

Characterization of Ancient Mortars of Ojan Castle in Bostanabad County Belong to Sajuk-Ilkhanid Era

Mehdi Razani¹ ; Rahim Velaeti² ; Parasto Haghi³ 

Type of Article: **Research**

Pp: 151-178

Received: 2023/09/26; Revised: 2024/02/03; Accepted: 2024/02/07

 <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.151>

Abstract

This article discusses the structural analysis of ancient mortars used in Ojai's Castle, which belongs to the Ilkhanid period in Bostanabad County, East Azerbaijan Province. Various methods, including field studies for documentation, sampling, and laboratory analysis using X-ray diffraction (XRD) and X-ray fluorescence (XRF), were utilized to investigate the structural and physicochemical properties of the ancient mortars. For this purpose, ten mortar samples were collected from different sections of the outer walls of the castle, which were excavated in the past five years, and their dominant phases and compositions were identified using XRD and XRF. The results show that the composition of the mortars used in the castle is significantly similar. Contrary to existing assumptions based on the use of lime-based mortars in cold regions and stone structures, the mortars in Ojan Castle are composed of gypsum and quartz-based high-purity gypsum mortars. These mortars were used for structural reinforcement and, especially, for enhancing their compressive strength. Based on these findings, this study can serve as a reference for future research on the structural analysis of ancient mortars to restore the castle.

Keywords: Characterization, Seljuks-Ilkhanid, Ojan Castle, Mortar, XRD, XRF



Motaleat-e Bastanshenasi-e Parseh

Parseh Journal of Archaeological Studies (PJAS)

Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICT), Tehran, Iran

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

Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the [Creative Commons](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

© The Author(s)



1. Associate Professor, Department of Conservation and Archaeometry, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran (Corresponding Author).

Email: m.tabriziau@aui.ac.ir

2. Assistant Professor, Department of Archaeology, Faculty of Literature and Humanities, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. M.A. in Archaeometry, Department of Conservation and Archaeometry, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran.

Citations: Razani, M., Velayati, R. & Haghi, P., (2025). "Characterization of Ancient Mortars of Ojan Castle in Bostanabad County Belong to Sajuk-Ilkhanid Era". *Parseh J Archaeol Stud.*, 8(30): 151-178. <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.151>

Homepage of this Article: <https://journal.richt.ir/mbp/article-1-920-en.html>

Introduction

Historical architecture exemplifies the dynamic progression and development of knowledge, structure, recognition, and production of diverse materials. Mortars, as significant architectural elements, play a crucial role in this evolution. Remarkably, numerous mortars have retained their structural attributes for centuries. These historical mortars represent cultural accomplishments, exhibiting distinct properties influenced by raw materials, technological methods, and their manufacturing and utilization processes. The analysis of historical mortar's composition serves as a valuable tool in understanding the construction techniques and technological advancements employed in the past. By studying the structure, composition, and processing methods of traditional mortars, we can make informed decisions regarding their conservation, restoration, reproduction, and identification of potentially damaging factors in historical buildings. Furthermore, mineralogical and chemical analysis of mortars provides essential insights into their setting characteristics, mineral grading, and compound quantities, offering a comprehensive understanding of their properties. Concerning the specific topic of this research, which is related to the historical and cultural mortars of the Seljuk-Ilkhanid era we can say undoubtedly, the Ilkhanid era can be considered one of the brilliant periods in the history of urban planning in Iran and another beginning in the emergence of a new style in creating and developing urban spaces. This style, which is known as the "Azeri style", hastened the creation of royal cities such as Ghazaniyeh and Soltanieh and the strategic mother city of Tabriz, which is the manifestation of the ideals and urban planning ideas of the Mughal Ilkhanid. It has remained unstudied until today. In this research, the structural analysis and identification of the mortar composition of the historical castle of Ojan (figure1-3), related to the Seljuk-Ilkhanate period, will be examined and studied. Until now, five seasons of scientific archeological excavations have been carried out in the historical castle of Ojan from 2018 to 2022, and the results show remarkable stone architecture and architectural decoration such as Muqarnas made by gypsum, tiles, shaped stones, and various objects. Belongings include copper coins, pieces of pottery from the Seljuk-Ilkhanate period, glass, metal nails, etc. (figure4-7 & table 1)

The most important research questions regarding the mortars used in Ojan Castle are: 1. What types of mortars are present in Ojan Ilkhanate castle? 2. What are the fundamental characteristics of the mortar used in Ojan Castle? The research methodology for this study consists of three main components: 1. Gathering documentary information through library studies. 2. Conducted field studies, including sampling from the historic Ojan Castle and documenting the current condition of the site to understand the nature of the building under investigation. 3. Performed laboratory studies, specifically analyzing samples taken from the outer wall of the castle. This analysis includes structural analysis and qualitative examination of mortar materials.

Materials and Methods

In this study, after examining the explored sections of the Ojan castle, mapping of the structure was carried out. Based on the current condition of the walls and the materials used in the construction (Fig. 8), 10 random representative samples were taken from different sections of the castle, including the outer parts of the main walls and the areas between the main materials. The samples were selected from different parts of the walls to ensure sufficient dispersion. The sampling method involved separating layers from both intact and deteriorated sections. Fig. 9 and indicates the locations where the samples were taken. Based on field observations, the mortar layers, especially in shallower and more exposed areas, had weak and powdery structural conditions. However, at depths greater than 20mm from the wall surface, the mortar exhibited better strength compared to the surface layers. The color of the mortar was mostly white, with some areas having a slight grayish tint, and no traces of plant remains or other components were observed. In the next stage, images and visual information related to each sample were recorded on-site. Descriptions of the visual characteristics of the samples, along with images and sampling locations, were collected and documented in Table 2. All samples were powdered and passed through a 200-mesh sieve. They were then barcoded and sent to the laboratory for XRF (table 3, 4, figure10) and XRD (table 5, Fig. 11) analysis. The samples were barcoded using the following format: "Ojan Castle, 2020 (OC20), Tranche number (T), Sample code (S)". For example, a sample would be labeled OC20-T16S01.

Discussion

With the aim of structural analysis of the mortar used in the stone walls of Ojan Castle belonging to the Seljuk-Ilkhanate historical period in Bostanabad city, 10 samples of mortar were selected from different parts of the outer walls. Based on the results of the experiments (XRD, XRF), the use of mortar with the leading and dominant phase of gypsum is used in all samples, and also all types of phases with silicate structure and phases in the soil can be seen in all samples. To construct this mortar, high-purity gypsum and sand were used. Approximately %8 of the mortar composition consisted of other components, mainly soil elements such as Muscovite, Albite, Salts, etc. The presence of these materials and phases is natural due to the inherent porosity of gypsum mortar and the fact that this architectural structure has been buried in the soil for several centuries.

Conclusion

The use of semi-fired, semi-pounded gypsum, with the addition of sand as an intermediate mortar between stones, as well as for pointing in various sections of the outer walls of Ojan Castle, indicates the use of processed gypsum mortar in cold regions such as Bostanabad in the northwest of the country. As we know, in the field of conservation and restoration of historical architecture, the use of authentic materials that correspond

to the original substance is crucial for preserving the authenticity, historical value, and cultural significance of ancient artifacts.

Based on this principle, the use of traditionally processed gypsum for constructing traditional mortar in the conservation of this ancient site can be considered significant in terms of maintaining authenticity. Considering recent seasons of excavation and access inside the castle, conducting similar tests on samples of interior plaster can reveal the differences between the mortars used on the outer and inner surfaces. This information can provide insights for proposing restoration and conservation procedures for the site.

Acknowledgments

On behalf of all the authors, we would like to express our sincere gratitude to the Cultural Heritage Administration of Tabriz for their collaboration and support in completing this study, which is based on the Master's thesis of Ms. Parastoo Haghani, a graduate student in Archaeometry at Tabriz Islamic Art University. Additionally, we extend our heartfelt thanks to Tabriz Islamic Art University for their financial and moral support.

Observation Contribution

M. Razani and P. Haghi designed and performed the experiments and analyzed the data. R. Velayati helped to select and prepare the samples from the historical site and the authors contributed to the final version of the manuscript.

Conflict of Interest

The authors certify that there are no conflicts of interest associated with the content of this article about any scientific organizations.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

ساختارشناسی ملاط‌های باستانی قلعه اوجان متعلق به دوران سلجوقی-ایلخانی

مهدی رازانی^I؛ رحیم ولایتی^{II}؛ پرستو حقی^{III}

نوع مقاله: پژوهشی

صص: ۱۷۸ - ۱۵۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۷/۰۴؛ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۱۱/۱۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۱۸

شناسه دیجیتال (DOI): <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.151>

چکیده

این پژوهش به بررسی ساختارشناسی ملاط‌های باستانی قلعه اوجان متعلق به دوران سلجوقی-ایلخانی در شهرستان بستان‌آباد استان آذربایجان شرقی می‌پردازد. مهم‌ترین پرسش‌هایی که این پژوهش به دنبال پاسخ‌گویی به آن‌هاست عبارتند از این‌که، ملاط‌های قلعه اوجان چه گونه‌های را شامل می‌شود؟ و ویژگی‌ها ملاط قلعه اوجان از نظر مشخصات ساختارشناسی چیست؟ در همین راستا از روش‌های مختلف مطالعات میدانی برای بررسی وضعیت موجود و مستندسازی، نمونه‌برداری و هم‌چنین مطالعات آزمایشگاهی با استفاده از آنالیزهای پرتو ایکس و فلورسانس پرتو ایکس جهت بررسی ساختارشناسی و خصوصیات فیزیکی-شیمیایی ملاط‌های باستانی قلعه گردید، آزمایش‌ها بر روی ۱۰ عدد ملاط نمونه‌برداری شده از بخش‌های مختلف دیوار بیرونی قلعه که در طی کاوش‌های باستان‌شناسی پنج فصل گذشته از زیر خاک بیرون آمده بود، انجام گرفت و با استفاده از روش‌های XRF و XRD نسبت به شناسایی فاز غالب و ترکیبات موجود در هر نمونه، اقدام گردید. نتایج به دست آمده از این پژوهش نشان می‌دهد ترکیب ملاط‌های مورد استفاده به طور قابل توجهی مشابه است و برخلاف مفروضات قبلی مبتنی بر استفاده از ملاط‌های پایه آهکی در مناطق سردسیر و به خصوص بناهای سنگی، نتایج نشان داد ملاط به کار رفته در معماری سنگی قلعه اوجان با توجه به حضور کانی ژئپیس و کانی کوارتز، ملاطی پایه گچی با خلوص بالا است که از ماسه و خرده سنگ برای تقویت ساختاری و به خصوص ارتقاء مقاومت فشاری آن استفاده شده است.

کلیدواژگان: ساختارشناسی، ملاط، قلعه اوجان، سلجوقی-ایلخانی، XRF، XRD.

I. دانشیار گروه مرمت و باستان‌سنجی، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول).

Email: m.tabriziau@au.ac.ir

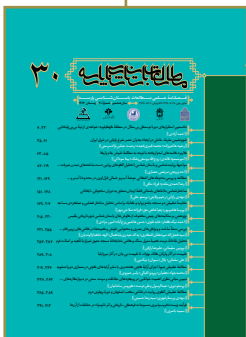
II. استادیار گروه باستان‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

III. کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، گروه مرمت و باستان‌سنجی، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران.

ارجاع به مقاله: رازانی، مهدی؛ ولایتی، رحیم؛ و حقی، پرستو، (۱۴۰۳). «ساختارشناسی ملاط‌های باستانی قلعه اوجان متعلق به دوران سلجوقی-

ایلخانی». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۸ (۳۰): ۱۷۸-۱۵۱. <https://doi.org/10.22034/PJAS.8.30.151>

صفحه اصلی مقاله در سامانه نشریه: https://journal.richt.ir/mbp/index.php?slc_lang=fa&sid=1

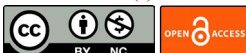


فصلنامه علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریه پژوهشکده باستان‌شناسی، پژوهشگاه
میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری

© حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است
و نویسنده تحت مجوز Creative Commons
Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله
چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط
براین‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه
مقاله در این مجله اشاره شود.

The Author(s)



مقدمه

آثار به جای مانده از دوره‌های مختلف معماری ایران، افزون بر بیان تغییر و تحول معماری بیانگر تکامل و گسترش دانش ایستایی، سازه، شناخت و تولید مصالح گوناگون هستند، از آن جمله عوامل تأثیرگذار ملاط‌ها و مصالح معماری بوده است. چنان‌چه پس از گذشت قرن‌ها بسیاری از این ملاط‌ها هم‌چنان پابرجا باقی مانده و ویژگی‌های خود را از دست نداده‌اند (حیدری و همکاران، ۱۳۹۲: ۸۲). ملاط‌های تاریخی دستاوردهای فرهنگی هستند که خواص آن‌ها وابسته به مواد خام، نوع فن‌آوری و تولید و به‌کارگیری آن‌ها متغیر است (Crisci et al., 2004: 260). شناسایی ترکیب ملاط‌های تاریخی می‌تواند اطلاعات مهمی از مراحل ساخت‌وساز و فناوری کار بنایان گذشته در اختیارمان قرار دهد (Morricon et al., 2012: 231). مرمت ملاط در آثار معماری باستانی نیاز به دانش پیشرفته و درک بهتری از مواد و مصالح ساختمانی دارد (Valek & Veigu, 2005؛ رازانی و داداش‌زاده، ۱۳۹۹). اتخاذ یک روش حفاظتی مناسب از میراث تاریخی معماری نیازمند اطلاعاتی درمورد کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی و خواص مکانیکی و فیزیکی ملاط‌های باستانی است (Surendran et al., 2017: 2133). از مهم‌ترین پرسش‌ها باستان‌شناسی درمورد بناهای تاریخی تعیین دوره‌بندی قسمت‌های مختلف بنا و تشخیص بخش‌های اصلی از بخش الحاقی آن است. در مطالعات مربوط به ملاط‌های باستانی اخیراً تمرکز بر روی شناسایی و توصیف خصوصیات اجزای آن‌ها به منظور اختصاص دادن هرکدام به یک دوره تاریخی خاص مورد توجه قرار گرفته است که پس از طبقه‌بندی دقیق این ویژگی‌ها صورت می‌گیرد (Tomasseti et al., 2015: 2). معماری اسلامی ایران با وجود مطالعات زیاد با کاستی‌ها و کمبودهای فراوانی روبه‌رو است که بخشی از این کاستی‌ها به دلیل عدم توجه کافی پژوهشگران به گنجینه‌های فرهنگی و هنری سرزمین‌های مختلف ایران مانند آذربایجان است (فیضی و همکاران، ۱۳۹۶). بدون تردید عصر ایلخانی را می‌توان یکی از ادوار درخشان در تاریخ شهرسازی ایران و سرآغازی دیگر در پیدایش سبکی جدید در ایجاد و توسعه فضاهای شهری دانست؛ این سبک که به «شیوه آذری» معروف است، به سوی آفرینش شهرک‌های سلطنتی چون غازانیه و سلطانیه و مادر شهر استراتژیکی چون تبریز که تجلی‌گاه آرمان‌ها و تفکرات شهرسازی ایلخانان مغول است، شتابان بوده و شهر اوجان یکی دیگر از شهرهای جدید الاحداث ایلخانان در حوالی تبریز است که خرابه‌های آن تا به امروز بدون مطالعه باقی مانده است (کریمی‌ان و مهدی‌زاده، ۱۳۹۳: ۲۸-۲۴). فقر مطالعات دقیق و بررسی‌های کارشناسانه، ضعف بزرگی است که در شناخته نشدن میراث معماری منطقه آذربایجان بی‌تأثیر نبوده است (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴). از طرفی مطالعه ساختار، ترکیب و عمل‌آوری ملاط‌های سنتی بسیار حائز اهمیت است، چراکه شناخت و آشنایی با ترکیبات مورد استفاده در این ملاط‌ها، سبب گزینش روشی مناسب در حفاظت و مرمت آن‌ها می‌شود. شناخت ترکیب و عمل‌آوری ملاط‌های باستانی می‌تواند در بازتولید آن‌ها کمک کند. یکی از معضلاتی که مرمتگران با آن مواجه هستند استفاده از ملاط‌های جدید در بناهای کهن است که از نظر بافت، رنگ و ساختار با ملاط اصلی متفاوت بوده؛ لذا شناخت ترکیبات و بازتولید آن می‌تواند از نظر رنگ و بافت هم‌خوانی بیشتری با بنا داشته باشد مطالعات ساختارشناسی ملاط‌ها می‌تواند اطلاعات مهمی درمورد روش تهیه و فناوری تولید مواد خام ملاط‌های باستانی بدهد. به علاوه، شناخت ترکیب و ویژگی‌های ملاط‌های تاریخی می‌تواند به شناسایی صحیح عوامل آسیب‌رسان در بنا کمک نماید. تجزیه و تحلیل کانی‌شناسی و شیمیایی ملاط‌ها اطلاعات مهمی مربوط به ویژگی‌ها گیرش، نوع درجه‌بندی سنگ‌های معدنی و کمیت ترکیبات ملاط به ما می‌دهد (Surendran et al., 2017: 2133).

پرسش‌های پژوهش: در این پژوهش با تأکید بر نمونه‌برداری صحیح تلاش شده است تا به پرسش‌ها پیش‌رو در رابطه با ملاط‌های به‌کاررفته در قلعه اوجان پاسخ داده شود؛ (۱) ملاط‌های

قلعه اوجان ایلخانی چه گونه‌های را شامل می‌شود؟ (۲) ویژگی‌ها ملاط قلعه اوجان از نظر مشخصات ساختارشناسی چیست؟ در این پژوهش، ساختارشناسی و شناسایی نوع ترکیب ملاط‌های قلعه تاریخی اوجان، مربوط به دوران ایلخانی-سلجوقی، مورد بررسی و مطالعه قرار خواهد گرفت.

روش پژوهش: پژوهش شامل سه بخش اساسی: (۱) گردآوری اطلاعات اسنادی برمبنای مطالعات کتابخانه‌ای، (۲) مطالعات میدانی و شرح نتایج کاوش‌های باستان‌شناختی پنج فصل کاوش علمی در قلعه تاریخی اوجان و همچنین مستندسازی وضعیت موجود محوطه جهت معرفی ماهیت بنای مورد مطالعه، و (۳) مطالعات آزمایشگاه براساس نمونه‌برداری از ملاط‌های دیوار بیرونی قلعه با توجه به ضرورت ساختارشناسی و بررسی کیفی مصالح آن انجام گردیده است.

پیشینه مطالعاتی ملاط گچ

استفاده از ملاط‌ها تاریخچه‌ای ناشناخته و کمتر مطالعه شده دارد، اما به سادگی می‌توان گفت ملاط‌ها در قالب کاربردهایی همانند اندود بیرونی و درونی ساختمان‌ها و لایه‌های پوشش دهنده و محافظت‌کننده از مصالح ساختمانی در قالب موادی چسبنده به مصالح از دوران پیش از تاریخ تا به امروز کاربرد داشته‌اند (Veiga et al., 2001). در بسترهای تاریخی فرهنگی مطالعات مختلفی بر روی ملاط‌ها انجام می‌شود که در قالب: (۱) ساختارشناسی و منشأیابی، (۲) مطالعات بازسازی فناوری ساخت، (۳) سال‌یابی، (۴) ارزیابی خواص ذاتی و گیرایی، (۵) بهینه‌سازی برای اقدامات حفاظتی و مرمتی و منابع مختلف این حوزه را شامل می‌شوند (رازانی و همکاران، ۱۳۹۷). ملاط‌ها از مهم‌ترین مصالح استفاده شده در بناها هستند که وظیفه چسباندن و اتصال مصالح آجر، خشت و سنگ و تبدیل آن‌ها از بخش‌های مجزا به یک توده باربر را برعهده دارند. هرچه قدرت و توان چسبندگی ملاط و مقاومت آن بیشتر باشد، توده باربر حاصل، از توان و مقاومت بیشتری برخوردار خواهد بود. ملاط به عنوان یکی از شاخص‌های پیشرفت فن آوری در جوامع باستانی شناخته می‌شود و به نظر می‌رسد به کارگیری گل رس، گام نخست در استفاده از ملاط برای ساخت بناهای کوچک بوده است. اصولاً به کار بردن صحیح و مناسب ملاط‌ها و اندودها و سایر مصالح ساختمانی را می‌توان دلیل پایداری بناهای باستانی و تاریخی در نظر آورد. در قسمت‌های مختلف بناهای تاریخی از ملاط‌های گوناگون استفاده شده است (فیاضی و همکاران، ۱۳۹۴).

کاربرد ملاط گچی حداقل به آغاز هزاره سوم پیش از میلاد در مصر باستان بازمی‌گردد (Torraca, 1982: 65) و در دوره آشوریان و بابلی‌ها در بین‌النهرین به عنوان لایه تزئینی بر روی آجرهای سازه استفاده می‌گردید. یکی از قدیمی‌ترین موارد استفاده از ملاط گچ در فلات ایران، مربوط به دوره ایلامی و ایلام میانه از ۱۲۰۰-۱۵۰۰ پ.م. و آرامگاه «تپتی آهار» است. در دوره فرمانروایی اشکانیان، سبک نوینی در معماری ایران با نام «سبک پارتی» پایه‌گذاری شد و تحولاتی در نوع مصالح بناها پدید آمد که یکی از تأثیرگذارترین تغییرات را می‌توان استفاده گسترده از گچ دانست می‌توان گفت، معماران اشکانی نخستین معماران ایران بودند که از ملاط گچ در ساخت فضاهای وسیع و سازه‌های عظیم معماری استفاده گسترده‌ای کردند؛ و بعدها این ماده به یکی از متداول‌ترین روش‌های ساخت بنا در معماری دوران ساسانی و اسلامی بدل شد (Kroger, 1982). گچ به عنوان ماده مورد استفاده در آرایه‌های معماری در دوران اشکانی و ساسانی در ایران رواج یافته است. آفرینش و ترکیب شیوه‌های مختلف در ساخت آرایه‌های گچی در دوران اسلامی سبب شده است که بیش از ۱۲ شیوه مختلف گچ‌بری در ایران شناسایی دسته‌بندی شوند که در ساخت برخی از این آثار استفاده از افزودنی‌های مختلف آلی هم‌چون: چسب‌ها، بست‌ها و رنگ‌دانه‌ها اشاره می‌شود (صالحی‌کاخکی و اصلانی، ۱۳۹۰: ۹۷). آزمایش روی نمونه‌های سنگ خام گچ نشان می‌دهد کربنات‌های فلزی، ترکیب دولومیت یا کلسیت و کوارتز از طریق سنگ معدن خام اولیه به

ملاط راه می‌یابند. متمایز بودن ملاط ساسانی، نوعی نمایه برای این بناها محسوب می‌شود؛ که شامل: ژئوپس، کلسیت یا دولومیت، برخی سولفیدهای فلزی و ترکیبات سیلیکات است. در قرون اولیه دوران اسلامی و پس از گذار از هرج و مرج سیاسی رخ داده و در پی سقوط امپراتوری ساسانی، شاهد گذار تدریجی به سوی استفاده از فناوری‌های بهتر در تولید ملاط‌های بادوام‌تر هستیم. این ملاط‌ها ساختاری شبیه به ملاط سیمان دارند که امروزه به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند (ماهیار و همکاران، ۱۳۹۸ و ۱۴۰۰).

گچ به دلیل استفاده گسترده‌ای که در معماری و هنر باستان داشته است، برای باستان‌شناسان و پژوهشگران هنر، ماده‌ای مهم محسوب می‌شود. چون با مطالعه ویژگی‌ها فنی و نقوش آرایه‌های گچی تمدن‌های گوناگون، می‌توان به اطلاعات گسترده‌ای در رابطه با آن‌ها دست یافت. از سوی دیگر، خواص شیمیایی و فیزیکی گچ، شرایط مطلوبی برای آزمایش‌های سال‌یابی، بلورشناسی و کانی‌شناسی فراهم می‌کند (گرشاسبی، ۱۳۹۹)؛ البته توجه به این مهم حائز اهمیت است که ملاط گچ سه نقطه ضعف شامل: (۱) مقاومت فشاری پایین، (۲) جذب آب بالا، (۳) زمان گیرش پایین آن است، دارد که می‌تواند موجب محدودیت استفاده گردد (Hashempour et al., 2021).

وفور سنگ معدن، فرآوری آسان‌تر در مراحل پخت سنگ گچ خام و خاصیت چسبندگی مناسب و دوام قابل قبول از مزایای خاص ملاط گچ است (ماهیار و همکاران ۱۴۰۰). در ایران و به ویژه مناطق مرکزی آن، به دلیل اقلیم خشک، از گچ به وفور برای اجرای آرایه‌های معماری استفاده شده است (حمزوی، ۱۴۰۰). یکی از مشکلات مهم در بررسی آثار تاریخی گچ، پیچیدگی ویژگی‌ها فیزیکی و شیمیایی بلورهای گچ و حساسیت فوق‌العاده آن‌ها به تغییر فیزیکی و شیمیایی محیط اطرافشان است؛ به این معنی که، در اثر حضور مواد مختلف آلی یا معدنی در زمان ساخت اثر یا پس از آن و یا وقوع تغییرات رطوبتی و دمایی، ممکن است فرم و حتی ماهیت بلور گچ تغییر کند؛ هرچند که شکل خارجی اثر تغییر چندانی را نشان ندهد (میش مست‌نهی، ۱۳۹۴). در بررسی ساختار سولفات‌های کلسیم سه ماده قابل تبدیل به یک‌دیگر وجود دارد: اندیریت (گچ سوخته) با ساختار شیمیایی CaSO_4 ، بازائیت (همی هیدرات) با ساختار شیمیایی $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ که همان پودر گچ قبل از اختلاط با آب است؛ ژئوپس یا سولفات کلسیم دو آب با ساختار شیمیایی $\text{CaSO}_4 \cdot 0.5\text{H}_2\text{O}$ که همان سنگ گچ قبل از پخت یا ملاط گچ بعد از گیرش است (عباسیان، ۱۳۷۱: ۲۲؛ Hudson-Lamb et al., 1996: 283).

فرآوری گچ با مقدار آب کم به مقداری که آب تبلور گچ را تأمین و ایجاد حالت روان و سیالی کند، باعث افزایش مقاومت گچ می‌شود. پدیده انحلال ژئوپس در آسیب‌شناسی ساختارهای گچی در اثر مجاورت آن با رطوبت زیاد ایجاد می‌شود. در این روند با توجه به حلالیت $\frac{1}{2}$ گرم بر لیتر ژئوپس در آب، بخش‌هایی از بلورها که ساختار شیمیایی فعال تری دارند، در آب حل شده و از محیط خارج می‌شوند. این پدیده (انحلال ژئوپس) از دیدگاه میکروسکوپی وجود حفرات و فضاهای خالی را در ساختار ملاط توضیح می‌دهد. از دیدگاه میکروسکوپی نیز به صورت حفرات بزرگ در بین ساختارهای ریز بلوز بلورهای منوکیلینیک گچ قابل رؤیت است؛ هم‌چنین تبلور مجدد در ساختارهای گچی که مدت زمان زیادی را در معرض رطوبت بوده‌اند و رطوبت آن‌ها به تدریج تبخیر شده است، دیده می‌شود. در این فرآیند، با تبخیر تدریجی، آب وارد شده به فضای بین بلورهای گچ، آب بین ساختاری به مرز اشباع رسیده و با تبخیر آب در اثر شرایط محیطی گرم، تبلور مجدد بلورهای فوق‌العاده ریز گچ روی سطوح بلورهای بزرگ‌تر قبلی اتفاق می‌افتد (شکفته و همکاران، ۱۳۸۷). ملاط گچ انواع مختلفی دارد؛ ملاط گچ و خاک که از ترکیب نسبتاً مساوی خاک و گچ با یک‌دیگر ملاط گچ و خاک ایجاد می‌شود و کاربرد فراوانی در معماری دارد و برای کرم‌بندی، شمشه‌گیری، اندودکاری و پوشش چشمه‌ها و طاق‌های آجری و بدنه دیوار مورد استفاده قرار می‌گیرد. ملاط گچ کشته؛ که برای تهیه آن ابتدا گچ ریزدانه و نرم را با آب مخلوط نموده و به مدت ۱۰ تا ۱۲ دقیقه آن را

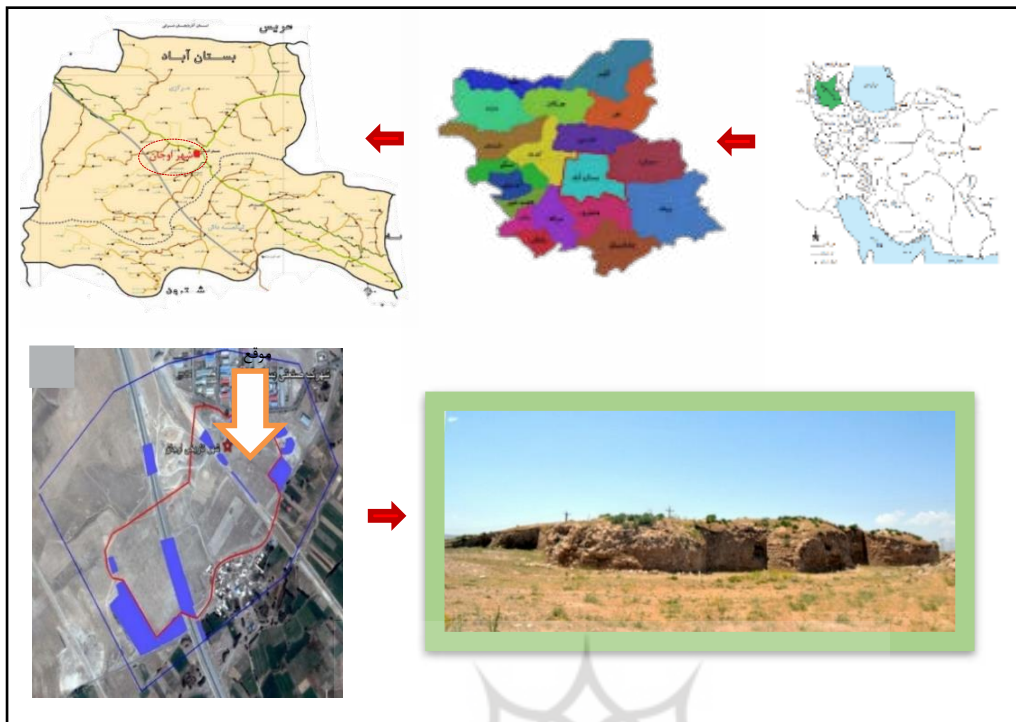
خوب ورز می‌دهند؛ این گچ تا قبل از خشک شدن کاملاً حالت پذیر است و زود غیرقابل استفاده نخواهد شد. ملاط گچ و ماسه، از ترکیب گچ و ماسه ریزدانه حاصل می‌شود. کاربرد ملاط گچ و ماسه در زیرسازی اندودها است. ملاط آهک و گچ، در ایتالیا و طی قرن ۱۷-۱۸ م. معماران که برای کارهای ترمیم بناها به ملاطی سریع و قابل اعتماد نیاز داشتند، اغلب از مخلوط‌های آهک/گچ در نسبت‌های متغییر استفاده می‌کردند؛ زیرا از طرفی گچ گیرش اولیه سریع را تضمین می‌کند و آهک خواص مکانیکی و مقاومت در برابر آب را بهبود می‌بخشد (Torraca, 2009: 47-49).

گچ یکی از پیچیده‌ترین و خاص‌ترین مصالح ساختمانی سنتی ایران به شمار می‌رود که هنرمندان گچ‌بر ایران در طی دو هزار سال گذشته، گاهی با کم و زیاد کردن نسبت آب به گچ، در ملاط و گاهی با ورز دادن کم یا زیاد ملاط و گاهی با افزودن مواد معدنی و آلی به ملاط گچ به عنوان مکمل، به خوبی توانسته‌اند با تغییر در ویژگی‌ها استحکامی و هم‌چنین زمان گیرش ملاط گچ، آثار بسیار متنوعی با شیوه‌های مختلف به عنوان آرایه‌های معماری خلق کنند (حمزوی، ۱۳۹۹) و از مواد متفاوتی می‌توان برای کاهش و یا افزایش زمان گیرش گچ استفاده نمود (یعقوب‌زاده، رازانی، ۱۴۰۱). در این میان قرون میانی دوره اسلامی و به خصوص دوره متقارن با حکومت ایلخانی در ایران از نقاط اوج کاربرد گچ به مثابه مصالح اصلی و هم‌چنین آرایه‌های معماری است؛ در این رابطه «لطف‌الله هنر فر» در تعبیری جالب توجه عصر ایلخانی مقارن با قرن هشتم را «عهد یا قرن گچ» نام‌گذاری می‌کند (هنر فر، ۱۳۴۷). گرچه این تعبیر در رابطه با مناطق مرکزی و به خصوص استان اصفهان به کاررفته است، اما شواهد نشان می‌دهد به واقع در هنر ایران و دوره ایلخانی در مصالح و آرایه‌ها به نحو شایسته و البته به صورت فراوان استفاده کرده است؛ چراکه در این دوره نیز سرعت در ساخت بسیار مدنظر بوده است.

جغرافیای طبیعی، تاریخی و پیشینه کاوش‌های باستان‌شناسی قلعه تاریخی اوجان

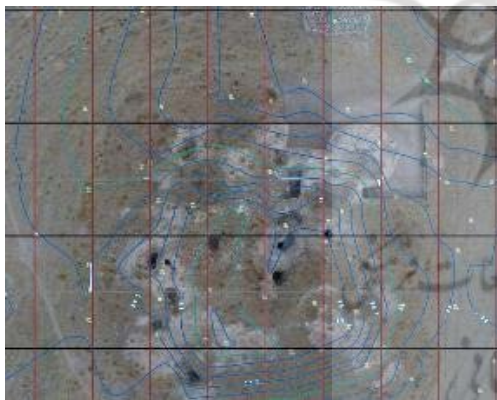
محل این شهر تاریخی در جنوب شهر بستان آباد فعلی در شرق روستای حاجی‌آقا در ساحل شرقی رودخانه اوجان و در مرکز چمن اوجان بوده است (ولایتی، ۱۳۹۲)، (شکل ۱). پیشینه پژوهش در این خصوص را می‌توان به کتاب شهر اوجان تألیف «مدرس» (۱۳۸۴) مقاله «شهر تاریخی گمشده اوجان» تألیف «هویدا» (۱۳۵۴) اشاره نمود. در تعدادی از متون تاریخی از اوجان نام برده شده و به شکل توصیفی اطلاعات مختصری از اوجان بیان شده است، بررسی‌های میدانی در فاصله سال‌های ۱۹۹۱-۱۹۹۲ م. و در محدوده شرق دریاچه ارومیه به سمت بستان آباد-شلی باهدف شناسایی محوطه‌های پیش از اسلام توسط «کلیس» و «کرول» صورت گرفت که با توجه به اهداف بررسی‌های صورت‌گرفته هیچ نامی از محوطه اسلامی اوجان به میان آورده نشده است (ولایتی و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۴).

بررسی‌های باستان‌شناسی منطقه به تناوب از سال ۱۳۸۵ تا ۱۴۰۱ ه.ش. توسط هیأت باستان‌شناسی دانشگاه تهران به سرپرستی «رحیم ولایتی» با همکاری مؤسسه باستان‌شناسی شناسایی موقعیت شهر گمشده اوجان آغاز گردید. توصیف‌های تاریخی شهر تاریخی ایلخانی اوجان و خصوصاً تصویری که در کتاب بیان منازل سفر عراقین سلطان سلیمان خان که «نصوح افندی (مطراچی)» ترسیم شده کمک شایانی به این مطالعات نموده است (ولایتی، ۱۳۹۶)، (شکل ۲)؛ تا این‌که پس از مطالعه متون و بررسی‌های میدانی صورت‌گرفته در سال ۱۳۹۲ ه.ش. محوطه در ساحل شرقی رودخانه «اوجان چای» به عنوان مکان احتمالی اوجان انتخاب و کاوش در این منطقه شروع شد و نقشه توپوگرافی محوطه کاوش در شکل ۳، قابل شناسایی است (ولایتی، ۱۳۹۶). در سال ۱۳۹۵ ضمن گمانه‌زنی در محدوده شهر تاریخی اوجان عرصه و حریم شهر تعیین گردید. پس از آن، فصل اول کاوش قلعه و ارگ حکومتی شهر اوجان نیز در سال ۱۳۹۶ ه.ش. انجام



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی بستان‌آباد و جانمایی قلعه اوجان (ولایتی، ۱۳۹۷).

Fig. 1: Geographical location of Bostanabad and placement of castle of Ojan (Velayati, 2017).



شکل ۳: نقشه توپوگرافی محوطه و مناطقی که تحت کاوش‌های غیرمجاز قرار گرفته‌اند (ولایتی، ۱۳۹۶).

Fig. 3: Topography map and the area of castle of Ojan that were subjected to illegal excavations (Velayati, 2016).

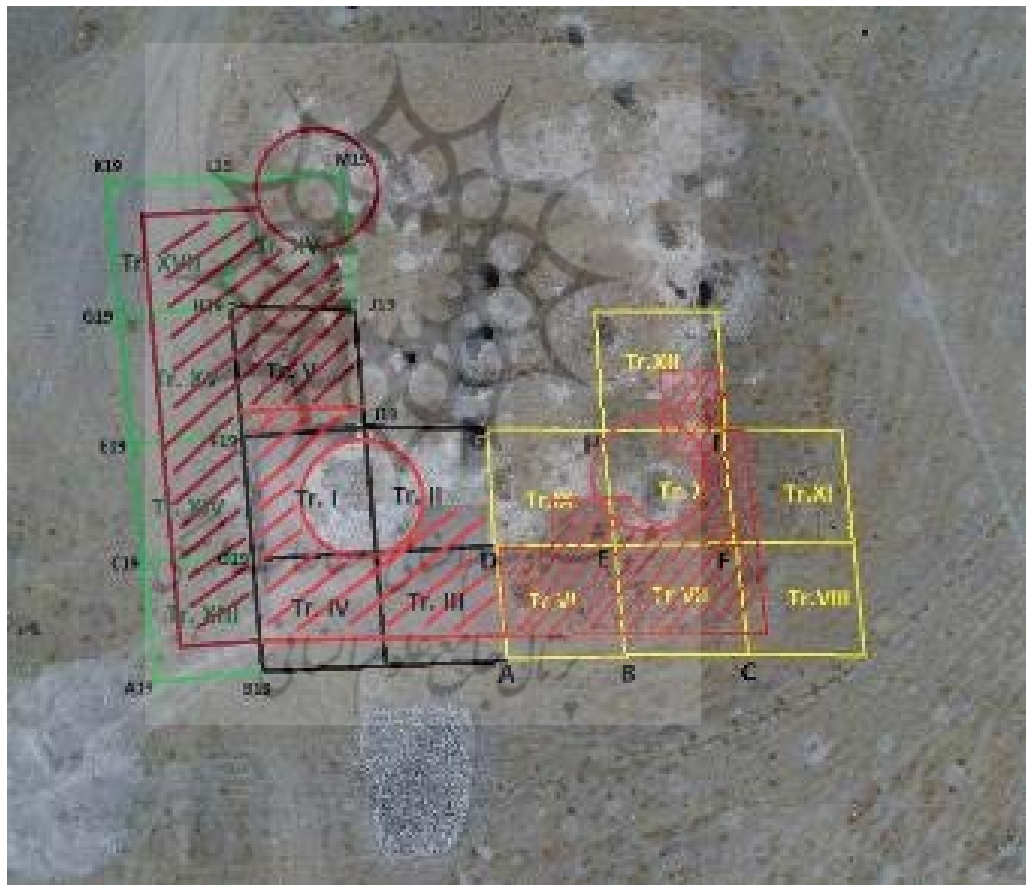


شکل ۲: نقاشی مطراقچی از شهر اوجان، شامل قلعه و عمارت شاه‌نشین (ولایتی، ۱۳۹۷).

Fig. 2: Matraqchi's painting of the city of Ojan, including the castle and the royal palace (Velayati, 2017).

شد (ولایتی، ۱۳۹۷). نتیجه کاوش برج اول از سمت شمال شرق را در این فصل آزادسازی شد. در فصل دوم کاوش (۱۳۹۷) دیوار شمال به شکل سراسری و برج دوم قلعه در ضلع شمال غربی آزادسازی شد؛ و در فصل سوم کاوش (۱۳۹۸) دیوار ضلع شرقی و دروازه ورودی قلعه و برج سوم جنوب شرقی و دروازه ورودی حصار قلعه آزادسازی شد. در عکس هوایی (شکل ۴) خطوط سبزرنگ مکان و اندازه ترانشه‌های ایجاد شده در فصل سوم، خطوط زردرنگ مکان و اندازه ترانشه‌های کاوش شده در فصل دوم و خطوط مشکی مکان و اندازه ترانشه‌های ایجاد شده در فصل اول کاوش و خطوط قرمز قسمتی‌هایی را که در هر فصل به طور جداگانه در هر ترانشه کاوش شده را نشان

می‌دهند به صورت کلی می‌توان گفت در تابستان ۱۳۹۶ و فصل اول کاوش پنج ترانشه در ابعاد ۱۰×۱۰ متر در گوشه شمال غربی حصار قلعه کاوش نمودند. در نتیجه این کاوش، برج اول از سمت شمال شرق و دیوارهای بیرونی قلعه را در این فصل آزادسازی نمودند. در فصل دوم به سال ۱۳۹۷ و در فصل دوم کاوش ۷ ترانشه ۱۰×۱۰ متر در ضلع شمال غربی قلعه تعیین و کاوش آغاز گردید. در نتیجه این فصل از کاوش دیوار شمال به شکل سراسری و برج دوم قلعه در ضلع شمال غربی آزادسازی شد. در فصل سوم کاوش که در سال ۱۳۹۸ صورت گرفت؛ دیوار ضلع شرقی و دروازه ورودی قلعه و برج سوم جنوب شرقی و دروازه ورودی حصار قلعه آزادسازی شد. در فصل چهارم کاوش که در سال ۱۴۰۰ صورت گرفت، بقیه دیوار ضلع شرقی و جنوبی و بخشی از ضلع غربی ورودی دوره صفوی قلعه آزادسازی شد. در فصل پنجم کاوش که در سال ۱۴۰۱ صورت گرفت، برای اطلاع از وضعیت معماری داخل قلعه هیأت کاوش از جبهه شمالی که افراد سودجو و حفاران غیرمجاز روزنه در دیوار شمالی ایجاد کرده بودند، وارد داخل قلعه اوجان شد و ۷ ترانشه ۱۰×۱۰ متر را کاوش نمود و مشخص شد که داخل قلعه یک تالار ستون‌دار مسقف بوده است.



شکل ۴: تصویر هوایی مربوط به قلعه اوجان و ترانشه‌های کاوش در هر فصل (ولایتی، ۱۳۹۸).
 Fig. 4: Aerial images related to Ojan Castle and excavation trenches in each season (Province, 2018).

آرایه‌ها و اشیاء به دست آمده از قلعه اوجان

در مطالعات انجام شده به خصوص در لوکوس شماره ۲۴۰۲، مربوط به کاوش سال ۱۴۰۱، به علاوه مواردی که مشابه آن در بخش‌های پیشین به عنوان نمونه یافته‌های بخش‌های مختلف بنا آمده، از جمله قطعات پراکنده سفال و قطعات شکسته کاشی فیروزه‌ای انواع دیگری از تزئینات مواد فرهنگی شامل قطعات شکسته ستون و دیوار، قطعات اندود و انواع کاربندی‌های گچی (شکل ۵)

به دست آمده است؛ به نحوی که معرف ابعاد جدیدی از آرایه‌های معماری و انباشت خاک آواری قلعه است. در آخرین فصل کاوش انواع قطعات گچ‌بری، کاربندی‌ها، ستون‌ها و دیوارهای ریزش کرده شناسایی گردید؛ هم‌چنین یک تکه نسبتاً کامل مقرنس گچی که هنوز در محل قرار دارد، مشاهده گردید و این نشانگر وجود تزئینات مقرنس به صورت متوالی بین ستون‌ها است. در طول پنج فصل کاوش صورت گرفته در منطقه اوجان، یافته‌های باستان‌شناسی گوناگونی در این منطقه کشف گردید؛ از جمله آثار معماری شهرسازی، سکه‌های مسی، تکه سفال‌های مربوط به دوران سلجوقیان و ایلخانان، کاشی، شیشه، میخ فلزی و سنگ‌های قواره‌ای و برش خورده مورد استفاده در معماری که هر یک به سهم خود می‌تواند در سال‌های و اثبات مکان‌یابی منطقه نقش مؤثری داشته باشند. تعدادی از نمونه‌های این آثار در جدول ۱، جمع‌آوری شده است.



شکل ۵: مقرنس‌کاری اجرا شده بر روی ستون شماره ۶، جبهه شرقی (ولایتی ۱۳۹۹).

Fig. 5: Moqrans work performed on column number 6, eastern front (Velayati 2019).

توصیف کلی معماری بنا و نقشه‌ها

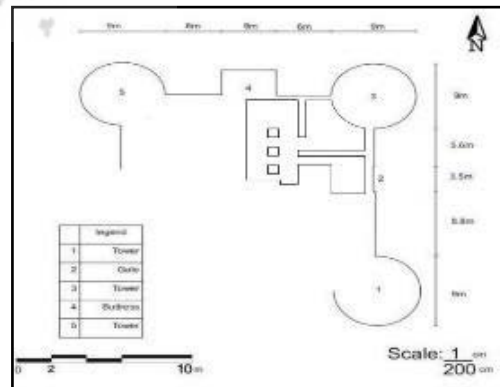
در شکل ۶، پلان مربوط به بنای فعلی قلعه اوجان ترسیم شده است. در کاوش‌های اخیر مربوط به سال ۱۴۰۱ ه.ش. که توسط گروه باستان‌شناسی دانشگاه تهران انجام گرفت، در بخش‌های داخلی قلعه، ستون‌هایی به ابعاد ۱۲۰×۱۲۰ سانتی‌متر به دست آمده که احتمال وجود تالار ستون‌دار در داخل قلعه را تقویت می‌کند. براساس مطالعات انجام شده باستان‌شناسی و پس از عکاسی و نقشه‌برداری میدانی از محیط قلعه، پلان مربوط به بنا در نرم‌افزار AutoCad 2017 ترسیم و سپس با استفاده از نرم‌افزار BLENDER نسخه ۴٫۳ اقدام به طراحی سه‌بعدی قلعه در وضعیت شناخته شده کنونی گردید. هنوز به اتمام کاوش‌های باستان‌شناسی قلعه تاریخی اوجان زمان زیادی مانده است، اما براساس مطالعات و کاوش‌های انجام شده باستان‌شناسی صورت گرفته و هم‌چنین پس از مشاهدات میدانی و مطالعات و مقایسه با بناهای هم‌دوره با ساخت قلعه اوجان و مشاوره‌هایی که انجام گرفت، اقدام به ترسیم نقشه با استفاده از سه‌بعدی‌سازی رایانه‌ای به مدل احتمالی قلعه اوجان گردید؛ در شکل ۷، شمای ظاهری قلعه و استحکامات و ارگ‌های آن ارائه شده است. شایان ذکر است، ترسیم براساس آخرین وضعیت شناخته شده کنونی اجرا شده و در ادامه کاوش‌ها می‌تواند به صورت دقیق‌تری انجام گیرد. به علاوه هم‌چنان‌که قابل مشاهده است، بنای قلعه تماماً سنگی بوده و اجزا با ملاط‌های مورد مطالعه به هم پیوسته‌اند.

جدول ۱: نمونه یافته‌های باستانی منطقه و محوطه قلعه اوجان (ولایتی، ۱۳۹۷).
 Table 1: Examples of ancient finds in the area and area of Ojan Castle (Velaiti, 2017).

	
<p>سفال‌های قالب‌زده سفال‌های موسوم آقکند، سفال‌های اسرافیاتو مربوط به دوره‌های سلجوقیان و ایلخانان Molded pottery, the so-called Aqkand pottery, esgrafiato pottery from the Seljuk and Ilkhanate periods</p>	
	
<p>کاشی با لعاب فیروزه‌ای Tile with turquoise glaze</p>	
 <p>Ujan 2017 Tr. II L. 209 R.N. 210 E: 60 Cm N: 300 Cm</p> <p>Ujan 2017 Tr. I L. 105 H.N. 102 D: -380 Cm S: 400 Cm E: 100 Cm</p> <p>Ujan 2017 Tr. II L. 209 R.N. 207 E: 40 Cm N: 750 Cm D: 350 Cm</p>	
<p>کاشی، میخ فلزی، سکه‌های مسی Tiles, metal nails, copper coins</p>	
 <p>Ujan 2017 Tr. II L. 211 R.N. 215 D: -385 N: 800 Cm E: 60 Cm</p> <p>Ujan 2017 Tr. II L. 211 R.N. 217 D: -380 Cm E: 540 Cm N: 730 Cm</p> <p>Ujan 2017 Tr. II L. 209 H.N. 208 E: 40 Cm N: 380 Cm D: 380 Cm</p>	
<p>سنگ‌های برش خورده، کاشی لعابدار و شیشه از قلعه اوجان cut stones, glazed tiles, glass from Ojan Castle</p>	



شکل ۷: مدل‌سازی سه‌بعدی از ساختار وضعیت فعلی قلعه اوجان (نگارندگان، ۱۴۰۱).
 Fig. 7: Three-dimensional modeling of the structure of the current state of the castle of Ojan (Authors, 2022).



شکل ۶: پلان مربوط به قلعه تاریخی اوجان (نگارندگان، ۱۴۰۱).
 Fig. 6: The plan of the historical castle of Ojan (Authors, 2022).

معماری و شهرسازی شهر اوجان اسلامی

در نگاه اولیه کلی به محوطه تعیین شده احتمالی منسوب به قلعه، تپه‌های مخروطی‌شکلی با مقطع بیضی شکل و با ارتفاع ۱۰۰ متر بالاتر از زمین‌های اطراف دیده می‌شد. محوطه شهر اوجان همانند سایر شهرهای باستانی ایران، متشکل از سه بخش ارگ، ریض و شارستان بوده که بنا به شواهد موجود از جمله بقایای سطحی محوطه، محل کوشک یا کاخ در جنوب غربی ارگ (طبق نقاشی چلبی در شمال غرب ارگ) و به فاصله تقریبی ۱۰۰ متر آن و داخل حصار بوده است. فعالیت‌های کشاورزی و تسطیح اراضی موجب تخریب این بخش شده است. حتی محل کنونی روستای اشرف‌آباد نیز می‌تواند یکی از پیش‌فرض‌های محل احتمالی شارستان و رب باشد (ولایتی و همکاران، ۱۳۹۴: ۸۴) قلعه یا ارگ حکومتی دارای چهار برج مدور دیده‌بانی است که سه برج آن تا زمان نگارش این پژوهش به شکل کامل از زیر خاک بیرون آورده شده است که قطر هرکدام از این برج‌ها حدود ۹ متر است. پلان کلی بنا به ابعاد ۳۶×۳۶ متر است و دیوارهای جانبی و برج‌ها هم با سنگ‌های تراش خورده و به اصطلاح با سنگ مالون و گچ کار شده است که امروزه بلندترین دیوار باقی مانده از قلعه ۵۳ متر در ضلع غربی بنا قرار دارد. سنگ‌های قواره‌شده و تراش خورده بزرگ در رج‌های نزدیک به کف چیدمان شده است و هرچه به سمت رج‌های بالاتر رفته‌اند اندازه سنگ‌ها کوچک‌تر شده است. میانگین ابعاد سنگ‌های تراش خورده پی برج را می‌توان نزدیک به ۲۰ تا ۴۰ سانتی‌متر در نظر گرفت. در ساختار نمای بیرونی و درونی برج از سنگ‌های تراش خورده مربعی و مستطیلی استفاده شده است. سنگ‌های به‌کاررفته در ساختار این بنا از نوع ماسه سنگ و سنگ‌های آهکی هستند. ارتفاع قسمت‌های تخریب شده برج متغیر است، اما در بیشترین حالت به ۱ متر می‌رسد که این قسمت‌های تخریب شده معمولاً با آوار برج پر شده است. بین رج افقی و عمودی سنگ‌ها با استفاده از ملاط بندکشی شده و ضخامت ملاط بین هر رج بین ۲ تا ۴ سانتی‌متر متغیر است. ضخامت ملاط به‌کاررفته در مغز دیوار بسیار زیاد است؛ به نحوی که سنگ‌های دیوار کاملاً در ملاط فرو رفته‌اند (شکل ۸).



شکل ۸: دیوارهای سنگی قلعه اوجان (نگارندگان، ۱۴۰۱).
 Fig. 8: Stone walls of Ojan Castle (Authors, 2022).

همان‌طور که قبلاً اشاره شد در کاوش‌های اخیر بخشی از قسمت‌های داخلی قلعه نیز مورد کاوش قرار گرفته است و طی آن تالاری با سه ستون با ابعاد ۱۲×۱۲ سانتی‌متر و دو اتاق با ابعاد تقریبی ۲۴ m² کشف شده است؛ با کشف این موارد در داخل قلعه احتمال می‌رود قسمت داخلی قلعه به شکل تالاری بزرگ با ستون‌های قطور باشد که احتمال صحت این فرضیه طی مراحل بعدی کاوش مشخص خواهد شد. با توجه به ویژگی‌ها کلی برشمرده شده معماری دوره ایلخانی از نظر «ویلیبر» (۱۳۴۶: ۴۳-۳۵) که مواردی هم‌چون عظمت و سبکی ابنیه نسبت به دوره سلجوقی،

استفاده از تزئینات الحاقی به خصوص کاشی و گچی، بلندی ارتفاع و غیره، می‌توان گفت بنای قلعه اوجان از نظر تقسیم‌بندی‌های از معماری ایلخانی مجزا بوده و نیازمند تحلیل‌های دیگری در معماری این دوره است؛ به خصوص این‌که عمده نظرات ویلبر و همکاران متمرکز بر بناهای آرامگاهی بوده است.

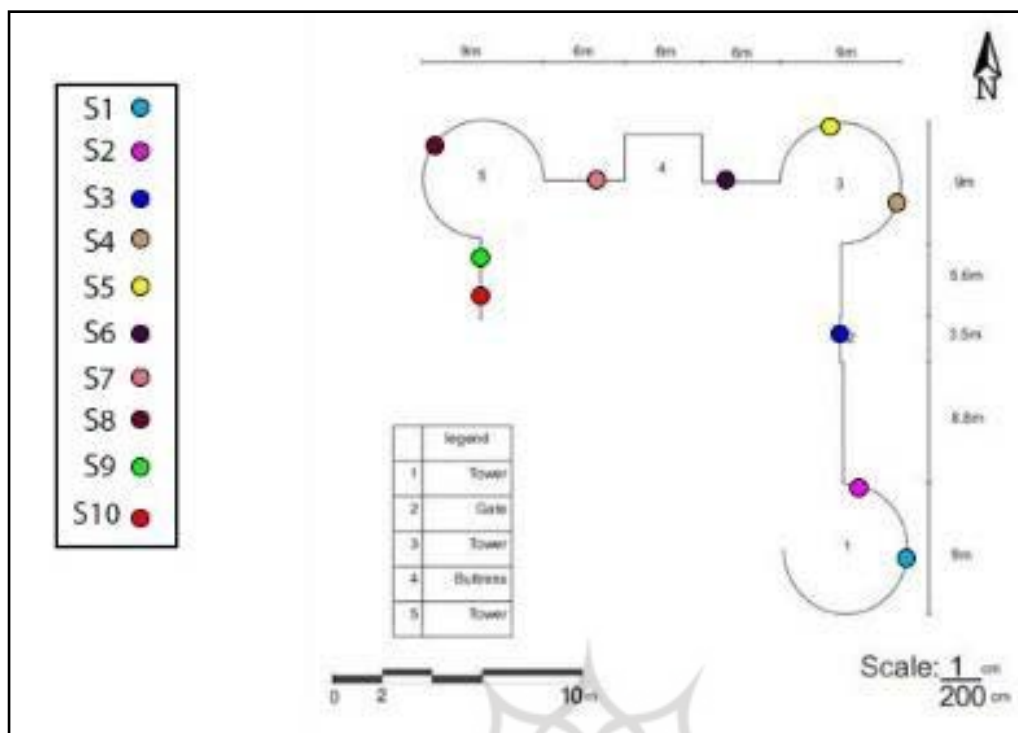
نمونه برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

نمونه برداری مواد تاریخی، یکی از اصلی‌ترین قسمت‌های مطالعات ساختارشناسی مواد است، از آنجاکه با توجه به ارزش تاریخی و فرهنگی در مطالعات مواد باستانی عمدتاً بحث نمونه برداری به تعداد زیاد در موارد اندکی میسر است، از این رو امکان برداشت حداقل نمونه متمرکز در میان بخش‌های ناپیدای اثر با در نظر گرفتن موارد زیباشناختی و حداقل دخالت مؤثر و تخریب بنا مطرح می‌شود و در رابطه با مواد فرهنگی به صورت استاندارد باید از تعداد و میزان حداقلی ولی کافی، نمونه برداشته شود (رازانی و حمزوی، ۱۳۹۷). روش نمونه برداری هم به گونه مصالح مورد مطالعه، هدف مطالعه و حجم با قابلیت نمونه برداری وابسته است. هنگام نمونه برداری از ملاط در طی مطالعات میدانی اطلاعات مربوط به بنا و بستری که ملاط در آن قرار دارد به صورت کامل یادداشت می‌شود؛ از جمله اطلاعات مهم در این زمینه عبارتند از: (۱) جایگاه و کاربرد محل نمونه برداری در ساختار معماری، (۲) گونه ملاط (اندود بیرونی، اندود درونی، ملاط بندکشی یا ملاط دیوارچینی)، (۳) شرایط قرارگیری ملاط، (۴) آسیب ملاط و نواحی اطراف آن.

در این پژوهش، پس از بررسی بخش‌های کاوش شده قلعه، نقشه برداری از بنا انجام شده و با توجه به وضعیت موجود دیوارها و ساختار مواد و مصالح مورداستفاده در بنا، تعداد ۱۰ نمونه شاخص به صورت تصادفی و با در نظر گرفتن پراکندگی کافی در بخش‌های مختلف قلعه از بخش‌های خارجی دیوارهای اصلی قلعه و مابین مصالح اصلی به نحوی که ملاط هوازدگی نداشته باشند، برداشته شد. روش نمونه برداری به صورت جداسازی لایه از بخش سالم و هوانزده بود. در شکل ۹، محل نمونه برداری‌ها مشخص گردیده است. براساس مشاهدات میدانی بدنه ملاط‌ها، به ویژه در بخش‌های سطحی تر و هوازده ساختاری سست و پودری داشتند، ولی در عمق‌های بیشتر از ۲۰ میلی‌متر از سطح دیوار ساختار ملاط‌ها نسبت به ملاط‌های سطحی از استحکام بهتری برخوردار بودند. رنگ ملاط‌ها اغلب به رنگ سفید و بر بخش‌هایی مایل به خاکستری بود و بقایای گیاهی یا اجزا دیگر در آن‌ها دیده نشد. در مرحله بعد، تصاویر و اطلاعات ظاهری مربوط به هر نمونه در محل ثبت گردید. توضیحات مربوط به توصیف ظاهری نمونه‌ها، تصاویر و محل نمونه برداری در جدول ۲، جمع‌آوری شده است. نمونه‌ها جهت آماده‌سازی همگی پودر شد و از الک با شماره ۲۰۰ رد شد، سپس نمونه‌ها بارکدگذاری شده و جهت انجام آزمایش‌های XRF و XRD به آزمایشگاه ارسال گردید. روش بارکد گذاری نمونه‌ها بدین صورت انجام گرفت؛ بارکد گذاری نمونه قلعه اوجان سال ۲۰۲۰ (OC20)، شماره ترانشه (عدد T)، کد نمونه (S)؛ به طور مثال: OC20-T16S01.

شرح روش‌های آنالیزهای پژوهش

روش‌های مبتنی بر اشعه ایکس اکنون در مطالعات میراث معماری فراگیر هستند و عمدتاً شامل روش‌های مبتنی بر شناخت ساختارها و ترکیبات و بررسی تصاویر ساماندهی شده‌اند؛ روش‌های مبتنی بر اشعه ایکس که در این مطالعه استفاده شده شامل: پراش اشعه ایکس (XRD) برای تعیین ساختار بلور و فلورسانس اشعه ایکس (XRF) برای اندازه‌گیری ترکیبات نمونه‌ها هستند. در این پژوهش جهت تعیین فازهای بلوره‌ای موجود در نمونه‌ها آزمایش‌های (XRD) با تهیه مقدار ۶ گرم پودر از نمونه‌های ۱۰ گانه و با استفاده از دستگاه دیفرانسیال XRD ساخت کارخانه



شکل ۹: محل‌های نمونه‌برداری در قلعه‌ی اوچان (نگارندگان، ۱۴۰۱).
 Fig. 9: Sampling locations in Ojan Castle (Authors, 2022).

PHILIPS مدل PW1800 شرکت بیم‌گستر تابان انجام شده و از نرم‌افزار Highscore Plus محصول سال ۲۰۱۶م. استفاده شد. در این آزمایش از Step Size و Time Per Step به ترتیب ۵/۰ درجه و ۱ ثانیه استفاده شده است؛ به علاوه از روش XRF جهت شناسایی ترکیبات عناصر اصلی و جزئی تشکیل دهنده ملاط‌ها با تهیه مقدار ۶ گرم پودر از نمونه‌های ۱۰گانه و با استفاده از دستگاه XRF ساخت کارخانه PHILIPS مدل PW1410 شرکت بیم‌گستر تابان انجام شده و از نرم‌افزار Sigma-plot برای ترسیم نمودارها استفاده شد.

نتایج و بحث در یافته‌ها







نمونه‌های مورد مطالعه هم‌چنان‌که با چشم مصلح دیده می‌شود، دارای ساختاری مسنجم و نسبتاً سخت درمیان مصالح سنگی قلعه هستند و هم‌چنین در تصاویر میکروسکوپی چندبرابری مشاهده می‌شود، به وضوح قطعات کوچک زغال و کربن‌های سوخته شده و دانه‌های سنگ‌ریزه و ماسه در رنگ‌های خاکستری و یشمی در آن‌ها دیده می‌شود که از نظر اندازه‌ای می‌توان آن‌ها را در رده ماسه با ابعاد تقریبی ۵/۰ تا ۱ میلی‌متر قرار داد. ملاط‌های مورد استفاده، هم‌چنین متخلخل و دارای ریزدانه‌هایی سنگ پخت نشده به رنگ سفید هستند. به علاوه در برخی قطعات نیز ریشه‌های گیاهی جدید دیده می‌شود. در کل، رنگ ملاط مورد نظر به سمت سفید با لایه‌هایی خاکستری و خاکی رنگ متمایل است.









نتایج آنالیز XRF

نتایج حاصل از تجزیه عنصری ۱۰ نمونه ملاط مورد مطالعه در جدول ۳ و ۴ و شکل ۱۱ ارائه شده است. نتایج نشان دهنده حجم بالایی از ترکیبات سولفاتی و کربناتی به علاوه اکسیدهای سیلیس در نمونه‌ها است؛ با توجه به فرمول شیمیایی گچ که خاصیت ترکیب‌پذیری با دیگر مواد در

جدول ۲: توصیف نمونه‌ها به همراه تصاویر مربوط به نمونه‌برداری (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Table 2: Description of the samples along with pictures related to the sampling location (Authors, 2022).

تصویر محل نمونه‌برداری	تصویر نمونه	توصیف نمونه و محل نمونه‌برداری	بارکد	نمونه
		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: در قسمت‌های سطحی بسیار سست و از عمق حدوداً ۲۰mm نسبتاً سخت ترکیب ظاهری: یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی</p> <p>نمونه‌برداری از بخش جنوب‌شرقی قلعه و ارتفاع ۷۰ CM از سطح خاک و از میان ملاط‌های بین سنگ‌های بنده دیوار برج اول پس از خراش جزئی بخش هوازده انجام شد (ملاط میان مصالح).</p>	OC20-T16S01	S1
		<p>رنگ: خاکستری روشن ساختار: در قسمت‌های سطحی سختی کم و پس از خراش در بخش‌های زیرین با فشار دست خرد می‌شد ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون افزونه‌های گیاهی...</p> <p>از بخش جنوب‌شرقی و ارتفاع ۹۰ CM از سطح خاک و از میان ملاط‌های بین سنگ‌های بنده دیوار برج اول پس از خراش جزئی بخش هوازده نمونه‌برداری شد. (ملاط میان مصالح)</p>	OC20-T16S02	S2
		<p>رنگ: خاکستری روشن ساختار: بخش‌های زیرین نسبتاً سخت و با فشار دست خرد می‌شد ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از دیواره شرقی قلعه و ارتفاع ۱۹۰ CM از سطح خاک از میان ملاط‌های مابین سنگ‌های بنده دیوار پس از جداسازی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	OC20-T05S03	S3
		<p>رنگ: خاکستری ساختار: از لحاظ ساختار بسیار سست ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از قسمت شمال‌شرقی قلعه با ارتفاع ۱۲۰ CM از کف و از میان سنگ‌های بنده دیوار برج دوم پس از خراش جزئی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	OC20-T01S04	S4
		<p>رنگ: خاکستری روشن و متوسط ساختار: در بخش‌های رویی با سختی کم و بخش‌های زیرین نسبتاً سخت‌تر بوده و با فشار زیاد دست خرد می‌شد ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از دیواره شمال‌شرقی ارتفاع ۵۰ CM از کف و از میان سنگ‌های بنده دیوار برج دوم پس از خراش بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	OC20-T04S05	S5
		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: در قسمت‌های سطحی بسیار سست و از عمق حدوداً ۲۰ mm نسبتاً سخت با فشار زیاد دست خرد می‌شد ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از قسمت شمالی با ارتفاع ۸۰ CM از کف پس از جداسازی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	OC20-T02S06	S6

 <p>OC20-T09S07</p>		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: از لحاظ ساختار بسیار سست ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از بخش شمالی با ارتفاع ۱۶۰ cm از کف و از میان ملاط‌های بین سنگ‌های بدنه دیوار پس از خراش بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	<p>S7</p>	<p>OC20-T09S07</p>
 <p>OC20-T10S08</p>		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: دارای دانه‌بندی‌های مشهود بوده و در قسمت‌های سطحی بسیار سست و از عمق حدوداً ۲۰ mm نسبتاً سخت ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از قسمت شمال غربی ارتفاع ۱۱۰ cm از کف و از میان سنگ‌های بدنه دیوار برج سوم پس از خراش جزئی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	<p>S8</p>	<p>OC20-T10S08</p>
 <p>OC20-T12S09</p>		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: در قسمت‌های سطحی با سختی نسبتاً کم ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از دیواره غربی ارتفاع ۱۴۰ cm از کف و از میان سنگ‌های بدنه دیوار پس از خراش جزئی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	<p>S9</p>	<p>OC20-T12S09</p>
 <p>OC20-T11S10</p>		<p>رنگ: خاکستری روشن و سفید ساختار: در قسمت‌های سطحی بسیار سست دارای دانه‌بندی‌های مشهود ترکیب ظاهری: تقریباً یک‌دست و بدون مشاهده افزونه‌های گیاهی و ...</p> <p>از دیواره غربی ارتفاع ۱۵۰ cm از سطح خاک و از میان سنگ‌های بدنه دیوار پس از خراش جزئی بخش هوازده نمونه‌برداری شد (ملاط میان مصالح)</p>	<p>S10</p>	<p>OC20-T11S10</p>

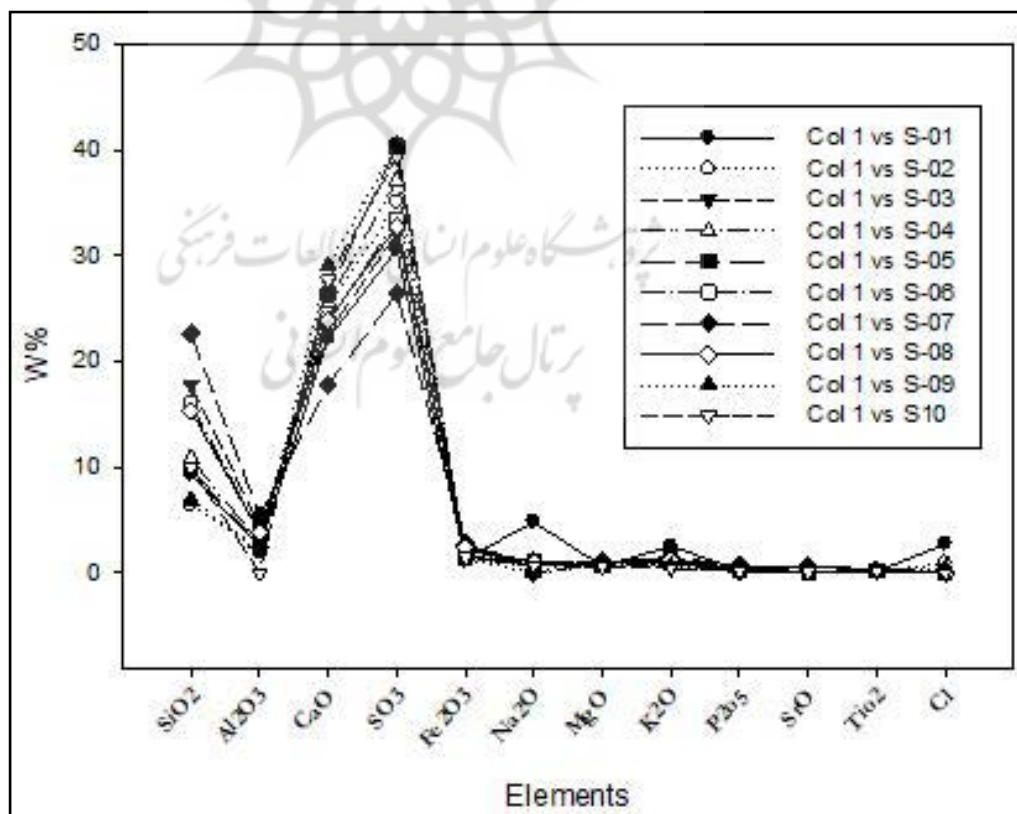
ساختار خود را دارد؛ هم‌چنان‌که می‌دانیم کانی‌های گچ در طبیعت به‌طور خالص وجود ندارند و چنین ویژگی باعث مشاهده موادی مانند آهک (CaO) و کانی‌های سیلیکاتی در معادن گچ است؛ به‌علاوه، این مواد خود افزودنی‌هایی است که به‌واسطه تغییر خواص گچ در کاربردهای مختلف به آن اضافه می‌شود. دیگر عناصر و ترکیبات فرعی موجود در نمونه‌ها می‌تواند ناشی از مجاورت طولانی مدت با خاک به‌واسطه مدفون بودن سازه قلعه باشد. شکل ۱۰، نمودار تطبیقی نتایج حاصل از آزمون XRF را نشان داده و با توجه به انطباق نسبی نمودارهای مربوط براساس نتایج عنصری بوده که به‌شکل محسوسی مشاهده می‌شود.

هم‌چنان‌که می‌دانیم عناصر معمول موجود در کانی ژپس به‌طور معمول از حدود ۳۲/۵۰ درصد اکسید کلسیم، ۴۶/۶٪ سولفات و حدود ۲۰/۹٪ آب است که ناخالصی‌های آن نیز عبارتند از: سولفورها، مواد آلی و کانی‌های رسی (معززلسکو و شریفان عطار، ۱۳۸۱). با توجه به نتایج حاصل از آزمون XRF بیشترین فراوانی در ترکیبات نمونه‌ها شامل ترکیب سازنده سولفات SO₃ به مقدار ۳۴/۷۴٪، اکسید کلسیم CaO به میزان ۲۴/۳۵٪ و عناصر دیگر مانند: اکسید سیلیسیم (SiO₂) به میزان ۱۲/۴۹٪ و اکسید آلومینیم (Al₂O₃) به میزان ۲/۹۲٪ ترکیب تقریبی میانگین در نمونه ملاط‌های بررسی شده از قلعه اوجان به‌شرحی است که در ادامه بدان اشاره خواهد شد؛ از این‌رو

جدول ۳: نتایج حاصل از آنالیز XRF و ترکیبات و عناصر تشکیل دهنده هر ملاط (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Tab. 3: The results of XRF analysis and the composition and constituent elements of each mortar (Authors, 2022).

Samples	S-01	S-02	S-03	S-04	S-05	S-06	S-07	S-08	S-09	S10
SiO ₂	9.3	6.38	17.79	10.81	9.86	15.98	22.61	15.32	6.9	10.01
Al ₂ O ₃	2.48	1.88	4.42	2.81	2.52	3.82	5.46	3.81	2.06	0
CaO	22.13	24.9	22.69	25.54	26.32	23.66	17.74	23.88	29.07	27.64
So ₃	30.59	35.04	32.07	37.11	40.31	33.32	26.38	32.75	40.45	39.32
Fe ₂ O ₃	1.3	1.1	2.57	1.62	1.51	2.09	2.74	2.38	1.33	1.49
Na ₂ O	4.8	1.15	0.9	1.14	0.75	1.01	0	0.94	0	0.66
MgO	0.61	0.76	0.91	0.91	0.71	0.59	1.02	0.87	0.69	0.64
K ₂ O	2.5	0.99	1.06	1.03	1.52	0.86	1.44	1.24	0.7	0.46
P ₂ O ₅	0.28	0.16	0.42	0.16	0.22	0.31	0.69	0.4	0.12	0.12
SrO	0.08	0.07	0.09	0.7	0.07	0.06	0.06	0.7	0.71	0.08
TiO ₂	0.14	0.13	0.33	0.18	0.16	0.25	0.31	0.28	0.13	0.23
Cl	2.7	0.91	0	0.36	0	0	0	0	0.43	0
Total	76.91	73.47	83.25	82.37	83.95	81.95	78.45	82.57	82.59	80.65



شکل ۱۰: نمودار مربوط به انطباق فازهای نمونه‌های ملاط قلعه اوجان (نگارندگان، ۱۴۰۱).

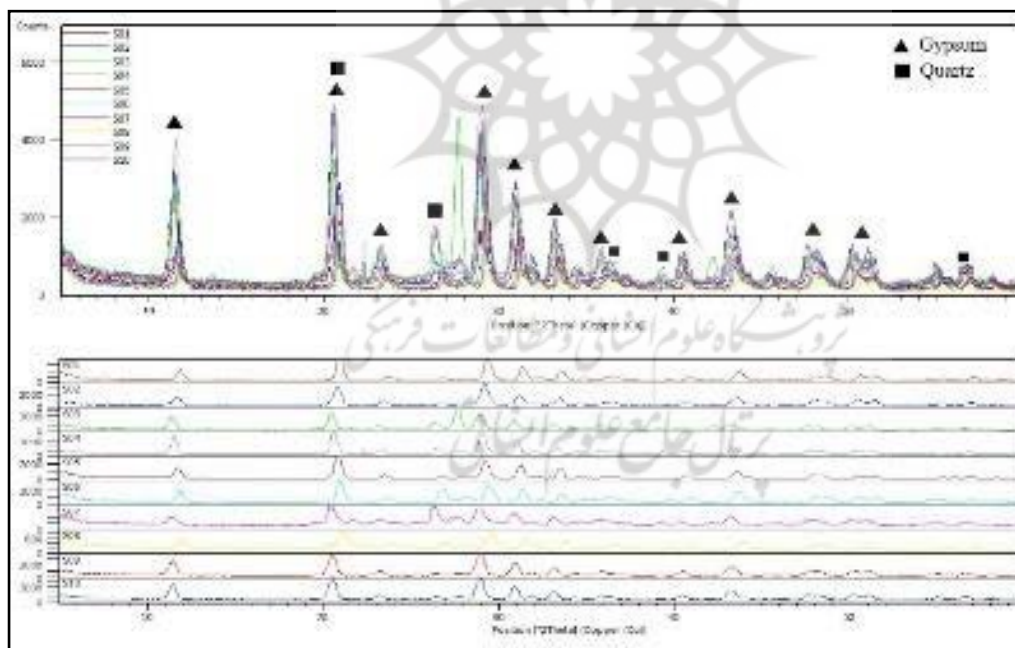
Fig. 10: The diagram of compatibility of the phases of Ojan Castle mortar samples (Authors, 2022).

می‌توان نتیجه گرفت که حدود ۹۴/۲۴٪ از ترکیب ملاط‌های شناسایی شده را این چهار عنصر اصلی تشکیل داده‌اند و عناصر دیگر مانند: اکسیدهای آهن، منیزیم، پتاسیم، تیتانیم و غیره مابقی ۶/۷۶٪ عناصر شناسایی شده را تشکیل می‌دهند. به علاوه، میانگین مواد غیرقابل شناسایی (LOI) گزارش شده نمونه‌های مورد مطالعه حدود ۱۹/۳۹ است که با توجه به میزان آبی که گچ می‌تواند در خود داشته باشد، می‌توان آن را متعلق به آب درون ساختاری نمونه‌ها در نظر گرفت.

جدول ۴: بیشترین فراوانی در ترکیب نمونه‌های ملاط به ترتیب فراوانی (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Table 4: The highest frequency in the composition of mortar samples in the order of frequency (authors)

درصد فراوانی	ترکیب	ردیف
۳۴/۷۳	SO ₃	۱
۲۴/۳۵	CaO	۲
۱۲/۴۹	SiO ₂	۳
۲/۹۲	Al ₂ O ₃	۴
۷۴/۴۹	مجموع	



شکل ۱۱: مقایسه تطابق الگوهای پراش اشعه ایکس در نمونه ملاط‌های قلعه اوجان (نگارندگان، ۱۴۰۱).

Fig. 11: Comparison of matching XRD patterns in Ojan Castle mortar samples (Authors, 2022).

نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس XRD

بر اساس نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های ملاط S1 تا S10 می‌توان فاز پیشرو و غالب در همه نمونه‌ها را ژپس یا گچ دانست و هم‌چنین انواع فازهای با ساختار سیلیکاتی و فازهای موجود در خاک، در تمامی نمونه‌ها قابل مشاهده است که مهم‌ترین آن‌ها کوارتز است (جدول ۵). نتایج شناسایی فاز اصلی در ۱۰ ملاط یکسان و ترکیبی از ژپس و کوارتز و ناخالصی‌های

موجود در خاکی است که برای بیش از هفت قرن بر روی اثر قرار داشته است. برهم‌اندازی طیف‌های پراش پرتوایکس نمونه‌ها نشان‌دهنده تطابق نسبتاً بالا در نمونه‌های مورد مطالعه است (شکل ۱۱).

کانی ژیپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) در قالب ملاط گچ نیم‌پخت و نیم‌کوب که از جمله ملاط‌های باستانی ایران است و استفاده از آن در بناهای سنگی مانند قلاع و پل‌ها متداول بوده است و در پایه‌های پل ساسانی شاپوری خرم‌آباد نیز استفاده از این ملاط گزارش شده است (میردریگوندی و همکاران، ۱۳۹۴)، در مصالح این‌چنینی به‌وضوح شناسایی می‌گردد. این نوع گچ محصول کوره‌های سنتی است و از لحاظ مقدار آب باقی‌مانده در فرمول شیمیایی گچ و ترکیب فازهای مختلف مواد تشکیل‌دهنده آن متفاوت از گچ ساختمانی امروزی است. تفاوت اصلی گچ نیم‌پخت با گچ ساختمانی در وجود مقدار قابل توجهی از سنگ گچ نیم‌پخته یا نپخته و هم‌چنین گچ سوخته در ملاط است (تقوی قره‌بلاغ، ۱۳۹۷) که در نمونه‌های دستی ملاط قلعه اوجان قابل مشاهده است. در منطقه آذربایجان نیز ملاط با فاز اصلی گچ در قلعه ضحاک (گرشاسبی، ۱۳۹۹)، تخت سلیمان (تقوی قره‌قلاغ، ۱۳۷۹) و دیگر نقاط گزارش شده است.

نتیجه‌گیری

هم‌چنان‌که در متن پژوهش آمده است، مطالعه حاضر با استفاده از ۱۰ نمونه ملاط از نقاط مختلف دیوارهای بیرونی قلعه اوجان که پس از چند سده از زیر خاک به‌وسطه کاوش‌های باستان‌شناسی بیرون آمده‌اند، انجام گرفته است؛ براساس نتایج آزمایش‌های XRD و XRF انجام شده، استفاده از ملاط با پایه گچ در بخش‌های مختلف دیوار بیرونی قلعه اوجان تأیید می‌گردد. برای ساخت این ملاط، از گچ با خلوص بالا و ماسه استفاده شده است که حدود ۸٪ از آن را اجزای دیگری تشکیل داده و این عناصر نیز بخش عمده عناصر خاکی همانند: مسکویت، آلبیت، نمک‌ها و غیره هستند که با توجه به تخلخل ذاتی ملاط گچ و نظر به این‌که این‌ها سازۀ معماری چندین قرن در خاک مدفون بوده و حضور این مواد و فازها طبیعی است.

کاربرد گچ نیم‌پخت و تقویت شده به‌همراه افزودنی ماسه به‌صورت ملاط میان سنگ‌ها و تاحدی برای بندکشی در بخش‌های مختلف دیوار بیرونی بنای قلعه اوجان نشان‌دهنده استفاده از ملاط گچ فرآوری شده در مناطق سردسیر مانند بستان‌آباد شمال غرب کشور است؛ هم‌چنان‌که می‌دانیم در مبحث مرمت، استفاده از مواد اصیل که مطابقت به ماده استفاده شده در حالت اولیه اثر داشته باشد، جهت حفظ اصالت و ارزش تاریخی و فرهنگی اثر باستانی بسیار مهم است. براساس این اصل، استفاده از گچ سنتی فرآوری شده برای ساخت ملاط سنتی جهت مرمت این اثر باستانی، به‌دلیل این‌که این مواد با استفاده همسان در بخش‌های مختلف دیوار بیرونی قلعه اوجان به‌کاررفته‌اند، می‌تواند در حفظ اصالت در اقدامات مرمتی در رابطه با این اثر تاریخی بسیار مهم تلقی شود. با توجه به کاوش‌های چند فصل اخیر و ورود به داخل قلعه می‌توان با انجام آزمایش‌های مشابه بر روی نمونه‌های ملاط‌های داخل قلعه، تفاوت‌های ملاط‌های به‌کاررفته در سطوح بیرونی و درونی را مشخص نمود و بر این اساس راهکار حفاظتی و مرمتی اثر را پیشنهاد کرد.

سپاسگزارى

این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد باستان‌شناسی نویسنده سوم در دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، استخراج شده است. در اینجا، از اداره کل میراث فرهنگی و بخش شهرستان بستان‌آباد برای همکاری و هم‌چنین از دانشگاه هنر اسلامی تبریز برای حمایت‌های مادی و معنوی، صمیمانه سپاسگزارى می‌شود.

درصد مشارکت نویسندگان

درصد مشارکت نویسندگان در این پژوهش بدین شرح است؛ نویسنده اول: مسئول طراحی پژوهش، نگارش مقاله؛ نویسنده دوم: مشارکت در جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها؛ نویسنده سوم: جمع‌آوری داده‌ها، نگارش و ویرایش مقاله.

تضاد منافع

نویسندگان ضمن رعایت اخلاق نشر در ارجاع‌دهی، نبود تضاد منافع را اعلام می‌دارند.

کتابنامه

- تقوی قره‌بلاغ، رضا، (۱۳۹۷). «نوع و نحوه کاربرد مصالح ساختمانی در ایوان غربی تخت سلیمان». اثر، ۳۹ (۸۰)، ۱۵-۲۸. <https://journal.richt.ir/athar/article-1-896-fa.html&sw=>
- حامی احمد، (۱۳۸۱). مواد و مصالح ساختمانی. چاپ ۲۰، تهران: دانشگاه تهران.
- حمزوی، یاسر، (۱۳۹۹). «مطالعه ساختارشناسی رنگ‌دانه‌های تزئینی کتیبه گچی ایوان بقعه سید شمس‌الدین یزد». معماری اقلیم گرم و خشک، ۶ (۱۲): ۲۴-۴۲. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.15122.1433>
- حمزوی، یاسر، (۱۴۰۰). «مطالعه ساختارشناسی ملاط گچی ایوان بقعه سید شمس‌الدین یزد (کتیبه کوفی، آرایه گچی قالبی، لایه بستر گچی)». مرمت و معماری ایران، ۱۱ (۲۵): ۳۷-۵۴. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1392.3.5.1.1>
- حیدری، داریوش؛ یونسی، حامد؛ و وطن‌خواه، غلامرضا، (۱۳۹۲). «پژوهشی در ملاط‌های آهکی تاریخی (ساروج) نمونه موردی: حمام شاهزاده‌ها در اصفهان». مرمت و معماری ایران. مرمت آثار و بافت‌های تاریخی فرهنگی، ۳ (۵): ۸۳-۹۸. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1392.3.5.1.1>
- رازانی، مهدی؛ و حمزوی، یاسر، (۱۳۹۷). «ساختارشناسی ملاط‌های تاریخی در آرایه‌های معماری و اندود داخلی معبد صخره‌ای ورجووی مراغه، ایران». پژوهش باستان‌سنجی، ۲ (۴): ۲۱-۳۳. <https://doi.org/10.29252/jra.4.2.21>
- رازانی، مهدی و داداش‌زاده، نسرین. (۱۳۹۹). ارزیابی ملاط‌های پایه آهکی در حفاظت از بقایای معماری حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی. مطالعات باستان‌شناسی، ۱۲ (۳): ۶۵-۹۱. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.271630.142655>
- رازانی، مهدی؛ امامی، سید محمد امین؛ باغبانان، علی رضا؛ و خوزه دلگادو، ورودریگو یزید، (۱۳۹۷). «پژوهشی در ملاط‌های آهکی بهینه‌سازی شده جهت جایگزینی با ملاط سیمان - ماسه برای استفاده در تعمیرات معماری صخره‌کند روستای تاریخی کندوان». مسکن و محیط روستا، ۳۷ (۱۶۱): ۱۲۵-۱۳۸. <https://jhre.ir/article-1-1411-fa.pdf>
- شکفته، عاطفه؛ نیلفروشان، محمدرضا؛ و حاتم، غلامعلی، (۱۳۸۷). «بررسی ماهیت شیمیایی و ریزساختاری ملاط به‌کاررفته در آرامگاه تپتی آهار - هفت تپه خوزستان». مرمت و پژوهش، ۲ (۴): ۷۱-۷۸.
- عباسیان، محمد، (۱۳۷۱). مبانی شیمی فیزیک گچ تولید و کاربرد. تهران: شرکت ایران گچ.
- فیاضی، مرال؛ حیدری بنی، داریوش؛ و ایمان‌طلب، حامد، (۱۳۹۴). «فن‌شناسی ملاط‌های پل بانوصحرا با استفاده از آزمایش‌های XRF، XRD». اثر، ۳۶ (۷۱): ۱۰۹-۱۱۴. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-498-fa.html>

- فیضی، فرزاد؛ شهبازی شیران؛ حبیب؛ و میراضی، زهرا، (۱۳۹۶). «مطالعه سیر تحول معماری در آثار معماری اسلامی، آذربایجان در گذر از دوره سلجوقی به دوران ایلخانی و تیموری». پژوهش‌های نوین علوم جغرافیایی، معماری و شهرسازی، ۳(۹): ۱۵-۳۴.
- کریمیان، حسن؛ و مهدی‌زاده، بهزاد، (۱۳۹۳). «نقش وقف در توسعه کالبدی شهرهای ایلخانی نمونه موردی: تبریز، سلطانیه، اوجان». فصلنامه فرهنگی، تحقیقی، اجتماعی و تاریخی، ۲۳(۸۶): ۲۳-۵۰.
- گرشاسبی، اشکان، (۱۳۹۹). «جایگاه و نقش ملاط گچ در معماری دوران اشکانی، از منظر فنی و تحولات سبک‌شناختی». اثر، ۴۰(۹۰): ۳۲۷-۳۴۷. <http://athar.richt.ir/article-2-680-fa.html>
- ماهیار، شاهین؛ فیروزمندی، بهمن؛ و خمسه، هایده، (۱۳۹۸). «مطالعه ساختاری ملاط با روش XRD رهیافتی علمی در بررسی‌های باستان‌شناسی؛ بررسی موردی چهارتاقی‌های شاخص استان فارس». جستارهای باستان‌شناسی ایران پیش از اسلام، ۴(۱): ۱۳۳-۴۴. https://iaej.sku.ac.ir/article_10193.html
- ماهیار، شاهین؛ فیروزمندی، بهمن؛ و خمسه، هایده، (۱۴۰۰). «بررسی ساختار ملاط اوایل دوره اسلامی براساس نمونه‌های برج‌های آرامگاهی و قلعه‌های شرق مازندران با روش XRD». مطالعات باستان‌شناسی، ۱۱۳(۱): ۱۸۹-۲۰۹. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2019.269379.142641>
- مدرس‌بستان‌آبادی، محمد باقر، (۱۳۸۴). شهر اوجان بستان‌آباد. قم: دارالعلم.
- مرادی، امین؛ موسوی‌حاجی، سید رسول؛ عمرانی، بهروز، (۱۳۹۴). «مطالعه تطبیقی و ریخت‌شناسی محراب‌های ایلخانی آذربایجان». دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، آبان ماه ۱۳۹۴. دبیرخانه همایش ملی باستان‌شناسی ایران: ۱-۱۴. [لینک ثابت دسترسی آنلاین در سیویلیکا: <https://civilica.com/doc/541003>]
- معزلسکو، ضرغام؛ و شریفان‌عطار، رضا، (۱۳۸۰). کریستالوگرافی عمومی (برای رشته‌های زمین‌شناسی، معدن، فیزیک، شیمی و متالورژی). مشهد: انتشارات آهنگ قلم.
- میردردیکوندی، محدثه؛ حاج ابراهیم زرگر، اکبر؛ و حیدری بنی، داریوش، (۱۳۹۴). «شناسایی ملات‌های باستانی پل شاپوری خرم‌آباد و امکان سنجی استفاده از آن‌ها در مرمت پل از طریق روش‌های آزمایشگاهی». مرمت و معماری ایران، ۵(۹): ۴۵-۵۸. <https://mmi.aui.ac.ir/article-1-99-fa.html>
- میش‌مست‌نهی، مسلم، (۱۳۹۴). «کاربرد تحلیل‌های بلور شناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچ‌بری کوه خواجه سیستان، ملاط گچ شادیاخ نیشابور و ملاط گچ قلعه الموت قزوین)». پژوهش باستان‌سنجی، ۱(۲): ۱-۱۴. <https://doi.org/10.29252/jra.1.2.1>
- ولایتی، رحیم؛ رضوان، همایون؛ و ابراهیمی، قادر، (۱۳۹۶). «معماری ایلخانی در بستره دو شهر تاریخی اسلامی اوجان و سلطانیه». باغ نظر، ۱۴(۵۵): ۱۷-۲۸. https://www.bagh-sj.com/article_54559.html
- ولایتی، رحیم؛ و کرمی‌پور، حمید؛ و سعادت، فرزانه، (۱۳۹۸). «شکل‌گیری، توسعه و فروپاشی شهر دوران اسلامی اوجان براساس مطالعه تطبیقی متون و کاوش باستان‌شناسی». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۳(۷): ۹۵-۱۱۴. <https://doi.org/10.30699/PJAS.3.7.95>
- ولایتی، رحیم؛ کرمی‌پور، حمید؛ و سعادت، فرزانه، (۱۳۹۹). «مطالعه معماری ایلخانی با تکیه بر آثار معماری شهر اوجان». باغ نظر، ۱۷(۹۰): ۶۷-۸۰. <https://doi.org/10.22034/bagh.2020.211261.4379>
- ولایتی، رحیم؛ مهدی‌زاده، بهزاد؛ و خانعلی، حمید، (۱۳۹۴). «مکان‌یابی شهر ایلخانی اوجان براساس منابع تاریخی و بررسی‌های باستان‌شناختی (مطالعه محوطه‌های کوللر و دالی‌دره‌سی در

شهرستان بستان آباد). «باغ نظر، ۱۲(۳۴): ۸۳-۹۲. https://www.bagh-sj.com/article_11092.html

- ولایتی، رحیم، (۱۳۹۲). گزارش فصل چهارم بررسی شهرستان بستان آباد- قوری گل و شیبلی. تهران: پیوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.
- ولایتی، رحیم، (۱۳۹۶). «گزارش خبری فصل اول کاوش شهر تاریخی اوجان پایتخت تابستانی ایلیخانان در آذربایجان». پروژه پژوهشی باستان‌شناسی دانشگاه تهران در آذربایجان شرقی.
- ولایتی، رحیم، (۱۳۹۷). «گزارش خبری فصل دوم کاوش شهر تاریخی اوجان پایتخت تابستانی ایلیخانان در آذربایجان». پروژه پژوهشی باستان‌شناسی دانشگاه تهران در آذربایجان شرقی.
- ولایتی، رحیم، (۱۳۹۹). «گزارش خبری فصل سوم کاوش شهر تاریخی اوجان پایتخت تابستانی ایلیخانان در آذربایجان». پروژه پژوهشی باستان‌شناسی دانشگاه تهران در آذربایجان شرقی.
- ویلبر، دونالد، (۱۳۴۶). معماری اسلامی ایران در دوره ایلیخانان. ترجمه عبدالله فریار، تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب.
- هنرفر، لطف‌الله، (۱۳۴۷). «تزیینات گچی در آثار تاریخی اصفهان». هنر و مردم، ۶(۷۲): ۳۶-۴۶.

- هویدا، رحیم، (۱۳۵۴). «معرفی شهر تاریخی گمشده اوجان». بررسی‌های تاریخی، ۱۰(۴): ۱۱۱-۱۴۲.

- یعقوب‌زاده، حامد؛ و رازانی، مهدی، (۱۴۰۱). «مروری بر ساختار، کاربرد، فرآیند تولید و تأثیر افزودنی‌ها در ملاط سنتی گچ». پژوهش باستان‌سنجی، ۸(۱): ۱۸۵-۲۰۵. <https://doi.org/10.52547/jra.8.1.185>

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

- Crisci, G. M., Franzini, M., Lezzerini, M., Mannoni, T. & Riccardi, M. P., (2004). "Ancient mortars and their binder". *Periodico di Mineralogia*, 73(3): 259-268.

- Faizi, F., Shahbazi Shiran, H. & Mirazi, Z., (2016). "Studying the evolution of architecture in Islamic architectural works, Azarbaijan during the transition from the Seljuk period to the Ilkhanid and Timurid periods". *Quarterly Journal of New Researches in Geographical Sciences, Architecture and Urban Planning*, 3(9): 15-34

- Fayazi, M., Heydari Bani, D. & Imantalab, H., (2014). "Technology of Banoosahra bridge mortars using XRF, XRD tests". *Athar*, 36(71): 109-114. <http://journal.richt.ir/athar/article-1-498-fa.html>

- Garshasbi A. (2020). "The role and position of gypsum mortar in Parthian architecture". *Athar*, 41 (3): 327-347. <http://athar.richt.ir/article-2-680-fa.html>

- Hami, A., (2002). *Building materials*. 20th edition, Tehran: University of Tehran.

- Hamzavi, Y., (2021). "Structural study of gypsum mortar of Seyyed Shams al-Din Yazd tombstone (Kufic inscription, molded plaster decoration, plaster substrate layer)". *Restoration and architecture of Iran*, 11 (25): 37-54. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1392.3.5.1.1>

- Hamzavi, Y., (2021). "Structural study of pigments on Stucco inscription on the

porch of Seyyed Shams-din tomb (Yazd-Iran)". *Journal of Architecture in Hot and Dry Climate*, 8(12): 24-42. <https://doi.org/10.29252/ahdc.2021.15122.1433>

- Hanarfar, L., (1990). "Plaster decorations in historical monuments of Isfahan". *Art and People*, 6(72): 36-46.

- Hashempour, M. A., Samani, A. & Heidari, A., (2021). "Essential improvements in gypsum mortar characteristics". *International Journal of Engineering*, 34(2): 319-325. <https://doi.org/10.5829/ije.2021.34.02b.03>

- Heydari, D., Yonsi, H. & Vatankhah, Gh., (2012). "A research on historical limestone mortars (Sarouj) case example: Princes Baths in Isfahan". *Journal of restoration and architecture of Iran. Restoration of historical and cultural works and textures*, 3(5): 83-98. <https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.23453850.1392.3.5.1.1>

- Hoveyda, R., (1975). "The lost historical city of Ojan". *Journal of historical researches*, 10 (4): 111-142.

- Hudson-Lamb, D. L., Strydom, C. A. & Potgieter, J. H., (1996). "The thermal dehydration of natural. Gypsum and pure calcium sulphate dehydrate. (Gypsum)". *Thermochimica acta*, 282: 483-492. [https://doi.org/10.1016/0040-6031\(95\)02819-6](https://doi.org/10.1016/0040-6031(95)02819-6)

- Karimian, H. & Behzad, M., (2013). "The role of endowment in the physical development of Ilkhanid cities, a case example: Tabriz, Soltanieh, Ojan". *Cultural, research, social and historical quarterly journal*, 23(86): 23-50.

- Kroger, J., (1982). *Sasanidischer Stuckdekor. Ein Beitrag zum Reliefdekor aus Stuck in sasanidischer und frubilsamischer Zeit nach den Ausgrabungen von 1928 und 1931/2*, Mainz: Philipp Von Zabern.

- Lezzerini, M., Raneri, S., Pagnotta, S., Columbu, S. & Gallelo, G., (2018). "Archaeometric study of mortars from the Pisa's Cathedral Square (Italy)". *Measurement*, 126: 322-331. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2018.05.057>

- Mahyar, S., Firouzmandi Shirejini, B. & Khamseh, H., (2019). "Structural Study of Mortar with XRD Method, A Scientific Approach in Archaeological Investigations (Case Study of Chartaqs of Fars Province)". *Journal of Iran's Pre Islamic Archaeological Essays*, 4(1): 44-13. https://iaej.sku.ac.ir/article_10193.html

- Mahyar, S., 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.2019.269379.142641>

- Mezez Lesko, Z. & Sharifan Attar, R., (2001). *General Crystallography (for geology, mining, physics, chemistry and metallurgy)*. Mashhad: Ahang Qalam Publications.

- Mirdarikondi, M., Haj Ebrahim Zargar, A. & Heydari Bani, D., (2015). "Identification of ancient mortars of Shapuri Bridge in Khorramabad and feasibility of using them in bridge restoration through laboratory methods". *Restoration and Architecture of Iran*, 5(9): 45-58. <https://mmi.aui.ac.ir/article-1-99-fa.html>

- 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)". *Journal of Research on Archaeometry*, 1(2): 1-14. <https://doi.org/10.29252/jra.1.2.1>

- Modaress Boštanabadi, M-B., (2005). *Ojan city of Boštan Abad*. Qom: Darul Alam.

- Moradi, A. & Mousavi Haji, S. R. & Omrani, B., (2015). "A comparative and morphological study of the altars of the patriarchal altars of Azarbaijan. The Second National Conference of Iranian Archaeology, November 2015". *The Secretariat of the National Conference of Iranian Archaeology*: 1-14 [online access: <https://civilica.com/doc/541003>]

- Morricone, A., Macchia, A., Campanella, L., David, M., de Togni, S., Turci, M.,... & Ronca, S., (2013). "Archeometrical analysis for the characterization of mortars from Ostia Antica". *Procedia chemistry*, 8: 231-238. <https://doi.org/10.1016/j.proche.2013.03.029>

- Razani, M., Baghbanan, A. R., Emami, S. M. A. & Delgado Rodrigues, J., (2018). "Optimization of Traditional Lime-based Mortars for Cement Replacement Toward Consistent Conservation of Rocky Architecture of the Kandovan Historical Village". *JHRE*, 37 (161): 125-138. <https://doi.org/10.22034/37.161.125>

- 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> & DOR: 20.1001.1.24764647.1397.4.2.5.7

- Razani, M. & Dadashzadeh, N., (2020). "Assessment of Lime-Based Mortars to Conservation of Architectural Remains from Archaeological Excavations". *Journal of Archaeological Studies*, 12(3): 65-91. <https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.271630.142655>

- Shokfete, A., Nilforoshan, M. & Hatem, Gh., (2008). "Investigating the chemical and microstructural of the mortar used in the tomb of Tepati Ahar - Haft Tepe, Khuzešan". *Restoration and Research*, 2(4): 71-78.

- Surendran, S. M., Ramadoss, R., Subramani, G. & Chattopadhyay, S., (2017). "Characterization of ancient mortars of Veppathur temple". *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8: 2132-2139.

- Taghavi, Gh., (2018). "The Types and Usage of Building materials in the West Iwan of Takht-e Soleymān". *Athar*, 39 (80): 15-28. <https://journal.richt.ir/athar/article-1-896-fa.html&sw=>

- Tomassetti, M., Marini, F., Campanella, L., Positano, M. & Marinucci, F., (2015). "Suitable classification of mortars from ancient Roman and Renaissance frescoes using thermal analysis and chemometrics". *Chemistry Central Journal*, 9(1): 1-7. <https://doi.org/10.1186/s13065-015-0098-z>

- Torraca, G., (1982). *Porous Building Materials-Materials Science for Architectural Conservation*. Rome: ICCROM

- Torraca, G., (2009). *Lectures on materials science for architectural conservation*. Los Angeles: The Getty Conservation Institute.
- Valek, J. & Veiga, R., (2005). "Characterization of mechanical properties of historic mortars—testing of irregular samples". *WIT Transactions on the Built Environment* 83.
- Veiga, M. R., Aguiar, J., Silva, A. S. & Carvalho, F., (2001). "Methodologies for characterization and repair of mortars of ancient buildings". In: *Proceedings of the 3rd International Seminar Historical Constructions* (Pp: 353-362). Guimarães, Portugal: University of Minho.
- Velaeti, R., Karamipour, H. & Saadatirad, F., (2019). "Formation, Development and Collapse of Ojan Islamic City, According to Comparative Studies on Sources and Archaeological Excavations". *Parseh J Archaeol Stud.*, 3(7): 95-114. <https://doi.org/10.30699/PJAS.3.7.95>
- Velaeti, R., Karamipour, H. & Saadati Rad, F., (2020). "Investigating Ilkhanid Architecture based on the Architectural of Ojan". *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 17(90): 67-80. <https://doi.org/10.22034/bagh.2020.211261.4379>
- Velaeti, R., Mehdizade, B. & Khanali, H., (2015). "Location of Ojan Ilkhanid City Based on Historical Resources and Archaeological Investigations (Research on Sites of Koller and Dali Darasi in Boştan Abad City)". *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 12(34): 83-92. https://www.bagh-sj.com/article_11092.html
- Velaeti, R., Rezvan, H. & Ebrahimi, G., (2017). "Investigating Effective Factors on Formation, Development, and Collapse of Ojan Islamic city, according to Comparative Studies on Sources and Archaeological Excavations". *The Monthly Scientific Journal of Bagh-e Nazar*, 14(55): 17-28. https://www.bagh-sj.com/article_54559.html
- Velaeti, R., (2012). *Report of the fourth chapter of Boştan Abad-Ghori Gol and Shibli city survey*. Tehran: Organization of Cultural Heritage and Tourism.
- Velaeti, R., (2016). *News report of the first season of exploring the historical city of Ojan, the summer capital of Ilkhanate in Azerbaijan*. Archaeological research project of Tehran University in East Azerbaijan.
- Velaeti, R., (2018). *News report of the second season of exploring the historical city of Ojan, the summer capital of the Ilkhanate in Azerbaijan*. Archaeological research project of Tehran University in East Azerbaijan.
- Velaeti, R., (2020). *News report of the third season of exploring the historical city of Ojan, the summer capital of the Ilkhanate in Azerbaijan*. Archaeological research project of Tehran University in East Azerbaijan.
- Wilber, D., (1967). *Islamic Architecture of Iran during the Ilkhanid Period*. Translated by: Abdullah Faryar, Tehran: Translation and Publishing Company.
- Yaghobzadeh, 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> & DOR: 20.1001.1.24764647.1401.8.1.1.9