

بررسی مواد رنگ‌ساز در نقوش تزئینی ایوان‌های شمالی و جنوب‌شرقی گنبد سلطانیه

مهدی رازانی^I، مهدی کردی^{II}، محمد مرتضوی^{III}، یاسین صدقی^{IV}

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22084/NB.2020.21774.2150

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۳/۱۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۷/۱۸

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۲۶۵-۲۸۸

چکیده

I. دانشیار گروه مرمت و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).
m.razani@tabriziau.ac.ir
II. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
III. استادیار، گروه مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران
IV. کارشناس ارشد باستان‌سنجی، اداره حفاظت و مرمت، مؤسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد مستضعفان انقلاب اسلامی، تهران، ایران.

بنای گنبد سلطانیه در شهر سلطانیه، یکی از پایتخت‌های ایلخانان مغول که به‌دست «سلطان محمد خدابنده الجایتو» ساخته شد به‌عنوان هفتمین بنای ایران در سال ۲۰۰۵م. در فهرست میراث جهانی یونسکو به ثبت رسید. از نظر معماری شاخص و تزئینات رنگی و نقاشی‌های دیواری بر روی بسترهای مختلف بنای گنبد سلطانیه از مهم‌ترین و پرکاربردترین بناهای موجود در دوره ایلخانی است. در همین راستا، با توجه به این‌که شناخت نوع رنگ‌ها و نحوه اجرای این تزئینات می‌تواند یکی از مهم‌ترین موضوعات و مباحث مورد نظر در جهت شناخت بیشتر و بهتر این بنا و تکنیک‌ها و رنگ‌های رایج در قرون میانی اسلامی باشد؛ این پژوهش براساس پرسش‌هایی از قبیل: شناسایی لایه‌ها و نحوه آماده‌سازی زمینه اجرای تزئینات رنگی و نقاشی‌ها چیست؟ و مطالعات شیمیایی و ساختارشناسی رنگ‌های به‌کاررفته در گنبد سلطانیه استفاده از چه نوع مواد رنگزایی برای آراستن بدنه‌ها را نشان می‌دهد؟ انجام شده است. براساس مطالعات صورت‌گرفته به نظر می‌رسد رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در تزئینات گنبد سلطانیه عمدتاً ساختارهای مبتنی بر مس، آهن باشند. در روند این مطالعه با بررسی دقیق مطالعات مشابه در قالب پیشینه تطبیقی تحقیق اطلاعات جامعی از مواد رنگ‌ساز و شیوه‌های نقاشان دوره ایلخانی پرداخته شده است. روش تحقیق در این مطالعه به صورت تجربی و توصیفی بوده است که در این راستا برای بررسی ترتیب لایه‌ها در آرایه‌های نقاشی از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) و نیز برای تشخیص نوع رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته سبز، آبی، زرد، قرمز، سفید و سیاه از روش‌های پراش پرتوی ایکس (XRD) و روش‌های شیمی تر استفاده شده است. آنالیز SEM به خوبی فن‌شناسی آرایه گچی و ترتیب لایه‌های نقاشی را نشان داد. نتایج مطالعه فوق در قالب آنالیزهای دستگاهی نشان‌دهنده آن است که مواد رنگ‌ساز استفاده شده شامل: رنگ‌های مالاکیت و سبز زنگار برای رنگ سبز، آزوریت مس برای رنگ آبی، و قرمز آخرا در قالب اکسید آهن برای رنگ‌های قرمز و آکر برای رنگ زرد و در نهایت از انیدرید سیاه کربن برای رنگ‌های سفید و سیاه به ترتیب استفاده شده است.

کلیدواژگان: تزئینات رنگی، نقاشی دیواری، رنگ‌های باستانی، گنبد سلطانیه،

SEM, XRD.

مقدمه

از شاخصه‌های مهم بنای گنبد سلطانی که در این بررسی مورد توجه است، تزئینات فضای داخلی آن است. در فضای داخلی، ایوان‌های رفیعی شکل‌گرفته که دربرگیرنده تزئینات اجرا شده به صورت‌های مختلف است. تزئینات بنای سلطانیه متعلق به دوره ایلخانیان مغول بوده و در زمان حکومت «الجایتو» و «ابوسعید» بنابر ملاحظه‌های سیاسی-مذهبی و یا گرایش‌های سلیقه‌ای ویژه در دو مرحله انجام شده‌اند؛ تزئینات دوره اول، شامل تزئینات اصلی گنبد، آجر و کاشی؛ و دوره دوم، شامل گچ‌بری، نقاشی و پته‌کاری روی تزئینات لایه اول است. اکثر محققین هنرهای کاربردی آجرکاری، کاشی‌کاری، تلفیق آجر و کاشی، برخی کتیبه‌ها، از جمله کتیبه‌های معقلی در خارج و داخل گنبد و هم‌چنین بخشی از گچ‌بری‌ها، از جمله نمای بیرونی و ایوان‌های طبقه دوم را به دوره اول تزئینات گنبد نسبت داده و پاره‌ای از هنرهای گچ‌بری و هم‌چنین نقاشی و نگارش خطوط و کتیبه‌ها، به ویژه در داخل گنبد و تربت‌خانه را به تزئینات دوره دوم نسبت می‌دهند (حمزه‌لو، ۱۳۸۱: ۸۱؛ خادم‌زاده و اصفهانی‌پور، ۱۳۹۳). درکل تزئینات موجود در این بنا را می‌توان در هفت دسته کلی تقسیم کرد که عبارتند از: (۱) تزئینات رنگ و نقاشی‌ها؛ (۲) تزئینات گچ‌بری و پته‌کاری؛ (۳) آجرکاری؛ (۴) تزئینات سنگی؛ (۵) تزئینات چوبی؛ (۶) کتیبه‌ها؛ (۷) و کاشی‌کاری (شکل ۲)، (نوشایی و قنبرزاده، ۱۳۹۴؛ حمزه‌لو، ۱۳۸۱). از جمله مهم‌ترین و گسترده‌ترین تزئینات گنبد سلطانیه، تزئینات نقاشی آن است که در حجم وسیعی در ایوان‌های داخلی گنبد سلطانیه اجرا شده‌اند و از ویژگی‌های مهم آن استفاده از نقوش: اسلیمی، ختایی، گل و بوته و هندسی است. رنگ‌های به‌کاررفته، شامل: آبی، قرمز، زرد، سفید، سیاه و سبز است. ترتیب لایه‌های ایجاد شده برای اجرای تزئینات نقاشی دیواری در این بنا، شامل: تکیه‌گاه، لایه آستر، لایه بستر، لایه تدارکاتی و لایه رنگ است. در راستای بررسی و مطالعه این تزئینات و نقاشی‌های داخلی بنا در ایوان‌های شمالی و جنوب شرقی، بحث فن‌شناسی آن که شامل: مواد و مصالح به‌کاررفته و هم‌چنین نحوه اجرای (تکنیک) هر یک از آن‌ها در این پژوهش مدنظر قرار گرفته است که در ادامه مقاله به نتایج آن‌ها پرداخته می‌شود.

پرسش‌های پژوهش: با توجه به استفاده گسترده از رنگ و مواد رنگ‌ساز در آرایه‌های معماری دوره ایلخانی و هم‌چنین در بنای شاخصی هم‌چون گنبد سلطانیه، شناخت مواد به‌کاررفته در قالب مواد رنگ‌ساز این بنا برای ارزیابی سیر تحول و تطور مواد رنگی در دوره‌های مختلف ضروری است؛ از این رو، در این پژوهش سه پرسش اصلی وجود دارد که عبارتند از: ۱- با توجه به مطالعات انجام شده، در دوره ایلخانی از چه نوع مواد رنگ‌سازی استفاده شده است؟ ۲- شناسایی لایه‌ها و نحوه آماده‌سازی زمینه اجرای تزئینات به‌کاررفته در نقاشی‌های دوره ایلخانی براساس بنای شاخصی مانند گنبد سلطانیه چیست؟ ۳- از چه نوع ترکیب‌های شیمیایی برای ساخت مواد رنگ‌ساز در گنبد سلطانیه استفاده شده است؟

روش پژوهش: روش پژوهش در مقاله حاضر برمبنای مطالعات تجربی و

توصیفی (آزمایشگاهی، میدانی و کتابخانه‌ای) استوار گشته است. در ابتدا رنگ‌های به‌کار رفته در تزئینات درونی ضلع شمالی و جنوب شرقی گنبد سلطانیه به صورت میدانی مشاهده و نمونه‌برداری‌های لازم با رعایت اصول و مبانی نمونه‌گیری انجام گردید؛ سپس در بخش شناسایی نوع رنگ‌ها و نوع گچ‌کاری، سعی شد تا از روش‌های آزمایشگاهی و دستگاهی رایج شناسایی رنگ استفاده شود. به همین منظور از روش‌های شیمی‌تر، پراش پرتوی ایکس و میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده گردید. پایه مطالعات آزمایشگاهی بر روی شناسایی ماهیت ساختاری و میکروسکوپی رنگ‌ها قرار داده شده است که بهترین نتایج ممکن را در اختیار نویسندگان قرار داد. برای تفسیر نتایج و جمع‌بندی کلی نیاز به بررسی دیگر مطالعات نیز بود که با در کنار هم قرار دادن اطلاعات حاصل و دیگر منابع، سعی شده است تا منبعی جامع از رنگ‌های گنبد سلطانیه و رنگ‌های دیگر بناهای دوره ایلخانی حاصل شود.

پیشینه پژوهش

پیشینه پژوهش در این پژوهش در دو دسته ۱- بررسی‌های صورت‌گرفته بر روی آرایه‌ها و تزئینات وابسته به معماری آن، و ۲- مطالعات انجام‌شده بر روی نوع مواد رنگ‌ساز و شناسایی انواع رنگ‌های موجود در این تزئینات است که البته تکیه بیشتر این مقاله بر روی پژوهش‌های صورت‌گرفته در دسته دوم هستند. از جمله پژوهش‌های موجود بر روی معماری گنبد سلطانیه می‌توان به: مخلصی، ۱۳۶۴؛ پیرنیا، ۱۳۸۰؛ ۱۳۸۱؛ دارایی‌گودرزی، ۱۳۸۵؛ گلزار، ۱۳۹۵، اشاره کرد؛ هم‌چنین پژوهشگرانی هم‌چون: حمزه‌لو، ۱۳۸۱؛ محبعلی، ۱۳۸۷؛ خادم‌زاده و اصفهانی‌پور، ۱۳۹۳؛ نوشایی و قنبرزاده، ۱۳۹۴، به بررسی برخی از تزئینات معماری گنبد سلطانیه پرداخته‌اند. علاوه بر پژوهش‌های ذکر شده در این بخش ممکن است برخی از دیگر پژوهش‌ها در متن اصلی مقاله استفاده شده باشند که می‌توانند جزئی از پیشینه پژوهش مورد نظر قرار گیرند.

از مهم‌ترین پژوهش‌هایی که در رابطه با شناسایی و نوع رنگ‌های به‌کار رفته در تزئینات معماری گنبد سلطانیه می‌توان نام برد، مقاله‌های «منوچهر حمزه‌لو» (۱۳۸۰) و «مریم شیروانی» (۱۳۹۸) است. حمزه‌لو به شناسایی نوع رنگ‌های قرمز، سیاه و سفید و شیروانی به شناسایی رنگ‌های موجود در ضلع جنوب غربی بنا پرداخته است که رنگ‌های قرمز، سیاه، سفید و زرد را شناسایی کرده است؛ هم‌چنین به جهت سهولت در دسترسی و شناسایی رنگ‌های شناسایی شده در دیگر بناهای هم‌دوره با سلطانیه توسط پژوهشگران مختلف، تمامی آن‌ها در یک جدول منظم گردآوری شده‌اند (جدول ۱).

گنبد سلطانیه

گنبد سلطانیه، یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین بناهای دوران اسلامی و ایلخانی ایران است که در ۳۰ کیلومتری زنجان و در میان بافت قدیم شهر سلطانیه واقع است (شکل ۱). این بنای تاریخی، تجلی‌گاه هنر و معماری دوره ایلخانی است که در

جدول ۱. مقایسه نتایج حاصل در پژوهش‌های مختلف بر روی رنگ‌های دوره ایلخانی در بناهای مختلف (نگارندگان، ۱۳۹۹).

منابع ارائه شده در مورد رنگ ایلخانی	انواع رنگ‌های شناسایی شده ایلخانی					بنای مورد مطالعه	
	سبز	زرد	سفید	سیاه	قرمز		آبی
(حمزه‌لو، ۱۳۸۰)	-	-	گل سفید	دوده	اخرا	-	گنبد سلطانیه
(نکویی اصفهانی و همکاران، ۱۳۸۴)	مالاکیت	-	کربنات کلسیم	-	هماتیت اخرا	آزوریت	محراب اولجایتو در مسجد جامع اصفهان
(ترابی و پدرام، ۱۳۸۶)	مالاکیت	-	کربنات کلسیم	دوده	اخرا	-	آزادان اصفهان
(کریمی و هلاکویی، ۱۳۸۷)	مالاکیت	اخرای زرد	گل سفید	دوده	اخرا	آزوریت لاچورد طبیعی	پیرحمزه سبزپوش ابرکوه
(ترابی، ۱۳۸۸)	مالاکیت	-	گل سفید	دوده	اخرا	آزوریت	چله‌خانه بقعه پیربکران
(فرهمنند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱)	مالاکیت سبز سیلو	-	-	دوده	اخرا شنگرف	آزوریت	مدرسه رکنیه
(فرهمنند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱)	مالاکیت	-	-	دوده	اخرا	آزوریت	مدرسه شمسیه
(فرهمنند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱)	سبز سیلو مالاکیت	-	-	دوده	قرمز سرنج	آزوریت	مدرسه کمالیه
(فرهمنند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱)	سبز سیلو مالاکیت	-	-	دوده	قرمز سرنج	آبی لاجورد	مدرسه حسینیان
(فرهمنند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱)	سبز سیلو مالاکیت	-	-	دوده	قرمز سرنج	آزوریت	بقعه شیخ احمد فهادان
(شیروانی، ۱۳۹۸)	-	اخرای زرد	کربنات کلسیم	سیاه استخوان	اخرا	-	ضلع جنوب‌غربی گنبد سلطانیه
(Mohtasham & amanian, 2017)	-	-	-	-	-	آزوریت	مدرسه سید شمس‌الدین یزد
(Mohtasham & amanian, 2017)	-	-	-	-	-	آزوریت	مدرسه سید کمال‌الدین یزد
(Mohtasham & amanian, 2017)	-	-	-	-	-	آزوریت	مدرسه سید رکن‌الدین

اواخر قرن هشتم هجری قمری به دستور الجایتو ساخته شده است. گنبد سلطانیه به سبک معماری و شیوه آذری ساخته شده است. در این شیوه، پیمون‌بندی و بهره‌گیری از عناصر یکسان برای دستاوردی به اندام و سازوار، بهره‌گیری بیشتر از هندسه و طراحی معماری، گوناگونی طرح و ساختمان‌هایی با اندازه‌های بسیار بزرگ در دستور کار قرار می‌گرفته است. گنبد سلطانیه، تمامی این ویژگی‌ها را داراست و یکی از بهترین سازه‌های معماری پس از اسلام در ایران شناخته شده است (گلزار، ۱۳۹۵). گنبد دو پوسته پیوسته آن نزدیک به ۲۵٫۵ متر دهانه دارد و خود آن روی دنده‌های باربر ساخته شده است. این گنبد سبویی شکل است و ویژگی‌های ساختمانی و نیارشی آن، چنان است که دانشمندی چون «سن پائولوزی» ساختمان گنبد کلیسای «سانتاماریا دلفیوره» در شهر فلورانس را برگرفته از این گنبد می‌داند (پیرنیا، ۱۳۸۰: ۲۲۳-۲۲۴). تمام سطح گنبد پوشیده از کاشی فیروزه‌ای رنگ بوده و قسمت زیرین، یعنی گردنی گنبد با خطوط کوفی تزئین شده است. دارای هشت منار در هشت زاویه بنا بوده که منارها عموماً باریک و به قطر تقریبی ۱ متر و به ارتفاع ۳٫۵ متر است که قسمت بیشتر آن‌ها به مرور زمان فروریخته است. بدنه

منارها با ترکیبی از آجر و کاشی به شیوه معقلی تزئین شده‌اند (مخلصی، ۱۳۶۴: ۶۳). در کنار گنبد، تربت‌خانه قرار دارد؛ تربت‌خانه فضایی به شکل مستطیل است که محراب را در جرز جنوبی خود جای داده است. بر سقف آن، کتیبه‌ای مزین به دو خط کوفی و ثلث همراه با نقوش اسلیمی به چشم می‌خورد. سرداب، سومین فضای گنبد سلطانیه است که محل اصلی قبر به‌شمار می‌رفته است. ورودی آن در ایوان جنوبی تربت‌خانه قرار دارد که به وسیله ۹ پله به محل اصلی قبر می‌رسد (دارایی‌گودرزی، ۱۳۸۵؛ گلزار، ۱۳۹۵).

ویژگی‌های معماری و تزئینات وابسته به معماری در دوره ایلخانی ایران

معماری ایلخانی از نظر زیبایی‌شناسی، چندان سبک جدیدی در تاریخ معماری ایران به وجود نیاورد و تا حدود زیادی دنباله‌روی معماری سلجوقی (در پلان‌ها، فنون، مواد و اسلوب‌های ساخت و پرداخت) بود (شراتو و گروه، ۱۳۷۶: ۷؛ بلرو و بلوم، ۱۳۸۲: ۱۵؛ ویلبر، ۱۳۴۶: ۱۱). سهم ایلخانیان عمدتاً به پالایش و سبک ساختن اشکال معماری سلجوقی منحصر شده است (هیلن‌براند، ۱۳۸۶: ۱۹۸)؛ به طور مثال، اگرچه گچ‌بری دوره ایلخانی از بسیاری جهات با گچ‌بری دوره سلجوقی و خارزمشاهی قابل مقایسه بوده و مشابه؛ اما به تدریج بر ظرافت، آراستگی و پیچیدگی نقوش و شیوه‌های اجرای آن‌ها افزوده شده و بسیار باشکوه‌تر به جلوه درآمده است (بلرو و بلوم، ۱۳۸۲: ۱۵). تاریخ خلق آثار مهم معماری مذهبی ایلخانی، سال‌های ۶۹۵-۷۳۶ ه.ق. است. ابنیه برجای مانده در استان‌های مرکزی و غرب ایران، تصویری از شکوه معماری این دوره به دست می‌دهد؛ به عنوان مثال، موفقیت و پیشرفت معماری در مساجد اطراف اصفهان، واقع در امتداد زاینده‌رود و در محله‌هایی به نام «دشتی»، «کاج» و «آزیران» مشاهده می‌شود. این مسجد و ابنیه‌ای که در اطرافشان ساخته شده بود، دلیل محکمی بر ادعای رونق شهر اصفهان در دوره ایلخانی است (بلرو و بلوم، ۱۳۸۲: ۱۶ و ۲۳). علاوه بر آن، از دوره اولجایتو در اصفهان محراب‌های باشکوهی از جمله محراب اولجایتو، بقعه پیربکران و مسجد جامع اشترجان باقی مانده است (هنرفر، ۱۳۵۰: ۲۵۲). در دوره ایلخانی ابنیه دینی بر ابنیه غیردینی برتری داده شدند؛ به طور قطع مهم‌ترین بناهای مذهبی این عهد، مساجد، مدارس، آرامگاه‌ها و خانقاه‌ها بودند (ویلبر، ۱۳۴۶: ۱۰ و ۳۴؛ اتینگهاوزن، ۱۳۸۴: ۱۶۰). اصولاً مغولان نوعی تسامح مذهبی داشتند که موجب رشد و گسترش اندیشه‌های مذهبی می‌شد و به نظر «هیلن‌براند» (۱۳۸۶: ۱۹) گشودگی آغوش ایلخانان به روی سایر فرهنگ‌ها و اعتقادات، عامل بسیار مهم در شکل‌گیری هنری این دوره بوده است. پادشاهان ایلخانی پس از مسلمان شدن در ساختن بناهای مذهبی به رقابت می‌پرداختند؛ نمود آن‌را در بسیاری از شهرها و نواحی تحت سلطه ایشان، در ساخت مساجد، امامزاده‌ها و نیز مدارس دینی به جای مانده از آن دوره، می‌توان مشاهده نمود. نیاز به ساختن تعداد زیادی بنا و نیز مهاجرت معماران و هنرمندان به دیگر سرزمین‌ها در اثر حمله مغول، باعث بروز اشتباهاتی در ساخت بعضی از عناصر معماری شد؛ به عنوان مثال، در طراحی برخی از قوس‌ها و طاق‌ها اشتباهاتی مشهود

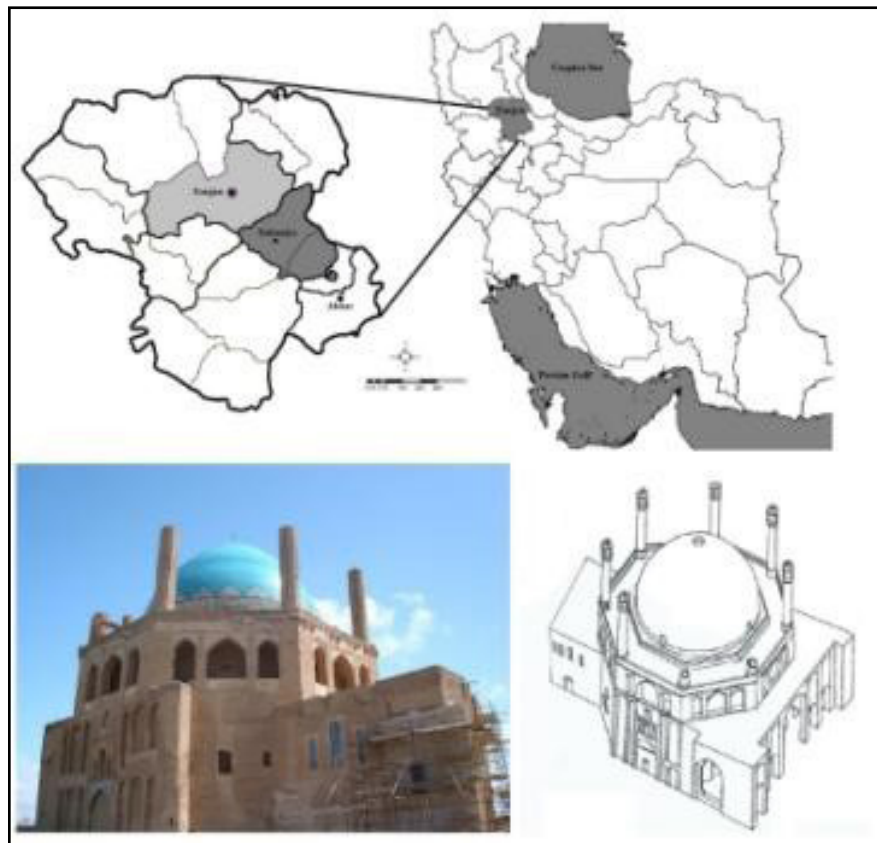
است و حتی گمان می‌رود در برپا کردن شهر سلطانیه نیز بررسی کافی صورت نگرفته باشد؛ زیرا صرف علاقه اولجایتو در ساخت سلطانیه، کششی برای ایجاد پایتخت چه از نظر موقعیت جغرافیایی و چه از نظر وضعیت اقتصادی در آن ناحیه ایجاد نمی‌کرد (پیرنیا، ۱۳۸۱: ۱۹۷). مصالح ساختمانی و تزئینات معماری، اکثر بناها از خشت خام بود که آن‌ها را با روکش آجری یا گچی می‌پوشاندند؛ هم‌چنین در ساخت بناها، طرح‌ها و تصمیمات اولیه، همیشه ثابت نمی‌ماند و ممکن بود در حین کار، طرح و یا تزئینی تغییر کند. نمونه‌هایی از این‌گونه تغییرات در نمای خارجی مقبره «چلبی اوغلو» می‌توان مشاهده کرد که پس از آجرکاری استادانه به ناگهان طرح آجر در ارتفاع تقریبی ۲/۵ متری از پایه، جای خود را به آجرکاری ساده می‌دهد. گاهی اوقات تزئینات به صورت الحاقی و پس از اتمام بنا انجام می‌پذیرفت و گاهی نیز هم‌زمان با پیشرفت و بالا آمدن بنا (همان: ۴۶). در این دوره احتمالاً طرح‌های تزئینی پیش‌تر طراحی و سپس اجرا می‌شد؛ ورود ظرافت‌های دقیق در ترسیم نقوش، اندازه حروف کتیبه‌ها و قراردادن آن‌ها در قاب بندی مورد نظر، می‌تواند دلیل این ادعا باشد (ویلبر، ۱۳۴۶: ۸۸).

در دوره ایلخانی سعی بر آن بود که بناها را در جای مرتفع بسازند؛ تا ضمن اشراف به دیگر نقاط، از مناطق دیگر نیز به خوبی دیده شوند و توجه بیننده را به خود جلب کنند. پی بنا را نیز معمولاً از سنگ قلوه می‌ساختند و ضخامت آن را بسته به شرایط زیرساختی زمین مورد نظر، متفاوت در نظر می‌گرفتند؛ به طور مثال، برای ضلع جنوبی گنبد سلطانیه، این پی‌سازی در حدود نیم متر در نظر گرفته شده که به خوبی وزن گنبد را حدود شش قرن تحمل کرده است. از نقطه نظر نقشه بنا، ابنیه ایلخانی از دوره‌های قبل کاملاً متمایز هستند. به طور قطع هیچ‌یک از ساختمان‌های این عصر کاملاً شبیه به ساختمان‌های دیگر نیست.

در مساجد دوره ایلخانی پلان چهار ایوانی با گنبدی در سمت قبله، مرسوم‌ترین نقشه بود که الگوی ساخت بناهای مذهبی و غیرمذهبی این دوره، مانند مدرسه، خانقاه و کاروانسرا نیز گردید (بلر و بلوم، ۱۳۸۲: ۱۵). دیگر پلان مطلوب مسجد در این دوره مرکب از یک صحن و تالار گنبددار با یک ایوان در بخش پیشین بود؛ مانند پلان سه مسجد نزدیک به هم در روستاهای اطراف اصفهان؛ «دشتی»، «کاج» و «آزیران» (شراتو و گروه، ۱۳۷۶: ۸). نوع دیگر مساجد ایلخانی، مساجد دو ایوانی، مانند «مسجد جامع اشترجان» است (بلر و بلوم، ۱۳۸۲: ۲۴). در مطالعه جریان‌های دینی مؤثر در شکل‌دهی به معماری دوران سلجوقی و ایلخانی دو نیروی محرک مذهبی در معماری این دوره قابل توجه هستند؛ یکی، تعلق خاطر به تصوّف یا عرفان اسلامی؛ و دیگری، محبت به امامان، امامزاده‌ها و قدیسان محلی؛ بدین ترتیب، ابنیه تدفینی دوره ایلخانی که از الگوهای دوره سلجوقی مایه می‌گرفتند به دو دسته عمده تقسیم می‌شدند؛ بقعه‌ها و برج مقبره‌ها (شراتو و گروه، ۱۳۷۶: ۱۰).

بقعه‌ها غالباً متعلق به مشایخ صوفیه بودند و توسط پادشاهان ایلخانی و وزیران آن‌ها برای تکریم مقبره‌های مشایخ صوفیه ساخته و به‌عنوان کانون توجه حمایت‌های محلی و ملوکانه موجب رفاه اهالی آن منطقه می‌شدند؛ مانند بقعه

پیربکران در لنجان اصفهان، بقعه‌ عبدالصمد در نطنز و بقعه‌ بایزید در بسطام (ویلبر، ۱۳۴۶: ۳۸؛ شرآتو و گروبه، ۱۳۷۶: ۱۳؛ بلر و بلوم، ۱۳۸۲: ۲۰ و هیلن براند، ۱۳۸۶: ۱۹۹). در دوره‌ ایلخانی اکثر برج‌مقبره‌ها را برای مقاصد دینی، به‌ویژه در مذهب تشیع می‌ساختند (هیلن براند، ۱۳۸۶: ۱۹۹)؛ همچنین آرامگاه‌هایی که ساختمان آن‌ها تنها از یک ایوان تشکیل می‌شده، بدعتی است که در معماری دوره‌ ایلخانی به‌وجود آمد که نمونه‌های آن را می‌توان در بقعه‌ پیربکران لنجان و بنای منارجنبان اصفهان نام برد. در خاتمه‌ این مبحث می‌توان به مقایسه‌ کلی ویژگی‌های معماری و تزئینی دو دوره‌ سلجوقی و ایلخانی به‌صورت مختصر پرداخت؛ در دوره‌ سلجوقی معماری و طراحی در مرحله‌ آزمایشی بود، در صورتی‌که در دوره‌ ایلخانیان مسأله‌ عمده تلفیق و ترکیب اشکال ساختمانی و تزئینی موجود بود. کوشش سلجوقیان بیشتر در ساختمان‌هایی از نوع مسجد متمرکز شده بود که در قرون اولیه‌ اسلامی در ممالک مختلف بروز کرد و در ایران با عناصر معماری ساسانی قبل از اسلام ترکیب شد و شکل مشخص ایرانی به‌خود گرفت. در ساختمان‌های دوره‌ ایلخانی اهمیت زیادی به ارتفاع بنا و ظرافت اشکال منتخب داده می‌شد و در مقایسه با آثار ساختمانی سلجوقی، نسبت اتاق‌ها تغییر داده‌شده و اندازه‌ طول آن‌ها نسبت به عرض‌شان، بلندتر است. ایوان‌های دوره‌ سلجوقی پهن و بزرگ هستند، در صورتی‌که ایوان‌های دوره‌ ایلخانی باریک‌تر و مرتفع‌تر ساخته شده‌اند و ستونچه‌های گوشه به تعداد زیاد نزدیک به هم قرارگرفته‌اند.



► شکل ۱. محدوده‌ گنبد سلطانیه بر روی نقشه‌ جغرافیایی ایران (کردی و همکاران، ۱۳۸۸).



▲ شکل ۲. برخی از تزئینات موجود در گنبد

سلطانیه؛ (۱) آجرکاری، (۲) تزئینات گچ‌بری، (۳) کاشیکاری، (۴) نرده‌های مشبک چوبی، (۵) نمونه‌ای از کتیبه‌ها، (۶) سنگ‌های سبز رنگ آهکی، (۷) پته‌کاری یا تزئینات پیش‌ساخته، (۸) نقاشی و تزئینات رنگی، (۹) کتیبه دوال دیوار ایوان. ویرایش و تصحیح عکس‌ها توسط نگارندگان از دو منبع حاضر است (محبعلی، ۱۳۸۷؛ کردی و همکاران، ۱۳۸۸).

مواد رنگ‌ساز مورد استفاده در آرایه‌ها و نقوش تزئینی دوره ایلخانی اصولاً مواد رنگ‌ساز شناسایی شده در بناهای دوره‌ی ایلخانی بیشتر شامل رنگ‌های آبی، قرمز، سیاه، سبز، زرد و سفید هستند که در بناهای مختلف دوره ایلخانی در نقاط مختلف شناسایی شده است. رنگ‌های آبی شناسایی شده بیشتر از نوع لازوریت و تاحدودی لاجورد طبیعی / آبی لاجوردی هستند که بسیاری از پژوهشگران بدان اشاره کرده‌اند. رنگ قرمز از نوع رنگ‌های اخرا، همتایت، شنگرف و قرمز سرنج شناسایی شده‌اند. هم‌چنین برای رنگ‌های سیاه از کربن، دوده و سیاه استخوان نام برده شده است. در تمام منابع از گل سفید یا کربنات کلسیم (وانیدرید) برای ایجاد رنگ‌های سفید نام برده شده است. رنگ‌های زرد شناسایی شده در این دوره تاکنون از نوع رنگ‌های اخرای زرد یا به عبارتی اکر بوده است. رنگ‌های سبز معرفی شده تاکنون از نوع مالاکیت و سبز سیلو بوده‌اند که تمام پژوهشگران در شناسایی این رنگ‌ها در بناهای مختلف ایلخانی به این موارد تاکنون دست یافته‌اند (امیریه، ۱۳۷۵؛ وطن‌دوست و همکاران، ۱۳۷۶؛ رحمانی، ۱۳۷۸؛ حمزه‌لو، ۱۳۸۰؛ نکویی اصفهانی و همکاران، ۱۳۸۴؛ ترابی و پدram، ۱۳۸۶؛ کریمی و هلاکویی، ۱۳۸۷؛ محبعلی، ۱۳۸۷؛ ترابی، ۱۳۸۸؛ فرهمند بروجنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ حیدری و همکاران، ۱۳۹۳؛ شیروانی، ۱۳۹۸؛ Mohtasham & Samanian, 2017).

برخی از تزئینات موجود در گنبد

مواد و روش‌های آزمایشگاهی

به جهت بررسی و شناخت صحیح از نحوه اجرای تزئینات و نقاشی‌های موجود در ایوان شمالی و جنوب شرقی گنبد سلطانیه، باید به دو عامل اساسی، یعنی نحوه اجرا و قرارگیری لایه‌ها و هم‌چنین نوع رنگ‌های به‌کار رفته توجه کامل می‌شد. به همین دلیل از لایه‌ها و رنگ‌های موجود در بخش ایوان شمالی و جنوب شرقی نمونه برداری صورت پذیرفته است. به دلیل حساسیت و عدم نمونه برداری‌های زیاد در نقاط مختلف، یک نمونه بسیار کوچک از قسمت جنوب شرقی برای شناسایی لایه‌ها برداشته شد؛ هم‌چنین در این بخش‌ها از سه رنگ: سیاه، سفید، زرد، قرمز، سبز روشن و آبی که برای اجرای تزئینات رنگی در ایوان و راهروی طبقه اول استفاده شده، نمونه برداری شده است (شکل ۳). در بخش مطالعات آزمایشگاهی از روش‌های آزمایشگاهی میکروسکوپی و شیمی تر در آزمایشگاه شیمی دانشگاه هنر اصفهان و نیز از روش‌های دستگاهی پراش سنجی پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) برای شناسایی رنگ‌ها و اجرای لایه‌ها استفاده شده است. به منظور شناسایی ساختار و نوع ترکیب رنگ‌ها از روش پراش سنجی پرتوی ایکس (XRD) به وسیله دستگاه شرکت Bruker مدل D8ADANCE، ساخت کشور آلمان (سال ساخت ۲۰۰۳) استفاده شده است. آنالیز مذکور در دانشگاه هنر اصفهان انجام شده است؛ هم‌چنین برای بررسی‌های ریزساختاری، میکروسکوپی و نحوه اجرای لایه‌های تزئینات و گچ‌کاری‌ها از روش میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شده است. مدل EDS از دستگاه CHNS مدل EURO EA3000 از شرکت Euro Vector استفاده گردید.

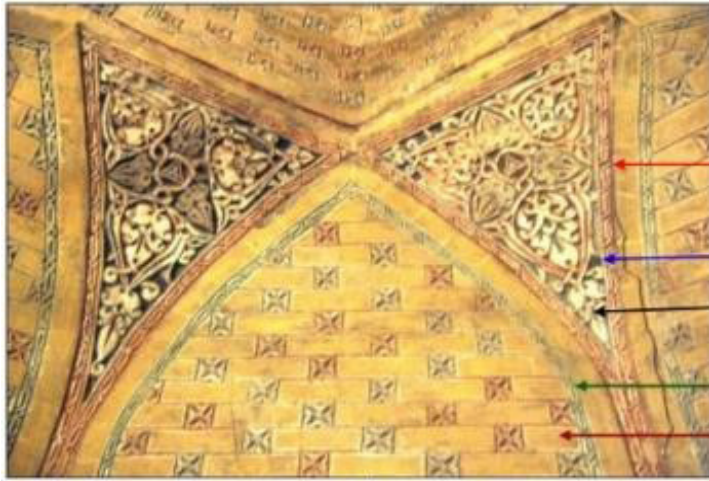
نتایج و یافته‌های پژوهش

- آزمون شیمی تر

به جهت شناسایی نوع و ترکیب رنگ‌های به‌کار رفته در تزئینات مورد نظر از روش شیمی تر استفاده گردید؛ چراکه این روش یکی از سریع‌ترین و ارزان‌ترین روش‌های تکمیلی در جهت شناسایی مواد است (Odegaard et al., 2005). رنگ‌های سیاه، زرد، قرمز، آبی، سبز، سفید و حتی در شناسایی نوع گچ از این روش استفاده گردید (جدول ۲).

- آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی

همان‌گونه که در مطالب بالا ذکر گردید، ترتیب لایه‌های تزئینات نقاشی‌های دیواری بنای گنبد سلطانیه به ترتیب شامل: تکیه‌گاه، لایه آستر، لایه بستر، لایه تدارکاتی و لایه است. به همین جهت برای بررسی نوع اجرای لایه‌ها، مواد و نحوه ساخت مواد از روش میکروسکوپی SEM استفاده گردید؛ چراکه این آزمایش یکی از بهترین روش‌ها به منظور شناخت شیوه گچ‌بری‌ها و نحوه آماده‌سازی و اجرای آن است (Doménech-Carbó et al., 2001). از آن جهت که بیشتر مواد در لایه‌سازی این بنا از گچ اجرا شده است، این شیوه آنالیز و تحلیل اتخاذ گردیده است (شکل‌های ۴، ۵، ۶ و ۷).



قرمز اخرا
آبی آزوریت
سفید لیدرید
سبز ملاکیت
زرد آکر

شکل ۳. بخش‌های نمونه برداری شده؛ تصویر بالا مربوط به راهروی طبقه اول، تصویر سمت چپ رنگ سبز روشن و سمت راست رنگ آبی (نگارندگان، ۱۳۹۹).



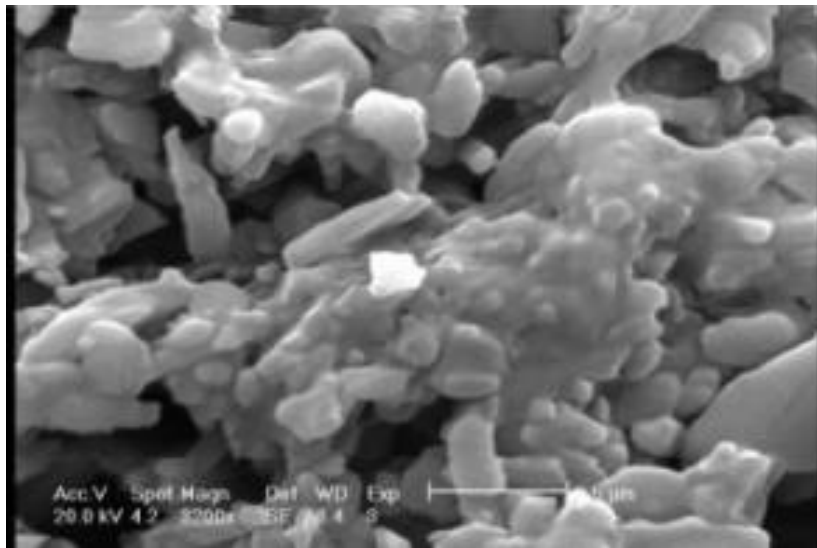
جدول ۲. نتایج آزمایش شیمی تر بر روی رنگ‌دانه‌های راهرو طبقه اول و ایوان (نگارندگان، ۱۳۹۹).

نمونه	محل	نتیجه آزمایش به روش شیمی تر
سفید	راهرو طبقه اول	تست حرارت و شناسایی یون سولفات استفاده از انیدرید را به عنوان ماده رنگی شناسایی نمود.
زرد	راهرو طبقه اول	نتیجه آزمایشات شیمی تر وجود آهن را در ترکیب این رنگدانه به اثبات رساند؛ علاوه بر این، رنگدانه در اثر حرارت به رنگ قرمز-قهوه‌ای تبدیل گردید. لذا استفاده از زرد آکر در این قسمت‌ها مشخص گردید.
قرمز	راهرو طبقه اول	بررسی‌های آزمایشگاهی به روش شیمی تر و حرارت نشان‌دهنده استفاده از قرمز اخرا در این قسمت‌ها است.
سیاه	ایوان	نمونه رنگ سیاه بر روی حرارت مستقیم قرار گرفت و پس از مدتی حرارت بالا باعث محو شدن این رنگ شد که این محو شدن به دلیل سوختن کربن است.
آبی	ایوان	روش شیمی تر وجود ترکیب‌های کربناته مس را مشخص نمود.
گچ	راهرو طبقه اول	ترکیبی از گچ و مقدار کمی خاکستر و آهک شناسایی شد.

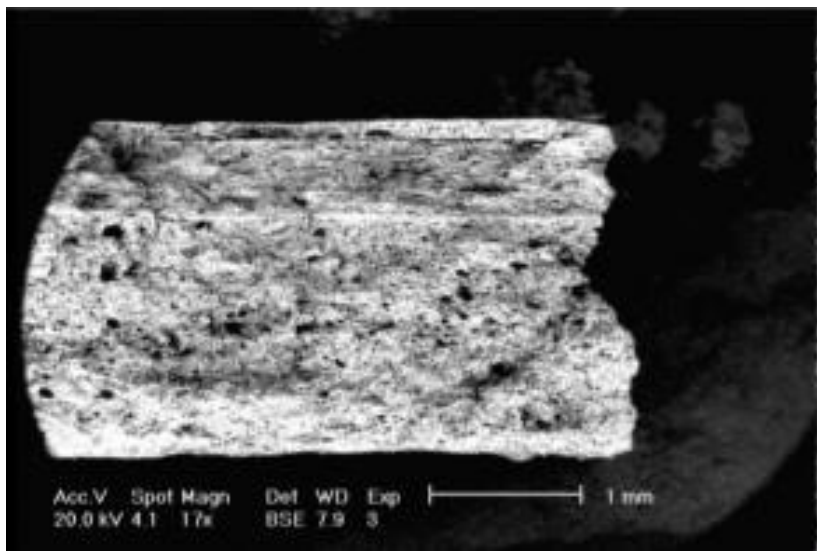
- آنالیز پراش پرتوی ایکس

تزیینات گچ‌بری: برای شناسایی نوع ملات گچ و گچ‌بری به‌کاررفته در تزیینات رنگی و گچی موجود، از نمونه‌های گچ‌بری شده راهروی طبقه اول به جهت آنالیز پراش پرتوی ایکس و آزمون شیمی تر نمونه برداری انجام گردید. در لایه گچ به‌کاررفته در این راهرو باتوجه به آزمایش کیفی شیمی تر، ترکیبی از گچ و مقدار کمی خاکستر و آهک شناسایی شد که بر روی تزیینات دوره اول اجرا شده است؛ با این وجود، آنالیز XRD فقط گچ و مقداری سیلیس را نشان داد و کلسیت شناسایی نشد. عدم تشخیص کلسیت در آنالیز XRD ممکن است به دلیل مقدار اندک آن در ترکیب باشد. خاکستر نیز جزو مواد آلی بوده و در آنالیز XRD قابل شناسایی نیست (شکل ۸).

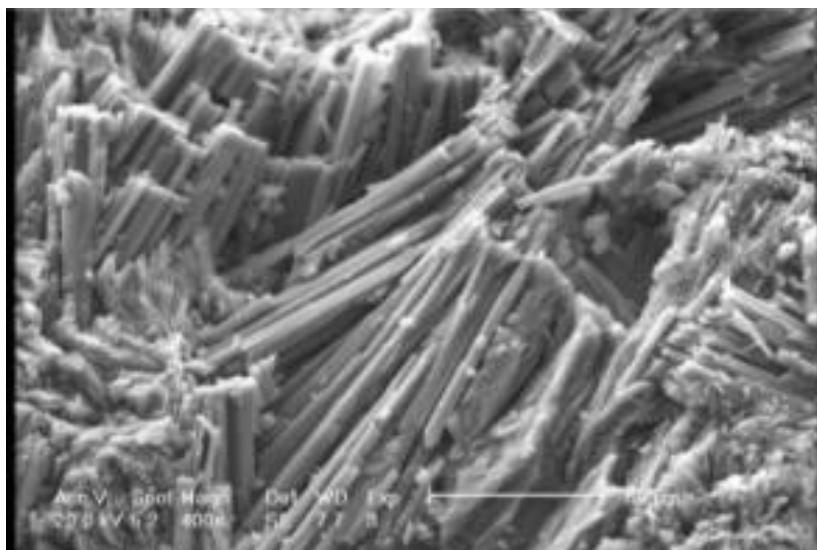
► شکل ۴. تصویر SEM-BSE لایه‌های نقاشی: ترکیب ماده بوم‌کننده و گچ لایه تدارکاتی، لایه تدارکاتی گچ کشته و لایه بستر گچ زنده (سمت چپ)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

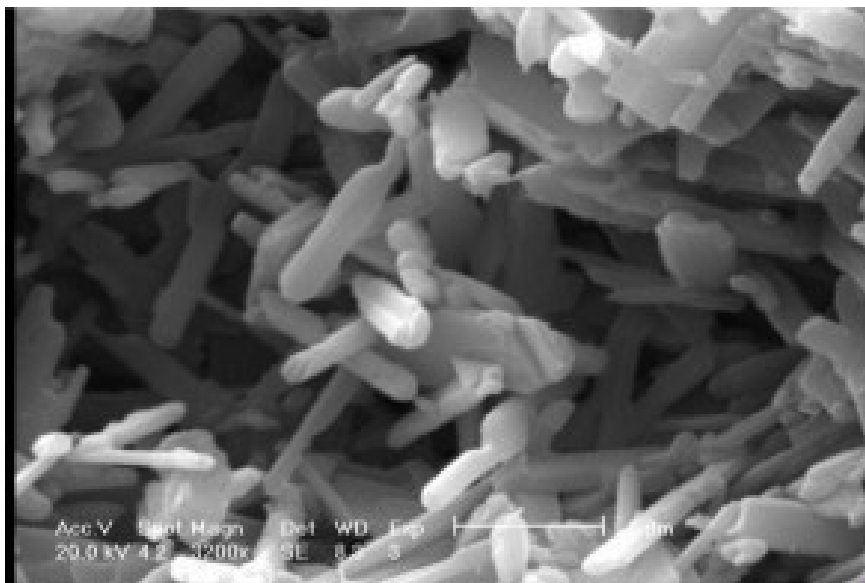


► شکل ۵. تصویر SEM-SE ماده ترکیب ماده بوم‌کننده و گچ لایه تدارکاتی (سمت راست)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).



► شکل ۶. تصویر SEM-SE ساختار بلوری لایه تدارکاتی گچ کشته (سمت چپ)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

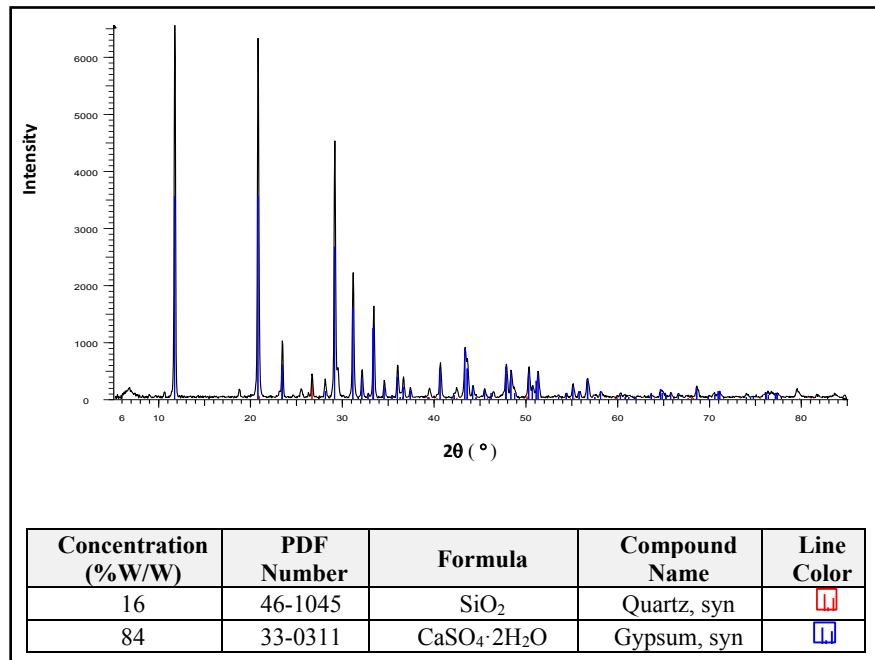




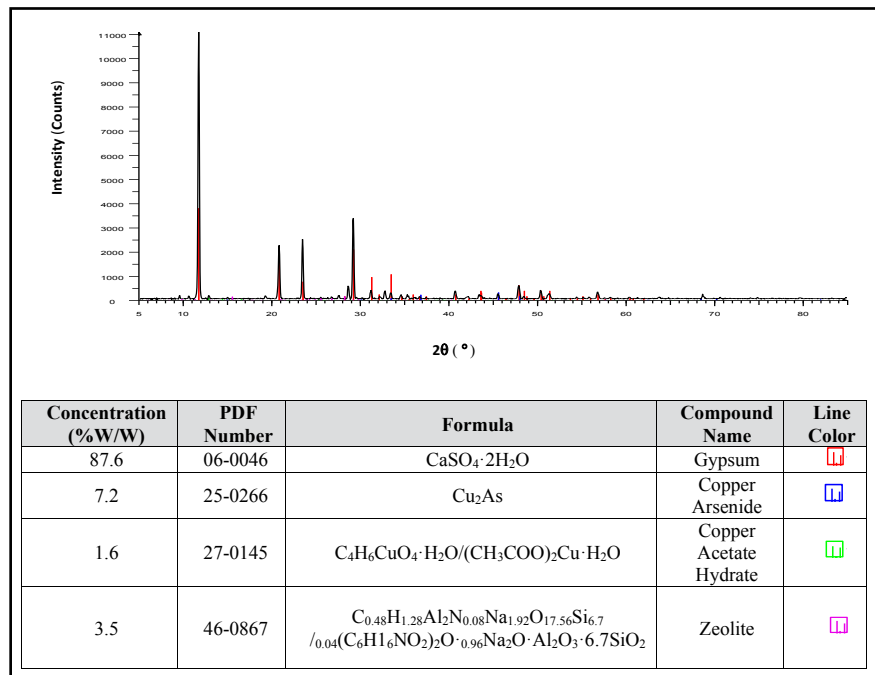
شکل ۷. SEM-SE ساختار بلوری سوزنی لایه بستر گچ زنده (سمت راست)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

رنگ سبز: آنالیز رنگ سبز روشن به منظور شناسایی ترکیب آن به وسیله XRD انجام گرفت. آنالیز بر روی سطح رنگ بدون جدا کردن از بستر گچی انجام گرفته است. نتایج آنالیز، ترکیبات ژئوپس، آرسنیک مس، استات مس آبدار و ژئولیت را نشان می‌دهد. ترکیب ژئوپس که دارای درصد بسیار بالایی در آنالیز است، مربوط به بستر گچی است. وجود ژئولیت به عنوان یک ترکیب از گروه آلومینوسیلیکات‌های آبدار می‌تواند مربوط به بستر گچی باشد. از دو ترکیب باقی مانده، Cu_2As جزو کانی‌های مس بوده و در کانی‌شناسی با نام Koutekite شناخته می‌شود؛ اگرچه این کانی دارای رنگ خاکستری مایل به آبی است، اما به عنوان رنگ دانه مورد استفاده قرار نگرفته و در منابع نیز به آن اشاره‌ای نشده است. برخلاف آن، از استات مس که در نتایج XRD شناسایی شد به عنوان رنگ دانه در گذشته بسیار استفاده شده است. استات مس (زنگار) را به همراه آزوریت و مالاکیت می‌توان از مهم‌ترین رنگ دانه‌های مس به کار رفته در گذشته برشمرد. سبز زنگار علاوه بر تزئینات معماری، از رنگ‌های رایج در مکتوبات - به ویژه در دوره‌های صفوی و قاجار بوده - اما درصد کم استات مس در ترکیب سبز روشن در نقاشی‌های بنای سلطانیه، آن هم با توجه به درصد بالاتر آرسنیک مس قابل توجه است (شکل ۹).

رنگ آبی: نتایج آنالیز و شناسایی رنگ آبی به کار رفته در نقاشی‌ها به روش شیمی تر وجود ترکیبات کربناته مس را مشخص نمود. آزاد شدن گاز دی‌اکسید کربن به هنگام تماس با اسید و تشکیل رنگ آبی تیره با اضافه کردن آمونیاک به محلول آن، هم چنین تیره و سیاه شدن رنگ آبی در دمای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان دهنده این موضوع بود. در ادامه به منظور شناسایی کامل تر رنگ و افزودنی‌های احتمالی، آنالیز رنگ آبی با استفاده از پراش پرتو ایکس (XRD) انجام شد. نتایج آنالیز XRD، آزوریت (کربنات بازی مس) را به عنوان ترکیب اصلی رنگ آبی نشان می‌دهد. وجود سایر ترکیبات در نتیجه آنالیز، مربوط به بستر گچی است (شکل ۱۰).



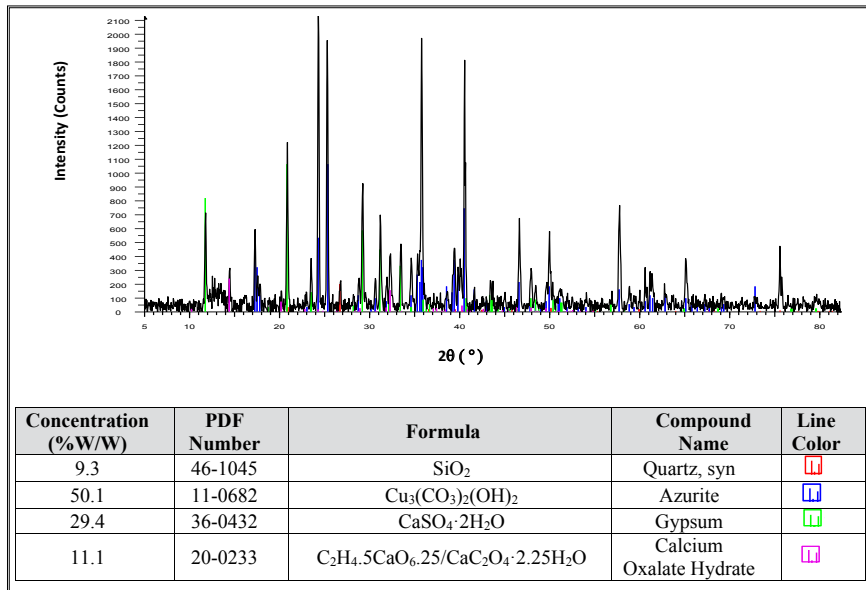
► شکل ۸. طیف پراش پرتو ایکس (XRD) ملات گچ‌بری راهروی طبقه اول (نگارندگان، ۱۳۹۹).



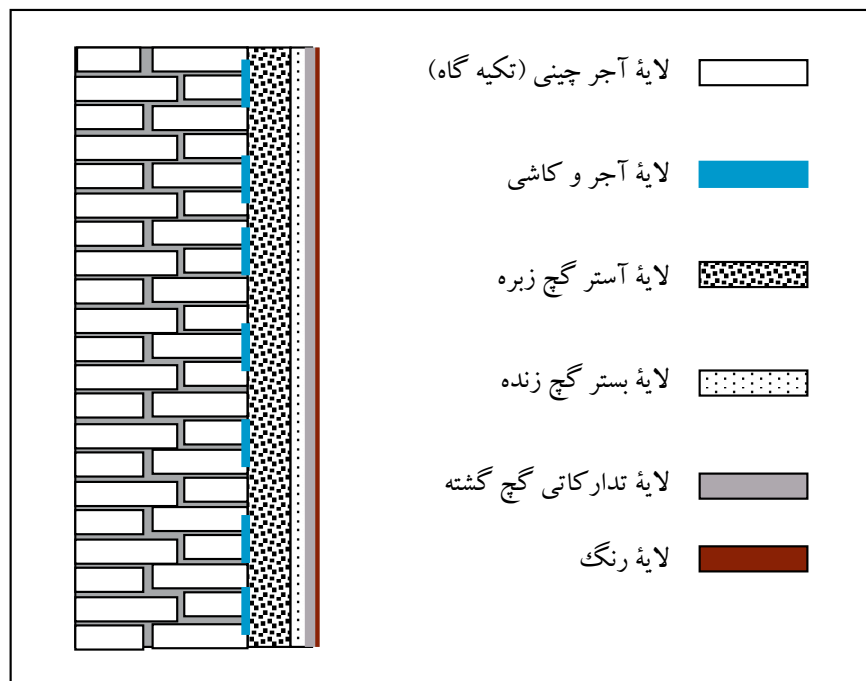
► شکل ۹. طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه رنگ سبز روشن نقاشی‌های ایوان (نگارندگان، ۱۳۹۹).

بحث در نتایج

همان‌طور که در تصویر مشاهده می‌شود، با توجه به بررسی‌های میکروسکوپی و میکروسکوپی صورت‌گرفته در نحوه قرارگیری لایه‌های موجود در تزئینات گنبد سلطانی به ترتیب تکیه‌گاه، لایه آستر، لایه بستر، لایه تدارکاتی و لایه رنگ بوده است که طرح شماتیک آن در تصویر ۱۱ نشان داده شده است. تکیه‌گاه به بخشی که لایه‌های مختلف نقاشی بر روی آن قرار می‌گیرند، گفته می‌شود که در گنبد سلطانی



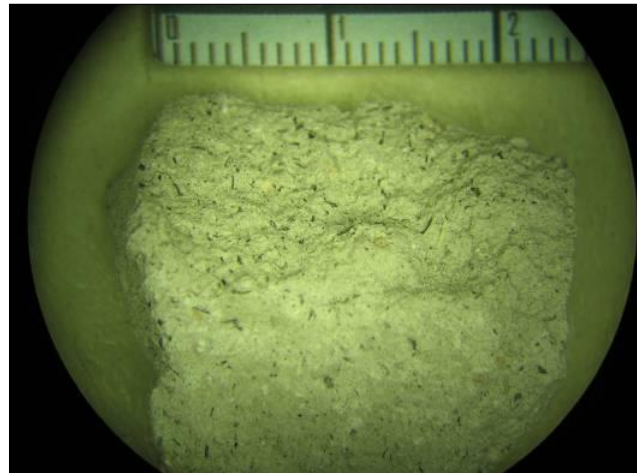
شکل ۱۰. طیف پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه رنگ آبی نقاشی‌های ایوان (نگارندگان، ۱۳۹۹).



شکل ۱۱. طرح شماتیک ترتیب لایه‌های تزئینات نقاشی ایوان جنوب شرقی و شمالی طبقه هم‌کف گنبد سلطانیه (نگارندگان، ۱۳۹۹).

برای تکیه‌گاه نقاشی‌ها از تزئینات آجر و کاشی دوره اول استفاده شده است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۱). بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که لایه آستر از گچ زبره (با دانه بندی درشت) اجرا شده است و هم چنین برای لایه بستر از گچ زنده با دانه بندی ریز استفاده شده است. لایه تدارکاتی با گچ کشته با دانه بندی ریز و یک دست برای ایجاد سطح صاف و صیقلی اجرا شده است. گچ کشته، نوعی از خمیر گچ بوده که دیرگیر نمودن آن با روش‌های مکانیکی انجام می‌شود (میش مست نهی، ۱۳۹۴). افزون بر آن لایه تدارکاتی با یک بست بوم سازی و در نهایت لایه رنگ بر روی آن قرار گرفته است (تصاویر ۴ تا ۷).

در بررسی‌های میکروسکوپی ملات گچ‌بری، ذرات فراوان خاکسترا که در ملات گچ پراکنده است، نشان داد؛ هم‌چنین بررسی‌های صورت گرفته به روش شیمی‌تر ترکیبات گچ، آهک و خاکسترا نشان داده است (تصاویر ۱۲ و ۱۳). نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس نیز دو فاز ژئیس با میزان ۸۴٪ و کوآرتز را با میزان ۱۶٪ نشان داده است. همان‌طور که پیش‌تر ذکر گردید، عدم تشخیص فازهای کلسیت شاید به دلیل مقدار اندک آن در ترکیب بوده است.



▲ شکل ۱۲. تصاویر میکروسکوپی ملات گچ‌بری راهروی طبقه اول، ذرات خاکستر در تصویر سمت راست مشخص شده است (نگارندگان، ۱۳۹۹).

در بنای گنبد سلطانیه، رنگ‌های سبز، قرمز، زرد، سفید، سیاه و آبی برای اجرای تزئینات و نقاشی‌های ایوان و راهرو استفاده شده است (شکفته، ۱۳۹۱). با بررسی رنگ‌های به‌کار رفته در تزئینات نقاشی این بنا، دو رنگ سبز با تنالیت‌های متفاوت مشاهده می‌شود؛ یکی، رنگ سبز تیره که به‌طور گسترده در بخش‌های وسیعی دیده می‌شود؛ و دیگری، رنگ سبز بسیار روشن‌تر که برای رنگ کردن برگ و گل‌ها در میان شمشه‌ها و نقوش گیاهی ایوان‌ها با کمی دقت قابل رؤیت خواهد بود. البته عدم مشاهده این رنگ در نگاه اول ناشی از تخریب شدید این رنگ است که در حال حاضر به رنگ خاکستری و تیره دیده می‌شود. قسمت اعظم این رنگ از بین رفته و بخش‌های کوچکی از آن در قسمت‌های جسمی‌تر رنگ قابل مشاهده است. این قسمت‌ها با رنگ سبز-آبی روشن در حاشیه نقوش برگ و یا گل که لایه رنگ ضخیم‌تر بوده، باقی مانده است. رنگ به‌کار رفته در گچ‌بری‌های راهروی طبقه اول سبز مالاکیت و رنگ سبز دیگر که در تزئینات نقاشی ایوان جنوب‌شرقی به‌کار رفته، دارای رنگ سبز-آبی روشن است. متأسفانه در بررسی‌هایی که تاکنون بر روی تزئینات این بنا انجام گرفته، نسبت به وضعیت این رنگ از نظر شناسایی و یا حفاظت آن توجهی نشده است. در مطالعات انجام‌گرفته در سال‌های گذشته نیز به نظر می‌رسد که این رنگ مورد بررسی قرار نگرفته است. در این مورد، «رحمانی» در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود که به بررسی تزئینات این بنا پرداخته، به رنگ سبز روشن بالای پنجره‌های گنبد اشاره می‌کند (رحمانی، ۱۳۷۸). این در حالی است که از رنگ سبز مورد نظر در میان نقوش شمسه دیوارهای ایوان‌ها برای رنگ‌آمیزی نقش گلبرگ‌ها استفاده شده و رنگ سبز روشن مورد بررسی توسط ایشان متفاوت

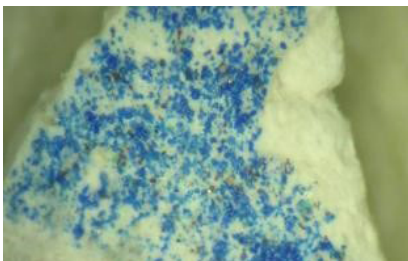


▲ شکل ۱۳. تصویر میکروسکوپی: شکل و اندازه ذرات رنگ‌دانه آبی آزریت نقاشی ایوان، دانه‌های کوپریت به رنگ ارغوانی و مالاکیت به رنگ سبز دیده می‌شود؛ بزرگ‌نمایی x45 (نگارندگان، ۱۳۹۹).

از این رنگ است. در بحث شناسایی، رنگ سبز مورد بررسی توسط رحمانی، ترکیب یکی از کلریدهای بازی مس و کربنات بازی مس (مالاکیت) بیان شده است. این نتایج با بررسی‌های انجام گرفته اخیر در این پژوهش تفاوت دارد و سبز روشن به کار رفته در نقاشی ایوان‌ها با آن چه در تزئینات زیر گنبد توسط رحمانی شناسایی شده کاملاً متفاوت است. در آنالیز رنگ سبز روشن نقاشی‌های ایوان که به وسیله XRD انجام گرفت، ارسنیک و استات مس به عنوان ترکیب‌های رنگ دانه شناسایی شده است. علاوه بر سبز روشن، رنگ سبز تیره تری نیز در تزئینات ایوان مشاهده می‌شود که به طور مشخص نتیجه تغییر رنگ آبی آزوریت به مالاکیت و یا تری هیدروکسی کلریدهای مس است. اما آن چه در این بخش مورد تأکید بوده، رنگ سبز روشن است که نتیجه تغییر رنگ آبی آزوریت نبوده و در بخش‌هایی، آثار رنگ و هم‌چنین تخریب آن قابل مشاهده است. مشابه این رنگ سبز در تزئینات نقاشی گنبدخانه مجموعه تربت جام، توسط «صیادشهری» شناسایی شده است. رنگ سبز نقاشی‌های گنبدخانه مجموعه تربت جام به وسیله SEM مورد آنالیز قرار گرفته است. نتایج حاصل از SEM مقادیر قابل توجهی از مس را نشان می‌دهد که این امر می‌تواند بر یکی از ترکیبات مس دلالت داشته باشد که به عنوان رنگ سبز مورد استفاده قرار گرفته است. مقدار زیاد ارسنیک نیز در این نمونه شناسایی گردید که این مورد می‌تواند نشان دهنده استفاده از رنگ سبزی مرکب از ترکیبات مس و ارسنیک باشد (صیادشهری، ۱۳۸۸). مشابهت بسیار زیاد رنگ سبز روشن در بنای سلطانیه و مجموعه تربت جام از نظر ترکیب و آسیب قابل توجه است. از رنگ دانه‌های سبز مس ارسنیکی دو رنگ سبز زمردی و سبز شئله را می‌توان نام برد. سبز زمردی که با نام «سبز شوینفورت» نیز شناخته می‌شود یک ترکیب استات مس-نمک ارسنیت مس است که در حدود سال ۱۸۱۴م. در شوینفورت آلمان تولید شد (Scott, 2002: 310). سبز زمردی، یک رنگ دانه سبز-آبی روشن است، اما رنگ آن بسته به روش تهیه متغیر است. سبز شئله، ارسنیت مس، توسط شیمی دان سوئدی «کارل ویلهلم شئله» در سال ۱۷۷۵م. هنگامی که روی ترکیبات ارسنیک کار می‌کرد، کشف شد (Scott, 2002: 307). علاوه بر فرمول شیمیایی ذکر شده، با توجه به روش ساخت رنگ سبز با ترکیب دی ارسنیت مس و اورتو ارسنیت مس نیز ممکن است، تولید شود. با توجه به ترکیب‌های شناسایی شده در آنالیز XRD برای رنگ سبز روشن، احتمال استفاده از سبز زنگار وجود دارد. ارسنیک مس را شاید بتوان به وجود ارسنیک در ترکیب مس اولیه که جهت ساخت سبز زنگار به کار رفته نسبت داد. از طرفی استفاده از رنگ‌های سبز زمردی و یا سبز شئله با توجه به زمان کشف آن‌ها بعید به نظر می‌رسد. باید خاطر نشان کرد برای اعلام نظر قطعی در این رابطه بررسی بیشتری نیاز است.

رنگ آبی، شاخص ترین رنگ به کار رفته در نقاشی ایوان‌ها و سایر قسمت‌های بنا است. از رنگ آبی در نقوش تزئینی و هم‌چنین پر کردن زمینه طرح‌ها استفاده شده است. این موضوع در نوار کتیبه لایه چینی و مطلای دوال ایوان‌ها دیده می‌شود. رنگ آبی به کار رفته در تزئینات نقاشی، حاشیه پته‌کاری‌ها و گچ‌بری‌های

بنا آزوریت شناسایی شده است (امیریه، ۱۳۷۵: ۲۸۸؛ وطن‌دوست و همکاران، ۱۳۷۶: ۲۴۰؛ رحمانی، ۱۳۷۸: ۱۹؛ محبعلی، ۱۳۸۷: ۱۱۱)؛ هم‌چنین نتایج آزمون شیمی‌تر و پراش پرتوی ایکس استفاده از آبی آزوریت را مشخص نمود. آزوریت به‌عنوان محصول خوردگی مس و آلیاژهای آن کمتر معمول است؛ با این‌وجود، به‌طور گسترده به‌عنوان رنگ‌دانه آبی استفاده شده است. در این مورد، بررسی‌های جامع و دقیقی در ایران انجام نشده است تا از این طریق به‌توان پیشینه استفاده از این رنگ‌دانه را در نقاشی‌ها و تزئینات این سرزمین بیان نمود. برعکس، کاربرد گسترده آن در اروپا و خاور دور با بررسی‌های انجام گرفته مشخص شده است. اولین استفاده از آزوریت به‌عنوان رنگ‌دانه به دوران پیش‌ازتاریخ مربوط است؛ اگرچه «یوکو» و «روزنفلد» (۱۹۶۵) بیان می‌کنند که رنگ‌دانه‌های آبی و سبز هرگز در غارهای دوران پارینه‌سنگی استفاده نشده است، اما این امکان وجود دارد که برخی رنگ‌دانه‌های سیاهی که امروز در این طراحی‌ها دیده می‌شوند، در واقع رنگ‌دانه‌های مالاکیت یا آزوریت بوده باشند که در نتیجه حرارت به تنوریت تبدیل شده‌اند. اولین نمونه شناخته شده استفاده از آزوریت در دوره نوسنگی، در «چاتل هویوک» آناتولی بوده که متعلق به ۶۰۰۰ پیش‌ازمیلاد است. در مصر نیز نمونه‌هایی از استفاده از آزوریت در زمان سلسله چهارم (۲۴۶۵-۲۵۷۵ پیش‌ازمیلاد) به‌دست آمده است. چینیان باستان نیز با رسوب‌های طبیعی آزوریت و مالاکیت آشنا بوده‌اند (Scott: 2002: 109). برای تهیه رنگ‌دانه آبی آزوریت، قطعات کانی (آزوریت) که به دقت انتخاب شده تنها نیاز به خرد و آسیاب شدن دارند که سپس شسته شده، صلیب و الک می‌شوند تا رنگ‌دانه حاصل شود. ذرات درشت آزوریت تولید رنگ آبی تیره و ذرات ریز تولید رنگی روشن‌تر می‌کند. بررسی میکروسکوپی رنگ آبی وجود دانه‌های کوپریت با رنگ ارغوانی و دانه‌های مالاکیت با رنگ سبز در رنگ آبی آزوریت را نشان می‌دهد. وجود ذرات پراکنده مالاکیت و کوپریت در میان ذرات آزوریت غیرمعمول نبوده و این به‌علت پیوند نزدیک این سه کانی در طبیعت است؛ علاوه‌براین، ذرات بسیار کم تعداد و پراکنده‌ای با رنگ طلایی نیز در بین ذرات رنگ آبی دیده می‌شود که می‌تواند مربوط به کالکوپریت باشد. کالکوپریت به‌عنوان کانی طبیعی مس شناخته شده است؛ هم‌چنین ذرات رنگ‌دانه دارای ظاهر شکسته و خرد شده بود که از آسیاب کردن کانی طبیعی آزوریت ناشی شده است. ذرات رنگ‌دانه دارای اندازه یکسان نبوده در صورتی که اگر سنگ معدن پس از آسیاب کردن خوب الک می‌شد ذرات با اندازه یکسان به‌دست می‌آمد. در نور عبوری، ذرات بزرگ آزوریت، ته‌رنگ آبی تیره و ذرات کوچک‌تر آبی کم‌رنگ دارند و این متفاوت از آبی لاجورد است که دارای ته‌رنگ مایل به بنفش است (شکل ۱۳ و ۱۴).



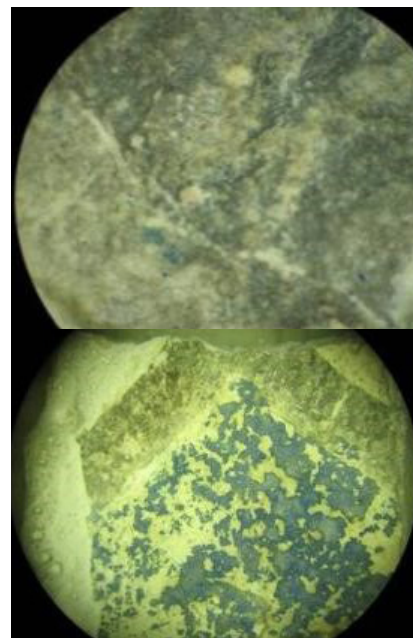
▲ شکل ۱۴. ذرات رنگ‌دانه آبی آزوریت نقاشی‌های ایوان در نور عبوری با ته‌رنگ آبی تیره و روشن، بزرگ‌نمایی x400 (نگارندگان، ۱۳۹۹).

از سیاه کربن در تزئینات گنبد سلطانیه در دورگیری تزئینات و رنگ‌های دیگر استفاده شده است. به‌جهت شناخت نوع رنگ‌دانه سیاه به‌کار رفته نمونه رنگ موردنظر بر روی حرارت مستقیم قرار گرفت و پس از مدتی حرارت بالا سبب محو شدن این رنگ شد که این محو شدن به دلیل سوختن کربن است که این موضوع نشانگر وجود سیاه کربن است؛ از همین رو، با توجه به محرز شدن نوع رنگ سیاه

کربن به جهت شناسایی ماهیت آن از روش‌های دستگاهی هم چون XRD استفاده نشده است (شکل ۱۵). بیشتر قسمت‌های برجسته گچ‌بری‌های راهروی طبقه اول با رنگ سفید تزئین شده است؛ علاوه بر این برای ایجاد نقوش آجری بر روی اندود دیواره‌های راهرو پس از رنگ کردن سطح با رنگ زرد، دورگیری‌ها با رنگ سفید انجام شده است. تست حرارت و شناسایی یون سولفات در این رنگ نشان‌دهنده استفاده از انیدرید به عنوان ماده رنگی است. رنگ زرد در تزئینات طبقه اول گنبد سلطانیه برای ساختن نقش آجرهای تزئینی بر روی گچ به کار رفته است. در رابطه با این رنگ، نتیجه آزمایش‌های شیمی تر وجود آهن را در ترکیب این رنگ‌دانه به اثبات رساند؛ علاوه بر این، رنگ‌دانه در اثر حرارت به رنگ قرمز-قهوه‌ای تبدیل گردید؛ لذا استفاده از زرد اُکر در این قسمت‌ها مشخص گردید. ترکیب شیمیایی این رنگ‌دانه اکسید آهن آبدار طبیعی معمولاً شامل آلومینوسیلیکات و ناخالصی‌های دیگر است (Hradil et al., 2003; Khranchenkova et al., 2018). از رنگ قرمز بر روی گچ‌بری‌های راهروی طبقه اول استفاده شده است. بررسی‌های آزمایشگاهی به روش شیمی تر و حرارت نشان‌دهنده استفاده از قرمز آخرا در این قسمت‌ها است. استفاده از این نوع رنگ قرمز در بسیاری از بناهای ایلخانی دیگر کاربرد داشته است (حیدری و همکاران، ۱۳۹۳). این رنگ‌دانه دارای مقاومت طبیعی بالایی بوده و در معرض عوامل محیطی کمتر دچار تخریب می‌شود. تنها آسیب این رنگ در اثر از بین رفتن بست و در نتیجه سست و پودری شدن آن است (Giustetto et al., 2018). این نوع رنگ قرمز، یکی از قدیمی‌ترین نوع رنگ‌های به کار رفته توسط بشر است که کاربرد آن را در مکان‌ها و کشورهای مختلف می‌توان دید (Lebon et al., 2019; Garces et al., 2019). رنگ‌های شناسایی شده از رنگ‌های رایج استفاده شده در دوره ایلخانی است؛ همان‌گونه که برخی از این رنگ‌ها را «مریم شیروانی» در مقاله خود که بر روی رنگ‌های بخش جنوب‌غربی گنبد سلطانیه بوده، شناسایی کرده است (شیروانی، ۱۳۹۸). برای جلوگیری از تکرار تمام نتایج حاصل در دیگر پژوهش‌ها در متن این مقاله، خلاصه نتایج آن‌ها در جدول ۱ ارائه شده است (جدول ۱).

نتیجه‌گیری

تزئینات نقاشی به کار رفته در بنای گنبد سلطانیه یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین شیوه‌های تزئین در این بنای منحصر به فرد است. شناخت نوع رنگ‌های به کار رفته و نحوه چیدمان لایه‌ها و ترتیب آن‌ها در یک اثر نقاشی دیواری از مهم‌ترین موضوعات در جهت شناخت بهتر مواد و مصالح بوده است که این امر می‌تواند در روند مطالعات مرمت و باستان‌شناسی اثر و بنای مذکور مفید و مؤثر واقع شود. به همین جهت، شناسایی نوع رنگ‌ها و نحوه آماده‌سازی لایه‌ها و گچ‌بری‌ها در دستور کار این پژوهش توسط نگارندگان واقع گردید. در ابتدا آن‌چه از متن مقاله مشخص می‌شود این است که ترتیب لایه‌های نقاشی مشخص شده در این بنا به ترتیب شامل: تکیه‌گاه، لایه آستر، لایه بستر، لایه تدارکاتی و لایه رنگ می‌باشد. در



▲ شکل ۱۵. تصاویر میکروسکوپی رنگ‌دانه سیاه کربن، بزرگ‌نمایی ۴۰۰x (نگارندگان، ۱۳۹۹).

گنبد سلطانیه برای تکیه‌گاه نقاشی‌ها از تزئینات آجر و کاشی دوره‌های قبلی استفاده شده است. لایهٔ آستر با استفاده از گچ زبره با دانه‌بندی درشت اجرا شده است؛ هم‌چنین برای تهیهٔ گچ لایهٔ بستر از گچ زنده با دانه‌بندی ریز استفاده گردیده است. در نهایت لایهٔ تدارکاتی را با گچ کُشته و با دانه‌بندی‌های ریز ساخته‌اند که آن را با یک بست بوم‌سازی و تهیه کرده‌اند؛ هم‌چنین رنگ‌های به‌کار رفته در این تزئینات رنگی، آبی، سبز، سفید، قرمز، سیاه و زرد است که سعی شد تا این نوع رنگ‌ها با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی و دستگاہی شناسایی شوند. در بخش شناسایی رنگ‌های به‌کار رفته در این تزئینات، سعی شده است تا تمام رنگ‌های به‌کار رفته در هنر نقاشی این بنا شناسایی شوند. رنگ سیاه مورد استفاده در این تزئینات رنگ سیاه کربن بوده است؛ هم‌چنین نقاش و هنرمند دورهٔ ایلخانی از رنگ سبز زنگار در بخش ایوان‌ها و مالاکیت در راهروی طبقهٔ اول برای تهیهٔ رنگ‌های سبز و از آبی آزوریت برای تهیه و کاربرد رنگ‌های آبی استفاده نموده است. رنگ سفید شناسایی شده نیز از نوع انیدرید، رنگ زرد شناسایی شده از نوع زرد آکر و هم‌چنین رنگ قرمز به‌کار رفته از نوع قرمز آخرا بوده است.

سپاسگزاری

نگارندگان پژوهش حاضر از آقای دکتر معین اسلامی، پایگاه میراث جهانی سلطانیه و میراث فرهنگی استان زنجان کمال تشکر و قدرانی را دارند؛ چراکه بدون کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزنده‌شان، تحقق این پژوهش امکان‌پذیر نمی‌بود.

کتابنامه

- اتینگهاوزن، ریچارد، ۱۳۸۴، هنر و معماری دورهٔ ایلخانان. ترجمه و تألیف یعقوب آژند، تهران: مولی.
- امیریه، آرش، ۱۳۷۵، «فن‌شناسی علمی تزئینات منحصر به فرد گنبد سلطانیه». مجموعه مقالات نخستین همایش حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی، تهران: ۴-۸ اسفند، صص: ۲۹۱-۲۸۰.
- بلر، شیلا؛ و ام‌بلوم، جان‌اتان، ۱۳۸۲، هنر و معماری اسلامی در ایران و آسیای مرکزی. جلد ۱، (ایلخانی و تیموری)، ترجمهٔ سید محمد موسی هاشمی گلپایگانی، تهران: وزارت فرهنگ و ارشاد اسلامی.
- پیرنیا، محمدکریم، ۱۳۸۰، سبک‌شناسی معماری ایرانی. تدوین: غلامحسین معماریان، تهران: نشر پژوهنده، نشر معمار.
- پیرنیا، محمدکریم، ۱۳۸۱، شیوه‌های معماری ایران. تدوین: غلامحسین معماریان، تهران: نشر هنر اسلامی.
- ترابی، سامان، ۱۳۸۸، «مطالعه و بررسی فن‌شناسی دیوارنگاره‌های موجود در چله‌خانهٔ بقعهٔ پیربکران». دوفصلنامهٔ مرمت و پژوهش، شمارهٔ ۳(۳)، صص: ۷۱-۸۲.
- ترابی، سامان؛ و پدرام، بهنام، ۱۳۸۶، «بررسی علمی و هنری دیوارنگاره‌های

- موجود در بنای تاریخی گنبد آزادان». دو فصلنامه تخصصی مرمت و پژوهش، شماره ۲ (۳)، صص: ۹۳-۱۰۴.
- حمزه‌لو، منوچهر ۱۳۸۰، هنرهای کاربردی در گنبد سلطانیه. تهران: چاپ اول، نشر ماکان و مدیریت میراث فرهنگی استان زنجان.
- حیدری، فرزانه؛ احمدی، حسین؛ و اصلانی، حسام، ۱۳۹۱، «بررسی فن شناختی نوعی از تزئینات گچی زیر گنبد سلطانیه». پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان، (منتشر نشده).
- خادم‌زاده، محمدحسن؛ و اصفهانی‌پور، فائزه، ۱۳۹۳، «واکاوی تحولات آرایه‌های داخلی گنبد در شیوه یزد و تأثیرات آن بر سایر بناها در ایران». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره ۷ (۴)، صص: ۱۹۳-۲۱۱.
- دارایی‌گودرزی، سعیده، ۱۳۸۵، «گنبد سلطانیه، فیروزه‌ای درخشان اما مهجور». فصلنامه مهندس کشاور، شماره ۳۳، صص: ۷۸-۸۴.
- رحمانی، رضا، ۱۳۷۸، «آسیب‌شناسی و مستندنگاری تزئینات داخلی بنای گنبد سلطانیه». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، تابستان، (منتشر نشده).
- شاه‌حسینی، ناهید؛ صرافین، محسن، ۱۳۹۱، آموزش شیمی عمومی عملی. چاپ پنجم: انتشارات دانشگاه تهران.
- شرآتو، امبرتو؛ گروبه، ارنست، ۱۳۷۶، هنر ایلخانی، در هنر ایلخانی و تیموری. ترجمه یعقوب آژند، تهران: مولی.
- شکفته، عاطفه، ۱۳۹۱، «ویژگی‌های بصری شاخص تزئینات گچ‌بری معماری ایلخانی». دو فصلنامه مطالعات معماری ایران، شماره ۲، صص: ۷۹-۹۸.
- شیروانی، مریم، ۱۳۹۸، «شناخت رنگ‌دانه‌ها در آرایه‌های گچی ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه زنجان». پژوهش باستان‌سنجی، شماره ۵ (۱)، صص: ۱۲۹-۱۴۲.
- صیادشهری، حامد، ۱۳۸۸، «مطالعات فن‌شناسی و آسیب‌شناسی نقاشی‌های ضلع شمالی گنبدخانه مزار شیخ احمدجام». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی- فرهنگی، دانشکده هنر، دانشگاه تهران (منتشر نشده).
- فرهمند بروجنی، حمید؛ عابد اصفهانی، عباس؛ و شیشه‌بری، طاهره، ۱۳۹۱، «شناخت مواد و فنون دیوارنگاری پنج بنای دوره ایلخانی شهر یزد». دو فصلنامه مرمت آثار و بافت‌های تاریخی- فرهنگی، شماره ۲ (۴)، صص: ۹۷-۱۱۲.
- کریمی، امیرحسین؛ و هلاکویی، پرویز، ۱۳۸۷، «معماری و تزئینات بنای پیر حمزه سبزی‌پوش ابرکوه»، فصلنامه گلستان هنر، شماره ۴ (۱۴)، صص: ۱۸-۲۹.
- گلزار، شبنم، ۱۳۹۵، «گنبد سلطانیه شاهکار دوره ایلخانی». نشریه رشد آموزش هنر، دوره ۱۳، شماره ۳، صص: ۱۳-۱۷.
- محبعلی، آزاده، ۱۳۸۷، «تزئینات پیش ساخته در گنبد سلطانیه در قرن هشتم هجری قمری». آرمانشهر، شماره ۱، صص: ۷۶-۸۵.
- محبعلی، آزاده، ۱۳۸۷، «فن‌شناسی و آسیب‌شناسی مدالیون‌های گنبد

سلطانیه». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکزی، (منتشر نشده).

- مخلصی، محمدعلی، ۱۳۶۴، جغرافیای تاریخی سلطانیه. زنجان: چاپخانه جلالی.

- کردی، مهدی؛ مرتضوی، محمد؛ و رازانی، مهدی، ۱۳۸۸، «فن‌شناسی و آسیب‌شناسی بخشی از تزئینات وابسته به معماری گنبد سلطانیه». سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان زنجان، پایگاه میراث جهانی گنبد سلطانیه، (منتشر نشده).

- میش‌مست‌نهی، مسلم، ۱۳۹۴، «کاربرد تحلیل‌های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی: گچ‌بری کوه خواجه سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین)». پژوهش باستان‌سنجی، شماره (۲)، صص: ۱-۱۴.

- نکویی‌اصفهانی، محسن؛ خطابخش، فریبا؛ یزدانی، ملیکا؛ جبل‌عاملی، رکسانا؛ عمران، رویا؛ واعظمی، رضا، ۱۳۸۴، «مطالعه، بررسی و حفاظت محراب اولجایتو در مسجد جامع اصفهان». مجموعه مقالات هفتمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، به‌کوشش: رسول وطن‌دوست، تهران: پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، صص: ۴۵۱-۴۲۸.

- نوشایی، آرزو؛ و قنبرزاده، مهرانگیز، ۱۳۹۴، «ریخت‌شناسی کتیبه‌های گنبد سلطانیه در ادوار تاریخی». دومین کنفرانس بین‌المللی پژوهش‌های نوین در عمران، معماری و شهرسازی، ۲۴ اسفندماه، استانبول، ترکیه.

- وطن‌دوست، رسول؛ بهرمان، علیرضا؛ و رحمانی، رضا، ۱۳۷۶، «بررسی مرمت‌های انجام‌شده در گنبد سلطانیه و ارائه روش‌های حفاظتی و مرمتی». مجموعه مقالات دومین همایش سالانه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی-فرهنگی و تزئینات وابسته به معماری، تهران: ۲۲-۱۷ آبان‌ماه، صص: ۲۴۵-۲۳۴.

- ویلبر، دونالد، ۱۳۴۶، معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان. ترجمه عبدالله فریار، تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب.

- هنرفر، لطف‌الله، ۱۳۵۰، «تزئینات گچی در آثار تاریخی اصفهان». مجله هنر و مردم، شماره ۶ (۷۲)، صص: ۳۶-۴۶.

- هیلن‌برند، رابرت، ۱۳۸۶، هنر و معماری اسلامی. ترجمه اردشیر اشراقی، تهران: روزنه.

- Amirie, A., 1996, "Scientific technology of unique decorations of Soltanieh dome". *Proceedings of the First Conference on the Conservation and Restoration of Historical-Cultural Objects*, March 25-8, Tehran, Pp: 291-280, (in Persian).

- Blair, Sh. & Janathan, B., 1994, *The art and architecture of Islam 1250-1800*. Translate by: Seyed Mohammad Hashemi Golpayegani, Tehran: Vezarate Farhang va Ershad Eslami. (in Persian).

- Darayi Goudarzi, S., 2006, "Soltanieh dome, bright turquoise but abandoned". *Journal of Mohandese Moshaver*, No. 33, Pp: 78-84, (in Persian).
- Doménech-Carbó, M. T.; Casas-Catalán, M. J.; Doménech-Carbó, A.; Mateo-Castro, R.; Gimeno-Adelantado, J. V. & Bosch-Reig, F., 2001, "Analytical study of canvas painting collection from the Basilica de la Virgen de los Desamparados using SEM/EDX, FT-IR, GC and electrochemical techniques. Fresenius". *Journal of analytical chemistry*, No, 369(7-8), Pp: 571-575.
- Ettinghausen, R., 1979, *Art and architecture of the Ilkhanate period*. Translated by: Yaghoub Ajand, Tehran: Muli. (in Persian).
- Farahmand Boroujeni, H.; Abed Esfahani, A. & Shishebori, T., 2012, "The Study of Materials and Techniques of Mural Painting in Five Ilkhanid Monuments of Yazd City". *Journal of Maremat-e Asar & Baft-haye Tarikhi-Farhangi*, No. 2 (4), Pp: 97-112. (in Persian).
- Garces, S.; Gomes, H.; Haddab, L.; Cura, P. & Rosina, P., 2019, "In Search of the Atr-Ftir Signatures of Experimentally Mixed Ingredients Presumably Used In Pre-Historic Rock Art". *Rock Art Research*, No. 36(2-3), Pp: 182-188.
- Giustetto, R.; Gonella, D. & Diana, E., 2018, "Decay of Red Pigments on A Wall Painting Adorning The Church of san Francesco Dei Capuccini in Racconigi (Italy): Archaeometric Survey And Restoration Intervention". *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, No. 18(5), Pp: 65-80.
- Golzar, Sh., 2016, "The Soltanieh dome is a masterpiece of the patriarchal period". *Roshdeh Amouzeshe Honar*, No. 13(3), Pp: 13-17. (in Persian).
- Hamzehloo, M., 2001, *Applied arts in Soltanieh dome. First Edition*. Tehran: Nashre Makan and Zanjan Cultural Heritage Management, (in Persian).
- Heydari, F.; Ahmadi, H. & Aslani, H., 2012, "Technological study of a type of gypsum ornaments under the dome of Soltanieh". Master Thesis of Isfahan University of Art, (Unpublished, in Persian).
- Hillenbrand, R., 1999, *Islamic art and architecture*. Translated by: Ardeshir Eshraghi, Tehran: Rozaneh, (in Persian).
- Honarfar, L., 1971, "Gypsum decorations in the historical monuments of Isfahan". *Journal of Honar va Mardom*, No. 6(72), Pp: 36-46 (in Persian).
- Hradil, D.; Grygar, T.; Hradilová, J. & Bezdička, P., 2003, "Clay and iron oxide pigments in the history of painting". *Applied clay science*, No. 22(5), Pp: 223-236.
- Karimi, A. H. & Holakooi, P., 2008, "Architecture and decorations of Pir Hamzeh Sabzpoosh Abarkooh". *Golestaneh Honar*, No. 4(14), Pp: 18-29, (in Persian).
- Khademzade, M. & Esfahanipour, F., 2015, "The Analysis of Changes in the Interior Design of Domes in Yazd Style and Its Effects on Other

Buildings in Iran”. *Pazhoheshha-ye Bastan shenasi Iran*, No. 4 (7), Pp: 193-211, (in Persian).

- Khrumchenkova, R.; Biktagirova, I.; Gareev, B. & Kaplan, P., 2018, “Horse-Headed Saint Christopher Fresco in the Sviyazhsk Assumption Cathedral (16th - 17th Century, Russia): History and Archaeometry”. *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, No. 18(3), Pp: 195-207.

- Kordi, M.; Mortazavi, M. & Razani, M., 2009, “Technology and pathology part of the architectural decorations of Soltanieh dome”. Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of Zanjan Province, Gonbad-e Soltanieh World Heritage Site, (Unpublished, in Persian).

- Lebon, M.; Gallet, X.; Bondetti, M.; Pont, S.; Mauran, G.; Walter, P. ... & Auetrakulvit, P., 2019, “Characterization of painting pigments and ochres associated with the Hoabinhian archaeological context at the rock-shelter site of Doi Pha Kan (Thailand)”. *Journal of Archaeological Science: Reports*, No. 26, Pp: 101-855.

- Mishmastnehi, M., 2016, “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)”. *JRA*, No. 1 (2), Pp: 1-14, (in Persian).

- Mohebali, A., 2008, “Prefabricated decorations in the Soltanieh dome in the eighth century A.H.”. *Arman-Shahr*, No. 1, Pp: 76-85, (in Persian).

- Mohebali, A., 2008, “Technology and pathology of Soltanieh dome medallions”. Master Thesis in Restoration of Historical-Cultural objects, Azad University, (Unpublished, in Persian).

- Mohtasham, A. & Samanian, K., 2017, “Identifying the Blue Pigments Used in Painted Architectural Decorations of Ilkhanid Buildings (1251–1335 AD) in Yazd, Central Iran”. *Journal of Islamic Archaeology*, No. 4(1), Pp: 113-135.

- Makhlesi, M. A., 1985, *Historical geography of Soltanieh*. Zanjan: Chapkhaneh Jalali, (in Persian).

- Nekoui Esfahani, M.; Khatibakhsh, F.; Yazdani, M.; Jabal Ameli, R. & Azami, R., 2005, “Study and Conservation of Oljaito altar in Isfahan Grand Mosque”. *Proceedings of the 7th Conference on the Conservation and Restoration of Historical and Cultural Objects and Decorations of Architecture*, by Rasoul Vatandoost, Tehran: Research Institute of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism, Pp: 428-451, (in Persian).

- Nooshai, A. & GhanbarZadeh, M., 2016, “Morphology of Soltanieh Dome inscriptions in historical periods”. *The Second International Conference on New Research in Civil Engineering, Architecture and Urban Planning*, March 15, Istanbul, Turkey.

- Odegaard, N.; Carrell, S. & Zimmt, W. S., 2005, *Material characterization tests for objects of art and archaeology*. Second Edition: Archetype Publications.

- Pirniya, M. K., 2001, *Stylistics of Iranian architecture*. Edited: Gholam Hosein Memarian, Tehran: Nashre Pazhuhandeh-Nashre Memar. (in Persian).
- Pirniya, M. K., 2002, *Iranian architectural methods*. Edited: Gholam Hosein Memarian, Tehran: Nashre Honare Eslami. (in Persian).
- Rahmani. R., 1999, "Pathology and documentation of interior decorations of Soltanieh dome". Master Thesis in Restoration of Historical-Cultural objects, Faculty of Restoration, Isfahan University of Art, Summer, (Unpublished, in Persian).
- Sayad Shahri, H., 2009, "Technological and pathological studies of the paintings on the north side of the tomb of Sheikh Ahmadjam". Master Thesis in Restoration of Historical-Cultural objects, Faculty of Restoration, Isfahan University of Art, (Unpublished, in Persian).
- Scerrato, U. & Grube, E., 1928, *The art of Ilkhanate, in arts of the Ilkhanate and Timurid*. Translate by: Yaghoub Ajand, Tehran: Muli. (in Persian).
- Scott, D. A., 2002, *Copper and Bronze in Art: corrosion, colorants, conservation*. Getty conservation Institute, Los Angeles.
- Shah Hoseini, N. & Sarafin, M., 2012, *Practical general chemistry training*. Fifth Edition, University of Tehran Press. (in Persian).
- Shekofte, A., 2013, "The Most Significant Visual Characteristic in Stucco Decorations, Ilkhanid Architecture of Iran". *JIAS*, No. 1 (2), Pp :79-98, (in Persian).
- Shirvani, M., 2019, "Study of Pigments in Decorations of Exterior Porch Painting in Soltanieh Dome of Zanjan". *JRA*. No. 5(1), Pp: 129-142, (in Persian).
- Torabi, S., 2009, "Study of technology of the murals in Cheleh Khaneh, the tomb of Pirbakran". *Journal of Maremat and Pazhuhesh*, No. 3(3), Pp: 71-82, (in Persian).
- Torabi, S. & Pedram, B., 2007, "Scientific and artistic study of the murals in the historical dome of Azadan". *Journal of Maremat and Pazhuhesh*, No. 2(3), Pp: 93-104, (in Persian).
- Vatandoost, R.; Bahreman, A. & Rahmani, R., 1997, "Investigating the restorations done in Gonbad-e Soltanieh and providing conservation and restoration methods". *Proceedings of the Second Annual Conference on the conservation and Restoration of Historical-Cultural Objects and Architectural Decorations*, Tehran: November 17-22, Pp: 234-245, (in Persian).
- Wilber, D., 1907, *Architectute of Islamic Iran: the Ilkhanid period*. Translated by: Abdollah Fariar, Tehran: Bongahe Tarjomeh and Nashre Ketab, (in Persian).