



Tabriz Islamic Art University
1999



Original Paper

Study of pigments in decorations of exterior porch painting in Soltanieh dome of Zanjan



Maryam Shirvani *

Assistance professor, Art University of Shiraz, Shiraz, IRAN

Received: 08/04/2019

Accepted: 29/06/2019

Abstract

There are many art works of the Mongol Ilkhans period in Iran that are unique in architecture and decor. Zanjan Soltanieh Dome is one of the most important monuments of this era that has various decorations. One of the most beautiful and unique examples of decorations in this building is the special art of painting, which is decorated with colored layers and in the thin layer on the brickwork on the outer porch of this dome and on the plain of Soltanieh. Although in the preceding Seljuk period, the use of gypsum as a lime was relatively common and customary, this type of arrangement reached to its perfection in the period of the Ilkhani. Hence, one of the most prominent features of the Ilkhani architecture was the superb skill in casting of gypsum and its manipulation in many different ways. With the spread of gypsum in the 8th century AH, this method has been used to cover the walls with decorative designs. In the period of the Ilkhani, white dressing usually came with tiny levels, so they kept these smooth surfaces rarely completely white and simple. In general, the use of color is more common in this period, as in all kinds of practices, staining of motifs and in flat surfaces, the use of illuminated paintings of the species was common with a wide range of colors. Soltaniyeh domes include various black, white, red, yellow and gray colors, which have not yet been studied in terms of color combinations to identify the pigments and substrates used in them. The questions are about their color combinations and certain features that have been remained untouched by environmental factors. Identifying this sample of colors has a significant impact on creating their proper protective conditions. Since this dome is in open-air environment, it has been affected by the environmental degradation factors. The purpose of this study was to identify the color combinations of these decorations, which were used for the identification of elemental and combination of color ingredients using FT-IR and XRF analysis techniques. Today, the use of various laboratory techniques for the recognition of compounds in the field of restoration and protection of historical works is routinely practiced. A remarkable contribution to better understanding and better studies has been made. Using the instrumental techniques is an appropriate step to improve the selection of therapeutic effects. Based on the results obtained, the pigment compounds were red, yellow, black bone and calcium carbonate, which have been used on the plaster bed. These pigments have a mineral structure and therefore, have a longer shelf life than organic pigments against environmental degradation factors. This has led to their long-term survival in the external environment. It is also noteworthy that there is no protective layer on them. Nevertheless, their resistant structure is the main reason of surviving these works.

Keywords: Soltaniyeh Dome, Gypsum, Color Enhancement, FT-IR, XRF

* Corresponding author: m_shirvani@shirazartu.ac.ir



مقاله پژوهشی



شناخت رنگدانه‌ها در آرایه‌های گچی ایوان بیرونی صلع جنوب غربی گنبد سلطانیه زنجان

مریم شیروانی*

۱. استادیار، عضو هیئت‌علمی گروه مرمت، دانشگاه هنر شیراز، شیراز، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۷/۱۰/۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۷/۸/۳

چکیده

آثار باقیمانده از دوران حکومت ایلخانان مغول در ایران دارای ویژگی‌های معماری جالبی بوده و گنبد سلطانیه زنجان یکی از بنایهای مهم این دوران است که آرایه‌های معماری گوناگونی را در خود جای داده است. یکی از این نمونه‌ها، آرایه‌های گچی است که در لایه نازکی بر روی پوشش‌های آجری در ایوان‌های بیرونی این گنبد با لایه‌های رنگی مزین گردیده است. این تریینات شامل ترکیبات گوناگون رنگی است که تاکنون مطالعات علمی برای شناسایی آن‌ها و بسترهای مورداستفاده‌شان صورت نپذیرفته است. سؤال مطرح شده این است که این آثار با چه ترکیبات رنگی کارشده و آیا دارای ویژگی‌های خاصی هستند که تا به امروز باقیمانده و در اثر عوامل محیطی تخریب نگردیده‌اند؟ با تحلیل به این منظور در این پژوهش هدف شناسایی ترکیبات رنگی آرایه‌های گچی بود که با استفاده از روش لایه‌نگاری و آنالیزهای دستگاهی XRF و FT-IR برای شناسایی عنصری و ترکیبی مواد تشکیل‌دهنده رنگ‌ها استفاده شده است. بر اساس یافته‌های حاصل شده ترکیبات رنگدانه‌ها شامل اخراج قرمز، اخراج زرد، دوده و احتمالاً سولفات کلسیم بود که بر روی بستر گچی مورداستفاده قرار گرفته است. رنگدانه‌ها دارای ساختار معدنی بوده و به همین علت ماندگاری بیشتری نسبت به رنگدانه‌های آلی در برابر عوامل مخرب محیطی دارند و این امر سبب ماندگاری طولانی‌مدت آن‌ها در محیط بیرونی بوده است و ساختار مقاوم آن‌ها دلیل اصلی باقی ماندن تا به امروز این آثار است.

واژگان کلیدی: گنبد سلطانیه، آرایه‌های گچی، تریینات رنگی، طیف سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه، فلوئورسانس اشعه ایکس

* مسئول مکاتبات: شیراز، چهارراه ادبیات، ابتدای بلوار چهل مقام، دانشگاه هنر شیراز
پست الکترونیکی: m_shirvani@shirazartu.ac.ir

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

۱. مقدمه

امروزه استفاده از شیوه‌های مختلف دستگاهی و آزمایشگاهی جهت شناخت ترکیبات در حوزه مرمت و حفاظت آثار تاریخی مورداستفاده قرار گرفته و کمک شایان توجهی در شناخت و مطالعات بهتر این دسته از آثار نموده است. استفاده از روش‌های دستگاهی گامی مناسب جهت بهبود انتخاب شیوه‌های درمانی آثار است. به طور کلی دو دلیل اصلی برای مرمتگران و حفاظتگران در زمینه شناسایی رنگدانه‌ها وجود دارد: اول اینکه رنگدانه‌ای که قرار است در کار جایگزین شود با رنگدانه اصلی هماهنگی ساختاری (ویژگی‌های ساختارشناسی مشابه) داشته باشد و دوم اینکه هرگونه تخریب در رنگدانه‌ها شناسایی شود و روش درمانی مناسبی اعمال گردد [3].

۲. پیشینه تحقیق

تاکنون مطالعات گوناگونی در زمینه معماری ایلخانی صورت پذیرفته و پژوهشگران مختلف بر بررسی و شناخت معماری و تزیینات آن همت گمارده‌اند. یکی از بهترین و زیباترین این تزیینات هنر گچبری و استفاده از رنگ‌های گوناگون به جهت تزیین آن‌هاست که مطالعات گوناگونی در جهت شناخت آن‌ها صورت پذیرفته است. برای نمونه در مطالعات انجام‌شده در بنای پیر حمزه سبزپوش ابرکوه از آثار دوره ایلخانی، رنگدانه‌های به کاررفته جهت اجرای دیوارنگاره‌ها شامل گل‌سفید، آبی آزوریت، اخراجی سرخ، ملاکیت و دوده بوده است [4]. در بنای چله خانه بقعه پیربکران اصفهان از دیگر بنای‌های دوره ایلخانی نیز رنگ‌های به کاررفته در تزیینات شامل گل‌سفید، قرمز اخرا، سبز ملاکیت، آبی آزوریت و سیاه دوده بوده است [5]. در تزیین محراب اولجایتو نیز از رنگدانه‌های سبز، گل‌سفید و اخراجی قرمز استفاده شده است [6]. مطالعات نشان داده است که در بنای مدرسه رکنیه از رنگ‌های قرمز اخرا، سبز ملاکیت، آبی آزوریت، ورق طلا، سبز سیلو و قرمز شنگرف استفاده شده است [7]. همچنین رنگدانه‌های به کاررفته در تزیینات داخلی گنبد سلطانیه شامل رنگ اخرا، ورق طلا، دوده، گل‌سفید، رنگ بنفش، سبز، زرد و بست صمغ عربی است [8]. با این حال تاکنون مطالعات علمی دقیقی

در عصر ایلخانی آثار گوناگونی از معماری در پهنه ایران ساخته شدند و با انواع گوناگونی از آرایه‌های آجری، گچی، کاشی کاری و غیره مزین گردیدند. در این بین هنر گچبری عصر ایلخانی جایگاه ویژه‌ای را به خود اختصاص داده و دارای ظرافت زیادی است. آثار خلق شده با انواع رنگ‌ها مزین گردیده و بر زیبایی بنای‌های این دوره بسیار افزوده است. در رنگ‌آمیزی بر روی بسترهای گچی و همچنین گچبری‌ها از رنگ‌های متنوعی استفاده گردیده است.

در زمینه رنگ‌های روی بستر گچی در دوره ایلخانی ویلبر در کتاب معماری اسلامی دوره ایلخانی، فهرست کامل آن‌ها را این‌گونه معرفی می‌کند: «سفید، آبی روشن، آبی سیر، سبز، قرمز، پرتفالی، زرد، کرم، قهوه‌ای مایل به قرمز و طلایی» [1]. که تحقیقات صورت پذیرفته بر روی رنگدانه‌ها بیشتر شامل مطالعات بصری بوده و ترکیبات رنگ‌ها در بیشتر موارد شناسایی نگردیده‌اند.

در فرآیند حفاظت و مرمت شناخت رنگدانه‌ها دارای اهمیت است. شناسایی این عناصر نه تنها از دیدگاه‌های باستان‌شناسی، بلکه از دیدگاه تاریخ هنر و شناخت فرایند تخریب و توسعه روش‌های حفاظتی آثار تاریخی دارای اهمیت است [2].

بنای تاریخی گنبد سلطانیه نیز یکی از بنای‌های شاخص دوران ایلخانی است که در شهر سلطانیه استان زنجان واقع شده است. این بنا بزرگ‌ترین گنبد آجری جهان را داشته و آرایه‌های داخلی و خارجی متنوعی را در بر می‌گیرد. یکی از بهترین و زیباترین آن‌ها در ایوان‌های بیرونی گنبد و مشرف به دشت قرار گرفته که با گچ ساخته شده و با رنگ‌های گوناگون رنگ‌آمیزی شده و تاکنون مطالعات حفاظتی و مرمتی بر روی آن‌ها صورت نپذیرفته است به رغم اینکه مطالعات ساختار شناسی و حفاظتی آرایه‌های داخلی گنبد سالیان زیادی است انجام می‌پذیرد. هدف از انجام این پژوهش شناخت لایه‌ها و نوع رنگ‌های بکار رفته در آرایه‌های گچی ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی است تا بتوان بر مبنای مطالعات ساختاری دلیل ماندگاری آن‌ها بررسی گردد.

مولکولی FT-IR بخشی از تحلیل داده‌های این نوع طیف‌سنگی توسط نرم‌افزار Omnic صورت پذیرفت. روش طیفنگاری فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) نیز یکی از روش‌های آنالیز عنصری است که به صورت نیمه کمی به تحلیل می‌پردازد [۱۲]. لازم به توضیح است که شناسایی عناصر در یک محدوده از عدد اتمی مربوط به عناصر موجود در جدول تنایوی قابلیت شناسایی دارد. آزمایش و پرتودهی با دستگاه XRF (نوع پرتابل) انجام پذیرفت و مشخصات دستگاه، HandHeld XRF / S1 Tracer 3 / BrukerCompany در دانشگاه هنر تهران است.

۴. استفاده از گچ در آرایه‌های معماری دوره ایلخانی

در دوران اسلامی، گچ یکی از مصالح متداول در تزیین بنا بوده و در تمامی قرون کاربرد خود را از دست نداده است. در دوران سلجوقی این هنر پیشرفت قابل توجهی نمود و دیوارهای بزرگ سفیدکاری شده و کتیبه‌ها و محراب‌ها به تقلید آجرکاری با انواع رنگ‌ها بر روی بسترها گچی پوشانده شدند [۸].

اگرچه در ادوار قبل از سلجوقیان، استعمال گچ به عنوان اندود در بنا نسبتاً رواج داشت و مرسوم بود، این نوع روکاری در دوره ایلخانی به درجه کمال رسید [۱]. از این‌رو یکی از خصوصیات برجسته تزیینات معماری دوره ایلخانی مهارت فوق العاده در گچبری و استفاده زیادی بود که از آن به انواع مختلف به عمل می‌آمد [۱۳].

با رواج گچبری در قرن ۸ هـ.ق از این شیوه بیشتر جهت پوشاندن دیوارها با طرح‌های تزیینی استفاده شده

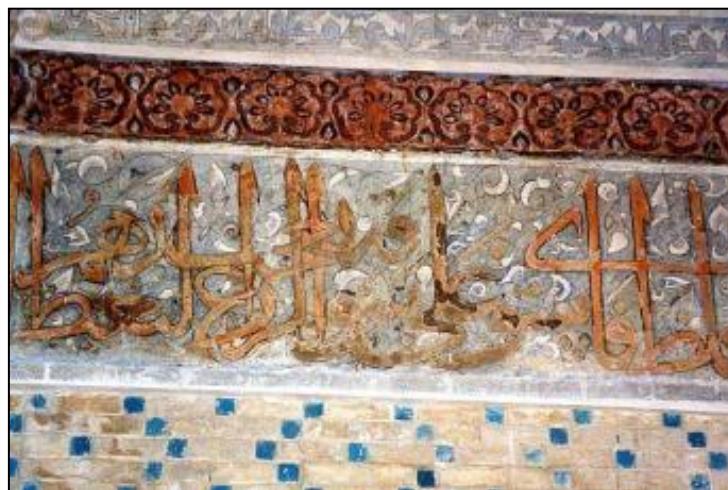
به جهت شناخت رنگدانه‌ها و آرایه‌های گچی ایوان‌های بیرونی گند سلطانیه صورت نپذیرفته است و این امر دست‌مایه پژوهش حاضر قرار گرفت.

۳. مواد و روش تحقیق

جهت شناسایی رنگدانه‌های بکار رفته در آرایه‌های معماری می‌توان از میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهر به پراکنده انرژی (EDS)، پراش اشعه ایکس (XRD)، فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و طیف‌سنگی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) استفاده نمود [۹, ۱۰].

در این پژوهش جهت دست‌یابی به هدف مورد نظر و شناخت لایه‌های رنگی آرایه‌ها، روش گزینش شده به صورت دستگاهی است. بدین جهت از آرایه‌های موردنظری نمونه‌برداری شده و لایه‌های کوچکی از رنگ‌ها از بستر گچی جدا گردیدند و به وسیله آزمایش‌های دستگاهی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) – فلورسانس پرتوی ایکس (XRF) و میکروسکوپ متالوگرافی مطالعات بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت. تصویر میکروسکوپی از نمونه توسط میکروسکوپ متالوگرافی با مدل MR-11 ساخت کشور ژاپن تهیه شده است.

طیف‌سنگی مادون قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) نیز یک تکنیک آزمایشگاهی به روش دستگاهی است که به روش کمی به بررسی نمونه می‌پردازد [۱۱]. آزمایش طیف‌سنگی با دستگاه FT-IR (نوع روی میزی) و با امواج در محدوده MIR انجام پذیرفت و مشخصات دستگاه، Tensor 27-mid FT-IR/BrukerCompany در دانشگاه هنر تهران است. طیف‌ها در ناحیه $400\text{--}4000\text{ cm}^{-1}$ اندازه‌گیری شدند. در آزمایش طیف‌سنگی



شکل ۱: آرایه‌ها و کتیبه‌های گچی رنگ‌آمیزی شده فضای داخلی گنبد سلطانیه
Fig. 1: Decorative gypsum inscriptions with colorful decorations

سال‌های ۱۳۰۴ تا ۱۳۱۲ میلادی به‌طور معجزه‌وار در مدت نه سال ساخته شده دارای خصوصیات تحسین‌آمیز و بی‌شماری است^[18]. معماران سلطانیه با درک و دریافت هنر معماری ایران بنایی ایجاد کردند که مجموعه‌بنا با فضای دوران گذشته متفاوت و در ترکیب حاکی از کاربردهای جدید آن است^[19] (شکل ۲ و ۳). قابل ذکر است آنچه بنای گنبد سلطانیه را از سایر بنای‌های قبل و بعد از خود متمایز و موفق در نمونه‌های معماری اسلامی ایرانی نموده است که نه تنها ساختار گنبد و اجزای آن بلکه تزئینات گنبد سلطانیه است. عوامل مختلف تزئینی آجرکاری، گچبری، کاشیکاری، نقاشی، تزئینات سنگی و چوبی و ... در بنا دیده می‌شود که بر شکوه این اثر افزوده است. یکی از عوامل تزئینی در گنبد سلطانیه، گچ است که به‌وفور در نمای داخلی بنا به کاررفته است. گچ در اینجا به صورت زنده و پخته و زمانی به حالت مرده و خام در پشت‌بند کاشی‌ها، ملاط آجرها، گچبری‌ها، کتیبه‌ها و تزئینات قالبی و استامپی در ابعاد مختلف به خدمت گرفته شده است^[20]. این نوع آرایه‌ها در کنار تنوع و گسترده‌گی، از تکنیک و هنر بسیار بالایی در این بنا برخوردار و شایسته مطالعه و تحقیقات گستردگه‌تر است. به‌طورکلی ساختار و تزئینات در همه جای بنا

است [14]. در دوره ایلخانان سفیدکاری معمول سطوح با تنوعاتی همراه شد، بدین ترتیب که این سطوح صاف را به‌ندرت کاملاً سفید و ساده نگه داشتند [1].

به‌طورکلی در این دوره استفاده از رنگ رواج بیشتری یافت، چنانکه در انواع شیوه‌ها، رنگ‌آمیزی موتیف‌ها و در سطوح مسطح استفاده از نقاشی‌های تذهیب گونه با طیف وسیعی از رنگ‌ها معمول شد و گچه با رواج کاشی استفاده از این فن تا حدودی محدود گردید، ولی در دوره‌های بعد مجدداً رونق یافت [15].

بهترین نمونه‌های این شیوه، در این دوره بنای سلطانیه در زنجان و مدرسه شمسیه در یزد است. کتیبه‌های دینی و تاریخی نیز از طرح‌های متداول در این دوره است که تنوع چشمگیری از خط و رنگ و فن را شامل می‌گردد. انواع خطوط ثلث و کوفی همراه با رنگ‌های متفاوت در خط و زمینه مثل سفید و آبی در کتیبه سلطانیه در زنجان دیده می‌شود [16] (شکل ۱).

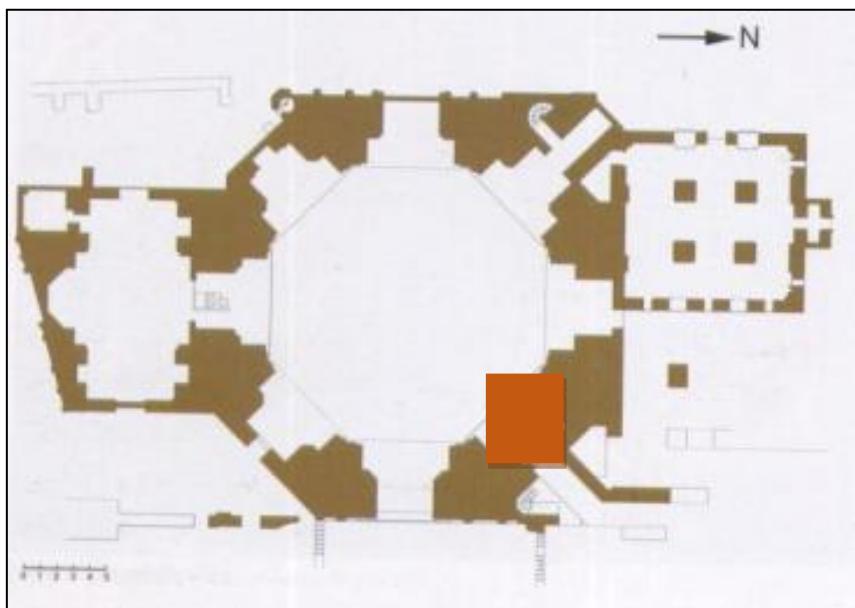
۵. گنبد سلطانیه و آرایه‌های ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی آن

ساخت گنبد سلطانیه، در سال ۷۰۴ق. به دستور الجایتو در شهر سلطانیه، پایتخت آن زمان ایلخانیان آغاز شد و در سال ۷۱۲ق. به اتمام رسید [17]. پائولزی بیان می‌دارد: «فرم و اسکلت این بنای معظم که بین



شکل ۲: محوطه مجموعه گنبد سلطانیه از نمای بالا (ماخذ: <http://www.armansafar.com>)

Fig. 2: Soltanieh dome complex from above

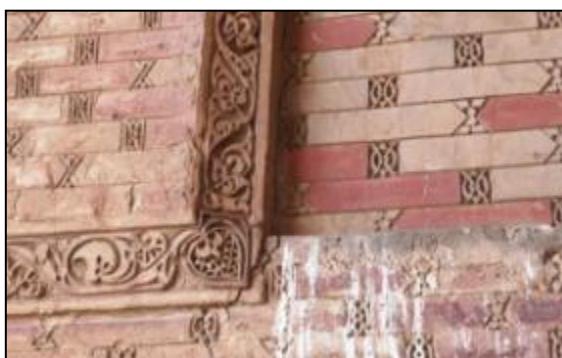


شکل ۳: پلان مجموعه گنبد سلطانیه [17]

Fig. 3: Soltanieh Dome Collection Plan

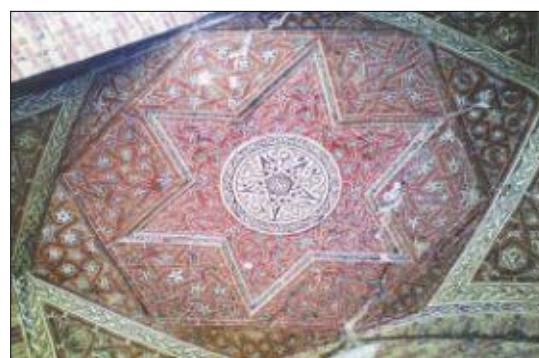
آرایه‌های گچی داخل ایوان دارای طرح‌های متنوعی است؛ ترنج‌های بزرگ شبکه‌ای، نقش‌های گلدار، کتیبه‌های مقدس به‌نوعی پیام الهی را منتقل می‌کنند. خطوط مواج آن‌ها نمایانگر حرکتی سیال و آرام هستند. طاق‌های دهلیز خارجی با سطوح نقاشی شده ترتیب شده که روی آن‌ها قاب‌هایی با تصاویر هندسی پیچیده مشاهده می‌شود که دارای طرح و رنگ زیبایست (شکل ۴ و ۵).

سلطانیه باهم یکی شده‌اند؛ مقیاس‌های بزرگ، تناسب موزون، رنگ‌های درخشان و پُرمایه در تعادلی یکنواخت باهم ترکیب شده‌اند و ظاهری بی‌نظیر و فوق العاده به ساختمان بخشیده‌اند [21]. اما در ایوان‌ها سه طاق با آرایه‌های منحصر به‌فرد دیده می‌شود. سقف‌ها از آرایه‌های گچی با رنگ‌های متنوع در بالای ایوان شکوه و جلوه‌ی گنبد را دوچندان کرده‌اند. روی دیوارها آجرهای طلایی رنگ مشاهده می‌شود.



شکل ۵: آرایه‌های گچی در ایوان جنوب غربی بیرونی بنای گنبد سلطانیه

Fig. 5: Gypsum decoration on the outer southwest of the Soltanich Dome



شکل ۴: آرایه‌های گچی در ایوان جنوب غربی بیرونی بنای گنبد سلطانیه

Fig. 4: Gypsum decoration on the outer southwest of the Soltanich Dome

۶-۶. مطالعات آزمایشگاهی جهت شناسایی رنگ‌های مورداستفاده در تزیینات گچی

در تزیینات زیبای ایوان بیرونی گنبد سلطانیه رنگ‌های گوناگون قرمز، زرد، سیاه، سفید و خاکستری به چشم می‌خورد که بر روی بسترهای گچی جلوه دارند (شکل ۸). این رنگ‌ها در سه بخش طاق‌ها در آرایه‌های هر ایوان مورداستفاده قرار گرفته و جهت شناسایی رنگ‌های مورداستفاده از نقاط مناسب نمونه‌برداری شده (شکل ۹ و ۱۰) و بهوسیله آزمایش‌های دستگاهی مادون‌قمرز تبدیل فوریه (FT-IR) - فلورانس پرتوی ایکس (XRF) مطالعات بر روی نمونه‌ها صورت پذیرفت.

۷. نتایج و یافته‌ها

۱-۷. بررسی میکروسکوپی آرایه‌های گچی

جهت بررسی لایه‌های تشکیل‌دهنده آرایه‌ها بر روی جدارهای بیرونی ایوان ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه، از روی دیوار بخشی از آن‌ها جدا شد و مانند گردید و بهوسیله میکروسکوپ پالریزان موردنبررسی قرار گرفت. لایه بدین صورت اجراشده است که به صورت مستقیم بر روی دیوار آجری لایه گچ قرار گرفته و سپس از یک لایه بوم‌کننده استفاده گردیده است. پس از آن لایه رنگ اجرا گردیده است. نکته قابل توجه این است که بر روی لایه رنگ هیچ اثری از وجود لایه محافظ وجود نداشت (شکل ۱۱).

۶. مواد و روش‌ها

۶-۱. نمونه‌برداری

نمونه‌برداری از لایه‌های آرایه‌های گچی در آثار تاریخی کاری بس مهم و قابل توجه است چراکه امکان برداشتن لایه‌های زیاد وجود ندارد. به همین علت برداشت دقیق از سطح اثر به همراه تمامی لایه‌های تشکیل‌دهنده مهم است. جهت نمونه‌برداری آرایه‌های گچی از قسمت‌هایی که ترک بزرگ وجود داشت و لایه‌ها از سطح جدا شده بودند استفاده گردید که کمترین میزان دخلالت و تخریب را به همراه داشته باشد. برای انجام آزمایش از رنگ‌های قرمز، زرد، سفید، سیاه و خاکستری موجود نمونه برداشته شد. که این نمونه‌ها از آرایه‌های سقف ایوان و بدنه آن بودند (شکل ۶ و ۷).



شکل ۶: محل نمونه‌برداری آرایه‌ها از بدنه ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی

Fig. 6: The site of sampling from the southwest outer edge of the body



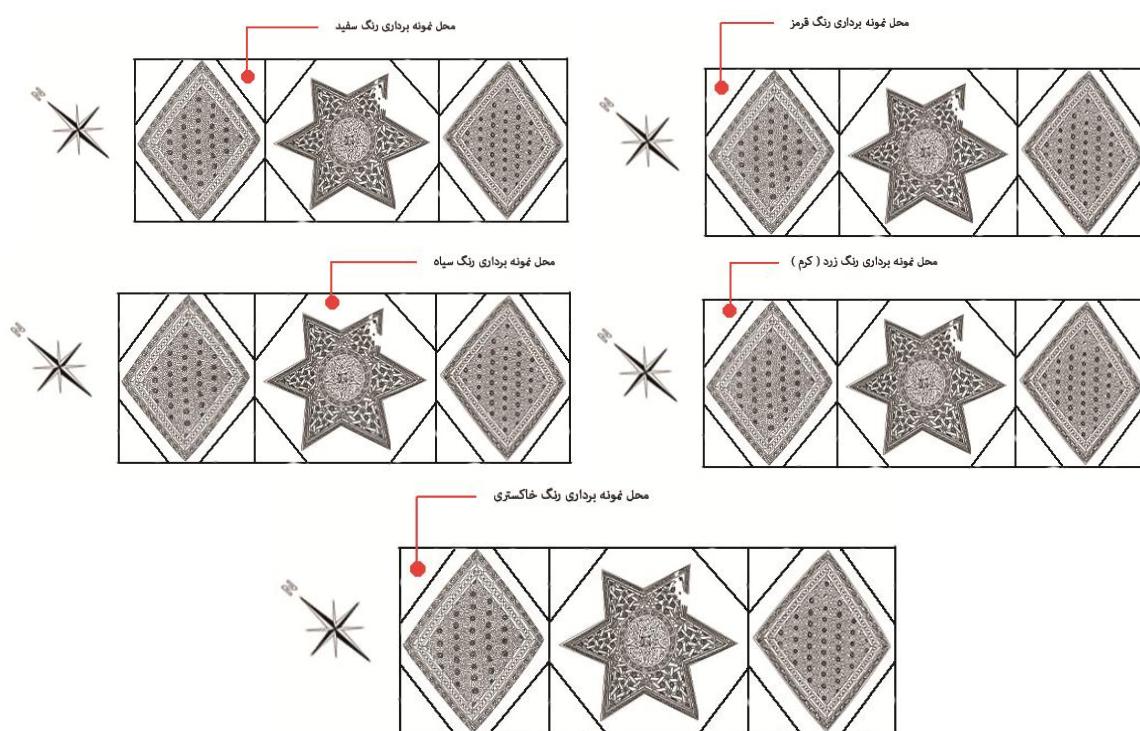
شکل ۷: محل‌های مختلف برای برداشت نمونه‌ها
Fig. 7: Sampling location



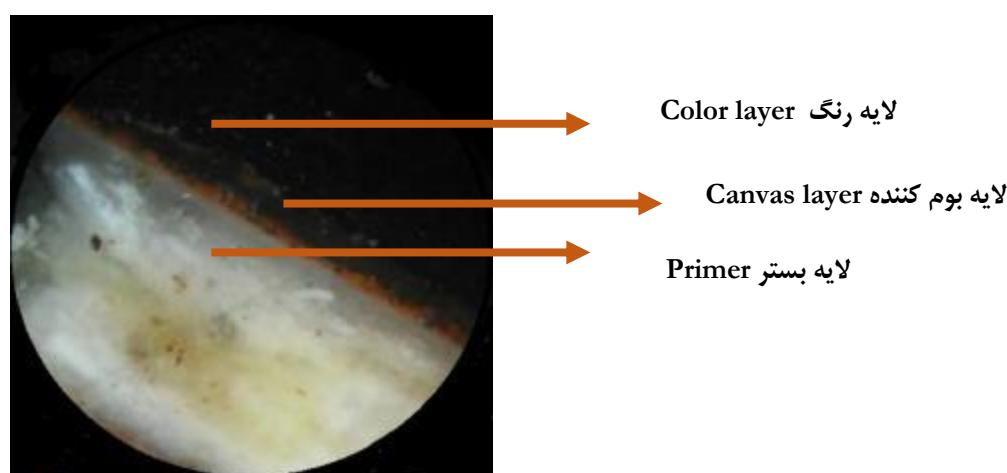
شکل ۸: محل نمونه‌برداری رنگ‌ها در ایوان بیرونی
صلع جنوب غربی گبد سلطانیه
Fig. 8: Location of sampling colors on the
outer porch of the southwestern side of
Soltanieh dome



شکل ۹: نمونه‌برداری از رنگ‌ها
Fig. 9: Sampling of colors



شکل ۱۰: معرفی محل‌های نمونه‌برداری رنگ‌ها از سقف ایوان ضلع جنوب غربی
Fig. 10: Sampling locations of colors from the ceiling of the porch



شکل ۱۱: تصویر میکروسکوپی از الایه بستر و رنگ
Fig. 11: Microscopic image of the substrate and color layer

حضور فعال عنصر کلسیم را در نمونه موردبررسی نشان داد که احتمال وجود گچ را در رنگدانه موردبررسی کامل نمود که در جدول پیک حاصله نشان داده شده است.

نتایج آنالیز FT-IR برای رنگ سفید نیز نوارهای ناحیه 1164cm^{-1} وجود سولفات کلسیم در ترکیب، نوار ناحیه 3551cm^{-1} و 3405cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است و نوارهای ناحیه 603cm^{-1} و 670cm^{-1} سولفات کلسیم را به عنوان لایه رنگ سفید تشخیص می‌دهد. نتایج آنالیز XRF نیز حضور فعال عنصر کلسیم را در نمونه موردبررسی نشان داد که احتمال وجود گچ را در رنگدانه موردبررسی کامل نمود که در جدول پیک حاصله نشان داده شده است.

نتایج آنالیز FT-IR برای رنگ خاکستری نیز نشان از این دارد که نوارهای ناحیه 1145cm^{-1} و 1118cm^{-1} وجود سولفات کلسیم در لایه بستر، نوار ناحیه 3547cm^{-1} و 3405cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است و 670cm^{-1} سولفات کلسیم (گچ) و 781cm^{-1} جذب C-O را برای ایجاد رنگ احتمالاً ترکیب دوده (کربن) را در نشان می‌دهد که خاکستری نشان می‌دهد. نتایج آنالیز XRF نیز در نمونه موردبررسی حضور کلسیم را در ترکیب نشان داد.

نتایج آنالیز FT-IR برای رنگ سیاه نیز نشان می‌دهد نوارهای ناحیه 1151cm^{-1} و 1118cm^{-1} وجود سولفات کلسیم که به عنوان لایه بستر به کاررفته، نوار ناحیه 3405cm^{-1} و 3547cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است و نوار ناحیه 8371cm^{-1} و 1443cm^{-1} جذب C-O را نشان می‌دهد و نوار ناحیه 671cm^{-1} و 598cm^{-1} ناشی از ارتعاشات سولفات است که احتمالاً به همراه دوده برای ایجاد رنگ سیاه مورداستفاده بوده است. نتایج آنالیز XRF نیز حضور فعال عنصر کلسیم را در نمونه موردبررسی نشان داد [۲۲].

بر این اساس رنگ سفید گچ نیمه آبدار است و رنگ‌های زرد و قرمز دارای عنصر فعال آهن و کلسیم هستند که شامل اخراجی قرمز و زرد بوده و در رنگ خاکستری و سیاه نیز جذب عنصر کربن (دوده) مشاهده می‌گردد (جدوال ۱ و ۲).

۷-۲. نتایج آنالیز XRF و FT-IR

پس از انجام آزمایش به وسیله طیف‌سنجی مادون‌قرمز و طیف‌نگاری فلورسانس پرتوایکس نتایج حاصل شده در جداول ۱ و ۲ قابل بررسی هستند. طیف آنالیز XRF برای رنگدانه قرمز را می‌توان این‌گونه بررسی نمود (جدول ۲): نوارهای ناحیه 1143cm^{-1} ، 1117cm^{-1} و 1034cm^{-1} وجود سولفات کلسیم به عنوان یک لایه که در بستر به کاررفته را نشان می‌دهد. همچنین نوارهای 3547cm^{-1} و 3405cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است. در این طیف نوار ناحیه 1622cm^{-1} ارتعاش خمشی مربوط به پیوند هیدراتسیون سولفات موجود در ساختار شیمیایی است و نیز 1317cm^{-1} وجود ماده معدنی حاوی عنصر آهن را نشان می‌دهد که احتمالاً در رنگدانه قرمز مورداستفاده قرارگرفته است. نتایج آنالیز XRF نیز حضور فعال عنصر آهن و کلسیم را در نمونه موردبررسی نشان داد که احتمال وجود اخراجی قرمز در رنگدانه موردبررسی را بیان می‌نماید که در جدول پیک حاصله نشان داده شده است.

نتایج آنالیز FT-IR برای رنگدانه زرد نیز بدین شرح است: نوار ناحیه 1144cm^{-1} و 1118cm^{-1} ناشی از وجود یک ترکیب سولفاتی است که در بستر بکار رفته است. نوار ناحیه 3547cm^{-1} و 3405cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است. در این طیف نوار ناحیه 1620cm^{-1} ارتعاش خمشی مربوط به پیوند هیدراتسیون سولفات موجود در ساختار شیمیایی است و 1685cm^{-1} نیز وجود هیدراتسیون گچ را نشان می‌دهد. نتایج آنالیز XRF نیز حضور فعال عنصر آهن و کلسیم را در نمونه موردبررسی نشان داد که احتمال وجود اخراجی زرد با توجه به ترکیب به دست‌آمده در رنگدانه موردبررسی را بیان می‌نماید که در جدول پیک حاصله نشان داده شده است.

نتایج آنالیز FT-IR برای رنگ سفید نیز نوارهای ناحیه 1164cm^{-1} وجود سولفات کلسیم در ترکیب، نوار ناحیه 3551cm^{-1} و 3405cm^{-1} مربوط به ارتعاشات کشنی نامتقارن پیوند O-H در ترکیب است و نوارهای ناحیه 603cm^{-1} و 670cm^{-1} سولفات کلسیم را به عنوان لایه رنگ سفید تشخیص می‌دهد. نتایج آنالیز XRF نیز

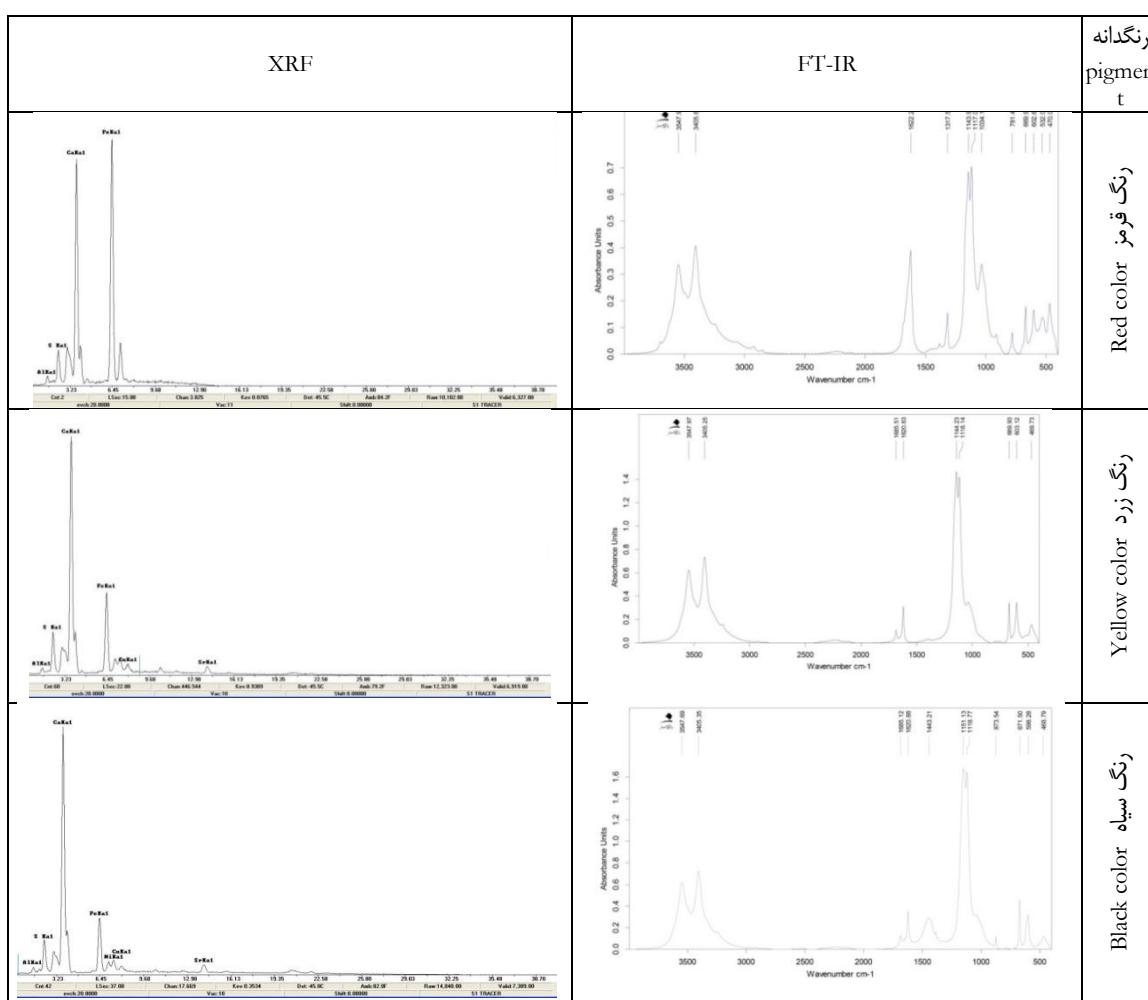
جدول ۱: نتایج آنالیز XRF و FT-IR

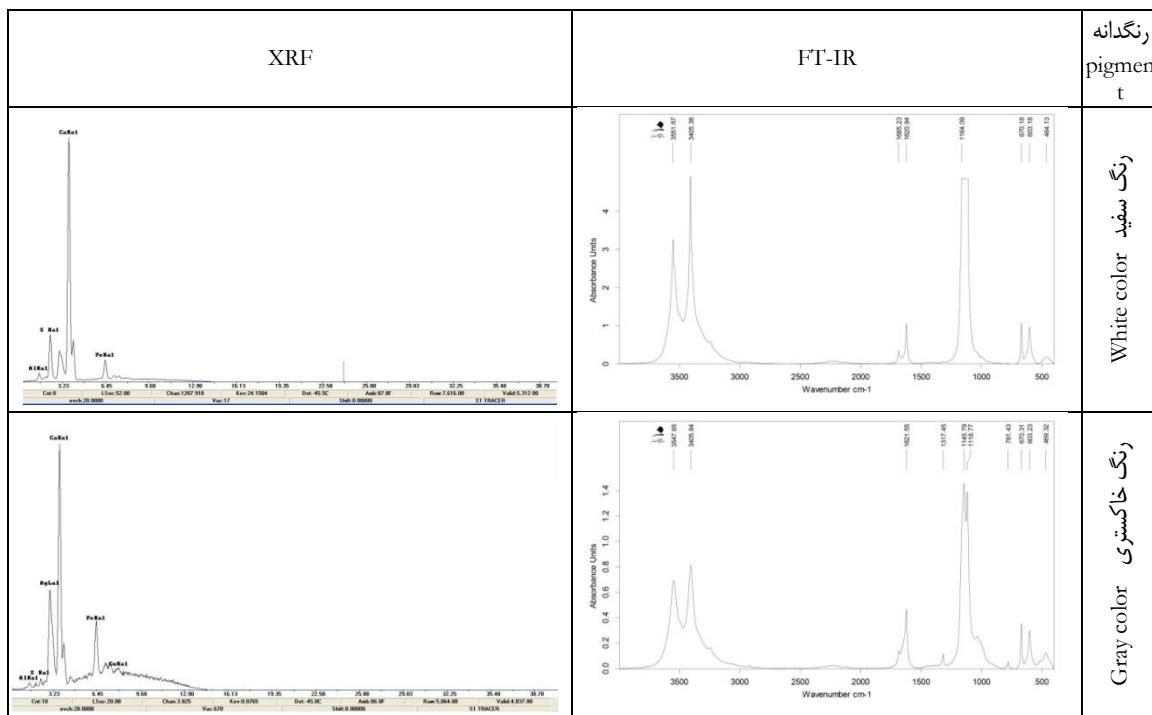
Tab 1: FT-IR, XRF Analyses

نتیجه‌ی داده‌ها The Result of the Data XRF	نتیجه‌ی داده‌ها The Result of the Data FT-IR	نمونه مجهول Unknown Sample
حضور فعال عنصر آهن و کلسیم Active Presence of Iron and Calcium	رنگدانه اخراجی قرمز Red Pigment	رنگ قرمز Red Color
حضور فعال عنصر آهن و کلسیم Active Presence of Iron and Calcium	رنگدانه اخراجی زرد Yellow Pigment	رنگ زرد Yellow Color
حضور فعال عنصر کلسیم Active Presence of Calcium	سولفات کلسیم و دوده Calcium sulfate and Carbon	رنگ سیاه Black Color
حضور فعال عنصر کلسیم Active Presence of Calcium	گچ نیمه آبدار Plaster	رنگ سفید With Color
حضور فعال عنصر کلسیم Active Presence of Calcium	سولفات کلسیم و دوده Calcium sulfate and Carbon	رنگ خاکستری Gray Color

جدول ۲: نتایج آنالیزهای دستگاهی نمونه رنگدانه‌ها

Table 2: Pigment Sample Device Analysis Results





جدول ۳: بررسی مطالعات بر روی رنگدانه‌های استفاده شده در برخی از بناهای ایلخانی (با استناد به نتایج مطالعاتی محققین دیگر)

Table 3: Studies of pigments used in some of the Ilkhani buildings

نام بنا Name of the building	رنگدانه‌های بررسی شده Checked pigments	بستر و لایه بوم کننده Layer and canvas layer	شماره Number
پیر حمزه سبزپوش ابرکوه Old Hamza Sabzpush Abarkuh	آبی آزوریت، اخراجی سرخ، مالاکیت، دوده Azurite blue, red ochre, malachite, soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۱
پیربکران اصفهان Isfahan PIR BAKRAN	قرمز اخراجی، سبز مالاکیت، آبی آزوریت، دوده Red ochre, green malachite, azurite blue, soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۲
محراب اولجایتو در اصفهان Oljaytu altar in Isfahan	قرمز اخراجی، سبز مالاکیت Red ochre, malachite green	گل سفید و گچ White soil and plaster	۳
مدرسه رکنیه یزد Raknaye School of Yazd	قرمز اخراجی، سبز مالاکیت، آبی آزوریت، سبز سیلو، قرمز شنگرف Red ochre, green malachite, azurite blue, green silo, red vermillion	گچ plaster	۴
تزیینات داخلی گنبد سلطانیه Soltanich dome interior decoration	اخراجی قرمز، سبز، زرد اخراجی، دوده Red, green, yellow, soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۵
بقعه سید رکن الدین یزد Tomb of Sayed Rakneddin Yazd	سبز سیلو، آبی آزوریت، سبز مالاکیت، قرمز اخراجی، قرمز شنگرف، دوده Silo Green, Azurite Blue, Malachite Green, Ultraviolet Red, Viscous Red, Soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۶
بقعه شیخ احمد فهادان The tomb of Sheikh Ahmad Fahadan	قرمز سرنج، آبی آزوریت، سبز سیلو، سبز مالاکیت، دوده Red cyan, azurite blue, silo green, malachite green, soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۷
مدرسه حسینیان یزد Hosseiniyan School of Yazd	قرمز سرنج، آبی لاچورد، سبز سیلو، سبز مالاکیت، دوده Red cyan, azure blue, silo green, malachite green, soot	گل سفید و گچ White soil and plaster	۸

دوره ایلخانی اکثر بناها و آثار بارنگ‌های معدنی آراسته شده است. نتایج حاصل از آزمایش‌ها را می‌توان این‌گونه معرفی نمود که با انجام آزمایش طیف‌سنجی مولکولی FT-IR و آنالیز عنصری XRF بر روی پنج نمونه‌ی رنگی در گچبری‌های ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی انجام پذیرفت. نتایج نهایی به دست‌آمده عبارت‌اند از: رنگ قرمز (رنگدانه اخراجی قرمز - Red Ochre)، رنگ زرد یا کرم (رنگدانه اخراجی زرد-Yellow Ochre)، رنگ سیاه (کلسیم و کربن)، رنگ سفید (گچ هیدراته-Plaster Hemihydrate) و رنگ خاکستری (کلسیم و کربن).

رنگدانه اخراجی قرمز و زرد، یک رنگدانه طبیعی معدنی خاکی مشتمل بر سیلیس و خاک رس است. رنگدانه اخراجی اکسید آهن آبدار یا بی آب موجود در آن است. در قرمز اخراجی اکسید آهن اندیره (Fe_2O_3) وجود دارد ولی رنگ اخراجی زرد تابع انواعی از اکسید آهن آبدار است که مهمترین آن‌ها کانه گوتیت ($\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$) است. دوده به رنگ سیاه است و ساختار نرم و صافی دارد. این ماده حاوی کربن است که در ترکیب با کلسیم در ایجاد طیف رنگ‌های خاکستری تا سیاه در آرایه‌های تزیینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

بنابراین با توجه به اینکه ساختار رنگ‌ها به صورت ترکیبات معدنی بوده است می‌توان اذعان داشت یکی از مهمترین دلیل ماندگاری آن‌ها این ساختار است. چرا که رنگ‌ها با ساختارهای معدنی در برابر عوامل مخرب محیطی مقاومت پیشتری داشته و عوامل مخرب کمتر بر روی آن‌ها تاثیر دارند.

سپاسگزاری

بر خود لازم می‌دانم از ریاست محترم سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان زنجان، مدیریت محترم پایگاه میراث جهانی گنبد سلطانیه و همکاران و دوستان در دانشگاه هنر تهران کمال تشکر و قدردانی را در خصوص همکاری‌های صمیمانه و دوستانه ایشان داشته باشم.

۸. بحث در یافته‌ها

استفاده از رنگ بر روی آرایه‌های گچی در دوران ایلخانی بسیار متداول بوده است و در بسیاری از بناهای ساخته شده در ایران در این دوران قابل شناسایی هستند. حضور رنگ بر زیبایی بناها بسیار افزوده است. مطالعات ساختارشناسی رنگدانه‌ها در بسیاری از بناهای ایلخانی حاکی از این است که تقریباً یک ترکیب مشابه در تزیین آرایه‌های گچی در این دوران استفاده شده است. در جدول ۳ سعی شده است تا بررسی رنگدانه و بستر بر روی برخی از بناهای انجام شده دوران ایلخانی مطابقت داده شود.

بنابراین می‌توان دید که در دوره ایلخانی در بناها از گل‌سفید و گچ به عنوان بستر و لایه بوم‌کننده استفاده شده و این امر در آرایه‌های ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه نیز صدق می‌کند. در زمینه رنگ‌ها نیز همان‌طور که مشاهده می‌شود برای رنگ قرمز از اخراجی قرمز و یا قرمز شنگرف استفاده شده و در بنای موردنرسی قرمز اخراجی استفاده شده است. همچنین دوده نیز در ایجاد رنگ سیاه در تمامی بناها استفاده گردیده است. اما در این آرایه‌ها از رنگ سبز و آبی استفاده نشده در صورتی که در بیشتر بناهای دوره ایلخانی رنگ سبز و آبی با ترکیبات متنوع استفاده شده است. همچنین در آرایه‌های داخلی گنبد سلطانیه نیز از رنگ سبز استفاده شده است. با توجه به موارد بیان شده رنگ زرد تنها در گنبد سلطانیه در نمونه موردنرسی استفاده شده است. بنابراین می‌توان اذعان داشت رنگدانه‌های مورداستفاده در دوره ایلخانی در بناهای گوناگون تقریباً مشابه‌تی زیادی داشته و در بسترسازی و لایه بوم‌کننده نیز تقریباً از یک نوع ترکیبات استفاده شده است.

۹. نتیجه‌گیری

استفاده از رنگ‌های گوناگون با ساختار معدنی و آلی در هنرها و تزیینات وابسته به معماری به‌وفور دیده می‌شود که در دوره‌های مختلف هر کدام دارای ویژگی‌های خاص هستند. بر اساس نتایج و تحقیقات حاصل شده در

References

- [1] Donald Newton W. Iranian Architecture in Ilkhani Period. (Translated by Faryar A.).1967.
[ویلبر دونالد نیوتن، معماری اسلامی ایران در دوره ایلخانان، (ترجمه عبدالله فریار) تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب: سازمان برنامه فرانکلین؛ ۱۳۴۶]
- [2] Abbasi J, Bahadori R, Bozorghmehr M., Beheshti I, Bahroloolomi F. Identify the Materials and Colors Used in the Murals of the Rahim Abad Garden and the Mansion of Birjand. *J Res Archaeom* 2016;2:63–76.
[عباسی جواد، بهادری رویا، بزرگمهر محمدعلی، بهشتی ایرج و بحرالعلومی فرانک، شناسایی مواد و رنگ‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم آباد بیرجند. پژوهه باستان‌شناسی؛ ۱۳۹۵: ۶۳-۷۶]
- [3] Clark RJH. Pigment identification by spectroscopic means: an arts/science interface. *Comptes Rendus Chim* 2002;5:7–20.
- [4] Karimi A., Holakooee P. Architecture and Decorations in Pirhamze Sabz Posh in Abarkoh. *Gholestān Honar Mag* 1999;14:18–29.
[کریمی امیرحسین، هلاکوی پرویز. معماری و تزیینات بنای پیر حمزه سبزپوش ابرکوه، فصلنامه گلستان هنر [۱۳۸۷: ۱۸-۲۹]]
- [5] Torabi S. Study on the Technology of wall painting in Pir Bakran Tomb. *Maremat & Pazhohesh* 2009;71–82.
[ترابی سامان. مطالعه و بررسی فن‌شناختی دیوارنگاره‌های موجود در چله خانه بقعه پیربکران، دوفصلنامه مرمت و پژوهش؛ ۱۳۸۸: ۷۱-۸۲]
- [6] Nekooe Isfahani M, Khatabakhsh F, Yazdani M, Jabalamelli R, Omrani R, Azami R. Understanding and Conservation of Oljaito Altar in Isfahan Mosque. In: Rasol Vatandoust, editor. 7th Conf. Conserv. Restor. Hist. Objects Archit. Decor., Tehran: cultural Heritage Research Center; 2005, p. 428–51.
[نکویی اصفهانی محسن، خطابخش فربیا، بیانی ملیکا، جبل عاملی رکسانا، عمرانی رویا، اعظمی رضا. نکویی اصفهانی محسن، خطابخش فربیا، بیانی ملیکا، جبل عاملی رکسانا، عمرانی رویا، اعظمی رضا.]
- [7] Farahman Borojeni H, Abed Isfahani A, Shishebori T. Identification of Materials and Techniques of Mural Construction of the Five Buildings of the Ilkhani Periods in Yazd. *Maremat Asar Baft Tarikhi Mag* 2012;2:97–112.
[فرهمند بروجنی حمید، عابد اصفهانی عباس، شیشه‌بری طاهره. شناخت مواد و فنون دیوارنگاری پنج بنای دوره ایلخانی شهر یزد. دو فصلنامه مرمت آثار و بافت‌های تاریخی، فرهنگی، ۱۳۹۲(۴): ۹۷-۱۱۲]
- [8] Hamzeloo M. Applide Arts at Soltaniye Dome. Tehran: Makan; 2001.
[همزلو منوچهر. هنرهای کاربردی در گنبد سلطانیه. تهران: مکان؛ ۱۳۸۰]
- [9] Aloupi E, Karydas AG, Paradellis T. Pigment analysis of wall paintings and ceramics from Greece and Cyprus. The optimum use of x- ray spectrometry on specific archaeological issues. *X- Ray Spectrom An Int J* 2000;29:18–24.
- [10] Darwish SS. Scientific Investigation of the Materials and Techniques Used in a 19th Century Egyptian Cemetery Wall Painting (Hawsh Al-Basha). *Int J Conserv Sci* 2013;4.
- [11] Hadiyan Dehkordi M. Application of laboratory research in the preservation and restoration of monuments, Tehran: Tehran University Press; 2008.
[هادیان دهکردی منیژه. کاربری پژوهش های آزمایشگاهی در حفاظت و مرمت بنای‌های تاریخی. تهران: انتشارات دانشگاه تهران؛ ۱۳۸۶]
- [12] Fereti M. Methods of Scientific Study of Artworks. Translate by Abolfazl Semnani. Tehran: Alhaj; 2000.
[فرتی مارکو. روش‌های بررسی علمی آثار هنری، ترجمه: ابوالفضل سمنانی، تهران: انتشارات الحج:]

- [۱۳۷۸]
- [13] Kiyani M. Islamic Decorations. Tehran: Cultural Heritage Organization, Iran; 1997.
[کیانی محمدبیوسف. تزیینات و استه به معماری دوران اسلامی، تهران، سازمان میراث فرهنگی کشور؛ ۱۳۷۶]
- [14] Hill D, Gerabar A. Architecture and Islamic Decoration. (Translated by Vahdati Daneshmand M.) Tehran: Elmi & Farhangi Edition; 1996.
[هیل درک، گرابارالگ. کتاب معماری و تزیینات اسلامی، (ترجمه: مهرداد وحدتی داشمند)، تهران: نشرات علمی و فرهنگی؛ ۱۳۷۵]
- [15] Khademzade M, F I pour. Analysis of the Developments of Interior Domes in Yazd and Its Effect on Other buildings. Pazhohesh-Ha-Ye Bastan Shenasi 2014;7:193–211.
[خادم‌زاده محمدحسن، اصفهانی پور فائزه. واکاوی تحولات آرایه‌های داخلی گنبد در شیوه یزد و تاثیر آن بر سایر بناها در ایران. مجله پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران؛ ۱۳۹۳؛ (۴) ۷: ۱۹۳–۲۱۱.]
- [16] Makkinezhad M. History of Iranian Art in the Islamic Period Architectural Decoration. Tehran: Samt; 2008.
[مکی نژاد مهدی. تاریخ هنر ایران در دوره اسلامی: تزیینات معماری، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)؛ ۱۳۸۷]
- [17] Sobotti H. Soltaniye History Review. Zanjan: Hamed; 1991.
[ثبوتی هوشنگ. بررسی آثار تاریخی سلطانیه، زنجان:]
- [۱۳۷۰]
- [18] San Paolozi P. Influence of Soltaniye Dome Architecture on the Santa Maria Delfiore Haley Dome. (Translated by Kasaee R.) Tehran: Sazmane Melli Hefazate Asar Bastani Iran; 1985.
[سن پائولوی پیرو. تأثیر معماری گنبد سلطانیه در ساختمان گنبد سانتاماریا دلفیوره ایتالیا، (ترجمه رضا کسایی). تهران: انتشارات سازمان ملی حفاظت آثار باستانی ایران؛ ۱۳۶۴]
- [19] Mirfattah A. Soltaniye. Cult Herit Mag 1995:170–85.
[میرفتح علی اصغر. سلطانیه. مجله میراث فرهنگی. ۱۳۷۴؛ ۱۳: ۱۷۰–۱۷۰]
- [20] Heidari F, Ahmadi H, Aslani H. Technical study of A modeling stucco of Soltanieh s Vault. Art university of Isfahan, 2012.
[حیدری فرزانه، احمدی حسین و اصلانی حسام. بررسی فن شناختی نوعی از تزیینات گچی زیر گنبد سلطانیه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه هنر اصفهان. ۱۳۹۱.]
- [21] Pope A. Iran's Architecture. Tehran: Samira; 2009.
[پوپ آرتور آپهام، معماری ایران. زهراء قاسمی. چاپ چهارم. تهران: سمیرا؛ ۱۳۸۸]
- [22] Derick M , Stulik D, Landry J.M. Infrared Spectroscopy in Conservation Science (Scientific Tools for Conservation). The Getty Conservation Institute. Publish in the United States of America; 1999.