نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۱/۰۶
پذیرش مقاله: ۱۴۰۱/۰۴/۲۵
صفحات: ۴۲-۲۱
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 به‌دلیل 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 مدفون‌شده) در محل، تبدیل به سایت‌موزه شده‌اند، وجود دارد. لذا به‌نظر می‌رسد یکی از بهترین روش‌ها برای کاهش صدمات رطوبت، باتوجه‌به نیاز ضروری به تثبیت بدنه‌های درحال 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 به‌صورت خاکستر) کرده است. نتایج حاصل از آزمون‌های فیزیکی (چگالی‌سنجی، تخلخل‌سنجی، میزان جذب آب، موئینگی) و آزمون‌های استقامتی (آزمون‌های پیرسازی تسریعی شامل: چرخه‌های تر و خشک شدن، انجماد و یخ‌گشایی و چرخهٔ 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؛ باتوجه‌به نتایج بیان‌شده، 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، موزهٔ عصر آهن تبریز، اسکلت‌های تاریخی.

* دانشیار، عضو هیئت‌علمی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز (نویسنده مسئول). m.razani@tabriziau.ac.ir
** کارشناس‌ارشد 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 اندود 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 ساخت‌وساز، 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) . ازطرفی، حفاظت و نگهداری از آثار به‌دست‌آمده در محوطه‌های باستان‌شناسی شامل: گورها و محتوای آن‌ها، بقایای معماری و پی‌ها بعد از کاوش ازجملهٔ اصول اخلاقی و حرفه‌ای باستان‌شناسی علمی است. نکتهٔ مهم در این زمینه، ماهیت بقایا و مواد حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی است که ازلحاظ 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 دورهٔ تاریخی به خاک سپرده شده‌اند. بی‌توجهی به گورهای تاریخی، منجر به از دست دادن اطلاعات مهمی در این سایت‌ها می‌شود (Thomas, B. 2019). ازاین‌رو، 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 دی‌اکسیدکربنِ هوا ترکیب شده و طی فرایندی به‌نام 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. درارتباط 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 شمال‌غرب کشور، محوطهٔ 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 رطوبت صعودی 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 رطوبت صعودی 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 ازلحاظ مبانیِ مداخلات در بقایای باستان‌شناسی و همچنین مبانیِ 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 برمبنای اقلیم شهر تبریز که موزه عصر آهن در آن قرار دارد، شد. پس از دستیابی به فرمولاسیون بهینه، با درنظرگرفتن 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 بروزکرده در محوطهٔ 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 ازلحاظ آزمایشگاهی بررسی کرد و توسعه داد تا در شرایط مرطوب موزه بتواند از بروز آسیب رطوبت صعودی جلوگیری کند؟

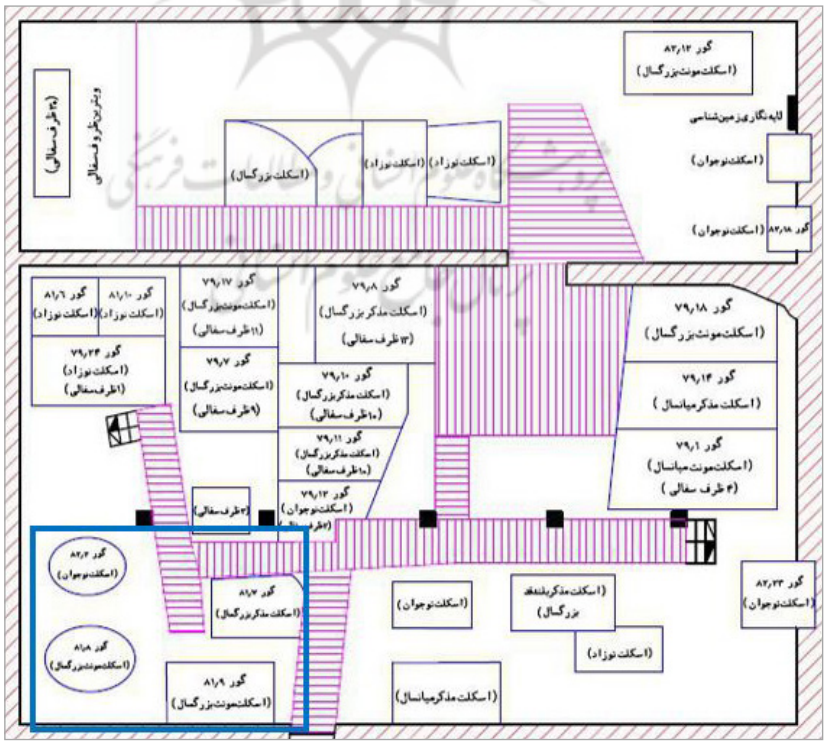
روش پژوهش

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. درادامه، براساس نتایج به‌دست‌آمده 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 مرحلهٔ دوم عملیات میدانی، از ملاط مذکور در ۴ گور تاریخی براساس فرمولاسیون به‌دست‌آمده 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 امام‌خمینی شهر تبریز و شمال‌شرق بنای مسجد کبود واقع شده است (تصویر۱). کاوش‌های علمی- باستان‌شناسی محوطه از سال ۱۳۷۸ به سرپرستی نصرت‌الله معتمدی آغاز شد و طی سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۲ به سرپرستی علیرضا هژبری نوبری ادامه یافت (هژبری نوبری، ۱۳۸۳: ۲۶۶). در این محوطه، پس از اتمام لایه‌های اسلامی یک وقفه لایه‌های فرهنگی به عمق یک‌متر وجود دارد. پس از برداشت این لایهٔ طبیعیِ متشکل از ماسه و سنگ‌های رودخانهای آثار چندین لایه استقراری موقت با قطعه سفال‌های خاکستری، نخودی و قرمزرنگ به‌چشم می‌خورد. گورستان عصر آهن مستقیماً زیر این لایه‌ها قرار دارد (تصویر۲)؛ درمجموع، ۱۰۸ گور از آن به‌دست آمده است که بیشتر از نوع چاله‌ای ساده هستند (هژبری نوبری، ۱۳۸۱: ۵). به‌دست آمدن تعداد زیادی قبر در لایه‌های گوناگون نشانگر استفاده طولانی از این محوطه است. نیز، باتوجه به اشیای کشف‌شده 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 محدودهٔ 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 درنظر گرفتن نمونه‌های کربن ۱۴ محوطه‌هایی همچون حسنلو و دینخواه‌تپه و همچنین با مقایسه و گاه‌نگاری نسبیِ داده‌های مسجد کبود و مقایسه آن با سایر محوطه‌های هم‌زمان آن، این محوطه را می‌توان بین ۸۰۰-۱۲۰۰ ق.م.



تصویر۱. نقشهٔ محوطه موزه عصر آهن تبریز و قبوری که در کادر آبی‌رنگ براساس راهکار پیشنهادی این تحقیق، اقدامات حفاظت و مرمت روی آن‌ها انجام شده است (آرشیو موزهٔ عصرآهن 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 موزه ای باز و حفظ آثار در جای خودشان، پیشنهاد گردید (مجیدی، ۱۳۸۳). سایت‌موزه عصر آهن تبریز سی‌ام اردیبهشت سال ۱۳۸۶ در محل این محوطه باستانی، افتتاح شد (بزاز دستفروش، ۱۷۹:۱۳۹۴)، (تصویر ۲).

ب. پیشینه مطالعاتی بهسازی ملاط‌های آهک پوزولانی

قدیمی‌ترین استفاده از آهک در فناوری ساختمان، تاآنجاکه ما درحال 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 ۵۵۰تا ۵۳۰ ق.م. نسبت داد؛ که در اندود کف‌سازی تزئینی تخت‌جمشید 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 ازطریق 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 گِرد، 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)

می‌دهد. واکنش گیرش 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 انجام‌شده دررابطه با بهینه‌سازی ملاط‌های آهک پوزولانی، می‌توان به مطالعات رازانی و دیگران (۱۳۹۷) درراستای بهینه‌سازی ملاط‌های سنتی پایه‌آهکی برای جایگزینی سیمان اشاره نمود که درزمینهٔ 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 ساخته‌شده با استفاده از پوزولان خاکستر چوب از میان ۳۶ رده ملاط نمونه‌سازی‌شده بیشترین کارایی و ثمربخشی و مقاومت را در مقابل چرخه‌های پیرسازی داشته است. به‌علاوه، نتایج آخرین مطالعات صورت‌گرفته در این رابطه، کارایی ملاط‌های پایه‌آهکی را با استفاده از پوزولان خاکستر فضولات حیوانی برای به‌کارگیری 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 پوستهٔ برنج، مواد پوزولانی بسیار مؤثری هستند که به‌دلیل محتوای سیلیس بالا نسبت به سایر مواد افزودنی معدنی، برتری دارند. مطالعات نشان می‌دهند، افزودن پودر خاکستر پوستهٔ 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 ازنظر موادمعدنی پتانسیل قابل‌توجهی داشته و می‌تواند به‌عنوان یک پوزولان مناسب در استحکام‌بخشی و تقویت خصوصیات فیزیکی ملاط‌ها مورداستفاده قرار گیرد(Naik.,1999) . خواص فیزیکی و شیمیایی خاکستر چوب تحت تأثیر عوامل مختلفی چون: گونه درخت، منطقهٔ رشد و شرایط اقلیمیدرختان، 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).

ج. مبانی و نحوهٔ حفاظت از اسکلت‌های باستانی

استخوان، مادهای است که ازلحاظ فیزیولوژیکی بافت فعالی دارد و با تغییرات محیط اطرافش دچار تغییر می‌شود و مدام درحال 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 غذای کهن،_ زیست‌شناسی اسکلت قرابت‌زیستی،- رفتار فرهنگی و اجتماعی درقبال مردگان،- تافانومی،- انواع خاک‌سپاری(اولیه، ثانویه و چندگانه)، (پاول و دیگران، ۱۹۷۷).

نیز، استخوان از موادی است که مکرر در یافته‌های باستان‌شناسی به‌دست می‌آید. آنچه بیش از پیش، اهمیت مطالعه استخوان را آشکار کرد، انقلاب رادیوکربن بود که نقطه آغاز تغییر و تحولات بزرگی در باستان‌شناسی بود. توسعهٔ علوم و روش‌های آنالیز مواد در نیمهٔ 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 به‌طوری‌که مطالعه استخوان خود به‌تنهایی شاخهٔ وسیعی از باستان‌شناسی یعنی استخوان باستان‌شناسی را به خود اختصاص داده است. در مطالعه استخوان باستان‌شناسی، به‌طورکلی، ویژگی‌های ژنتیکی و خصوصیات نژادی، تغذیه و اقتصاد زیستی، آب‌وهوای سکونت‌گاه‌ها، مهاجرت و جابجایی و بیماری و ... در گروه‌های انسانی باستانی موردتوجه قرار می‌گیرند (Renfrew and Bahn, .2008). ازطرفی می‌دانیم حفاظت و مرمت ابنیه تاریخی و بقایای برجا در محوطه‌های تاریخی بعد از کاوش‌های علمی، از چالش‌های قابل‌توجه مطالعات باستان‌شناسی بوده است (استانلی پرایس، ۱۳۷۷/۱۹۸۳؛ استابز، ۱۳۷۷/۱۹۸۳)؛ به‌نحوی‌که، ضرورت پرداختن به موضوع حفاظت از بقایای باستان‌شناسی طی قرن اخیر از بخش‌های مهم گنجانده‌شده در برنامه‌ریزی کلان آموزشی و رویکردهای باستان‌شناسی و دانش‌های مرتبط با مرمت و میراث فرهنگی بوده است و اهمیت این امر به‌تناوب 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

درنهایت، منشور مدیریت میراث باستان‌شناختی ایکوموس در سال ۱۹۹۰ در لوزان (فیلدن و یوکیلتو، 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 جابجایی اسکلت‌ها از محوطه به موزه و انبارش آن‌ها، ۴. حفاظت و مرمت در محوطهٔ کاوش و ایجاد موزه‌های درجا، ۵. انتقال به مراکز آموزشی و تحقیقاتی با اهداف آموزشی و پژوهشی.

در زمینهٔ 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. نظربه‌اینکه، 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، ازاین‌رو، 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 درخصوص 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 موزهٔ عصر آهن با روش آنالیز ایزوتوپ‌های پایدار، مطالعاتی را "زندکریمی و دیگران"، ۱۳۹۴، انجام و منتشر کرده‌اند. آخرین مطالعهٔ صورت‌گرفته در این زمینه را "کثیری و دیگران" دررابطه با سن‌یابی نسبی استخوان‌های موزه عصر آهن تبریز بر پایه محتوای فلوئور- 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[1] 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 درنتیجه، 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، دراثر مجاورت با آب، به‌خصوص طی مدفون بودن، تجزیه شده و درنتیجه، استحکام خود را ازدست می‌دهد و به یک جسم اسفنجی تبدیل می‌گردد و مواد معدنی آن به‌سهولت با خاک‌های اسیدی تجزیه می‌شود (آزادی، ۴۷۵:۱۳۷۵). برخی عوامل محیطی باعث می‌گردد یک مجموعهٔ 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 (درصورتی‌که خاک اسیدی نباشد)، ۳. میزان آهکی بودن خاک یا جایی که امکان تراوش مواد آهکی وجود دارد؛ که در چنین شرایطی پدیدهٔ 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 عصرآهن طی فصول سال به‌دست‌آمده، 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

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 این‌گونه مواقع، اگر میعان مشاهده شود، در هوای سرد خطر تشکیل یخ و ایجاد آسیب‌های فیزیکی روی آثار تاریخی وجود دارد (علیزاده، ۱۹۰:۱۳۸۹). 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، ۵۲: ۱۳۹۴). ازدیاد رطوبت می‌تواند موجب حل شدن نمک‌های موجود در خاک شده و به‌واسطه 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 سایت‌موزه عصر آهن تبریز نشان داد که شوره‌ها عمدتاً ترکیبات یون‌های کلریدی، نیتراتی و فسفاتی هستند (داداش‌زاده، ۱۳۹۵).

باتوجه‌به 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 اندیشده 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 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 محوطهٔ تاریخی عصر آهن قنات امام جمعه است که به رود آجی‌چای می‌ریزد (میرزا، ۵۲:۱۳۷۲). آثار رطوبت در دیواره ضلع غربی محوطه موزه در تمام فصول سال مشهود است. به‌دنبال پیدا کردن منبع اصلی این رطوبت، قسمت پشتی دیواره که هنوز خاک‌برداری نشده بازدید شد و آثاری از یک لوله‌آب پیدا شد که امتداد آن تا نزدیکی دیوارهٔ ضلع غربی یعنی درست قسمتی که همیشه مرطوب بود، ادامه داشت و اطراف این لوله تا شعاع چندمتری آن خیس بود. به‌احتمال زیاد، این لوله به آب شهری وصل است و به‌طور کامل از انشعابات لوله فاضلاب مادرقطع نگردیده است. عدم سیرکولاسیون مناسب رطوبت و هوا در بناهای تاریخی نیز یکی از عوامل افزایش رطوبت در محیط می‌تواند باشد. سقف ایجادشده در محوطهٔ تاریخی عصر آهن یکی از نامناسب‌ترین روش‌ها برای پوشاندن چنین محوطه‌هایی است. در فصل‌های بارانی میزان رطوبت در این سوله بسیار افزایش می‌یابد، به‌نحوی‌که حتی برای افراد نیز نفس کشیدن را مشکل می‌سازد. سقف کوتاه محوطهٔ موزه نیز امکان تهویه مناسب و گردش جریان هوا را به‌راحتی امکان‌پذیر نمی‌نماید. سقف‌های مناسب به‌منظور حفاظت از محوطه‌های تاریخی به‌صورت پوشش حفاظتی است که گردش جریان هوا به‌راحتی میسر می‌کند. باوجود عوامل آسیب‌رسان در این سایت‌موزه 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 به‌عمل آورد (تصویر ۳).

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 سایت‌موزه 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 به‌عمل آمد. به‌نحوی‌که براساس مطالعات صورت‌گرفته (حامی، ۱۳۸۴) و همچنین فرمول‌های سنتی (Trocca, 2009) مبنی بر ثابت نگه‌داشتن میزان آهک به‌میزان 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 درنهایتِ ظرافت قرار می‌دهد. لذا عمل نفوذپذیری ملاط‌های آهکی با مصرف خاکسترهای سیلیسی بسیار کاهش می‌یابد (Shen, 2007). در این مطالعه، بجز آهک[۲] آذرشهر و ماسهٔ[۳] شبستر به‌عنوان اجزای اصلی ملاط از سه نوع پوزولان: خاکسترهای چوب درخت عرعر،[۴] خاکستر پوسته برنج[۵] و خاکستر فضولات حیوانی[۶] (گاو) منطقه به‌عنوان پوزولان ارزان و به‌صرفه در ترکیب ملاط استفاده شد. بهترین و درعین‌حال، 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 $^{\circ}$c و در مدت زمان حدود دو ساعت صورت گیرد. براساس آزمایش‌ها و تحقیقات انجام‌شده، مشخص شده است که اگر دمای سوختن زیر ۵۰۰ $^{\circ}$c یا بالای ۶۵۰ $^{\circ}$c باشد، باعث به‌وجود آمدن سیلیس‌های بی‌شکل و غیربلوری می‌شود. ازطرفی 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 $^{\circ}$c برسد. زمان سوختن نیز ۴ ساعت درنظر گرفته شد. چون‌که 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 سرند شدند (خاکسترها قبل از استفاده از سرند/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 به‌راحتی 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 (رمضانی، 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 شکفتگی ذرات آن بیشتر شود. باتوجه‌به کمبود زمان، آهک یک‌هفته پس از آبدیده شدن مورداستفاده 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 دانه های ریز شکفته شوند. هنگام استفاده نیز آب آهک که روی سطح ظرف جمع می‌شد، از خمیر جدا شده و شیرهٔ آهک برای ساخت ملاط‌ها مورداستفاده قرار می‌گرفت. ماسهٔ استفاده‌شده از نوع ماسه‌های شسته شبستر است که قبل از استفاده، الک گردید تا در همه نمونه‌ها دانه‌بندی یکسانی داشته باشد.

درمجموع، شش طرح اختلاط ملاط طراحی گردید که جزئیات میزان اختلاط‌های طراحی‌شده در جدول ۱، ارائه شده است. کلیه ترکیبات نمونه‌ها قبل از این‌که 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 ۵×۵×۲ 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

آنالیز پراش‌سنجی 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 مادۀ تشکیل‌شده در ملاط منتخب، در این بخش آورده شده است.

الف. خواص فیزیکی ترکیبات ملاط

براساس دستورالعمل استاندارد انجام هر آزمون، کلیه نمونه‌ها برای شناسایی خواص فیزیکی تا رسیدن به نمونۀ مرغوب موردآزمایش قرار گرفت که نتایج درادامه آمده است. برای شناخت خواص فیزیکی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، سه عدد آزمایش شد. نتایج نشان می‌دهد که درمقایسه 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_3، S_2 و

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

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

(نگارندگان)

جدول ۲. آنالیزهای ریزساختار شناسی اهداف و مراجع استانداردها

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

(نگارندگان)

همچنین نمونه‌های S_6 و S_1 ازنظر 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 ، ازنظر موئینگی بسیار شبیه هم هستند. نمونه S_3 نیز در مقایسه با سایر نمونه‌ها، جذب آب متوسطی داشته است (جدول۳، تصویر۴).

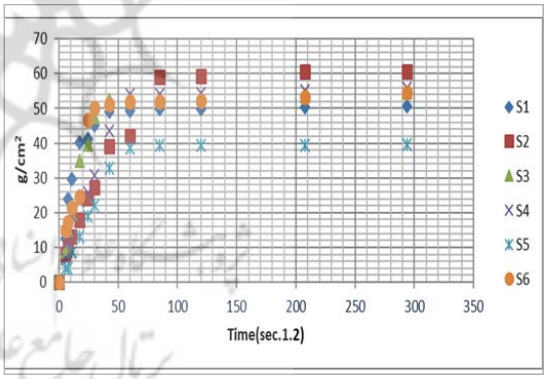
ب. نتایج خواص استقامتی

نتایج آزمون‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های تر و خشک شدن

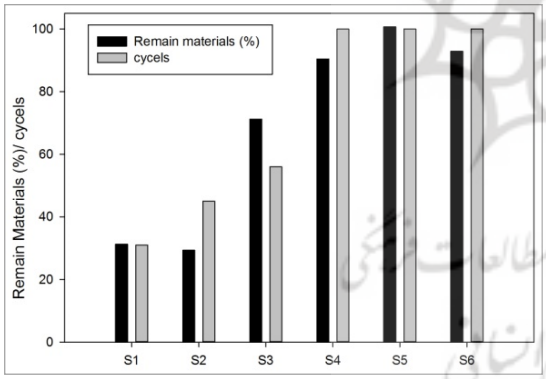
برای شناخت خواص استقامتی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، ۳ عدد موردآزمایش قرار گرفت. مقایسهٔ نتایج چرخه تروخشک شدن نمونه‌ها (تصویر ۵)، نشان می‌دهد در این آزمون، نمونه اول با ترکیب (۳۰ ٪ آهک+ ۳۵ ٪ ماسه + ۳۵ ٪ خاکستر چوب)، کم‌دوام‌ترین ملاط بود که براثر خشک شدن‌های متوالی و انبساط حجم نامتوازن، آب خود را ازدست داده و به‌صورت ترد و شکننده درآمد و پودر گردید و پس از ۳۱ چرخه، ازبین 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_5با 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 ازخود نشان می‌داد؛ به‌نظر 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 موردآزمایش قرار گرفت. درادامه، نتایج چرخه‌های آزمون پیرسازی تسریعی ذوب و انجماد نشان داد که به‌ترتیب نمونه S_1 در ابتدای چرخه، به‌شدت کاهش وزن داشته و به‌حالت پودری درآمده؛ و پس از رسیدن به یک وزن ثابت کاهش وزنی مشاهده نگردید و دوام نسبتاً خوبی درمقابل یخبندان نشان داد. نمونه S_2، بین همهٔ نمونه‌ها مقاوم‌ترین ملاط بود



تصویر ۴.نمودارآزمون مویینگی (نگارندگان)



تصویر ۵. نمودار نتایج آزمون پیرسازی تروخشک شدن (نگارندگان)

جدول ۳. مشخصات فیزیکی شاخص نمونه‌های ملاط

نمونه	چگالی(gr/cm^3)	تخلخل (٪)	جذب آب (W_{ab})	جذب موئینه($g/m2/s$)
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)

و دوام قابل‌قبولی درمقابل یخبندان نشان داد. نمونه‌های S_3 ،S_4 ،S_5، خصوصیاتی مشابه به هم داشته و از دوام متوسطی برخوردار بودند و پس از ۳ چرخه، ازبین 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 (تصویر۶).

نتایج آزمون‌های پیرسازی تسریعی چرخه‌های حملهٔ نمک

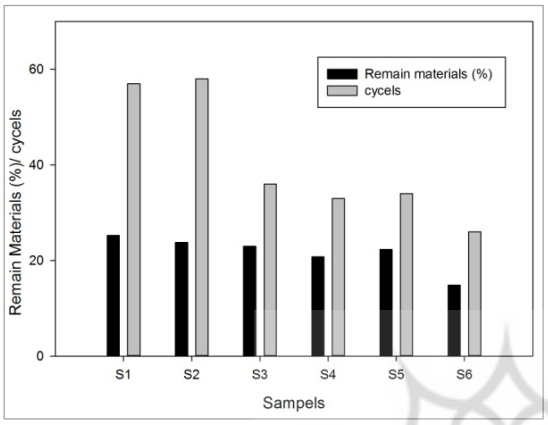
برای شناخت خواص استقامتی ملاط‌ها از هر ترکیب نمونه، ۳ عدد موردآزمایش قرار گرفت. نتایج مقاومت نمونه‌ها درمقابل تنش‌های ناشی از تبلور نمک، نشان می‌دهد که به‌ترتیب، نمونه S_1 دوام متوسطی داشته و براثر تنش‌های وارده ترد و شکننده شده و کاهش وزن محسوسی داشته و ۴۰ چرخه را طی نمود، نمونه S_2 دوام خوبی داشته و تا ۴۷ چرخه بدون کاهش وزن محسوس، باکیفیت‌ترین نمونه انتخاب شد، ملاط S_3 دوام قابل‌قبولی 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. نمونهٔ S_5 دوام و کیفیت قابل‌قبولی نداشته و پس از طی یک بازهٔ زمانی کوتاه از چرخه خارج گردید. بدترین و بی‌کیفیت‌ترین ملاط این چرخه که مقاومت پائینی دربرابر تبلور نمک ازخود نشان داد، نمونه S_6 بود که در ۱۰ چرخه متلاشی شده و از چرخه خارج گشت (تصویر۷).

نتایج آزمون دوام‌داری

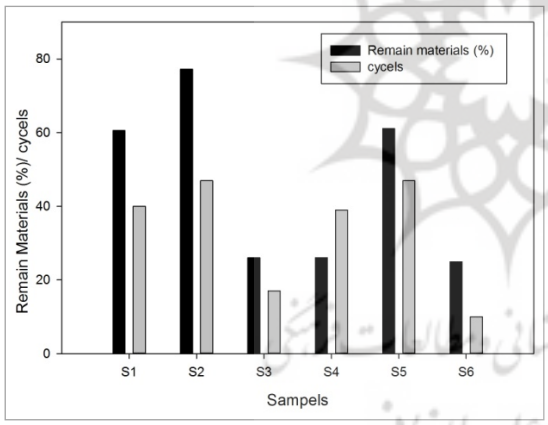
آزمون دوام‌داری در کلیه رده‌های ملاط (از هرکدام ۳ نمونه) موردارزیابی قرار گرفت. شاخص دوام وارفتگی، مقادیر بالای کاهش وزن را در چرخه‌های این آزمایش در کلیه نمونه‌ها نشان می‌دهد و حاکی از آن است که نمونه‌های S_4،S_5،S_1،S_6 ازلحاظ مقاومت درمقابل چرخه‌های دوام‌داری بسیار ضعیف بوده و طی ۲ چرخه به‌کلی ازبین رفته‌اند. درعوض، 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. باتوجه‌به نتایج بیان‌شده می‌توان گفت نمونه S_2 ازلحاظ مقاومت درمقابل این چرخه‌ها بهترین عملکرد را داشته است (تصویر۸) و نتایج آن در مقام مقایسه با سنگ در رابطه با این آزمون می‌تواند در ردهٔ مقاوم و متوسط درنظر گرفته شود.

جمع‌بندی و گزینش نمونه منتخب

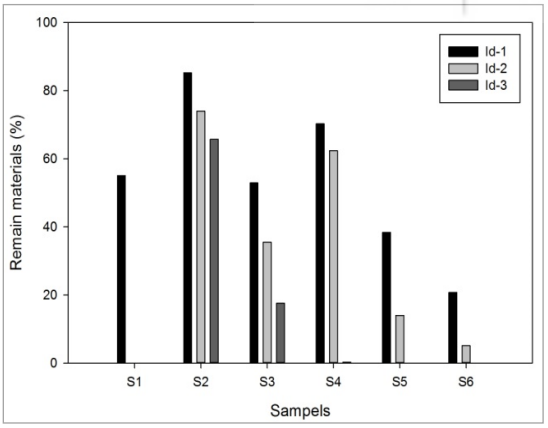
براساس نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش‌های مذکور می‌توان گفت رده ترکیبی S_2 با ترکیب (۳۰ ٪ خمیر آهک + ۳۵ ٪ ماسه + ۳۵ ٪ خاکستر فضولات حیوانی)، ملاطی مقاوم‌تر از میان نمونه‌های موردآزمایش است. زیرا در آزمون‌های فیزیکی همانند چگالی و جذب موئینگی و جذب آب، خواص مناسبی برای ملاط ارائه داده می‌شود؛ و همچنین در پیرسازی تسریعی‌تر و خشک شدن، یخ برشدن و حمله نمک‌ها، مقاومت قابل‌قبولی داشته است، به‌علاوه، در آزمون دوام‌داری ملاط بیشترین



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



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



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

مقاومت را از خود نشان داده است. ازاین‌رو در مرحلهٔ بعد، به ساختارشناسی این ترکیب به‌عنوان ملاط منتخب پرداخته شده است.

نتایج ساختارشناسی

نتایج فازشناسی ملاط منتخب با پراش پرتوایکس (XRD)

در ملاط‌های آهک پوزولانی برخلاف سیمان، هیدرات‌های کلوئیدی کلسیم سیلیکات‌ها می‌توانند از آهک و سیلیس در درجه حرارت عادی تشکیل شوند. مشروط به این‌که سیلیس مورداستفاده به‌طور طبیعی در حالت فعال (دارای میل ترکیبی) باشد. در این ملاط، پوزولان حاویِ سیلیس زیاد و فعال بوده و قادر به ترکیب با آهک هیدراته و قابل سخت شدن است. ازاین‌رو، 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 بهینه‌سازی‌شده و در شرایط آزمایشگاهی قابل‌مشاهده 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 تائید نشده است (Torraca, 2009: p.56).

$$Ca(OH)_2 \quad H_2O + \underset{\text{glass}}{SiO_2.Al_2O_3} \longrightarrow \begin{matrix}\text{Hydrated calcium silicates} \\ \text{Hydrated calcium aluminates}\end{matrix}$$

آهک شکفته	آب	پوزولان	هیدرو اکسید کلسیم سیلیکات هیدرو اکسید کلسیم آلومینات

واکنش آهک پوزولان

آن‌چنان‌که در نمونهٔ منتخب این تحقیق نیز چنین فازی مشاهده نشد و فازهای تشکیل‌شده شامل اکسیدسیلیسیم در قالب دو فاز اصلی کوارتز و کریستوبالیت، کربنات کلسیم در فاز اصلی کلسیت و پرتلندیت بود؛ فازهای ژیپس و آلبیت که از فازهای معمول در ملاط‌های پایه‌آهکی هستند، شناسایی شد (جدول ۴).

ازآنجاکه واکنش خودگیری و سخت شدن در این ملاط وابسته به دی‌اکسیدکربن هوا نیست؛ گیرش این ملاط می‌تواند حتی با حضور هوا، مثلاً زیرآب یا شرایط شدیداً مرطوب همچنان که در کف قبور موزه عصر آهن تبریز وجود دارد، نیز انجام شود.

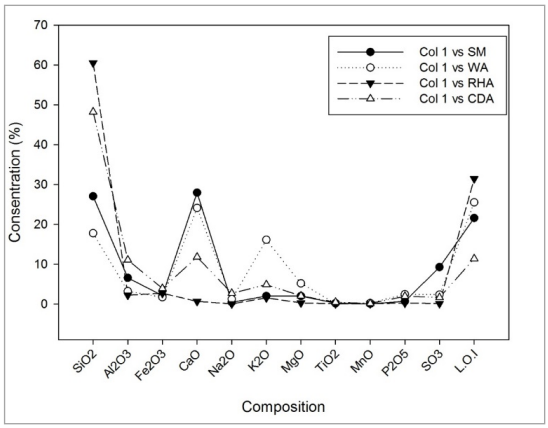
ترکیب شیمیایی ملاط منتخب با فلورسانس پرتوی ایکس (XRF)

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 تعریف‌شده 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 قابل‌قبول و رضایت‌بخش است. همچنین میزان (L.O.I) در این خاکستر به استانداردهای پوزولان‌ها نزدیک است و ازاین‌نظر، این خاکستر یک پوزولان استاندارد محسوب می‌گردد (جدول ۵ و تصویر ۹).

یافته‌ها و بحث

استخوان به‌واسطه تخلخل و ترکیبات شیمیایی‌اش مستعد تخریب و فرسودگی است. به‌طورکلی 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). دراین‌میان، 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 هنگامی‌که بدون درنظر 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 قابل‌کنترل نیستند، بسیار چالش‌برانگیز خواهد بود.

از اشتباهاتی که درزمینه این‌چنین محوطه‌هایی رخ می‌دهد، کاوش نیمه‌تمام قبوری است که دارای بقایای اسکلتی



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)

هستند. به‌نحوی‌که 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 باقی‌مانده و بدین‌نحو، اطلاعات زیادی تا زمانی نامعلوم از گوری کاوش‌شده نادیده گرفته می‌شود.
۲. به‌سادگی نمی‌توان از نیمه‌اسکلت بیرون‌آمده اطلاعات دقیقی درباره جنسیت، علل فوت احتمالی و بیماری‌های باستانی مرتبط با ساختار اسکلتی استخراج نمود.
۳. بیشتر مواقع، این‌گونه اسکلت‌های نیمه‌کاوش‌شده به‌سرعت دچار آسیب می‌شوند. این امر می‌تواند به‌علت تعادل نداشتن فعالیت باکتری‌های خاک در بخش مدفون‌شده اسکلت، تغییرات رطوبت و برودت و نمک‌ها در این

جدول ۴. آنالیز پراش پرتوایکس برای نمونه ملاط منتخب براساس فازهای شناسایی‌شده اصلی و فرعی

Major Phase(s)	Chemical formula	ref
Calcite	$CaCO_3$	(05-0586)
Quartz	SiO_2	(33-1161)
Gypsum	$CaSO_4 \cdot 2H_2O$	(33-0311)
Albite	$NaAlSi_3O_8$	(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_2O_3	11.03	2.21	3.19	6.56
Fe_2O_3	3.89	2.69	1.69	2.11
CaO	11.78	0.66	24.11	27.96
Na_2O	2.69	0.02	1.22	0.42
K_2O	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_2O_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 مدفون‌مانده استخوان‌ها می‌گردد چراکه در بیشتر مواقع، بخش بیرون‌زده را نیز تا حد زیادی اشباع و استحکام‌بخشی می‌نمایند.

ازاین‌رو، پیشنهاد جدی هنگام برخورد با اسکلت‌های مدفون درخاک، 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 بدنهٔ گور قبل از بازگرداندن استخوان‌ها، درنظر 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 درصورت نیاز بازسازی؛
- بهینه‌سازی کف قبور با ایزوله نمودن و به‌حداقل 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 این‌گونه 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 (هماهنگی ازلحاظ انقباض و انبساط)؛ ۲. قابلیت برگشت‌پذیری و تجدیدپذیری (خنثی بودن ازلحاظ ایجاد تخریب‌های بعدی همانند ایجاد نمک مخرب و رشد آفات بیولوژیک)؛ ۳. قابلیت استفاده در پوشش‌دهی و اندودکاری سطوح و دیوارچینی به‌صورت ملاط حفاظتیِ 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 (ازنظر 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 (چگالی‌سنجی، تخلخل‌سنجی، 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 دربرابر چرخه‌های پیرسازیِ انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک دارد. همچنین میزان موئینگی این نمونه درمقایسه 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، درمقابل چرخه‌های پیرسازی و سایر آزمایش‌ها مقاومت بهتری دارند. ازاین‌رو، در مرحلهٔ اجرایی اقدام به استفاده از آن در کف ۴ گور عصر آهن گردید؛ که درادامه، مراحل این اقدام آمده است.

نتیجه عملی این تحقیق آزمایشگاهی دررابطه با ملاط‌های بهینه‌شده در قالب مراحل اجراییِ اقدامات حفاظتی در موزه عصر آهن تبریز که کنار مسجد کَبود تبریز قرار دارد، شامل مواردی که در تصویر ۱۰، آورده شده است. موزه عصر آهن دربردارندهٔ مجموعه‌ای با ۳۰ گور است که درراستای این تحقیق، گورهایی با شماره‌های ۸۱/۷ و ۸۱/۸ و ۸۱/۹ و ۸۲/۲ برای حفاظت و مرمت درراستای عملیات تثبیت کف و بدنه گورها انتخاب شدند و عملیات اجرایی روی آن‌ها انجام شد (تصویر ۱۰).

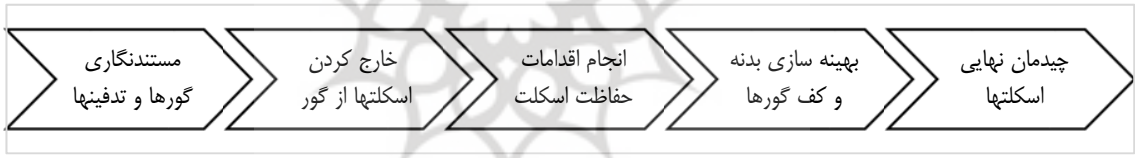
به‌منظور مرمت و بهینه‌سازی بدنه و کف ۴ گور از مجموعه قبور عصر آهن تبریز، نخست اقدام به مستندسازی دقیق وضعیت قرارگیری اسکلت‌ها همراه با جزئیات کامل از بقایای برجای‌مانده از ردّ ظروف بر خاک و جهت‌گیری بدن متوفی اختصاص یافت. در این مرحله لازم بود اسکلت‌ها از بستر گور جداسازی شوند و برای حفاظت و مرمت، به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

در مجاور محوطه انتقال یابند؛ ازاین‌رو، با دقت بسیار زیاد استخوان‌ها تک‌تک 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، جمع‌آوری شد سپس، خاک مذکور سرند شد و در دو مرحلهٔ شناورسازی خاک (فلوتاسیون)، با هدف شستشو، نمک‌زدایی و همچنین یافتن اشیا و بقایای استخوانی ریز صورت گرفت. درادامه، خاک برای چندهفته جلوی آفتاب قرار گرفت تا به‌صورت کامل خشک شود و بتوان درادامه آن را به کف گور بازگرداند. لازم به ذکر است، نمونه خاک اصیل گور نیز نمونه‌برداری گردید تا برای مطالعات آینده با هدف مطالعهٔ خاکِ بستر گورها موردتحقیق و بررسی قرار گیرد.

در مرحله بعدی، کف و بدنه گورها با اسپری آب مرطوب شد تا برای تثبیت و جلوگیری از ریزش بدنه‌ها با استفاده از شیرهٔ آهک، اقدام گردد. پس از اعمال شیرهٔ آهک به‌مدت ۳ روز، زمان داده شد تا آهک کاملاً خود را بگیرد. در این زمان هرروز روی سطح آب اسپری می‌گردید تا واکنش لازم صورت گیرد. سپس، ترکیب ملاط برای کف قبور آماده گردید. جهت تهیهٔ 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 ساخته‌شده در کف قبور به ضخامت ۲ سانتی‌متر ریخته شد. با توجه به اینکه عمل‌آوری کامل این ملاط نیاز به آب و رطوبت دارد، به مدت ۲۷ روز روی آن پلاستیک کشیده شد و هرروزه روی ملاط آب اسپری می‌گردید تا واکنش کامل شود پس از تثبیت کامل دیواره‌ها، برای موزون‌سازی رنگی، از گل آب استفاده گردید (تصویر ۱۲).

پس از گذشت ۲۷روز از اتمام مراحل عمل‌آوری و گیرش ملاط، به‌منظور تبادل هوا و جلوگیری از نفوذ رطوبت ازطریق ملاط به اسکلت‌ها، کف قبور با آجرهای نسوز با دمای پخت ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد به ارتفاع ۵ سانتی‌متر عایق‌بندی شد و در خاک پالایش و خاک‌شویی‌شده که به‌صورت کامل خشک شده بود، به ضخامت ۱ cm روی کف‌سازی موزائیکی داخل گورها بازگردانده شد (تصویر ۱۳). درادامه اسکلت‌های مرمت‌شده برمبنای تصاویر اولیه زمان کاوش و مستندسازهای انجام‌شده، به داخل گورها منتقل‌شده و بازچیدمان آن‌ها صورت گرفت.



تصویر ۱۰. خلاصه عملیات اجرایی انجام‌شده دررابطه با گورهای محوطه عصر آهن تبریز (نگارندگان)

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

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

شکل ۱۳، الف و ب. کف‌سازی با آجرنسوز به ارتفاع ۷ سامتی‌متر 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)

نتیجه‌گیری

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. دراین‌راستا، 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 کاوش‌شده به‌معرض نمایش درآمده‌اند، با افزایش درصد رطوبت و نوسانات برودتی و حرارتی روبه‌رو هستیم؛ آن‌چنان‌که در بخش پیشینهٔ 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 ازقبیل ریزش بدنه‌ها و رطوبت صعودی است، راهکار استفاده از ملاط مقاوم و بهینه‌شده موردمطالعه قرار گرفت؛ که درنهایت ملاطی با درصد اختلاط (۳۰ ٪ خمیر آهک + ۳۵ ٪ ماسه + ۳۵ ٪ خاکستر فضولات حیوانی) توانست مقاومت خوبی دربرابر چرخه‌های پیرسازی انجماد و یخ‌گشایی و چرخه نمک ازخود 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 ۲سال، 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" باعنوان "ساخت ملاط پایه‌آهکی مناسب جهت ایزوله کردن بدنه‌ها و کف قبور گورستان تاریخی عصر آهن تبریز"، رشته مرمت آثار تاریخی است. بدین‌وسیله، 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 خیاوی و زهرا آقانژاد برای یاری‌رسانی در انجام این پروژه، سپاسگزاری می‌گردد.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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 دردسترس 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 الک‌شدهٔ آزمون، دانه‌بندی انجام گرفت. درهمین‌راستا، برای به‌دست آوردن شیرهٔ آهک مورداستفاده در ساخت ملاط‌ها به‌وسیله غوطه‌ورسازی در آب به مدت یک هفته، آماده شد و مورداستفاده قرار گرفت.

۳. ماسه استفاده‌شده در ساخت ملاط از نوع ماسهٔ شسته شبستر بوده و دانه‌های ریزودرشت داشت که بزرگ‌ترین دانه (> 5 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 ازنظر 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 تنهٔ 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 مورداستفاده در این پژوهش، حاصل سوختن زغال‌چوب در منقل و قلیان قهوه‌خانه‌های سنتی است. خاکسترها قبل از استفاده با الک معمولی سرند شدند تا مواد ناخالص و زغال‌های سیاه‌نسوخته از آن جدا گردد.

مقایسه ترکیبات شیمیایی اکسیدی خاکستر چوب آنالیز شیمیایی مبتنی‌بر سنجش با دستگاه XRF		
Oxide Composition	WA2 (Sigvardsen, etal :2021)	Current research
SiO_2	21.8	17.75
Al_2O_3	1.9	3.9
CaO	48.9	1.6
Na_2O	2.2	24.11
K_2O	1.8	1.22
MgO	3.8	16.11
Ti_2O	-	5.6
MnO	-	0.14
P_2O_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. ازجمله مهم‌ترین مواد ضایعات کشاورزی، پوسته‌برنج است. در هنگام عمل شالی‌کوبی، 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 صناعی 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 درنظر 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.

مقایسه ترکیبات شیمیایی اکسیدی خاکستر پوسته‌برنج آنالیز شیمیایی مبتنی‌بر سنجش با دستگاه XRF (برگرفته از برنجیان. ۹۳)				
Oxide Composition	Mehta	Buiatal	Ganesan et al	Current research
SiO_2	87.2	86.98	87.32	60.53
Al_2O_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_2O	1.12	0.11	1.02	0.02
K_2O	3.68	2.46	3.14	1.53
Fe_2O_3	0.16	0.73	0.28	0.26
SO_3	0.24	-	-	0.032
Ti2O	_	_	_	0.089
MnO	_	_	_	0.223
P2O5	_	_	_	0.1
LO I	8.55	5.14	2.11	31.46

۶. فضولات حیوانی حاصلِ باقی‌ماندهٔ 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 دامنهٔ دمایی ۴۰۰ -۵۰۰ C°، تبدیل به خاکستر شده و پس از سرد شدن آسیاب می‌شوند تا ذرات آن ریزتر گردند. درصد بالای اکسیدهای مهمی همانند اکسیدکلسیم (CaO)، اکسیدآلومینیم (Al2O3) و اکسیدآهن (Fe2O3) این را می‌رساند که افزودن این خاکستر در بتن باعث افزایش ترکیبات باارزشی چون تری‌کلسیم سیلیکات (Ca3Si)، تری‌کلسیم آلومینات(Ca3Al) و تتراکلسیم آلومینات فریت (Ca4.AlFe) 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 به‌گونه‌ای روی هم چیده شدند که بین آن‌ها فضای خالی باقی بماند تا حین سوختن هوا به‌راحتی جریان یابد و فضولات به‌طور 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 مآخذ

- آزادی، مهرناز (۱۳۷۷). عاج و استخوان: شناخت علمی و حفاظت. پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد مرمت و حفاظت آثار تاریخی: دانشگاه هنر اصفهان.
- استابز، جان (۱۳۷۷). **نگهداری و حفاظت بقایای به‌دست‌آمده معماری از حفریات کاوش‌های باستان‌شناختی**. ترجمه میرمحسن موسوی. تهران: دانشگاه هنر (تاریخ انتشار نسخه اصلی ۱۹۸۳).
- استانلی 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 تپه‌حصار اسکلت مادر، درحال زایش نوزاد هرگز به‌دنیانیامده. **مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی–فرهنگی**. به کوشش: رسول وطندوست تهران: دانشگاه هنر و پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی– فرهنگی، ۱۶۶-۱۴۵.
- باغبانان، علیرضا؛ رمضانی‌فر، 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**. به‌کوشش: هستر تامس‌ار، هری‌ج شیفر، کنتل فدر. ترجمه کمال‌الدین نیکنامی 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، آلوا 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 پایه‌آهکیِ 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). بهینه‌سازی‌شده ملاط‌های سنتی پایه آهکی برای جایگزینی درراستای حفاظت از معماری صخره کندِ روستای تاریخی کندوان. *معماری مسکن و محیط روستا*. بهار(۳۷) ۱۶۱، ۱۳۸-۱۲۵.
- رازانی، مهدی (۱۳۹۶). "*مکانیسم تخریبِ توف‌های آتش‌فشانی معماری صخره کندِ 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 معماریِ 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
- رمضانی، 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 کشیری، 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 گردشگردی استان آذربایجان شرقی [موجود در مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی].
- _____ (۱۳۹۷)."*گزارش کار مرمت و حفاظت ۶۱ گور از سایت موره عصر آهن تبریز*". تبریز: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگردی استان آذربایجان شرقی [موجود در مرکز اسناد سازمان میراث فرهنگی].
- نادرمیرزا قاجار (۱۳۶۰). **تاریخ و جغرافیایی 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 تربیت‌مدرس.
- _____ (۱۳۸۱)."*گزارش مقدماتی سومین فصل کاوش در محوطه باستانی مسجد کبود*". تبریز، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور و مرکز تحقیقات باستان‌شناسی با همکاری دانشگاه تربیت‌مدرس.
- _____ (۱۳۸۳). جایگاه کاوش‌های مسجد کبود تبریز در عصر آهن ایران و مقایسه آن با سایر محوطه‌های هم‌عصر. **مجموعه مقالات همایش بین‌المللی باستان‌شناسی ایران، حوزه شمال‌غرب**. به کوشش : مسعود آذرنوش تهران: پژوهشکده باستان‌شناسی سازمان میراث فرهنگی و گردشگری، ۲۷۵-۲۶۵.
- _____ و پورفرج، اکبر (۱۳۸۴). پیشنهاداتی 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). 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., Ajorloo, 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 strengthproperties 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.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

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, prorosimetry, 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.

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.