فصلنامه علمی مرمت و معماری ایران
سال چهاردهم، شماره چهلم، زمستان ۱۴۰۳

نوع مقاله: پژوهشی
دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۰۳/۰۳
پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۹/۲۰
صفحات: ۶۳-۴۷
10.52547/mmi.152.14020920

فرایندهای تخریب کاشی‌های هفت‌رنگ حمام علی‌قلی‌آقا در اصفهان*

افسانه نصر اصفهانی** پرویز هلاکوئی***

چکیده

حمام علی‌قلی‌آقا که در محلۀ بیدآباد اصفهان واقع شده است توسط علی‌قلی‌آقا، یکی از درباریان شاه سلیمان و شاه سلطان حسین صفوی، بنیان گذاشته شد. این حمام دارای کاشی‌کاری‌های هفت‌رنگ از دوره‌های صفوی و قاجار است که آسیب‌های قابل توجهی را متحمل شده‌اند. این آسیب‌ها شامل جدایش لایه لعاب از روی بدنۀ کاشی در تعداد قابل‌توجهی از کاشی‌های هفت‌رنگ دوره صفوی، و رنگ‌باختگی در بین کاشی‌های دوره قاجار می‌شود. این تحقیق بر پایۀ مشاهدات میدانی و تحلیل داده‌های دوربین حرارتی، نشان می‌دهد که رطوبت صعودی، نزولی و تعریقی ناشی از نزولات جوی، آب‌های جاری در مجاورت حمام علی‌قلی‌آقا، و همچنین فعالیت‌های درون بنا، از دلایل اصلی تخریب کاشی‌های هفت‌رنگ صفوی و قاجار در بنای حمام علی‌قلی‌آقا است. در این تحقیق همچنین، نوع نمک‌های محلول موجود در ساختار کاشی‌ها با روش‌های طیف‌بینی میکرورامان، آزمون‌های شیمی تر و ریزتجزیه انرژی پرتو ایکس پراکنده‌شد و همراه با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد شناسایی قرار گرفت. این نمک‌ها عمدتاً شامل نمک‌های نیتراته، کلریدی و سولفاتۀ ناشی از فعالیت‌های قبلی و فعلیِ درون یا پیرامون مجموعۀ حمام علی‌قلی‌آقا می‌شوند و نقش قابل‌ملاحظه‌ای در تخریب کاشی‌های هفت‌رنگ بنا دارند. به‌علاوه، نوسانات دمایی درون بنا و اختلاف در ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنه کاشی‌های بنا، از دیگر عوامل آسیب‌رسان به آن‌ها تشخیص داده شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که تأثیر هم‌زمان چرخه‌های تبلور، انحلال و بازتبلور نمک‌های محلول در کنار عیوب ساختاری کاشی‌ها، و نوسانات دمایی و رطوبتی، اتصال لعاب به بدنۀ کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا را سست و تخریب قابل‌ملاحظه‌ای را در لعاب این کاشی‌ها ایجاد کرده است.

واژگان کلیدی: حمام علی‌قلی‌آقا، کاشی هفت‌رنگ، لعاب، صفوی، قاجار، آسیب‌شناسی.

---

* این مقاله، برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد نویسنده اول این مقاله با عنوان «فرایندهای فرسایش کاشی‌های هفت‌رنگ حمام علی‌قلی‌آقا در محله بیدآباد اصفهان و ارائه پیشنهادات حفاظتی برای آن‌ها» است که در سال ۱۴۰۱ در دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان، به راهنمایی نویسنده دوم مقاله، تألیف یافته است.

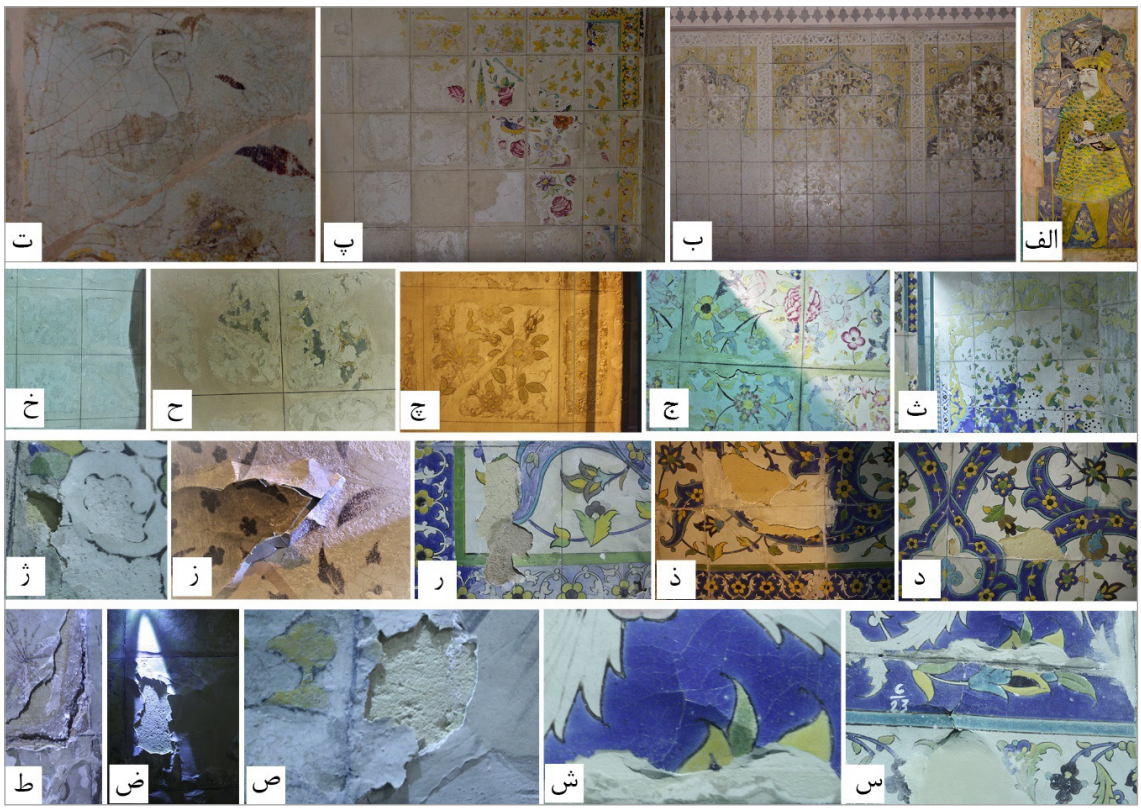
** کارشناس‌ارشد، گروه مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان.
*** دانشیار، گروه مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان (نویسنده مسئول). p.holakoiuie@aui.ac.ir

مقدمه

حمام علی‌قلی‌آقا یکی از بناهای تاریخی اصفهان است که در آن کاشی هفت‌رنگ به‌صورت گسترده‌ای به کار رفته است. این حمام را علی‌قلی‌آقا از درباریان دو پادشاه عصر صفوی یعنی شاه سلیمان (سال‌های حکومت ۱۰۷۷-۱۱۰۵ ه.ق.) و شاه سلطان حسین صفوی (سال‌های حکومت ۱۱۰۵-۱۱۳۵ ه.ق.) در مجموعه‌ای که خود بانی آن بود، بر پا کرده است. اگرچه کتیبه‌ای تاریخ‌دار از این بنا به دست نیامده و تاریخ ساخت بنا هم‌زمان با ساخت مسجد علی‌قلی‌آقا که در مجاورت بناست، در نظر گرفته می‌شود (یعنی سال ۱۱۲۲ ه.ق.) (حاجی قاسمی، ۱۳۸۳: ۵۴)، ظاهراً این بنا سنگابه‌ای به تاریخ ۱۱۱۰ ه.ق. داشته که در سال ۱۳۷۴ از بین رفته است (ملازاده، ۱۳۷۹: ۷۶). این درحالی است که جابری انصاری (۱۳۲۲: ۱۳۰)، تاریخ ساخت بنا را ۱۱۱۲ ه.ق. عنوان می‌کند که نشان می‌دهد بنای حمام قبل از بنای مسجد علی‌قلی‌آقا به اتمام رسیده است. این بنا با شماره ۲۶۶ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده و متشکل از حمام بزرگ اصلی، حمام کوچک و یک استخر شنا و آب‌تنی معروف به چهارحوض است. ورودی حمام بزرگ یک فضای هشت‌ضلعی دارد که به هشتی مشهور است و پس از عبور از دو راهروِی عمود بر هم، به سربینه (رخت‌کن) متصل می‌شود. سربینه حمام نیز خود یک هشت‌ضلعی بزرگ است. تزئینات بنا هم شامل کاشی‌کاری، نقاشی دیواری و آهک‌بری می‌شود (آقاجانی و همکاران، ۱۳۸۲).

بجز کاشی‌کاری‌های گرم‌خانه و بخشی از چهارحوض که به دوران قاجار تعلق دارند، تزیینات کاشی‌کاری حمام متعلق به دوران صفوی است. به نظر می‌رسد بعضی از کاشی‌های دوره صفوی در دورهٔ قاجار، جایگزین شده باشند (شکل ۱). کاشی‌های هفت‌رنگ که در تزئین ازاره‌ها به کار رفته، ابعادی در حدود ۲۴×۲۴ سانتی‌متر دارند. ارتفاع ازاره‌ها در فضاهای مختلف متفاوت است به‌طوری‌که در سربینه این ارتفاع ۱۴۰ سانتی‌متر، در میان‌در و گرم‌خانه‌ها ۱۴۶ سانتی‌متر و در چهارحوض ۱۶۸ سانتی‌متر است. غیر از کاشی هفت‌رنگ، کاشی‌های زیررنگی و تک‌رنگ نیز در بنا وجود دارد.

بنای حمام علی‌قلی‌آقا تا سال ۱۳۷۳ به‌عنوان حمام مورد استفاده قرار می‌گرفته، بعد از آن مدتی از حمام کوچک استفاده اندکی می‌شده، و قسمت چهارحوض آن برای مدتی به‌عنوان انبار چوب مورد استفاده بوده است. برای اولین‌بار فعالیت‌های



شکل ۱. تصاویری از آسیب‌های وارد بر کاشی‌های هفت‌رنگ حمام علی‌قلی‌آقا در قسمت‌های (الف، ب، ت، ز، ض و ط) چهارحوض، (پ، چ و خ) گرم‌خانهٔ بزرگ، (ث، ژ، س، ش و ص) سربینه بزرگ، (ج) شاه نشین، (ح، چ و خ) گرم‌خانهٔ کوچک، و (د، ذ و ر) سربینه کوچک (نگارندگان، ۱۴۰۱)

مربوط به حفظ و مرمت حمام از زمستان سال ۱۳۷۹ توسط گروه امانی در سازمان نوسازی و بهسازی شهرداری اصفهان شروع شد. از اواسط اردیبهشت سال ۱۳۸۰ نظارت اجرای عملیات مرمتی را حسین آقاجانی اصفهانی و مسعود آقاجانی اصفهانی برعهده گرفتند. طی فعالیت‌های حفاظت و مرمت چند قاب از کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا در موزهٔ چهلستون اصفهان نگهداری و بعد از مرمت در جای اصلی خود در حمام، نصب شدند. لازم به ذکر است در فرایندهای حفظ و مرمت بنا که در سال ۱۳۸۰ روی داد، بعضی از الحاقات دوره‌های بعدی از بنا حذف و کاشی‌های تک‌رنگ ساده جایگزین آن‌ها شد.

تنها پژوهش انجام‌شده برای حفظ و مرمت کاشی‌های بنای حمام علی‌قلی‌آقا را «محسن تاکی» (۱۳۸۱) در پایان‌نامه کارشناسی خود، بر یک قاب از کاشی‌های هفت‌رنگ این بنا که در موزه چهلستون اصفهان نگهداری می‌شده، انجام داده است. «محسن طبسی» (۱۳۷۸) نیز بررسی‌هایی دربارهٔ محله علی‌قلی‌آقا و حمام بزرگ و کوچک، انجام داده و به آسیب‌شناسی و طرح مرمت و احیای حمام، که در آن زمان توسط سازمان نوسازی و به‌سازی شهرداری اصفهان انجام می‌شده است، پرداخته است. از دیگر پژوهش‌های انجام‌شده در این زمینه به «پرستو موسوی» (۱۳۹۸) مربوط می‌شود که به بررسی نقاشی بر روی آهک‌بری‌ها در حمام‌های اصفهان پرداخته است. در این تحقیق به بررسی مواد و شرایط محیطی پرداخته شده است. همچنین در این تحقیق، کانی زئولیت در ترکیب با گچ به‌عنوان ماده افزودنی برای بهبود اندود گچ مرمتی، بررسی شده است. به‌طور کل، تحلیل تخریب و آسیب لعاب و کاشی‌های هفت‌رنگ، موضوع تحقیق‌های نسبتاً قابل‌توجهی بوده است (به‌عنوان مثال، زاهدیان، ۱۳۸۰؛ پورشیروی، ۱۳۷۴؛ اسدالله‌وش عالی، ۱۳۸۵؛ قیصری، ۱۳۹۸).

همان‌طور که ذکر آن رفت و شکل۱ نیز نشان می‌دهد، کاشی‌های لعاب‌دار (و به‌طور خاص کاشی‌های هفت‌رنگ) بنای حمام علی‌قلی‌آقا، دچار آسیب‌های گسترده‌ای شده است. در سربینهٔ بزرگ بنا، لعاب‌ها و کاشی‌های هفت‌رنگ ریختگی دارند. در سربینهٔ کوچک، ریختگی لعاب بیشتر در کنار بخش‌های مرمت‌شده مشاهده می‌شود. در قسمت‌هایی که کاشی‌ها در پشت شیشه محافظ قرار گرفته، این آسیب‌ها بیشتر مشاهده می‌شود. آسیب دیگری که این کاشی‌های هفت‌رنگ را تهدید می‌کند، وجود ریزترک در ساختار لعاب و بیسکویت کاشی است. همچنین لعاب کاشی‌ها در بخش گرم‌خانهٔ بزرگ و کوچک به رنگ‌پریدگی و ریختگی دچار شده‌اند. در بخش‌هایی از این کاشی‌ها نقش و طرح کاملاً ناپدید شده‌اند و تنها، اثر لعابی بر روی بستر سفید رنگ کاشی وجود دارد (شکل ۱). این پژوهش قصد دارد تا با تحلیل‌های آزمایشگاهی و میدانی، عوامل ایجاد این آسیب‌ها را تجزیه و تحلیل کند.

مواد و روش‌ها

نمونه‌ها

نمونه‌های مورد بررسی شامل نمک‌های متبلور می‌شود که در بخش‌های چهارحوض، گرم‌خانهٔ بزرگ و کوچک، سربینهٔ بزرگ و کوچک، گاورو (سمت خانهٔ مجاور حمام، سقف گاورو به سمت پشت‌بام)، سمت جنوب حمام (سمت بازار) و همین‌طور، کاشی‌های هفت‌رنگ صفوی و قاجاری که در ازاره‌های سمت سربینهٔ بزرگ و کوچک مربوط به دورهٔ صفوی، گرمخانهٔ بزرگ (دورهٔ قاجار)، و گرمخانهٔ کوچک (دورهٔ صفوی) قرار گرفته‌اند (شکل ۲). در مجموع، ۱۲ عدد نمونه از کاشی‌های لعاب‌دار از قسمت‌های سربینه بزرگ و سربینه کوچک، گرمخانهٔ کوچک متعلق به دورهٔ صفوی و گرم‌خانهٔ بزرگ متعلق به دورهٔ قاجار برداشته شد. مبنای تشخیص کاشی‌های صفوی از قاجار، تفاوت ظاهری در نقوش و رنگ‌های لعاب (رنگ قرمز در کاشی‌ها دورهٔ صفوی به کار نرفته است) و همچنین، رنگ بیسکویتی کاشی‌ها بود (بدنه کاشی‌های دورهٔ صفوی نخودی رنگ و بدنه کاشی‌های دورهٔ قاجار قرمز رنگ بود). این کاشی‌ها، به‌ویژه کاشی‌های دورهٔ صفوی، دچار آسیب قابل توجهی در اتصال لعاب به بدنه شده بودند، و در قسمت گسترده‌ای از ازارهٔ بنا درحال ریختن از سطح بدنهٔ کاشی هستند. همین‌طور، تعداد قابل توجهی از کاشی‌ها (به‌طور خاص کاشی‌های دوره قاجار) دچار رنگ‌باختگی شده‌اند، به‌گونه‌ای‌که طرح و نقش آن‌ها با چشم تشخیص داده نمی‌شود.

نمک‌های متبلور تقریباً در همه‌جای بنا قابل مشاهده هستند (شکل ۲). به‌علت حجم زیاد و تبلور نمک‌هایی که در سربینه بزرگ و کوچک، گرم‌خانهٔ بزرگ و کوچک، و چهارحوض وجود داشتند، بندکشی کاشی‌ها سست و لایه لعاب به‌صورت گسترده‌ای دچار ریختگی شده بود. همین‌طور، در بخش آجرهای گاورو و بازار، آسیب شدیدی به ساختار آجرها در نتیجهٔ تبلور نمک‌ها ایجاد شده بود. به‌طور کل تعداد ۴۷ نمونه نمک، از قسمت‌های مختلف بنا برداشته شد. شکل‌های ۳ و ۴ مناطقی از بنا را که نمونهٔ لعاب کاشی‌ها و نمک‌ها از آن‌جا برداشته شد، نشان می‌دهد. به‌جزء نمونهٔ کاشی‌ها و نمک‌های متبلور، نمونه‌ای از محلول اسیدی که توسط پیشه‌وران صنف قلم‌زنی که در مجاورت بنا و در بازارچه علی‌قلی‌آقا مشغول فعالیت هستند نیز، تهیه شد. این نمونه، به این دلیل تهیه شد که آنیون‌های موجود در آن می‌توانست با نوع نمک‌هایی

که در قسمت غرب بنا و در مجاورت بازار درون چهارحوض مورد مشاهده قرار گرفت، در ارتباط باشد.

طیف‌بینی میکروراما‌ن

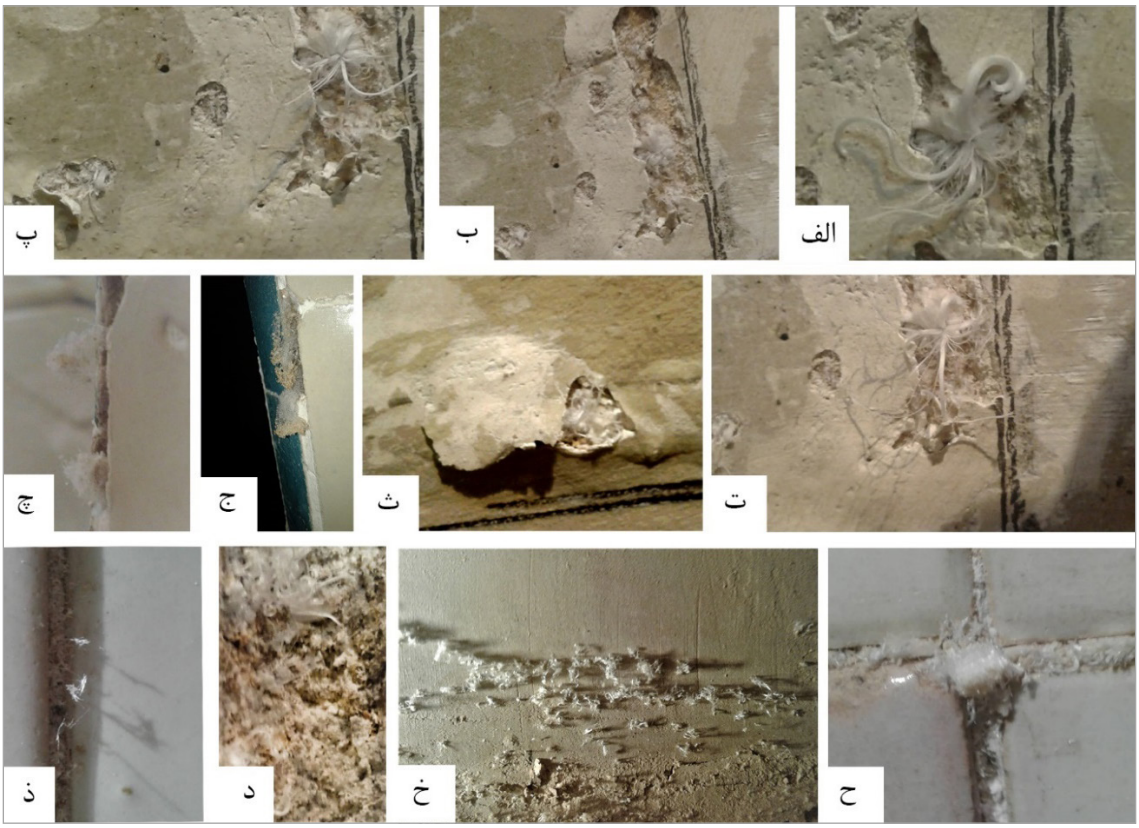
نمونه‌های نمک‌های متبلور با میکروسکوپ رامان تکرام، مدل DL-G100، و قدرت تفکیک بالا از شرکت تکسان، که با عدسی شئ ۶۰ برابر و لیزرهای ۵۳۲ و ۷۸۵ nm و آشکارساز ۱۰۴۸ پیکسلی با توان لیزر ۲ تا ۲۵ mW مجهز شده بود، مورد بررسی قرار گرفت. قدرت تفکیک فضایی حدود ۲ میکرون و قدرت تفکیک طیفی حدود ۵ cm^{-1} برای توری پراش ۱۲۰۰ شیار بر میلیمتر مورد استفاده بود. طیف‌سنجی رامان در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هنر اصفهان، انجام شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی-انرژی پرتو ایکس پراکنده‌شده (SEM-EDS)

نمونه نمک‌ها و لعاب با میکروسکوپ الکترونی روبشی فیلیپس XL30، با الکترون‌های پخش برگشتی (BSE)، در ولتاژ شتاب‌دهنده ۲۰ kV انجام شد. اندازه‌گیری نیمه‌کمّی عناصر به مدت ۱۰۰ ثانیه در فشار بالا و خلأ در آزمایشگاه میکروسکوپ الکترونی دانشکده مهندسی مواد دانشگاه صنعتی اصفهان، صورت گرفت.

دوربین حرارتی، آزمایش‌های شیمی تر و ثبت دما

تصاویر دوربین حرارتی از سطوح معماری و تزئینات بنای حمام علی‌قلی‌آقا، در دو فصل تابستان (۴ تیر ۱۴۰۱) و زمستان (۴ دی ۱۴۰۱) با فاصله ۶ ماه، با دستگاه Testo 872 ساخت کشور آلمان، تصویربرداری شد. این تصاویر به این دلیل تهیه شد تا توزیع رطوبت بر روی سطوح و همین‌طور مکان‌هایی که نمک‌های متبلور در آن‌ها تشخیص داده شد، مورد بررسی قرار گیرد. به‌علاوه تصاویر دوربین حرارتی این امکان را فراهم آورد تا رطوبت صعودی و نزولی در بنا، بعد از بارندگی در فصل سرد و در زمان فعالیت سیستم تهویه مطبوع در فصل گرم، بررسی شود. تصاویر دمایی با این دوربین بین دمای ۳۰ تا ۱۰۰ درجه سلسیوس، ثبت می‌شود. وضوح تصاویر گرمایی ۴۸۰×۶۴۰ پیکسل بوده و با حساسیت دمایی(NETD) زیر ۰/۰۵ سلسیوس کار می‌کند. تست شیمی تر آنیون‌ها هم با توجه به دستورالعمل‌های اسولا (۱۳۷۶)، مورد تجزیه کیفی



شکل۲. نمک‌های متبلور و تخریب‌های حاصل از آن در کاشی‌های گرم‌خانهٔ بزرگ (خزینه، الف: فروردین نمونه‌برداری شده است. رشد کریستال نمک بعد از نمونه‌برداری- ب: خرداد- پ: شهریور- ت: دی)، جنوب چهارحوض (ث، ج، چ)، لنگ‌شویی (ح، ذ)، غرب چهارحوض (خ)، شمال گرم‌خانهٔ بزرگ (د)، (نگارندگان، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱)

قرار گرفت. ثبت دما و رطوبت با دستگاه دما- رطوبت‌سنج مدل Cosy ساخت شرکت DFA-Dostmann، آلمان انجام شد.

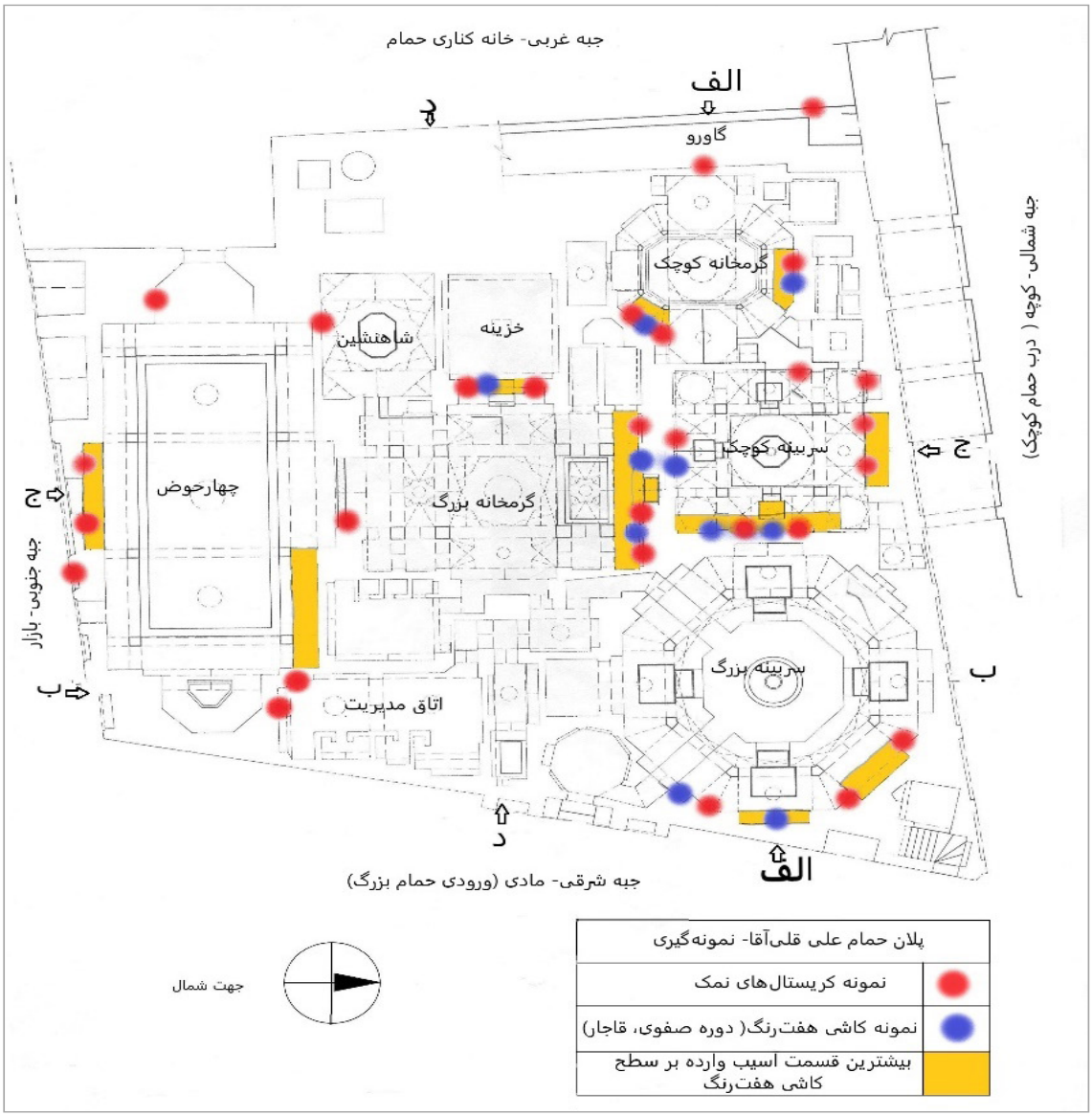
نتایج و بحث

رطوبت در بنا

ازآنجاکه افزون بر رطوبت و در پی آن تسریع فرایندهای خوردگی لعاب، حلّ و جابه‌جایی نمک‌های محلول در بدنهٔ کاشی‌ها نیز می‌توانند موجبات تخریب کاشی‌ها را فراهم آورند، ابتدا حضور رطوبت در بنای حمام علی‌قلی آقا با تصاویر دوربین حرارتی و رطوبت‌سنج مورد بررسی قرار گرفت. چنان‌که در ادامه آمده است، داده‌ها نشان می‌دهند که تأثیرات رطوبت صعودی، نزولی و تعریقی، همگی به‌طور فعال در بنای حمام مشاهده می‌شوند.

رطوبت صعودی

در بخش جنوب سربینه، اثر نم و رطوبت بر روی کاشی‌ها به‌وضوح قابل شناسایی است (شکل ۵پ). پشت دیوار جنوبی سربینهٔ کوچک، بخش شمالی دیوار گرم‌خانهٔ بزرگ که سنگ آبسره و حوض وجود دارد، آسیب شدید لایه شدن لعاب کاشی‌ها مشاهده می‌شود. این رطوبت، آسیب شدیدی به کاشی‌های گرمخانهٔ بزرگ وارد کرده است. در بخش سربینهٔ کوچک هم کاشی‌های دورهٔ صفوی دچار ترک و ریختگی لایه‌های لعاب شده‌اند. رطوبت در این بخش ممکن است



شکل۳. موقعیت محل نمونه‌برداری از کاشی‌ها و نمک‌های متبلور در بنا (منبع پلان: مرکز اسناد میراث فرهنگی استان اصفهان) ، لکه‌گذاری بر روی پلان مربوط به سال ۱۴۰۰ است)

مربوط به تأسیسات حمام باشد که در آن، لوله‌های PVC داخل کانال گذاشته شده‌اند. این لوله‌ها با سیمان پرتلند و سپس با خاک پوشیده شده‌اند. در نهایت، پوشش نهایی روی این مجموعه، کار شده است (شکل ۵الف).

رطوبت در بخش دیوار جنوبی چهارحوض که مشرف به بازار است، به‌دلیل آب‌ریزی مغازه‌داران در کف بازار، به بنا وارد می‌شود (شکل ۵ب). فعالیت‌های صنف قلم‌زن در بازارچه علی‌قلی‌آقا موجب می‌شود که اسیدشویی قابل‌توجهی در بازارچه انجام شود. استفاده از محلول‌های اسیدی حاوی یون‌های نیترات، کلرید و سولفات (نمونه ۴۸ در جدول۳) موجب نفوذ نمک‌های نیتراته، سولفاته و کلریدی به این قسمت بنا شده است.

به‌رغم این‌که در سرتاسر کوچهٔ مشرف به دیوار شمالی کانال ناکش جهت دفع رطوبت در کوچه و نهر مجاور در دو جبههٔ شمال و شرق بنا ایجاد شده است، این دیوار نیز بر اثر رطوبت آسیب دیده است. عرض کوچه شمالی حمام کم بوده و شیب کوچه به سمت حمام است. در فصل بارندگی، باران در این مسیر عبور می‌کند تا به مادی مجاور بنا سرازیر شود. در صورت تجمع آب در کوچه، با حرکت وسایل نقلیه آب به سطح دیوار پاشیده می‌شود. همچنین پوشش کف کوچه با سنگ‌فرش باعث حبس رطوبت در زیر این سنگ‌ها و نفوذ به دیوارهای بنا می‌شود. قرارگیری ناودان خانهٔ همسایه شمالی در کنار دیوارِ بنای حمام نیز

شکل۴. محل نمونه‌برداری از نمک‌ها بر روی نما- برش بنا (نمک‌های تشخیص‌داده‌شده در هر نقطه از جدول ۳ قابل ردیابی و محل برش‌ها از شکل ۳ قابل استخراج است)، (منبع برش‌ها: مرکز اسناد میراث فرهنگی استان اصفهان، لکه‌گذاری بر روی پلان مربوط به سال ۱۴۰۰ است)

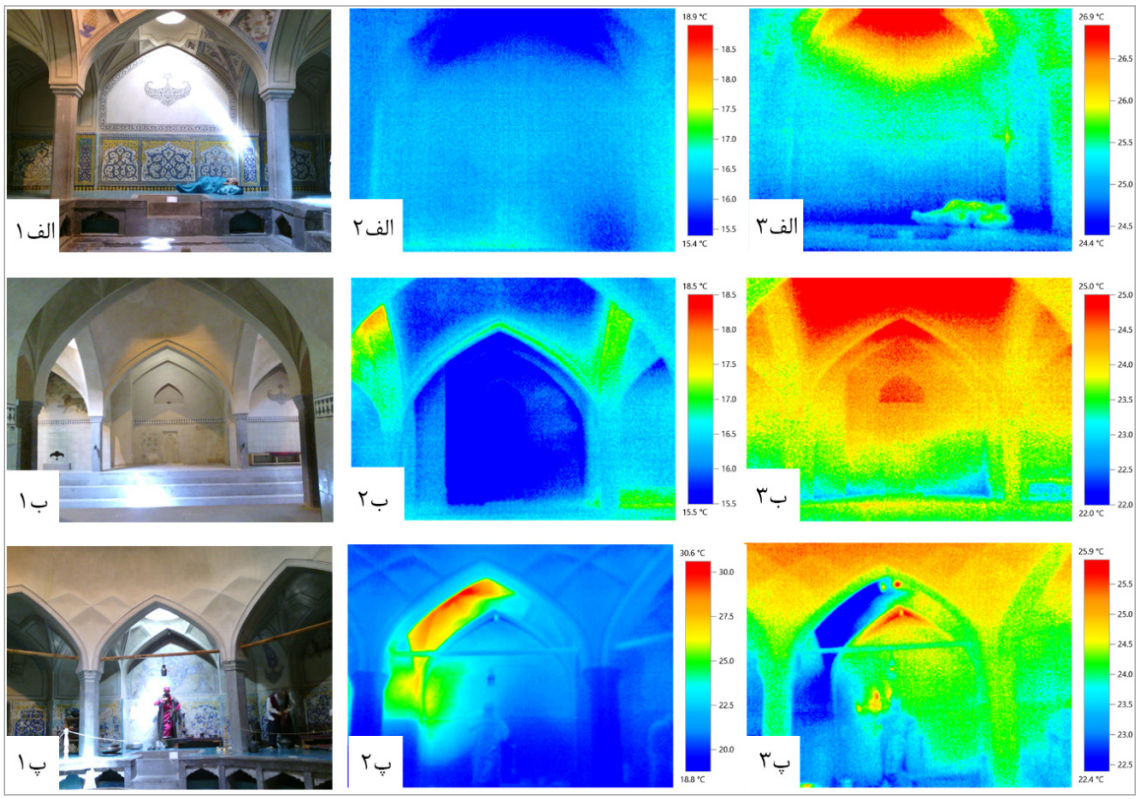
باعث سرازیر شدن آب باران در این نقطه می‌شود. مسئله دیگر این‌که تصاویر دوربین حرارتی به‌وضوح نشان می‌دهند که تعدادی از کانال‌های ناکش این قسمت کار نمی‌کنند. درواقع، از بعضی باد گرم خارج می‌شود و در تعدادی اصلاً هیچ جریانی از هوا وجود ندارد (شکل ۶ پ).

رطوبت تعریقی

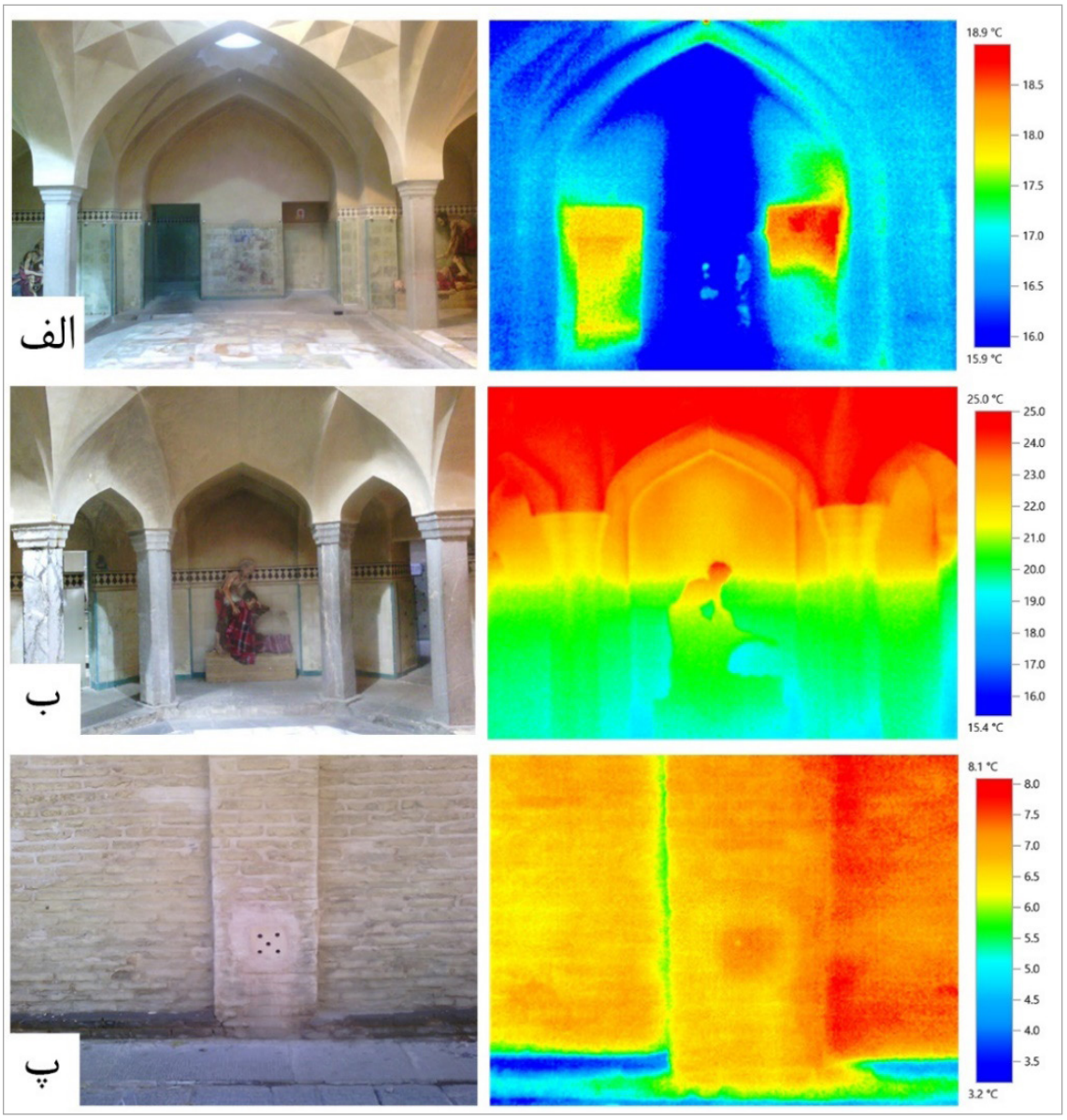
رطوبت تعریقی در سربینهٔ بزرگ عمدتاً ازطریقِ کانال‌های گرم‌کننده و خنک‌کننده، ایجاد شده است. این سیستم‌ها روی پشت‌بام قرار دارند و در فصل تابستان با چگالش رطوبت باعث تولید آب جاری بر روی سطح پشت‌بام می‌شوند (شکل ۵پ۳). وجود سیمان و پوشش ایزوگام روی سقف نیز باعث حبس رطوبت در ساختمان می‌شود (سقف بنای حمام علی‌قلی‌آقا در هنگام مرمت‌های دهه ۱۳۸۰ سیمان و ایزوگام شده است). گرم‌خانه که فضای تقریباً مستطیل شکلی بر روی شش ستون سنگی و دیوارهای جانبی دارد و در کف با سنگ‌های مرمر پوشیده شده است، از طریق کانال‌های گربه‌رویی که در زیر کف بنا قرار گرفته است، گرم می‌شود. کانال‌های گربه‌رو اثر مفیدی در دفع رطوبت صعودی در بخش گرم‌خانهٔ بزرگ ندارند. البته این کانال‌ها برای خروج هوای گرم در زیر حمام استفاده می‌شده است. در مرمت‌های دهه ۱۳۸۰ با قرار دادن مسیر خروجی این کانال‌های گربه‌رو در پشت‌بام و یک ورودی در داخل گرم‌خانهٔ بزرگ برای خروج رطوبت از کف حمام استفاده کرده‌اند. این کانال‌ها درحال‌حاضر، مکانی برای تجمع رطوبت از بخش تون حمام شده است. در گرم‌خانهٔ کوچک به‌علت وجود سرویس بهداشتی، آبدارخانه و سیستم‌های تهویه، مقدار زیادی بخار آب ایجاد می‌شود که تغییرات دمایی می‌توانند به چگالش رطوبت بیانجامند (شکل ۶ب).

رطوبت نزولی

ورود نزولات جوی از مسیر کانال گربه‌رو پشت قاب‌کاشی شکارگاه، شاید مهم‌ترین مورد رطوبت نزولی در این بنا باشد. این مورد به‌وضوح در تصاویر دوربین حرارتی، پس از بارش باران در ۴ دی ۱۴۰۱، قابل مشاهده است (شکل ۶الف). وجود منافذ باز کانال‌های ناکش به‌راحتی آب نزولات جوی را به پشت تابلوی شکارگاه هدایت می‌کند یا باعث کاهش قابل توجه دما در پشت قاب کاشی شکارگاه می‌شود (شکل ۶الف). مشکل دیگر این که کاشی‌های قاب شکارگاه در مرکز مکانی قرار دارند که محل عبور هوای گرم از ورودی سربینه و اتاق راهنمای موزه است. این تنش‌های حرارتی می‌تواند باعث آسیب شدید به این قاب‌کاشی شود.



شکل۵. تصاویر دوربین حرارتی که در دی‌ماه (تصاویر وسط) و تیرماه (تصاویر سمت راست) سال ۱۴۰۱ از (الف) سربینه کوچک، (ب) چهارحوض و (پ) سربینه بزرگ، تهیه شده است (نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل۶ تصاویر دوربین حرارتی از (الف) قاب‌کاشی شکارگاه، (ب) جنوب سربینه کوچک در تابستان، و (پ) کانال ناکش کوچه شمالی حمام علی‌قلی‌آقا در زمستان (نگارندگان، ۱۴۰۱)

جدول۱. داده‌های اندازه‌گیری دما و رطوبت پس از بارش باران در تاریخ ۴ دی ۱۴۰۰

مکان مورد اندازه‌گیری	دما (C^0)	رطوبت نسبی(٪)	مکان مورد اندازه‌گیری	دما (C^0)	رطوبت نسبی(٪)
چهارحوض	۱۸	۳۲	گاورو	۱۵	۳۳
چهارحوض (پشت شیشه)	۱۸	۳۵	بازار	۱۵	۴۵
پرتره علی‌قلی‌آقا (پشت شیشه)	۱۸	۳۷	مادی (سمت بازار)	۱۵	۳۹
شکارگاه (پشت شیشه)	۱۸	۳۳	مادی (سمت در ورودی حمام)	۱۵	۳۳
سربینه کوچک	۲۰	۳۷	اتاق مدیریت (ظهر)	۲۰	۳۰
سربینه بزرگ	۲۱	۲۹	اتاق مدیریت (صبح)	۱۷	۳۷

(نگارندگان، ۱۴۰۰)

شیوه ساخت کاشی‌ها

پیش از مطالعه عوامل آسیب‌رسان به کاشی‌های هفت‌رنگ بنا، لازم است ساختار کاشی‌های بدنه مورد بررسی قرار گیرد. مطالعه فن‌شناسانه کاشی‌ها صرفاً به‌منظور شناخت بهتر عوامل آسیب‌رسان به‌ویژه تعیین ضریب انبساط حرارتی لعاب‌ها، صورت گرفت؛ چه ترک‌خوردگی، که شاید بارزترین آسیب کاشی‌های بنای حمام علی‌قلی‌آقا باشد، در اثر ایجاد تفاوت بین ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنه، اتفاق می‌افتد. همه کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا از نوع بدنه‌های آهکی-رسی است که بدنه‌ای رایج برای ساخت کاشی‌های هفت‌رنگ بوده است (Holakooei et al., 2014a: 174). بر روی بدنه آهکی-رسی کاشی‌های صفوی و قاجار یک لعاب سفید اپک‌شده با اکسید قلع وجود دارد. در حالی‌که لعاب سفید بستر کاشی‌های صفوی از نوع قلیایی- سربی با میزان کمتر از ۱۰ درصد از PbO است، لعاب سفید نمونهٔ کاشی‌های دورهٔ قاجار از نوع قلیایی-سربی، با بیش از ۱۵ درصد PbO است (جدول ۲).

در ساخت این کاشی‌ها، لعاب سفید قلیایی- سربی ابتدا روی بدنه رسی- آهکی پخته شده، پس از آن روی لعاب بستر سفید کاشی‌ها، لعاب‌های رنگی نقش و سپس پخته شده است. با این توصیف، این کاشی‌های هفت‌رنگ دو یا سه بار در کوره پخته شده‌اند؛ یک‌بار برای پخت بدنه، یک‌بار برای پختن لعاب سفید روی بدنه (این مرحله می‌توانست با مرحله قبل ادغام شود)، و یک‌بار برای حرارت دادن لعاب‌های رنگی روی لعاب بستر سفید. در این بین، ش‌یوهٔ اجرای لعاب سفید (پخت مستقل آن روی بدنه یا پخت هم‌زمان آن با بدنهٔ کاشی)، می‌تواند از اهمیت ویژه‌ای در پایداری کاشی در طولانی مدت، برخوردار باشد.

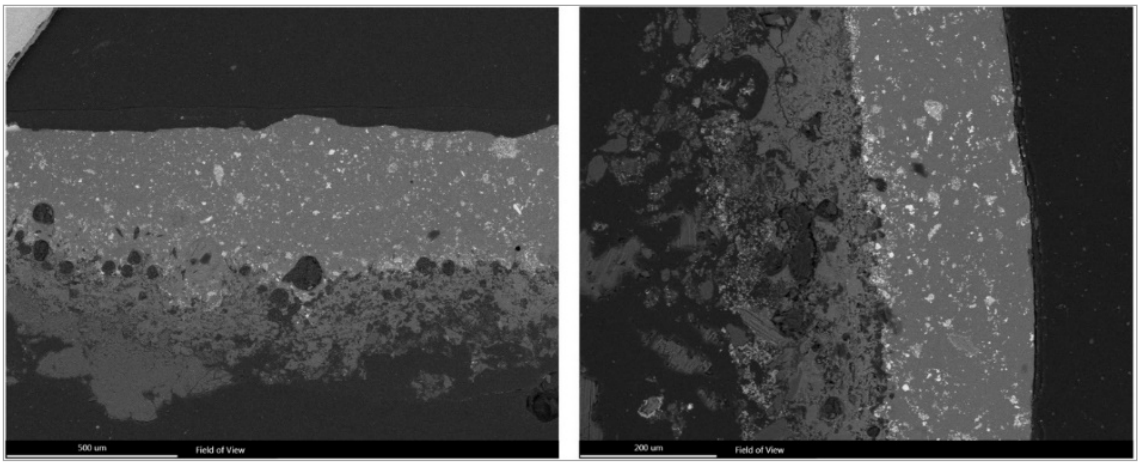
مشاهدات بیشتر با SEM روی مقطع کاشی‌های صفوی و قاجار، نشان دادند که لعاب سفید بستر در کاشی‌های هفت‌رنگ دورهٔ صفوی، احتمالاً پس از پخت بدنه و در یک پخت جداگانه قرار گرفته است. حضور کم بلورهای پیروکسن و فلدسپارهای غنی از سرب در مرز مشترک لعاب و بدنه در کاشی‌های صفوی، و همین‌طور، حضور کم حباب در لعاب‌های دورهٔ صفوی درراستای تأیید این فرضیه هستند. برعکس، در کاشی‌های هفت‌رنگ قاجاری واکنش شدید بین لعاب سفید بستر و بدنه که با حضور بلورهای بلند و درهم‌تنیده پیروکسن و همین‌طور حباب‌های زیاد قابل مشاهده بود، می‌تواند نشان‌دهندهٔ پخت هم‌زمان لعاب سفید بستر و بدنهٔ کاشی‌های هفت‌رنگ دوره قاجار باشد (شکل ۷). از مطالعهٔ فن‌شناسانه کاشی‌های حمام

جدول ۲. داده‌های تجزیه نیمه کمّی لعاب‌های بستر دوران صفوی و قاجار در بنای حمام علی‌قلی‌آقا با روش SEM-EDS

لعاب	دوره	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	PbO	K_2O	SnO_2	CaO	ضریب انبساط حرارتی $(10^{-6}/K)$*
سفید	صفوی	۹/۴	۲/۸	۱/۷	۵۹/۶	۶/۵	۴/۲	۹/۷	۵/۹	۹
	قاجار	۵/۵	۰/۷	۱/۱	۵۳/۴	۱۷/۹	۲/۲	۱۴/۴	۴/۸	۷/۵

(نگارندگان، ۱۴۰۰)

* ضریب انبساط حرارتی براساس مدل فلوگل (۲۰۰۷) محاسبه شده است.



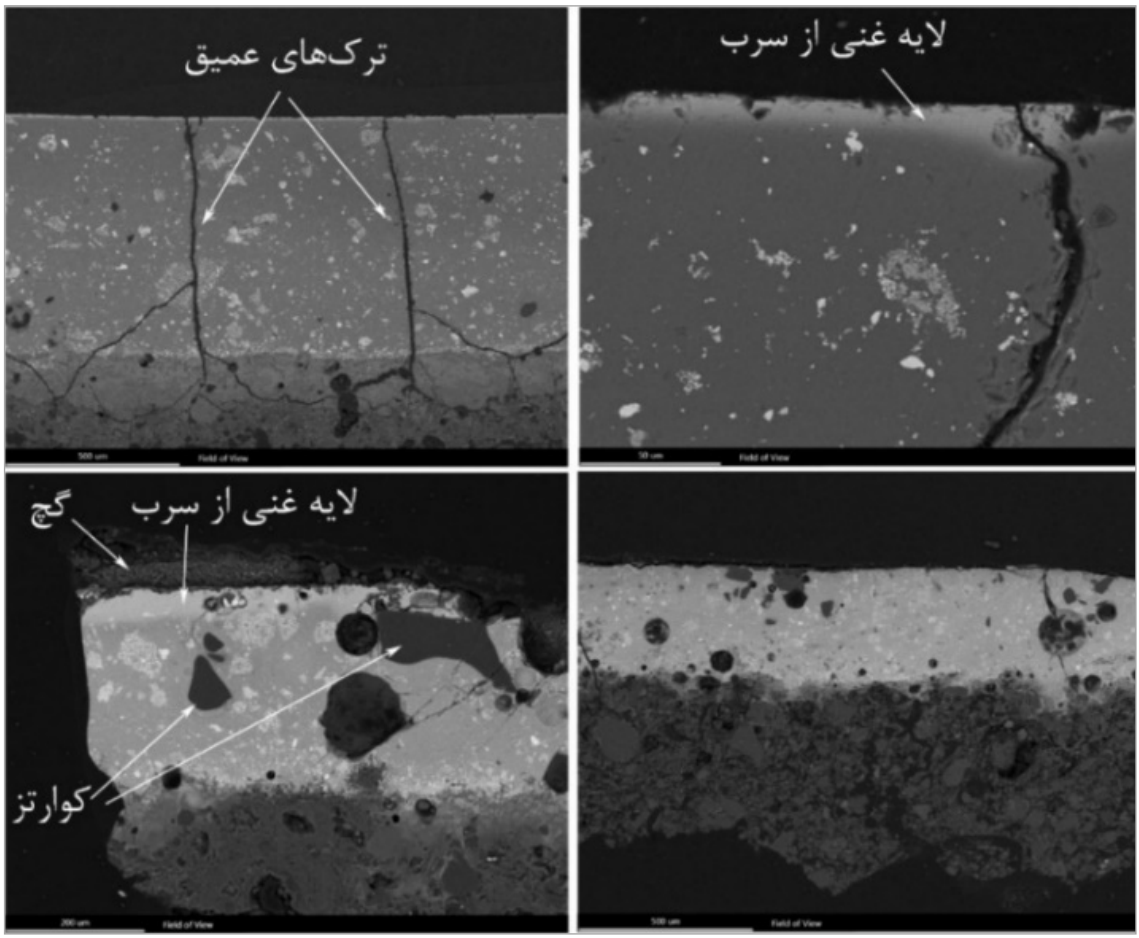
شکل ۷. (راست) مقطع کاشی دوره صفوی در گرم‌خانهٔ کوچک، (چپ) دوره قاجار در گرم‌خانهٔ بزرگ (به مرز مشخص بین لعاب و بدنه کاشی و حباب‌ها توجه شود.)، (نگارندگان، ۱۴۰۰)

علی‌قلی‌آقا می‌توان نتیجه گرفت که شیوه ساخت کاشی‌های هفت‌رنگ با آن‌چه دربارهٔ روش ساخت کاشی‌های هفت‌رنگ می‌دانیم، مطابقت دارد (Holakooei et al., 2014b: 458-459). اما مقصود غائی از مطالعات فن‌شناسانه و اندازه‌گیری غلظت عناصر در لعاب‌های صفوی و قاجار مربوط به تعیین ضریب انبساط حرارتی لعاب‌ها بود (ن.ک. به بخش بعدی) که نقش تعیین‌کننده‌ای در ترک‌خوردگی و جدایش لعاب‌های رنگی از روی بدنه کاشی دارد.

تخریب در لعاب کاشی‌ها

تفاوت در ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنه می‌تواند دلیل مهمی برای ایجاد ترک و گسیختگی لعاب از بدنه باشد. با توجه به داده‌های جدول۲، ضریب انبساط حرارتی لعاب سفید دورهٔ قاجار، حدود $۷/۵\times۱۰^{-۶}$ 1/K بود که به مقدار زیادی به ضریب انبساط حرارتی بدنه‌های رسی- آهکی، که معمولاً بین ۵×۱۰^{-۶} 1/K تا $۷/۵\times۱۰^{-۶}$ 1/K در نظر گرفته می‌شود (Tite et al., 1998)، نزدیک است. از طرف دیگر، لعاب بستر سفید کاشی‌های هفت‌رنگ دوره صفوی ضریب انبساط حرارتی بیشتری نسبت به بدنه آهکی- رسی خود دارد (جدول۲). این داده‌ها می‌تواند دلیل پوسته شدن بیشتر کاشی‌های صفوی نسبت به کاشی‌های قاجاری باشد.

از طرف دیگر، اگرچه کاشی‌های دوره قاجار همانند کاشی‌های دوره صفوی پوسته نشده و از بدنه جدا نشده بودند، اما ریزترک‌های زیادی داشتند و دچار رنگ‌باختگی زیادی شده بودند. مشاهدات SEM، نشان داد که لعاب بستر سفید رنگ در کاشی‌های قاجاری حاوی مقادیر قابل توجهی کوارتز حل‌نشده است (شکل۸). این نکته از اهمیت زیادی در جهت توضیح تخریب و رنگ‌باختگی لعاب‌های قاجاری، برخوردار است. تفاوت زیاد در ضریب انبساط حرارتی لعاب



شکل۸. (بالا، راست) لایه غنی از سرب روی لعاب صفوی، (پایین، راست) ترک‌های عمیق که از سطح تا عمق لعاب دوره صفوی به چشم می‌خورد، (پایین، راست) کاشی بستر سفیدرنگ دوره قاجار در گرم‌خانهٔ بزرگ با دانه‌های کوارتز حل‌نشده و حباب فراوان، (پایین، چپ) به دانه‌های کوارتز حل‌نشده و ترک‌های اطراف دانه بزرگ‌تر و همین‌طور لایه غنی از سرب و لایه گچ روی لعاب توجه شود (نگارندگان، ۱۴۰۰)

و کوارتزهای حل‌نشده (ضریب انبساط حرارتی کوارتز 1/K $۰/۵\times۱۰^{-۶}$ است)، موجب می‌شود در اثر نوسانات دمایی کوچک نیز ریزترک پیرامون دانه‌های کوارتزی ایجاد شود و در نهایت، لایه لعاب دچار تخریب گردد.

نمک‌های محلول در بنا

داده‌های آزمایشگاهی (جدول۳) نشان دادند نمک‌های نیترانه شامل نیترات‌های سدیم و پتاسیم، کلرید سدیم،

جدول۳. نتایج بررسی‌های طیف‌بینی رامان، SEM-EDS و شیمی تر در شناسایی نمک‌های موجود در بنا

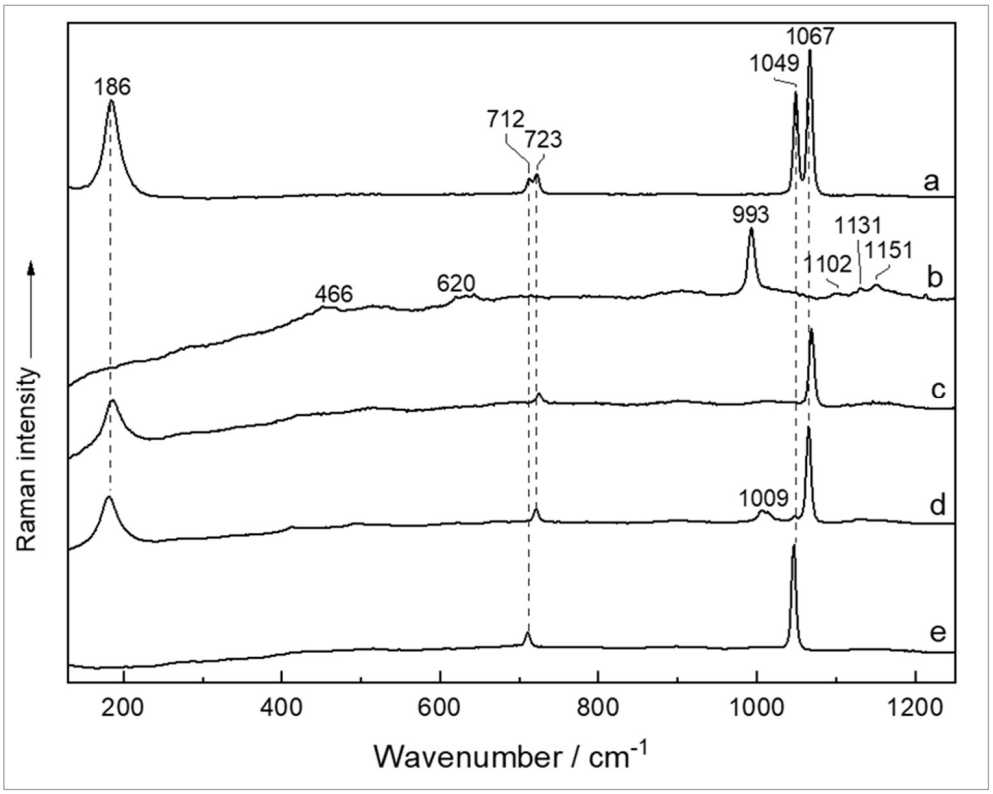
محل نمونه‌برداری	شماره نمونه در شکل ۴	قله‌های رامان (cm^{-1})	ترکیبات تشکیل‌دهنده	SEM-EDS	شیمی تر
بازار	۱	۹۵۰، ۱۰۵۵	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۲	۱۵۶، ۱۰۷۴	نیترات سدیم		
	۳	۵۵۳، ۱۰۵۲	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۴	۱۴۵، ۱۰۷۵	نیترات سدیم		
گاورو (سمت تون حمام)	۵	فلورسانس بالا			SO_4^{-2}, Cl^{-}
	۶	۳۵۰، ۱۰۵۷	نیترات پتاسیم		NO_3^{-}, Cl^{-}
	۷	۱۵۶، ۱۰۷۴	نیترات سدیم		
	۸	۷۱۶، ۱۰۵۶	نیترات پتاسیم		NO_3^{-}, Cl^{-}
اتاق مدیریت	۹	۳۵۰، ۱۰۵۷	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۱۰	۳۵۰، ۱۰۵۷	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۱۱	۵۴۹، ۱۰۵۴	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۱۲	۱۳۷، ۱۰۱۸	گچ		
گاورو (سمت پشت‌بام)	۱۳	۲۱۷، ۹۹۵	تناردیت		SO_4^{-2}
	۱۴	۹۳۱، ۹۹۹	تناردیت		SO_4^{-2}
	۱۵	۸۸۲، ۱۰۵۵	نیترات پتاسیم		SO_4^{-2}, Cl^{-}
سربینه کوچک	۱۶	۳۵۰، ۱۰۵۷	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۱۷	۳۵۰، ۱۰۵۷	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}$
	۱۸	۹۵۰، ۱۰۵۵	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۱۹	۱۵۶، ۱۰۷۴	نیترات سدیم		
	۲۰	۵۳۵، ۱۰۱۲	گچ		
	۲۱	فلئورسانس بالا			SO_4^{-2}, Cl^{-}
	۲۲	۹۳۶، ۱۰۱۳	گچ		SO_4^{-2}, Cl^{-}
	۲۳	۵۴۹، ۱۰۵۴	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^{-}.Cl^{-}$
	۲۴	۷۵۵، ۱۰۷۲	نیترات سدیم		
	۲۵	۹۳۶، ۱۰۱۳	گچ		

ادامه جدول۳. نتایج بررسی‌های طیف‌بینی رامان، SEM-EDS و شیمی تر در شناسایی نمک‌های موجود در بنا

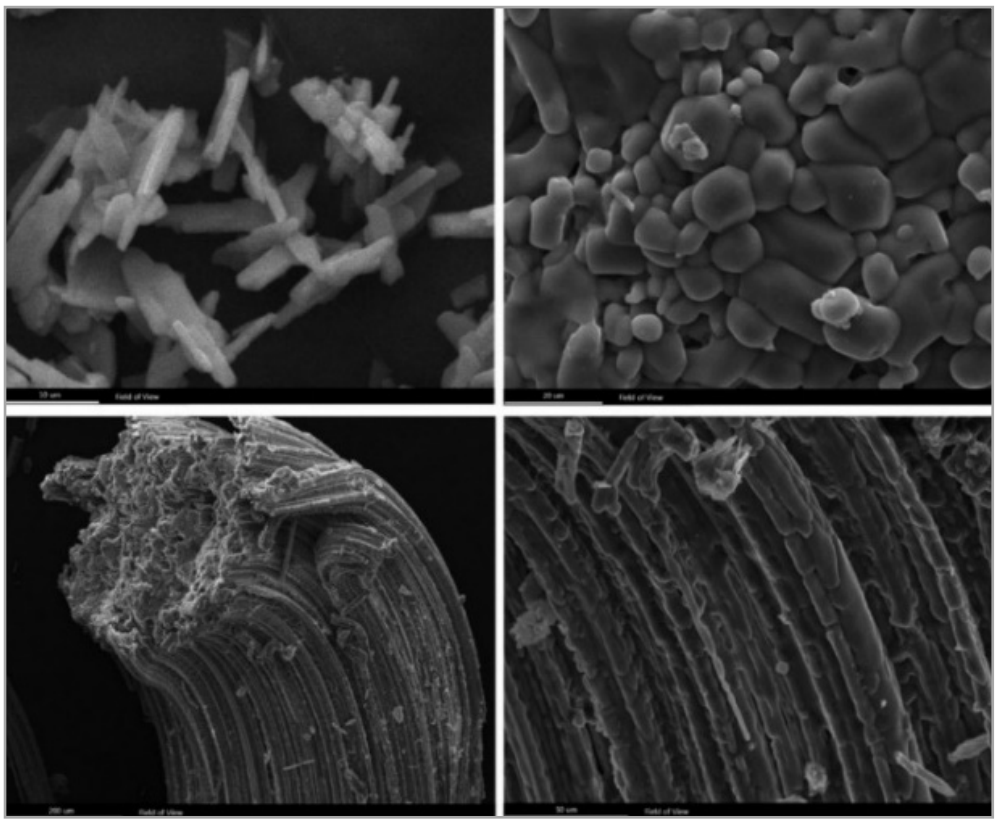
محل نمونه‌برداری	شماره نمونه در شکل ۴	قله‌های رامان (cm^{-1})	ترکیبات تشکیل‌دهنده	SEM-EDS	شیمی تر
سربینه بزرگ	۲۶	۱۰۹۰، ۹۶۱	کلسیت		SO_4^{-2}, Cl^-
	۲۷	فلئورسانس بالا			SO_4^{-2}, Cl^-
	۲۸	۱۰۵۵، ۹۵۰	نیترات پتاسیم		NO_3^-, Cl^-
گرم‌خانه (جنوب)	۲۹	۱۰۷۴، ۱۵۶	نیترات سدیم		$SO_4^{-2}.NO_3^-.Cl^-$
	۳۰	۱۰۱۲، ۵۳۵	گچ	Ca, S, O	
	۳۱	۱۰۷۵، ۵۵۶	نیترات سدیم		$SO_4^{-2}.NO_3^-.Cl^-$
	۳۲	۱۰۱۳، ۹۳۶	گچ		
چهارحوض	۳۳	۱۰۱۸، ۱۳۷	گچ		NO_3^-, Cl^-
	۳۴	۱۰۱۴، ۱۲۰	گچ	Ca, S, O	NO_3^-, Cl^-
	۳۵	۱۰۵۴، ۵۴۹	نیترات پتاسیم	N, O, Cl, Na, K	$SO_4^{-2}.NO_3^-.Cl^-$
	۳۶	۱۰۷۲، ۷۵۵	نیترات سدیم		
	۳۷	۱۰۱۲، ۵۳۵	گچ		
	۳۸	۱۰۵۳، ۱۴۹	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^-$
	۳۹	۱۰۵۷، ۳۵۰	نیترات پتاسیم		NO_3^-, Cl^-
	۴۰	۱۰۵۴، ۵۴۹	نیترات پتاسیم		$SO_4^{-2}.NO_3^-.Cl^-$
	۴۱	۱۰۷۴، ۱۵۶	نیترات سدیم		
	۴۲	۱۰۱۳، ۹۳۶	گچ		
	۴۳	۱۰۹۲، ۳۶۲	کلسیت		
خزینه، گرم‌خانهٔ بزرگ	۴۴	۱۰۷۶، ۹۵۷	نیترات سدیم		NO_3^-, Cl^-
	۴۵	۱۰۵۷، ۳۵۰	نیترات پتاسیم		NO_3^-, Cl^-
	۴۶	فلئورسانس بالا		Na, Cl	SO_4^{-2}, Cl^-
شاه‌نشین (شمال)	۴۷	۱۰۱۶، ۷۳۷	گچ		SO_4^{-2}
محلول اسیدی قلم‌زنان بازارچه	۴۸	pH = 1، احتمالاً ترکیبی از اسیدهای کلریدریک، سولفوریک و نیتریک			$SO_4^{-2}.NO_3^-.Cl^-$

(نگارندگان، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۱)

و نمک‌های سولفاته شامل گچ و تناردیت، در بسیاری از نقاط حمام وجود دارند. وجود تناردیت (Na_2SO_4) و گچ ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) در گاورو، و حضور قابل توجه نمک‌های نیتراته شامل نیترات سدیم ($NaNO_3$) و نیترات پتاسیم (KNO_3) در چهارحوض و در سمت بازار، از نکات قابل توجه در مشاهدات آزمایشگاهی بود (شکل‌های ۹ و ۱۰). در سربینه‌های بزرگ و کوچک، گرم‌خانه‌های بزرگ و کوچک و شاه‌نشین نیز نیترات‌های سدیم و پتاسیم و گچ، قابل شناسایی بود. در قسمت گاورو نیز وجود نمک‌های نیتراته و تناردیت مشهود بود. همین‌طور، حضور هالیت (NaCl) در



شکل۹. طیف‌های رامان نمک‌های (a و b) نیترات سدیم، نیترات پتاسیم در گاورو، (c) نیترات سدیم اتاق مدیریت کنونی، (d) نیترات سدیم و گچ در سربینه کوچک، روی سکو و (e) نیترات پتاسیم در شمال چهارحوض (نگارندگان، ۱۴۰۱)



شکل۱۰. (بالا، راست) بلورهای نیترات سدیم در غرب چهارحوض، (بالا، چپ) ژیپس در جنوب گرم‌خانه، (پایین) هالیت در گرم‌خانهٔ بزرگ (سمت خزینه)، (نگارندگان، ۱۴۰۰)

دیوار خزینه در گرم‌خانهٔ بزرگ نیز شایستهٔ توجه بود. تبلور گسترده بلورهای هالیت، گچ و نیترات سدیم و پتاسیم در بنای حمام علی‌قلی‌آقا در زیر لعاب کاشی‌ها باعث تخریب شدیدی در کاشی‌ها و جدایش لعاب از سطح بدنهٔ کاشی‌ها شده است (شکل ۱۰). با تطبیق مناطق مشخص‌شده در شکل ۴ و داده‌های جدول ۳، می‌توان نوع نمک‌های تشخیص‌داده‌شده در بنا را مشاهده کرد.

منشاء اصلی منبع یون سولفات نمک‌های سولفاته تناردیت و ژیپس را می‌توان به ملات مورد استفاده برای چسباندن کاشی‌ها، و همین‌طور بتونهٔ گچی مورد استفاده در فعالیت‌های مرمتی سال‌های گذشته، و همچنین محلول شستشوی اسیدی مورد استفاده در فعالیت‌های صنف قلم‌زن در بازارچه علی‌قلی‌آقا که اسیدشویی زیادی کنار حمام انجام می‌دهند، نسبت داد. این محلول‌های اسیدی حاوی یون‌های نیترات، کلرید و سولفات هستند و موجب ایجاد نمک‌های نیتراته، سولفاته و کلریدی در داخل بنا می‌شوند. تناردیت در رطوبت نسبیِ زیر ۷۱ درصد و در دمای ۲۰ درجه سلسیوس، پایدار است اما بالای این مقدار از رطوبت نسبی، به میرابلیت ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$) تبدیل می‌شود. با افزایش و کاهش دما و رطوبت، چرخه‌های تبدیل شدن تناردیت به میرابلیت می‌تواند به تخریب گسترده‌ای در یک ساختارِ متخلخل منجر شود (Ruiz-Agudo et al., 2007: 271). اما ژیپس حلالیت کمی داشته و در رطوبت نسبی بالا فقط تا حدی حل می‌شود. این ماده در ازاره‌های بنا معمولاً در ارتفاع کمی نسبت به کف بنا متبلور می‌شود (Crevals et al., 2021: 281). ژیپس می‌تواند باعث تخریب برخی از بدنه‌های سفالی شود و ممکن است منجر به تخریب شیمیایی مواد سرامیکی نیز گردد (Freedland, 1999: 59).

منشاء کلریدهای موجود در حمام علی‌قلی‌آقا را می‌توان به محلول اسیدی مورد استفاده در فعالیت‌های صنفی قلم‌زنان اطراف حمام، سرویس بهداشتی و استفاده‌های گذشته از بنا، نسبت داد. کلریدهای سدیم و پتاسیم هنگامی که رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۷۵ درصد باشد، متبلور می‌شوند. ازآن‌جایی‌که این نمک‌ها رطوبت زیادی جذب می‌کنند، وجود آن‌ها باعث افزایش رطوبت در مواد متخلخل و در پی آن، تخریب آن مواد می‌شود (Pavlíková et al., 2011: 1206). بلورهای هالیت (کلرید سدیم) معمولاً در امتداد یک محور رشد می‌کنند و پیچ می‌خورد و با ایجاد بلوری منظم از اندازه‌های مختلف، شکلی سوزنی یا لایه‌ای بر روی سطح ایجاد می‌شود (Brachaczek, 2018: 425) آن‌چنان‌که در شکل ۱۰، دیده می‌شود.

حضور نیترات‌ها در بنای حمام علی‌قلی‌آقا به‌طور خاص مربوط به استفاده گذشته بنا است. همین‌طور می‌توان به محلول اسیدی حاوی یون نیترات (اسید نیتریک) مورد استفاده در شست‌وشوی اسیدی آثار فلزی کسبه قلم‌زن اطراف حمام نسبت داد. نیترات‌های سدیم و پتاسیم اغلب در رطوبت نسبی کمتر از ۵۰ درصد متبلور نمی‌شوند و در محلول منافذ باقی می‌مانند. ازآنجایی‌که این نمک‌ها جاذب رطوبت هستند، وجود آن‌ها باعث افزایش رطوبت در مواد در پیرامون آن‌ها می‌شود (Pavlíková et al., 2011: 1206). نیترات سدیم هنگامی که رطوبت‌نسبی به زیر ۶۰ درصد برسد، از حالت سوزنی به شکلی ایزومتریک تبدیل می‌شود. زمانی که رطوبت نسبی دوباره بالاتر از ۶۰ درصد شود، نمک‌های بلورین ناپدید می‌گردند و در رطوبت بالاتر از رطوبت نسبی تعادلی خود حل می‌شوند. این چرخه‌ها در نهایت می‌تواند موجب تخریب گسترده یک ساختار متخلخل شود (Arnold & Zehnder, 1987:121). بلورهای نیترات پتاسیم می‌تواند لوله‌های مویین مصالح متخلخل را پر کند و در نتیجه، جریان رطوبت را محدود کند. در پی این موضوع، احتباس رطوبت در خلل و فرج موجب می‌شود نمک‌های نیتراته به حالت فوق اشباع برسد، سریع‌تر متبلور شود و در نهایت، تخریب سریع‌تر اتفاق بیافتد (Brachaczek, 2018: 425).

تحلیل تخریب کاشی‌ها با توجه به نوع نمک‌ها، جنس کاشی‌ها، منابع رطوبت و نوسانات دمایی

همان‌طور که داده‌های جدول ۱ نشان می‌دهند، تفاوت دمایی قابل توجهی در بخش‌های مختلف حمام وجود دارد. با توجه به تفاوت در ضریب انبساط حرارتی لعاب‌ها و بدنهٔ کاشی‌ها (جدول ۲)، تفاوت دمایی و تکرار چرخه‌های گرم و سرد، از نقش ویژه‌ای در تخریب و جدایش لعاب‌ها برخوردار می‌شوند. تفاوت ۵ درجه سلسیوس دما در یک ۲۴ ساعت و تکرار مداوم این چرخه، می‌تواند به آسیب‌های جبران‌ناپذیری در لعاب کاشی‌ها منجر شود. تفاوت دما بین فصول سرد و گرم که از تصاویر دوربین حرارتی قابل استخراج است و پیش از این آورده شد نیز، از عوامل تخریب و جدایش لعاب از بدنهٔ کاشی‌ها است. تصاویر دوربین حرارتی (شکل‌های ۵ و ۶) نشان می‌دهند که تفاوت بیشینه و کمینهٔ دما در بنا نه‌تنها بین دو فصل گرم و سرد سال زیاد است، بلکه تفاوت دما در یک روز و زمان مشخص، در پایین و بالای بنا، قابل توجه است و در مواردی به ۱۰ درجه سلسیوس نیز می‌رسد (ن.ک. تفاوت بیشینه و کمینه دما در شکل ۶).

از طرف دیگر، تغییرات رطوبتی نه‌تنها باعث تبلور و انحلال نمک‌های محلول در کاشی‌ها می‌شوند، بلکه تغییر در اندازهٔ

بدنه کاشی‌ها را نیز به‌دنبال خواهند داشت. در رابطه با رطوبت نسبی می‌توان گفت تفاوت ۱۶درصدی رطوبت‌نسبی بین بیشترین و کمترین مقدار رطوبت‌نسبی، می‌تواند امکان تبلور و بازتبلور نمک‌ها را فراهم کند. این موضوع به‌طور مستقیم به نوع نمک‌های شناسایی‌شده و رطوبت‌نسبی تعادلی آن‌ها، بستگی دارد. باید توجه کرد که در فرایند تبلور و انحلال نمک‌های شناسایی‌شده در بنا، رطوبت نسبی تعادلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این نمک‌ها فقط درصورتی‌که رطوبت نسبی محیط کمتر از رطوبت نسبی تعادلی محلول نمک اشباع‌شده‌شان باشد، متبلور می‌شوند (Arnold & Küng, 1985: 258). رطوبت نسبی تعادلی نمک‌های NACL، $NaNO_3$، $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$، KNO_3 و $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ که در بنا تشخیص داده شد، در دمای ۲۰ درجه سلسیوس به‌ترتیب ۷۵/۵، ۷۵/۴، ۹۳/۶، ۹۴/۶ و ۹۹/۹۶ درصد است (Arnold & Zehnder, 1987: 104). بنابراین، رطوبت نسبی ۴۱ درصد که به نظر رطوبت نسبیِ بی‌خطر برای انحلال و بازتبلور نمک‌ها شناسایی شده است، ممکن است برای کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا خطرآفرین به نظر نرسند. اما واقعیت آن است که وقتی نمک‌ها، چنان‌که دربارهٔ کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا مصداق دارد، در ترکیب با یکدیگر یافت شوند، رطوبت نسبی تعادلی تغییر می یابد و چرخه‌های انحلال و تبلور نمک‌ها به‌طور پیش‌بینی‌ناپذیری، تغییر می‌کنند. مسئله نم و رطوبت در بنای حمام علی‌قلی‌آقا اگرچه قبلاً مشاهده شده است (موسوی، ۱۳۹۸)، اما اثر رطوبت و تبلور نمک‌ها در تخریب کاشی‌های حمام در سال‌های اخیر گسترش پیدا کرده و درحال پیشروی است. همان‌طور که شکل۲ نشان می‌دهد، فرایند رشد نمک بین فروردین سال ۱۴۰۰ در هنگام نمونه‌برداری تا ماه‌های خرداد، شهریور و دی همان سال سریع و چشمگیر بوده است.

در تخریب کاشی‌ها نکته‌ای که نمی‌توان آن را از نظر دور داشت، این است که در فرایندهای حفاظت و مرمت حمام در سال ۱۳۸۰، از تثبیت‌کننده‌های اکریلیک برای پوشش‌دهی لایه لعاب کاشی‌ها استفاده شده است. اگرچه دقیقاً مشخص نیست این تثبیت‌کننده در کدام قسمت از کاشی‌ها استفاده شده است، اما پوشش نفوذناپذیر این استحکام‌بخش می‌تواند باعث جلوگیری از تنفس در سطح کاشی شود. به عبارت دیگر، با عدم خروج نمک‌ها از سطح ترک‌خوردگی‌های لعاب، نهان‌شکفتگی نمک‌ها در پشت لایهٔ لعاب باعث جدایش و ریختگی لعاب کاشی می‌شود.

نکته دیگر آن‌که حضور رطوبت در بنا از موارد انکارناپذیر در فرایند تخریب لعاب کاشی، فارغ از بستر و بدنه‌ای که روی آن قرار گرفته است، در نظر گرفته می‌شود. هنگام تماس لعاب با رطوبت و در اثر پدیدهٔ تبادل یونی، یک لایه آمورف سیلیس رسوب و فاز ثانویه کریستالی روی لعاب تشکیل می‌شود. این تخریب‌ها منجر به براقیت کمتر، صافی کمتر، سطح خشن، در برخی موارد ترک‌ها و چاله‌های خوردگی متراکم و رسوبات در سطح لعاب می‌شود (Li et al., 2020: 6). این فرایند در نهایت به کاهش غلظت عناصر قلیایی از یک طرف و افزایش غلظت عنصر سرب روی سطح از طرف دیگر منجر می‌شود. این موضوع در شکل۸، به‌طور واضح قابل مشاهده است. به‌جز تخریب ناشی از تفاوت ضریب انبساط حرارتی بین لعاب و بدنه که موجب تخریب لایه لعاب می‌شود، تفاوت در ضریب انبساط حرارتی و رطوبتی لعاب سالم و لایه ژل سیلیکاتهٔ حاصل از تخریب لعاب نیز در نهایت، به جدایش و تخریب بیشتر لعاب و بدنه منجر می‌شود.

جمع‌بندی

امروزه تعدادی از حمام‌های تاریخی مرمت‌شده، به موزه‌های مردم‌شناسی و سفره‌خانه تبدیل شده‌اند. آن‌چنان که این تحقیق نشان می‌دهد، آسیب‌هایی بر اثر استفاده مجدد، به این آثار می‌تواند تحمیل شود. یکی از عواملی که می‌تواند موجبات تخریب گسترده را در تزئینات کاشی‌کاری این آثار ایجاد کند، مسئله رطوبت است. به‌طور خاص، آن‌چه دربارهٔ حمام علی‌قلی‌آقا پس از انجام آزمایش‌های طیف‌بینی میکرورامان، آزمون‌های شیمی تر و ریزتجزیه انرژی پرتو ایکس پراکنده‌شده همراه با میکروسکوپ الکترونی روبشی، می‌توان بیان کرد آن است که نمک‌های نیتراته، کلریدی و سولفاته ناشی از فعالیت‌های قبلی و فعلی درون یا پیرامون مجموعه حمام علی‌قلی‌آقا، نقش قابل‌ملاحظه‌ای در تخریب کاشی‌های هفت‌رنگ بنا دارند. همین‌طور، اختلاف در ضریب انبساط حرارتی لعاب و بدنهٔ کاشی‌های بنا، نوسانات دمایی درون بنا که توسط دما- رطوبت‌سنج و دوربین حرارتی ثبت شد، از دیگر عوامل آسیب‌رسان به کاشی‌های هفت‌رنگ بنا تشخیص داده شدند. نتایج این پژوهش نشان می‌دهند تا زمانی که منابع رطوبت و نمک‌های محلول هم‌چنان در محل وجود داشته باشند و اقدامی برای حذف و به

حداقل رساندن آن‌ها انجام نشود، و تا مادامی که تهویه مناسب فضای داخلی بنا منجر به ایجاد دما و رطوبت نسبی ثابت و متعادل (۲۰ درجه سلسیوس و ۳۰ درصد به‌ترتیب) در بنا نشود، فرایندهای تخریب کاشی‌های حمام علی‌قلی‌آقا با سرعت ادامه می‌یابند. پژوهش‌های آتی می‌توانند بر روی ارائه راهکار برای حذف رطوبت و نمک‌های محلول در بنا و همین‌طور پیشنهاد برای سیستم تهویه مناسب در بنا، متمرکز شوند.

تشکر و قدردانی

نویسنده اول این مقاله از آقایان مسعود و محمد آقاجانی اصفهانی، کارکنان و همکاران موزه حمام علی‌قلی‌آقا (خانم‌ها قریشی، جنتی و آقایان باقری، الهوردی و کیوانداریان)، سازمان بهسازی و نوسازی شهرداری اصفهان (آقای شیخ بهائی، بخش آتلیه، روابط عمومی آقای ذوالفقاری)، مرکز اسناد میراث فرهنگی، بخش کتابخانه، و ادارهٔ میراث فرهنگی شهرستان اصفهان (خانم‌ها شمعی، کریمی و ویلکیچی، آقای غلامی)، ادارهٔ امور فرهنگی موزه‌ها و بناهای تاریخی، اداره کل میراث فرهنگی استان اصفهان (خانم‌ها حمیدی و حسینی)، پایگاه میراث جهانی شهر تاریخی یزد (آقای مهندس فتاحی)، اداره میراث فرهنگی گردشگری و صنایع دستی شهرستان کاشان (آقای تراب‌زاده)، موزه مردم‌شناسی آستان قدس رضوی (خانم بداق‌آبادی)، هیئت امنای بازار علی‌قلی‌آقا (آقای آقاابراهیمی)، آقای پیام انتخابی، خانم پورموسی و اهالی بازار علی‌قلی‌آقا بابت همکاری‌شان تشکر می‌نماید.

فهرست منابع

- آقاجانی، حسین؛ روانفر، حسن و حمیدی، ساغر (۱۳۸۲). مرمت تزئینات وابسته به معماری حمام تاریخی علی‌قلی‌آقا مربوط به دوران صفویه در اصفهان. **مجموعه مقالات ششمین همایش حفاظت و مرمت اشیا تاریخی- فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی**، به‌کوشش عبدالرسول وطندوست، تهران: پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری: ۲۴-۱۱.
- اسدالله‌وش عالی، داوود (۱۳۸۵). "*بررسی علل تخریب و پیشنهاد مرمتی لعاب مشکی در تزئینات قاجاری با تکیه بر نمونهٔ مسجد و مدرسه سپهسالار تهران*". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- اسولا، گیولا (۱۳۷۶). ترجمه آزاده تجردی و فرانک منطقی، تهران: دانشگاه علم و صنعت ایران.
- پورشیروی، اصغر (۱۳۷۴). "*احیا و تحکیم لعاب لاجوردی کاشی‌های عصر قاجار در مسجد سید اصفهان*". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنراصفهان.
- تاکی، محسن (۱۳۸۱). "*حفظ و مرمت یک قاب کاشی هفت‌رنگ مربوط به حمام علی‌قلی‌آقا -اصفهان*". پایان‌نامه کارشناسی، مرمت آثار تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- حاجی‌قاسمی، کامبیز (زیر نظر) (۱۳۸۳). **گنجنامه: فرهنگ آثار معماری اسلامی ایران، دفتر هجدهم: حمام‌ها**، تهران: دانشگاه شهید بهشتی، روزنه.
- جابری انصاری، حاج‌میرزا حسن‌خان (۱۳۲۲). **تاریخ اصفهان**. به‌تصحیح جمشید مظاهری (۱۳۷۸)، اصفهان: مشعل.
- زاهدیان، کتایون (۱۳۸۰). "*بررسی عوامل تغییر رنگ در لعاب‌های زرد و سبز کاشی‌های هفت‌رنگ مسجد امام (دوره صفویه)*". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- طبسی، محسن (۱۳۷۸). "*مطالعه و شناخت مرکز محله علی‌قلی‌آقا و طرح مرمت و احیاء حمام*". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشکده پردیس اصفهان.
- قیصری، محمد (۱۳۹۸). "*فن‌شناسی و ساختارشناسی کاشی‌های دارای لعاب لاجوردی رنگ‌پریده مسجد سید اصفهان*". پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.
- ملازاده، کاظم (۱۳۷۹). **دایره المعارف بناهای تاریخی ایران در دوره اسلامی (۴)**، به‌کوشش کاظم ملازاده و مریم محمدی، تهران: سازمان تبلیغات اسلامی پژوهشگاه فرهنگ و هنر اسلامی حوزه هنری.
- موسوی، پرستو (۱۳۹۸). "*شناسایی و معرفی اندود مرمتی مناسب در دیوارنگاره‌های گرمابه‌های تاریخی اصفهان*".

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، مرمت اشیای فرهنگی- تاریخی، اصفهان: دانشگاه هنر اصفهان.

- Arnold, A., & Küng, A. (1985). Crystallization and habits of salt efflorescences on walls. Part I: methods of investigation and habits. V[th] International Congress on Deterioration and Conservation of Stone, Lausanne: Presses Polytechniques Romandes, 255-267.
- Arnold, A., & Zehnder, K. (1987). Monitoring Wall Paintings Affected by Soluble Salts. **The Conservation of Wall Paintings**, Marina del Rey: Getty Conservation Institute, 103-135.
- Brachaczek, W. (2018). Microstructure of renovation plasters and their resistance to salt. *Construction and Building Materials*, 182: 418-426.
- Crevals, V., Godts, S., & Desarnaud, J. (2021). Salt Problems and Climate Control in the Case of The Church of Sint-Aldegondis in Mespelare, Belgium, An Ecos/Runsalt Approach. Salt Weathering of Buildings and Stone Sculptures, 13.
- Freedland, J. (1999). "*Soluble Salts in Porous Materials*: *Evaluating Effectiveness of Their Removal*", PhD thesis, Historic Preservation, University of Pennsylvania.
- Holakooei, P., Tessari, U., Verde, M. & Vaccaro C.)2014a(. A new look at XRD patterns of archaeological ceramic bodies, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 118:165-176.
- Holakooei, P., Tisato, F., Vaccaro, C. & Petrucci, F.C. (2014b). *Haft rang* or *cuerda seca*? Spectroscopic approaches to the study of overglaze polychrome tiles from seventeenth century Persia, *Journal of Archaeological Science*, 41: 447–460.
- Li, Z., Ma, Y., Ma, Q., Chen, J., & Song, Y. (2020). New perspective on Jun glaze corrosion: study on the corrosion of light greenish blue and reddish-purple glazes from Juntai Kiln, Yuzhou, Henan, China. *Heritage Science*, 8(1): 1-11.
- Pavlíková, M., Pavlík, Z., Keppert, M., & Černý, R. (2011). Salt transport and storage parameters of renovation plasters and their possible effects on restored buildings' walls. *Construction and Building Materials*, 25(3): 1205-1212.
- Ruiz-Agudo, E., Mees, F., Jacobs, P., & Rodriguez-Navarro, C. (2007). The role of saline solution properties on porous limestone salt weathering by magnesium and sodium sulfates. *Environmental Geology*, 52: 269-281.
- Tite, M. S., Freestone, I., Mason, R., Molera, J., Vendrell-Saz, M., & Wood, N. (1998). Lead glazes in antiquity - methods of production and reasons for use. *Archaeometry*, 40(2): 241-260.

Received: 2023/05/24
Accepted: 2023/12/11

Deterioration processes of haft-rang tiles at the Ali Qoli Aqha bathhouse in Isfahan

Afsaneh Nasr Esfahani* Parviz Holakooei**

Abstract

Ali Qoli Agha bathhouse was built in the Safavid period and was decorated with glazed haft-rang tiles. The architectural revetments underwent some interventions during the Qajar period so that wall paintings were added and new haft rang tiles adorned the interior decoration of the building. The haft rang tiles bear floral and animal patterns together with geometric designs. In the first glance, a severe damage can be evinced within the tiles. While the Safavid tiles suffer from detachment of the low lead alkali white glaze layer, the Qajar tiles are severely faded so that patterns cannot be observed readily and the designs may not be tracked easily with naked eyes. We show that a significant difference between the thermal expansion of the Safavid lead alkali glaze and that of the calcareous clay body is the main reason for the detachment of the Safavid glazes from their body. Also, the Qajar glazed tiles are mainly faded due to the alkali leaching and, in addition, the undissolved quartz crystals and bubbly glazes have imposed to the glazes. Our field observations furthermore show that the crystallization of soluble salts in the monument is on significant importance in the deterioration of the glazed tiles. Based on scanning electron microscopy – energy dispersive spectrometry (SEM-EDS), micro-Raman spectroscopy and chemical wet tests, we show that calcium sulphate dihydrate, sodium and potassium nitrates and sodium chloride are the main salts attacking the glazed tiles. In fact, soluble chloride, sulphate and nitrate salts in the building accelerate the deterioration process of the tiles by crystallization and dissolution cycles which occur within the equilibrium relative humidity (EQRH) of the salts. We demonstrate that these salts are originated from past and current activities in or around the bathhouse. Based on field observations and analysis of thermal camera data, we show that ascending, descending and condensed humidity caused by precipitation, local activities in the vicinity of Ali Qoli Agha bath and activities within the Ali Qali Agha bath are the main reasons for the destruction of haft rang Safavid and Qajar tiles. This research shows that the combined effect of the cycles of crystallization, dissolution and recrystallization of soluble salts along with temperature and humidity fluctuations have weakened the adherence of the glaze to the body of the tiles from Ali Qali Agha bathhouse and has caused considerable damage.

Keywords: Ali Qoli-Agha bath, haft rang tile, glaze, Safavid, Qajar, deterioration

* Department of Objects Cnservation and Archaeometry, Art University of Isfahan.
** Department of Objects Cnservation and Archaeometry, Art University of Isfahan.