

Laboratory Studies on Materials and Pigments Used in Inscriptions and Mural Paintings in the Tomb of Ghadmagah in Neishabour

Abbasi, J.¹; Bahadori, R.²; Cappa, F.³; Jembrih-Simbuerger, D.³; Schreiner, M.³; Beheshti, S. I.⁴

Type of Article: Research

Pp: 325-356

Received: 2021/01/23; Accepted: 2021/05/08

 <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.7.23.325>

Abstract

In this study, the colors used in the Inscription and mural paintings of tomb of Ghadmagah in Neishabour were analyzed by instrumental analytical methods. Ghadmagah is located in the center of the Zabarkhan section, on the Neyshabur-Mashhad Road. Ghadmagah tomb-garden is located in the village of the same name 24 kilometers east of Neyshabur, Iran, and was built in the early seventeenth century. According to historical sources Ghadmagah was built in the early eleventh century AH (ca. 1600 AD), and the origin of this site dates back to Islam. Some believe that the Ghadmagah monument was designed by Sheikh Baha'i. The architectural decoration of this building is most importantly tiling, plastering and mural paintings. Given that the building was built in different periods and originally dates back to the Safavid period. The present study aimed to study the color bedding and pigments in the Inscription and mural paintings of the building to find out what period the mural paintings in the building belong to. Mural 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 mural paint, is the identification of the nature of paintings used to decorate the walls. Identification of pigments 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. In this study, instrumental methods such as scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), polarized light microscopy (PLM), X-ray diffraction (XRD) and micro-Raman spectroscopy have been used for elemental and compound microanalysis of the samples.

Keywords: Pigment, Neyshabur Ghadmagah, Inscription, Mural Painting, Analytical Methods.

1. PhD Student in Conservation of Cultural-historical Objects, Faculty of Conservation and Restoration, Tehran University of Art, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: javad_abbasi1991@yahoo.com

2. Assistant Professor, Faculty Member of Research Center for Conservation of Cultural Relics, Research Institute for Cultural Heritage & Tourism, Tehran, Iran.

3. Professor, Institute of Science and Technology in Art (ISTA), Academy of Fine Arts Vienna, Vienna, Austria.

4. Expert of Research Center for Conservation of Cultural Relics, Research Institute for Cultural Heritage & Tourism, Tehran, Iran.

Citations: Abbasi, J.; Bahadori, R.; Cappa, F.; Jembrih-Simbuerger, D.; Schreiner, M. & Beheshti, S. I., (2023). "Laboratory Studies on Materials and Pigments Used in Inscriptions and Mural Paintings in the Tomb of Ghadmagah in Neishabour". *Parseh J Archaeol Stud*, 7 (23): 325-356 (<https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.7.23.325>).

Homepage of this Article: http://journal.richt.ir/mbp/browse.php?a_id=507&sid=1&slc_lang=en



Motaleat-e-Bastanshenasi-e-Parseh (MBP)

Parseh Journal of Archaeological Studies
Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICTH), Tehran, Iran

Publisher: Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICTH).
Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the Creative Commons.

Introduction

The use of physical and chemical analysis methods to identify the constituents of works of art, before any intervention occurs, plays a key role; because the results of such an analysis are very useful for deciding whether to conserve or regenerate these materials. In addition, each of the different pigments can have a different regeneration process. On the other hand, the analysis of ancient paintings may provide information about the artistic techniques and visual materials used in the past and expand the knowledge of the customs and techniques of ancient societies.

In fact, physical and chemical analysis provides useful information about the range of pigments present in an area and knowledge of dye preparation techniques and applications. In addition, the study of the originality and origin of pigments allows the discovery of connections and trade lines. On the other hand, restorers need detailed information about the chemical composition of the materials used in a work before restoration work.

Identifying the materials and pigments used in this building is one of the most important questions of this research, and then by considering the history of using pigments, we can understand the dating of the paintings in this building. Do these paintings belong to the period of construction of the building, ie the Safavid period, or were they added to the building in later historical periods? Depending on the type of painting pigments, the colors can be restored.

Materials and Methods

In this research, empirical and analytical methods have been used to achieve the goals. Data collection is based on information from library studies and instrumental methods. The complete information of the devices used in this research is fully described in the Materials and Methods section.

In this study, instrumental methods such as scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM-EDX), Fourier-transform infrared spectroscopy (FTIR), polarized light microscopy (PLM), X-ray diffraction (XRD) and micro-Raman spectroscopy have been used for elemental and compound microanalysis of the samples.

Data

The result of the analysis showed that the blue color used in inscription was artificial ultramarine ($\text{Na}_6\text{-10Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2\text{-4}$) on a gypsum layer ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) also gold color showed presence of copper and zinc alloy in the ratio of 10:1 in gold color. The blue color used in the mural paintings was also artificial ultramarine on a red layer of ochre. The result of micro-Raman showed that green pigment was copper phthalocyanine (phthalocyanine green). The results of identification of the orange-red revealed the presence of a mixture of red lead (minium) and red ochre (iron oxide) in the sample.

Also, according to the obtained results, ochre and mixture of iron and manganese oxides were used in red and brown colors.

Discussion

The inscription at the top of the building used two colors, blue and gold, the result of the analysis showed that the blue color was artificial ultramarine ($\text{Na}_6\text{-10Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2\text{-4}$) on a gypsum layer ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The absence of minerals such as pyrite and calcite in the PLM images indicates that the ultramarine is synthetic. The blue color used in the mural paintings was also artificial ultramarine on a red layer of ochre. The result of micro-Raman showed that green pigment was copper phthalocyanine (phthalocyanine green). A synthetic organic material composed of chlorinated copper phthalocyanine (chlorinated Phthalocyanine blue). Phthalocyanine green was introduced as an industrial pigment in 1938. This pigment is unaffected by light, heat, and chemicals the use of this pigment showed that the mural paintings was restored in Contemporary period. The results of identification of the orange-red revealed the presence of a mixture of red lead (minium) and red ochre (iron oxide) in the sample. Also, according to the obtained results, ochre and mixture of iron and manganese oxides were used in red and brown colors. FTIR results showed the presence of organic material only in green, indicating that it was the only reconstituted pigment, but no other organic material was detected in other colors, which may be due to the instability of organic materials during the time.

Green phthalocyanine copper is a new pigment that may have been used to restore painting. This pigment was first used in 1320 AD, but it is not clear on what date this pigment was used to repair or reconstruct this paint. Due to the presence of oil in the FTIR spectrum of this color, it seems that unlike other colors, oil has been used to close this color, and the technique used in this color is different from other colors.

Conclusion

Identification of materials and pigments showed that the paintings are due to the presence of artificial ultramarine, were done in the Qajar period (1789-1925) and presence of phthalocyanine green in green color showed that this mural painting was restored in Contemporary period.

The result of the analysis showed that the blue color was used in inscription was artificial ultramarine ($\text{Na}_6\text{-10Al}_6\text{Si}_6\text{O}_{24}\text{S}_2\text{-4}$) on a gypsum layer ($\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$). The absence of minerals such as pyrite and calcite in the PLM images indicates that the ultramarine is synthetic. The results of identification of gold color showed presence of copper and zinc alloy in the ratio of 10:1 in gold color. The blue color used in the mural paintings was also artificial ultramarine on a red layer of ochre. The result of micro-Raman showed that green pigment was copper phthalocyanine (phthalocyanine green). A synthetic organic material composed of chlorinated copper phthalocyanine (chlorinated Phthalocyanine blue). Phthalocyanine green was introduced as an industrial

pigment in 1938. This pigment is unaffected by light, heat, and chemicals the use of this pigment showed that the mural paintings was restored in Contemporary period. The results of identification of the orange-red revealed the presence of a mixture of red lead (minium) and red ochre (iron oxide) in the sample. Also, according to the obtained results, ochre and mixture of iron and manganese oxides were used in red and brown colors. Identification of materials and pigments showed that the paintings are due to the presence of artificial ultramarine, were done in the Qajar period (1789-1925) and presence of phthalocyanine green in green color showed that this mural painting was restored in Contemporary period. FTIR results showed the presence of organic material only in green, indicating that it was the only reconstituted pigment, but no other organic material was detected in other colors, which may be due to the instability of organic materials during the time.

مطالعات آزمایشگاهی بر روی مواد و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در کتیبه و دیوارنگاره‌های بقعه قدمگاه نیشابور

جواد عباسی^I؛ رؤیا بهادری^{II}؛ فدریکا کاپا^{III}؛ دوبراوکا جمبریه-سیمبوگر^{III}؛ مانفرد شراینر^{III}؛
سید ایرج بهشتی^{IV}

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۳۵۶-۳۲۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۱/۰۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۲/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.7.23.325>

چکیده

بقعه قدمگاه در مرکز بخش زیرخان در ۲۴ کیلومتری شرق نیشابور، در مسیر جاده نیشابور- مشهد قرار دارد که با توجه به منابع تاریخی ساخت آن، در اوایل قرن ۱۱ ه.ق. (قرن ۱۷ م.) شروع و در دوره‌های مختلف ادامه یافته است. در تزئینات معماری این بنا آن چه بیش از همه حائز اهمیت است، کاشی‌کاری، گچ‌بری و دیوارنگاره‌هاست. با توجه به این که این بنا در دوره‌های مختلف ساخته شده است و اصل بنا به دوره صفویه برمی‌گردد، مشخص نیست نقاشی‌ها هم‌زمان با ساخت بنا در دوره صفویه نقاشی شده یا در دوره‌های بعدی به بنا افزوده شده‌اند؟ برای پاسخ به این پرسش باید رنگ‌دانه‌ها شناسایی شوند. در این پژوهش مواد و رنگ‌های به‌کاررفته در کتیبه و دیوارنگاره‌های بقعه قدمگاه نیشابور با روش‌های دستگاهی آنالیز شدند. در این پژوهش از روش‌های دستگاهی ¹SEM-EDX، ²FTIR، ³PLM، ³XRD و طیف‌سنجی میکرورامان برای شناسایی عنصری و ترکیبی مواد تشکیل‌دهنده رنگ‌های به‌کاررفته در کتیبه و دیوارنگاره‌ها استفاده شده است. نتایج نشان‌دادند رنگ آبی و طلایی کتیبه، به ترتیب لاجورد مصنوعی و آلیاژ مس و روی (پودر برنج) بود. رنگ آبی به‌کاررفته در دیوارنگاره‌ها نیز لاجورد مصنوعی است با این تفاوت که بر روی یک لایه قرمز قرار گرفته است. رنگ سبز مس فتالوسیانین است که شروع استفاده از این رنگ‌دانه به دهه ۱۹۴۰ م. برمی‌گردد. بررسی رنگ قرمز نارنجی وجود مخلوط سرنج و آهن اکسید یا آخرا را نشان داد. رنگ‌های قرمز و قهوه‌ای براساس نتایج آنالیز عنصری به ترتیب آهن اکسید و آمبر که مخلوط آهن اکسید و مقدار کمی منگنز اکسید بودند. در زیرسازی همه رنگ‌ها از گچ استفاده شده است. با توجه به تاریخچه کاربرد رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در این بنا، این تزئینات نمی‌تواند متعلق به دوره صفوی باشد و وجود لاجورد مصنوعی و پودر برنج ثابت می‌کند این دیوارنگاره‌ها در دوره قاجار افزوده شده است. با توجه به تاریخچه کاربرد مس فتالوسیانین، این رنگ به احتمال زیاد در دوره‌های معاصر مرمت شده و از رنگ‌دانه‌های اصلی بنا نیستند.

کلیدواژگان: رنگ‌دانه، قدمگاه نیشابور، کتیبه، دیوارنگاره.

I. دانشجوی دکتری مرمت اشیاء فرهنگی، تاریخی، دانشکده حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر تهران، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: javad_abbasi1991@yahoo.com

II. استادیار پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

III. استاد، مؤسسه علوم و فناوری در هنر، آکادمی هنرهای زیبای وین، وین، اتریش.

IV. کارشناس ارشد زمین‌شناسی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، تهران، ایران.

ارجاع به مقاله: عباسی، جواد؛ بهادری، رویا؛ کاپا، فدریکا؛ جمبریه-سیمبوگر، دوبراوکا؛ شراینر، مانفرد؛ و بهشتی، ایرج، (۱۴۰۲). «مطالعات آزمایشگاهی بر روی مواد و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در کتیبه و دیوارنگاره‌های بقعه قدمگاه نیشابور». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۷ (۲۳): ۳۲۵-۳۵۶. (<https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.7.23.325>)

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: http://journal.richt.ir/mbp/browse.php?a_id=507&sid=1&slc_lang=fa



فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری
حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است
و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

مقدمه

استفاده از روش‌های تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی برای شناسایی مواد تشکیل‌دهنده آثار هنری، قبل از این‌که هر مداخله‌ای رخ دهد، نقش کلیدی ایفا می‌کند؛ زیرا نتایج چنین تحلیلی برای تصمیم‌گیری در مورد حفاظت یا بازسازی این مواد بسیار مفید است. علاوه بر این، هر یک از رنگ‌دانه‌های مختلف، می‌توانند روند بازسازی متفاوتی داشته باشند (Escorteganha et al., 2015). از طرفی تجزیه و تحلیل نقاشی‌های باستانی ممکن است اطلاعات مربوط به فنون هنری و مواد تصویری مورد استفاده در گذشته را فراهم کند و دانش آداب و فنون جوامع باستان را گسترش دهد (Dal Fovo et al., 2020). در طول تاریخ، نقاشی ایرانی با فرهنگ‌ها و سنت‌های ناهمگن شرق و غرب روبه‌رو بوده است. انواع مختلفی از نقاشی در ایران دیده شده، اما یکی از رایج‌ترین آن‌ها نقاشی دیواری است (Akyol & Houreh, 2019). نقاشی دیواری یا دیوارنگاری را می‌توان بخشی از نگارگری برشمرد که ارتباط تنگاتنگی با معماری و اجزاء آن دارد (مدھوشیان نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). نقاشی دیواری، از جمله هنرهای شاخص ایران است که براساس نشانه‌های وجود رنگ بر بقایای معماری از هزاره سوم پیش از میلاد (بهادری و بحرالعلمی، ۱۳۹۲؛ هرندی و همکاران، ۱۳۹۴) تا نگاره‌های به‌جامانده در کوه‌خواجه سیستان (باتر، ۱۳۸۹) قدمت آن را می‌توان تا دوران پیش از تاریخ پیگیری کرد. شواهد نشان می‌دهند که بیشتر رنگ‌های مورد استفاده ایرانیان در گذشته‌های دور شامل نقاشی‌های دیواری غار و نقوش سفالی است. با پیشرفت جامعه بشری، علاوه بر برآورده کردن نیازهای روزمره، نقوش و طراحی‌هایی برای تزئین فضاهای زندگی اطراف به تدریج رواج پیدا می‌کند (Pakzad, 2017). از قرن دوم میلادی به بعد شاهد به‌کارگیری رنگ‌های متنوعی بر روی زمینه سفید گچ‌بری‌ها هستیم که به آن‌ها جلوه زیبایی بخشیده‌اند. به نظر می‌رسد که هدف از رنگ‌آمیزی این آثار که زینت‌بخش بناهای مهم دوره اشکانی بوده‌اند؛ علاوه بر جنبه بصری، تأکید بر انتقال پیام سازندگان و بنیان آثار نیز باشد (خان‌مرادی و نیکنامی، ۱۳۹۸).

این هنر با گذراندن افت و خیزهایی در دوره صفویه به اوج خود رسیده است. نقاشی عهد زندیه که خود ادامه‌دهنده سنت فرنگی‌سازی صفوی بود با مختصر تغییری به دوره قاجار انتقال یافت (پاکباز، ۱۳۸۹). در ایران یکی از چشمگیرترین دوره تزئینات نقاشی دیواری دوره قاجار است. در این دوره، سبک نقاشی‌های قاجار ترکیبی از سبک نقاشی دیواری در دوره صفویه و نقاشی کلاسیک اروپا است (Roštami & Arjmandfard, 2019; Akyol & Houreh, 2019). این سبک به عنوان یک سبک منسجم در نقاشی ایرانی از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است، که تمام ویژگی‌های موضوعی و کاربردی یک مکتب نقاشی را دارد (Roštami & Arjmandfard, 2019). یکی از مهم‌ترین مسائل در مطالعه نقاشی‌های تاریخی، به خصوص نقاشی دیواری، شناخت ماهیت رنگ‌دانه‌های مورد استفاده در نقاشی‌ها برای تزئین دیوارهاست (Josa et al., 2010). استفاده از مواد معدنی و آلی برای استفاده از رنگ آن‌ها در ایران سابقه طولانی دارد (Pakzad, 2017). از قرن نوزدهم میلادی به بعد و با پیشرفت و ارتقاء مطالعات علمی این امکان برای حفاظت‌گران حرفه‌ای فراهم شد که از روش‌های تحلیلی و آزمایشگاهی برای شناسایی مواد مورد استفاده و خاص هر هنرمند در بررسی آثار تاریخی و هنری بهره‌مند شوند (رحمانی و حسینی، ۱۳۹۹). در واقع، تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی، اطلاعات مفیدی از طیف رنگ‌دانه‌های موجود در یک منطقه و شناخت شیوه‌های آماده‌سازی رنگ و کاربرد آن را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، مطالعه بر روی اصالت و منشأ رنگ‌دانه، اجازه کشف ارتباطات و خطوط تجارتي را فراهم می‌کند؛ از طرفی مرمت‌گران قبل از اقدامات مرمتی به اطلاعات دقیقی از ترکیب شیمیایی مواد به‌کاررفته در یک اثر نیاز دارند (Zeng et al., 2010). تجزیه و تحلیل فیزیکی و شیمیایی، اطلاعات مفیدی از طیف رنگ‌دانه‌های موجود در یک منطقه و شناخت شیوه‌های آماده‌سازی رنگ و کاربرد آن را ارائه می‌دهد. علاوه بر این، مطالعه

برروی اصالت و منشأ رنگ‌دانه، اجازه کشف ارتباطات و خطوط تجارتنی را فراهم می‌کند؛ از طرفی مرمت‌گران قبل از اقدامات مرمتی به اطلاعات دقیقی از ترکیب شیمیایی مواد به‌کاررفته در یک اثر نیاز دارند. با توجه به پرسش اصلی پژوهش که آیا این نقاشی‌ها به دوره ساخت بنا یعنی به دوره صفویه تعلق دارد یا در دوره‌های تاریخی بعد کشیده شده؟ باید پس از شناسایی رنگ‌دانه‌ها به تاریخچه ساخت و استفاده از رنگ‌دانه دقت شود. کاربرد بسیاری از این رنگ‌دانه‌ها مثل: زرینخ، سفید سرب، سرنج، شنگرف، مالاکیت، آبی مصری، وردیگریس، زعفران، لاجورد به دوره باستان و تعدادی نیز مثل: آبی پروس، سبز زمردی، باریت، اکسید تیتانیم، اکسید روی، آبی کبالت، زرد باریم، اکسید کروم، زرد کادمیوم و قرمز کادمیوم به قرون ۱۸، ۱۹ و ۲۰ م. برمی‌گردد. در نیمه قرن بیستم میلادی رنگ‌دانه‌های مدرن مثل مس فتالوسیانین‌ها وارد بازار شدند (Stuart, 2007; Eastaugh et al., 2007).

پرسش‌ها و فرضیات پژوهش: شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های استفاده شده در بقعه قدمگاه نیشابور از مهم‌ترین پرسش‌های این پژوهش است و به دنبال آن با در نظر گرفتن تاریخچه کاربرد رنگ‌دانه‌ها می‌توان به تاریخ‌گذاری نقاشی‌های این بنا پی برد. آیا این نقاشی‌ها به دوره ساخت بنا یعنی به دوره صفویه تعلق دارد یا در دوره‌های تاریخی بعد به بنا اضافه شده است؟ از طرفی پس از آنالیز رنگ‌دانه‌ها با توجه به نوع رنگ‌دانه‌های نقاشی می‌توان به مرمتی بودن رنگ‌ها نیز پی برد. **روش پژوهش:** در این پژوهش برای رسیدن به اهداف از روش تجربی و تحلیلی بهره گرفته شده است. گردآوری داده‌ها براساس اطلاعات حاصل از مطالعات کتابخانه‌ای و روش‌های آزمایشگاهی است. اطلاعات کامل دستگاه‌های مورداستفاده در این تحقیق در بخش مواد و روش‌ها به طور کامل شرح داده شده است.

پیشینه پژوهش

تاکنون در مورد مجموعه قدمگاه نیشابور تحقیقات متعددی انجام شده است؛ به طور مثال، «امیرخانی» به مسأله معماری منظر قدمگاه نیشابور پرداخته است (امیرخانی، ۱۳۹۲). هم‌چنین در مطالعه‌ای دیگر «بهشتی» و «خیراندیش» به مطالعه تطبیقی دو باغ قدمگاه نیشابور و باغ خواجه ربیع مشهد پرداخته‌اند. در این پژوهش در کنار پرداختن به ویژگی‌های باغ مجموعه قدمگاه، به تزئینات به‌کاررفته در بنای بقعه قدمگاه نیز پرداخته و اشاره شده است که نمای داخلی این بنا دارای نقاشی دیواری و کاشی‌کاری دوره قاجار است (بهشتی و خیراندیش، ۱۳۹۵). «رضازاده اردبیلی» و «فاضل‌زاده تمام» در مقاله‌ای دیگر به بررسی این باغ از نظر تاریخی و طراحی آن به دستور «شاه عباس صفوی» توسط «شیخ‌بهای» اشاره کرده‌اند؛ البته در این مقاله بیشتر به مباحث سیر و سلوک و دیدگاهی عارفانه در ساخت این مجموعه پرداخته شده است (رضازاده اردبیلی و فاضل‌زاده تمام، ۱۳۹۵). از طرفی «نظری» و «نیک‌زاد» در مقاله خود به بناهای مسیر هجرت امام رضا علیه السلام و بررسی این بناها پرداخته‌اند. این محققان ضمن اشاره به زمان ساخت بنا در دوره صفویه در مورد نقاشی‌های این بنا معتقد هستند که «این قدمگاه بنایی کوشک‌مانند با گنبدی بلند است. این بنا با نقاشی‌هایی در داخل و کاشی‌کاری در بیرون مزین شده و جملگی از عصر صفوی است» (نظری و نیک‌زاد، ۱۳۹۲). اما تاکنون تحقیقی که به طور علمی به بررسی مواد و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در این نقاشی‌ها بپردازد و ابهامات موجود در این زمینه را روشن نماید، انجام نشده است. از آنجا که محققان در مورد تاریخ نقاشی‌ها به دوران قاجار و صفوی اشاره کرده‌اند؛ لذا نیاز است تا نقاشی‌های این دوره مورد بررسی قرار گیرد.

«عباسی» و همکاران به شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند پرداخته‌اند. در این مقاله از روش‌های دستگاهی

رنگ‌ها و بستر نقاشی‌ها استفاده شده است. طبق نتایج ارائه شده در این تحقیق، 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 به عنوان لایه بوم‌کننده در زیر لایه رنگ استفاده شده است. وجود روغن علاوه بر لایه تدارکاتی در نقاشی‌ها نیز وجود دارد که نشان دهنده استفاده از آن به عنوان بست رنگ یا ورنی در این نقاشی است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). هم‌چنین در تحقیقی «آکیول» و «هوره» به بررسی تخریب و آنالیز رنگ دانه‌های نقاشی‌های دیواری دوره قاجار در اصفهان پرداخته‌اند. طبق مطالعات آزمایشگاهی (تجزیه و تحلیل شیمی‌تر و FTIR) رنگ دانه و بست رنگ را شناسایی کرده‌اند. بیشتر رنگ دانه طبیعی و معدنی تشخیص داده شده‌اند. هم‌چنین لایه‌های مختلف نقاشی با میکروسکوپ متالوگرافی بررسی شده است. پس از تجزیه و تحلیل، مشخص شده است که بستر نقاشی‌های دیواری ذکر شده گچ است. در دوره قاجار استفاده از گچ به عنوان بستر متداول بوده است؛ هم‌چنین، رنگ دانه سفید کربنات کلسیم، رنگ دانه قرمز رنگ، قرمز هندی و آبی لاجورد بوده است. علاوه بر این، رنگ دانه سبز، سبز سیلو و رنگ دانه سیاه کاتیونیک آهن شناسایی شده است (Akyol & Houreh., 2019).

«مدهوشیان نژاد» و همکاران نیز به مطالعه تطبیقی دیوارنگاری در تالارهای شاه‌نشین خانه حریری تبریز و خانه قوام‌الدوله تهران پرداخته‌اند. خانه‌های حریری تبریز و قوام‌الدوله تهران، از جمله بناهای تاریخی متعلق به اواسط دوره قاجار به‌اند که در تالار شاه‌نشین آن‌ها دیوارنگاره‌های شاخص و متنوعی وجود دارد. هدف از این پژوهش شناخت، مطالعه و ارزیابی تطبیقی نقوش دیوارنگاری‌های این دو خانه است، که نتیجه بررسی‌ها نشان داده است: در زمینه ترکیب بندی نقاشی‌های دیواری، فن اجرا و پیاده‌سازی نقوش در قاب بندی‌های مشخص و موضوعات متداول نقاشی هم‌عصر تفاوت‌های اندکی در خانه‌های فوق وجود دارد (مدهوشیان نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). «احمدی» نیز به تحلیل بقعه عبدالؤمن اصفهان پرداخته و نقاشی‌های صفوی و قاجاریه آن را بررسی کرده است (احمدی، ۱۳۹۹). هم‌چنین «رحمانی» و «حسینی» در مقاله خود نیت مندی و ارتباط آن با رنگ‌های به‌کار رفته در دیوارنگاره‌های درباری قاجار را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این پژوهش از FTIR با هدف شناسایی مواد تشکیل دهنده رنگ‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های درباری دوره قاجار استفاده شده است. نتایج حاصل از مطالعات انجام‌گرفته بر روی دو دیوارنگاره اتاق نقاشی کاخ گلستان و صف‌سلام «فتحعلی‌شاه» انتقالی به کاخ نگارستان تهران نشان داده است که هنرمند دوره قاجار با توجه به جایگاه و اهمیت این دیوارنگاره‌ها از روی آگاهی کامل رنگ‌ها را انتخاب کرده است (رحمانی و حسینی، ۱۳۹۸). برخی محققان نیز از ابعاد دیگری به نقاشی‌های دیواری دوره قاجار پرداخته‌اند؛ به‌طور مثال، «تهرانچی بلدی» و همکاران با نگاهی تحلیلی به دیوارنگاره‌های حمام شاه مشهد از منظر مردم‌شناسی، نقاشی‌های مربوط به دوره قاجار را مورد بررسی قرار داده‌اند. در این بنا لایه‌های متعدد نقاشی گزارش شده است که به دلیل تعدد لایه‌های نقاشی بر روی هم، آخرین لایه قابل مشاهده متعلق به دوره قاجار است؛ لذا امکان دسترسی به نقاشی‌های متعلق به دوره ساخت حمام شاه میسر نشده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهند که نقش‌های دیوارنگاری گچی دنباله سنت مینیاتور و قالی‌بافی است، با همان طرح‌های پرانحنای اسلیمی، گل و مرغ، اسب و سوار و شکار جانوران شکاری. و رزم و بزم بیشتر درون‌مایه‌ها برگرفته از داستان‌های شاهنامه، منظومه‌های عاشقانه و سرگذشت‌های پیامبران و امامان است. در نتیجه این نقاشی در صورت و محتوا، پیرو سرمشق‌های پیشین خود است. در این نقاشی رنگ‌ها شاد، سرزنده و قلم‌گیری‌ها آزاد هستند، اما به نوع رنگ دانه‌های به‌کاررفته اشاره‌ای نشده است (تهرانچی بلدی و همکاران، ۱۳۹۴).

معرفی بنا

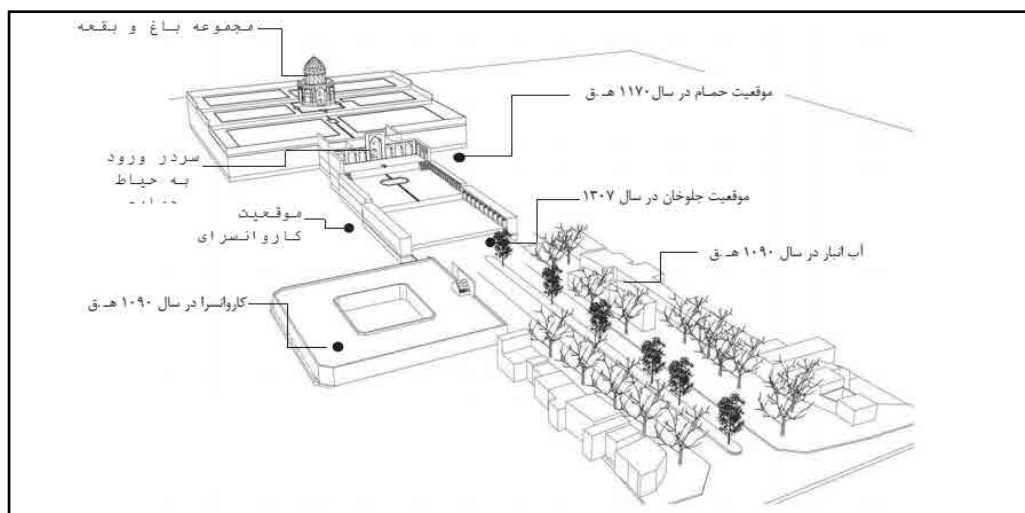
«قدمگاه (اسپریس)» که از آن به «علی‌باب» نیز یاد کرده‌اند، امروز «قدمگاه» نامید می‌شود، و در مرکز بخش زبرخان در ۲۴ کیلومتری شرق نیشابور، در مسیر جاده نیشابور- مشهد قرار دارد. با توجه به منابع تاریخی در اوایل قرن ۱۱ ه.ق. بنای قدمگاه ساخته شده است و منشأ این مکان به دوران پیش از اسلام برمی‌گردد (از نظر تقدس مکان) (رضازاده اردبیلی و فاضل‌زاده تمام، ۱۳۹۵) بنای قدمگاه با طراحی شیخ‌بهایی ساخته شده است؛ «در سفری که شیخ‌بهایی با شاه‌عباس صفوی از اصفهان به مشهد آمده، شاه‌عباس صفوی دستور ساخت قدمگاه را در این محل داد و قدمگاه با طراحی وی ساخته شد» (دمیرچی، ۱۳۸۲: ۱۰۱).

با توجه به این‌که در این پژوهش سعی بر آن است تا بتوان تاریخچه‌ای برای تزئینات نقاشی بقعه قدمگاه یافت، بنابراین نیاز است تا تاریخچه باغ، بنا و دیگر آرایه‌های تزئینی در کتاب‌های تاریخی بررسی شود تا بتوان با استفاده از این مطالعات و نتایج حاصل از آنالیز رنگ دانه‌های به‌کاررفته در این نقاشی‌ها، به نتیجه‌ای مطلوب دست یافت. «گرایی» به نقل از «رضا قلی‌خان هدایت» بیان می‌کند که این بنا مربوط به شاه‌عباس صفوی است (گرایی، ۱۳۷۴: ۳۴۹). در این مورد تقریباً اتفاق نظر وجود دارد و محققان دیگری نیز این را بیان کرده‌اند (مولوی، ۱۳۴۹: ۳۲۰ و ۳۲۱؛ عرفان‌منش، ۱۳۸۷)؛ هم‌چنین برخی از اسناد به نقل از عالم‌آرای عباسی بیان می‌کنند که شاه‌عباس صفوی دستور احیاء بنای بقعه قدمگاه به منظور احترام به سنگ موجود در این محل را صادر کرده است (گلستانی و شریف‌زاده، ۱۳۹۰؛ بهشتی و خیراندیش، ۱۳۹۵). این مجموعه به صورت تدریجی ساخته شده است؛ مرحله اول، باغ و بقعه در سال ۱۰۲۰ ه.ق.، مرحله دوم، کاروانسرا و آب‌انبار در سال ۱۰۹۰ ه.ق. حمام در سال ۱۱۷۰ ه.ق.، ۲۰ سال پیش از قاجاریه در زمان شاه‌عباس کاروانسرای دیگری نیز در قدمگاه ساخته شده است (روشنی‌زعفرانلو، ۱۳۸۷).

در سفرنامه‌ها نیز درباره بنای قدمگاه توضیحاتی دیده می‌شود که می‌تواند در یافتن تاریخ ساخت بنا و حتی برخی تزئینات آن مفید باشد؛ از جمله «شیندلر» این‌طور می‌نویسد: «قدمگاه جای بسیار باصفایی است، دامنه کوه واقع است یک آب بسیار خوبی هم دارد و بسیار درخت کاج دارد که از ایام شاه‌عباس هستند. یک چاپارخانه و دو کاروانسرای دارد، یک کاروانسرای از بنای شاه‌عباس است و خرابست، کاروانسرای دیگر را «حاجی‌زکی» و «حاجی‌صانع» ساختند و «امیر نظام‌الدوله» آن را تعمیر کرد. گنبدی که روی سنگ قدمگاه است از بنای شاه‌عباس اول است، و از کاشی که دور گنبد نصب کرده‌اند، معلوم می‌شود که «شاه‌سلیمان» این گنبد را در سنه ۱۰۱۹ تعمیر کرده است» (روشنی‌زعفرانلو، ۱۳۸۷)؛ هم‌چنین در زمان «سلطان حسین میرزا نیرالدوله» حاکم نیشابور در دوره «ناصرالدین‌شاه» قاجار رسیدگی‌های اساسی به منظور مرمت و احیاء و ساخت ابنیه جدید در اطراف آن صورت گرفته است (بهشتی و خیراندیش، ۱۳۹۵).

بقعه قدمگاه با نقشه هشت ضلعی به شکل مقابر کوشکی است (تصویر ۱). این بقعه از عناصری چون: ایوان‌ها، ورودی و طاق‌نماها و گنبدخانه تشکیل یافته است. در ایوانی که روی محور اصلی و در ورودی بنا قرار دارد، مقرنس بسیار زیبایی ساخته شده است و بر روی سطوح خارجی کاشی‌کاری‌های متنوع، معقلی، معرق و... به رنگ‌های گوناگون کار شده است (تصویر ۲). در بقعه قدمگاه، نواری از کاشی با آیات قرآن (سوره انا فتحنا) دورتادور گریو حلقه زده است. شکل نقشه داخلی مربع است و در قسمت بالا گوشواره‌هایی است که مقدمات نشستن گنبد را فراهم کرده‌اند. در بالای درهای ورودی، درچه‌هایی تعبیه شده که در نورگیری داخل بنا مؤثر است. در زیر فضای گنبد نقش شمس دوازده‌پر، بر زمینه گچ و نقاشی دیده می‌شود (روشنی‌زعفرانلو، ۱۳۸۷).

البته «بختیاری» اشاره می‌کند که ابتدا پیش از مسافرت امام رضا علیه‌السلام به توس در محل بنای قدمگاه فعلی میل راهنما وجود داشته است و احتمالاً در کنار آن سابط یا رباطی بوده است و پس



تصویر ۱. نقشه بقعه قدمگاه (رضازاده اردبیلی و فاضل‌زاده تمام، ۱۳۹۵).

Fig. 1. Plan of the Qadamgah monument (Rezazadah Ardebili & Fazlzadeh Tamam, 2017).

از آن به یمن قدوم مبارک آن حضرت به نام «قدمگاه» معروف گردیده و در زمان شاه عباس صفوی، بر روی بنای قبلی، بنای یادبود و قدمگاه بنیان گرفت و پس از آن، مجموعه معماری فعلی ساخته شده است (بختیاری، ۱۳۸۱).



تصویر ۲. ورودی و تزئینات داخلی بقعه تاریخی قدمگاه نیشابور (عباسی، ۱۳۹۷).

Fig. 2. Entrance and interior decorations of Qadamgah monument (Abbasi, 2017).

در تزئینات معماری این بنا، آن چه بیش از همه حائز اهمیت است کاشی‌کاری، گچ‌بری و نقاشی دیواری است. با توجه به این که این بنا در دوره‌های مختلف ساخته شده است و اصل بنا به دوره صفویه برمی‌گردد، هدف از مطالعه حاضر، مطالعه رنگ‌دانه‌های موجود در نقاشی‌های دیواری این بنا است. نتایج این مطالعات می‌تواند رنگ‌دانه به‌کاررفته در آن را روشن سازد. از طرفی با توجه به تنوع تزئینات معماری و تعدد دوره‌های ساخت و ساز در بنای یاد شده، شناخت رنگ‌دانه به‌کاررفته در دیوار نگاره‌های این اثر تاریخی تأثیر مهمی در شناخت و دوره‌بندی آن دارد.

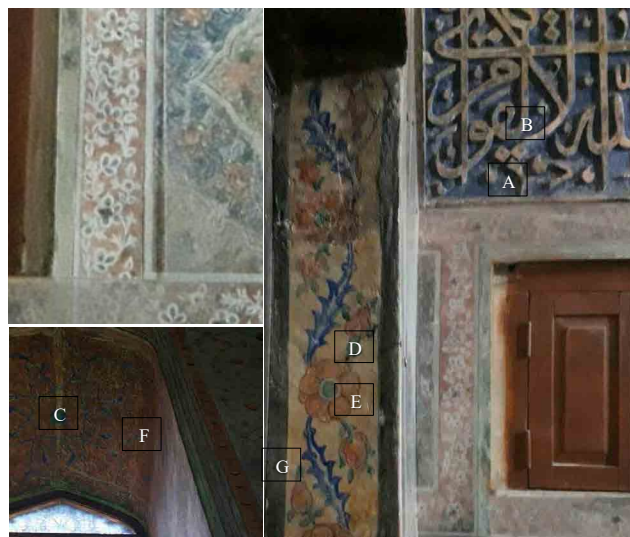
مواد و روش‌ها

در این بخش از پژوهش روش‌هایی که جهت شناسایی رنگ دانه تاریخی بنای بقعه قدمگاه نیشابور به کار رفته است، معرفی می‌شوند. در این پژوهش از بخش‌های مختلف نقاشی دیواری در بقعه قدمگاه نیشابور نمونه برداری انجام شد. برای 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 بوم‌کننده) بود، اما امکان جدایی بست به دلیل مقدار بسیار کم نمونه‌ها وجود نداشت؛ هم‌چنین سعی شد تا حد امکان از قسمت‌هایی از نقاشی‌ها که مرمت نشده بودند، نمونه برداری انجام شود. موقعیت نمونه‌های مورد بررسی در تصویر ۳، مشخص شده است؛ کد و توضیحات نمونه‌ها به همراه آنالیزهای انجام گرفته در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. مشخصات نمونه‌ها و آنالیزهای انجام گرفته روی هر نمونه (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 1. Specifications of samples and analyzes performed on each sample (Authors, 2021).

ردیف	شماره نمونه	رنگ	محل نمونه برداری	آنالیزهای انجام شده
۱	A	آبی	کتیبه	XRD, FTIR, PLM, micro-Raman
۲	B	طلایی	کتیبه	EDX
۳	C	آبی	دیوارنگاره	EDX, PLM, FTIR
۴	D	سبز	دیوارنگاره	FTIR, Micro-Raman
۵	E	قرمز-نارنجی	دیوارنگاره	EDX, PLM, XRD
۶	F	قرمز	دیوارنگاره	EDX, PLM
۷	G	قهوه‌ای	دیوارنگاره	EDX, PLM



تصویر ۳. نمایی از کتیبه و نقاشی دیواری بقعه قدمگاه نیشابور، A: رنگ آبی، زمینه کتیبه، B: رنگ طلایی کتیبه، C: رنگ آبی، D: رنگ سبز، E: رنگ قرمز نارنجی، F: رنگ قرمز، G: رنگ قهوه‌ای (عباسی، ۱۳۹۷).

Fig. 30 A view of the colors used in Qadamgah monument: A: blue in inscription, B: golden in inscription, C: blue, D: green, E: orange red, F: red, G: brown in mural paintings (Abbasi, 2017).

مهم‌ترین روش‌هایی که برای شناسایی رنگ‌دانه استفاده شده‌اند، شامل: میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) مجهز به پراکنده‌انرژی (EDS)، پراش پرتو ایکس (XRD)، فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و طیف‌سنجی زیرقرمز تبدیل فوریه (FTIR) هستند (Mazzocchin et al., 2003; Darwish, 2013; Franquelo et al., 2009; Gil-Torrano et al., 2019)، که در این میان روش‌های مبتنی بر پرتو ایکس کاربرد بیشتری دارند (Aloupi et al., 2000). اما روش‌های دیگری هم چون: رامن (Clark, 2002; Vandenabeele et al., 2005); و میکرو رامن (Giustetto et al., 2018; Bruder et al., 2007; Irazola et al., 2012; Giustetto et al., 2018; Rúa et al., 2018) نیز استفاده شده‌اند. بسیاری از این روش‌ها غیرتخریبی و غیرتهاجمی هستند و با مقدار بسیار کم نمونه قادر به شناسایی رنگ‌دانه‌ها هستند.

طیف‌های XRD با دستگاه Seifert 3000T2T ساخت آلمان ثبت شدند؛ هم‌چنین نرم‌افزار اطلاعات مربوط به شناسایی فازهای بلوری براساس بانک اطلاعاتی PDF2 با نرم‌افزار High Score Plus Xpert به دست آمدند. نمونه‌ها به وسیلهٔ هاون عقیق تبدیل به پودر ۷۵ میکرون شدند و سپس از آن‌ها لام شیشه‌ای تهیه شد. برای اندازه‌گیری از لامپ مس با شدت جریان ۳۰ mA و ولتاژ ۴۰ kV استفاده شد و هر نمونه از زاویه ۵-۶۰ درجه، در فواصل ۰/۲-۰/۶ درجه با زمان توقف ۰/۶ ثانیه در دمای ۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰٪ پیمایش شدند. برای بررسی مواد آلی و شناسایی برخی از مواد معدنی، از طیف‌سنجی FT-IR استفاده شد. برای آماده‌سازی نمونه‌ها، چند میلی‌گرم از نمونه با حدود ۲۰ برابر نمک پتاسیم برمید (KBr) در یک هاون عقیق ساییده و تحت خلأ با اعمال فشار ۱۰ اتمسفر تبدیل به قرص شفاف با ضخامت یک میلی‌متر شد. در این مطالعه از طیف‌سنج Bruker Tensor27 استفاده شد. طیف‌ها در ناحیه ۱-۴۰۰۰-۴۰۰-۳۲ با اسکن و قدرت تفکیک ۴۱-cm در دما و رطوبت اتاق ثبت شدند. یکی دیگر از روش‌های شناسایی رنگ‌دانه‌ها استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM) است که با توجه به بررسی ساختاری قادر به شناسایی رنگ‌دانه‌هاست. در این مطالعات رنگ‌دانهٔ معدنی به دلیل داشتن عناصر فلزی به عنوان ترکیب اصلی و دیگر خصوصیات کانی‌های فلزی لازم است که نمونهٔ هم‌زمان در چند نور مختلف مطالعه شوند. به دلیل ماهیت اوپیک و تیره بودن رنگ‌دانه‌ها نمونه‌ها با نور انعکاسی مطالعه شدند. اما به دلیل احتمال وجود کانی‌های روشن و غیر اپیک در نمونه‌ها مقاطع مورد مطالعه به صورت thin polish هستند؛ یعنی می‌توان هم‌زمان آن را در نور عبوری و انعکاسی مطالعه نمود. به همین دلیل ضخامت مقاطع ۳۰ میکرون است تا در صورت نیاز بتوان آن‌ها را در نور عبوری نیز مطالعه نمود. اساس این روش، تهیهٔ نمونه‌ها با استفاده از مقطع میکروسکوپی و مطالعهٔ مقطع تهیه‌شده با میکروسکوپ پلاریزه است. برای تهیهٔ این نوع نمونه‌ها مقداری از رنگ پودر شده را بر روی لام ریخته و پس از ثابت کردن آن با آب مقطر و لامل، مقطع تهیه‌شده را با میکروسکوپ پلاریزان بررسی می‌کنند و با مقایسهٔ ویژگی‌های خواص نوری و رنگی اجزاء موجود در نمونه با جداول استاندارد (میشل لوی و... نوع کانی تشخیص داده می‌شود (وثوقی عابدینی، ۱۳۸۳). برای تهیهٔ تصاویر میکروسکوپی این مقاطع نازک با میکروسکوپ نوری دو چشمی پلاریزان شرکت James Swift آنالیز و عکسبرداری شدند. برای آنالیز عنصری از SEM-EDX استفاده شد. دستگاه مورد استفاده در این آنالیزها TESCAN ساخت جمهوری چک، مجهز به دستگاه آنالیز عنصری RONTEC بود. این روش نیاز به مقدار کمی نمونه دارد و آماده‌سازی مستلزم استفاده از روش‌های شیمیایی و فیزیکی خاصی نیست.

برای مطالعات تکمیلی و شناسایی برخی ترکیبات آلی و معدنی که با روش‌های دیگر شناسایی نشد از روش طیف‌سنجی میکرو رامن پرتابل که روشی جدید و قدرتمند است استفاده شد (Smith & Dent, 2005: 2-19). طیف‌سنجی رامن به عنوان یک روش غیرتخریبی و غیرتهاجمی به طور

وسیع برای شناسایی مواد، به خصوص رنگ‌دانه‌ها به‌کار می‌رود و یک روش بررسی سطح است که اطلاعاتی درخصوص مواد موجود در سطح شیء می‌دهد. اندازه‌گیری‌های رامان در اتاق تاریک با استفاده از دو دستگاه طیف‌سنج رامان پرتابل ProRaman-L-Dual-G از شرکت Enwave Optronic متعلق به کشور آمریکا و طیف‌سنج LabRAM ARAMIS Vis شرکت Horiba Jobin Ivon کشور فرانسه انجام شد. دستگاه پرتابل مجهز به سه لیزر متفاوت (Nd:YAG) nm 532, (HeNe) nm 632.8, (Diode) nm 785 بود. برای ارزیابی نتایج به‌دست آمده از هر دو دستگاه از نرم‌افزار OPUS 7.0 شرکت Bruker استفاده شد. مقایسه طیف‌های رامان با بانک اطلاعاتی ISTA reference database موجود در مؤسسه علوم و فناوری آکادمی هنرهای زیبای وین صورت گرفت.

یافته‌ها و بحث

در این بخش از پژوهش نتایج حاصل از شناسایی مواد و رنگ‌دانه به‌کاررفته در نقاشی‌های دیواری بقعه قدمگاه نیشابور با روش‌های مختلف آنالیز دستگاهی، در قالب تصاویر، جدول و نمودار ارائه و تحلیل می‌شود.

شناسایی رنگ آبی کتیبه (نمونه A)

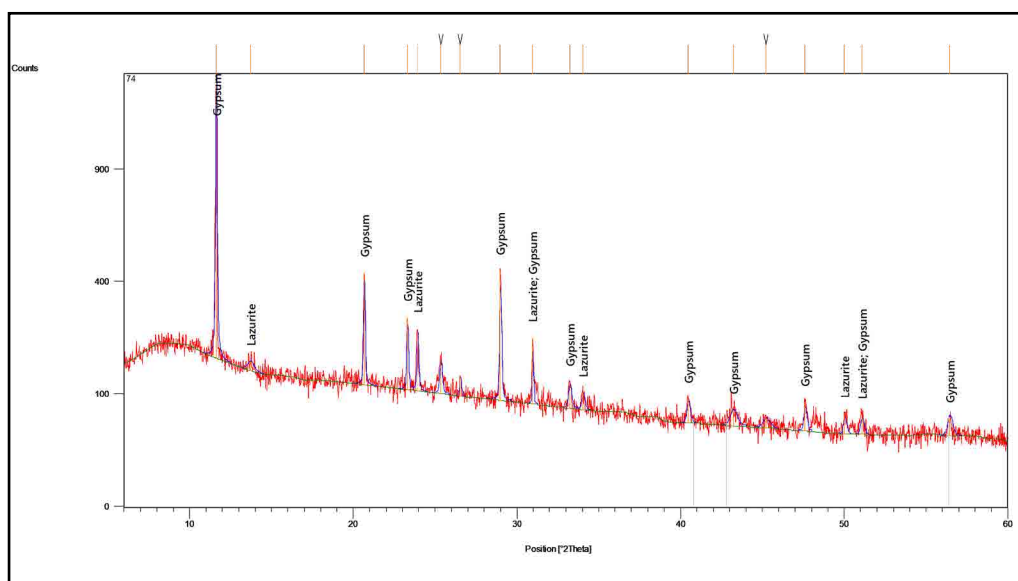
برای شناسایی رنگ‌دانه به‌کاررفته در رنگ آبی کتیبه، با توجه به کم بودن مقدار نمونه امکان جداسازی رنگ از لایه زیر آن وجود نداشت. تصاویری از کاربرد رنگ آبی در کتیبه در تصویر ۴ آمده است؛ بنابراین ابتدا از نمونه طیف XRD گرفته شد. نتایج وجود گچ (Ref. Code: 01-070-0982) و لازوریت یا لاجورد (Ref. Code: 01-077-1702) را در این نمونه نشان داد (تصویر ۵).



تصویر ۴. نمایی از دو رنگ آبی و طلایی به‌کاررفته در کتیبه (عباسی، ۱۳۹۷).

Fig. 4. A view of the two colors blue and gold used in the inscription (Abbasi, 2017).

پهن شدگی طیف FTIR این نمونه در ناحیه ۱-۱۰۰۰ cm⁻¹ دلیل وجود لاجورد است، هم‌چنین وجود گچ را می‌توان با نوارهای ناحیه ۱-۵۱۸، ۶۶۹، ۷۸۲، ۱۶۲۱، ۳۴۰۴ cm⁻¹ ثابت کرد (تصویر ۶). قوی‌ترین نوار لاجورد نوار کششی غیرمقارن Si-O است که در ناحیه حدود ۱-۱۰۲۰ cm⁻¹ ظاهر می‌شود. نوار دیگر لاجورد مربوط به نوار خمشی Si-O است که در ۱-۶۹۰-۶۷۰ cm⁻¹ ظاهر می‌شود و اندازه آن ضعیف است و در این نمونه چون مخلوط است قابل رؤیت نیست و فقط در نمونه خالص لاجورد ممکن است، مشاهده شود (Derrick et al., 1999). در طیف FTIR این نمونه نوار در ناحیه ۱۳۸۰ cm⁻¹ وجود دارد که در بعضی از نمونه‌های گچ استاندارد دیده می‌شود و مربوط به ناخالصی پتاسیم نیترات است (Derrick et al., 1999). نوار که مربوط به مواد آلی مثل بستر یا ورنی باشد در طیف این رنگ مشاهده نشد.



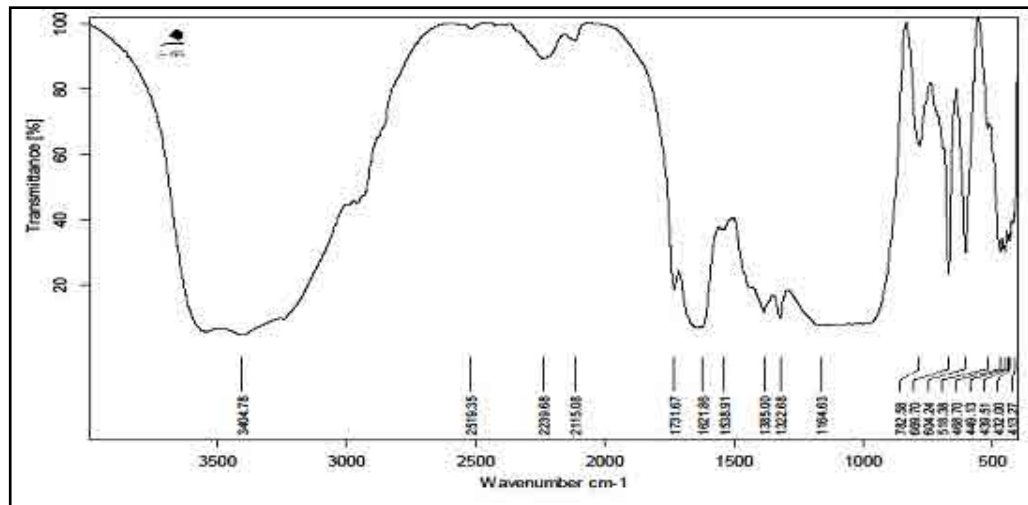
Ref. Code	Score	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-077-1702	36	Lazurite	0.092	Na _{8.56} (Al ₆ Si ₆ O ₂₄) (S O ₄) _{1.56} S _{4.4}
01-070-0982	27	Gypsum	0.455	Ca (S O ₄) (H ₂ O) ₂

تصویر ۵. طیف رنگ آبی و جدول شناسایی ترکیبات به‌کاررفته در کتیبه (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 5. XRD spectrum of blue color and identification table of the compounds used in the inscription (Authors, 2021).

برای بررسی‌های تکمیلی از طیف‌سنجی میکرورامان نیز استفاده شد که وجود لاجورد را تأیید کرد. جدول ۲، نتایج آنالیز میکرورامان و تصویر ۷، طیف رامان رنگ آبی را نشان می‌دهد که با نمونه استاندارد لاجورد که با رنگ قرمز آمده مقایسه شده است. نوار ۱-۵۶۲ cm⁻¹ نوار مشخصه لاجورد در طیف رامان است (Vandenabeele et al., 2007: 675-686).

برای تشخیص لاجورد طبیعی از مصنوعی از روش PLM استفاده شد. هیچ روش دیگری به علت تشابه ساختمانی آن‌ها نمی‌تواند این دو ترکیب را از هم تشخیص دهد (Pelesters, 1997). لاجورد مصنوعی دارای ابعاد ناهمگن و تنوعی از رنگ آبی سیر تا آبی کم‌رنگ است. این کانی در نور پلاریزه، تیره و گاه بی‌رنگ دیده می‌شود. ایزوتروپ (تک‌رنگ) بوده و دارای حاشیه زاویه‌دار و عموماً به فرم ریزدانه و اجزا کوچک دیده می‌شود. در لاجورد طبیعی همراه با کانی آبی‌رنگ لازوریت، دانه‌های ریز



تصویر ۶. طیف FTIR رنگ آبی به‌کاررفته در کتیبه که وجود گچ در بستر و لاجورد در رنگ دانه را اثبات کرد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

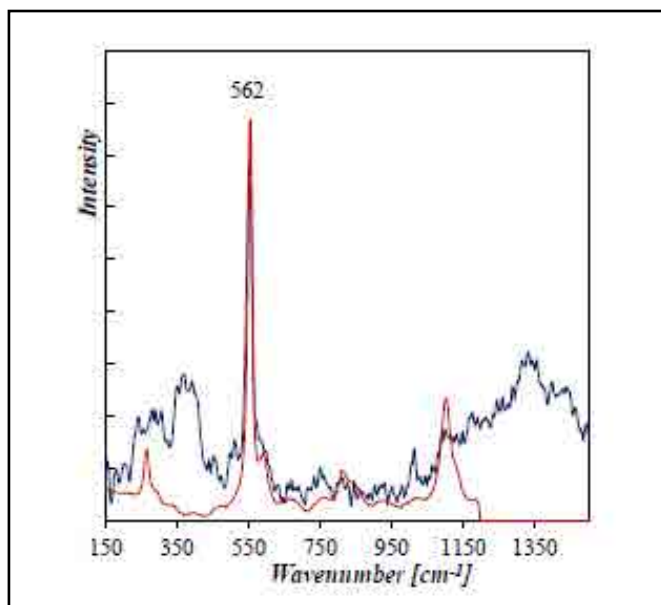
Fig. 6. FTIR spectrum of the blue color used in the inscription, which proved the presence of gypsum in the substrate and lapis lazuli in the pigment (Authors, 2021).

جدول ۲. نتایج آنالیز میکرورامان رنگ آبی کتیبه (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 2. The results of microraman analysis of the blue color of the inscription (Authors, 2021).

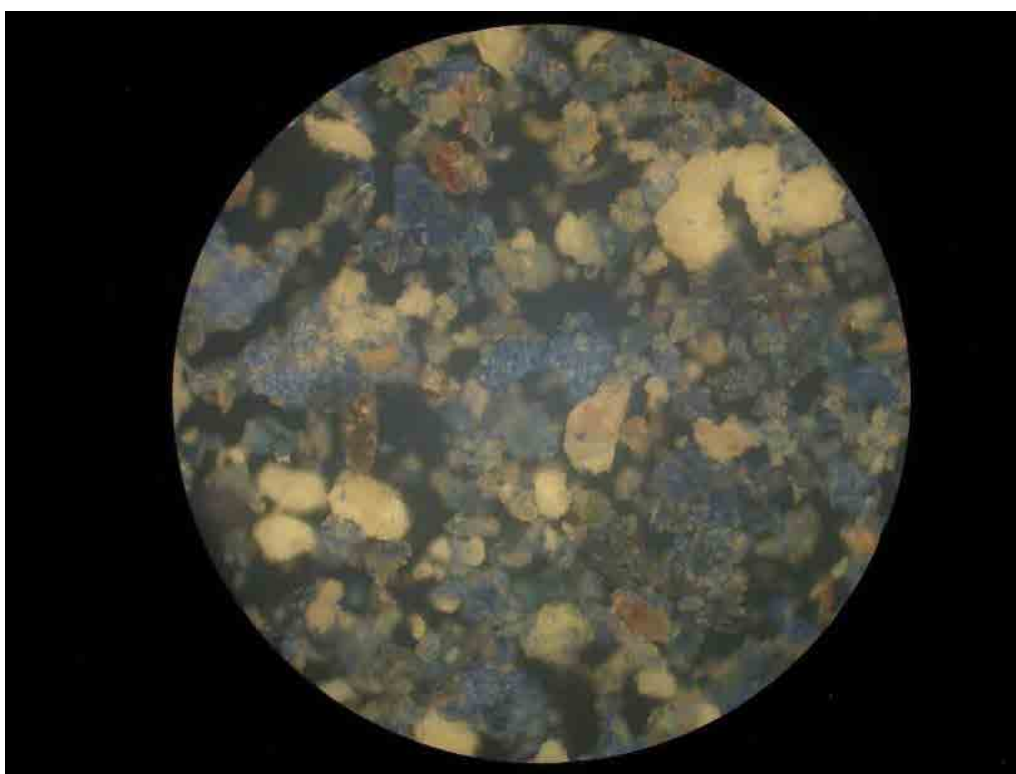
ردیف	نوع دستگاه رامان استفاده شده / لیزر	محل آنالیز	شناسایی
۱	785 nm /L-Dual-G	آبی	لاجورد
۲	785 nm /L-Dual-G	دانه سفید	نوار ناشناخته در 1017 cm^{-1}
۳	532 nm/ARAMIS	دانه آبی	لاجورد
۴	532 nm/ARAMIS	دانه سفید با مقداری آبی	لاجورد + نوار شناخته نشده در 1017 cm^{-1}

پیریت (FeS₂) نیز دیده می‌شود؛ در صورتی که در این نمونه پیریت دیده نمی‌شود. پیریت به دلیل ترکیب فلزی در نور عبوری کاملاً آپک بوده و به همین دلیل از مطالعه آن در نور عبوری صرف نظر شد. در مورد ابعاد ذرات لاجورد چون نمونه‌ها از روی سطح خراش داده شده‌اند. در مورد اندازه ذرات نمی‌توان اظهار نظر دقیقی کرد. تصویر ۸، رنگ آبی را در نور پلاریزه نشان می‌دهد که قطعات فراوان لاجورد همراه با بستر زیرین آن که احتمالاً کانی ژیپس (CaSO₄.2H₂O) است دیده می‌شود (Eastaugh et al., 2007). عدم وجود کانی‌هایی مثل پیریت به رنگ زرد فلزی و کلسیت (CaCO₃) به رنگ سفید در نمونه نشان می‌دهد، لاجورد به‌کاررفته مصنوعی است؛ زیرا لاجورد استخراج شده از منابع طبیعی علاوه بر کانی لاجورد مقدار قابل توجهی نیز کانی پیریت و کلسیت دارد. لاجورد مصنوعی که به وسیله فرآیند کوره ساخته می‌شود از نظر ترکیب شیمیایی و ساختمان با لاجورد طبیعی که از کانی کمیاب آن ساخته می‌شود، یکسان است. ترکیب شیمیایی این کانی برای اولین بار در سال ۱۸۰۶ م. تعیین شد و پس از آن در سال ۱۸۳۰ م. (۱۲۰۹ ه.ش.) کارخانه‌هایی در فرانسه و آلمان شروع به تولید این ماده به‌طور مصنوعی کردند. برای تهیه این رنگ دانه، مخلوطی از: خاک چینی (کائولن)، شن، سولفید سدیم و کربن را تا 700°C حرارت می‌دهند. لاجورد مصنوعی برعکس طبیعی آن ذرات یکنواخت و ریزی دارد و دارای ضریب شکست پایینی است (Eastaugh et al., 2007).



تصویر ۷. طیف میکرو رامان رنگ آبی با طیف سنج L-Dual-G با استفاده از لیزر ۷۸۵ nm که با طیف استاندارد لاجورد (رنگ قرمز) مقایسه شده است (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 7. micro-Raman spectrum of blue color with L-Dual-G spectrometer using 785 nm laser compared with standard Ultramarine spectrum (red color), (Authors, 2021).

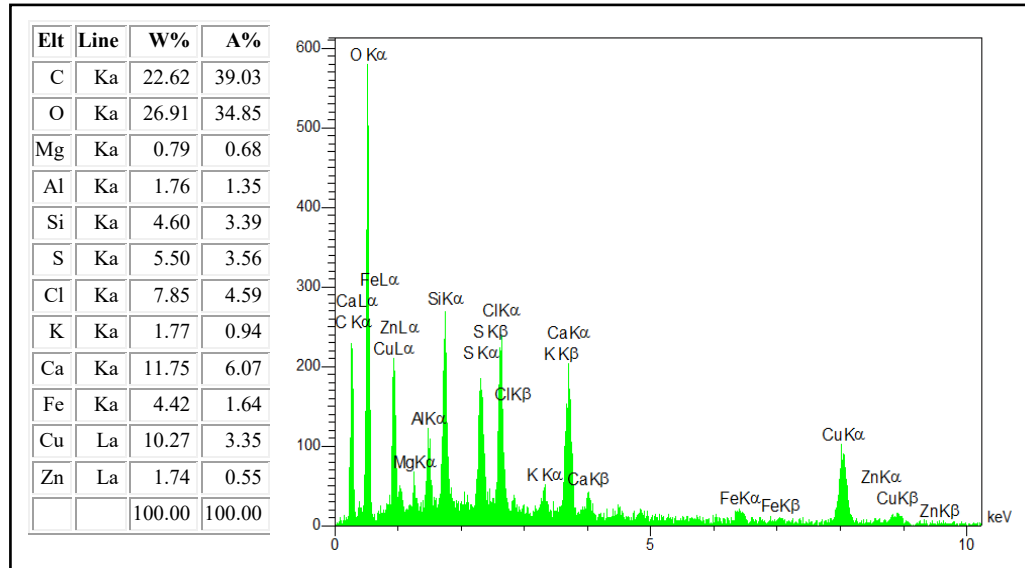


تصویر ۸. تصویر PLM از رنگ آبی، ذرات آبی لاجورد و ذرات سفید ژیپس (گچ) هستند در نور انعکاسی پلاریزه (PPL)، 10X (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 8. PLM image of blue color, blue particles are Lapis lazuli and white particles are gypsum, in PPL 10x (Authors, 2021).

شناسایی رنگ طلائی کتیبه (نمونه B)

به منظور شناسایی رنگ طلائی، آنالیز EDX وجود مس و روی را به نسبت ۱۰ به ۱ در رنگ طلائی نشان داد (تصویر ۹). وجود سایر عناصر مربوط به ترکیباتی مثل گچ و موادی است که در زیرسازی به کاررفته است. استفاده از آلیاژ مس و روی یا پودر برنج در رنگ طلائی از دوره قاجار به بعد متداول شد و در نسخ خطی و دیوارنگاره‌ها به کاررفته است (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ احمدی و همکاران، ۱۳۹۳). در دوره‌های تاریخی قبل از آن فقط از ورقه‌های طلا در رنگ طلائی استفاده شده است.



تصویر ۹. طیف EDX به همراه جدول آنالیز نیمه کمی رنگ طلائی به کاررفته در کتیبه (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 9. EDX spectrum and table of semi-quantitative analysis of gold color used in the inscription (Authors, 2021).

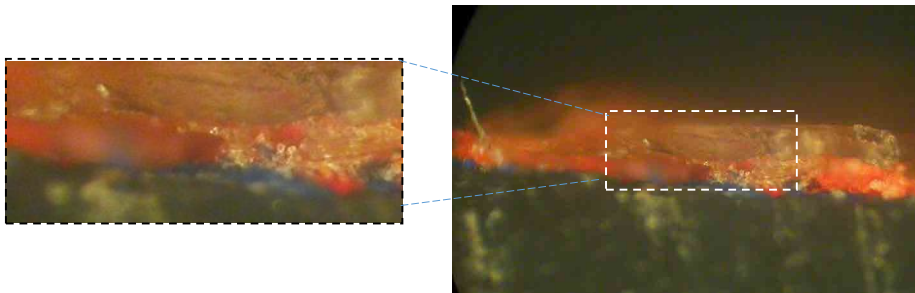
شناسایی رنگ‌های به کاررفته در نقاشی‌های دیواری قدمگاه

در نقاشی‌های دیواری این بنا رنگ‌های آبی، سبز، قرمز نارنجی، قرمز و قهوه‌ای به کاررفته بود. به دلیل کم بودن مقدار نمونه‌ها فقط از روش‌های دستگاهی به منظور شناسایی عنصری و ترکیبی استفاده شد. در تصویر ۳، محل نمونه برداری‌ها مشخص شده است.

شناسایی رنگ آبی (نمونه C)

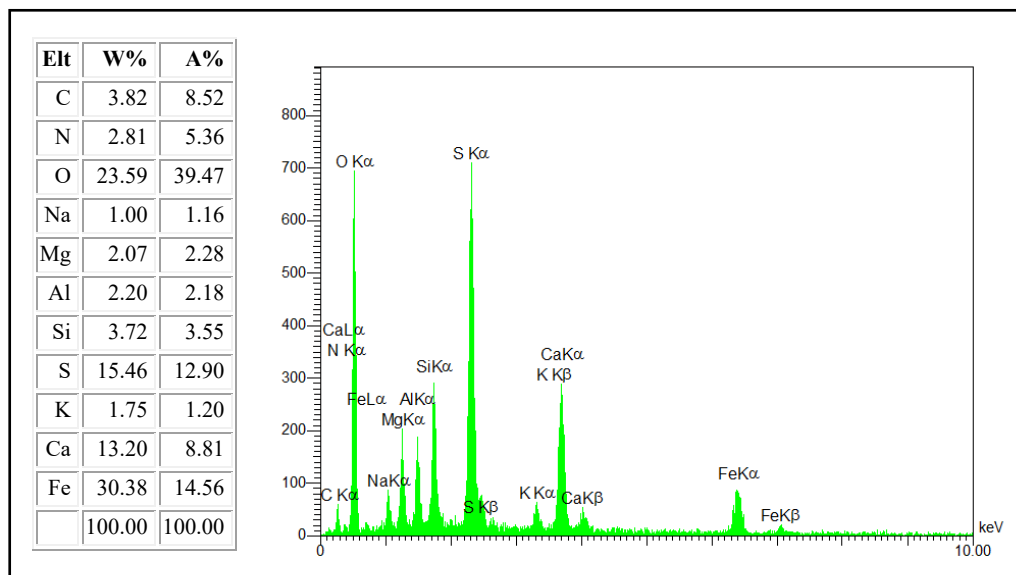
یکی از رنگ‌های به کاررفته در نقاشی‌های بقعه قدمگاه آبی بود که بر روی رنگ قرمز به کاررفته بود؛ به طوری که پشت رنگ آبی، قرمز بود. برای بررسی و شناسایی لایه‌های مختلف به کاررفته در این رنگ، از آن مقطع عرضی تهیه شد. تصویر میکروسکوپ نوری نشان داد این رنگ آبی بر روی یک لایه رنگ قرمز قرار دارد (تصویر ۱۰). در آنالیز EDX وجود آهن به مقدار زیاد (۳۰٪) در کنار سایر عناصر مثل: گوگرد، کلسیم، سیلیسیم دیده می‌شود که نشان می‌دهد در لایه زیر رنگ آبی ترکیباتی از آهن وجود دارد (تصویر ۱۱).

برای شناسایی رنگ‌دانه‌های به کاررفته در این نمونه، آنالیز FTIR انجام شد. طیف FTIR لاجورد را با نوار ناحیه ۱۰۱۰-۱۰۱۰ (پیوند Si-O)، و گچ را با نوارهای ناحیه ۱-۳۴۰۸، ۱۶۴۵، ۱۱۱۵، ۶۶۹، ۶۰۳ نشان داد. نوار بلند ناحیه ۱-۴۵۰ و نوار کوچک ناحیه ۵۲۵ نیز متعلق به پیوند Fe-O در آهن اکسید در لایه قرمز رنگ بود (Maravelaki-Kalaitzaki et al., 2003; Elias et al., 2006). (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۰. تصویر میکروسکوپ نوری مقطع عرضی رنگ آبی که وجود دو لایه آبی و قرمز را به خوبی نشان می‌دهد، تصویر سمت چپ دو برابر بزرگ شده است. بزرگ‌نمایی: ۴۰X (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 10. Optical microscopy image of the cross- sectioned of blue sample showed two layers blue and red color, 40X (Authors, 2021).



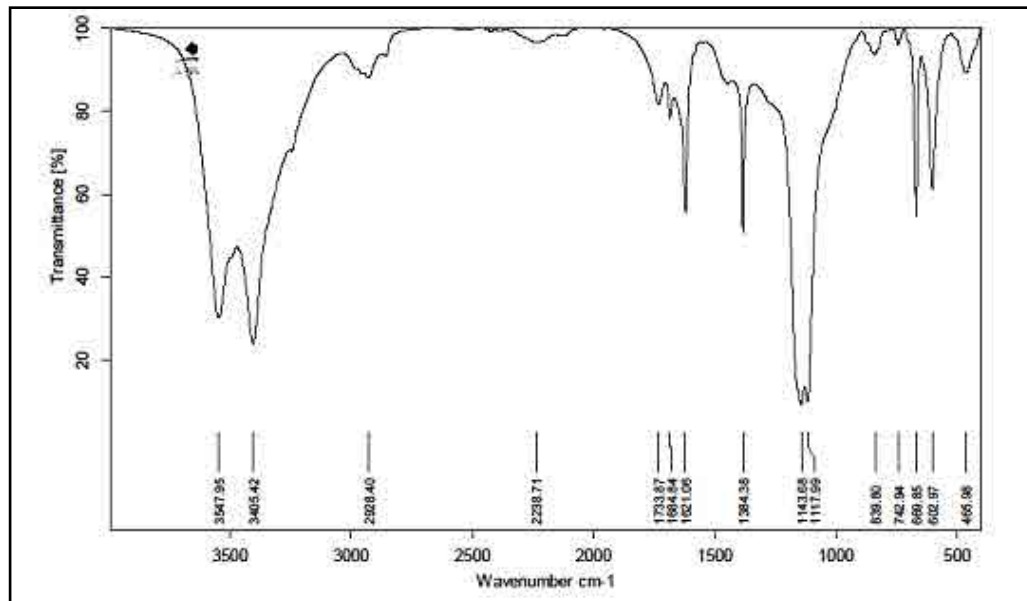
تصویر ۱۱. طیف EDX به همراه جدول آنالیز نیمه کمی رنگ آبی به کاررفته در دیوارنگاره (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 11. EDX spectrum with table of the semi-Quantitative analysis of blue color (Authors, 2021).

برای بررسی ساختاری این نمونه از روش PLM استفاده شد. در تصاویر PLM وجود ذرات آخرا و لاجورد مصنوعی به وضوح مشاهده شد (تصویر ۱۳). آخراهای طبیعی از دوران باستان در زمینه‌های هنری و برای نقاشی دیواری استفاده شده است؛ به طوری که از قرن نوزدهم میلادی به یک رنگ‌دانه قابل قبول تجاری تبدیل شده است (Elias et al., 2006). رنگ کانی لاجورد مصنوعی از آبی تا آبی سیر و گاه متمایل به سبز تغییر می‌کند. اندازه ذرات در این نمونه ریز بوده و کمتر از ۲۰ میکرون است. بنابر نتایج آنالیزهای انجام شده در این نمونه یک لایه آبی لاجورد بر روی یک لایه آخرای قرمز قرار گرفته بود.

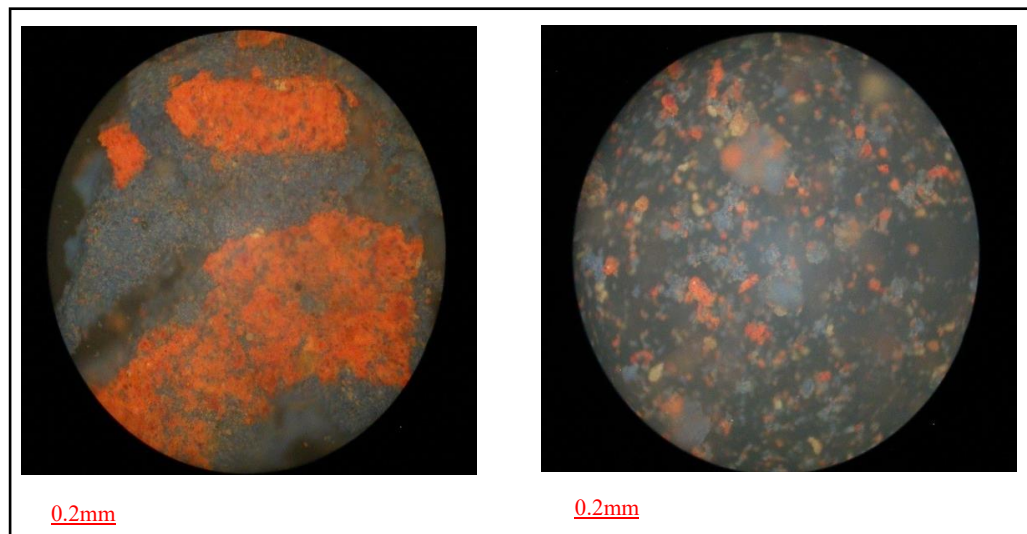
شناسایی رنگ سبز (نمونه D)

رنگ‌دانه به کاررفته در رنگ سبز به وسیله XRD و بررسی‌های میکروسکوپی شناسایی نشد. طیف FTIR آن نیز فقط گج را با نوارهای ۱-۳۵۴۷، ۳۴۰۵، ۱۶۲۱، ۱۱۴۳، ۱۱۱۷، ۶۶۹، ۶۰۲ و یک ماده آلی مثل روغن را با نوارهای کوچک ۱-۱۷۳۳ و ۲۸۲۸ نشان داد (تصویر ۱۴). برای شناسایی رنگ



تصویر ۱۲. طیف FTIR نمونه آبی که وجود گچ، لاجورد و اخرا را نشان می‌دهد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

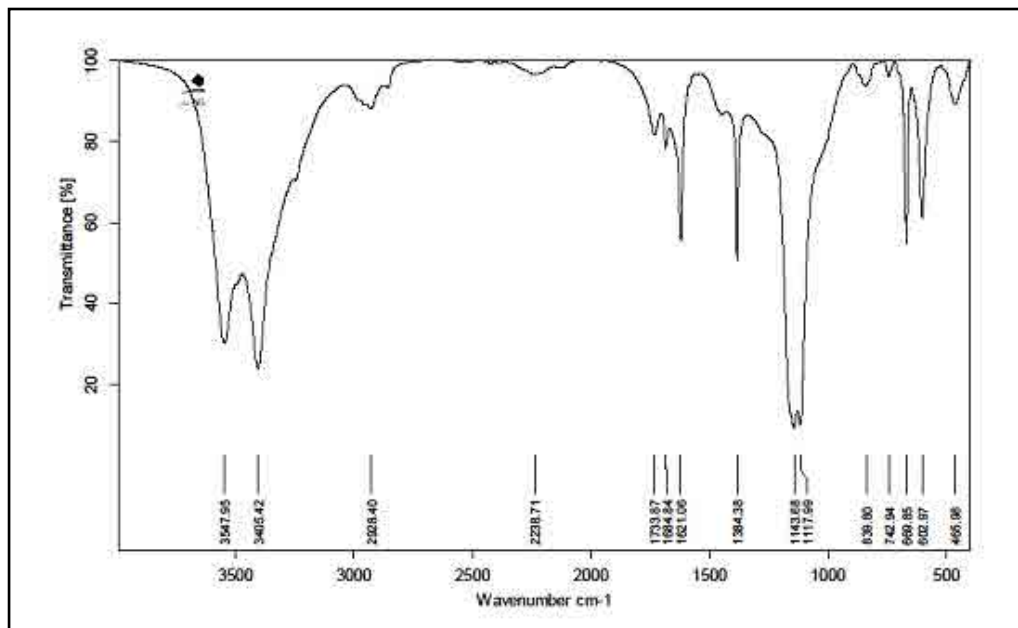
Fig. 12: FTIR spectrum of blue sample shows gypsum, lapis lazuli and iron compound (Authors, 2021).



تصویر ۱۳. تصویر میکروسکوپ PLM از رنگ آبی، ذرات اخرا در بین ذرات لاجورد به وضوح دیده می‌شود در نور انعکاسی متقاطع (XPL) ۴۰X، ۱۰۰X (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 13. PLM images of blue color, scattered Ochre particles between ultramarine particles was clearly seen, in XPL 40X, 100X

سبز از روش طیف‌سنجی میکرو رامان که روشی قدرتمند در شناسایی رنگ دانه است، استفاده شد. نتایج آنالیز با دو دستگاه میکرو رامان ثابت و پرتابل در جدول ۴ و طیف رامان در تصویر ۱۵ آمده است. وجود نوارهای ناحیه $1750\text{--}1150\text{ cm}^{-1}$ و 1350 و مقایسه با طیف استاندارد (رنگ قرمز) نشان داد که رنگ دانه سبز مس فتالوسیانین ($\text{C}_{32}\text{H}_0\text{-}2\text{N}_8\text{Cl}_{14}\text{-}16\text{Cu}$) است. مقایسه طیف‌های رامان با بانک اطلاعاتی موجود در مؤسسه علوم و فناوری آکادمی هنرهای زیبای وین (ISTA reference database) صورت گرفت (http://cameo.mfa.org/wiki/Phthalocyanine_green).



تصویر ۱۴. طیف FTIR رنگ سبز که فقط وجود گچ و ماده آلی را نشان می‌دهد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 14. FTIR spectrum of green color which shows the presence of gypsum and oil (Authors, 2021).

به دلیل چسبندگی رنگ سبز، این رنگ با بقیه رنگ‌ها متفاوت بود. به علت کم بودن مقدار نمونه امکان جداسازی بست از رنگ‌دانه وجود نداشت. از طرفی به دلیل چسبندگی امکان پودر کردن و آنالیز XRD نیز نبود. با توجه به جدول ۳، در آنالیز میکرو رامان دستگاه ثابت به دلیل ایجاد پدیده فلئورسانس این رنگ‌دانه را شناسایی نکرد و فقط با استفاده از رامان پرتابل که دخالت لایه بست را ندارد و با کمک لیزر ۷۸۵ nm این رنگ‌دانه شناسایی شد. شروع استفاده از این رنگ‌دانه دهه ۱۹۴۰ م. (۱۳۲۰ ه.ش.) است که نشان می‌دهد رنگ سبز در دوران معاصر بازسازی شده است. مس فتالوسیانین از رنگ‌دانه جدید و مدرن است که در حال حاضر نیز از آن استفاده می‌شود. این رنگ‌دانه، یک ماده آلی سنتزی است که مس فتالوسیانین کلره شده و یک رنگ‌دانه صنعتی است که با رنگ آبی در ۱۹۳۵ م. و با مشتق سبزرنگ آن از ۱۹۳۸ م. وارد بازار شد. امروزه، مس فتالوسیانین، از مهم‌ترین رنگ‌دانه‌های آلی مصنوعی مدرن هستند که در فرمولاسیون رنگ هنرمندان مورد استفاده قرار می‌گیرند. رنگ‌دانه‌های فتالوسیانین مس توسط بسیاری از هنرمندان مشهور قرن بیستم میلادی استفاده شده است (Defeyt et al., 2012). این رنگ‌دانه در کارهای هنری معاصر به وسیله میکرو رامان شناسایی شده است (Rodríguez-Gacitúa et al., 2016). فتالوسیانین سبز به عنوان رنگ‌دهنده در مرکب چاپ، گچ، چرم، مدادهای رنگی و عکاسی نیز استفاده می‌شود (Eastaugh, 2007). تاکنون در خصوص کاربرد این رنگ‌دانه در دیوارنگاره‌های تاریخی ایران هیچ مقاله‌ای منتشر نشده است.

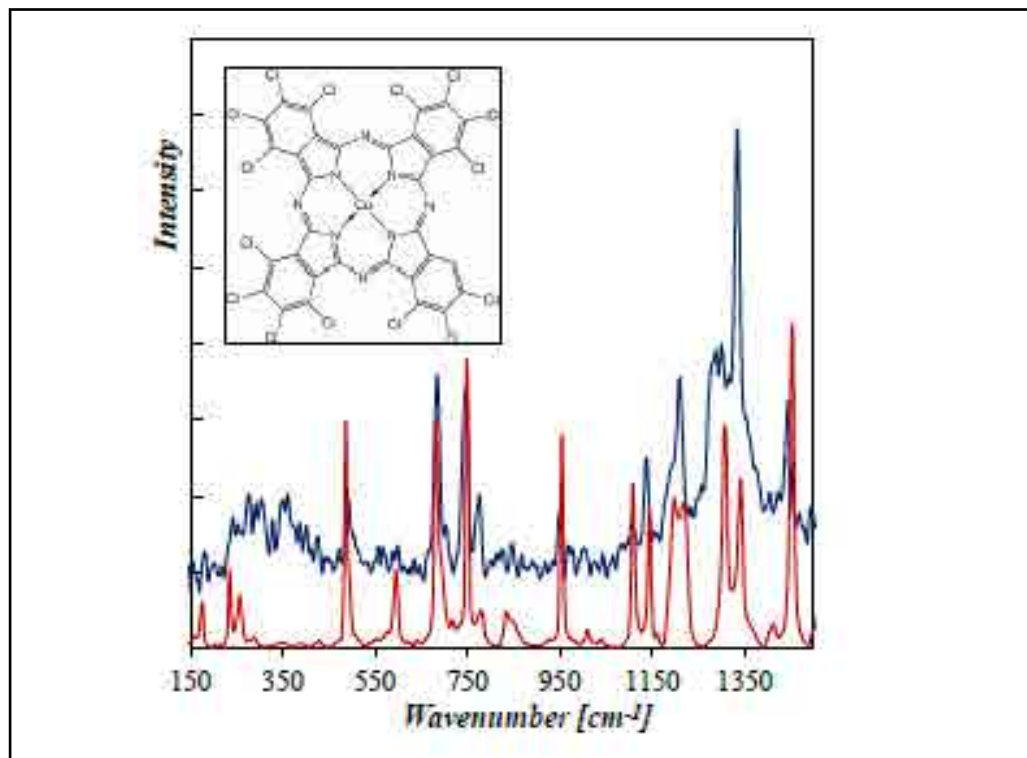
شناسایی رنگ قرمز نارنجی (نمونه E)

برای شناسایی رنگ‌دانه، از نمونه قرمز-نارنجی طیف XRD گرفته شد. نتایج نشان داد مخلوطی از قرمز سرب یا سرنج (Ref Code: 01-071-561) و گچ (Ref Code: 01-033-0311) در این رنگ به کار رفته است (تصویر ۱۶). نتایج EDX نیز مقدار قابل توجه سرب و آهن را در کنار سایر عناصر مثل گوگرد و کلسیم که به علت وجود گچ است، نشان داد (تصویر ۱۷). در طیف XRD رنگ قرمز،

جدول ۴. نتایج آنالیز میکرو رامان رنگ سبز (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Tab. 4. Results of micro Raman analysis of green color (Authors, 2021).

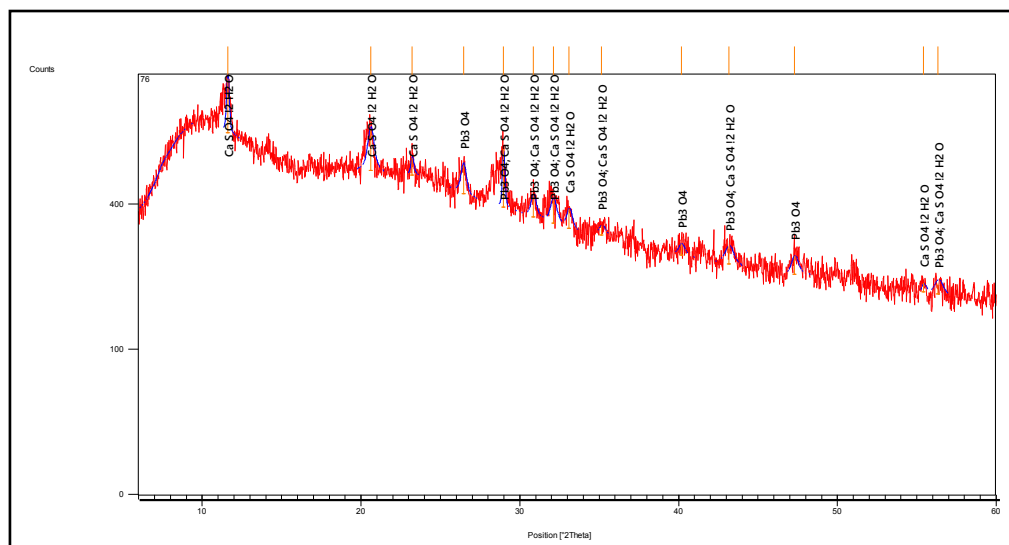
ردیف	نوع دستگاه رامان استفاده شده / لیزر	محل آنالیز	شناسایی
۱	L-Dual-G, 785 nm	ناحیه سبز	فتالوسیانین آبی/ سبز
۲	L-Dual-G, 785 nm	دانه سفید	نوار ناشناخته در 1006 cm^{-1}
۳	ARAMIS, 532 nm, 633nm	ناحیه سبز	زمینه فلورسانس
۴	ARAMIS, 532 nm, 633nm	ناحیه سفید	زمینه فلورسانس + نوار ناشناخته در 1006 cm^{-1}



تصویر ۱۵. طیف میکرو رامان رنگ سبز (به رنگ آبی) که با طیف رفرنس مس-فتالوسیانین سبز (به رنگ قرمز) مقایسه شده است. ساختمان کلی کمپلکس مس (II) فتالوسیانین کلره شده، نشان داده شده است (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 15. micro-Raman spectra is shown and compared with the reference spectrum of a copper phthalocyanine (CuPc) green, given in red. The general structure of the complex of copper (II) with chlorinate phthalocyanine is also represented (Authors, 2021).

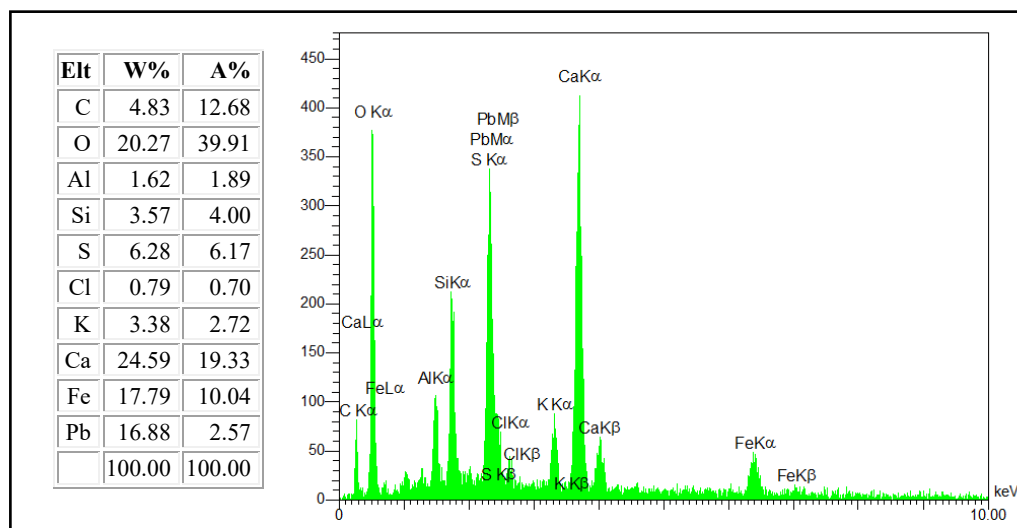
آخر مشاهده نشد. بررسی میکروسکوپی وجود ذرات قرمز تیره (جگری) و قرمز روشن را نشان می‌دهد که به ترتیب مربوط به آخر و قرمز سرب است (تصویر ۱۸). رنگ دانه قرمز آخر به دلیل داشتن ترکیبات آهن در نور عبوری به رنگ تیره تا قرمز تیره مشاهده می‌شود و در نور انعکاسی دارای رنگ قرمز تا قرمز-نارنجی با انعکاس درونی بالا و بیرفرنژانس بالا است. سرنج در بسیاری از دیوارنگاره‌های دوره‌های مختلف تاریخی ایران شناسایی شده است و وجود آن را نمی‌توان به دوره خاصی نسبت داد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵؛ فرهمندبروجنی و همکاران، ۱۳۹۱؛ یونسی و همکاران، ۱۳۹۶).



Ref. Code	Score	Compound Name	Scale Factor	Chemical Formula
01-071-0561	12	Lead Oxide	0.405	Pb ₃ O ₄
00-033-0311	18	Calcium Sulfate Hydrate	0.479	Ca S O ₄ 2 H ₂ O

تصویر ۱۶. طیف XRD و جدول شناسایی ترکیبات نمونه قرمز نارنجی، این طیف وجود سرنج و گچ را نشان می‌دهد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 16. X-ray diffractogram of orange-red sample, which shows the presence of red lead and gypsum (Authors, 2021).

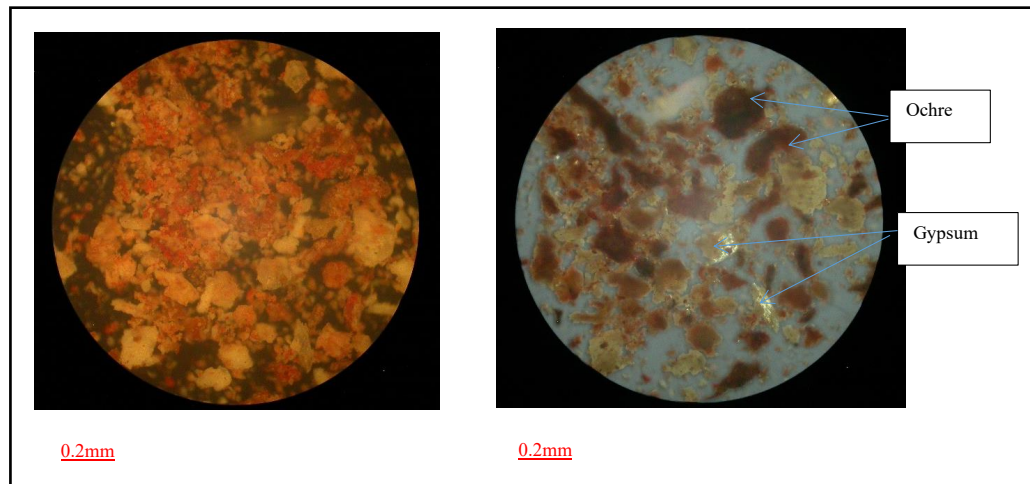


تصویر ۱۷. طیف EDX به همراه جدول آنالیز نیمه کمی رنگ قرمز-نارنجی (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 17. EDX spectrum with the semi-quantitative analysis of orange-red color (Authors, 2021).

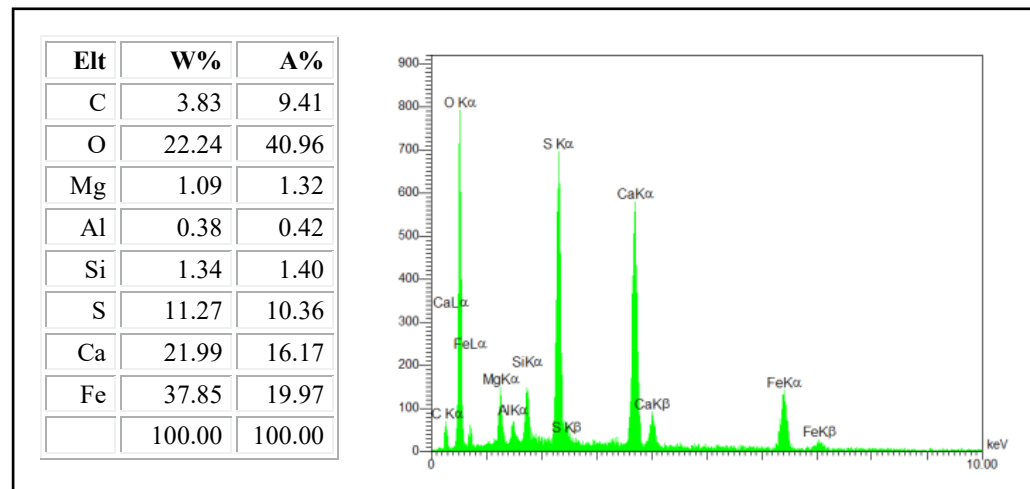
شناسایی رنگ قرمز (نمونه F)

در آنالیز EDX آهن به مقدار زیاد در کنار سایر عناصر مثل گوگرد و کلسیم که مربوط به گچ است، نشان داده شد (تصویر ۱۹). در تصویر PLM ذرات قرمز جگری که مربوط به اُخراست در کنار ذرات سفید گچ به خوبی مشاهده می‌شود (تصویر ۲۰)؛ بنابراین در این رنگ، اُخرا به عنوان رنگ‌دانه قرمز به کاررفته است. قرمز اُخرا به دلیل داشتن ترکیبات آهن در نور عبوری به رنگ تیره تا قرمز



تصویر ۱۸. تصاویر PLM از رنگ قرمز-نارنجی که در آن ذرات اخرا (ذرات قرمز تیره)، سرنج (ذرات قرمز روشن) و گچ (ذرات سفید) دیده می‌شود، راست- در نور پلاریزه متقاطع، چپ- در نور انعکاسی متقاطع (XPL) (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 18. PLM images of red-orange in which ochre (dark red particles), red lead (light red particles) and gypsum (white particles) are seen,)right(- - in polarized cross light,)left(- in cross reflective light XPL (Authors, 2021).



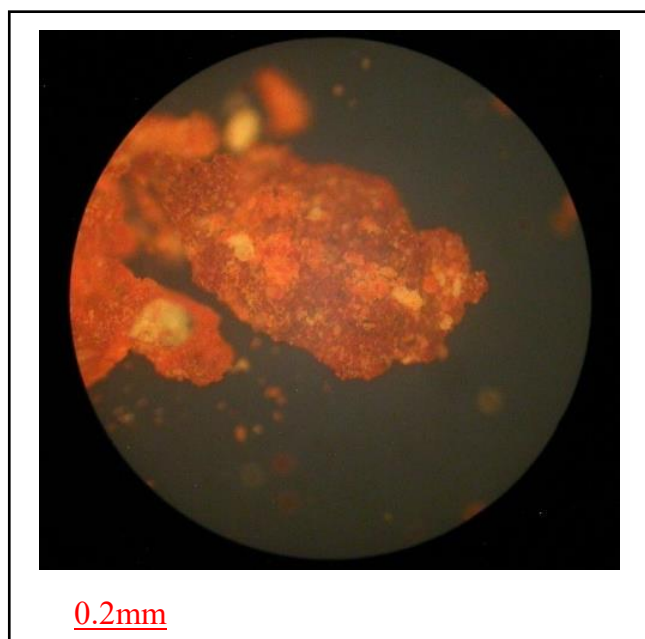
تصویر ۱۹. طیف EDX به همراه جدول آنالیز نیمه کمی رنگ قرمز (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 19. EDX spectrum with red semi-quantitative analysis table (Authors, 2021).

تیره مشاهده می‌شود و در نور انعکاسی دارای رنگ قرمز تا قرمز-نارنجی با انعکاس درونی بالا و بیرفرنژانس بالا است (Eastaugh, 2007). سابقه کاربرد اخرا به پیش از تاریخ برمی‌گردد و وجود آن را نمی‌توان به دوره تاریخی خاصی نسبت داد (فرهمندبروجنی و همکاران، ۱۳۹۱).

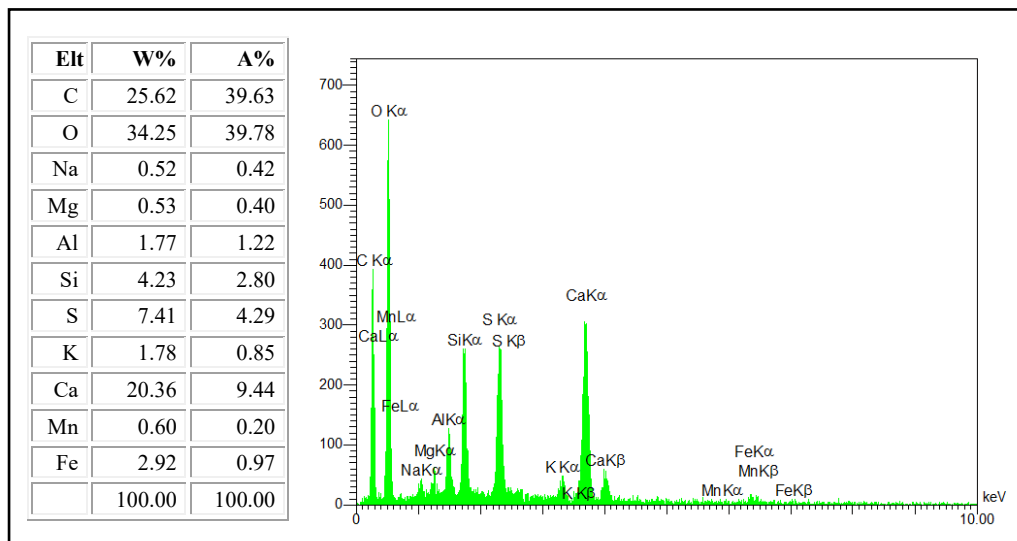
شناسایی رنگ قهوه‌ای (نمونه G)

آنالیز عنصری با روش EDX وجود آهن، گوگرد، سیلیسیم و منگنز به مقدار کم را در این رنگ نشان داد (تصویر ۲۱). تصویر PLM رنگ قهوه‌ای با نور انعکاسی نیز ترکیبات منگنز را به صورت ذرات قهوه‌ای تیره، اخرا را به صورت ذرات قرمز تیره و گچ را با ذرات سفید نشان می‌دهد (تصویر ۲۲). رنگ قهوه‌ای بنابر نتایج آنالیز عنصری و تصویر PLM اکسید آهن و مقداری ترکیبات منگنز



تصویر ۲۰. تصویر PLM رنگ قرمز که اخیراً با رنگ قرمز تیره و گچ با رنگ سفید دیده می‌شود، نور انعکاسی متقاطع (XPL)، (نگارندگان، ۱۴۰۰).

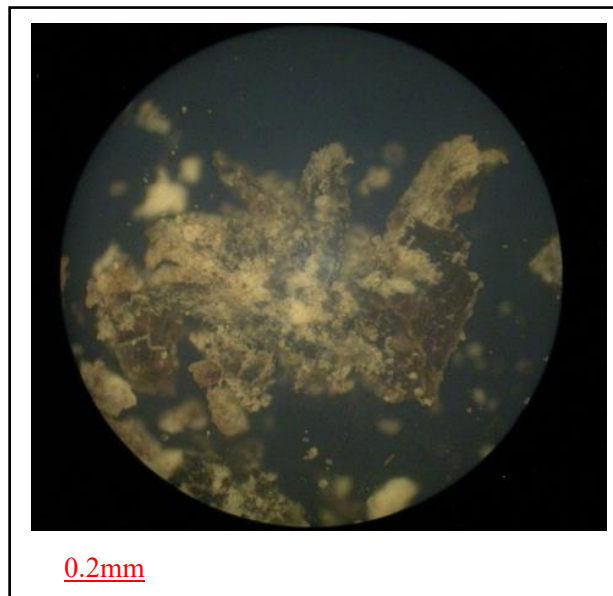
Fig. 20. PLM image of red, that ochre is seen in dark red and gypsum in white. XPL (Authors, 2021).



تصویر ۲۱. طیف EDX به همراه جدول آنالیز نیمه کمی رنگ قهوه‌ای

Fig. 21. EDX spectrum with semi-quantitative analysis of brown color (Authors, 2021).

به منظور تیره کردن رنگ قرمز است که این مخلوط «آمبر» نامیده می‌شود و در صورتی که مقدار منگنز بیشتر شود، رنگ سیاه تولید می‌شود (فرهمندبروجنی و همکاران، ۱۳۹۱). تاریخچه استفاده از این رنگ دانه به قرن شانزدهم میلادی برمی‌گردد، اما استفاده از آن در قبر «نفرتیتی» و نقاشی‌های پمپی که مربوط به پیش از میلاد است، نیز گزارش شده است (Helwig, 2007). آمبر کاربرد زیادی در نقاشی‌های قرن ۱۸ م. اروپا داشته است (Gifford, 1983)؛ اما در ایران تاکنون گزارشی از وجود



تصویر ۲۲. تصویر میکروسکوپی رنگ قهوه‌ای در نور انعکاسی، بزرگ‌نمایی ۴۰x (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 22. PLM image of Brown color 40x XPL (Authors, 2021).

آمبر در دیوارنگاره‌ها منتشر نشده است. نتایج شناسایی مواد و رنگ دانه‌های به‌کاررفته در بقعه قدمگاه نیشابور در جدول ۳ آمده است.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق رنگ‌های به‌کاررفته در کتیبه و دیوارنگاره‌های بنای بقعه قدمگاه نیشابور با روش‌های مختلف دستگاهی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. برای شناسایی مواد و رنگ دانه به‌کاررفته در این رنگ‌ها از روش‌های دستگاهی XRD, FTIR, SEM-EDX, PLM و طیف‌سنجی میکرورامان پرتابل، استفاده شد. در کتیبه که در قسمت بالای بنا قرار داشت دو رنگ آبی و طلایی به‌کاررفته بود که رنگ آبی لاجورد مصنوعی و رنگ طلایی مخلوط مس و روی بود. گچ در لایه بستر این کتیبه به‌کاررفته بود. عدم وجود کانی‌هایی مثل پیریت و کلسیت در رنگ لاجورد نشان داد لاجورد به‌کاررفته مصنوعی است؛ زیرا لاجورد استخراج شده از منابع طبیعی علاوه بر کانی لاجورد مقدار قابل توجهی نیز کانی پیریت و کلسیت دارد. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که رنگ لاجورد به‌کاررفته در این رنگ فاقد این کانی‌ها بود. رنگ آبی به‌کاررفته در دیوارنگاره نیز لاجورد مصنوعی بود؛ با این تفاوت که بر روی یک لایه قرمز رنگ که اُخرا بود، قرار گرفته بود. برای شناسایی رنگ سبز از طیف‌سنجی میکرورامان پرتابل استفاده شد. نتایج رامان وجود مس فتالوسیانین (فتالوسیانین سبز) که یک رنگ دانه آلی سنتزی مدرن است را نشان داد. رنگ قرمز نارنجی و قرمز به ترتیب مخلوط سرنج و اُخرا، و اُخرا بود. رنگ قهوه‌ای بنابر نتایج آنالیز عنصری و تصویر PLM آمبر است که مخلوط اکسید آهن و مقداری کمی اکسید منگنز است که از رنگ دانه‌های متداول در قرن ۱۸م. اروپا بوده و به علت مراودات ایران در دوره قاجار با اروپا مثل سایر رنگ دانه‌های وارداتی، مثل: لاجورد مصنوعی، آبی پروس و سبز زمردی وارد ایران شده و مورد استفاده قرار گرفته است. گچ در همه رنگ‌ها به عنوان زیرسازی به‌کاررفته بود. با توجه به رنگ دانه شناسایی شده در کتیبه و دیوارنگاره‌های بقعه قدمگاه می‌توان نتیجه گرفت که به علت کاربرد لاجورد مصنوعی، نقاشی‌های این بقعه نمی‌تواند متعلق به دوره صفوی باشد؛ زیرا این رنگ از اواسط قرن نوزدهم

میلاادی وارد پالت رنگ نقاشان شده است. مس فتالوسیانین که در رنگ سبز به کار رفته از رنگ دانه جدید است که احتمالاً برای مرمت نقاشی استفاده شده است. شروع استفاده این رنگ دانه در ۱۳۲۰ ه.ش. بوده، ولی مشخص نیست این رنگ دانه در چه تاریخی جهت مرمت یا بازسازی این رنگ استفاده شده است. با توجه به وجود روغن در طیف FTIR این رنگ به نظر می‌رسد برای بست این رنگ برخلاف سایر رنگ‌ها از روغن استفاده شده است و روش استفاده شده در این رنگ با سایر رنگ‌ها متفاوت است. در طیف FTIR سایر رنگ‌ها، ماده آلی مشخصی که نقش بست رنگ را داشته باشد، شناسایی نشد که ممکن است به علت کم بودن مقدار آن نسبت به رنگ دانه و زیرسازی نقاشی باشد و یا شاید به علت از بین رفتن آن‌ها و یا ناپایداری مواد آلی در طول زمان باشد.

سپاسگزاری

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از اداره میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری شهرستان نیشابور، اداره اوقاف استان خراسان رضوی و اداره اوقاف شهرستان نیشابور، هیأت امنا و مسئولین محترم بقعه قدمگاه نیشابور جهت همکاری در زمینه نمونه برداری و هم‌چنین از دانشگاه هنر تهران جهت آنالیز FTIR، پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی جهت آنالیز FTIR, PLM و XRD، پژوهشگاه شیمی و مهندسی شیمی ایران جهت آنالیز SEM-EDX و مؤسسه علوم و فناوری در هنر وابسته به آکادمی هنرهای زیبای وین جهت همکاری در آزمایش میکرورامان تشکر نمایند.

پی‌نوشت

1. Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (SEM-EDX)
2. Fourier-transform infrared spectroscopy
3. Polarized light microscopy
4. X-ray Powder Diffraction

کتابنامه

- احمدی، حسین؛ عابد اصفهانی، عباس؛ مرتضوی، محمد؛ و موسوی، سیدمحمدجواد، (۱۳۹۳). «شناخت تزئینات طلایی بدل در نسخ خطی تاریخی بررسی روند تخریب رنگ دانه‌های طلایی و کاغذ تکیه‌گاه». مرمت و معماری ایران، ۴ (۷): ۷۷-۸۸.
- احمدی، عباسعلی، (۱۳۹۹). «مطالعه تطبیقی-تحلیلی بقعه عبدالؤمن حبیب‌آباد، جلوه‌گاهی از نقاشی دیواری عهد صفوی و قاجاری». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۱۲: ۲۰۸-۱۸۹.
- امیرخانی، پروین، (۱۳۹۲). «معماری منظر قدمگاه نیشابور». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد معماری منظر، دانشگاه شهیدبهشتی (منتشر نشده).
- باتر، مسعود، (۱۳۸۹). «بررسی ساختار رنگ دانه‌های نقاشی‌های دیواری عصر پارسی در کوه خواجه سیستان». بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۱۸ (۳): ۳۳۴-۳۲۳.
- بهادری، رؤیا؛ و بحرالعلومی، فرانک، (۱۳۹۲). «بررسی‌های باستان‌سنجی رنگ دانه‌های به‌کاررفته در آثار رنگ و موزائیک هزاره سوم سوم پیش از میلاد در ایران». اولین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، بیرجند، <https://civilica.com/doc/370891>.
- بهادری، رؤیا؛ و بحرالعلومی، فرانک، (۱۳۹۴). «مطالعات آزمایشگاهی بر روی نقاشی روی چوب در خانه بیرجندی‌ها». بهادری، رؤیا، امین شیرازی، شهرزاد (ویراستاری علمی)، مجموعه مقالات نهمین همایش حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی، ساری، ۲۳-۲۵ آذر ۱۳۸۸، تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری: ۶۵-۶۰.

- بهشتی، سیدمحمد؛ و خیراندیش، محبه، (۱۳۹۵). «مطالعه تطبیقی دو باغ قدمگاه نیشابور و باغ خواجه ربیع مشهد». چهارمین کنفرانس ملی توسعه پایدار در علوم جغرافیا و برنامه‌ریزی، معماری و شهرسازی، تهران: <https://civilica.com/doc/520442>.
- بختیاری، محمود، (۱۳۸۱). «راه‌های باستانی توس به نیشابور و آثار تاریخی مجاور آن‌ها». اثر، ۲۳ (۳۳ و ۳۴): ۳۱۹-۳۴۶.
- پاکباز، روبین، (۱۳۸۹). نقاشی ایران از دیرباز تا امروز. تهران: نشر زرین.
- تهرانچی بلدی، عاطفه؛ نوری، عسگری؛ و رفیع‌فر، جلال‌الدین، (۱۳۹۴). «نگاهی تحلیلی به دیوارنگاری‌های حمام شاه مشهد از منظر مردم‌شناسی». همایش ملی فرهنگ گردشگری و هویت شهری.
- خان‌مرادی، میژگان، و نیکنامی، کمال‌الدین، (۱۳۹۶). «بررسی ساختار رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در گچ‌بری‌های به‌دست‌آمده از محوطه قلعه یزدگرد». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۷ (۱۳): ۱۴۳-۱۵۶.
- رحمانی، غلامرضا؛ و حسینی، مهدی، (۱۳۹۸). «نیت‌مندی و ارتباط آن با رنگ‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های درباری قاجار». پژوهش باستان‌سنجی، ۵: ۴۱-۳۱.
- رحمانی، غلامرضا؛ و حسینی، مهدی، (۱۳۹۹). «جامعه‌شناسی تاریخی دیوارنگاره‌های درباری دوره قاجار». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۱۱: ۲۱۷-۲۰۵.
- روشنی‌زعفرانلو، قدرت‌الله، (۱۳۸۷). سه سفرنامه (هرات، مرو، مشهد). قم: مؤسسه فرهنگی و اطلاع‌رسانی تبیان.
- رضازاده‌اردبیلی، مجتبی؛ و فاضل‌زاده‌تمام، زهره، (۱۳۹۵). «ردپای امام رضا (ع) در باغ قدمگاه نیشابور، کاری از شیخ‌بهایی به دستور شاه‌عباس اول از طراحی تا مفهوم». هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، ۲۱ (۲): ۱۰۸-۹۳.
- دمیرچی، شهاب‌الدین، (۱۳۸۲). شیخ‌بهایی از جیل عامل تا اصفهان. تهران: نشر خورشید آفرین.
- عرفان‌منش، جلیل، (۱۳۷۶). جغرافیای تاریخی هجرت امام رضا (ع) از مدینه تا مرو. مشهد: انتشارات آستان‌قدس رضوی.
- عباسی، جواد؛ بهادری، رؤیا؛ بزرگمهر، محمدعلی؛ بهشتی، سیدایرج؛ و بحرالعلوم، فرانک، (۱۳۹۵). «شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در نقاشی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند». پژوهش باستان‌سنجی، ۲: ۷۷-۶۳.
- فرهمندبروجنی، حمید؛ عابد‌اصفهانی، عباس؛ و شیشه‌بری، طاهره، (۱۳۹۱). «شناخت مواد و فنون دیوارنگاری پنج بنای دوره ایلخانی شهر یزد». مرمت و معماری ایران، ۲ (۴): ۹۷-۱۱۲.
- گرایلی، فریدون، (۱۳۷۴). نیشابور شهر فیروزه. مشهد: انتشارات خاوران.
- گلستانی، سعید؛ و شریف‌زاده، سمیه، (۱۳۹۰). «کنکاشی در ویژگی‌های خیابان صفوی». باغ نظر، ۱۷: ۶۸-۵۹.
- مدهوشیان‌نژاد، محمد؛ حدادیان، محمدعلی؛ و رازانی، مهدی، (۱۳۹۶). «مطالعه تطبیقی دیوارنگاری در تالارهای شاه‌نشین خانه حریری تبریز و خانه قوام‌الدوله تهران». هنرهای صناعی اسلامی، ۲ (۱): ۵۱-۳۶.
- مولوی، عبدالحمید، (۱۳۴۹). آثار باستانی خراسان. تهران: نشر انجمن آثار و مفاخر فرهنگی.
- نظری، فرهاد؛ و نیکزاد، ذات‌الله، (۱۳۹۲). «بازشناسی مسیر هجرت امام رضا (ع) در ایران براساس آثار و اماکن تاریخی». اثر، ۶۲: ۱۰۷-۱۲۳.
- وثوقی‌عابدینی، منصور، (۱۳۸۳). مبانی تئوری و عملی کانی‌شناسی نوری. تهران: آریز زمین.

- هرندی، دانیال؛ طاهری، محمدحسین؛ و سرداری، علیرضا، (۱۳۹۴). «شناسایی رنگ دانه‌های دیوارنگاره "تل مش‌کریم" سمیرم، مربوط به دوره مس‌وسنگ ایران». علوم و فناوری رنگ، ۹ (۳): ۱۸۷-۱۹۷.

- یونسی، محسن؛ عسکری‌پور، وحید؛ و بحرالعلمی، فرانک، (۱۳۹۶). «مطالعات باستان‌سنجی محراب ضلع غربی شبستان شمالی جامع کاشان». کاشان‌شناسی، ۱۰ (۱): ۸۷-۶۸.

- Abbasi, J.; Bahadori, R.; Bozorgmehr, M. A.; Beheshti, S. I. & Bahrololoumi, F., (2017). "Identification of Materials and Pigments Used in Mural Painting of Rahim Abad Historic Garden & Mansion in Birjand". *Journal of Research on Archaeometry*, 10 (2): 63-76. [In Persian]

- Ahmadi, A. A., (2019). "Comparative-analytical study of Abdolmomen Habibabad tomb, a manifestation of Safavid and Qajar wall painting". *Parse Archaeological Studies*, 12: 189-208. [In Persian]

- Ahmadi, H.; Abed Isfahani, A.; Mortazavi, M. & Mousavi, S. M. J. (2013). "Knowledge of gold decorations in historical manuscripts, investigation of the process of destruction of gold pigments and backing paper". *Restoration and Architecture of Iran*, 4(7): 77-88. [In Persian]

- Akyol, A. A. & Houreh, N. D., (2019). "Deterioration Problems and Pigment Analyses of the Qajar Period Wall Paintings from Shah Bath in Isfahan". *Akademik Sanat*, 4(7): 210-226.

- 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: An International Journal*, 29(1): 18-24.

- Amirkhani, P., (2012). "Landscape architecture of Gadhamgah Neyshabur". Master's thesis, field of landscape architecture. Shahid Beheshti University (Unpublished). [In Persian]

- Bahadori, Roya, Bahrololoomi, Faranak. (2012). "Archaeometric studies of pigments used in paint and mosaic works of the third millennium BC in Iran". The first national archeology conference of Iran, Birjand, <https://civilica.com/doc/370891> [In Persian]

- Bahadori, R. & Bahrololoomi, F., (2015). "Scientific study of paintings on wood in the house Birjandi". R. Bahadori, & S. Amin Shirazi (eds.), *Ninth Conference on conservation and restoration of historical monuments and architectural decoration*, Sari, Tehran: Center for conservation and restoration, 60 -65. [In Persian]

- Bakhtiari, M., (2002). "The ancient roads of Tus to Neishabur and their adjacent historical monuments". *Scientific and Technical Art Quarterly*, 23 (33 & 34): 346-319. [In Persian]

- Bater, M., (2008). "Investigation of the pigment structure of Parthian era wall paintings in Khwaja Mountain, Siestan". *Iranian Journal of Crystallography and*

Mineralogy, 18 (3): 334-323. [In Persian]

- Beheshti, S. M. & Khairandish, M., (2015). "Comparative study of two gardens of Ghadmagah in Neishabour and Khajeh Rabi Garden of Mashhad". *4th National Conference on Sustainable Development in the Sciences of Geography and Planning, Architecture and Urban Planning*, Tehran: <https://civilica.com/doc/520442>. [In Persian].

- Berrie, B. H., (2007). *Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics*. Vol. 4. National Gallery of Art.

- 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: An International Journal for Original Work in all Aspects of Raman Spectroscopy, Including Higher Order Processes, and also Brillouin and Rayleigh Scattering*, 38(7): 909-915.

- Clark, R. J., (2002). "Pigment identification by spectroscopic means: an arts/science interface". *Comptes Rendus Chimie*, 5(1): 7-20.

- Dal Fovo, A.; Mazzinghi, A.; Omarini, S.; Pampaloni, E.; Ruberto, C.; Striova, J. & Fontana, R., (2020). "Non-invasive mapping methods for pigments analysis of Roman mural paintings", *Journal of Cultural Heritage*, 43: 311-318.

- Damirchi, Sh. & Soleimani, B., (2009). *Sheikh Baha'i from Jebel Agent to Isfahan*. Tehran: khorshid afarin. [In Parsian].

- Darwish, S. S., (2013). "Scientific Investigation Of The Materials And Techniques Used In A 19 Th Century Egyptian Cemetery Wall Painting (Hawsh Al-Basha)". *International Journal Of Conservation Science*, 4(2): 145-152.

- Defeyt, C.; Vandenabeele, P.; Gilbert, B.; Van Pevenage, J.; Cloots, R. & Strivay, D., (2012). "Contribution to the identification of α -, β -and ϵ -copper phthalocyanine blue pigments in modern artists' paints by X-ray powder diffraction, attenuated total reflectance micro-fourier transform infrared spectroscopy and micro-Raman spectroscopy". *Journal of Raman Spectroscopy*, 43(11): 1772-1780.

- Derrick, M. R.; Stulik, D. & Landry, J. M., (1999). *Infrared Spectroscopy in Conservation Science*. Getty Conservation Institute, Los Angeles.

- Eastaugh, N.; Walsh, V.; Chaplin, T. & Siddall, R., (2007). *Pigment compendium: a dictionary of historical pigments*. Routledge.

- Elias, M.; Chartier, C.; Prévot, G.; Garay, H. & Vignaud, C., (2006). "The colour of ochres explained by their composition". *Materials Science and Engineering: B*, 127(1): 70-80.

- Erfan Manesh, J., (1997). *Historical Geography of Imam Reza (AS) from Medina to Merv*. Mashhad: Astan Quds Razavi Publications. [In Parsian]

- Escorteganha, M. R.; Bayon, J.; Santiago, A. G.; Richter, F. A. & Costa, T. G., (2015). "Interdisciplinary Studies Of the "Višta Do Desterro" Painting: Historical Approach, Analysis of Materials and Preservation/Restoration Techniques". *International Journal of Conservation Science*, 6(3): 273-286.

- Farahmand Boroujeni, H.; Abed Esfahani, A. & Shishebori, T., (2012). "Understanding the materials and techniques of mural painting of the five Ilkhanid buildings of Yazd city". *Iranian Restoration and Architecture Magazine*, 2 (4): 97-112. [In Parsian]
- 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.
- Gifford, E. M., (1983). "The aesthetic consequences of painting materials: a study of Dutch tonal landscapes". In: *Abstracts of Papers Delivered in Art History Sessions, 71st Annual Meeting*, College Art Association of America: 96-96.
- Gil-Torrano, A.; Gómez-Morón, A.; Martín, J. M.; Ortiz, R.; Fuertes Santos, M. & Ortiz, P., (2019). "Characterization of Roman and Arabic mural paintings of the archaeological site of Cercadilla (Cordoba, Spain)". *Scanning*: 1-14.
- Giustetto, R.; Dario, G. & Diana, E., (2018). *Decay of red pigments on a wall painting adorning the church of 'San Francesco Dei Capuccini' in Racconigi (Italy)*. Archaeometric survey and restoration intervention.
- Goleštani, S. & Sharifzadeh, S. (2011). "Exploring Safavid Street Features". *Bag Nazar*, 17: 68-59 c. [In Parsian].
- Graily, F., (1979). *Neyshabur Firoozeh City*. Khavaran Press, P. Mashhad. [In Parsian]
- Harandi, D.; Taheri, M. H. & Sardari, A., (2015). "Identification of pigments of Tal-e Mash Karim wall painting at the Chalcolithic site of Iran". *Journal of color science and technology*, 9 (3): 187-197. [In Parsian]
- Helwig, K., (2007). "Iron oxide pigments: natural and synthetic". *Artists' pigments: a handbook of their history and characteristics*, 4: 88.
- http://cameo.mfa.org/wiki/Phthalocyanine_green
- 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.
- 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.
- Khanmoradi, M. & Niknami, K. A., (2015). "Investigating the structure of pigments used in bedding obtained from Yazdgerd Castle area". *Archaeological Research of Iran*, 7 (13): 143-156 [In Parsian]
- Madhoshiannejad, M.; Haddadian, M. A. & Razani, M., (2018). "Comparative Study Of Masonry In The Imperial Halls of Tabriz Hariri House and Ghavam Al-Dawlah House in Tehran". *Journal of Islamic Crafts*, 2(1): 36-51. [In Parsian]

- Maravelaki-Kalaitzaki, P. & Kallithrakas-Kontos, N., (2003). "Pigment and terracotta analyses of Hellenistic figurines in Crete". *Analytica Chimica Acta*, 497(1-2): 209-225.
- 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.
- Molavi, A., (1970). *Antiquities Khorasan*. Publication of the Association of Cultural Works and Works. Tehran [In Parsian]
- Nazari, F. & Nikzad, Z. A., (2013). "Recognition Of Imam Reza's Migration Route in Iran Based on Historical Monuments and Places". *Journal of Technical and Artistic Science ASAR*, 62: 107-123. [In Parsian]
- Pakbaz, R., (2009). *Iranian painting from ancient times to today*. Tehran: Zarin Publishing. [In Persian]
- Pakzad, Z., (2017). "Color Structure in the Persian Painting". *Rev. Eur. Stud.*, 9: 1.
- Pelesters, J., (1997). "Artists' Pigments". *A Handbook of their History and Characteristics*, Ashok Roy (ed.), National Gallery of Art and Oxford University Press: Washington, DC, Oxford University Press, Vol. 2: 37-98
- Rahmani, G. & Hosseini, M., (2019). "Intention and its Relation with Colors Used in Royal Qajar Mural Painting". *Journal of Research on Archaeometry*, 10 (5: 1): 31-41 [In Parsian]
- Rahmani, Gh. & Hosseini, M., (2019). "Historical Sociology of Court Murals of the Qajar Period". *Parse Archaeological Studies*, 11: 217-205. [In Parsian]
- Rezazadeh Ardebili, M. & Fazel Zadeh Tamam, Z., (2016). "Footprint of Imam Reza (AS) in Qadamgah Garden of Neyshabur A Work by Sheikh Baha'i on the Order of Shah Abbas I from Design to Concept". *Journal of Fine Arts - Architecture & Urban Development*, 21 (2): 93-108. [In Parsian]
- Rodríguez-Gacitúa, C.; Campos-Vallette, M. & Celis, F., (2016). "Raman identification of pigments in the work of the chilean contemporary visual artist Ignacio Gumucio". *Journal of the Chilean Chemical Society*, 61(3): 3085-3089.
- Roshni Zaafranlou, Q., (2008). *Three travelogues (Harat, Merv, Mashhad)*. Qom: Tebian Cultural and Information Institute: 198. [In Parsian]
- Roštami, L. & Arjmandfard, A., (2019). "The Manifestation of Female Musicians in the Paintings of Qajar Era". *Science Arena Publications Specialty Journal of Humanities and Cultural Science*, 4 (2): 1-11.
- Rúa, C.; Sepúlveda, M.; Gutiérrez, S.; Cárcamo-Vega, J. J.; Surco-Luque, J.; Campos-Vallette, M. & Pereira, M., (2017). "Raman identification of pigments in wall paintings of the Colonial period from Bolivian churches in the Ruta de La Plata". *Conservation Science in Cultural Heritage*, 17: 117-137.
- Smith, E. & Dent, G., (2005). *Modern Raman spectroscopy: a practical approach*. John Wiley & Sons, New York

- Stuart, B. H., (2007). *Analytical techniques in materials conservation*. John Wiley & Sons.
- Tehranchi Baladi, A.; Nouri, A. & Rafifar, J., (2015). "An analytical look at the murals of Shah Mashhad Bath from an anthropological perspective". *National Conference on Tourism Culture and Urban Identity*. Vol. 1. [In Parsian]
- Vandabeele, 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.
- Vandabeele, P.; Edwards, H. G. & Moens, L., (2007). "A decade of Raman spectroscopy in art and archaeology". *Chemical reviews*, 107(3): 675-686.
- Vothoughi-Abedini, M., (2013). *Theoretical and practical basics of optical mineralogy*. Tehran: Arin Zameen. [In Parsian]
- Younesi, M.; Askarpour, V. & Bahrololoomi, F., (2017). "Archaeometry of western side Mihrab of northern Shabistan of Kashan's Jami' mosque". *Studies on kashsn*, 1 (10): 68-87 [In Parsian]
- 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.