



بررسی قدمت نمونه‌های کاشی قبه سبز کرمان به روش ترمولومینسانس

وحیده رحیمی مهر*^۱، مولود سادات عظیمی^۲

۱. استادیار، گروه معماری، دانشکده هنر، معماری و شهرسازی واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
۲. مسئول آزمایشگاه و متخصص سال‌یابی پژوهشکده حفاظت و مرمت پژوهشگاه میراث فرهنگی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۸

چکیده

شرح معماری بنایی باشکوه از دوره قراختائیان کرمان در سفرنامه‌های افرادی چون مارکوپولو، استاک، سایکس باعث شده که در دهه‌های اخیر مطالعه روی بنای قبه سبز در جهت کشف آثاری از آن دوره صورت گیرد. از آنجاکه تنها اثر باقی‌مانده از این بنا تنها ایوانی مزین به کاشی معرق و همچنین کاشی‌های ریخته از بنا است و محققین معاصر در خصوص قدمت این تزئینات نظرات متفاوتی دارند، این پژوهش سعی دارد در جهت رفع شبهات، سال‌یابی نمونه کاشی‌های بنای قبه سبز کرمان را مدنظر قرار دهد؛ بنابراین در این پژوهش به روش ترمولومینسانس، سال‌یابی سه نمونه از کاشی‌های بنا متعلق به سه محل مختلف، مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان داد که کاشی‌ها هر یک مربوط به دوره‌های مختلف است به گونه‌ای که کاشی نمونه A-100 از سایر نمونه‌ها قدمت کمتری دارد. این نمونه که مربوط به کاشی زغره یکی از ستون‌های پیچ دو طرف ایوان است، به دوره معاصر (قاجار) تعلق دارد و نمونه کاشی استفاده شده در قاب دو طرف سردر (A-90) از دو نمونه دیگر قدیمی‌تر است و در حدود حکومت تیموریان در بنا نصب شده است. نمونه A-80 در زمان صفویه به بنا نصب شده است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که این بنا طی حوادث طبیعی و غیرطبیعی که تاریخ نشان می‌دهد مورد مرمت‌های متفاوت قرار گرفته و نمی‌توان کاشی‌ها را به دوره‌ای مشخص نسبت داد.

واژگان کلیدی: قبه سبز، سال‌یابی، کاشی معرق، ترمولومینسانس

* نویسنده مسئول مکاتبات: کرمان، بلوار ولی عصر، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان، کد پستی: ۷۶۳۵۱۶۸۱۱۱.
پست الکترونیکی: rahimimehr@iauk.ac.ir

۱. مقدمه

تعدادی از بازماندگان امپراتوری چین در قرن شش هجری قمری، امپراتوری لیاو غربی یا قراختائیان را در آسیای میانه و ترکستان تشکیل دادند [1]. با ادامه حرکت و دومین مهاجرت به نواحی غربی دولت‌های غور و سلجوق را شکست دادند [2] و سرانجام به دربار خوارزمشاهیان وارد شدند. براق یکی از ایلچیان بود که به دربار نفوذ کرد و به مقام‌های بالایی دست‌یافت. او علاوه بر این، اتابکی یکی از فرزندان سلطان محمد یعنی غیاث‌الدین که کرمان به او واگذار شده بود را به عهده داشت. طی هجوم مغول به ایران، پای براق به کرمان کشیده شد و او سلسله‌ای در این شهر بنیان نهاد که به سلسله قراختائیان کرمان معروف است [3]. غیاث‌الدین که توسط براق کشته شد و طبق یاسای مغول همه دارایی غیاث‌الدین حتی همسرش ترکان خاتون را تصاحب کرد و پس از مرگ براق در ۶۳۲ ه.ق، قطب‌الدین حاکم کرمان شد و با ترکان خاتون ازدواج کرد [4]. چون براق و ترکان خاتون مسلمانانی بودند که هنوز با شرایط جامعه مسلمانان منطبق نبودند و دولت قراختائیان کرمان با اتکا به مغول‌ها شکل یافت [5]، جهت کسب مشروعیت به برپایی مدرسه، مقبره و همراهی با مدرسان و تجلیل از مشایخ صوفیه و انجام امور دینی مانند وقف پرداختند [4]. قراختائیان کرمان بیش از ۸۰ سال بر کرمان حکمرانی کردند (۶۱۹-۷۰۴ ه.ق/۱۳۰۶-۱۱۲۲ م) و زمینه‌های رشد و رونق تجاری و فرهنگی کرمان را فراهم آوردند و اقداماتی در حوزه موقوفات و ساخت عمارت خیریه وقفی انجام دادند [3,6-7]. یکی از کارهای خیر که در دوره

قطب‌الدین و براق پایه‌گذاری و ادامه آن را ترکان خاتون انجام شد، ساخت مساجد و مدارس موقوفه بود [8]. یکی از آن‌ها قبه سبز بود (شکل ۱) که آن زمان به مدرسه قطبیه معروف بود و به دلیل لقب عصمت‌الدین ترکان خاتون، بعدها به مدرسه عصمتیه معروف شد؛ این ساختمان از بناهایی است که قطب‌الدین برای تعلیم و تربیت و مقبره در کرمان ساخت آن را شروع کرد [4].

این مدرسه که در آثار برخی گردشگران چون استاک و مارکوپولو و سایکس به‌عنوان چشم‌نوازترین بنای شهر کرمان از آن یاد شده [9-11] و کتابخانه‌ای مجهز و اساتیدی برجسته داشته که حتی از بین‌النهرین برای تدریس در این مدرسه دعوت می‌شدند. وسعت این مدرسه قسمت‌هایی از زمین واقع در حدفاصل بنای فعلی قبه سبز تا مسجد خواجه خضر را شامل می‌شده است.

در منابع تاریخی آمده که ظاهراً در زمان قطب‌الدین قرار بوده است که درون صفا‌های مدرسه عصمتیه کاشی کاری شود که به دلیل عجله برای بازگشایی، آن را کاهگل نمودند؛ اما بعد از چند سال به دلیل شوره زدن گل و تخریب آن مجبور به کاشی‌کاری شدند [12].

اکنون از آن ساختمان مجهز در محله‌ای قدیمی به نام این بنا (محله قبه سبز)، جز ایوانی بزرگ با اندکی کاشی و یکی از ستون پیچکی در طرفین ایوان در محله قبه سبز باقی نمانده است (شکل ۲) و (شکل ۳) و اکثر محوطه قبه سبز، شامل مدرسه ترکان خاتون، دارالشفاء، مسجد جامع و کلیه تأسیساتی که ترکان خاتون و سایرین سلسله قراختائی ایجاد کرده بوده‌اند به‌صورت خانه در تصرف مردم است.



شکل ۱: تصاویر قدیمی قبه سبز دوره قاجار

Fig. 1: Old pictures of the green dome of the era Qajar period



شکل ۲: موقعیت بنای قبه سبز در محدوده بافت تاریخی شهر کرمان

Fig. 2: The location of the Green Dome building within the historical context of Kerman city



شکل ۳: ایوان قبه سبز، عکس از نگارندگان در تاریخ تیرماه سال ۱۴۰۰ شمسی.

Fig. 3: The porch of Green dome, Source: Authors, July 1400.

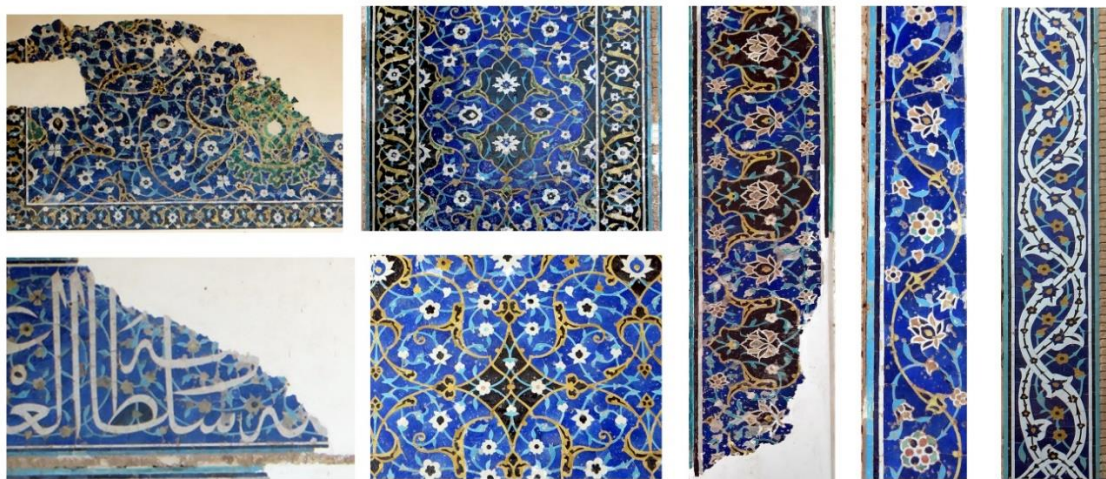
گذشته با کاشی هفت‌رنگ مرمت شده است و آنچه بیشتر به چشم می‌خورد، کاشی‌های معرق ریخته و نصب شده است که غالب شهرت این بنا به خاطر پوشش اکثریت بقایای بنا با همین کاشی‌های معرق است. این کاشی‌ها بخش قابل توجهی از آثار هنری شهر کرمان را تشکیل داده و واجد ارزش فراوانی هستند. در این بنا نقوش کاشی بیشتر از نوع نقوش گیاهی است (شکل ۴).

از کاشی‌های معرق باقی مانده در بنا می‌توان به کاشی‌کاری دو طرف ایوان به صورت حاشیه‌ای از نقوش اسلیمی زنجیره‌ای شامل گل‌وبته به رنگ سفید، فیروزه‌ای، مشکی و زرد بر زمینه لاجوردی

تکنیک‌های کاشی‌کاری به کاررفته در این بنا، شامل کاشی‌کاری معرق و کاشی معرق زغره یا پیچ، کاشی معقلی و هفت‌رنگ و تک‌رنگ و لعاب‌پران است. کاشی‌های تک‌رنگ برای حاشیه قاب‌های کاشی‌های معرق استفاده شده و کاشی معقلی نیز قاعدتاً باید برای حاشیه‌ها استفاده شده باشد. در حال حاضر اثری از کاشی معقلی در نمای بنا وجود ندارد و تنها بقایای آن به رنگ‌های زرد و قهوه‌ای تیره در جعبه‌های موجود در محل که متشکل از انواع کاشی‌های مجموعه است دیده می‌شود. در خصوص کاشی هفت‌رنگ هم از بقایای خرد شده کاشی‌های موجود در محل می‌توان پی برد که بخشی از بنا در زمان

هشت ضلعی وجود دارد که داخل آن غنچه‌های زرد و برگ‌های کوچک فیروزه‌ای است، اما در بالای ستون پیچ فقط غنچه‌ها دیده می‌شود و برگ‌های فیروزه‌ای حذف شده است. در بالای ستون پیچ کاشی‌های فیروزه‌ای وسط کاشی سرمه‌ای حذف شده و گل‌های چهارپر نیز جای خود را به دایره‌های زرد رنگ داده‌اند. داخل سردر نیز کاشی‌کاری‌هایی معرق با نقش مایه گیاهی به کار رفته است. نقش مایه گیاهی کاشی‌کاری دیوارهای روبروی داخل سردر در دو طرف درگاه هم شبیه کاشی‌های دیوارهای جانبی سردر است که در قاب مشابه همان حاشیه کاشی‌های دیوارهای جانبی احاطه شده‌اند. لچکی‌های داخل سردر نقش مایه‌ای شبیه به طرح کاشی‌های مقرنس محراب مسجد جامع کرمان دارند و از این نقش مایه برای کاشی معرق بالای طاق در گرمخانه حمام گنجعلی خان نیز استفاده شده است. قسمت حاشیه داخلی قوس دارای نقشی متشکل از گل انار، غنچه و اسلیمی دهن اژدهایی است. در بخش بالاتر کتیبه‌ای محاط شده در قاب آجری و سه نوار آجر لعاب‌دار لاجوردی، مشکی و سفید از خط ثلث به رنگ سفید بر زمینه لاجوردی است که بخش کمی از آن مانده است. در بالای کتیبه در وسط قابی مستطیل از کاشی با نقش گلدان و شاخ و برگ‌های و گل‌وبته است و گلدان با رنگ بسیار زیبای سبز زمردی لعاب خورده است.

اشاره نمود. تمامی این قاب حاشیه در کادر آجری باریک و برجسته‌ای احاطه شده است که نمونه کاملاً مشابه این کاشی در حمام گنجعلی خان از بناهای دوره صفویه کرمان نیز مشاهده می‌شود. حاشیه دیگری در کنار این حاشیه قرار داشته که تماماً از بین رفته است. در طرفین داخلی ایوان نیز کاشی‌های معرق با نقوش گیاهی و اسلیمی دیگری داخل حاشیه‌ها نصب شده است. نقوش این کاشی‌ها گل‌های اناری و برگ چناری است که با خطوط اسلیمی زرد و فیروزه‌ای و نقوش گل‌وبته‌های درهم به رنگ‌های سفید، سیاه و زرد بر زمینه لاجوردی ایجاد شده است. در هر دو تزئین کاشی اسلیمی دهان اژدهایی زرد ظریف و مارپیچی فیروزه‌ای در زمینه لاجوردی است. در این نقش مایه گل‌هایی زیادی شامل گل‌های پنج‌پر سفید با مرکز سیاه در اندازه متوسط، گل‌های پنج‌پر ریز با هسته زرد، گل‌های چهارپر سفید با مرکز فیروزه‌ای، گل‌های اناری سفید با مرکز مشکی و زرد، گل‌های اناری سفید، زرد و برگ‌های چناری سفید به کار رفته است. دو ستون مارپیچ مزین به کاشی‌های معرق در طرفین سردر بوده که اکنون یکی از آن‌ها باقی مانده است. نقوش کاشی معرق ستون پیچ، ستاره‌های چهارپر سفید بر زمینه مشکی و سرمه‌ای هستند. در اطراف ستاره‌های سفید پیچ ستون در قسمت پایین، نیم



شکل ۴: بخشی از کاشی‌های معرق بنا، عکس از نگارندگان در تاریخ اردیبهشت ماه ۱۴۰۲ شمسی.

Fig. 4: A part of the mosaic tiles of the building, source: Authors, May 1402.

۲. پیشینه پژوهش

روایت‌ها نشان می‌دهد که این بنا تا دوره قاجار پابرجا و در سال ۱۸۹۶ میلادی مصادف با ۱۲۷۵ شمسی، روی دیوار قبه سبز کتیبه‌ای با این متن: «عمل استاد خواجه شکرالله و استاد عنایت‌الله ولدان استاد نظام بدیع معمار اصفهانی» نصب شده بوده است [9, 20]. در سال ۱۹۳۵ میلادی اریک شرودر محقق و باستان‌شناس غربی به بررسی معماری قبه سبز در کرمان پرداخته و خاطرنشان کرده که استاد عنایت‌الله بن نظام‌الدین که نامش در کتیبه قبه سبز آورده شده است، احتمالاً پدر حاجی بیگ‌بن عنایت‌الله بن نظام‌الدین، معمار اصفهانی محراب مسجد جامع کرمان بوده که در سال ۹۶۷ هجری قمری یعنی ۴۴۷ سال پیش به مرمت محراب پرداخته و نامش در کتیبه محراب ثبت است. او طبق این تحلیل تزیینات این بنا را مربوط به اوایل صفویه دانسته است [21]. اسلام‌پناه معتقد است که تشابه نقش‌مایه‌های سردر مدرسه قبه سبز با نقوش محراب مسجد جامع کرمان این فرضیه را محقق می‌دارد که هر دو کار پدر و پسر بوده و نقوش قبه سبز در ۹۴۰ هجری قمری انجام شده است و متعلق به دوره صفویه می‌باشند [22]. از طرفی جوادی با تأکید روی متون افرادی چون گذار، پیرنیا، کاشی‌های بنا را قدیمی‌ترین کاشی‌های معرق ایران معرفی می‌کند [23-24]. جوادی دلیل خود را این‌گونه بیان داشته که دو اثر قرن هشتم در کرمان شامل محراب مسجد جامع و سردر پامنار، کاشی‌های زیبای معرق با رنگ‌های اصیل داشته‌اند درحالی‌که در این دوران معرق‌کاری کامل در دیگر شهرهای ایران وجود نداشته است و این نشان می‌دهد که از الگویی قبلی یعنی قبه سبز که یک قرن قبل از آن دو اثر ساخته شده‌اند، تبعیت کرده‌اند [24].

در سال‌های ۸۶-۱۳۸۵ دکتر ضیایی و پروفیسور رجبعلی پور، انجمن قبه‌سبز را راه‌اندازی و به برگزاری همایشی همت گماشتند و متعاقب آن در سال ۱۳۸۷ خانم دکتر لاله به قبه سبز آمد و به درخواست موسسه باستان‌شناسی دانشگاه تهران در برخی نقاط کار

در خصوص قدمت کاشی‌های بنا اختلاف‌نظرهایی وجود دارد بنابراین با توجه به اینکه ساخت بنا مربوط به دوره قراختایان است و افراد نظریه‌ثابتی در خصوص کاشی‌های بنا ندارند. ضروری به نظر می‌رسد که با آنالیزهای آزمایشگاهی روی بقایای کاشی‌های موجود در جعبه‌های محوطه که از نظر کارشناسان قدیمی‌تر از نوع نصب شده در بنا می‌باشند، بتوان قدمت کاشی‌ها را به‌دست آورد.

یکی از روش‌های تعیین قدمت کاشی و سفالینه‌ها، سالیابی ترمولومینسانس است. اولین پیشنهاد استفاده از این روش برای عمرسنجی توسط دانیلز و همکارانش در سال ۱۹۵۳ میلادی برای تعیین قدمت نمونه‌های زمین‌شناسی و باستان‌شناسی بود و بعد از آن برای کارهای وسیعی از آن استفاده شد [13]. این روش روی نمونه سفال برای اولین بار توسط گروگلر و کندی انجام شد [14-15]. در قرن جدید این روش در حوزه باستان‌شناسی و تاریخ معماری مورد توجه محققان قرار گرفت [16] و این نشان‌دهنده اهمیت اصالت سفالینه‌ها است.

اساس کار این روش به این ترتیب است که همه اجسام وقتی تا درجه حرارت معینی گرم شوند به حد گداختگی رسیده و پرتوهایی به نام پلانک با شدت توان چهارم درجه حرارت از خود ساطع می‌کنند. در طبیعت موادی با درجه پایین‌تر از دمای گداختگی نور ضعیفی از خود ساطع می‌کنند که به این پدیده لومینسانس گفته می‌شود. امروزه مشخص شده که اجسامی با خاصیت لومینسانس قادرند انرژی منتقل شده از محیط را در خود ذخیره کنند و بعد از مدتی انرژی را آزاد کنند. قدمت معین در این روش برای اشیاء پخته شده در کوره مانند کاشی مربوط به آخرین زمانی است که شی تا بیش از ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیده است [17].

در این روش نمونه بعد از حرارت دیدن در کوره و آزاد شدن انرژی ذخیره آن، به‌وسیله فتومولتی پلایر آشکار و اندازه‌گیری می‌شود. همچنین با اندازه‌گیری انرژی پرتوهای آلفا، بتا و گاما حاصل از عناصر پرتوزای خاک و پرتوهای کیهانی و محاسبات ریاضی قدمت نمونه مشخص می‌گردد [18]. در ایران از این روش در سال‌های اخیر برای سالیابی نمونه‌های سفال ایران انجام شده است [19].

ژئومغناطیسی انجام داد. طی گزارش پژوهشکده حفاظت و مرمت، در این کار پژوهشی که دو نمونه آجر مربوط به این بنا جهت تعیین قدمت به آزمایشگاه سال‌یابی ترمولومینسانس پژوهشکده حفاظت و مرمت ارسال شد و نتایج بررسی این دو نمونه نشان داد که دو نمونه یکی متعلق به ۲۶۶ سال قبل و دیگری متعلق به ۲۸۳ سال پیش (از سال ۱۳۸۷) بود. جمع‌بندی نتایج تحقیقات پیشین (جدول ۱) نشان می‌دهد که درباره قدمت کاشی‌های معرق آزمون سال‌یابی انجام نشد؛ بنابراین در این پژوهش انجام آزمون سال‌یابی برای رفع ابهامات در دستور کار قرار گرفت.

۳. روش پژوهش

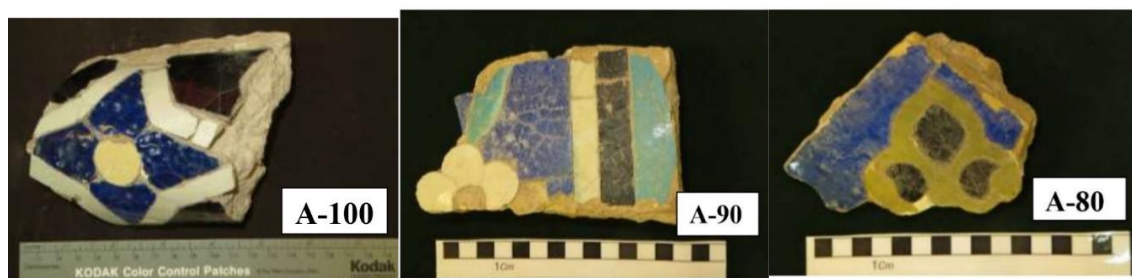
از سال ۱۴۰۰ تا ۱۴۰۱ تحقیقی گسترده توسط نویسنده مسئول این مقاله روی تعدادی لعاب و بدنه کاشی‌های این بنا صورت گرفت و طی آنالیزها مشاهده شد که مشخصه‌های رنگ و بدنه تعدادی نمونه‌ها با هم تفاوت دارد؛ بنابراین سه نمونه از آن‌ها که در جعبه‌های مربوط به میراث فرهنگی در محوطه قرار داشت و در آن‌ها قطعات قدیمی‌تر ریخته شده از بنا (حاصل مرمت سال‌های اخیر) نگهداری می‌شد، برای نمونه‌برداری انتخاب گردید (شکل ۵). نکته دیگر در انتخاب نمونه‌ها تفاوت در محل نصب و نقش‌مایه آن‌ها بود. بعد از کسب مجوز از سازمان میراث فرهنگی کرمان، نمونه‌های مورد مطالعه برای آزمایشگاه سازمان میراث فرهنگی ارسال شد.

در آزمایشگاه بعد از آماده‌سازی، نمونه‌ها به صورت پودر درآورده شده و تعدادی قرص از آن ساخته شد. به این صورت که ابتدا با مته آزمایشگاهی، مقدار حدود چند ده میلی‌گرم به صورت پودر از بدنه داخلی هر کاشی استخراج شده و در ادامه با روش سوسپانسیون ذرات جامد معلق در ستون مایع، دانه‌بندی با ابعاد حدود ۲ تا ۸ میکرون از هر نمونه استخراج شد (از مزایای سال‌یابی به روش ترمولومینسانس غیر مخرب

بودن آن است که اولاً به مقدار کمی نمونه برای انجام آزمایش تعیین قدمت نیاز دارد و نیز کمترین آسیب را از لحاظ ظاهری به نمونه وارد خواهد نمود). برای آماده‌سازی، ابتدا هر نمونه را با استیک اسید ۵٪ تیمار داده (اچینگ)، سپس از هر نمونه به‌طور جداگانه ۳۰ قرص تهیه شد. برای ۱۰ قرص پس از قرار گرفتن درون کوره بر روی صفحه‌ای از آلیاژ نیکل-کروم در محیط نیتروژن کاملاً خالص، نمودار درخشش (Curve Glow) اندازه‌گیری شد و در مرحله بعد تعدادی قرص به‌وسیله یک چشمه بتا از ایزوتوپ استرانسیم ۹۰ (Sr-90) با دزهای مختلف پرتودهی شد. نیمی از قرص‌ها دو روز پس از پرتودهی اندازه‌گیری و نیم دیگر پس از یک ماه اندازه‌گیری شدند تا پدیده از دست رفتن اطلاعات در آن‌ها بررسی شود. در مرحله بعد، از هر نمونه ۱۰ قرص به‌وسیله چشمه آلفا از ایزوتوپ آمرسیم ۲۴۱ (Am-240) با دزهای مختلف پرتودهی و با استفاده از اندازه‌گیری آن‌ها، مقدار انرژی مؤثر پرتو آلفا و حساسیت هر نمونه نسبت به پرتو آلفا اندازه‌گیری شده است. با مقایسه نمودار درخشش اولیه (نمودار ترمولومینسانس طبیعی نمونه) و نمودار درخشش بخش پرتودهی شده با پرتو بتا، میزان انرژی ذخیره شده در هر نمونه یا دز معادل (ED) محاسبه شد. غلظت عنصر پتاسیم نمونه‌ها با روش نورسنجی شعله‌ای در آزمایشگاه شیمی پژوهشکده حفاظت و مرمت و غلظت عناصر اورانیم و توریم با روش شمارش آلفا در آزمایشگاه سال‌یابی ترمولومینسانس اندازه‌گیری شده است. همچنین در تعیین غلظت عناصر اورانیم و توریم با اندازه‌گیری‌های جانبی، عدم انتشار گاز رادون در نمونه نیز بررسی شده است. لازم به ذکر است نمونه‌ها با روش ریزدانه (Fine Grain) آماده‌سازی و با روش دز افزایشی (Additive Dose) پرتودهی و اندازه‌گیری شده‌اند [25]. آماده‌سازی و اندازه‌گیری و پرتودهی نمونه‌ها در زیر نور قرمز انجام گرفت تا از هرگونه تأثیر احتمالی نور معمولی بر روی آن جلوگیری شود (شکل ۶).

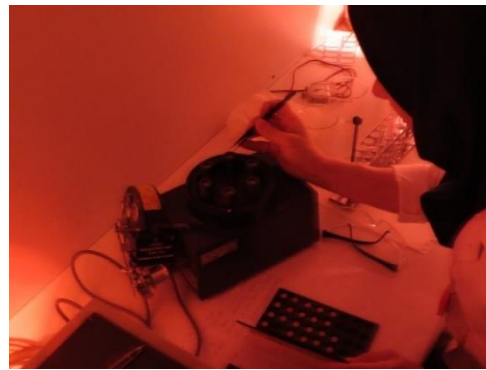
جدول ۱: نتایج تحقیقات پیشین
Table 1: Results of previous research.

دلیل the reason	تزئینات Decorations	قدمت dating	محققین researchers
تشابه تزئینات بنا با محراب مسجد جامع و تحلیل کتیبه	کاشی	صفوی	شرودر
تشابه تزئینات بنا با محراب مسجد جامع و تحلیل کتیبه	کاشی	صفویه	اسلام پناه
حد اعلاى تزئینات	کاشی	ترین کاشی‌های معرق قدیمی ایران	پیرنیا
بررسی تزئینات دو اثر محراب مسجد جامع و سردر پامناز و تزئینات ابداعی در آثار کرمان	کاشی	ترین کاشی‌های معرق قدیمی ایران	جوادی
آنالیز ترمولومینسانس	آجر	اواخر صفوی – اوایل نادری	موسسه باستان‌شناسی دانشگاه تهران



شکل ۵: نمونه‌های کاشی و محل نصب نمونه‌ها قبل از جدا شدن.

Fig. 5: Tile samples and installation location of the samples before separation.



شکل ۶: مراحل انجام آنالیز

Fig. 6: Analysis steps.

۴. نتایج و یافته‌ها

برای انجام محاسبات نهایی تعیین قدمت علاوه بر به‌دست آوردن میزان دز معادل برای هر نمونه می‌بایست دز سالیانه نیز محاسبه گردد. یکی از فاکتورهای مهم در دز سالیانه، میزان دز محیطی یا میزان انرژی عناصر پرتوزا در محیطی است که نمونه در آن قرار داشته است و به‌علت عدم نصب دزیمتر محیطی در محیط کاوش، از داده‌های عددی ثبت‌شده استفاده شد که در محاسبات نهایی منظور شده است. لازم به ذکر است در مورد میزان رطوبت نسبی و مطلق نیز به‌صورت کامل قابل اندازه‌گیری نبود که این پارامتر نیز به‌صورت تقریبی در محاسبات منظور و در نظر گرفته شده است. در زیر نتایج سال یابی هر نمونه که با توجه به پارامترهای مختلف محاسبه شده است، ارائه می‌گردد. همچنین یک نمودار ترمولومینسانس طبیعی و یک نمودار از هر نمونه تابش شده با اشعه بتا (برای مقایسه و اثبات اشباع نبودن نمونه) آورده شده است (جدول ۲).

۵. بحث در نتایج و یافته‌ها

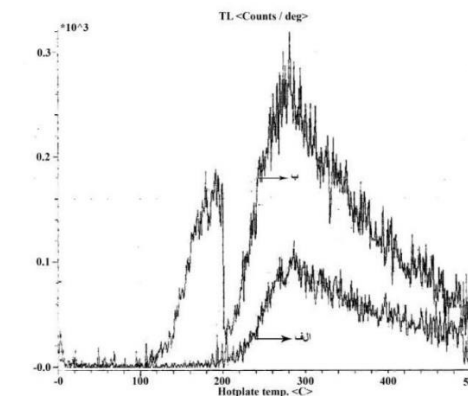

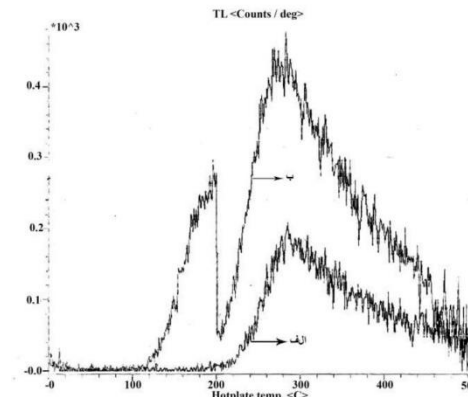

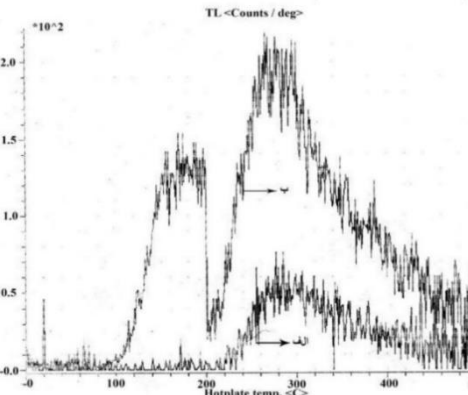
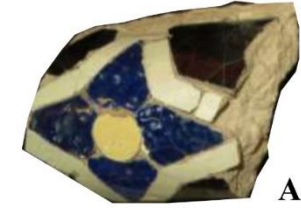
نتایج حاصل از آنالیز ترمولومینسانس کاشی‌های مورد مطالعه نشان داد که قدمت آن‌ها با یکدیگر متفاوت است و از نظر مقایسه با نتایج سایر محققین می‌توان چنین بیان نمود که نتایج آنالیز با نتایج جوادی و پیرنیا که نقش‌مایه کاشی‌های معرق بنا را کامل بررسی نموده‌اند، متفاوت است و این نظریه که کاشی‌های بنا قدیمی‌ترین کاشی‌های معرق ایران می‌باشند، رد می‌شود. همچنین اعتلای کاشی‌های بنا که افرادی چون پیرنیا به آن اشاره کرده‌اند به دلیل همین تفاوت زمانی در ساخت کاشی‌ها بوده است. همچنین نتایج آنالیز روی نمونه A- 80 با نتایج محققانی چون اسلام پناه و شرودر مطابقت دارد

که این محققین به تشابه کاشی‌ها با کاشی‌های محراب مسجدجامع اشاره و این دلیل را به استناد کتیبه‌های نصب شده و نام افراد در کتیبه‌ها مطرح نموده‌اند. البته این محققین به سایر نقش‌مایه‌های بنا توجهی نداشته‌اند و شاید همین باعث اشتباه و نظریه‌های متفاوت در خصوص قدمت این آثار شده است؛ بنابراین می‌توان چنین برداشت کرد که تشابه نقوش کاشی‌های بخش داخلی ایوان بنا با بناهای دوره صفویه مانند محراب مسجد جامع و کاشی‌های حمام گنجعلی‌خان به دلیل هم‌زمانی آن‌ها است و بخش‌های دیگر ایوان که تزئیناتی متفاوت دارند، در دوره‌های دیگر به بنا الحاق شده‌اند.

۶. نتیجه‌گیری

از آنجاکه مطالعات تاریخی نشان از کاشی شدن بنا در دوره قراختایان دارد، این احتمال وجود داشت که کاشی‌های نگهداری شده از بنا در جعبه‌های موجود در سایت که همگی شامل کاشی‌های ریخته شده قدیمی بودند، اثری از کاشی‌های آن دوره پیدا نمود؛ بنابراین در این پژوهش سه نمونه از کاشی‌های بنای قبه سبز کرمان مورد مطالعه قرار گرفت و نتایج موردی متفاوت را نشان داد. به‌طوری‌که کاشی شماره ۹۰ مربوط به سال ۱۴۷۸ میلادی مصادف با اواخر دوره تیموریان و احتمالاً مربوط به حکومت سلطان خلیل یا الوند بیگ در کرمان است و کاشی نمونه ۸۰ مربوط به سال ۱۶۳۳ میلادی مصادف با دوره صفویه و نمونه شماره ۱۰۰ مربوط به دوره قاجار و احتمال زیاد حکومت ابراهیم‌خان در کرمان است. این نکته نشان می‌دهد که بنا در دوره مختلف در اثر تخریب مرمت شده است و کاشی‌های بنا مربوط به یک دوره نمی‌باشند.

جدول ۲: نمودار حاصل از سال‌یابی نمونه‌های مورد بررسی
Table 2: The chart obtained from the aging of the investigated samples.

کاشی معرق از بنای ایوان قبه سبز کرمان Mosaic tiles from the building of Ivan green dome in Kerman	مشخصات نمونه: Sample specifications:
<p>قدمت: 30 ± 390 سال پیش</p>  <p>الف- نمودار ترمولومینسانس طبیعی نمونه ب- نمودار ترمولومینسانس نمونه پس از پرتودهی با چشمه بتا</p>	<p>غلظت توریم Th (ppm) 4.52 غلظت اورانیوم Th (ppm) 5.67 درصد اکسید پتاسیم (K₂O%) 1.64</p>  <p>A-80</p>
<p>قدمت: 45 ± 545 سال پیش</p>  <p>الف- نمودار ترمولومینسانس طبیعی نمونه ب- نمودار ترمولومینسانس نمونه پس از پرتودهی با چشمه بتا</p>	<p>غلظت توریم Th (ppm) 3.37 غلظت اورانیوم Th (ppm) 5.38 درصد اکسید پتاسیم (K₂O%) 1.39</p>  <p>A-90</p>
<p>قدمت: 13 ± 215 سال پیش</p>  <p>الف- نمودار ترمولومینسانس طبیعی نمونه ب- نمودار ترمولومینسانس نمونه پس از پرتودهی با چشمه بتا</p>	<p>غلظت توریم Th (ppm) 3.16 غلظت اورانیوم Th (ppm) 6.85 درصد اکسید پتاسیم (K₂O%) 1.85</p>  <p>A-100</p>

References

- [1] Roosta, J., "An analysis of the formation of the Qarakhtaei government", Journal of Isfahan Faculty of Literature and Human Sciences (studies and researches of the Faculty of Literature and Human Sciences), 2008, 2(53): 93-112. [In Persian]
 [روستا جمشید. «تحلیلی بر چگونگی شکل‌گیری دولت قراختایی» مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی اصفهان (مطالعات و پژوهش‌های دانشکده ادبیات و علوم انسانی)، ۱۳۸۷، ۲(۵۳): ۹۳-۱۱۲.]
- [2] Bartol'd, V. V., "The History of Central Asian Turks", Translated by Ghaffari Hosseini, Tehran: Toos. [In Persian]
 [بارتولد، واسیلی ولادیمیروویچ، «تاریخ ترکان آسیای میانه» ترجمه غفاری حسینی، تهران: طوس، ۱۳۷۶.]
- [3] Rosta, J., "Elchian Qarakhtaei in the court of Khwarezm Shahs; Foundations of the Kerman Qarakhtaeian dynasty", Scientific and Research Journal of Iranian History, 2012, 5 (2): 73-102. [In Persian]
 [روستا، جمشید، «ایلچیان قراختایی در دربار خوارزم‌شاهیان؛ زمینه‌های تأسیس سلسله قراختاییان کرمان» مجله علمی و پژوهشی تاریخ ایران، ۱۳۹۱، ۵(۲): ۷۳-۱۰۲.]
- [4] Emami Khoei, M T., Taghvaei, F., "Signs of the Development of Iranian Culture in the Waqf School of Turkan Khatoon (Qarakhtaeian of Kerman)", Bi-Quarterly of moskuya, 2013, 8 (24): 7-28. [In Persian]
 [امامی خوبی، محمدتقی، تقوایی فاطمه، «شانه‌های توسعه فرهنگ ایرانی در مدرسه وقفی ترکان خاتون (قراختاییان کرمان)» دو فصلنامه مسکویه، ۱۳۹۲، ۸(۲۴): ۷-۲۸.]
- [5] Munshi Kermani, N., "Simt al- ula-li-l-hadrat-i-l-ulya, (History of the Qara Khitai of Kerman)", Tehran: Dr. Mahmoud Afshar Yazdi Publications, 2015. [In Persian]
 [منشی کرمانی، ناصرالدین، «سمط‌العلی للحضرة العلیا (تاریخ قراختاییان کرمان)» تهران: انتشارات دکتر محمود افشار یزدی، ۱۳۹۴.]
- [6] Iqbal Ashtiani, A., Pirnia, H., "Full History of Iran (from the beginning to the end of the Pahlavi dynasty)", Tehran: Donyayeketaab, 2011. [In Persian]
 [اقبال آشتیانی، عباس، پیرنیا، حسن، «تاریخ مفصل ایران (از آغاز تا پایان سلسله پهلوی)» تهران: دنیای کتاب، ۱۳۹۰.]
- [7] kalantari Khandany, H., "An exploration in kerman (province) with focus on natural (earthquake), human, and historical issues", Kerman: Kermanology Center, 2008. [In Persian].
 [کلانتری خاندانی، حسین، «سیری در جغرافیای استان کرمان با تکیه بر مسائل طبیعی (زلزله)، انسانی، تاریخی، اقتصادی» کرمان: مرکز کرمانشناسی، ۱۳۸۷.]
- [8] Mostofi, H., "Zafarnaméh", Volume 6, Tehran: Research Institute of Humanities and Cultural Studies, 2008. [In Persian]
 [مستوفی، حمدالله، «ظفرنامه» جلد ششم، تهران، پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی، ۱۳۸۸.]
- [9] Sykes, S P M., "Travelogue of General Sykes, ten thousand miles in Iran", Translated by Hossein Saadat Nouri, Tehran: Donyayeketaab, 2016. [In Persian]
 [سایکس، پرسی ملزورث، «سفرنامه ژنرال سرپرسی سایکس یا ده هزار میل در ایران» ترجمه حسین سعادت نوری، تهران: دنیای کتاب، ۱۳۹۵.]
- [10] Stack, Edward, "Six months in Persia; Travelogue of Edward Stack", translated by Shahla Tahmasebi, Tehran: Goqnoos, 2020. [In Persian]
 [استاک، ادوارد، «شش ماه در ایران؛ سفرنامه ادوارد استاک» ترجمه شهلا طهماسبی، تهران: ققنوس، ۱۳۹۹.]
- [11] Gabriel, Alphonse, "Marcopolo in Iran", translated by Kikavos Jahandari, Tehran: Dr. Mahmoud Afshar Bet Sokhon Endowment Foundation, 2022. [In Persian]
 [گابریل، آلفونس، «مارکوپولو در ایران» ترجمه کیکاووس جهاننداری، تهران: بنیاد موقوفات دکتر محمود افشار بت همکاری سخن، ۱۴۰۰.]

- [12] Anonymous, "History of the Qarakhtaian Empire", edited by Mohammad Ebrahim Bastani Parizi, Tehran, Elm, 2011. [In Persian]
- [] بی نام، «تاریخ شاهی قراختائیان»، تصحیح محمد ابراهیم باستانی پاریزی، تهران، علم، ۱۳۹۰.
- [13] Daniels F., Boyd C. A., Saunders D. F., "Thermoluminescence as a Research Tool", science, 1953, 117(3040): pp. 343-349.
- [14] Grogler N., Houtermans F. G. and stauffer H., "Ueber die datierung von Keramik und Ziegel durch Thermolumineszenz", Helvetica PhysicaActa, 1960, 33, pp. 595-599.
- [15] Kennedy G. C., and Knopff L., "Dating by thermoluminescence", Archaeology, vol. 13, 1960, pp. 147-148.
- [16] Chruscinska. A and others. "Luminescence dating of bricks from the Gothic Saint James Church in Torun". Geochronometria, 2014, 41(4): 352-360
- [17] Bahrololumi Shapoor Abadi, F., "Dating Methods in Archaeology", Tehran: Samit Publishing, 2018. [In Persian]
- [] بحر العلومی شاپور آبادی، فرانک، «روشهای سال‌یابی در باستان‌شناسی»، تهران: انتشارات سمت، ۱۳۸۸.
- [18] Hadian Dehkordi, M., "Application of scientific Investigations in conservation and restoration of historical buildings (building materials)", Tehran: University of Tehran Press, 2008. [In Persian]
- [] هادیان دهکردی، منیژه، «کاربری پژوهش‌های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بناهای تاریخی (مواد و مصالح)»، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- [19] Zahedifar, M., "Using thermoluminescence method in dating pottery samples obtained from archeological excavations in Iran", master's thesis, Kashan University, 2013. [In Persian]
- [] زاهدی فر، مصطفی، «استفاده از روش ترمولومینسانس در سال‌یابی نمونه‌های سفالین بدست آمده از کاوش‌های باستان‌شناسی در ایران»، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه کاشان، ۱۳۹۱.
- [20] Waziri Kermani, A. A. Kh., "History of Kerman (Salariyya)", Edited with an introduction by Mohammad Ibrahim Bastani Parizi, Tehran: Ibn Sina, 1973.
- [] وزیر کرمانی، احمدعلی خان، «تاریخ کرمان (سالاریه)»، به کوشش: محمد ابراهیم باستانی پاریزی، ناشر: ابن‌سینا، ۱۳۵۲.
- [21] Wilbur. Donald.N, "Islamic architecture of Iran during Ilkhanate period", Translated by Abdullah Faryar, Tehran: Elmifarhangi Publications, 1986.
- [] ویلبر، ن. دونالد، «معماری اسلامی ایران دوره ایلخانان»، ترجمه عبدالله فریار، تهران: انتشارات علمی و فرهنگی، ۱۳۶۵.
- [22] Islam panah, M. H., "History of Kerman Green Dome Inscription", Yaghma Memorial, 1992, pp: 400-405. [In Persian]
- [] اسلام پناه، محمد حسین، «تاریخ کتیبه قبه سبز کرمان»، یادنامه یغما، ۱۳۷۰، صص ۴۰۰-۴۰۵.
- [23] Pirnia, M. K., "Introduction to Islamic Architecture of Iran", Tehran: Iran University of Science and Technology, 2011. [In Persian]
- [] پیرنیا، محمد کریم، «آشنایی با معماری اسلامی ایران»، تهران: دانشگاه علم و صنعت، ۱۳۹۰.
- [24] Javadi, Sh., "Green Dome, the oldest example of mosaic tile in Iran", Journal of Honar-Ha-Ye-Ziba, 2000, 7 (12): 12-20. [In Persian]
- [] جوادی، شهره، «قبه سبز، قدیمی‌ترین نمونه کاشیکاری معرق در ایران»، نشریه هنرهای زیبا، ۱۳۷۹، ۷، (۱۲): ۱۲-۲۰.
- [25] Aitken, M J., "Thermoluminescence Dating", London:Academic Press, 1985.