



ساختارشناسی ملات رنگی آرایه‌های گچی بوم‌ساب در مدرسه (کاروانسرا) گنجعلی خان کرمان

I یاسر حمزوی

II علیرضا کوچکزیایی

III علی اصغر نگارستانی

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۳۰۲ - ۲۸۷
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۵
شناسه دیجیتال (DOI): 10.30699/PJAS.5.17.287

چکیده

مدرسه (کاروانسرای) گنجعلی خان کرمان، یکی از بناهای شاخص کرمان در دوره صفویه است. آرایه‌های گچی ارزشمندی با شیوه‌های مختلف در این بنا اجرا شده است. از جمله این آرایه‌ها، آرایه‌های گچی بوم‌ساب است که در اتاق شاه‌نشین در تمام اضلاع هم‌چنین سقف بنا اجرا شده است. از ویژگی‌های خاص این آرایه‌ها، رنگی بودن ملات در لایه‌های بستر زیرین و بستر رویی است که در سه رنگ قرمز، زرد و خاکستری قابل مشاهده است. لازم به ذکر است که در دوره‌های گذشته یک لایه آندود گچی بر سطح آرایه‌های گچی این بنا اجرا شده بوده که خوشبختانه در سال‌های گذشته، بخش زیادی از لایه الحاقی از سطح آرایه‌های گچی لایه برداری شده است. با توجه به متفاوت بودن این آرایه معماری از نظر عمل‌آوری ملات رنگی و هم‌چنین فن اجرا و این‌که تاکنون مطالعه علمی دقیقی روی این آثار انجام نشده، در این مقاله ساختارشناسی ملات‌های رنگی این بنا انجام پذیرفته است. از جمله پرسش‌های این پژوهش عبارتند از: ملات‌های رنگی آرایه‌های گچی بوم‌ساب در این بنا دارای چه ساختاری است؟ فازهای اصلی و فرعی ترکیب ملات چیست؟ ماده رنگ‌زا در ملات‌های رنگی چه بوده است؟ در همین راستا اقدام به نمونه برداری شد (تعداد ۷ نمونه) و آنالیزهای FT-IR, EDS, XRD بر روی نمونه‌های مطالعاتی انجام پذیرفت که در کنار مطالعات میدانی به پرسش‌های پژوهش پاسخ داده شده است. نتایج حاصل از پژوهش، گویای آن است که ملات گچ با فازهای اصلی ژئپس و انیدریت در لایه‌های مختلف استفاده شده است. هم‌چنین برای رنگی کردن ملات قرمز و زرد از اکسید آهن (گوئیتیت) استفاده شده و برای ملات خاکستری از خاکستر و آهک استفاده شده است. هم‌چنین مواد آلی (استفاده جهت تغییر کیفیت ملات) در ساختار نمونه‌ها شناسایی نشد.

کلیدواژگان: آرایه گچی، بوم‌ساب، گنجعلی خان، FTIR, EDS, XRD.

I. استادیار گروه مرمت و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).

yaserhamzavi99@gmail.com & Y.hamzavi@tabriziau.ac.ir

II. استادیار گروه مرمت و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

III. دانش‌آموخته دوره کارشناسی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

مقدمه

آرایه گچی بوم ساب، یکی از گونه‌های آرایه‌های گچی کم‌برجسته است. در این شیوه، ساییدن نواحی از سطح بستر به منظور ایجاد بافتی متفاوت بین نقوش و زمینه اتفاق می‌افتد که عمل سایش، تنها بخشی از ضخامت لایه بستر را دربر می‌گیرد و به لایه‌های زیر بستر نمی‌رسد. این شیوه گچ‌بری در اصفهان از دوره شاه عباس اول به بعد رواج داشته است (اصلانی، ۱۳۹۱: ۱۳۶). یکی از بناهایی که آرایه گچی بوم ساب با کیفیت بسیار بالا در آن اجرا شده، مدرسه (کاروانسرای) گنجعلی خان کرمان است. این بنا هم‌زمان با مجموعه گنجعلی خان در دوره صفویه ساخته شده و یکی از زیباترین فضاهای معماری از نظر آرایه معماری، اتاق شاه‌نشین است که با آرایه گچی بوم ساب زینت یافته است.

یکی از ویژگی‌های آرایه گچی بوم ساب در این بنا که باعث می‌شود این آرایه از دیگر آرایه‌های گچی بوم ساب که در نتیجه مطالعات میدانی نگارندگان مورد شناسایی قرار گرفته است (کاخ عالی قاپوی اصفهان، خانه پیرنیا در نایین، کاخ عالی قاپوی قزوین و بقعه کلخوران در اردبیل) متمایز شود، استفاده از ملات رنگی در لایه‌های بستر اجرا شده در شاه‌نشین مدرسه گنجعلی خان کرمان است. در این بنا از سه رنگ ملات خاکستری، قرمز و زرد استفاده شده است. به دلیل این که از دو لایه بستر رنگی در تمام اضلاع و هم‌چنین سقف اتاق استفاده شده، ابتدا به نظر می‌رسد که آرایه گچی از نوع تخمه‌درآوری است، ولی با مطالعه و بررسی از نزدیک می‌توان به این نتیجه رسید که آرایه گچی بوم ساب است. نکته دیگر این است که آرایه گچی بوم ساب با این ویژگی‌ها و با سه ملات رنگی در یک فضا، برای اولین بار در ایران مورد مطالعه تخصصی قرار گرفته است.

بسیاری از مواقع، آرایه گچی بوم ساب از نظر ظاهری می‌تواند شبیه به آرایه گچی کشته‌بری باشد. یکی از راه‌های تشخیص این دو و تفکیک آن‌ها از یکدیگر، مطالعه ساختاری ملات است تا مشخص شود عمل‌آوری ملات گچ به صورت گچ تیز بوده یا کشته؟ علاوه بر آن، جهت شناخت در خصوص ویژگی‌های فنی آرایه گچی بوم ساب و نحوه اجرای آن، لازم است مطالعات دقیق علمی روی آن انجام شود. از آنجایی که اثر مورد مطالعه، تنها نمونه آرایه گچی بوم ساب با ملات رنگی است که در خصوص آن مطالعه دقیق انجام می‌شود و نتیجه این پژوهش می‌تواند مرجعی باشد برای نمونه‌های مشابه (اگر وجود داشته باشد)؛ بنابراین شناخت رنگ‌زا برای رنگی کردن ملات می‌تواند اهمیت زیادی داشته باشد.

هدف اصلی پژوهش پیش‌رو، شناسایی ترکیب شیمیایی و فازهای تشکیل دهنده ملات در آرایه گچی بوم ساب مدرسه گنجعلی خان، به عنوان یکی از گونه‌های آرایه گچی دوره صفویه است و مقایسه رنگ و ملات در لایه‌های مختلف بستر گچی در اضلاع مختلف از دیگر اهداف این پژوهش است. مطالعات انجام‌پذیرفته در راستای شناخت ابعاد مختلف این آرایه معماری ارزشمند از طریق مطالعات کتابخانه‌ای و استنادی و مطالعات میدانی و آزمایشگاهی با هدف گزارش یافته‌های جدید در رابطه با ساختار و ساختمان آرایه‌های گچی بوم ساب با ملات رنگی است.

پرسش‌های پژوهش: با توجه به مطالعات انجام‌شده، مهم‌ترین پرسش‌ها عبارتند از: بسترهای رنگی در اضلاع مختلف اتاق شاه‌نشین مدرسه (کاروانسرای) گنجعلی خان کرمان، که در سه رنگ قرمز و زرد و خاکستری قابل مشاهده است، دارای چه ساختاری است؟ فازهای اصلی و فرعی ترکیب ملات در بسترهای رنگی آرایه‌های گچی این اتاق چیست؟ ماده رنگ‌زا در ملات‌های رنگی چه بوده است؟

نگاهی به مدرسه (کاروانسرای) گنجعلی خان کرمان

یکی از مجموعه معماری‌های زیبا که شاهکاری از ایران دوره صفوی را به نمایش گذاشته، مجموعه

گنجعلی خان است که از نظر تنوع، تازگی و مهارت در اجرای آرایه‌های معماری، از جمله آثار بارزش کرمان است.

گنجعلی خان که از سال ۱۰۰۵ الی ۱۰۳۴ ه.ق.، بر کرمان حکومت کرده، به دستور شاه‌عباس و با کمک معماران یزدی و اصفهانی، بازار و چهارسوق و مجموعه گنجعلی خان که شامل: میدان، حمام، مدرسه (تصویر ۱)، ضرابخانه، مسجد، آب‌انبار است را احداث کرد (پورا احمد، ۱۳۷۶: ۲۱۷) که سبک معماری این مجموعه پیرو شیوه اصفهانی است (پیرنیا، ۱۳۸۲: ۲۷۲).



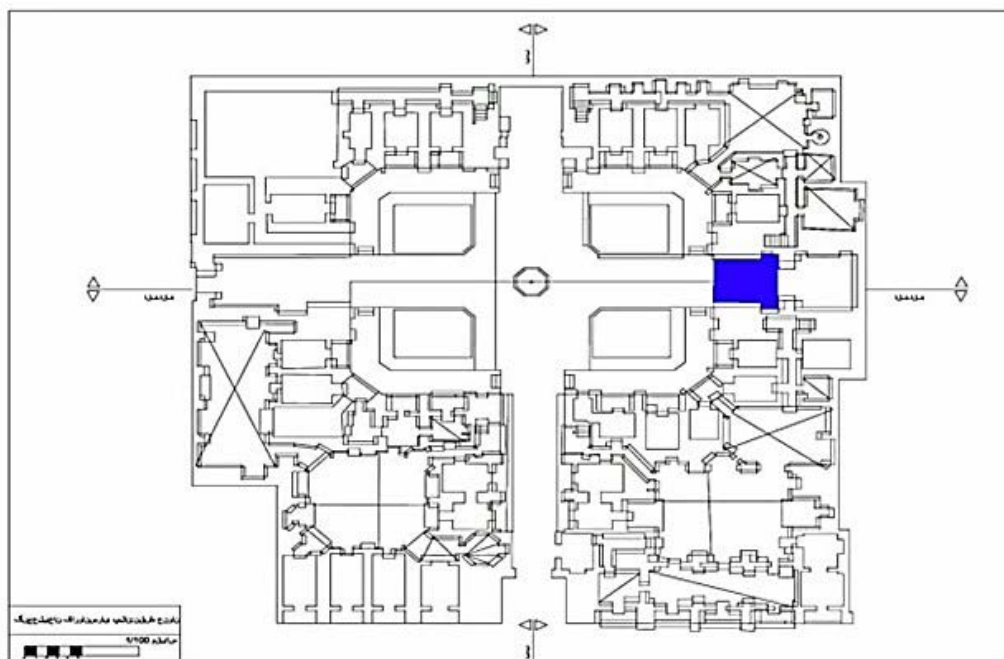
تصویر ۱. سردر ورودی مدرسه (کاروانسرای) گنجعلی خان (نگارندگان، ۱۳۹۹)

مدرسه (کاروانسرا) در ضلع شرقی میدان گنجعلی خان بنا شده است. براساس شواهد تاریخی این بنا در دوره‌ای مدرسه بوده و سپس به کاروانسرا تغییر کاربری داده شده است. این بنا به طول ۳۱/۵ متر و عرض ۲۳ متر در دو طبقه ساخته شده است (زنگی‌آبادی، ۱۳۷۰). در کتیبه موجود در سردر این بنا به خط «علیرضا عباسی»، تاریخ ساخت آن ۱۰۰۷ ه.ق. و معمار آن «محمد سلطانی یزدی» ذکر شده است (باستانی‌پاریزی، ۱۳۵۳: ۴۲).

آرایه‌های گچی مورد پژوهش در اتاق شاه‌نشین (تصویر ۲) با ابعاد ۵ متر طول و ۴ متر عرض در ضلع شرقی بنا واقع شده‌اند. سردر این اتاق دارای مقرنس و اطراف آن دارای کاشی‌های معرق خوش‌نقش‌ونگار است (تصویر ۳). این اتاق دارای سه ورودی و یک پنجره در بالای آن است که با ورود به این اتاق، آرایه گچی بوم‌ساب در همه اضلاع و سقف دیده می‌شود (تصویر ۴). لازم به ذکر است که در دوره‌های گذشته لایه‌هایی از اندود بر سطح آرایه‌های گچی تاریخی اجرا شده بوده که تا حدی لایه‌برداری شده و بخش‌هایی نیز با لایه الحاقی دیده می‌شود. سقف اتاق دارای گنبد بیضی‌شکل است که روی یک چهارطاقی قرار گرفته است. زیر گنبد به واسطه یزدی‌بندی‌های کشته‌بری شده، تزئین شده است.

پیشینه پژوهش

با توجه به ویژگی‌های معماری مدرسه گنجعلی خان کرمان که آن را یکی از شاخص‌ترین بناهای

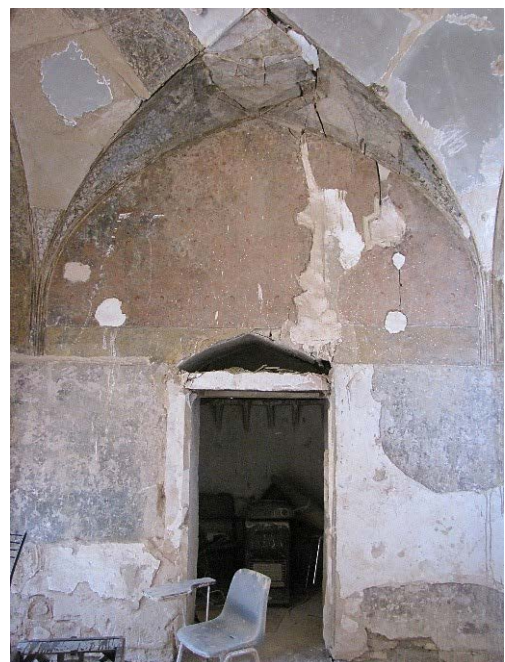
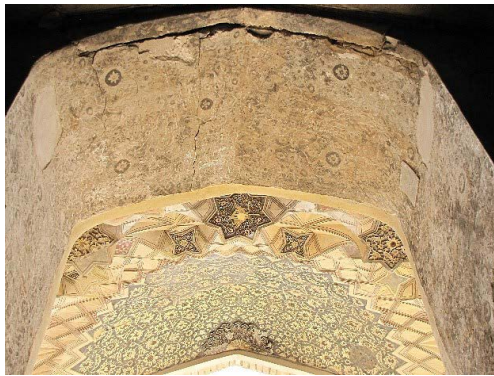


تصویر ۲. محل قرارگیری اتاق موردنظر در نقشه مدرسه گنجلی خان (مرکز اسناد اداره میراث فرهنگی کرمان).



تصویر ۳. ایوان اتاق شاه‌نشین در مدرسه گنجلی خان، آرایه‌های گچی مورد مطالعه در داخل این فضا اجرا شده است و آرایه گچی تخمه‌درآوری در شمشه‌های موجود در مقرنس ایوان اجرا شده است (نگارندگان، ۱۳۹۹).

دوره صفویان در کرمان ساخته، مطالعه شواهد و ویژگی‌های آن اطلاعات قابل توجهی را در زمینه هنر دوره صفویه در شهر کرمان فراهم می‌آورد. از این رو شناسایی فنی گونه‌ای از آرایه گچی که در این مجموعه اجرا شده است، حائز اهمیت خواهد بود.



تصویر ۴. اتاق شاه‌نشین مدرسه گنجعلی خان، آرایه گچی بوم‌ساب با بستر قرمز، زرد و خاکستری رنگ (نگارندگان، ۱۳۹۹).

در منابع مکتوب گاهی به شیوه‌های اجرای آرایه‌های گچی پرداخته شده است و برخی از متخصصان، از آرایه گچی بوم‌ساب به عنوان گشته‌بری یاد کرده‌اند. «اصلائی» در رساله دکتری خود (۱۳۹۱) به این نکته اشاره می‌کند که به دلیل اطلاعات کم و ناقص، پیش از این آرایه‌های گچی بوم‌ساب در کاخ عالی قاپوی اصفهان، گشته‌بری معرفی شده است و به این منابع ارجاع داده شده است (آقاجانی اصفهانی، ۱۳۵۹: ۸۳؛ اصلائی، ۱۳۸۵؛ مصاحبه توسط حسام اصلائی با آقایان: جاودانی، ۱۳۸۶؛ پورشیروان، ۱۳۸۷؛ مطیفی فرد، ۱۳۸۹؛ اعظمی، ۱۳۹۰). در واقع گشته‌بری و بوم‌ساب دو شیوه کاملاً متفاوت آرایه‌های گچی هستند و نباید به اشتباه به جای هم استفاده شوند. در پژوهشی، آرایه‌های گچی ایران براساس شیوه شکل‌دهی، شگردهای فنی و جزئیات اجرایی و میزان برجستگی نقوش دسته‌بندی شده و از هر شیوه اجرایی، نمونه‌هایی معرفی شده است (صالحی کاخکی و اصلائی، ۱۳۹۰).

به طور کلی جهت ساختارشناسی ملات گچی در ایران از روش‌هایی مانند XRD, XRF, SEM-EDS, FT-IR استفاده شده است (حمزوی و سرداری، ۱۳۹۰؛ اصلائی، ۱۳۹۱؛ محتشم و همکاران، ۱۳۹۳؛ میش مست‌نهی، ۱۳۹۴؛ حاجی سیدجوادی و همکاران، ۱۳۹۹). هم‌چنین باید اشاره نمود که در خصوص آرایه‌های گچی دوره صفویه در ایران تاکنون مطالعه جامعی صورت نگرفته است. هم‌چنین در گزارش پژوهش‌های منتشرشده به زبان غیرفارسی نیز از روش‌ها و دستگاه‌هایی جهت مطالعات ساختارشناسی ملات گچی نام‌برده شده که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: طیف‌سنجی رامان (Raman)، آنالیز عنصری فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، طیف‌سنجی تفرق انرژی پرتو ایکس (EDX) (Almaviva et al., 2019)، آنالیز عنصری فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Sanjurjo Sanchez et al., 2011)، XRD و DSC-TG (Alexandre Maximo et al., 2020). هم‌چنین از روش‌های شناخت فیزیکی و شیمیایی در این راه بهره برده شده است (Beldjilali et al., 2020; Ngah et al., 2020; Marvila et al., 2020; Ouakarrouch et al., 2020; Loureiro et al., 2020). از اطلاعات پایه در خصوص گچ می‌توان به این نکته اشاره نمود: ژئوپس^۱ در سیستم مونوکلینیک و کلاس پیرسماتیک متبلور می‌شود (Sudell, 2010: 180). بلورهای ژئوپس در سه جهت رشد می‌کنند^۲ (Gourdin & Kingery, 1975).


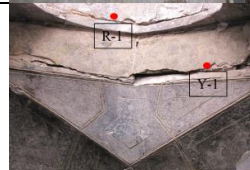

با توجه به این مطالعات مشخص شد که حدود ۱۰ سال است که تفاوت‌های دو شیوه گشته‌بری و بوم‌ساب به صورت دقیق ارائه شده است. از طرفی همه گونه‌های آرایه گچی بوم‌ساب در ایران مورد مطالعه قرار نگرفته است و اطلاعات در این حوزه بسیار ناقص است. از طرفی در هیچ منبع مکتوبی اطلاعاتی مبنی بر اجرای ملات رنگی در آرایه گچی بوم‌ساب ارائه نشده است؛ بنابراین با تکیه بر اطلاعات منتشرشده در گذشته، مطالعه دقیقی بر روی آرایه‌های گچی بوم‌ساب در مدرسه گنجعلی خان کرمان انجام پذیرفت.

روش پژوهش

تحقیق پیش رو از نظر هدف، یک تحقیق کاربردی است.

نمونه‌های مطالعاتی: برای انجام آزمایشات و آنالیزهای موردنظر، نمونه‌برداری با حداقل مداخله و تخریب آرایه موردنظر انجام شد. بر این اساس نمونه‌برداری‌ها در بیشتر موارد از لایه‌هایی از این آرایه که به دلیل آسیب‌های وارده از یکدیگر جدا شده و در حال تخریب بودند انجام گرفت. به منظور انجام این کار، نمونه‌های موردنیاز توسط تیغ بیستوری از لایه‌های مختلف آرایه گچی بوم‌ساب بنای موردنظر برداشته شد. با توجه به ویژگی‌های هر نمونه و هم‌چنین پرسش‌ها و ابهامات مربوط به آن و متناسب با مقدار نمونه تهیه شده، نوع آنالیز مشخص گردید؛ به طور مثال، برای شناسایی لایه رنگ که میزان نمونه هم اندک بوده، فقط آنالیز عنصری نقطه‌ای انتخاب شده

جدول ۱. معرفی نمونه‌های مورد مطالعه، کدگذاری نمونه‌ها و آنالیزهای انجام شده (نگارندگان، ۱۳۹۹)

محل نمونه برداری	آنالیز	توضیح	نمونه‌های مورد مطالعه
	EDS, XRD	لایه بستر زیرین (قرمز رنگ) ضلع شرقی اتاق	R-2
	FT-IR, EDS, XRD	لایه بستر رویی (خاکستری رنگ) ضلع شرقی اتاق	G-1
	FT-IR, EDS, XRD	لایه بستر رویی (قرمز رنگ) ضلع غربی اتاق	R-1
	XRD	لایه بستر رویی (زرد رنگ) ضلع غربی اتاق	Y-1
	EDS	لایه آستر آرایه‌های گچی در قسمت سقف اتاق	S-2
	EDS	لایه رنگ سیاه، زمینه نقوش در قسمت سقف اتاق	B-1
	EDS	لایه رنگ قرمز نقوش، سقف اتاق	R-3

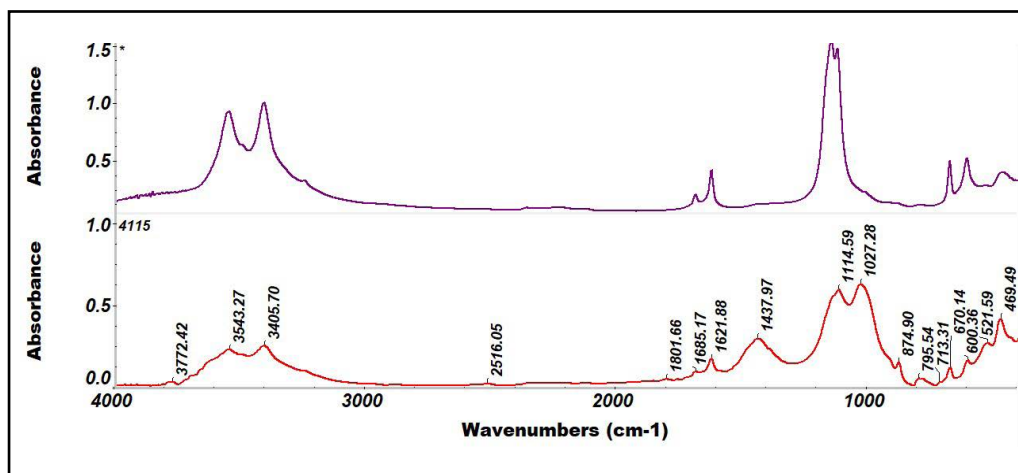
است. برای نمونه‌هایی که فرضیه‌ای مبنی بر وجود مواد آلی مطرح بود و در این مطالعه اهمیت داشت، از طیف‌سنجی FT-IR استفاده گردید. مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱ قابل مشاهده است. **آنالیزهای دستگاهی:** جهت پژوهش و مطالعه بیشتر در راستای شناخت آرایه مورد نظر از روش‌های دستگاهی مانند: طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR)، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (SEM-EDS) و پراش پرتو ایکس (XRD) استفاده شد. در این پژوهش برای انجام طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه از دستگاه FT-IR spectrometere مدل FT-IR-680Plus ساخت شرکت Jasco ژاپن متصل به نرم‌افزار Spectra Manager نسخه ۱،۵۳،۰۱ در دانشگاه هنر اسلامی تبریز استفاده شد. روش‌های آماده‌سازی نمونه‌ها جهت انجام آنالیز به صورت پودر کردن هر نمونه و ساخت قرص آن به واسطه مخلوط کردن با پودر KBr است و جهت خروج رطوبت از نمونه‌ها به مدت ۱ ساعت در دمای ۷۰ درجه آن نگه‌داری شد. **EDS:** نمونه‌های مورد نظر پس از آماده‌سازی (از مغز نمونه‌های با کد: R-1، R-2، G-1، S-2) B-1 نمونه‌هایی به ابعاد حدود سه میلی‌متر جدا شد که در حین این اقدام، پیشگیری از آلوده شدن نمونه‌ها مدنظر بود) و کدگذاری جهت تعیین درصد عناصر سازنده و تصویربرداری میکروسکوپی به روش (SEM)، با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (FE-SEM) مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN بررسی شدند.

XRD: جهت انجام این آزمایش نیز پس از آماده‌سازی نمونه‌های مورد نظر (حدود یک گرم از هر نمونه که به صورت پودر درآمد) جهت آنالیز در آزمایشگاه XRD مرکز زمین‌شناسی تبریز از دستگاه دیفراکتومتر مدل XRD_D siemens 5000 تیوپ CU ساخت کشور هلند استفاده شد.

نتایج و بحث در یافته‌های پژوهش

FT-IR: بستر گچی قرمز رنگ ضلع شمالی اتاق (R-1) با استفاده از طیف‌سنجی FT-IR، مورد بررسی قرار گرفت (تصویر ۵). دیوار شمالی برخلاف ضلع غربی که دارای بستر اولیه خاکستری رنگ است، به رنگ قرمز و نسبتاً پررنگ‌تر در مقایسه با لایه‌های قرمز رنگ آرایه گچی ضلع غربی کار شده است. مقایسه این طیف با نمونه‌های گچی ضلع غربی که تقریباً تمامی آن‌ها طیف مشابهی

را ارائه می‌کردند، صورت گرفت. در طیف این نمونه، ارتعاشات شاخص ساختار گچ در ۳۵۴۳، ۱۶۲۱، ۱۱۱۴، ۶۷۰ و ۱۶۰۰-cm قابل مشاهده است (Knittle et al., 2001: 635). با این حال، اختلاف ساختاری قابل توجهی در این نمونه نسبت به نمونه‌های ضلع غربی مشهود است. در طیف این نمونه نوارهای جذبی در حدود ۷۱۳، ۸۷۴، ۱۴۳۰، ۱۸۰۰ و ۱۲۵۱۶-cm مشاهده می‌شود که مربوط به ارتعاشات کربنات در ساختار کلسیت است (Ylmen & Jaglid, 2013: 121). با این حال، علاوه بر نوارهای جذبی ذکر شده، پیک‌هایی در حدود ۴۶۹، ۵۲۱ (Fe-O)، ۷۹۵ و حدود ۱-CM که ۳۶۵۰ به صورت یک شانه درکنار پیک CM-1 3543 گچ دیده می‌شود، قابل مشاهده است. این نوارهای جذبی عموماً در طیف رنگ‌های قرمز اکسیدهای آهن قابل مشاهده است. براساس گزارش این پژوهشگران، این نوارهای جذبی و موقعیت آن‌ها، احتمال استفاده از قرمز آخرا یا گل ارمنی (که رنگ دانه‌های برپایه اکسید آهن هستند) را در این نمونه تقویت می‌کند (Čiuladienė et al., 2018: 249).



تصویر ۵. طیف FT-IR از بستر گچی قرمز رنگ دیوار شمالی (R-1) در قیاس بالایه‌های گچی ضلع غربی (پایین: R-1، بالا: G-1)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

نتایج حاصل از آنالیز EDS نمونه‌ها در جدول ۱ ارائه شده است که در این جدول نمونه S-2، به عنوان نمونه شاهد از گچ بدون رنگ در لایه آستر مورد آنالیز قرار گرفته است. در نتیجه این آنالیز، میزان S برابر با ۱۳/۰۲ درصد و میزان Ca برابر با ۱۷/۷۹٪ به دست آمده است. این دو عنصر، عناصر اصلی گچ ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) هستند. وزن اتمی استاندارد سولفور برابر با ۳۲/۰۶ و وزن اتمی کلسیم برابر با ۴۰/۰۷ است؛ به عبارتی در ترکیب گچ، این دو عنصر با همین نسبت با یکدیگر ترکیب می‌شوند. برای میزان گوگرد به دست آمده از نمونه S-2 در این پژوهش (۱۳/۰۲)، مقدار ۱۶/۲۷٪ کلسیم برای ترکیب گچ لازم است؛ همان‌طور که در جدول ۲ قابل مشاهده است، میزان کلسیم بیشتر از مقدار مورد نیاز برای ترکیب گچ است. ۱/۷٪ مازاد کلسیم می‌تواند مربوط به ناخالصی آهک در نمونه باشد که در آثار تاریخی امری طبیعی و عادی است.

بررسی نمونه‌های R-1 (لایه بستر رویی قرمز رنگ)، R-2 (لایه بستر زیرین قرمز رنگ) و R-3 (لایه رنگ قرمز نقوش)، میزان قابل توجهی آهن را نشان می‌دهند. بررسی نسبت آهن به کلسیم در نمونه S-2 برابر با ۰،۳۳ است که در نمونه R-1 این میزان به ۰،۲۱، R-2 به ۰،۵۷ و R-3 نیز به ۱/۹۵ افزایش یافته که گویای حضور آهن از منبعی مازاد بر گچ است و لذا نتایج نشان از احتمال استفاده از ترکیبات آهن (آخرا) به عنوان عامل رنگ قرمز در این نمونه‌ها دارد. البته در نمونه R-3،

که به صورت لایه‌ای نه‌چندان مشخص و قرمز رنگ به سبب تجمع چرکی و دوده، روی بستر نقوش مشاهده می‌شد، نتایج نشان از نسبت به مراتب بیشتر آهن به کلسیم دارد که این موضوع به سبب استفاده از ترکیبات رنگی آهن به عنوان یک لایه رنگ مجزا روی سطح بوده و با دو نمونه دیگر که به صورت گچ رنگی استفاده شده‌اند، متفاوت است.

جدول ۲. درصد جرمی عناصر شناسایی شده نمونه‌های مورد مطالعه به روش EDS (نگارندگان، ۱۳۹۹).

کد نمونه‌ها عناصر	R-1	R-2	R-3	G-1	S-2	B-1
C	-	-	-	-	6.07	-
O	-	-	65.89	-	58.21	89.05
Na	-	-	1.11	-	0.28	2.29
Mg	0.28	0.71	0.66	0.45	0.35	0.70
Al	0.81	1.42	2.64	1.92	0.71	1.43
Si	2.16	3.38	7.29	5.08	2.37	1.88
S	38.14	30.94	4.93	38.32	13.02	2.22
Cl	-	-	0.88	-	-	0.65
K	-	-	0.85	-	0.32	-
Ca	48.27	40.50	5.26	52.88	17.97	1.09
Ti	-	-	0.23	-	0.10	-
Fe	10.35	23.05	10.25	1.34	0.60	0.36
Co	-	-	-	-	-	-
Ni	-	-	-	-	-	0.31

نمونه G-1، با استفاده از آنالیز EDS مورد بررسی قرار گرفت. ارزیابی نتایج حاصل از آزمون EDS، عناصر شاخصی را که امکان ایجاد رنگ خاکستری در گچ داشته باشد، نشان نمی‌دهد که این موضوع احتمال استفاده از خاکستر یا ترکیبی آلی در این نمونه را محتمل می‌کند. هم‌چنین با مقایسه نسبت سولفور به کلسیم در ترکیب گچ، میزان ۴/۹۹٪ مقدار کلسیم بیشتر است که می‌تواند مربوط به آهک باشد که به ملات گچی اضافه شده است.

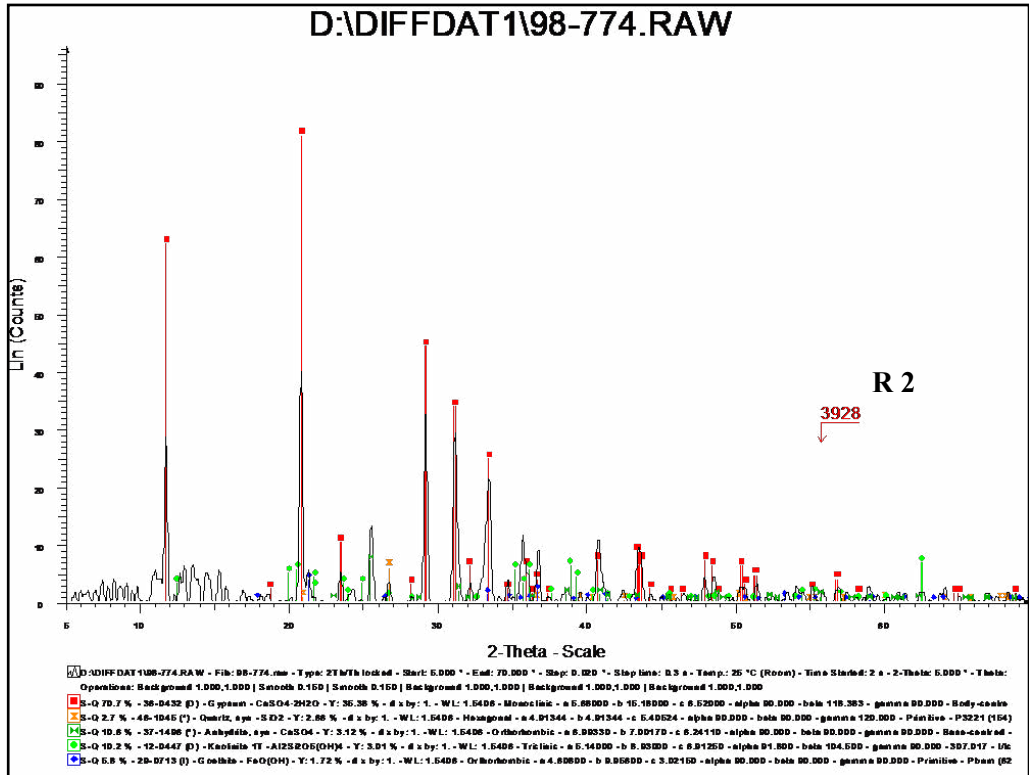
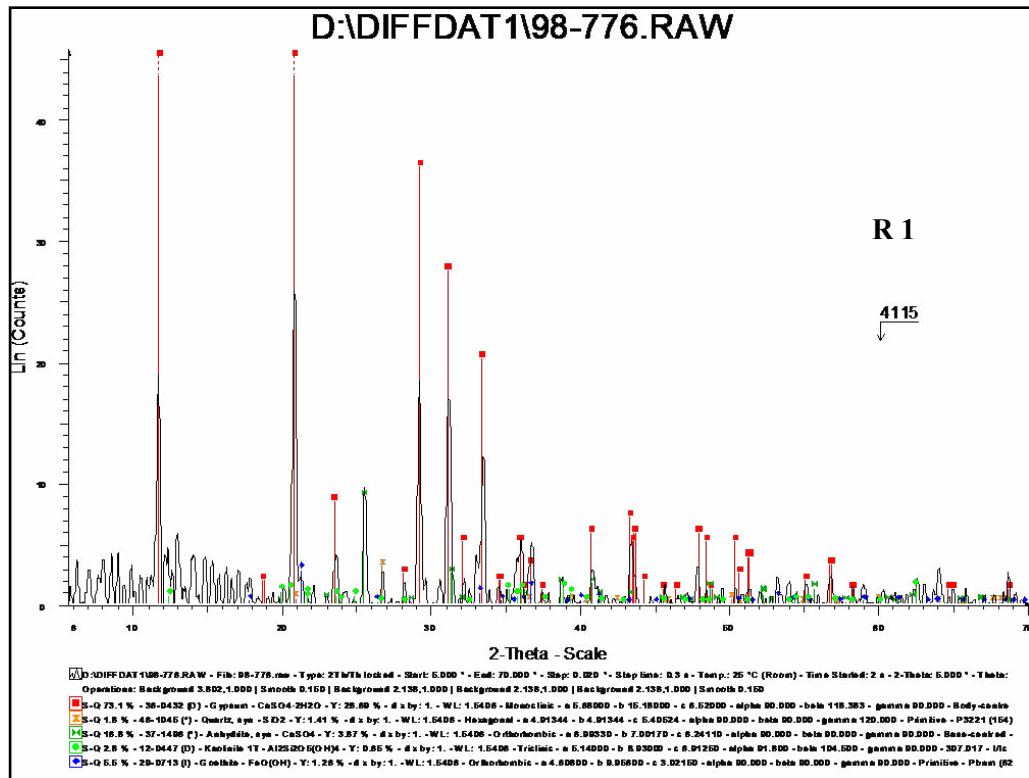
نمونه B-1 که لایه سیاه‌رنگ روی زمینه است، با استفاده از EDS مورد بررسی قرار گرفت. این لایه با توجه به تجمع آن در سطح، دو احتمال استفاده از لایه‌ای از رنگ سیاه و یا دوده را نشان می‌دهد. با این حال، بررسی این لایه نشان از نسبت سولفور به کلسیم در حدود ۲/۰۱ دارد، در حالی که این میزان در گچ برابر با حدود ۰/۸ است؛ لذا در ساختار این لایه، تجمع قابل توجهی از ترکیبات سولفور مشاهده می‌شود که عموماً همراه با دوده هستند (Srivastava & Jain, 2012).

XRD: دو نمونه R-1 و R-2 با استفاده از XRD بررسی شد که نتایج آن در جدول ۳ و تصویر ۶ ارائه شده است. فازهای اصلی نمونه R-1 ژیبس و انیدریت است و فازهای فرعی: کوارتز، کائولینیت و گوئیت هستند.

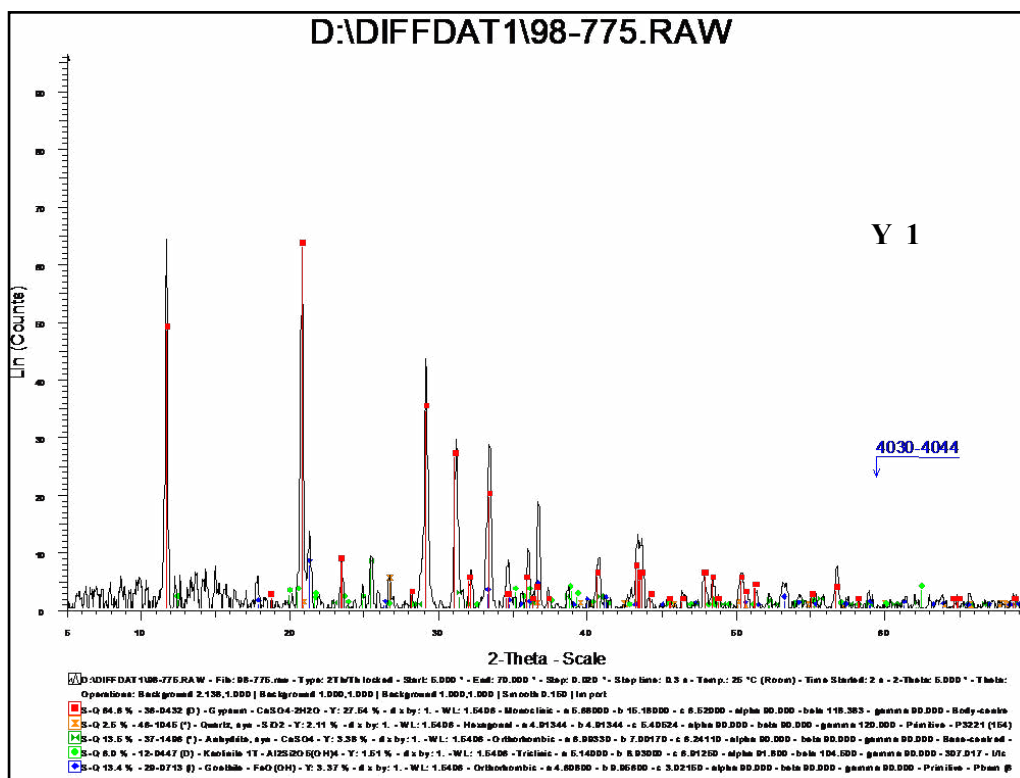
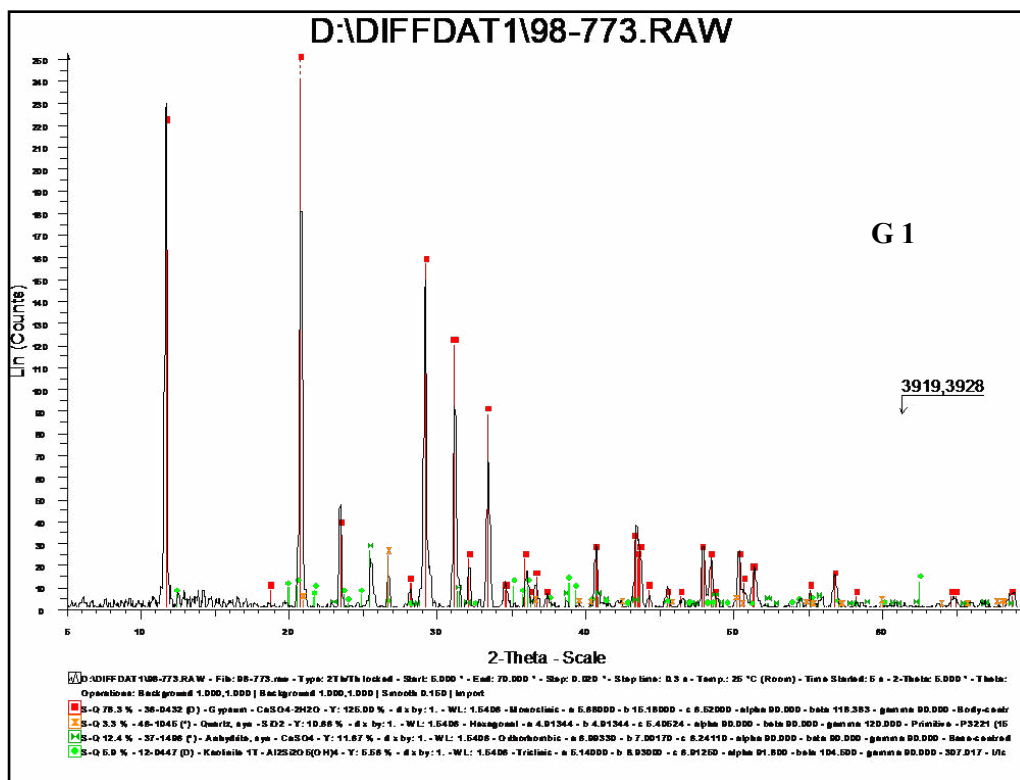
بخشی از انیدریت می‌تواند مربوط به زمان پخت سنگ گچ باشد و بخشی می‌تواند مربوط به رخداد تبدیل فاز از ژپس به انیدریت باشد. فاز ژپس در شرایط خاص، مثلاً دمای بین ۴۰ الی ۸۰ درجه سانتی‌گراد و فشار و گاهی در حضور برخی نمک‌ها می‌تواند به مرور زمان تبدیل به بازائیت شود (Ballirano & Melis, 2009: 397). با توجه به این‌که شهر کرمان دارای رطوبت نسبی هوای پایین است و در تابستان دمای هوا نیز به بالاتر از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد، در این شرایط و در حضور یون کلر، این تبدیل فازی می‌تواند اتفاق بیافتد. میزانی از گوئیت درکنار ژپس و انیدریت نشان‌دهنده استفاده از اخرای قرمز در ملات گچ جهت ایجاد طیف قرمز در آن بوده است (گوئیت در دو رنگ قرمز و زرد در طبیعت یافت می‌شود). هم‌چنین ناخالصی خاک به میزان کم در این ترکیب مشاهده می‌شود که وجود میزان اندکی از کوارتز در نمونه می‌تواند شاهد این نتیجه باشد. نمونه R-2 از نظر فازهای به دست آمده شبیه به نمونه R-1 است با این تفاوت که کائولینیت جزو فازهای اصلی است که از نظر لایه‌های آرایه‌های گچی کاملاً معمول است. معمولاً لایه آستر که لایه زیرین است دارای افزوده خاک و گاهی خاکستر است. میزان اندکی از گوئیت برای ایجاد رنگ قرمز در ملات گچ کافی به نظر می‌رسد. بررسی فازهای تشکیل دهنده ساختار نمونه G-1 نیز که با استفاده از XRD انجام شد، که ژپس و انیدریت فازهای اصلی و کوارتز و کائولینیت فازهای فرعی آن هستند. در این نمونه گوئیت شناسایی نشده است. این نمونه به رنگ خاکستری است که نیازی به رنگ‌دانه قرمز ندارد؛ از این رو با توجه به عدم شناسایی ترکیب معدنی شاخصی که منجر به ایجاد رنگ خاکستری این نمونه شود، احتمال استفاده از خاکستر در این نمونه دور از انتظار نبوده و امری محتمل است. در نمونه Y-1 که لایه بستر زرد رنگ است، فازهای اصلی و فرعی شناسایی شده مانند نمونه R-1 است. با این تفاوت که در این نمونه، گوئیت زرد در ترکیب ملات گچ وجود دارد.

جدول ۳. نتایج داده‌های فازشناسی کیفی با استفاده از پراش اشعه ایکس به روش پودری از لایه‌های اندود (نگارندگان، ۱۳۹۹).

Mineral Sample	Gypsum	Anhydrite	Quartz	Kaolinite	Goethite
R-1	*	*	*	*	*
R-2	*	*	*	*	*
G-1	*	*	*	*	-
Y-1	*	*	*	*	*
Chemical formula	Gypsum: CaSO ₄ , 2H ₂ O: Monoclinic Anhydrite: CaSO ₄ : Orthorhombic Quartz: SiO ₂ : Hexagonal Kaolinite: Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ : Triclinic Goethite: FeO(OH): Orthorhombic				
Major Phase(s)		Minor Phase(s)			



تصویر الف. گراف‌های مربوط به آنالیز فازی XRD از نمونه‌های: R1, R2, Y1, G1 (نگارندگان، ۱۳۹۹).



تصویر ۶. گراف‌های مربوط به آنالیز فازی XRD از نمونه‌های: R1, R2, Y1, G1 (نگارندگان، ۱۳۹۹).

نتیجه‌گیری

مدرسۀ (کاروانسرای) گنجعلی خان کرمان هم‌زمان با مجموعه گنجعلی خان در دورۀ صفویه ساخته شده است و یکی از آرایه‌های خاص این بنا، آرایه گچی بوم‌ساب با ملات رنگی است که در اضلاع مختلف و هم‌چنین سقف اتاق شاه‌نشین اجرا شده است. در دوره‌های گذشته، یک لایه اندود سفید روی تمام آرایه‌های گچی اتاق شاه‌نشین اجرا شده بود که خوشبختانه بخش زیادی از آن در سال‌های گذشته لایه‌برداری شده است. در این پژوهش از لایه‌های مختلف ملات رنگی، نمونه‌برداری انجام شد و مورد مطالعات تخصصی قرار گرفت.

در نتیجۀ طیف‌سنجی مادون قرمز FT-IR می‌توان گفت ملات لایه‌های بستر از گچ است با ناخالصی کم آهک که زمان عمل‌آوری، مقداری رنگ‌دانه قرمز آخرا به آن اضافه شده است تا ملات به رنگ قرمز درآید. هم‌چنین شواهدی از مواد آلی به‌عنوان مواد افزوده به ملات گچ شناسایی نشد. نتیجۀ آنالیز عنصری نقطه‌ای EDS از ملات گچ بدون رنگ، حضور میزان اندکی از کلسیم مازاد (احتمالاً ناخالصی آهک) را نشان داد. هم‌چنین در ملات‌های قرمز رنگ لایه‌های بستر زیرین و رویی، آهن به‌عنوان عامل رنگ‌زا شناسایی شد و وجود قرمز آخرا مسجل گردید. در ملات خاکستری هم وجود خاکستر در مخلوط با آهک از احتمالات قوی است. آنالیز فازی XRD از چهار نمونه منتخب نشان از این دارد که فاز غالب در هر چهار مورد، ژپس و انیدریت است و فقط در یکی از نمونه‌ها، کائولینیت نیز به‌عنوان فاز اصلی شناسایی شد. فازهای فرعی شناسایی شده نیز کوارتز، کائولینیت و گوئیت است. درواقع، آرایه گچی بوم‌ساب در این بنا از ملاتی ساخته شده که از ابتدا مقداری انیدریت داشته و مابقی انیدریت شناسایی شده مربوط به شرایط خاص کرمان است که هم هوای خشکی دارد و هم در ماه‌هایی از سال رطوبت نسبی هوای پایینی دارد و یون کلر در محیط وجود داشته است که این شرایط در بلندمدت باعث تغییر فاز در گچ شده است؛ هم‌چنین گوئیت در دو حالت قرمز و زرد برای رنگی کردن ملات استفاده شده است که از نکات جالب‌توجه در این مطالعه است.

تاکنون نتیجۀ پژوهشی درخصوص آرایه گچی بوم‌ساب با ملات رنگی منتشر نشده است. این شیوه (با ملات رنگی) از نظر ظاهری تا حدودی شبیه به آرایه گچی تخمه‌درآوری است که برای تشخیص آن، دقت نظر لازم است. از نکات قابل توجه در این بنا، اجرای لایه بستر رنگی زیرین است. در حالت عادی برای بستر زیرین هیچ‌گاه ملات رنگی استفاده نمی‌شده است (به دلیل دیده نشدن). زمانی از ملات رنگی در لایه‌های زیرین استفاده می‌شده که برش‌هایی بر روی لایه‌های رویی انجام شود تا ملات رنگی دیده شود (مانند: آرایه گچی تخمه‌درآوری). می‌توان این‌گونه تصور نمود که در ابتدا به نیت اجرای آرایه گچی تخمه‌درآوری، لایه‌های بستر زیرین و بستر رویی هر دو با ملات رنگی اجرا شده است و بنا به دلیلی (که اطلاعی نداریم) تصمیم عوض شده است. درنهایت، اجرای نقوش فقط بر سطح لایه رویی و به شیوه بوم‌ساب انجام پذیرفته است. قابل ذکر است در همین مجموعه (در ایوان شاه‌نشین)، آرایه گچی تخمه‌درآوری نیز اجرا شده و در حال حاضر قابل مشاهده است.

پی‌نوشت

1. Calcium sulfate dehydrate, CaSo4.2H2O

۲. بلورهای ژپس غالباً در جهت (۰۱۰) پهن و در جهت محور Z دراز می‌شوند. فرم‌های عادی که پوشش معمولی ژپس را به‌وجود می‌آورند، عبارتند از فرم‌های: (۰۱۰)، (۱۱۰) و (۱۱۱). (Gourdin & Kingery, 1975).

کتابنامه

- آقاجانی اصفهانی، حسین، (۱۳۵۹). «تعمیرات نقاشی». مجله اثر، دوره ۱، شماره ۱، صص: ۹۰-۷۹.
- اصلانی، حسام، (۱۳۸۵). «شیوه اجرای تزئینات کشته بری در کاخ عالی قاپو». گلستان هنر، دوره ۲، شماره ۳، صص: ۱۳۰-۱۲۳.
- اصلانی، حسام، (۱۳۹۱). «فن شناسی آرایه های گچی در معماری ایران دوران اسلامی». رساله دکتری، رشته مرمت آثار و اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان (منتشر نشده).
- باستانی پاریزی، محمدابراهیم، (۱۳۵۳). گنج علی خان و خیرات او. کرمان: انتشارات اداره کل فرهنگ و هنر استان کرمان.
- پوراحمد، احمد، (۱۳۷۶). جغرافیا و کارکردهای بازار کرمان. کرمان: انتشارات مرکز کرمان شناسی.
- پیرنیا، محمدکریم، (۱۳۸۲). سبک شناسی معماری ایرانی. چاپ دوم، تهران: نشر پژوهنده.
- حاجی سیدجوادی، سید محسن؛ فهیمی فر، اصغر؛ و حمزوی، یاسر، (۱۳۹۹). «بررسی و شناخت مواد معدنی آرایه های لایه چینی و طلاچسبان دوره صفوی در عمارت چهل ستون قزوین». پژوهش های باستان شناسی ایران، دوره ۱۰، شماره ۲۵، صص: ۲۴۰-۲۲۵.
- حمزوی، یاسر؛ و سرداری، علی محمد، (۱۳۹۱). «استفاده از آنالیزهای دستگاهی جهت فن شناخت آرایه های گچی بقعه ستی فاطمه یزد». مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی-تاریخی، تهران: پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.
- زنگی آبادی، علی (۱۳۷۰). جغرافیا و برنامه ریزی شهری کرمان، تهران. شرکت ایرانچاپ (مؤسسه اطلاعات).
- صالحی کاخکی، احمد؛ و اصلانی، حسام، (۱۳۹۰). «معرفی دوازده گونه از آرایه های گچی در تزئینات معماری دوران اسلامی ایران». مطالعات باستان شناسی ایران، دوره ۳، شماره ۱، صص: ۱۰۸-۹۲.
- محتشم، عادل؛ صالحیون، لیلیا؛ و احمدی، کامران، (۱۳۹۳). «بررسی فنی تزئینات گچ بری خانه شهشهان اصفهان با استفاده از روش های دستگاهی SEM-EDS و XRD و شیمی تر». مواد و فناوری های پیشرفته، سال ۳، شماره ۲، صص: ۴۹-۳۷.
- میش مست نهی، مسلم، (۱۳۹۴). «کاربرد تحلیل های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچ بری کوه خواجه سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین)». پژوهش باستان سنجی، سال ۱، شماره ۲، صص: ۱۴-۱.

- Aghajani Isfahani, H., (1980). "Restoration of Painting". *Athar*, No. 1 (1), Pp: 79-90.

- Loureiro, A.; Aranhapaz, S.; Veiga, M. & Angelica, R., (2020). "Assessment of compatibility between historic mortars and lime-METAKAOLIN restoration mortars made from amazon industrial waste". *Applied Clay Science*, Vol. 198, Pp: 105-843, <https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105843>.

- Almviva, S.; Lecci, S.; Puiu, A.; Spizzichino, V.; Fantoni, R.; Falconieri, M.; Gagliardi, S.; Chiari, M.; Mazzinghi, A.; Ruberto, C.; Casaril, G.; Bandini, G. & Morretta, S., (2019). "Raman/XRF/EDX microanalysis of 2nd-century stuccoes from DomusValeriorum in Rome". *Journal of Cultural Heritage*, Vol. 37, Pp: 225-232. <https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.11.004>

- Aslani, H., (2006). "Gypsum Carving Decorations in Aliqapu Palace". *Golestan-e Honar*, No. 2 (3), Pp: 123-130.
- Aslani, H., (2012). "The Technology of Decorative Gypsum Stucco belong Architecture of Islamic Era in Iran". Ph.D. Thesis, Art University of Isfahan.
- Ballirano, P., & Elisa, M., (2009). "Thermal behaviour and kinetics of dehydration of gypsum in air from in situ real-time laboratory parallel-beam X-ray powder diffraction". *Physics and Chemistry of Minerals*, No. 36 (7), Pp: 391.
- Baštani Parizi, M. I., (1974). *Ali Khan's treasure and his charity*. Kerman: General Department of Culture and Art of Kerman Province.
- Beldjilali, S.; Bougara, A.; Aguiar, J.; Bouhamou, N. & Dabbebi, R., (2020). "Properties of a new material based on a gypsum matrix incorporating waste brick". *Construction and Building Materials*. Vol. 259, 120-416, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120416>.
- Čiuladienė, A.; Luckutė, A.; Kiuberis, J. & Kareiva, A., (2018). "Investigation of the chemical composition of red pigments and binding media". *Chemija*, No. 29(4), Pp: 243–256.
- Gourdin, W. H. & Kingery, W. D., (1975). "The beginnings of pyrotechnology: Neolithic and Egyptian lime plaster". *Journal of Field Archaeology*, No. 2(1-2), Pp: 133-150.
- Hajisayyedjavadi, S. M.; Fahimifar, A. & Hamzavi, Y., (2020). "Study and Recognition of Mineral Matter of Paštiglia Layer and Gliding of Safavid Period in Qazvin Chehelsotoun". *Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran*, No. 10 (25), Pp: 225-240, (In Persian).
- Hamzavi, Y. & Sardari, A. M., (2013). "Investigation of natural and industrial stabilizer for usage in stucco decoration in Seti Fatima mausoleum. Proceedings of the "First Conference on Materials Science and Protection of Cultural and Historical Monuments"". March 31, 2012, Tehran: Research Institute of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization, (In Persian).
- Knittle, E.; Phillips, W. & Williams, Q., (2001). "An infrared and Raman spectroscopic study of gypsum at high pressures". *Phys Chem Min*, No. 28, Pp: 630–640, <https://doi.org/10.1007/s002690100187>, (In Persian).
- Loureiro, A.; Aranha da Paz, M. S.; Simone, P.; Veiga, Maria do R., & Angélica, R. S., (2020). "Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil". *Construction and Building Materials*, Vol. 233, 117-284, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117284>.
- Marvila, M. T.; Azevedo, A. R. G.; Barroso, L. S.; Barbosa, M. Z. & Brito, J. de., (2020). "Gypsum plaster using rock waste: A proposal to repair the renderings of historical buildings in Brazil". *Construction and Building Materials*, Vol. 250, 118-786, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118786>.
- Mishmastnehi, M., (2015). "The Application of Crystallographic Interpretation on Technical Study of Gypsum-Based Historical Materials (Case studies of stucco

decoration of Kuh-e Khwaja and Gypsum Mortars from Shadiakh and Alamut)". *Journal of Reserch on Archaeometry*, No. 1 (2), Pp: 1-14, (In Persian).

- Mohtasham, A.; Salehioun, L.; Ahmadi, K., (2014). "Technical study of stucco ornemens in "Shah-shahan" house using XRD, SEM and wet chemistry". *Advanced Materials and Technologies*, No. 3 (2), Pp: 37-49, (In Persian).

- Ngah, Sh. A.; Dams, B.; Ansell, M. P.; Stewart, J.; Hempstead, R. & Ball, R. J., (2020). "Structural performance of fibrous plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites". *Construction and Building Materials*, Vol. 259, 120-396, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120396>, (In Persian)

- Ouakarrouch, M.; Karima El Azhary, L., N.; Garoum, M., & Kifani-Sahban, F., (2020). "Thermal performances and environmental analysis of a new composite building material based on gypsum plaster and chicken feathers waste". *Thermal Science and Engineering Progress*, Vol. 19, 100-642, ISSN 2451-9049, <https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100642>, (In Persian).

- Pirnia, M. K., (2003). *Stylistics of Iranian architecture*. Second Edition, Tehran: Pajouhandeh, (In Persian).

- PourAhmad, A., (1997). *Geography and functions of Kerman*. Kerman: Markaz-e Kerman shenasi.

- Sālehi Kākhki, A.; Aslāni, H., (2011). "Presentation of 12 Kinds of Stucco Works Used in the Architectural Decoration of the Islamic Period in Iran Based on Technical Properties". *Journal of Archaeological Studies*, No. 3 (1), Pp: 89-106, (In Persian).

- Sanjurjo Sánchez, J.; Vidal Romani, J. R. & Alves, C., (2011). "Deposition of particles on gypsum-rich coatings of historic buildings in urban and rural environments". *Construction and Building Materials*, Vol. 25, Issue 2, Pp: 813-822, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.001>, (In Persian).

- Srivastava A. & Jain V., (2012). "Applying SEM-EDX and XRD Techniques to Demonstrate the Overgrowth of Atmospheric Soot and Its Coalescence with Crystal Silicate Particles in Delhi". *Atmospheric and Climate Sciences*, Vol. 2 No. 1, Pp: 89-93, doi: 10.4236/acs.2012.21010, (In Persian).

- Sudell, H., (2010). *The complete Guide to Rocks & Minerals*. Project Editor: Catherine Stuart, London: Hermes House.

- Ylmén, R. & Ulf Jäglid., (2013). "Carbonation of Portland Cement Studied by Diffuse Reflection Fourier Transform Infrared Spectroscopy". *International Journal of Concrete Structures and Materials*. <https://doi.org/10.1007/s40069-013-0039-y>.

- Zangiabadi, A., (1991). *Geography and urban planning of Kerman*. Tehran: Iranchap (Information Institute).