Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Research Paper

Characterization and Identification of Colorants in the Paint Layers of the Architectural Ornaments of the Masoudi House, Tuyserkan, Hamadan

Yaser Hamzavi[*1]

1. Associate Professor, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism (RICHT), Tehran, Iran
* Corresponding Author: y.hamzavi@richt.ir ; yaserhamzavi99@gmail.com

Abstract

This study investigates the structure and composition of paint layers applied to the architectural ornaments of the Shahneshin room of the Masoudi House in Tuyserkan, a valuable Qajar-period building. Given the diversity of motifs and colors in the mural paintings and gypsum-based materials, and the lack of technical and materials-based studies, this research aimed to identify the colorants and examine the structural characteristics of the paint layers. Accordingly, twelve paint samples representing light green, yellow ochre, red, blue, light gray-green, orange, and brown hues were examined using digital microscopy and scanning electron microscopy coupled with point energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM–EDS). The results showed that the painting systems of the mural paintings and gypsum-based ornaments were based on a diverse range of mineral pigments and multi-component mixtures. The analytical evidence is consistent with the presence of iron-, copper-, lead-, chromium-, cobalt-, and arsenic-based pigments, as well as ultramarine. In several samples, the combination of two or more pigments and the simultaneous use of lightener or filler materials played an important role in producing the final hues. Furthermore, analysis of the metallic layer showed that it was predominantly composed of copper and zinc and consistent with a copper–zinc alloy (brass); minor amounts of gold, lead, and tin were also detected. Overall, the findings reveal the diversity of materials and painting technologies employed at the Masoudi House and provide valuable data for a better understanding of deterioration mechanisms and for selecting compatible materials and methods for the conservation and restoration of this historic building.

Keywords: Masoudi House, Tuyserkan, Characterization, Paint Layer, Architectural Ornaments, Pigments

Received: 2026/05/13
Revised: 2026/06/22
Accepted: 2026/06/24
Published: 2026/06/30

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

Introduction

The identification of colorants in painted architectural layers is important for understanding historical painting technologies, material use, deterioration processes, and conservation requirements. Colorants include pigments and dyes; mineral pigments, whether naturally occurring or synthetic, have been widely used in architectural decoration because of their durability and covering properties. Their characterization can therefore provide valuable evidence for archaeological and art-historical interpretation and for the development of appropriate conservation strategies. This study investigates the painted layers of the architectural ornamentation in the Shahneshin Room of the Masoudi House in Tuyserkan through field observation and technical analyses. Constructed during the Qajar period approximately 130 years ago, the Masoudi House is a two-story residence that currently functions as the Tuyserkan Museum of History and Culture. An abjad inscription above the entrance dates the building to 1292 AH. The Shahneshin Room, the principal ceremonial space, is extensively decorated with plasterwork, mirrorwork, and painted motifs depicting vegetal, human, natural, and animal subjects, including representations of Iranian rulers from antiquity to the Qajar period. The diversity of imagery, vivid colors, and refined decorative details make the building a significant example of Qajar architectural ornamentation. Despite its historical and artistic significance, the building has received limited scholarly attention, and documentation of its construction history and subsequent alterations remains scarce. This study therefore aims to characterize the colorants and painted-layer structures of its architectural ornamentation and to provide technical data for their interpretation and conservation. Although comparable studies have examined Qajar monuments in Tehran, Isfahan, and Tabriz, studies of representative buildings in other regions of Iran remain limited. Investigating such monuments is essential for a broader understanding of the materials and technologies employed in Qajar-period painted architectural ornamentation.

Methodology

Twelve representative samples of different colors—including light green, ochre, gold leaf, dark blue, light greenish-gray, light blue, grass green, orange, dark red, reddish-brown, and orange-brown—were collected and coded to characterize the colorants used in the mural paintings and painted plaster ornamentation (Table 1). Samples were selected based on color diversity, differences in the appearance of the painted layers, and the potential presence of distinct colorants. Sampling was conducted with minimal intervention, and the sampling location, apparent color, and type of ornamentation were recorded for each specimen. Samples were prepared according to the requirements of each analytical technique. Surface characteristics, color heterogeneity, and suitable areas for further analysis were examined using a Dino-Lite Plus digital microscope at 65× and 220× magnification. Selected samples were subsequently analyzed by scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive X-ray spectroscopy (SEM–EDS). A TESCAN MIRA3 SEM at the Razi Foundation for Applied Sciences was used for high-magnification imaging and point elemental analysis. The instrument provides a resolution of approximately 1.5 nm at 15 kV and 4.5 nm at 1 kV, while the EDS detector has an energy resolution of 126 eV and a detection limit above 5000 ppm for elements from boron (B) onward. SEM imaging and point EDS analyses were conducted under vacuum, and backscattered-electron (BSE) images were acquired for detailed examination of the samples. The analytical results were interpreted in conjunction with microscopic observations and morphological characteristics to identify the colorants and assess their distribution within the painted layers.

Results

Microscopic investigations and SEM–EDS analyses were conducted to characterize the morphology, stratigraphy, elemental composition, and preservation of selected painted architectural samples. Digital microscopy revealed variation in particle size, pigment distribution, layer structure, and surface condition. The samples generally showed heterogeneous granular structures, localized cracking and erosion, and, in several cases, mixtures of two or more pigments. T.3 and T.4 were associated with metallic substrates or layers, while T.11 showed a stratigraphic sequence of gypsum substrate, preparatory layer, lead-containing paint, and protective varnish. SEM–EDS results further characterized the elemental composition of the samples. T.1 was dominated by Si, K, Ca, and Cu, with minor Fe, Pb, and other elements. T.2 showed high Pb with Fe and O, indicating a lead-based pigment. T.3 contained mainly Si, O, and Ca, whereas T.4 was rich in Cu and Zn, with Au, Pb, and Sn. T.5 showed an elemental composition consistent with an ultramarine-type pigment. T.6 was dominated by Ca, Si, Al, K, and Mg. T.9 contained S, Al, Co, Ca, and O, indicating a cobalt-bearing blue pigment. T.10 showed Ca, Cr, Mg, Al, Pb, S, Fe, and Si, reflecting a multi-component pigment system. T.11

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

contained a lead-bearing orange paint layer, with the combined paint and varnish thickness measuring approximately 13–20 μm. T.12 and T.13 were dominated by Pb and O, consistent with lead-based red pigments, while T.14 contained high Pb, As, and Fe, indicating lead-, arsenic-, and iron-bearing components. Overall, the results indicate a diverse palette and varied layer structures, including both individual and mixed pigment systems, reflecting the use of different materials and techniques in the painted architectural ornamentation.

Discussion

The SEM–EDS results indicate that the painted decoration of the Mas'oudi House comprises diverse mineral pigments and heterogeneous mixtures. T.1 is consistent with a mixture of copper-based green, iron-bearing yellow, and green-earth pigments, with Pb possibly related to lead white or the underlying preparation. T.2 is primarily associated with yellow ochre, with a possible minor chromium-containing component. T.3 represents a thin translucent colored layer over a metallic substrate, with minor Fe and Cu contributing to its coloration. T.4 is mainly consistent with a Cu–Zn alloy (brass), with the presence of Sn suggesting a possible bronze-related component. The dark-blue color of T.5 is cautiously attributed to an ultramarine-type pigment, with calcium-bearing material and possible lead white or preparation components. T.6 is consistent with a mixture of iron-bearing green earth and a calcium-rich light-colored component, possibly including gypsum. T.9 indicates a mixed blue system containing an ultramarine-related component and cobalt-bearing pigment, together with calcium- and possibly lead-bearing materials. T.10 shows a complex mixture of iron-bearing silicate material, potentially celadonite, a chromium-containing green pigment, and other mineral components, including a possible ultramarine-related phase. Samples T.11–T.14, representing orange, red, and reddish-brown areas, are predominantly lead-bearing. T.11 is consistent with minium (red lead, Pb_3O_4), while T.12 and T.13 are also compatible with lead-based red pigments, although their heterogeneous compositions indicate mixtures rather than pure pigment phases. T.14 contains Pb, Fe, and As, suggesting a mixture of lead-, iron-, and arsenic-bearing pigments, potentially including minium, an iron-oxide pigment, and an arsenic sulfide such as realgar or orpiment. Overall, the results demonstrate the use of copper-, iron-, lead-, cobalt-, chromium-, and arsenic-bearing materials, together with calcium- and silicate-rich components. The heterogeneous compositions of several samples indicate that pigments were frequently combined with other pigments, fillers, preparation materials, or underlying layers. This material diversity provides important evidence for the painting technology and informs the interpretation of deterioration and the selection of compatible conservation materials.

Conclusion

This study aimed to identify the materials and characterize the structural and technological features of the painted layers in the murals of the Masoudi House in Tuyserkan. Microscopic and SEM–EDS analyses revealed diverse, multilayered structures and the use of a wide range of mineral pigments, including minium, malachite, yellow ochre, arsenic sulfides, and ultramarine, as well as chromium-, cobalt-, and celadonite-based components (Table 3). The presence of multiple pigments in several samples indicates that some colors were produced by mixing different materials. Comparison with Qajar-period monuments in Birjand, Isfahan, Tabriz, and Nishapur reveals similarities in the use of several pigments, particularly minium, yellow ochre, malachite, arsenic sulfides, and ultramarine-related materials. At the same time, chromium- and cobalt-based components and diverse multi-component mixtures distinguish the palette of the Masoudi House. These similarities and differences suggest both recurring patterns in Qajar painting technology and variations related to material selection and application practices. Cross-sectional examination showed that the painted systems comprised substrates, preparation layers, paint layers, and, in some cases, surface coatings. Variations in particle distribution, layer density, preservation condition, and pigment mixtures further demonstrate the technological complexity of the ornaments. From a conservation perspective, these findings provide a basis for assessing deterioration, evaluating material compatibility, and selecting appropriate treatment methods. Overall, the study contributes to understanding the materials and technologies of Qajar-period painted architectural ornamentation in Tuyserkan and provides a basis for comparative studies of other historic Qajar monuments in Iran.

Author Contributions: Conceptualization, methodology, investigation, formal analysis, data curation, writing—original draft, writing—review and editing: the author.

Acknowledgments: The author gratefully acknowledges the General Directorate of Cultural Heritage, Tourism, and Handicrafts of Hamadan Province for its financial support of the research project. This article is based on research conducted under a research contract with the aforementioned Directorate (Contract No. 4800-146/14032, dated 13 May 2024). The author also wishes to express sincere appreciation to Ms. Zahra Hamzavi, project consultant, for her valuable advice and assistance throughout the project.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

Funding: This research project was financially supported by the General Directorate of Cultural Heritage, Tourism, and Handicrafts of Hamadan Province**.**

Data Availability Statement: The datasets generated and/or analyzed during the current study are not publicly available but may be obtained from the corresponding author upon reasonable request.

Conflicts of Interest: The author declares no competing interests.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

ساختارشناسی و شناسایی مواد رنگزا در لایه‌های رنگ آرایه‌های معماری خانه مسعودی تویسرکان، همدان

یاسر حمزوی[۱*]

۱. دانشیار، پژوهشکدهٔ میراث معماری و شهری، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: mreghdami@guilan.ac.ir

چکیده

در این پژوهش، ساختار و ترکیب لایه‌های رنگ در آرایه‌های معماری اتاق شاه‌نشین خانه مسعودی تویسرکان، از بناهای ارزشمند دوره قاجار، بررسی شده است. با توجه به تنوع نقوش و رنگ‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌ها و آرایه‌های گچی این بنا و فقدان مطالعات فنی و موادشناختی، پژوهش حاضر با هدف شناسایی مواد رنگزا و بررسی ویژگی‌های ساختاری لایه‌های رنگ انجام شد. بدین منظور، ۱۲ نمونه رنگ از طیف‌های سبز روشن، زرد اخرا، قرمز، آبی، سبز–خاکستری، نارنجی و قهوه‌ای با استفاده از میکروسکوپ دیجیتال و میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به آنالیز عنصری نقطه‌ای (SEM-EDS) بررسی شدند. نتایج نشان داد که رنگ‌آمیزی دیوارنگاره‌ها و آرایه‌های گچی بر پایه مجموعه‌ای متنوع از رنگدانه‌های معدنی و ترکیبات چندجزئی انجام شده است. شواهد تحلیلی با حضور رنگدانه‌های پایهٔ آهن، مس، سرب، کروم، کبالت و آرسنیک و همچنین لاژورد سازگار است. در برخی نمونه‌ها، ترکیب دو یا چند رنگدانه و استفاده همزمان از مواد روشن‌کننده یا پرکننده، نقش مهمی در ایجاد فام‌های نهایی داشته است. همچنین، بررسی لایه فلزی نشان داد که ترکیب آن عمدتاً از مس و روی تشکیل شده و با یک آلیاژ مس–روی، سازگار با برنج، مطابقت دارد؛ مقادیر اندکی طلا، سرب و قلع نیز شناسایی شد. یافته‌های پژوهش ضمن آشکار ساختن تنوع مواد و فناوری رنگ‌آمیزی در خانه مسعودی، داده‌های پایهٔ ارزشمندی جهت شناخت فرایندهای فرسایش و انتخاب مواد و روش‌های سازگار در حفاظت و مرمت این بنای تاریخی فراهم می‌آورد.

واژگان کلیدی: خانه مسعودی، تویسرکان، ساختارشناسی، لایه رنگ، آرایه‌های معماری، رنگدانه

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۳
آخرین اصلاح: ۱۴۰۵/۰۴/۰۱
پذیرش: ۱۴۰۵/۰۴/۰۳
انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

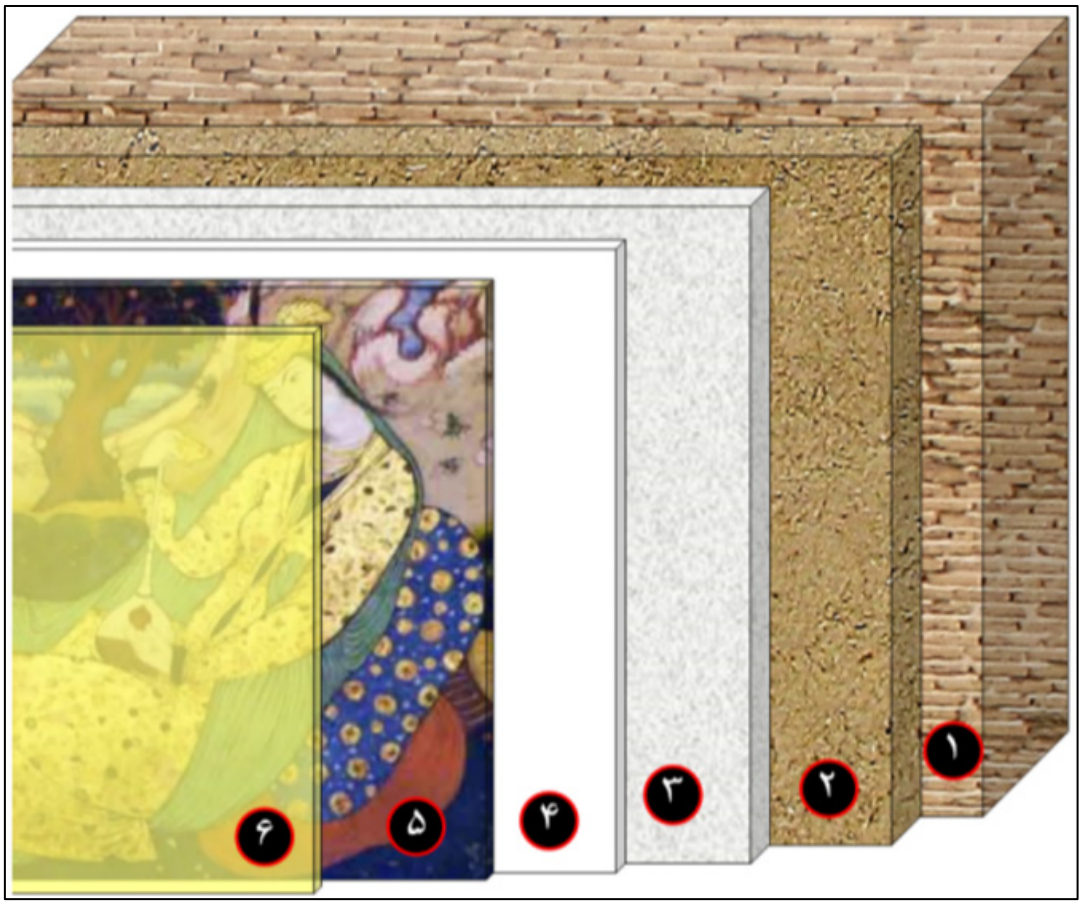
https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱. مقدمه

رنگ به‌عنوان یکی از بنیادی‌ترین عناصر ادراک بصری، نقش مهمی در شکل‌دهی هویت، معنا و کیفیت فضایی در معماری ایفا می‌کند. رنگ از طریق سازمان‌دهی فضا، هدایت نگاه و انتقال پیام‌های فرهنگی و نمادین، به‌عنوان عاملی برای زیبایی و آرایش به کار می‌رود و از این طریق، چگونگی تعامل میان عوامل فرهنگی و زیبایی‌شناختی را آشکار می‌سازد (وزوایی و همکاران، ۱۴۰۴). رنگ از موادی تحت عنوان رنگزا حاصل می‌شود که خود به دو گروه رنگدانه‌ها و رنگینه‌ها تقسیم می‌شوند. رنگدانه‌ها موادی جامد به شکل ذرات ریز ناپیوسته هستند که در حالت خشک، به‌صورت مجموعه‌ای از بلورهای درهم‌تنیده یا توده‌ای از دانه‌ها دیده می‌شوند و ماهیتی معدنی دارند. این در حالی است که رنگینه‌ها منشأ آلی دارند (پاکباز، ۱۳۹۰: ۱۸). رنگدانه‌ها (معدنی)، برخلاف رنگینه‌ها (آلی)، به‌دلیل قابلیت ایجاد رنگ و پوشش پایدار در برابر تغییرات عوامل محیطی، عمدتاً مورد توجه نقاشان و هنرمندان بوده‌اند. بسیاری از رنگدانه‌های اخیر حاصل سنتز مواد شیمیایی در آزمایشگاه‌ها هستند. با وجود این، برخی از آن‌ها به‌صورت طبیعی وجود داشته‌اند و از ادوار گذشته مورد استفاده هنرمندان بوده‌اند (کوچکزایی و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت رنگ و نمودهای آن در آرایه‌های معماری، یکی از شاخه‌های مطالعات فنی در حفاظت از آثار تاریخی و فرهنگی به ساختارشناسی مواد رنگزا (رنگدانه/رنگینه) اختصاص می‌یابد. یکی از مهم‌ترین مسائل در مطالعهٔ لایهٔ رنگ در آرایه‌های معماری، شناخت ماهیت رنگزاهای مورد استفاده است. شناسایی رنگزاها نه‌تنها از دیدگاه باستان‌شناسی، بلکه از منظر تاریخ هنر، شناخت فرایندهای تخریب و توسعهٔ روش‌های حفاظتی آثار تاریخی نیز اهمیت قابل توجهی دارد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). در این میان، دیوارنگاره‌ها در زمرهٔ آثاری محسوب می‌شوند که هویت خود را به‌واسطهٔ لایهٔ رنگ بازمی‌یابند.

به‌طور کلی، دیوارنگاره‌های تاریخی ایران از نظر تعداد لایه‌ها (در حالت عادی و عمومی) از شش لایه تشکیل شده‌اند. لایه‌های تشکیل‌دهندهٔ دیوارنگاره‌ها به این صورت‌اند: الف) تکیه‌گاه؛ ب) لایهٔ آستر؛ ج) لایهٔ بستر؛ د) لایهٔ تدارکاتی (بوم‌کننده)؛ هـ) لایهٔ رنگ؛ و) لایهٔ ورنی یا محافظ (شکل ۱). گاهی اوقات، در دیوارنگاره‌های تاریخی، لایه یا لایه‌هایی به این شش لایه اضافه شده و گاهی نیز تعداد لایه‌های اجراشده کمتر از این شش لایه بوده است.



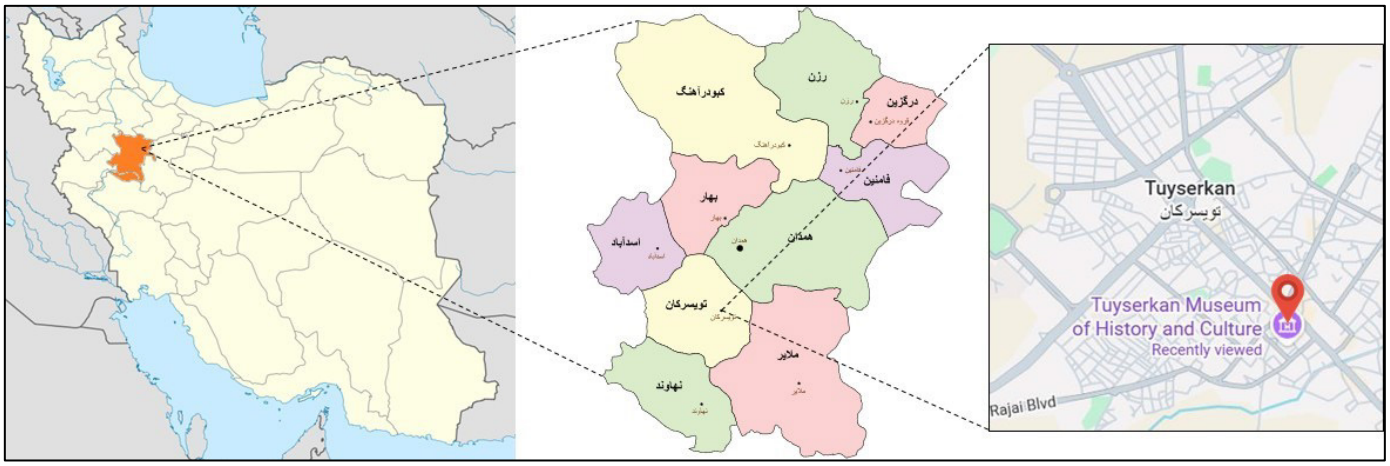
شکل ۱. طرح شماتیک از لایه‌های دیوارنگاره: ۱- تکیه‌گاه ۲- لایهٔ آستر ۳- لایهٔ بستر ۴- لایهٔ تدارکاتی ۵- لایه رنگ ۶- ورنی (نگارنده)

Figure 1. Schematic illustration of the mural painting layers: (1) support; (2) scratch coat (arriccio); (3) fine coat (Intonaco); (4) Primary layer; (5) paint layer; (6) varnish.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱-۱. خانهٔ مسعودی تویسرکان

خانهٔ مسعودی در شهرستان تویسرکان، از توابع استان همدان، در دورهٔ قاجار ساخته شده و قدمتی حدود ۱۳۰ سال دارد (شکل ۲). این بنای دوطبقه که در خیابان انقلاب واقع شده است، محل سکونت مرحوم حسین میرزا مسعودی بوده و هم‌اکنون با عنوان «موزهٔ تاریخ و فرهنگ تویسرکان» شناخته می‌شود. خانهٔ مسعودی در تاریخ ۲۷ دی ۱۳۷۷، با شمارهٔ ثبت ۲۲۴۶، در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسیده است.



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی تویسرکان در استان همدان و خانهٔ مسعودی

Figure 2. Geographical location of Tuyserkan-Hamadan and the Masoudi House

خانهٔ مسعودی که حدود سال ۱۲۵۰ هجری قمری (۱۲۱۵ شمسی)، به دستور شیخعلی میرزا برای سکونت جهانگیر میرزا، فرزند عباس میرزا نایب‌السلطنه، ساخته شد و پس از درگذشت وی به پسرش مسعود میرزا رسید. این بنا با اعمال تغییراتی در آرایه‌های معماری، به‌ویژه در اتاق شاه‌نشین، به اوج زیبایی خود دست یافت (شکل ۳). اتاق شاه‌نشین که مهم‌ترین بخش بنا به شمار می‌رود، سراسر با آرایه‌های گچی، آینه‌کاری و دیوارنگاره‌هایی با موضوعات گیاهی، انسانی، طبیعت و جانوری پوشیده شده است. کتیبهٔ ابجد ورودی شاه‌نشین طبقهٔ همکف نیز تاریخ ۱۲۹۲ هجری قمری را نشان می‌دهد (شکل ۳–b) (فتحی، ۱۳۹۳). از نکات جالب‌توجه این اتاق، تصویرگری پادشاهان ایران باستان تا دورهٔ قاجار است که به روش گراور در حاشیه‌های فوقانی دیوارها اجرا شده‌اند (شکل ۳–c) (رجبی امیرآباد، ۱۳۹۹). در انتهای اتاق، شومینه‌ای گچ‌بری‌شده قرار دارد (شکل ۳–d) و سقف آن با آرایهٔ آینه‌کاری زینت یافته است. نقوش انسانی اجراشده عموماً شامل کشاورزان، ماهیگیران، کوهنوردان و فرشتگان هستند. موضوع نگاره‌های طبیعت نیز عمدتاً کوه‌های آتش‌فشان، سبدهای میوه، ساخت‌وساز کاخ‌ها و مواردی از این دست را دربرمی‌گیرد (نجفی و جامه‌بزرگ، ۱۳۹۴). تنوع نقوش، استفاده از رنگ‌های زنده و ظرافت در اجرای جزئیات، این خانه را به اثری ارزشمند و کم‌نظیر تبدیل کرده است (شکل ۴).

در قسمت سقف اتاق، در چهار لچکی و همچنین ترنج میانی، آرایهٔ گچی برجسته در تلفیق با آینه‌کاری اجرا شده است (شکل‌های ۳–c و ۳–f). زمینهٔ سفیدرنگ طرح با چهار فرشته زینت یافته است که به‌صورت قرینه طراحی شده‌اند. یکی از این فرشته‌ها، نیمه‌عریان و دارای لباسی به رنگ متمایل به قرمز و بال‌هایی سبز است که بخش رویی آن‌ها اندکی قرمز به نظر می‌رسد. این فرشته گلدانی از گل در دست دارد. همچنین، در اطراف ستاره‌های هشت‌پر اجراشده در سقف، نقوش برگ به رنگ سبز دیده می‌شود (شکل‌های ۳–g و ۴–a). در دیوارها، دو ردیف تاقچه روی هم اجرا شده‌اند که در میان آن‌ها قطاربندی گچی قرار دارد (شکل‌های ۳–a و ۳–d؛ شکل ۴–i). پهنای تاقچه‌های بالا و پایین یکسان است، اما ارتفاع تاقچه‌های پایین حدود دو برابر ارتفاع تاقچه‌های بالاست. فضای داخلی تاقچه‌های بالایی خط‌کشی شده و درون کادرها، نقوش گیاهی طلاکاری‌شده اجرا شده است. همچنین، در بخش میانی تاقچهٔ بالایی، قاب یک دیوارنگاره تعبیه شده که درون آن یک بیت شعر نوشته شده است. تاقچه‌های پایینی نیز، مانند تاقچه‌های بالایی، کادربندی شده‌اند و در بخش میانی آن‌ها دیوارنگاره‌ای با موضوع گل‌وگلدان، میوه و پرنده اجرا شده است (شکل‌های ۴–c، ۴–d و ۴–j). ازاره نیز بخش دیگری از اتاق است که با دیوارنگاره تزئین شده است. رنگ زمینهٔ ازاره نارنجی است (شکل ۳–a). در قسمت بالای ازاره، نقوشی بسیار ظریف اجرا شده‌اند که در کنار رنگ، استفاده از طلا نیز در آن‌ها به چشم می‌خورد (شکل‌های ۴–f، ۴–g، ۴–h و ۴–k).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۳. آرایه‌های معماری خانهٔ مسعودی تویسرکان؛ (a,d) اتاق شاه‌نشین، (b) کتیبهٔ ورودی شاه‌نشین با تاریخ ۱۲۹۲ همجری قمری، (c) آرایه‌های گچی لچکی سقف اتاق شاه‌نشین در تلفیق با آینه، (e) گراورهای چاپی پادشاهان ایران در گلویی بنا، (f) آرایهٔ گچی برجسته ترنج سقف در ترکیب با آرایهٔ آینه، (g) بخشی از سقف اتاق شاه‌نشین.

Figure 3. Architectural ornamentations of the Masoudi House in Tuyserkan; (a, d) Shahneshin room; (b) entrance inscription of the Shahneshin room, dated 1292 AH; (c) gypsum-based ornaments of the ceiling spandrel of the Shahneshin room combined with mirrorwork; (e) printed engravings of Iranian kings on the building's cornice; (f) relief gypsum-based *toranj* motif on the ceiling combined with mirrorwork; (g) detail of the Shahneshin room ceiling.

تنوع نقوش، استفاده از رنگ‌های زنده و ظرافت در اجرای جزئیات، این خانه را به اثری ارزشمند و کم‌نظیر تبدیل کرده است. بااین‌حال، متأسفانه اطلاعات دقیقی دربارهٔ تاریخچه و روند تغییرات این بنا در دوره‌های مختلف ثبت نشده است. با توجه به غنای آرایه‌های معماری این خانه و فقدان مطالعات کافی در این زمینه تاکنون، هدف اصلی پژوهش حاضر، ساختارشناسی لایه‌های رنگ آرایه‌های معماری اتاق شاه‌نشین خانهٔ مسعودی تویسرکان است، زیرا نبود اطلاعات پایه دربارهٔ فن‌شناسی این بنای ارزشمند، درک صحیح مخاطبان خاص و در پی آن، مخاطبان عام را از آرایه‌های معماری آن با دشواری مواجه می‌کند. اهمیت انجام چنین پژوهشی از آن جهت است که شناخت فنون و مواد مورد استفاده در اجرای آرایه‌های معماری، افزون بر آشکار ساختن ویژگی‌های هنری و فناوری‌های به‌کاررفته در دورهٔ تاریخی بنا، مبنایی علمی برای ارزیابی وضعیت حفاظتی، تشخیص آسیب‌ها و ارائهٔ راهکارهای مناسب حفاظت و مرمت فراهم می‌آورد. همچنین، مستندسازی علمی و شناسایی ویژگی‌های فن‌شناختی دیوارنگاره‌های خانهٔ مسعودی می‌تواند به بازشناسی جایگاه این بنا در سنت نقاشی و آرایه‌های معماری منطقهٔ همدان و مقایسهٔ آن با نمونه‌های هم‌دوره کمک شایانی کند. با توجه به غنای تزئینی و ارزش‌های تاریخی و هنری این عمارت و کمبود مطالعات تخصصی موجود، انجام پژوهشی جامع با رویکرد فن‌شناختی و بهره‌گیری از روش‌های مکمل دستگاهی، ضرورتی اساسی برای شناخت، مستندسازی، حفاظت و معرفی این اثر ارزشمند به شمار می‌رود. اگرچه این‌گونه پژوهش‌ها را می‌توان به شیوه‌های مختلفی انجام داد، هدف نهایی، دستیابی به داده‌هایی دربارهٔ ماهیت رنگزاهای به‌کاررفته در این خانهٔ تاریخی است. دربارهٔ نمونه‌های مشابه در تهران، اصفهان و تبریز، مطالعاتی انجام شده است؛ بااین‌حال، برای تکمیل اطلاعات فن‌شناختی لایهٔ رنگ در دورهٔ قاجار، لازم است بناهایی در شهرهای مختلف ایران برای مطالعات فنی انتخاب شوند. در همین راستا، خانهٔ مسعودی تویسرکان، به‌عنوان شاخص‌ترین خانهٔ قاجاری این منطقهٔ ایران، برای انجام پژوهش حاضر انتخاب شده است.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ٤. دیوارنگاره‌های اجرا شده در خانهٔ مسعودی تویسرکان، همدان؛ (a) دیوارنگارهٔ فرشته در سقف اتاق شاه‌نشین، (b, e) دیوارنگاره‌ها با موضوع طبیعت و کاخ‌ها، (c, d, j) نقش گلدان و گل به همراه پرندگان، (f, g, h, k) نقش‌مایه‌های اجرا شده در بخش بالایی ازاره، (i) نگاره‌های اجرا شده در قطاربندی‌های گچی.

Figure 4. Executed murals in Masoudi House, Tuyserkan, Hamadan: (a) an angel motif on the ceiling of the Shahneshin room; (b, e) murals depicting natural landscapes and palaces; (c, d, j) vase-and-flower motifs accompanied by birds; (f, g, h, k) motifs executed in the upper section of the dado; and (i) paintings executed on the plaster cornice.

۲. پیشینه پژوهش

با وجود غنای آرایه‌های معماری و جایگاه شهری خانهٔ تاریخی مسعودی، تاکنون مطالعات اندکی به این بنا اختصاص یافته است. پژوهش‌های انجام‌شده صرفاً اشاره‌ای کوتاه به این اثر ارزشمند داشته‌اند، آن را در زمرهٔ آثار به‌جامانده از دورهٔ قاجار برشمرده‌اند و معرفی کلی‌ای از آن ارائه داده‌اند (فتحی، ۱۳۹۳). تنها دو پژوهش منتشرشده در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۹ به آرایه‌های معماری قابل‌توجه این بنا پرداخته‌اند و نقش‌مایه‌های اجراشده در آن را به‌صورت کلی و توصیفی بررسی کرده‌اند (نجفی و جامه‌بزرگ، ۱۳۹۴؛ رجبی امیرآباد، ۱۳۹۹).

در زمینهٔ شناسایی و ساختارشناسی رنگزاهای تاریخی ایران، مطالعات متعددی با بهره‌گیری از روش‌های دستگاهی انجام شده است. سلحشور و همکاران (۱۳۹۸) با استفاده از مطالعات متون کهن و روش دستگاهی پراش پرتو ایکس (XRD)، «خماهن ماده»، «خماهن نر» و «خماهن زنگی» را به‌ترتیب با هماتیت، گوتیت و مگنتیت مرتبط دانستند (سلحشور و همکاران، ۱۳۹۸). حمزوی نیز در بررسی آرایه‌های گچی بقعهٔ سیدشمس‌الدین یزد، آزوریت، شنگرف، مالاکیت و ورق قلع را به‌ترتیب در رنگ‌های آبی، قرمز، سبز و طلایی شناسایی کرد (حمزوی، ۱۳۹۹). رازانی و همکاران (۱۴۰۰) نیز با بهره‌گیری از روش‌های XRD و SEM و آزمون‌های شیمی تر، مالاکیت، سبز زنگار، آزوریت، زرد اخرای آهن و مواد کربنی را در آرایه‌های گنبد سلطانیه شناسایی کردند (رازانی و همکاران، ۱۴۰۰). در مطالعهٔ معبد ورجووی مراغه نیز حضور اکسیدهای آهن در رنگ قرمز و دودهٔ کربنی در رنگ سیاه، با استفاده از روش‌های XRD، XRF و SEM-EDS تأیید شد (رازانی و حمزوی، ۱۴۰۳). همچنین، شیروانی (۱۴۰۴) با استفاده از روش‌های Raman، FTIR و SEM-EDS، سرنج و احتمالاً زرد اخرا را در رنگ قرمز، لاژورد را در رنگ آبی و مالاکیت را در رنگ سبز دیوارنگاره‌های زندیهٔ ارگ کریم‌خان شناسایی کرد (شیروانی، ۱۴۰۴).

در مطالعات غیرفارسی‌زبان، به‌کارگیری روش‌های باستان‌سنجی طیف‌سنجی و میکروسکوپی نقش مؤثری در شناسایی مواد رنگزا و اجزای سازندهٔ نقاشی‌های تاریخی داشته است. هولاکویی و همکاران (۲۰۱۸) با بهره‌گیری از مجموعه‌ای از روش‌های مکمل، شامل μ-XRF، μ-Raman، μ-FTIR، SEM-EDX، XRD و PLM، مواد رنگزای به‌کاررفته در یک دیوارنگارهٔ تاریخی در روستای پودهٔ اصفهان را بررسی کردند. نتایج، حضور سرنج، لاژورد، زرد کروم، پودر برنج، هانتیت و لاماریت را به‌ترتیب در رنگ‌های قرمز، آبی، زرد، طلایی، سفید و سبز نشان داد (Holakooei et al., 2018). همچنین، کوچکزایی و همکاران (۲۰۲۲) با هدف شناسایی فن اجرای نقاشی و رنگدانه‌های آبی به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های کاخ عالی‌قاپوی اصفهان، با استفاده از روش‌های Raman، FTIR، PLM و EDS، لاژورد طبیعی را به‌عنوان رنگدانهٔ آبی و هانتیت را به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

شناسایی کردند (Koochakzaei et al., 2022). در پژوهش‌های اخیر نیز استفاده از روش‌های دستگاهی برای شناسایی مواد رنگزا در آثار تاریخی گسترش یافته است. گالو و همکاران (۲۰۲۶) با استفاده از روش XRF در بررسی نقاشی تمپرای Cristo in Trono (۱۸۸۵)، حضور شنگرف، لاژورد، زرد اخرا و سفید سرب را شناسایی کردند. همچنین، برنج به‌عنوان مادهٔ مورد استفاده در بخش‌های طلایی اثر شناسایی شد (Gallo et al., 2026). در مطالعه‌ای دیگر، گورگیتا و همکاران (۲۰۲۶) با تلفیق روش‌های XRF، FTIR-ATR، میکروسکوپی نوری و میکروسکوپی دیجیتال، ترکیب رنگی و ساختاری قطعات دیوارنگاره‌های شهر تاریخی تومیس در کنستانتای رومانی را بررسی کردند. نتایج نشان داد که در این آثار از شنگرف و هماتیت برای ایجاد طیف‌های قرمز، گوتیت برای زرد اخرا، آبی مصری برای آبی‌ـخاکستری، کربنات کلسیم/کلسیت برای سفید و کربن سیاه برای سیاه‌ـخاکستری استفاده شده است. همچنین، احتمال حضور رنگینهٔ آلی خون اژدها در برخی نواحی قرمز‌ـ بنفش مطرح شد (Gheorghiță et al., 2026). افزون‌براین، در مصر، با استفاده از میکروسکوپی نوری، Raman، SEM-EDS و FTIR، در مطالعهٔ یک تابوت‌نگارهٔ بوم‌پارچه‌ای متعلق به مصر باستان، زرد اخرا و زرنیخ در رنگ زرد، آبی مصری در رنگ آبی، هماتیت در رنگ قرمز، کلسیت در رنگ سفید و کربن در رنگ سیاه شناسایی شدند (Abdelmoniem & Ewais, 2026).

در زمینهٔ شناسایی رنگزاهای دیوارنگاره‌های قاجاری ایران، مطالعات فن‌شناختی‌ـباستان‌سنجی محدودی انجام شده است. عباسی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از روش‌های دستگاهی، لایهٔ بستر و رنگدانه‌های دیوارنگاره‌های باغ و عمارت تاریخی رحیم‌آباد بیرجند را بررسی کردند. نتایج، وجود بستری گچی‌ـگل‌سفید و حضور سرنج، مالاکیت، آبی پروس، لاژورد و آلیاژ مس‌ـروی را به‌ترتیب در رنگ‌های قرمز، سبز، آبی و طلایی نشان داد (عباسی و همکاران، ۱۳۹۵). فیروزنیا و همکاران (۱۳۹۹) نیز با بررسی دیوارنگاره‌های خانهٔ تاریخی دُرمیانی اصفهان، بستری متشکل از گل‌سفید و گچ و همچنین رنگدانه‌های سرنج، آبی پروس، ترکیب آبی پروس و سبز خاکی، سفید سرب و پودر برنج را شناسایی کردند (فیروزنیا و همکاران، ۱۳۹۹). در مطالعهٔ شومینهٔ خانهٔ گوهریون تبریز، کوچکزایی و همکاران (۱۴۰۰) با بهره‌گیری از روش‌های FTIR، ESM-EDS و PLM، سرنج، زرنیخ و سفیداب شیخ را در طیف‌های قرمز، لاژورد مصنوعی و گچ را در رنگ‌های آبی و آبی آسمانی و آلیاژ طلاـمس را در تزئینات طلایی شناسایی کردند (کوچکزایی و همکاران، ۱۴۰۰). همچنین، عباسی و همکاران (۱۴۰۲) با استفاده از روش‌های SEM-EDS، PLM، FTIR، XRD و میکروروامان، لاژورد مصنوعی، پودر برنج و ترکیبات سرنج‌ـزرد اخرا را در کتیبه‌ها و دیوارنگاره‌های بقعهٔ قدمگاه نیشابور شناسایی کردند. حضور فتالوسیانین مس در رنگ سبز نیز احتمالاً به مرمت‌های متأخر نسبت داده شد (عباسی و همکاران، ۱۴۰۲).

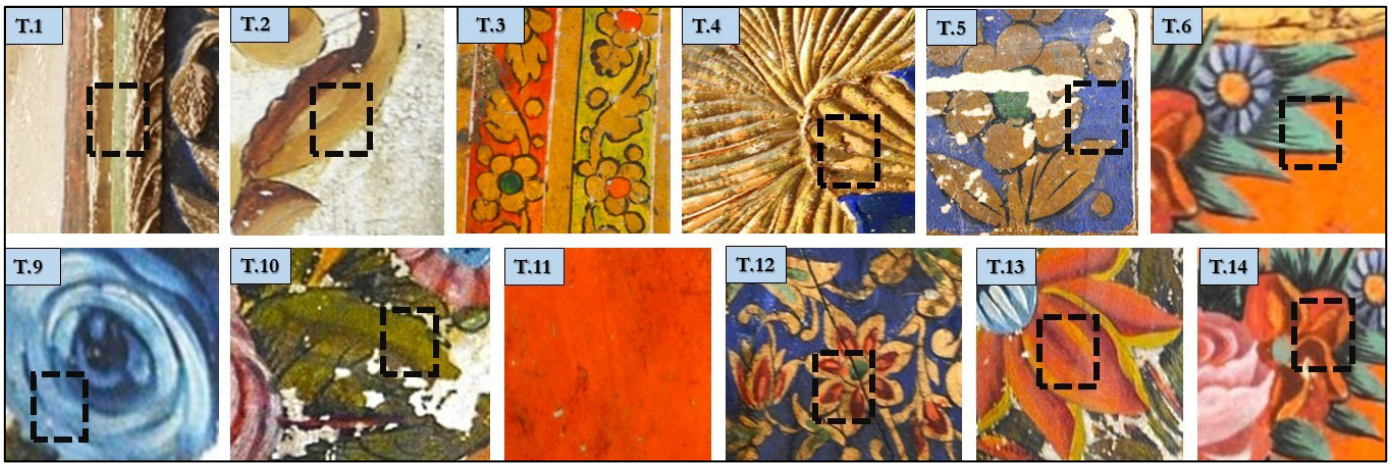
مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد که اگرچه در سال‌های اخیر، شناخت فن‌شناسی و ساختارشناسی رنگزاهای تاریخی در ایران با بهره‌گیری از روش‌های مختلف دستگاهی توسعه یافته و اطلاعات ارزشمندی دربارهٔ ماهیت رنگدانه‌ها، فنون اجرا و ساختار لایه‌های رنگ در بناهای تاریخی متعلق به دوره‌های مختلف فراهم شده است، پژوهش‌های مرتبط با خانهٔ مسعودی تویسرکان همچنان بسیار محدود بوده و عمدتاً به معرفی بنا و توصیف کلی آرایه‌های آن اختصاص داشته‌اند. همچنین، مطالعات انجام‌شده در بناهای قاجاری مشابه، تنوع قابل‌توجهی از رنگدانه‌های معدنی و مواد رنگزا و نیز تفاوت‌هایی در فنون اجرایی را آشکار کرده‌اند. با وجود این، تاکنون مطالعهٔ نظام‌مند و مبتنی بر تحلیل‌های فنی برای شناسایی ماهیت رنگزاهای لایه‌های رنگ آرایه‌های معماری خانهٔ مسعودی انجام نشده است. ازاین‌رو، پژوهش حاضر با تمرکز بر این خلأ پژوهشی می‌کوشد از طریق بررسی فنی لایه‌های رنگ اتاق شاه‌نشین، داده‌های مستند و قابل‌اتکایی دربارهٔ مواد رنگزا و ساختار رنگی این بنای قاجاری فراهم آورد و به تکمیل شناخت فن‌شناختی آرایه‌های معماری دورهٔ قاجار در مناطق کمتر مطالعه‌شدهٔ ایران کمک کند.

۳. مواد و روش‌ها

تعداد ۱۲ نمونه رنگ شامل سبز روشن، زرد اخرا، رنگ روحی سطح ورق طلا، آبی تیره، سبزـخاکستری روشن، آبی روشن، سبز چمنی، نارنجی، قرمز تیره، قرمزـقهوه‌ای و قهوه‌ایـنارنجی (شکل ۵)، به‌منظور شناسایی و مطالعهٔ رنگزاهای به‌کاررفته در دیوارنگاره‌ها و لایهٔ رنگ اجراشده بر سطح آرایه‌های گچی، تهیه و کدگذاری شد (جدول ۱). انتخاب نمونه‌ها بر اساس تنوع طیف‌های رنگی مشاهده‌شده در دیوارنگاره‌ها و آرایه‌های گچی، تفاوت‌های ظاهری لایه‌های رنگ و احتمال وجود مواد رنگزای متفاوت صورت گرفت. نمونه‌برداری با حداقل میزان مداخله و از بخش‌هایی انجام شد که ضمن برخورداری از ویژگی‌های نماینده، امکان برداشت مقدار بسیار محدودی از مادهٔ رنگی را فراهم می‌کردند. برای هر نمونه، محل برداشت، رنگ ظاهری و نوع آرایه ثبت شد و نمونه‌ها با کدهای اختصاصی مشخص شدند. پیش از انجام آنالیزهای دستگاهی، نمونه‌ها با هدف حذف آلودگی‌های سطحی و دستیابی به بخش‌های نمایندهٔ لایهٔ رنگ، متناسب با نیاز هر آزمون آماده‌سازی شدند.

بررسی اولیه نمونه‌ها با میکروسکوپ دیجیتال، علاوه بر ثبت ویژگی‌های ظاهری و ساختاری سطح، برای انتخاب نقاط مناسب جهت انجام آنالیز عنصری نیز مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه، نمونه‌های منتخب با استفاده از SEM-EDS بررسی شدند و داده‌های حاصل از آنالیز عنصری، در کنار ویژگی‌های ظاهری و مورفولوژیک نمونه‌ها، مبنای شناسایی و تفسیر مواد رنگزای به‌کاررفته قرار گرفتند. در ادامه، باتوجه به نوع پرسش، دو دستگاه انتخاب شدند.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۵. دوازده نمونه رنگ مورد مطالعه به ترتیب (سبز روشن، زرد اخرا، رنگ روحی سطح ورق طلا، آبی تیره، سبز–خاکستری روشن، آبی روشن، سبز چمنی، نارنجی، قرمز تیره، قرمز قهوه‌ای، قهوه‌ای–نارنجی)

Figure 5. The 12 paint samples examined in this study, in the following order: light green, yellow ochre, reddish paint on the surface of the gold foil, dark blue, light greenish-gray, light blue, grass green, orange, dark red, reddish-brown, and orange-brown.

میکروسکوپ دیجیتال: میکروسکوپ دیجیتال استفاده شده دارای یک دوربین دیجیتال کوچک (cmos) است و به یک رایانه متصل می‌شود. در پژوهش حاضر، از میکروسکوپ دیجیتال Dino-Lite plus با بزرگ‌نمایی ۶۵ و ۲۲۰ برابر برای ثبت وضعیت ظاهری، مشاهده جزئیات سطح، شناسایی ناهمگونی‌های رنگی و انتخاب نقاط مناسب برای آنالیز SEM-EDS استفاده شده است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌سنجی پرتو ایکس با تفکیک انرژی (SEM-EDS): به‌منظور تهیهٔ تصاویر در بزرگنمایی بسیار بالا از مقاطع و سطح رنگ و همچنین قابلیت آنالیز نقطه‌ای از بخش‌های موردنظر از میکروسکوپ الکترونی روبشی واقع در بنیاد علوم کاربردی رازی مدل MIRA3 ساخت شرکت TESCAN دارای قدرت تفکیک در حد 1.5nm در ولتاژ 15KV و 4.5nm در ولتاژ ۱ KV بهره گرفته شد. آنالایزر (EDS) به‌کاررفته در این دستگاه، دارای قدرت تفکیک 126 eV و حد تفکیک بیشتر از 5000 ppm برای شناسایی عناصر موجود از عنصر بور (B) به بعد در جدول تناوبی است. نمونه‌ها متناسب با هر دستگاه آماده سازی شده و بر روی پایه‌ها قرار گرفت. تصویربرداری با میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز نقطه‌ای عنصری در شرایط خلأ انجام شدند. در ادامه، تصاویری از نمونه‌ها با بزرگ‌نمایی بالا و با استفاده از آشکارساز الکترون برگشتی (BSE) تهیه شد. در ذیل، تصاویر و جداول مربوط به آنالیزها ارائه می‌گردد. لازم به ذکر است از برخی از نمونه‌ها، دو یا سه آنالیز تهیه شده است که تمامی نتایج در فایل پیوست ارائه شده است. در متن اصلی، صرفاً به یک جدول از درصد وزنی عناصر بسنده شده است.

٤. یافته‌های پژوهش

در این بخش، نتایج حاصل از مشاهدات میکروسکوپی (دیجیتال/SEM-EDS) نمونه‌های رنگ ارائه شده و ویژگی‌های ساختاری، فن‌شناسی و آسیب‌شناسی آن‌ها مورد بحث قرار خواهد گرفت. لازم به ذکر است، بررسی زیادی با میکروسکوپ دیجیتال انجام شد و تصاویر زیادی تهیه گردید که برای رعایت حجم استاندارد مقاله، تنها تعدادی از تصاویر در این نوشتار ارائه می‌شود.

٤-١. میکروسکوپ دیجیتال

تمامی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ دیجیتال و در دو بزرگ‌نمایی بررسی شدند. تحلیل ارائه‌شده در این بخش، حاصل این بررسی‌هاست. در این مرحله، تصاویر متعددی تهیه شد؛ اما به‌دلیل محدودیت حجم مقاله، تنها تعدادی از آن‌ها در متن ارائه شده‌اند.

در بزرگ‌نمایی‌های بالا، به نظر می‌رسد نمونهٔ T.1 حاوی مخلوطی از رنگدانه‌ها باشد. بافت و ساختار رنگ نشان‌دهندهٔ استفاده از رنگدانه‌های معدنی و آلی است. نواحی سبز روشن به رنگدانهٔ سبز مربوط‌اند و نواحی روشن‌تر با تەرنگ زرد متمایل به قهوه‌ای، احتمالاً به رنگدانهٔ زرد تعلق دارند. بخش‌های سفیدرنگ مربوط به لایهٔ زیرین هستند. سطح نمونه ناهمگن است و وجود ترک‌ها در آن، نشان‌دهندهٔ تضعیف و تخریب لایهٔ رنگ است (شکل ۶، T.1).

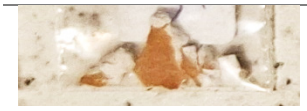
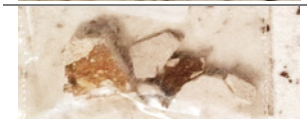
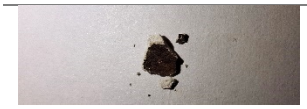
در نمونهٔ T.2، با توجه به ساختار رنگدانه‌ای و توزیع نامنظم فازهای معدنی در سطح مقطع، احتمالاً با مخلوطی از رنگدانهٔ معدنی زرد و مقادیر کمتری از رنگدانهٔ معدنی قرمز مواجه هستیم. فاز اصلی زردرنگ، دانه‌بندی ناهمگنی دارد که می‌تواند حاکی از استفاده از مخلوطی از رنگدانه‌های معدنی طبیعی با دامنهٔ گستردهٔ اندازه ذرات باشد. نقاط قرمزرنگ مشاهده‌شده در سطح نیز احتمالاً نشان‌دهندهٔ وجود مقادیر اندکی از اخرای قرمز (هماتیت) هستند (شکل ۶، T.2).

ترکیب اصلی نمونهٔ T.3 احتمالاً از رنگدانهٔ معدنی طبیعی تشکیل شده است. زمینهٔ اصلی نمونه به رنگ قرمز–قهوه‌ای است و ذرات براق در آن پراکندگی دارند. لایهٔ رنگ قرمز در این نمونه شفاف است (کدر نیست) و تقریباً به‌صورت یکنواخت دیده می‌شود. این لایهٔ رنگ شفاف بر روی لایه‌ای فلزی با رنگ طلایی اجرا شده است (شکل ۶، T.3).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۱. مشخصات ۱۲ نمونه مطالعاتی و نوع مطالعه بر روی آن‌ها

Table 1. Characteristics of the 12 study samples and the types of analyses performed on them.

کد نمونه	مشخصات نمونه	نوع مطالعه	تصویر نمونه
T.1	رنگ سبز روشن/ حاشیه تاقچه	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.2	رنگ زرد اخرا / گلدان در دیوارنگارهٔ گل و گلدان	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.3	رنگ شفاف روی طلا(سبز و قرمز)/ حاشیهٔ نقوش تزیینی گیاهی	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.4	ورق طلایی/ آرایه‌های گچی	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.5	آبی تیره(سرمه‌ای)/ زمینهٔ نقوش طلایی در قطاربندی	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.6	خاکستری–سبز روشن	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.9	آبی روشن/ گل در دیوارنگارهٔ گل و گلدان	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.10	سبز چمنی/ برگ در دیوارنگارهٔ گل و گلدان	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.11	رنگ نارنجی + بستر زیرین و رویی ازاره	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.12	قرمز تیره(روی طلا)/ حاشیه تزیینی بخش بالایی ازاره	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.13	قرمز قهوه‌ای(تیره)/ گل در دیوارنگارهٔ گل و گلدان	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	
T.14	قهوه‌ای–نارنجی	میکروسکوپ دیجیتال/ SEM-EDS	

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

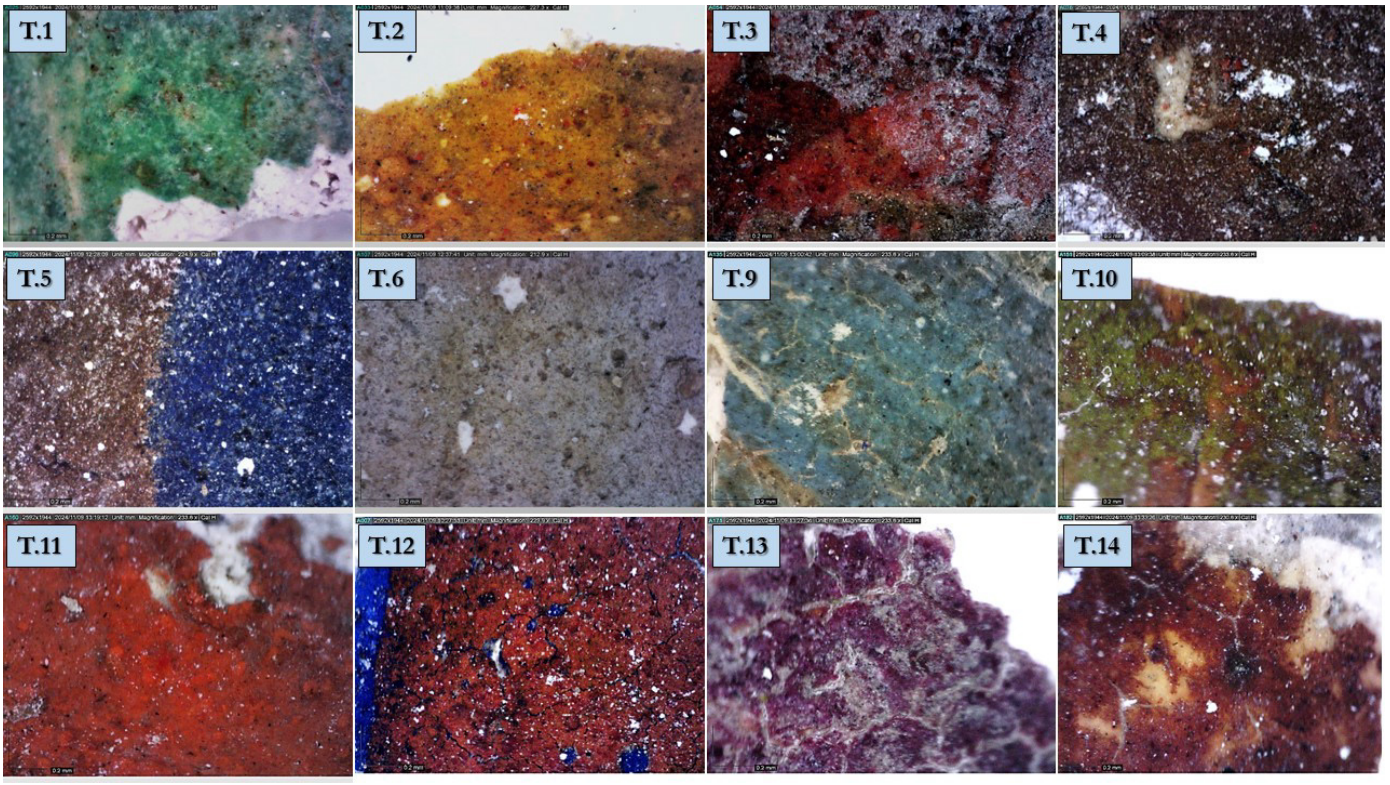
نمونهٔ T.4 سطح یک نمونهٔ فلزی را نشان می‌دهد که با توجه به ویژگی‌های سطحی، به نظر می‌رسد از ورق فلزی تشکیل شده باشد. احتمال دارد مقدار طلا در این ورق اندک باشد یا ورق از آلیاژ برنج (مس و روی) یا برنز (مس و قلع) ساخته شده باشد. سطح نمونه دارای لایه‌ای تیره و ناهمگن است. نقاط روشن و سفیدرنگ پراکنده در تصویر ممکن است مربوط به ذرات فلزی با چگالی بالا، مانند طلا، باشند. همچنین، خطوط نازک و ترک‌های سطحی در تصویر مشاهده می‌شوند (شکل ۶، T.4).

تصویر نمونهٔ T.5 دانه‌بندی ناهمگنی را نشان می‌دهد. برخی نواحی دارای ذرات ریز و یکنواخت‌اند، درحالی‌که در بخش‌های دیگر، دانه‌های درشت‌تر و نامنظم دیده می‌شوند. در تصویر، تجمعاتی از ذرات سفید و روشن نیز مشاهده می‌شود که احتمالاً از ترکیبات کلسیتی ریزدانه تشکیل شده‌اند. افزون‌براین، در بخش‌هایی از تصویر، ریزترک‌ها و نواحی فرسایش‌یافته دیده می‌شوند (شکل ۶، T.5).

ساختار و دانه‌بندی نمونهٔ T.6 نیز ریز و تا حدی متراکم است؛ بااین‌حال، در برخی نقاط، ذرات نسبتاً درشت‌تری مشاهده می‌شوند. دانه‌های سفید و روشن در تصویر قابل تشخیص‌اند و مرزدانه‌ها نیز نامنظم و در برخی قسمت‌ها ناهمگن هستند. در تعدادی از نواحی، ترک‌های ریز و آثار فرسایش سطحی دیده می‌شود. به‌طور معمول، وجود برخی ناخالصی‌ها در رنگدانه‌های سبز-خاکستری می‌تواند موجب تغییرات جزئی در طیف رنگی آن‌ها شود (شکل ۶، T.6).

نمونهٔ T.9 حاوی رنگدانهٔ آبی است و احتمال می‌رود ترکیبی از رنگدانه‌های آبی و سفید در آن به‌کار رفته باشد. ریزترک‌ها و نواحی تغییررنگ‌یافته در این نمونه مشاهده می‌شوند. همچنین، در برخی نقاط، ذرات سفیدرنگ به چشم می‌خورند. زردشدگی جزئی، نقاط تیره‌رنگ و ریزترک‌های متعدد نیز از دیگر ویژگی‌های قابل مشاهده در این نمونه هستند (شکل ۶، T.9).

نمونهٔ T.10 ساختاری نسبتاً متخلخل‌تر دارد. سطح لایهٔ رنگ تا حدی یکنواخت است، اما ذرات آن همچنان توزیع غیریکنواختی دارند. در برخی نقاط، ترک‌های سطحی مشاهده می‌شوند؛ بااین‌حال، ریزترک‌های پراکنده و الگوی ناپیوستهٔ آن‌ها نمود بیشتری دارند. همچنین، نشانه‌هایی از سایش سطحی در نمونه دیده می‌شود (شکل ۶، T.10).



شکل ٦. تصاویر مربوط به میکروسکوپ دیجیتال با بزرگنمایی 220x از ۱۲ نمونه رنگ آرایه‌های معماری خانهٔ مسعودی تویسرکان.

Figure 6. Digital microscope images at 220× magnification of 12 paint samples from the architectural ornament of the Masoudi House, Tuyserkan.

نمونهٔ T.11 نشان‌دهندهٔ لایهٔ رنگ نارنجی بر روی بستری گچی است. در این نمونه، حفره‌ها، ترک‌های سطحی و تغییرات رنگی مشاهده می‌شوند. سطح رنگدانه دارای توزیع ناهمگن و نواحی فرسوده است و دانه‌های رنگ نیز به‌صورت نامتوازن و ناهمگن توزیع شده‌اند. نواحی قرمز تیره‌تر تراکم بیشتری دارند. تصویر نشان می‌دهد که این لایهٔ رنگ دچار فرسایش سطحی شده و ترک‌های پراکنده‌ای در آن ایجاد شده است (شکل ۶، T.11).

تصاویر نمونه‌های T.12 و T.13 نشان‌دهندهٔ مخلوطی از دو یا سه رنگ قرمز هستند. رنگدانه‌های قرمز توزیع ناهمگنی دارند و لایهٔ رنگی دچار فرسایش و ترک‌های سطحی شده است. همچنین، تصاویر وجود شبکه‌ای از

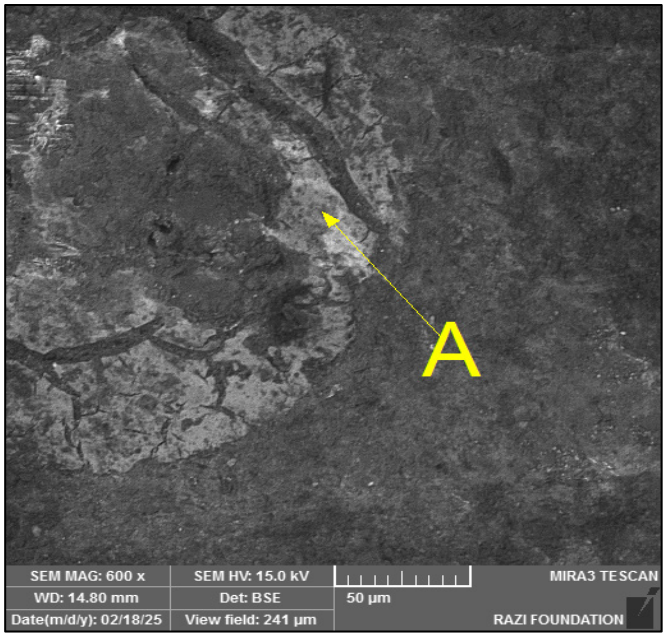
[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

ترک‌های ریز و سطحی را در این نمونه‌ها نشان می‌دهند (شکل ۶، T.12 و T.13).

به نظر می‌رسد، نمونهٔ T.14 نیز ترکیبی از دو نوع رنگ قرمز و یک رنگ زرد باشد. احتمالاً ترکیب این رنگ‌ها با هدف ایجاد طیف رنگی گرم‌تر و ماندگارتر انجام شده است. رنگدانه‌ها در لایه‌ای نسبتاً همگن توزیع شده‌اند؛ بااین‌حال، نواحی تیره و روشن نیز در آن مشاهده می‌شوند. لبه‌های نمونه دچار فرسایش شده‌اند و بخش‌هایی از لایهٔ رنگی نازک‌تر و شفاف‌تر به نظر می‌رسند. بافت سطحی نمونه نسبتاً صاف است، اما در برخی نقاط ناهمواری‌هایی دیده می‌شود (شکل ۶، T.14).

٤-۲. میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز عنصری

به‌منظور بررسی ویژگی‌های ریخت‌شناختی لایه‌های رنگ و شناسایی عناصر تشکیل‌دهندهٔ مواد رنگزا، نمونه‌های منتخب با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به سامانهٔ آنالیز عنصری (SEM-EDS) بررسی شدند. تصاویر حاصل، اطلاعاتی دربارهٔ ساختار و ویژگی‌های سطح نمونه‌ها فراهم می‌کنند و نتایج آنالیز عنصری EDS نیز امکان شناسایی عناصر موجود در نقاط منتخب را فراهم می‌سازند. تفسیر نتایج با توجه به ترکیب عنصری، ویژگی‌های ظاهری و ریخت‌شناختی نمونه‌ها و در صورت امکان، از طریق مقایسه با شواهد حاصل از مطالعات پیشین انجام شده است. نتایج مربوط به هر نمونه در ادامه به تفکیک ارائه و تحلیل می‌شوند.



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (تصویر الکترون برگشتی) از سطح نمونه T.2

Figure 7. Scanning electron microscopy (BSE) images of the surface of sample T.2.

نمونهٔ T.1: از این نمونه دو آنالیز انجام شد. در آنالیز نخست، با توجه به شدت پیک‌ها و درصد وزنی، عناصر اصلی شناسایی‌شده در رنگ سبز روشن عبارت‌اند از سیلیسیم، پتاسیم، کلسیم و مس. همچنین، عناصر منیزیم، آلومینیوم، گوگرد، سرب و آهن به‌عنوان عناصر فرعی شناسایی شدند (شکل ۹، جدول ۲). در آنالیز دوم، سطح نمونه با طلا پوشش داده شد. در این آنالیز، عناصر کبالت و روی نیز شناسایی شدند که در آنالیز نخست وجود نداشتند. این تفاوت می‌تواند ناشی از ناهمگنی ترکیب رنگ یا تفاوت در دقت اندازه‌گیری دستگاه باشد. عناصر اصلی و فرعی شناسایی‌شده در هر دو آنالیز مشابه‌اند، اما درصد وزنی آن‌ها اندکی تفاوت دارد.

نمونهٔ T.2: نتایج آنالیزهای نقطه‌ای EDS نمونهٔ T.2 نشان‌دهندهٔ حضور غالب سرب (Pb) در لایهٔ رنگ است. مقدار Pb در آنالیز کلی نمونه ۱۶/۰۷ wt%و در دو آنالیز نقطه‌ای به‌ترتیب ۳۵/۲۷ و ۳۷/۱۰ wt% به دست آمد. در مقابل، آهن (Fe) در محدودهٔ ۱/۲۶ تا ۲/۳۰ wt% شناسایی شد که در مقایسه با سرب مقدار نسبتاً محدودی دارد. حضور هم‌زمان اکسیژن با فراوانی بالا و مقادیر قابل توجه Pb، وجود یک ترکیب یا فاز رنگزای سرب‌دار را محتمل می‌سازد. همچنین، حضور مقادیر محدودی از Si، Al، Ca، Mg و K را می‌توان به اجزای معدنی همراه، مواد زمینه‌ای یا پرکننده‌های موجود در لایهٔ رنگ نسبت داد. گوگرد نیز در دو آنالیز با مقادیر حدود ۳ wt% شناسایی شد که می‌تواند احتمال حضور ترکیبات سولفاته همراه با فازهای سربی را مطرح کند، هرچند برای تعیین قطعی ماهیت این فازها به روش‌های مکمل نیاز است (شکل ۷ و ۹ – جدول ۲).

نمونهٔ T.3: در این نمونه سیلیسیم، اکسیژن و کلسیم در مقادیر بالا شناسایی شد. آهن و مقادیر ناچیز سدیم، منیزیم، روی، آلومینیوم و پتاسیم نیز شناسایی شد (شکل ۹ – جدول ۲).

نمونهٔ T.4: این نمونه حاوی مقادیر قابل توجهی مس و روی است. در کنار این دو عنصر، عناصر طلا، سرب و قلع نیز در این نمونه شناسایی شد (شکل ۹– جدول ۲).

نمونهٔ T.5: عناصر شناسایی شده در این نمونه، اکسیژن، سدیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، سولفور، پتاسیم، کلسیم، آهن، کبالت، مس و سرب است (شکل ۹– جدول ۲).

نمونهٔ T.6: در این نمونه میزان مس و آهن بسیار اندکی یافت شد. بااین‌حال، کلسیم، سیلیسیم و آلومینوم، به‌همراه پتاسیم و منیزیوم، عناصری هستند که شناسایی شدند (شکل ۹– جدول ۲).

نمونهٔ T.9: از این نمونه تصویر و دو آنالیز نقطه‌ای تهیه شد. عناصر شناسایی شده شامل گوگرد، آلومینیوم، کبالت، کلسیم و اکسیژن هستند (شکل ۹– جدول ۲).

نمونهٔ T.10: دو آنالیز عنصری نقطه‌ای از این نمونه تهیه شد. عناصر شناسایی شده در این نمونه شامل اکسیژن، کلسیم، کروم، منیزیوم، آلومینیوم، سرب، گوگرد، آهن، سیلیسیم و آهن هستند (شکل ۹– جدول ۲).

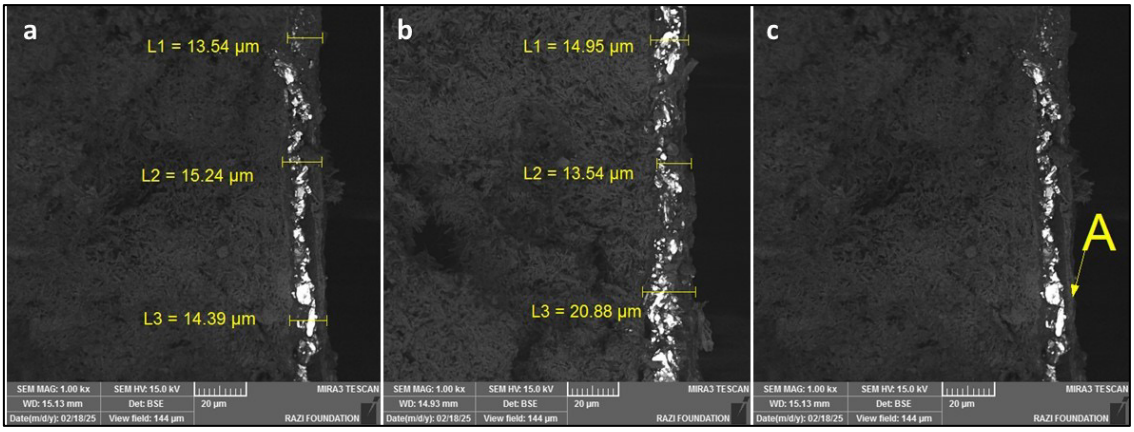
نمونهٔ T.11: از این نمونهٔ رنگ نارنجی به‌همراه لایهٔ بستر، مقطع عرضی تهیه شد. همچنین، از خارجی‌ترین لایه، یعنی لایهٔ پوششی محافظ یا ورنی، آنالیز عنصری نقطه‌ای انجام گرفت (شکل ۹، جدول ۲). در تصاویر میکروسکوپی (شکل ۸)، بلورهای ژیپس در سمت چپ تصویر دیده می‌شوند که نشان‌دهندهٔ لایهٔ بستر گچی هستند. لایهٔ نازکی بر روی بستر گچی

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

مشاهده می‌شود که لایهٔ بوم‌کننده است. ضخامت این لایه به‌مراتب کمتر از ضخامت لایهٔ رنگ است. دانه‌های سفیدرنگ مشاهده‌شده در تصویر، مربوط به سرب موجود در لایهٔ رنگ هستند. بر روی لایهٔ رنگ نیز لایهٔ پوششی محافظ یا ورنی دیده می‌شود. ضخامت مجموع لایهٔ رنگ و لایهٔ ورنی در شش نقطه از تصویر مشخص شده است. ضخامت این دو لایه در مجموع حدود ۱۳ تا ۲۰ میکرون اندازه‌گیری شده است (شکل‌های a۸ و b۸). با توجه به شدت پیک‌ها و درصد وزنی حاصل از آنالیز لایهٔ ورنی (شکل c۸)، اکسیژن و کربن به‌عنوان عناصر اصلی شناسایی شدند. همچنین، عناصر سدیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، پتاسیم و کلسیم به‌عنوان عناصر فرعی شناسایی شدند. در سطح نمونه نیز سرب و اکسیژن عناصر اصلی شناسایی‌شده بودند و عناصر سدیم، منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، پتاسیم و کلسیم به‌عنوان عناصر فرعی شناسایی شدند.

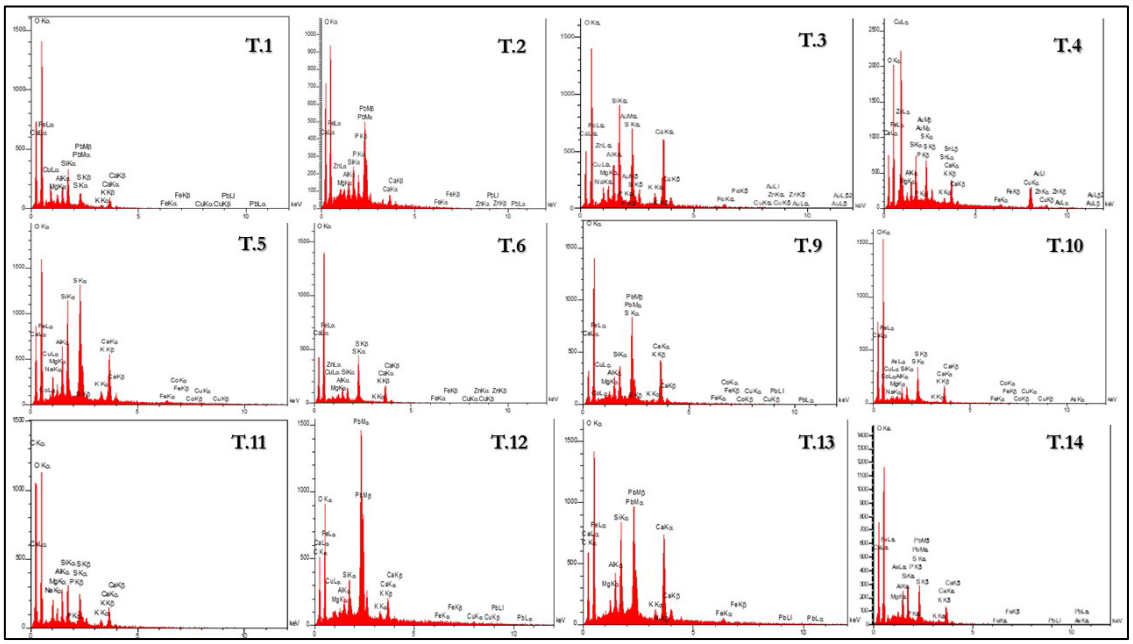
نمونه‌های T.12 و T.13: از این دو نمونه نیز تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی تهیه و آنالیز عنصری نقطه‌ای انجام شد. با توجه به شدت پیک‌ها و درصد وزنی، سرب و اکسیژن به‌عنوان عناصر اصلی شناسایی شدند (شکل ۹، جدول ۲). همچنین، عناصر منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، پتاسیم، کلسیم، آهن و مس به‌عنوان عناصر فرعی شناسایی شدند.

نمونهٔ T.14: با توجه به شدت پیک‌ها و درصد وزنی، عناصر سرب، ارسنیک و آهن به‌عنوان عناصر اصلی شناسایی شدند (شکل ۹، جدول ۲). همچنین، عناصر منیزیم، آلومینیوم، سیلیسیم، فسفر، گوگرد، پتاسیم و کلسیم به‌عنوان عناصر فرعی شناسایی شدند. با توجه به درصد وزنی بالای اکسیژن، احتمال وجود اکسیدهای فلزی به‌عنوان ناخالصی نیز مطرح است.



شکل ۸. تصاویر SEM مربوط به مقطع نمونه T.11؛ (a,b): بررسی ضخامت لایه رنگ، (c): تصویر SEM از مقطع لایه ورنی.

Figure 8. SEM images of the cross-section of sample T.11: (a, b) examination of the paint layer thickness; (c) SEM image of the cross-section of the varnish layer



شکل ۹. نتیجه آنالیز عنصری نقطه‌ای (EDS) از نمونه‌های رنگ آرایه‌های معماری خانهٔ مسعودی تویسرکان.

Figure 9. Results of elemental analysis (EDS) of the paint samples from the architectural ornaments of the Masoudi House, Tuyserkan.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۲. نتیجهٔ آنالیز EDS از ۱۲ نمونه رنگ آرایه‌های معماری خانهٔ مسعودی تویسرکان: درصد وزنی عناصر.

Table 2. EDS analysis results for the 12 paint samples from the architectural ornaments of the Masoudi House, Tuyserkan: elemental weight percentages (wt.%).

	T.1	T.2	T.3	T.4	T.5	T.6	T.9	T.10	*T.11	T.12	T.13	T.14
C	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	15.93	12.76	**0.0**
O	74.79	57.95	60.41	41.50	46.10	75.47	59.41	76.54	58.83	21.84	37.56	**59.38**
Co	0.0	0.0	0.0	0.0	0.17	0.0	0.21	0.29	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Fe	0.27	1.26	1.54	0.16	1.23	0.26	0.34	0.23	0.0	1.23	0.88	**1.25**
Cu	0.65	0.0	0.50	35.41	0.82	0.67	0.37	0.58	0.0	0.58	0.0	**0.0**
Na	0.0	0.0	1.43	0.0	1.94	0.0	0.0	1.51	0.23	0.0	0.0	**0.0**
Mg	2.22	2.09	1.20	0.59	0.63	1.97	0.10	1.04	0.56	0.26	0.47	**0.81**
Al	3.62	0.72	3.10	1.95	3.02	2.69	1.08	2.43	2.19	0.67	1.43	**3.73**
Pb	5.78	35.27	0.0	0.0	24.63	0.0	19.58	0.0	26.54	55.39	34.77	**16.66**
S	2.99	0.0	8.01	5.32	6.70	9.13	6.57	7.08	0.0	0.0	0.0	**4.95**
K	0.75	0.0	1.96	1.00	1.38	0.30	0.40	0.43	0.93	0.66	0.61	**0.71**
Zn	0.0	0.72	0.51	3.31	0.0	0.82	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Si	5.90	0.99	7.49	3.44	5.91	2.53	2.87	3.02	5.87	1.47	0.0	**4.75**
P	0.0	0.34	0.27	0.20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.63**
Cr	0.0	*1.42	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
As	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.36	0.0	0.0	0.0	**1.92**
Au	0.0	0.0	0.44	0.73	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Sn	0.0	0.0	0.0	1.40	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	**0.0**
Ca	3.03	0.67	13.14	5.00	7.46	6.16	8.79	5.46	4.85	1.97	8.06	**5.19**

* نتیجه آنالیز عنصری نقطه‌ای (EDS) از سطح نمونه T.11

۵. بحث در یافته‌ها

در نمونهٔ T.1، با توجه به عناصر شناسایی‌شده در رنگ سبز روشن، احتمالاً از مخلوطی از رنگدانه‌های مالاکیت Cu2CO3(OH)2، اکسید آهن زرد FeO(OH) و سبز خاکی (سیلیکات آهن) استفاده شده است. همچنین، با توجه به شناسایی سرب در این نمونه، احتمال دارد سفید سرب به‌عنوان رنگدانهٔ سفید، برای ایجاد سایه‌های روشن‌تر، یا به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده در زیر لایهٔ رنگ به کار رفته باشد.

نمونهٔ T.2 مربوط به رنگ زرد اخرا است. زرد اخرا FeO(OH) رنگدانهٔ اصلی این نمونه است که آهن عنصر اصلی تشکیل‌دهندهٔ آن محسوب می‌شود. همچنین، احتمال دارد اکسید آهن قرمز Fe2O3، با توجه به حضور آهن و اکسیژن، به‌عنوان رنگ کمکی برای تیره‌تر کردن رنگ استفاده شده باشد. عنصر کروم فقط در آنالیز دوم شناسایی شده است. این امر می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود رنگدانهٔ اکسید کروم در ترکیب رنگ باشد؛ هرچند، به دلیل غلظت پایین، ممکن است این عنصر در سایر آنالیزها شناسایی نشده باشد. عناصر سیلیسیم، آلومینیوم، پتاسیم و کلسیم می‌توانند به لایه‌های زیرین رنگ یا بستر دیوارنگاره مربوط باشند. عناصر روی و گوگرد نیز ممکن است منشأ ناخالصی داشته باشند. اگرچه حضور آهن با استفاده از رنگدانهٔ زرد اخرا سازگار است، غلظت بالای سرب احتمالاً به لایهٔ بوم‌کننده مربوط می‌شود. ازاین‌رو، انتساب رنگ زرد تیره به مخلوطی از زرد اخرا و اکسید کروم، تفسیر پیشنهادی این پژوهش است.

نتایج آنالیز نقطه‌ای EDS نمونهٔ T.3 نشان‌دهندهٔ غلبهٔ اکسیژن و حضور مقادیر قابل‌توجهی از کلسیم، گوگرد و سیلیسیم، همراه با آلومینیوم، پتاسیم، سدیم و منیزیم است. مجموعهٔ عناصر Si–Ca–Na–K–Al–O، در کنار مقادیر فرعی آهن و مس، با وجود یک فاز عمدتاً سیلیکاتی ـ شیشه‌ای سازگاری دارد. حضور آهن (۱٫۵۴ درصد وزنی) می‌تواند در ایجاد رنگ قرمز نقش داشته باشد و حضور مس (۰٫۵۰ درصد وزنی) نیز ممکن است در ایجاد رنگ سبز مؤثر باشد. همچنین، حضور مقادیر اندک طلا و مس می‌تواند ناشی از مشارکت سیگنال زیرلایهٔ فلزی در آنالیز باشد و با اجرای لایه‌ای نازک و شفاف بر روی ورق فلزی سازگار است. بر این اساس، شواهد از وجود لایهٔ رنگی شفافی با ماهیت سیلیکاتی یا شیشه‌ای حکایت دارند که رنگ آن احتمالاً به‌واسطه حضور آهن (اخرا) و مس (مالاکیت یا زنگار) ایجاد شده است.

با توجه به عناصر شناسایی‌شده، نمونهٔ T.4 احتمالاً از آلیاژی بر پایهٔ مس تشکیل شده است که حاوی روی، قلع و مقدار اندکی طلاست. وجود مقادیر

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

قابل‌توجهی از مس و روی می‌تواند نشان‌دهندهٔ حضور برنج باشد؛ درحالی‌که وجود مس و قلع با ترکیب برنز سازگاری دارد. سرب شناسایی‌شده نیز ممکن است به لایه‌های زیرین مربوط باشد و به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده حضور داشته باشد؛ عنصری که در نمونه‌های دیگر نیز شناسایی شده است.

نتایج آنالیز نقطه‌ای نمونهٔ T.5 از لایهٔ رنگ آبی تیره، حضور عمده عناصر اکسیژن، گوگرد، سیلیسیم، آلومینیوم و سدیم را نشان می‌دهد. هم‌زمانی این عناصر، به‌ویژه سدیم، آلومینیوم، سیلیسیم و گوگرد، با ترکیب عنصری رنگدانهٔ لاژورد سازگاری دارد و احتمال می‌دهد که لاژورد آبی، رنگدانهٔ اصلی ایجادکنندهٔ رنگ آبی در این نمونه باشد. مقدار قابل‌توجه گوگرد نیز با ساختار گوگرددار لاژورد و نقش گونه‌های پلی‌سولفیدی در ایجاد رنگ آبی آن مطابقت دارد. در یکی از نقاط اندازه‌گیری، مقدار قابل‌توجهی سرب شناسایی شده است، درحالی‌که در نقطهٔ دیگر سربی مشاهده نشده است. این تفاوت نشان می‌دهد که سرب احتمالاً به حضور سفید سرب به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده مربوط است. مقدار قابل‌توجه کلسیم در هر دو نقطه نیز می‌تواند نشان‌دهندهٔ حضور کلسیت یا ترکیبی دیگر از کلسیم باشد؛ هرچند، شناسایی دقیق فاز کلسیم‌دار صرفاً با استفاده از EDS امکان‌پذیر نیست. مقادیر بسیار پایین مس، کبالت و آهن در مقایسه با عناصر شاخص لاژورد، احتمال استفاده از آزوریت، رنگدانه‌های کبالت‌پایه و آبی پروس را به‌عنوان رنگدانهٔ اصلی کاهش می‌دهد. بر این اساس، ترکیب رنگی نمونهٔ T.5 را می‌توان با اطمینان نسبی، ترکیبی از لاژورد و یک جزء کلسیم‌دار، مانند کلسیت، تفسیر کرد.

در نمونهٔ T.6، بررسی نتایج میکروسکوپ الکترونی روبشی و آنالیز عنصری نقطه‌ای، در کنار ویژگی‌های ظاهری نمونه، نشان می‌دهد که رنگ خاکستری ـ سبز روشن آن احتمالاً حاصل استفاده از رنگدانه‌ای سبز و خاکی با منشأ آهن‌دار و اختلاط آن با یک جزء معدنی روشن‌کننده یا سفیدکننده بوده است. در هر دو آنالیز انجام‌شده، حضور آهن ثبت شده است و اگرچه مقدار آن در آنالیز نقطه‌ای پایین است، حضور این عنصر در کنار سیلیسیم، آلومینیوم و منیزیم با ماهیت مواد خاکی و سیلیکاتی سازگاری دارد. بر این اساس، می‌توان رنگدانهٔ سبز این نمونه را در گروه رنگدانه‌های خاکی سبز آهن‌دار قرار داد.

در این ترکیب، حضور کلسیم به مقدار قابل‌توجه، به‌ویژه در آنالیز نمونهٔ دارای پوشش طلا، اهمیت دارد. مقدار کلسیم از ۶٫۶ درصد وزنی در آنالیز بدون پوشش به ۱۵٫۹۵ درصد در آنالیز پوشش‌دار افزایش یافته است. این عنصر می‌تواند با حضور یک مادهٔ سفیدکننده یا پرکنندهٔ کلسیمی مرتبط باشد. با توجه به ویژگی‌های رنگ نمونه و ماهیت احتمالی ترکیب، اختلاط رنگدانهٔ سبز خاکی با گل سفید می‌تواند توضیح مناسبی برای کاهش شدت رنگ سبز و ایجاد ته‌رنگ خاکستری ـ سبز روشن باشد. بااین‌حال، حضور هم‌زمان کلسیم و گوگرد در نمونه، با مقادیر نسبتاً قابل‌توجه گوگرد، احتمال وجود فاز کلسیم‌سولفاتی را نیز مطرح می‌کند. بنابراین، در تفسیر ترکیب سفیدرنگ نمونه باید احتمال حضور فازهایی مانند ژیپس را نیز در نظر گرفت. وجود سیلیسیم، آلومینیوم، منیزیم و پتاسیم نیز نشان می‌دهد که نمونه دارای مؤلفه‌های معدنی و سیلیکاتی است که می‌توانند بخشی از ترکیب خاکی رنگدانه یا مواد همراه آن باشند. در این میان، مقدار کم آهن در مقایسه با عناصر اصلی نشان می‌دهد که رنگ سبز احتمالاً ناشی از یک فاز خالص و پرغلظت آهن نیست، بلکه می‌تواند از ماده‌ای خاکی، آهن‌دار و چندفازی حاصل شده باشد. بر این اساس، ترکیب احتمالی نمونهٔ T.6 را می‌توان رنگدانه‌ای سبز و خاکی با منشأ آهن‌دار دانست که با گل سفید مخلوط شده است. این اختلاط می‌تواند به کاهش اشباع و تیرگی رنگدانهٔ سبز و ایجاد رنگ نهایی خاکستری ـ سبز روشن منجر شده باشد.

نمونهٔ T.9 نیز احتمالاً ترکیبی از چند رنگدانهٔ آبی، شامل لاژورد و رنگدانهٔ آبی کبالت، به‌همراه کربنات کلسیم است. وجود مقادیر قابل‌توجه گوگرد و آلومینیوم، احتمال حضور لاژورد را تقویت می‌کند. همچنین، شناسایی کبالت و آلومینیوم می‌تواند با حضور رنگدانهٔ آبی کبالت سازگار باشد که طیفی از رنگ آبی روشن تا آبی متمایل به سبز ایجاد می‌کند. حضور کلسیم به مقدار قابل‌توجه نیز احتمال وجود کربنات کلسیم را مطرح می‌کند که ممکن است به‌عنوان پرکننده یا سفیدکننده به کار رفته باشد. افزون بر این، حضور سرب به مقدار قابل‌توجه می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود سفید سرب باشد که احتمالاً به‌عنوان رنگدانهٔ سفید یا پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده استفاده شده است.

در نمونهٔ T.10 عناصر متعددی شناسایی شدند. وجود آهن و اکسیژن نشان‌دهندهٔ احتمال حضور اکسیدهای آهن است که در رنگ‌های مختلفی مانند زرد، قرمز و قهوه‌ای دیده می‌شوند. وجود سیلیسیم، آلومینیوم، پتاسیم و منیزیم نیز احتمال حضور سلادونیت را تقویت می‌کند. شناسایی کروم می‌تواند نشان‌دهندهٔ وجود اکسید کروم باشد که رنگ سبز ایجاد می‌کند. همچنین، حضور کلسیم به مقدار قابل‌توجه، احتمال وجود ترکیبی کلسیم‌دار را مطرح می‌کند که ممکن است به‌عنوان مادهٔ سفیدکننده در مخلوط با رنگ سبز یا به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده به کار رفته باشد. وجود گوگرد و آلومینیوم به مقدار قابل‌توجه نیز احتمال حضور لاژورد را مطرح می‌کند. سرب از دیگر عناصر شناسایی‌شده در این نمونه است که می‌تواند نشان‌دهندهٔ حضور سفید سرب باشد؛ ترکیبی که احتمالاً به‌عنوان پرکنندهٔ لایهٔ بوم‌کننده استفاده شده است.

همان‌گونه که داده‌های نمونهٔ T.11 نشان می‌دهند، با توجه به حضور سرب به مقدار قابل‌توجه، رنگدانهٔ اصلی این نمونه احتمالاً سرنج است. سرنج، اکسید سرب با ظرفیت‌های اکسایش (II) و (IV) است و به دلیل رنگ نارنجی روشن خود، از دیرباز به‌عنوان رنگدانه در نقاشی به کار می‌رفته است. با توجه به قدمت اثر، احتمال دارد از سرنج طبیعی یا سرنج تولیدشده به روش‌های سنتی استفاده شده باشد.

آنالیز نمونهٔ T.12 نشان می‌دهد که عنصر غالب در ناحیهٔ بررسی‌شده سرب است. پس از آن، اکسیژن و کربن بیشترین مقادیر را دارند و مقادیر اندکی از کلسیم، سیلیسیم، آلومینیوم، پتاسیم، آهن و مس نیز مشاهده می‌شود. پیک‌های بسیار قوی Pb-M و همچنین پیک‌های Pb-L در طیف، حضور قابل‌توجه یک ترکیب سرب‌دار را تأیید می‌کنند. حضور سرب همراه با

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

اکسیژن در یک لایهٔ قرمز، از نظر رنگدانه‌شناسی با اکسیدهای سرب، به‌ویژه سرنج یا مینیوم Pb_3O_4، سازگار است. بااین‌حال، ترکیب نقطه‌ای به‌دست‌آمده با ترکیب استوکیومتری سرنج خالص مطابقت ندارد، زیرا مقدار کربن بسیار زیاد است و نسبت اکسیژن به سرب نیز برای Pb_3O_4 بیش از حد انتظار است. این موضوع نشان می‌دهد که نقطهٔ اندازه‌گیری‌شده با EDS احتمالاً ترکیبی چندفازی شامل یک ترکیب سرب‌دار، مادهٔ آلی یا چسب، لایهٔ زمینه و احتمالاً محصولات دگرسانی و مواد معدنی همراه را در بر می‌گیرد.

نتایج SEM–EDS نمونهٔ T.13، مربوط به رنگ قرمز یا قرمز ـ قهوه‌ای، نشان‌دهندهٔ حضور غالب سرب و اکسیژن است؛ به‌گونه‌ای که سرب حدود ۳۴٫۷۷ درصد وزنی و اکسیژن حدود ۳۷٫۵۶ درصد وزنی را تشکیل می‌دهند. در کنار این عناصر، کربن و کلسیم و مقادیر کمتری از سیلیسیم، آلومینیوم، پتاسیم و منیزیم نیز مشاهده می‌شوند. نکتهٔ مهم، غلظت بسیار پایین آهن است. بنابراین، رنگدانه‌های آهن‌دار مانند هماتیت یا اخرا، که معمولاً عامل اصلی ایجاد رنگ قرمز هستند، با این ترکیب سازگاری چندانی ندارند. پیک‌های مشخص سرب در طیف نیز حضور یک ترکیب سرب‌دار را تأیید می‌کنند. حضور هم‌زمان کلسیم و سیلیسیم احتمالاً ناشی از بستر گچی یا سیلیسی، یا اختلاط رنگدانه با مواد زمینه است. با توجه به غلبهٔ سرب، حضور اکسیژن و کمبود شدید آهن، احتمال دارد رنگدانهٔ اصلی این نمونه سرنج یا مینیوم Pb_3O_4 باشد.

در نمونهٔ T.14، با توجه به عناصر شناسایی‌شده، به‌ویژه سرب، آهن و آرسنیک، رنگدانهٔ اصلی احتمالاً مخلوطی از سرنج، زرد اخرا و زرنیخ است. حضور سرب به مقدار قابل‌توجه، با وجود سرنج سازگاری دارد. همچنین، حضور آهن نشان‌دهندهٔ احتمال وجود اکسید آهن است که در رنگ‌های مختلفی مانند زرد، قرمز و قهوه‌ای یافت می‌شود. مقدار کم آهن در مقایسه با سرب می‌تواند نشان دهد که اکسید آهن به‌عنوان رنگدانهٔ فرعی یا برای ایجاد سایه‌های قهوه‌ای در رنگ سرنج به کار رفته است. حضور آرسنیک نیز احتمال استفاده از زرنیخ یا ترکیبات سولفیدی آرسنیک را مطرح می‌کند که در طیف رنگ‌های زرد و نارنجی دیده می‌شوند.

۶. نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف شناسایی مواد و بررسی ویژگی‌های ساختاری و فن‌شناختی لایه‌های رنگی دیوارنگاره‌های خانهٔ مسعودی تویسرکان انجام شد. نتایج مطالعات میکروسکوپی و آنالیز عنصری SEM–EDS نشان داد که رنگدانه‌های به‌کاررفته در دیوارنگاره‌های این بنا از ساختاری متنوع و چندلایه برخوردارند و در اجرای آن‌ها از مجموعه‌ای از مواد معدنی و رنگدانه‌های گوناگون استفاده شده است. شناسایی موادی همچون سرنج، مالاکیت، زرد اخرا، زرنیخ و لاژورد، در کنار ترکیباتی مانند اکسید کروم، ترکیبات کبالت و سلادونیت، بیانگر تنوع قابل‌توجه در انتخاب و ترکیب مواد رنگزا در این مجموعه است (جدول ۳). حضور هم‌زمان چند رنگدانه در برخی نمونه‌ها نیز نشان می‌دهد که دستیابی به طیف‌های رنگی موردنظر، در مواردی از طریق اختلاط مواد مختلف صورت گرفته است.

مقایسهٔ این یافته‌ها با نمونه‌های مطالعه‌شده در دیگر بناهای قاجاری، از وجود اشتراک‌هایی در انتخاب مواد رنگزا حکایت دارد. کاربرد سرنج، زرد اخرا، مالاکیت، زرنیخ و ترکیبات لاژورد در خانهٔ مسعودی با یافته‌های گزارش‌شده از دیوارنگاره‌های رحیم‌آباد بیرجند، خانهٔ دُرمیانی اصفهان، شومینهٔ خانهٔ گوهریون تبریز و تزئینات بقعهٔ قدمگاه نیشابور همخوانی‌هایی دارد. درعین‌حال، حضور برخی ترکیبات، از جمله اکسید کروم و ترکیبات کبالت، و نیز تنوع ترکیبات چندجزئی، ویژگی‌های متمایزی را در پالت رنگی این بنا نشان می‌دهد. این هم‌پوشانی‌ها و تفاوت‌ها می‌توانند بیانگر وجود برخی الگوهای مشترک در فناوری رنگ دورهٔ قاجار، در کنار تفاوت‌های ناشی از انتخاب مواد، شیوه‌های آماده‌سازی و اجرای رنگ و شرایط هر بنا باشند.

جدول ۳. نتیجه شناسایی رنگزاها در لایه رنگ دیوارنگاره‌ها و لایه رنگ بر روی آرایه‌های گچی

Table 3. Results of the identification of colorants in the paint layers of the mural paintings and the paint layers applied to the gypsum-based stucco ornaments.

کد نمونه	مشخصات نمونه	نتیجه شناسایی
T.1	رنگ سبز روشن؛ حاشیه تاقچه	مخلوط سبز خاکی؛ مالاکیت؛ زرد اخرا؛ سفیداب سرب
T.2	رنگ زرد اخرا؛ گلدان در دیوارنگاره گل و گلدان	مخلوط زرد اخرا؛ اکسید کروم
T.3	رنگ شفاف روی طلا (قرمز)؛ حاشیه نقوش تزیینی	اکسید آهن (III)
T.4	ورق طلایی؛ آرایه‌های گچی	آلیاژ برنج؛ آلیاژ برنز، طلا
T.5	آبی تیره؛ زمینه نقوش طلایی در قطاربندی	لاژورد
T.6	خاکستری–سبز روشن	مخلوط سبز خاکی؛ گل سفید
T.9	آبی روشن؛ گل در دیوارنگاره گل و گلدان	مخلوط لاژورد؛ کبالت؛ گل سفید
T.10	سبز چمنی؛ برگ در دیوارنگاره گل و گلدان	مخلوط زرد اخرا؛ سلادونیت؛ اکسید کروم سبز؛ لاژورد
T.11	رنگ نارنجی + بستر زیرین و رویی؛ ازاره	سرنج
T.12	قرمز تیره (روی طلا)؛ حاشیه تزیینی بخش بالایی ازاره	سرنج
T.13	قرمز قهوه‌ای (تیره)؛ گل در دیوارنگاره گل و گلدان	سرنج
T.14	قهوه‌ای–نارنجی	سرنج؛ زرنیخ؛ زرد اخرا

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

بررسی مقاطع عرضی نیز نشان داد که ساختار رنگی در نمونه‌های مورد مطالعه به یک لایه منفرد محدود نبوده و متناسب با هر نمونه، از بستر، لایه‌های آماده‌سازی، لایه رنگ و در برخی موارد، پوشش‌های سطحی تشکیل شده است. تفاوت در اندازه و توزیع ذرات، تراکم و وضعیت حفاظتی لایه‌ها و همچنین شواهد اختلاط چند مؤلفه رنگی، بر پیچیدگی فناوری اجرای دیوارنگاره‌ها تأکید می‌کند. از این منظر، شناخت هم‌زمان ماهیت مواد و ساختار لایه‌ای آن‌ها برای تفسیر فناوری اجرای دیوارنگاره‌ها و تمایز میان ویژگی‌های اولیه و تغییرات ایجادشده در طول زمان اهمیت دارد.

یافته‌های این پژوهش، ضمن افزودن اطلاعاتی درباره مواد و فناوری اجرای دیوارنگاره‌های قاجاری در منطقه تویسرکان، به شناخت تنوع پالت رنگی و شیوه‌های به‌کارگیری و ترکیب مواد رنگزا در آرایه‌های معماری این دوره کمک می‌کند. از دیدگاه حفاظت و مرمت نیز، تفاوت در ماهیت مواد، ساختار لایه‌ها و نحوه قرارگیری آن‌ها می‌تواند بر فرایندهای تخریب، واکنش به عوامل محیطی و رفتار مواد در جریان مداخلات حفاظتی و مرمتی تأثیرگذار باشد. ازاین‌رو، نتایج حاضر می‌تواند مبنایی برای ارزیابی دقیق‌تر وضعیت موجود، تفسیر فرایندهای آسیب، انتخاب مواد و روش‌های سازگار و تدوین راهبردهای مناسب حفاظت و مرمت آرایه‌های خانه مسعودی تویسرکان باشد.

در مجموع، این پژوهش نشان می‌دهد که مطالعه مواد و فناوری ساخت، در کنار بررسی‌های تاریخی و هنری، نقش مهمی در شناخت جامع‌تر آرایه‌های معماری دوره قاجار و توسعه رویکردهای حفاظتی مبتنی بر شواهد دارد و می‌تواند زمینه‌ای برای انجام مطالعات تطبیقی بیشتر درباره مواد، ساختار و فناوری اجرای دیوارنگاره‌ها در دیگر بناهای تاریخی این دوره فراهم کند.

سپاسگزاری: نگارنده بر خود لازم می‌داند از اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی استان همدان به خاطر تأمین مالی پروژه مطالعاتی، سپاسگزاری کند. مقاله حاضر مستخرج از قرارداد پژوهشی با این اداره کل محترم است. شماره قرارداد: ۴۸۰۰–۱۴۰۳۲/۱۴۶؛ تاریخ قرارداد: ۱۴۰۳/۰۵/۱۳. همچنین، نگارنده از سر کار خانم زهرا حمزوی، مشاور پروژه، قدردانی می‌نماید.

مشارکت نویسندگان: نویسنده مقاله تمامی مراحل پژوهش، شامل ایده‌پردازی و طراحی پژوهش، گردآوری داده‌ها، انجام و تفسیر مطالعات و تحلیل‌های آزمایشگاهی، تحلیل نتایج، و نگارش و ویرایش نهایی مقاله را انجام داده است.

تضاد منافع: نویسنده هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌دارد.

تأمین مالی: اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی استان همدان تأمین مالی پروژه را انجام داده است.

دسترسی به داده ها و مواد: مجموعه داده‌های این پژوهش در دسترس عموم نیست، اما از طریق درخواست منطقی از نویسنده، قابل دسترسی خواهد بود.

References

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. *JRA. 2*(2), 63-76. doi: 10.29252/jra.2.2.63. [In Persian].

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. doi:10.66224/PJAS.7.23.325. [In Persian].

Abdelmoniem, A. M., & Ewais, A. Y. (2026). Pigments Characterization and Conservation of a Late Period Wooden Coffin From the Excavation Site of Rass Algesr in Saqqara, Egypt. *International Journal of Conservation Science*, *17*(1), 43. https://doi.org/10.36868/IJCS.2026.01.03

Fathi, M. J. (2014). Investigating the Role of the Historic Fabric in the Development of Tourism in Tuyserkan County. *National Conference on Urban Planning, Urban Management, and Sustainable Development*, Tehran. [In Persian].

Firooznia, A., Ashrafi, A., & Bahrololoumi, F. (2020). Identification of the materials and pigments used in the rooms of the Dormiani-home (from the Qajar dynasty). *JRA. 6*(1), 47-66. https://doi.org/10.29252/jra.6.1.47

Gallo, C., Carbone, S., Ricciardi, M., Faggiano, A., Caliano, E., Motta, O., & Proto, A. (2026). Non-Invasive and Micro-Invasive Characterization of the Tempera Painting Cristo in Trono (Amalfi, SA, Italy) by Domenico Morelli and Paolo Vetri: A Multivariate Statistic Approach Applied to Spectroscopic Data. *Applied Sciences*, *16*(14), 6934. https://doi.org/10.3390/app16146934

Gheorghiță, R., Mototolea, A., Sodoleanu, I., Niculescu, G., Baltă, Z.-I., Iţcuș, C., & Stanc, M.-S. (2026). Archeometrical Study of a Mural Painting in the a fresco Technique Discovered in Tomis (Constanţa, Romania): Applicability in the Conservation and Restoration Process. *Quaternary, 9*(2), 29. https://doi.org/10.3390/quat9020029

Hamzavi, Y. (2021). Structural study of pigments on Stucco inscription on the porch of Seyyed Shams-din tomb (Yazd-Iran). *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate, 8*(12), 24-42. https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.15122.1433 [In Persian].

Holakooei, P., Karimy, A. H., & Nafisi, G. (2018). Lammerite as a Degradation Product of Emerald Green: Scientific Studies on a Rural Persian Wall Painting. *Studies in Conservation*, *63*(7), 391–402 https://doi.org/10.1080/00393630.2017.1419658

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. https://doi.org/20.1001.1.17358779.1394.9.4.3.2 [In Persian].

Koochakzaei, A., hamzavi, Y., & shojae far, F. (2022). Identification of red, blue and golden pigments in Qajar Mural Painting anaclitic fire place in Goharion House in Tabriz. Journal of Color Science and Technology, 15(4), 287-299. https://doi.org/20.1001.1.17358779.1400.15.4.3.4 [In Persian].

Koochakzaei, A., Hamzavi, Y., & Mousavi, M. A. S. S. (2022). Characterization of the mural blue paintings in ornamental motif of Ali Qapu palace in Isfahan, Iran, using spectroscopic and microscopic methods (a case study). *Journal of Archaeological Science: Reports*, *45*, 103632. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2022.103632

Najafi, A., & Jamehbozorg, Z. (2015). An Archaeological Introduction to the Mural Paintings of the Masoudi House in Tuyserkan. The 2nd International Conference and 5th National Conference on Tourism, Geography, and Sustainable Environment, Hamadan. [In Persian].

Pakbaz, R. (2012). *Materials and Techniques*. Ed 2. Tehran: Farhang'e Moaser Publication. [In Persian].

Rajabi Amirabad, R. (2020). The Role of Cultural-Religious Attractions in Tourism Development (Case Study of Tuyserkan County). *Geographical Journal of Tourism Space, 9*(34), 64-78. https://sid.ir/paper/368545/en. [In Persian].

Razani,M , Kordi,M , Mortazavi,M and Sedghi,Y . (2022). Study of Colorants Materials on the Decoration Patterns on the North and Southeast Porches of Soltanieh Dome, Zanjan, Iran. *Archaeological Research of Iran, 11*(31), 265-288. doi: 10.22084/nb.2020.21774.2150. [In Persian].

Razani, M., & Hamzavi, Y. (2025). Identification of Coloring Materials in Mortar and Hidden Motifs of the Architectural Ornaments of the Verjuy Temple Maragheh (Mongol Ilkhana Era). *Zarrin Fām;*

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.106]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:35 +0330 on Sunday November 15th 2026

Biannual journal of Museum Studies, *3*(4), 181-202. https://doi.org/10.30481/museum.2026.570942.1075. [In Persian].

Salahshour, F., Radmanesh, A. M., Hamzavi, Y., & Khorasani, M. (2019). Finding the equivalent of the Persian word 'Khomahan' with today known iron ores based on its being a dyestuff and what is written in Persian historical literary texts. *JRA. 5*(2), 169-183. https://doi.org/10.29252/jra.5.2.169 [In Persian].

Shirvani, M. (2025). Identification of pigments in wall paintings from the Zand era in the Karim Khani Castle of Shiraz. *KCR. 8*(3), 1-15. https://dx.doi.org/10.66224/kcr.8.3.1 [In Persian].

Vazvaie, A., Babaie, B., Soleymani Mourcheh Khorti, A., & Moradi, P. (2026). Color Analysis in a Comparative Study of the Shams-ol-Emareh Palace and the Schröder House. *Green Architecture, 11*(6), 58770. [In Persian].

پاکباز، رویین. (۱۳۹۰). *مواد و تکنیک‌ها*. چاپ دوم. تهران: فرهنگ معاصر.

حمزوی، یاسر. (۱۳۹۹). مطالعهٔ ساختارشناسی رنگدانه های تزیینی کتیبهٔ گچی ایوان بقعهٔ سیّدشمس الدّین یزد. *معماری اقلیم گرم و خشک*، *۸*(۱۲)، ۲۴-۴۲. https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.15122.1433

رازانی، مهدی؛ کردی، مهدی؛ مرتضوی، محمد؛ صدقی، یاسین. (۱۴۰۰). بررسی مواد رنگساز در نقوش تزئینی ایوان‌های شمالی و جنوب‌شرقی گنبد سلطانیه. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۱۱(۳۱)، ۲۶۵-۲۸۸. https://doi.org/10.22084/nb.2020.21774.2150

رازانی، مهدی؛ حمزوی، یاسر. (۱۴۰۳). مطالعهٔ مواد رنگزا در ملاط و نقوش پنهان آرایه‌های معماری دستکند معبد ورجوی مراغه متعلق به دورهٔ ایلخانان مغول. *دو فصلنامهٔ مطالعات موزه‌ای زرین‌فام*، ۳(۱)، ۱۸۱-۲۰۲. https://doi.org/10.30481/museum.2026.570942.1075

رجبی امیرآباد، ربابه. (۱۳۹۹). نقش جاذبه‌های فرهنگی، مذهبی در توسعه گردشگری (مورد پژوهشی شهرستان تویسرکان). *فصلنامه جغرافیایی فضای گردشگری واحد ملایر*، ۹(۳۴)، ۶۴-۷۸.

سلحشور، فاطمه؛ رادمنش، عطامحمد؛ حمزوی، یاسر؛ خراسانی، محبوبه. (۱۳۹۸). برابرسازی واژهٔ فارسی خماهن با کانی‌های آهن‌دار شناختهٔ شده امروزی، بر اساس رنگزا بودن این ماده و یافته‌هایی از متون ادبی- تاریخیِ فارسی و تهیهٔ نمونه‌ای از خماهنِ ماده. *پژوهه باستان‌سنجی*، ۵(۲)، ۱۶۹-۱۸۳. ۵.۲.۱۶۹/jra.۱۰,۲۹۲۵۲

شیروانی مریم. (۱۴۰۴). شناخت رنگدانه‌ها در نقاشی‌های دیواری بجای مانده دوره زندیه در ارگ کریم خانی شیراز. *دانش حفاظت و مرمت ۸*(۳)، ۱-۱۵. 10.66224/kcr.8.3.1

عباسی، جواد؛ بهادری، رویا؛ بزرگمهر، محمدعلی؛ بهشتی، ایرج؛ بحرالعلومی، فرانک. (۱۳۹۵). شناسایی مواد و رنگدانه‌های به کار رفته در نقاش‌ی‌های دیواری مجموعه باغ و عمارت تاریخی رحیم آباد بیرجند. *پژوهه باستان‌سنجی*، ۲(۲)، ۶۳-۷۶. 10.29252/jra.2.2.63

عباسی، جواد؛ بهادری، رویا؛ کاپا، فدریکا؛ جمبریه-سیمبوگر؛ شراینر، مانفرد؛ بهشتی، ایرج. (۱۴۰۲). مطالعات آزمایشگاهی بر روی مواد و رنگ‌دانه‌های به کار رفته در کتیبه و دیوارنگاره‌های بقعهٔ قدمگاه نیشابور. *مطالعات باستان‌شناسی پارسه*، ۷(۲۳)، ۳۲۵-۳۵۶. https://dx.doi.org/10.30699/PJAS.7.23.325

فتحی، محمدجواد. (۱۳۹۳). بررسی نقش بافت تاریخی در توسعه گردشگری شهرستان تویسرکان. *کنفرانس ملی شهرسازی، مدیریت شهری و توسعه پایدار*. تهران.

فیروزنیا، افسانه؛ اشرفی، علیرضا؛ بحرالعلومی، فرانک. (۱۳۹۹). شناسایی مواد و رنگ‌دانه‌های دیوارنگاره‌های اتاق‌های بروارِ خانهٔ تاریخی دُرمیانیِ اصفهان. *پژوهه باستان‌سنجی ۶*(۱)، ۶۶-۴۷. 10.29252/jra.6.1.47

کوچکزایی، علیرضا؛ نغمتی بابایلو، علی؛ دانشپور، لیلا. (۱۳۹۴). شناسایی رنگدانه‌های مورد استفاده در تزئین کتیبه کاغذی خانه انصاریان تبریز. *نشریه علمی پژوهشی علوم و فناوری رنگ*، ۹(۴)، ۲۹۷-۳۰۶. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17358779.1394.9.4.3.2

کوچکزایی، علیرضا؛ حمزوی، یاسر؛ شجاعی‌فر، فائزه. (۱۴۰۰). شناسایی رنگدانه‌های قرمز، آبی و طلایی دیوارنگاره قاجاری مربوط به شومینه خانه گوهریون. *نشریه علمی علوم و فناوری رنگ*، ۱۵(۴)، ۲۸۷-۲۹۹ https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.17358779.1400.15.4.3.4

نجفی، ارض‌اله؛ زهرا جامه‌بزرگ. (۱۳۹۴). معرفی باستان‌شناختی نقاشی‌های دیواری خانه مسعودی تویسرکان. *دومین همایش بین المللی و پنجمین همایش ملی گردشگری، جغرافیا و محیط زیست پایدار*. همدان.

وزوایی، آوا؛ بابائی، بهار؛ سلیمانی مورچه خورتی، عاطفه؛ پریسا، مرادی. (۱۴۰۴). رنگ شناسی در مطالعه تطبیقی کاخ شمس العماره با خانه شرودر. *نشریهٔ معماری سبز*، ۱۱(۶)، ۵۸۷۷۰.

APA REF
Hamzavi, Y. (2025). Characterization and Identification of Colorants in the Paint Layers of the Architectural Ornaments of the Masoudi House, Tuyserkan, Hamadan. Journal of Research on Archaeometry, 12(1), 12106, DOI: 10.66224/jra.2026.12.106