دریافت مقاله:۱۳۹۰/۱۰/۱۰
پذیرش مقاله:۱۳۹۱/۰۴/۱۹

مطالعه و استحکام‌بخشی سنگ آهک در سنگ‌نوشتهٔ خرم‌آباد لرستان

عاطفه شکفته* امیدعودباشی** ملیحه بکرانی*** مسعودسیاپوش**** بهنودسیاپوش*****

چکیده

استحکام‌بخشی آثار سنگی یکی از موارد در عملیات حفاظت و مرمت است که طی سال‌های گذشته بسیار مورد توجه متخصصان حفاظت و مرمت آثار تاریخی بوده است. یکی از روش‌های مورد استفاده در حفاظت و مرمت آثار سنگی ساخته شده از سنگ آهک، به‌کاربردن روش آهک است. بخشی از این روش، کاربرد آب آهک در استحکام‌بخشی سنگ است. این روش در طول سالیان گذشته در مناطق مختلف دنیا به‌ویژه انگلستان استفاده شده و نتایج مناسبی هم با کاربرد این ماده در استحکام‌بخشی سنگ در بعضی پژوهش‌ها به‌دست‌آمده‌است.

در مقاله پیش‌رو، نخست روش‌های مختلف استحکام‌بخشی سنگ معرفی و دسته‌بندی شده و پس از آن، روش آهک و مکانیزم استحکام‌بخشی سنگ آهک با استفاده از آب آهک معرفی‌گردیده‌است. هدف از انجام این پژوهش، ارزیابی کاربردی روش آهک جهت استحکام‌بخشی به آثار سنگی قرارگرفته در فضای باز است.

پرسش اصلی مقاله حاضر، ارزیابی کارآیی و قابلیت روش آهک در استحکام بخشی سنگ آهک تشکیل‌دهنده اثر سنگ‌نوشته خرم‌آباد است. نتایج مطالعه و آزمایش روی اثر سنگ نوشته خرم‌آباد متعلق به قرن ششم (ه.ق.) ارائه شده است. برای این مطالعه از روش‌های میدانی و آزمایشگاهی که شامل پتروگرافی، XRF، XRD و SEM-EDS است، استفاده شد. نتایج مطالعات نشان‌دهنده وقوع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی در ساختار سنگ آهک این اثر و از بین‌رفتن بخشی از کتیبه آن به‌سبب هوازدگی است. در پایان عملیات حفاظت و مرمت انجام‌شده روی اثر باتوجه‌به نتایج مطالعه‌های آزمایشگاهی و میدانی ارائه شده است. عملیات اصلی حفاظت روی اثر، استحکام‌بخشی سنگ با استفاده از روش آهک است. نتایج به‌دست‌آمده پس از پنج سال، بیانگر تأثیر مثبت روش یادشده در کنترل روند فرسایش در سنگ‌نوشته خرم‌آباد است.

کلیدواژگان: سنگ‌نوشته خرم‌آباد، سنگ آهک، هوازدگی، استحکام‌بخشی، روش آهک.

* دانشجوی دکتری، رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان.
** دانشجوی دکتری، رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان (نویسنده مسئول).
o.oudbashi@aui.ac.ir
*** کارشناس‌ارشد، رشته مرمت بناها و بافت‌های تاریخی.
**** دانشجوی کارشناسی‌ارشد، رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکز.
***** کارشناس‌ارشد، رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی.

مقدمه

فرسایش آثار سنگی و حفاظت از آنها، یکی از موضوعات مورد توجه و مهم در زمینه حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری است که طی دهه‌های گذشته مرمت‌گران، متخصصان و دانشمندان حـوزه‌های مختلف آن را بازبینی و مطالعه کـرده‌اند (Schaffer, 1932; Ashurst et al, 1988; Selwitz, 1992; Price, 1996; Ashurst et al, 1998; Delgado Rodrigues et al, 2008; Doehne et al, 2010).

گونه‌های مختلفی از فرسایش سنگ شناسایی و ثبت شده است که شامل تغییر رنگ، فرسایش ماده و تغییرات مشخصات و شرایط فیزیکی و شیمیایی در سطح آثار است (Etymezian et al, 1998: 187). عوامل گوناگونی مانند آلاینده‌های جوی، رشد عوامل بیولوژیک بر سطح سنگ، تغییرات دما، رطوبت، باد و ... بر آثار سنگی تأثیرگذاشته و سبب رخدادن فرسایش در آنها شده‌اند (Haneef et al, 1992: 105-106; Doehne et al, 2010: 9-26). این عوامل را به دو گونه درونی و بیرونی می‌توان تقسیم‌بندی کرد (Delgado Rodrigues, 2001: 4).

حفاظت از آثار سنگی همواره موردی پیچیده و حساس بوده‌است. متغیرهای مختلفی جهت شناخت مشکلات، تعیین عملیات حفاظتی مورد نظر و انتخاب روش‌ها و درمان‌های مورد نیاز باید مد نظر قرار گیرند (Ferreira Pinto et al, 2008a: 38). عملیاتی همچون پاک‌سازی، استحکام‌بخشی، بازسازی و پوشش‌دهی از مواردی هستند که بسته به شرایط و وضعیت آثار سنگی ممکن است روی اثر اعمال شوند. یکی از این موارد، استحکام‌بخشی است که در طول قرن گذشته بسیار به آن توجه‌شده است. افزون بر این، پژوهش‌های متعددی برای شناخت مواد مناسب جهت استحکام‌بخشی، تأثیر آنها روی سنگ و شرایط آنها در دراز مدت در محیط‌های مختلف انجام شده‌است.

یکی از مواد قابل کاربرد در استحکام‌بخشی سنگ، آب آهک (روش آهک) است که در بعضی نقاط جهان مانند انگلستان بسیار استفاده شده‌است. در این مقاله نخست، استحکام بخش‌های مورد استفاده در حفاظت و مرمت آثار سنگی بررسی‌شده و پس از آن، روش آهک در استحکام‌بخشی معرفی سنگ شده‌است. در نهایت، مطالعات فنی انجام‌شده روی اثر سنگ‌نوشته خرم‌آباد و عملیات استحکام‌بخشی آن ارزیابی‌شده‌است.

پرسش اساسی پژوهش حاضر این است که آیا روش آهک از نقطه‌نظر کاربرد و تأثیرگذاری، روشی مناسب برای استحکام‌بخشی آثار سنگی قرارگرفته در فضای باز است؟ بر همین اساس، مطالعه و استحکام‌بخشی روی اثر تاریخی سنگ‌نوشته خرم‌آباد صورت پذیرفته‌است.

استحکام‌بخشی سنگ

طی دهه‌های گذشته، مواد شیمیایی مختلفی برای تقویت و حفظ آثار سنگی هوازده در برابر اضمحلال و فرسایش‌های بعدی ازسوی مرمت‌گران و دانشمندان مرمت به‌وسیله یک فرایند شناخته‌شده به نام استحکام‌بخشی[1] استفاده‌شده‌است (Selwitz, 1992: 2). استحکام‌بخشی، یکی از مهم‌ترین و مورد توجه‌ترین عملیات مداخله‌ای مرمتی در سنگ‌های ساختمانی، مجسمه‌ها، اشیاء و تزئینات سنگی در آثار تاریخی و فرهنگی است (Theoulakis et al, 2008: 279). این عملیات، برای بهبودبخشی به چسبندگی سنگ هوازده صورت‌می‌پذیرد، زمانی‌که، الگوهای آسیب جدی در سنگ دیده‌شود یا چسبندگی در ساختار سنگ از بین‌رود (Ferreira Pinto et al, 2008a: 39; Delgado Rodrigues, 2001: 3). در مرحله ابتدایی، فرایند فرسایش، سطح خارجی سنگ را تحت تأثیر قرارداده و لایه‌ای را با ضخامت متغیر ایجاد می‌کند. خواص سنگ به‌تدریج از مغز سنگ سالم به لایه سطحی کاملاً آسیب‌دیده تغییر خواهدکرد. ویژگی اصلی این لایه فرسایش‌یافته، ازدست‌دادن ماده، افزایش ناهمواری و تخلخل است که به‌سبب انحلال سیمان طبیعی‌ای چسباننده ذرات تشکیل‌دهنده سنگ یا شکست اتصالات بین‌دانه‌ای است به دلیل فشارهای داخلی بوجود می‌آید (Theoulakis et al, 2008: 279; Clifton, 1984; Delgado Rodrigues, 2001: 4). به بیان دیگر، زمانی‌که ساختار سنگ به دلیل فرسایش ضعیف شود، ماده استحکام‌بخش[2] جهت مرمت و بازگرداندن استحکام به سطح بیرونی و جلوگیری از فرسایش، استفاده خواهدشد (Doehne et al, 2010: 35; Theoulakis et al, 2008: 279). فرایند استحکام‌بخشی، باید اجازه‌دهد تا رطوبت از بین بافت سنگ عبورکند و درعین‌حال، سنگ را هم دربرابر تأثیر رطوبت و عوامل شیمیایی حفظ‌کند (Selwitz, 1992: 3). بهترین حالت این است که سنگ به حالت اولیه خود پیش از آسیب بازگردد و از آسیب‌های بعدی در امان بماند. بااین‌همه، بازگرداندن استحکام تاحدی‌که بقای اثر را به حداکثر برساند نیز مورد تایید است. استحکام‌بخشی سنگ، آسان به‌نظرمی‌رسد و معمولاً به استفاده از یک ماده گفته‌می‌شود که در سنگ آسیب‌دیده نفوذکرده، ذرات آن را دوباره به‌هم بچسباند و بخش‌های سالم سنگ را نیز دربرابر آسیب‌های بعدی محافظت‌کند (Ginell et al, 2001). زمانی تصمیم‌گیری برای استفاده از استحکام‌بخش‌ها مورد توجه است که ازبین‌رفتن لایه سطحی سنگ، موجب ازدست‌دادن ارزش‌ها و جنبه‌های تاریخی و هنری اثر شده یا فرسایش ماده، سبب درمعرض خطر قرارگرفتن پایداری ساختاری

کلی اثر شود (Delgado Rodrigues, 2001: 4).

استحکام‌بخش‌ها، به‌سبب برگشت‌ناپذیری و تأثیرات نامطلوبی که ممکن است بر آثار سنگی واردکنند، موادی بسیار حساس و مخاطره‌آمیز هستند(Ferreira Pinto et al, 2008: 39) . ازین‌رو، مطالعات گوناگونی درباره نوع استحکام‌بخش‌ها و شیوه استفاده از آنها در حفاظت و مرمت آثار سنگی انجام شده‌است(e.g.: Kotlik et al, 1983; Price et al, 1988; Schnabel, 1992; Kumar et al, 1997; Lanterna et al, 2000; Wheeler, 2005).

یک ترکیب استحکام‌بخش مناسب برای حفاظت آثار سنگی باید از شرایط و معیارهای زیر برخوردار باشد (Weber, 1985: 16; Theoulakis et al, 2008: 282-285):

- مادهٔ چسباننده مقاوم در برابر هوازدگی تولید کند (ترجیحاً معدنی).
- به‌خوبی در عمق بافت سنگ نفوذ کند؛ دست‌کم از لایه هوازده و تغییر شکل یافته سنگ تا زیرلایه سالم.
- بدون ایجاد لایه قابل تشخیص، در مقطع عرضی سنگ یک لایه استحکام‌بخش صاف در بافت ایجادکند.
- سبب ایجاد محصولات ثانویه همچون نمک‌های محلول مخرب در بافت سنگ نشود.
- هیچ‌گونه تغییر رنگی در سطح سنگ ایجاد نکند.
- سبب دگرگونی شرایط فیزیکی اصلی سنگ همچون: نفوذ بخار آب، انبساط حرارتی و از این دست نشود.
- قابلیت جذب آب و دیگر مواد فرساینده را کاهش دهد.

انواع استحکام‌بخش‌ها

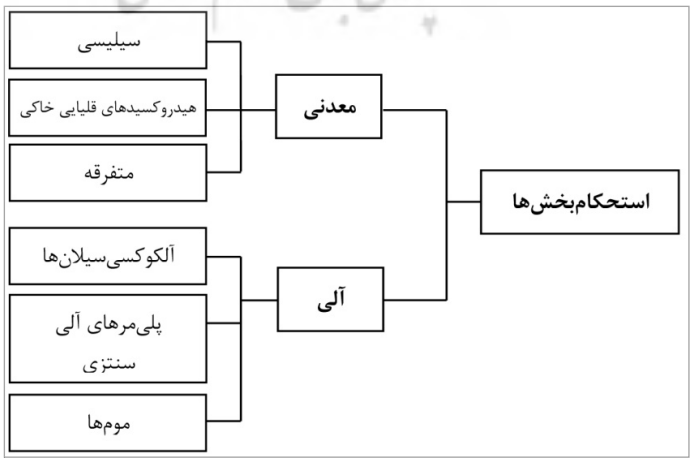
در برخی منابع، استحکام‌بخش‌های قابل استفاده در آثار سنگی را به چهار گروه استحکام‌بخش‌های معدنی، آلکوکسی‌سیلان‌ها[۳] ، پلی‌مرهای آلی سنتزی[۴] و موم‌ها[۵] تقسیم‌بندی کرده‌اند (Öztürk, 1992: 3-19). بااین‌حال، براساس منابع مختلف و تقسیم‌بندی‌های انجام‌شده، استحکام‌بخش‌های مورد کاربرد در مرمت آثار سنگی را از نقطه‌نظر شیمیایی می‌توان به دو دسته اصلی؛ استحکام‌بخش‌های معدنی[۶] و آلی[۷] تقسیم‌کرد (Delgado Rodrigues, 2001: 5; Filder, 2004: 33; Ferreira Pinto et al, 2008a: 39; Doehne et al, 2010: 36).

استحکام بخش‌های معدنی دو گروه اصلی استحکام‌بخش‌های سیلیسی، هیدروکسیدهای قلیایی خاکی و استحکام بخش‌های معدنی متفرقه و استحکام‌بخش‌های آلی سه گروه اصلی آلکوکسی‌سیلان‌ها، پلی‌مرهای آلی سنتزی و موم‌ها هستند (نمودار ۱).

الف. استحکام‌بخش‌های معدنی

استفاده از مواد معدنی‌ای همچون شیشه محلول[۸]، آب آهک، هیدروکسید باریم و موادی ازاین‌دست، از قرن نوزدهم میلادی برای استحکام‌بخشی سنگ انجام شده است (Öztürk, 1992: 3; Weber, 1985: 16). برخلاف زمان به‌نسبت طولانی مطالعه و استفاده از مواد معدنی در استحکام‌بخشی آثار سنگی، میزان نتایج مثبت در استفاده از این مواد جالب توجه نبوده است. بااین‌همه، استفاده از بعضی مواد معدنی برای استحکام‌بخشی سبب کاهش فرسایش در برخی از انواع سنگ‌ها شده‌است. به‌ویژه اینکه، نتایج مثبت در استفاده از موادی مانند هیدروکسید باریم[۹] و هیدروکسید کلسیم[۱۰] موجب توجه بسیار به این دسته از مواد در سال‌های اخیر شده‌است (Doehne et al, 2010).

نمودار ۱. گروه‌بندی استحکام‌بخش‌های مورد استفاده در مرمت آثار سنگی.



(نگارندگان)

استفاده از استحکام‌بخش‌های معدنی جهت تولید یک فاز مقاوم دربرابر فرسایش از محلول آبی در خلل و فرج سنگ هوازده است (Öztürk, 1992: 3). ته‌نشست ماده به‌دست‌آمده در حفره‌های سنگ می‌تواند به‌دلیل تبخیر حلال یا واکنش شیمیایی با سنگ ایجادشود که موجب چسبیدن ذرات سنگ به یکدیگر می‌شود. فرض بر این است که ماده چسباننده‌ای که از استحکام‌بخش به‌دست‌می‌آید، باید مشابه با سیمان اصلی چسباننده سنگ باشد.

استحکام‌بخش‌های سیلیسی برای استحکام‌بخشی سنگ آهک و ماسه سنگ استفاده شده‌اند. کاربرد این استحکام‌بخش‌ها، براساس تشکیل اکسید سیلیسیوم(سیلیس[۱۱]) یا سیلیکات‌های نامحلول در حفره‌های سنگ و ایجاد لایه‌ای محافظ در دانه‌ها و چسباندن آنها به هم‌دیگر است. استحکام‌بخش‌های سیلیسی شامل ترکیبات آلکالی سیلیکات[۱۲] و فلوروسیلیکون[۱۳] (Ibid: 4) و هیدروکسیدهای قلیایی خاکی شامل هیدروکسید باریم (باریتا) و هیدروکسید کلسیم (آب آهک) هستند (Delgado Rodrigues, 2001; Theoulakis et al, 2008: 281; Drdácký et al, 2008: 299). به‌دلیل اینکه استحکام‌بخش‌های متفرقه معدنی، دارای ترکیبات مختلفی مانند اکزالات‌های کلسیم[۱۴]، باریم[۱۵] و آمونیوم[۱۶] و آلومینات‌های باریم[۱۷] هستند، نمی‌توان آنها را در دو گروه دیگر جای‌داد (Doehne et al, 2010: 38; Bracci et al, 2008: 81-82).

استفاده از استحکام‌بخش‌های معدنی در مقیاس نانو نیز، یکی از روش‌های جدید مورد استفاده در استحکام‌بخشی آثار سنگی است. برای نمونه، نانوذرات هیدروکسید کلسیم در الکل به‌عنوان ماده استحکام‌بخشی در سنگ‌های آهکی به‌کاررفته است (Doehne et al, 2010: 37). بااین‌حال، به‌سبب جدیدبودن این روش، میزان تأثیر آن در دراز مدت هنوز به اثبات نرسیده است.

به کاربرد مینرالیزاسیون تحریک‌شده باکتریایی[۱۸] هم، به‌تازگی و طی دهه گذشته برای استحکام‌بخشی و حفاظت آثار و تزئینات سنگی توجه شده است. این روش، برای ایجاد ته‌نشست کربنات کلسیم در بافت سنگ‌های آهکی آسیب‌دیده با استفاده از انواعی از باکتری‌ها، صورت‌پذیرفته است. درحقیقت، کربنات کلسیم از طریق فعالیت‌های زیستی این موجودات تولیدشده و به‌دلیل ریزبودن ذرات آن، قابلیت نفوذ در بافت آسیب‌دیده سنگ را دارد(Jimenez-Lopez et al, 2007: 1929-1930). البته، روش‌های دیگری همچون استفاده از مواد آلی طبیعی و سنتزی مانند پروتئین (پلی‌پپتیدها) برای کنترل تبلور ذرات ماده معدنی استحکام‌بخش در بافت سنگ نیز پیشنهاد شده است. نتایج، بیانگر تأثیر به‌کارگیری پروتئین در کنار میکرو یا نانو ذرات هیدروکسید کلسیم در نفوذ و تبلور کربنات کلسیم در بافت آسیب‌دیده سنگ است (Tiano et al, 2006).

ب. استحکام‌بخش‌های آلی

یکی از گروه‌های عمده مواد قابل کاربرد در استحکام‌بخشی آثار سنگی، مواد آلی هستند. مواد آلی گوناگونی در مرمت آثار سنگی استفاده شده‌اند. بااین‌همه، استحکام‌بخش‌های آلی شامل سه دسته اصلی آلکوکسی‌سیلان‌ها، پلی‌مرها و موم‌ها هستند. آلکوکسی‌سیلان‌ها و آلکیل آلکوکسی‌سیلان‌ها، یا به اختصار سیلان‌ها، بی‌شک پراستفاده‌ترین مواد استحکام‌بخش در آثار سنگی بوده و در دهه‌های اخیر توجه به‌نسبت گسترده‌ای به استفاده از آنها در استحکام بخشی آثار سنگی شده‌است (Doehne et al, 2010: 39-40; Ferreira Pinto et al, 2008b: 131; Oliver, 2002: 39; Brus et al, 1996;).

کاربرد این گروه مواد در استحکام‌بخشی سنگ به نیمه دوم قرن ۱۹ میلادی بازمی‌گردد (Wheeler, 2008: 41; Öztürk, 1992: 10). موادی مانند متیل‌تری‌متوکسی‌سیلان[۱۹] (MTMOS)، تتراتوکسی‌سیلان[۲۰] (TEOS) یا اتیل سیلیکات[۲۱] و متیل‌تری‌اتوکسی‌سیلان[۲۲] (MTEOS) از استحکام‌بخش‌های آلکوکسی‌سیلان استفاده‌شده در حفاظت سنگ هستند (Wheeler, 2008: 43; Ferreira Pinto et al, 2008b: 131-132; Öztürk, 1992: 31-33). استحکام بخش‌های پلی‌مری سنتزی را می‌توان گروه بزرگی از مواد قابل کاربرد در حفاظت و مرمت دانست. این دسته از مواد، در عملیات گوناگون مرمت مانند پوشش‌دهی، بازسازی و استحکام‌بخشی استفاده می‌شوند. رزین‌های اپوکسی و اکریلیک، ازجمله پلی‌مرهای سنتزی استفاده‌شده در استحکام‌بخشی آثار سنگی هستند (Öztürk, 1992: 12-17; Doehne et al, 2010: 41-42). رزین‌های اپوکسی، طی دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه بوده‌اند و کاربرد آنها نتایج مثبت و منفی‌ای را دربرداشته‌است (Selwitz, 1992; Selwitz, 1995; Doehne et al, 2010; Gauri, 1974). این نتایج به حلال مورد استفاده، روش کاربرد و شرایط پس از اعمال آنها بر آثار سنگی بستگی‌دارد (Ferreira Pinto et al, 2008a; Koltik et al, 1983: 75).

کاربرد رزین‌های اکریلیک در استحکام‌بخشی سنگ نیز، در طول سال‌های گذشته چشمگیر بوده‌است. مونومرهای متیل متاکریلات[۲۳] و بوتیل متاکریلات[۲۴]، رزین‌های اکریلیکی هستند که در استحکام‌بخشی از آنها استفاده شده‌است. پلیمریزاسیون این مواد نیز با استفاده از روش‌های مختلفی مانند حرارت‌دهی با یک آغازکننده، اشعه ماورای بنفش، اشعه

گاما و ... صورت‌گرفته است (Öztürk, 1992: 13-14). البته، مشکلاتی مانند ترک‌خوردن سنگ هنگام پلی‌مریزاسیون را می‌توان به عنوان معضلات استفاده از این مواد به‌شمار آورد. استفاده از مخلوطی از دو یا چند مونومر اکریلیک به‌شکل کوپلی‌مر هم یکی دیگر از روش‌های به‌کارگیری اکریلیک‌ها در استحکام‌بخشی است (Öztürk, 1992: 14-15; Tabasso, 1995: 17). پارالوید B72 (آکرولویید B72)[۲۵] که کوپلی‌مر متیل‌متاکریلات و اتیل‌متاکریلات است، بیشتر به‌عنوان یک استحکام‌بخش سطحی در آثار سنگی استفاده‌شده‌اند (Öztürk, 1992: 15; Doehne et al, 2010: 42). درکنار آنها، کوپلی‌مرهای اکریلیک-سیلان، اکریلیک-سیلیکون و اکریلیک-فلوئوروکربن نیز مواردی از کاربرد این‌گونه مواد در استحکام‌بخشی آثار سنگی هستند (Charola et al, 1986; Öztürk, 1992: 16; Doehne et al, 2010: 42).

موم‌ها، به‌ویژه موم‌های طبیعی مانند موم زنبور عسل و موم پارافین، یکی دیگر از گروه‌های مواد آلی در استحکام بخشی آثار سنگی هستند. این مواد، دربرابر نفوذ آب به بافت‌سنگ مؤثر بوده و ازسوی دیگر، مقاومت را در سنگ‌های متخلخل بالامی‌برند. موم میکروکریستالی، که نوع جدید و مشابهی از موم پارافین است نیز، دارای همین خواص است با این تفاوت که دارای بلورهای ریزتری از موم پارافین است. استفاده از موم‌ها به‌شکل مواد پوشش‌دهنده‌ای همچون موم کازمولوید 80H[۲۶] نیز، یکی دیگر از مواد کاربرد این مواد به‌ویژه در سنگ‌های غیرمتخلخل و منسجم است. از موم‌ها هم به‌شکل محلول و هم مذاب استفاده‌می‌شود (Öztürk, 1992: 18-19; Amoroso et al, 1983: 31).

روش آهک

بسیار ذکرشده که ترکیب درمان سطحی در سنگ باید به ترکیب خود سنگ نزدیک باشد. امروزه نیز، توجه زیادی به استفاده از روش‌های استحکام‌بخشی همخوان با ساختار و ماهیت سنگ شده‌است. بااین‌حال، رسیدن به چنین ترکیبی در انواع سنگ‌ها با ترکیبات متفاوت بسیار سخت به‌نظرمی‌رسد.

یکی از این روش‌های مرمت سنگ، استفاده از محصولات به‌دست‌آمده از آهک در سنگ‌های آهکی است که در مراحل مختلفی از حفاظت و مرمت سنگ مانند استحکام‌بخشی و پرکردن بخش‌های کمبود، استفاده‌می‌شوند. درکل، روش آهک را می‌توان به سه بخش کلی؛ استحکام‌بخشی سطحی سنگ آهک با آب آهک، ثابت‌کردن قطعه‌های جداشده و پرکردن درزها و کمبودهای کوچک با ملات آهک[۲۷] و پوشش‌دهی به سطح سنگ با دوغاب آهک[۲۸] تقسیم‌بندی کرد (Honeyborne, 1998: 166). به مجموع این روش‌ها در مرمت آثار سنگی، روش آهک[۲۹] گفته می‌شود (Ashurst, 1998: 172; Doehne et al, 2010: 37).

استحکام‌بخشی با آب آهک

یکی از تکنیک‌های مورد استفاده در حفاظت آثار سنگی ساخته‌شده از سنگ آهک، استحکام‌بخشی با استفاده از آب آهک است. آب آهک، محلول بسیار رقیق هیدروکسید کلسیم ($Ca(OH)_2$) است. پس از اعمال آب آهک روی سنگ (سنگ آهک)، این ماده دی‌اکسید کربن را از هوا جذب‌کرده و به کربنات کلسیم تبدیل‌می‌شود که ماده اصلی ترکیب سنگ‌های آهکی است. ایده اصلی استفاده از روش یادشده این است که کربنات کلسیم تولیدشده از آب آهک، در نواحی ضعیف‌شده و بین حفره‌های سنگ هوازده متبلورشده و سبب تقویت ساختار سنگ می‌شود. به‌سبب حلال‌بودن کم هیدروکسید کلسیم، نیاز به اعمال آب آهک به‌شکل مکرر روی سطح سنگ هست تا حفره‌ها و بخش‌های آسیب‌دیده سنگ تحت نفوذ هیدروکسید کلسیم حل‌شده در آب قرار گیرند (Honeyborne, 1998: 157; Hansen et al, 2003: 14).

آب آهک درحقیقت، آهک (CaO) خواباندەشده در آب است که به $Ca(OH)_2$ تبدیل می‌شود. هر لیتر از این محلول، حاوی ۱/۷-۱/۴ گرم ماده جامد است. دی‌اکسیدکربن موجود در هوا، براساس واکنش زیر با هیدروکسید کلسیم ترکیب‌شده و کربنات کلسیم تولید می‌کند (Honeyborne, 1998: 166; Hansen et al, 2003: 14; Ashurst, 1998: 172):

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \longrightarrow CaCO_3 + H_2O$$

بنابر آنچه گفته‌شد، هر ۱/۷ گرم هیدروکسید کلسیم، ۲/۳ گرم کربنات کلسیم تولید خواهد کرد. معمولاً، سنگ آهک حدود ۲۰% تخلخل دارد که بیانگر این است که هر ۵ لیتر حجم سنگ، حدود یک لیتر فضای حاوی هوا دارد. بنابراین، به‌ازای هر پنج لیتر سنگ، یک لیتر محلول نیاز است. چگالی جامد نرمال سنگ آهک ۲۷۲۰ kg/m^3 است ازین‌رو، ۲/۳ گرم کربنات کلسیم رسوب‌یافته از محلول آب آهک پس از تبخیر کامل، تنها ۰/۰۲ درصد از وزن سنگ آهک جامد است. این بیانگر این است که تعداد بسیار زیاد اعمال آب آهک برای استحکام‌بخشی به سنگ نیاز است که تاحدی غیرعملی به‌نظرمی‌رسد (Honeyborne, 1998: 166). لیکن، باید درنظر داشت که هدف استحکام‌بخشی

تنها پرکردن فضای خالی موجود در بافت سنگ نیست بلکه، پرکردن بخش‌های سطحی آسیب‌دیده مورد نظر است. نتایج بررسی‌ها نیز، نشان‌دهنده تأثیر این روش در استحکام‌بخشی آثار سنگی آسیب‌دیده البته با تعداد دفعات بسیار زیاد اعمال درمان است (Doehne et al, 2010: 37; Ashurst, 1998: 172).

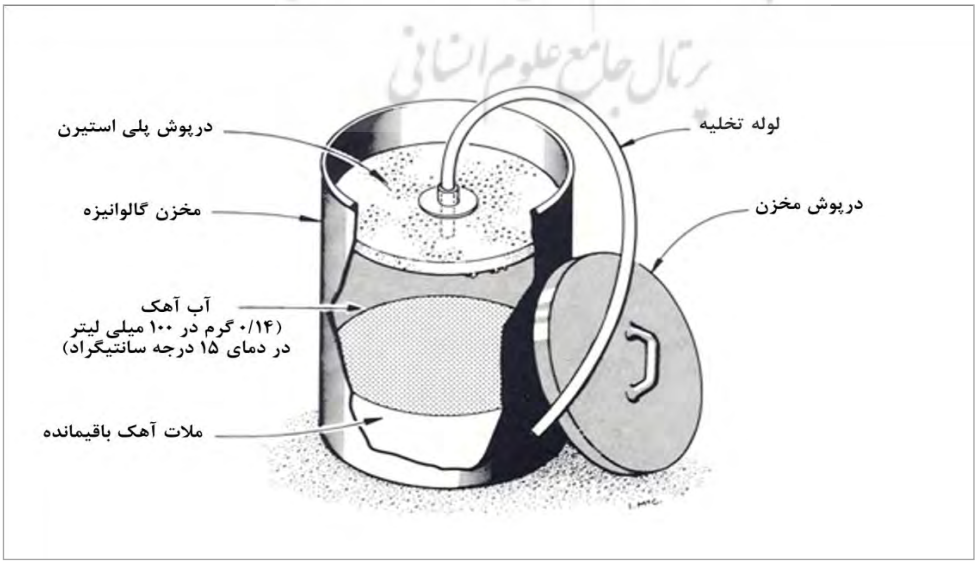
برای آماده‌سازی آب آهک مورد نیاز جهت استحکام‌بخشی، از آهک زنده آب‌دهی‌شده استفاده می‌شود. وقتی که آهک زنده به یک تانک کم عمق حاوی آب افزوده شود، اکسید کلسیم به هیدروکسید کلسیم تبدیل می‌شود و محصولات آن استفاده‌های مختلفی دارند. سنگ آهک بیش از حد سوخته، دور ریخته می‌شود. ملات آهک، در ته ظرف جمع‌آوری‌شده و برای پرکردن قطعات و به‌عنوان چسب و پرکننده به‌شکل ملات و به‌گونه رقیق برای پوشش‌های حفاظتی نهایی روی سطح اثر استفاده می‌شود. باقی‌مانده شیری جمع‌شده روی آن به عنوان آب آهک شیره‌گیری می‌شود. روشی ساده برای تولید آب آهک (تصویر ۱)، ریختن پودر آهک در یک ظرف آب، تکان‌دادن و رهاکردن آن با قرارگرفتن زیر یک درپوش مهر و موم‌شده با چوب پنبه یا پلی‌استیرن جهت جلوگیری از کربناته‌شدن است (Ashurst et al, 1988: 82). روش کار، صاف‌کردن محلول روشن تشکیل‌شده در بالای ظرف حاوی آب و پودر آهک و اسپری‌کردن آن روی سنگ آسیب‌دیده است. برای این کار چندین‌بار، اسپری نیاز است به‌گونه‌ای‌که، به‌نظر می‌رسد در مدت چندین روز به بیش از چهل‌بار نیاز باشد. کاربرد آن می‌تواند تا وقتی که سطح آب آهک را جذب کند، ادامه یابد. لیکن، به آب‌آهک اضافی نباید اجازه داد تا روی سطح سنگ جاری شود. آب آهک اضافی را باید با اسفنج‌های فشرده‌شده در آب تمیز از سطح سنگ جمع‌آوری کرد چراکه، سنگ خشک قبل از درمان، قدرت جذب بیشتری دارد (Filder, 2002: 22).

استحکام‌بخشی سنگ‌نوشته خرم‌آباد

معرفی اثر

سنگ نوشته خرم‌آباد، یک ستون مکعب مستطیل سنگی است که از دل صخره‌ای سنگی تراشیده‌شده و به‌شکل ستونی کتیبه‌دار درآمده است. روی چهار سطح عمودی آن، کتیبه‌ای به خط کوفی و زبان فارسی نقرشده است[۳۰]. تاریخ کتیبه نگاشته شده روی این سنگ، سال ۵۱۳ (ه.ق.) است که زمان حکومت سلجوقیان در ایران، به دستور حاکم شهر شاپورخواست، امیر اسفهسالار کبیر ظهیر الدین و الدوله معین الاسلام طغرلتکین ابوسعید برسق بن برسق بن حسنویه، نگاشته شده است. این کتیبه دورتادور بخش میانی این ستون مکعبی را فرا گرفته است. به‌سبب وجود کتیبه، این اثر را سنگ‌نوشته می‌نامند. درگذشته، این اثر به نام‌های بردنوشته[۳۱] و زرسنگ نیز معروف بوده‌است. این اثر، در جبهه شرقی خیابان شریعتی خرم‌آباد و دامنه کوه سنگ سوراخ که ادامه رشته کوه مدبه است، قرارگرفته‌است (تصویر ۲). موضوع کتیبه، بخشش مالیات چراگاهی در منطقه شاپورخواست است (ایزدپناه، ۱۳۷۶: ۵۷-۵۶).

پائین این ستون مکعبی شکل، دو ردیف پله در هر چهار وجه به‌شکل متصل و یکپارچه تراشیده‌شده که حالت سکوی دوپله‌ای را دارد که مکعب مستطیلی به شکل عمودی روی



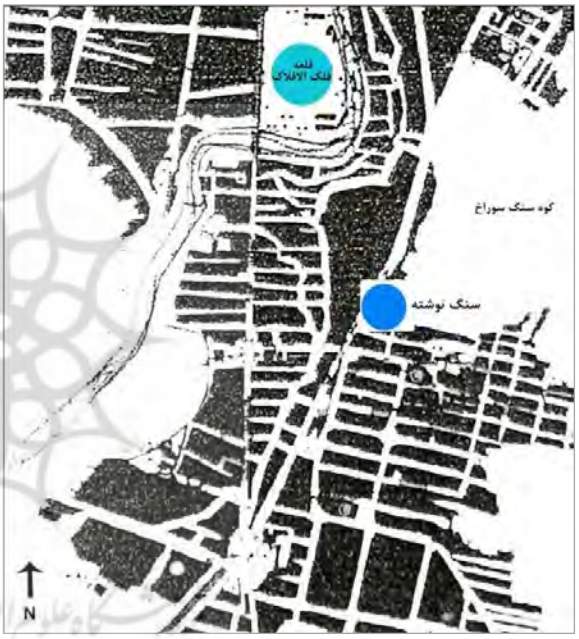
تصویر ۱. روش تهیه آب آهک (Ashurst et al, 1988: 82; Filder, 2002: 22)

آن قرار گرفته است (تصویرهای ۵-۳). ارتفاع هریک از دو پله ۲۸ سانتیمتر و عرض بخش افقی آنها، بین ۲۸ تا ۳۲ سانتیمتر در تغییر است. ارتفاع ستون مکعبی کتیبه‌دار تا سطح پله‌ها در جبهه غربی، ۲۹۱ سانتیمتر و ارتفاع کلی ستون همراه پله‌ها ۳۴۷ سانتیمتر است. عرض چهار جبهه کتیبه‌دار بدین ترتیب است: جبهه شمالی ۱۹۱/۵، جبهه جنوبی ۲۱۲، جبهه غربی ۲۵۲ و جبهه شرقی ۲۵۰ سانتیمتر.

سنگ‌نوشته، سال ۱۳۷۲ (ه.ش.)، به‌دلیل انجام عملیات تعریض خیابان شریعتی و قرارگیری آن در وسط خیابان، ازسوی کارشناسان فنی سازمان میراث فرهنگی از جای اصلی خود جابه‌جا شده است. این عملیات، پس از ۸۰ روز فعالیت در تاریخ ۷۲/۷/۲۴ پایان یافته اثر، حدود ۱۴ متر به سمت شرق نسبت به جای اصلی‌اش منتقل شده است (جوادی و همکاران، ۱۳۷۹).

روش پژوهش

جهت مطالعه وضعیت سنگ‌نوشته خرم‌آباد، از روش پژوهش میدانی و آزمایشگاهی استفاده شد. بر این اساس، داده‌های مورد نیاز با استفاده از مشاهدات مستقیم اثر و روش‌های آنالیز پتروگرافی، XRF، XRD و SEM-EDS روی نمونه‌های سنگ سالم و هوازده تشکیل‌دهنده اثر و مطالعه محیط قرارگیری اثر باتوجه به نتایج بررسی‌های



تصویر۲. نقشه شهر خرم‌آباد و قرارگیری سنگ‌نوشته در شرق آن(نگارندگان).

تصویر۳. منظره سنگ‌نوشته خرم‌آباد از جنوب غرب(نگارندگان).

تصویر۴. نمای سنگ نوشته از بالا. محل جدید اثرکنار خیابان شریعتی و محوطه‌سازی اطراف آن همراه محل قرارگیری میله‌ها در جبهه غربی (نگارندگان، ۱۳۸۴).

تصویر۵. نمای جنوبی سنگ‌نوشته. آغاز کتیبه کوفی اثر در این جبهه دیده می‌شود(نگارندگان).

هواشناسی به‌دست‌آمدند. در پایان برای عملیات حفاظتی روی اثر باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از مشاهدات و آنالیزهای یادشده تصمیم‌گیری‌شد.

نتایج و بحث

مشاهدات

در نگاه نخست به ساختار زمین‌شناسی منطقه و ظاهر سنگ، به‌نظر می‌رسد که سنگ از نوع سنگ آهک باشد. همچنین آسیب‌ها، فرسایش‌ها و مداخلات گوناگونی برروی سطح سنگ‌نوشته دیده می‌شود. آثار این اتفاقات، به خوبی روی این اثر دیده می‌شود. این اتفاقات شامل پوسته‌شدگی شدید در بخش‌هایی از کتیبه (تصویر۶)، جداشدن و افتادن بخش‌هایی از سنگ به‌صورت تکه‌های به‌نسبت بزرگ (تصویر۷)، ترک‌های بزرگ در اثر، تخلخل و فرسایش سطحی سنگ، آسیب‌های عمدی ازسوی انسان (تصویر۸)، آلودگی‌های سطحی عمدی و شکل‌گرفته به‌صورت طبیعی، مرمت‌های انجام‌شده با استفاده از میله‌های فلزی در عمق و سیمان (تصویر۴) و رزین در سطح (تصویر۹) و ازاین‌دست است.

شناسایی سنگ

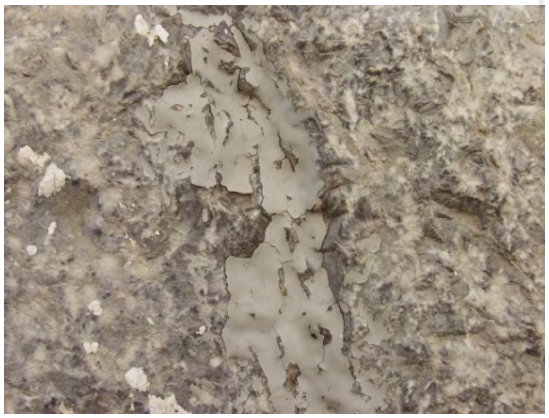
برای شناسایی ماهیت سنگ تشکیل‌دهنده اثر، سه نمونه از سه ناحیه مختلف پایهٔ اثر، مورد مطالعات آزمایشگاهی و میکروسکوپی شامل پتروگرافی و آنالیز شیمیایی کمی و کیفی با استفاده از روش فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF) و پراش پرتو ایکس (XRD) قرار گرفتند. جهت آنالیز شیمیایی از دو نمونه 1/61 و 1/64 استفاده شد. مطالعات میکروسکوپ پلاریزان نیز، روی نمونه شماره 1/60 انجام گرفت.

در جدول۱ نتایج آنالیز کمّی با استفاده از روش XRF ارائه شده است. بنابر نتایج آنالیز می‌توان دریافت که عنصر اصلی تشکیل‌دهنده این سنگ، کلسیم است. درعین‌حال، میزان بالای مواد فرار (L.O.I) در هر دو نمونه، نشان‌دهنده وجود عناصر سبک به‌میزان بالا در سنگ است. بااین‌همه، نتایج آنالیز در دو نمونه، تقریباً با یکدیگر مشابه است. البته، میزان قابل توجه SO_3 در نمونه 1/61 و MgO در نمونه 1/64 می‌تواند مهم باشد.

تصویر۶. بخشی از کتیبه که به‌شدت پوسته‌شده و ازبین‌رفته است. بخش‌های زیرین نیز درحال پوسته‌شدن هستند(نگارندگان).

تصویر۷. شکستگی و جداشدن قطعه‌هایی از سنگ و جدایش لایه‌های زیرین در پایه اثر(نگارندگان).

تصویر۸. آسیب عمدی شدید ایجادشده با یک جسم تیز و سخت در بخش کتیبه(نگارندگان).



تصویر۹. رزین استفاده‌شده برای مرمت درحال جداشدن از سنگ(نگارندگان).

جدول۱. نتایج آنالیز XRF از دو نمونه متعلق به ساختار سنگ تشکیل‌دهنده اثر.

	P_2O_5	CaO	MgO	SO_3	Fe_2O_3	Al_2O_3	Cl	SrO	La&Lu	L.O.I
1/61	0.016	55.8	0.44	0.89	0.041	0.00	0.017	0.061	0.012	43.51
1/64	0.029	55.4	0.9	0.09	0.095	0.08	0.015	0.069	0.012	43.33

(نگارندگان)

جدول۲. نتایج آنالیز(XRD) از دو نمونه متعلق با ساختار سنگ تشکیل‌دهنده اثر.

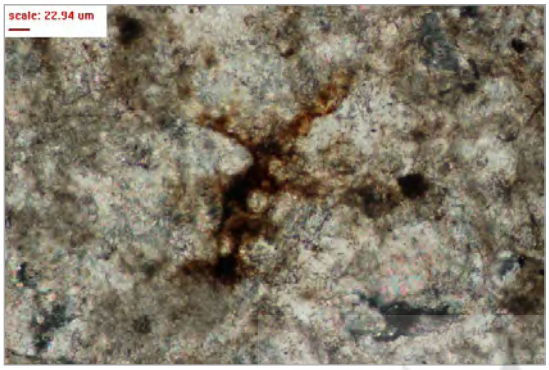
	Major Phase	Trace Phase
1/61	Calcite ($CaCO_3$)	-
1/64	Calcite ($CaCO_3$)	Dolomite ($MaCO_3$)

(نگارندگان)

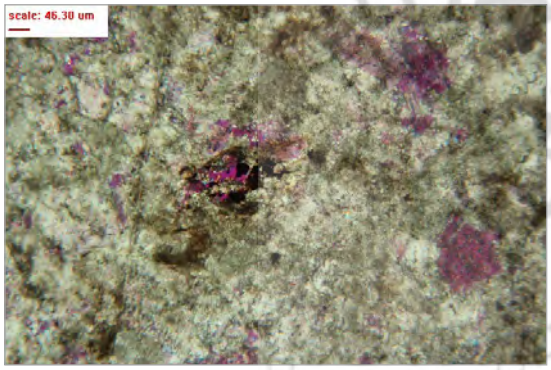
در کنار آنالیز کمّی، برای شناسایی فازهای تشکیل‌دهنده سنگ دو نمونه یادشده نیز، نمونه‌ها مورد آنالیز کیفی قرار گرفتند (جدول۲). نتایج آنالیز نشانگر آن است که تنها فاز تشکیل‌دهنده نمونه 1/61، کلسیت ($CaCO_3$) است. نمونه شماره 1/64نیز حاوی فاز کلسیت و مقدار بسیار کمی فاز دولومیت ($MgCO_3$) است. وجود مقدار قابل ملاحظه منیزیم هم در آنالیز عنصری، وجود فاز دولومیت را در نتیجه آنالیز تأئید می‌کند.

با توجه به نتایج آنالیزها می‌توان نتیجه گرفت که سنگ تشکیل‌دهنده اثر، نوعی سنگ کربناته حاوی کلسیت بسیار زیاد است و ناخالصی‌های بسیار کمی دارد. درعین حال، وجود مقدار کمی کانی دولومیت نیز در سنگ دیده‌می‌شود. درحقیقت، بنابر میزان CaO در نمونه‌ها (حدود ۵۵ درصد) و نیز نتایج XRD می‌توان دریافت که میزان کلسیت در بافت سنگ بیش از ۹۰ درصد است. بااین بیان، به‌نظر می‌رسد که سنگ تشکیل‌دهنده اثر از نوع سنگ کربناته آهکی (کلسیتی) است (فیض‌نیا، ۱۳۷۷: ۱).

تصویرهای ۱۰ و ۱۱ ریزساختار مقطع نازک نمونه 1/60 را زیر نور پلاریزان نمایش می‌دهند. مقطع نازک سنگ نیز، نشانگر این است که این نمونه شامل کلسیت و مقداری آهک به‌صورت CaO است. به‌طورکلی، ترکیبات و ناخالصی‌هایی مانند کوارتز و موارد دیگر در آن دیده نمی‌شود. تنها، مقداری تغییرات رنگی در بافت سنگ مشاهده می‌گردد که می‌تواند ناشی از وجود یون‌های منیزیم و آهن باشد. سنگ، دارای بافت فشرده‌ای بوده و تخلخل کمی دارد. کلسیت تشکیل‌دهنده سنگ حل نشده‌است. درمجموع، می‌توان بیان‌داشت که سنگِ تشکیل‌دهنده اثر نوعی سنگ آهکی معمولی است که بیشتر متشکل از کلسیت بوده و ناخالصی بسیار کمی دارد.



تصویر۱۰. مقطع نازک نمونه که نشان‌دهنده وجود کلسیت و مقدار کمی تغییرات رنگی است. بافت سنگ، کاملاً فشرده بوده و تخلخل بسیار کمی دارد.



تصویر۱۱. مقطع نازک نمونه 1/60 که مشابه با تصویر ۱۰ است و کنار کلسیت به‌عنوان ترکیب اصلی، مقدار کمی تغییرات رنگی قرمز در بافت دیده‌می‌شود.

برای شناسایی درصد تخلخل سنگ، نمونه 1/60 مورد آزمایش درصد تخلخل قرار گرفت. این آزمایش هم بیانگر شرایط و وضعیت سنگ مورد مطالعه بوده و هم در عملیات حفاظت و استحکام‌بخشی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. آزمایش درصد تخلخل نشان داد که درصد تخلخل سنگ مورد مطالعه حدود ۰/۴ درصد است.

محصولات فرسایش

برای بررسی سطحی اثر از دیدگاه فرسایش و شناخت تغییرات ایجادشده در ترکیب آن بر اثر فرآیندهای شیمیایی، قشر سطحی تغییریافته نمونه‌های 1/62 و 1/66 انتخاب شدند. نمونه‌های یادشده، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی-(SEM

(EDS، تحت آنالیز عنصری و تهیه تصویر میکروسکوپی قرار گرفتند.

تصویر میکروسکوپی نمونه شماره 1/62، نشانگر ساختار متخلخل و به‌شدت هوازده سنگ است (تصویر۱۲). آنالیز عنصری نمونه با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشان می‌دهد که نمونه، حاوی مقدار قابل توجهی از عناصر اکسیژن، کلسیم و گوگرد است. ضمن‌اینکه، در جدول شماره ۳ نتیجه آنالیز نمونه ذکر شده ارائه شده است. آنالیز و ساختار نمونه شماره 1/66، مشابه با نمونه 1/62 است. این نمونه نیز، حاوی عناصر اصلی اکسیژن، کلسیم و گوگرد است. در تصویر ۱۳ هوازدگی و تخلخل در بافت میکروسکوپی سنگ دیده می‌شود.

بنابر نتایج آنالیز ارائه شده در جدول ۳، می‌توان دریافت که سطح سنگ در نقطه‌های مختلف دچار فرسایش و هوازدگی شدید شده است. وجود درصد بالای گوگرد در نمونه‌های 1/62 و 1/66، بیانگر تأثیر گاز SO_2 موجود در منطقه شهری بر روی اثر است که سبب تشکیل فازهای حاوی گوگرد شده است.

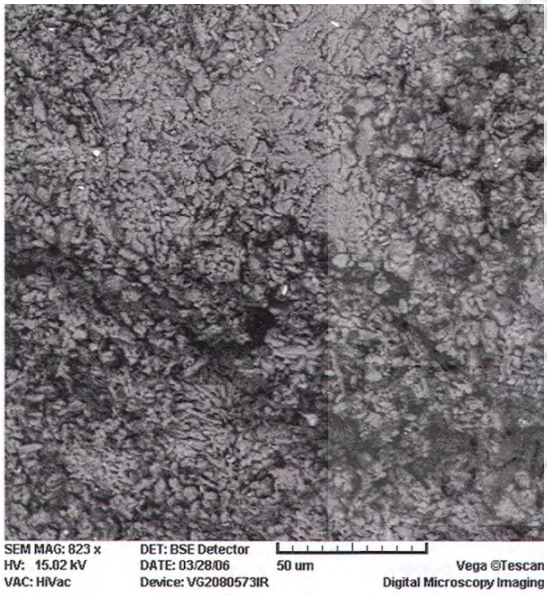
تصویر۱۲. تصویر SEM نمونه 1/62. که هوازدگی و تخلخل در سطح سنگ دیده‌می‌شود(نگارندگان).

بررسی‌های اقلیمی

براساس مشاهدات و بررسی‌های انجام‌شده، این‌چنین می‌توان دریافت که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر فرسایش سنگ‌نوشته، تغییرات دما و رطوبت نسبی آلاینده‌های جوی و میزان بارندگی در منطقه است. این تغییرات، سبب می‌شود تا سنگ تحت تأثیر تنش‌های فیزیکی و درعین‌حال شیمیایی قرار گرفته و دچار فرسایش شود.

برای شناسایی اقلیم منطقه و شرایط آب و هوایی محل قرارگیری اثر، بررسی‌های اقلیمی براساس آمار هواشناسی موجود منطقه صورت گرفت. این مطالعات، بیانگر وضعیت فعلی اثر در رابطه با محیط و عوامل محیطی تأثیرگذار بر سنگ است. از دیگرسو، آمار وضعیت اقلیمی ناحیه می‌تواند هم به انتخاب روش استحکام‌بخشی و حفاظت اثر یاری‌رساند و هم طی زمان پس از عملیات حفاظت و مرمت، در ارزیابی شرایط اثر و تأثیر شیوه درمان و استحکام‌بخشی موثر باشد.

نمودار۲ میانگین درصد رطوبت نسبی (بین حداقل و حداکثر)



تصویر۱۳. تصویر SEM از نمونه 1/66که مشابه با نمونه 1/62 بوده و بیانگر تخلخل و هوازدگی در سطح سنگ است(نگارندگان).

جدول۳.نتایج آنالیز(SEM-EDS) رویدو نمونه متعلق با لایه‌های سطحی سنگ

	C	O	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe
1/62	2.04	52.23	0.09	0.84	2.20	18.14	0.17	23.97	0.02	0.32
1/66	0.90	52.00	0.00	0.71	1.10	19.55	0.00	25.62	0.00	0.13

(نگارندگان)

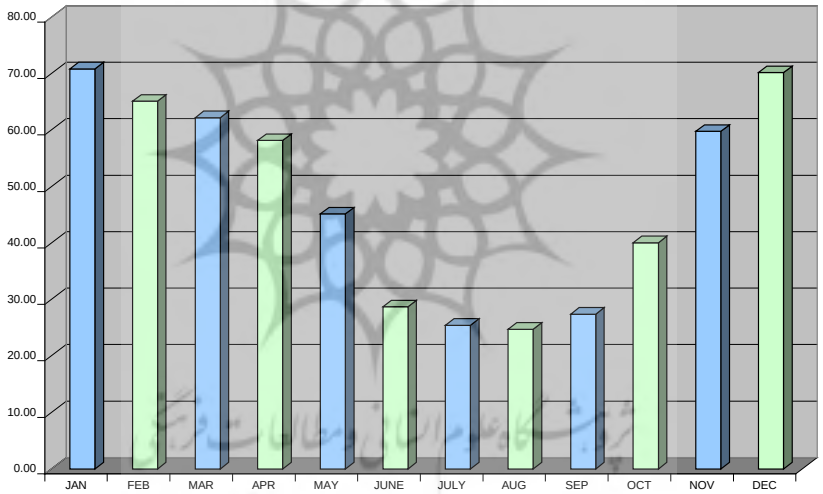
را در طول ماه بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۲ مقارن با ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۳ میلادی را نمایش‌می‌دهد (www.weather.ir). این نتایج، نشانگر آن است که در فصل‌های بهار، پاییز و زمستان میانگین رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۷۰ درصد متغیر بوده درصورتی‌که، در دیگر مواقع سال بین ۲۰ تا ۴۰ درصد است. درعین‌حال، میانگین رطوبت نسبی سالانه منطقه در سال‌های یادشده حدود ۵۰ درصد است. نمودار ۳ نیز، میانگین تفاوت حداکثر و حداقل دما را در بازه زمانی بیان‌شده نشان می‌دهد. نتایج، بیانگر آن است که در فصل تابستان، تفاوت میانگین درجه حرارت بین سردترین و گرم‌ترین زمان شب و روز به بیش از ۲۰ درجه سانتیگراد می‌رسد. درحالی‌که، در فصل زمستان این تفاوت، به حدود ۱۰ تا ۱۵ درجه می‌رسد. میانگین سالانه تفاوت درجه حرارت بین روز و شب در منطقه خرم‌آباد نیز، بین ۱۶ تا ۱۸ درجه سانتیگراد است. بنابر نتایج ارائه شده می‌توان گفت که تفاوت دما در منطقه، در ماه‌های سرد و گرم سال و نیز هنگام شب و روز به‌نسبت بالاست.

با توجه به نتایج آماری هواشناسی منطقه می‌توان دریافت که منطقه خرم‌آباد درمجموع، از آب و هوایی معتدل و نیمه‌مرطوب برخوردار است که در فصل‌های سرد سال درجه حرارت به زیر صفر رسیده و هوا سرد و مرطوب می‌شود. میانگین بارندگی ۳۰ سال گذشته در منطقه خرم‌آباد ۱۳۹/۴ میلی‌متر بوده که میزان قابل توجهی را دربرمی‌گیرد(Ibid).

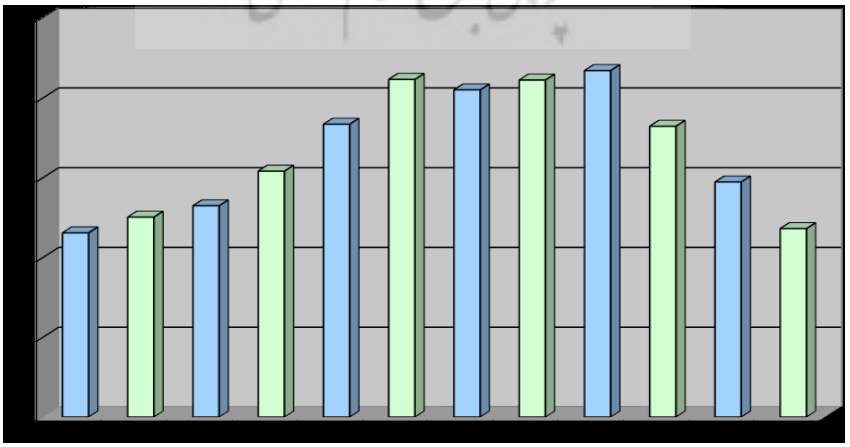
براساس آمارهای اقلیمی، سنگ‌نوشته خرم‌آباد در محیطی قرارگرفته که ازنظر تغییرات دمایی و تفاوت میانگین دمای شب و روز دارای نوسان به‌نسبت بالایی است. ازسوی دیگر، با توجه به دمای نسبتاً بالای منطقه در تابستان، بسیاری از مواد استحکام‌بخش در این محیط از طول عمر حدوداً کوتاهی برخوردار خواهند بود. همچنین، میزان بارندگی و رطوبت نسبی نیز در این ناحیه هم روی اثر و هم مواد مورد استفاده در استحکام‌بخش‌ها می‌تواند تاثیرگذار باشد.

حفاظت و مرمت

پس از انجام مطالعات و با توجه به نتایج به‌دست‌آمده،



نمودار۲. میانگین رطوبت نسبی در ماه‌های سال در شهر خرم‌آباد، بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۲ شمسی(نگارندگان).



نمودار۳. میانگین تفاوت حداکثر و حداقل دما در ماه‌های سال در شهر خرم‌آباد، بین سال‌های ۱۳۶۴ تا ۱۳۸۲ شمسی(نگارندگان).

مراحل زیر برای انجام عملیات حفاظت و مرمت سنگ‌نوشته خرم‌آباد برگزیده شد:

- پاک‌سازی و تمیزکاری آلودگی‌ها،
- استحکام‌بخشی ساختار سنگ،
- تثبیت و پوشش‌دهی نهایی.

این مراحل، براساس شرایط اثر انتخاب شدند. چون سطح اثر با گرد و غبار محیطی آلوده شده بود و این آلودگی‌ها، از کارکرد مناسب و نفوذ استحکام‌بخش به درون بافت اثر تاحدی جلوگیری می‌کرد، تصمیم گرفته شد تا پیش از انجام استحکام‌بخشی، سطح اثر از گرد و غبار پاک شود. از دیگر سو، وجود لکه‌های آلودگی مانند رنگ، روغن و موادی از این قبیل هم سبب‌شدند تا به مرحله پاک‌سازی اثر توجه شود. پس از آن، عملیات استحکام‌بخشی با روش آهک (آب آهک) انجام گرفت و درنهایت، سطح اثر پوشش داده شد. دلیل استفاده از استحکام‌بخش معدنی و طبیعی، شرایط اقلیمی ناحیه و سازگاری و کاربرد آسان آن در شرایط موجود اثر بود.

پاک‌سازی

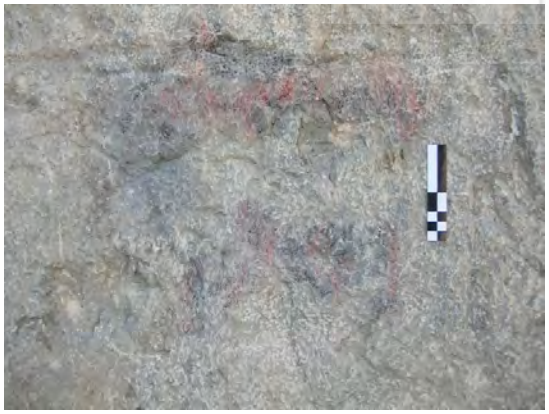
عملیات پاک‌سازی اثر از آلودگی‌ها به چند منظور انجام پذیرفت؛ نخست اینکه، سطح اثر را گرد و غبار بسیاری فرا گرفته بود و موجب شده بود تا لایه‌ای از این آلودگی، سطح آن را فرابگیرد و جلوه سطحی را تاحدی مخدوش کند. بنابراین، برای یافتن جلوه بهتر عملیات پاک‌سازی گرد و غبار انجام شد. افزون‌براین، این اثر در کنار یک منطقه پر رفت و آمد بوده و بخشی از گرد و غبار مربوط به ذرات و آلودگی‌های حاصل از آن است. بنابراین، برای زدودن سطح اثر از ذرات آلاینده‌ها قبل از استحکام‌بخشی و تثبیت پاک‌سازی سطحی صورت‌پذیرفت. مرحله اول پاکسازی اثر، استفاده از اسپری آب مقطر با فشار کم از بالا به پایین بود. بدین منظور، آب مقطر با یک دستگاه اسپری بر سطح سنگ پاشیده شد تا گرد و غبار سطحی از روی اثر پاک‌شود.

تصویر۱۴. اثر رنگ قرمز و سیاهروی سطح سنگ‌نوشته پیش از پاک‌سازی (نگارندگان).

مرحله دوم پاک‌سازی، جداکردن و ازبین‌بردن لایه‌های رنگ حاوی اسامی اشخاص، واژگان، خط‌ها و بقایای چسب‌های استفاده‌شده در مرمت‌های پیشین بود که افزون‌بر آسیب منظری برای تسهیل نفوذ مواد استحکام‌بخش نیز، باید پاکسازی می‌شدند (تصویر ۱۴). پس از شستشوی کامل سنگ با آب مقطر، لایه‌های رنگ و تکه‌های چسب و روغنی که بر سطح اثر بودند، با استفاده از تیغ جراحی، الکل، استن و رنگ‌برهای صنعتی از سطح آن برداشته شدند (تصویر ۱۵).

استحکام‌بخشی

نتایج مطالعات نشان داد که سنگ‌نوشته خرم‌آباد از سنگ آهک ساخته شده و به‌دلیل عوامل مختلف محیطی، تحت تأثیر فرایند هوازدگی فیزیکی و شیمیایی قرار گرفته است. بنابر شرایط بیان‌شده اثر و هوازدگی شدید رخ‌داده در آن، عملیات استحکام‌بخشی برای جلوگیری از روند فرسایش و بازگرداندن بخشی از مقاومت ساختاری اثر انتخاب شد. برای استحکام‌بخشی سنگ‌نوشته از روش آب آهک استفاده شد. این تصمیم، هم به‌دلیل ماهیت سنگ و هم همخوان‌بودن روش با سنگ، اجرای آسان، عدم نیاز به برگشت‌پذیری و عدم ایجاد آسیب در ساختار سنگ به‌مرور زمان برگزیده‌شد. درباره این روش، بسته به شرایط خاص هر اثر نظریه‌های متفاوتی وجود دارد. بعضی نتایج بیانگر این است که این روش، روی سنگ‌های آهکی متراکم مؤثر نبوده و روی سنگ‌هایی همچون ماسه‌سنگ‌ها که تخلخل بالاتری دارند، مناسب‌تر عمل می‌کند (Price et al, 1988). حال‌آن‌که برخی نتایج، بیانگر عدم توفیق استفاده از آب آهک در استحکام‌بخشی ماسه‌سنگ‌ها است (Ashurst et al, 1988). استحکام‌بخشی با آب آهک برای سنگ‌های



تصویر۱۵. سطح اثر پس از پاک‌سازی رنگ‌ها با استفاده از استن و رنگ‌بر صنعتی (نگارندگان).

آهکی، اندودها و درکل، آثاری که آهک و یا کربنات‌کلسیم جزء اصلی تشکیل‌دهنده آنهاست، پیشینه طولانی‌ای دارد.

برای استحکام‌بخشی سنگ‌نوشته با استفاده از آهک زنده آزمایشگاهی، با روش ذکرشده آب آهک تهیه‌شد. سپس، با یک دستگاه اسپری، آب آهک حاصل‌شده، بر سطح اثر پاشیده شد. این عملیات، تا زمانی ادامه‌می‌یابد که دیگر آب آهک در ساختار سنگ نفوذ نکرده و سنگ، آب آهک اسپری‌شده را جذب نکند. بنابر میزان بالای جذب آب آهک توسط لایه سطحی سنگ تشکیل‌دهنده اثر، اسپری آب آهک حدود ۷۰ بار، تا پیش از اینکه سنگ دیگر آب آهک جذب نکند، تکرار شد (تصویر ۱۶). با توجه به تخلخل بسیار پایین سنگ (حدود ۰/۴ درصد)، میزان بالای جذب آب آهک توسط سنگ را می‌توان به‌دلیل تخلخل سطحی اثر درنتیجه هوازدگی دانست. این امر، در مطالعات انجام‌شده با میکروسکوپ الکترونی هم، آشکارا دیده شد (تصویرهای ۱۲ و ۱۳). ساختار متخلخل ناحیه سطحی سنگ و وجود میزان بالای خلخل و فرج منتج از هوازدگی، دلیل اصلی میزان جذب بالای ماده استحکام‌بخش در ساختار سنگ بود. همچنین، در مشاهدات ماکروسکوپی نیز، سطح سنگ به‌شدت هوازده و لایه‌لایه به‌نظر می‌رسید که این امر می‌تواند در جذب استحکام‌بخش مؤثر باشد (تصویرهای ۶ و ۷). پس از آن، اثر ۱۵ روز رها شد تا هم فرایند کربناته‌شدن $Ca(OH)_2$ رخ دهد و هم سنگ، کاملاً خشک شود. قرارگیری اثر در محیط شهری می تواند به فرایند کربناته شدن یاری‌رساند. در نهایت، سطح اثر با استفاده از محلول ۵% پارالوییدB72 در استن پوشش داده‌شد. این عملیات، برای جلوگیری از تأثیر رطوبت بر اثر انجام شد زیرا، در کنار تأثیر تغییرات دما، رطوبت نیز چه به‌شکل باران و چه به‌صورت رطوبت نسبی بر سطح اثر تاثیرگذار است (تصویر ۱۷).

مطالعات و عملیات حفاظت و مرمت تابستان سال ۱۳۸۶ روی سنگ‌نوشته خرم‌آباد انجام شده است، برای ارزیابی تأثیر کاربرد روش آهک در استحکام‌بخشی، این اثر دوباره سال ۱۳۹۱ بازبینی شد. به‌دلیل نداشتن مجوز برای نمونه‌برداری و مطالعات آزمایشگاهی روی اثر، تنها به مشاهدات ماکروسکوپی و مقایسه وضعیت قبلی و فعلی اثر بسنده شد. مشاهدات نشانگر آن است که اثر، در وضعیت مناسبی قرار دارد و پس از گذشت ۵ سال، در کتیبه و سطح اثر تغییر قابل مشاهده‌ای رخ نداده است (تصویرهای ۲۰-۱۸). البته، باید خاطر نشان‌نمود که جهت ارزیابی بهتر شرایط اثر و کارآیی روش آهک، مطالعات میکروسکوپی و روش‌های دقیق‌تر می‌توانند نتایج بهتری را ارائه‌کنند.

تصویر۱۶. استحکام‌بخشی اثر با استفاده از اسپری آب آهک(نگارندگان).

تصویر۱۷. سنگ نوشته خرم‌آباد پس از استحکام‌بخشی با آب آهک و پوشش‌دهی با پارالوییدB72 (نگارندگان).

تصویر۱۸. نمای جنوبی سنگ‌نوشته قبل از انجام عملیات حفاظت و مرمت(نگارندگان).

تصویر۱۹. نمای جنوبی سنگ‌نوشته پس از گذشت ۵ سال از عملیات حفاظت و مرمت، خرداد ۱۳۹۱(نگارندگان).

تصویر۲۰. سطح سنگ از نمایی نزدیک که نشان‌دهنده حالت ثابت سطح اثر و عدم تغییر و فرسایش قابل توجه پس از گذشت ۵ سال از عملیات حفاظت و مرمت است. خرداد ۱۳۹۱(نگارندگان).

نتیجه‌گیری

مطالعه و آزمایش برروی اثر سنگ‌نوشته خرم‌آباد، بیانگر رخدادن هوازدگی فیزیکی و شیمیایی تحت تأثیر تغییرات رطوبت و دما و درعین‌حال، آلاینده‌های محیطی است. در سال‌های گذشته، استفاده از مواد و روش‌های مختلف به‌عنوان استحکام‌بخش در آثار سنگی، یکی از موضوعات مورد توجه مرمت‌گران آثار تاریخی بوده است. یکی از روش‌هایی که در استحکام‌بخشی آثار ساخته‌شده از سنگ آهک مورد استفاده قرار گرفته، روش آهک است. در این روش، آب آهک گرفته‌شده از آهک زنده برای استحکام‌بخشی سنگ به‌کارمی‌رود. عملیات استحکام‌بخشی روی سنگ‌نوشته خرم‌آباد نیز، با استفاده از آب آهک انجام شد. میزان بالای جذب آب آهک توسط سنگ، بیانگر نفوذ میزان بالای استحکام‌بخش به درون ساختار آسیب دیده سنگ بود. پس از اجرای استحکام‌بخشی روی اثر، جهت پوشش‌دهی و تثبیت سطحی اثر نیز از پارالوید B72 استفاده شد. در نهایت،

چنین به‌دست‌آمد که روش آهک به‌دلیل همخوانی با ماهیت سنگ و نیز نداشتن تأثیر منفی مانند ایجاد نمک‌های محلول روی سنگ، می‌تواند روشی مناسب در استحکام‌بخشی آثار سنگی باشد.

هر چند آزمایش‌های مختلف، نتایج مشابه و یکسانی در زمینه تاثیر و میزان استحکام‌بخشی این ماده ارائه نمی‌دهند، نتایج مشاهدات نیز نشان داد که پس از گذشت ۵ سال از انجام استحکام‌بخشی با روش آهک، سطح سنگ‌نوشته خرم‌آباد تغییر و فرسایش قابل ملاحظه‌ای را نشان نمی‌دهد و اثر در حالتی پایدار به نظر می‌رسد. بااین‌همه، بنابر قابلیت‌های بالقوه روش آهک در استحکام‌بخشی آثار سنگی و گستردگی آثار ساخته‌شده از سنگ آهک در ایران، مطالعات بیشتر و گسترده‌تر در زمینه‌های مختلف و جنبه‌های متفاوت روش آهک در استحکام‌بخشی سنگ‌های آهکی در آثار ایران پیشنهاد می‌گردد.

سپاس‌گزاری

نگارندگان، بر خود لازم‌می‌دانند تا از استادان و همکاران محترم، آقایان و خانم‌ها، مهندس حمید فدایی، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی، مهندس داریوش حیدری، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، دکتر سید محمدامین امامی، دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان، مهندس مریم احمدی، اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی، مهندس مسعود دارابی، اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان لرستان و مهندس سیروس ابراهیمی رئیس وقت اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان لرستان سپاس‌گزاری خود را اعلام دارند.

پی‌نوشت

1- Consolidation
2- Consolidant
3- Alkoxysilanes
4- Synthetic Organic Polymers
5- Waxes
6- Inorganic
7- Organic
8- Soluble Glass
9- Barium Hydroxide
10- Calcium Hydroxide
11- Silica
12- Alkali Silicate
13- Fluorosilicon
14- Calcium Oxalates
15- Barium Oxalates
16- Ammonium Oxalates
17- Barium Aluminates
18- Bacterially Induced Mineralization
19- Methyltrimethoxysilane(MTMOS)
20- Tetraethoxysilane(TEOS)
21- Ethyl Silicate
22- Methyltriethoxysilane(MTEOS)
23- Methyl Methacrylate
24- Butyl Methacrylate

۲۵- پارالوید B72 در ایالات متحده آمریکا به نام آکرولوید B72 شناخته می‌شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

۲۶- نام تجاری موم میکروکریستالی

27- Lime Mortar

28- Lime Wash or Lime Shelter

29- Lime Technique

۳۰- جهت مطالعه متن کتیبه و اطلاع از جزییات آن رجوع شود به:
ایزدپناه، حمید(۱۳۷۶)،آثارباستانی و تاریخی لرستان (جلددوم)، گنجینه ایران ۳۲، تهران: انجمن آثار و مفاخر فرهنگی ایران، صص:۶۰-۵۷.

۳۱- در لهجه محلی خرم‌آباد، برد به معنای سنگ است.

منابع

- ایزدپناه، حمید(۱۳۷۶)، **آثار باستانی و تاریخی لرستان(جلد دوم)**، گنجینه ایران ۳۲، انتشارات انجمن آثار و مفاخر فرهنگی ایران.
- جوادی، محمدرضا و همکاران(۱۳۷۹)، **شناسایی مقدماتی تپه‌ها و معرفی غارهای دره خرم‌آباد**، مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی استان لرستان، منتشرنشده.
- فیض‌نیا، سادات(۱۳۷۷)، **سنگ‌های رسوبی کربناته**، مشهد: دانشگاه امام‌رضا.
- Amoroso, G. G. & Fassina, V. (1983). **Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution-Cleaning, Consolidation and Protection,** (Materials Science Monographs, 11). New York: Elsevier Science Publishers.
- Ashurst, J. (1998). The Cleaning and Treatment of Limestone by the Lime Method, In **Conservation of Building and Decorative Stone**, Ashurst, J. & Dimes, F. G. (Eds.), Vol. II, London : Butterworth-Heinemann, , 169-176.
- Ashurst, J. & Ashurst, N.. (1988). **Practical Building Conservation, Vol. 1, Stone Masonry,** English Heritage Technical Handbook, New York : Halsted Press,.
- Ashurst, J. & Dimes, F. G. (Eds.). (1998). **Conservation of Building and Decorative Stone.** London: Butterworth-Heinemann.
- Bracci, S. Sacchi, B. Ferreira Pinto, A. P. Delgado Rodrigues, J. (2008). Inorganic Consolidation on Stone Artefacts: Optimisation of Application Procedures for Marble and Limestones, in **Proceedings of the International Symposium Stone Consolidation in Cultural Heritage- Research and Practice,** Lisbon, 6-7 May 2008, Delgado Rodrigues, J. & Mimoso, J. M. (Eds.), LNEC Publication, 81-90.
- Brus, J. & Kotlik, P. (1996). Consolidation of Stone by Mixtures of Alkoxysilane and Acrylic Polymer, **Studies in Conservation** 41: 109-119.
- Charola, A. E. Tucci, A. Koestler, R. J. (1986). On the Reversibility of Treatments with Acrylic/Silicone Resin Mixtures, **Journal of the American Institute for Conservation**, Vol. 25, No. 2: 83-92.
- Clifton, J. R., (1984), Laboratory Evaluation of Stone Consolidants, in Adhesives and Consolidants, **Proceedings of IIC Congres**, Brommelle, N. S., Pye, E. M., Smith, P., Thomson, G., (Eds.), Paris, IIC Publications, pp: 151-155.
- Delgado Rodrigues, J. & Mimoso, J. M. (Eds.). (2008). **Stone Consolidation in Cultural Heritage-Research and Practice**, Proceedings of the International Symposium, 6-7 May 2008, Lisbon: LNEC Publication.
- Delgado Rodrigues, J. (2001). Consolidation of Decayed Stones. A Delicate Problem with Few Practical Solutions, in **Historical Constructions,** Lourenço, P. B. Roca, P. (Eds.), Guimarães, 3-14.

- Doehne, E. & Price, C. A. (2010). **Stone Conservation: An Overview of Current Research,** (Second Edition), Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Drdácký, M. & Sližková, Z. (2008). **Calcium Hydroxide Based Consolidants of Lime Mortars and Stone**, in Proceedings of the International Symposium Stone Consolidation in Cultural Heritage- Research and Practice, Lisbon, 6-7 May 2008, Delgado Rodrigues, J., Mimoso, J. M., (Eds.), LNEC Publication, pp: 299-308.
- Etymezian, V., Davidson, C. I., Finger, S., Striegel, M. F., Barabas, N., Chow, J. C., (1998), **Vertical Gradients of Pollutant Concentrations and Deposition Fluxes on a Tall Limestone Building**, Journal of the American Institute for Conservation, Vol. 37, No. 2, pp: 187-210.
- Ferreira Pinto, A. P. & Delgado Rodrigues, J. (2008 a). Stone Consolidation: The Role of Treatment Procedures, **Journal of Cultural Heritage** 9: 38-53.
- Ferreira Pinto, A. P. & Delgado Rodrigues, J. (2008 b). Hydroxylating Conversion Treatment and Alkoxysilane Coupling Agent as Pre-Treatment for the Consolidation of Limestones with Ethyl Silicate, in **Proceedings of the International Symposium Stone Consolidation in Cultural Heritage- Research and Practice**, Lisbon, 6-7 May 2008, Delgado Rodrigues, J. & Mimoso, J. M., (Eds.), LNEC Publication, 131-140.
- Fidler, J. (2004). Stone Consolidants: Inorganic Treatments, **Conservation Bulletin** 45: 33-35.
- Filder, J. (2002). Lime Treatments: An Overview of Lime Watering and Shelter Coating of Friable Historic Limestone Masonry, In **Stone: Stone Building Materials, Construction and Associated Component Systems: Their Decay and Treatment**, J. Filder. (Ed.), English Heritage Research Transactions, Vol. 2, London: English Heritage , 19-28
- Gauri, K. L. (1974). Efficiency of Epoxy Resins as Stone Preservatives, **Studies in Conservation,** Vol. 19, No. 2: 100-101.
- Ginell, W. S. Wessel, D. Searles, C. (2001). **Standard Guide for Selection and Use of Stone Consolidants**, ASTM E2167-01, West Conshohocken, PA: ASTM International.
- Haneef, S. J. Dickinson, C. Johnson, J. B. Thompson, G. E. Wood, G. C. (1992). Simulation of the Degradation of Coupled Stones by Artificial Acid Rain, **Studies in Conservation** 37: 105-112.
- Hansen, E. Doehne, E. Filder, J. Larson, J. Martin, B. Matteini, M. Rudriguez-Navarro, C. Sebastián Pardo, E. Price, C. de Tagle, A. Teutonico, J. M. Weiss, N. (2003). A Review of Selected Inorganic Consolidants and Protective Treatments for Porous Calcareous Materials, **Reviews in Conservation**. 4: 13-25.
- Honeyborne, D. (1998). Surface Treatments in General, in **Conservation of Building and Decorative Stone**, Ashurst, J. & Dimes, F. G. (Eds.), Vol. II, London: Butterworth-Heinemann, 156-169.
- Jimenez-Lopez, C. Rodriguez-Navarro, C. Piñar, G. Carrillo-Rosúa, F.J. Rodriguez-Gallego, M. Gonzalez-Muñoz, M.T. (2007). Consolidation of Degraded Ornamental Porous Limestone by Calcium Carbonate Precipitation Induced by the Microbiota Inhabiting the Stone, **Chemosphere** 68: 19291936.
- Kotlik, P. Justa, P. Zelinger, J. (1983). The Application of Epoxy Resins for the Consolidation of Porous Stone, **Studies in Conservation** 28: 75-79.
- Kumar, R. & Ginell, W. S. (1997). A New Technique for Determining the Depth of Penetration of Consolidants into Limestone Using Iodine Vapor, **Journal of the American Institute for Conservation**, Vol. 36, No. 2: 143-150.
- Lanterna, G. Mairani, A. Matteini, M. Rizzi, M. Scuto, S. (2000). Mineral Inorganic Treatments

for the Conservation of Calcareous Artefacts, in **Proceedings of the 9th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone**, Venice, Vol. 2, Fassina, V. (Ed.), 387-394.

- Oliver, A. B. (2002). The Variable Performance of Ethyl Silicate: Consolidated Stone at Three National Parks, **APT Bulletin**, Vol. 33, No. 2/3: 39-44.
- Öztürk, I. (1992), Alkoxysilanes Consolidation of Stone and Earthen Building Materials. Unpublished MSc Thesis: University of Pennsylvania,.
- Price, C. A. (1996). **Stone Conservation: An Overview of Current Research**. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Price, C. A. Ross, K. White, G. (1988). A Further Appraisal of the Lime Technique for Limestone Consolidation, Using a Radioactive Tracer, **Studies in Conservation**33: 178-186.
- Schaffer, R. J. (1932). **The Weathering of Natural Building Stones**, His Majesty's Stationery Office, Reprinted 1972, Watford, London: Building Research Establishment,.
- Schnabel, L. (1992). Evaluation of the Barium Hydroxide-Urea Consolidation Method, in **Proceedings of the 7th International Congress on Deterioration and Conservation of Stone**, Lisbon, Vol. 3, Delgado Rodrigues, J. Henriques, F. Jeremias, F. T. (Eds.), 1063-1072.
- Selwitz, C. (1995). The Use of Epoxy Resins for the Stabilization of Deteriorated Masonry, **APT Bulletin,** Vol. 26, No. 4, Preservation of Historic Masonry: 27-34.
- Selwitz, C. (1992). **Epoxy Resins in Stone Conservation**. Los Angeles: Getty Conservation Institute.
- Tabasso, M. L. (1995). Acrylic Polymers for the Conservation of Stone: Advantages and Drawbacks**, APT Bulletin** Vol. 26, No. 4, Preservation of Historic Masonry: 17-21
- Theoulakis, P. Karatasios, I. Stefanis, N. A. (2008). Performance Criteria and Evaluation Parameters for the Consolidation of Stone, in **Proceedings of the International Symposium Stone Consolidation in Cultural Heritage: Research and Practice**, Lisbon, 6-7 May 2008, Delgado Rodrigues, J. Mimoso, J. M. (Eds.), LNEC Publication, 279-288.
- Tiano, P. Cantisani, E. Sutherland, I. Paget, J. M. (2006). Biomediated Reinforcement of Weathered Calcareous Stones, **Journal of Cultural Heritage** 7: 49–55.
- Wheeler, G. (2005). **Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone**. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Wheeler, G. (2008). Alkoxysilanes and the Consolidation of Stone: Where We Are Now, in **Proceedings of the International Symposium Stone Consolidation in Cultural Heritage: Research and Practice**, Lisbon, 6-7 May 2008, Delgado Rodrigues, J. Mimoso, J. M. (Eds.), LNEC Publication, 41-52.
- Weber, H., (1985), Conservation and Restoration of Natural Stone in Europe, **Bulletin of the Association for Preservation Technology** Vol. 17, No. 2, Masonry: 15-23.
- *www.weather.ir* (Access Date: 17.05.2006).

Received:2011/12/31
Accepted:2012/07/09

Study and Consolidation of limestone in Sangnavashteh of Khorramabad

Atefeh Shekofteh[*] Omid Oudbashi[**] Malihe Bakrani[***]
Masoud Siapoosh[****] Behnood Siapoosh[*****]

Abstract

Consolidation of stone monuments and artefacts is a conservation operation that has considered by conservators and conservation scientists in last years. One of the methods in conservation of lime stone monuments and artefacts is Lime method. One part of this method is consolidation by lime water. The method has used in last years, especially in England, and some suitable results have achieved in some cases.

In this paper, first the stone consolidation methods are introduced and classified and then, the lime method and mechanism of limestone consolidation by lime water have reviewed. The aim of this method is assessing the application of Lime method in consolidation of limestone in air exposed stone monuments.

The main question is assessing the lime water consolidation in Sangneveshteh stone monument of Khorramabad (6th century A. H.). For this purpose, the stone has investigated by field and laboratory methods consisting of petrography, XRF, XRD and SEM-EDS. The results show occurrence of physical and chemical weathering in stone surface and loss of some parts in kufic inscription. Finally, the conservation process selected based on results and has presented. The main conservation operation is consolidation by lime water. The stone condition is suitable and show control of stone weathering after five years of conservation.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Keywords: Sangneveshteh of Khorramabad, Limestone, weathering, consolidation, lime method.

[*] P.hD. Candidate, Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Iran.
[**] P.hD. Candidate, Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Iran.
[***] M.A. in Conservation, Faculty of Conservation, Art University of Isfahan, Iran.
[****] M.A. student in Conservation, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Iran.
[*****] M.A. in Conservation, Islamic Azad University, Central Tehran Branch, Iran.