

Technical Study of Different Layers of Decorative Murals of Imamzadeh Hossein in Qazvin

Haji Seyydvajadi, S. M.¹; Karimpanah, S.²; Mokaberian, M.³;
Tousian Shandiz, Gh.⁴

Type of Article: **Research**

Pp: 351-378

Received: 2021/12/18; Accepted: 2022/04/25

 <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.6.22.351>

Abstract

Among the architectural arrays of Imamzadeh Hossein in Qazvin that can provide valuable information to researchers, are the remaining parts of the murals. Considering that Qazvin was the capital during the second period of Safavid rule, the study of Safavid and Qajar period buildings in this city can be of great importance. Compared to the existing historical monuments, few studies have been done on the technical knowledge of the layers of historical murals. In the present study, the identification and recognition of pigments related to the remaining murals of this monument and gilded layers has been considered. Also, in order to complete the technical information of the murals, the mortar of the fine coat (finishing plaster) and scratch coat (levelling coat) under the paint has been studied in terms of structure and chemical composition. To identify the pigments used in the murals as well as the materials used in the mortar of the underlying layers of the mural and the floor mortar, the hydraulic properties and the mineral and chemical composition of the mortar from X-ray diffraction, scanning electron microscopy coupled with energy dispersive spectroscopy and digital microscope have been used. As a result of the studies, it was found that the Pastiglia in the murals is made of a mixture of gypsum and Bole (Armenian Bole, Hormoz Bole). Apply a white Primary layer on the pastiglia on which the gold leaf is applied with low copper impurity. In this murals, three types of gold sheets have been executed. Green: A mixture of arsenic pigment with azure blue and Prussian blue; Green-blue: a mixture of green earth pigment (Celadonite) with white lithopone; Blue: a mixture of azure and Prussian blue pigments with White lead; Red: A mixture of ocher red and orange arsenic; Primary layer filler: a mixture of Huntite and White lead; black: It is a mixture of cobalt black and iron black. The structure and composition of mortars were also identified.

Keywords: Mural, Pigment, Gilding, Structural Study, Mortar, Qazvin.



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.

1. Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Payam Noor University, Tehran, Iran (Corresponding Author).

Email: hajsayyedjavady@pnu.ac.ir

2. M. A. student in the field of art research, Payam Noor University, Tehran, Iran.

3. Instructor of the Department of Art and Architecture, Payam Noor University, Tehran, Iran.

4. Assistant Professor, Department of Art and Architecture, Payam Noor University, Tehran, Iran.

Citations: Hajisayyedjavadi, S. M.; Karimpanah, S.; Mokaberian, M. & Tousian Shandiz, G., (2023). "Technical Study of Different Layers of Decorative Murals of Imamzadeh Hossein in Qazvin". *Parseh J Archaeol Stud*, 6 (22): 351-378. (<https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.6.22.351>).

Homepage of this Article: http://journal.richt.ir/mbp/browse.php?a_id=670&sid=1&slc_lang=en

Introduction

The technical diversity of murals in the Safavid and Qajar periods is one of the important issues of knowing historical murals. To technical understanding historical mural, its different layers are subjected to careful scientific study. The main layer is the color layer which consists of two parts: dye and binder. It should be noted that the array of gilding in the mural and the borders of the mural is also considered as a mural. Imamzadeh Hossein is one of the prominent buildings of Qazvin city. Most of the murals of this building belong to the Qajar period. Evidence shows that traces of the Safavid period are also left in this building in the lower layers.

The aim of the current research is to obtain technical information about the layers of murals of this historical building. Identifying and recognizing the pigments in historical murals from archeology point of view helps completing the technical information about the use of pigments by artists. Some pigments have a specific starting date, which helps clarify the date of making the murals.

In archeology, studies have been conducted regarding the technical knowledge of different layers of historical murals in Iran, but very few studies have been done considering the volume of murals in Iran in different periods. Therefore, it is necessary to more complete these studies over time which its result is to complete the database in this field. In the upcoming research, in order to know more about the murals, technological studies were done on it. After field studies, the pigments used in the murals were sampled and identified. To complete the information, the lining layers and the substrate and a sample of the floor mortar were also studied. In this regard, the main questions of the current research are: What pigments are used in the murals of Imamzadeh Hossein in Qazvin? What method was used for gilding in these murals? What are the physical and structural characteristics of the lining layers and substrate of the studied murals?

Discussion in the Results and Findings

a. Scanning Electron Microscope: In the sample (2021.Q.IH.1) there is a large accumulation of gypsum crystals and intertwining has been created between them. The empty space between the crystals is little and also the crystals are irregularly placed together at different angles. In 2021.Q.IH.10 sample, needle-shaped gypsum crystals that are intertwined can be seen in many parts. In 2021.Q.IH.11 sample, gypsum crystals in different sizes are placed at different angles. In this sample, there is no long needle crystal and instead, the crystals have grown a lot in the width direction. In 2021.Q.IH.12 sample, the gypsum crystals are slightly different in terms of shape from the samples of the floor and lining layer.

b. Energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX): In 2021.Q.IH.1 sample, there is a small amount of silicon, aluminum and magnesium, which is related to soil. In 2021.Q.IH.2 sample, the amount of sulfur is about 13% which some part of it is related to yellow pigment and some part is related to blue pigment. In 2021.Q.IH.3

sample, elements of potassium, aluminum, iron, magnesium and silicon can be seen next to oxygen. These elements are related to Verona green or green earth pigment. In 2021.Q.IH.5 sample, a high percentage of gold and a relatively low percentage of copper were detected in the sample. In 2021.Q.IH.6 sample, two coloring elements, iron and arsenic, along with sulfur have been detected. In 2021.Q.IH.7 sample, the main filling material is huntite or chalk. On the other hand, a small amount of lead has been detected in this sample. Gold, copper and iron have been detected in 2021.Q.IH.8 sample. In 2021.Q.IH.9 sample, two elements, cobalt and iron, along with sulfur, are significant and influential elements in making black color. In 2021.Q.IH.10 sample, the highest percentage of elements is related to calcium and sulfur. In 2021.Q.IH.11 sample, except the main elements of gypsum, a very small amount of elements of silicon, aluminum and magnesium have also been detected.

c. X-ray diffraction spectroscopy: As a result of the phase analysis of 2021.Q.IH.1 sample which is related to the lay-up under the gold sheet, quartz has been detected. The quartz detected in the lay-up is related to the red flower (Armenian flower) that was added to the plaster during the mortar processing. The next identified phase is gypsum. As a result of the phase analysis of 2021.Q.IH.10 sample which is related to the floor coating mortar, quartz has been detected. The next identified phase is gypsum. As a result of the phase analysis of 2021.Q.IH.11 sample, which is related to the floor coating mortar, anhydrite phase has been detected in the studied sample. The amount of anhydrite in the lining layer is higher than gypsum. As a result of phase analysis of 2021.Q.IH.12 sample, which is related to the substrate layer in the studied mural, quartz has been detected. The granularity of the quartz phase in the substrate was much finer than the previous samples. The next identified phase is gypsum.

Conclusion

The lay-up used in the murals of this building is made of a mixture of plaster and red flower (Armenian flower, Hormoz flower). Green color is a mixture of arsenic pigment with lapis lazuli and Prussian blue. Blue-green color is a mixture of green earth pigment with lithopone white. The blue color is a mixture of lapis lazuli and Prussian blue pigment along with white lead. The golden color of embossing is gold sheet with a small amount of copper impurity. The layer that is applied on the lay-up is also a gold sheet with a small impurity of copper. In line with the studies on the shiny brown sample, it was concluded that this layer is a gold sheet with copper and iron impurities, which its surface has corroded and darkened over time. In fact, three types of gold sheets have been used in the studied murals that two of them are similar and seem to belong to the same period. A layer that is different in terms of the composition of elements and impurities belongs to later periods. The red color in these murals is a mixture of red ochre and orange arsenic. The white color filling the preparatory layer is a mixture of huntite and white lead. Black color of embossing is a mixture of cobalt black and iron

black. Contrary to imagination, the floor mortar is a gypsum mortar with two phases of gypsum and anhydrite to which some sand and soil have been added. Due to proper processing, this mortar has adequate strength, although humidity has caused damage to the work over time. The lining layer and the substrate in the studied murals are made of plaster mortar. There is a difference that the thickness of the lining layer is greater than that of the substrate and it has coarser graining and more impurity. On the other hand, the looser mortar of the substrate is due to the way of processing, and the arrangement of gypsum crystals is different from that of the lining layer.



مطالعه فنی و هنری لایه‌های مختلف دیوارنگاره‌های تزیینی امامزاده حسین علیه السلام قزوین

سیدمحسن حاجی سیدجوادی^۱؛ سمیرا کریم‌پناه^۲؛ مهدی مکبریان^۳؛
غلامرضا طوسی‌ان شاندیز^۴

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۳۷۸-۳۵۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۰۵

شناسه دیجیتال (DOI): <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.6.22.351>

چکیده

از جمله آرایه‌های معماری امامزاده حسین علیه السلام قزوین که می‌تواند اطلاعات ارزشمندی در اختیار پژوهشگران قرار دهد، بخش‌های باقی‌مانده از دیوارنگاره‌های بناست. با توجه به این‌که در دوره دوم حکومت صفویان قزوین پایتخت بوده، مطالعه بناهای دوره‌های صفویه و قاجاریه این شهر می‌تواند از اهمیت بالایی برخوردار باشد. نسبت به آثار تاریخی موجود، مطالعات اندکی در خصوص شناخت فنی لایه‌های دیوارنگاره‌های تاریخی صورت گرفته است. در پژوهش پیش‌رو، شناسایی و شناخت رنگ‌دانه‌های مربوط به دیوارنگاره‌های باقی‌مانده این بنا مدنظر بوده که در کنار آن، لایه‌های طلائی‌رنگ هم مورد مطالعه علمی قرار گرفته است. هم‌چنین جهت تکمیل اطلاعات فنی دیوارنگاره‌ها، ملات لایه‌های آستر و بستر در زیر رنگ نیز از نظر ساختاری و ترکیبات شیمیایی مطالعه شده است. برای شناسایی رنگ‌دانه‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌ها و هم‌چنین مواد استفاده شده در ملات لایه‌های زیرین دیوارنگاره و ملات کف بنا، ویژگی‌های هیدرولیکی و ترکیبات معدنی و شیمیایی ملات از XRD, SEM-EDS و میکروسکوپ دیجیتال استفاده شده است. در نتیجه مطالعات مشخص شد که لایه چینی اجراشده در دیوارنگاره‌های این بنا از مخلوط گچ و گل سرخ (گل ارمنی، گل هرمز) ساخته شده است. یک لایه بوم‌کننده سفید بر روی لایه چینی استفاده کرده است که روی آن ورق طلا با ناخالصی کم مس اجرا شده است. در دیوارنگاره‌های مورد مطالعه سه نوع ورق طلا اجرا شده است. رنگ سبز، مخلوطی از رنگ‌دانه زرنیخ با آبی لاجورد و آبی پروس؛ رنگ سبز-آبی، مخلوطی از رنگ‌دانه سبز سیلو با سفید لیتوپون؛ رنگ آبی، مخلوطی از رنگ‌دانه لاجورد و آبی پروس به همراه سفیداب شیخ؛ رنگ قرمز، مخلوطی از قرمز اخرا و زرنیخ نارنجی؛ پرکننده لایه تدارکاتی، مخلوطی از هانتیت و سفیداب شیخ؛ رنگ سیاه قلم‌گیری، مخلوطی از رنگ سیاه کبالت و رنگ سیاه آهن است. هم‌چنین ساختار و ترکیبات ملات‌ها شناسایی شد.

کلیدواژگان: دیوارنگاره، رنگ‌دانه، طلاچسبانی، ساختارشناسی، ملات گچی، امامزاده حسین علیه السلام قزوین.

I. استادیار، گروه هنر و معماری، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: hajsayyedjavady@pnu.ac.ir

II. دانشجوی کارشناسی ارشد رشته پژوهش هنر، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

III. مدرس گروه هنر و معماری، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

IV. استادیار، گروه هنر و معماری، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران.

ارجاع به مقاله: حاجی سیدجوادی، سیدمحسن؛ کریم‌پناه، سمیرا؛ مکبریان، مهدی؛ و طوسی‌ان شاندیز، غلامرضا، (۱۴۰۱). «مطالعه فنی و هنری لایه‌های مختلف دیوارنگاره‌های تزیینی امامزاده حسین (ع) قزوین». مطالعات باستان‌شناسی پارسه. ۶ (۲۲): ۳۷۸-۳۵۱. <https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.6.22.351>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <http://journal.richt.ir/mbp/article-1-670-fa.html>

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

ناشر: پژوهشگاه میراث‌فرهنگی 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 این‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.



مقدمه

تنوع شیوه دیوارنگاره‌ها در دوره‌های صفویه و قاجاریه، از جمله مسائل مهم شناخت دیوارنگاره‌های تاریخی است. برای شناخت فنی یک دیوارنگاره تاریخی، لایه‌های مختلف آن مورد مطالعه دقیق علمی قرار می‌گیرد. اصلی‌ترین لایه، لایه رنگ است که از دو بخش رنگ‌زا و بست تشکیل شده است. لازم به ذکر است که آرایه طلاکاری در دیوارنگاره و حاشیه‌های دیوارنگاره نیز جزو دیوارنگاره محسوب می‌گردد. یکی از بناهای شاخص شهر قزوین، امامزاده حسین است (تصاویر ۱-۴).

بیشتر دیوارنگاره‌های این بنا مربوط به دوره قاجاریه است که شواهد نشان می‌دهند آثاری از دوره صفویه نیز در این بنا در لایه‌های زیرین باقی مانده است (تصاویر ۵ و ۶).

هدف از پژوهش حاضر، دستیابی به اطلاعات فنی لایه‌های دیوارنگاره‌های این بنای تاریخی است. شناسایی و شناخت رنگ‌دانه‌ها در دیوارنگاره‌های تاریخی از نظر باستان‌شناسی کمک می‌کند تا اطلاعات فنی در خصوص استفاده هنرمندان از نوع رنگ‌دانه تکمیل‌تر شود. برخی از رنگ‌دانه‌ها تاریخ آغاز مشخصی دارند که کمک می‌کند تاریخ ساخت دیوارنگاره‌ها روشن‌تر شود. در حوزه باستان‌شناسی، مطالعاتی در خصوص شناخت فنی لایه‌های مختلف دیوارنگاره‌های تاریخی در ایران انجام شده، ولی با توجه به حجم دیوارنگاره‌های ایران در دوره‌های مختلف، مطالعات بسیار اندکی صورت گرفته است؛ بنابراین ضروری است تا به مرور زمان این مطالعات تکمیل‌تر شود که نتیجه آن، تکمیل بانک اطلاعاتی در این حوزه است. در پژوهش پیش‌رو برای شناخت بیشتر دیوارنگاره‌ها، مطالعات فن‌شناختی بر روی آن انجام شد. رنگ‌دانه‌های استفاده شده در دیوارنگاره‌ها پس از مطالعات میدانی، نمونه‌برداری شد و مورد شناسایی قرار گرفت که برای تکمیل اطلاعات، لایه‌های آستر و بستر و نمونه‌ای از ملات کف بنا نیز مورد مطالعه قرار گرفت. **پرسش‌های پژوهش:** پرسش‌های اصلی پژوهش حاضر عبارتند از: در دیوارنگاره‌های امامزاده حسین قزوین از چه رنگ‌دانه‌هایی استفاده شده است؟ برای طلاکاری در این دیوارنگاره‌ها، از چه شیوه‌ای استفاده شده است؟ لایه‌های آستر و بستر دیوارنگاره‌های مورد مطالعه چه ویژگی‌های فیزیکی و ساختاری دارد؟

روش پژوهش: برای مطالعه فنی دیوارنگاره‌های مورد نظر در امامزاده حسین قزوین، پس از مطالعات و بررسی‌های میدانی نمونه‌برداری انجام شد. نوع و میزان نمونه با توجه بر پرسش‌های پژوهش و ابهامات موجود و هم‌چنین شیوه آزمایش انتخاب شد (جدول ۱). عدد ۲۰۲۱ نشان‌دهنده سال نمونه‌برداری است. Q حرف اول قزوین است. IH حرف اول دو واژه امامزاده حسین است. شماره انتهایی که از ۱ الی ۱۳ نوشته شده، نوع نمونه را مشخص می‌کند.

در بخش ابزار و روش، از میکروسکوپ دیجیتال (Digital Microscope) مارک Dino-Lite plus استفاده شد که دارای یک دوربین دیجیتال کوچک (Cmos) است و به یک کامپیوتر متصل می‌شود. جهت بررسی نمونه‌ها با میکروسکوپ‌های دیجیتال گفته شده، از بزرگ‌نمایی ۲۲۰ برابر و ۶۵ برابر استفاده شد. برای مطالعه بلورهای گچ از سطح و عمق کتیبه گچی و هم‌چنین آنالیز عنصری نقطه‌ای، از میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM مدل ProX ساخت کمپانی Phenom کشور هلند با امکان به‌کارگیری ولتاژهای افزایشی چندگانه 5kV، 10kV، 15kV و برخورداری از آشکارساز EDS از دستگاه CHNS مدل EURO EA3000 متعلق به کشور ایتالیا، شرکت Euro Vector S.P.A. که متصل به میکروسکوپ الکترونی روبشی بود استفاده گردید.

جهت شناسایی و تشخیص فازهای کریستالی موجود در نمونه‌ها، از آنالیز پراش پرتو ایکس XRD به روش پودری به وسیله دستگاه دیفراکتومتر مدل PW1800 ساخت شرکت PHILIPS هلند (لامپ پرتو ایکس از جنس Cu با حداکثر اختلاف پتانسیل 40 kV و حداکثر شدت جریان 40 mA، نمونه ثابت و آشکارساز سوزن) تحت زاویه 2θ: 4-70 استفاده شد. به صورت نیمه‌کمی استفاده شد.



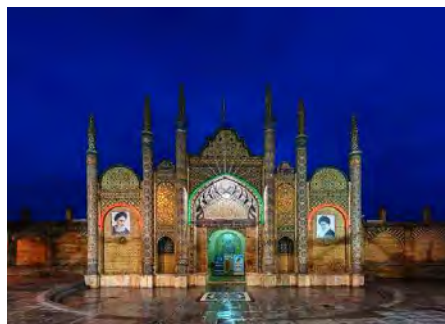
تصویر ۱. موقعیت شهر قزوین در کشور و در مناطق هم جوار، شهری که امامزاده حسین در آن قرار دارد (www. Googleearth.com).

Fig. 1. Location of Qazvin city in the country and in neighboring areas, the city where Imamzadeh Hossein is located (www.Googleearth.com).



تصویر ۲. موقعیت امامزاده حسین در جنوب شهر قزوین، منطقه یک، نزدیک قبرستان قدیمی شهر (www. Googleearth.com).

Fig. 2. The location of Imamzadeh Hossein in the south of Qazvin city, District 1, near the city's old cemetery (www.Googleearth.com).



تصاویر ۳ و ۴. تصاویر نمای کلی از بنای امامزاده حسین در شهر قزوین (نگارندگان، ۱۴۰۰).
Fig. 3 & 4. Images of the general view of Imamzadeh Hossein building in Qazvin (Authors, 2020).



تصاویر ۵ و ۶. لایه‌های باقی مانده از دیوارنگاره‌های تزئینی امامزاده حسین قزوین، از بین رفتن بخش زیادی از دیوارنگاره‌ها (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 5 & 6. The remaining layers of the decorative murals of Imamzadeh Hossein Qazvin, the destruction of a large part of the murals (Authors, 2020).

پیشینه پژوهش

درخصوص مطالعه فنی و شناخت رنگ‌دانه‌ها در دیوارنگاره‌ها و هم‌چنین لایه رنگ روی آرایه‌های گچی مطالعاتی انجام شده که روش‌های مختلفی برای رسیدن به هدف انتخاب شده است. در این بخش به نمونه‌هایی از این‌گونه مطالعات اشاره می‌شود.

در مطالعات بین‌المللی روش‌های متعددی مانند طیف‌سنجی مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR)، طیف‌سنجی فلورسانس (XRF)، نشر پرتو ایکس القائی پروتون (PIXE)، و پراش پرتو ایکس (XRD)، رامان، تفرق انرژی پرتو ایکس (EDS) و میکروسکوپ نور پلاریزه (PLM) برای مطالعه و شناسایی رنگ‌زاها مورد استفاده قرار گرفته است (Josa et al., 2010; Franquelo et al., 2009; Nevin et al., 2010; Hayez et al., 2004).

در مقاله‌ای مطالعات تاریخی دقیقی درخصوص رنگ‌دانه قرمز-قهوه‌ای انجام شده که به منابع تاریخی و ادبی ارجاع داده شده و نام کهن آن مورد بررسی قرار گرفته و پس از شناخت نام کهن آن، این رنگ‌دانه در متون ادبی کهن مورد بررسی قرار گرفته است (سلحشور و همکاران، ۱۳۹۸).

در مقاله‌ای لایه‌های دیوارنگاره سقف گنبد بقعه سیدرکن‌الدین یزد با روش SEM-EDX، XRD، و شیمی کلاسیک (شناسایی رنگ‌زاها) مورد بررسی قرار گرفته و استفاده از ورق طلا، رنگ‌دانه‌های سبز سیلو، رنگینه نیل و هم‌چنین شنگرف و چسب روغنی در طلاچسبانی شناسایی شده است (حمزوی و همکاران، ۱۳۹۲)؛ هم‌چنین درخصوص شناخت فنی دیوارنگاره‌های کاخ چهلستون قزوین رساله دکتری نوشته شده که از طریق مطالعات میکروسکوپی و میکروسکوپی (میکروسکوپ پولاریزان و SEM-EDS) و هم‌چنین آنالیز فازی پراش پرتو ایکس لایه‌های دیوارنگاره‌ها مورد شناسایی واقع شده است (حاج سیدجوادی، ۱۳۹۸).

در مقاله‌ای با عنوان «شناخت رنگ‌دانه‌ها در آرایه‌های گچی ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه زنجان» با استفاده از آنالیزهای دستگاهی FT-IR, XRF, تعداد چهار رنگ‌دانه از آرایه‌های معماری این بنا شناسایی شده است؛ قرمز آخرا، زرد آخرا، سیاه استخوان و کربنات کلسیم (شیروانی، ۱۳۹۸). گاهی با شناسایی نوع رنگ می‌توان هویت ناشناخته آثار را آشکار نمود. در این موضوع، مقاله‌ای ارائه شده است که با روش آنالیزی SEM-EDS, XRD نوع رنگ شناسایی شده که در نتیجه باعث روشن شدن هویت اثر در موزه ملی ایران شده است (داداش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵).

مطالعه فن‌شناختی آرایه‌های گچی خانه شهشهان اصفهان متعلق به دوره قاجاریه با روش‌های دستگاهی SEM-EDS و XRD و شیمی کلاسیک انجام شده که در نتیجه، دو لایه بستر گچ و خاک و هم‌چنین آرایه گچی با ملات گچ نیم‌کشته شناسایی شده است (محتشم و همکاران، ۱۳۹۳)؛ هم‌چنین جهت شناسایی رنگ‌دانه‌های لایه رنگ بر روی آرایه‌های گچی سده هشتم هجری قمری از روش مطالعات میکروسکوپی و هم‌چنین SEM-EDS استفاده شده است. نتیجه مطالعات نشان می‌دهند که رنگ آبی استفاده شده در کتیبه گچی، رنگ‌دانه آبی آزوریت، رنگ قرمز، رنگ‌دانه شنگرف و رنگ سبز، مالاکیت است، پرکننده لایه تدارکاتی هانتیت و لایه طلایی بر روی آرایه‌های گچی قالبی، ورق قلع است (حمزوی، ۱۳۹۹).

«وان لون» و همکارانش، با تکیه بر بررسی تصویربرداری فلورسانس پرتو ایکس، اورپیمنت سنتزی را در پالت نقاشی هنرمند معروف، «رامبراند» شناسایی کرده‌اند (Van Loon et al., 2017). پژوهشگرانی نیز با استفاده از روش‌های بر پایه پرتو ایکس، زرد ناپل و زرد سرب و هم‌چنین آنتیموان را شناسایی کرده‌اند (Hardil et al., 2007).

در ادامه به نمونه‌هایی از مطالعات انجام‌شده بر روی آرایه لایه چینی و طلاچسبان و هم‌چنین ساختارشناسی ملات در آرایه‌های گچی پرداخته خواهد شد؛ در پایان نامه کارشناسی ارشد، مطالعات ساختارشناسی بر روی آرایه‌های لایه چینی کاخ عالی‌قاپو، کاخ چهل‌ستون و کاخ هشت‌بهشت اصفهان به کمک آنالیزهای XRD, TLC, SEM-EDX انجام پذیرفته که در مواد ساخت لایه چینی‌های مورد مطالعه، گچ، گل هرمرز و یک چسب پروتئینی شناسایی شده است (هلاکویی، ۱۳۸۷)؛ هم‌چنین مطالعات ساختارشناسانه بر روی آرایه‌های لایه چینی طلاچسبانی شده کلیساهای اصفهان در مقاله‌ای با روش‌های Py-Gc-MS, Gc/MS, XRD, SEM-EDX انجام شده است (طینتی و همکاران، ۱۳۹۹).

«آرایه‌های معماری اتاق مقبره بنای تاریخی پیربکران و کتیبه پنهان در آن»، عنوان مقاله‌ای است که بررسی علمی بر روی طلاچسبانی کتیبه گچی اوایل سده هشتم هجری قمری انجام شده است (حمزوی و مؤذنی، ۱۳۹۲).

مطالعه بر روی ملات گچی در مقاله‌ای انجام شده که از روش‌های (XRD, XRF, SEM-EDS) برای ساختارشناسی استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش گویای این مهم است که عمق و سطح کتیبه گچی از نظر ساختاری با یک‌دیگر متفاوت است. فرسایش و تغییرات ساختاری در عمق کتیبه بیشتر از سطح بوده که باعث کم شدن استحکام آن شده است و از دلایل اصلی آن، نفوذ رطوبت و نمک‌های محلول از سمت دیوار تکیه‌گاه به عمق کتیبه گچی است (حمزوی، ۱۴۰۰). اطلاعاتی از بلورهای گچ در نمونه ملات‌های تاریخی سه بنای سده‌های اولیه دوران اسلامی در مقاله‌ای ارائه شده است که در این پژوهش از روش‌های دستگاهی شامل تهیه تصاویر SEM و آنالیز XRD استفاده شده است (میش مست‌نهی، ۱۳۹۴).

نتایج و یافته‌های پژوهش

الف: مطالعه و بررسی با میکروسکوپ دیجیتال (Digital Microscope): در اولین مرحله بررسی تصمیم گرفته شد تا سطح نمونه‌ها از نظر انسجام، دانه‌بندی، ترکیب رنگ، نحوه اتصال و آسیب‌هایی از قبیل سستی و جدایش رنگ، ریختگی رنگ و ضعف اتصال لایه‌ها، به کمک میکروسکوپ دیجیتال مورد بررسی دقیق قرار گیرد. در هنگام بررسی تصاویر زیادی با دو بزرگ‌نمایی تهیه شد که از هر نمونه مطالعاتی، دو تصویر ارائه می‌گردد. نمونه‌های Q.IH.1.2021 (تصاویر ۷ و ۸)، نمونه Q.IH.2.2021 (تصویر ۹)، Q.IH.3.2021 (تصویر ۱۰)، نمونه Q.IH.4.2021 (تصاویر ۱۱ و ۱۲)، Q.IH.5.2021 (تصاویر ۱۳ و ۱۴)، Q.IH.6.2021 (تصاویر ۱۵ و ۱۶)، نمونه Q.IH.7.2021

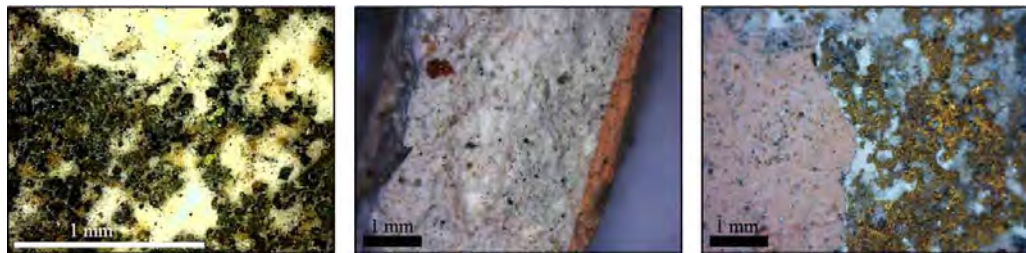
جدول ۱. معرفی نمونه‌های مورد مطالعه به همراه تصویر نمونه و بارکدگذاری (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Table 1. Introduction of studied samples along with sample image and barcode (Authors, 2020).

تصویر نمونه	مطالعات	کد نمونه‌های مطالعاتی	تصویر نمونه	مطالعات	کد نمونه‌های مطالعاتی
	Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.8 قهوه‌ای براق		Digital Microscope SEM-EDS XRD	2021.Q.IH.1 لایه چینی
	Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.9 مشکی قلم‌گیری		Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.2 سبز
	Digital Microscope SEM-EDS XRD	2021.Q.IH.10 ملات کف		Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.3 سبز-آبی
	Digital Microscope SEM-EDS XRD	2021.Q.IH.11 لایه آستر		Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.4 آبی
	Digital Microscope SEM-EDS XRD	2021.Q.IH.12 لایه بستر		Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.5 طلایی دورگیری
	Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.13 طلا روی لایه چینی		Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.6 قرمز
				Digital Microscope SEM-EDS	2021.Q.IH.7 لایه تدارکاتی

و 2021.Q.IH.13 (تصویر ۱۷)، 2021.Q.IH.8 (تصاویر ۱۸ و ۱۹)، 2021.Q.IH.9 (تصاویر ۲۰ و ۲۱)، 2021.Q.IH.10 (تصویر ۲۲)، 2021.Q.IH.11 و 2021.Q.IH.12 (تصویر ۲۳) با میکروسکوپ دیجیتال مورد بررسی قرار گرفت و تصاویری با بزرگ‌نمایی ۶۵ و ۲۲۰ برابر از آن تهیه گردید.

ب: بررسی با میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM): سیزده نمونه تهیه شده با کد ۱۰.Q.IH.۲۰۲۱ الی ۱۳.Q.IH.۲۰۲۱ با میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد مطالعه بلورشناسی قرار گرفت و تصاویری با بزرگ‌نمایی‌های مختلف تهیه شد. از نمونه‌هایی که مربوط به رنگ‌ها بود فقط یک تصویر تهیه شد و نمونه‌هایی که مربوط به ملات بود تصاویر بیشتری تهیه شد که در ادامه ارائه می‌شود (تصاویر ۲۴ - ۲۹).

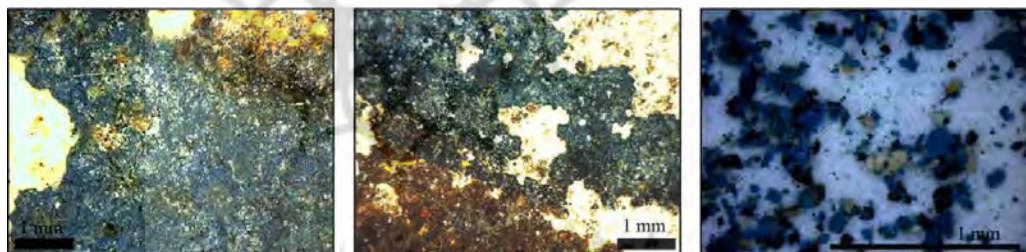


تصاویر ۷ و ۸. تصویر از سطح و مقطع آرایه لایه چینی با کمک میکروسکوپ دیجیتال، ضخامت و بافت و نحوه اتصال به بستر (از سمت راست).

Fig. 7 & 8. The image of the surface and cross-section of the layered array with the help of a digital microscope, the thickness and texture and how it is connected to the substrate (from the right).

تصویر ۹. تصویر از سطح لایه رنگ سبز با کمک میکروسکوپ دیجیتال، دیده شدن دانه‌های رنگی متفاوت، از سبز تیره تا زرد (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 9. The image of the surface of the green color layer with the help of a digital microscope, visible grains of different colors, from dark green to yellow (Authors, 2020).



تصویر ۱۰. تصویر از سطح لایه رنگ سبز-آبی با کمک میکروسکوپ دیجیتال، دانه‌های دو رنگ تیره و روشن قابل مشاهده است (از سمت راست).

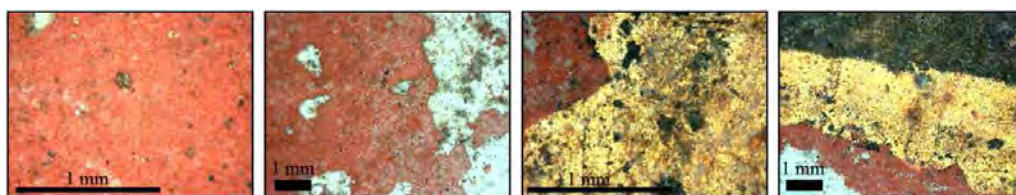
Fig. 10. The image of the surface of the blue-green color layer with the help of a digital microscope, two dark and light colored grains can be seen (from the right side).

تصاویر ۱۱ و ۱۲. تصویر از سطح لایه رنگ آبی با کمک میکروسکوپ دیجیتال، انسجام لایه رنگ، قرارگیری رنگ مشکی بر روی رنگ آبی (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 11 & 12. The image of the surface of the blue paint layer with the help of a digital microscope, the coherence of the paint layer, the placement of black paint on the blue paint (Authors, 2020).

ج: طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس (EDS): جهت کامل‌تر شدن اطلاعات درخصوص اثر مورد مطالعه، از تعداد ۱۳ نمونه مورد مطالعه G آنالیز عنصری نقطه‌ای تهیه گردید (جدول ۲).

د: طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (X-Ray Diffraction Spectrometer): تکنیکی قدیمی، پرکاربرد و منحصربه‌فرد برای تعیین مشخصات کریستال‌ها است. در همین راستا، جهت شناسایی و تشخیص فازهای کریستالی موجود در نمونه‌ها، از این آنالیز به روش پودری بر چهار نمونه ملات (2021.Q.IH.12, 2021.Q.IH.11, 2021.Q.IH.10, 2021.Q.IH.1) از لایه آستر، لایه

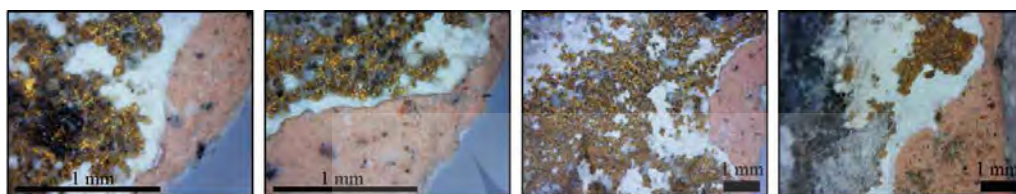


تصاویر ۱۳ و ۱۴. تصویر از سطح لایه طلایی دورگیری با میکروسکوپ دیجیتال، به صورت لایه منسجم مانند ورق دیده می‌شود (از سمت راست)

Fig. 13 & 14. The image of the surface of the gold layer with a digital microscope, it is seen as a coherent layer like a sheet (from the right side)

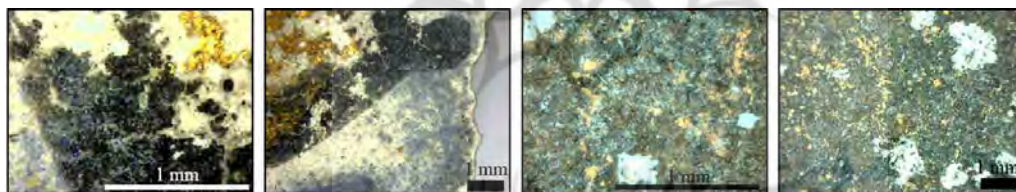
تصاویر ۱۵ و ۱۶. تصویر از سطح لایه رنگ قرمز با کمک میکروسکوپ دیجیتال، دانه بندی ریز و یک دست نسبت به دیگر رنگ‌ها (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 15 & 16. The image of the surface of the red color layer with the help of a digital microscope, fine and uniform graining compared to other colors (Authors, 2020).



تصویر ۱۷. تصویر از سطح لایه تدارکاتی و ورق فلزی روی آن با کمک میکروسکوپ دیجیتال، برخلاف نمونه‌های مطالعه شده پیشین، ورق طلایی مستقیماً بر روی لایه چینی چسبانده نشده است. نسبت به دیگر رنگ‌ها (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig 17. Image of the surface of the preparation layer and the metal sheet on it with the help of a digital microscope, unlike the previously studied samples, the gold sheet is not glued directly on the layering. Compared to other colors (Authors, 2020).

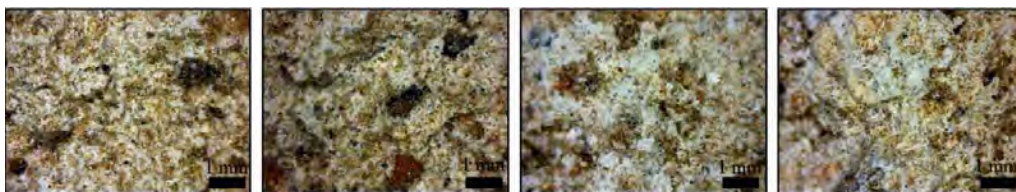


تصاویر ۱۸ و ۱۹. تصویر از سطح لایه رنگ قهوه‌ای که در بزرگ‌نمایی‌های بالا، رنگ طلایی و رنگ سبز دیده می‌شود (از سمت راست)

Fig. 18 & 19. The image of the surface of the brown color layer seen in high magnifications, gold color and green color (from the right).

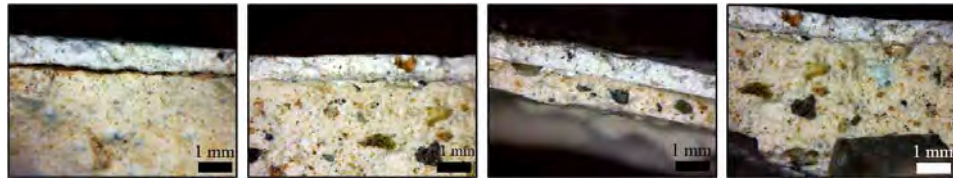
تصاویر ۲۰ و ۲۱. بررسی رنگ مشکی قلم‌گیری که بر روی رنگ آبی قرار گرفته و لبه‌های لایه طلایی بر روی مشکی اجرا شده است (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 20 & 21. Examination of the black color of the pen that is placed on the blue color and the edges of the gold layer are executed on black (Authors, 2020).



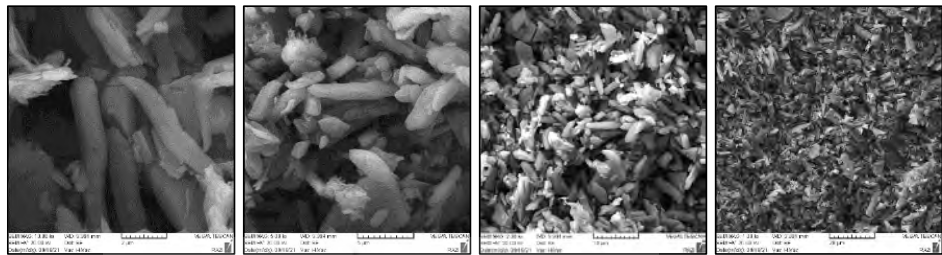
تصویر ۲۲. تصویر از ملات کف بنا با کمک میکروسکوپ دیجیتال، دانه بندی غیر یک دست و هم چنین تخلخل نسبتاً زیاد ملات (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 22. Image of floor mortar with the help of digital microscope, non-uniform graining and relatively high porosity of mortar (Authors, 2020).



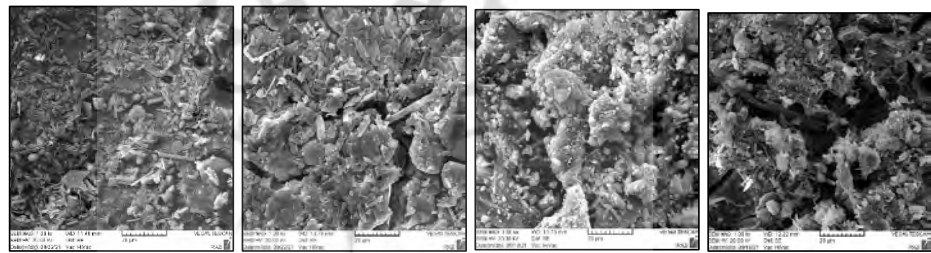
تصویر ۲۳. تصاویری از مقطع لایه آستر و بستر با کمک میکروسکوپ دیجیتال، تفاوت رنگ و بافت و تخلخل در دو لایه آستر و بستر (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 23. Pictures of the cross-section of the lining layer and the substrate with the help of a digital microscope, the difference in color and texture and porosity in the two layers of the lining and the substrate (Authors, 2020).



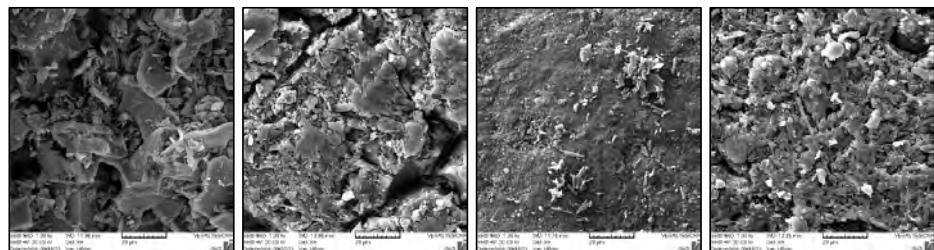
تصویر ۲۴. تصاویر تهیه شده از لایه چینی (Q.IH.1.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 24. Images prepared from the stack (2021.Q.IH.1) at 1000, 2000, 5000 and 10000x magnification (Authors, 2020).



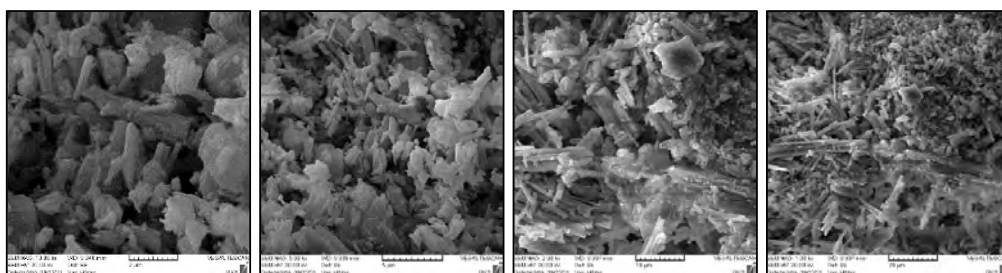
تصویر ۲۵. تصاویری از رنگ سبز (Q.IH.2.2021)، رنگ سبز-آبی (Q.IH.3.2021)، رنگ آبی (Q.IH.4.2021) و رنگ طلایی دورگیری (Q.IH.5.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر (از سمت راست)، (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 25. Images of green color (2021.Q.IH.2), blue-green color (2021.Q.IH.3), blue color (2021.Q.IH.4) and fargiri gold color (2021.Q.IH.5) at 1000x magnification (from right), (Authors, 2020).



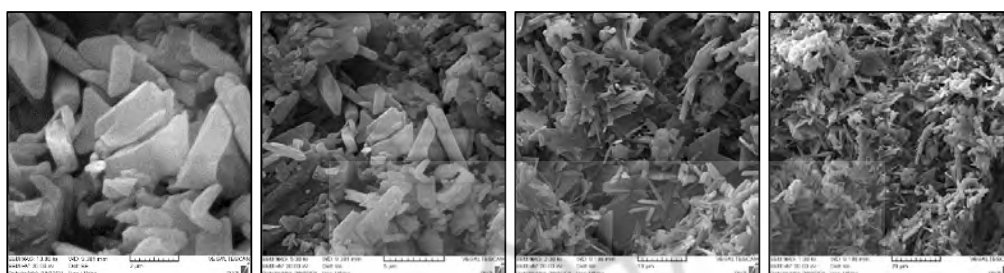
تصویر ۲۶. تصاویر تهیه شده از رنگ قرمز (Q.IH.6.2021)، پرکننده لایه تدارکاتی (Q.IH.7.2021)، رنگ قهوه‌ای براق (Q.IH.8.2021) و قلم‌گیری (Q.IH.9.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر (از سمت راست)، (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 26. Images of green color (2021.Q.IH.2), blue-green color (2021.Q.IH.3), blue color (2021.Q.IH.4) and fargiri gold color (2021.Q.IH.5) at 1000x magnification (from right), (Authors, 2020).



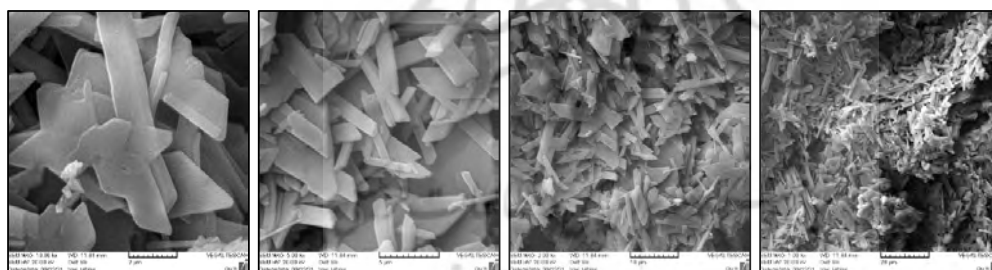
تصویر ۲۷. تصاویر تهیه‌شده از ملات کف (Q.IH.10.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 27. Images of floor mortar (2021.Q.IH.10) at 1000, 2000, 5000 and 10000x magnification (Authors, 2020).



تصویر ۲۸. تصاویر تهیه‌شده از لایه آستر (Q.IH.11.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 28. Images taken of the lining layer (2021.Q.IH.11) at 1000, 2000, 5000 and 10000x magnification (Authors, 2020).



تصویر ۲۹. تصاویر تهیه‌شده از لایه بستر (Q.IH.12.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Fig. 29. Images taken from the substrate layer (2021.Q.IH.12) at 1000, 2000, 5000 and 10000x magnification (Authors, 2020).

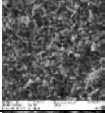
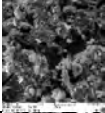

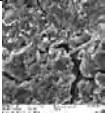
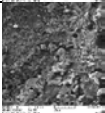

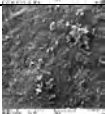
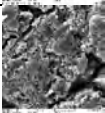
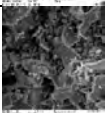


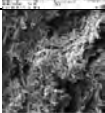

بستر، اندود کف بنا و لایه چینی استفاده گردید که نتیجه آن به صورت خلاصه در تصویر ۳ و جدول ۳، قابل مشاهده است.

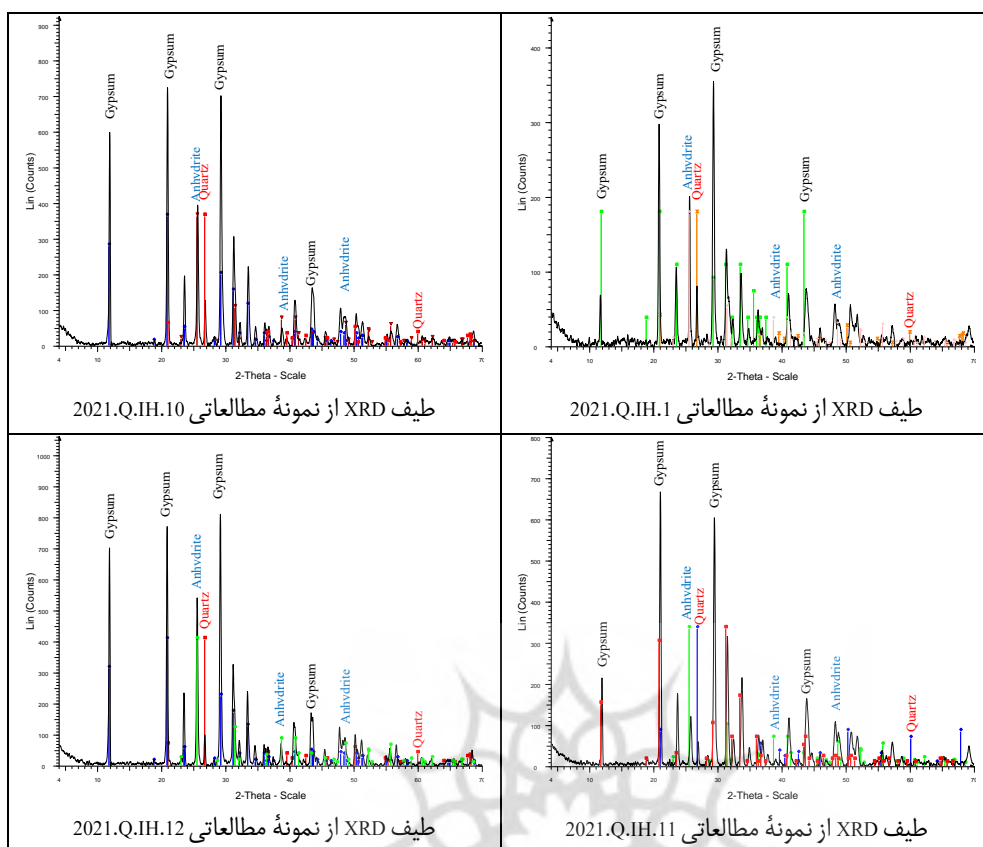
بحث در نتایج و یافته‌ها

الف: میکروسکوپ دیجیتالی؛ نمونه Q.IH.1.2021: دانه‌های سفید و سیاه در سطح نمونه قابل مشاهده است و به نظر می‌رسد در زمان خلق اثر سطح کاملاً صاف و یک‌دست به وجود نیامده بوده و به این دلیل جهت اجرای طلاچسبانی، از لایه تدارکاتی با پرکننده سفیدرنگ استفاده شده است که این کار مرسوم نبوده و کمی عجیب به نظر می‌رسد؛ هم‌چنین از مقطع این لایه، تصاویری تهیه شد که ضخامت آن و فشردگی لایه در مغز آن کاملاً نمایان است (تصاویر ۷ و ۸).

جدول ۲. نتیجه آنالیز عنصری نقطه ای EDS از ۱۳ نمونه مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۴۰۰).

Table 2. EDS point elemental analysis result of 13 studied samples (Authors, 2020).

Elem Sam	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	K	As	Zn	Ba	Pb	Au	Cu	محل انجام آنالیز
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
2021. Q.IH.1	2.06	59.18	0.79	0.48	1.48	18.99	17.01	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.2	-	-	-	4.82	9.3	32.8	33.38	2.45	2.71	14.54	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.3	-	-	2.68	4.34	10.1	31.2	11.8	1.45	3.7	-	19.5	14.5	-	-	-	
2021. Q.IH.4	-	-	5.02	7.8	7.18	23.6	31.1	2.1	1.1	-	-	-	22.1	-	-	
2021. Q.IH.5	-	-	-	-	-	23.2	40.2	-	-	-	-	-	-	33.3	3.3	
2021. Q.IH.6	-	-	-	-	3.33	57.9	31.8	3.15	2.05	1.77	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.7	-	-	50.6	-	-	-	34.9	-	-	-	-	-	14.5	-	-	
2021. Q.IH.8	-	-	1.24	2.15	5.48	24.6	32.05	1.35	-	-	-	-	-	31.5	1.63	
2021. Q.IH.9	13.5	-	-	2.36	31.8	33.4	15.5	0.84	2.6	-	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.10	-	57.8	0.6	0.43	0.98	20.85	19.29	-	0.05	-	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.11	-	55	0.19	0.13	0.8	21.49	22.4	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.12	-	78.9	-	-	0.25	10.46	10.4	-	-	-	-	-	-	-	-	
2021. Q.IH.13	-	-	6.78	-	0.3	32.64	46.02	-	-	-	-	-	-	12.5	1.76	



تصویر ۳۰. طیف‌های به دست آمده از پراش پرتو ایکس XRD از چهار نمونه مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۴۰۰).
 Fig. 30. Spectra obtained from X-ray diffraction (XRD) of the four studied samples (Authors, 2020).

جدول ۳. نتیجه طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس XRD از چهار نمونه مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۴۰۰).
 Table 3. The result of X-ray diffraction XRD spectroscopy of the four studied samples (Authors, 2020).

Date: 12.09.2021 kV = 40 mA = 30 Ka. = Cu Fil. = Ni Major Phase(s) Minor Phase(s)	IH.12	IH.11	IH.10	IH.1	Sample	
						Min
	✓	✓	✓	✓	Gypsum	CaSO ₄ , 2H ₂ O
	✓	✓	✓	✓	Anhydrite	CaSO ₄
	✓	✓	✓	✓	Quartz	SiO ₂

نمونه 2021.Q.IH.2: با چشم غیرمسلح این لایه به رنگ سبز دیده می‌شود، ولی با بزرگ‌نمایی بالا، دانه‌های زرد و در برخی قسمت‌ها دانه‌های آبی دیده می‌شود که به نظر می‌رسد هنرمند یک رنگ ترکیبی ساخته است؛ هم‌چنین ریزترک‌ها و جمع‌شدگی که در لایه رنگ دیده می‌شود، مربوط به بست لایه رنگ است که از حالت طبیعی خارج شده و فرسوده شده است. زمانی که بست یا رنگ پایه ویژگی‌های اولیه خود را از دست بدهد، باعث پودری شدن و ضعف اتصال دانه‌های رنگ می‌شود (تصویر ۹).

نمونه Q.IH.3.2021: به دلیل کم بودن این رنگ، نمونه برداری به صورت پودری انجام شده که در تصاویر زیر هم دانه‌های رنگ به خوبی قابل مشاهده است. این نمونه که با چشم غیرمسلح به رنگ سبز-آبی دیده می‌شود، با بزرگ‌نمایی بالا بیشتر به رنگ آبی متمایل است. دانه‌های روشن و تیره آبی در کنار هم دیده می‌شود که احتمال تغییر رنگ به مرور زمان وجود دارد که در این صورت نوعی آسیب لایه رنگ محسوب می‌شود (تصویر ۱۰).

نمونه Q.IH.4.2021: در بزرگ‌نمایی بالاتر دانه‌های بلوری و شفاف آبی رنگ دیده می‌شود. هم‌چنین دانه‌های سفید در مخلوط با آبی به چشم می‌خورد. در کنارها که لبه بخش‌های طلاکاری شده با رنگ مشکی قلم‌گیری شده است؛ ترتیب قرارگیری رنگ به این صورت است که بعد از طلاکاری، قلم‌گیری مشکی اجرا شده و سپس رنگ آبی اجرا شده است. معمولاً در دیوارنگاره‌های ایرانی ابتدا رنگ‌گذاری می‌شود و در پایان، قلم‌گیری می‌شود که در این اثر این اتفاق نیافتاده است (تصاویر ۱۱ و ۱۲).

نمونه Q.IH.5.2021: در اطراف رنگ قرمز، یک لایه طلایی به پهنای چند میلی‌متر اجرا شده که شبیه دورگیری است. این لایه با بزرگ‌نمایی بالا مورد بررسی قرار گرفت که مشخص شد از ورق فلزی برای این کار استفاده شده است. در برخی قسمت‌ها که ورق فلزی کمی ساییده شده، لایه رنگ زیرین دیده می‌شود؛ هم‌چنین ترک و ریزترک در همه جای این لایه طلایی دیده می‌شود. در بعضی قسمت‌ها یک رنگ سبز روشن بر روی ورق فلزی دیده می‌شود که مربوط به خوردگی آلیاژ است (تصاویر ۱۳ و ۱۴).

نمونه Q.IH.6.2021: ضخامت لایه رنگ قرمز نسبتاً زیاد است و محل حباب‌های بسیار ریزی در سطح آن دیده می‌شود؛ هم‌چنین دانه‌های بسیار ریز تیره‌رنگ در ساختمان لایه رنگ دیده می‌شود. در برخی قسمت‌ها که بست رنگ فاسد شده و ویژگی‌های اولیه خود را از دست داده، لایه رنگ جدا شده و از بین رفته است (تصاویر ۱۵ و ۱۶).

نمونه Q.IH.7.2021 و Q.IH.13.2021: به نظر می‌رسد به دلیل دانه‌بندی مواد لایه چینی که به اندازه کافی بافت نرمی ندارد، برای زیرسازی طلاکاری، لایه تدارکاتی با پرکننده سفید استفاده شده است. این لایه سفید از نظر دانه‌بندی، ریزتر و از نظر بافت، نرم‌تر از سطح لایه چینی است و به این دلیل مناسب طلاچسبانی است؛ همان‌طور که در تصاویر هم نمایان است، طلاکاری روی لایه چینی با دو مورد دیگر از فلزات براق، از نظر رنگ و بافت و میزان خوردگی متفاوت است. پس از انجام آنالیز دستگاهی میزان خلوص نمونه‌ها مشخص خواهد شد (تصویر ۱۷).

نمونه Q.IH.8.2021: این لایه قهوه‌ای رنگ در حالت عادی و با چشم غیرمسلح کدر دیده می‌شود، ولی اگر از یک زاویه خاص نور تابیده شود، برخی نقاط آن براق دیده می‌شود. با بزرگ‌نمایی بالا، مشخص شد که این لایه، یک لایه فلزی است که سطح آن خورده شده و محصولات خوردگی است که به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شود؛ در واقع این بخش با یک آلیاژ به شیوه طلاچسبانی زینت یافته است. در بزرگ‌نمایی ۲۲۰ برابر، به وضوح رنگ سبز که مربوط به خوردگی مس است، دیده می‌شود (تصاویر ۱۸ و ۱۹).

نمونه Q.IH.9.2021: با توجه به این نکته که در دیوارنگاره‌های تاریخی معمولاً دوبار قلم‌گیری انجام می‌شده است؛ بار اول برای تثبیت طرح بعد از گرده‌زنی، که اصطلاحاً این قلم‌گیری را «قرص کردن طرح» می‌نامند. مرحله دوم که در واقع قلم‌گیری اصلی است، بعد از اتمام رنگ‌گذاری انجام می‌شود. با بررسی دقیق بخشی قلم‌گیری که به رنگ مشکی است، مشخص شد که این قلم‌گیری مربوط به مرحله اول و در واقع قرص کردن طرح است. در تصاویر نمایان است که هم رنگ آبی و هم طلاکاری بر روی رنگ قلم‌گیری قرار گرفته است (تصاویر ۲۰ و ۲۱).

نمونه Q.IH.10.2021: ملات دارای بافتی نسبتاً متخلخل است و دانه‌بندی یکسانی ندارد.

هم‌چنین ذراتی با رنگ‌های مختلف در این ملات دیده می‌شود. ملات از استحکام کافی برخوردار است، ولی سطح ملات به دلیل نفوذ رطوبت کم‌کم در حال پودری شدن است (تصویر ۲۲).

نمونه Q.IH.11.2021 و Q.IH.12.2021: لایه آستر ضخامتی در حدود دو سانتی‌متر دارد. ماده اولیه و اصلی که احتمالاً گچ است (پس از انجام آنالیز دستگاهی به صورت دقیق مشخص خواهد شد) دارای دانه‌بندی ریز و نسبتاً یکسانی است، ولی دانه‌های دیگر که به مقدار زیادی هم در ساختار ملات با رنگ‌های تیره‌تر دیده می‌شود، با اندازه‌های مختلف وجود دارد. احتمال این‌که به صورت عمدی موادی مانند ماسه و خاک به ملات اضافه شده باشد، زیاد است. توضیح دانه‌ها از نظر تعداد و فاصله و حتی رنگ و جنس اصلاً یکنواخت نیست (تصویر ۲۳).

لایه بستر که به ضخامت حدود سه میلی‌متر بر روی لایه آستر اجرا شده است، به رنگ سفید بوده که به نظر می‌رسد مواد افزودنی در آن به صورت عمدی به کار نرفته است؛ به عبارتی می‌توان گفت اگر مواد دیگری در این لایه وجود دارد، به صورت ناخالصی است. ظاهراً استحکام لایه بستر از لایه آستر کمتر است که می‌تواند مربوط به نوع عمل‌آوری ملات گچی باشد. در برخی قسمت‌ها اتصال لایه بستر به آستر ضعیف است (تصویر ۲۳).

ب) میکروسکوپ الکترونی روبشی: از آنجایی‌که در مطالعات پیشین دیگر پژوهشگران در خصوص آرایه لایه چینی مشخص شده است که بخش زیادی از مواد معدنی لایه چینی را گچ تشکیل می‌دهد (هلاکویی، ۱۳۸۷؛ حاج سیدجوادی و همکاران، ۱۳۹۹؛ طینتی و همکاران، ۱۳۹۹)، با این پیش‌زمینه در مطالعه میکروسکوپی به دنبال بلورهای ژئیس و نحوه قرارگیری آن مطالعاتی انجام شد. در تصویر ۲۴ که تصویری از لایه چینی (Q.IH.1.2021) با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر تهیه شده است، بلورهای ژئیس تجمع زیادی دارد و درهم تنیدگی در بین آن‌ها ایجاد شده است. فضای خالی بین بلورها کم است و هم‌چنین بلورها در زوایای مختلفی به‌طور نامنظم در کنار هم قرار گرفته‌اند. برای بررسی بهتر بلورها، تصویری با بزرگ‌نمایی ۲۰۰۰ برابر تهیه شد (تصویر ۲۴). در کنار بلورهای ژئیس، بلورهای دیگری نیز دیده می‌شود که در آنالیزها مشخص خواهد شد مربوط به چه کانی است؛ هم‌چنین در برخی قسمت‌ها شکستگی بلور مشاهده می‌شود. نکته قابل توجه دیگر، اندازه طول بلورهاست که به صورت سوزنی بلند نیست. دلیل این اتفاق می‌تواند وجود مواد آلی در ملات موردنظر باشد که در زمان عمل‌آوری ملات به آن اضافه شده است. مواد آلی مانند چسب‌های با منشأ گیاهی و حیوانی می‌تواند باعث به هم خوردن توازن در وجوه مختلف بلور ژئیس گردد. در ادامه، تصاویری با بزرگ‌نمایی ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر تهیه شد (تصویر ۲۴). لایه لایه بودن برخی از بلورها در این تصاویر قابل مشاهده است؛ هم‌چنین ریزبلورهایی که بر روی بلورهای ژئیس تشکیل شده و رشد پیدا کرده می‌تواند مربوط به رطوبتی باشد که در طی سالیان مختلف به اثر رسیده و تبخیر شده است. در این حالت، با حضور رطوبت بخشی از بلور ژئیس حل شده و پس از تبخیر رطوبت، مجدداً بلورهایی با اندازه کوچک تشکیل شده است. این اتفاق می‌تواند باعث پایین آمدن استحکام نمونه شود. نمونه‌های مربوط به لایه رنگ در جدول ۴، مورد تحلیل قرار گرفته است.

از نمونه Q.IH.10.2021، ملات کف، تصاویری با بزرگ‌نمایی‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر تهیه شد (تصویر ۲۷). بلورهای سوزنی ژئیس که درهم تنیده شده‌اند در بخش‌های زیادی دیده می‌شود که نشان‌دهنده این است که عمل‌آوری ملات گچ به صورت گچ زنده یا تیز بوده است. گچ تیز استحکام زیادی دارد و دلیل آن ساختار بلورین و نحوه رشد بلورها و نحوه قرارگیری آن‌ها در کنار هم است. در برخی قسمت‌ها در کنار این بلورهای سوزنی، بلورهای ژئیس با اندازه کوچک‌تر دیده می‌شود، ولی تجمع آن زیاد است و تخلخل نیز کم است. تخلخل کم بین بلورهای ژئیس نشان‌دهنده این است که نسبت گچ به آب در زمان عمل‌آوری ملات بیشتر بوده و در واقع آب کمی

جدول ۴. تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از نمونه های مربوط به لایه رنگ (نگارندگان، ۱۴۰۰).
Table 4. Analysis of scanning electron microscope images of the samples related to the paint layer (Authors, 2020).

کد نمونه	بزرگ نمایی تصاویر	تحلیل تصاویر
2021.Q.IH.2	۱۰۰۰ برابر	بلورهایی در چند شکل و اندازه در این تصاویر دیده می شود. بلورها در برخی قسمت ها کاملاً به یک دیگر چسبیده اند و توده های بزرگ تر را تشکیل داده اند. این چسبندگی مربوط به بستی است که هنرمند استفاده کرده تا دانه های رنگ به یک دیگر چسبیده و به لایه زیرین (سطح دیوار) بچسبد. کاملاً مشخص است که بیش از دو نوع بلور وجود دارد و در واقع مخلوطی از مواد است که نهایتاً به صورت یک رنگ در دیوارنگاره دیده می شود.
2021.Q.IH.3	۱۰۰۰ برابر	از نظر ظاهری و دانه بندی بسیار شبیه به نمونه 2021.Q.IH.2 است. با توجه به شکل بلورها، بیش از یک نوع بلور است.
2021.Q.IH.4	۱۰۰۰ برابر	دانه های رنگ آبی به یک دیگر چسبیده و به صورت توده هایی درآمده است. بین توده ها، ترک هایی دیده می شود که می تواند مربوط به انقباض بست در لایه رنگ باشد و یا فرسوده شدن بست که باعث می شود ویژگی های اولیه را از دست بدهد و در این صورت رنگ تاریخی به صورت پودر درمی آید. با دقت بیشتر متوجه خواهیم شد که شکل و اندازه بلورها متفاوت است و بیش از یک نوع است. هم چنین تجمع بلورها در همه بخش ها یکسان نیست و تراکم بلورها کم یا زیاد می شود؛ بنابراین می توان گفت که از مخلوط چند رنگ برای ساخت رنگ آبی استفاده شده است.
2021.Q.IH.5	۱۰۰۰ برابر	در تصویر ۲۵ لایه ای نسبتاً یکنواخت در زیر دیده می شود که مربوط به لایه طلائی است. بلورهایی بر روی آن مشاهده می شود که با توجه به شکل آن، بیشتر مربوط به ژئیس است. لایه زیرین نسبتاً پیوستگی زیادی دارد که نشان دهنده وضعیت مناسب آن است.
2021.Q.IH.6	۱۰۰۰ برابر	از نظر ظاهری، رنگ قرمز مشابه رنگ آبی است با این تفاوت که توده های تشکیل شده کوچک تر هستند. در این تصویر بلورهایی دیده می شود که در نمونه 2021.Q.IH.5 نیز دیده می شود. در واقع می تواند نشان دهنده این باشد که برای ساخت رنگ، هنرمند از یک رنگ در ترکیب رنگ قرمز و سبز استفاده نموده است.
2021.Q.IH.7	۱۰۰۰ برابر	پرکننده لایه تدارکاتی با دانه های بسیار ریز و به هم چسبیده یک سطح بدون تخلخل را نشان می دهد. یکی از دلایل آن می تواند مربوط به ساییده شدن خوب رنگ سفید باشد و از طرفی مواد آلی (بست) آن فاسد نشده و هم چنان باعث اتصال دانه ها به هم می شود. در بین همه نمونه های رنگ، فقط این نمونه به این صورت درآمده و حالت توده ای ندارد و دارای ترک نیست. معمولاً زمانی این اتفاق می افتد که رنگ دانه با بست واکنش دهد و تشکیل صابون دهد؛ از جمله رنگ دانه هایی که دارای این ویژگی است، سفیدآب سرب است که با روغن واکنش داده و صابون سرب تشکیل می دهد.
2021.Q.IH.8	۱۰۰۰ برابر	با توجه به ساختار بلورین، این نمونه با دیگر رنگ دانه ها متفاوت است و ترک های آن نیز به شکل خاصی است که در نمونه های رنگ دانه مشاهده نمی شود. به نظر می رسد دانه های رنگ در کنار هم نیستند و یک سطح پیوسته تشکیل شده است.
2021.Q.IH.9	۱۰۰۰ برابر	بلورهای ریز و درشت در کنار هم نشان دهنده مخلوط کانی های مختلف است؛ به عبارتی برای ساخت رنگ مشکی به نظر می رسد بیش از یک رنگ دانه استفاده شده است. تخلخل بین بلورها در برخی قسمت ها زیاد است.

برای ساخت ملات استفاده شده است. در تصاویر با بزرگ‌نمایی بالاتر، بر سر یا لبه‌های بلورهای ژئوپس، بلورهای کوچک‌تری قرار دارد که به‌نوعی آسیب محسوب می‌شود. زمانی که رطوبت به بلورهای ژئوپس می‌رسد، بخشی از سر بلور حل می‌شود و پس از تبخیر آب، مجدداً بلورهای ژئوپس کوچک تشکیل می‌شود و بر روی بلورهای اولیه قرار می‌گیرد.

از نمونه لایه آستر با کد Q.IH.11.2021 تصاویری با بزرگ‌نمایی‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر تهیه شد (تصویر ۲۸). بلورهای ژئوپس در اندازه‌های مختلف در زوایای مختلف قرار گرفته‌اند. در این نمونه، خبری از بلورهای سوزنی بلند نیست و در عوض، بلورها در جهت عرض رشد زیادی داشته‌اند. بلورهای دم‌چلچله‌ای نیز در میان بلورها دیده می‌شود. تجمع بلورها زیاد است و میزان تخلخل کم است. نحوه قرارگیری بلورها به‌گونه‌ای است که استحکام ملات بالاست. در بخش‌های بررسی شده، بیشترین بلورهایی که دیده می‌شود، بلور ژئوپس است. در برخی قسمت‌ها بلورهای ژئوپس شکسته که می‌تواند دلایل مختلفی داشته باشد.

از نمونه Q.IH.12.2021، ملات لایه بستر، تصاویری با بزرگ‌نمایی‌های ۱۰۰۰، ۲۰۰۰، ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ برابر تهیه شد (تصویر ۲۹). بلورهای ژئوپس از نظر شکلی با نمونه‌های کف و لایه آستر کمی متفاوت است. بلورها به صورت ورقه‌ای بر روی هم قرار گرفته‌اند. از درهم تنیدگی بلورهای سوزنی خبری نیست. میزان فضای خالی بین انبوهه‌های بلورها نسبت به دو نمونه قبلی زیادتر است. از نحوه قرارگیری بلورها و هم‌چنین شکل رشد بلورها می‌توان نتیجه گرفت که میزان آب در زمان عمل‌آوری ملات زیاد بوده و هم‌چنین از حالت عادی بیشتر ورز داده شده است (میش مست‌نهی، ۱۳۹۴). در این صورت، نسبت به گچ تیز استحکام کمتری دارد.

ج) طیف‌سنجی پراش انرژی پرتو ایکس: ۱۳ نمونه تهیه شده با کد Q.IH.1.2021 الی Q.IH.13.2021 مورد آنالیز عنصری نقطه‌ای قرار گرفت و از محل‌های آنالیز شده تصاویری با بزرگ‌نمایی ۱۰۰۰ برابر تهیه شد (جدول ۲). شناسایی رنگ‌دانه، یکی از مهم‌ترین اهداف در بررسی علمی نقاشی‌ها و سایر مواد تاریخی است (Silva et al., 2006). شناخت عناصر موجود در یک اثر هنری یا تاریخی، اولین نشانه‌های قابل پذیرش جهت درک منشأ مواد اولیه و فرآیند مورد استفاده در فراوری آن‌ها را فراهم می‌سازد (Maravelaki-Kalaitzaki & Kallithrakas-Kontos, 2003).
Q.IH.1.2021: در نمونه مربوط به لایه چینی، به جز اکسیژن و کربن، گوگرد به میزان ۱۸٫۹۹ درصد و کلسیم به میزان ۱۷٫۰۱٪ بالاترین میزان را به خود اختصاص داده‌اند. گوگرد و کلسیم دو عنصر اصلی گچ هستند (حامی، ۱۳۸۴). در ترکیب ژئوپس، نسبت کلسیم به گوگرد برابر با ۴۰ به ۳۲ است (عباسیان، ۱۳۷۱)؛ بنابراین این نسبت دو عنصر متعلق به گچ هستند و مابقی مربوط به ترکیبات دیگر. با این احتساب، برای ۱۷٪ کلسیم، میزان ۱۳٫۶٪ گوگرد لازم است در صورتی که میزان گوگرد در نمونه مطالعاتی حدود ۱۹٪ است. احتمال دارد در این بخش از بنا نمک‌های سولفات تشکیل شده باشد که این نمک‌ها به آرایه لایه چینی نیز رسیده است. در نمونه مورد نظر میزان کمی از سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم وجود دارد که مربوط به خاک است (هلاکویی، ۱۳۸۷)؛ در واقع ماده معدنی لایه چینی مخلوطی از گچ و گل سرخ (اخرا) است (حاجی‌سیدجوادی و همکاران، ۱۳۹۹).

Q.IH.2.2021: عنصر شاخص در نتیجه آنالیز این رنگ‌دانه، آرسنیک است. آرسنیک می‌تواند منشأ رنگ زرد باشد؛ همان‌طور که در بررسی‌های میکروسکوپی مشخص شد، رنگ سبز از دو رنگ‌دانه زرد و آبی (رنگ ترکیبی) تشکیل شده است. با توجه به نتیجه آنالیز، رنگ‌دانه زرد بر پایه آرسنیک است. زرنیخ یا زرد سلطانی (Orpiment) با فرمول شیمیایی As_2S_3 ، سولفید آرسنیک که جزو کانی‌های سمی طبقه‌بندی می‌شود و در هوا اکسیده می‌گردد (Klockenkämper et al., 2000). از کانی‌های مشابه آن گوگرد و گرینوکیت را می‌توان نام‌برد که به وسیله رخ کامل، جلا، وضعیت رشته‌ای-ورقه‌ای و چگالی بالاتر از گوگرد قابل تفکیک است. زرنیخ رنگ‌دانه‌ای پر مصرف در شرق

که در دوران کلاسیک مورد استفاده بوده است. نام این رنگ‌دانه از واژه لاتین Auripigmentum (به معنای رنگ طلائی) مشتق شده است. این رنگ‌دانه بسیار در تذهیب نسخ خطی قدیمی ایرانی و بیزانسی بر روی کاغذ شناسایی شده است؛ هم‌چنین در دیوارنگاره‌های کاراخوتو در آسیای مرکزی متعلق به سده ۱۳ م. این رنگ‌دانه در کنار رآلگار (زرنيخ سرخ) به کار گرفته شده است. اگرچه «چینوچینی» به آن اشاره کرده است، اما هنوز در نقاشی‌های غربی شناسایی نشده و «دوید» هم علت عدم وجود این رنگ‌دانه در نقاشی‌های هلندی و فلاندری را در دسترس بودن رنگ‌دانه مرغوب زرد سرب-قلع بیان نموده است. این رنگ‌دانه دارای ماهیت سمی شیمیایی سولفید آرسنیک زرد (As₂S₃) است. معادن بزرگی از زرنيخ در جولامرک در کردستان شناسایی شده است. زرنيخ خالص براق، درخشان و به رنگ زرد لیمویی تند است و قدرت پوشانندگی خوبی دارد. در نقاشی‌ها معمولاً از پودر آن استفاده کرده‌اند تا رنگ غنی زرد آن زایل نشود. وجود سولفور موجب عدم سازگاری زرنيخ با سایر رنگ‌دانه‌های سرب می‌شود و البته به همین علت در برابر نور هوا پایدار و اسیدها و قلیاهای رقیق بر آن بی‌تأثیر است (جتتنز و استات، ۱۳۷۸: ۹۴).

میزان گوگرد در این نمونه حدود ۱۳٪ است که بخشی از آن مربوط به رنگ‌دانه زرد است و بخشی مربوط به رنگ‌دانه آبی. عناصر سیلیسیم و آلومینیوم در کنار گوگرد می‌تواند مربوط به رنگ‌دانه لاجورد (طبیعی یا مصنوعی) با فرمول شیمیایی Na₇Al₆Si₆O₂₄S₃ باشد (Koochakzaei et al., 2015)؛ هم‌چنین وجود درصدی از آهن می‌تواند مربوط به آبی پروس با فرمول شیمیایی Fe₄(Fe[CN]₆)₃ باشد. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت رنگ سبز استفاده شده در این دیوارنگاره، مخلوطی از رنگ‌دانه زرنيخ با آبی لاجورد و آبی پروس است.

Q.IH.3.2021: در نگاهی به نتیجه آنالیز رنگ‌دانه سبز-آبی، عناصر پتاسیوم، آلومینیوم، آهن، منیزیوم و سیلیسیوم در کنار اکسیژن دیده می‌شود. این عناصر مربوط به رنگ‌دانه سبز سیلو یا سبز خاکی با فرمول شیمیایی K[(Al,Fe³⁺),(Fe²⁺,Mg](AlSi₃,Si₄)O₁₀(OH)₂ است. با توجه به مطالعات میکروسکوپی که دانه‌های رنگ تیره و روشن در کنار هم دیده می‌شود، به نظر می‌رسد از یک رنگ‌دانه سفید برای روشن‌تر کردن رنگ‌دانه سبز سیلو استفاده شده باشد. عناصر مهم و تأثیرگذار در این خصوص، باریم و روی هستند. باریم و روی در کنار گوگرد و اکسیژن می‌تواند رنگ‌دانه سفید تولید کند.

لیتوپون (Lithopone) با فرمول شیمیایی BaSO₄. ZnS رنگ‌دانه سفیدی است که باعث روشن‌تر شدن رنگ‌دانه سبز-آبی شود. از طرفی باید به تاریخی بودن نمونه مطالعاتی توجه نمود و گذر زمانی که اتفاق افتاده است. ترکیب باریم سولفید و ترکیبات آهن باعث تغییر رنگ به خاکستری می‌شوند. علت این تغییر رنگ که توسط نمک‌ها انجام می‌شود واکنش اکسیداسیون است که برگشت‌پذیر نیست. در نمونه مورد مطالعه نیز ته‌رنگ خاکستری دیده می‌شود که می‌تواند مربوط به این واکنش باشد. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت رنگ سبز-آبی استفاده شده در این دیوارنگاره، مخلوطی از رنگ‌دانه سبز سیلو با سفید لیتوپون است.

Q.I H.4.2021: با توجه به نتیجه آنالیز و عناصر به دست آمده به نظر می‌رسد رنگ‌دانه آبی مورد استفاده در دیوارنگاره مورد مطالعه، رنگ‌دانه لاجورد (طبیعی یا مصنوعی) با فرمول شیمیایی Na₇Al₆Si₆O₂₄S₃ باشد. عناصر کلسیم و منیزیوم شناسایی شده، در واقع ناخالصی نمونه مطالعاتی است که مربوط به پرکننده لایه تدارکاتی است؛ هم‌چنین وجود درصدی از آهن می‌تواند مربوط به آبی پروس با فرمول شیمیایی Fe₄(Fe[CN]₆)₃ باشد. درصدی از سرب هم در این ترکیب وجود دارد که می‌تواند مربوط به سفیدآب شیخ یا سفیدآب سرب با فرمول شیمیایی PbCO₃2Pb(OH)₂ باشد. در این صورت می‌توان نتیجه گرفت رنگ آبی استفاده شده در این دیوارنگاره، مخلوطی از رنگ‌دانه لاجورد و آبی پروس به همراه سفیدآب شیخ است.

Q.IH.5.2021: در نتیجه آنالیز مربوط به رنگ طلایی دورگیری دو عنصر کلسیم و گوگرد شناسایی شده است که در واقع ناخالصی نمونه مطالعاتی است و مربوط به لایه بستر گچی است. درصد بالایی از طلا در نمونه شناسایی شده است و درصد نسبتاً پایینی از مس؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت رنگ طلایی دورگیری از آلیاژ طلا و مس است. فلز اصلی طلا و مس به‌عنوان ناخالصی در معدن طلا وجود داشته است که در نمونه‌های تاریخی امری عادی تلقی می‌شود.

Q.IH.6.2021: در نتیجه آنالیز مربوط به نمونه رنگ قرمز، عناصر کلسیم، پتاسیوم و سیلیسیوم مربوط به لایه بستر زیرین است که در اینجا ناخالصی نمونه محسوب می‌شود. دو عنصر رنگ‌ساز آهن و آرسنیک به‌همراه گوگرد شناسایی شده است که می‌توان گفت رنگ قرمز آخرا (Red Iron Oxide) با فرمول شیمیایی Fe_2O_3 و رنگ زرنیخ نارنجی (سولفید آرسنیک: Orpiment) با فرمول شیمیایی As_2S_3 با هم مخلوط شده و رنگ قرمز دیوارنگاره را تشکیل داده است.

Q.IH.7.2021: معمولاً در دیوارنگاره‌های تاریخی ایران از گل سفید $CaCO_3$ به‌عنوان پرکننده لایه تدارکاتی استفاده می‌شده است. در برخی از دیوارنگاره‌ها از گل گیوه یا هانتیت (Huntite) با فرمول شیمیایی $Mg_3Ca(CO_3)_4$ نیز به‌عنوان پرکننده لایه تدارکاتی استفاده می‌شده است. لازم به ذکر است که گل سفید و گل گیوه بسیار شبیه به هم است و در آن زمان هنرمندان این دو را نمی‌توانستند از هم تفکیک کنند. در حال حاضر به دلیل وجود امکانات آنالیزی می‌توان با شناسایی منیزیم در کنار کلسیم به این مهم پی برد؛ بنابراین ماده اصلی پرکننده سفید در لایه تدارکاتی دیوارنگاره مورد مطالعه، هانتیت یا گل گیوه است. از طرفی میزان کمی سرب هم در این نمونه شناسایی شده است که می‌تواند مربوط به رنگ سفید سفیدآب شیخ یا سفیدآب سرب با فرمول شیمیایی $PbCO_3 \cdot 2Pb(OH)_2$ باشد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رنگ سفید پرکننده لایه تدارکاتی در نمونه مورد مطالعه، مخلوطی از هانتیت و سفیدآب شیخ است.

Q.IH.8.2021: به دلیل تاریخی بودن نمونه‌ها و این‌که لایه رنگ به‌مرور زمان آسیب‌دیده و دچار ریزترک‌هایی شده است؛ معمولاً در آنالیزها، بخشی از لایه زیرین نیز از بین این ریزترک‌ها آنالیز می‌شود که امری عادی است و پژوهشگران این حوزه، عناصر شناسایی شده مربوط به لایه زیرین را ناخالصی نمونه مطالعاتی می‌دانند. عناصر اصلی شناسایی شده در نمونه مورد مطالعه، طلا، مس و آهن است. با در نظر گرفتن میزان زیاد اکسیژن که شناسایی شده است، این نتیجه حاصل می‌شود که این لایه، طلاست با ناخالصی مس و آهن. در واقع در زمان خلق اثر، این بخش به رنگ طلایی دیده می‌شده است. بخش ناخالصی که مس و آهن است به‌مرور زمان اکسید شده و باعث شده رنگ طلایی به‌رنگ قهوه‌ای براق درآید.

Q.IH.9.2021: در نتیجه آنالیز حاضر، دو عنصر کبالت و آهن در کنار گوگرد عناصر شاخص و تأثیرگذار در ساخت رنگ سیاه هستند. دو ترکیب رنگ‌ساز کبالت که رنگ سیاه به‌دست می‌آید، اکسید کبالت (Cobalt Oxide) با فرمول شیمیایی Co_2O_3 و هم‌چنین سولفید کبالت (Cobalt Sulfides) با فرمول شیمیایی CoS_2 است؛ هم‌چنین یکی از اکسیدهای آهن که «مگنتیت» (Magnetite) نامیده می‌شود با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 یا $FeO \cdot Fe_2O_3$ رنگ‌دانه‌ای به‌رنگ سیاه است. عناصر شناسایی شده دیگر مربوط به لایه زیرین است و ناخالصی نمونه مطالعاتی محسوب می‌گردد؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که رنگ سیاه قلم‌گیری در نمونه مورد مطالعه، مخلوطی از رنگ سیاه کبالت و رنگ سیاه آهن است.

Q.IH.10.2021: نمونه ملات کف که از استحکام بالایی برخوردار بود، مورد آنالیز قرار گرفت. بیشترین درصد عناصر مربوط به کلسیم و گوگرد است که در کنار اکسیژن عناصر اصلی تشکیل‌دهنده ژئوپس هستند.

در ترکیب ژئوپس، نسبت کلسیم به گوگرد برابر با ۴۰ به ۳۲ است؛ بنابراین، این نسبت دو عنصر

متعلق به گچ هستند و مابقی مربوط به ترکیبات دیگر. با این احتساب، برای ۱۹,۲۹٪ کلسیم، میزان ۱۵,۴۳٪ گوگرد لازم است در صورتی که میزان گوگرد در نمونه مطالعاتی ۲۰,۸۵٪ است. معمولاً در بناهای تاریخی بیشترین رطوبت مربوط به رطوبت کف است و زمانی که رطوبت از اطراف به سمت بنا حرکت می‌کند، نمک‌هایی را در مسیر خود حل می‌کند و با خود حمل می‌کند. درخصوص این نمونه می‌توان گفت نمک‌های سولفات در حال حاضر در محیط کف و در ساختار ملات وجود دارد؛ هم‌چنین درصد کمی از سیلیسیوم، آلومینیوم، منیزیم و پتاسیم در نمونه شناسایی شده است که مربوط به ناخالصی ملات گچی است و در اصل ملات گچی نسبتاً خالص و یک‌دستی برای این بخش استفاده شده است.

Q.IH.11.2021: در این نمونه، به جز عناصر اصلی گچ، میزان بسیار اندکی از عناصر سیلیسیوم، آلومینیوم و منیزیم نیز شناسایی شده است که به صورت ناخالصی در معدن سنگ گچ وجود داشته است. ملات استفاده شده برای لایه آستر، با خلوص نسبتاً بالا، ملات گچی است.

Q.IH.12.2021: در نتیجه آنالیز لایه بستر، عناصر شاخص، گوگرد و کلسیم تقریباً به نسبت مساوی شناسایی شده است. در این آنالیز میزان گوگرد بیشتر از حد مورد نیاز در ترکیب گچ است. در این نتیجه آنالیز، فقط ۰,۲۵٪ سیلیسیوم شناسایی شده است. در واقع، لایه بستر یک ملات گچی نسبتاً خالص است که خلوص آن از ملات لایه آستر و ملات کف بیشتر است.

Q.IH.13.2021: دو عنصر شاخص و تأثیرگذار در این نمونه، طلا و مس است. نسبت طلا به مس در این نمونه حدود ۷ برابر است. در واقع ورق طلا برای این کار انتخاب شده است که ناخالصی مس دارد. دیگر عناصر شناسایی شده مربوط به لایه چینی است که بخش زیادی از آن گچ است.

(د) طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس: درخصوص چگونگی تشکیل و رشد بلورهای گچ به هنگام گیرش، مطالعاتی انجام شده و نکاتی ارائه گردیده است؛ ژپیس در سیستم مونوکلینیک و کلاس پریسماتیک متبلور می‌شود (Sudell, 2010). بلورهای ژپیس در سه جهت رشد می‌کنند (Gourdin and kingery) و هم‌چنین فرم‌های (11^{-1}) و (03^{-1}) که دارای سطوح و یال‌های محدب هستند و بلورهای غنچه‌مانندی را از ژپیس به وجود می‌آورند (عرفانی، ۱۳۹۴) و اندیس‌های شکست در بلور ژپیس $1/523$ ، $1/521$ و $1/521$ وابسته به جهت مشاهده کریستال هستند (عباسیان، ۱۳۷۱).

در نتیجه آنالیز فازی از نمونه Q.IH.1.2021 که مربوط به لایه چینی زیر ورق طلا است (تصویر ۳، جدول ۳)، کوارتز با فرمول شیمیایی SiO_2 و با شکل کریستالین هگزاگونال شناسایی شده است. کوارتز شناسایی شده در لایه چینی مربوط به گل سرخ (گل ارمنی) است که در هنگام عمل‌آوری ملات، به گچ اضافه شده است. فاز شناسایی شده بعدی، ژپیس با فرمول شیمیایی $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ و با ساختار کریستالین مونوکلینیک است. اگر در زمان عمل‌آوری ملات، از پودر گچ با کیفیت استفاده شده باشد که همان بازانیت است، با ساخت ملات که آب به آن اضافه می‌شود، بازانیت تبدیل به ژپیس می‌شود؛ در واقع، در حالت عادی فاز ژپیس باید شناسایی شود.

همان‌طور که در نتیجه آنالیز مشاهده می‌شود، به جز فاز ژپیس، فاز انیدریت با فرمول شیمیایی $CaSO_4$ و با ساختار کریستالین اورترومبیک هم شناسایی شده است؛ البته با این‌که آنالیز XRD انجام شده به صورت نیمه کمی است، ولی مشخص شده است که میزان انیدریت از ژپیس کمتر است. میزان اندک انیدریت در نمونه یا مربوط به پخت ناقص گچ در کوره است که به همراه بازانیت مورد استفاده قرار گرفته است و یا این‌که در شرایط خاص تبدیل فاز اتفاق افتاده و ژپیس تبدیل به انیدریت شده است.

در نتیجه آنالیز فازی از نمونه Q.IH.10.2021 که مربوط به ملات اندود کف بنا است (تصویر ۳، جدول ۳)، کوارتز شناسایی شده است. کوارتز شناسایی شده در ملات اندود کف بنا مربوط به ماسه یا خاکی است که به ملات اضافه شده است که معمولاً در دوره‌های تاریخی این کار انجام

می‌شده است؛ یعنی در هنگام عمل‌آوری ملات، به گچ اضافه می‌شده است. فاز شناسایی‌شده بعدی، ژئوپیس است. برخلاف تصور اولیه نگارندگان که به نظر می‌رسید از ملات آهکی برای اندود کف بنا استفاده شده باشد، ملات استفاده‌شده برای اندود کف بنا، ملات گچی است.

به جز فاز ژئوپیس، فاز انیدریت هم در نمونه مورد مطالعه شناسایی شده است. میزان اندک انیدریت در نمونه یا مربوط به پخت ناقص گچ در کوره است که به همراه بازائیت مورد استفاده قرار گرفته است و یا این‌که در شرایط خاص تبدیل فاز اتفاق افتاده و ژئوپیس تبدیل به انیدریت شده است (Ballirano & Melis, 2009).

در نتیجه آنالیز فازی از نمونه Q.IH.11.2021 که مربوط به ملات اندود کف بنا است (تصویر ۳، جدول ۳)، فاز انیدریت در نمونه مورد مطالعه شناسایی شده است. میزان انیدریت در لایه آستر بیشتر از ژئوپیس است. احتمالاً به دلیل وجود یون کلر در لایه آستر و خشکی و گرمی هوا در دوره‌هایی، تبدیل فازی از ژئوپیس به انیدریت اتفاق افتاده است. فاز شناسایی‌شده بعدی، ژئوپیس است. ملات استفاده‌شده برای لایه آستر در دیوارنگاره‌های مورد مطالعه، ملات گچی است؛ هم‌چنین میزان اندکی کوارتز در نمونه مورد مطالعه شناسایی شده است. کوارتز شناسایی‌شده در ملات لایه آستر مربوط به ماسه یا خاکی است که به ملات اضافه شده است. گاهی به دلیل این‌که گچ کمیاب بوده و یا برای کاهش هزینه، از گچ ته کوره برای لایه آستر استفاده می‌شده که در این صورت، میزان انیدریت آن زیاد بوده است (Cardoso & Pye, 2017).

در نتیجه آنالیز فازی از نمونه Q.IH.12.2021 که مربوط به لایه بستر در دیوارنگاره مورد مطالعه است (تصویر ۳، جدول ۳)، کوارتز شناسایی شده است. دانه‌بندی فاز کوارتز در لایه بستر نسبت به نمونه‌های قبلی بسیار ریزتر بوده است. فاز شناسایی‌شده بعدی، ژئوپیس است. اگر در زمان عمل‌آوری ملات، از پودر گچ با کیفیت استفاده شده باشد که همان بازائیت است، با ساخت ملات که آب به آن اضافه می‌شود، بازائیت تبدیل به ژئوپیس می‌شود؛ در واقع، در حالت عادی فاز ژئوپیس باید شناسایی شود؛ همان‌طور که در نتیجه آنالیز مشاهده می‌گردد، به جز فاز ژئوپیس، فاز انیدریت هم شناسایی شده است. میزان انیدریت در این نمونه کم است؛ بنابراین مشخص شد که ملات استفاده‌شده برای لایه بستر، ملات گچی است با ناخالصی خاک (کوارتز).

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، ۱۳ نمونه تاریخی از جنبه‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفت و نتایج و یافته‌های پژوهش مورد تحلیل قرار گرفت. در تحلیل یافته‌ها به نتایج مورد نیاز به دست آمد که به صورت خلاصه در این بخش ارائه می‌شود؛ لایه‌چینی اجراشده در دیوارنگاره‌های این بنا از مخلوط گچ و گل سرخ (گل ارمنی، گل هرمز) ساخته شده است. عمل‌آوری مواد لایه‌چینی در زمان خلق اثر به خوبی انجام نشده و هم‌چنین ناخالصی‌هایی در آن وجود دارد که بافت نرم مورد نیاز برای طلاچسبانی به دست نیامده است. هنرمند برای پوشاندن این ضعف از یک لایه بوم‌کننده سفید بر روی لایه‌چینی استفاده کرده است. رنگ سبز استفاده‌شده در این دیوارنگاره‌ها، مخلوطی از رنگ دانه زرنیخ با آبی لاجورد و آبی پروس است. رنگ سبز-آبی استفاده‌شده در این دیوارنگاره، مخلوطی از رنگ دانه سبز سیلو با سفید لیتوپون است. رنگ آبی استفاده‌شده در این دیوارنگاره، مخلوطی از رنگ دانه لاجورد و آبی پروس به همراه سفید آب شیخ است. رنگ طلایی دورگیری در واقع ورق طلاست که به میزان کمی ناخالصی مس دارد. لایه‌ای که بر روی لایه‌چینی اجرا شده است نیز ورق طلا با ناخالصی اندک مس است. در راستای مطالعات بر روی نمونه قهوه‌ای براق این نتیجه حاصل شد که این لایه ورق طلا با ناخالصی مس و آهن بوده که به مرور زمان سطح آن خورده و کدر شده است. در واقع در دیوارنگاره‌های مورد مطالعه، سه نوع ورق طلا اجرا شده است

که دو مورد شبیه به هم بوده و به نظر می‌سد هم‌دوره باشند. یک لایه که از نظر ترکیب عناصر و ناخالصی‌ها متفاوت است، مربوط به دوره‌های بعدتر است.

با تکیه بر بررسی‌ها و مطالعات انجام‌شده، رنگ قرمز در این دیوارنگاره‌ها مخلوطی از قرمز آخرا و زرنیخ نارنجی بوده است. رنگ سفید پرکننده لایه تدارکاتی در نمونه مورد مطالعه، مخلوطی از هانتیت و سفیدآب شیخ است. رنگ سیاه قلم‌گیری در نمونه مورد مطالعه، مخلوطی از رنگ سیاه کبالت و رنگ سیاه آهن است.

برخلاف تصور (پیش از مطالعه تصور می‌شد ملات کف یک ملات آهکی باشد) ملات کف یک ملات گچی است با دو فاز ژپیس و انیدریت که میزانی ماسه و خاک هم به آن اضافه شده بود. به دلیل عمل‌آوری مناسب، این ملات دارای استحکام مناسب است؛ هرچند که رطوبت به مرور زمان آسیب‌هایی را به اثر تحمیل کرده است. لایه آستر و هم‌چنین لایه بستر در دیوارنگاره‌های مورد مطالعه، از ملات گچی است. با این تفاوت که ضخامت لایه آستر بیشتر از بستر است و دارای دانه‌بندی درشت‌تر و با ناخالصی بیشتر است. از طرفی سست‌تر بودن ملات لایه بستر به دلیل نحوه عمل‌آوری آن است که آرایش بلورهای ژپیس با نمونه لایه آستر متفاوت شده است. هم‌چنین قابل ذکر است که در بسیاری از نمونه‌های مطالعاتی، نمک‌های مختلفی نیز شناسایی گردید که در متن مورد تحلیل قرار گرفته است.

کتابنامه

- جتتنز، رادفورد؛ و استات، جورج، (۱۳۷۸). فرهنگ فشرده رنگ‌دانه‌های هنری. ترجمه حمید فرهمندبروجنی با همکاری حمیدرضا بخشنده‌فرد، اصفهان: گلدسته.
- حاجی سیدجوادی (۱۳۹۸). «مطالعه ساختاری آرایه‌های طلاکاری، لایه چینی و آنالیز نقوش تزئینی آن در دوره صفوی در عمارت چهل ستون قزوین». رساله دکترای تخصصی رشته پژوهش هنر، دانشگاه تربیت مدرس تهران (منتشر نشده).
- حاجی سیدجوادی، سیدمحسن؛ فهیمی‌فر، اصغر؛ و حمزوی، یاسر، (۱۳۹۹ الف). «بررسی و شناخت مواد معدنی آرایه‌های لایه چینی و طلاچسبان دوره صفوی در عمارت چهل ستون قزوین». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۰ (۲۵): ۲۴۰-۲۲۵.
- حاجی سیدجوادی، سیدمحسن؛ فهیمی‌فر، اصغر و حمزوی، یاسر (۱۳۹۹ ب). «بررسی و شناخت مواد آلی لایه چینی و طلاچسبان دوره صفویه در کاخ چهل ستون قزوین». پژوهش باستان‌سنجی، ۶ (۲): ۱۷۳-۱۵۷.
- حامی، احمد، (۱۳۸۴). مصالح ساختمان. چاپ شانزدهم، تهران: دانشگاه تهران.
- حمزوی، یاسر، (۱۳۹۹). «مطالعه ساختارشناسی رنگ‌دانه‌های تزئینی کتیبه گچی ایوان بقعه سیدشمس‌الدین یزد». دو فصلنامه علمی-پژوهشی معماری اقلیم گرم و خشک، ۸ (۱۲): ۴۱-۲۳.
- حمزوی، یاسر، (۱۴۰۰). «مطالعه ساختارشناسی ملات گچی ایوان بقعه سیدشمس‌الدین یزد (کتیبه کوفی، آرایه گچی قالبی، لایه بستر گچی)». مرمت و معماری ایران، (۱۱) ۲۵: ۲۳-۴۱.
- حمزوی، یاسر؛ سلحشور، فاطمه؛ و مظفر، فرهنگ، (۱۳۹۲). «طلاکاری آرایه‌های گچی قالبی در بقعه سیدرکن‌الدین یزد»، مطالعات هنر اسلامی، ۱۹: ۱۲۱-۱۱۱.
- حمزوی، یاسر؛ و مؤذنی، فرشاد، (۱۳۹۲). «نگاهی بر آرایه‌های معماری اتاق مقبره بنای تاریخی پیربکران و کتیبه پنهان در آن». دانش مرمت و میراث فرهنگی، ۱۱ (۲۵): ۴-۲۱.
- داداش‌زاده، مارال؛ عبدالله‌خان گرجی، مهناز؛ و وحیدزاده، رضا، (۱۳۹۵). «خمیر لاجورد یا آبی مصری؟ بررسی ساختاری و هویت بخشی مجموعه‌ای از اشیاء منسوب به خمیر لاجورد در موزه ملی ایران». پژوهش باستان‌سنجی، ۲ (۲): ۴۸-۳۵.

- سلحشور، فاطمه؛ رادمنش، عطامحمد؛ حمزوی، یاسر؛ و خراسانی، محبوبه، (۱۳۹۸). «برابرسازی واژه فارسی خماین با کانی‌های آهن‌دار شناخته شده امروزی، براساس رنگ‌زا بودن این ماده و یافته‌هایی از متون ادبی تاریخی فارسی و تهیه نمونه‌ای از خماین ماده». پژوهش باستان‌سنجی، ۵ (۲): ۱۸۴-۱۶۹.
- شیروانی، مریم، (۱۳۹۸). «شناخت رنگ‌دانه‌ها در آرایه‌های گچی ایوان بیرونی ضلع جنوب غربی گنبد سلطانیه زنجان». پژوهش باستان‌سنجی ۵ (۱): ۱۴۲-۱۲۹.
- طینتی، تینا؛ حمزوی، یاسر؛ هلاکویی، پرویز؛ و کلمینی، ماریاپرلا، (۱۳۹۹). «ساختارشناسی لایه‌چینی آرایه‌های طلاکاری کلیساهای وانک و بیت‌لحم اصفهان». پژوهش باستان‌سنجی، ۶ (۲): ۳۹-۲۵.
- عباسیان، میرمحمد، (۱۳۷۱). مبانی شیمی فیزیک گچ، تولید و کاربرد. تهران: شرکت ایران گچ.
- عرفانی، حسین، (۱۳۹۴). «مطالعه بلورشناسی: بلورهای ژئوپس طبقات گچ واقع در مشرق تهران». نشریه دانشکده فنی، دانشگاه تهران، ۹ (۳): ۴۸-۴۳.
- محتشم، عادل؛ صالحیون، لیلا؛ و احمدی، کامران، (۱۳۹۳). «بررسی فنی تزئینات گچبری خانه شهشهان اصفهان با استفاده از روش‌های دستگاهی SEM-EDS و XRD و شیمی تر». مواد و فناوری‌های پیشرفته، ۳ (۲): ۴۹-۳۷.
- میش مست‌نهی، مسلم، (۱۳۹۴). «کاربرد تحلیل‌های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچبری کوه‌خواجه سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین)». پژوهش باستان‌سنجی، ۱ (۲): ۱-۱۴.
- هلاکویی، پرویز، (۱۳۸۷). «فن‌شناسی و آسیب‌شناسی لایه‌چینی تزئینات برخی از بناهای دوره صفوی اصفهان (عالی‌قاپو، چهل‌ستون و هشت بهشت)». پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه هنر تهران (منتشر نشده).

- Abbasian, M. M., (1992). *Basics of physics- chemistry of plaster, production and application*. Tehran: Iran plaster company.

- Aslani, H., (1998). "A research on the basics and principles of conservation and restoration of historical-cultural murals with a special view on the Safavid period with pictorial murals in Isfahan". Master's thesis, field of restoration of cultural objects, University of Arts, Isfahan campus (unpublished).

- Ballirano, P. & Melis, E., (2009). "Thermal behaviour and kinetics of dehydration of gypsum in air from in situ real-time laboratory parallel-beam X-ray powder diffraction". *Physics and Chemistry of Minerals*, 36: 391-402.

- Cardoso, I. P. & Pye, E., (2017). "Gessos in Portuguese Baroque gilding grounds, part 1: a study of historical documentary sources". *Studies in Conservation*, 62, 4: 158-209.

- Dadashzadeh, M.; Abdullah Khan Gorji, M. & Vahidzadeh, R., (2016). "Lapis lazuli paste or Egyptian blue? Structural investigation and identification of a collection of objects attributed to lapis lazuli paste in the National Museum of Iran". *Research on archeology*, 1 (1): 35-48.

- Franquelo, M. L. et al., (2009). "Comparison between micro-Raman and micro-

FTIR spectroscopy techniques for the characterization of pigments from Southern Spain Cultural Heritage”. *Journal of Molecular Structure*, 924-926: 404-412..

- Gourdin, W. H. & Kingery, W. D., (1975). “The beginnings of pyrotechnology: Neolithic and Egyptian lime plaster”. *Journal of Field Archaeology*, 2(1-2): 133-150.

- Haji Seyed Javadi, S. M.; Fahimifar, A. & Hamzavi, Y., (2020). “Investigating and identifying the minerals of the layered arrays and gilded arrays of the Safavid period in the Chehelsotun mansion of Qazvin”. *Iranian Archaeological Research*, 10 (2): 225-240.

- Haji Seyed Javadi, S. M.; Fahimifar, A. & Hamzoi, Y., (2020). “Investigating and understanding the layered and gilded organic materials of the Safavid period in Qazvin’s Chehelsotun Palace”. *Archaeology*, 6 (2): 157-173.

- Hami, A., (2005). *Building materials*. 16th edition, Tehran: University of Tehran.

- Hamzavi, Y., (2020). “Structural study of the decorative pigments of the plaster inscription of the porch of Seyyed Shams al-Din tomb in Yazd”. *Two quarterly scientific-research magazines of hot and dry climate architecture*, 8 (12): 23-41.

- Hamzavi, Y., (2021). “Structural study of the plaster mortar of Seyyed Shams al-Din tomb in Yazd (Kufic inscription, molded plaster array, plaster bed layer)”. *Two quarterly scientific-research magazines of restoration and architecture of Iran*, 11 (25): 43.

- Hamzavi, Y.; Moazzeni, F., (2013). “A look at the architectural arrays of the tomb room of the Pirkakran historical monument and the hidden inscription in it”. *two quarterly specialized magazines of restoration science and cultural heritage*, 21.

- Hamzavi, Y.; Selahshur, F.; Mozzafar, F., (2013). “Gilding of molded plaster arrays in Seyyed Rokn-al-Din tomb in Yazd”. *Two quarterly scientific research journals of Islamic art studies*, 19: 111-121.

- Hayez, V., et al., (2004). “Identification of pigments on a 16th century Persian manuscript by micro-Raman spectroscopy”. *Journal of Raman Spectroscopy*, 35(8-9): 781-785.

- Holakuee, P., (2008). “Technology and pathology of lay-up the decorations of some buildings of the Safavid period in Isfahan (Ali-Qapoo, Chehelsotoon and Hasht Behesht)”. Master’s thesis, Tehran University of Art (unpublished).

- Hradil, D. et al., (2007). “Microanalytical identification of Pb-Sb-Sn yellow pigment in historical European paintings and its differentiation from lead tin and Naples yellows”. *Journal of Cultural Heritage*, 8(4): 377-386.

- Jettens, R. & Stott, G., (1999). *Compressed culture of artistic pigments*. Translated by: Hamid Farahmand Borujeni in collaboration with Hamidreza Bakhshande Fard, Isfahan: Goldasteh.

- Josa, V. G. et al., (2010). “X-ray and scanning electron microscopy archaeometric studies of pigments from the Aguada culture, Argentina”. *Microchemical Journal*, 96(2): 259-268.

- Klockenkämper, R.; Von Bohlen, A. & Moens, L., (2000). “Analysis of pigments

and inks on oil paintings and historical manuscripts using total reflection x-ray fluorescence spectrometry". *X-Ray Spectrometry*, 29(1): 119-129.

- Koochakzaei, A. R.; Nemati Babaylou, A. & Daneshpoor, L., (2015). "Identification of Pigments Used in Decoration of Paper Inscription Related to Ansarin House of Tabriz". *Journal of Color Science and Technology*, 9(4): 297-306.

- Maravelaki-Kalaitzaki, P. & Kallithrakas-Kontos, N., (2003). "Pigment and terracotta analyses of Hellenistic figurines in Crete". *Analytica Chimica Acta*, 497(1): 209-225.

- Mish-mašt Nahi, M., (2015). "The use of crystallographic analyzes in technical studies of historical plaster works (a case study of the plastering of Khajeh Mountain in Sistan, the plaster mortar of Shadiyakh Nishaboor and the plaster mortar of Alamoot Castle in Qazvin)". *Archeology research*, 1 (2): 1-14.

- Mohtasham, A.; Salehioon, L. & Ahmadi, K., (2014). "Technical investigation of the plaster decorations of the Shahshahan House in Isfahan using SEM-EDS, XRD and chemical methods". *Journal of Advanced Materials and Technologies*, 3 (2): 37-49.

- Nevin, A. et al., (2010). "Advances In the Analysis of Red Lake Pigments from 15th and 16th C. Paintings Using Fluorescence And Raman Spectroscopy". in: *The 10th International Conference on the non-destructive investigations and microanalysis for the diagnostics and conservation of cultural and environmental heritage, Art'11*: Florence, Italy.

- Salahshur, F.; Radmanesh, A. M.; Hamzavi, Y. & Khorasani, M., (2019). "Equating the Persian word khamahen (a dark colored mineral stone) with the known iron minerals of today, based on the coloring of this material and findings of Persian historical literary texts and preparing a sample of khamahen material". *Two quarterly scientific-research magazines of archaeology, Islamic Art University of Tabriz*, 5 (2): 169-184.

- Shirvani, M., (2019). "Identifying the pigments in the plaster arrays of the outer porch of the south-west side of Soltanieh dome in Zanjan". *Sensory archaeology Research*, 5 (1): 129-142.

- Silva, C. E. et al., (2006). "Diffuse reflection FTIR spectral database of dyes and pigments". *Anal Bioanal Chem*, 386 (7-8): 2183-91.

- Sudell, H., (2010). *The complete Guide to Rocks & Minerals*. Project Editor: Catherine Stuart, London: Hermes House.

- Tinaty, T.; Hamazvi, Y.; Holakuee, P. & Columbini, M. P., (2020). "Morphology of the lay-up of gilding arrays of Vank and Beit-ol Lahm churches in Isfahan". *Two quarterly scientific-research magazines of archaeology, Islamic Arts University of Tabriz*, 6 (2): 25-39.

- Can Loon, A. et al., (2017). "Artificial orpiment, a new pigment in Rembrandt's palette". *Heritage Science*, 5(1): 26.