ و ایجاد آسیب‌های فیزیکی روی آثار تاریخی وجود دارد (علیزاده، ۱۳۸۹: ۱۹۰). تقریباً تمام آب‌هایی که درون خاک حضور دارند، مقدار متغیری از نمک‌های محلول را دارند. فرایند آسیب نمک به میزان انحلال‌پذیری، جذب رطوبت هوا، حرکت و پویایی نمک و میزان آب‌گیری بلورهای آن بستگی دارد (پیرک و دیگران، ۱۳۹۴: ۵۲). از دیاد رطوبت می‌تواند موجب حل شدن نمک‌های موجود در خاک شده و به واسطه بافت متخلخل استخوانی، بین خلل و فرج آن نفوذ کرده و با تبلور مجدد، باعث افزایش حجم و ایجاد انبساط و انقباض شده و بافت استخوانی را طی این چرخه، تخریب و پوسیده کند. نتایج آنالیز شیمیایی شوره‌های تشکیل‌شده روی سطوح دیوارهای قبور سایت موزه عصر آهن تبریز نشان داد که شوره‌ها عمدتاً ترکیبات یون‌های کلریدی، نیتراتی و فسفات‌های هستند (داداش‌زاده، ۱۳۹۵).

باتوجه به اینکه ارتفاع محوطه عصر آهن پس از حفاری و کاوش، ۸ متر پائین‌تر از کف اصلی خیابان قرار دارد و تمهیدات لازم برای جلوگیری از ورود آب‌های سطحی مانند آب حاصل از ریزش نزولات آسمانی و هدایت آن به منطقه‌ای دورتر از موزه اندیشیده نشده است، بخش عمده‌ای از رطوبت این موزه، از این طریق، وارد محوطه سرپوشیده موزه می‌گردد. بالا بودن سطح آب‌های زیرزمینی در منطقه نیز می‌تواند یکی از عوامل ایجاد رطوبت صعودی باشد. رطوبت صعودی موزه عصر آهن می‌تواند در اثر عبور یکی از قنات‌های فعال تبریز از نزدیکی این

عوامل آسیب‌رسان بر روی استخوان‌های موزه عصر آهن تبریز

کاووش نیمه تمام	رطوبت	اسیدیته خاک گور	دما ی محیط	نمک های خاک گور
واکنش غیر یکنواخت اسکلت‌های نیمه بیرون آورده شده	رشد میکروارگانیزم ها و قارچ ها	تجزیه بافت استخوانی	رخ دادن پدیده میعان در حضور رطوبت جوی بالا و افت دما	تخریب در اثر تبلور و انبساط و انقباض درون بافت استخوانی

تصویر ۳. مهم‌ترین عوامل آسیب‌رسان روی استخوان‌های تاریخی موزه عصر آهن تبریز (نگارندگان)

مواد و روش‌ها

طرح اختلاط مواد برای ساخت ملاط

برای رفع مشکل رطوبتی سایت موزه موردنظر و تلاش در ایجاد یک مانع رطوبتی، تصمیم گرفته شد تا روی بهینه‌سازی ملاط‌های پایه‌آهکی تمرکز شود. با پیروی از دستورالعمل‌های سنتی برای بهینه‌سازی ملاط‌های آهکی از طرح اختلاط ملاط‌های آهکی ایران و اروپا الگوبرداری به عمل آمد. به نحوی که براساس مطالعات صورت گرفته (حامی، ۱۳۸۴) و همچنین فرمول‌های سنتی (Trocca, 2009) مبنی بر ثابت نگه‌داشتن میزان آهک به میزان ۳۰٪ که نتایج موفقیت‌آمیزی داشت، عمل گردید. مطالعه روی ملاط‌های آهکی پوزولانی (خاکستردار)، نشان داده است که به‌منظور تولید ملاط‌های آهکی قوی و با استحکام بیشتر، می‌توان از خاکسترها و خاک‌های ریزدانه درون ملاط‌های آهکی استفاده نمود. این عمل موجب کاهش عمل انقباض حجمی هنگام گیرش ملاط گردیده و ساختار منافذ داخلی ملاط را در نهایت ظرافت قرار می‌دهد. لذا عمل نفوذپذیری ملاط‌های آهکی با مصرف خاکسترهای سیلیسی بسیار کاهش می‌یابد (Shen, 2007). در این مطالعه، بجز آهک^۱ آذرشهر و ماسه^۲ شبستر به‌عنوان اجزای اصلی ملاط از سه نوع پوزولان: خاکسترهای چوب درخت عرعر،^۳ خاکستر پوسته برنج^۴ و خاکستر فضولات حیوانی^۵ (گاو) منطقه به‌عنوان پوزولان ارزان و به‌صرفه در ترکیب ملاط استفاده شد. بهترین و درعین حال، اقتصادی‌ترین دما برای تولید خاکستر مناسب، همگن و دارای حداکثر فعالیت پوزولانی و با کیفیت بیشتر، حالتی است که عمل سوزاندن آن در دمای بین ۵۰۰ تا ۶۵۰ °C و در مدت زمان حدود دو ساعت صورت گیرد. براساس آزمایش‌ها و تحقیقات انجام‌شده، مشخص شده است که اگر دمای سوختن زیر ۵۰۰ °C یا بالای ۶۵۰ °C باشد، باعث به‌وجود آمدن سیلیس‌های بی‌شکل و غیربلوری می‌شود. از طرفی در دماهای بالاتر، هوا (اکسیژن) کافی برای سوختن کامل پوسته و تولید خاکستر با کارایی مناسب در محیط وجود نخواهد داشت و نیز تخلیه گازهای مزاحم تولیدشده در شرایط سخت‌تری انجام می‌شود (رضوانی، ۱۳۹۱). برای تهیه پوزولان پوسته برنج، ابتدا ظروف حلبی حاوی پوسته‌های برنج به درون کوره منتقل گردید. دمای کوره نیز به‌صورت صعودی تنظیم شد تا به‌صورت تدریجی به دمای ۶۰۰ °C برسد. زمان سوختن نیز ۴ ساعت در نظر گرفته شد. چون که ریزی ذرات خاکستر پوسته برنج تأثیر پوزولانی خوبی روی ملاط دارد، خاکسترها قبل از استفاده با هاون آسیاب شدند. خاکستر چوب استفاده‌شده در این پژوهش، حاصل سوختن

زغال چوب درخت عرعر است. خاکسترها قبل از استفاده با الک معمولی سرنده شدند (خاکسترها قبل از استفاده از سرنده/ الک رد شدند) تا مواد ناخالص و زغال‌های سیاه نسوخته از آن جدا گردد. برای تهیه خاکستر فضولات گاو، ابتدا تکه‌های فضولات به گونه‌ای روی هم چیده شدند که بین آن‌ها فضای خالی باقی بماند تا حین سوختن، هوا به راحتی جریان یابد و فضولات به‌طور کامل بسوزند و تبدیل به خاکستر شوند. پس از چهار ساعت، خاکسترها از الک رد شدند تا مواد ناخالص و سنگ‌ریزه‌ها از ترکیب جدا گردند.

آهک استفاده‌شده در ملاط عمدتاً با مقدار زیادی آب، آبدیده می‌شود تا خمیر آهک شکل بگیرد. سپس این خمیر در حفره‌های سرپوشیده یا ظرفی تا هنگام مصرف نگهداری می‌شود. آهک برای اندود بایستی حداقل یک‌ماه پیش از مصرف، به خمیر تبدیل شود و سپس، ذرات نشکفته‌اش به‌دقت جدا شود. اگر این ذرات نشکفته از ملاط جدا نشوند بر کیفیت آن تأثیر نامطلوبی می‌گذارند (رضوانی، ۱۳۹۰). در این پژوهش برای ساخت خمیر آهک، ابتدا آهک زنده الک گردید تا سنگ‌ها و ناخالصی‌های آن جدا شوند و همچنین میزان انحلال و شکستگی ذرات آن بیشتر شود. باتوجه به کمبود زمان، آهک یک‌هفته پس از آبدیده شدن مورد استفاده قرار گرفت اما برای نمونه‌های سوم تا ششم از خمیر آهکی استفاده شد که یک‌ماه آبدیده شده بود و کیفیت بهتری داشت. خمیر آهکی روزانه چندبار هم زده می‌شد تا کاملاً دانه‌های ریز شکفته شوند. هنگام استفاده نیز آب آهک که روی سطح ظرف جمع می‌شد، از خمیر جدا شده و شیره آهک برای ساخت ملاط‌ها مورد استفاده قرار می‌گرفت. ماسه استفاده‌شده از نوع ماسه‌های شسته شبستر است که قبل از استفاده، الک گردید تا در همه نمونه‌ها دانه‌بندی یکسانی داشته باشد.

در مجموع، شش طرح اختلاط ملاط طراحی گردید که جزئیات میزان اختلاط‌های طراحی‌شده در جدول ۱، ارائه شده است. کلیه ترکیبات نمونه‌ها قبل از این که درون قالب‌ها ریخته شوند، یک‌ساعت به‌صورت دستی ورز داده شدند تا اختلاط به‌درستی انجام پذیرد. از هر نمونه ملاط، ۱۶ مکعب آزمایشی تهیه گردید که ۱۲ عدد از قالب‌های مکعب‌ها در ابعاد تقریبی ۵×۵×۵ cm و ۴ عدد در ابعاد ۲×۵×۵ cm است. نمونه‌های ملاط بعد از گذشت ۲۷ روز از زمان ساخت، آزمایش و آنالیز شدند.

مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات آزمایشگاهی شامل آزمایشات تعیین ویژگی‌های فیزیکی نمونه‌ها، ساختارشناسی با روش تعیین عناصر به‌شیوه آنالیز فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، تعیین فازی به‌شیوه

الف. خواص فیزیکی ترکیبات ملات

براساس دستورالعمل استاندارد انجام هر آزمون، کلیه نمونه‌ها برای شناسایی خواص فیزیکی تا رسیدن به نمونه مرغوب مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج در ادامه آمده است. برای شناخت خواص فیزیکی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، سه عدد آزمایش شد. نتایج نشان می‌دهد که در مقایسه وضعیت جذب آب نمونه‌ها، ملاط S_5 نسبت به سایر نمونه‌ها میزان جذب کمتری داشته است و ملاط S_4 جذب آب بیشتری داشته و سریع‌تر به نقطه اشباع رسید. نمونه‌های S_2 ، S_3 و

آنالیز پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) ^۲ و همچنین سنجش خواص استقامتی، براساس استانداردهای ملی و بین‌المللی به‌انجام رسیده است (جدول ۲).

نتایج و یافته‌های پژوهش

نتایج آزمایشات برای دستیابی به ملاط منتخب جهت استفاده در بدنه‌ها و کف گورهای موزه عصر آهن تبریز و انجام آزمون‌های مقاومتی و خواص فیزیکی و همچنین، شناخت ساختار ماده تشکیل‌شده در ملاط منتخب، در این بخش آورده شده است.

جدول ۱. میزان اختلاط ترکیبات و اجزای گونه‌های مطالعاتی ملات پایه‌آهکی

S_1	S_2	S_3	S_4	S_5	S_6	
۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	آهک (%)
۳۵	۳۵	۶۰	۳۵	۴۰	۵۰	ماسه (%)
۳۵	۰	۰	۰	۱۰	۰	خاکستر چوب (%)
۰	۰	۰	۳۵	۱۰	۲۰	خاکستر پوسته برنج (%)
۰	۳۵	۱۰	۰	۱۰	۰	خاکستر فضولات حیوانی (%)

(نگارندگان)

جدول ۲. آنالیزهای ریزساختار شناسی اهداف و مراجع استانداردها

استاندارد و تجهیزات	هدف	گونه آزمون	آزمایش
BSEN 1097-3, BS813-2:1995	تعیین نرخ جذب آب در ملات	میزان رطوبت و جذب آب (%)	خواص فیزیکی
ISRM, 1979	تعیین میزان چگالی و تخلخل برای درک رفتار هوازدگی ملات	چگالی و تخلخل	
ASTM DI585-2004 UNE EN 1925:1999	تعیین مقاومت در برابر یخبندان	موئینگی	
ساخت کارخانه PHILIPS: مدل PW1800 شرکت کانساران بینالود تهران	تعیین فازهای کریستالی موجود در نمونه	(XRD)	ساختارشناسی و کانی‌شناختی
ساخت کمپانی: PHILIPS، مدل PW1480: کانساران بینالود تهران	شناسایی و تحلیل عناصر موجود در نمونه‌ها	(XRF)	
ASTM D 4644, 2004	تعیین مقاومت نمونه تحت آزمون دوام‌داری	شاخص دوام وارفتگی	ویژگی‌های استقامتی
UNE-EN 12371:2011	بررسی دوام ملات در برابر انجماد و ذوب متوالی	چرخه انجماد و ذوب متوالی	
UNE-EN 12370:1999	بررسی دوام در برابر تر و خشک شدن متوالی	چرخه تر و خشک شدن متوالی	
UNE-EN 12370:1999	تخمین دوام ملات در برابر حمله نمکی	چرخه دوام در برابر نمک کلرید سدیم (NaCl)	

(نگارندگان)

همچنین نمونه‌های S_1 و S_6 از نظر جذب بسیار شبیه هم هستند، متعاقباً با مقایسه وضعیت موئینگی نمونه‌ها، ملاط S_5 و در مرحله بعدی S_2 نسبت به سایر نمونه‌ها، میزان موئینگی کمتری دارند. نمونه‌های S_4 ، S_1 و S_6 ، از نظر موئینگی بسیار شبیه هم هستند. نمونه S_3 نیز در مقایسه با سایر نمونه‌ها، جذب آب متوسطی داشته است (جدول ۳، تصویر ۴).

ب. نتایج خواص استقامتی

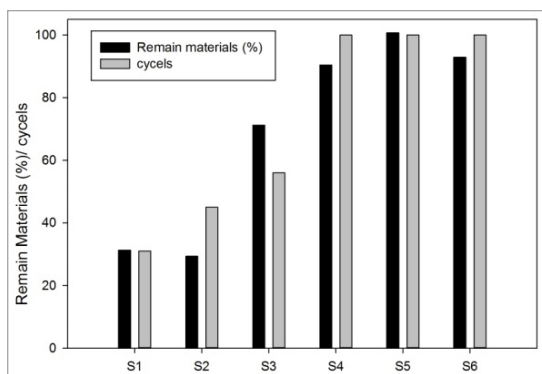
نتایج آزمون‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های تر و خشک شدن

برای شناخت خواص استقامتی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، ۳ عدد مورد آزمایش قرار گرفت. مقایسه نتایج چرخه تر و خشک شدن نمونه‌ها (تصویر ۵)، نشان می‌دهد در این آزمون، نمونه اول با ترکیب (۳۰٪ آهک + ۳۵٪ ماسه + ۳۵٪ خاکستر چوب)، کم‌دوام‌ترین ملاط بود که بر اثر خشک شدن‌های متوالی و انبساط حجم نامتوازن، آب خود را از دست داده و به صورت ترد و شکننده درآمد و پودر گردید و پس از ۳۱ چرخه، از بین رفت. نمونه‌های دوم و سوم نیز دچار ترک‌های طولی و عرضی شده و پس از طی ۴۵ و ۵۶ دوره از بین رفتند. نمونه‌های S_4

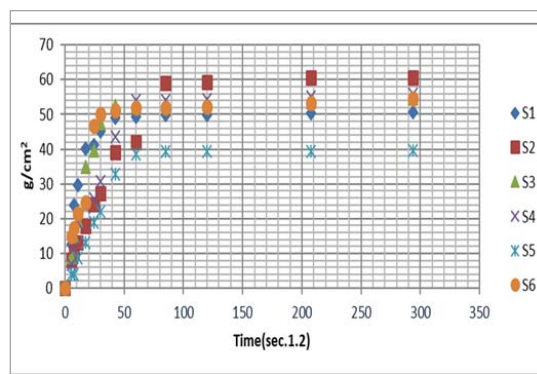
و S_5 و S_6 ، نسبت به دیگر نمونه‌ها کیفیت خوبی داشته و تا ۱۰۰ چرخه را بدون تغییرات ظاهری محسوس طی کردند. از بین این ۳ نمونه، بهترین و باکیفیت‌ترین، ملاط S_5 با ترکیب (۳۰٪ خمیر آهک + ۴۰٪ ماسه + ۱۰٪ خاکستر پوسته برنج + ۱۰٪ خاکستر فضولات حیوانی + ۱۰٪ خاکستر چوب) بود که پس از طی ۱۰۰ چرخه، همچنان بدون کاهش وزن و هیچ‌گونه تغییرات ظاهری دوام فوق‌العاده‌ای از خود نشان می‌داد؛ به نظر می‌رسد علت اصلی مقاومت ایده‌آل این نمونه، تنوع دانه‌بندی در ساختار ملاط باشد.

نتایج آزمون‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های انجماد و ذوب متوالی

برای شناخت خواص استقامتی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، ۳ عدد مورد آزمایش قرار گرفت. در ادامه، نتایج چرخه‌های آزمون پیرسازی تسریعی ذوب و انجماد نشان داد که به ترتیب نمونه S_1 در ابتدای چرخه، به شدت کاهش وزن داشته و به حالت پودری درآمد؛ و پس از رسیدن به یک وزن ثابت کاهش وزنی مشاهده نگردید و دوام نسبتاً خوبی در مقابل یخبندان نشان داد. نمونه S_2 ، بین همه نمونه‌ها مقاوم‌ترین ملاط بود



تصویر ۵. نمودار نتایج آزمون پیرسازی تر و خشک شدن (نگارندگان)



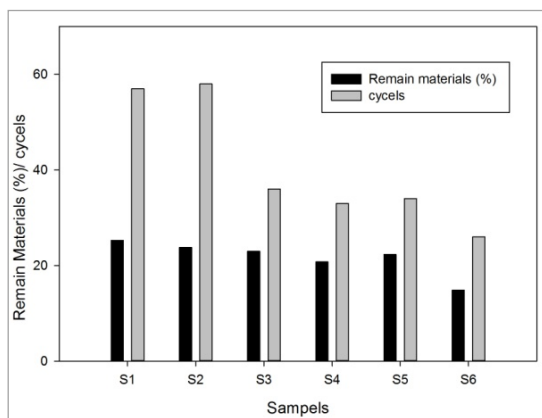
تصویر ۴. نمودار آزمون موئینگی (نگارندگان)

جدول ۳. مشخصات فیزیکی شاخص نمونه‌های ملاط

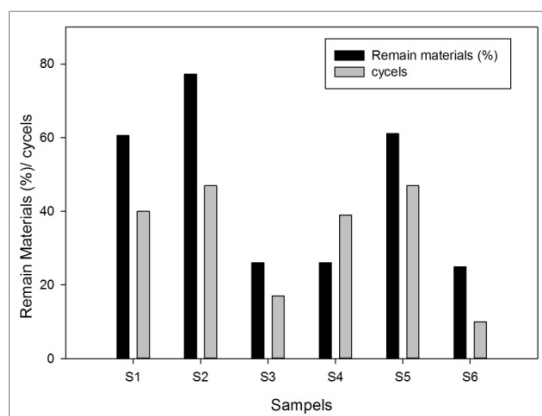
نمونه	چگالی (gr/cm^3)	تخلخل (%)	جذب آب (W_{ab})	جذب موئینه ($\text{g}/\text{m}^2/\text{s}$)
S_1	۱۳/۸۰	۱۷/۹۷	۲۴/۶۶	۰/۹۷
S_2	۱۰/۲۹	۲۲/۱۳	۱۹/۲۲	۰/۵۴
S_3	۱۰/۴۹	۲۲/۱۷	۱۹/۷۲	۰/۶۹
S_4	۱۲/۵۰	۲۰/۶۹	۴۴/۴۴	۰/۹۹
S_5	۲۶/۹۰	۸/۴۰	۱۵/۴۴	۰/۴۴
S_6	۱۰/۶۸	۲۲/۱۷	۲۳/۸۵	۰/۹۳

(نگارندگان)

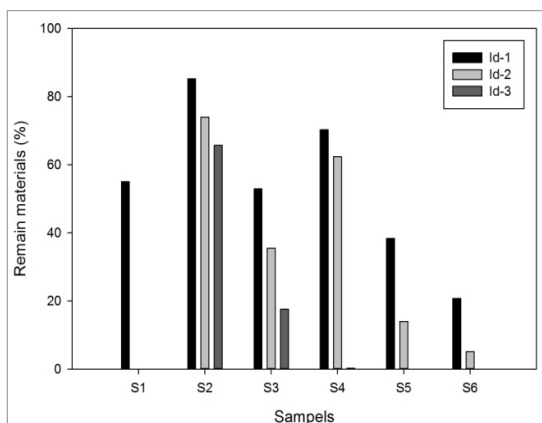
+ ۳۵٪ خاکستر فضولات حیوانی)، ملاطی مقاوم‌تر از میان نمونه‌های مورد آزمایش است. زیرا در آزمون‌های فیزیکی همانند چگالی و جذب موئینگی و جذب آب، خواص مناسبی برای ملاط ارائه داده می‌شود؛ و همچنین در پیرسازی تسریعی تر و خشک شدن، یخ بردن و حمله نمک‌ها، مقاومت قابل قبولی داشته است، به‌علاوه، در آزمون دوام‌داری ملاط بیشترین



تصویر ۶. نمودار نتایج آزمون پیرسازی انجام‌د و یخ‌گشایی (نگارندگان)



تصویر ۷. نمودار نتایج چرخه پیرسازی شکستگی نمک (نگارندگان)



تصویر ۸. نتایج آزمون دوام‌داری کلیه نمونه‌ها و ویژگی‌های نمونه منتخب در مقایسه با سنگ بکر (نگارندگان)

و دوام قابل قبولی درمقابل یخ‌زدان نشان داد. نمونه‌های S_3 و S_4 ، S_5 ، S_6 ، خصوصیتی مشابه به هم داشته و از دوام متوسطی برخوردار بودند و پس از ۳ چرخه، از بین رفتند. نمونه S_6 نیز در این چرخه بی‌کیفیت‌ترین نمونه بود و از اوایل دهه اول به‌شدت کاهش وزن یافت و اولین نمونه‌ای بود که از چرخه خارج شد (تصویر ۶).

نتایج آزمون‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های حمله نمک

برای شناخت خواص استقامتی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، ۳ عدد موردآزمایش قرار گرفت. نتایج مقاومت نمونه‌ها درمقابل تنش‌های ناشی از تبلور نمک، نشان می‌دهد که به‌ترتیب، نمونه S_1 دوام متوسطی داشته و بر اثر تنش‌های وارده ترد و شکننده شده و کاهش وزن محسوسی داشته و ۴۰ چرخه را طی نمود، نمونه S_2 دوام خوبی داشته و تا ۴۷ چرخه بدون کاهش وزن محسوس، باکیفیت‌ترین نمونه انتخاب شد، ملاط S_3 دوام قابل قبولی نداشته و پس از ۱۷ چرخه از رده خارج شد. نمونه ملاط S_4 وضعیتی مشابه ملاط اول داشته و از دوام متوسطی برخوردار بود. نمونه S_5 دوام و کیفیت قابل قبولی نداشته و پس از طی یک بازه زمانی کوتاه از چرخه خارج گردید. بدترین و بی‌کیفیت‌ترین ملاط این چرخه که مقاومت پائینی در برابر تبلور نمک از خود نشان داد، نمونه S_6 بود که در ۱۰ چرخه متلاشی شده و از چرخه خارج گشت (تصویر ۷).

نتایج آزمون دوام‌داری

آزمون دوام‌داری در کلیه رده‌های ملاط (از هر کدام ۳ نمونه) موردآزمایی قرار گرفت. شاخص دوام وارفتگی، مقادیر بالای کاهش وزن را در چرخه‌های این آزمایش در کلیه نمونه‌ها نشان می‌دهد و حاکی از آن است که نمونه‌های S_4 ، S_5 ، S_6 ، S_1 ، S_3 از لحاظ مقاومت درمقابل چرخه‌های دوام‌داری بسیار ضعیف بوده و طی ۲ چرخه به کلی از بین رفته‌اند. در عوض، ۲ نمونه S_2 و S_3 توانسته‌اند تا چرخه سوم با ۶۵٪ برای S_2 و ۱۷٪ برای S_3 در چرخه باقی بمانند. با توجه به نتایج بیان شده می‌توان گفت نمونه S_2 از لحاظ مقاومت درمقابل این چرخه‌ها بهترین عملکرد را داشته است (تصویر ۸) و نتایج آن در مقام مقایسه با سنگ در رابطه با این آزمون می‌تواند در رده مقاوم و متوسط در نظر گرفته شود.

جمع‌بندی و گزینش نمونه منتخب

براساس نتایج به‌دست آمده از آزمایش‌های مذکور می‌توان گفت رده ترکیبی S_2 با ترکیب (۳۰٪ خمیر آهک + ۳۵٪ ماسه

مقاومت را از خود نشان داده است. از این رو در مرحله بعد، به ساختارشناسی این ترکیب به عنوان ملاط منتخب پرداخته شده است.

نتایج ساختارشناسی

نتایج فازشناسی ملاط منتخب با پراش پرتو ایکس (XRD)

در ملاط‌های آهک پوزولانی برخلاف سیمان، هیدرات‌های کلئیدی کلسیم سیلیکات‌ها می‌توانند از آهک و سیلیس در درجه حرارت عادی تشکیل شوند. مشروط به این که سیلیس مورداستفاده به‌طور طبیعی در حالت فعال (دارای میل ترکیبی) باشد. در این ملاط، پوزولان حاوی سیلیس زیاد و فعال بوده و قادر به ترکیب با آهک هیدراته و قابل سخت شدن است. از این رو، انتظار می‌رود در مخلوطی از آهک شکفته با پوزولان مصنوعی که ساده‌ترین نوع مصالح ساختمانی هیدرولیک محسوب می‌گردند، فازهای سیلیکات کلسیم تشکیل گردد اما این فازها به‌ندرت در ملاط‌های بهینه‌سازی شده و در شرایط آزمایشگاهی قابل مشاهده هستند (رازانی و دیگران، ۱۳۹۷). براساس مطالعات تئوری، انتظار می‌رود فازهای هیدرواکسید کلسیم سیلیکات و یا هیدروکلسیم سیلیکات آلومینات در ملاط تشکیل شده باشد؛ اما واکنش سیلیکای آمورف و همچنین احتمالاً آلومین آمورف با آب و آهک در نوع سیلیکات کلسیم هیدراته و آلومینات کلسیم هیدراته براساس فرمول ذیل، چندان هم دقیق تاکنون تأیید نشده است (Torraca, 2009: p.56).

از آنجا که واکنش خودگیری و سخت شدن در این ملاط وابسته به دی‌اکسید کربن هوا نیست، گیرش این ملاط می‌تواند حتی با حضور هوا، مثلاً زیر آب یا شرایط شدیداً مرطوب همچنان که در کف قبور موزه عصر آهن تبریز وجود دارد، نیز انجام شود.

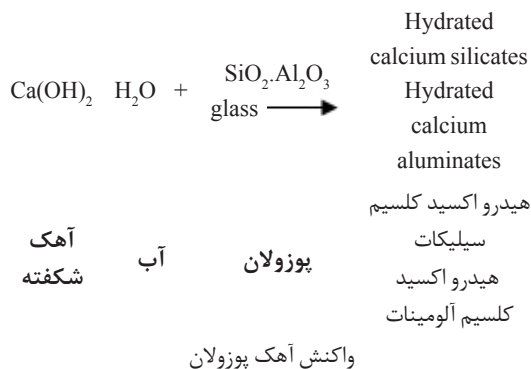
ترکیب شیمیایی ملاط منتخب با فلورسانس پرتوی ایکس (XRF)

نتایج حاصل از تجزیه عنصری نمونه ملاط منتخب، S2، و دیگر موادی که در ترکیب رده‌های ملاط آمده است و نتایج اکسیدهای اصلی خاکستر پوسته برنج، نشان‌دهنده وجود میزان زیاد اکسیدسیلیس است که البته این مقدار می‌توانسته با پخت مناسب‌تر افزایش یافته و تا بالای ۹۰٪ بالا رود. همچنین حداکثر میزان درصد (L.O.I) در استانداردهای تعریف شده برای پوزولان‌ها ۱۰٪ است؛ که در پوزولان چوب ۲۵/۵۲٪ و در پوزولان پوسته‌های برنج ۳۱/۴۶٪ است. علت آن می‌تواند روند سوختن ناقص مواد مذکور به‌صورت سنتی باشد. مقایسه نتایج درصد عناصر خاکستر فضولات حیوانی با نمونه‌های دیگر در مقالات، علمی نشان‌دهنده سوختن و تولید این پوزولان قابل قبول و رضایت‌بخش است. همچنین میزان (L.O.I) در این خاکستر به استانداردهای پوزولان‌ها نزدیک است و از این نظر، این خاکستر یک پوزولان استاندارد محسوب می‌گردد (جدول ۵ و تصویر ۹).

یافته‌ها و بحث

استخوان به‌واسطه تخلخل و ترکیبات شیمیایی اش مستعد تخریب و فرسودگی است. به‌طور کلی می‌توان عوامل آسیب استخوان را شامل: عوامل ذاتی، عوامل فیزیکی و محیطی، عوامل شیمیایی، عوامل زیستی و بیولوژیکی، عوامل انسانی و درباره اسکلت‌های تاریخی، روش ساخت آن‌ها دانست (Bisht, 2010, 113-119). در این میان، در بسیاری از محوطه‌های باستان‌شناسی اسکلت‌های انسانی و حیوانی یافت می‌شوند و در این شرایط بسیاری از متصدیان امر علاقه‌مند هستند تا به راه‌اندازی موزه‌های درجا و نمایش آثار در محل - همانند موزه عصر آهن تبریز - اقدام نمایند، اما متأسفانه هنگامی که بدون در نظر گرفتن شرایط استاندارد حفاظتی محل، چنین تصمیمی گرفته می‌شود آن‌گاه ماجرای حفاظت و مرمت استخوان‌ها به‌علت متغیرهای متعدد محیطی که تا حد زیادی با هزینه‌های معمول قابل کنترل نیستند، بسیار چالش‌برانگیز خواهد بود.

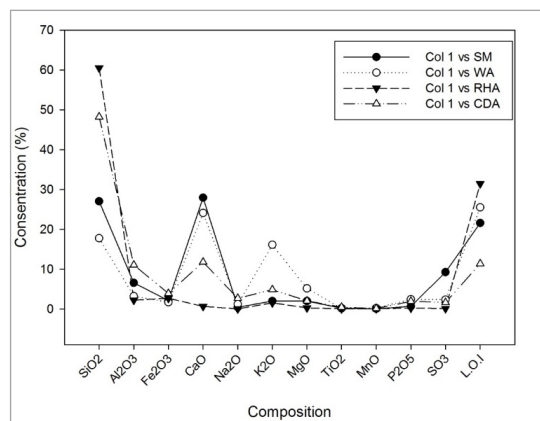
از اشتباهاتی که در زمینه این چنین محوطه‌هایی رخ می‌دهد، کاوش نیمه‌تمام قبوری است که دارای بقایای اسکلتی



آن چنان که در نمونه منتخب این تحقیق نیز چنین فازی مشاهده نشد و فازهای تشکیل شده شامل اکسیدسیلیسیم در قالب دو فاز اصلی کوارتز و کریستوبالیت، کربنات کلسیم در فاز اصلی کلسیت و پرتلندیت بود؛ فازهای ژپیس و آلپیت که از فازهای معمول در ملاط‌های پایه‌آهکی هستند، شناسایی شد (جدول ۴).

هستند. به نحوی که نیمه‌ای از بدنه اسکلت را بیرون آورده و نیمی از آن را در خاک نگه می‌دارند. از مشکلات این روش متداول و البته نادرست این‌که:

۱. همیشه امکان دارد اشیایی زیر اسکلت در خاک باقی مانده و بدین نحو، اطلاعات زیادی تا زمانی نامعلوم از گوری کاوش شده نادیده گرفته می‌شود.
۲. به سادگی نمی‌توان از نیمه‌اسکلت بیرون آمده اطلاعات دقیقی درباره جنسیت، علل فوت احتمالی و بیماری‌های باستانی مرتبط با ساختار اسکلتی استخراج نمود.
۳. بیشتر مواقع، این گونه اسکلت‌های نیمه‌کاوش شده به سرعت دچار آسیب می‌شوند. این امر می‌تواند به علت تعادل نداشتن فعالیت باکتری‌های خاک در بخش مدفون شده اسکلت، تغییرات رطوبت و برودت و نمک‌ها در این



SM: ملاط منتخب WA: خاکستر چوب RHA: خاکستر پوسته برنج CDA: خاکستر فضولات حیوانی

تصویر ۹. نمودار خطی مقایسه نتایج آنالیز شیمیایی پوزولان‌ها و نمونه ملاط منتخب براساس درصد وزنی اکسیدهای اصلی با استفاده از (XRF) (نگارندگان)

جدول ۴. آنالیز پراش پرتو ایکس برای نمونه ملاط منتخب براساس فازهای شناسایی شده اصلی و فرعی

Major Phase(s)	Chemical formula	ref
Calcite	CaCO ₃	(05-0586)
Quartz	SiO ₂	(33-1161)
Gypsum	CaSO ₄ · 2H ₂ O	(33-0311)
Albite	NaAlSi ₃ O ₈	(09-0466)
Minor Phase(s)		
Portlandite	Ca(OH) ₂	(04-0733)
Cristobalite	SiO ₂	(39-1425)

(نگارندگان)

جدول ۵. نتایج آنالیز شیمیایی پوزولان‌ها و ملاط منتخب درصد وزنی اکسیدهای اصلی با استفاده از روش (XRF)

عناصر اصلی	خاکستر فضولات حیوانی	خاکستر پوسته برنج	خاکستر چوب	ملاط منتخب
SiO ₂	48.26	60.53	17.75	27.05
Al ₂ O ₃	11.03	2.21	3.19	6.56
Fe ₂ O ₃	3.89	2.69	1.69	2.11
CaO	11.78	0.66	24.11	27.96
Na ₂ O	2.69	0.02	1.22	0.42
K ₂ O	4.84	1.53	16.11	2.01
MgO	2.02	0.26	5.16	1.98
TiO ₂	0.456	0.032	0.149	0.221
MnO	0.102	0.089	0.221	0.042
P ₂ O ₅	1.926	0.223	2.435	0.672
SO ₃	1.63	0.1	2.35	9.25
L.O.I	11.38	31.46	25.52	21.57

(نگارندگان)

بخش، نسبت به بخش بیرون‌زده باشد. این تغییرات کلی میان بخش مدفون و بخش بیرون‌آمده، منجر به تخریب سریع بخش مدفون مانده استخوان‌ها می‌گردد چراکه در بیشتر مواقع، بخش بیرون‌زده را نیز تا حد زیادی اشباع و استحکام‌بخشی می‌نمایند.

از این رو، پیشنهاد جدی هنگام برخورد با اسکلت‌های مدفون در خاک، این است هنگامی که کاوشی صورت می‌گیرد، یا اسکلت از بستر خاکی جدا شود و یا این‌که، بعد از انجام تحقیقات باستان‌شناسی از همان خاک گور استفاده شده و بار دیگر، اسکلت‌ها مدفون گردند. در مواردی که تصمیم به بیرون کشیدن اسکلت‌ها و انجام اقدامات حفاظت و مرمت روی آن‌ها گرفته می‌شود، بایستی کلیه اقدامات حفاظتی برای کف و بدنه گور قبل از بازگرداندن استخوان‌ها، در نظر گرفته شود.

براساس مطالعات و تجربیات نگارندگان، بهترین روش در حفاظت و مرمت اسکلت‌های تاریخی در کاوش‌های باستان‌شناسی، در این مراحل قابل‌خلاصه شدن است:

- مستندنگاری و برداشت استخوان‌ها براساس شماره‌گذاری و ثبت دقیق؛
- انجام عملیات حفاظت همانند: تمیزکاری، نمک‌زدایی و تثبیت و در صورت نیاز بازسازی؛
- بهینه‌سازی کف قبور با ایزوله نمودن و به حداقل رساندن متغیرهای خرداقلیم داخل گور؛
- بازگرداندن استخوان‌ها براساس ساختار اصیل تدفین و بازچیدمان آن‌ها طبق مستندات ثبت‌شده.

در این زمینه، مهم‌ترین بخش این اقدامات برای بهینه‌سازی بدنه و کف قبور، استفاده از ملاط‌های حفاظتی است که بایستی نسبت به شناخت فناوری ساخت و طرح اختلاط این گونه ملاط‌ها جهت دست‌یابی به کارآمدترین فرمول مناسب و پایدار اقدام گردد. از ویژگی‌های ملاط مناسب برای استفاده در محوطه‌های باستانی و مرمت بناهای تاریخی به موارد ایده‌آلی همانند این موارد می‌توان اشاره نمود:

۱. ماندگاری و اتصال به لایه اصلی و یا لایه تحکیم‌شده سنگ (همانگی از لحاظ انقباض و انبساط)؛ ۲. قابلیت برگشت‌پذیری و تجدیدپذیری (خنثی بودن از لحاظ ایجاد تخریب‌های بعدی همانند ایجاد نمک مخرب و رشد آفات بیولوژیک)؛ ۳. قابلیت استفاده در پوشش‌دهی و اندودکاری سطوح و دیوارچینی به صورت ملاط حفاظتی چندکاره؛ ۴. قابلیت استفاده برای پرکردن درزها و شکاف‌ها (بتواند در شرایط داخل در زه خشک و مقاوم شود، مقاومت برشی را افزایش دهد و مقاومت فشاری مناسبی داشته باشد؛ ۵.

مطابقت و سازگاری با محیط زیست و سطوح بیرونی که روی آن‌ها اعمال می‌شود (از نظر تخلخل، جذب و دفع آب، چگالی، هماهنگی بافتی و رنگی)؛ ۶. هزینه پائین‌تر نسبت به روش‌های دیگر حفاظتی؛ ۷. عدم نیاز به اپراتور حرفه‌ای و تجهیزات ویژه (رازانی، ۱۳۹۶: ۲۴۵).

طی پژوهش حاضر که جهت تهیه ملاط مناسب برای ایزوله کردن کف قبور گورهای موزه عصر آهن تبریز انجام شده بود، ۶ نمونه ترکیب اختلاط، موردآزمون قرار گرفت. این آزمون‌ها شامل: روش‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های تروخشک شدن، انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک و همچنین خواص فیزیکی (چگالی سنجی، تخلخل سنجی، میزان جذب آب، دوام‌داری و موئینگی) بود که برای کلیه نمونه‌ها انجام گرفت. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان داد، ملاطی که دارای ترکیبات و درصد حجمی اختلاط (۳۰٪ خمیر آهک + ۳۵٪ ماسه + ۳۵٪ خاکستر فضولات حیوانی (گاو)) است، مقاومت مناسبی در برابر چرخه‌های پیرسازی انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک دارد. همچنین میزان موئینگی این نمونه در مقایسه با سایر نمونه‌ها بسیار پائین بوده و دیرتر به درجه اشباع می‌رسد. این نمونه پس از طی ۳ چرخه دوام‌داری، نتایج رضایت‌بخشی داشت و در رده‌بندی ملاط‌های مقاوم قرار گرفت.

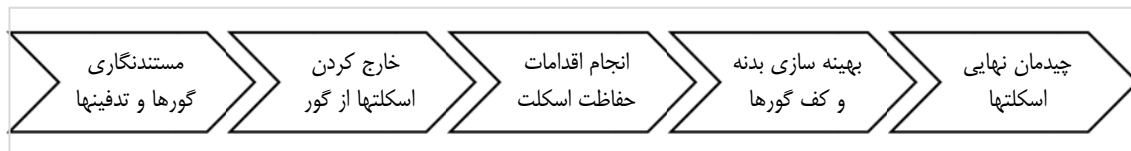
نتایج حاصل از فرایندهای بیان‌شده، نشان داد ترکیباتی که با پوزولان خاکستر فضولات گاو ساخته شده‌اند، در مقابل چرخه‌های پیرسازی و سایر آزمایش‌ها مقاومت بهتری دارند. از این رو، در مرحله اجرایی اقدام به استفاده از آن در کف ۴ گور عصر آهن گردید؛ که در ادامه، مراحل این اقدام آمده است. نتیجه عملی این تحقیق آزمایشگاهی در رابطه با ملاط‌های بهینه‌شده در قالب مراحل اجرایی اقدامات حفاظتی در موزه عصر آهن تبریز که کنار مسجد کبود تبریز قرار دارد، شامل مواردی که در تصویر ۱۰، آورده شده است. موزه عصر آهن در بردارنده مجموعه‌ای با ۳۰ گور است که در راستای این تحقیق، گورهایی با شماره‌های ۸۱/۷ و ۸۱/۸ و ۸۱/۹ و ۸۲/۲ برای حفاظت و مرمت در راستای عملیات تثبیت کف و بدنه گورها انتخاب شدند و عملیات اجرایی روی آن‌ها انجام شد (تصویر ۱۰).

به منظور مرمت و بهینه‌سازی بدنه و کف ۴ گور از مجموعه قبور عصر آهن تبریز، نخست اقدام به مستندسازی دقیق وضعیت قرارگیری اسکلت‌ها همراه با جزئیات کامل از بقایای برجای مانده از ردّ ظروف بر خاک و جهت‌گیری بدن متوفی اختصاص یافت. در این مرحله لازم بود اسکلت‌ها از بستر گور جداسازی شوند و برای حفاظت و مرمت، به کارگاه مرمت

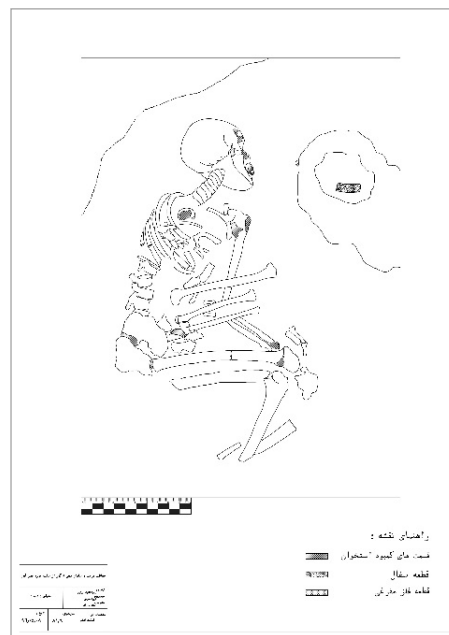
تهیه خمیر آهک برای ساخت ملاط، آهک قبل از استفاده الک گردید تا ناخالصی داخل آن باقی نماند. سپس براساس فرمولاسیون ذکرشده در ملاط منتخب، اقدام به ساخت ملاط گردید و ملاط ساخته شده در کف قبور به ضخامت ۲ سانتی متر ریخته شد. با توجه به اینکه عمل آوری کامل این ملاط نیاز به آب و رطوبت دارد، به مدت ۲۷ روز روی آن پلاستیک کشیده شد و هرروزه روی ملاط آب اسپری می گردید تا واکنش کامل شود پس از تثبیت کامل دیواره ها، برای موزون سازی رنگی، از گل آب استفاده گردید (تصویر ۱۲). پس از گذشت ۲۷ روز از اتمام مراحل عمل آوری و گیرش ملاط، به منظور تبادل هوا و جلوگیری از نفوذ رطوبت از طریق ملاط به اسکلت ها، کف قبور با آجرهای نسوز با دمای پخت ۱۲۰۰ درجه سانتی گراد به ارتفاع ۵ سانتی متر عایق بندی شد و در خاک پالایش و خاک شویی شده که به صورت کامل خشک شده بود، به ضخامت ۱ cm روی کف سازی موزائیکی داخل گورها بازگردانده شد (تصویر ۱۳). در ادامه اسکلت های مرمت شده بر مبنای تصاویر اولیه زمان کاوش و مستندسازی آنها انجام شده، به داخل گورها منتقل شده و بازچیدمان آنها صورت گرفت.

در مجاور محوطه انتقال یابند؛ از این رو، با دقت بسیار زیاد استخوان ها تک تک از خاک جدا و به کارگاه مرمت منتقل شدند (تصویر ۱۱).

در مرحله بعدی که مختص انجام اقدامات مرمتی روی گورها بود، ابتدا خاک کف قبور تا رسیدن به سطح خاک بکر، جمع آوری شد سپس، خاک مذکور سرنده شد و در دو مرحله شناورسازی خاک (فلوتاسیون)، با هدف شستشو، نمک زدایی و همچنین یافتن اشیاء و بقایای استخوانی ریز صورت گرفت. در ادامه، خاک برای چند هفته جلوی آفتاب قرار گرفت تا به صورت کامل خشک شود و بتوان در ادامه آن را به کف گور بازگرداند. لازم به ذکر است، نمونه خاک اصیل گور نیز نمونه برداری گردید تا برای مطالعات آینده با هدف مطالعه خاک بستر گورها مورد تحقیق و بررسی قرار گیرد. در مرحله بعدی، کف و بدنه گورها با اسپری آب مرطوب شد تا برای تثبیت و جلوگیری از ریزش بدنه ها با استفاده از شیرۀ آهک، اقدام گردد. پس از اعمال شیرۀ آهک به مدت ۳ روز، زمان داده شد تا آهک کاملاً خود را بگیرد. در این زمان هرروز روی سطح آب اسپری می گردید تا واکنش لازم صورت گیرد. سپس، ترکیب ملاط برای کف قبور آماده گردید. جهت



تصویر ۱۰. خلاصه عملیات اجرایی انجام شده در رابطه با گورهای محوطه عصر آهن تبریز (نگارندگان)



تصویر ۱۱. مستندسازی موقعیت و شیوۀ تدفین و قرارگیری اسکلت باستانی در گورها، گور شماره ۱ (نگارندگان)



شکل ۱۲، الف. جمع‌آوری خاک کف گور، ب. تثبیت خاک دیواره گورها با شیره آهک و موزون‌سازی رنگی، پ. تثبیت و شفته‌ریزی کف گور با شیره آهک، ت. ملاط‌ریزی کف گور و پوشاندن کف با پلاستیک، ث. گیرش ملاط کف و ج. انجام واکنش شیمیایی پس از ۲۷ شبانه‌روز در گور شماره ۱ (نگارندگان)

۴۶



شکل ۱۳، الف و ب. کف‌سازی با آجرنسوز به ارتفاع ۷ سانتی‌متر از کف، پ. بازگرداندن خاک پالایش‌شده به داخل گور و ت. آماده‌سازی جهت بازگرداندن اسکلت‌های مرمت‌شده بعد از ساماندهی و آماده‌سازی کف در موزه عصر آهن تبریز، نمونه‌موردی گور شماره ۱ (نگارندگان)

نتیجه گیری

بعد از کاوش‌های باستان‌شناسی، مشکل اصلی محوطه‌های تاریخی که در آن‌ها بقایای استخوانی یافت می‌شود، حفاظت از اسکلت‌هاست به‌خصوص این‌که، تصمیم به ایجاد موزه‌های درجا گرفته شود. در این راستا، حفاظت و نگهداری بدنه و کف گور نیز چالش‌های بسیاری دارد. در گورستان عصر آهن تبریز که امروزه به موزه عصر آهن معروف شده است و در آن تعداد زیادی اسکلت انسانی در گورهای کاوش شده به‌معرض نمایش درآمده‌اند، با افزایش درصد رطوبت و نوسانات برودتی و حرارتی روبه‌رو هستیم؛ آن‌چنان‌که در بخش پیشینه تحقیق آمده است، راهکارهای مختلفی برای کاهش رطوبت و مدیریت نوسانات رطوبتی و برودتی وجود دارد. در این پژوهش، برای کاهش میزان تأثیر مخرب عوامل مذکور به‌خصوص در قبور موزه که دچار مشکلات اساسی از قبیل ریزش بدنه‌ها و رطوبت صعودی است، راهکار استفاده از ملاط مقاوم و بهینه‌شده مورد مطالعه قرار گرفت؛ که در نهایت ملاطی با درصد اختلاط (۳۰٪ خمیر آهک + ۳۵٪ ماسه + ۳۵٪ خاکستر فضولات حیوانی) توانست مقاومت خوبی در برابر چرخه‌های پیرسازی انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک از خود نشان دهد. این ملاط برای تثبیت بدنه و کف ۴ قبر در موزه عصر آهن، مورد استفاده و اجرا قرار گرفت. نتایج بررسی میدانی بعد از گذشت ۲ سال، نشان داد این ملاط و راهکار اجرایی برای جداسازی اسکلت‌ها از کف مرطوب همچنان موفق بوده و می‌توان در چنین شرایط اضطراری که رطوبت صعودی را به‌راحتی نمی‌توان از کف قطع نمود، از آن استفاده کرد. پیشنهاد می‌شود با استفاده از مطالعات هیدرولوژی آب منطقه و مطالعه آب‌های زیرزمینی اطراف موزه، راهکار مناسبی برای دفع آب از موزه و کاهش آب‌دهی و رطوبت صعودی صورت پذیرد.

سپاسگزاری

مقاله پیش‌رو، مستخرج از پایان‌نامه "نسرین داداش‌زاده" با عنوان "ساخت ملاط پایه‌آهکی مناسب جهت ایزوله کردن بدنه‌ها و کف قبور گورستان تاریخی عصر آهن تبریز"، رشته مرمت آثار تاریخی است. بدین وسیله، از دانشگاه هنر اسلامی تبریز، سازمان میراث‌فرهنگی استان آذربایجان شرقی، مدیریت محترم موزه عصر آهن تبریز، مهندس عابدی و مهندس غلام رضا یزدانی و همچنین علیرضا امیری، سجاد محمدرحیمی، لیلی نعمانی خیابوی و زهرا آقائزاد برای یاری‌رسانی در انجام این پروژه، سپاسگزاری می‌گردد.

پی‌نوشت

1. Hygroscopic materials
۲. از منابع اصلی آهک در منطقه شمال غرب آهک‌های تولیدشده در آذرشهر است که به‌صورت تولید نیمه‌صنعتی در شهرستان‌های اطراف در دسترس است. این آهک خلوص مناسبی ندارد. برای بهینه‌سازی گیرش آهک در ملاط ابتدا با الک دستی دانه‌های سنگ از آن جدا گردید و از بخش الک‌شده آزمون، دانه‌بندی انجام گرفت. در همین راستا، برای به‌دست آوردن شیره آهک مورد استفاده در ساخت ملاط‌ها به‌وسیله غوطه‌ورسازی در آب به مدت یک هفته، آماده شد و مورد استفاده قرار گرفت.
۳. ماسه استفاده‌شده در ساخت ملاط از نوع ماسه شسته شبستر بوده و دانه‌های ریزودرشت داشت که بزرگ‌ترین دانه ($> 5 \text{ mm}$) با استفاده از الک کردن از آن جدا گردید.
۴. خاکستر چوب نیز در بسیاری از ملاط‌های سنتی به‌عنوان ماده پوزولانی به‌کار می‌رود. تفاوت عمده‌ای بین مواد شیمیایی خاکستر چوب از نظر نوع سوختن وجود دارد. "هاکیلا" در تحقیقات خود درباره مواد شیمیایی خاکستر چوب به این نتیجه رسید که تفاوت عمده‌ای در ترکیبات عنصری خاکستر بخش‌های مختلف چوب‌ها وجود دارد. نتایج آزمایشات و آنالیزهای وی نشان می‌دهد خاکستر شاخه و ریشه درختان، عناصر غنی‌تری نسبت به تنه درختان دارد و نیز غلظت عناصر شیمیایی پوست و شاخ و برگ درختان ۵ الی ۱۰ برابر بیشتر از ساقه درخت است. باید توجه داشت وجود درصد بالای عناصری مثل (Ca, Al, Mn, S) در خاکستر چوب دارای اهمیت زیادی است چراکه در ترکیب ملاط نقش مهمی در استحکام و ایجاد شبکه پیوندی قوی دارد. خاکستر چوب مورد استفاده در این پژوهش، حاصل سوختن زغال چوب در منقل و قلیان قهوه‌خانه‌های سنتی است. خاکسترها قبل از استفاده با الک معمولی سرنده شدند تا مواد ناخالص و زغال‌های سیاه‌نسوخته از آن جدا گردد.



Oxide Composition	WA2 (Sigvardsen, etal :2021)	Current research
SiO ₂	21.8	17.75
Al ₂ O ₃	1.9	3.9
CaO	48.9	1.6
Na ₂ O	2.2	24.11
K ₂ O	1.8	1.22
MgO	3.8	16.11
Ti ₂ O	-	5.6
MnO	-	0.14
P ₂ O ₅	-	0.22
SO ₃	5.4	2.35
L.O.I	16.2	25.52

۵. در سالیان اخیر، توجه خاصی به استفاده از ضایعات کشاورزی به‌عنوان پرکننده در بتن و مصالح ساختمانی شده است. از جمله مهم‌ترین مواد ضایعات کشاورزی، پوسته‌برنج است. در هنگام عمل شالی کوبی، ۲۲٪ از وزن شالی به‌صورت پوسته‌شلتوک و بقیه به‌صورت برنج، برنج شکسته و سبوس درمی‌آید. به‌علت خواص ضعیف تغذیه‌ای پوسته‌برنج، از آن به‌عنوان خوراک دام نمی‌توان استفاده نمود. در یک برآورد ساده برای تهیه هر تن برنج، در حدود ۲۰۰ Kg پوسته‌برنج تولید می‌شود که سوزاندن آن منجر به تولید ۴۰ Kg خاکستر پوسته‌برنج می‌گردد (داداش زاده ۱۳۸۸:۶۰). در این پژوهش برای تهیه خاکستر پوسته‌برنج، از کوره برقی مدل (ATBIN- 82600) موجود در کارگاه سفال، دانشکده هنرهای صنعتی دانشگاه هنر اسلامی تبریز استفاده شد؛ و پوسته‌های برنج با استفاده از ظرف حلبی به‌درون کوره منتقل گردید. دمای کوره نیز به‌صورت صعودی تنظیم شد تا به‌صورت تدریجی به دمای ۶۰۰ C° برسد. زمان سوختن نیز ۴ ساعت در نظر گرفته شد. نظر به این نکته که ریزی ذرات خاکستر پوسته‌برنج تأثیر پوزولانی خوبی روی ملاط دارد، خاکسترها قبل از استفاده در هاون آسیاب شدند.

Oxide Composition	Mehta	Buiatal	Ganesan et al	Current research
SiO ₂	87.2	86.98	87.32	60.53
Al ₂ O ₃	0.15	0.84	0.22	2.21
CaO	0.55	1.4	0.48	2.69
Mgo	0.35	0.57	0.28	0.66
Na ₂ O	1.12	0.11	1.02	0.02
K ₂ O	3.68	2.46	3.14	1.53
Fe ₂ O ₃	0.16	0.73	0.28	0.26
SO ₃	0.24	-	-	0.032
Ti2O	-	-	-	0.089
MnO	-	-	-	0.223
P2O5	-	-	-	0.1
LOI	8.55	5.14	2.11	31.46

۶. فضولات حیوانی حاصل باقی‌مانده مواد گیاهی هضم‌نشده در دستگاه گوارشی حیوانات است که دفع شده‌اند. تحقیقات نشان می‌دهد خاکستر فضولات گاو (CDA- Cow During Ash)، غنی از نیتروژن، کلسیم (Ca)، کربن (C)، پتاسیم (K) و فسفر (P) است. فضولات حیوانی بعد از سوختن در دامنه دمایی 400°C - 500°C ، تبدیل به خاکستر شده و پس از سرد شدن آسیاب می‌شوند تا ذرات آن ریزتر گردند. درصد بالای اکسیدهای مهمی همانند اکسید کلسیم (CaO)، اکسید آلومینیم (Al₂O₃) و اکسید آهن (Fe₂O₃) این را می‌رساند که افزودن این خاکستر در بتن باعث افزایش ترکیبات بارزشی چون تری کلسیم سیلیکات (Ca₃Si)، تری کلسیم آلومینات (Ca₃Al) و تتراکلسیم آلومینات فریت (Ca₄AlFe) می‌گردد که نقش عمده‌ای در افزایش قدرت اولیه لازم برای بتن دارند. در این پژوهش برای تهیه خاکستر از فضولات گاو استفاده شده است. ابتدا تکه‌های فضولات به گونه‌ای روی هم چیده شدند که بین آن‌ها فضای خالی باقی بماند تا حین سوختن هوا به راحتی جریان یابد و فضولات به طور کامل بسوزند و تبدیل به خاکستر شوند. پس از اتمام، خاکسترها الک گردیدند تا مواد ناخالص و سنگ‌ریزه‌ها از ترکیب آن‌ها جدا گردند (رضوانی، ۱۳۹۱).

منابع و مأخذ

- آزادی، مهرناز (۱۳۷۷). عاج و استخوان: شناخت علمی و حفاظت. پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت و حفاظت آثار تاریخی: دانشگاه هنر اصفهان.
- استابز، جان (۱۳۷۷). **نگهداری و حفاظت بقایای به‌دست‌آمده معماری از حفاریات کاوش‌های باستان‌شناختی**. ترجمه میرمحسن موسوی. تهران: دانشگاه هنر (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۸۳).
- استانی پرایس، نیکلاس (۱۳۷۷). **حفاظت و مرمت در کاوش‌های باستان‌شناختی**. ترجمه میرمحسن موسوی. تهران: دانشگاه هنر (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۸۳).
- اعتضادی، میترا (۱۳۷۵). بازشناسی و دیرین - آسیب‌شناسی بقایای استخوانی، تمدن تپه حصار اسکلت مادر، در حال زایش نوزاد هرگز به‌دنیانیا آمده. **مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی**. به کوشش: رسول وطن‌دوست تهران: دانشگاه هنر و پژوهش‌کنده حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی، ۱۶۶-۱۴۵.
- باغبانان، علیرضا؛ رضانی‌فر، فرشاد؛ هاشم‌الحسینی؛ حمید و رازانی، مهدی (۱۳۹۵). امکان‌سنجی استفاده از دوغاب زیستی برای تثبیت ماسه‌های روان در مناطق کویری با رویکرد حفاظت از بقایای باستان‌شناسی. **پژوهه باستان‌سنجی**. سال دوم (۱) ۲۷-۱۷.
- بزاز دستفروش، مهدی (۱۳۹۴). **موزه و موزه‌داری در آذربایجان شرقی**. تبریز: جامعه‌شناسان.
- پاول، جوزف؛ ف، گنتری استیل و مایکل، ب کالینز (۱۳۹۲). کاوش و تحلیل بقایای انسانی. **روش‌های میدانی در باستان‌شناسی**. به کوشش: هستر تامس‌ار، هری ج شیفر، کنتل فدر. ترجمه کمال‌الدین نیکنمایی و حسین صبری. تهران: سمت. ۵۴۹-۴۹۱ (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۷۷).
- پیرک، مهدی؛ عبدالله‌خان گرجی، مهناز؛ وحیدزاده، رضا و بهادری، رؤیا (۱۳۹۴). بررسی مکانیسم تخریب ناشی از نمک‌های محلول در بناهای تاریخی. **پژوهه باستان‌سنجی**. سال دوم (۱) ۷۳-۵۱.
- جان‌درو، آل؛ بالدراما، آلو و موکیاری، بیاکو (۱۳۷۷). **مرمت و حفاظت ساختمان‌های خشتی به‌دست‌آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی**. ترجمه میرمحسن موسوی. چاپ اول. تهران: دانشگاه هنر (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۸۳).
- حامی، احمد (۱۳۸۴). **مصالح ساختمانی**. چاپ: شانزدهم، تهران: دانشگاه تهران.
- داداش‌زاده، نسرین (۱۳۸۸). **ساخت ملات پایه‌آهکی مناسب جهت استفاده در بدنه‌ها و کف قبور موزه عصر آهن تبریز**. پایان‌نامه کارشناسی، رشته مرمت آثار تاریخی، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی.
- رازانی، مهدی؛ امامی، سیدمحمدامین؛ باغبانان، علی‌رضا و خوزه دلگادو، رودریگویز (۱۳۹۷). بهینه‌سازی شده ملاط‌های سنتی پایه آهکی برای جایگزینی در راستای حفاظت از معماری صخره کند روستای تاریخی کندوان. معماری مسکن و محیط روستا. بهار (۳۷) ۱۶۱، ۱۳۸-۱۲۵.
- رازانی، مهدی (۱۳۹۶). "مکانیسم تخریب توف‌های آتش‌فشانی معماری صخره کند روستای تاریخی کندوان به‌منظور ارائه راهکارهای حفاظتی در سطوح بیرونی خانه‌های سنگی". رساله دکتری، مرمت آثار فرهنگی و تاریخی. اصفهان: دانشگاه هنر.
- رازانی، مهدی و داداش‌زاده، نسرین (۱۳۹۹). ارزیابی ملاط‌های پایه‌آهکی در حفاظت از بقایای معماری حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی. **مطالعات باستان‌شناسی**. ۱۲ (۳) ۹۱-۶۵.

- رضوانی، زینب؛ عرب‌حسینی، اکبر و چگینی، غلامرضا (۱۳۹۱). تعیین ترکیبات شیمیایی و خواص حرارتی سوخت جامد تهیه‌شده از کاه برنج. هفتمین کنگره ملی مهندسی ماشینهای کشاورزی و مکانیزاسیون. شیراز. <https://civilica.com/doc/180911>
- رضوانی، ع.؛ غفاریان، د. و توکلی‌زاده، م. (۱۳۹۱). "بررسی مقاومت فشاری و برخی دیگر از ویژگی‌های ملات شفته‌آهکی". دریافت شده از: <https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1005009.pdf>
- زندکریمی، هادی؛ باقرزاده کثیری، مسعود؛ آجورلو، بهرام و عمرانی، بهروز (۱۳۹۴). آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار استرانسیوم و عناصر کمیاب Sr و Ba اسکلت‌های گورستان عصر آهن مسجد کبود تبریز. *مطالعات باستان‌شناسی*، ۷ (۲): ۱۰۲-۸۵.
- علیزاده، سیامک (۱۳۹۸). *مقدمه‌ای بر تکنیک‌های ویژه حفاظت و مرمت بناهای تاریخی (با نگاهی به تجربیات کشورهای اروپایی)*. تهران: سمیرا.
- فیلدن، برنارد.م. و یوکیلتو، یوکا (۱۳۸۶). *راهنمای مدیریت در محوطه‌های میراث جهانی*. ترجمه: پیروز حناچی. تهران: دانشگاه تهران (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۹۸).
- نوایی، سیده‌مریم (۱۳۹۶). بررسی رطوبت در بناهای تاریخی، مطالعه‌موردی: گنبد سلطانیه زنجان. کنفرانس ملی تحقیق و توسعه در مهندسی عمران، معماری و شهرسازی نوین.
- مجیدی، فریبا (۱۳۸۳). "مدیریت حفظ و مرمت در کاوش‌های باستان‌شناسی با نگرشی ویژه به محوطه باستانی مسجد کبود تبریز". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد. حفاظت و مرمت آثار تاریخی. اصفهان: دانشگاه هنر.
- _____ (۱۳۹۶). "گزارش کار مرمت و حفاظت ۴ گور از سایت موزه عصر آهن تبریز". تبریز: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی [موجود در مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی].
- _____ (۱۳۹۷). "گزارش کار مرمت و حفاظت ۶۱ گور از سایت موزه عصر آهن تبریز". تبریز: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی [موجود در مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی].
- نادرمیرزا قاجار (۱۳۶۰). *تاریخ و جغرافیای دارالسلطنه تبریز*. چاپ سوم، تبریز: آیدین.
- نگهبان، عزت‌الله (۱۳۷۶). *مروری بر پنجاه‌سال باستان‌شناسی در ایران*. تهران: سازمان میراث فرهنگی.
- هژبری نوبری، علیرضا (۱۳۷۹). *گزارش مقدماتی دومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود*. تبریز: تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور و مرکز تحقیقات باستان‌شناسی با همکاری دانشگاه تربیت مدرس.
- _____ (۱۳۸۱). "گزارش مقدماتی سومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود". تبریز، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور و مرکز تحقیقات باستان‌شناسی با همکاری دانشگاه تربیت مدرس.
- _____ (۱۳۸۳). *جایگاه کاوش‌های مسجد کبود تبریز در عصر آهن ایران و مقایسه آن با سایر محوطه‌های هم‌عصر*. مجموعه مقالات همایش بین‌المللی باستان‌شناسی ایران، حوزه شمال غرب. به کوشش: مسعود آذرنوش تهران: پژوهشکده باستان‌شناسی سازمان میراث فرهنگی و گردشگری، ۲۷۵-۲۶۵.
- _____ و پورفرج، اکبر (۱۳۸۴). *پیشنهادهای درباره روش کاوش در قبرستان‌ها براساس کاوش‌های قبرستان عصر آهن مسجد کبود تبریز و شهریری*. *پیام باستان‌شناس*. ۲ (۴): ۸۴-۶۶.
- یونسکو (۱۳۸۳). *توصیه‌نامه اصول بین‌المللی قابل اجرا در حفاری‌های باستان‌شناسی*. *دانش مرمت و میراث فرهنگی*. ۱ (۱): ۶۱-۵۴.
- Almeida, N. G., Faria, P., & Pinto, A. P. (2008). **Lime mortars with rice husk ash for ancient masonry**. In HMC08-Historical Mortars Conference (p. CD). LNEC
- Bisht, A.S.(2010). *Conservation of textile, bone and Ivory*, Delhi : Agam Kala Prakashan
- Brzyski, Przemysław. "The effect of pozzolan addition on the physical and mechanical properties of lime mortar." In *E3S Web of Conferences*, vol. 49, p. 00009. EDP Sciences, 2018..
- Campbell, A. G. (1990). Recycling and disposing of wood ash. *Tappi Journal*, 73(9),p.p 141-146.



- Cheah Chee Ban and Mahyuddin Ramli, "The implementation of wood waste ash as a partial cement replacement material in the production of structural grade concrete and mortar: An overview", *Resources conservation and recycling* 55, 669-685, 2011.
- Ellam, Diane. (1987) *Wet Bone: The Potential for Freeze-Drying. Archaeological Bone, Antler and Ivory* (Occasional Papers No. 5, K. Starling and D. Watkinson, eds., London: United Kingdom Institute for Conservation): 34-35.
- Franklin, J. A., & Chandra, R. (1972). The slake-durability test. In *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics*, Vol. 9, No. 3, pp. 325-328.
- Gibbons, P. (1997). Pozzolans for lime mortars. *The Building conservation directory*, (1), 25-26.
- Kasiri, M. B., Ajourloo, B., & Razani, M. (2019). Chemical relative dating of skeletons of the Iron Age cemetery of Tabriz on the basis of fluorine, uranium, and nitrogen content. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 24, 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.01.02>
- Lezzerini, M., Raneri, S., Pagnotta, S., Columbu, S., & Gallello, G. (2018). Archaeometric study of mortars from the Pisa's Cathedral Square (Italy). *Measurement*, 126, 322-331.
- Manifold, B. M. (2012). Intrinsic and extrinsic factors involved in the preservation of non-adult skeletal remains in archaeology and forensic science. *Bulletin of the International association for paleodontology*, 6(2), 51-69.
- Millard, A. (2001). The deterioration of bone. In *Handbook of archaeological sciences by Brothwell, D. R., & Pollard, A. M. (Eds.)*. (2001). London: J. Wiley., 637-47.
- Naik TR, "Tests of wood ash as a potential source for construction materials". Report No. CBU1999-09, UWM Center for By-Products Utilization, Department of Civil Engineering and Mechanics, University of Wisconsin-Milwaukee, Milwaukee, pp. 61, 1999.
- NCASI, National Council for Air and Stream Improvement, Inc., "Alternative management of pulp and paper industry solid wastes", Technical Bulletin No. 655, NCASI, New York, NY, pp. 44, 1993.
- Oudbashi, Omid, Atefeh Shekofteh & Hamid Fadaei (2022): An Exploration of a 2500-Year-Old Monument: A Reappraisal of the Achaemenian Decorative Flooring Plasters in Persepolis World Heritage Site (ca. 550-330 BCE), *Studies in Conservation*, DOI: 10.1080/00393630.2022.2062562
- Pate, F. Donald. "Bone Collagen Preservation at the Roonka Flat Aboriginal Burial Ground: A Natural Laboratory." *Journal of Field Archaeology* Vol. 25 No. 2, 1998, pp. 203-217. [ECU-733]
- Price, T. D., Burton, J. H. & Bentley, R.A. 2002. The characterization of biologically available strontium isotope ratios for the study of prehistoric migration. *Archaeometry*. 44 (1), 117-135.
- Shen, W., Zhou, M., & Zhao, Q. (2007). Study on lime-fly ash-phosphogypsum binder. *Construction and Building Materials*, 21(7), 1480-1485.
- Sigvardsen, N. M., Geiker, M. R., & Ottosen, L. M. (2021). Reaction mechanisms of wood ash for use as a partial cement replacement. *Construction and Building Materials*, 286, 122889.
- Venkatasubramanian, C., Muthu, D., Aswini, G., Nandhini, G., & Muhilini, K. (2017, July). Experimental studies on effect of cow dung ash (pozzolanic binder) and coconut fiber on strength properties of concrete. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 80, No. 1, p. 012012). IOP Publishing.

- Gamble, J.C., 1971. *Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks*. University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hudson Ltd; 5th ed.
- Renfrew, C., Bahn, P. 2008. *Archaeology: Theories, Methods and Practice*. Thames and
- Sease, C. (1994). *A conservation manual for the field archaeologist* (Vol. 4). archaeological research tools, institute of archaeology, university of California.
- Torraca, G. (2009). Lectures on materials science for architectural conservation. Los Angeles, CA: The Getty Conservation Institute.
- Thomas, B. (2019). Historic Rural African American Cemetery Preservation in Southeast Louisiana. Rutgers The State University of New Jersey, School of Graduate Studies.
- Torraca, G. (2009). Lectures on materials science for architectural conservation.
- Veiga, M. R., Aguiar, J., Silva, A. S., & Carvalho, F. (2001, November). Methodologies for characterisation and repair of mortars of ancient buildings. In *Proceedings of the 3rd International Seminar Historical Constructions* (pp. 353-362). Guimarães, Portugal: University of Minho.



Received: 2022/01/26

Accepted: 2022/07/16



Utilization of Optimized Mortars by Wastes Materials in the Stabilization of the Body and Floor of the Graves of the Iron Age Museum in Tabriz

Mehdi Razani^{1*} Nasrin Dadashzadeh^{**} Fariba Majidi^{***}

Abstract

Lime-based mortars have been highly acceptable and preferred for conservation and restoration since a long time ago for their acceptable features towards moisture. Meanwhile, there is an ascending moisture problem in the majority of the archaeological sites having been converted into museum with the conservation of the remnants resulting from excavations (such as bone remnants and buried objects). Accordingly, it seems that use of compatible mortars is one of the best methods for reducing the moisture's damage, considering the urgent need for the stabilization of the graves' collapsing bodies and isolation of their floors. The present study concentrates on the graves and skeleton remnants in Tabriz Iron Age Museum Site and aims at stabilizing the graves' bodies as well as reburial of the historical skeletons and preventing them from exposure to ascending moisture through the use of lime-based mortars optimized by natural pozzolans, rice husk ashes, manure and wood. The results obtained from the physical tests (densitometry, porosimetry, water absorption analysis and capillarity) and strength tests (accelerated aging experiments including wetting and drying cycles, freezing and defrosting and salt cycle and endurance) on various mortar rates indicated that the combinations made of pozzolans and manure ash feature better physical endurance properties as evidenced in the strength tests. According to the above findings, the mortar reinforced with the manure ash was selected for the conservation and restoration of the body and floor of the graves in Tabriz Iron Age Museum Site. The results of such measures were found promising after the passage of two years.

2

Keywords: Lime-based mortar, Conservation, Natural Pozzolan, Iron Age Museum of Tabriz, Historical Skeletons

* Associate Professor, Faculty of Cultural Materials Conservation, Department of Conservation, Tabriz Islamic Art University, IRAN. m.razani@tabriziau.ac.ir

** M.A. in the field of Archaeometry, Faculty of Cultural Materials Conservation, Department of Conservation, Tabriz Islamic Art University, IRAN.

*** M.A. in the field of conservation and restoration of cultural property, lecturer in the Department of Conservation, Tabriz Islamic Art University, IRAN.