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

Tabriz Islamic Art University

Research Paper

Characterization of Mortar and Colored Layers in the Inscription of Tomb of Amin-al-ddin Jibraeil in Kalkhuran, Ardebil

Hamed Yaqoubzadeh [1], Yaser Hamzavi [2*]

1. Ph.D. Candidate in Restoration of Historical and Cultural Properties, Art University of Isfahan, Iran
2. Associate Professor, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism (RICHT), Tehran, Iran
* Correspondence: y.hamzavi@richt.ir, yaserhamzavi99@gmail.com

Abstract

There are Safavid inscriptions written by Alireza Abbasi on the dome of the tomb of *Amin-al-ddin Jibraeil* in Kalkhuran (in Ardebil). Unfortunately, parts of these inscriptions have been destroyed over the past centuries. The text of the inscription is derived from the hadiths of Hazrat Ali (a.s.) in *Nahj al-Balagha*. In addition to this valuable inscription, the architectural ornaments of this monument include moarraq tiles, monochromatic tiles, moaqali tiles, murals in the porch section, boum-sab ornaments, and gilded *laye-chini* (pastiglia). For the proper conservation of the work and the necessary restoration interventions, we need technical knowledge of the different layers of the Safavid inscription in this collection. The aim of the present research is to conduct a structural analysis of the various layers of the inscription, including the fine coat (Intonaco), the glossy layer on the inscription, the organic matter beneath the glossy layer, and the blue color of the background. In this regard, samples were taken from the mentioned layers, and studies were conducted using SEM-EDS, optical microscopy, and Raman spectroscopy methods. As a result of the studies, it was found that fast-setting gypsum mortar was used for the fine coat, and the surface finishing operation was performed with a trowel with greater precision and higher quality. Gold leaf was used for the aesthetic enhancement of the writing surface, which was later replaced by copper leaf in subsequent restorations. Due to the surface corrosion of the copper metal, the restored part has become dull, while the original gold part remains bright. Additionally, a study was conducted on the type of adhesive used for the gold leaf. The findings indicated that during the Safavid era, oil (probably bow oil) was used as an adhesive for the gold leaf. Furthermore, studies on the blue color of the background of the inscription revealed that lapis lazuli pigment was used in areas where a dark blue color is observed, while a mixture of lapis lazuli and white lead was used in areas with a lighter blue color.

Keywords: Characterization, Mortar, Pigmant, Inscription, Kalkhuran.

Received: 2024/6/9
Revised: 2025/6/1
Accepted: 2025/6/6
Published: 2025/6/30

Copyright: ©2025 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

Introduction

This study examines the inscription of the Sheikh Kolkhouran mausoleum, which was reconstructed during the reign of Shah Abbas I. The inscription, crafted in Thuluth script and adorned with blue and gold pigments using gypsum mortar. Epigraphy in the Islamic period signifies a growing emphasis on artistic expression, particularly during the Safavid era, which saw an increase in inscriptions reflecting Shia thought. Understanding the structural and technical aspects of these historical works is essential for their preservation and restoration. This paper investigates the characteristics of gypsum mortar and the blue and gold pigments, employing analytical methods such as SEM-EDS and various spectroscopic techniques to identify the constituent elements and crystalline properties of the gypsum. The ultimate goal of this research

is to enhance awareness of the inscription's structure and improve Conservation methodologies.

Research literature

This section discusses the background of research and the description of the mausoleum of Sheikh Amin al-Din Jabra'il, known as Sheikh Kolkhouran. Sheikh Kolkhouran was born in 600 AH and, after his father's death, went to Shiraz, where he studied under Khwaja Kamal al-Din Arabshah Ardabili for 20 years. His mausoleum is located in the village of Kolkhouran near Ardabil, with its construction dating back to the reign of Sultan Muhammad Khodabandeh and its restoration ordered by Shah Abbas I. This complex includes the main mausoleum, a school, and the tombs of the descendants of Imam Musa Kazim. The present study focuses on the structural analysis of the gypsum inscription in the mausoleum's chamber, which is written in Thuluth script by the renowned artist Alireza Abbasi and contains hadiths from Imam Ali (AS). Laboratory investigations into the identification of historical pigments and the structural analysis of gypsum mortar are also emphasized. Previous research findings indicate that various blue pigments, including Egyptian blue, lapis lazuli, and azurite, have been used in historical Iranian buildings, and understanding these pigments can aid in the identification and preservation of historical artifacts.

In studies on the structural analysis of gypsum mortar in Iran, methods such as XRD, XRF, SEM-EDS, and FT-IR have been predominantly used. Research has examined gypsum arrays from the Parthian period to the Qajar era, introducing various execution techniques. Additionally, information on gypsum crystals in historical mortars has been provided, and the technical characteristics of gypsum mortar in different inscriptions have been studied. In this context, new methods such as Raman spectroscopy and elemental analysis have also been employed.

Materials and Methods

the materials and methods used to identify the gypsum inscription of the Sheikh Kolkhouran shrine. The researchers aim to utilize analytical techniques such as SEM-EDS, OM, and Raman to identify pigments and the composition of the metal foil. The inscription features two types of blue pigments with different tonalities, requiring more detailed analysis. Additionally, examining the gypsum crystals and identifying the binder used in the blue pigment and the adhesive under the gold leaf are other objectives of this research. Sampling of the inscription is conducted considering past restoration work, focusing on the blue and gold colors. In this study, an electron microscope is employed for pigment analysis and structural examination. Furthermore, Raman spectroscopy and FTIR are used for more precise identification of the pigments and materials utilized in the inscription. The results of these analyses will contribute to a better understanding of the techniques used in the creation of the gypsum inscription.

Results and Discussion

1. Layer structure of the inscription letters: The inscription letters consist of three distinct layers: a gypsum base layer, a brown adhesive layer, and a final layer of bright gold leaf.
2. Characteristics of the gypsum mortar: The gypsum mortar used was identified as needle-shaped crystals with characteristics that indicate a specific type of processing. The presence of organic materials as additives in the gypsum mortar is controversial.
3. Analysis of the gold color: The gold color used in the inscription has two types of transparent and opaque layers. The transparent layers are mainly composed of gold and the opaque layers are composed of copper, indicating the possibility of restoration in the past.
4. Identification of the blue color: The blue color used in the inscription is probably a type of lapis lazuli, because the chemical elements in it are consistent with the compounds of lapis lazuli.
5. Suggestions for additional analysis: To accurately confirm the type of pigment, the use of analytical methods such as Raman spectroscopy is suggested.
6. These results contribute to a better understanding of the materials and techniques used in the construction of the inscription.

Conclusion

The shrine of Amin al-Din Jibril is located in Kulkhuran, Ardabil, and was restored during the reign of Shah Abbas I. It features a variety of architectural decorations, including plasterwork and tile work. The existing plaster inscription in the dome, although highly intricate, has suffered significant damage. This study focuses on the structural analysis of the plaster mortar and the pigments used in the inscription. The results indicate that living plaster mortar with organic materials was used to enhance strength, and the surface was meticulously finished. Additionally, the golden layer on the inscription is covered with gold leaf, while some sections are covered with copper sheet, which has become

tarnished due to corrosion. The blue background of the inscription is composed of lapis lazuli pigments and lead white. It is recommended that further research be conducted on the architectural decorations of this site and compared with other significant works to create a more comprehensive database of Iranian architecture.

Author Contributions: This article is the result of research conducted by HY and YH. HY made the primary contribution to the drafting and compilation of the manuscript. YH was responsible for the critical review and verification of the collected data and the revision of the manuscript's literature and prose.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: The datasets described and/or analyzed during this study are accessible and traceable in the Resources and References section.

Acknowledgments: The authors extend their sincere gratitude to Dr. Alireza Koochakzaei and Dr. Parviz Holakooei for their invaluable assistance. The authors also acknowledge and appreciate the material and spiritual support provided by the Tabriz Islamic Art University and the Isfahan University of Art.

Conflicts of Interest: The author declares no conflicts of interest.

پژوهه باستان سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

ساختارشناسی ملاط و لایه‌های رنگی سطح کتیبه گنبدخانهٔ بقعه امین-الدین جبرائیل در کلخوران اردبیل

حامد یعقوب زاده[۱]، یاسر حمزوی[۲]*

۱. دانشجوی دورهٔ دکتری تخصصی، رشتهٔ مرمت آثار و اشیای فرهنگی و تاریخی، دانشگاه هنر اصفهان، ایران
۲. دانشیار پژوهشکدهٔ بناها و بافت‌های تاریخی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
* مسئول مکاتبات: y.hamzavi@richt.ir،yaserhamzavi99@gmail.com

چکیده

کتیبه‌ای صفوی به خط علیرضا عباسی در گنبد خانهٔ بقعهٔ شیخ جبرائیل کلخوران (در اردبیل) باقی‌مانده که متأسفانه بخش-هایی از آن طی سده‌های گذشته تخریب‌شده است. متن کتیبه از احادیث حضرت علی (ع) در نهج‌البلاغه است. به‌جز این کتیبهٔ ارزشمند، آرایه‌های معماری این بنا شامل کاشی‌های معرق، کاشی‌های تک‌رنگ، کاشی‌های معقلی، دیوارنگاره در بخش ایوان، آرایه‌های گچی بوم‌ساب، آرایه‌های لایه‌چینی و طلاچسبانی شده و مقرنس گچی است. برای حفاظت صحیح اثر و همچنین مداخلات مرمتی، نیازمند شناخت فنی لایه‌های مختلف کتیبه صفوی در این مجموعه هستیم. هدف پژوهش حاضر، ساختارشناسی لایه‌های مختلف کتیبه ازجمله بستر، لایه براق روی نوشتار، ماده آلی زیر لایه براق و رنگ آبی زمینه است. در این راستا، از لایه‌های ذکر شده نمونه‌برداری شد و مطالعات به روش طیف سنجی رامان، میکروسکوپی نوری و SEM-EDS انجام شد. درنتیجهٔ مطالعات مشخص شد که برای لایهٔ بستر از ملاط گچ زنده استفاده شده و عملیات پرداخت سطح با ماله با دقت بیشتر و کیفیت بالاتری انجام پذیرفته است. از ورق طلا برای زیبایی سطح نوشتار استفاده شده که در مرمت‌های بعدی، ورق مس جایگزین شده است. به دلیل خوردگی سطحی فلز مس، بخش مرمتی کدر شده ولی بخش اصلی که طلا بوده، همچنان درخشان است. همچنین مطالعه‌ای بر روی نوع اتصال ورق طلایی صورت پذیرفت. در نتیجهٔ مطالعات مشخص شد در دورهٔ صفویه، از روغن (احتمالاً روغن کمان) به‌عنوان چسب ورق طلا استفاده شده است. در نتیجهٔ مطالعات بر روی رنگ آبی زمینهٔ کتیبه، در قسمت‌هایی که رنگ آبی تیره دیده می‌شود، از رنگ‌دانه لاجورد استفاده شده و در قسمت‌هایی که رنگ آبی روشن دیده می‌شود، از مخلوط رنگ‌دانه‌های لاجورد و سرب (احتمالاً سفیداب سرب) استفاده شده است.

واژگان کلیدی: ساختارشناسی، ملاط، رنگ‌دانه، کتیبه گچی، کلخوران

دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۰
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۳/۱۱
پذیرش: ۱۴۰۴/۳/۱۶
انتشار: ۱۴۰۴/۴/۹

Copyright: ©2025 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

۱. مقدمه

بقعه شیخ کلخوران که در دوره شاه‌عباس اول تجدید بنا شده، دارای کتیبه‌ای است که در پایان آن، نام علیرضا عباسی هنرمند نامی دوره صفوی دیده می‌شود؛ کتیبه به خط ثلث تحریر شده که اجرای آن با ملاط گچی بوده و با رنگ آبی و طلایی، زمینه و سطح کتیبه زینت شده است. از آن‌جایی که دوران اسلامی آغازگر توجه ویژه به کتیبه‌نگاری در بناهای ارزشمند تاریخی است و در هر دوره تاریخی بعد از گسترش اسلام، این هنر به سمت اعتلا در استفاده از مصالح و فن ساخت رفته است، این نوع آرایه‌های معماری به‌نوعی بیان کننده ایدئولوژی حاکم بر نظام سیاسی زمان خود است (تندرو و طاهری، ۱۴۰۲)؛ به‌طوری که با بررسی معنایی کتیبه‌های موجود در بناهای تاریخی می‌توان دیدگاه‌های اخلاقی، اجتماعی، فرهنگی، سیاسی و غیره را دریافت. برای مثال در دوره صفوی که مذهب رسمی این دوره شیعه است؛ کتیبه‌نگاری‌هایی از سخنان امام علی (ع) که در بر گیرنده

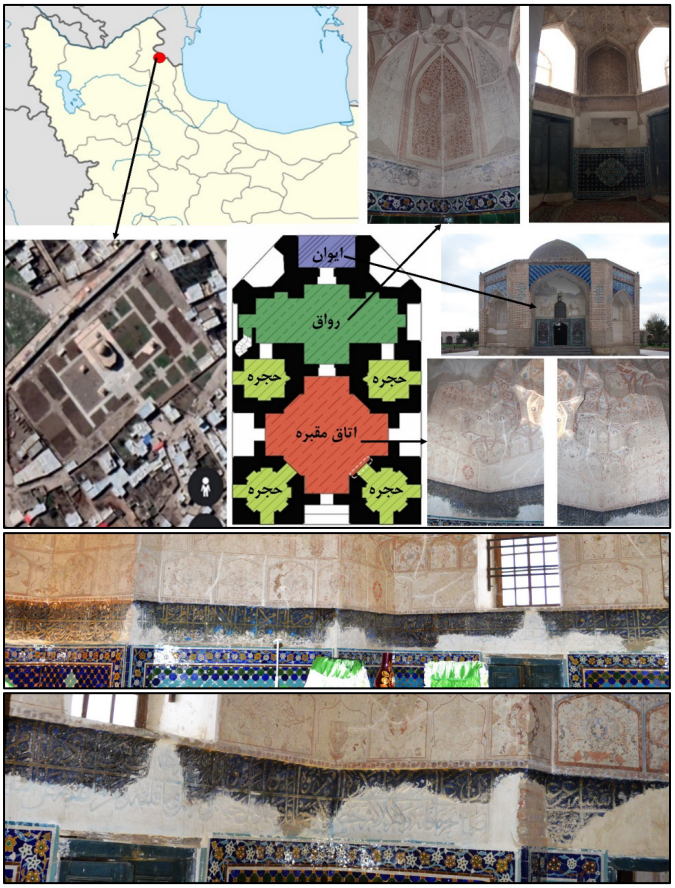
غالب تفکر شیعه است روبه فزونی می‌رود. حال با توجه به اهمیت کتیبه‌نگاری در دوره‌های تاریخی مختلف توجه هنرمندان برای بهبود کیفیت کتیبه‌نگاری نیز بیشتر می‌شود و تبع آن خلاقیت در ساخت کتیبه نیز افزایش می‌یابد. از این رو شناخت فنی و ساختاری این‌گونه آثار می‌تواند بسیاری از پرسش‌های پژوهشگران تاریخی در مورد فناوری گذشته را پاسخ دهد. حفاظت و مرمت همیشگی این‌گونه آثار؛ وظیفه‌ای است که هر نسل می‌بایست آن را به مناسب‌ترین شیوه ممکن انجام دهد. امروزه برای حفاظت و مرمت صحیح یک یادمان تاریخی، شناخت ماهیت آن اثر، یک اصل اساسی است. در این راستا، شناخت ماهیت مواد تشکیل دهنده کتیبه گچی بقعهٔ شیخ کلخوران در کنار شناخت نسبی از فن ساخت عناصر زینتی گفته شده، می‌تواند در امر حفاظت مفید واقع شود.

در ملاط گچی می‌توان عمل‌آوری‌های متفاوتی را دید مثال بارز آن گچ کشته و گچ تیز (میشت مست نهی؛۱۳۹۴) است یا افزودنی‌های آلی (یعقوب زاده و رازانی،۱۴۰۱) می‌توانند در ملاط‌های گچی حضور داشته باشند. هر کدام از موارد گفته شده به تبع باعث ایجاد یک سری ویژگی‌های خاصی در ملاط گچی می‌شوند که شناخت نسبی موارد گفته شده در ملاط‌های گچی تاریخی می‌تواند دارای اهمیت باشد (حمزوی و دیگران، ۱۴۰۲)، چراکه هنوز بسیاری از ویژگی‌هایی که افزودنی‌ها بر خواص ملاط گچ می‌گذارد، ناشناخته است. رنگ‌دانه‌های آبی استفاده شده در ایران به چندین نوع تقسیم شده است به‌طوری که رنگ‌دانه آبی مصری، لاجورد، آبی پروس، آبی کبالت و آبی آزوریت در بناهای تاریخی در دوره‌های تاریخی مختلف دیده شده است (Koochakzaei et al., 2022). استفاده از رنگ‌های طلایی در ایران بیشتر معطوف به استفاده ورقه‌هایی از جنس طلا، قلع و مس و آلیاژهای آن‌هاست (حمزوی و دیگران، ۱۳۹۲). هر یک از موارد گفته دارای شرایط نگهداری و حفاظت متفاوت است و عوامل آسیب‌رسان متفاوتی را دارد. برای مثال در رنگ‌دانه آزوریت یا ورقه آلیاژی مس برای رنگ طلایی تشکیل کلریدهای مس امری مشهود است و یا حتی در رنگ‌دانه لاجورد نیز بیماری لاجورد وجود داشته که مربوط به فعل و انفعال‌های بست با رنگ‌دانه لاجورد است (مبشر مقصود و کوچک زایی، ۱۴۰۱). مطالب گفته شده برای درک اهمیت ساختارشناسی یک اثر تاریخی قبل از انجام اقدامات حفاظتی است؛ چراکه هر عنصر تزئینی تاریخی شرایط نگهداری متفاوتی را می‌طلبد. پژوهش حاضر نیز به هدف ساختارشناسی رنگ‌دانه‌های آبی، طلایی و گچ در کتیبه برجسته بقعه شیخ امین‌الدین جبرائیل کلخوران انجام گرفته است تا یک آگاهی از ساختار کتیبه حاصل شود. در این راستا از آنالیز دستگاهی SEM-EDS به‌منظور شناخت عناصر تشکیل‌دهنده رنگ‌دانه‌ها و بررسی بلوری گچ استفاده خواهد شد و همچنین آنالیزهای تکمیلی دیگری به‌منظور دستیابی به نتایج دقیق که شامل طیف‌سنجی Raman (Osticioli ET AL,2009)، FTIR، میکروسکوپ نوری و لوپ دیجیتال استفاده شد.

۲. پیشینه پژوهش

۲-۱. پیشینهٔ مطالعات و توصیف بقعه شیخ امین الدین جبرائیل

شیخ امین الدین جبرائیل معروف به شیخ کلخوران (جد شیخ صفی‌الدین اردبیلی) در سال تقریبی ۶۰۰ هجری قمری به دنیا آمده و زندگی درویش مآبانه را انتخاب می‌کند به‌طوری که بعد از فوت پدرش راهی شیراز شده و به مدت ۲۰ سال مرید خواجه کمال‌الدین عرب شاه اردبیلی می‌شود. بعد از برگشت به زادگاه خود یعنی روستای کلخوران اردبیل، برای گذران عمر خود به کشاورزی مشغول می‌شود (طباطبائی مجد، ۱۳۹۲). محل تدفین وی در بقعه‌ای تحت عنوان بقعه امین الدین جبرئیل در روستای کلخوران (شکل ۱) در نزدیکی شهر اردبیل قرار دارد. این بنا نسبت به گفته‌های مورخ آلمانی آدام اولئاریوس توسط صدرالدین موسی فرزند شیخ صفی‌الدین اردبیلی در زمانی که سلطان محمد خدابنده (الجایتو) بر ایران حکومت می‌کرد، ساخته شده است (اولائریوس،۱۳۶۳؛ صفری، ۱۳۷۰). در دوره‌های بعد زمانی که شاه‌عباس یکم زمام‌دار (قرن دهم هجری) ایران بود؛ سلطان محمد نقاش را مأمور به تعمیر و تجدید بنا کرد (دیباج، ۱۳۴۳).



شکل ۱. موقعیت و پلان بنا؛ آرایه‌های معماری و کتیبهٔ گچی بقعه شیخ امین الدین جبرئیل

Figure 1. Monument location and specifications of the plan and ornaments, Tomb of Sheikh Amin-al-ddin Jibraeil

مجموعه بقعه شیخ کلخوران در یک حیاط مستقل، شامل بقعه اصلی، مدرسه و مقبره‌های نوادگان امام موسی کاظم است (جامعی، ۱۳۷۹). ورودی اصلی بقعه از سمت شمال بوده که پلانی شش ضلعی را دارد که شامل بخش‌های ایوان، رواق، مقبره اصلی و چهار حجره است (شکل ۱). آرایه‌های معماری این بنا شامل کاشی‌های معرق، کاشی‌های تک رنگ، کاشی‌های معقلی، دیوارنگاره در بخش ایوان، آرایه‌های گچی بوم‌ساب، آرایه‌های لایه‌چینی و آرایه‌های گچی از جمله کتیبه گچبری شده و مقرنس است. تمرکز اصلی این پژوهش بر روی ساختارشناسی کتیبه گچی این بنا است که در قسمت بالای ازاره در اتاق مقبره اجرا شده است. به همین منظور عمده مطالب ذکر شده مربوط به وصف این آرایه معماری خواهد بود. کتیبه موجود در این بنا در بخش اتاق مقبره و به خط ثلث (نوشتهٔ علی‌رضا عباسی هنرمند نامی عصر صفوی) اجرا شده است. متن کتیبه از احادیث حضرت علی (ع) در نهج‌البلاغه استفاده شده تا فرهنگ دینی غالب که تشیع باشد را نشان دهد: این کتیبه در نگاه اول در یک بستر گچی اجرا شده و رنگ آبی در زمینه کتیبه و رنگ طلایی بر روی متن احادیث کاملاً نمایان است؛ با نگاهی دقیق‌تر، حضور دو نوع رنگ آبی که می‌توان به آبی روشن و آبی تیره تقسیم کرد؛ مشهود می‌شود. رنگ‌طلایی روی حروف کتیبه نیز به دو صورت دیده می‌شود که می‌توان به طلایی براق و طلایی مات تقسیم کرد.

۲-۲. پیشینهٔ مطالعات آزمایشگاهی

مطالعه پژوهش‌های منتشرشده در رابطه با ساختارشناسی مواد تشکیل‌دهنده یک اثر تاریخی می‌تولند دیدگاه تاریخی مناسبی را برای پژوهشگر حفاظت و مرمت آثار تاریخی ارائه دهد، شناسایی رنگ‌های تاریخی و ساختارشناسی ملاط گچی که هدف اصلی این پژوهش است؛ از این قاعده پیروی می‌کند؛ به‌طوری که شناخت رنگ‌دانه تاریخی استفاده شده در یک اثر تاریخی مانند بناها، نوشته‌هایی رنگی در کاغذ و غیره و ارتباط دادن آن به دوره تاریخی ساخت اثر، می‌تواند راهنمای اولیه در جهت شناسایی رنگ‌دانه‌های تاریخی محسوب شود؛ به همین منظور نگاهی اجمالی بر مقالات منتشرشده در رابطه شناسایی رنگ‌دانه‌های آبی تاریخی هم‌دوره و حتی دوره‌های قبل و بعدتر انجام خواهد گرفت تا غالب رنگ‌دانه‌های آبی استفاده شده در ایران در دوره‌های تاریخی مختلف آشنایی کلی ایجاد شود.

رنگ‌دانه‌های تاریخی به‌مانند آثار رنگی بر جای مانده از تپه حسن لو، زیویه و تخت جمشید که در بر گیرنده دوره تاریخی هزاره اول پیش از میلاد تا دوره هخامنشیان است که در پژوهشی رنگ‌دانه آبی مصری ($CaCuSi_4O_{10}$) شناسایی شده است (داداش زاده و همکاران، ۱۳۹۵). بقعه سید شمس‌الدین یزد یکی از شاخص‌ترین بناهای سدهٔ هشتم هجری قمری، کتیبه‌ای گچی در ایوان دارد که در پژوهشی رنگ‌دانه‌های آن شناسایی شده است. رنگ آبی در این کتیبه، آبی مس یا آزوریت ($Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$) است (حمزوی،۱۳۹۹). مدرسه کمالیه یزد از آثار سدهٔ هشتم هجری قمری بوده که در پژوهشی رنگ‌دانه آبی را شناسایی کرده و نوع رنگ را به آبی مس یا آزوریت نسبت داده‌اند (Mohtasham and Samanian,2017). پژوهشی رنگ‌دانه‌های استفاده شده در بناهای تاریخی از قرن ۱۱ تا ۱۵ میلادی را شناسایی و سپس به بررسی آن‌ها پرداخته‌اند. طبق گفته‌های این پژوهش عموم رنگ‌دانه‌های استفاده شده شامل آبی لاجورد، آزوریت و آبی نیل بود (Holakooei and Karimy, 2024)؛ همچنین در پژوهشی رنگ‌دانه آبی استفاده شده در کاخ عالی‌قاپوی اصفهان که مربوط به دوره صفوی است؛ از نوع لاجورد ($Na_7Al_6Si_6O_{24}S_3$) دانسته و هانتیت ($Mg_3Ca(CO_3)_4$) موجود در ترکیب رنگ‌های آبی برای روشن‌تر شدن تن رنگی است (Koochakzaei et al,2022). استفاده از رنگ‌دانه‌ها برای زیبنده کردن یک اثر معطوف به آرایه‌های معماری نبوده و دیگر آثار همچون تذهیب در نسخ خطی نیز رنگ‌دانه کاربرد دارد پژوهشی در رابطه با شناسایی نوع رنگ‌دانه آبی این نوع اثر گفته شده منتشر شده است که نویسندگان علاوه بر شناخت رنگ‌دانه آبی لاجورد سعی در بررسی و تمایز میان رنگ‌دانه آبی روشن و تیره موجود در آثار مورد مطالعه داشتند که با شناخت سفیداب شیخ در رنگ‌دانه آبی روشن به‌عنوان تغییر دهنده فام رنگی آن را معرفی کردند؛ همچنین این مقاله در رابطه با نحوه تمایز لاجورد مصنوعی، طبیعی و لاجورد فرنگی مطالبی را بیان کرده است (حسینی صومعه و همکاران؛ ۱۳۹۷). آبی مصری، آزوریت و لاجورد با توجه به مطالعات انجام گرفته رنگ‌دلنه‌های استفاده شده در برخی از آثار تاریخی دوره صفویه و قبل‌تر از آن است و با گذر زمان و رسیدن به دوره قاجار استفاده از آبی پروس رونق بیشتری پیدا می‌کند به‌طوری که در پژوهشی به بررسی رنگ‌دانه‌های دوره قاجار پرداخته است و حضور آبی پروس و لاجورد غالب رنگ‌دانه‌های استفاده شده در بناهای تاریخی است (فیروز نیا و همکاران، ۱۳۹۹) (جدول ۱).

در جهت مطالعات فنی و ساختارشناسی ملاط گچی در ایران، به‌طورکلی بیشتر از روش‌هایی مانند XRD, XRF, SEM-EDS, FT-IRاستفاده شده است (اصلانی، ۱۳۹۱؛ کاظمیان و اصلانی، ۱۳۹۱؛ محتشم و دیگران، ۱۳۹۳؛ حمزوی و دیگران، ۱۴۰۲). در این راستا به گزیده‌ای از پژوهش‌های انجام گرفته در خصوص ساختارشناسی ملاط گچی اشاره خواهد شد: در مقاله‌ای آرایه‌های گچی در ایران را که از دورهٔ اشکانی آغاز می‌شود و تا دورهٔ قاجاریه ادامه دارد و اوج هنرگچبری در ایران، دورهٔ ایلخانان مغول معرفی شده است، بر اساس شیوهٔ شکل‌دهی، میزان برجستگی نقوش و شگردهای فنی و جزئیات اجرایی تقسیم‌بندی کرده‌اند و از هرکدام از روش‌های اجرایی، نمونه‌هایی را معرفی نموده‌اند (صالحی کاخکی و اصلانی، ۱۳۹۰).

جدول ۱: گزیده ای از رنگ‌دانه‌های آبی شناسایی شده در آرایه‌های معماری تاریخی ایران

Table 1. A selection of blue pigments identified in historical architectural Ornaments of Iran

Monument	Pigment and Dye	Historical Period	Identification Method	Reference
Pasargad	Egyptian blue	Achaemenid Empire	FTIR,SEM,XRD,AES	Stodulski et al,1984
The works of Persepolis in the Freer and Arthur M. Sackler Art Gallery	Egyptian blue	Achaemenid Empire	XRD,XRF portable,SEM	Aloiz et al,2016
Ardašir Khureh ancient site	A mixture of green earth and Egyptian blue	Sassanid Empire	SEM-EDS,FTIR, μ-Raman,XRF	Amadori et al,2024
Fahraj Jame Mosque	Ultramarine	Early Islamic era	μ-Raman, μ-XRF,XRD	Holakooei and Karimy,2015
Pir Hamzeh Sabz Poush (Abar-kouh)	Ultramarine	Seljuk period	μ-Raman, μ-XRF	Karimy and Holakooei,2015
Tomb of Shah Kamal (Yazd)	Azurite	Muzaffarids	FTIR,XRF,XRD,PLM	Mohtasham and samanian,2017
Abar-kouh Jame Mosque	Ultramarine	Mongol/Timurid Empire	μ-XRF,Raman,SEM,PLM	Holakooei and Karimy,2015
Ali Qapu Palace, Isfahan	A mixture of ultramarine and huntite	Safavid era	PLM, μ-Raman,EDS,FTIR	Koochakzaei et al,2022
Shah Bathroom, Isfahan	lapis lazuli	Qajar period	spot test	Akyol & Houreh ,2019
Sadat dormiani House	Prussian blue	Qajar period	SEM-EDS,FTIR,OM	Firouznia et al, 2020

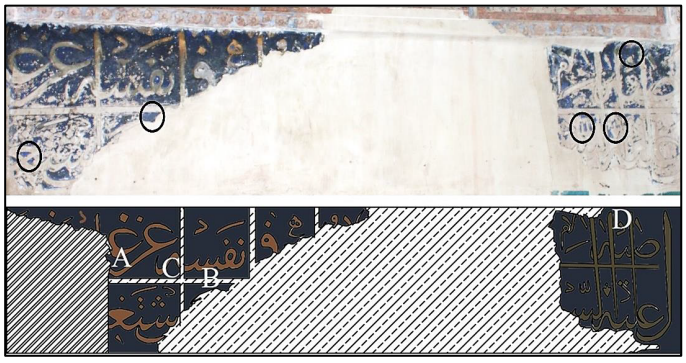
در پژوهشی اطلاعاتی از بلورهای گچ در نمونه ملاط‌های تاریخی ارائه نموده که در این پژوهش از روش‌های دستگاهی شامل تهیه تصاویر SEM و آنالیز XRD استفاده شده است (میش‌مست‌نهی، ۱۳۹۴). بر اساس نتایج به‌دست‌آمده از پژوهشی در خصوص ملاط در آرایه‌های معماری و اندودهای بدنه داخلی معبد صخره‌ای ورجووی، لندود بدنه‌ها از گچ و آهک به همراه پرکننده‌ی پودر سنگ توف و خاکستر و همچنین الیاف گیاهی است و پوشش سطحی آرایه‌ی قطار بندی از ملاط ساروج مهره خورده استفاده‌شده است (رازانی و حمزوی ۱۳۹۷). همچنین در گزارش پژوهش‌های منتشر شده به زبان غیر فارسی نیز از روش‌ها و دستگاه‌هایی جهت مطالعات ساختارشناسی ملاط گچی نام برده شده که به تعدادی از آن‌ها اشاره می‌شود: طیف‌سنجی رامان (Raman)، آنالیز عنصری فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، طیف‌سنجی تفرق انرژی پرتوایکس (EDX)(Almaviva et al., 2019)، آنالیز عنصری فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (Sanjurjo Sanchez et al., 2011)، XRD و DSC-TG (Alexandre Maximo et al., 2020). همچنین از روش‌های شناخت فیزیکی و شیمیایی در این راه بهره برده شده است (Ngah et al 2020; Marvila et al., 2020; Ouakarrouch et al., 2020; Loureiro et al., 2020).

۳. مواد و روش‌ها

برای شناسایی مواد بکار رفته در ساخت کتیبه گچی بقعه شیخ کلخوران همانند پژوهش‌هایی که دیگران که برای شناسایی رنگ‌دانه آبی و ورقه فلزی روی نوشتار و بررسی بلوری گچ زمینه به کار برده‌اند استفاده خواهد شد. به عبارتی SEM-EDS, Om, Raman آنالیزهای دستگاهی مورد استفاده در این پژوهش است، به گونه‌ای که ابتدا تصاویر میکروسکوپ نوری از مقطع تهیه‌شده از لایه فلزی روی حروف آماده شد تا لایه‌نگاری حروف کتیبه مشخص شود؛ SEM به همراه آنالیز عنصری EDS از ورقه فلزی برای مشخص شدن جنس آلیاژ انجام گرفت (از لحاظ ظاهری (رنگ) به نظر می‌رسید دو گونه آلیاژ استفاده شده باشد)؛ ورق فلزی بر روی حروف گچی اجرا شده و رنگ آبی بر زمینه کتیبه گچی اجرا شده است. معمولاً در ملاط اندودهای گچی، تغییرات عمدی زیادی توسط هنرمندان ایجاد نمی‌شود. مثلاً برای زمینهٔ کار، از گچ بوم استفاده می‌شود و عمل‌آوری گچ بوم بین استادکاران سنتی یکسان است، مگر این تغییرات در دانه‌بندی و زبری اندود باشد. ولی ملاط گچی که قرار بر برش و شکل‌دهی دارند، امکان تغییرات عمدی توسط هنرمند به وجود می‌آید. از این رو بررسی بلوری حروف کتیبه می‌تواند شناخت نسبی از فن ساخت کتیبه گچی ارائه دهد. همان‌طور که در پیشینهٔ پژوهش اشاره شد، عمل‌آوری گچ می‌تواند عامل تأثیرگذاری بر خواص ملاط گچی باشد، به‌طوری که در بلورنگاری می‌توان نشانه‌هایی از نوع عمل‌آوری یک ملاط گچ حدس‌هایی زد؛ بررسی میکروسکوپی بلورهای گچ موجود در یکی دیگر از مراحل شناخت فن ساخت کتیبه بقعه شیخ کلخوران خواهد بود؛ شناسایی رنگ‌دانه آبی استفاده شده کتیبه نیز بررسی خواهد شد. برای اینکار آنالیزهای دستگاهی SEM-EDS و همچنین Raman نیز کاربرد خواهد داشت. از آنجایی که دو نوع رنگ‌دانه آبی (از نظر

تفاوت تنالیتهٔ رنگی) در کتیبه وجود دارد، از آنالیز دستگاهی SEM-EDS در دو نمونه مجزا استفاده خواهد شد تا دلیل متفاوت بودن تنالیتهٔ رنگی مشخص شود. شناسایی نوع بست موجود در رنگ‌دانه آبی و همچنین چسب زیر ورقه طلا نیز از دیگر اهداف این پژوهش است به همین منظور از آنالیز FTIR برای این کار استفاده خواهد شد.

نمونه‌برداری: کتیبه موجود در لتاق مقبره در حدود ۳۶ متر طول و ۴۵ سانتی‌متر عرض دارد که در گذشته، در بخش‌هایی از این کتیبه عملیات مرمت و بازسازی انجام گرفته است. نحوه مداخله مرمتی نیز در هر بخش بازسازی و حفاظت شده متفاوت از یکدیگر هستند. به همین منظور به نظر می‌رسد که اقدامات حفاظتی و مرمتی کتیبه در چندین دوره صورت پذیرفته است. با بررسی شواهد موجود در بخش رواق و سنگ نوشته‌ای که تاریخ تعمیر بنا را ذکر کرده، مشخص شد که در سال‌های پیش از انقلاب اسلامی دخل تصرف زیادی بر روی آن انجام شده است؛ با این حال در بخش‌هایی از کتیبه موجود در بنا حداقل در سال‌های اخیر دخالت‌های حفاظتی و مرمتی دیده نمی‌شود از این رو نمونه‌برداری در این بخش‌های گفته شده صورت پذیرفته است. شکل ۲ کتیبه موجود بقعه شیخ کلخوران را به همراه نقاط نمونه‌برداری نشان می‌دهد؛ در هنگام نمونه‌برداری توجه شد که از هر دو فام موجود در رنگ آبی و همچنین در رنگ طلایی حروف کتیبه نمونه‌برداری شود؛ شایان ذکر است که در بخشی بزرگی از حروف کتیبه لایه رنگ اکلیل گونه روی حروف وجود داشت که پاک‌سازی به‌وسیله متانول ۲۰ درصد در آب انجام گرفت و سپس نمونه‌برداری انجام شد.



شکل ۲: کتیبه گچی نقش‌برجسته، گنبد خانه بقعه کلخوران، تعیین محل نمونه‌برداری

Figure 2. Embossed gypsum stucco inscription, dome chamber of the tomb of Kalkhuran, determination of sampling location

میکروسکوپ الکترونی روبشی به همراه پراش پرتوایکس (SEM-EDS): میکروسکوپ الکترونی روبشی دانشگاه شهید مدنی تبریز با مدل phenom, pro X ساخت کشور هلند انجام گرفت؛ برای آنالیز رنگ‌دانه آبی روشن و تیره و اندود گچی تاریخی با لایه نشانی طلا انجام گرفت تا وضوح تصاویر به حالت مناسبی درآید. با توجه به اینکه ورقه طلا در گذشته به دو صورت طلای خالص و همچنین مس و آلیاژهای مسی استفاده می‌شد؛ لایه نشانی طلا در دو نمونه رنگ طلایی صورت نگرفت چراکه انجام لایه نشانی طلا قبل از بررسی‌های میکروسکوپی و آنالیز EDS خطای داده‌ها را به وجود می‌آورد و در این صورت تفکیک طلا یا آلیاژ بودن طلاکاری روی سطوح حروف را مشکل می‌کرد. همچنین از آنجایی EDS یک آنالیز عنصری نیمه کمی به‌حساب می‌آید و روش انجام آنالیز نیز به‌صورت نقطه‌ای بود برای دقیق‌تر شدن داده‌ها از سه نقطه متخلف سطوح نمونه‌ها آنالیز شده و در نهایت در گزارش داده‌ها میانگین هر سه نمونه بیان خواهد شد؛ این امر در تحلیل صحیح داده‌ها می‌تواند مؤثر باشد.

میکروسکوپ نوری (OM) و لوپ دیجیتال: یکی از اولین اقدامات برای بررسی ساختاری نمونه‌های تاریخی در این پژوهش استفاده لوپ دیجیتال بود به‌طوری سطوح نمونه‌ها در خود بنا ابتدا به کمک لوپ دیجیتال در بزرگ‌نمایی‌های ۲۲۰ برابر بررسی شدند؛ تا به تئوری‌های اولیه (متفاوت بودن تن رنگی رنگ‌دانه آبی و طلایی) این پژوهش قوت بیشتری دهد؛ میکروسکوپ نوری نیز بعد از نمونه‌برداری و مانت سازی حروف نمونه‌ها به کار آمد به‌طوری بعد از آماده کردن مقطع نمونه‌ها در مانت لایه‌نگاری اجرای طلاکاری روی حروف مشخص شود.

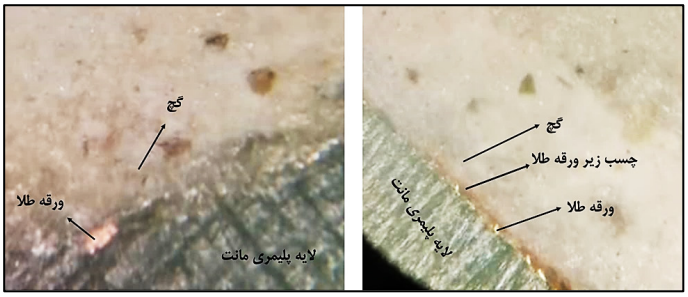
طیف‌سنجی رامان و طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FTIR): شناسایی نوع دقیق رنگ‌دانه آبی فقط با آنالیز پراش پرتوایکس کمی دشوار است و نیازمند یک سری آزمون‌های تکمیلی خواهد بود؛ از این رو طیف‌سنجی رامان برای رنگ‌دانه آبی پر رنگ انجام گرفت. برای این کار از لیزر ۵۳۲ نانومتر و توان انرژی ۵۰٪ لیزر و قدرت تفکیک یا رزولوشن ۱۸۰۰ در نظر گرفته شد. این آنالیز در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه هنر اصفهان ساخت شرکت تکسان با مدل DL-G100 انجام گرفت. طیف‌سنجی مادون‌قرمز تبدیل فوریه نیز برای کمک به شناسایی بست رنگ‌دانه آبی و همچنین نوع ماده متصله استفاده شده در زیر ورقه طلایی انجام شد برای این کار از آنالیز دستگاهی FTIR موجود دانشگاه تبریز با مدل TENSOR27 ساخت کشور آلمان با تعداد پیمایش ۳۲ انجام گرفت؛ شایان ذکر است که قبل از انجام آنالیز FTIR برای شناسایی مواد آلی در بست و ماده متصله زیر ورقه طلا می‌بایست جداسازی انجام بگیرد به همین منظور در پژوهش حاضر رنگ آبی و طلاکاری روی حروف در محلول متانول و آب مقطر به نسبت ۱ به ۱ حل شده و به مدت ۶ ساعت محلول به‌به‌دست‌آمده در سانتریفیوژ قرار گرفت و درنهایت محلول اما ده شده از صافی گذشته و در دمای ۶۰ درجه سانتی‌گراد خشک شد.

٤. یافته‌ها و بحث

ارائه و تحلیل داده‌های آزمایشگاهی متناسب با نمونه‌ها تقسیم‌بندی شده و گزارش‌شده است، بدین‌صورت که ابتدا گچ حروف کتیبه از منظر بلورنگاری بررسی شده و سپس ورقه طلای روی حروف و در نهایت نتایج شناخت رنگ آبی روشن و تیره گزارش می‌شود.

٤-١. بررسی با میکروسکوپ نوری

بعد از ساخت ملنت نمونه‌های حروف دارای ورقه فلزی که دو بخش طلایی روشن و کدر را داشت در میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۲۰۰ برابر بررسی شدند، شکل ۳، تصاویر میکروسکوپ نوری از مقطع نمونه‌های ذکر شده را نشان می‌دهد؛ آنچه از تصویر بر می‌آید سه لایه بودن حروف کتیبه با رنگ طلایی روشن است، به‌طوری‌که لایه زیرین لایه گچی بوده و لایه روی آنکه به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شود، چسب زیر ورقه فلزی باشد و در نهایت ورقه طلایی لایه نهایی روی حروف کتیبه است. در لایه‌نگاری حروف کتیبه با رنگ کدر نیز فقط دولایه گچ و ورقه طلایی‌رنگ دیده می‌شود و لایه چسب زیر ورقه فلزی حداقل در این تصویر دیده نمی‌شود؛ با انجام مقایسه‌ای تصویری از هر دو نمونه آماده شده چنین بر می‌آید که حروف کتیبه که ورقه طلای روشن دارند شیوه اجرا و اعمال ورقه فلزی و چسب روی حروف گچی کتیبه به‌صورت منظم است که در مقایسه با نمونه طلایی‌رنگ کدر، آشفتگی ظاهری دیده نمی‌شود؛ به نظر می‌رسد لایه ورقه فلزی کدر با دقت کار کمتری همراه بوده است.



شکل ۳. بررسی مقطع لایه‌های کتیبه گچی برجسته از طریق میکروسکوپ نوری

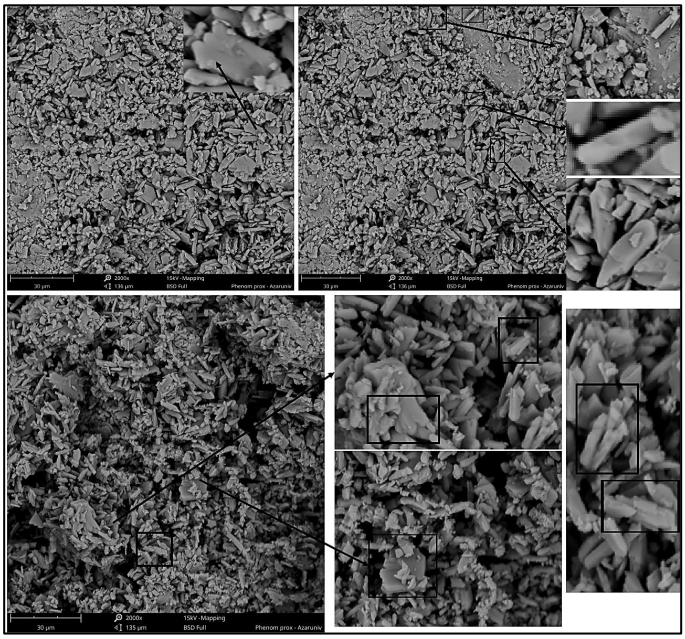
Figure 3. Examining the cross-section of the gypsum stucco inscription layers through an optical microscope

٤-٢. بررسی فنی ملاط گچی

طبق تجربه، کتیبه مورد مطالعه، کتیبه گچی بود ولی باید کاملاً مطمئن سخن گفت؛ بنابراین، با انجام چندین آنالیز نقطه‌ای، شناسایی سولفات و کلسیم و داده‌های به‌دست‌آمده از طیف FTIR نتیجه چنین بود که کتیبه از جنس گچ است؛ حال برای پاسخ‌دهی به این سوال که شیوه عمل‌آوری ملاط به چه گونه‌ای است، مطالعات میکروسکوپی صورت گرفت. بدین ترتیب پایه اصلی نتیجه‌گیری در شیوه عمل‌آوری ملاط گچ از پژوهش صورت گرفته توسط مسلم میشت مست نهی خواهد بود به این صورت که برای شناخت روش عمل‌آوری گچی یک سری نکاتی در مورد متغیر بودن شکل بلوری ارائه کرده به‌طوری که ملاط گچی تیز به‌صورت بلوری‌های سوزنی شکل هستند و درصورتی‌که ملاط گچ به‌صورت کشته عمل‌آوری شود بلورهای ژیپس از صفحه [۰۱۰] دیده می‌شوند و همچنین در صورت وجود ماده افزونی آلی امکان دیده شدن برخی مواد بی‌شکل در تصاویر میکرسکوپی زیاد است؛ همچنین در صورت استفاده از افزونی‌های آلی بلورهای ژیپس در حالت کلی اندازه بزرگ‌تری نسبت به ملاط گچ بدون افزونی خواهد داشت (یعقوب زاده،۱۴۰۱) که البته بررسی این گفته در ملاط‌های تاریخی با ابهامات زیادی روبرو است، چراکه عوامل مختلفی بر شکل و اندازه بلورهای ژیپس تأثیرگذار هستند و با توجه به اینکه ملاط گچ تاریخی در طول کاربرد خود فعل و انفعال‌های بیشماری را داشتند و نمی‌توان با قطعیت سخن از اثر افزونی بر شکل بلورها در ملاط‌های گچی تاریخی سخن به میان آورد. شناسایی افزودنی آلی در یک ملاط گچی امری دشوار است چراکه در ماتریکس‌های گچی مواد آلی حضور اندکی را دارند ولی با توجه به اینکه ماتریکس گچ خاصیت بازی از خود بروز می‌دهد به‌مانند بیشتر نمک‌ها، امکان باقی ماندن افزونی آلی در یک ساختار گچی وجود دارد ولی این موضوع را می‌توان در ملاط‌های گچی تاریخی در بخش‌های گرم خشک قرار دارند بررسی کرد، چراکه عامل رطوبت و آب کمتر از مناطق مرطوب وارد ملاط‌های گچی شده و از انحلال مواد آلی می‌کاهد. ولی در صورت باقی ماندن افزودنی در ساختار ملاط گچی تجمع بلوری و به هم چسبیدگی بلورها در کنار هم یکی دیگر از روش‌های شناخت حضور و یا عدم حضور ماده آلی در ساختار یک ملاط گچی علاوه بر رشد عرضی (قطور شدن صفحه [۰۱۰]) است (میشت مست نهی،۱۳۹۴). با این‌حال تصاویر میکروسکوپی از بلورهای حروف (حروفی که رنگ طلایی روشن را داشتند) کتیبه گچی آماده شد، چراکه در این بخش از ملاط کتیبه امکان دارد که هنرمند در زمان خلق اثر تغییراتی عمدی را در ملاط گچی برای سهل‌تر شدن کار خود انجام دهد.

تصاویر میکروسکوپ الکترونی تهیه‌شده از بلورهای ژیپس حروف کتیبه بقعه شیخ کلخوران (شکل ۴)، چندین نکته را بازگو می‌کند: برخی بلورها بزرگ‌تر از بلورهای دیگر دیده می‌شوند، با توجه اینکه میندروف در سال ۲۰۰۲ بر اثر مواد آلی بر رشد انتخابی بلورها پرداخته و حتی میشت مست نهی نیز به آن اشاره کرده است احتمال حضور مواد آلی به‌عنوان افزودنی را بیشتر می‌کند و همین‌طور در برخی از نقاط در تصاویر تجمع بلوری در کنار هم را نیز نشان می‌دهد به‌طوری که احتمال دارد ماده‌ای به جز ژیپس که در ماتریکس ملاط گچ حروف کتیبه وجود دارد در این امر مؤثر باشد و به‌نوعی باعث ایجاد چسبندگی در بلورهای ژیپس شود؛ نوع عمل‌آوری ملاط گچی نیز به با توجه به سوزنی و کامل بودن شکل بلورها به نظر می‌رسد از نوع ملاط گچ زنده باشد یا حداقل به‌صورت کشته عمل‌آوری نشده است، چراکه با توجه با تصاویر بلوری ثبت‌شده نمی‌توان بر خوش مایه یا کم مایه بودن بلورهای ژیپس نظر داد. با توجه به شکل بلورها و تراکم آن در بسیاری از قسمت‌ها، همچنین به دلیل کوتاه بودن طول بلورها، به نظر می‌رسد پرداخت سطح اندود گچی با ماله، به‌خوبی انجام پذیرفته و همین اقدام باعث

استحکام نسبتاً بالای ملاط گردیده است. از طرفی، پس از مرطوب کردن سطح ملاط توسط استادکار گچ‌بر، برش ملاط نیز با سهولت انجام شده است.



شکل ٤. مطالعه بر روی بلورهای گچی کتیبه مورد مطالعه به کمک میکروسکوپ الکترونی روبشی

Figure 4. A study on the crystals of the gypsum stucco inscription using a scanning electron microscope

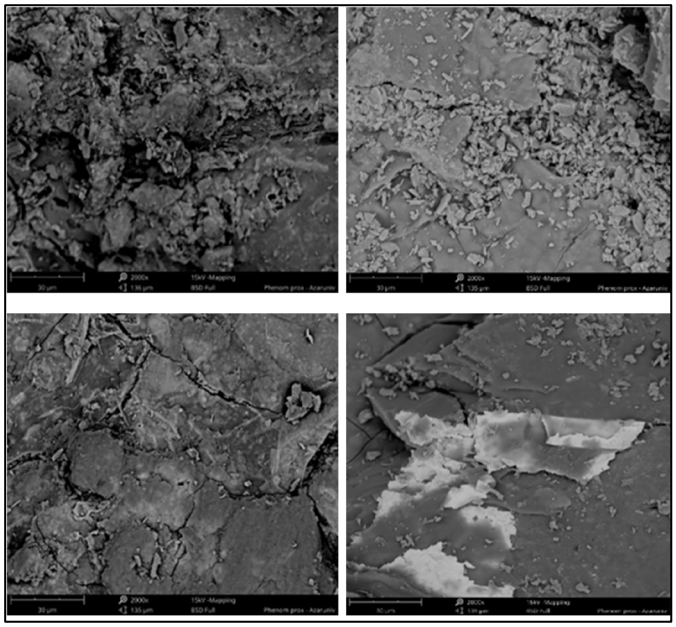
٤-٣. بررسی رنگ طلایی

روی حروف کتیبه گچی، رنگ طلایی با درخشش فلزی در بخش‌هایی کدر و بخش‌هایی شفاف وجود دارد. پرسشی که در این‌باره ایجاد شده بود، چرایی این اتفاق (کدر و شفاف بودن لایهٔ طلایی رنگ) است؛ آنالیز عنصری نقطه‌ای EDS از دو نمونه طلایی شفاف و کدر انجام گرفت. رنگ طلایی که عموماً به آن فن طلاکاری (طلاچسبانی) گفته می‌شود، معمولاً در بخش‌هایی از بنا که دارای ارزش معنایی عمیقی است استفاده می‌شده و عموماً فلزاتی مانند طلا، قلع و یا مس و آلیاژهای آن کاربرد داشته است. داده‌های آنالیزی نمونه‌های مطالعاتی این پژوهش که از کتیبه بقعه شیخ کلخوران تهیه‌شده به همراه تصاویر تهیه‌شده از میکروسکوپ دیجیتال با بزرگ‌نمایی ۲۲۰ برابر در جدول ۲ و شکل ۶ ارائه‌شده است. نتایج آنالیز عنصری نشان‌دهنده متفاوت بودن جنس و نوع هر یک از نمونه‌های طلایی استفاده شده در این کتیبه است به‌طوری که در بخش‌های روشن بعد از آنالیز نقطه‌ای از سه بخش مختلف نمونه‌ها درصد غالب (بالای ۹۰٪) حضور طلا است. حضور عناصر کلسیم، سولفور و غیره بیشتر احتمال دارد مربوط به ساختار لایه زیرین خود یعنی گچ باشد؛ در شکل ۵ دیده شدن بلورهای ژیپس می‌تواند دلیلی بر این گفته باشد؛ از آنجایی که غلظت دیگر عناصر به‌شدت کم بوده نمی‌توان احتمالی بر وجود ترکیبات دیگر در ساختار لایه طلا داد. در نمونهٔ طلای کدر با توجه با آنالیز عنصری انجام گرفته، مشخص شد که پایه اصلی ساختار این لایه مسی بوده و عناصر آلیاژ ساز سنتی آن، یعنی فلز روی و قلع دیده نمی‌شود، نکته قابل‌توجه این آنالیز حضور درصد وزنی کلر در هر سه نقطه است که به نظر می‌رسد این امر نوعی تخریب ورقه فلزی را نشان می‌دهد. به‌طوری که احتمال حضور ترکیب کلرید مس که از محصولات تخریبی مس است، وجود دارد. در حالت کلی تخریب‌پذیری مس بسیار بیشتر از طلا است و حضور چنین ترکیباتی مانند کلرید مس در ورقه طلای گفته شده دور از ذهن نیست؛ وجود این تفاوت در جنس طلاکاری در کتیبه مورد مطالعه، احتمال مرمتی بودن بخش‌هایی که فلز مس استفاده شده، افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه در حروف کتیبه در بخش‌هایی که ورقه طلا و ورقه مسی کار شده هیچ‌گونه تفاوتی از نظر فن ساخت دیده نمی‌شود، به نظر می‌رسد که حروف کتیبه در سال‌های پیش‌تر برای بازیابی زیبایی ظاهری، مرمت شده باشند و با توجه به حضور کلر در ساختار ورقه مس، به نظر می‌رسد چندین سال از انجام چنین کاری گذشته باشد و مربوط به نوسازی بخش‌هایی از بقعه در سال‌های دهه ۱۳۵۰ باشد.

جدول ۲. آنالیز عنصری رنگ طلایی روی حروف کتیبه گچی در دو نمونه درخشان و کدر (بدون کربن و اکسیژن)

Table 2. EDS Analysis of the Golden Color on the Letters of the Gypsum Inscription in Two Glittery and Opaque samples (without C and O)

Opaque golden Layer				Glittery golden Layer			
Elem	W% Pt 1	W% Pt 1	W% Pt 3	**Elem.**	W% Pt 1	W% Pt 1	W% Pt 3
Ca	13.9	23.1	15.4	**Ca**	2.6	1.4	0.4
S	3.5	10.4	5.7	**S**	1.7	1.1	0.1
Si	4.3	4.8	7.1	**Si**	0.5	0.3	0.1
Al	1.9	1.6	2.6	**Al**	0.1	0.1	-
Cl	16.4	12.7	13.5	**Cl**	0.4	0.1	-
Au	-	-	-	**Au**	89.4	95.6	99.4
K	1.4	1.6	1.6	**K**	0.2	0.1	-
Pb	-	-	-	**Pb**	5	-	-
Mg	1.6	1.2	1	**Mg**	0.1	-	-

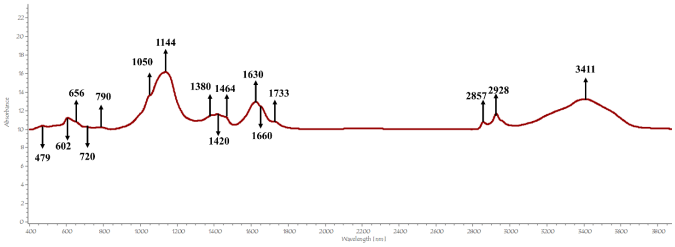


شکل ۵. حضور بلورهای ژیپس در اطراف ورقه‌های فلزی طلا و مس

Figure 5. Gypsum crystals are seen in the elemental analysis areas

٤-٤. چسب زیر ورق طلا

طیف‌سنجی FTIRدر جهت شناخت نوع بست و چسب زیر ورقه طلا می‌تواند اطلاعات مناسبی را ارائه دهد ولی تعیین دقیق جنس بست با کمک طیف‌سنجی گفته شده دشوار است و فقط می‌توان گونه ترکیبی بست را شناخت. طیف به‌دست‌آمده (شکل ۶) مرتبط است به چسب زیر ورقه طلا. با توجه به اینکه جداسازی نیز صورت گرفته و حضور ناخالصی‌ها نیز کاهش یافته است، ولی حذف کامل ناخالصی‌ها در این طیف دیده نمی‌شود؛ به همین منظور است که تحلیل نتایج به‌دست‌آمده نسبی و حالت قطعی ندارند. با توجه به طیف به‌دست‌آمده از ماده متصله زیر ورقه طلا، پیک‌های شاخصی در ناحیه ۳۴۰۰، ۱۶۳۰ و ۱۱۴۴ وجود دارد که جذب در ناحیه ۳۴۰۰ و ۱۶۳۰ مربوط ارتعاش‌های کششی و خمشی آب هیدراتاسیون بوده و جذب در ناحیه ۱۱۴۴ مربوط به ارتعاش کششی سولفات است؛ پیکی نیز در ناحیه $602cm^{-1}$ دیده می‌شود که به احتمال زیاد مربوط به ارتعاش خمشی سولفات‌هاست. با توجه با داده‌های به‌دست‌آمده می‌توان دریافت که پیک‌های گفته شده می‌تواند با گچ مرتبط باشد. علاوه بر ارتعاش‌های گفته شده در ماده متصله (چسب زیر ورق طلا)، جذب‌هایی نیز در ناحیه ۲۹۲۸، ۲۸۵۷، ۱۴۶۴، ۱۷۳۳ و ۷۲۰ اتفاق افتاده است. نزدیک‌ترین تحلیل در جهت توجیه حضور این پیک‌ها، روغن‌ها هستند. چراکه این مواد در ناحیه ۲۸۵۷ و ۲۹۲۸ دارای ارتعاش کششی هستند که مربوط به CH_2 است. روغن‌ها به دلیل داشتن گروه‌های استری، یک پیک شاخص کربونیل در ناحیه ۱۷۴۰ –۱۷۵۰ دارند و در طیف این پژوهش نیز پیکی در ناحیه ۱۷۳۳ دیده می‌شود که به نظر می‌رسد مربوط به گروه‌های استری باشد؛ چراکه درصورت وجود ناخالصی این پیک می‌تولند کمی به ناحیه پایین‌تر (همان‌طور که طیف‌سنجی مورد بحث دیده می‌شود) منتقل شود. از دیگر شاخصه‌های مهم روغن‌ها در طیف‌سنجی FTIR مربوط به نوارهای الفاتیک C-H جذب در ناحیه ۱۴۶۴، ۱۳۸۰ و ۷۲۵ است که این موارد در طیف به‌دست‌آمده از نمونهٔ مورد مطالعه نیز قابل‌مشاهده است. نوارهای C-O نیز در ناحیه ۱۲۴۰،۱۱۶۵ و ۱۱۰۳ در روغن‌ها دارای جذب هستند ولی با توجه به اینکه در نواحی گفته شده پیک شاخص گچ وجود دارد نمی‌توان نسبت به حضور این پیک‌ها نظر داد.



شکل ٦. طیف مادون‌قرمز به‌دست‌آمده از نمونهٔ چسب زیر ورق طلا

Figure 6. FTIR spectrum obtained from the glue sample under the gold leaf

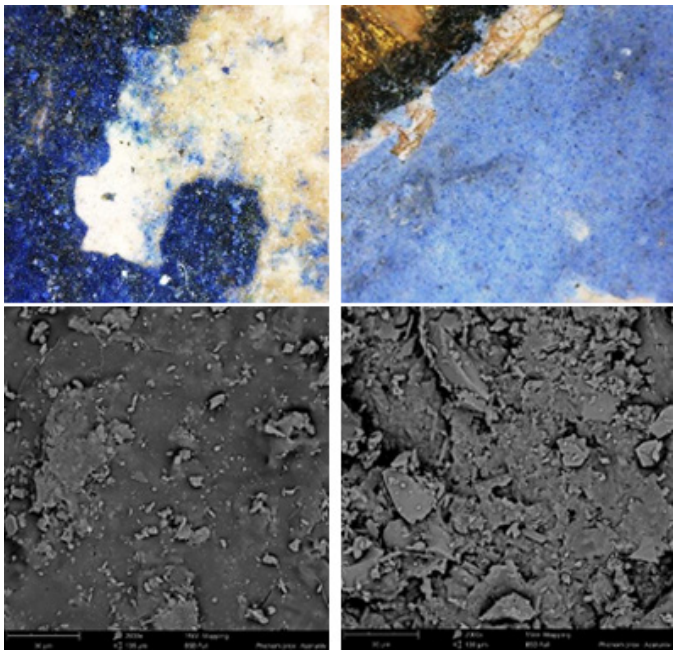
٤-٥. لایهٔ رنگ آبی

رنگزای استفاده شده در این کتیبه با روش حذف گزینه‌های احتمالی شناسایی خواهد شد؛ همان‌طور که در بخش پیشینه پژوهش آمده است رنگ‌دانه‌های آبی استفاده شده در آرایه‌های معماری ایران بیشتر شامل آبی مصری، آزوریت، آبی پروس و لاجورد است. دلیل رد گزینه‌های رنگینه‌های گیاهی مانند نیل به دلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی و آنالیز عنصری پراش پرتوایکس است، چراکه رنگینه‌هایی مانند آبی نیل در ترکیبات خود نیتروژن دارند و این عناصر در پراش پرتوایکس در همه نقطه‌های مورد آزمون دیده نشد. جدول ۳ آنالیز نقطه‌ای نمونه‌های رنگ‌دانه آبی روشن و آبی تیره را به نمایش می‌گذارد.

جدول ۳. آنالیز عنصری نقطه‌ای از رنگ آبی روشن و رنگ آبی تیره
Table 3. EDS analysis of light blue and dark blue

Dark blue			Light blue			
Elements	W % Point 1	W % Point 2	Elements	W % Point 1	W % Point 1	W % Point **3**
Ca	33.4	42.8	**Ca**	26.4	26.3	21.8
Si	16.5	14.6	**si**	3.4	4.7	19.3
S	18.5	18.9	**S**	8.4	8.1	6.1
Na	13.9	11.8	**Na**	3.4	3.1	2.2
Al	6.2	2.9	**Al**	1.1	1.8	2.1
Cl	5.6	5.1	**Cl**	2	1.4	1.5
Mg	2.9	-	**Mg**	1.4	1.9	3.2
K	3.1	3.9	**K**	0.8	0.8	4.7
Pb	-	-	**Pb**	52.9	52.1	36.3

همان‌طور که در جدول مشخص است غالب وزنی آنالیزها را عنصر کلسیم و همچنین سولفور تشکیل داده است که به نظر می‌رسد بخشی از آن مربوط به گچ بستر باشد؛ چراکه در تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سطح نمونه رنگ‌دانه آبی، بلورهای سوزنی شکل ژیپس دیده می‌شود (شکل ۷) ولی با این حال می‌توان با عناصر دیگر موجود در ساختار نظراتی را نسبت رد گزینه‌های احتمالی داد.

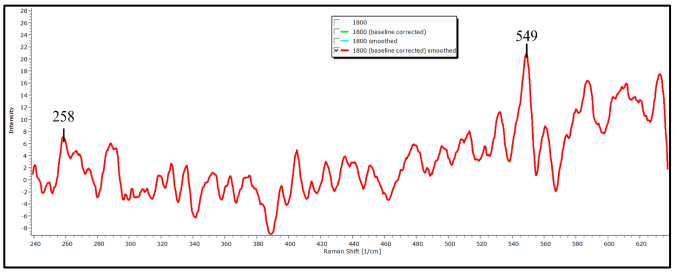


شکل ۷. بررسی رنگ آبی روشن و تیره به کمک میکروسکوپ دیجیتال و میکروسکوپ الکترونی روبشی

Figure 7. Examination of light (Right) and dark (Left) blue color using digital microscope and SEM

آبی مصری در ترکیب خود عناصر کلسیم، سیلیکون و مس را دارد. همان‌طور که در جدول ۳ مشخص است عناصر کلسیم و سیلیکون در نمونه‌های مورد نظر وجود دارد ولی عنصر مس در این آنالیز دیده نمی‌شود؛ بنابراین نمی‌توان گفت رنگ‌دانه مورد مطالعه، آبی مصری است. ترکیب اصلی آزوریت نیز مس و کربنات است که این مورد نیز با توجه آنالیز نقطه نمونه‌ها رد می‌شود. آبی پروس نیز در ساختار ترکیب خود آهن را دارا است که به دلیل نبود این عنصر در ساختار نمونه‌های مورد مطالعه این گزینه نیز رد می‌شود. حال تنها گزینه احتمالی موجود لاجورد است که در ترکیبات خود عناصر سدیم، سیلیکون، آلومینیوم و سولفور را دارد که با توجه جدول ۳ و حضور همه عناصر گفته شده در نمونه‌های مطالعاتی احتمال بالایی را برای لاجورد بودن نشان می‌دهد. با این حال به‌منظور تعیین دقیق نوع رنگ‌دانه می‌توان از آنالیزهای تکمیلی به‌مانند رامان استفاده کرد. در رنگ‌دانه آبی روشن علاوه بر عناصر سازنده لاجورد مقدار قابل‌توجهی سرب دیده می‌شود به‌طوری که کمترین میزان درصد وزنی ۳۶ و بیشترین آن در نمونه‌های مورد مطالعه ۵۳ درصد است. این میزان از حضور سرب در یک رنگ‌دانه آبی قطعاً به‌صورت اتفاقی نبوده و دلیلی بر حضور این عنصر در ساختار دارد؛ با توجه به مطالعاتی که درگذشته در این رابطه انجام شده و حضور غلظت بالای سرب در رنگ‌دانه آبی لاجورد را به سفید سرب نسبت داده‌اند، می‌توان گفت برای روشن کردن رنگ آبی لاجورد، از رنگ‌دانه سفیداب سرب استفاده کرده‌اند.

تا به امروز طیف‌سنجی رامان در شناخت آثار تاریخی استفاده مکرری داشته است؛ شناسایی لاجورد با دستگاه رامان کاری دشوار است، به‌خصوص اگر نمونهٔ مورد مطالعه، رنگ تاریخی باشد. چراکه عوامل دخیل در ساختار، مختص رنگ‌دانه نبوده و موادی مانند بست نیز حضور دارد. حال حضور این‌گونه مواد هنگام شناسایی رنگ‌دانه؛ کار را دشوار می‌کند؛ بر مورد گفته شده سطح ناهموار نمونه (که در آثار تاریخی امری متداول است) باعث ایجاد چالش‌هایی در شناخت لاجورد در رامان خواهد شد و همین‌طور اگر لیزر استفاده شده در رامان فوکوس مناسبی را نیز نداشته باشد می‌تواند امر شناسایی را به‌شدت سخت کند و قدرت لیزر نیز از پارامترهای تأثیرگذار است. در این پژوهش سعی شد که عوامل مخل به کمترین حالت خود برسد، ولی همچنان تضمینی در ایجاد پیک‌های شارپ و واضح نیست. با این حال هرگونه تغییرات پیک که به نظر رسد جزء نویز نیست در شناسایی حداقلی نمونه در پژوهش حاضر کمک کننده است. به‌طوری که برای کم شدن پوشش استفاده شده در سطح رنگ و کم شدن گچ احتمالی موجود در سطح رنگ نمونه به مدت ۸ ساعت در ترکیب آب و متانول (۷۰ درصد و ۳۰ درصد) باقی ماند.



شکل ۸. طیف رامان به‌دست‌آمده از نمونهٔ رنگ آبی تیره

Figure 8. Raman spectrum obtained from sample of dark blue color

شکل ۸ مربوط به طیف رامان نمونه رنگ‌دلنه آبی پر رنگ است؛ طیف‌سنجی رامان در بخش کروموفرهای S^{-3} و S^{-2} لاجورد حساس است. نتایج حاصل از طیف‌سنجی نمونه مورد مطالعه، شناسایی پیک‌هایی در ناحیه ۵۴۹ و همچنین ۲۵۸ است. ناحیه پیک‌های گفته در با توجه منابع مختلف بیان شده به احتمال زیاد مربوط به لاجورد خواهد بود؛ ولی شایان ذکر است که قدرت پیک‌های گفته شده کمی بیشتر از نویزهای موجود در طیف‌سنجی انجام گرفته است، به همین منظور به سختی می‌توان به لاجورد بودن طیف استناد کرد؛ از آنجایی که در نواحی دیگر طیف؛ پیک‌های با شدت هم‌اندازه

یا بیشتر از پیک‌های گفته شده وجود ندارد؛ نزدیک‌ترین تحلیل طیف لاجورد بودن نمونه آبی این پژوهش است.

۵. نتیجه‌گیری

بقعه امین الدین جبرئیل در کلخوران در شـهر اردبیل قرار دارد. در دورهٔ شـاه‌عباس اول، این بنا بازسـازی شـده اسـت. آرایه‌های معماری این بنا از جمله: آرایهٔ گچی برجسته، مقرنس گچی، آرایهٔ گچی بوم‌ساب، لایه‌چینی و طلاچسبانی، آرایهٔ کاشی معرق و کاشی تک‌رنگ که با ظرافت بالایی اجرا شده، مربوط به دورهٔ صفویان است. کتیبهٔ گچی برجسته که در گنبدخانهٔ بنا در دورتادور چرخیده و در بالای ازاره اجرا شـده، از ظرافت بالایی برخوردار است که متأسفانه در دوره‌های پس از ساخت، دچار آسیب‌های فراوانی شده اسـت. جهت حفاظت صحیح این کتیبه، لازم است تا ابتدا مرمتگر بداند چه چیزی وجود دارد. آن چیزی که موجود اسـت، در دو بخش ماده و مفهوم مطرح خواهد شـد. موضـوع پژوهش حاضـر، سـاختارشـناسـی ملاط گچی و رنگزای اسـتفاده شـده در کتیبهٔ گچی اسـت. طبق مطالعات میکروسـکوپی انجام شده، می‌توان گفت برای لایهٔ بستر از ملاط گچ زنده استفاده شده که احتمال دارد از مواد آلی در آن برای کندگیر کردن ملاط و همچنین بالاتر بردن استحکام آن استفاده شده باشد. همچنین می‌توان گفت پس از اجرای لایهٔ بسـتر گچی، پرداخت سـطح با ماله به‌خوبی انجام شـده که این عمل باعث فشـرده‌تر شـدن بلورهای گچی شـده اسـت. به دلیل این‌که معمولاً اسـتادکاران گچبر، ابتدا لایهٔ بسـتر را اجرا می‌کردند و هر روز به اندازه‌ای که قرار بود عمل گچبری بر روی آن انجام شـود، سـطح مورد نظر را مرطوب می‌کردند تا برش با سـهولت بیشـتری انجام شـود. گاهی چندبار این عمل مرطوب کردن اتفاق می‌افتاده اسـت. برای این‌که اسـتحکام ملاط گچی با اعمال رطوبت کم نشود، در زمان اجرای لایهٔ بستر، عملیات پرداخت سطح با ماله را با دقت بیشـتر و کیفیت بالاتری انجام می‌دادند. لایهٔ طلایی رنگ روی کتیبهٔ گچی در مرحله بعد مورد بررسـی قرار گرفت. در نتیجهٔ مطالعات مشخص شد از ورق فلزی برای زیبایی سطح نوشتار استفاده شده است. در برخی قسمت‌ها ورق فلزی درخشان‌تر است که این قسمت‌ها اصالت تاریخی دارند و جنس ورق از طلا اسـت. در واقع، در دورهٔ صـفویه سـطح نوشـتار در کتیبهٔ گچی را طلا چسـبانی کرده‌اند. در برخی قسـمت‌ها، لایهٔ فلزی کدر دیده می‌شود که در نتیجهٔ مطالعات مشخص شد از ورق مس برای این کار استفاده شده و این مرحله، اصالت تاریخی ندارد و مربوط به مرمت‌های حدود ۵۰ سال پیش است. خوردگی سطح ورق مسی باعث جمع شدن محصولات خوردگی شده و سطح اثر کدر دیده می‌شود. همچنین مطالعه‌ای بر روی نوع اتصال ورق طلایی صورت پذیرفت. در نتیجهٔ مطالعات مشخص شد در دورهٔ صـفویه، از روغن (احتمالاً روغن کمان) به‌عنوان چسـب ورق طلا اسـتفاده شده است.

در مرحلهٔ بعد، مطالعاتی بر روی رنگ آبی زمینهٔ کتیبه انجام شـد. در قسمت‌هایی که رنگ آبی تیره دیده می‌شود، از رنگ‌دانه لاجورد استفاده شده و در قسمت‌هایی که رنگ آبی روشن دیده می‌شود، از مخلوط رنگ‌دانه‌های لاجورد و سـفیداب سـرب اسـتفاده شـده اسـت. پیشـنهاد می‌شـود در آینده، پژوهشگران مطالعات فنی در خصوص آرایه‌های لایه‌چینی و طلاچسبانی در بقعه شـیخ کلخوران انجام دهند و همچنین از آرایه‌های معماری بسـیار ارزشمند این بنا، آرایه‌های گچی بوم‌ساب است که می‌توان مطالعات تطبیقی در خصـوص این آثار در بناهای شـاخص مانند عالی قاپوی اصـفهان و خانهٔ پیرنیای نایین انجام داد. به مرور زمان با انجام مطالعات فنی بر روی گونه‌های مختلف آرایهٔ معماری در ایران جغرافیای امروز و همچنین ایران فرهنگی (ایران کهن)، بانک اطلاعاتی در خصـوص آرایه‌های معماری ایران تکمیل خواهد شـد که تا آن‌زمان، شـناخت ما نسـبت به آرایه‌های معماری ایران ناقص خواهد بود.

سپاسگزاری: نگارندگان از کمک‌های بی‌دریغ آقای دکتر علیرضا کوچکزایی و آقای دکتر پرویز هلاکویی سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از دانشگاه هنر اسلامی تبریز و دانشگاه هنر اصفهان به دلیل حمایت‌های مادی و معنوی، تقدیر می‌شود.

مشارکت نویسندگان: این مقاله حاصل پژوهش‌های حامد یعقوب زاده و دکتر یاسر حمزوی است که آقای حامد یعقوب زاده؛ بیشترین مشارکت در تدوین مقاله را داشته و آقای دکتر یاسر حمزوی اصلاح و بازرسی داده‌های به‌دست‌آمده و ادبیات مقاله را انجام دادند.

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است

تضاد منافع: نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: آزمایش‌ها و همچنین آماده‌سازی نمونه‌ها در دانشگاه هنر اسلامی تبریز و دانشگاه هنر اصفهان انجام گرفت

References

Akyol, A. A., & Houreh, N. D. (2019). Deterioration Problems and Pigment Analyses of the Qajar Period Wall Paintings from Shah Bath in Isfahan. *Akademik Sanat*, *4*(7), 210-226. https://doi.org/10.29252/akademiksanat.47268

Alaeros, A. (1984). *The travel book of Adam Al-Aeros* (A. Behpour, Trans.). Ardabil: Miyad. [In Persian].

Alexandre Máximo S. Loureiro, Simone Patrícia A. Paz, Maria do Rosário Veiga, Rômulo Simões Angélica (2020). Assessment of compatibility between historic mortars and lime-METAKAOLIN restoration mortars made from amazon industrial waste, *Applied Clay Science*, Volume 198, 105843,https://doi.org/10.1016/j.clay.2020.105843.

Almaviva, Salvatore; Lecci, Stefano; Puiu, Adriana; Spizzichino, Valeria; Fantoni, Roberta; Falconieri, Mauro; Gagliardi, Serena; Chiari, Massimo; Mazzinghi, Anna; Ruberto, Chiara; Casaril, Giacomo; Bandini, Giovanna; Morretta, Simona

(2019). Raman/XRF/EDX microanalysis of 2nd-century stuccoes from DomusValeriorum in Rome. *Journal of Cultural Heritage*, Volume 37, Pages 225-232. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.11.004

Aloiz, E., Douglas, J. G., & Nagel, A. (2016). Painted plaster and glazed brick fragments from Achaemenid Pasargadae and Persepolis, Iran. *Heritage Science*, *4*, 1-10. https://doi.org/10.1186/s40494-016-0072-7

Amadori, M. L., Mengacci, V., Callieri, P., Askari Chaverdi, A., Bartolucci, M., Eftekhari, N.,... & Holakooei, P. (2024). Integrated Investigations of Painting Materials in the Sasanian City of Ardaxšīr Khwarrah, near Firuzabad (Southern Iran). *Heritage*, *7*(3), 1202-1220. DOI: 10.3390/heritage7030058

Aslani, H. (1391). *The technology of plaster Decorations in the architecture of Iran during the Islamic era* (Unpublished doctoral dissertation). Isfahan Art University, Isfahan, Iran. [In Persian].

Dadashzadeh, M., Gorji, M., & Vahidzadeh, R. (2017). "Egyptian Blue" or "Lapis Lazuli Paste"? Structural study and identification of the collection of the objects nominate Lapis Lazuli Paste in the National Museum of Iran. *JRA*, 2(2), 35–48. DOI: 10.29252/jra.2.2.35 [In Persian].

Dibaj, I. (1964). *Guide to historical monuments of Azerbaijan*. Tabriz: Tabriz University. [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://jra-tabriziau.ir/article-1-210-en.html. [In Persian].

Hamzavi, Y. (2021). An investigation into the characterization of gypsum mortar of Seyed Shams-din monument in Yazd, Iran. *Journal of Conservation and Architecture in Iran*, 11(25), 3. https://doi.org/10.52547/mmi.580.13990415 [In Persian].

Hamzavi, Y., Haji Seyyed Javadi, S. M., & Mosleh, M. (2023). An investigation into the characterization of gypsum mortar of three historical periods and four climates of Iran. *JRA*, 9(1), 87–113. https://doi.org/10.52547/jra.9.1.346 [In Persian].

Hamzavi, Yaser. (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), pp. 24-42. https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.15122.1433.[In Persian].

Holakooei, P., & Karimy, A. H. (2015). Early Islamic pigments used at the Masjid-i Jame of Fahraj, Iran: a possible use of black plattnerite. *Journal of archaeological science*, *54*, 217-227. https://doi.org/10.1016/j.jas.2014.12.001

Holakooei, P., & Karimy, A. H. (2015). Micro-Raman spectroscopy and X-ray fluorescence spectrometry on the characterization of the Persian pigments used in the pre-seventeenth century wall paintings of Masjid-i Jāme of Abarqū, central Iran. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *134*, 419-427. https://doi.org/10.1016/j.saa.2014.06.123

Holakooei, P., & Karimy, A. H. (2024). Colourants on the Persian architectural decorations from the 11th to the 15th century. *Archaeometry*. https://doi.org/10.1111/arcm.12951.

Jafari, J. E. M. E. H. (1959). *History of Yazd* (I. Afshar, Ed.; 1st ed.). Tehran: Book Translation and Publishing Company. [In Persian].

Jamei, B. (1999). *A look at the works and historical buildings of Ardabil city*. Ardabil: The author. [In Persian].

Karimy, A. H., & Holakooei, P. (2015). Analytical studies leading to the identification of the pigments used in the Pīr-i Hamza Sabzpūsh Tomb in Abarqū, Iran: a reappraisal. *Periodico di Mineralogia*, *84*(3A), 389-405. https://doi.org/10.2451/2015PM0020

Kazemian, M., & Aslani, H. (2013). Identifying the patterns and techniques of "brick-ended plugs" decoration of Jame' Mosque in Isfahan. *Journal of Pazhuhesh-e Honar*, 2(4), 61–70. https://search.isc.ac/Inventory/8/598204.htm [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.

Koochakzaei, A., Hamzavi, Y., & Shojae Far, F. (2022). Identification of red, blue and golden pigments in Qajar mural painting anaclitic fireplace 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].

Loureiro, Alexandre M. S.; Aranha da Paz, Simone P.; Veiga, Maria do R.; Angélica, Rômulo S. (2020) Investigation of historical mortars from Belém do Pará, Northern Brazil, *Construction and Building Materials*, Volume 233, 117284, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117284.

Majed Tabatabai, Gholam Reza. (2012). Dard talab . Tabriz: First edition, Aydin Yanar. [In Persian].

Marvila, Markssuel T.; Azevedo, Afonso R.G.; Barroso, Laimara S.; Barbosa, Márcio Z.; Brito, Jorge de (2020). Gypsum plaster using rock waste: A proposal to repair the renderings of historical buildings in Brazil, *Construction and Building Materials*, Volume 250, 118786, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118786.

Mishmastnehi, M. (2016). The application of crystallographic interpretation on technical study of gypsum-based historical materials (Case studies of stucco decoration of Kuh-e Khwaja and gypsum mortars from Shadiakh and Alamut). *JRA*, 1(2), 1–14. https://doi.org/10.29252/jra.1.2.1 [In Persian].

Mobasher Maghsoud, E., & Koochakzaei, A. (2023). An overview of traditional pigments (Part II): Ultramarine blue and emerald green. *Journal of Studies in Color World*, 12(4), 369–385. https://doi.org/10.1016/j.culher.2018.11.0106 [In Persian].

Mohtasham, A., & Samanian, K. (2017). Identifying the Blue Pigments Used in Painted Architectural Decorations of Ilkhanid Buildings (1251-1335 AD) in Yazd, Central Iran. *Journal of Islamic Archaeology*, *4*(1). https://elmnet.ir/article/926730-81811. [In Persian]

Mohtasham, A., Salehiun, L., & Ahmadi, K. (2014). Technical study of stucco ornaments in "Shah-shahan" house using XRD, SEM and wet chemistry. *Journal of Advanced Materials and Technologies*, 3(2), 37–49. https://doi.org/10.30501/jamt.2635.70261 [In Persian].

Ngah, Shamsiah A.; Dams, Barrie; Ansell, Martin P.; Stewart, John; Hempstead, Russell; Ball, Richard J. (2020). Structural performance of fibrous plaster. Part 1: Physical and mechanical properties of hessian and glass fibre reinforced gypsum composites, *Construction and Building Materials*, Volume 259, 120396, ISSN 0950-0618, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120396.

Osticioli, I. A. C. O. P. O., Mendes, N. F. C., Nevin, A., Gil, F. P., Becucci, M., & Castellucci, E. M. I. L. I. O. (2009). Analysis of

natural and artificial ultramarine blue pigments using laser induced breakdown and pulsed Raman spectroscopy, statistical analysis and light microscopy. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, *73*(3), 525-531. https://doi.org/10.1016/j.saa.2008.11.028

Ouakarrouch Mohamed, Karima El Azhary, Najma Laaroussi, Mohammed Garoum, Fatima Kifani-Sahban (2020). Thermal performances and environmental analysis of a new composite building material based on gypsum plaster and chicken feathers waste, *Thermal Science and Engineering Progress*, Volume 19, 100642, ISSN 2451-9049, https://doi.org/10.1016/j.tsep.2020.100642.

Razani, M., & Hamzavi, Y. (2018). Characterization of historic mortar from the architectural decoration and plaster of Rocky Temple of Verjuy in Maragheh, Iran. *JRA*, 4(2), 21–33. https://doi.org/10.29252/jra.4.2.21 [In Persian].

Safari, B. (1991). *Ardabil in the passage of history* (Vol. 2). Ardabil: Ardabil Branch of Azad University. [In Persian].

Sālehi Kākhki, A., & Aslāni, H. (2011). Presentation of 12 kinds of stucco works used in the architectural decoration of the Islamic period in Iran based on technical properties. *Journal of Archaeological Studies*, 3(1), 91–108. [In Persian]. https://jarcs.ut.ac.ir/article_28697.html

Sanjurjo Sánchez J.; Vidal Romaní J. R.; Alves C. (2011). Deposition of particles on gypsum-rich coatings of historic buildings in urban and rural environments. *Construction and Building Materials*, Volume 25, Issue 2, Pages 813-822, https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2010.07.001.

Stodulski, L., Farrell, E., & Newman, R. (1984). Identification of ancient Persian pigments from Persepolis and Pasargadae. *Studies in Conservation*, *29*(3), 143-154. https://www.jstor.org/stable/1506017

Yaqubzadeh, H., & Razani, M. (2022). A review of the structure, application, production process and effect of additives in traditional gypsum mortar. *JRA*, 8(1), 185–205. https://doi.org/10.52547/jra.8.1.185 [In Persian].

[i] «قال امیرالمومنین فاخر المتقین و یعسوب الدین و قائدُ الغُرِّ المُحَجَّلین و اسدالله الغالب علی ابن ابی طالب علیه السلم وسلّم یَابْنَ آدَمَ، لاَ تَحْمِلْ هَمَّ یَوْمِکَ الَّذِی لَمْ یَأْتِکَ عَلَی یَوْمِکَ الَّذِی قَدْ أَتَاکَ، فَإِنَّهُ إِنْ یَکُ مِنْ عُمُرِکَ یَأْتِ اللهُ فِیهِ بِرِزْقِکَ قال علیه السلام النَّاسُ فِی الدُّنْیَا عَامِلاَنِ: عَامِلٌ عَمِلَ فِی الدُّنْیَا لِلدُّنْیَا، قَدْ شَغَلَتْهُ دُنْیَاهُ عَنْ آخِرَتِهِ، یَخْشَی عَلَی مَنْ یَخْلُفُهُ الْفَقْرَ وَیَأْمَنُهُ عَلَی نَفْسِهِ فَیُفْنِی عُمُرَهُ فِی مَنْفَعَهِ غَیْرِهِ، وَعَامِلٌ عَمِلَ فِی الدُّنْیَا لِمَا بَعْدَهَا، فَجَاءَهُ الَّذِی لَهُ مِنَ الدُّنْیَا بِغَیْرِ عَمَلٍ، فَأَحْرَزَ الْحَظَّیْنِ مَعاً، وَمَلَکَ الدَّارَیْنِ جَمِیعاً، فَأَصْبَحَ وَجِیهاً عِنْدَ اللّهِ، لاَ یَسْأَلُ اللّهَ حَاجَهً فَیَمْنَعُهُ و قال علیه السلام أَنَا یَعْسُوبُ الْمُؤْمِنِینَ وَ الْمَالُ یَعْسُوبُ الْفُجَّارِ و معنی ذلک أن المؤمنین یتبعوننی و الفجار یتبعون المال کما تتبع النحل یعسوبها و هو رئیسها و قال علیه السلام وَمَاأعمالُ البِرِّ کُلُّها وَالجِهادُ فی سَبیلِ اللّه عِندَ المرِ بِالمَعرُوفِ وَالنَّهیِ عَنِ المُنکَرِ إِلاّ کَنَفثَهٍ فی بَحرٍ لُجِّیٍّ و قال علیه السلام الْعَفَافُ زِینَهُ الْفَقْرِ وَ الشُّکْرُ زِینَهُ الْغِنَی یَوْمُ الْمَظْلُومِ عَلَی الظَّالِمِ أَشَدُّ مِنْ یَوْمِ الظَّالِمِ عَلَی الْمَظْلُومِ قال علیه السلام اتَّقُوا مَعَاصِیَ اللهِ فِی الْخَلَوَاتِ، فَإِنَّ الشَّاهِدَ هُوَ الْحَاکِمُ قال علیه السلام الِاسْتِغْنَاءُ عَنِ الْعُذْرِ، أَعَزُّ مِنَ الصِّدْقِ بِهِ و قال علیه السلام أَقَلُّ مَا یَلْزَمُکُمْ لِلَّهِ، أَلَّا تَسْتَعِینُوا بِنِعَمِهِ عَلَی مَعَاصِیهِ قال علیه السلام مَنْ نَظَرَ فِی عَیْبِ نَفْسِهِ اشْتَغَلَ عَنْ عَیْبِ غَیْرِهِ وَمَنْ رَضِیَ بِرِزْقِ اللّهِ لَمْ یَحْزَنْ عَلَی مَا فَاتَهُ وَمَنْ کَثُرَ کَلاَمُهُ کَثُرَ خَطَؤُهُ، وَمَنْ کَثُرَ خَطَؤُهُ قُلَّ حَیَاؤُهُ، وَمَنْ قَلَّ حَیَاؤُهُ قَلَّ وَرَعُهُ، وَمَنْ قَلَّ وَرَعُهُ مَاتَ قَلْبُهُ، وَمَنْ مَاتَ قَلْبُهُ دَخَلَ النَّارَ. وَمَنْ نَظَرَ فِی عُیُوبِ النَّاسِ، فَأَنْکَرَهَا، ثُمَّ رَضِیَهَا لِنَفْسِهِ، فَذلِکَ الاْحْمَقُ بِعَیْنِهِ وَالْقَنَاعَهُ مَالٌ لاَ یَنْفَدُ. وَمَنْ أَکْثَرَ مِنْ ذِکْرِ الْمَوْتِ رَضِیَ مِنَ الدُّنْیَا بِالْیَسِیرِ، وَمَنْ عَلِمَ أَنَّ کَلاَمَهُ مِنْ عَمَلِهِ قَلَّ کَلاَمُهُ إِلاَّ فِیمَا یَعْنِیهِ قالعلیه السلم لِکُلِّ امْرِئٍ فِی مَالِهِ شَرِیکَانِ، الْوَارِثُ وَ الْحَوَادِث قال علیه السلام کُلُّ نَعِیمٍ دُونَ الْجَنَّهِ فَهُوَ مَحْقُورٌ، وَ کُلُّ بَلَاءٍ دُونَ النَّارِ عَافِیَهٌ کتبها علی رضا العباسی».

Yaqoubzadeh, H. & Hamzavi, Y. (2025). Characterization of Mortar and Colored Layers in the Inscription of Tomb of Amin-al-ddin Jibraeil in Kalkhuran, Ardebil. *Journal of research on Archaeometry, 11*(1), 418. DOI: 10.61882/jra.2025.11.108