

## Identification of Materials and Pigments Used in Mural Painting of Rahim Abad Historic Garden & Mansion in Birjand

Javad Abbasi<sup>\*1</sup>, Roya Bahadori<sup>2</sup>, Mohammad Ali Bozorgmehr<sup>3</sup>, Seyyed Iraj Beheshti<sup>4</sup>,  
Faranak Bahrololoumi<sup>5</sup>

<sup>1</sup>PhD candidate in conservation of cultural-historical objects, Tehran University of Art, Tehran, IRAN

<sup>2</sup> Faculty member of Research Center for Conservation of Cultural Relics, Research Institute for Cultural Heritage & Tourism, Tehran, IRAN

<sup>3</sup>Expert of Southern Khorasan General Administration of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism, Birjand, IRAN

<sup>4,5</sup>Expert of Research Center for Conservation of Cultural Relics, Research Institute for Cultural Heritage & Tourism, Tehran, IRAN

### Abstract

This paper presents the results of the identification of the binder and pigments used in the mural paintings in Rahim Abad Historic Garden and Mansion in Birjand. Birjand was one of the most important governmental strategic cities in Qajar era (1789–1925 A.D.), and an important branch area of ancient Silk Road, which connected India to Europe. Many monuments, especially historical gardens have been remained in Birjand. Rahim Abad Historic Garden and Mansion is one of this gardens, which in the period of Amir Ismail Khan Shaukat Molk, was the location of Qaenat ruler to consider politics, businesses and accommodating foreign guests. The most important part in the Architectural decoration of Rahim Abad Historic Garden and Mansion is mirror-encrusted decorations, stucco and wall paintings. Due to diversity in building decorations and multiplicity of constructing periods in Rahim Abad Historic Garden and Mansion, identification of pigments and materials used in wall paintings is of a great evidential assistance in extracting chronological information. Wall painting is one of the Iran arts that based on the signs of old paint can be pursued to pre-history. One of the most important issues in the study of historical paintings, especially wall painting, is the identification of the nature of paintings used to decorate the walls. Pigments identification is also important not only from the perspective of archeology, but also in terms of the history of art and knowledge of degradation processes and the development of monument conservation strategies is also important. Scanning electron microscopy in combination with energy dispersive X-ray microanalysis (SEM-EDX), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Polarized light microscopy (PLM), X-ray diffraction (XRD) and handheld X-Ray Florescence spectroscopy (micro-XRF) were used for the characterization of the compound and structure of the paint layers of samples taken from mural paintings. In fact, chemical and physical analysis, provides useful information from spectrum of pigments in a region and recognizing color preparation techniques and its application. Also before proceeding restoration, the accurate information from the chemical composition of materials used in object is required. According to the obtained results, mixture of gypsum and calcite as a substrate layer, red lead ( $Pb_3O_4$ ), mixture of malachite ( $CuCO_3.Cu(OH)_2$ ) and Prussian blue ( $Fe_4(Fe[CN]_6)_3$ ), ultramarine ( $Na_{8-10}Al_6Si_6O_{24}S_{2-4}$ ), and mixture of two metals, copper and zinc, as the pigments were used. Also, an adhesive like animal glue was that of common materials in Qajar period, as well as used to substrate color. Such pigments are further evidence

\* Corresponding author: javad\_abbasi1991@yahoo.com

## JOURNAL OF RESEARCH ON ARCHAEOOMETRY

that the mural painting of this monument are from the late Qajar. Oil was used as binder or varnish in this painting and there is in all of the samples. One of the interesting points of the materials used in the paintings was the application of a mixture of pigments to create colors with different tonalities. Another point is the use of imported pigments such as Prussian blue, along with other traditional pigments that were common in of that era. Also, the microscopic examination of golden color indicates the presence of chalcopyrite in this pigment. These compounds exist due to the corrosion of copper metal in golden color, and usually appear in golden colors obtained from two metals alloy, such as copper and zinc, by creating green color in a golden background.

**Keywords:** Pigment, Mural Painting, Rahim Abad Historic Garden and Mansion, Birjand, SEM-EDX, FTIR, PLM, XRD, Micro-XRF.



## شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کار رفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند

جواد عباسی<sup>۱\*</sup>، رویا بهادری<sup>۲</sup>، محمد علی بزرگمهر<sup>۳</sup>، سید ایرج بهشتی<sup>۴</sup>، فرانک بحرالعلمی<sup>۵</sup>

۱. دانشجوی دکتری رشته مرمت اشیای فرهنگی، تاریخی، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران

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

۳. اداره کل میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری خراسان جنوبی، بیرجند، ایران

۴ و ۵. پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، تهران، ایران

### چکیده

در این مقاله نتایج مربوط به شناسایی لایه تدارکاتی و رنگدانه‌های به کار رفته در نقاشی‌های دیواری باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند ارائه شده است. بیرجند از مهم‌ترین شهرهای راهبردی حکومتی در دوره قاجار و یکی از لنگرگاه‌های مهم شعبه‌ای از جاده تاریخی ابریشم است که هند را به اروپا ارتباط می‌داده است. به همین دلیل آثار زیادی از این دوره به خصوص باغ‌های تاریخی در بیرجند به جای مانده است که یکی از آن‌ها باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد است. تزئینات معماری کوشک باغ رحیم‌آباد آینه‌کاری، گچ‌بری و نقاشی دیواری است. با توجه به تنوع تزئینات معماری و تعدد دوره‌های ساخت‌وساز در عمارت رحیم‌آباد شناخت رنگدانه‌های به کار رفته در دیوارنگاره‌های این اثر تاریخی تأثیر مهمی در شناخت و دوره‌بندی (کرونولوژی) آن دارد. در این مقاله از روش‌های دستگاهی مثل XRD، PLM، FTIR، SEM-EDX و XRF پرتابل برای شناسایی عنصری و ترکیبی مواد تشکیل‌دهنده رنگ‌ها و بستر نقاشی‌ها استفاده شده است. در واقع، تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی، اطلاعات مفیدی از طیف رنگدانه‌های موجود در یک منطقه و شناخت تکنیک‌های آماده‌سازی رنگ و کاربرد آن ارائه می‌دهد. طبق نتایج به‌دست‌آمده، برای لایه بستر از مخلوط کلسیم سولفات (گچ) و کلسیم کربنات (گل سفید)، برای رنگ قرمز از قرمز سرب یا سرنج، برای رنگ سبز از مخلوط مالاکیت و آبی پروس، برای رنگ آبی از لاجورد به همراه ترکیبات آهن و مس و برای رنگ طلایی از مخلوط دو فلز مس و روی استفاده شده است. روغن به‌عنوان لایه‌ی بوم‌کننده در زیر لایه رنگ استفاده شده است. وجود روغن علاوه بر لایه تدارکاتی در نقاشی‌ها نیز وجود دارد که نشان‌دهنده استفاده از آن به‌عنوان بستر رنگ یا ورنی در این نقاشی است. مواد مورد استفاده در این نقاشی از مواد متداول در دوره قاجار هستند و مواد شناسایی شده هیچ مغایرتی با دوره تاریخی اثر ندارند. یکی از نکات قابل توجه در مواد بکار رفته در این نقاشی کاربرد مخلوط رنگدانه‌ها برای ایجاد رنگ‌هایی با تونالیته‌های متفاوت است. نکته دیگر استفاده از رنگدانه‌های وارداتی چون آبی پروس در کنار سایر رنگدانه‌های سنتی آن دوران است. همچنین بررسی میکروسکوپی رنگ طلایی نشان‌دهنده وجود کالکوپیریت در آن است. وجود این ترکیب به دلیل خوردگی فلز مس در رنگ طلایی است و معمولاً در رنگ‌های طلایی حاصل از آلیاژ دو فلز مس و روی با ایجاد رنگ سبز در سطح رنگ طلایی نمایان می‌شود.

**کلمات کلیدی:** رنگدانه، نقاشی دیواری، باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد، بیرجند، SEM-EDX، FTIR، PLM، XRD، XRF-micro.

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

پست الکترونیکی: javad\_abbasi1991@yahoo.com

## ۱. مقدمه

نقاشی دیواری از جمله هنرهای ایران است که بر اساس نشانه‌های وجود رنگ بر بقایای معماری از هزاره سوم پ. م (Harandi et al., 2016; Vatandoost et al., 2013) تا نگاره‌های به‌جامانده در کوه خواجه سیستان (Batter, 2010) قدمت آن را می‌توان تا دوران پیش‌ازتاریخ پیگیری کرد. یکی از مهم‌ترین مسائل در مطالعه نقاشی‌های تاریخی، به‌خصوص نقاشی دیواری، شناخت ماهیت رنگدانه‌های مورد استفاده در نقاشی‌ها برای تزیین دیوارهاست. شناسایی رنگدانه‌ها نه تنها از دیدگاه باستان‌شناسی، بلکه از نظر تاریخ هنر و شناخت فرآیندهای تخریب و توسعه‌ی روش‌های حفاظتی آثار تاریخی نیز حائز اهمیت است (Josa et al., 2010). به‌طور کلی دو دلیل اصلی برای مرمتگران و حفاظتگران در ارتباط با شناسایی رنگدانه‌ها وجود دارد. اول این‌که اطمینان حاصل شود که رنگدانه‌ای که قرار است جایگزین شود، واکنش مناسبی با رنگدانه‌ی اصلی داشته باشد و موجب تهدید جلوه‌های بصری آن نشود. دوم این‌که هرگونه تخریب رنگدانه، شناسایی شده و روش‌های درمان مناسب با آن در نظر گرفته شود (Clark, 2002). در واقع، تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی، اطلاعات مفیدی از طیف رنگدانه‌های موجود و ترکیب شیمیایی آن‌ها ارائه می‌دهد. از طرفی مرمتگران قبل از اقدامات مرمتی به اطلاعات دقیقی از ترکیب شیمیایی مواد به کار رفته در یک اثر نیاز دارند (Zeng et al., 2010). باغ و عمارت رحیم‌آباد از بناهای دوره قاجار در بیرجند است که در سال ۱۳۷۹ شمسی با شماره ثبت ۲۷۰۷ به‌عنوان یکی از آثار ملی ایران به ثبت رسیده است. امروزه بخشی از این باغ و عمارت به‌عنوان مرکز آموزش هنرهای سنتی اداره کل میراث فرهنگی و گردشگری خراسان جنوبی استفاده می‌شود. آینه‌کاری، گچ‌بری و نقاشی دیواری از جمله مهم‌ترین تزیینات معماری باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد است. با توجه به اینکه پروژه‌ی عملیات مرمت نقاشی‌های دیواری این بنا در جریان بود، هدف از مطالعه حاضر، مطالعه‌ی بستر رنگ و پنج رنگدانه‌ی موجود در نقاشی‌های دیواری این بنا است. نتایج این مطالعات می‌تواند فرایندهای فرسایش در بستر، بست و

رنگدانه‌های به‌کاررفته در آن را روشن سازد. از طرفی با توجه به تنوع تزیینات معماری و تعدد دوره‌های ساخت‌وساز در عمارت رحیم‌آباد، شناخت رنگدانه‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های این اثر تاریخی تأثیر مهمی در گاهنگاری آن دارد.

## ۲. پیشینه تحقیق

مهم‌ترین روش‌هایی که برای شناسایی رنگدانه‌ها بکار رفته شامل میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به پراکنده‌انرژی (EDS)، پراش اشعه ایکس (XRD)، فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و طیف‌سنجی زیر قرمز تبدیل فوریه (FTIR) است (Darwish, 2013; Franquelo Mazzocchin et al., 2003; et al., 2009). که در این میان روش‌های مبتنی بر اشعه ایکس کاربرد بیشتری دارد (Aloupi et al., 2000). اما روش‌های دیگری همچون رامان (Clark, 2002; Bruder et al., 2007; Vandenabeele et al., 2005; Irazola et al., 2012; و میکرو رامان (Bicchieri et al., 2001) نیز استفاده شده است. بسیاری از این روش‌ها غیر مخرب و قادر به ارائه نتایج مفیدی برای توصیف رنگدانه‌ها هستند.

درباره مواد به‌کاررفته در نقاشی‌های دیواری دوره‌ی قاجار پژوهش‌های اندکی انجام شده است. نقاشی‌های دوره قاجار در اغلب منابع علمی از دیدگاه تاریخی، نمود هنری، مضامین و منظر زیبایی‌شناسی مدنظر قرار گرفته‌اند (Azhand, 2006; Diba, 1989; Floor, 1999). شیلا کنبی (Canby, 1993) در کتاب خود درباره نقاشی ایرانی منشأ رنگ‌های ایرانی را گیاهی، حیوانی و معدنی ذکر می‌کند. وی بدون ذکر منبع، فهرستی از کانی‌های مورد استفاده نگارگران ایرانی را شامل طلا، نقره، سنگ لاجورد، سنگرف، زرنیخ، سنگ مرمر، سرنج، سفیداب سرب و اکسید آهن ارائه داده است. پورتر (Porter, 2014) نیز در بررسی دیوارنگاره‌ها و سفالینه‌ها و شباهت آن‌ها با آرایه‌های نسخ خطی، معتقد است که «رنگمایه‌ها و عوامل پیونددهنده به‌کاررفته در دیوارنگاره‌ها و نسخ خطی یکسان است» پورتر بر همین اساس و با استناد به متون فارسی پس از دوره صفوی، موادی همچون سنگرف،

زنگار، طلا، لاجورد و زرنیخ را برای دیوارنگاری نام می‌برد. بازیل گری و پورتر (Porter, 2014; Gray, 1979) با استناد به رساله‌های دوره صفویه و قاجار اثبات می‌کنند که برخی نقاشان نسخ خطی به دیوارنگاری نیز می‌پرداختند. همچنین عباسی (Abbasi, 2012) در پایان‌نامه خود با استناد به آنالیزهای دستگاهی به این موضوع اشاره کرده است که در دوره قاجار بسیاری از رنگدانه‌های مورد استفاده هنرمندان در دو نوع نقاشی دیواری و سه پایه‌ای با هم مشترک بوده است. وطن‌دوست و همکاران با استناد به رساله‌های دوره قاجار، رنگ‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری این دوره را برگرفته از موادی مانند سفیدآب شیخ، لاجورد، آزوریت، آبی خرد، شیشه (اسمالت)، سبز مس یا زنگار، مالاکیت، سنگرف، اخراها (زرد، قهوه‌ای، قرمز، ماشی)، زرنیخ، ورق نقره و طلا و رنگ‌های آلی شامل قرمز دانه و نیل ذکر کرده‌اند (Varandoost et al., 2013). باید توجه داشت که به دلیل افزایش تجارت با اروپا، رنگدانه‌های مصنوعی که در قرون ۱۸ و ۱۹ میلادی ساخته شده‌اند به‌وفور در دیوارنگاره‌های دوره قاجار مورد استفاده قرار گرفته‌اند. برای مثال وطن‌دوست و بهادری (Varandoost & Bahadory, 1998) در شناسایی ترکیبات به کاررفته در نقاشی دیواری کاخ گلستان با استفاده از روش FTIR، علاوه بر رنگ‌هایی که در دوره‌های پیشین نیز به کار می‌رفت موفق به شناسایی آبی پروس شدند که ماده‌ای وارداتی بود. همچنین احمدی و همکاران (Ahmadi et al., 2005) در بررسی نقاشی‌های دیواری عمارت باغچه جوق در ماکو، شانزده نمونه رنگدانه از قسمت‌های مختلف بنا را با روش پیکسی (PIXE) بررسی کرده‌اند. در این بنا از ورق مس به‌عنوان رنگ طلایی، از ترکیب کروم و اخرا به‌عنوان رنگدانه زرد، از ترکیب زرد زرنیخ و اخرا برای ساخت رنگ کروم، از ترکیب سبز سیلو و مالاکیت برای رنگ سبز آبی و از ترکیب اولترامارین و آبی پروس هم به‌عنوان رنگ آبی استفاده شده است. در تحقیقی دیگر اسماعیلیان (Ismailian, 2013) در مطالعه مربوط به رنگدانه‌های نقاشی‌های دیواری تک‌فام شاه‌نشین خانه بخردی اصفهان (مربوط به دوره قاجار) با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM)، FTIR، XRD

موفق به شناسایی آبی لاجورد، سفید سرب و گل‌سفید گردید. همچنین قوامی (Ghavami, 2013) در بررسی نقاشی‌های دیواری خانه اخوان حقیقی که از بناهای دوره قاجار در اصفهان است با استفاده از FTIR، XRF، XRD رنگدانه‌های سفید کربنات کلسیم، آبی پروس، سبز مالاکیت و قرمز سرنج را تشخیص داده است.

### ۳. مواد و روش‌ها

در این پژوهش برای رسیدن به اهداف از روش تجربی (Empirical) و تحلیلی بهره گرفته شده است. روش گردآوری اطلاعات در این پژوهش؛ مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی است و از آنالیزهای دستگاهی شامل SEM، FTIR و غیره، به‌عنوان ابزار گردآوری اطلاعات استفاده شده است. برای آنالیز عنصری رنگدانه‌های قرمز، سبز و آبی از دستگاه SEM-EDS استفاده شد. دستگاه مورد استفاده در این آنالیزها TESCAN ساخت جمهوری چک، مجهز به دستگاه آنالیز عنصری RONTEC بود.

برای شناسایی مواد آلی و برخی از رنگدانه‌های معدنی از دستگاه FTIR استفاده شد. دستگاه مورد استفاده BRUCKER مدل Tensor 27 ساخت آلمان بود. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، چند میلی‌گرم از نمونه با حدود ۲۰ برابر نمک پتاسیم برمید (KBr) در یک هاون عقیق ساییده شد و سپس تحت خلأ تبدیل به قرص شفاف با ضخامت ۱mm شد. طیف‌ها در ناحیه  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  با ۳۲ بار اسکن و قدرت تفکیک  $4\text{ cm}^{-1}$  در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند. در مطالعه رنگدانه‌های معدنی به دلیل داشتن عناصر فلزی به‌عنوان ترکیب اصلی و دیگر خصوصیات کانی‌های فلزی لازم است که نمونه هم‌زمان در چند نور مختلف مطالعه شود.

در ادامه رنگ‌ها به‌وسیله میکروسکوپ نوری پلاریزان BK-POLT ساخت شرکت James Swift انگلیس با بزرگنمایی ۱۰۰ تا ۴۰۰ برابر، بررسی شدند. برای آماده‌سازی نمونه‌ها جهت عکاسی، رنگ‌ها بعد از پودر شدن، بین لام و لامل قرار گرفتند و با سه روش نوری متقاطع، انعکاسی و پلاریزان از سطح رنگ‌ها عکاسی شد. برای بررسی و شناسایی ترکیبات به کاررفته در نمونه‌های بستر و رنگدانه‌ها، نمونه‌ها پس از این‌که

اولیه باغ احتمالاً به دوره زندیه یا اوایل قاجاریه برمی‌گردد. اما اهمیت تاریخی این باغ در اواخر دوره ناصرالدین شاه و دوره مظفرالدین شاه بیشتر می‌شود. در این دوره باغ را امیر اسماعیل خان خزیمه (شوکت الملک اول) از پدرش امیر علم خان سوم (حشمت الملک اول) خریداری و بخش‌هایی به آن اضافه کرده و از آن به‌عنوان اقامتگاه اصلی و حاکم‌نشین خود در بیرجند به‌عنوان مرکز ایالت قیانات استفاده می‌کند (Ayati, 1992; Mojtahed-Zadeh, 2004; Yate, 1900). این مجموعه علاوه بر این به دلیل اتفاقاتی که در آن افتاده، در تاریخ منطقه تأثیرگذار بوده است (Ayati, 2012). در تزیینات معماری باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد آنچه بیش از همه حائز اهمیت است آینه‌کاری، گچ‌بری و نقاشی دیواری است.

در این تحقیق دو تالار از عمارت تاریخی رحیم‌آباد که دارای نقاشی دیواری بودند مورد بررسی قرار گرفتند. از بستر نقاشی و رنگ‌های طلایی، قرمز، آبی و سبز به‌کاررفته نمونه‌برداری شد. با توجه به اینکه تمام رنگ‌ها در دو تالار کاملاً از نظر بصری شبیه بودند و فقط رنگ‌های قرمز تا حدودی متفاوت بود، بنابراین از رنگ قرمز مورد استفاده در تالار دوم نیز نمونه‌برداری شد. برای

به‌صورت پودر ریز درآمدند با دستگاه پراش پرتوایکس آنالیز شدند. نمونه‌ها با دستگاه پراش سنج پرتوایکس از نوع پودری مدل T2T متعلق به شرکت SIEFERT ساخت آلمان و در شدت جریان ۳۰ mA و ولتاژ ۴۰ kV آنالیز شدند. اطلاعات مربوط به شناسایی فازهای بلوری بر اساس بانک اطلاعاتی PDF2 با نرم‌افزار High Score Expert Plus به دست آمدند. برای شناسایی عنصری نمونه‌ها از XRF پرتابل غیرتخریبی S<sub>1</sub> TRACER مدل BRUKER ساخت آلمان استفاده شد. از این آنالیز جهت تجزیه‌ی عنصری رنگ طلایی استفاده شد. در این روش هیچ‌گونه نمونه‌برداری صورت نمی‌گیرد.

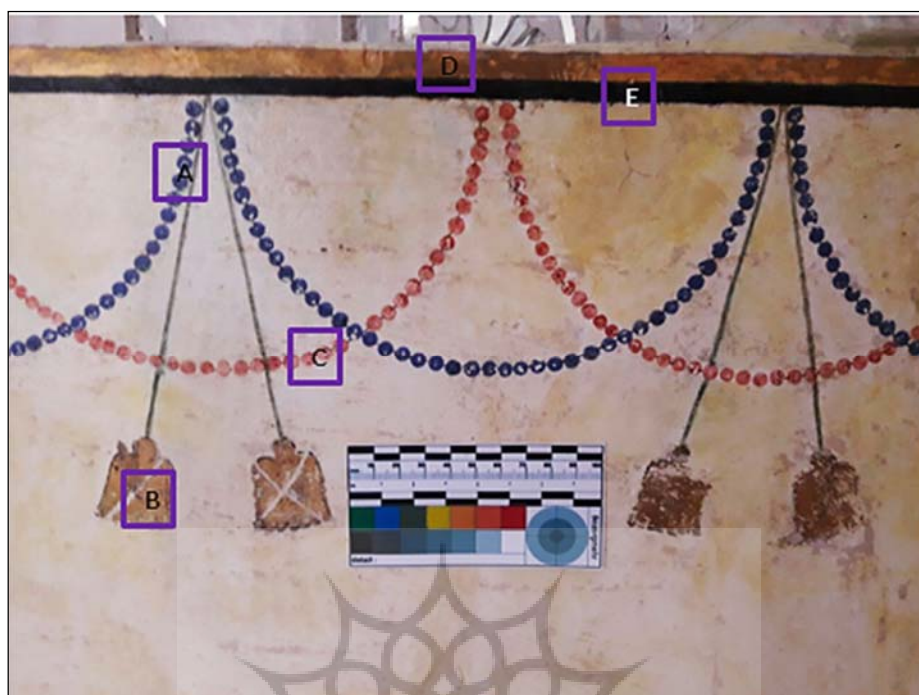
#### ۴. معرفی بنا

مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد در گذشته با خانه‌های رعیتی حاشیه روستای رحیم‌آباد را تشکیل می‌داده است که اکنون با گسترش شهر بیرجند با بافت شهری جدید احاطه شده است. در منابع تاریخی قاجاری این روستا به نام کلاته عابدی یا عابدین نامیده شده (Mojtahed-Zadeh, 2004; Yate, 1900) ولی اکنون به‌عنوان رحیم‌آباد شناخته می‌شود (شکل ۱-۱ Fig. 1). بنیان



شکل ۱: باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند

Fig. 1: Rahim Abad Historic Garden & Mansion in Birjand



شکل ۲: نمایی از رنگ‌های به کاررفته در نقاشی دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند (عکس از جبهه شرقی تالار); A: رنگ آبی، B: طلایی لاله پایین، C: قرمز، D: طلایی حاشیه، E: سبز

Fig. 2: A view of the colors used in Rahim Abad Historic Garden & Mansion in Birjand wall paintings (Photo from the eastern side of Hall); A: blue, B: Golden Tulip Low, C: red, D: Golden margins, E: Green

همچنین به منظور بررسی و شناسایی مواد معدنی و آلی به کاررفته در زیر لایه رنگ از این نمونه طیف FTIR گرفته شد. وجود گچ با نوارهای  $3405 \text{ cm}^{-1}$  (مربوط به ارتعاشات کششی نامتقارن پیوند O-H) ارتعاش کششی تیز (شارپ) در ناحیه  $1621 \text{ cm}^{-1}$  (احتمالاً مربوط به پیوند هیدروکسیل موجود در ساختار شیمیایی  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ )، همچنین نوارهای ارتعاشی  $1115 \text{ cm}^{-1}$  و  $1142 \text{ cm}^{-1}$  (متعلق به ارتعاشات کششی نامتقارن پیوند S=O)، نواحی خمشی در  $600 \text{ cm}^{-1}$  تا  $700 \text{ cm}^{-1}$  (به عنوان یک منطقه ثانویه از اثر انگشت برای نمونه کلسیم سولفات و نیز متأثر از حضور پیوند S-O) ثابت شد. همچنین در طیف FTIR وجود نوارهای ناحیه  $\text{cm}^{-1}$   $1420$  و  $874$  و  $712$  نشان دهنده وجود کلسیم کربنات و نوارهای  $1531 \text{ cm}^{-1}$  و  $2852 \text{ cm}^{-1}$  و  $2924$  نشان دهنده یک ماده‌ی آلی پروتئینی است که معمولاً در زیر لایه رنگ به عنوان بوم کننده بکار می‌رفته است. علاوه بر این وجود نوار جذبی  $1740 \text{ cm}^{-1}$  وجود روغن را نیز نشان می‌دهد. طیف FTIR لایه تدارکاتی در

نمونه برداری تا جایی که امکان داشت لایه رنگ از بستر زیر آن جدا شد، به طوری که نمونه‌ها شامل رنگ و لایه نازک زیر آن (لایه بوم کننده) بود. موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در شکل ۲ مشخص شده است.

## ۵. نتایج و بحث در یافته‌ها

در این بخش از مقاله نتایج حاصل از شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری عمارت تاریخی رحیم‌آباد، در قالب تصاویر، جدول و نمودار ارائه و تحلیل می‌شود.

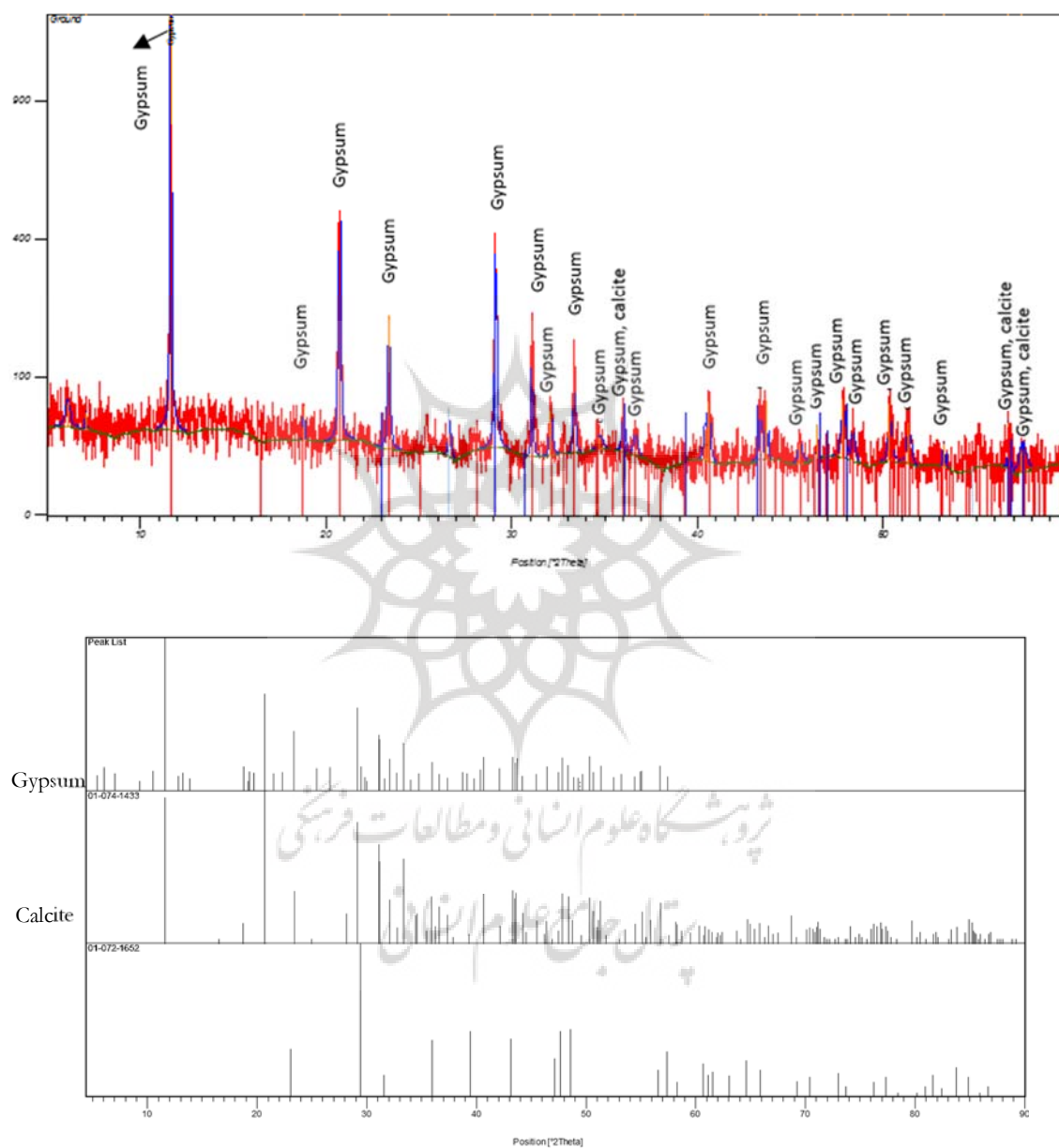
### ۵-۱. شناسایی لایه‌ی بستر و ماده بوم کننده

#### (لایه‌ی زیر رنگ) به روش XRD و FTIR

جهت بررسی و شناسایی لایه‌ی بستر، پس از تراشیدن رنگ از سطح بستر، از آن طیف XRD گرفته شد. در نتایج این آنالیز بیشترین پیک‌ها مربوط به کلسیم سولفات دو آب ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) یا گچ و پیک‌های کمتری مربوط به کلسیم کربنات ( $\text{CaCO}_3$ ) مشاهده شد (شکل ۳-۳ Fig.).

نتایج از مخلوط گچ و گل سفید (کلسیم کربنات) که یک ترکیب کربناتی و حاوی کانی کلسیت است، به‌عنوان لایه بستر استفاده شده است (جدول ۱-1 Table 1).

شکل ۴ آمده است. گل سفید هم می‌تواند به‌عنوان پرکننده به ماده بوم‌کننده اضافه شده باشد و هم می‌تواند در ترکیب با گچ به‌عنوان لایه‌ی بستر استفاده شده باشد. با توجه به



شکل ۳: طیف XRD لایه تدارکاتی به کار رفته در زیر لایه رنگ و مقایسه آن با طیف‌های مرجع

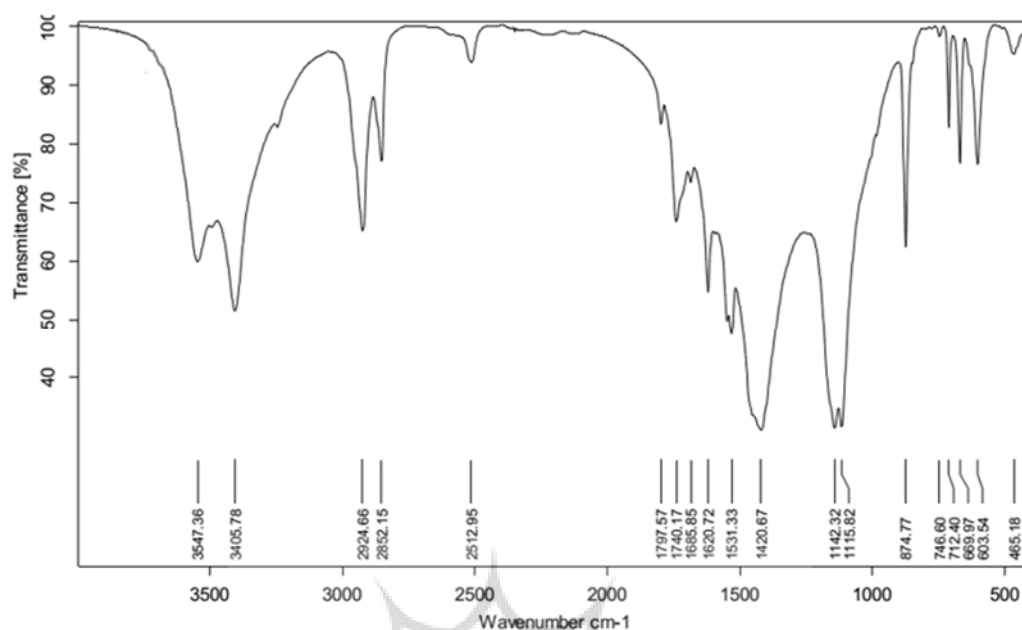
Fig. 3: XRD spectra of substrate layer and comparison with reference spectra

جدول ۱: ترکیبات شناسایی شده در لایه تدارکاتی با XRD

Table 1: compounds identify of substrate layer with XRD

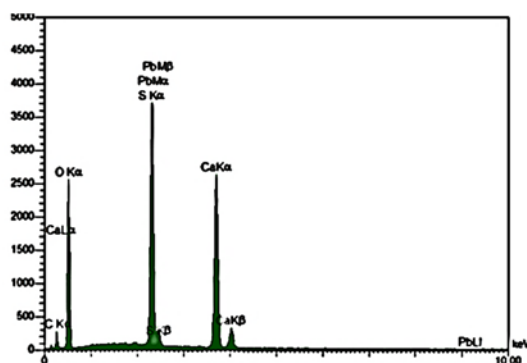
Ref. Code	Score	ترکیب شیمیایی Compound Name	فرمول شیمیایی Chemical Formula
01-074-1433	59	Gypsum	$\text{Ca}(\text{SO}_4) (\text{H}_2\text{O})_2$
01-072-1652	22	Calcite	$\text{CaCO}_3$





شکل ۴: طیف FTIR لایه‌ی تدارکاتی  
Fig. 4: FTIR spectrum of substrate layer

دوران باستان تا به امروز مورد استفاده بوده و از اولین رنگدانه‌هایی است که به صورت مصنوعی تولید شده است (Eastaugh et al., 2012, p. 235; McBride, 2002). سرنج از رنگدانه‌های قدیمی است و شاید بتوان گفت که قدمت آن برابر قدمت سرب است (McBride, 2002). این رنگدانه در بسیاری از نقاشی‌های دوره قاجار از جمله نقاشی‌های روی چوب خانه بیرجندی‌های بروجرد (Bahadori & Bahrololoomi, 2015)، نقاشی‌های سقف چوبی خانه تاریخی شفیع اردکانی در شیراز (Bahadori & Ahmadi, 2012) و نقاشی پشت شیشه خانه رشوند قزوین (Mozaffari et al., 2010) بکار رفته است.

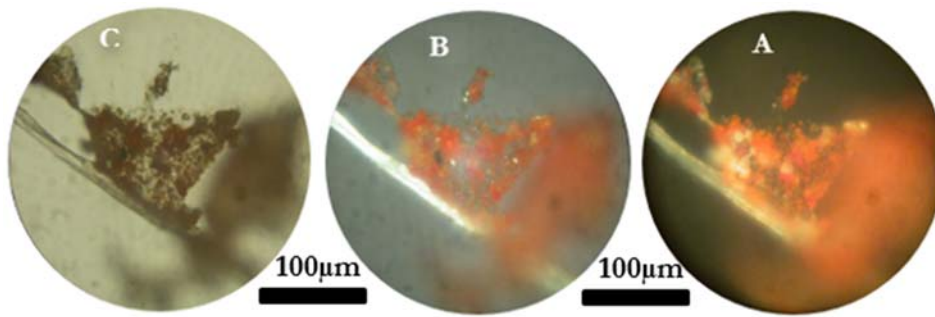


شکل ۵: طیف EDX رنگ قرمز  
Fig. 5: EDX spectrum of red color

## ۲-۵. شناسایی رنگ قرمز به روش آنالیز عنصری EDX

آنالیز عنصری EDX وجود سه عنصر کلسیم، گوگرد و سرب را نشان داد (جدول ۲-۲ Table و شکل ۵- Fig. ۵). وجود کلسیم و گوگرد به علت حضور گچ در لایه زیر رنگ و وجود سرب به علت کاربرد ترکیبات سرب در رنگ قرمز است. به منظور شناسایی نوع ترکیب به کاررفته در رنگ قرمز بررسی‌های میکروسکوپی صورت گرفت. نتایج بررسی‌های میکروسکوپی وجود قرمز سرب یا سرنج ( $Pb_3O_4$ ) را اثبات کرد. این رنگ در نور پلاریزان همگن و به رنگ قرمز تا قرمز تیره، و در نور انعکاسی کمی به رنگ نارنجی دیده می‌شود. ذرات آن در نور عبوری شفاف و نارنجی-قرمز دیده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی رنگ قرمز که با طول میدان دید 0.375mm گرفته شده، در شکل ۶ آورده شده است. رنگ قرمز بکار رفته در هردو تالار سرنج بود و نتایج آنالیز آن‌ها یکسان بود. آنالیز XRD رنگ قرمز فقط وجود گچ را نشان داد و به علت کم بودن مقدار رنگ نتوانست رنگ را شناسایی کند.

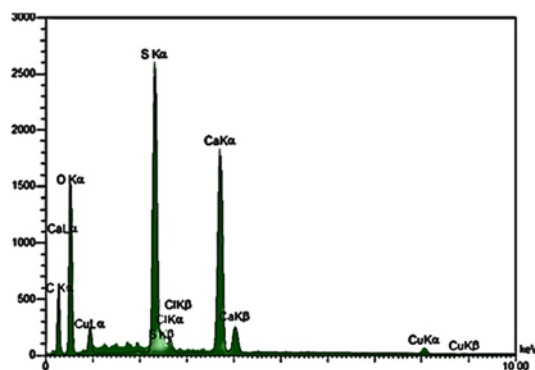
نام شیمیایی سرنج تتراکسید سرب است و گردی به رنگ قرمز روشن یا قرمز نارنجی است. قرمز سرب از



شکل ۶: تصاویر میکروسکوپی رنگ قرمز در نور A: پلاریزان، B: انعکاسی، C: عبوری

Fig. 6: Red Microscopic Images in the Light: A: Polarizing, B: Reflection C: Transmission

مالاکیت از دوران باستان مورد استفاده بوده و به‌عنوان یک کانی معدنی شناخته شده است (Harley, 2001). شاید بتوان گفت یکی از قدیم‌ترین رنگدانه سبز روشن شناخته شده است که ترکیب آن کربنات مس بازی طبیعی (معدنی) است. مالاکیت بلوری (منوکلینیک) است و خواص میکروسکوپی تقریباً مشخصی دارد و در بسیاری از نقاشی‌های قدیمی این ماده سالم باقی‌مانده است (Mcbride, 2002). آبی پروس یک رنگدانه سنتزی است که اولین بار در ۱۷۰۴ م. (۱۱۱۵ ش/۱۰۸۲ ق) تهیه شده است (Riederer et al., 1997). این رنگدانه در دوره قاجاریه در ایران بسیار کاربرد داشته و در بسیاری از نقاشی‌های دیواری، نقاشی‌های روی بوم و حتی نقاشی‌های روی کاغذ به‌کاررفته است (Alizadeh, 2012). نقاشی‌های روی چوب خانه بیرجندی‌ها (Bahadori & Bahrololoomi, 2015) و نقاشی دیواری کاخ نگارستان تهران (Bahadori & Ahmadi, 2012) دو نمونه از کاربردهای این رنگ در نقاشی‌های دوره قاجار است.



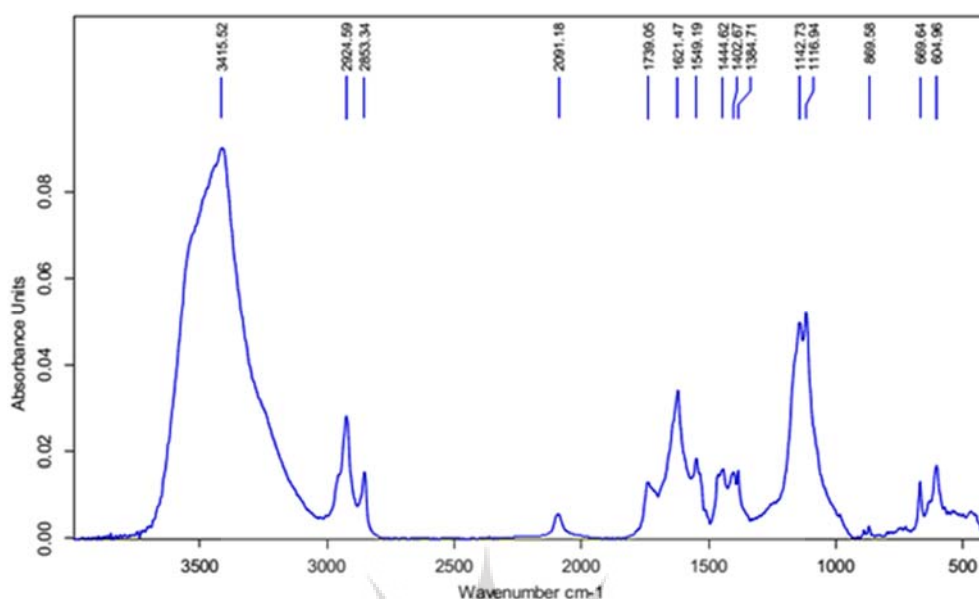
شکل ۷: طیف EDX رنگ سبز

Fig. 7: EDX spectrum of green color

### ۳-۵. شناسایی رنگ سبز به روش آنالیز

#### عنصری EDX

برای شناسایی رنگ سبز با توجه به مقدار بسیار کم نمونه، ابتدا از آنالیز EDX استفاده شد که نشان‌دهنده عناصر S, Ca, Cl و Cu بود. وجود S و Ca به علت وجود گچ و عنصر Cu بیانگر احتمال استفاده از ترکیبات مس است (جدول ۲-۲ و شکل ۷-۷ Fig). برای شناسایی نوع ترکیب از آنالیز FTIR استفاده شد، که با توجه به وجود نوارهای جذبی در ناحیه  $869 \text{ cm}^{-1}$  و  $1444 \text{ cm}^{-1}$  حضور کربنات در نمونه تأیید شد. بنابراین ترکیب به‌کاررفته مالاکیت یا کربنات بازی مس با فرمول شیمیایی  $\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCO}_3$  تشخیص داده شد. نوارهای جذبی  $604 \text{ cm}^{-1}$ ،  $669 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1116 \text{ cm}^{-1}$ ،  $1142 \text{ cm}^{-1}$  و  $1621 \text{ cm}^{-1}$  وجود گچ را نشان داد. نوار جذبی کوچک ناحیه  $2091 \text{ cm}^{-1}$  نیز به علت وجود آبی پروس با فرمول شیمیایی  $\text{Fe}_4(\text{Fe}[\text{CN}]_6)_3$  اشاره دارد و احتمالاً برای ایجاد یک رنگ سبز-آبی استفاده شده است. علاوه بر این در این طیف نوارهای جذبی  $1739 \text{ cm}^{-1}$ ،  $2853 \text{ cm}^{-1}$  و  $2924 \text{ cm}^{-1}$  به علت وجود روغن است که به‌عنوان بست رنگ یا ورنی به‌کاررفته است (شکل ۸-۸ Fig). همچنین تصاویر گرفته شده با میکروسکوپ پلاریزان در نورهای مختلف نیز مؤید این موضوع است که از مالاکیت به‌عنوان رنگدانه سبز استفاده شده است. مالاکیت دارای رنگ سبز کم رنگ تا سبز تیره است. ایزوتروپ بوده و در نور انعکاسی به رنگ سبز دیده می‌شود (Eastough et al., 2008, p. 595). تصاویر میکروسکوپی رنگ سبز که با طول میدان دید  $0.375 \text{ mm}$  گرفته شده است، در شکل ۹ آورده شده است.



شکل ۸: طیف FTIR رنگ سبز که وجود کربنات، آبی پروس، روغن و گچ را نشان می‌دهد

Fig. 8: FTIR Spectrum of Green Color, Shows That Carbonate, Prussian blue, Oil and Gypsum

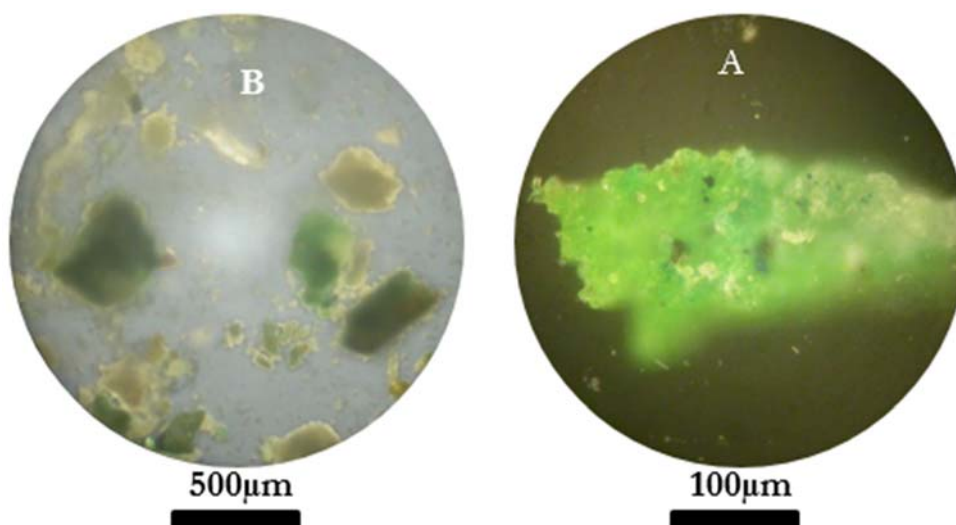
تصاویر میکروسکوپی رنگ آبی در سه نور پلاریزه، عبوری و انعکاسی آورده شده است. اما نکته جالب توجه در این آزمایش استفاده از رنگدانه سبز در ترکیب لاجورد است. با توجه به تجزیه‌ی عنصری آن با SEM-EDX که عنصر مس و آهن را نشان می‌دهد، احتمال می‌رود همراه با لاجورد از آبی پروس و ترکیبات مس مثل مالاکیت یا وردیگریس (استات بازی مس) با فرمول شیمیایی  $Cu(CH_3COO)_nCu(OH)_2$  برای تغییر توانالیه رنگ استفاده شده باشد (شکل ۱۲-۱۲ Fig). کاربرد لاجورد در بسیاری از نقاشی‌های دوره قاجار ثابت شده است (Alizadeh, 2012; Bahadori & Bahrololoomi, 2015).

#### ۵-۵. شناسایی رنگ طلائی به روش فلورسانس اشعه ایکس پرتابل (micro-XRF)

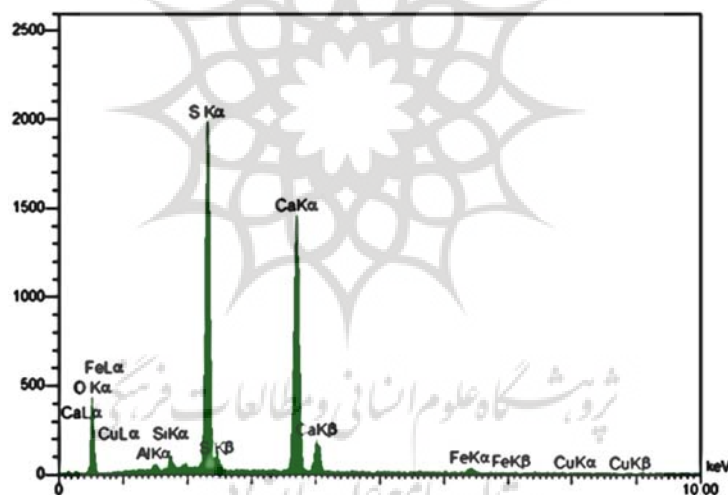
به علت کم بودن مقدار نمونه و عدم امکان نمونه‌برداری برای آنالیز عنصری رنگ طلائی از XRF پرتابل استفاده شد. وجود مس و روی با درصد بالا نشان‌دهنده‌ی استفاده از مخلوط این دو فلز برای ایجاد رنگ طلائی بوده است (جدول ۲-۲ Table و شکل ۱۳-۱۳ Fig). تصاویر میکروسکوپی به‌دست‌آمده از رنگ طلائی نشان‌دهنده‌ی وجود کالکوپیریت است که به دلیل مات بودن در نور

#### ۴-۵. شناسایی رنگ آبی به روش آنالیز عنصری EDX

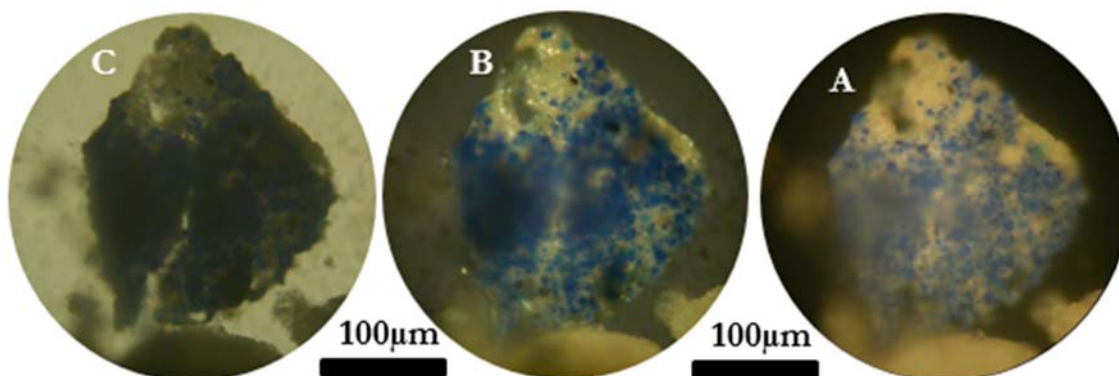
این رنگ به راحتی در دمای اتاق در اسید رقیق (HCl 3M) با تولید گاز بد بوی هیدروژن سولفید ( $H_2S$ ) بی‌رنگ شد. هیچ‌یک از رنگدانه‌های آبی مثل آزوریت و آبی پروس که کاربرد آن‌ها در این دوره معمول بوده است، این خاصیت را ندارند (Plesters, 1993). از طرفی تجزیه عنصری این رنگ با SEM-EDX وجود عناصر O, Si, Al, S و را نشان داد (جدول ۲-۲ Table و شکل ۱۰-۱۰ Fig). که از مشخصه‌های منحصربه‌فرد لاجورد با فرمول شیمیایی  $Na_8Al_6Si_6O_{24}S_2$  است. به علت کم بودن مقدار رنگ نسبت به لایه‌ی زیر آن، طیف XRD و FTIR آن فقط نشان‌دهنده‌ی گچ بود. نتایج بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که گچ و لاجورد در این رنگ به کاررفته است. لاجورد در نور پلاریزه و انعکاسی دارای رنگ آبی تا آبی تیره است، ایزوتروپ بوده و سیستم تبلور کوبیک دارد. اندازه اجزا آن ریزبلور بوده و از حد چند میکرون فراتر نمی‌رود و به‌صورت دانه‌های گرد در کنار هم دیده می‌شوند در نور متقاطع پلاریزان، دارای یک ساختار بلوری مکعبی است، که ایزوتروپ (همسانگرد) دیده می‌شود (Eastough et al., 2008). در شکل ۱۱



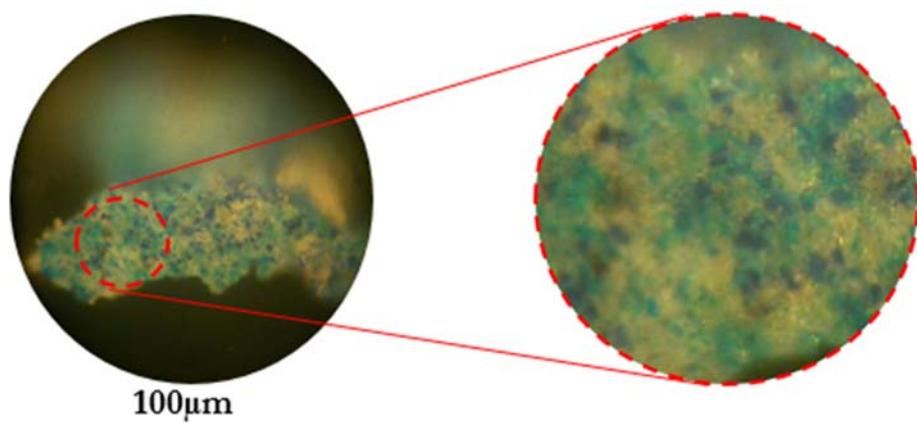
شکل ۹: تصاویر میکروسکوپی رنگ سبز در دو نور مختلف A: عبوری، B: انعکاسی  
Fig. 9: microscopic images green color in two different light A: Transmission, B: Reflection



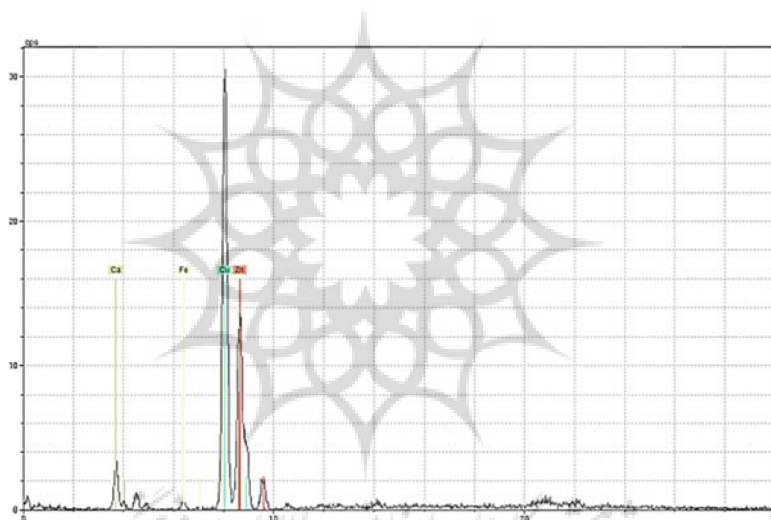
شکل ۱۰: طیف EDX رنگ آبی  
Fig. 10: EDX spectrum of blue



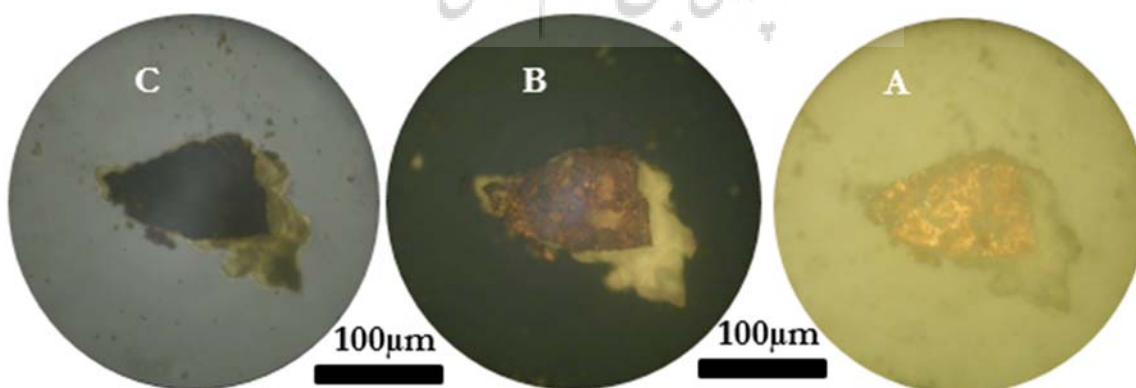
شکل ۱۱: تصاویر میکروسکوپی رنگ آبی در نور A: پلاریزه، B: انعکاسی، C: عبوری  
Fig. 11: blue Microscopic Images in the Light: A: Polarizing, B: Reflection C: Transmission



شکل ۱۲: تصاویر میکروسکوپ نوری که وجود ذرات سبز را بین ذرات لاجورد نشان می‌دهد.  
Fig. 12: Polarizing Light microscope images show that green particles between ultramarine particles.



شکل ۱۳: طیف micro-XRF رنگ طلایی که حضور دو عنصر مس و روی را نشان می‌دهد.  
Fig. 13: micro XRF spectrum of golden color that indicates the presence of both copper and zinc.



شکل ۱۴: تصاویر میکروسکوپی رنگ طلایی در نور A: پلاریزه، B: عبوری، C: انعکاسی، که وجود کالکوپیریت را نشان می‌دهد.  
Fig. 14: golden Microscopic Images in the Light: A: Polarizing, B: Reflection C: Transmission, showing the presence of chalcopyrite.

جدول ۲: نتایج شناسایی رنگ‌ها بر اساس فلورسانس اشعه ایکس پرتابل (micro-XRF) و تفکیک انرژی پرتو ایکس (EDX)

Table 2: Results identify colors based portable x-ray fluorescence and Energy-dispersive X-ray (EDX)

عناصر Elements	رنگ Color	آبی BLUE	سبز GREEN	قرمز RED	طلایی GOLDEN
		weight percent Elements W%	weight percent Elements W%	weight percent Elements W%	weight percent Elements W%
O		14.36	25.38	28.63	-
C		-	12.20	-	-
S		28.01	20.64	20.13	-
Ca		50.62	35.66	37.08	-
Pb		-	-	10.25	-
Cl		-	1.70	-	-
Cu		0.24	4.42	-	*
Fe		5.47	-	-	-
Al		0.42	-	-	-
Si		0.88	-	-	-
Zn		-	-	-	*
Type Analysis		EDX	EDX	EDX	micro- XRF
Result		ultramarine	mixture of malachite and Prussian blue	red lead	mixture of two metals, copper and zinc

The "\*" in the table means that the element exists in color combinations.

لاچورد به همراه ترکیبات مس و آهن برای رنگ آبی و از آلیاژ مس و روی جهت ساخت رنگ طلایی استفاده شده است. همه مواد و رنگدانه‌های شناسایی شده در دوره قاجار متداول بوده و بکار می‌رفته است و تاریخ ساخت آن به بعد از این دوره بر نمی‌گردد. یکی از نکات قابل توجه در مواد بکار رفته در این نقاشی‌ها کاربرد ترکیب رنگدانه‌ها جهت دستیابی به رنگ‌هایی با توانالیت‌های متفاوت است. نکته دیگر استفاده از رنگدانه‌های وارداتی چون آبی پروس در کنار سایر رنگدانه‌های سنتی آن دوران است.

بررسی میکروسکوپی رنگ طلایی نشان‌دهنده‌ی وجود کالکوپیریت در آن است که حتی پس از تهیه لایه نازک قادر به عبور دادن نور از خود نیست و در نور عبوری شفاف دیده نمی‌شود یعنی مات است. وجود این ترکیب به دلیل خوردگی فلز مس در رنگ طلایی است و معمولاً در رنگ‌های طلایی حاصل از آلیاژ دو فلز مس و روی با ایجاد رنگ سبز در سطح رنگ طلایی نمایان می‌شود.

### سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از سازمان میراث

عبوری تیره دیده می‌شود. تصاویر میکروسکوپی رنگ طلایی در سه نور پلاریزه، متقاطع و انعکاسی در شکل ۱۴ آورده شده است. وجود این ترکیب به دلیل خوردگی فلز مس در رنگ طلایی است و معمولاً در رنگ‌های طلایی حاصل از آلیاژ دو فلز مس و روی با ایجاد رنگ سبز در سطح رنگ طلایی نمایان می‌شود (Ahmadi et al., 2015). استفاده از مخلوط مس و روی برای ایجاد رنگ طلایی در دوره قاجار بسیار متداول بوده و وجود آن در بسیاری از نقاشی‌ها و نسخ خطی قرآنی به اثبات رسیده است (Abbasi, 2012; Bahrololoumi & Bahadori, 2013; Bahadori & Bahrololoumi, 2013).

### ۶. نتیجه‌گیری

شناسایی رنگدانه‌ها و مواد به کاررفته در نقاشی‌های دیواری هم از نقطه نظر مطالعات تاریخی هنری و هم از نظر اقدامات حفاظتی اهمیت فراوانی دارد. نتایج آنالیزها نشان داد که از گچ ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ) و گِل سفید ( $\text{CaCO}_3$ ) به عنوان لایه‌ی تدارکاتی استفاده شده است. طبق نتایج به دست آمده، از سرنج برای رنگ قرمز، از مالاکیت و آبی پروس برای رنگ سبز با فام سبزآبی، از

پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی و پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران جهت همکاری در انجام آزمایش‌ها و انجام این پژوهش تشکر نمایند.

فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری خراسان جنوبی جهت همکاری در زمینه نمونه‌برداری و همچنین از دانشگاه هنر تهران، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری،

## References

- Abbasi, Z. (2012). *Technological Study of easel painting of the Qajar period (1794-1925) to provide protection scheme* (Unpublished master's thesis). Art University of Tehran. [in Persian]
- Ahmadi, H., Abed Esfahani, A., Mortazavi, M., Mousavi, S.M.J. (2015). Recognizing of Golden Counterfeit Beaded on Historical Manuscripts, Study of Process of Destruction the Golden Pigments and Support Sheet, *Journal of Maremat & Memari-e Iran*, 4(7), 77-88. [in Persian]
- Ahmadi, S., Shokouhi, F., Oliayi, P., Lamehi-Rachti, M., & Rahighi, J. (2005). Characterisation of the Wall Painting Pigments of Baghcheh Joogh Castle by PIXE. *International Journal of PIXE*, 15(03n04), 345-350.
- Alizadeh, S. (2012). Investigation and Technological Development in the First Period Qajar Painting Art, *Journal of Negare*, 7(22), 73-84. [in Persian with English abstract]
- Aloupi, E., Karydas, A. G., & Paradellis, T. (2000). Pigment analysis of wall paintings and ceramics from Greece and Cyprus. The optimum use of X-ray spectrometry on specific archaeological issues. *X-ray Spectrometry*, 29(1), 18-24.
- Ayati, A. (2012). *Memories of Birjand and Political Events*, Tehran: Bahjat Publication, Second Edition. [in Persian]
- Ayati, M. H. (1992). *Baharestan*, Mashhad: Ferdowsi University Press, Second Edition. [in Persian]
- Azhand, y. (2006). Qajar era wall painting, *Journal of Golestane Honar*, 9, 74-81. [in Persian]
- Bahadori, R., Ahmadi, S. H. (2012). Scientific Examination of two Iranian Historical Paintings on Wood, *Poster presented at the 2nd International Congress Chemistry for Cultural Heritage*, Istanbul, Turkey.
- Bahadori, R., Bahrololoomi, F. (2013). Archaeometry's investigations of pigments used in paint and mosaic works of the third millennium BC in Iran, *Proceedings of the First National Conference on Archaeology of Iran*, Birjand, Birjand University of Arts, 1-15. [in Persian]
- Bahadori, R., Bahrololoomi, F. (2015). Scientific study of paintings on wood in the house Birjandi. R. Bahadur, & S. Amin Shirazi (eds.), *ninth Conference on conservation and restoration of historical monuments and architectural decoration*, 1388, Surrey, Tehran: Center for conservation and restoration, 60 -65. [in Persian]
- Bahrololoomi, F., Bahadori, R. (2011). Real Gold or Pseudo Gold, Study golden decorations and writings on sheets left by a few manuscripts of the Quran (Safavid to Qajar), *Name Baharestan*, 12(18-19): 157- 168.
- Batter, M. (2010). Structural analysis of pigments wall paintings of Parthian era in the Khajeh Mountain in Sistan, *Journal of Crystallography and Mineralogy of Iran*, 3, 323-334. [in Persian]
- Bicchieri, M., Nardone, M., Russo, P. A., Sodo, A., Corsi, M., Cristoforetti, G., ... & Tognoni, E. (2001). Characterization of azurite and lazurite based pigments by laser induced breakdown spectroscopy and micro-Raman spectroscopy. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, 56(6), 915-922.
- Bruder, R., Detalle, V., & Coupry, C. (2007). An example of the complementarity of laser-induced breakdown spectroscopy and Raman microscopy for wall painting pigments analysis. *Journal of Raman spectroscopy*, 38(7), 909-915.
- Canby, S. R. (1993). *Persian Painting*. British Museum Press.
- Clark, R. J. (2002). Pigment identification by spectroscopic means: an arts/science interface. *Comptes Rendus Chimie*, 5(1), 7-20.
- Darwish, S. S. (2013). Scientific Investigation of the Materials and Techniques Used In a 19<sup>th</sup> Century Egyptian Cemetery Wall Painting (Hawsh Al-Basha). *International Journal of Conservation Science*, 4(2).
- Diba, L. S. (1989). Persian Painting in the eighteenth century: tradition and transmission. *Muqarnas*, 6, 147-160.
- Eastaugh, N. (2008). *Pigment compendium: a dictionary and optical microscopy of historical pigments*. Routledge.
- Floor, W. (1999). Art (Naqqashi) and Artists (Naqqashan) in Qajar Persia. *Muqarnas*, 16, 125-154.
- Franquelo, M. L., Duran, A., Herrera, L. K., de

- Haro, M. J., & Perez-Rodriguez, J. L. (2009). Comparison between micro-Raman and micro-FTIR spectroscopy techniques for the characterization of pigments from Southern Spain Cultural Heritage. *Journal of Molecular structure*, 924, 404-412.
- Ghavami, F. (2013). *Technological Colorful Paintings in the East Room Shah Neshin Train Layout In The House of Hagigi in Esfahan*. (Unpublished master's thesis). Restoration of cultural and historical objects. Art University of Tehran. [in Persian]
- Gray, B. (1979). The Tradition of Wall Painting in Iran. *Highlights of Persian Art*, 313-29.
- Harandi, D. Taheri, M. H. Sardari, A. Z. (2016). Identification of Pigments of Tal-e Mash Karim Wall Painting at the Chalcolithic Site of Iran. *Journal of Color Science and Technology*, 9, 187-197. [in Persian]
- Harley, R. D. (1970). Artists' pigments, c. 1600-1835; a study in English documentary sources.
- Irazola, M., Olivares, M., Castro, K., Maguregui, M., Martínez-Arkarazo, I., & Madariaga, J. M. (2012). In situ Raman spectroscopy analysis combined with Raman and SEM-EDS imaging to assess the conservation state of 16th century wall paintings. *Journal of Raman Spectroscopy*, 43(11), 1676-1684.
- Ismailian, F. (2013). *Technology of monochromatic wall paintings Shah Neshin house bakhradi in Isfahan*. (Unpublished master's thesis). Restoration of cultural and historical objects, Art University of Tehran.
- Josa, V. G., Bertolino, S. R., Laguens, A., Riveros, J. A., & Castellano, G. (2010). X-ray and scanning electron microscopy archaeometric studies of pigments from the Aguada culture, Argentina. *Microchemical Journal*, 96(2), 259-268.
- Mazzocchin, G. A., Agnoli, F., Mazzocchin, S., & Colpo, I. (2003). Analysis of pigments from Roman wall paintings found in Vicenza. *Talanta*, 61(4), 565-572.
- Mcbride, C. (2002). *Pigment Particle & Fiber Atlas for Paper Conservators*. Getty Trust Postgraduate Fello.
- Mojtahed-Zadeh, P. (2004). *The Small Players of the Great Game: The Settlement of Iran's Eastern Borderlands and the Creation of Afghanistan*. Routledge.
- Mozaffari, A., Bahadory, R., Bahreman, A. R. (2010). Restoration and laboratory investigations Vitrai paintings Rashvand Qazvin house. *Journal of Assar*, 51, 74-82.
- Porter, E. (2014). *Traditions and techniques of painting and illustration*. (Z. Rajabi, Trans.). Tehran: publication of the Academy of Arts. [in Persian]
- Riederer, J., Schweppe, H., Winter, J., Feller, R. L., Johnston-Feller, R. M., Berrie, B. H., ... & Laver, M. (1997). Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics, v. 3.
- Vandenabeele, P., Bodé, S., Alonso, A., & Moens, L. (2005). Raman spectroscopic analysis of the Maya wall paintings in Ek'Balam, Mexico. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 61(10), 2349-2356.
- Vatandoost, R., Bahadory, R. (1998). Identification of Compounds Used in a Wall Painting by Using Fourier-Transform Infrared Spectroscopy. *Proceedings of the Conservation of Historical-Cultural Center*. Tehran, 98-101.
- Vatandoost, R., Beheshti, S.M., Nayeri, P. (2013). A Review on the Foundations of Traditional Wall Paintings Restored in Iran. *Journal of Bag nazar*, 10(27), 71-82.
- Yate, C. E. (1900). *Khurasan and Sistan*. W. Blackwood.
- Zeng, Q. G., Zhang, G. X., Leung, C. W., & Zuo, J. (2010). Studies of wall painting fragments from Kaiping Diaolou by SEM/EDX, micro Raman and FT-IR spectroscopy. *Microchemical Journal*, 96(2), 330-336.