

Structural Characterization of the Deterioration Factors of Stucco Decorations Ornaments from the Qaleh Zahhak Archaeological Site, and Proposed Conservation Strategies

Neda Khaleghi Sani¹ 

Type of Article: Research

Pp: 49-78

Received: 2025/07/14; Revised: 2025/10/23; Accepted: 2025/10/30

 <https://doi.org/10.66224/PJAS.1289.893.2>

Abstract

Zahhak Castle in Hashtrud, one of the prominent archaeological sites in northwestern Iran (East Azerbaijan Province), houses valuable stucco decorations. A portion of the artifacts recovered from excavations is preserved at the Zahhak Castle site museum, another portion in the storage of the Azerbaijan Museum in Tabriz, and a limited number in the museum's main gallery. These artifacts include animal, human, floral, and geometric motifs. The present study aimed to evaluate the crystalline structure, mineralogical composition, and the extent of structural degradation of the excavated stucco decorations, employing laboratory techniques including X-ray diffraction (XRD), field-emission scanning electron microscopy (FE-SEM), ion chromatography (IC), proximity, and monitoring of environmental conditions (temperature and humidity). To compare structural damage, samples from both the site museum and storage artifacts were selected and analyzed. Phase analysis results indicate that the main phases of the stucco decorations are gypsum ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) and quartz (SiO_2), with minor amounts of calcite (CaCO_3), albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$), anorthoclase ($\text{O}_8(\text{Si}_3\text{Al})(\text{Na},\text{K})$), and anorthite ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) also identified. According to IC results, the presence of harmful chloride and nitrate ions was detected at low and non-destructive levels. Crystallographic data suggest that structural alterations mainly occurred prior to excavation and during artifact burial. However, the high humidity conditions at the site museum and the lack of adequate conservation standards may accelerate deterioration processes. For optimal preservation, it is recommended that environmental temperature and humidity be continuously monitored and that standard display cases, along with periodic monitoring, be employed as effective conservation measures.

Keywords: Qaleh Zahhak Hashtrud, Stucco Decorations, XRD, Fe-SEM, Heritage Conservation.



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

Publisher: Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICTH).

Copyright © 2026 The Authors.
Published by Cultural Heritage and
Tourism Research Institute (RICTH).
This work is licensed under a
Creative Commons Attribution-
NonCommercial 4.0 International
license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>). Non-commercial
uses of the work are permitted, provided
the original work is properly cited.

© The Author(s)



1. Department of Archaeology, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

Email: ne.khaleghi@tabriziau.ac.ir

Citations: Khaleghi Sani, N., (2026). Structural Characterization of the Deterioration Factors of Stucco Decorations Ornaments from the Qaleh Zahhak Archaeological Site, and Proposed Conservation Strategies. *Parseh J. Archaeol. Stud.*, 10(36): 49-78. <https://doi.org/10.66224/PJAS.1289.893.2>

Homepage of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-1289-en.html>

Introduction

Excavations at the Zahhak Castle site in Hashtrood were conducted on a limited scale by Ghandgar and Rahmatpour between 2000 and 2007. During the excavations in the hall of the site (which is now the Zahhak Castle site-museum), a number of stucco decorations with various motifs—including plant, human, animal, and geometric designs, as well as pieces related to half-columns—were discovered. The stucco decorations obtained from the Zahhak Castle excavations are currently preserved in two collections: The Azerbaijan Museum in Tabriz and the Hashtrood Museum. These decorations include 47 pieces housed in the Azerbaijan Museum and a considerable number of stucco fragments of various sizes that remain at the site-museum. Of the 47 stucco pieces in the Azerbaijan Museum, five are displayed in the main galleries, while the remaining pieces are kept in the museum storage under relatively stable temperature and humidity conditions. The stucco works at the Zahhak Castle site are currently placed on the ground on a plastic sheet covered with excavation soil, and some pieces are kept in glass display cases and niches within the site-museum.

Considering the thermodynamic properties and crystal solubility of gypsum, along with the specific temperature and humidity conditions at Zahhak Castle during different seasons, it is not unexpected that these conditions may lead to particular changes in the structure of the excavated stucco decorations. This study aims to investigate these changes by comparing the microstructure of the stucco decorations at the Zahhak Castle site with those housed in the Azerbaijan Museum. The research examines these changes by analyzing the environmental parameters to which the pieces have been exposed, as well as considering the chemical composition of the gypsum used in the decorations and the ions present in the site environment. The processes that have caused—or may cause—the deterioration of these works will be evaluated. Ultimately, the study seeks to propose appropriate environmental conditions that would lead to the more sustainable preservation of these artifacts.

Therefore, the research questions are as follows: What types of damage have affected the stucco decorations at Zahhak Castle, and what are the causes of this damage? Additionally, what temperature and humidity conditions are most suitable for the proper preservation of the stucco decorations at the site?

Discussion

Site-museums encompass historical sites that have been excavated during various archaeological seasons. The primary purpose of creating such spaces is to present important archaeological findings and data derived from excavations. During excavations, some artifacts are preserved in situ by providing necessary conditions and facilities, and are made accessible to the public so that visitors can establish a direct connection with the context of the artifacts' creation and formation.

In site-museums, visitors can simultaneously observe both the artifacts and the historical site, while also witnessing ongoing archaeological activities as well as conservation and restoration operations ([Hassanzadeh, 2012: 378](#)). The quality of the museum's interior space is enhanced through the arrangement, organization, and structuring of its elements and forms, and it is designed with the aim of creating an attractive environment for tourists ([Azarbouye Dinki et al., 2018](#)).

Accordingly, the display cases at the Zahhak Castle site-museum (Fig. 1) are not suitable for the proper preservation of the stucco artifacts under study. These display cases should not only ensure protective security but also enable better exhibition of the artifacts. Currently, the artifacts are kept in glass display cases that allow visitors

to access the items by sliding the glass and, in some instances, even remove them from the cases.

The overall arrangement of visual elements is designed to prepare the viewer's mind to receive information. The artifacts inside the display cases are arranged in two rows, and visitors must sit to view the items on the lower level, which sometimes discourages them from observing these pieces. Additionally, the artifacts are presented without any information regarding their condition, year of discovery, or function, which generally renders them meaningless and of little cognitive value to visitors.

For designing an appropriate enclosure for the Zakhak Castle artifacts, it is recommended to consider the display case and communication spaces, the visual requirements of the environment, climatic conditions, lighting, materials and construction techniques, and security and protective systems (Fig. 2). In this regard, it is suggested that stucco artifacts of similar types be grouped in the same enclosure, accompanied by explanations regarding the excavation period, historical era, and probable function of each piece. Furthermore, the pieces should be categorized according to their design and motif and displayed in separate enclosures.

The primary factors for physical and chemical preservation in museums include the monitoring of temperature, relative humidity (RH), and fine particulate pollutants, and careful supervision of environmental conditions is of high importance ([Mansourzadeh & Hatami, 2017: 289–302](#); [Rahmani-Garmi, 2011: 62](#)). To control the environmental conditions at the site where excavated artifacts are housed, monitoring tools such as thermometers and hygrometers should be used. Additionally, the implementation of air conditioning, protective measures, and museum security systems is essential.

In the case of the Zakhak Castle site-museum, comprehensive preservation of the artifacts is particularly important because these items are part of a valuable historical heritage, and proper care and maintenance are necessary.

The main factors in the preservation of artifacts in museums include both physical preservation and protection against chemical agents ([Mansourzadeh & Hatami, 2017: 289–302](#)). Careful monitoring of environmental conditions, including temperature, relative humidity (RH), and fine particulate pollutants, is one of the most important measures for safeguarding collections ([Rahmani-Garmi, 2011: 62](#)). To control the environmental conditions where excavated artifacts are housed, the use of monitoring tools for temperature and relative humidity, such as hygrometers and thermometers, is essential.

Furthermore, the implementation of ventilation systems and comprehensive protective and security measures in the museum, especially at the Zakhak Castle site-museum, must be thoroughly considered, as the excavated artifacts are part of a valuable historical heritage and their preservation is essential.

Regarding the Zakhak Castle site-museum, since the site's temperature rarely reaches 40 °C—which typically does not cause phase transformations in gypsum—there is likely no significant concern about the deterioration of the stucco artifacts due to heat. Similarly, considering the low concentrations of chloride and nitrate ions in the stucco samples, the likelihood of phase transformations in the artifacts is also reduced. However, it is still recommended to maintain the temperature and relative humidity at approximately 20–25 °C and 40–50%, respectively, to prevent potential damage to these works.

To improve the storage conditions of the stucco artifacts in the Azerbaijan Museum's repository, it is necessary to use an automatic air ventilation system that operates several times a day at predetermined intervals to remove excess humidity from the storage

environment. Therefore, to monitor the temperature and humidity in the repository, the use of temperature and humidity data loggers is essential for recording and surveying environmental conditions, allowing precise control over storage parameters. Seasonal analysis of the data collected from the temperature and humidity data loggers, as well as air treatment systems, can help prevent damage to the stucco artifacts and minimize structural deterioration of the pieces.

Conclusion

This study demonstrates that the degradation processes have not significantly altered the structure of the stucco decorations at Zakhak Castle within the site-museum. Examination of the crystalline structure of these artifacts, both at the site-museum and at the East Azerbaijan Archaeology Museum, indicates that structural changes in the stucco were likely limited to the pre-excavation period, during the burial of the artifacts in soil, and that no substantial changes have occurred from the time of excavation (2003) to the present (2024).

Harmful anions, such as chloride and nitrate, are present only in minor amounts in the Zakhak Castle stucco, which slows down the processes of dissolution and recrystallization of the gypsum artifacts. Despite the anticipated lack of significant changes in the artifacts at the site-museum, it is recommended that these pieces be placed in standard display enclosures and maintained under stable temperature and humidity conditions to prolong their lifespan.

It is noteworthy that the stucco decorations at the site-museum generally lack distinctive designs or motifs, and most intact samples have been transferred to the repository of the East Azerbaijan Archaeology Museum. The primary reason for this transfer was the absence of a secure storage environment at the site-museum. It is expected that the installation of temperature and humidity data loggers, security equipment, and the use of standard display cases will improve the protective conditions of the site-museum.

Furthermore, the absence of specialized staff at the site-museum leads to confusion among visitors and the loss of opportunities to convey valuable information about the artifacts. Access to Zakhak Castle is only possible via challenging routes, which, combined with the lack of expert personnel, may reduce visitor motivation. It is therefore recommended that the artifacts be preserved near their original locations, with suitable conditions for display and protection. Similar artifacts should be kept in designated, separate enclosures from other types and displayed on shelves accompanied by complete information regarding their condition at the time of excavation and their probable function.

Acknowledgments

This research and study were conducted within the framework of the author's master's thesis at the Faculty of Conservation and Restoration, University of Art, Isfahan. The author sincerely acknowledges the support provided by this institution. Finally, the author wishes to express gratitude to their supervisor and colleagues for their guidance, discussions, and invaluable contributions throughout the various stages of this research.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

بررسی ساختاری عوامل آسیب‌رسان آرایه‌های گچی قلعه ضحاک هشتروند و ارائه راهکارهای حفاظتی

ندا خالقی‌ثانی^۱

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۷۸ - ۴۹

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۴/۲۳؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۰۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۰۹

شناسه دیجیتال (DOI): <https://doi.org/10.66224/PJAS.1289.893.2>

چکیده

قلعه ضحاک هشتروند، از جمله محوطه‌های باستانی شاخص در شمال غرب ایران (استان آذربایجان شرقی)، دارای تزئینات گچ‌بری ارزشمندی است. بخشی از آثار به دست آمده از کاوش، در محل سایت موزه مجموعه قلعه ضحاک، بخشی در مخزن موزه آذربایجان تبریز و تعداد محدودی در گالری اصلی موزه نگه‌داری می‌شود. آثار به دست آمده شامل نقوش: انسانی، حیوانی، گیاهی و هندسی است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی کیفیت ساختار بلوری، ترکیب کانی‌شناسی و بررسی میزان تخریب ساختاری تزئینات گچی است. مجموعه‌ای از مطالعات آزمایشگاهی از جمله پراش پرتو ایکس (XRD)، میکروسکوپ الکترونی روبشی (Fe-SEM)، کروماتوگرافی یونی (IC)، تخلخل‌سنجی و پایش شرایط محیطی دما و رطوبت را بر روی نمونه‌های هر دو محل (سایت موزه و مخزن موزه) انجام شده است. نتایج آنالیز فازی نشان می‌دهد؛ فاز اصلی و شاخص گچ‌بری‌ها ژئوپس (CaSO₄·2H₂O) و کوارتز (SiO₂) بوده، در ادامه فازهای کلسیت (CaCO₃)، آلبیت (NaAlSi₃O₈)، آنورتوکلاز ((Si₃Al)(Na,K) O₈) و فاز آنورتیت (CaAl₂Si₂O₈) نیز شناسایی شدند. طبق نتایج IC حضور یون‌های مخرب کلرید و نیترات در سطح پایین و غیرتخریبی تشخیص داده شده است. داده‌های بلورشناسی نشان می‌دهد؛ تغییرات ساختاری ایجاد شده متعلق به زمان پیش از کاوش و دفن آثار بوده، از زمان کاوش تاکنون تخریب ساختاری مشاهده نشده است. با این حال، شرایط بالای رطوبت سایت موزه و عدم وجود استانداردهای حفاظتی لازم به نظر می‌رسد فرایند آسیب تسریع یابد. پیشنهاد می‌شود با اصلاح شرایط دما، رطوبت و طراحی ویرین‌های استاندارد در کنار پایش دوره‌ای، به عنوان راهکار حفاظتی مؤثر مدنظر قرار گیرد.

کلیدواژگان: قلعه ضحاک هشتروند، تزئینات گچی، XRD، Fe-SEM، حفاظت آثار تاریخی.



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

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

© حق انتشار این مستند، متعلق به نویسنده(گان) آن است. ۱۴۰۵ ناشر این مقاله، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری است. این مقاله تحت گواهی زیر منتشر شده و هر نوع استفاده غیرتجاری از آن مشروط بر استناد صحیح به مقاله و با رعایت شرایط مندرج در آدرس زیر مجاز است.

Creative Commons Attribution-Non-Commercial 4.0 International license
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

© The Author(s)



۱. گروه باستان‌شناسی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

Email: ne.khaleghi@tabriziau.ac.ir

ارجاع به مقاله: خالقی‌ثانی، ندا، (۱۴۰۵). بررسی ساختاری عوامل آسیب‌رسان آرایه‌های گچی قلعه ضحاک هشتروند و ارائه راهکارهای حفاظتی. مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۱۰ (۳۶): ۷۸-۴۹. <https://doi.org/10.66224/PJAS.1289.893.2>
صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-1289-fa.html>

مقدمه

کاوش محوطه قلعه ضحاک هشتروند توسط «قندگر» و «رحمت‌پور» در سال‌های ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۶ ه.ش. به صورت محدودی انجام شده است. طی کاوش‌های صورت گرفته در تالار محوطه (که اکنون سایت موزه قلعه ضحاک است)، تعدادی آرایه‌های گچ‌بری با اشکال مختلف از جمله نقوش: انسانی، حیوانی، گیاهی، هندسی و قطعاتی نیز مربوط به نیم‌ستون‌ها یافت شده است. آرایه‌های به دست آمده از کاوش محوطه در دو مجموعه موزه آذربایجان تبریز و سایت موزه قلعه ضحاک هشتروند نگه‌داری می‌شوند. این آرایه‌ها شامل ۴۷ قطعه محفوظ در موزه آذربایجان و تعداد قابل توجهی قطعات در ابعاد مختلف گچ‌بری در سایت موزه محوطه قرار دارد. از ۴۷ قطعه گچ‌بری موجود در موزه آذربایجان، ۵ قطعه در گالری‌های اصلی موزه به نمایش گذاشته شده و بقیه قطعات در مخزن موزه با دما و رطوبت تقریباً ثابت نگه‌داری می‌شوند. آثار گچ‌بری موجود در محوطه قلعه ضحاک هم‌اکنون بر روی زمین و بر روی نایلونی که سطح آن را با خاک کاوش پوشانده‌اند، قرار داده شده و تعدادی از قطعات گچ‌بری نیز داخل ویتترین‌های شیشه‌ای و طاقچه سایت موزه نگه‌داری می‌شود. باتوجه به خصوصیات ترمودینامیکی و ضریب حرارتی بلوری گچ از یک سو و ازسوی دیگر به شرایط ویژه دمایی و رطوبتی محوطه قلعه ضحاک در فصول مختلف سال، دور از انتظار نیست که این شرایط منجر به تغییرات ویژه‌ای در ساختار گچ‌بری‌های به دست آمده از محوطه باشد. این پژوهش در نظر دارد تا با مقایسه ریزساختار تزئینات گچی موجود در محوطه قلعه ضحاک با تزئینات گچی همین محوطه که در موزه آذربایجان قرار دارد، کیفیت این تغییرات را مطالعه و با تکیه بر داده‌ها و پارامترهای محیطی که این قطعات گچ‌بری در آن قرار گرفته‌اند و همچنین با در نظر گرفتن ترکیب شیمیایی گچ مورد استفاده در گچ‌بری‌ها و یون‌های موجود در محوطه قرارگیری این آثار فرآیندهایی که منجر به تخریب آن‌ها شده یا خواهد شد را بررسی نماید. در نهایت انتظار می‌رود شرایط محیطی مناسب که به حفظ پایدارتر این آثار منجر شود ارائه گردد.

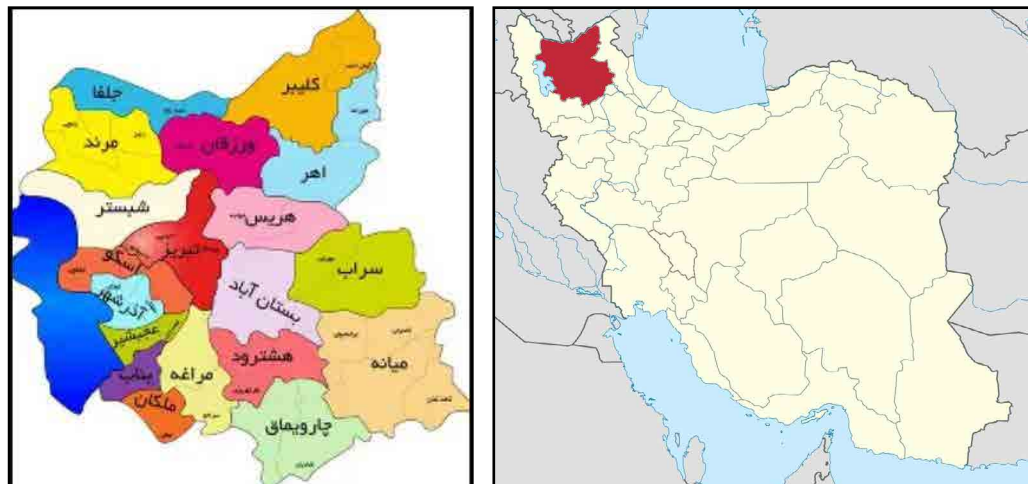
پرسش‌های پژوهش: پرسش‌های پژوهش عبارتند از: آسیب‌های وارد بر تزئینات گچ‌بری موجود در محل قلعه ضحاک کدام هستند و علت بروز این آسیب‌ها چیست؟ و شرایط دمایی و رطوبتی برای نگه‌داری مناسب تزئینات گچ‌بری موجود در محل قلعه ضحاک کدام هستند؟

مطالعات تاریخی و باستان‌شناسی

قلعه ضحاک در ارتفاعات کوه سرمه‌لو (عمرانی و رحمت‌پور، ۱۳۸۷: ۸۴) در فاصله ۱۵ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان هشتروند (شکل ۱) در استان آذربایجان شرقی واقع شده است (دهقان، ۱۳۸۹). این قلعه در مجاورت دو رودخانه از میان هشت رودخانه شاخص منطقه هشتروند قرار گرفته است (دهقان، ۱۳۸۹). به عقیده کارشناسان میراث فرهنگی در دوره‌های هخامنشی، اشکانی، ساسانی و حتی بعد از اسلام، در زمان اسماعیلیه این قلعه و منطقه اطراف آن علاوه بر جنبه دفاعی و مقر نیروهای ارتش، محل سکونت مردم نیز بوده است (دهقان، ۱۳۸۹). آثار به جامانده بر سطح تپه غالباً به دوره اشکانیان تعلق دارد که اوج شکوفایی محوطه محسوب می‌شود (عمرانی و رحمت‌پور، ۱۳۸۷: ۸۴).

از سال ۱۸۳۰ تا ۱۹۷۱ م. چندین باستان‌شناس انگلیسی، آلمانی و ایرانی از این مجموعه بازدید و گزارش کرده‌اند (ملازاده و محمدی، ۱۳۸۵: ۳۰). تنها بنای خارج از خاک و تقریباً سالم این محوطه بنای چهارطاقی (شکل ۲) است؛ باتوجه به نوع معماری و تزئینات، آن را به دوره اشکانی منسوب می‌کنند (عمرانی و رحمت‌پور، ۱۳۸۷: ۸۴).

طبق گزارش کاوش «قندگر» (۱۳۸۲) تالار قلعه ضحاک در فصل دوم کاوش انجام شده است (شکل ۲-۳). طی این کاوش با تخریب گچ‌بری‌ها مواجه شده‌اند که هیچ‌کدام از این قطعات



شکل ۱: نقشه جغرافیایی هشترود (https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Qji8urt8oyPIZDG-swNGcp_MJQKH9KIbhaA&s)

Fig. 1. Geographical map of Hashtrud (https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQ0Qji8urt8oyPIZDG-swNGcp_MJQKH9KIbhaA&s)



شکل ۲: قلعه ضحاک هشترود در آذربایجان شرقی، (اطلس تاریخ ایران).

Fig. 2: Zahhak Castle located in Hashtrud, East Azerbaijan Province (Atlas of the History of Iran).

طی عوامل محیطی و یا انسانی در محل اصلی خود قرار نداشته و تمامی الحاقات گچ‌بری از بنا (تالار) جدا شده بوده‌اند (شکل ۳). نحوه آجرچینی تالار دقیقاً همانند آجرچینی چهارطاقی اجرا شده که فاصله بین چهارطاقی و تالار ۳۰ متر بوده و اصل قرینه‌سازی در این بنا به وضوح دیده می‌شود (قندگر، ۱۳۸۲: ۱۲۳) بقایای تالار مربعی شکل با چهار ورودی در چهار جهت اصلی و راهروهای جانبی، همراه با مصالح آجر، گچ و کف تالار دارای اندود گچی بوده است (رحمت‌پور و عمرانی، ۱۳۸۷: ۸۹).

این مجموعه از داخل ترانسه B2, B3, B4, C2, C3, C4, D3, D4 (شکل ۵) در محوطه‌ای که معماری آن کاملاً بر روی صخره احداث شده به دست آمده است (قندگر، ۱۳۸۲: ۱۲۳).

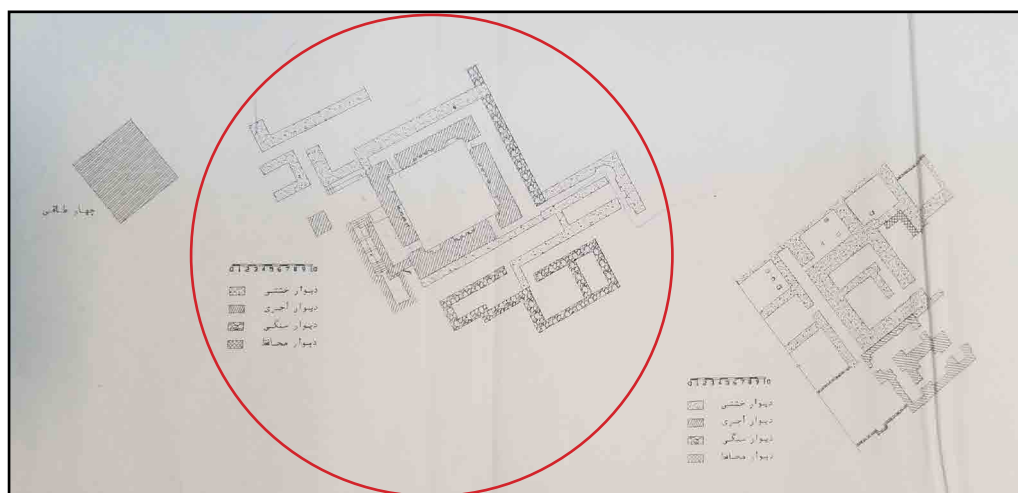
پیشینه مطالعات آزمایشگاهی: با مروری بر ادبیات مرتبط با حوزه گچ، می‌توان پژوهش‌های انجام شده را به چهار گروه اصلی: هیدراسیون و تبلور گچ، شناسایی فازهای مختلف گچ، کریستالوگرافی و مطالعات کانی‌شناسی تقسیم کرد (اصلانی و صالحی‌کاخی، ۱۳۹۰). مطالعه یون‌های موجود در ملاط‌های گچی نشان داده، این یون‌ها می‌توانند بر شکل و اندازه بلورهای گچ تأثیر بگذارند (Mahmoud et al., 2004). همچنین با کاهش نسبت آب



شکل ۳: موقعیت قرارگیری سایت موزه (تالار) در کنار پابیون (چهارطاقی)، (نگارنده، ۱۴۰۲).
Fig. 3. Location of the site museum (hall) adjacent to the pavilion (chahartaqi) (Author, 2023).



شکل ۴: محل نگه‌داری از گچ‌بری‌های به‌دست‌آمده در طی کاوش (نگارنده، ۱۴۰۱).
Fig. 4: Storage location of stucco decorations recovered during the excavation (Author, 2022).



شکل ۵: پلان سایت موزه قلعه ضحاک، (گزارش کاوش قلعه ضحاک، قدنگر، ۱۳۸۲).
Fig. 5: Site museum plan of Zakhak Castle (Excavation Report of Zakhak Castle, Ghandgar, 2003).

به گچ استحکام یک ملاط گچی افزایش یافته، درحقیقت مقدار آب در تشکیل یک ملاط گچی نقش مهمی ایفا می‌کند. با مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی می‌توان ریزساختار گچ، استحکام و شکل بلورهای گچ را مقایسه کرد (Williamson & Lewry, 1994). بررسی ریزساختار ملاط‌های اهرام ثلاثه مصر توسط میکروسکوپ نوری، الکترونی و پراش اشعه ایکس نشان داده؛ این ملاط‌ها از ماتریس رسی متخلخل با سنگ‌دانه‌های گچ و کوارتز، کلسیت و هالیت

تشکیل شده و این ملاط‌ها با تبدیل آهسته انیدریت-گچ و حضور هالیت در داخل هرم درحال تخریب است (Regourd *et al.*, 1988).

پژوهشی در جهت شناسایی خصوصیات کانی‌شناسی ملاط‌های تاریخی انجام شده که برای تحلیل نمونه‌ها از روش‌های پراش اشعه ایکس (XRD)، میکروسکوپ نوری، میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، تجزیه حرارتی و مادون قرمز استفاده است. این پژوهش نشان داده، آماده‌سازی نمونه‌ها جهت مطالعه فرآیندهای تخریب آن‌ها مهم است (Middendorf *et al.*, 2005). پژوهشی در راستای مطالعات ساختار و ساختمان گچ با پرکننده‌های متفاوت با بهره‌گیری از SEM، XRD و تخلخل‌سنجی، خواص مکانیکی، حرارتی و رطوبتی را نشان داده، نوع و کیفیت سطح مواد پرکننده به طور قابل توجهی بر شکل و اندازه بلورهای گچ تأثیرگذار است. این مطالعه نشان داده، بلورهای بزرگ گچ در ملاط مقاومت آن را افزایش داده و ملاط با پرکننده رسی دارای بالاترین استحکام است (Doleželová *et al.*, 2021). مطالعات دیگری نیز در حوزه شناسایی ملاط‌های گچی با روش‌های آزمایشگاهی صورت گرفته است (به عنوان مثال ن. ک. به: Pritzel *et al.*, 2022; Bartz & Filar, 2010; Blaeuer & Kueng, 2007). در جهت بررسی غلظت یون‌های موجود و تجزیه و تحلیل مقایسه‌ای اسیدهای آلی واقع در سطح سنگ‌های ساختمانی طبیعی از کروماتوگرافی مایع و گاز استفاده شده است (Schröder *et al.*, 1990). طی بررسی انواع مختلف ملاط‌های آبی تاریخی در مکان‌های جغرافیایی مختلف ایتالیا، اسپانیا و بلژیک نوع، میزان تخریب و ویژگی نمونه‌ها توسط میکروسکوپ نوری (OM)، XRD، میکروسکوپ الکترونی روبشی و کروماتوگرافی یونی (IC) انجام شده است (Sabbioni *et al.*, 2001).

مطالعاتی دیگری نیز بر روی پایداری و فرآیندهای آسیب ملاط‌های گچی انجام شده است. «ماهیار» و همکاران (۱۴۰۰) با داده‌های آماری و کمی به دست آمده تحلیل‌های لازم از جمله آنالیز گچ خام محل، آنالیز ملاط تاریخی و آنالیز ملاط جدید را بررسی کرده است. شیوه اجرای آرایه‌های گچی قالبی بنای تاریخی دوره قاجار شهر یزد، با تکیه بر مطالعه موردی تزئینات محراب شبستان شاهزاده در مسجد جامع کبیر مورد بررسی قرار گرفته؛ در این پژوهش برای بررسی سطح نمونه‌ها از میکروسکوپ نوری و لوپ دیجیتال، جهت شناسایی عناصر تشکیل دهنده از روش EDS، برای شناسایی ماده معدنی در ترکیب با گچ از XRD، برای شناسایی مواد آلی احتمالی ترکیب شده با گچ استفاده از شیمی تر و FTIR، جهت بررسی ساختار بلوری از SEM استفاده شده است (اصلائی و همکاران، ۱۳۹۱). در راستای تحلیل‌های بلورشناسی و کاربرد آن در تحلیل ساختارهای گچی سه نمونه تاریخی از کوه سیستان، قلعه الموت قزوین و شادیاخ نیشابور با SEM-EDX، XRD و تست سوختن مورد بررسی قرار گرفته است. «میش مست‌نهی» (۱۳۹۴) در این پژوهش نشان داده، بررسی هم‌نشینی بلورهای گچ می‌تواند به تشریح فرآیندهای ساخت و آسیب ملاط‌های گچی کمک کند. در پژوهشی دیگر مطالعات ساختارشناسی و فن‌شناسی انجام گرفته با کمک XRF، XRD و SEM-EDS نشان می‌دهد فرسایش ناشی از رطوبت و نمک‌های محلول می‌تواند بر روی ساختار بلورین ملاط‌های گچی تأثیر قابل توجهی بگذارد (حمزوی، ۱۴۰۰). «حمزوی» و همکاران (۱۴۰۰) نیز مدرسه (کاروانسرا) گنجعلی خان کرمان را به وسیله آنالیز FTIR و SEM-EDS فازهای اصلی ژئوپس و انیدریت شناسایی شده است.

پیشینه مطالعات سایت موزه: کلمه موزه به اصل یونانی “Muse” «موز» ها برمی‌گردد؛ الهه‌های شعر، هنر، فرهنگ و نه دختری هستند. از این‌رو، ازدواج «منه موزینه» (الهه خاطر، ذاکره و یاد) با «ژئوس» متولد شده‌اند و Menemusine کلمه‌ای ست، لفظ “Memory” انگلیسی از آن گرفته شده است (رضایی‌مهوار، ۱۳۹۲). موزه‌ها به عنوان یکی از نهادهای فرهنگی و اجتماعی، از مظاهر عصر حاضر، نقش مهمی در حفظ و نگه‌داری از سرمایه‌های بشری دارد. ارائه و نمایش آثار، عامل نزدیکی

اندیشه‌های بشری در گذشته و حال را برعهده دارند (میرزایی و خلیج، ۱۳۸۳). شورای بین‌المللی موزه‌ها که به «ایکوم» معروف بوده و وابسته به سازمان جهانی یونسکو است، هدف موزه‌ها را چنین بیان می‌کند: هدف موزه عبارت است از گردآوری، نگه‌داری، مطالعه و تحقیق و همچنین به نمایش گذاشتن عناصر و نشانه‌های فرهنگی و مواهب و نعمات طبیعی به‌منظور آموزش، پژوهش و ارزش دادن به این مجموعه‌ها لذت بردن از آن‌ها است (کریمی، ۱۳۷۱). موضوعات گوناگونی دست‌مایه موزه‌ها است و باتوجه به شکل ارائه به‌صورت‌های مختلف ایجاد می‌شود. یکی از این نوع موزه‌ها، سایت موزه است؛ چراکه در محیط‌های باز و محوطه‌های تاریخی و فرهنگی اجرا می‌شود (میرزایی و خلیج، ۱۳۸۳). به‌طور خلاصه بهترین موزه‌ها و اماکن نمایشگاهی، مکان‌هایی هستند که خود در وهله اول، یک مکان تماشایی هنری محسوب می‌شوند (صالحی، ۱۳۸۳). هدف نخست از ایجاد سایت موزه‌ها حفاظت از محوطه‌های تاریخی است (میرزایی و خلیج، ۱۳۸۳).

زمانی که یک کاوش باستان‌شناختی به نتایج مطلوب و کشف آثار ارزشمند غیرمنقول می‌انجامد با فراهم‌آوردن شرایط و امکانات لازم، مکان موردنظر را برای بازدید عموم مهیا می‌کنند (منصورزاده و حاتمی، ۱۳۹۶: ۲۱۰). در سایت موزه‌ها بازدیدکنندگان از یک محوطه تاریخی قادر خواهند بود تا سوابق کاوش‌ها اشیای تاریخی کشف‌شده در جریان فعالیت‌های باستان‌شناسی و اطلاعات لازم درخصوص تاریخچه و ساختار آثار موجود در محوطه را در جریان بازدید خود از آن به‌دست آورند. سایت موزه‌ها به معرفی یافته‌ها و داده‌های مهم باستان‌شناسی می‌پردازند. زمانی که یک کاوش علمی باستان‌شناسی منجر به نتایج مطلوب و کشف آثار ارزشمند غیرمنقول می‌شود و قابل انتقال به موزه‌ها نیست، با فراهم‌آوردن شرایط و امکانات لازم، مکان موردنظر را جهت بازدید عموم مهیا می‌نمایند. این امر در اصطلاح به موزه فضای باز مشهور است (میرزایی و خلیج، ۱۳۸۳).

روش پژوهش

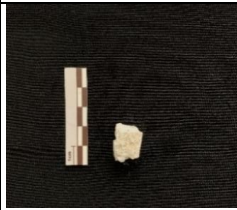
در راستای پیش‌برد پژوهش روش‌های به‌کاربرده شده در جهت آسیب‌شناسی و فن‌شناسی ساختار گچ شرح و در ادامه به مطالعات میدانی، کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی تقسیم‌بندی شده است.

معرفی قطعات گچ‌بری انتخاب‌شده: نمونه‌های مورد مطالعه در سال ۱۳۸۲ ه.ش. توسط گروه کاوش به‌دست‌آمده، آثار کاوش شده در دو محیط جداگانه نگه‌داری می‌شوند. از بین آثار ۴۷ قطعه به مخزن موزه آذربایجان انتقال داده شده که از این تعداد ۷ نمونه (جدول ۱) جهت نمونه‌برداری انتخاب شدند. هرکدام از این آثار دارای شناسنامه و شماره ثبت هستند. دیگر قطعات گچ‌بری در محل (سایت موزه) (جدول ۲) نگه‌داری می‌شوند. در جهت پیش‌برد پژوهش تصمیم بر این شده، قطعات مشابه موزه و سایت موزه انتخاب و از هرکدام نمونه‌برداری شود. از بین

جدول ۱: معرفی کدهای نمونه‌های انتخاب‌شده در موزه (نگارنده، ۱۴۰۴).

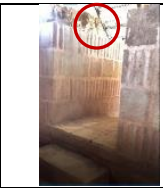
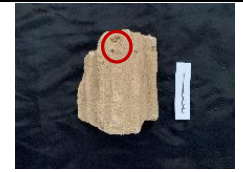
Table 1. Identification codes of the selected samples in the museum (Author, 2025).

تصویر نمونه	کد نمونه	تاریخ انجام شده
	M.8230	SEM-EDS XRD
	M.8322	XRD
	M.8219	XRD
	M.8243	XRD

			-	تصویر نمونه
M.8232	M.8320	M.M	-	کد
SEM-EDS XRD	XRD	XRD تخلخل سنجی کروماتوگرافی یونی	-	آنالیز انجام شده

جدول ۲: معرفی کدهای^۲ نمونه‌های انتخاب شده در سایت موزه (نگارنده، ۱۴۰۴).

Fig. 2: Codes of the samples selected from the Site-Museum of Zahhak Castle (Author, 2025).

				تصویر نمونه
H.So	H.Si	H.p	H.1p	کد
XRD کروماتوگرافی یونی	XRD کروماتوگرافی یونی	XRD تخلخل سنجی کروماتوگرافی یونی	XRD تخلخل سنجی	آنالیز انجام شده
				تصویر نمونه
H.2s	H.3p	H.3s	H.4p	کد
XRD تخلخل سنجی	XRD تخلخل سنجی کروماتوگرافی یونی	XRD تخلخل سنجی	SEM-EDS XRD تخلخل سنجی	آنالیز انجام شده
				تصویر نمونه
H.4s	H.5p	H.5s	H.6p	کد
XRD تخلخل سنجی	XRD تخلخل سنجی	XRD تخلخل سنجی	XRD تخلخل سنجی	آنالیز انجام شده
				تصویر نمونه
H.6s	H.7p	H.7s	H.8	کد
XRD تخلخل سنجی	XRD تخلخل سنجی	SEM-EDS XRD تخلخل سنجی کروماتوگرافی یونی	XRD تخلخل سنجی کروماتوگرافی یونی	آنالیز انجام شده

قطعات گچ‌بری موجود در موزه باستان‌شناسی تبریز ۷ قطعه و از سایت موزه ۱۶ قطعه جهت مطالعه انتخاب و نمونه برداری انجام شده است.

به منظور شناسایی فازهای موجود در نمونه‌های به دست آمده از سایت موزه قلعه ضحاک و مخزن موزه آذربایجان، آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) انجام شد. در ادامه، به منظور بررسی دقیق ساختار بلورهای گچ، دو نمونه (سطح و پشت اثر) از سایت موزه و دو نمونه (سطح و پشت اثر) از مخزن موزه آذربایجان انتخاب گردید تا با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) میزان انحلال بلورها بررسی شود. همچنین برای مقایسه اندازه بلورها، یک نمونه از ملات گچی مرمتی به کاررفته در مرمت این قطعات که پس از انتقال آثار از محل کاوش به موزه صورت گرفته بود، مورد مطالعه قرار گرفت.

در راستای شناسایی یون‌های مخرب، از قطعات گچ‌بری موجود در کف سایت موزه، داخل ویتترین، خاک محوطه و خاک کاوش شده، نمونه برداری انجام گرفت تا میزان یون‌های مخرب همچون کلر و نیترات مشخص شود. همچنین آزمایش تخلخل سنجی برای تمامی نمونه‌ها انجام شد، به استثنای نمونه‌هایی که در زمان برداشت به صورت پودری بودند یا پیش‌تر به حالت پودر درآمده بودند.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (Fe-SEM): آنالیز نمونه‌های ملاط توسط میکروسکوپ الکترونی در دانشگاه صنعتی اصفهان (آزمایشگاه مرکزی دانشگاه) با دستگاه FEI ساخت QUANTA FEG-450 مطالعه شدند. جهت تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی، اندازه‌گیری مساحت و اندازه بلورهای ژئوپس در جهات مختلف از نرم‌افزار ImageJ استفاده گردید.

پراش پرتو ایکس XRD: روشی برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد به منظور شناسایی کیفی ترکیبات مورد استفاده قرار گرفت. الگوهای پراش با یک دستگاه D8 Advance ساخت شرکت Bruker و با تیوب مسی (Cu) و اندازه حرکت (step size) برابر با ۰٫۰۲ درجه در ثانیه در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان ثبت شد. برای تحلیل الگوهای پراش نمونه‌ها از نرم‌افزار High Score Plus و الگوهای مرجع موجود در پایگاه‌های داده ICDD و COD استفاده گردید.

کروماتوگرافی یونی IC: از روش کروماتوگرافی یونی برای شناسایی آنیون‌های موجود در نمونه‌ها استفاده شد. این آنالیز در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تبریز با استفاده از دستگاه IC، مدل M930، ساخت شرکت Metrohm انجام گردید.

اندازه‌گیری کمی آنیون کلرید به روش مور: میزان یون کلرید موجود در نمونه‌ها به روش مور در دانشگاه هنر اصفهان اندازه‌گیری گردید.

چگالی ظاهری: چگالی ظاهری نمونه‌ها تابعی از منافذ، درزها و شکاف‌ها موجود در نمونه‌ها است؛ هدف از انجام آزمون تخلخل سنجی، تعیین جرم واحد حجم و درصد حجمی فضاهای خالی در نمونه مورد مطالعه است. چگالی نسبی دانه‌ای کانی ژئوپس بین ۲/۴ الی ۲/۳ g/cm^۳ متغیر است.

$$\text{چگالی ظاهری} = \frac{\text{وزن خشک نمونه}}{(\text{وزن آب پیکنومتر} - \text{نمونه} + \text{آب}) + (\text{وزن نمونه بعد از آون})}$$

تخلخل (n): تخلخل عبارت است از نسبت حجم منافذ به حجم کل نمونه که به صورت درصد بیان می‌شود.

$$n(\text{تخلخل}) = \frac{(Vv)}{(V)} * 100$$

اندازه‌گیری میزان رطوبت سطحی نمونه‌ها: منظور از درصد رطوبت، نسبت وزن آب موجود در منافذ نمونه به وزن نمونه کاملاً خشک شده است که برحسب درصد بیان می‌شود.

$$\text{لوبت} = \frac{\text{وزن ثانویه} - \text{وزن اولیه}}{\text{وزن اولیه}} \times 100$$

پایش دما و رطوبت موزه باستان‌شناسی آذربایجان شرقی: پایش دما و رطوبت نسبی محیط مخزن موزه توسط دیتالاگر دیجیتالی دما و رطوبت از نوع سم‌پرتابل، مدل DT-172TK انجام شد. این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری دما در محدوده ۴۰- تا ۷۰ درجه سانتی‌گراد را دارا است.

نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات آزمایشگاهی

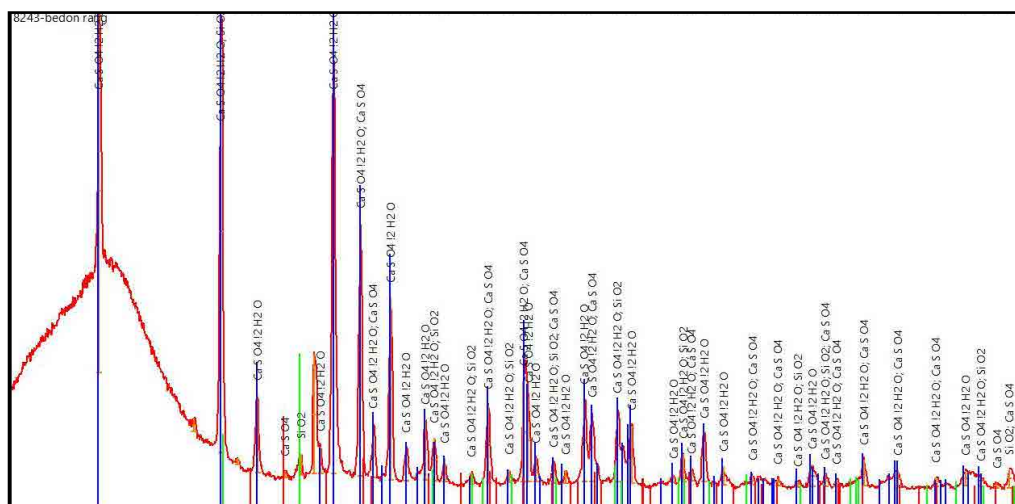
پراش پرتو ایکس XRD: طبق جدول (۳)، فاز مشترک میان تمامی نمونه‌ها، ژپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) است که نشان دهنده گچ بودن نمونه‌های انتخاب شده است. همچنین کانی کوارتز (SiO_2) در همه نمونه‌ها به‌جز H.1p، M.8322، M.8230 و H.4p شناسایی شد. الگوهای پراش همچنین حضور فاز کلسیت (CaCO_3) را در تعداد قابل توجهی از نمونه‌های آثار گچ‌بری سایت موزه قلعه ضحاک نشان داد. علاوه بر این فازها، مقادیر بسیار کمی از فاز آنورتوکلاز ($(\text{O}_8)(\text{Si}_3\text{Al})(\text{Na},\text{K})$)، آلبیت ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) و آنورتیت ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) به صورت ناخالصی در نمونه‌ها شناسایی شد.

جدول ۳: داده‌های تجزیه کیفی الگوهای پراش نمونه‌ها (نگارنده، ۱۴۰۴).

Table 3: Qualitative analysis data of the diffraction patterns of the samples (Author, 2025).

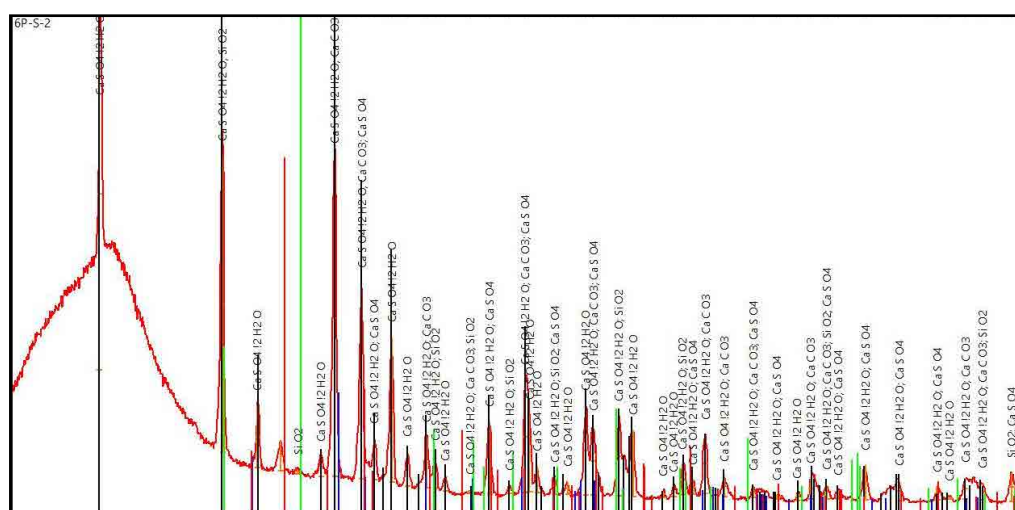
کد نمونه‌ها	فازهای تشخیص داده‌شده					
	ژپس	کوارتز	آنورتوکلاز	آلبیت	آنورتیت	کلسیت
M.8230	√	---	---	---	---	---
M.M	√	√	---	---	---	---
M.8243	√	√	---	---	---	---
M.8232	√	√	---	---	---	---
M.8322	√	----	---	---	----	---
M.8320	√	√	---	---	---	---
M.8219	√	√	---	---	---	---
H.So	√	√	---	√	---	√
H.Si	√	√	---	---	√	---
H.p	√	√	√	---	---	---
H.1p	√	---	---	---	---	---
H.2s	√	√	---	---	---	√
H.3p	√	√	---	---	---	---
H.3s	√	√	---	---	---	---
H.4p	√	---	---	---	√	---
H.4s	√	√	---	---	√	---
H.5p	√	√	---	---	---	---
H.5s	√	√	---	---	---	√
H.6p	√	√	---	---	---	---
H.6s	√	√	---	---	---	√
H.7p	√	√	---	---	---	---
H.7s	√	√	---	---	---	√
H.8	√	√	---	---	---	---

باتوجه به اهمیت تبادلات فازی در تخریب آثار گچی، تبدیل گچ به انیدریت نقش مؤثری در فرآیند تخریب ایفا می‌کند (Kamel 2019؛ اصلانی و همکاران، ۱۳۹۱). نکته قابل توجه آن است که الگوهای پراش نمونه‌ها نشان داد نمونه‌های M.8243 و H.6p حاوی مقادیر بسیار اندک فاز انیدریت (شکل ۶ و ۷) هستند. باتوجه به رطوبت نسبی بالای منطقه، تشکیل این فاز می‌تواند به فرآیند ساخت گچ در کوره مربوط باشد. این نوع انیدریت احتمالاً از نوع سوم (انیدریت III) است که در دماهای بالا تشکیل شده و در حضور رطوبت به ژپس تبدیل نمی‌شود. افزایش موضعی دما در برخی نقاط کوره می‌تواند دلیل تشکیل ترجیحی این فاز باشد؛ با این حال، عدم حضور انیدریت در نمونه‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که تبادلات فازی ژپس به انیدریت پس از اجرای گچ‌بری‌ها در آثار قلعه ضحاک رخ نداده است. همچنین عدم حضور قابل توجه یون کلرید جدول (۳) و دمای محیطی که گچ‌بری‌ها در آن نگه‌داری می‌شوند این ادعا را تأیید می‌کند (برای جزئیات بیشتر به داده‌های آزمایشگاهی مراجعه شود).



شکل ۶: الگو پراش نمونه M.8243 مربوط به نمونه موجود در مخزن موزه آذربایجان (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 6: X-ray diffraction pattern of sample M.8243 from the Azerbaijan Museum storage (Author, 2022).



شکل ۷: الگو پراش نمونه H.6p مربوط به نمونه موجود در سایت موزه قلعه ضحاک هشترو (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 7: X-ray diffraction pattern of sample H.6p from the Zakhak Castle Site-Museum, Hashtrud (Author, 2022).

- اندازه‌گیری یون‌های موجود در آرایه‌های گچی: طبق جدول (۴)، بیشترین میزان یون کلرید در میان نمونه‌های مورد مطالعه مربوط به نمونه H.8 است. این نمونه مربوط به اثری است که بر روی نایلون سطح زمین (کف) سایت موزه قرار دارد. کمترین میزان یون کلرید مربوط به نمونه H.So (خاک منطقه) است. میزان یون کلرید ملاط سازه اصلی (H.p) نسبت به گچ‌بری‌ها دارای میزان کمتری است. همچنین خاک منطقه (H.So) نسبت به خاک کاوش شده (H.Si) که بر روی کف سایت موزه قرار گرفته و یک‌سری آثار بر روی آن هستند دارای میزان بالاتری یون کلرید است. نمونه‌های آثار داخل ویتترین میزان یون کلرید کمتری را نسبت به نمونه روی زمین دارد. در رابطه با یون نیتрат کمترین میزان مربوط به خاک منطقه (H.So) و بیشترین میزان مربوط به اثری است که بر روی کف سایت موزه (H.8) قرار دارد. در بین نمونه‌های گچ‌بری‌ها، نمونه H.7s دارای کمترین میزان و نمونه H.8 دارای بیشترین میزان یون نیترات است؛ به‌طور کلی، همان‌طور که جدول (۵) نشان می‌دهد مقادیر قابل توجهی از یون‌های نیترات و کلرید در نمونه‌ها مشاهده نشد. یون نیترات می‌تواند از طریق خاک وارد ساختار بلورهای گچ شود و باعث افزایش میزان حلالیت گچ در حضور رطوبت، باعث افزایش انحلال بلورها گردد. معمولاً وجود یون نیترات در نزدیکی زمین‌های کشاورزی یا قبور قدیمی مشاهده می‌شود (اصلانی، ۱۳۹۱؛ ۳۳۹؛ Lawrence & Hardie, 1967؛ حمزوی، ۱۳۸۸؛ ۶۶). به جز میزان آنیون نیترات که بر روی حلالیت بلورهای ژپیس تأثیر می‌گذارد (ن.ک. جدول ۵)،

جدول ۴: میزان یون کلرید در نمونه‌ها با دو روش اندازه‌گیری (مقادیر به ppm) (نگارنده، ۱۴۰۱).

Table 4: Chloride ion content in samples by two measurement methods (values in ppm) (Author, 2022).

نمونه	روش مور	کروماتوگرافی یونی
H.8	888	915
M.M	621	339
H.7s	555	719
H.3p	462	516
H.Si	444	511
H.p	195	109
H.So	107	48

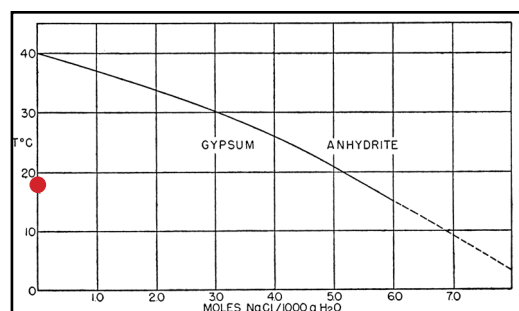
جدول ۵: میزان یون نیترات در نمونه‌ها (مقادیر به ppm) (نگارنده، ۱۴۰۱).

Table 5: Nitrate ion content in samples (values in ppm) (Author, 2022).

نمونه	کروماتوگرافی یونی
H.8	65
M. M	629
H.7s	2637
H.3p	1997
H.Si	1868
H.p	966
H.So	3439

حضور آنیون کلرید نیز می‌تواند موجب تخریب در آثار گچی شود. حضور یون کلرید از آن جهت مورد توجه است که این یون می‌تواند باعث تخریب در ساختار گچ و تشکیل فاز انیدریت شود؛ درواقع، یون کلرید تأثیر مخرب بسیاری نسبت به دیگر یون‌ها دارد؛ زیرا رطوبت محیط را جذب کرده و ساختار بلوری گچ را تغییر می‌دهد (Seidell & Smith 2002; Charola 2000)؛ درواقع، همان‌طور که شکل (۸) نشان می‌دهد، در غلظت‌های بالای نمک، تبدیل ژپیس به انیدریت

حتی در دماهای زیر ۴۰ درجه سانتی‌گراد نیز می‌تواند اتفاق افتد. باتوجه به میزان یون کلرید در نمونه‌های گچ‌بری جدول (۴) که به‌طور میانگین حدود ۴۵۰ ppm است و میانگین دمای هوا در محوطه قلعه ضحاک، شاید نتوان این میزان از یون کلرید را دارای نقش اساسی در تخریب آثار گچ‌بری قلعه ضحاک تشخیص داد.



شکل ۸: بستگی دمای تبدیل ژپس به انیدریت با توجه به میزان یون کلرید (MacDonald, 1953). (میانگین میزان یون کلرید در گچ‌بری‌های مورد بررسی بارنگ قرمز در نمودار نشان داده شده است)، (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 8: Dependence of the temperature of gypsum conversion to anhydrite with respect to the amount of chloride ions (MacDonald, 1953), (The average amount of chloride ions in the studied gypsums is shown in red in the diagram (Author, 2022).

درصد رطوبت و میزان چگالی ظاهری نمونه‌ها: درحالی‌که میزان رطوبت جذب سطحی نمونه گچی موجود در مخزن موزه (جدول ۶) صفر است، نمونه‌های انتخاب شده، از سایت موزه دارای مقدار بالایی رطوبت بودند. آثار داخل ویتترین‌های شیشه‌ای رطوبت کمتری نسبت به آثاری که روی نایلون قرارگرفته بودند نشان دادند. همچنین میزان رطوبت خاک منطقه و خاک کاوش شده‌ای که آثار بر روی آن قرار دارند از همه نمونه‌های مورد بررسی بیشتر بود. باتوجه به رطوبت نسبی بالای منطقه قلعه ضحاک که سایت موزه در آن قرارگرفته است، جای تعجب نیست که رطوبت جذب سطحی آثار گچ‌بری محفوظه در این مکان بیشتر باشد. همچنین طبیعی است که آثار نگه‌داری شده در ویتترین، رطوبت کمتری نسبت به آثار قرارگرفته در فضای آزاد سایت موزه داشته باشند. ازطرف دیگر، چگالی ظاهری نمونه گچ سازه اصلی بنا بیشترین مقدار را نشان داده است. لازم به ذکر است که چگالی ظاهری و درصد تخلخل همه نمونه‌های مورد بررسی به‌جز نمونه H.6p مشابه به گچ تیز بوده و نزدیک به گچ کشته است. همان‌طور که جدول (۶) نشان می‌دهد، نمونه‌های موجود در موزه و سایت موزه تقریباً دارای چگالی ظاهری یکسان بودند.

جدول ۶: نتایج درصد رطوبت و چگالی ظاهری نمونه‌ها (نگارنده، ۱۴۰۴).

Table 6: Results of moisture percentage and bulk density of samples (Author, 2022).

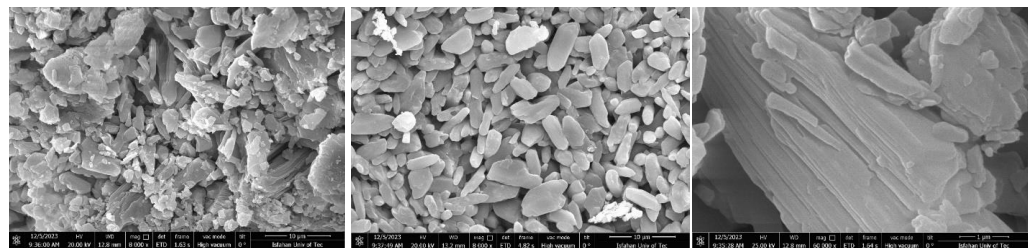
نمونه	چگالی ظاهری (g/cm ³)	درصد رطوبت	درصد تخلخل	حجم تخلخل	حجم واقعی	حجم ظاهری
M.M	1.4	0	41.5	0.05	0.07	0.12
H.So	-----	1	-----	-----	-----	-----
H.Si	-----	1.2	-----	-----	-----	-----
H.p	1.8	2.97	22.6	0.03	0.10	0.13
H.1p	1.4	1.82	40.7	0.05	0.07	0.12
H.2s	1.5	3.94	37.1	0.04	0.06	0.10
H.3p	1.7	1.06	27.4	0.06	0.16	0.22
H.3s	1.3	1.63	45.1	0.06	0.08	0.14
H.4p	1.5	3.20	37.4	0.04	0.07	0.10
H.4s	1.5	1.57	36.0	0.11	0.19	0.29

H.5p	1.6	1.83	30.9	0.05	0.12	0.17
H.5s	1.4	0.99	39.2	0.11	0.17	0.28
H.6p	1.2	3.37	75.62	42.33	37.00	0.12
H.6s	1.5	1.57	33.5	0.08	0.16	0.24
H.7p	1.6	1.71	32.6	0.07	0.15	0.22
H.7s	1.6	0.38	29.0	0.05	0.11	0.16
H.8	1.5	2.07	34.2	0.08	0.16	0.25
H.9	1.7	2.50	28.1	0.05	0.12	0.16

تخریب مواد متخلخل تحت تأثیر حضور نمک‌ها در کنار حضور رطوبت و آب در داخل منافذ است (Charola, 2000). دلیل تغییر اندازه، مورفولوژی بلور، تخلخل و استحکام را می‌توان با فرآیندهای تبلور مجدد ملاط‌های مبتنی بر سولفات کلسیم در نتیجه هوازگی طولانی مدت شرح داد (Middendorf, 2002).

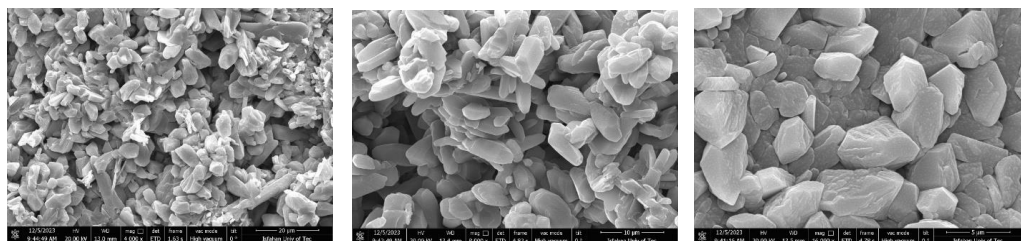
تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی FE-SEM: در این قسمت پس از ارائه تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی نمونه‌ها مورد مطالعه در بخش بعدی به تحلیل این تصاویر پرداخته شده است.

الف) نمونه سایت موزه قلعه ضحاک هشت‌رود H.7s: تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۹) مربوط به سایت موزه بوده که از سطح گچبری نمونه برداری انجام شده و تصاویری با بزرگنمایی‌های ۸ هزار و ۶۰ هزار برابر ثبت شده است.



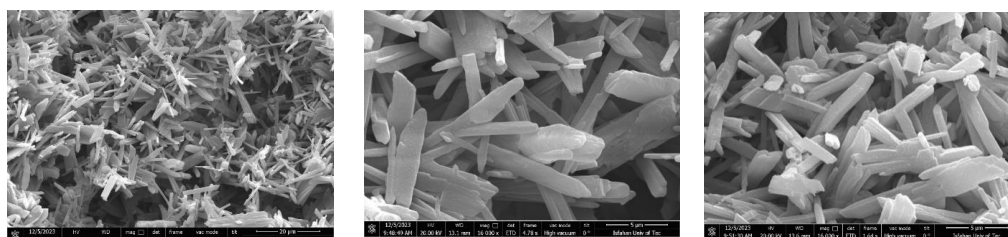
شکل ۹: H.7s نمونه مربوط به سایت موزه قلعه ضحاک (نگارنده، ۱۴۰۱).
Fig. 9: H.7s sample from the Zahhak Castle Museum site (Author, 2022).

ب) نمونه سایت موزه قلعه ضحاک هشت‌رود H.4p: تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱۰) مربوط به سایت موزه بوده که از پشت گچبری نمونه برداری انجام شده و تصاویری با بزرگنمایی‌های ۴ هزار، ۸ هزار و ۱۶ هزار برابر ثبت شده است.



شکل ۱۰: H.4p نمونه مربوط به سایت موزه قلعه ضحاک (نگارنده، ۱۴۰۱).
Fig. 10: H.4p sample from the Zahhak Castle Museum site (Author, 2022).

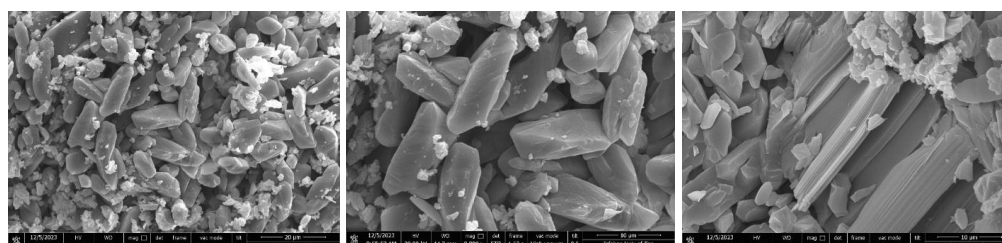
ج) نمونه مخزن موزه باستان‌شناسی آذربایجان M.8230: تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱۱) مربوط به مخزن موزه آذربایجان است که از ملات مرمتی گچبری نمونه برداری انجام شده و تصاویری با بزرگنمایی‌های ۴ هزار و ۱۶ هزار برابر ثبت شدند.



شکل ۱۱: M.8230 نمونه مربوط به مخزن موزه آذربایجان (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 11: M.8230 specimen from the Azerbaijan Museum repository (Author, 2022).

(د) نمونه مخزن موزه باستان‌شناسی آذربایجان M.8232: تصاویر میکروسکوپ الکترونی (شکل ۱۲) مربوط به مخزن موزه آذربایجان است که از پشت گچبری نمونه برداری انجام شده و تصاویری با بزرگنمایی‌های، ۴ هزار و ۸ هزار برابر ثبت شدند.



شکل ۱۲: M.8232 نمونه مربوط به مخزن موزه آذربایجان (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 12: M.8232 specimen from the Azerbaijan Museum repository (Author, 2022).

تحلیل تصاویر SEM: برای تحلیل تصاویر میکروسکوپ الکترونی سعی بر آن شد تا اندازه بلورهای ژئوپس در جهات مختلف بلوری گچ در نمونه‌های مختلف بررسی شده و با نمونه‌ای از گچی که اخیراً برای مرمت آثار گچ‌بری مورد استفاده قرار گرفته مقایسه شود؛ سپس مساحت بلورهای نمونه‌های گچی با نمونه گچ مورد استفاده برای مرمت آثار مورد مقایسه قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری بلورهای ژئوپس از هر نمونه، یک تصویر از تصاویر میکروسکوپ الکترونی انتخاب شده و در آن تصویر ابتدا طول بلور و سپس مساحت بلور اندازه‌گیری شد. شکل بلور ژئوپس به صورت جدول (۷) است که در این پژوهش به دلیل جذب رطوبت بلورها دچار انحلال و تغییر شکل شده‌اند؛ لذا از گچ جدید استفاده شده برای مرمت گچ‌بری‌ها نیز نمونه برداری شده که در مقایسه با نمونه‌های تاریخی صفحه [۱۱۱] بزرگ‌تری داشته و صفحه [۱۰۰] آن کمتر است. همان‌طور که داده‌های جداول (۷) و (۸) نشان می‌دهد، نمونه گچ غیرتاریخی M.8230 در مقایسه با نمونه‌های تاریخی اندازه بیشتری در صفحه [۱۲۰] و صفحه [۱۰۰] دارد؛ و صفحه‌های [۱۰۱]، [۱۰۰]، [۱۱۱] و [۱۱۰] کوچک‌تر از اندازه نمونه‌های تاریخی موجود در سایت موزه و مخزن موزه است. نمونه‌های موجود در سایت موزه در مقایسه با نمونه‌های موجود در مخزن موزه صفحه [۱۰۰] بزرگ‌تری نسبت به نمونه‌های سایت موزه دارد. به علاوه، همان‌طور که جدول (۸) نشان می‌دهد، سطح بلورهای تاریخی مورد بررسی نسبت به نمونه جدید بیشتر شده است.

یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان مورفولوژی گچ، اندازه و شکل بلورها است (Mahmoud *et al.*, 2004). از دیدگاه شیمی، بلور این مشاهدات این‌گونه قابل تفسیر است که پس از ورود آب به فضای بین بلورهای گچ، سطوح تیز و قسمت‌هایی از بلورهای که بیشترین فعالیت شیمیایی را دارند (لبه بلورها) باتوجه به میزان حلالیت ژئوپس در آب، حل می‌شوند و تصاویر بلورهای تیز و زاویه‌دار و درهم‌فرورفته ژئوپس به لبه بلوری خورده شده و بلورهای کوتاه‌تر در سطح تغییر شکل می‌یابد (میش مست‌نهی، ۱۳۹۴؛ Freyer & Voigt, 2003؛ Shahid *et al.*, 2007: 75). نکته دیگر آن که

جدول ۷: اندازه بلورهای ژپس در صفحات مختلف بلوری (اندازه‌ها به میکرومتر) (نگارنده، ۱۴۰۱).

Table 7: Size of gypsum crystals in different crystal planes (sizes in micrometers) (Author, 2022).

بلور	صفحه [011]	صفحه [120]	صفحه [111]	صفحه [100]	صفحه [001]	صفحه [101]	محل نمونه‌ها	تعداد بلورهای انتخاب شده
H.7s	1.07	3.37	0.83	1.73	2.89	1.37	نمونه سایت موزه	میانگین ۷ بلور
H.4p	2.07	6.4	1.44	3.42	4.95	2.09	نمونه سایت موزه	میانگین ۶ بلور
M.8230	0.75	8.25	0.46	0.97	7.80	0.71	نمونه گچ مرمتی	میانگین ۸ بلور
M.8232	1.83	5.01	1.52	2.70	3.98	2.22	نمونه مخزن موزه	میانگین ۸ بلور

گچ‌بری‌های محفوظ شده در سایت موزه و مخزن موزه، هر دو دارای ساختاری تقریباً مشابه هستند. در مجموع و با مقایسه داده‌های اندازه بلورها (جدول ۹) در نمونه‌های گچی موزه و سایت موزه به نظر می‌رسد تغییر شکل بلورها مربوط به زمان قبل کاوش بوده و پس از آن تغییر قابل ملاحظه‌ای در ساختار گچ اتفاق نیافتاده است.

جدول ۸: میانگین مساحت بلورها (اندازه‌ها به میکرومتر مربع)، (نگارنده، ۱۴۰۱).

Table 8: Average crystal area (Author, 2022).

تعداد بلورهای انتخاب شده	محل نمونه‌ها	سطح	نمونه
میانگین ۱۳ بلور	نمونه سایت موزه	6.25	H.7s
میانگین ۴۹ بلور	نمونه سایت موزه	10.46	H.4p
میانگین ۱۶ بلور	نمونه گچ مرمتی	5.41	M.8230
میانگین ۱۴ بلور	نمونه مخزن موزه	8.17	M.8232

جدول ۹: میانگین مساحت بلورهای گچ در پنج نمونه (نگارنده، ۱۴۰۱).

Table 9: Average area of gypsum crystals in five samples (Author, 2022).

تصویر بلور	تصویر نمونه	نمونه
		H.7s
		اندازه
		صفحه [011]
		صفحه [120]
		صفحه [111]
		صفحه [100]
		صفحه [001]
		صفحه [010]
		صفحه [101]
		نمونه
		Length 1.832
		Length 2.974
		Length 1.804
		Length 1.893
		Length 3.512
		Length
		Length 1.564

داده‌های هواشناسی شهر هشتروند: شرایط اقلیمی یک منطقه می‌تواند بر میزان تخریب آثار مؤثر باشد. داده‌های هواشناسی (۱۳۹۸ الی ۱۴۰۲) دما و رطوبت نسبی شهر هشتروند نشان می‌دهد.

این منطقه در اقلیم سرد و خشک قرار دارد. کمترین دمای محل منفی ۲۵ درجه سانتی‌گراد مربوط به ماه‌های دی، بهمن و اوایل اسفندماه است. همچنین بیشترین دما مربوط به ماه‌های تیر، مرداد و شهریور بوده که دما تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یافته است. میزان رطوبت در فصل تابستان نسبت به زمستان کاهش می‌یابد. نکته قابل تأمل در این داده‌ها، به جز دمای محیط، میزان رطوبت نسبی این منطقه در طول سال است؛ که میزان رطوبت نسبی، به جز فصل تابستان، عمدتاً بالای ۸۰٪ است و در ماه‌های سرد ممکن است تا ۱۰٪ افزایش پیدا کند. به جز آسیب‌هایی که معمولاً در اثر رطوبت نسبی بالا به آثار تاریخی تحمیل می‌شود، به صورت خاص درباره آثار گچ‌بری، حلالیت بالای بلورهای گچ در رطوبت نسبی بالا (یادآور می‌شود ضریب حلالیت گچ (ksp) برابر است با $10 \times 24 - 5$ که این معادل حل شدن ۲ گرم گچ در یک لیتر آب است) می‌تواند عامل اصلی حجیم شدن بلورهای گچ در محیط‌های مرطوب بشود چنان‌که در تصاویر میکروسکوپ الکترونی از نمونه‌های تاریخی در مقایسه با نمونه جدید مشاهده شد.

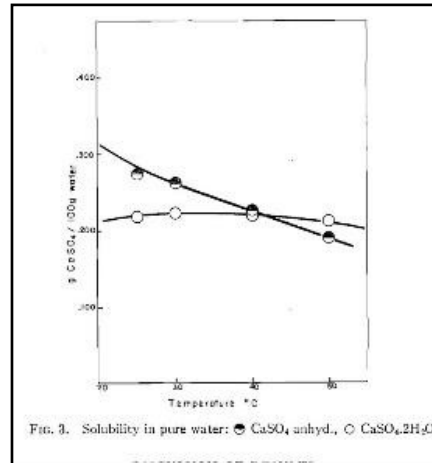
به جز بررسی شرایط محیطی سایت موزه، اندازه‌گیری دما و رطوبت محل نگه‌داری گچ‌بری‌ها در موزه آذربایجان نیز حائز اهمیت است؛ بنابراین، طی یک هفته میزان دما و رطوبت نسبی به وسیله دیتالاگر دما و رطوبت ثبت شد. مخزن موزه آذربایجان نسبت به سایت موزه قلعه ضحاک از رطوبت کمتری برخوردار است. اندازه‌گیری رطوبت از آن جهت اهمیت داشت که حضور رطوبت می‌تواند باعث حل شدن بلورهای ژئیس شده و باز تبلور این بلورها در اثر از دست رفته رطوبت موجب افزایش حجم و گسستگی اندود گچی و پی‌آمد آن طبله‌کردن و ریختن اندود گچی (Sabbioni et al., 2001؛ میش‌مست‌نهی، ۱۳۹۴؛ Tittarelli et al., 2008).

بلورهای ژئیس در اثر تغییرات دما در جهات مختلف بلوری دچار انبساط و انقباض می‌شوند و اندازه آن‌ها به صورت متفاوت تغییر می‌کند. این تغییرات حجمی، فشار مکانیکی بر بلورهای مجاور وارد کرده و ایجاد تنش در ساختار گچ می‌کند؛ در طولانی‌مدت این تنش‌ها می‌تواند منجر به تخریب و سست شدن ساختار گچ شود. علاوه بر این، تبدیل‌های فازی ناشی از تغییرات دما باعث ایجاد ترک و ریزترک در ساختار گچ شده و به افزایش تخلخل و تخریب آن می‌انجامد. در دماهای پایین (حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد) و در حضور یون کلرید، بلورهای ژئیس ممکن است به انیدریت تبدیل شوند. انیدریت ایجاد شده طی زمان باعث ضعف ساختاری می‌شود و معمولاً این تبدیل در فصول گرم رخ می‌دهد. در شرایط دمای پایین و رطوبت نسبی کم امکان تشکیل فاز بازانیت وجود دارد، اما آنالیز فازی نشان داد که فاز بازانیت در نمونه‌ها مشاهده نشده است؛ این امر به دلیل رطوبت نسبی بالای محیط سایت موزه است. به طور کلی، شرایط بهینه دما و رطوبت برای نگه‌داری آثار گچی حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد است؛ زیرا در این شرایط، انیدریت در حالت پایدار خود قرار دارد (Zehnder & Arnold, 1991; Power & Fabuss, 1964; Block & Waters, 1968).

محل نگه‌داری و حفاظت از قطعات مربوط به آرایه‌های معماری باید از نظر رطوبت و حرارت در شرایط مناسبی باشد تا از آسیب بیشتر جلوگیری شود (Tittarelli et al., 2008; Sabbioni et al., 2008). آثار حاوی نمک‌های محلول معمولاً در اثر حضور رطوبت، باعث ایجاد تخریب می‌شوند. نمک‌ها تحت تأثیر رطوبت با جذب رطوبت، رقیق شده و منجر به انحلال بلور شده، این فرآیند می‌تواند منجر به تشکیل محلول‌های اشباع تحت تأثیر رطوبت محیط گردد (Groot et al., 2009; Zehnder & Arnold, 1991).

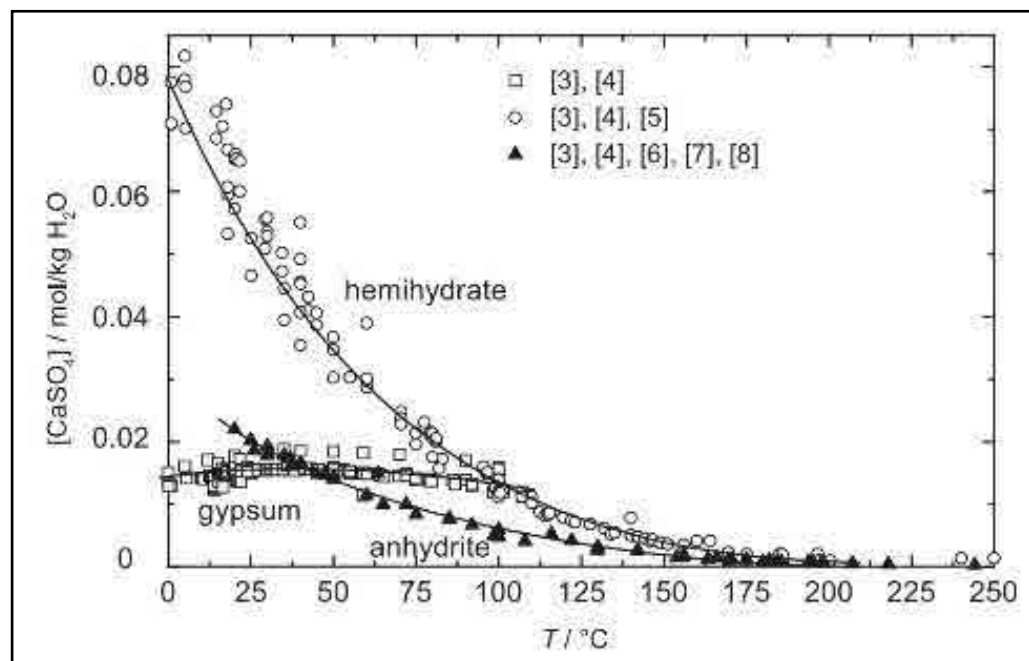
در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد، حلالیت گچ در حضور غلظت‌های ۰٫۵، ۰٫۵ و ۱٫۰ مولار NaCl ابتدا کاهش (نمودار ۱) و سپس با افزایش غلظت سولفات سدیم افزایش می‌یابد. کاهش اولیه حلالیت طبیعی بوده و می‌تواند به اثر یون مشترک نسبت داده شود (Block & Waters, 1968). مطالعات

پیشین در زمینه بررسی گچ و انیدریت (شکل ۱۳) در حضور کلرید سدیم نیز انجام شده است (Bock, 1961).



شکل ۱۳: حلالیت گچ و انیدریت در آب (Bock, 1961).

Fig. 13: Solubility of gypsum and anhydrite in water (Bock, 1961).



نمودار ۱: حلالیت گچ، انیدریت و همی‌هیدرات در محدوده دمایی ۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد (Freyer & Voigt, 2003).

Chart 1: Solubility of gypsum, anhydrite and hemihydrate in the temperature range 0 to 200 °C (Freyer & Voigt 2003).

حلالیت گچ (سولفات کلسیم)، (جدول ۱۰) در محلول‌های آبی نمک (نیترات) توسط تعدادی از محققین مورد مطالعه قرار گرفته، بررسی دقیق متون مربوط به تعیین حلالیت مخلوط نمک‌ها نشان می‌دهد، حلالیت سولفات کلسیم در غلظت نیترات سدیم تا ۳۰۰ گرم در لیتر به میزان مشخصی افزایش می‌یابد، اما فراتر از این غلظت با افزایش غلظت نیترات مقدار محلول کمتر می‌شود. در جدول نتایج به دست آمده در محلول‌های نیترات پتاسیم آورده شده؛ نتایج نشان می‌دهد نیترات کلسیم با افزایش غلظت نیترات، حلالیت سولفات را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد (Seidell & Smith, 2002).

جدول ۱۰: محلول سولفات کلسیم در سدیم نیترات (Seidell & Smith, 2002).

Table 10: Calcium Sulphate in Solutions of Sodium Nitrate (Seidell & Smith, 2002).

Weight of 1000 cc. of solution	Grams NaNO ₃ per liter	Grams CaSO ₄ per liter
998.1	0	2.084
1016.3	25	4.252
1034.0	50	5.500
1068.4	100	7.100
1133.6	200	8.790
1191.6	300	9.282
1363.9	600	7.886
1390.4	655	7.238

داده‌های آزمایشگاهی به طور قابل توجهی اثرات متفاوت محلول‌های نمکی مختلف را بر حلالیت سولفات کلسیم نشان می‌دهند. نیترات منیزیم حلالیت را به شدت افزایش می‌دهد. نیترات سدیم و نیترات پتاسیم تقریباً اثر افزایشی یکسانی دارند. نیترات سدیم حداکثر مقادیر را در غلظت‌های بالاتر نمک‌های فاقد یون مشترک نشان داده نیترات کلسیم حلالیت را کاهش داد. به طور کلی، زمانی که یون مشترک وجود نداشته باشد، حلالیت افزایش می‌یابد؛ درحالی که یون مشترک حلالیت را کاهش می‌دهد. کاهش غلظت بالاتر نیترات سدیم باقی می‌ماند. مقایسه حلالیت سولفات کلسیم در محلول‌های نیترات‌های مورد استفاده در پژوهش با نتایج به دست آمده با کلریدهای مربوطه نشان می‌دهد که به طور کلی افزایش حلالیت بیشتری مشاهده می‌شود (Seidell & Smith, 2002).

پیشنهادهای حفاظتی

سایت موزه‌ها شامل محوطه‌های تاریخی هستند که در فصول مختلف باستان‌شناختی مورد کاوش قرار گرفته‌اند. هدف از ایجاد این فضاها، معرفی یافته‌ها و داده‌های مهم باستان‌شناختی حاصل از کاوش است. هنگام کاوش، برخی آثار با فراهم آوردن شرایط و امکانات لازم در همان مکان نگه‌داری می‌شوند و برای بازدید عموم عرضه می‌شوند تا بازدیدکنندگان بتوانند ارتباط مستقیم با بستر پیدایش و شکل‌گیری آثار برقرار کنند. در سایت موزه‌ها، بازدیدکنندگان می‌توانند به طور هم‌زمان از اشیاء و محوطه تاریخی دیدن کنند و علاوه بر آن، شاهد فعالیت‌های باستان‌شناختی و عملیات حفاظتی و مرمتی در محوطه نیز باشند (حسن‌زاده، ۱۳۹۱: ۳۷۸). کیفیت فضای داخلی موزه‌ها از طریق چیدمان، نظم و سامان‌دهی عناصر و فرم‌ها ارتقا می‌یابد و با هدف ایجاد جاذبه برای گردشگران طراحی می‌شود (آذربویه‌دینکی و همکاران، ۱۳۹۷).

شیوه‌های نمایش آثار در موزه‌ها: نمایش اشیاء در موزه یکی از مهم‌ترین و تخصصی‌ترین فعالیت‌هاست و موزه‌داران باید با فنون آن آشنایی داشته باشند (منصورزاده و حاتمی، ۱۳۹۶: ۳۶۸: Ambrose & Paine, 2003: 158). تناسب چیدمان اشیاء با محورهای تاریخی، فرهنگی و موضوعی، همچنین تناسب مواد و مصالح مورد استفاده (نوع و بهترین‌ها) و نحوه معرفی آثار، نقش اساسی در شکل‌گیری موزه‌ها دارد (زاهدی و همکاران، ۱۳۹۱: ۶۰). باتوجه به مطالب گفته شده، ویتترین‌های نمایش آثار (شکل ۱۴) در سایت موزه قلعه ضحاک برای نگه‌داری آثار گچ‌بری مورد مطالعه مناسب نیستند. این ویتترین‌ها باید علاوه بر تأمین امنیت حفاظتی، امکان نمایش بهتر آثار را نیز فراهم کنند. در حال حاضر، آثار در ویتترین‌های شیشه‌ای نگه‌داری می‌شوند که بازدیدکنندگان می‌توانند با حرکت شیشه به آثار دسترسی پیدا کنند و حتی آن‌ها را از ویتترین خارج کنند.



شکل ۱۴: نمای کلی ویترین‌های غیراستاندارد سایت موزه قلعه ضحاک، (نگارنده، ۱۴۰۱).

Fig. 14: General view of the non-standard display cases of the Zahhak Castle Site Museum (Author, 2022).

نمای کلی چیدمان مجموعه عناصر بصری به گونه‌ای طراحی می‌شود که ذهن مخاطب برای دریافت اطلاعات آماده شود. آثار داخل ویترین‌ها در دو ردیف قرار گرفته‌اند و بازدیدکننده برای مشاهده آثار طبقه پایین باید بنشینند، گاهی باعث می‌شود از مشاهده آن‌ها صرف نظر کند. همچنین، آثار بدون هیچ توضیحی درباره وضعیت، سال کشف و کاربری آن‌ها ارائه شده‌اند، که برای بازدیدکنندگان معمولاً بی‌مفهوم و فاقد ارزش شناختی است. برای طراحی محفظه مناسب جهت نگهداری آثار قلعه ضحاک، پیشنهاد می‌شود به وضعیت ویترین و فضاهای ارتباطی، نیازهای بصری محیط، شرایط اقلیمی، نورپردازی، مواد و فنون ساخت و طراحی محل، و دستگاه‌های ایمنی و حفاظتی توجه شود (شکل ۱۵). در این راستا، توصیه می‌شود آثار گچبری مشابه (از لحاظ گونه)، در یک محفظه قرار گیرند و توضیحاتی درباره زمان کاوش، دوره تاریخی و کاربری احتمالی هر اثر ارائه شود. همچنین، قطعات براساس طرح و نقش از یک دیگر تفکیک شده و در محفظه‌های جداگانه نمایش داده شوند.



شکل ۱۵: محفظه‌های مناسب و استاندارد برای نمایش آثار (<https://ondemant.com/wp-content/uploads/2018/07/v-19-3-300x254.jpg>).

Fig. 15: Suitable and standard containers for displaying works (<https://ondemant.com/wp-content/uploads/2018/07/v-19-3-300x254.jpg>).

عوامل اصلی حفاظت فیزیکی و حفاظت در برابر عوامل شیمیایی در موزه‌ها شامل بررسی دما، رطوبت نسبی (RH) و ذرات ریز مواد آلاینده است و نظارت دقیق بر شرایط محیطی از اهمیت بالایی برخوردار است (منصورزاده و حاتمی، ۱۳۹۶: ۲۸۹-۳۰۲؛ رحمانی‌گرمی، ۱۳۹۰: ۶۲). جهت کنترل شرایط محیطی محل استقرار آثار کاوش شده (شکل ۱۶)، از ابزارهای نظارتی مانند دمانگار و رطوبت‌سنج استفاده شود. همچنین، بهره‌گیری از سیستم‌های تهویه مطبوع، حفاظت و امنیت موزه ضروری

است. درمورد سایت موزه قلعه ضحاک، حفاظت جامع آثار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده؛ زیرا این آثار جز میراث تاریخی ارزشمند هستند، مراقبت و نگهداری صحیح آن‌ها امری ضروری است. عوامل اصلی حفاظت آثار در موزه‌ها شامل حفاظت فیزیکی و حفاظت در برابر عوامل شیمیایی است (منصورزاده و حاتمی، ۱۳۹۶: ۲۸۹-۳۰۲). نظارت دقیق بر شرایط محیطی، ازجمله دما، رطوبت نسبی (RH) و ذرات ریز مواد آلاینده، یکی از اقدامات مهم در حفاظت از مجموعه‌ها به‌شمار می‌آید (رحمانی‌گرمی، ۱۳۹۰: ۶۲). برای کنترل شرایط محیطی محل استقرار آثار کاوش شده، استفاده از ابزارهای نظارت بر دما و رطوبت نسبی، ازجمله رطوبت‌سنج و دمانگار، ضروری است. همچنین، به‌کارگیری سیستم تهویه و سامانه‌های حفاظت و امنیت موزه، به‌ویژه در سایت موزه قلعه ضحاک، باید به‌صورت جامع مورد بررسی قرار گیرد؛ زیرا آثار کاوش شده جزو آثار تاریخی ارزشمند محسوب می‌شوند و حفاظت از آن‌ها امری ضروری است.



شکل ۱۶: راهکاری‌های حفاظتی از آثار (نگارنده، ۱۴۰۱).
 Fig. 16: Strategies for protecting artifacts (Author, 2022).

در رابطه با سایت موزه قلعه ضحاک از آنجا که میزان دمای محوطه به‌ندرت به ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد و این دما معمولاً موجب ایجاد تبدیلات فازی در ژئوپس نمی‌شود، احتمالاً جای نگرانی برای تخریب گچ‌بری‌ها در اثر رطوبت نیست. همین‌طور باتوجه به غلظت کم یون‌های کلرید و نیترات در نمونه‌های گچ‌بری احتمال تبدیلات فازی در آثار نیز کاهش می‌یابد؛ اما به‌هرحال بهتر است دما و رطوبت نسبی بین ۲۰ تا ۲۵ درجه و حدود ۴۰ تا ۵۰٪ به‌ترتیب قرارگیرد تا از بروز آسیب‌های احتمالی به این آثار جلوگیری شود؛ سپس جهت بهبود وضعیت نگهداری گچ‌بری‌های موجود در مخزن موزه آذربایجان لازم است از دستگاه تهویه هوای خودکار که در زمان مشخصی در روز چندین بار شروع به کار کند استفاده شود تا رطوبت داخل مخزن از محیط خارج شود؛ لذا جهت بررسی دما و رطوبت مخزن ضروری است از دستگاه دیتالاگر دما و رطوبت جهت پیمایش و ثبت داده‌ها استفاده شود تا از این طریق شرایط نگهداری و میزان دما و رطوبت محیط کنترل شود. بررسی داده‌های دیتالاگرهای دما و رطوبت و داده‌های حاصل از تصفیه هوا

به صورت فصلی می‌تواند از بروز آسیب به گچ‌بری‌ها جلوگیری کرده و تخریب ساختاری آثار را به حداقل برساند.

نتیجه‌گیری

این پژوهش نشان می‌دهد که فرآیندهای تخریب در آثار گچ‌بری قلعه ضحاک به صورت قابل توجهی موجب تغییر ساختار گچ‌بری‌های این محوطه در محل سایت موزه قلعه ضحاک نشده است. بررسی ساختار بلوری این آثار در محل سایت موزه و در موزه باستان‌شناسی آذربایجان شرقی نشان می‌دهد احتمالاً تغییرات ساختاری گچ‌بری‌ها عمدتاً محوطه مربوط به دوره قبل از کاوش و در هنگام دفن آثار در خاک بوده و از زمان کاوش (۱۳۸۲) تا حال حاضر (۱۴۰۳) تغییرات قابل ملاحظه‌ای در آن‌ها رخ نداده است. در گچ‌بری‌های قلعه ضحاک آنیون‌های مخرب مانند کلرید و نیترات به صورت جزئی وجود دارند که این موضوع باعث کندی فرآیندهای انحلال و بازتبلور آثار گچی می‌شود. با وجود پیش‌بینی عدم تغییرات قابل توجه در آثار موجود در سایت موزه، توصیه می‌شود با قرار دادن این آثار در محفظه‌های نمایش استاندارد و حفظ شرایط دما و رطوبت ثابت، طول عمر این آثار افزایش می‌یابد. نکته قابل توجه آن است که گچ‌بری‌های موجود در سایت موزه، فاقد طرح و نقش شاخص هستند و اغلب نمونه‌های سالم به مخزن موزه باستان‌شناسی آذربایجان شرقی منتقل شده‌اند. دلیل انتقال، نبود فضای امن در محل سایت موزه بوده است. انتظار می‌رود با نصب دیتال‌گرهای دما و رطوبت، تجهیزات امنیتی و استفاده از ویت‌ترین‌های استاندارد، شرایط حفاظتی سایت موزه ارتقا یابد. علاوه بر این، نبود کارشناس متخصص در محل سایت موزه، موجب سردرگمی بازدیدکنندگان و از دست رفتن فرصت دریافت اطلاعات ارزشمند درباره آثار می‌شود. دسترسی به محل قلعه ضحاک پس از عبور از مسیرهای سخت امکان‌پذیر است. که این امر همراه با عدم حضور کارشناسان ممکن است انگیزه بازدیدکنندگان را کاهش دهد. پیشنهاد می‌شود آثار در نزدیکی محل اصلی خود نگهداری شوند و شرایط مناسب برای نمایش و حفاظت آن‌ها فراهم گردد. توصیه می‌شود، قطعات مشابه در محفظه‌های مشخص و جداگانه با دیگر گونه‌ها و همچنین در قفسه‌هایی همراه با توضیحات کامل درباره وضعیت آن‌ها در زمان کاوش و کاربری احتمالی‌شان نگهداری شوند.

سپاسگزاری

این تحقیق و مطالعه در چارچوب پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده در دانشکده حفاظت و مرمت دانشگاه هنر اصفهان است. در همین راستا از آن مجموعه سپاسگزاری می‌گردد. در پایان شایسته است از یاری، بحث و تبادل نظر استاد راهنما و دوستان، در مراحل مختلف این پژوهش تشکر و قدردانی شود.

تضاد منافع

نویسنده ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی و دقیق بودن آن در متن و انتهای مقاله، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارد.

پی‌نوشت

۱. کدهای نوشته‌شده: محل نمونه‌برداری (موزه "M")، شماره ثبتی اثر
۲. کدهای نوشته‌شده: محل نمونه‌برداری (هشترود "H")، کد هر نمونه (So): خاک منطقه / Si: خاک کاوش شده / p: پشت اثر / s: سطح اثر.

کتابنامه

- آذربویه دینکی، غلامرضا؛ اقبالی، پرویز؛ و قاضی‌زاده، خشایار، (۱۳۹۷). بررسی تأثیر کیفیت فضای داخلی موزه‌ها بر کمیت و جذب گردشگران در فرایند توسعه فرهنگی (نمونه موردبررسی موزه هنرهای معاصر تهران). مطالعات توسعه اجتماعی - فرهنگی، ۷ (۲): ۱۸۱-۲۰۸.
- اصلانی، حسام؛ و صالحی‌کاخکی، احمد، (۱۳۹۰). معرفی دوازده گونه از آرایه‌های گچی در تزئینات معماری دوران اسلامی ایران براساس شگردهای فنی و جزئیات اجرایی. نشریه مطالعات باستان‌شناسی، ۳ (۱): ۸۹ - ۱۰۶.
- اصلانی، حسام، (۱۳۹۱). «فن‌شناسی آرایه‌های گچی در معماری ایران دوره اسلامی». رساله دکتری، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت (منتشر نشده).
- اصلانی، حسام؛ میرنیام، آصفه؛ و علومی، مجید، (۱۳۹۱). بررسی گوناگونی شیوه‌های اجرای آرایه‌های گچی قالبی بناهای تاریخی در دوره قاجار شهر یزد، با تکیه بر مطالعه موردی تزئینات محراب شبستان شاهزاده در مسجد جامع کبیر. مرمت و معماری ایران، ۵ (۳): ۱-۱۴.
- حسن‌زاده، یوسف، (۱۳۹۱). مجموعه مقالات ۸۰ سال باستان‌شناسی ایران. سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری، پژوهشکده باستان‌شناسی، موزه ملی ایران. تهران: پایزنه.
- حمزوی، یاسر، (۱۳۸۸). «معرفی تزئینات گچی بناهای دوره تیموری شهر یزد و فن‌شناسی تزئینات گچی بقعه سنی فاطمه قرن ۹ ه.ق.». پایان‌نامه کارشناسی ارشد مرمت اشیای تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان، دانشکده حفاظت و مرمت (منتشر نشده).
- حمزوی، یاسر، (۱۴۰۰). مطالعه ساختار شناسی ملاط گچی ایوان بقعه سید شمس‌الدین یزد (کتیبه کوفی، آرایه گچی قالبی، لایه بستر گچی). مرمت و معماری ایران، ۱۱ (۲۵): ۳۷-۵۴.
- حمزوی، یاسر؛ کوچکزایی، علیرضا؛ و نگارستانی، علی اصغر، (۱۴۰۰). ساختار شناسی ملاط رنگی آرایه‌های گچی بوم‌ساب در مدرسه (کاروانسرا) گنجعلی خان کرمان. مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۵ (۱۷): ۲۸۷-۳۰۲.
- دهقان، حمید، (۱۳۸۹). قلعه ضحاک. ماهنامه سفر، ۲۶: ۳۸.
- رحمانی‌گرمی، پری‌نسا، (۱۳۹۰). «طرح پیشنهادی موزه باستان‌شناسی دشت مغان (گرمی)». پایان‌نامه کارشناسی موزه‌داری دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان (منتشر نشده).
- رضایی‌مهوار، میثم، (۱۳۹۲). موزه‌ها و بازنمایی جهان. فرهنگ موزه، ۱: ۴-۶.
- زاهدی، محمد؛ حاجی‌ها، بهاره؛ و خیام‌باشی، مریم، (۱۳۹۱). موزه، موزه‌داری و موزه‌ها. اصفهان: نشر چهارباغ.
- صالحی، مریم، (۱۳۸۳). نیازها و عوامل حاکم در طراحی ویتترین موزه. موزه‌ها، ۴۰.
- عمرانی، بهروز؛ و رحمت‌پور، محمد، (۱۳۸۷). قلعه‌ها و استحکامات آذربایجان. تهران: سمیرا، سازمان میراث فرهنگی و صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی.
- قندگر، جواد، (۱۳۸۲). «گزارش کاوش محوطه قلعه ضحاک هشت‌رود در استان آذربایجان شرقی». اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی: تبریز (منتشر نشده).
- کریمی، اصغر، (۱۳۷۱). طرح مقدماتی تأسیس نخستین موزه مردم‌نگاری مسکن سنتی و بومی در ایران. موزه‌ها، ۱۲: ۲۳-۲۷.
- ماهیار، شاهین؛ فیروزمندی‌شیره‌جینی، بهمن؛ و خمسه، هایده، (۱۴۰۰). بررسی ساختار ملات اوایل دوره اسلامی براساس نمونه‌های برج‌های آرامگاهی و قلعه‌های شرق مازندران با روش XRD. مطالعات باستان‌شناسی، ۱۳ (۱): ۱۸۹-۲۰۹. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.269379.14264>
- ملازاده، کاظم؛ و محمدی، مریم، (۱۳۸۵). قلاع و استحکامات نظامی، (دایرةالمعارف بناهای تاریخی ایران در دوره اسلامی). تهران: شرکت انتشارات سوره مهر.

- منصورزاده، یوسف؛ و حاتمی، ابوالقاسم، (۱۳۹۶). مبانی موزه‌داری. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها.
- میرزایی، کرم؛ و خلج، آتنا، (۱۳۸۳). ضرورت ایجاد سایت موزه محوطه شهریری. فرهنگ موزه، ۳۳-۲۶: ۷.
- میش مست‌نهی، مسلم، (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل‌های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچ‌بری کوه خواجه سیستان، ملات گچ شادیاخ نیشابور و ملات گچ قلعه الموت قزوین). پژوهش باستان‌سنجی، ۱ (۲): ۱-۱۴.

References

- Ambrose, T. & Paine, C., (2003). *Museums Basics*. ICOM, in conjunction with routledge, London and New York.
- Arnold, A. & Zehnder, K., (1991). *Monitoring wall paintings affected by soluble salts* (pp. 103-135). Marina Del Rey: Getty Conservation Institute. <https://www.Researchgate.net/publication/285316037>.
- Aslani, H., Mirniam, A. & Oloumi, M., (2013). The Study of Various Methods of Mould Plaster Decoration in Historical Monuments of Yazd in Qajar Period Case study: decorations of Prince mihrab in Jamemosque. *Maremat & memari-e Iran*, 3(5): 1. <https://www.magiran.com/p1183780>. (In Persian).
- Aslani, H., (2012). "The Technology of Plaster Decorations in Iranian Architecture of the Islamic Period". PhD Thesis. Isfahan University of Art. Faculty of Conservation and Restoration. (In Persian).
- Bartz, W. & Filar, T., (2010). Mineralogical characterization of rendering mortars from decorative details of a baroque building in Kozuchów (SW Poland). *Materials characterization*, 61(1): 105-115.
- Blaeuer, C. & Kueng, A., (2007). Examples of microscopic analysis of historic mortars by means of polarising light microscopy of dispersions and thin sections. *Materials characterization*, 58(11-12): 1199-1207.
- Block, J. & Waters, O. B., (1968). CASO₄-NA₂SO₄-NACL-H₂O SYSTEM AT 25 DEGREES TO 100 DEGREES C. *Journal of Chemical and Engineering Data*, 13(3): 336.
- Bock, E., (1961). On the solubility of anhydrous calcium sulphate and of gypsum in concentrated solutions of sodium chloride at 25 C, 30 C, 40 C, and 50 C. *Canadian journal of chemistry*, 39(9): 1746-1751.
- Charola, A. E., (2000). Salts in the deterioration of porous materials: an overview. *Journal of the American institute for conservation*, 39(3): 327-343.
- Dehghan, H., (2010). Zahhak Castle. *Safar Monthly*, (26): 38. (In Persian).
- Freyer, D. & Voigt, W., (2003). Crystallization and phase stability of CaSO₄ and CaSO₄-based salts. *Monatshefte für Chemie/Chemical Monthly*, 134: 693-719.
- Ghandgar, J., (2003). "Excavation Report of the Zahhak Castle Site in East Azerbaijan Province". Unpublished report. (In Persian).

- Azarbouyehdinaki, Gh., Eghbali, P. & Ghazizadeh, Kh., (2018). A study on Effect of Quality of Museums Interior Space on Quantity and attracting of Tourists in Process of Cultural development (The Sample of Research; Tehran Contemporary Arts Museum). *Journal of Socio -Cultural Development Studies*, 7(2): 181-208. <https://www.magiran.com/p1966308>. (In Persian).
- Groot, C., van Hees, R. & Wijffels, T., (2009). Selection of plasters and renders for salt laden masonry substrates. *Construction and Building Materials*, 23(5): 1743-1750.
- Hamzavi, Y., Koochakzaei, A. & Negarestani A., (2021). Characterization of Colored Mortar of Boumsab Gypsum Arrays of Ganjali Khan School (Caravanserai) in Kerman. *Parseh J Archaeol Stud.*, 5(17): 14. <https://doi.org/10.30699/PJAS.5.17.287> (In Persian).
- Hamzavi, Y., (2021). An Investigation into the Characterization of Gypsum Mortar of Seyed Shams-din Monument in Yazd, Iran. *MMI*, 11 (25): 3. <http://mmi.aui.ac.ir/article-1-1080-fa.html>. (In Persian).
- Hamzavi, Y., (2009). "The mosaic of plaster decorations in the Timurid period buildings of Yazd and the technology of plaster decorations in the tomb of Seti Fatemeh, 9th century AH". Master's thesis on the restoration of historical and cultural objects. Isfahan University of Art, Faculty of Conservation and Restoration. (In Persian).
- Hassanzadeh, Y., (2012). *Collection of articles on 80 years of Iranian archaeology*. Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization, Archaeological Research Institute, National Museum of Iran. Tehran: Pazineh. (In Persian).
- Kamel, A., (2019). Dehydration Of Gypsum Component of Plasters and Stuccos in Some Egyptian Archaeological Buildings and Evaluation of K₂SO₄ Activator as A Consolidant. *Scientific Culture*, 5 (2): 49-59.
- Karimi, A., (1992). Preliminary Proposal for Establishing the First Ethnographic Museum of Traditional and Indigenous Dwellings in Iran. *Muzeha*, 12: 23-27. (In Persian).
- Lawrence, A. & Hardie, L. A., (1967). The gypsum—anhydrite equilibrium at one atmosphere pressure. *American Mineralogist: Journal of Earth and Planetary Materials*, 52(1-2): 171-200.
- Lewry, A. J. & Williamson, J., (1994). The setting of gypsum plaster: part I the hydration of calcium sulphate hemihydrate. *Journal of materials science*, 29: 5279-5284.
- Lewry, A. J. & Williamson, J., (1994). The setting of gypsum plaster: Part III The effect of additives and impurities. *Journal of materials science*, 29: 6085-6090.
- Lewry, A. J. & Williamson, J., (1994). The setting of gypsum plaster: Part II The hydration of calcium sulphate hemihydrate. *Journal of Materials Science*, 29: 5279-5284.
- Mahmoud, M. H. H., Rashad, M. M., Ibrahim, I. A. & Abdel-Aal, E. A., (2004). Crystal modification of calcium sulfate dihydrate in the presence of some surface-active agents. *Journal of colloid and interface science*, 270(1): 99-105.

- Mahyar, Sh., Firuzmandy Shirehjini, B. & Khamseh, H., (2021). Analysis of the Mortar of Early Islamic Era on Tomb Towers and Castles of Eastern Mazandaran by XRD Method. *Journal of Archaeological Studies*, 13(1): 189-209. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.269379.14264> (In Persian).
- Malazadeh, K. & Mohammadi, M., (2006). Castles and Military Fortifications. In: *Encyclopedia of Historical Monuments of Iran in the Islamic Period*, Tehran: Soore Mehr Publishing Company. (In Persian).
- Mansourzadeh, Y. & Hatami, A., (2017). *Fundamentals of Museology*. Tehran: Organization for Researching and Composing University Humanities Textbooks. (In Persian).
- Middendorf, B., (2002). Physico-mechanical and microstructural characteristics of historic and restoration mortars based on gypsum: current knowledge and perspective. *Geological Society*, London, Special Publications, 205(1): 165-176.
- Middendorf, B., Hughes, J. J., Callebaut, K., Baronio, G. & Papayianni, I., (2005). Investigative methods for the characterisation of historic mortars- part1: mineralogical characterization. *Materials and Structures*, 38(8): 761-769.
- Mirzaei, K. & Khalaj, A., (2004). The Necessity of Establishing a Site Museum at the Shahr-e Yeri Archaeological Site. *Farhang-e Muzeh*, 7: 26-33. (In Persian).
- 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).
- Omrani, B. & Rahmatpour, M., (2008). *Castles and Fortifications of Azerbaijan*. Tehran: Samira; Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of East Azerbaijan Province. (In Persian).
- Power, W. H. & Fabuss, B. M., (1964). Transient Solubilities in the Calcium Sulfate-Water System. *Journal of Chemical & Engineering Data*, 9(3): 437-442.
- Pritzel, C., Emami, M., Afflerbach, S., Killian, M. & Trettin, R., (2022). Formation of α -Hemihydrate Inside of a Gypsum Crystal during the Dehydration Process. *Crystals*, 12(12): 1780.
- Rahmani-Garmi, P. N., (2011). "Proposed Design for the Mugan Plain Archaeology Museum (Garmi)". Bachelor's thesis, Department of Conservation, Isfahan University of Art. (In Persian).
- Regourd, M., Kerisel, J., Deletie, P. & Haguenaue, B., (1988). Microstructure of mortars from three Egyptian pyramids. *Cement and concrete research*, 18(1): 81-90.
- Rezaei Mahvar, M., (2013). Museums and the Representation of the World. *Farhang-e Muzeh*, 1: 4-6. (In Persian).
- Sabbioni, C., Zappia, G., Riontino, C., Blanco-Varela, M. T., Aguilera, J., Puertas, F., ... & Toumbakari, E. E., (2001). Atmospheric deterioration of ancient and modern hydraulic mortars. *Atmospheric Environment*, 35(3): 539-548.

- Salehi, M., (2004). Needs and Factors Governing the Design of Museum Display Cases. *Muzeha*, 40. (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): 89-1069. (In Persian).
- Schröder, B., Mangels, J., Selke, K., Wolpers, S. & Dannecker, W., (1990). Comparative analysis of organic acids located on the surface of natural building stones by high-performance liquid, gas and ion chromatography. *Journal of Chromatography A*, 514: 241-251.
- Seidell, A. & Smith, J. G., (2002). The solubility of calcium sulphate in solutions of nitrates. *The Journal of Physical Chemistry*, 8(7): 493-499.
- Shahid, S. A., Abdelfattah, M. A. & Wilson, M. A., (2007). A unique anhydrite soil in the coastal sabkha of Abu Dhabi Emirate. *Soil Survey Horizons*, 48(4): 75-79.
- Tittarelli, F., Moriconi, G. & Bonazza, A., (2008). Atmospheric deterioration of cement plaster in a building exposed to a urban environment. *Journal of cultural heritage*, 9(2): 203-206.
- Zahedi, M., Hajjiha, B. & Khayambashi, M., (2012). *Museum, Museology, and Museums*. Isfahan: Chehel Bagh Publications. (In Persian).