



## Original Paper

## Identification of the Materials and Pigments Used in the Mural Painting Rooms of the Dormiani-Home in Isfahan



Afsaneh Firooznia<sup>1\*</sup>, Alireza Ashrafi<sup>2</sup>, Faranak Bahrololoumi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MA in Preservation of Cultural Artefacts, Art University of Tehran, IRAN

<sup>2</sup> M.A. in Restoration and Revitalization of historic buildings and fabrics of cultural heritages, IRAN

<sup>3</sup> Expert of Research center for conservation of cultural relics, Research Institute for cultural heritage tourism, IRAN

Received: 16/12/2019

Accepted: 20/04/2020

### Abstract

During the Qajar period, due to the influence of European artists, the method of oil painting became very popular in Iran, where this trend was common not only on cloth canvases but also on decoration of the walls of buildings. The western art influenced not only the use of materials, but also the method of execution and even the type of designs, and led to the blending of Western artistic methods with Iranian ones. During the Qajar period, various designs were used to decorate the walls, and traditional and western colors were used, sometimes in combination or separately, to paint the designs. According to the researches, the most used colors in the Qajar period are: lead white, calcium sulfate, calcium carbonate, huntite, barium sulfate, zinc oxide, ochre, amber, arsenic, orpiment, vermilion, lead chromate, green Silo, azurite, ultramarine, Prussian blue, malachite, chrome, cerulean, carmine, brass (copper & zinc), silver, gold, ivory for black Etc. Sadat-i-Dormiani's house is one of the unknown traditional buildings belongs to Qajar era located in the Bid-Abad neighborhood of the Mosque of Isfahan Masjid Seyyed. This building has been registered as one of the national monuments of Iran on August 22, 2005, by No. 13013. The total area of this house is about 900 square meters, where it has now been converted to a hotel, called Sohrevardi. This traditional hotel contains beautiful decorations such as stucco decoration, mirror work, and murals. In this research, the importance of the some principles utilized in order to performing the walls like drawn patterns, the techniques and materials have been considered and finally, the obtained results was compared with the materials used in other Qajar paintings. Due to the fact that most of the colors applied in these decorations are gold, red, blue, and green, and considering the principle of the minimum interference, a very small amount of material containing the above-mentioned colors were sampled. The samples were named with codes like B1 (golden color), B2 (red color), B3 (blue color), and B4 (green color). Laboratory analysis methods have been utilized to identify the color of substrate, the pigments, the coating, and the protective coating. The characterization have been fulfilled by, Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) for detecting organic matter, scanning electron microscope equipped with X-ray diffraction (SEM-EDS) to detect mineral elements and compounds and finally, the optical microscopy (OM) to realize and analyze materials and pigments. Based on the obtained results, the combination of huntite ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ) and gypsum ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) has been utilized as the substrate of paints. Huntit has been used from the past to the present both as a white color and as a substrate for paintings. The applied colors were inorganic and the motifs were executed with an oil technique. The pigments used in the decoration of the building are golden powdered brass (copper and zinc), red lead with the chemical formula ( $Pb_3O_4$ ), Prussian blue with the chemical formula ( $Fe_4[Fe(CN)_6]_3$ ), and green which was a combination of Prussian blue and green-earth (silo) with

\* Corresponding author: [firooznia.afsane@gmail.com](mailto:firooznia.afsane@gmail.com)

Copyright© 2020, the Authors | This open-access article is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any - medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution NonCommercial terms.

chemical formula  $(K[Al^{3+}, Fe^{3+}](Fe^{2+}, Mg^{2+}))_2(AlSi_3, Si_4)O_{10}(OH)_2$ . White lead with the chemical formula  $(2PbCO_3.Pb(OH)_2)$  has also been used to create color tones. Moreover, it was identified that a kind of protein applied to the pigment composition. It should be noted that all materials and pigments identified in this study are consistent with the materials applied in other murals of the Qajar-related buildings and architectures (in Iran).

**Keywords:** Isfahans Dormiani's house, Mural painting, Qajars pigments, OM ,FTIR ,EDS



## شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های دیوارنگاره‌های اتاق‌های

### بروار خانه تاریخی درمیانی اصفهان

#### افسانه فیروزنیا<sup>۱\*</sup>، علیرضا اشرفی<sup>۲</sup>، فرانک بحرالعلومی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران
۲. کارشناسی ارشد مرمت و احیاء بناها و بافت‌های تاریخی میراث معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران
۳. مربی و عضو هیئت‌علمی پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی- فرهنگی پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵

#### چکیده

خانه سادات درمیانی، از جمله خانه‌های کمتر شناخته‌شده قاجار است که در محله بیدآباد، خیابان مسجد سید اصفهان واقع شده است. این خانه که هم‌اکنون به هتل سنتی سهروردی تغییر کاربری داده است، دارای تزیینات فاخری از جمله گچ‌بری، آینه‌کاری و نقاشی دیواری است که در این پژوهش با توجه به اهمیت نقوش کشیده شده، به شناسایی تکنیک و مواد به‌کاررفته در اجرای نقوش دیواری موجود در اتاق‌های بروار پرداخته شده است و در نهایت مواد شناسایی شده، با مصالح به‌کاررفته در نقاشی‌های قاجار مقایسه شد. با توجه به بیشترین کاربرد رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز، در تزیینات این خانه، از این رنگ‌ها به میزان بسیار کم و با در نظر گرفتن اصل عدم آسیب بصری، نمونه‌برداری شد. برای رسیدن به هدف پژوهش، از روش‌های آزمایشگاهی برای شناسایی بستر رنگ، رنگ‌دانه‌ها، بست و لایه محافظ رنگ استفاده شده است. از دستگاه طیف‌سنج زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) برای شناسایی مواد آلی، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه پاشندگی پرتوی ایکس (SEM-EDS) برای شناسایی عناصر و ترکیبات معدنی و از میکروسکوپ نوری (OM) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل مواد و رنگ‌دانه‌ها استفاده شد. در این تحقیق، ترکیب بستر به‌صورت ترکیبی از هانتیت (گل سفید) و ژیس شناسایی شد؛ همچنین مشخص شد که رنگ‌ها دارای ماهیت معدنی هستند و نقوش با تکنیک رنگ‌روغن اجرا شده‌اند. رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در تزیینات این بنا عبارت هستند از: طلایی از نوع پودر برنج (مس و روی)، قرمز سرنج، آبی پروس و سبز ترکیبی از آبی پروس و سبز خاکی (سیلو). همچنین از سفید سرب برای ایجاد تونالیت‌های رنگی استفاده شده است. بست به‌کاررفته در ترکیب رنگ‌دانه‌ها نیز از نوع پروتئینی، شناسایی شد.

**کلمات کلیدی:** خانه درمیانی اصفهان، دیوارنگاره، رنگ‌دانه، قاجار، OM، FTIR، EDS

\* مسئول مکاتبات: تهران، خیابان حافظ، خیابان شهید سرهنگ سخایی، بعد از تقاطع ۳۰ تیر، شماره ۵۶، کد پستی: ۱۱۳۶۸۱۳۵۱۸  
بست الکترونیکی: [firooznia.afsane@gmail.com](mailto:firooznia.afsane@gmail.com)

© 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

در دوره قاجار، به علت تأثیرپذیری هنرمندان از اروپا، شیوه رنگ‌روغن در ایران رواج بسیار یافت [1] و استفاده از رنگ‌روغن نه تنها بر روی بوم‌های پارچه‌ای، بلکه برای تزئین دیوار بناها نیز رایج شد. هنر غرب نه تنها در کاربرد مواد و مصالح، بلکه در شیوه اجرا و حتی در نوع نقوش تزئینات این بناها نیز تأثیر گذاشت و منجر به آمیختن شیوه‌های هنری غربی با شیوه‌های هنری ایرانی [2] شد. در این دوره، از نقوش مختلف برای تزئین دیوارها استفاده شد و رنگ‌های سنتی و رنگ‌های غربی گاهی به صورت تلفیقی و گاهی به صورت مجزا برای رنگ‌آمیزی نقوش به کار رفت. به عنوان مثال در گذشته از رنگ‌های حاوی مس و لاجورد به عنوان رنگ آبی و سبز استفاده می‌شد، اما با ورود آبی پروس به ایران، هنرمندان این رنگ را به صورت مجزا و یا گاهی به صورت تلفیق با سایر رنگدانه‌ها (برای

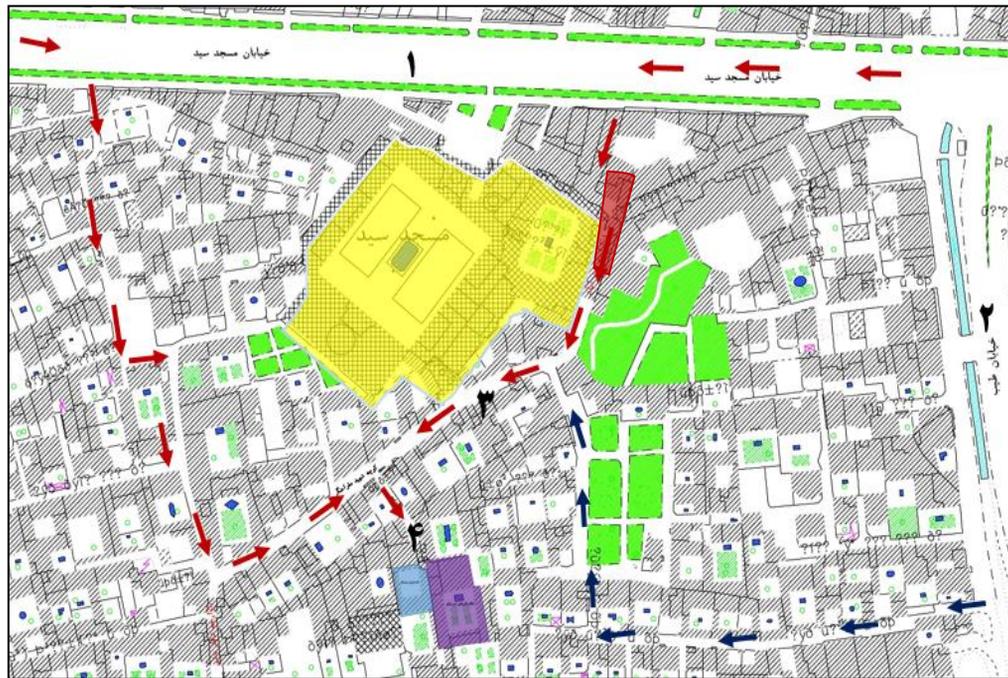
بهبود خواص رنگی و ایجاد توانایی رنگی) استفاده کردند؛ چنانچه مشاهده می‌شود در تزئینات ازاره سنگی بقعه شاه‌عباس ثانی قم که متعلق به دوران صفوی است، از زنگار مس و مالاکیت برای رنگ سبز استفاده شده است [3]. در حالی که در تزئینات باغ رحیم‌آباد بیرجند که از بناهای دوران قاجار است، از ترکیب آبی پروس و مالاکیت برای رنگ سبز استفاده شده است [4].

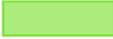
معماری دوره قاجار را معماری خانه‌سازی یا معماری خانه‌های مسکونی نامیده‌اند [5]. خانه سادات ذرمیانی از جمله بناهای تاریخی دوران قاجار است که در گذشته جزء هفت‌دست‌خانه‌ها بوده و به مجموعه خانه‌های سادات ذرمیانی مشهور بوده است. این خانه در خیابان مسجد سید اصفهان که یکی از قدیمی‌ترین محلات اصفهان محسوب می‌شود، واقع شده است و اکنون مساحت آن به حدود نهصد مترمربع می‌رسد (تصویر ۱ و ۲). بعد از



شکل ۱: محل قرارگیری مجموعه خانه‌های سادات ذرمیانی بر روی نقشه رضاخانی [8]

Fig. 1: Location of Sadat-i-Dormiani houses on Rezakhani map



فضای سبز Green space		دسترسی اصلی main path	
خیابان مسجد سید Masjed Seyyed St	1	دسترسی فرعی Stop Street	
خیابان طیب Tayeb St	2	مسجد سید Syyed Mosque	
کوچه شهید مقراضگر Meqrazgar Alley	3	بازارچه بیدآباد Bid-Abad shopping	
بن بست امین Amin Deadend	4	خانه تاریخی متوسلان Motevasellan - home	
		خانه تاریخی درمیانی Dormiani - home	

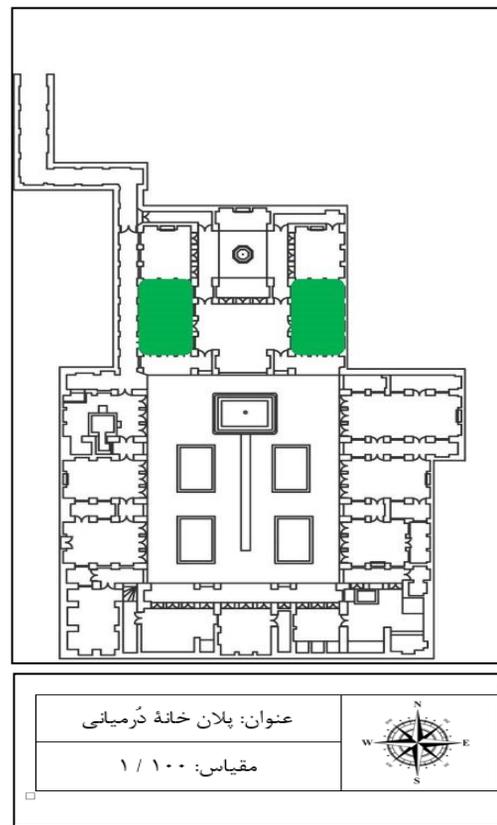
شکل ۲: موقعیت کنونی خانه درمیانی [9]  
Fig. 2: Current location of Sadat-i-Dormiani Houses

شهرت یافتند. این خانه که در فهرست میراث ملی ایران با شماره ۱۳۰۱۳ به ثبت رسیده، چهار صنف (چهار ایوانه) بوده که در ضلع شمالی آن شاه‌نشین (سه‌دری) و حوض‌خانه قرار داشته و چهار اتاق بروار<sup>۲</sup> در طرفین آن‌ها قرار گرفته است. دو اتاق بروار طرفین شاه‌نشین، ابعاد ۳ × ۵ متر دارند که با انواع نقوش دیواری، گچ‌بری، نقاشی پشت شیشه و آینه‌کاری مزین گشته‌اند. این دو اتاق، در تصویر ۳ (پلان خانه درمیانی) با علامت سبز مشخص شده‌اند. در اضلاع شرقی و غربی خانه نیز سال ششم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۹ | ۴۹

خانه‌های پدرسالاری<sup>۱</sup>، عده‌ای از رجال حکومتی و ثروتمندان، به این باور رسیدند که فرزندان، نوادگان و خویشان خود را در کنار هم اما بیرون از خانه‌های خود نگهدارند تا بتوانند امنیت و آسایش را در محل استقرار خویش به وجود آورند؛ بنابراین در کنار خانه خویش، خانه‌های دیگری را بنا کردند که البته از لحاظ معماری و فرم، شبیه به خانه خودشان بود و خویشان درجه اول را در آن جای دادند. تعداد این خانه‌های اطراف، گاهی به هفت، پنج و یا نه می‌رسید که در مجموع به هفت‌دست‌خانه‌ها

## ۲. پیشینه پژوهش

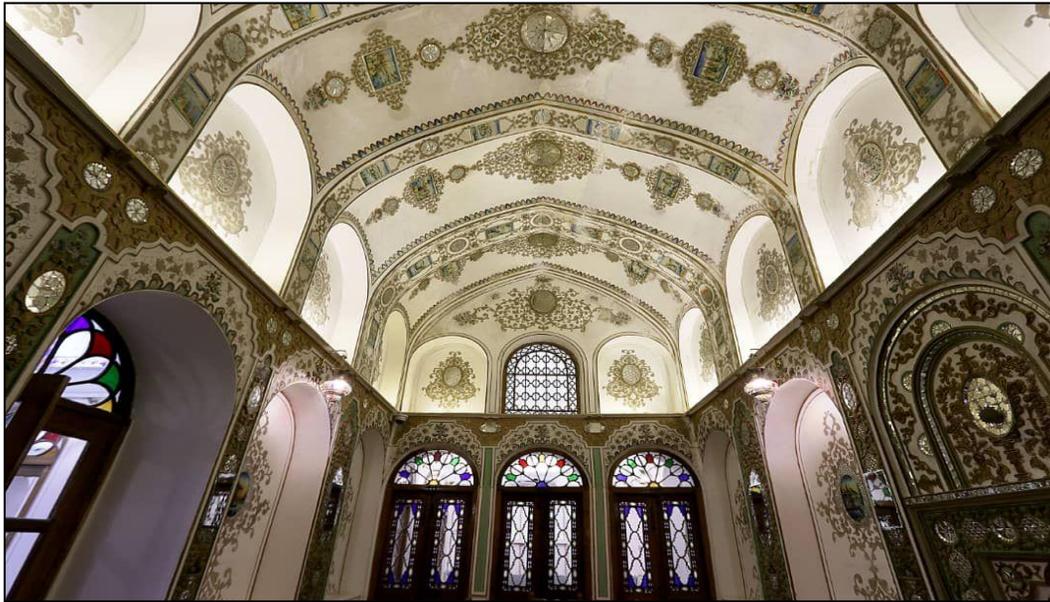
در رابطه با خانه‌های تاریخی دوران قاجار و تزیینات آن‌ها، پژوهش‌هایی انجام شده است و پژوهشگران در حوزه‌های مختلف به بررسی این خانه‌ها و تزیینات موجود در آن‌ها پرداخته‌اند. در خصوص نقوش دیواری، بصیری، در مقاله‌ای تزیینات طلاکاری دوره قاجار را در خانه‌های قدسیه، شهشهان و حقیقی مورد بررسی قرار داده و جهت شناسایی مواد سازنده و روش اجرا، آزمایش‌های متنوع شیمی کلاسیک و روش‌های دستگاهی (FTIR، XRD و SEM-EDX) را استفاده کرده و در نهایت به این نتیجه رسیده است که طلای به کاررفته در خانه حقیقی، از نوع آلیاژ برنج به همراه روغن بزرک، خانه شهشهان از نوع آلیاژهای برنج و برنز با روغن بزرک و خانه قدسیه ترکیبی از عناصر معدنی چون برنج، برنز، آهن، آلومینیوم و نقره با بست و جلای روغن کمان بوده است. ضمن آنکه برای لایه‌چینی از گچ و سریش در خانه‌های حقیقی و قدسیه و گچ و سریش و گل سرخ در خانه شهشهان استفاده شده است [10]. عباسی و همکاران، در مقاله خود مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت رحیم‌آباد بیرجند را که متعلق به دوره قاجار است، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای شناسایی عنصری و ترکیبی مواد تشکیل‌دهنده رنگ‌ها و بستر نقاشی‌ها از روش‌های دستگاهی همچون (FTIR، PLM، XRD، SEM-EDX و XRF پرتابل) استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که لایه بستر مخلوطی از کلسیم سولفات (گچ) و کلسیم کربنات (گل سفید) بوده و از سرنج برای رنگ قرمز، ترکیب آبی پروس و مالاکیت برای رنگ سبز، لاجورد و ترکیبات آهن و مس برای رنگ آبی و از مخلوط مس و روی برای رنگ طلایی استفاده شده است [4]. بهادری و همکارانش، در مقاله خود به شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری خانه بروجرودی‌های کاشان پرداخته‌اند که از جمله خانه‌های قاجاری ایران است و برای رسیدن به هدف پژوهش خود، از روش‌های شیمیایی و دستگاهی مثل (FTIR، XRD) و SEM-EDX استفاده کرده‌اند و رنگ‌های شناسایی شده در این دوره را از نوع قرمز سنگرف (سولفید جیوه)، آبی



شکل ۳: پلان خانه ذرمیانی و موقعیت اتاق‌های بروار (اتاق نقش)  
Fig. 3: The plan of the Dormiani's house and the location of the Barvars rooms (decoration room)

اتاق‌های زمستان نشین و تابستان نشین قرار گرفته‌اند و در نهایت در قسمت جنوب، مطبخ یا آشپزخانه سرتاسری قرار داشته که اکنون تغییر کاربری داده و به چهار اتاق تبدیل شده است.

نقش‌های به کاررفته در این اتاق‌ها شامل نقش‌های اسلیمی، ختایی و منظره‌سازی است که با طیف‌های مختلف رنگی، از قبیل سبز و آبی تیره و روشن، قرمز، صورتی و طلایی مزین شده‌اند (تصویر ۴). هدف از ارائه این پژوهش، شناسایی فناوری ساخت و نوع رنگدانه‌های به کاررفته در تزیینات دیواری خانه ذرمیانی اصفهان متعلق به دوران قاجار، با استفاده از روش‌های دستگاهی است تا بر اساس آن بتوان طرحی مناسب برای حفاظت و مرمت اثر ارائه داد. در نهایت نیز نتایج به دست آمده از فن شناسی مواد و مصالح خانه ذرمیانی، با نتایج دیگر نقاشی‌های دیواری دوره قاجار که در متون و مقالات ذکر شده‌اند، مقایسه شد.



شکل ۴: تزیینات موجود در اتاق بروار خانه سادات درمیانی

Fig. 4: Decorations in the Barvar's room of Sadat-i-Darmiani's house

رنگ‌های قرمز استفاده شده و سبز به کاررفته نیز از نوع ملاکیت بوده است [13]. در جدول شماره ۱ مواد و مصالح به کاررفته در برخی از نقاشی‌های سه‌پایه‌ای و دیواری قاجار، ذکر شده است.

رنگدانه‌ها به‌طور کلی به دودسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند که رنگدانه‌های طبیعی خود شامل رنگدانه‌های معدنی و رنگدانه‌های آلی است. به گفته پاکزاد، هنرمندان ایرانی در ادوار مختلف اغلب، از رنگ‌هایی با پوشش دهی بیشتر، کیفیت و پایداری بهتر در نقاشی‌ها استفاده می‌کردند که اکثر رنگ‌های معدنی، در مقایسه با سایر مواد رنگی، مقاومت و پایداری بیشتری در برابر عوامل مختلف محیطی همچون نور، گرما و سایر عوامل شیمیایی و فیزیکی، دارند [22]. این دسته از رنگ‌ها در طبیعت یافت می‌شوند (مانند اکسیدها، سولفات‌ها، کربنات‌های فلزی و غیره) که پس از استخراج آن‌ها را جمع‌آوری و با سایر مواد لازم دیگر (مثل صمغ، بست، چسب و غیره) مخلوط می‌کردند و در نهایت پس از آماده‌سازی رنگ، از آن برای تزیین دیوارها استفاده می‌شد. شناسایی رنگدانه‌ها و رنگینه‌ها نه‌تنها در ارائه روش‌های درمان و مرمت حائز اهمیت است، بلکه در تدوین طرح حفاظت آثار نیز باید مدنظر قرار گیرد.

لاچورد، طلای مخلوط از دو فلز مس و روی، سبز ترکیبی (مس و آرسنیک)، لایه تدارکاتی هانتیت (کربنات دوتایی کلسیم و منیزیم) و لایه بستر مخلوطی از سولفات کلسیم آبدار، نیم آبه و خشک تشخیص داده‌اند که با چسب‌های حیوانی و ورنی روغنی ترکیب شده‌اند [11]. رحمانی و حسینی، نیز با استفاده از روش شیمی تر و FTIR به شناسایی مواد تشکیل دهنده رنگ‌های به کاررفته در دیوارنگاره اتاق نقاشی کاخ گلستان و صف سلام فتحعلی شاه قاجار پرداخته‌اند. رنگ‌های شناسایی شده در این دو اثر عبارت هستند از: آبی پروس، آبی لاچورد و قرمز اخرا؛ همچنین از طلا و اکسید سرب برای رنگ طلایی استفاده شده و لایه بستر نیز ترکیب گچ و هانتیت (کم) تشخیص داده شده است [12]. از آنجاکه معماری دوره قاجار در تداوم معماری دوره زند است، بنابراین، در رابطه با شناسایی رنگدانه‌های به کاررفته در دیوارنگاره‌های این دوره، نیکویی و سامانیان، در مقاله خود، به شناسایی رنگ‌های سبز و قرمز در سه بنای کاخ کریم‌خان، عمارت دیوان‌خانه و عمارت هفت‌تنان پرداخته‌اند و برای تشخیص نوع رنگ‌ها از روش‌های آنالیز دستگاهی (FTIR، PLM، XRD و XRF) استفاده کرده‌اند و در نهایت این نتیجه، حاصل شده که از سرب و شنگرف برای

جدول ۱: مواد و مصالح به کاررفته در برخی از نقاشی‌های سه‌پایه‌ای و دیواری قاجار

Table 1: Materials used in some Qajar easel paintings and murals

ردیف Row	بنا / تابلو Name of the building or panel	دوره - شهر - City the period	نوع رنگ color	جنس رنگ Compound Name	لایه تدارکاتی (بستر) substrate layer	بست - ورنی binder or varnish	پژوهشگر (ان) researchers
1	خانه حقیقی Haghighi house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج Brass metal	گچ و سربش Plaster & Serish	روغن بزرک linseed oil	Basiri (2014)[10]
2	خانه شهشهان Shahshahan house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج و برنز Bronze & Brass	گچ و سربش و گل سرخ Plaster & Serish & Red ochre	روغن بزرک linseed oil	Basiri (2014) [10]
3	خانه قدسیه Qodsiyyeh house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج، برنز، آهن، آلومینیوم، نقره Brass, Bronze, Iron, aluminium & Silver	گچ و سربش Plaster & Serish	روغن کمان Kaman-oil	Basiri (2014) [10]
4	باغ رحیم آباد Rahim Abad garden	قاجار - بیرجند Qajar - Birjand	قرمز Red	سرنج Red lead	گچ و گل سفید Mixture of plaster & calcite	روغن Oil	Abbasi et al, (2016) [4]
			آبی Blue	لاچورد و ترکیبات مس و آهن Ultramarine & mixture of iron & copper			
			سبز Green	مالاکیت و آبی پروس Mixture of malachite & Prussian blue			
			طلایی Golden	آلیاژ مس و روی (برنج) Mixture of two metals (copper & zinc)			
5	خانه بروجردی‌ها Borujerdi house	قاجار - کاشان Qajar - Kashan	قرمز Red	شنگرف Vermilion	هانتیت - سولفات کلسیم Huntite & Gypsum	چسب حیوانی و ورنی روغنی Animal glue - Oily varnish	Bahadory et al, (2012) [11]
			آبی Blue	لاچورد Ultramarine			
			سبز Green	مس و آرسنیک Copper & Arsenic			
			طلایی Golden	برنج (مس و روی) Brass (copper & zinc)			
6	خانه صارم‌الدوله Sarem-all-dowleh house	قاجار - کرمانشاه Qajar - Kermanshah	آبی Blue	لاچورد Ultramarine	گچ Plaster	-	Chaghmirza ye, (2017)[14]
			قرمز Red	شنگرف Vermilion			
			طلایی Golden	مس و روی (برنج) Brass (copper & zinc)			
7	خانه حقیقی Haghighi house	صفوی و قاجار - اصفهان Safavid & Qajar	سفید White	کربنات کلسیم Calcium carbonate	-	-	Ghavami, (2015) [15]
			آبی	پروس			

			Prussian blue مالاکیت malachite	Blue سبز Green	- Isfahan		
			سرنج Red lead	قرمز Red			
Mardani (2008)[16]	-	گچ plaster	پروس Prussian blue مالاکیت malachite سفیداب شیخ White lead سرنج - قرمز دانه Red lead & carmine اخرا Brown Ochre مس و روی copper & zinc	آبی Blue سبز Green سفید White قرمز Red قهوه‌ای Brown طلایی Golden	صفوی و قاجار - اصفهان Safavid & Qajar - Isfahan	بخشی از دیوارنگاره خانه اخوان حقیقی Haghighi house	8
Rahmani & Hosseini, (2019)[12]	-	گچ و هانتیت (کم) plaster & Huntite	پروس، لاجورد Prussian blue & ultramarine اخرا Red Ochre طلا و اکسید سرب Gold & lead oxide	آبی Blue قرمز Red طلایی Golden	قاجار - تهران Qajar - Tehran	دیوارنگاره اتاق نقاشی کاخ گلستان و صف سلام فتحعلی شاه Mural paintings of the (Otagh-e-Naghshi), Golestan palace and Saf-e-Salam-e-Fathalishah	9
Vatandoust and Bahadory (1999)[17]	روغن بزرک linseed oil	گچ plaster	پروس Prussian blue اخرا Red Ochre سولفات کلسیم - کربنات کلسیم Calcium sulfate - Calcium carbonate فلز طلا Gold metal	آبی Blue قرمز Red سفید White طلایی Golden	قاجار - تهران Qajar - Tehran	نقاشی دیواری متعلق به دوره فتحعلی شاه قاجار در کاخ گلستان Mural painting belonging to the period of Fath-Ali-Shah-Qajar in Golestan Palace	10
Ahmadi et al (2005) [18]	-	-	سبز سیلو و مالاکیت Green cilo & malachite اولترامارین و آبی پروس ultramarine & Prussian blue کروم - اخرا - زرنیخ Chrome yellow, yellow ochre, orpiment	سبز آبی Green blue color آبی Blue زرد Yellow	قاجار - آذربایجان غربی Qajar - West Azerbaijan	نقاشی‌های دیواری عمارت باغچه جوق ماکو wall painting of Baghche Joogh castle	11

			ورق مس Copper sheet	طلایی Golden			
Ismailian (2013)[19]	-	-	لاجورد ultramarine	آبی Blue	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	خانه بخردی Bekhradi house	12
			سرب و گل سفید White lead & calcite	سفید White			
Samanian et al (2013) [20]	ورنی شلاک - روغن بزرک Shellac - linseed oil	پودر گچ Plaster Powdered	سبز خاکی Green earth	سبز Green	قاجار - تهران Qajar - Tehran	تابلوی دختر مصری Egyptian girl tablout	13
			سرب White lead	سفید White			
			سرنج Red lead	قرمز Red			
			سیرولین Cerulean blue	آبی Blue			
			آمبر raw amber	زرد Yellow			
			آمبر raw amber	قهوه‌ای Brown			
			ترکیبات مس Copper pigment	طلایی Golden			
Firooznia & samanian (2018)[21]	بست پروتئینی - ورنی روغنی Protein binder, oily varnish	گچ و رنگدانه‌های حاوی سرب (سفیداب و سرنج) Plaster & white and red lead	پروس Prussian blue	آبی Blue	قاجار - تهران Qajar - Tehran	تابلوی مباحله Mobaheleh tablout	14
			پروس و زرد کروم Prussian blue and chrome yellow	سبز آبی Green blue color			
			اخرا Yellow Ochre	زرد Yellow			
			اخرا Red Ochre	قرمز Red			
			اخرا Brown ochre	قهوه‌ای Brown			
			عاج (استخوان) Ivory black	سیاه Black			

### ۳. مواد و روش‌ها

بیشترین آسیب، در رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز ایجاد شده بود. نمونه‌برداری از نواحی آسیب‌دیده انجام شد و با کدهای B1 (طلایی)، B2 (قرمز)، B3 (آبی) و B4 (سبز) نام‌گذاری شد (جدول ۲). لایه‌های رنگی ایجاد شده در این تزیینات، بسیار نازک بودند و امکان برداشتن لایه رنگ به‌تنهایی ممکن نبود؛ به همین دلیل مقادیر کمی از لایه بستر نیز به همراه رنگ‌ها برداشته شد. در ادامه، برای شناسایی نوع رنگدانه‌ها و ترکیبات آن‌ها از روش‌های

برای شناسایی مواد و رنگدانه‌های به‌کاررفته در تزیینات دیواری خانه ذرمیانی، ابتدا نمونه‌برداری جهت شناسایی لایه‌های تشکیل‌دهنده، انجام شد (تصویر ۵). نمونه‌برداری با در نظر گرفتن اصل عدم آسیب بصری با حداقل میزان، از قسمت‌های آسیب‌دیده و ریخته شده رنگ‌ها انجام شد. از آنجاکه تاکنون عملیاتی مبنی بر مرمت در تزیینات این بنا صورت نگرفته است، بنابراین



شکل ۵: محل نمونه‌برداری از رنگ‌های ۱. طلایی، ۲. قرمز، ۳. آبی و ۴. سبز  
Fig. 5: Sampling location of 1) golden, 2) red, 3) blue and 4) green colors.

جدول ۲: محل نمونه‌برداری و آزمایش‌ها انجام‌شده بر روی نمونه‌ها

Table 2: The site of sampling and analysis of colors

آزمایش انجام‌شده Analysis	محل نمونه‌برداری Sampling locations	نوع نمونه Sample type	کد نمونه sample code	ردیف Row
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	طلایی Golden	B1	1
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	قرمز Red	B2	2
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	آبی Blue	B3	3
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	سبز Green	B4	4

(OM) مدل NIKON YS100 مشاهده شد. برای مشاهده رنگ‌ها در زیر میکروسکوپ، مقادیر اندکی از رنگ سایید شده بین لام و لامل قرار داده شد. در نهایت برای شناسایی و بررسی زیر میکروسکوپ قرار گرفت و عکس‌برداری شد.

#### ۴. نتایج و تحلیل یافته‌ها

۴-۱. رنگ طلایی (کد B1): در طیف FTIR این نمونه، در نواحی  $1600 \text{ cm}^{-1}$  (ژپس مشاهده شد (جدول ۳). حضور نوار جذبی تیز در ناحیه  $1621/58 \text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند هیدروکسیل موجود در ساختار شیمیایی ژپس است. همچنین ارتعاشات کششی نامتقارن مربوط به پیوند O-H در ناحیه  $3405/86$  و ارتعاشات کششی نامتقارن ناشی از پیوند S=O در ناحیه  $1138/98$  و نیز نوار جذبی تیز در

دستگاهی استفاده شد. در مرحله نخست برای شناسایی مواد آلی موجود در نمونه‌ها از دستگاه FTIR مدل TENSOR 27 ساخت شرکت BRUKER آلمان با عدد موجی  $4000 - 400 \text{ cm}^{-1}$  در محدوده Mid IR استفاده شد. طیف‌ها با ۳۲ بار اسکن و قدرت تفکیک  $4 \text{ cm}^{-1}$  در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند. برای آماده‌سازی هر رنگ به صورت جداگانه، حدود دو الی سه میلی‌گرم از رنگ با حدود ۲۰۰ میلی‌گرم هالید قلیایی پتاسیم برمید (KBr) به صورت مخلوط درآمد؛ سپس با استفاده از یک هاون از جنس عقیق، ساییده شد و در قالب قرص‌ساز در معرض فشار، قرصی شفاف از مخلوط با ضخامت حدود ۱mm تهیه شد. از دستگاه SEM-EDS مدل Sirius SD ساخت شرکت TESCAN نیز برای آنالیز عنصری مواد معدنی استفاده شد. سپس برای اطمینان از مواد شناسایی‌شده، کلیه نمونه‌ها زیر دستگاه میکروسکوپ نوری یا اپتیکی

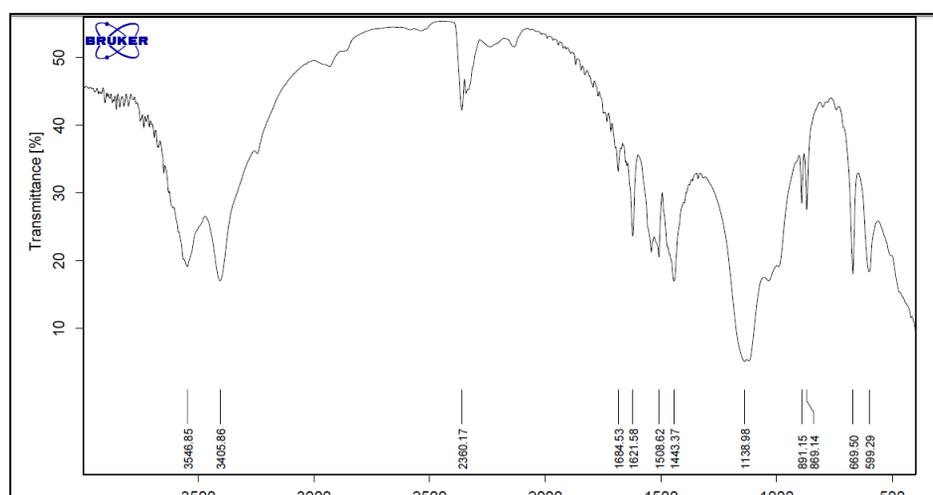
جدول ۳: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B1  
Table 3: Material detected by the FTIR device in the B1 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ طلایی (واحد اندازه‌گیری $\text{cm}^{-1}$ ) (of measurement $\text{cm}^{-1}$ ) golden Sample absorption bands in the FTIR spectrum unit			رنگ color
هانتیت (گل سفید) Huntite	پروتئین Protein	ژپس gypsum	طلایی B1 golden
1443.37	1508.62	869.14 – 891.15 – 1138.98 and 1600 regions	

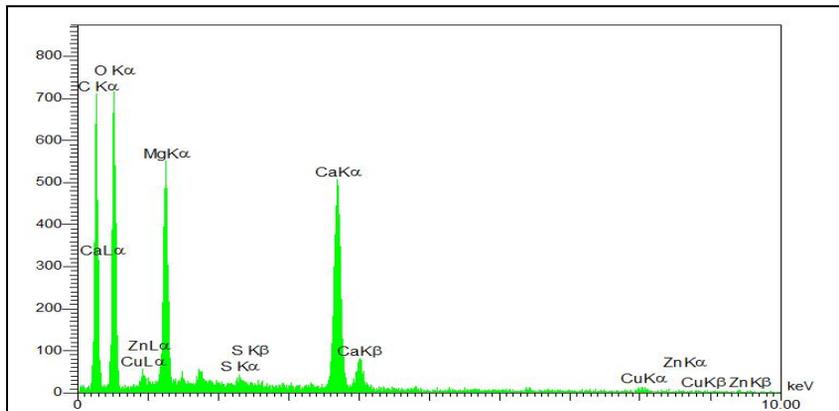
منیزیم (Mg)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، مس (Cu) و روی (Zn) را نشان می‌دهد (جدول ۴).

حضور کلسیم و گوگرد نشان از حضور ژپس با فرمول شیمیایی  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ، در ترکیبات دارد. منیزیم نیز نشان‌دهنده هانتیت (گل سفید) با فرمول شیمیایی  $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$  [24] است که در ساخت بستر از آن استفاده شده است. با توجه به اینکه بستر باید سطحی صاف و یکدست داشته باشد، بنابراین، از خواص این رنگدانه برای مطلوب کردن بستر استفاده شده است. عناصر مس و روی نیز نشان از حضور آلیاژ برنج (مس + روی) در ساخت رنگ طلایی دارد. در ادامه، برای اطمینان از نتایج، این رنگ در زیر میکروسکوپ نوری نیز مشاهده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که رنگ طلایی به کاررفته در تزیینات این بنا به صورت ترکیبات پودری آمیخته با بست است<sup>۳</sup> (تصویر ۸).

ناحیه  $669/50$  ناشی از پیوند S-O، متعلق به حضور ژپس یا سولفات کلسیم دو آبه است. نوار جذبی ناحیه  $1443/37$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به باند جذبی کششی C-O، اشاره به وجود هانتیت (گل سفید) دارد که از ژپس و هانتیت در ساخت بستر استفاده شده است. ضمن آنکه در نوار جذبی ناحیه  $1508/62$   $\text{cm}^{-1}$  حضور آمید II نشان از وجود پروتئین دارد که به عنوان بست رنگ به کاررفته است (تصویر ۶)؛ پروتئین‌ها اغلب، با ظاهر شدن باندهای آمید I و II شناسایی می‌شوند که عدد موجی  $1565 - 1500$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به این دسته از مواد است. چسب‌های حیوانی (سریشم) از جمله مواد طبیعی هستند که از پوست، استخوان و سایر اجزای حیوانات به دست می‌آیند و به عنوان سریشم و بست رنگ به کار می‌روند [23]. در طیف EDS، رنگ طلایی (تصویر ۷) نیز مقادیر



شکل ۶: طیف FTIR نمونه B1  
Fig. 6: FTIR spectrum of B1 sample



شکل ۷: طیف EDS رنگ طلائی

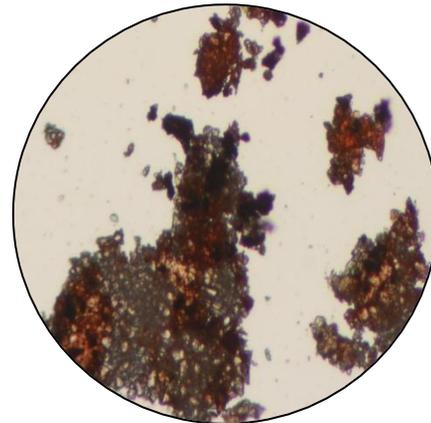
Fig. 7: FTIR spectrum of gold pigment

۲-۴. رنگ قرمز (کد B2): در طیف FTIR، نوارهای جذبی در نواحی ۸۶۹/۱۱، ۸۹۱/۲۵، ۱۱۵۳/۱۷ و نواحی  $1600\text{ cm}^{-1}$  به حضور ژپس اشاره دارد (تصویر ۹). نوار جذبی ناحیه  $1444/43\text{ cm}^{-1}$  حضور منیزیم را در ترکیبات بستر نشان می‌دهد (هانتیت)؛ چنانچه در مطالب پیشین نیز ذکر شد به احتمال زیاد از این عناصر در ساخت بستر استفاده شده است. سفید و قرمز سرب نیز در نواحی  $1400$ ،  $1700\text{ cm}^{-1}$  و  $2342/14$  و  $2360/18$  مشاهده می‌شود (جدول ۵)؛ که از سفید سرب برای روشن کردن و ایجاد توانالیت رنگی استفاده شده است.

عناصر شناسایی شده در آنالیز EDS نیز سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca) و سرب (Pb) را نشان می‌دهد (جدول ۶). حضور مقادیر بالای سرب در این طیف، مربوط به سفیداب و سرنج ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) [25] است که در ترکیب رنگ قرمز استفاده شده است. منیزیم شناسایی شده نیز مربوط به حضور هانتیت در ترکیبات بستر است (تصویر ۱۰). نتایج

جدول ۴: شناسایی عناصر موجود در رنگ طلائی با SEM-EDS  
Table 4: Identification of golden color by SEM-EDS

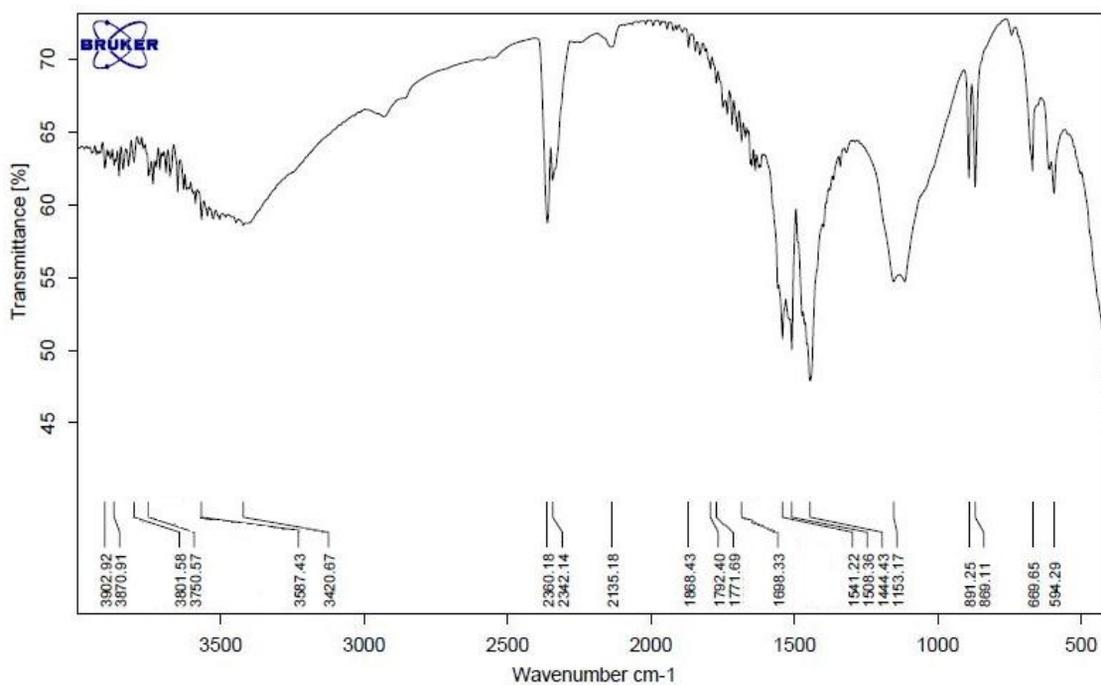
Zn	Cu	Ca	S	Mg	عناصر ingredients
1.42	3.40	53	1.97	40.18	درصد وزنی W%



شکل ۸: ویژگی ظاهری رنگ طلائی زیر میکروسکوپ ۴۰X  
Fig. 8: Appearance of golden color under a microscope (40 X)

جدول ۵: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B2  
Table 5: Tab. 3: Material detected by the FTIR device in the B2 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ قرمز (واحد اندازه گیری $\text{cm}^{-1}$ ) red Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )						رنگ color
پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	سفید سرب White lead	سرنج Red lead	ژپس gypsum	
1508.36 and 1541.22	1700 regions	1444.43	669.65 1444.43 and 1700 regions	669.65 – 869.11 – 891.25 – 1444.43 - 2342.14 and 2360.18	869.11 – 891.25 – 1153.17 and 1653.03	قرمز B2 Red



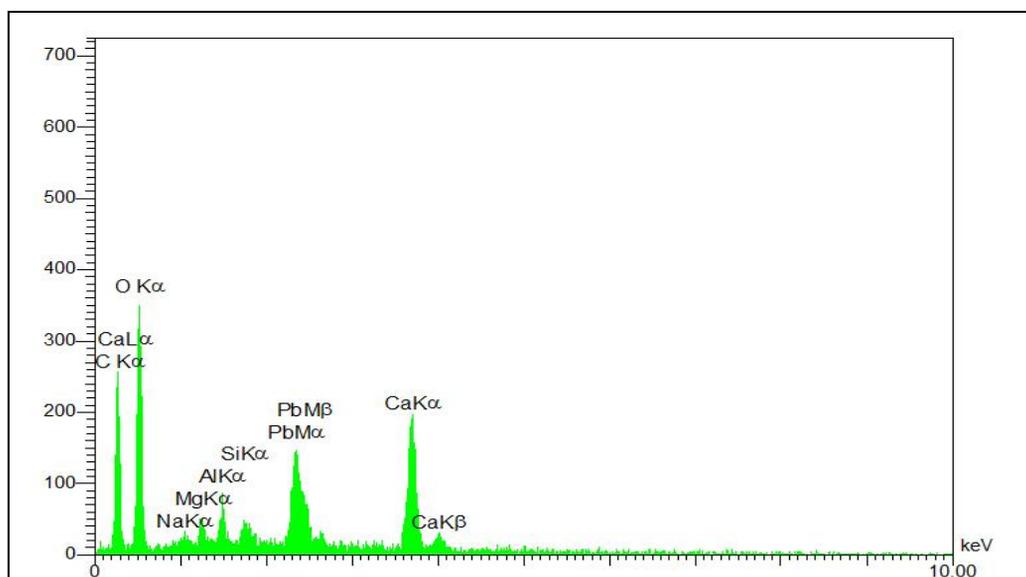
شکل ۹: طیف FTIR نمونه B2

Fig. 9: FTIR spectrum of B2 sample

جدول ۶: شناسایی عناصر موجود در رنگ قرمز با SEM-EDS

Table 6: Identification of red color by SEM-EDS

Pb	Ca	S	Si	Al	Mg	Na	عناصر ingredients
62.27	20.38	0.00	3.57	4.92	4.28	4.55	درصد وزنی W%



شکل ۱۰: طیف EDS رنگ قرمز

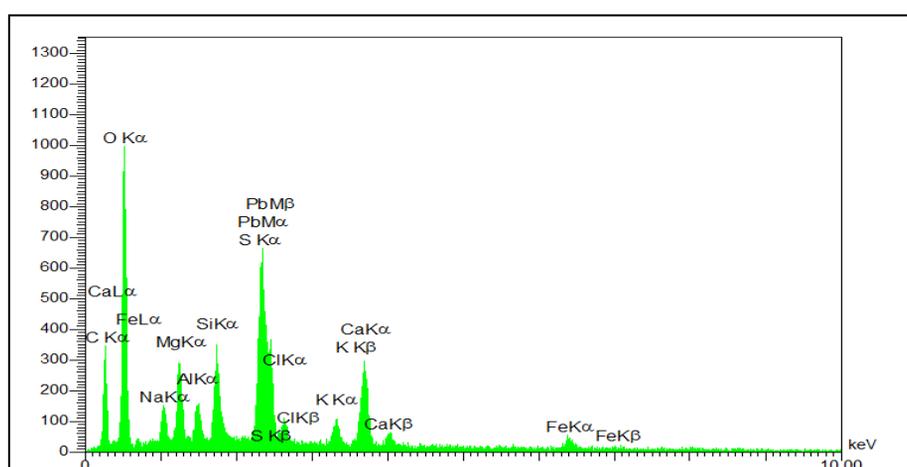
Fig. 10: EDS spectrum of red pigment



جدول ۷: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B3

Table 7: Tab. 3: Material detected by the FTIR device in the B3 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ آبی (واحد اندازه گیری $\text{cm}^{-1}$ ) blue Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )							رنگ Color
سیلیس Silica	پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	آبی پروس Prussian blue	ژیپس Gypsum	سفید سرب White lead	
Region of 1153.74	1500 regions	1700 regions	1456.98	2131.07	869.25- 1153.74 891.34- and 1600 regions	669.76 – 1456.98 and 1700 regions	آبی B3 Blue



شکل ۱۴: طیف EDS رنگ آبی

Fig. 14: EDS spectrum of blue pigment

انجام شده رنگ آبی از نوع پروس شناسایی شد؛ بنابراین، این رنگ در زیر میکروسکوپ نوری نیز بررسی و با رنگ دانه پروس در اطلس رنگ، مقایسه شد (تصویر ۱۶)؛ رنگ دانه آبی به صورت ذرات تیره و روشن سیر و شفاف و مات است. به گفته Eastaugh، اندازه ذرات این رنگدانه در زیر میکروسکوپ حدود  $(0.1/0.2)$  تا  $(0.2/0.5)$  میلی متر) و از لحاظ رنگ و میزان شفافیت، آبی روشن تا سیر و مات و نیمه شفاف است. همچنین ذرات، از بسیار ریز تا درشت متغیر هستند درحالی که شکل آن‌ها زاویه دار است (زوایا تیز نیستند) و منحنی شکل، محسوب می‌شوند [26].

#### ۴-۴. رنگ سبز (کد B4): آنالیز FTIR رنگ سبز

در تزیینات این بنا، حضور ژیپس را در نواحی  $869/24$  و  $891/31$ ،  $1115/16$  و  $1600 \text{ cm}^{-1}$  گواهی می‌دهد. در ناحیه  $1115/16$  پیوندهای Si-O-Si و Si-O-Al نشان از

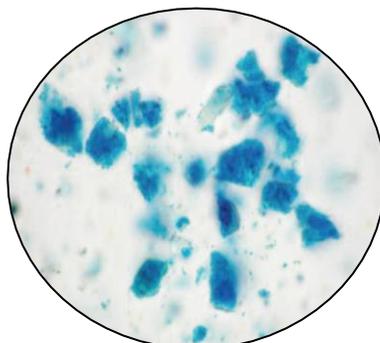
که این ماده در طیف FTIR نیز شناسایی شد. چنانچه در تصویر شماره ۳ (محل نمونه برداری آبی) مشاهده می‌شود، این رنگ دارای تونالیته بسیار روشنی است که مقادیر بالای سرب در این آنالیز نیز اشاره به سفید سرب برای روشن تر کردن رنگ آبی دارد. به گفته Zagora، این ماده علاوه بر خاصیت روشن کردن تونالیته رنگ‌ها، خاصیت زود خشک شوندگی را نیز دارد [28]. منیزیم، کلسیم و گوگرد موجود در نمونه، مربوط به ترکیبات بستر شامل هانتیت و ژیپس است. سایر عناصر نیز ناخالصی‌های موجود در ترکیبات بستر هستند (جدول ۸).

با بررسی رنگ دانه آبی در زیر میکروسکوپ نوری، مشخص شد این رنگدانه با بستی شفاف و زرد رنگ مخلوط شده است (تصویر ۱۵). در طی آنالیزهای

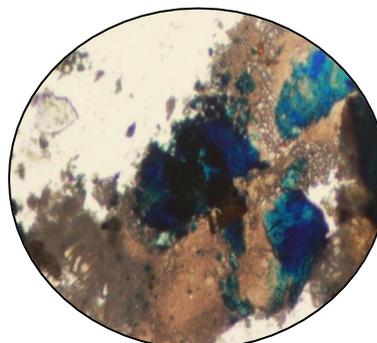
جدول ۸: شناسایی عناصر موجود در رنگ آبی با SEM-EDS

Table 8: Identification of blue color by SEM-EDS

Pb	Fe	Ca	K	Cl	S	Si	Al	Mg	Na	ingredients / عناصر
60.41	2.09	8.96	3.03	1.78	2.97	5.56	3.39	6.68	5.07	درصد وزنی / W%



شکل ۱۶: مرجع آبی پروس [28]  
Fig. 16: Prussian blue reference



شکل ۱۵: مشاهده رنگ آبی زیر میکروسکوپ (۴۰X)  
Fig. 15: Microscopic image of blue pigment (40 x)

بر این عقیده است که روغن‌هایی که در رنگ‌ها و جلاها به کار رفته‌اند، اغلب، روغن‌های استخراج شده از دانه گیاهان هستند که از هزاران سال پیش به کار برده می‌شدند [29].

عناصر شناسایی شده در رنگ سبز، توسط دستگاه SEM-EDS عبارت هستند از: منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، آهن (Fe) و سرب (Pb) که در جدول ۱۰ و تصویر ۱۷ مشخص شده است.

سیلیس دارد (جدول ۹). در نواحی ۶۶۹/۵۶، ۱۴۰۰ و  $1700\text{ cm}^{-1}$  به وضوح سفید سرب، نمایش داده می‌شود و نوار جذبی ناحیه ۲۰۹۰/۷۳ نشان از آبی پروس دارد. همچنین در نواحی  $1700\text{ cm}^{-1}$  حضور کربونیل نشان از وجود روغن و ناحیه ۱۵۰۰ حضور آمید II نشان از وجود پروتئین در ترکیب رنگ دارد. همان‌طور که در مطالب پیشین نیز ذکر شد با توجه به حضور روغن و پروتئین در تمام نمونه‌ها مشخص می‌شود که بست از نوع پروتئینی و تکنیک رنگ‌گذاری، رنگ‌روغن بوده است. Erhardt،

جدول ۹: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B4

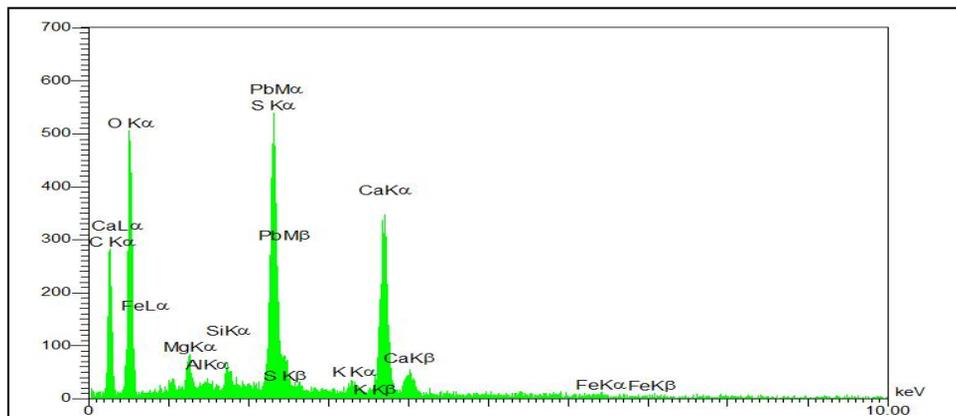
Table 9: Material detected by the FTIR device in the B4 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ سبز (واحد اندازه‌گیری $\text{cm}^{-1}$ ) green Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )							رنگ Color
سیلیس Silica	پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	آبی پروس Prussian blue	سفید سرب White lead	ژپس Gypsum	
Region of 1115.16	Regions of 1508.48 and 1541.43	1700 regions	1445.06 and 1472.89	2090.73	669.56- 1445.06- 1472.89 and 1700 regions	869.24- 869.31- 1115.16 and 1600 regions	سبز B4 Green

جدول ۱۰: شناسایی عناصر موجود در رنگ سبز با SEM-EDS

Table 10: Identification of green color by SEM-EDS

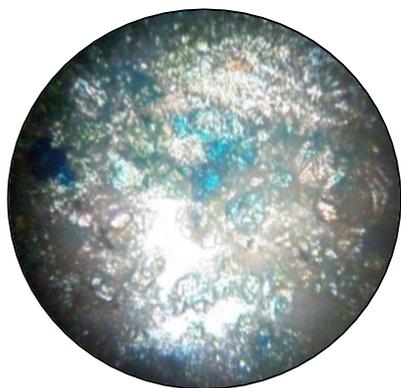
Pb	Fe	Ca	K	S	Si	Al	Mg	ingredients / عناصر
37.84	0.68	28.28	2.18	20.57	2.95	2.40	5.05	درصد وزنی / W%



شکل ۱۷: طیف EDS رنگ سبز  
Fig. 17: EDS spectrum of green pigment

می‌شوند. خاک سبز (سبز سیلو) به‌طور عمده از هر دو ماده معدنی خاک رس، سالدونیت و گلوکونیت تهیه شده است [32]. این رنگدانه از دوران باستان در تمام تکنیک‌های هنری کاربرد داشته است [33]. درنهایت، نوار جذبی آبی پروس در طیف FTIR و حضور آهن در نتایج EDS، نشان حضور از این رنگدانه در ترکیب بارنگ سبز دارد.

برای اطمینان از نتایج حاصل از آزمایش‌ها، این رنگ در زیر میکروسکوپ نیز شناسایی شد. رنگ سبز یا به‌صورت ترکیبی از رنگ مایه‌های آبی و زرد و یا به‌صورت تک‌فام سبز به کار می‌رود؛ بنابراین، پس از بررسی رنگ در زیر میکروسکوپ، نتیجه حاکی از آن بود که از ترکیب رنگدانه‌های آبی، سبز و سفید برای ایجاد رنگ سبز در این تزیینات استفاده شده است (تصویر ۱۸).



شکل ۱۸: رنگ سبز در زیر میکروسکوپ (۴۰X)  
Fig. 18: Microscopic image of green pigment (40 x)

حضور کلسیم و گوگرد نشان از حضور ژپس با فرمول شیمیایی  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  در ترکیبات دارد. منیزیم نیز نشان از هانتیت (گل‌سفید) با فرمول شیمیایی  $Mg_3Ca(CO_3)_4$  است که با توجه به حضور این ترکیبات در تمام آنالیزها، مشخص می‌شود که از ترکیب ژپس و هانتیت در ساخت بستر استفاده شده است. به گفته هولاکویی و کریمی، هانتیت یکی از محبوب‌ترین رنگدانه‌هایی است که به‌عنوان رنگ‌دانه سفید در نقاشی‌های دیواری ایرانی مورداستفاده قرار می‌گیرد [30]. با توجه به اینکه بستر باید سطحی صاف و یکدست داشته‌باشد، بنابراین، از خواص این رنگدانه برای مطلوب کردن بستر استفاده شده است. همچنین حضور مقادیر بالای سرب در طیف EDS نشان از حضور این ماده در ترکیب رنگ سبز دارد که سفید سرب شناسایی شده در FTIR نیز به حضور سفیداب برای کم‌رنگ و روشن کردن این رنگ، اشاره دارد؛ در تصویر شماره ۵ (محل نمونه‌برداری از رنگ سبز، نشان می‌دهد که این رنگ دارای طیف بسیار روشنی است و ترکیب سفید سرب در آن، برای روشن کردن رنگ، طبیعی به نظر می‌رسد).

عناصری چون سیلیسیم، آهن، آلومینیوم و پتاسیم نیز به حضور سبز سیلو در بین رنگ‌ها اشاره دارند که ترکیب شیمیایی این رنگ به‌طور تخمینی  $K[(Al, Fe^{3+})_2(AlSi_3Si)O_{10}(OH)_2]$  است [31]. سیلیس‌ها ترکیبات معدنی هستند که سبز خاکی بیشتر از آن‌ها تشکیل شده است و به‌طور وسیعی در سطح جهان یافت

گل‌سفید ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ) به همراه ژیپس ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) شناسایی شد. هانتیت از ادوار گذشته تاکنون هم به‌عنوان رنگ سفید و هم برای بسترسازی نقاشی‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن هستند که کلیه مواد و رنگدانه‌های شناسایی شده در این پژوهش، با مواد و مصالح به‌کاررفته در دوران قاجار (جدول ۱) مطابقت دارند.

### سپاسگزاری

در پایان، نویسندگان از سرکار خانم رؤیا بهادری جهت همکاری در بخش شناسایی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها، سرکار خانم محبی (مسئول آزمایشگاه SEM-EDS پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران) و سرکار خانم فاطمه بارانی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### پی‌نوشت

۱. در خانه‌های پدرسالاری همه کسان و خوشاوندان نزدیک در یک‌خانه زندگی می‌کردند. پدر، مادر، فرزندان، پدربزرگ، مادربزرگ، نوه‌ها و عروس‌ها در کنار هم بودند، دلیلی نداشته که به یک‌جای دیگر بروند. همه آن‌ها از یک آشپزخانه بهره‌گیری می‌کردند [6].
۲. به اتاق‌های دو سوی یک اتاق میانی بزرگ مانند تالار میانوار، بروار گفته می‌شد [7].
۳. در گذشته هنرمندان برای اجرای تزیینات طلاکاری، یا از ورقه‌های فلزی استفاده می‌کردند و یا با ترکیب پودر فلزات با بست و استفاده از قلم‌مو نقوش را اجرا می‌کردند.
۴. چون پروتئین‌ها منبعی برای تغذیه میکروارگانیسم‌ها و حشرات هستند بنابراین، از این ماده کمتر به‌عنوان ورنی استفاده می‌شده و بیشتر نقش عامل چسباننده رنگ را ایفا می‌کرده است.

### References

[1] Alizadeh. S. Survey on ways of painting development in the first part of Qajar period, *Negareh* 7(22), 2012, p 73-84. [in Persian].  
[علیزاده سیامک. بررسی و فن‌شناسی تحول هنر نقاشی در دوره اول قاجاری، فصلنامه علمی نگره ۷(۲۲)، ص ۸۴ - ۷۳.]

نتایج نهایی از آنالیزهای OM، FTIR و SEM-EDS مشخص می‌کند که بستر، ترکیبی از ژیپس و هانتیت است و از ترکیب سفید سرب، آبی پروس و سبز سیلو به همراه بست پروتئینی، برای رنگ‌گذاری نواحی سبز استفاده است.

### ۵. نتیجه‌گیری

خانه سادات دُرْمیانی، از جمله بناهای تاریخی قاجاری در اصفهان است که جزو هفت‌دست‌خانه‌ها بوده و پس از مرمت و بازسازی آن، اکنون تغییر کاربری داده و به هتل سنتی تبدیل شده است. در ضلع شرقی و غربی شاه‌نشین این خانه دو اتاق بروار قرار گرفته که به اتاق‌های نقش معروف بوده‌اند و تنها قسمت‌های بنا هستند که تزیینات آن‌ها از دوران قاجار تا به امروز دست‌نخورده باقی مانده‌اند. برای شناسایی نوع رنگدانه‌های به‌کاررفته در این بنا از رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز که بیشترین کاربرد را داشتند، نمونه‌برداری و آنالیزهای FTIR، SEM-EDS و OM انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها مشخص کرد که رنگ‌های به‌کاررفته در این تزیینات از نوع مواد معدنی به همراه بست پروتئینی هستند و تکنیک به‌کاررفته، رنگ‌روغن است. رنگ طلایی به‌کاررفته در این نقوش ترکیبی از آلیاژهای مس و روی (برنج)، قرمز از نوع قرمز سرب یا سرنج ( $Pb_3O_4$ )، آبی از نوع آبی پروس ( $Fe_4(Fe[CN]_6)_3$ ) و رنگ سبز ترکیبی از آبی پروس به همراه سبز خاکی یا سیلو ( $K[(Al^{3+}, Fe^{3+}) (Fe^{2+}, Mg^{2+})](AlSi_3Si_4)O_{10}(OH)_2$ ) است؛ ضمن آنکه از سفید سرب ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) برای ایجاد تونالیت‌های رنگی و روشن کردن رنگ‌ها استفاده شده است. در ترکیبات لایه بستر نیز هانتیت یا

[2] Shirazi. M and Mousavilar. M, Retrieval of identity in Qajar Era (case study: ceramics), *Negareh* 12(41), 2017, p 17-29. [in Persian].

[شیرازی ماه منیر، اشرف موسوی لری. بازیابی لایه‌های هویتی در هنر دوره قاجار مطالعه موردی روی کاشی‌های دوره قاجار، فصلنامه علمی نگره ۱۳۹۶،

- [۱۲] (۴۱)، ۲۹ - ۱۷.
- [3] Gholamzade Kalaei. A and Samanian. K, Structural analysis of materials and techniques of plinth ornaments of Safavid Era: A case study of Shah Abbas II mausoleum in Qom, journal of visual and applied arts 2018, 10(20), p 117-131 [in Persian].
- [غلامزاده کلایی احمد، کورس سامانیان. تحلیل ساختاری مواد و تکنیک به کاررفته در تزیینات ازاره سنگی دوره صفوی (نمونه مطالعاتی بقعه شاه‌عباس ثانی قم)، فصلنامه علمی-پژوهشی نامه هنرهای تجسمی و کاربردی ۱۳۹۶، ۲۰: ۱۳۱ - ۱۱۷.]
- [4] Abbasi. J, Bahadori. R, Bozorgmehr. M.A, Beheshti. I and Bahrololoumi, F, Identification of materials and pigments used in mural painting of Rahim Abad historic garden & mansion in Birjand, journal of research on Archaeometry, volume 2(2) 2017, p 63-76. [in Persian].
- [عباسی جواد، بهادری رؤیا، بزرگمهر محمدعلی، بهشتی سید ایرج و بحرالعلومی فرانک. شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند، پژوهش باستان‌سنجی ۱۳۹۵، ۲(۳)، ص ۶۳ - ۷۶.]
- [5] Ashrafi, A, Westernization in Iranian Architecture "The Impact of Different Societies on Iranian Architecture from the Beginning to Contemporary", Isfahan: Goftemane Andishe publication, 2016. [in Persian].
- [اشرفی علیرضا. فرنگی سازی در معماری ایرانی: تأثیر جوامع مختلف بر معماری ایران از آغاز تا معاصر، اصفهان ۱۳۹۵، گفتمان اندیشه.]
- [6] Memarian. GH, Static Iranian Architecture, first volume, Tehran: Naghmeh NoAndish publication, 2013. [in Persian].
- [معماریان غلامحسین. معماری ایرانی نیارش. جلد اول، تهران: انتشارات نغمه نواندیش، ۱۳۹۲.]
- [7] Pirnia. M.K (), Persian architecture, Edited by Gholam Hossein Memarian, Tehran: Soroush Danesh publication 2013 [in Persian].
- [پیرنیا محمد کریم. معماری ایرانی. تهران: سروش دانش؛ ۱۳۹۲.]
- [8] Soltan Seyyed Rezakhan (), Dar-al-saltaneh map of Isfahan, municipality of Isfahan, Isfahan City Renovation and improvements Organization 2013.[ in Persian].
- [سلطان سید رضاخان. نقشه دارالسلطنه اصفهان، شهرداری اصفهان. سازمان نوسازی و بهسازی شهر اصفهان؛ ۱۳۹۲.]
- [9] Aerial map of Isfahan, municipality of Isfahan, Isfahan City Renovation and improvements Organization, Edited by authors 2016.[ in Persian].
- [نقشه هوایی اصفهان. شهرداری اصفهان. سازمان نوسازی و بهسازی شهر اصفهان. تنظیم و ویرایش: نگارندگان؛ ۱۳۹۵.]
- [10] Basiri, S, The comparative study of the constructional features of gilding decoration of Qajar period in Isfahan case study: the houses of Qodsiyye, Shahshahan and Haghighi, Negarineh Islamic Art, scientific research quarterly, , 2014, 2, p 52-69 [in Persian].
- [بصیری، سمیه. مطالعه تطبیقی ویژگی‌های ساختاری تزیینات طلاکاری دوره قاجار در اصفهان نمونه موردی: خانه‌های قدسیه، شهشهان و حقیقی، فصلنامه علمی نگارینه هنر اسلامی ۱۳۹۳، ۱(۲)، ۶۹ - ۵۲.]
- [11] Bahadori. R, Tazimi. D and jahangardi. S, Identification on mural painting of Borojerdiha house in Kashan, Proceedings of the First symposium on Materials Science and conservation of Cultural and Historical artefacts, Tehran: research institute of cultural heritage & tourism, 2012, p 143-149 [in Persian].
- [بهادری، رؤیا، دانیال تعظیمی، و سمیه جهانگردی. بررسی و شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری خانه بروجردی‌های کاشان، مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی و تاریخی ۱۳۹۱، تهران، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری. ص ۱۴۳ - ۱۴۹.]
- [12] Rahmani. Gh and Hosseini. M, Intention and its relation with colors used in royal Qajar mural painting, journal of research

- on Archaeometry, 2019, year 5(1), p 31-41[in Persian].
- [رحمانی، غلامرضا و مهدی حسینی. نیت‌مندی و ارتباط آن بارنگ‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های درباری قاجار، پژوهش باستان‌سنجی ۱۳۹۸، ۵(۱)، ۴۱-۳۱.]
- [13] Nikoei. Z and Samanian. K (2020), Identification of green and red pigments used at mural painting of the Zandieh in Shiraz by instrumental methods, Journal of color science and technology, 2020, 14(1), p 49-61 [in Persian].
- [نیکویی، زهرا و کورس سامانیان. شناسایی رنگدانه‌های سبز و قرمز دیوارنگاره‌های دوره زند در شیراز با روش دستگاهی، نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ ۱۳۹۸، ۱۴(۱)، ص ۶۱-۴۹.]
- [14] Chaghmirzaye. R. Technology and pathology and conservation plan for mural paintings in Panj-Dari room of Sarem-all-dowleh house of Kermanshah, M.A Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Tehran. 2017. [in Persian].
- [چقامیرزایی، رؤیا. فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه راهکار حفاظتی برای نقاشی‌های دیواری اتاق پنج‌دردی در خانه صارم‌الدوله کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۵.]
- [15] Ghavami. F. Technical study of colorful paintings depicted in Ghatarbandies of eastern room of Shah-Neshin in Haghghi house in Isfahan, Master.s Thesis, Conservation of historical & cultural objects, Art University of Tehran 2015. [in Persian].
- [قوامی، فرشته. فن‌شناسی نقاشی‌های رنگی در قطار بندی‌های اتاق شرقی شاه‌نشین در خانه حقیقی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۳.]
- [16] Mardani, E. Conservation and Restoration of some part of the wall painting in the house of Akhavan-e-Haghghi in Isfahan, Bachelor Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Isfahan, 2007. [in Persian].
- [مردانی، الهه. حفظ و مرمت جزئی از دیوارنگاره خانه اخوان حقیقی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان ۱۳۸۶.]
- [17] Vatandoost, R and Bahadori, R. Identification of Compounds Used in a Wall Painting by Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, Proceedings of the Conservation of Historical Cultural Center, Tehran, 1998, p 98-101. [in Persian].
- [وطن‌دوست، رسول و رؤیا بهادری. شناسایی اجزاء یک نقاشی دیواری به روش طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه FTIR. مجموعه مقالات پژوهش‌کنده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی (۱)، تهران: پژوهش‌کنده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی ۱۳۷۷، ۱۰۱-۹۸.]
- [18] Ahmadi S, Shokouhi F, Oliayi P, Lamehi-Rachti M, Rahighi J. Characterisation of the Wall Painting Pigments of Baghcheh Joogh Castle by PIXE. International Journal of PIXE. 2005;15(03n04):345-50.
- [19] Esmailian. F. Syrvey of Monochrome Mural Paintings Techniques of Bekhradys House, M.A Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Tehran; 2014. [in Persian].
- [اسماعیلیان، فاطمه. فن‌شناسی نقاشی‌های دیواری تک‌فام شاه‌نشین خانه بخردی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت و احیای بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۲.]
- [20] Samanian K, Abbasi Z, Kaldareh Ai. Archaeometrical Study of the Used Materials in Qajar Easel Painting Using XRD, XRF, PLM And FTIR Techniques: A Case Study Of " Egyptian Girl" Tablout. Mediterranean Archaeology & Archaeometry. 2013 Jul 1;13(2).
- [21] Firooznia. A and Samanian. K. Ingredients and techniques of an Qajar oil painting, Ganjine-ye asnad, historical research & archiveal studies quarterly, 2018, 28(1), p 152-174 [in Persian].
- [فیروزنیا، افسانه و کورس سامانیان. شناسایی مواد و رنگدانه‌های به‌کاررفته در تابلوی رنگ‌روغن دوره قاجار منسوب به ابوالقاسم اصفهانی. فصلنامه علمی پژوهشی گنجینه اسناد ۱۳۹۷، ۲۸(۱)، ص ۱۷۴-۱۵۲.]
- [22] Pakzad Z. Color Structure in the Persian Painting. Rev. Eur. Stud.. 2017;9:1.

- [23] Stuart, B. Analytical techniques in materials conservation, [Translate by Bagherzadeh Kasiri M.], Tabriz Islamic Art University Publications. 2014 [in Persian].
- [استوارت، باربارا. روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی، ترجمه مسعود باقرزاده کثیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی ۱۳۹۳.]
- [24] Siddall R. Mineral pigments in archaeology: their analysis and the range of available materials. *Minerals*. 2018 May;8(5):201.
- [25] Fitzhugh EW. Red lead and minium. In *Artists' pigments; A handbook of their history and characteristics* 1986 (Vol. 1, pp. 109-139).
- [26] Eastaugh N, Walsh V, Chaplin T, Siddall R. *Pigment compendium: a dictionary of historical pigments*. Routledge; 2007 Mar 30.
- [27] McBride C. A pigment particle & fiber atlas for paper conservators. *Graph ICS Conservation laboratory*. Getty trust postgraduate fellow 2002. P 1-86.
- [28] Zagora J. SEM-EDX pigment analysis and multi-analytical study of the ground and paint layers of Francesco Fedrigazzi's painting from Kostanje. In *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art* 2013 May 12 (No. EGG 3). Association CeROArt asbl.
- [29] Erhardt D. Paints based on drying oil media. *Painted Wood: History and Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles. 1998 Aug 27:17-32.
- [30] Holakooei P, Karimy AH. Micro-Raman spectroscopy and X-ray fluorescence spectrometry on the characterization of the Persian pigments used in the pre-seventeenth century wall paintings of Masjid-i Jāme of Abarqū, central Iran. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2015 Jan 5;134:419-27.
- [31] Ospitali F, Bersani D, Di Leonardo G, Lottici PP. 'Green earths': vibrational and elemental characterization of glauconites, celadonites and historical pigments. *Journal of Raman Spectroscopy: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering*. 2008 Aug;39(8):1066-73.
- [32] Feller RL. *Artist's pigments: a handbook of their history and characteristics*. Vol. 1. 1986.
- [33] Gražėnaitė E, Kiuberis J, Beganskienė A, Senvaitienė J, Kareiva A. XRD and FTIR characterisation of historical green pigments and their lead-based glazes. *Chemija*. 2014 Dec 1;25(4):199-205.



CrossMark

## شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های دیوارنگاره‌های اتاق‌های

### بروار خانه تاریخی درمیانی اصفهان

#### افسانه فیروزنیا<sup>۱\*</sup>، علیرضا اشرفی<sup>۲</sup>، فرانک بحرالعلومی<sup>۳</sup>

۱. کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران

۲. کارشناسی ارشد مرمت و احیاء بناها و بافت‌های تاریخی میراث معماری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد، یزد، ایران

۳. مربی و عضو هیئت‌علمی پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی - فرهنگی پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۲۵

#### چکیده

خانه سادات درمیانی، از جمله خانه‌های کمتر شناخته‌شده قاجار است که در محله بیدآباد، خیابان مسجد سید اصفهان واقع شده است. این خانه که هم‌اکنون به هتل سنتی سهروردی تغییر کاربری داده است، دارای تزیینات فاخری از جمله گچ‌بری، آینه‌کاری و نقاشی دیواری است که در این پژوهش با توجه به اهمیت نقوش کشیده شده، به شناسایی تکنیک و مواد به‌کاررفته در اجرای نقوش دیواری موجود در اتاق‌های بروار پرداخته شده است و در نهایت مواد شناسایی شده، با مصالح به‌کاررفته در نقاشی‌های قاجار مقایسه شد. با توجه به بیشترین کاربرد رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز، در تزیینات این خانه، از این رنگ‌ها به میزان بسیار کم و با در نظر گرفتن اصل عدم آسیب بصری، نمونه‌برداری شد. برای رسیدن به هدف پژوهش، از روش‌های آزمایشگاهی برای شناسایی بستر رنگ، رنگ‌دانه‌ها، بست و لایه محافظ رنگ استفاده شده است. از دستگاه طیف‌سنج زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) برای شناسایی مواد آلی، دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به تجزیه پاشندگی پرتوی ایکس (SEM-EDS) برای شناسایی عناصر و ترکیبات معدنی و از میکروسکوپ نوری (OM) برای شناسایی و تجزیه و تحلیل مواد و رنگ‌دانه‌ها استفاده شد. در این تحقیق، ترکیب بستر به‌صورت ترکیبی از هانتیت (گل سفید) و ژیس شناسایی شد؛ همچنین مشخص شد که رنگ‌ها دارای ماهیت معدنی هستند و نقوش با تکنیک رنگ‌روغن اجرا شده‌اند. رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در تزیینات این بنا عبارت هستند از: طلایی از نوع پودر برنج (مس و روی)، قرمز سرنج، آبی پروس و سبز ترکیبی از آبی پروس و سبز خاکی (سیلو). همچنین از سفید سرب برای ایجاد تونالیت‌های رنگی استفاده شده است. بست به‌کاررفته در ترکیب رنگ‌دانه‌ها نیز از نوع پروتئینی، شناسایی شد.

**کلمات کلیدی:** خانه درمیانی اصفهان، دیوارنگاره، رنگ‌دانه، قاجار، OM، FTIR، EDS

\* مسئول مکاتبات: تهران، خیابان حافظ، خیابان شهید سرهنگ سخایی، بعد از تقاطع ۳۰ تیر، شماره ۵۶، کد پستی: ۱۱۳۶۸۱۳۵۱۸

پست الکترونیکی: [firooznia.afsane@gmail.com](mailto:firooznia.afsane@gmail.com)

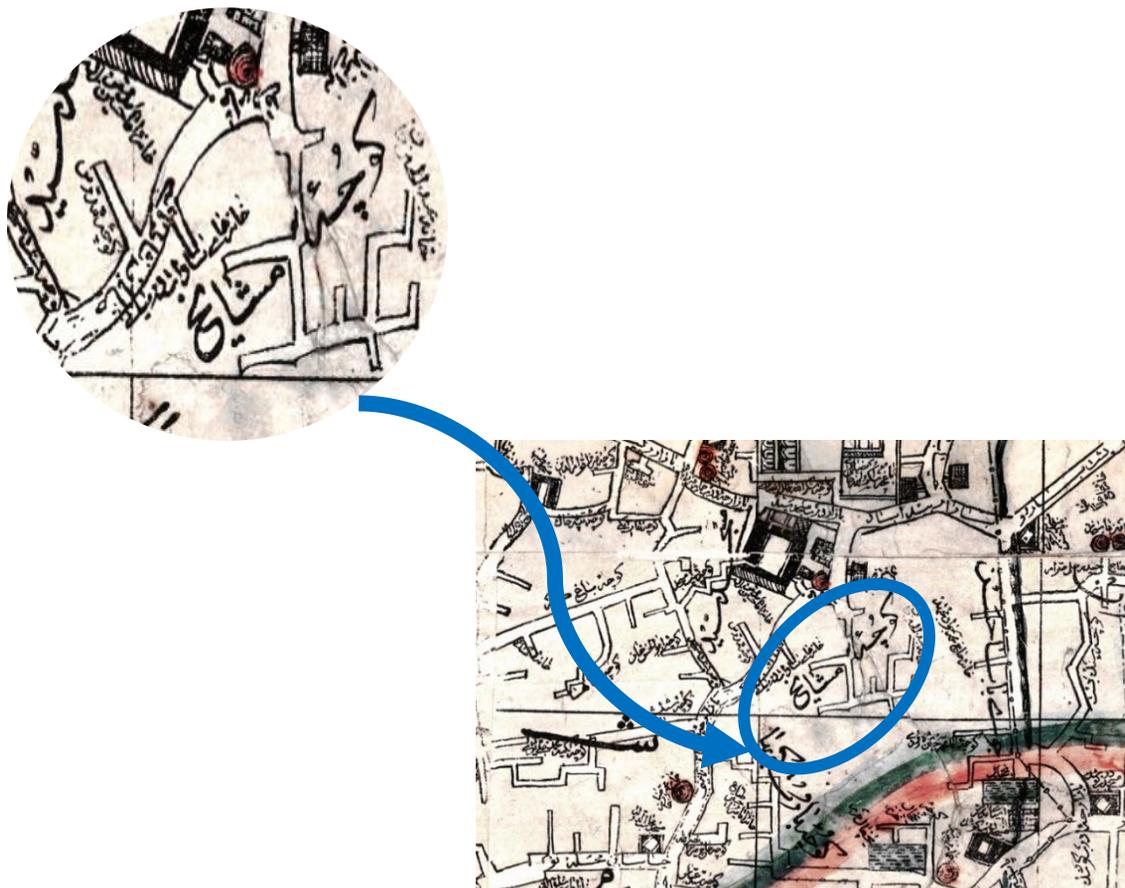
«این نشریه با احترام به قوانین اخلاق در نشریات تابع قوانین کمیته اخلاق در انتشار (COPE) است و از آیین‌نامه اجرایی قانون پیشگیری و مقابله با تقلب در آثار علمی پیروی می‌نماید.»

## ۱. مقدمه

در دوره قاجار، به علت تأثیرپذیری هنرمندان از اروپا، شیوه رنگ‌روغن در ایران رواج بسیار یافت [1] و استفاده از رنگ‌روغن نه تنها بر روی بوم‌های پارچه‌ای، بلکه برای تزئین دیوار بناها نیز رایج شد. هنر غرب نه تنها در کاربرد مواد و مصالح، بلکه در شیوه اجرا و حتی در نوع نقوش تزئینات این بناها نیز تأثیر گذاشت و منجر به آمیختن شیوه‌های هنری غربی با شیوه‌های هنری ایرانی [2] شد. در این دوره، از نقوش مختلف برای تزئین دیوارها استفاده شد و رنگ‌های سنتی و رنگ‌های غربی گاهی به صورت تلفیقی و گاهی به صورت مجزا برای رنگ‌آمیزی نقوش به کار رفت. به عنوان مثال در گذشته از رنگ‌های حاوی مس و لاجورد به عنوان رنگ آبی و سبز استفاده می‌شد، اما با ورود آبی پروس به ایران، هنرمندان این رنگ را به صورت مجزا و یا گاهی به صورت تلفیق با سایر رنگدانه‌ها (برای

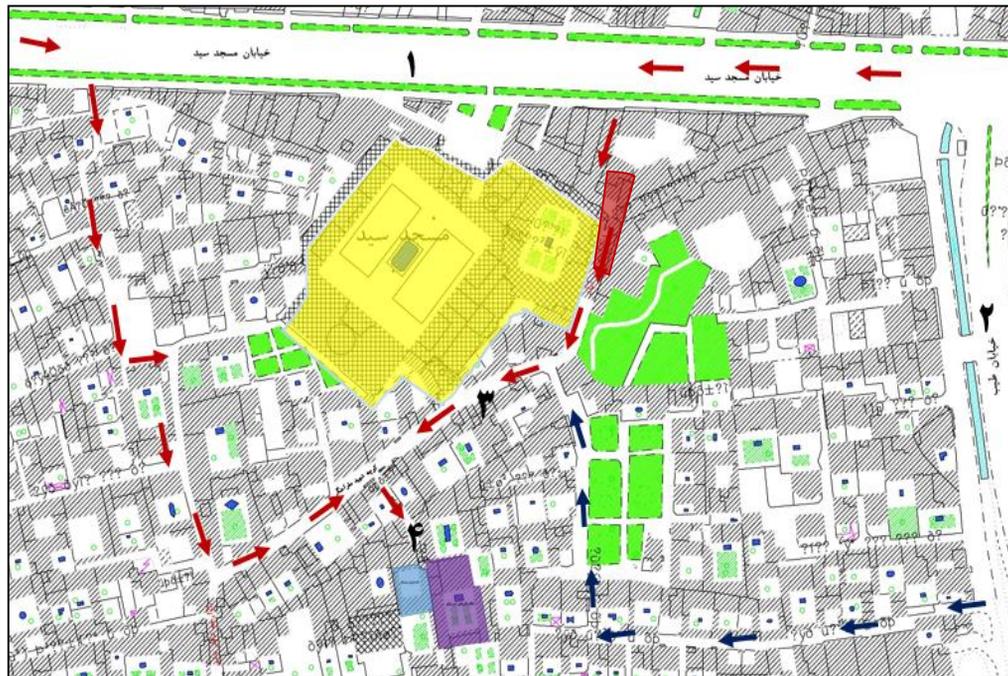
بهبود خواص رنگی و ایجاد تونالیته رنگی) استفاده کردند؛ چنانچه مشاهده می‌شود در تزئینات ازاره سنگی بقعه شاه‌عباس ثانی قم که متعلق به دوران صفوی است، از زنگار مس و مالاکیت برای رنگ سبز استفاده شده است [3]. در حالی که در تزئینات باغ رحیم‌آباد بیرجند که از بناهای دوران قاجار است، از ترکیب آبی پروس و مالاکیت برای رنگ سبز استفاده شده است [4].

معماری دوره قاجار را معماری خانه‌سازی یا معماری خانه‌های مسکونی نامیده‌اند [5]. خانه سادات درمیان از جمله بناهای تاریخی دوران قاجار است که در گذشته جزء هفت‌دست‌خانه‌ها بوده و به مجموعه خانه‌های سادات درمیان مشهور بوده است. این خانه در خیابان مسجد سید اصفهان که یکی از قدیمی‌ترین محلات اصفهان محسوب می‌شود، واقع شده است و اکنون مساحت آن به حدود نهصد مترمربع می‌رسد (تصویر ۱ و ۲). بعد از



شکل ۱: محل قرارگیری مجموعه خانه‌های سادات درمیان بر روی نقشه رضاخانی [8]

Fig. 1: Location of Sadat-i-Dormiani houses on Rezakhani map



فضای سبز Green space		دسترسی اصلی main path	
خیابان مسجد سید Masjed Seyyed St	<b>1</b>	دسترسی فرعی Stop Street	
خیابان طیب Tayeb St	<b>2</b>	مسجد سید Syyed Mosque	
کوچه شهید مقراض‌گر Meqrazgar Alley	<b>3</b>	بازارچه بیدآباد Bid-Abad shopping	
بن‌بست امین Amin Deadend	<b>4</b>	خانه تاریخی متوسلان Motevasellan - home	
		خانه تاریخی درمیانی Dormiani - home	

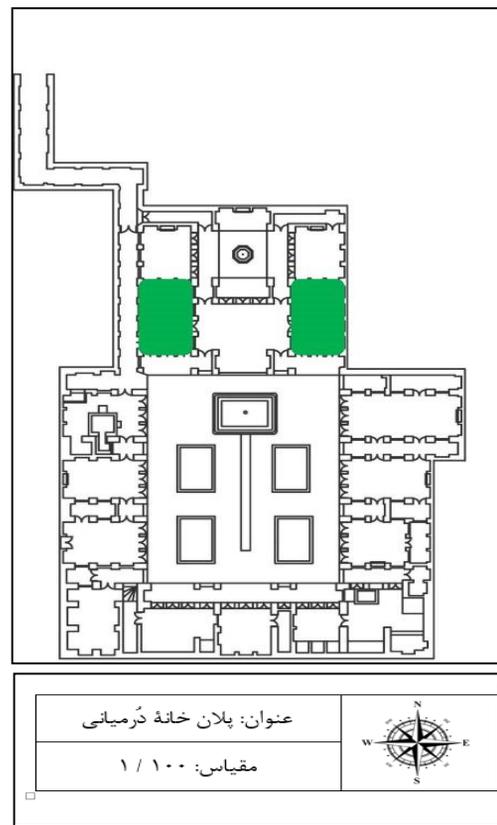
شکل ۲: موقعیت کنونی خانه درمیانی [9]  
Fig. 2: Current location of Sadat-i-Dormiani Houses

شهرت یافتند. این خانه که در فهرست میراث ملی ایران با شماره ۱۳۰۱۳ به ثبت رسیده، چهار صنف (چهار ایوانه) بوده که در ضلع شمالی آن شاه‌نشین (سه‌دری) و حوض‌خانه قرار داشته و چهار اتاق بروار<sup>۲</sup> در طرفین آن‌ها قرار گرفته است. دو اتاق بروار طرفین شاه‌نشین، ابعاد ۳ × ۵ متر دارند که با انواع نقوش دیواری، گچ‌بری، نقاشی پشت شیشه و آینه‌کاری مزین گشته‌اند. این دو اتاق، در تصویر ۳ (پلان خانه درمیانی) با علامت سبز مشخص شده‌اند. در اضلاع شرقی و غربی خانه نیز سال ششم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۹ | ۴۹

خانه‌های پدرسالاری<sup>۱</sup>، عده‌ای از رجال حکومتی و ثروتمندان، به این باور رسیدند که فرزندان، نوادگان و خویشان خود را در کنار هم اما بیرون از خانه‌های خود نگهدارند تا بتوانند امنیت و آسایش را در محل استقرار خویش به وجود آورند؛ بنابراین در کنار خانه خویش، خانه‌های دیگری را بنا کردند که البته از لحاظ معماری و فرم، شبیه به خانه خودشان بود و خویشان درجه اول را در آن جای دادند. تعداد این خانه‌های اطراف، گاهی به هفت، پنج و یا نه می‌رسید که در مجموع به هفت‌دست‌خانه‌ها

## ۲. پیشینه پژوهش

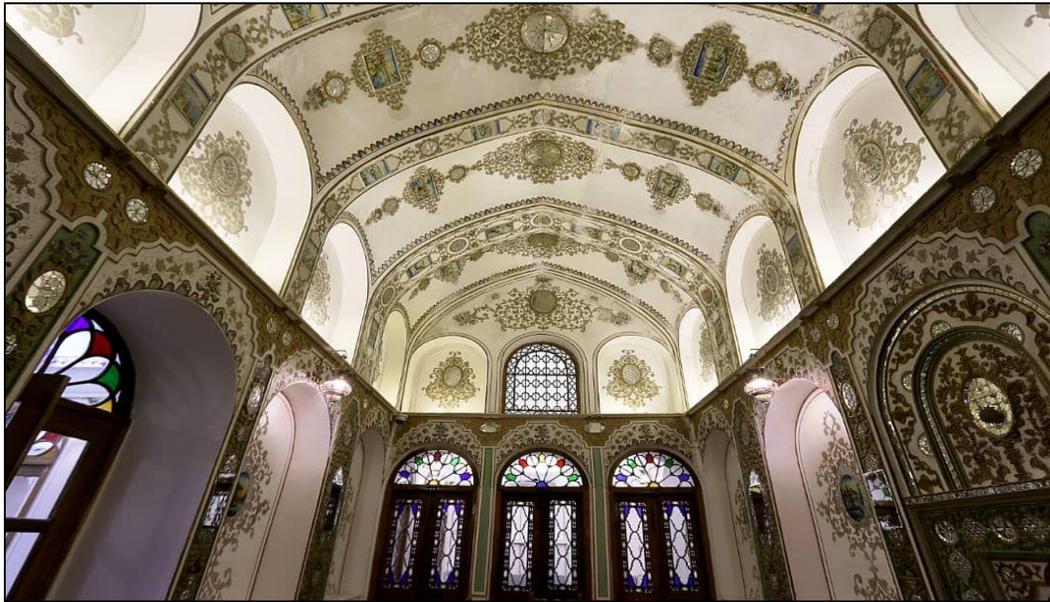
در رابطه با خانه‌های تاریخی دوران قاجار و تزیینات آن‌ها، پژوهش‌هایی انجام شده است و پژوهشگران در حوزه‌های مختلف به بررسی این خانه‌ها و تزیینات موجود در آن‌ها پرداخته‌اند. در خصوص نقوش دیواری، بصیری، در مقاله‌ای تزیینات طلاکاری دوره قاجار را در خانه‌های قدسیه، شهشهان و حقیقی مورد بررسی قرار داده و جهت شناسایی مواد سازنده و روش اجرا، آزمایش‌های متنوع شیمی کلاسیک و روش‌های دستگاهی (FTIR، XRD و SEM-EDX) را استفاده کرده و در نهایت به این نتیجه رسیده است که طلای به کاررفته در خانه حقیقی، از نوع آلیاژ برنج به همراه روغن بزرک، خانه شهشهان از نوع آلیاژهای برنج و برنز با روغن بزرک و خانه قدسیه ترکیبی از عناصر معدنی چون برنج، برنز، آهن، آلومینیوم و نقره با بست و جلای روغن کمان بوده است. ضمن آنکه برای لایه‌چینی از گچ و سریش در خانه‌های حقیقی و قدسیه و گچ و سریش و گل سرخ در خانه شهشهان استفاده شده است [10]. عباسی و همکاران، در مقاله خود مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت رحیم‌آباد بیرجند را که متعلق به دوره قاجار است، مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای شناسایی عنصری و ترکیبی مواد تشکیل‌دهنده رنگ‌ها و بستر نقاشی‌ها از روش‌های دستگاهی همچون (FTIR، PLM، XRD، SEM-EDX و XRF پرتابل) استفاده کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که لایه بستر مخلوطی از کلسیم سولفات (گچ) و کلسیم کربنات (گل سفید) بوده و از سرنج برای رنگ قرمز، ترکیب آبی پروس و ملاکیت برای رنگ سبز، لاجورد و ترکیبات آهن و مس برای رنگ آبی و از مخلوط مس و روی برای رنگ طلایی استفاده شده است [4]. بهادری و همکارانش، در مقاله خود به شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری خانه بروجرودی‌های کاشان پرداخته‌اند که از جمله خانه‌های قاجاری ایران است و برای رسیدن به هدف پژوهش خود، از روش‌های شیمیایی و دستگاهی مثل (FTIR، XRD) و SEM-EDX استفاده کرده‌اند و رنگ‌های شناسایی شده در این دوره را از نوع قرمز سنگرف (سولفید جیوه)، آبی



شکل ۳: پلان خانه دُرمیانی و موقعیت اتاق‌های بروار (اتاق نقش)  
Fig. 3: The plan of the Dormiani's house and the location of the Barvars rooms (decoration room)

اتاق‌های زمستان نشین و تابستان نشین قرار گرفته‌اند و در نهایت در قسمت جنوب، مطبخ یا آشپزخانه سرتاسری قرار داشته که اکنون تغییر کاربری داده و به چهار اتاق تبدیل شده است.

نقش‌های به کاررفته در این اتاق‌ها شامل نقش‌های اسلیمی، ختایی و منظره‌سازی است که با طیف‌های مختلف رنگی، از قبیل سبز و آبی تیره و روشن، قرمز، صورتی و طلایی مزین شده‌اند (تصویر ۴). هدف از ارائه این پژوهش، شناسایی فناوری ساخت و نوع رنگدانه‌های به کاررفته در تزیینات دیواری خانه دُرمیانی اصفهان متعلق به دوران قاجار، با استفاده از روش‌های دستگاهی است تا بر اساس آن بتوان طرحی مناسب برای حفاظت و مرمت اثر ارائه داد. در نهایت نیز نتایج به دست آمده از فن شناسی مواد و مصالح خانه دُرمیانی، با نتایج دیگر نقاشی‌های دیواری دوره قاجار که در متون و مقالات ذکر شده‌اند، مقایسه شد.



شکل ۴: تزیینات موجود در اتاق بروار خانه سادات درمیانی

Fig. 4: Decorations in the Barvar's room of Sadat-i-Darmiani's house

رنگ‌های قرمز استفاده شده و سبز به کاررفته نیز از نوع ملاکیت بوده است [13]. در جدول شماره ۱ مواد و مصالح به کاررفته در برخی از نقاشی‌های سه‌پایه‌ای و دیواری قاجار، ذکر شده است.

رنگدانه‌ها به‌طور کلی به دودسته طبیعی و مصنوعی تقسیم می‌شوند که رنگدانه‌های طبیعی خود شامل رنگدانه‌های معدنی و رنگدانه‌های آلی است. به گفته پاکزاد، هنرمندان ایرانی در ادوار مختلف اغلب، از رنگ‌هایی با پوشش دهی بیشتر، کیفیت و پایداری بهتر در نقاشی‌ها استفاده می‌کردند که اکثر رنگ‌های معدنی، در مقایسه با سایر مواد رنگی، مقاومت و پایداری بیشتری در برابر عوامل مختلف محیطی همچون نور، گرما و سایر عوامل شیمیایی و فیزیکی، دارند [22]. این دسته از رنگ‌ها در طبیعت یافت می‌شوند (مانند اکسیدها، سولفات‌ها، کربنات‌های فلزی و غیره) که پس از استخراج آن‌ها را جمع‌آوری و با سایر مواد لازم دیگر (مثل صمغ، بست، چسب و غیره) مخلوط می‌کردند و در نهایت پس از آماده‌سازی رنگ، از آن برای تزیین دیوارها استفاده می‌شد. شناسایی رنگدانه‌ها و رنگینه‌ها نه‌تنها در ارائه روش‌های درمان و مرمت حائز اهمیت است، بلکه در تدوین طرح حفاظت آثار نیز باید مدنظر قرار گیرد.

لاچورد، طلای مخلوط از دو فلز مس و روی، سبز ترکیبی (مس و آرسنیک)، لایه تدارکاتی هانتیت (کربنات دوتایی کلسیم و منیزیم) و لایه بستر مخلوطی از سولفات کلسیم آبدار، نیم آبه و خشک تشخیص داده‌اند که با چسب‌های حیوانی و ورنی روغنی ترکیب شده‌اند [11]. رحمانی و حسینی، نیز با استفاده از روش شیمی تر و FTIR به شناسایی مواد تشکیل دهنده رنگ‌های به کاررفته در دیوارنگاره اتاق نقاشی کاخ گلستان و صف سلام فتحعلی شاه قاجار پرداخته‌اند. رنگ‌های شناسایی شده در این دو اثر عبارت هستند از: آبی پروس، آبی لاچورد و قرمز اخرا؛ همچنین از طلا و اکسید سرب برای رنگ طلایی استفاده شده و لایه بستر نیز ترکیب گچ و هانتیت (کم) تشخیص داده شده است [12]. از آنجاکه معماری دوره قاجار در تداوم معماری دوره زند است، بنابراین، در رابطه با شناسایی رنگدانه‌های به کاررفته در دیوارنگاره‌های این دوره، نیکویی و سامانیان، در مقاله خود، به شناسایی رنگ‌های سبز و قرمز در سه بنای کاخ کریم‌خان، عمارت دیوان‌خانه و عمارت هفت‌تنان پرداخته‌اند و برای تشخیص نوع رنگ‌ها از روش‌های آنالیز دستگاهی (FTIR، PLM، XRD و XRF) استفاده کرده‌اند و در نهایت این نتیجه، حاصل شده که از سرب و شنگرف برای

جدول ۱: مواد و مصالح به کاررفته در برخی از نقاشی‌های سه‌پایه‌ای و دیواری قاجار

Table 1: Materials used in some Qajar easel paintings and murals

ردیف Row	بنا / تابلو Name of the building or panel	دوره - شهر - City the period	نوع رنگ color	جنس رنگ Compound Name	لایه تدارکاتی (بستر) substrate layer	بست - ورنی binder or varnish	پژوهشگر (ان) researchers
1	خانه حقیقی Haghighi house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج Brass metal	گچ و سربش Plaster & Serish	روغن بزرک linseed oil	Basiri (2014)[10]
2	خانه شهشهان Shahshahan house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج و برنز Bronze & Brass	گچ و سربش و گل سرخ Plaster & Serish & Red ochre	روغن بزرک linseed oil	Basiri (2014) [10]
3	خانه قدسیه Qodsiyyeh house	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	طلایی Golden	برنج، برنز، آهن، آلومینیوم، نقره Brass, Bronze, Iron, aluminium & Silver	گچ و سربش Plaster & Serish	روغن کمان Kaman-oil	Basiri (2014) [10]
4	باغ رحیم آباد Rahim Abad garden	قاجار - بیرجند Qajar - Birjand	قرمز Red	سرنج Red lead	گچ و گل سفید Mixture of plaster & calcite	روغن Oil	Abbasi et al, (2016) [4]
			آبی Blue	لاچورد و ترکیبات مس و آهن Ultramarine & mixture of iron & copper			
			سبز Green	مالاکیت و آبی پروس Mixture of malachite & Prussian blue			
			طلایی Golden	آلیاژ مس و روی (برنج) Mixture of two metals (copper & zinc)			
5	خانه بروجردی‌ها Borujerdi house	قاجار - کاشان Qajar - Kashan	قرمز Red	شنگرف Vermilion	هانتیت - سولفات کلسیم Huntite & Gypsum	چسب حیوانی و ورنی روغنی Animal glue - Oily varnish	Bahadory et al, (2012) [11]
			آبی Blue	لاچورد Ultramarine			
			سبز Green	مس و آرسنیک Copper & Arsenic			
			طلایی Golden	برنج (مس و روی) Brass (copper & zinc)			
6	خانه صارم‌الدوله Sarem-all-dowleh house	قاجار - کرمانشاه Qajar - Kermanshah	آبی Blue	لاچورد Ultramarine	گچ Plaster	-	Chaghmirza ye, (2017)[14]
			قرمز Red	شنگرف Vermilion			
			طلایی Golden	مس و روی (برنج) Brass (copper & zinc)			
7	خانه حقیقی Haghighi house	صفوی و قاجار - اصفهان Safavid & Qajar	سفید White	کربنات کلسیم Calcium carbonate	-	-	Ghavami, (2015) [15]
			آبی	پروس			

			Prussian blue مالاکیت malachite	Blue سبز Green	- Isfahan		
			سرنج Red lead	قرمز Red			
Mardani (2008)[16]	-	گچ plaster	پروس Prussian blue مالاکیت malachite سفیداب شیخ White lead سرنج - قرمز دانه Red lead & carmine اخرا Brown Ochre مس و روی copper & zinc	آبی Blue سبز Green سفید White قرمز Red قهوه‌ای Brown طلایی Golden	صفوی و قاجار - اصفهان Safavid & Qajar - Isfahan	بخشی از دیوارنگاره خانه اخوان حقیقی Haghighi house	8
Rahmani & Hosseini, (2019)[12]	-	گچ و هانتیت (کم) plaster & Huntite	پروس، لاجورد Prussian blue & ultramarine اخرا Red Ochre طلا و اکسید سرب Gold & lead oxide	آبی Blue قرمز Red طلایی Golden	قاجار - تهران Qajar - Tehran	دیوارنگاره اتاق نقاشی کاخ گلستان و صف سلام فتحعلی شاه Mural paintings of the (Otagh-e-Naghashi), Golestan palace and Saf-e-Salam-e-Fathalishah	9
Vatandoust and Bahadory (1999)[17]	روغن بزرک linseed oil	گچ plaster	پروس Prussian blue اخرا Red Ochre سولفات کلسیم - کربنات کلسیم Calcium sulfate - Calcium carbonate فلز طلا Gold metal	آبی Blue قرمز Red سفید White طلایی Golden	قاجار - تهران Qajar - Tehran	نقاشی دیواری متعلق به دوره فتحعلی شاه قاجار در کاخ گلستان Mural painting belonging to the period of Fath-Ali-Shah-Qajar in Golestan Palace	10
Ahmadi et al (2005) [18]	-	-	سبز سیلو و مالاکیت Green silo & malachite اولترامارین و آبی پروس ultramarine & Prussian blue کروم - اخرا - زرنیخ Chrome yellow, yellow ochre, orpiment	سبز آبی Green blue color آبی Blue زرد Yellow	قاجار - آذربایجان غربی Qajar - West Azerbaijan	نقاشی‌های دیواری عمارت باغچه جوق ماکو wall painting of Baghche Joogh castle	11

			ورق مس Copper sheet	طلایی Golden			
Ismailian (2013)[19]	-	-	لاجورد ultramarine	آبی Blue	قاجار - اصفهان Qajar - Isfahan	خانه بخردی Bekhradi house	12
			سرب و گل سفید White lead & calcite	سفید White			
Samanian et al (2013) [20]	ورنی شلاک - روغن بزرک Shellac - linseed oil	پودر گچ Plaster Powdered	سبز خاکی Green earth	سبز Green	قاجار - تهران Qajar - Tehran	تابلوی دختر مصری Egyptian girl tablout	13
			سرب White lead	سفید White			
			سرنج Red lead	قرمز Red			
			سیرولین Cerulean blue	آبی Blue			
			آمبر raw amber	زرد Yellow			
			آمبر raw amber	قهوه‌ای Brown			
			ترکیبات مس Copper pigment	طلایی Golden			
Firooznia & samanian (2018)[21]	بست پروتئینی - ورنی روغنی Protein binder, oily varnish	گچ و رنگدانه‌های حاوی سرب (سفیداب و سرنج) Plaster & white and red lead	پروس Prussian blue	آبی Blue	قاجار - تهران Qajar - Tehran	تابلوی مباحله Mobaheleh tablout	14
			پروس و زرد کروم Prussian blue and chrome yellow	سبز آبی Green blue color			
			اخرا Yellow Ochre	زرد Yellow			
			اخرا Red Ochre	قرمز Red			
			اخرا Brown ochre	قهوه‌ای Brown			
			عاج (استخوان) Ivory black	سیاه Black			

### ۳. مواد و روش‌ها

برای شناسایی مواد و رنگدانه‌های به‌کاررفته در تزیینات دیواری خانه ذرمیانی، ابتدا نمونه‌برداری جهت شناسایی لایه‌های تشکیل‌دهنده، انجام شد (تصویر ۵). نمونه‌برداری با در نظر گرفتن اصل عدم آسیب بصری با حداقل میزان، از قسمت‌های آسیب‌دیده و ریخته شده رنگ‌ها انجام شد. از آنجاکه تاکنون عملیاتی مبنی بر مرمت در تزیینات این بنا صورت نگرفته است، بنابراین

بیشترین آسیب، در رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز ایجاد شده بود. نمونه‌برداری از نواحی آسیب‌دیده انجام شد و با کدهای B1 (طلایی)، B2 (قرمز)، B3 (آبی) و B4 (سبز) نام‌گذاری شد (جدول ۲). لایه‌های رنگی ایجاد شده در این تزیینات، بسیار نازک بودند و امکان برداشتن لایه رنگ به‌تنهایی ممکن نبود؛ به همین دلیل مقادیر کمی از لایه بستر نیز به همراه رنگ‌ها برداشته شد. در ادامه، برای شناسایی نوع رنگدانه‌ها و ترکیبات آن‌ها از روش‌های



شکل ۵: محل نمونه‌برداری از رنگ‌های ۱. طلایی، ۲. قرمز، ۳. آبی و ۴. سبز  
Fig. 5: Sampling location of 1) golden, 2) red, 3) blue and 4) green colors.

جدول ۲: محل نمونه‌برداری و آزمایش‌ها انجام‌شده بر روی نمونه‌ها

Table 2: The site of sampling and analysis of colors

آزمایش انجام‌شده Analysis	محل نمونه‌برداری Sampling locations	نوع نمونه Sample type	کد نمونه sample code	ردیف Row
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	طلایی Golden	B1	1
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	قرمز Red	B2	2
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	آبی Blue	B3	3
FTIR, SEM-EDS, OM	اتاق پروار - ضلع شرقی شاه‌نشین Barvars room - East Side of Shah Neshin room	سبز Green	B4	4

(OM) مدل NIKON YS100 مشاهده شد. برای مشاهده رنگ‌ها در زیر میکروسکوپ، مقادیر اندکی از رنگ سایید شده بین لام و لامل قرار داده شد. در نهایت برای شناسایی و بررسی زیر میکروسکوپ قرار گرفت و عکس‌برداری شد.

#### ۴. نتایج و تحلیل یافته‌ها

۴-۱. رنگ طلایی (کد B1): در طیف FTIR این نمونه، در نواحی  $1600\text{ cm}^{-1}$  (جدول ۳). حضور نوار جذبی تیز در ناحیه  $1621/58\text{ cm}^{-1}$  مربوط به پیوند هیدروکسیل موجود در ساختار شیمیایی ژئپس است. همچنین ارتعاشات کششی نامتقارن مربوط به پیوند O-H در ناحیه  $3405/86$  و ارتعاشات کششی نامتقارن ناشی از پیوند S=O در ناحیه  $1138/98$  و نیز نوار جذبی تیز در سال ششم، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۹ | ۵۵

دستگاهی استفاده شد. در مرحله نخست برای شناسایی مواد آلی موجود در نمونه‌ها از دستگاه FTIR مدل TENSOR 27 ساخت شرکت BRUKER آلمان با عدد موجی  $4000 - 400\text{ cm}^{-1}$  در محدوده Mid IR استفاده شد. طیف‌ها با ۳۲ بار اسکن و قدرت تفکیک  $4\text{ cm}^{-1}$  در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند. برای آماده‌سازی هر رنگ به صورت جداگانه، حدود دو الی سه میلی‌گرم از رنگ با حدود ۲۰۰ میلی‌گرم هالید قلیایی پتاسیم برمید (KBr) به صورت مخلوط درآمد؛ سپس با استفاده از یک هاون از جنس عقیق، ساییده شد و در قالب قرص‌ساز در معرض فشار، قرصی شفاف از مخلوط با ضخامت حدود ۱mm تهیه شد. از دستگاه SEM-EDS مدل Sirius SD ساخت شرکت TESCAN نیز برای آنالیز عنصری مواد معدنی استفاده شد. سپس برای اطمینان از مواد شناسایی‌شده، کلیه نمونه‌ها زیر دستگاه میکروسکوپ نوری یا اپتیکی

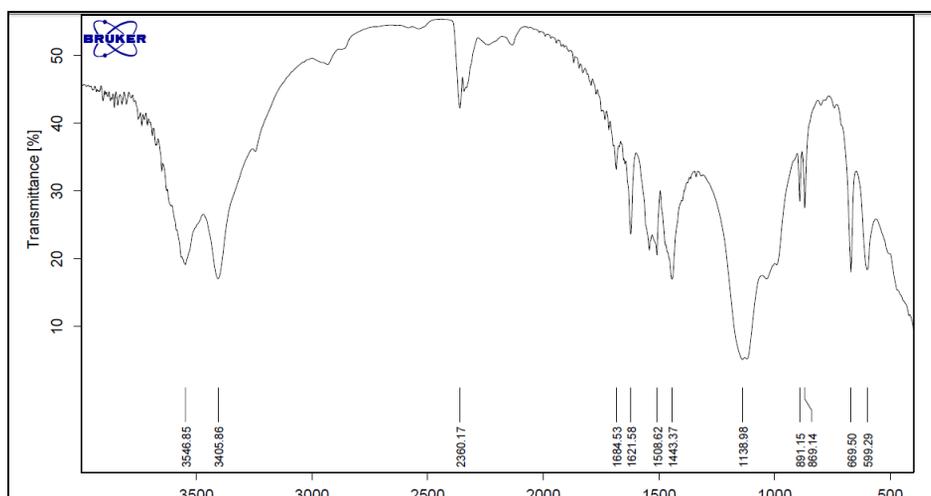
جدول ۳: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B1  
Table 3: Material detected by the FTIR device in the B1 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ طلایی (واحد اندازه‌گیری $\text{cm}^{-1}$ ) (of measurement $\text{cm}^{-1}$ ) golden Sample absorption bands in the FTIR spectrum unit			رنگ color
هانتیت (گل سفید) Huntite	پروتئین Protein	ژپس gypsum	طلایی B1 golden
1443.37	1508.62	869.14 – 891.15 – 1138.98 and 1600 regions	

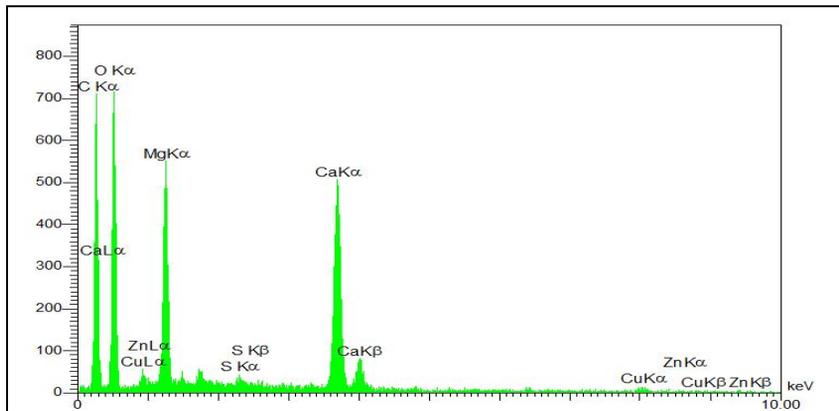
منیزیم (Mg)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca)، مس (Cu) و روی (Zn) را نشان می‌دهد (جدول ۴).

حضور کلسیم و گوگرد نشان از حضور ژپس با فرمول شیمیایی  $(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ، در ترکیبات دارد. منیزیم نیز نشان‌دهنده هانتیت (گل سفید) با فرمول شیمیایی  $\text{Mg}_3\text{Ca}(\text{CO}_3)_4$  [24] است که در ساخت بستر از آن استفاده شده است. با توجه به اینکه بستر باید سطحی صاف و یکدست داشته باشد، بنابراین، از خواص این رنگدانه برای مطلوب کردن بستر استفاده شده است. عناصر مس و روی نیز نشان از حضور آلیاژ برنج (مس + روی) در ساخت رنگ طلایی دارد. در ادامه، برای اطمینان از نتایج، این رنگ در زیر میکروسکوپ نوری نیز مشاهده شد. بررسی‌ها نشان می‌دهند که رنگ طلایی به کاررفته در تزیینات این بنا به صورت ترکیبات پودری آمیخته با بست است<sup>۳</sup> (تصویر ۸).

ناحیه  $669/50$  ناشی از پیوند S-O، متعلق به حضور ژپس یا سولفات کلسیم دو آبه است. نوار جذبی ناحیه  $1443/37$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به باند جذبی کششی C-O، اشاره به وجود هانتیت (گل سفید) دارد که از ژپس و هانتیت در ساخت بستر استفاده شده است. ضمن آنکه در نوار جذبی ناحیه  $1508/62$   $\text{cm}^{-1}$  حضور آمید II نشان از وجود پروتئین دارد که به عنوان بست رنگ به کاررفته است (تصویر ۶)؛ پروتئین‌ها اغلب، با ظاهر شدن باندهای آمید I و II شناسایی می‌شوند که عدد موجی  $1565 - 1500$   $\text{cm}^{-1}$  مربوط به این دسته از مواد است. چسب‌های حیوانی (سریشم) از جمله مواد طبیعی هستند که از پوست، استخوان و سایر اجزای حیوانات به دست می‌آیند و به عنوان سریشم و بست رنگ به کار می‌روند [23]. در طیف EDS، رنگ طلایی (تصویر ۷) نیز مقادیر



شکل ۶: طیف FTIR نمونه B1  
Fig. 6: FTIR spectrum of B1 sample



شکل ۷: طیف EDS رنگ طلائی

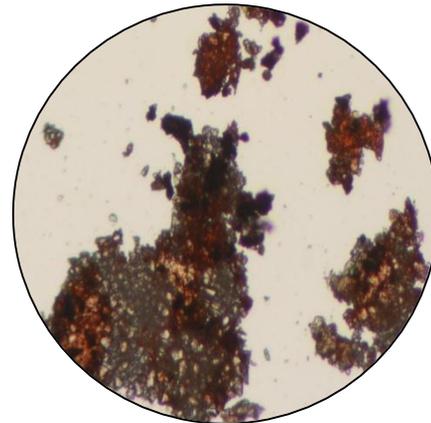
Fig. 7: FTIR spectrum of gold pigment

۲-۴. رنگ قرمز (کد B2): در طیف FTIR، نوارهای جذبی در نواحی ۸۶۹/۱۱، ۸۹۱/۲۵، ۱۱۵۳/۱۷ و  $1600\text{ cm}^{-1}$  به حضور ژپس اشاره دارد (تصویر ۹). نوار جذبی ناحیه  $1444/43\text{ cm}^{-1}$  حضور منیزیم را در ترکیبات بستر نشان می‌دهد (هانتیت)؛ چنانچه در مطالب پیشین نیز ذکر شد به احتمال زیاد از این عناصر در ساخت بستر استفاده شده است. سفید و قرمز سرب نیز در نواحی  $1400$ ،  $1700\text{ cm}^{-1}$  و  $2342/14$  و  $2360/18$  مشاهده می‌شود (جدول ۵)؛ که از سفید سرب برای روشن کردن و ایجاد توانالیت رنگی استفاده شده است.

عناصر شناسایی شده در آنالیز EDS نیز سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S)، کلسیم (Ca) و سرب (Pb) را نشان می‌دهد (جدول ۶). حضور مقادیر بالای سرب در این طیف، مربوط به سفیداب و سرنج ( $\text{Pb}_3\text{O}_4$ ) [25] است که در ترکیب رنگ قرمز استفاده شده است. منیزیم شناسایی شده نیز مربوط به حضور هانتیت در ترکیبات بستر است (تصویر ۱۰). نتایج

جدول ۴: شناسایی عناصر موجود در رنگ طلائی با SEM-EDS  
Table 4: Identification of golden color by SEM-EDS

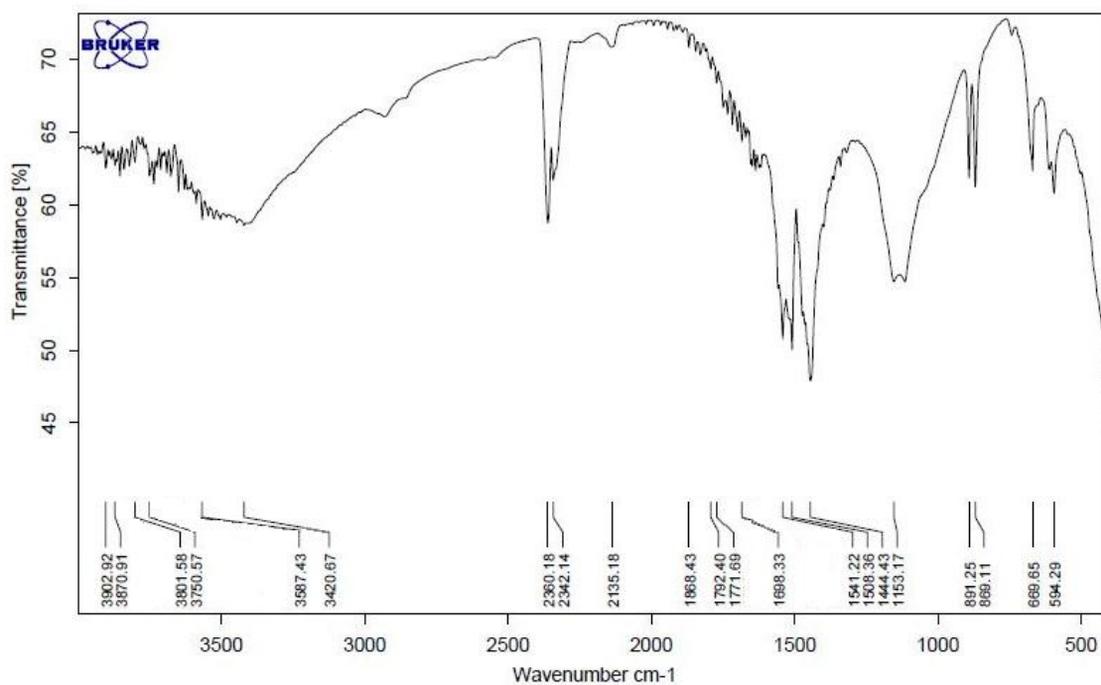
Zn	Cu	Ca	S	Mg	عناصر ingredients
1.42	3.40	53	1.97	40.18	درصد وزنی W%



شکل ۸: ویژگی ظاهری رنگ طلائی زیر میکروسکوپ ۴۰X  
Fig. 8: Appearance of golden color under a microscope (40 X)

جدول ۵: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B2  
Table 5: Tab. 3: Material detected by the FTIR device in the B2 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ قرمز (واحد اندازه‌گیری $\text{cm}^{-1}$ ) red Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )						رنگ color
پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	سفید سرب White lead	سرنج Red lead	ژپس gypsum	
1508.36 and 1541.22	1700 regions	1444.43	669.65 1444.43 and 1700 regions	669.65 – 869.11 – 891.25 – 1444.43 - 2342.14 and 2360.18	869.11 – 891.25 – 1153.17 and 1653.03	قرمز B2 Red



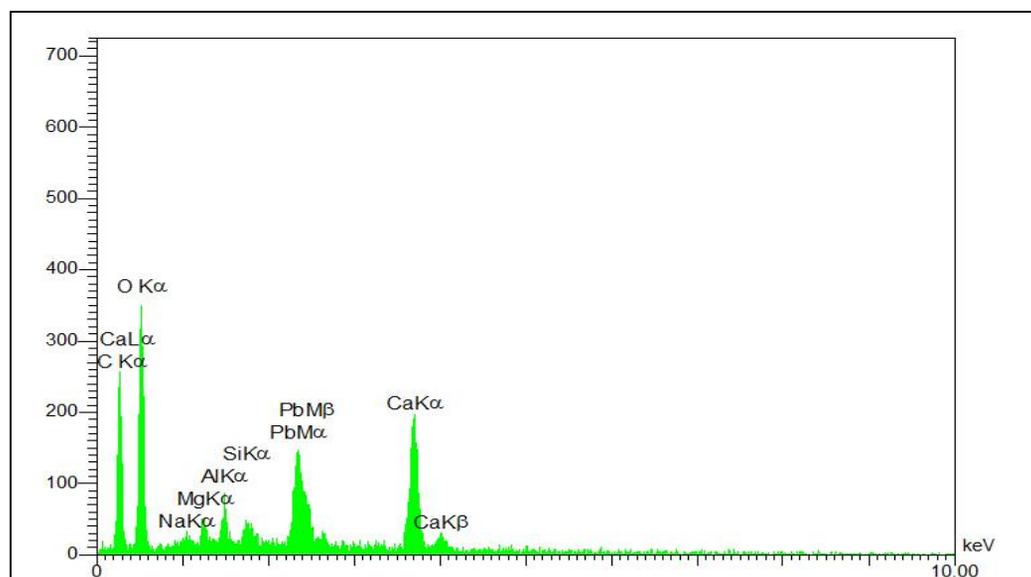
شکل ۹: طیف FTIR نمونه B2

Fig. 9: FTIR spectrum of B2 sample

جدول ۶: شناسایی عناصر موجود در رنگ قرمز با SEM-EDS

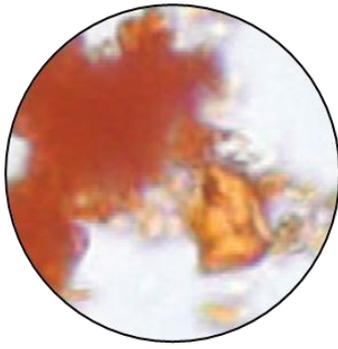
Table 6: Identification of red color by SEM-EDS

Pb	Ca	S	Si	Al	Mg	Na	عناصر ingredients
62.27	20.38	0.00	3.57	4.92	4.28	4.55	درصد وزنی W%

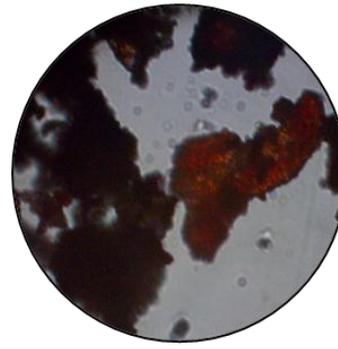


شکل ۱۰: طیف EDS رنگ قرمز

Fig. 10: EDS spectrum of red pigment



شکل ۱۲: مرجع سرنج [28]  
Fig. 12: Red lead reference



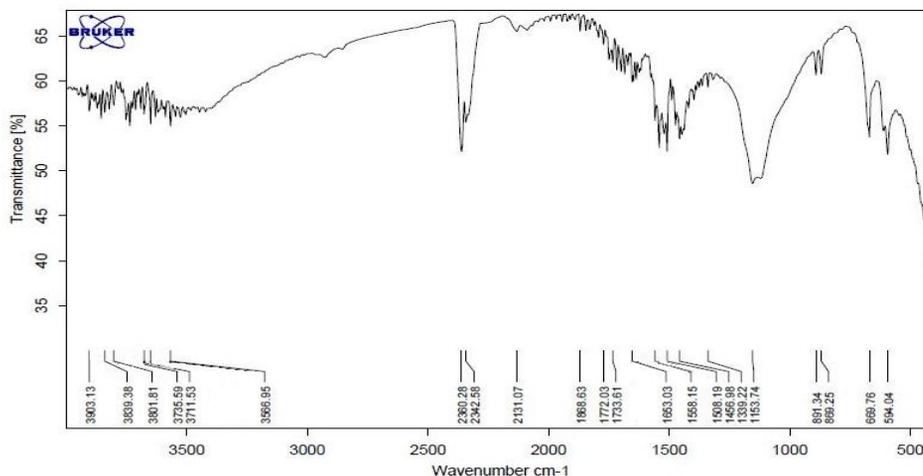
شکل ۱۱: رنگ‌دانه قرمز زیر میکروسکوپ نوری بزرگنمایی ۴۰X  
Fig. 11: Microscopic image of red pigment (40 x)

مشاهده می‌شود که در بستر به کاررفته‌اند. باندهای نواحی  $1500\text{ cm}^{-1}$  نشان از حضور پروتئین در ترکیب با رنگدانه دارد. در حضور باند کششی پیوند  $\text{C}=\text{O}$  در ناحیه  $1700\text{ cm}^{-1}$  نیز ردپایی از روغن مشاهده می‌شود<sup>۴</sup> که با توجه به حضور این ماده در تمام رنگ‌ها، نحوه اجرای تزیینات به صورت رنگ‌روغن بوده است. نوارهای جذبی نواحی  $600$ ،  $1400$  و  $1700\text{ cm}^{-1}$  نیز نشان از سفید سرب دارد (جدول ۷).

نتایج حاصل از آنالیز SEM-EDS، نیز حضور عناصری چون سدیم (Na)، منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S)، کلر (Cl)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، آهن (Fe) و سرب (Pb) را در ترکیبات رنگ، تشخیص داد (تصویر ۱۴). آهن موجود در این نمونه، اشاره به حضور آبی پروس  $[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$  دارد [27]

حاصل از بررسی این رنگدانه زیر میکروسکوپ نوری (OM) حاکی از آن است که نمونه، با نوعی بست ترکیب شده است (تصویر ۱۱). از آنجاکه رنگ قرمز مورد استفاده در این بنا، سرنج شناسایی شد، بنابراین، برای حصول اطمینان از نتایج، این رنگدانه با قرمز سرب موجود در اطلس رنگدانه‌ها مقایسه شد (تصویر ۱۲). ذرات سرنج در زیر میکروسکوپ، شفاف و تقریباً مات به رنگ نارنجی و قرمز مشاهده شدند که از دانه‌های بسیار ریز تا متوسط، متغیر بودند [26].

**۳-۴. رنگ آبی (نمونه B3):** طی تحقیقات به عمل آمده توسط دستگاه FTIR، حضور نوار جذبی در ناحیه  $2131/07$   $\text{cm}^{-1}$  نشان از آبی پروس دارد (تصویر ۱۳). در این طیف، نیز مانند نمونه B2 ترکیبات ژپس و هانتیت

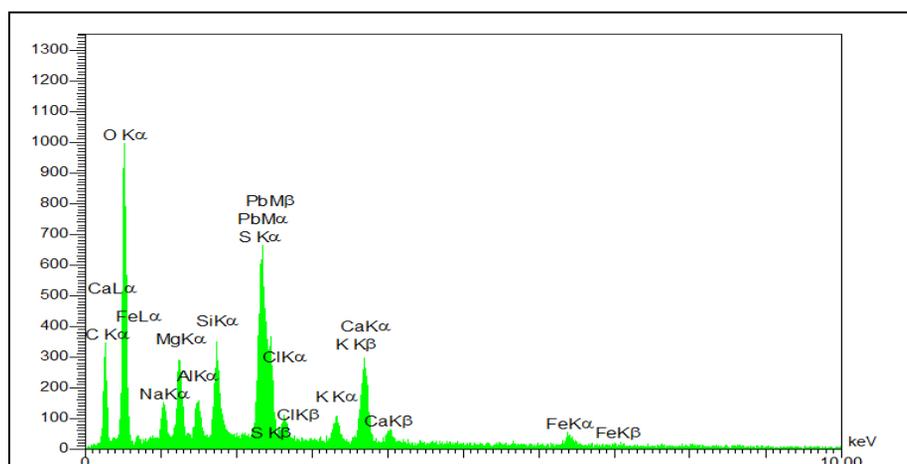


شکل ۱۳: طیف FTIR نمونه B3  
Fig. 13: FTIR spectrum of B3 sample

جدول ۷: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B3

Table 7: Tab. 3: Material detected by the FTIR device in the B3 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ آبی (واحد اندازه گیری $\text{cm}^{-1}$ ) blue Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )							رنگ Color
سیلیس Silica	پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	آبی پروس Prussian blue	ژیپس Gypsum	سفید سرب White lead	
Region of 1153.74	1500 regions	1700 regions	1456.98	2131.07	869.25- 1153.74 891.34- and 1600 regions	669.76 – 1456.98 and 1700 regions	آبی B3 Blue



شکل ۱۴: طیف EDS رنگ آبی

Fig. 14: EDS spectrum of blue pigment

انجام شده رنگ آبی از نوع پروس شناسایی شد؛ بنابراین، این رنگ در زیر میکروسکوپ نوری نیز بررسی و با رنگ دانه پروس در اطلس رنگ، مقایسه شد (تصویر ۱۶)؛ رنگ دانه آبی به صورت ذرات تیره و روشن سیر و شفاف و مات است. به گفته Eastaugh، اندازه ذرات این رنگدانه در زیر میکروسکوپ حدود  $(0.1/0.2)$  تا  $(0.2/0.5)$  میلی متر) و از لحاظ رنگ و میزان شفافیت، آبی روشن تا سیر و مات و نیمه شفاف است. همچنین ذرات، از بسیار ریز تا درشت متغیر هستند درحالی که شکل آن‌ها زاویه دار است (زوایا تیز نیستند) و منحنی شکل، محسوب می‌شوند [26].

#### ۴-۴. رنگ سبز (کد B4): آنالیز FTIR رنگ سبز

در تزیینات این بنا، حضور ژیپس را در نواحی  $869/24$  و  $891/31$ ،  $1115/16$  و  $1600 \text{ cm}^{-1}$  گواهی می‌دهد. در ناحیه  $1115/16$  پیوندهای Si-O-Si و Si-O-Al نشان از

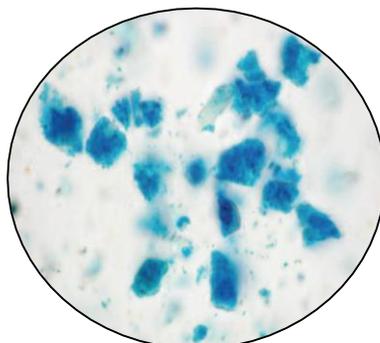
که این ماده در طیف FTIR نیز شناسایی شد. چنانچه در تصویر شماره ۳ (محل نمونه برداری آبی) مشاهده می‌شود، این رنگ دارای تونالیته بسیار روشنی است که مقادیر بالای سرب در این آنالیز نیز اشاره به سفید سرب برای روشن تر کردن رنگ آبی دارد. به گفته Zagora، این ماده علاوه بر خاصیت روشن کردن تونالیته رنگ‌ها، خاصیت زود خشک شونگی را نیز دارد [28]. منیزیم، کلسیم و گوگرد موجود در نمونه، مربوط به ترکیبات بستر شامل هانتیت و ژیپس است. سایر عناصر نیز ناخالصی‌های موجود در ترکیبات بستر هستند (جدول ۸).

با بررسی رنگ دانه آبی در زیر میکروسکوپ نوری، مشخص شد این رنگدانه با بستی شفاف و زرد رنگ مخلوط شده است (تصویر ۱۵). در طی آنالیزهای

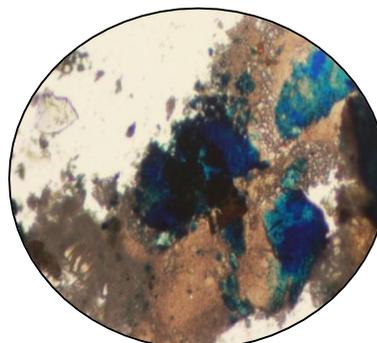
جدول ۸: شناسایی عناصر موجود در رنگ آبی با SEM-EDS

Table 8: Identification of blue color by SEM-EDS

Pb	Fe	Ca	K	Cl	S	Si	Al	Mg	Na	ingredients / عناصر
60.41	2.09	8.96	3.03	1.78	2.97	5.56	3.39	6.68	5.07	درصد وزنی / W%



شکل ۱۶: مرجع آبی پروس [28]  
Fig. 16: Prussian blue reference



شکل ۱۵: مشاهده رنگ آبی زیر میکروسکوپ (۴۰X)  
Fig. 15: Microscopic image of blue pigment (40 x)

بر این عقیده است که روغن‌هایی که در رنگ‌ها و جلاها به کار رفته‌اند، اغلب، روغن‌های استخراج شده از دانه گیاهان هستند که از هزاران سال پیش به کار برده می‌شدند [29].

عناصر شناسایی شده در رنگ سبز، توسط دستگاه SEM-EDS عبارت هستند از: منیزیم (Mg)، آلومینیوم (Al)، سیلیسیم (Si)، گوگرد (S)، پتاسیم (K)، کلسیم (Ca)، آهن (Fe) و سرب (Pb) که در جدول ۱۰ و تصویر ۱۷ مشخص شده است.

سیلیس دارد (جدول ۹). در نواحی ۶۶۹/۵۶، ۱۴۰۰ و  $1700\text{ cm}^{-1}$  به وضوح سفید سرب، نمایش داده می‌شود و نوار جذبی ناحیه  $2090/73$  نشان از آبی پروس دارد. همچنین در نواحی  $1700\text{ cm}^{-1}$  حضور کربونیل نشان از وجود روغن و ناحیه  $1500$  حضور آمید II نشان از وجود پروتئین در ترکیب رنگ دارد. همان‌طور که در مطالب پیشین نیز ذکر شد با توجه به حضور روغن و پروتئین در تمام نمونه‌ها مشخص می‌شود که بست از نوع پروتئینی و تکنیک رنگ‌گذاری، رنگ‌روغن بوده است. Erhardt،

جدول ۹: مواد شناسایی شده توسط FTIR در نمونه B4

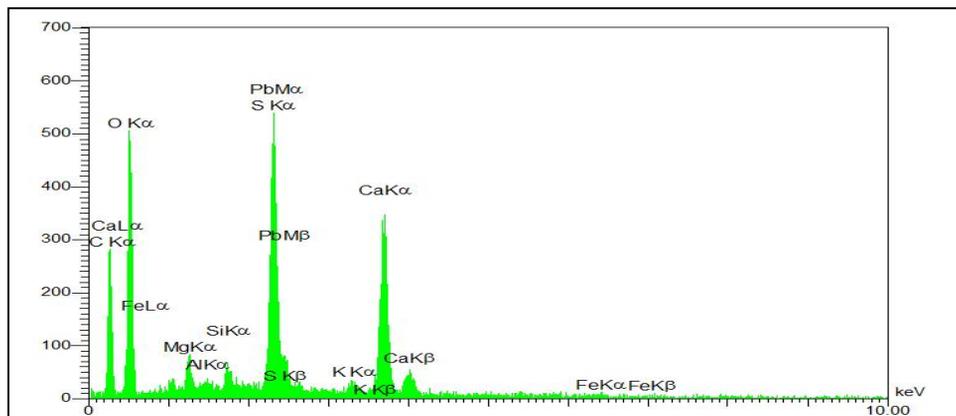
Table 9: Material detected by the FTIR device in the B4 sample

نوارهای جذبی مواد شناسایی شده در طیف FTIR رنگ سبز (واحد اندازه‌گیری $\text{cm}^{-1}$ ) green Sample absorption bands in the FTIR spectrum (unit of measurement $\text{cm}^{-1}$ )							رنگ Color
سیلیس Silica	پروتئین Protein	روغن Oil	هانتیت (گل سفید) Huntite	آبی پروس Prussian blue	سفید سرب White lead	ژپس Gypsum	
Region of 1115.16	Regions of 1508.48 and 1541.43	1700 regions	1445.06 and 1472.89	2090.73	669.56- 1445.06- 1472.89 and 1700 regions	869.24- 869.31- 1115.16 and 1600 regions	سبز B4 Green

جدول ۱۰: شناسایی عناصر موجود در رنگ سبز با SEM-EDS

Table 10: Identification of green color by SEM-EDS

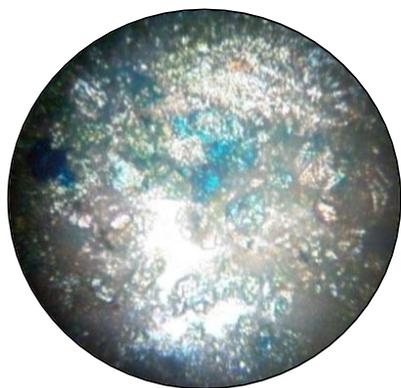
Pb	Fe	Ca	K	S	Si	Al	Mg	ingredients / عناصر
37.84	0.68	28.28	2.18	20.57	2.95	2.40	5.05	درصد وزنی / W%



شکل ۱۷: طیف EDS رنگ سبز  
Fig. 17: EDS spectrum of green pigment

می‌شوند. خاک سبز (سبز سیلو) به‌طور عمده از هر دو ماده معدنی خاک رس، سالدونیت و گلوکونیت تهیه شده است [32]. این رنگدانه از دوران باستان در تمام تکنیک‌های هنری کاربرد داشته است [33]. درنهایت، نوار جذبی آبی پروس در طیف FTIR و حضور آهن در نتایج EDS، نشان حضور از این رنگدانه در ترکیب بارنگ سبز دارد.

برای اطمینان از نتایج حاصل از آزمایش‌ها، این رنگ در زیر میکروسکوپ نیز شناسایی شد. رنگ سبز یا به‌صورت ترکیبی از رنگ مایه‌های آبی و زرد و یا به‌صورت تک‌فام سبز به کار می‌رود؛ بنابراین، پس از بررسی رنگ در زیر میکروسکوپ، نتیجه حاکی از آن بود که از ترکیب رنگدانه‌های آبی، سبز و سفید برای ایجاد رنگ سبز در این تزیینات استفاده شده است (تصویر ۱۸).



شکل ۱۸: رنگ سبز در زیر میکروسکوپ (۴۰X)  
Fig. 18: Microscopic image of green pigment (40 x)

حضور کلسیم و گوگرد نشان از حضور ژپس با فرمول شیمیایی  $(CaSO_4 \cdot 2H_2O)$  در ترکیبات دارد. منیزیم نیز نشان از هانتیت (گل‌سفید) با فرمول شیمیایی  $Mg_3Ca(CO_3)_4$  است که با توجه به حضور این ترکیبات در تمام آنالیزها، مشخص می‌شود که از ترکیب ژپس و هانتیت در ساخت بستر استفاده شده است. به گفته هولاکویی و کریمی، هانتیت یکی از محبوب‌ترین رنگدانه‌هایی است که به‌عنوان رنگ‌دانه سفید در نقاشی‌های دیواری ایرانی مورداستفاده قرار می‌گیرد [30]. با توجه به اینکه بستر باید سطحی صاف و یکدست داشته‌باشد، بنابراین، از خواص این رنگدانه برای مطلوب کردن بستر استفاده شده است. همچنین حضور مقادیر بالای سرب در طیف EDS نشان از حضور این ماده در ترکیب رنگ سبز دارد که سفید سرب شناسایی شده در FTIR نیز به حضور سفیداب برای کم‌رنگ و روشن کردن این رنگ، اشاره دارد؛ در تصویر شماره ۵ (محل نمونه‌برداری از رنگ سبز، نشان می‌دهد که این رنگ دارای طیف بسیار روشنی است و ترکیب سفید سرب در آن، برای روشن کردن رنگ، طبیعی به نظر می‌رسد).

عناصری چون سیلیسیم، آهن، آلومینیوم و پتاسیم نیز به حضور سبز سیلو در بین رنگ‌ها اشاره دارند که ترکیب شیمیایی این رنگ به‌طور تخمینی  $K[(Al, Fe^{3+})_2(AlSi_3Si)O_{10}(OH)_2]$  است [31]. سیلیس‌ها ترکیبات معدنی هستند که سبز خاکی بیشتر از آن‌ها تشکیل شده است و به‌طور وسیعی در سطح جهان یافت

گل‌سفید ( $Mg_3Ca(CO_3)_4$ ) به همراه ژیپس ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ) شناسایی شد. هانتیت از ادوار گذشته تاکنون هم به‌عنوان رنگ سفید و هم برای بسترسازی نقاشی‌ها استفاده شده است. نتایج آزمایش‌ها حاکی از آن هستند که کلیه مواد و رنگدانه‌های شناسایی شده در این پژوهش، با مواد و مصالح به‌کاررفته در دوران قاجار (جدول ۱) مطابقت دارند.

### سپاسگزاری

در پایان، نویسندگان از سرکار خانم رؤیا بهادری جهت همکاری در بخش شناسایی و تحلیل نتایج آزمایش‌ها، سرکار خانم محبی (مسئول آزمایشگاه SEM-EDS پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران) و سرکار خانم فاطمه بارانی تشکر و قدردانی می‌نمایند.

### پی‌نوشت

۱. در خانه‌های پدرسالاری همه کسان و خوشاوندان نزدیک در یک‌خانه زندگی می‌کردند. پدر، مادر، فرزندان، پدربزرگ، مادربزرگ، نوه‌ها و عروس‌ها در کنار هم بودند، دلیلی نداشته که به یک‌جای دیگر بروند. همه آن‌ها از یک آشپزخانه بهره‌گیری می‌کردند [6].
۲. به اتاق‌های دو سوی یک اتاق میانی بزرگ مانند تالار میانوار، بروار گفته می‌شد [7].
۳. در گذشته هنرمندان برای اجرای تزیینات طلاکاری، یا از ورقه‌های فلزی استفاده می‌کردند و یا با ترکیب پودر فلزات با بست و استفاده از قلم‌مو نقوش را اجرا می‌کردند.
۴. چون پروتئین‌ها منبعی برای تغذیه میکروارگانیسم‌ها و حشرات هستند بنابراین، از این ماده کمتر به‌عنوان ورنی استفاده می‌شده و بیشتر نقش عامل چسباننده رنگ را ایفا می‌کرده است.

### References

[1] Alizadeh. S. Survey on ways of painting development in the first part of Qajar period, *Negareh* 7(22), 2012, p 73-84. [in Persian].  
[علیزاده سیامک. بررسی و فن‌شناسی تحول هنر نقاشی در دوره اول قاجاری، فصلنامه علمی نگره ۷(۲۲)، ص ۸۴ - ۷۳.]

نتایج نهایی از آنالیزهای OM، FTIR و SEM-EDS مشخص می‌کند که بستر، ترکیبی از ژیپس و هانتیت است و از ترکیب سفید سرب، آبی پروس و سبز سیلو به همراه بست پروتئینی، برای رنگ‌گذاری نواحی سبز استفاده است.

### ۵. نتیجه‌گیری

خانه سادات درمیانی، از جمله بناهای تاریخی قاجاری در اصفهان است که جزو هفت‌دست‌خانه‌ها بوده و پس از مرمت و بازسازی آن، اکنون تغییر کاربری داده و به هتل سنتی تبدیل شده است. در ضلع شرقی و غربی شاه‌نشین این خانه دو اتاق بروار قرار گرفته که به اتاق‌های نقش معروف بوده‌اند و تنها قسمت‌های بنا هستند که تزیینات آن‌ها از دوران قاجار تا به امروز دست‌نخورده باقی مانده‌اند. برای شناسایی نوع رنگدانه‌های به‌کاررفته در این بنا از رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز که بیشترین کاربرد را داشتند، نمونه‌برداری و آنالیزهای FTIR، SEM-EDS و OM انجام شد. نتایج حاصل از آزمایش‌ها مشخص کرد که رنگ‌های به‌کاررفته در این تزیینات از نوع مواد معدنی به همراه بست پروتئینی هستند و تکنیک به‌کاررفته، رنگ‌روغن است. رنگ طلایی به‌کاررفته در این نقوش ترکیبی از آلیاژهای مس و روی (برنج)، قرمز از نوع قرمز سرب یا سرنج ( $Pb_3O_4$ )، آبی از نوع آبی پروس ( $Fe_4(Fe[CN]_6)_3$ ) و رنگ سبز ترکیبی از آبی پروس به همراه سبز خاکی یا سیلو ( $K[(Al^{3+}, Fe^{3+}) (Fe^{2+}, Mg^{2+})](AlSi_3Si_4)O_{10}(OH)_2$ ) است؛ ضمن آنکه از سفید سرب ( $2PbCO_3 \cdot Pb(OH)_2$ ) برای ایجاد تونالیت‌های رنگی و روشن کردن رنگ‌ها استفاده شده است. در ترکیبات لایه بستر نیز هانتیت یا

[2] Shirazi. M and Mousavilar. M, Retrieval of identity in Qajar Era (case study: ceramics), *Negareh* 12(41), 2017, p 17-29. [in Persian].

[شیرازی ماه منیر، اشرف موسوی لر. بازیابی لایه‌های هویتی در هنر دوره قاجار مطالعه موردی روی کاشی‌های دوره قاجار، فصلنامه علمی نگره ۱۳۹۶،

- [3] Gholamzade Kalaei. A and Samanian. K, Structural analysis of materials and techniques of plinth ornaments of Safavid Era: A case study of Shah Abbas II mausoleum in Qom, journal of visual and applied arts 2018, 10(20), p 117-131 [in Persian].
- [4] Abbasi. J, Bahadori. R, Bozorgmehr. M.A, Beheshti. I and Bahrololoumi, F, Identification of materials and pigments used in mural painting of Rahim Abad historic garden & mansion in Birjand, journal of research on Archaeometry, volume 2(2) 2017, p 63-76. [in Persian].
- [5] Ashrafi, A, Westernization in Iranian Architecture "The Impact of Different Societies on Iranian Architecture from the Beginning to Contemporary", Isfahan: Gofte mane Andishe publication, 2016. [in Persian].
- [6] Memarian. GH, Static Iranian Architecture, first volume, Tehran: Naghmeh NoAndish publication, 2013. [in Persian].
- [7] Pirnia. M.K, Persian architecture, Edited by Gholam Hossein Memarian, Tehran: Soroush Danesh publication 2013 [in Persian].
- [8] Soltan Seyyed Rezakhan, Dar-al-saltaneh map of Isfahan, municipality of Isfahan, Isfahan City Renovation and improvements Organization 2013.[ in Persian].
- [9] Aerial map of Isfahan, municipality of Isfahan, Isfahan City Renovation and improvements Organization, Edited by authors 2016.[ in Persian].
- [10] Basiri, S, The comparative study of the constructional features of gilding decoration of Qajar period in Isfahan case study: the houses of Qodsiyye, Shahshahan and Haghighi, Negarineh Islamic Art, scientific research quarterly, , 2014, 2, p 52-69 [in Persian].
- [11] Bahadori. R, Tazimi. D and jahangardi. S, Identification on mural painting of Borojerdiha house in Kashan, Proceedings of the First symposium on Materials Science and conservation of Cultural and Historical artefacts, Tehran: research institute of cultural heritage & tourism, 2012, p 143-149 [in Persian].
- [12] Rahmani. Gh and Hosseini. M, Intention and its relation with colors used in royal Qajar mural painting, journal of research

- on Archaeometry, 2019, year 5(1), p 31-41[in Persian].
- [رحمانی، غلامرضا و مهدی حسینی. نیت‌مندی و ارتباط آن بارنگ‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های درباری قاجار، پژوهش باستان‌سنجی ۱۳۹۸، ۵(۱)، ۴۱ - ۳۱.]
- [13] Nikoei. Z and Samanian. K, Identification of green and red pigments used at mural painting of the Zandieh in Shiraz by instrumental methods, Journal of color science and technology, 2020, 14(1), p 49-61 [in Persian].
- [نیکویی، زهرا و کورس سامانیان. شناسایی رنگدانه‌های سبز و قرمز دیوارنگاره‌های دوره زند در شیراز با روش دستگاهی، نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ ۱۳۹۸، ۱۴(۱)، ص ۶۱-۴۹.]
- [14] Chaghmirzaye. R. Technology and pathology and conservation plan for mural paintings in Panj-Dari room of Sarem-all-dowleh house of Kermanshah, M.A Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Tehran. 2017. [in Persian].
- [چقامیرزایی، رؤیا. فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه راهکار حفاظتی برای نقاشی‌های دیواری اتاق پنج‌دردی در خانه صارم‌الدوله کرمانشاه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۵.]
- [15] Ghavami. F. Technical study of colorful paintings depicted in Ghatarbandies of eastern room of Shah-Neshin in Haghghi house in Isfahan, Master.s Thesis, Conservation of historical & cultural objects, Art University of Tehran 2015. [in Persian].
- [قوامی، فرشته. فن‌شناسی نقاشی‌های رنگی در قطار بندی‌های اتاق شرقی شاه‌نشین در خانه حقیقی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۳.]
- [16] Mardani, E. Conservation and Restoration of some part of the wall painting in the house of Akhavan-e-Haghghi in Isfahan, Bachelor Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Isfahan, 2007. [in Persian].
- [مردانی، الهه. حفظ و مرمت جزئی از دیوارنگاره خانه اخوان حقیقی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان ۱۳۸۶.]
- [17] Vatandoost, R and Bahadori, R. Identification of Compounds Used in a Wall Painting by Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy, Proceedings of the Conservation of Historical Cultural Center, Tehran, 1998, p 98-101. [in Persian].
- [وطن‌دوست، رسول و رؤیا بهادری. شناسایی اجزاء یک نقاشی دیواری به روش طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه FTIR. مجموعه مقالات پژوهش‌کنده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی (۱)، تهران: پژوهش‌کنده حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی ۱۳۷۷، ۱۰۱-۹۸.]
- [18] Ahmadi S, Shokouhi F, Oliaiy P, Lamehi-Rachti M, Rahighi J. Characterisation of the Wall Painting Pigments of Baghcheh Joogh Castle by PIXE. International Journal of PIXE. 2005;15(03n04):345-50.
- [19] Esmailian. F. Syrvey of Monochrome Mural Paintings Techniques of Bekhradys House, M.A Thesis, Conservation of historical & cultural objects, University of Art, Tehran; 2014. [in Persian].
- [اسماعیلیان، فاطمه. فن‌شناسی نقاشی‌های دیواری تک‌فام شاه‌نشین خانه بخردی اصفهان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت و احیای بافت‌های تاریخی، دانشگاه هنر تهران ۱۳۹۲.]
- [20] Samanian K, Abbasi Z, Kaldareh Ai. Archaeometrical Study of the Used Materials in Qajar Easel Painting Using XRD, XRF, PLM And FTIR Techniques: A Case Study Of " Egyptian Girl" Tablout. Mediterranean Archaeology & Archaeometry. 2013 Jul 1;13(2).
- [21] Firooznia. A and Samanian. K. Ingredients and techniques of an Qajar oil painting, Ganjine-ye asnad, historical research & archiveal studies quarterly, 2018, 28(1), p 152-174 [in Persian].
- [فیروزنیا، افسانه و کورس سامانیان. شناسایی مواد و رنگدانه‌های به‌کاررفته در تابلوی رنگ‌روغن دوره قاجار منسوب به ابوالقاسم اصفهانی. فصلنامه علمی پژوهشی گنجینه اسناد ۱۳۹۷، ۲۸(۱)، ص ۱۷۴-۱۵۲.]
- [22] Pakzad Z. Color Structure in the Persian Painting. Rev. Eur. Stud.. 2017;9:1.

- [23] Stuart, B. Analytical techniques in materials conservation, [Translate by Bagherzadeh Kasiri M.], Tabriz Islamic Art University Publications. 2014 [in Persian].
- [استوارت، باربارا. روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی، ترجمه مسعود باقرزاده کثیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی ۱۳۹۳.]
- [24] Siddall R. Mineral pigments in archaeology: their analysis and the range of available materials. *Minerals*. 2018 May;8(5):201.
- [25] Fitzhugh EW. Red lead and minium. In *Artists' pigments; A handbook of their history and characteristics* 1986 (Vol. 1, pp. 109-139).
- [26] Eastaugh N, Walsh V, Chaplin T, Siddall R. *Pigment compendium: a dictionary of historical pigments*. Routledge; 2007 Mar 30.
- [27] McBride C. A pigment particle & fiber atlas for paper conservators. *Graph ICS Conservation laboratory*. Getty trust postgraduate fellow 2002. P 1-86.
- [28] Zagora J. SEM-EDX pigment analysis and multi-analytical study of the ground and paint layers of Francesco Fedrigazzi's painting from Kostanje. In *CeROArt. Conservation, exposition, Restauration d'Objets d'Art* 2013 May 12 (No. EGG 3). Association CeROArt asbl.
- [29] Erhardt D. Paints based on drying oil media. *Painted Wood: History and Conservation*, The Getty Conservation Institute, Los Angeles. 1998 Aug 27:17-32.
- [30] Holakooei P, Karimy AH. Micro-Raman spectroscopy and X-ray fluorescence spectrometry on the characterization of the Persian pigments used in the pre-seventeenth century wall paintings of Masjid-i Jāme of Abarqū, central Iran. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*. 2015 Jan 5;134:419-27.
- [31] Ospitali F, Bersani D, Di Lonardo G, Lottici PP. 'Green earths': vibrational and elemental characterization of glauconites, celadonites and historical pigments. *Journal of Raman Spectroscopy: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering*. 2008 Aug;39(8):1066-73.
- [32] Feller RL. *Artist's pigments: a handbook of their history and characteristics*. Vol. 1. 1986.
- [33] Gražėnaitė E, Kiuberis J, Beganskienė A, Senvaitienė J, Kareiva A. XRD and FTIR characterisation of historical green pigments and their lead-based glazes. *Chemija*. 2014 Dec 1;25(4):199-205.