



## An Investigation into the Characterization of Gypsum-Based Stucco Ornaments in Historical site of Shadiakh in Nishapur, Iran

**Niayesh Khaksar**

M.A Student, Restoration of Cultural Properties, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran

**Yaser Hamzavi**

Associate Professor, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism (RICHT), Tehran, Iran.

**Mojgan Mousazadeh**

Head of Conservation and restoration workshop of Khorasan Grand Museum, Mashhad

### Background and Objectives

In order to complete and compile the cultural heritage atlas, one of the branches are architectural ornaments. Gypsum-based stucco ornaments are one of the important parts of Iran's architectural ornaments. The gypsum-based stucco ornaments of Shadiakh of Nishapur area are among the ornaments belonging to the early centuries of Islam in Iran. In the present study, an attempt has been made to obtain information on the structural and technical aspects of the gypsum-based ornaments of Shadiakh Nishapur area.

In the following research, three fragments of mentioned ornaments of Shadiakh, which were found in the fourth season of excavations, were technically examined. Visual observations have also been made using a digital microscope. The structural analysis of these fragments has been done using X-ray diffraction (examination of the phases in gypsum samples) and scanning electron microscopy (observation of the crystal microstructure of the samples).

The archaeological site of Nishapur is located in the east of the current Nishapur, in the vicinity of the tombs of Attar and Khayyam (Haddon 2016). Shadiakh has been excavated during seven seasons (Labaf Khaniki, 2022). This area consists of various sections such as grape extraction workshop, blacksmith workshop, pottery and glass workshop, dungeon, stable, kitchen, warehouse, etc. According to the reports of the fourth season of the excavation (Labaf Khaniki and Bakhtiari Shahri, 2003), one of the most important sections known as Bār-e 'Ām Hall. This hall consists of four porches overlooking an octagonal space in the middle, which leads to the adjacent spaces through four corners and through four doors. The porches are built in different geographical directions. In the later periods, the northwest porch underwent changes with the use of a blade wall and the stucco ornaments. The northeast porch is the same as the northwest, with the difference in the floor height and in front of it, stucco ornaments and inscriptions are represented.

### Methods

Imaging and observing the grain size of samples was done using a Dinolite portable microscope with a maximum magnification of 250 times. Images were taken at 60x magnification. For XRD analysis, the EXPLORER model device made by GNR, Italy, DECTRIS detector, with copper x-ray producing tube (Cu K alpha = 1.54 Å), maximum potential difference 40 Kv and current intensity 30 mA under 2θ angle and angle 60-60-degree radiation was used. The analysis was done qualitatively and the required analysis was done with Xpert software.

In order to image the crystalline microstructure of the samples, SEM device model LEO1450VP made by Zeiss, Germany with maximum voltage Kv 35 equipped with EDS analysis made by OXFORD England model 7353 and with resolution of 133eV was used. The samples were coated using SC 7620 gold-palladium coating machine for 180 seconds. Imaging was done in different magnifications and under 20 Kv voltage.

### Findings

XRD results: The samples have quartz, cristobalite, anhydrite, gypsum, calcite and goethite. The main phases identified in sample SH.1-U are: quartz, anhydrite and gypsum, and secondary phases include cristobalite and calcite. By examining the graphs of this sample and sample SH.2 the coexistence of anhydrite and gypsum is observed. Gypsum and anhydrite were identified as the main phase in sample SH.1-U, and gypsum as the main phase and anhydrite as secondary phase in sample SH.2. It seems that the placement conditions of these two samples after digging and exploration were not the same. In the third sample, only gypsum was detected. Quartz, which left a long peak in the sample SH.1-U and SH.2, is present as an impurity in gypsum compounds. In SH.3-U sample, quartz has been identified as a secondary phase. This impurity is mainly added to the gypsum mortar purposefully. Calcite is the other identified phase in all three fragments.

SEM results: It can be said that the accumulation of crystals in samples SH.1-U, SH.1-S, SH.2 is high and the crystals are densely placed next to each other. Samples SH.3-U and SH.3-S have less density and empty spaces like holes can be seen in it (compared to the previous two samples). Fewer gypsum crystals can be seen in SH.1-U and SH.1-S samples. In other samples, due to humidity and temperature fluctuations, gypsum microcrystals are formed on the main crystals. It seems that in SH.1-U and SH.1-S samples, some gypsum crystals have turned into anhydrite over time due to hot and dry environmental conditions. In the SH.1 and SH.2 samples, crystals have grown in the form of sheets (mostly in two directions) and some of them are placed on top of each other, which can be one of the reasons of slow pace of setting process.

### Conclusion

Regarding the constituent materials of the studied mortar samples, it can be said: their constituent compounds are not much different from each other. Part of the small difference in the elements and compositions can be related to the conditions of the exposure of the work in the long term and in the post-exploration period. Part of it is also related to the processing time of gypsum mortar. Part of the difference in the materials can be related to the impurity of the gypsum stone, which was baked in the same way and used after crushing and sieving. The main phases of the studied mortars are gypsum, calcite and quartz. Regarding the changes and erosion of the mortar, it seems that some gypsum crystals have turned into anhydrite over time, and in some samples, due to humidity and temperature fluctuations, part of the gypsum crystal has dissolved in water and then from the evaporation of water, gypsum microcrystals are formed on the main crystals.

- Correns, Carl Wilhelm (1969). *Introduction to Mineralogy: Crystallography and Petrology*. Second Edition, Translated by William D. Johns, Springer-Verlag New York Inc.
- Haddon, Rosalind Wade. 2016. "Nishapur Revisited: Stratigraphy and Ceramics of the Qohandez by Rocco Rante and Annabelle Collinet, with Contributions by Rajabali Labbaf Khaniki. *Islamic Archaeology* 3 (1): 150–51.
- Labbaf Khaniki, R. & Bakhtiari Shahri, M. (2002). Report of the fourth chapter of the archaeological excavations of Shadiakh/Cultural Heritage Base - Historical-Cultural Area of Neishapur, Document Center of the General Directorate of Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts, Khorasan Razavi (unpublished). [In Persian]
- Mishmastnehi M, Van Driessche AES, Smales GJ, Moya A, Stawski TM. (2023). Advanced materials engineering in historical gypsum plaster formulations. *Proc Natl Acad Sci U S A.*, Feb 14;120(7) :e2208836120. doi: 10.1073/pnas.2208836120.
- Rante, Rocco, and Annabelle Collinet. 2013. *Nishapur Revisited: Stratigraphy and Ceramics of the Qohandez*. Oxford: Oxbow Books.
- Wilkinson, Charles Kyrle (1986). *Nishapur: Some Early Islamic Building and their decoration*. New York: the Metropolitan Museum of Art.



## مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور (ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

نیایش خاکسار باغان

دانشجوی دوره کارشناسی ارشد، گروه مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران.

یاسر حمزوی\*

دانشیار پژوهشکده بناها و بافت‌های تاریخی فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.

مژگان موسی‌زاده

مریی، مسئول بخش آزمایشگاه و کارگاه حفاظت و مرمت موزه بزرگ خراسان، مشهد، ایران

### چکیده

در میان آرایه‌های معماری خراسان، آنچه کمتر شناخته شده، آرایه‌های گچی یافت شده از شهر قدیم نیشابور است. این آرایه‌ها متعلق به سده‌های اولیه اسلام هستند و در ظرافت و تنوع نقش با آرایه‌های گچی ساسانیان و عباسیان در سامرا برابری می‌کنند. شادیاخ یکی از محوطه‌های شهر قدیم نیشابور است که آرایه‌های گچی بی‌نظیری از دوران سلجوقی را در خود جای داده است. مطالعات اندکی در رابطه با این محوطه و آرایه‌های گچی آن انجام شده است. هدف این پژوهش، شناخت فنی و ساختاری ملاط سه قطعه از آرایه‌های گچی محوطه شادیاخ است که می‌تواند گام مهمی در راستای شناخت، معرفی و حفظ این آثار ارزشمند بوده و همچنین در بخش آرایه‌های معماری اطلس میراث فرهنگی ایران تأثیرگذار باشد. در این راستا از روش تصویربرداری با استفاده از میکروسکوپ پورتابل Dinolite، آنالیز XRD و همچنین SEM-EDS جهت انجام مطالعات فنی استفاده شده است. نتیجه پژوهش نشان می‌دهد که فازهای اصلی نمونه ملاط‌های مورد مطالعه مربوط به ژئیس، کلسیت و کوارتز است. البته در یکی از نمونه‌ها، انیدریت هم به‌عنوان فاز اصلی شناخته شده است که این تبدیل فاز در شرایط آب‌وهوایی نیشابور دور از ذهن نیست. همچنین برای برش راحت‌تر نقوش آرایه گچی برجسته، هنرمند گچبر برای ساخت ملاط، ملاط کم‌مایه را انتخاب کرده و کمی بیشتر از حالت معمول، آن را ورز داده است (ملاط گچ نیم‌کشته). برای ماندگاری بیشتر آن، در زمان اجرای لایه بستر گچی، عملیات ماله‌کشی از حالت عادی بیشتر بوده و همچنین فشار ماله بر سطح بستر از حالت معمول بیشتر بوده است. درخصوص تغییرات و فرسایش ملاط، برخی از بلورهای ژئیس به مرور زمان به انیدریت تبدیل شده و در برخی نمونه‌ها، ریز بلور ژئیس بر روی بلورهای اصلی تشکیل شده است.

کلیدواژه‌ها: ساختارشناسی، ملاط گچی، آرایه‌های معماری، شادیاخ، نیشابور

\* نویسنده مسئول مکاتبات با پست الکترونیک: y.hamzavi@richt.ir

## ۱- مقدمه

جهت تکمیل و تدوین اطلس میراث فرهنگی که یکی از برنامه‌های مهم وزارت میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی است، یکی از شاخه‌ها، آرایه‌های معماری هستند. بخش مهمی از آرایه‌های معماری ایران، آرایه‌های گچی هستند. برای شناخت آرایه‌های گچی، لازم است تا متخصصان حوزه‌های مختلف مطالعات جامعی انجام دهند (مانند: موضوع آثار، نقوش و نمادها و مفاهیم وابسته، شیوه‌های عمل‌آوری ملاط و تأثیر آن در ماندگاری آثار، فن‌شناسی و ساختارشناسی ملاط در آرایه‌های گچی، شیوه‌های خلق آثار، ارتباط به آرایه‌های معماری دیگر، سیر تحولات تاریخی، تأثیر اقلیم بر خلق آثار، ارزش‌ها و ویژگی‌های فرهنگی- هنری و زیباشناختی، سبک‌شناسی آرایه‌های گچی ایران، تأثیرات فرهنگی و اجتماعی بر طراحی و شیوه‌های اجرای آرایه‌های گچی و مواردی از این دست). نتیجه همه این مطالعات در کنار هم و در نتیجه، تحلیل نهایی باعث خواهد شد که در این شاخه، به تدوین اطلس میراث فرهنگی کمک شایسته‌ای شود. همان‌طور که ذکر شد، یکی از موضوعاتی که لازم است در خصوص آرایه‌های گچی به شناخت آن نائل آییم، شیوه‌های عمل‌آوری ملاط و تأثیر آن در ماندگاری آثار و همچنین فن‌شناسی و ساختارشناسی ملاط در آرایه‌های گچی، شیوه‌های خلق آثار است. از آرایه‌های گچی سده‌های اولیه اسلام در ایران می‌توان به آرایه‌های گچی محوطه شادیاخ نیشابور اشاره نمود. در پژوهش حاضر، سعی شده است اطلاعاتی در حوزه ساختارشناسی و فن‌شناسی آرایه‌های گچی محوطه شادیاخ نیشابور به دست آید.

شهرستان نیشابور واقع در مختصات جغرافیایی  $36^{\circ}$  و  $12'$  شمالی و  $58^{\circ}$  و  $47'$  ارتفاع متوسط از سطح آب‌های آزاد، در شمال شرق ایران و استان خراسان رضوی در اقلیم گرم و خشک قرار دارد (Wilkinson, 1986). این منطقه تابستان‌های طولانی خشک و گرم و زمستان‌هایی سرد و کوتاه دارد و با توجه به اختلاف سطح موجود میان دشت نیشابور و کوه‌های منطقه، شرایط خاص آب و هوایی بر این شهرستان حاکم است (طاهری، ۱۳۸۴، ۹). نیشابور در دوران اسلامی از رونق و گسترش بی‌نظیری برخوردار گشت. در روزگار طاهریان و سامانیان و سلجوقیان مرکز خراسان بود و بعداً در اثر حمله مغول و حدوث زلزله‌های سخت، شاهد ویرانی‌های زیادی بود (بی‌نام، ۱۳۱۸). اولین کاوش‌های نیشابور در دهه ۱۹۳۰ میلادی توسط هیئت کاوش آمریکایی موزه متروپولیتن نیویورک، در جست‌وجوی شهرهای تاریخی ساسانی، انجام شد (Wilkinson, 1986).

پس از گذشت چندین دهه، در سال ۱۳۷۹ اولین کاوش‌های باستان‌شناختی گروه ایرانی به سرپرستی رجبعلی لباف خانیکی در منطقه موسوم به شادیاخ انجام شد. کاوش‌ها در این منطقه طی هفت فصل تا سال ۱۳۸۵ به طول انجامید (لباف خانیکی، ۱۴۰۱). خاص‌ترین و منحصربه‌فردترین بخش محوطه شادیاخ، تالاری موسوم به بارعام است که پلانی چلیپایی دارد. با توجه به شواهد باقی‌مانده نیز در گذشته سرتاسر آن با استفاده از آرایه‌های گچی تزیین شده بوده است (لباف خانیکی و بختیاری شهری، ۱۳۸۲). هم‌اکنون تلی از قطعات گچی در مرکز تالار وجود دارد و تعداد انگشت‌شماری از این آرایه‌ها نیز به همراه یک قطعه کتیبه واقع در بخش ازاره، بر بدنه دیوار باقی‌مانده‌اند. تعداد کثیری از آن‌ها نیز در انباری واقع در محوطه شادیاخ نگهداری می‌شود. آرایه‌های گچی این محوطه عموماً با تکنیک برجسته و به شیوه گچبری اجرا شده‌اند. نقش‌مایه‌های به کار رفته در آن‌ها شامل خطنگاره، نقوش گیاهی، هندسی و بعضاً نقوش برهشته انسانی هستند. با توجه به اینکه این محوطه طی دو دهه اخیر یافت شده، مطالعات اندکی با هدف فن‌شناسی و آسیب‌شناسی آرایه‌های گچی آن، که شواهدی از اقلیم منطقه نیشابور کهن است، انجام شده است. لذا انجام مطالعات فنی بر روی ملاط‌های گچی این ناحیه می‌تواند در شناخت و درک بیشتر اندیشه هنرمندان گچبر و روش‌های فراوری ملاط‌های گچی این منطقه یاری رسان باشد. همچنین این اطلاعات پایه می‌تواند یاری‌گر مرمتگران آرایه‌های گچی این محوطه باشد. در پژوهش پیش‌رو تعداد سه قطعه از آرایه‌های گچی محوطه شادیاخ که در فصل چهارم کاوش‌ها یافت شده‌اند مورد بررسی فنی قرار گرفته‌اند. همچنین مشاهدات بصری با استفاده از میکروسکوپ دیجیتال انجام پذیرفته است. ساختارشناسی این قطعات با استفاده از روش‌های دستگاهی پراش اشعه ایکس (بررسی فازهای موجود در نمونه‌های گچی) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (مشاهده ریزساختار بلوری نمونه‌ها) انجام گرفته است.

## نیایش خاکسار باغان

## پرسش پژوهش

به منظور دستیابی به اهداف بیان شده، نگارندگان به دنبال پاسخ به پرسش زیر هستند:  
- ویژگی های فنی و ساختاری ملاط آرایه های گچی باقی مانده از محوطه تاریخی شادیاخ چیست؟

## ۲- پیشینه پژوهش

### ۱-۲ محوطه تاریخی شادیاخ

محوطه باستان‌شناختی نیشابور، در شرق نیشابور کنونی در مجاورت آرامگاه عطار و خیام واقع شده است (Haddon, 2016). اگر بخواهیم محدوده شهر قدیم نیشابور را براساس نشانه‌های زمین و اثر خانه‌ها تجسم کنیم می‌توان گفت شروع آن از «بالای محلی که فعلاً راه تهران- مشهد از آنجا عبور می‌کند» بوده، به سمت جنوب رفته و به آرامستان «حیره» که آرامگاه خیام در آن واقع است منتهی می‌شود. از سمت جنوب شرقی به مزار فضل‌بن شاذان رسیده و از غرب و جنوب غربی تا آرامگاه عطار امتداد دارد (مویدثابتی، ۱۳۵۳، ۳). خوشبختانه، ناحیه باستان‌شناختی نیشابور، به طور تقریبی از بخش شهرنشین کنونی فاصله دارد. چرایی این جابه‌جایی را می‌توان در مسائل اجتماعی و طبیعی همچون حملات متعدد نظامی و زلزله‌های سهمگین جست‌وجو کرد. با این وجود شاخه شرقی تنها خط آهن موجود در این شهرستان که به شهر مشهد منتهی می‌شود، و در نیمه قرن گذشته احداث شده، از ضلع شمال‌غربی تا ضلع جنوب شرقی این محوطه تاریخی گذر کرده و از میان بقایای کهن‌دژ و احتمالاً اولین مسجد جامع شهر قدیم عبور می‌کند (Rante & Collinet, 2013).



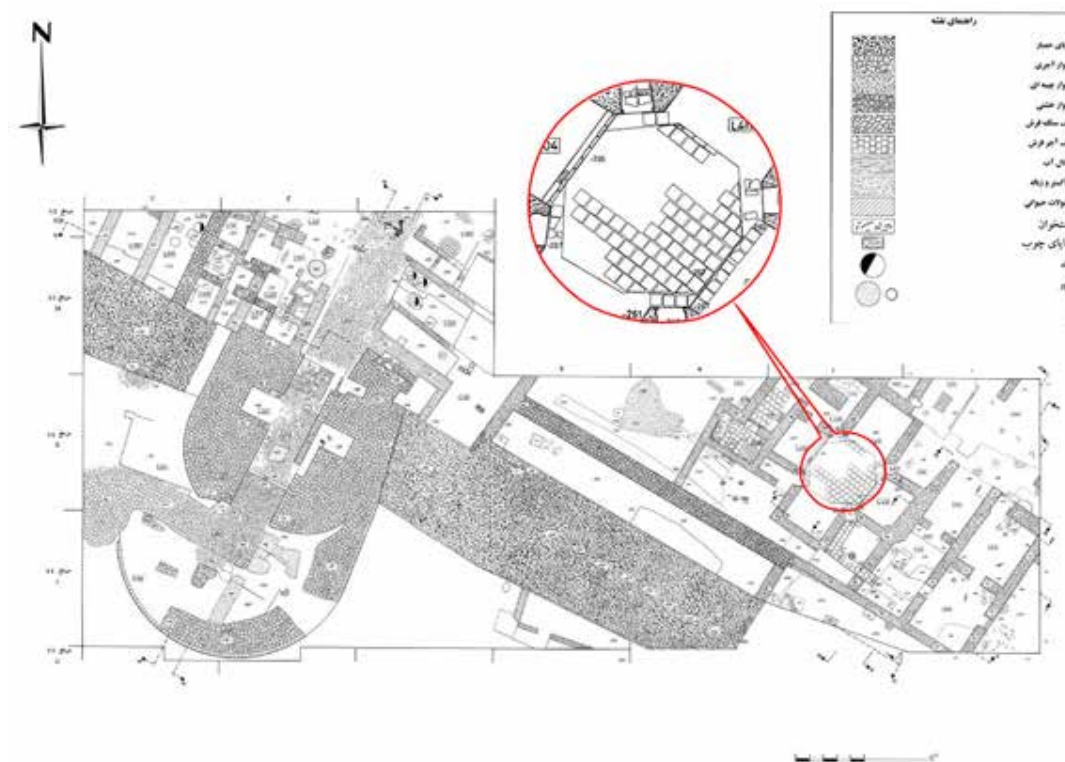
شکل ۱. محوطه تاریخی شادیاخ (نگارندگان ۱۴۰۰)

شادیاخ طی هفت فصل به سرپرستی رجبعلی لباف خانیکی (۶ فصل) و محمود بختیاری شهری (یک فصل)، از سال ۱۳۷۹ تا ۱۳۸۵ کاوش شده (شکل ۱) و دو دوره مهم سلجوقی-خوارزمشاهی و ایلخانی در آن شناسایی شده‌اند (لباف خانیکی، ۱۴۰۱). این محوطه از بخش‌های گوناگونی همچون کارگاه عصاره‌گیری انگور، کارگاه آهنگری، سفالگری و شیشه‌گری، سیاه‌چال، اصطبل، مطبخ، انبار و... تشکیل شده است. باتوجه به گزارش کاوش فصل چهارم این محوطه

#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

(لباف خانیکی و بختیاری شهری، ۱۳۸۲) یکی از مهم‌ترین بخش‌های این محوطه تاریخی به نام تالار بارعام شناخته می‌شود. این تالار از چهار ایوان مشرف بر یک فضای هشت‌ضلعی در وسط تشکیل شده است که چهار گوشه و از طریق چهار درگاهی به فضاهای مجاور راه دارد. ایوان‌ها در جهات فرعی جغرافیایی ساخته شده‌اند. ایوان‌های شمال شرقی و جنوب غربی فرینه یکدیگر بوده و ابعاد یکسانی دارند. طول آن‌ها ۳/۳۰ متر و ۲/۸۵ متر است. در ادوار بعدی ایوان شمال غربی با استفاده از دیواری تیغه‌ای و آرایه‌های گچی دستخوش تغییراتی شده و دارای ابعاد ۲/۸۵ و ۳/۱۰ متر است. ایوان شمال شرقی همانند ایوان شمال غربی است با این تفاوت که کف ایوان شمال غربی کمتر از یک متر بالاتر از کف عمومی تالار ساخته شده و در مقابل آن مشرف بر صحن تالار معجری مزین به آرایه گچی و کتیبه ایجاد گردیده در حالی که ایوان شمال شرقی ساده و کف آن هم‌سطح صحن تالار است. مصالح دیوارهای تشکیل دهنده تالار همگی چینه‌ای است و ضخامت دیوارها بین ۷۰ تا ۹۰ سانتی متر است (شکل ۱ و ۲).



شکل ۲. پلان مجموعه تاریخی شادیاخ، تالار بارعام با دایره مشخص شده است (آرشیو میراث فرهنگی استان خراسان رضوی)

## ۲-۲ مروری بر مطالعات ساختارشناسی درحوزه ملاط‌های گچی

در مقاله‌ای در رابطه با مطالعه و شناخت فنی ملاط گچی کتیبه ایوان بقعه سید شمس‌الدین یزد (متعلق به سده هشتم هجری) با استفاده از آنالیزهای دستگاهی XRF، XRD، SEM-EDS ارزیابی و مقایسه‌ای میان ملاط‌های عمق و سطح کتیبه گچی نقش بر جسته، آرایه گچی قالبی و بستر گچی زیر این آرایه انجام شده است. نتایج حاصل شده نشان از آن دارند که عمق و سطح کتیبه گچی از نظر ساختاری با یکدیگر متفاوت هستند. بخشی از این تفاوت در زمان ساخت اثر و مربوط به نحوه عمل‌آوری و اجرای کتیبه بوده و بخشی دیگر نیز به واسطه فرسایش ملاط ایجاد شده است (حمزوی، ۱۴۰۰، ۳۷). حمزوی و همکاران (۱۴۰۰) ساختار ملاط رنگی آرایه‌های گچی بوم‌ساب در مدرسه (کاروانسرا) گنجعلی‌خان کرمان را مورد مطالعه قرار داده‌اند. در این راستا، از روش XRD، EDS، FTIR استفاده شده و نتایج حاصل از پژوهش گویای آن بوده که ملاط گچ با فازهای اصلی ژپس و انیدریت در لایه‌های مختلف استفاده شده است. همچنین برای رنگی

نیایش خاکسارباغان

کردن ملاط قرمز و زرد از اکسید آهن (گوئیتیت) و برای ملاط خاکستری از خاکستر و آهک استفاده شده است. همچنین مواد آلی (استفاده جهت تغییر کیفیت ملاط) در ساختار نمونه‌ها شناسایی نشد (حمزوی و دیگران، ۱۴۰۰).  
 میس مست نهی (۱۳۹۴) نمودار پیشنهادی‌ای به منظور بررسی ساختارشناسی آثار گچی تاریخی ارائه داده است. در این نمودار ابتدا می‌بایست مشاهدات بصری با چشم غیر مسلح و مسلح انجام شده و در ادامه آزمایش XRD بر روی نمونه مورد نظر انجام گیرد. پس از آن با استفاده از آزمون نقطه‌ای سوختن تر حضور و یا عدم حضور مواد آلی در ترکیبات ملاط معین گردد. در صورت اثبات حضور ماده آلی نیز می‌توان با روش‌های دستگاهی همچون FT-IR، RAMAN، UV-VIS و... به تعیین دقیق نوع ماده آلی به کار رفته در ملاط پرداخت. در نهایت بخش باقی‌مانده از نمونه اثر با استفاده از SEM بررسی می‌شود. بوستانی و همکاران (۲۰۱۸) پژوهشی در رابطه با مسجد نه‌گنبد بلخ انجام داده‌اند. در این پژوهش حدود نه نمونه تهیه شده که از این بین ساختار سه نمونه به وسیله آنالیز XRD ژپس شناسایی شده است. آن‌ها همچنین به منظور تشخیص وجود و یا عدم وجود ماده آلی در این ساختار از آنالیز FT-IR بهره برده‌اند (Boostani et al., 2018).  
 تکنونی و همکارانش (۲۰۱۸) به جهت ساختارشناسی ملاط و اندود قصر الازرق واقع در اردن از روش‌های دستگاهی SEM-EDS، XRD و pXRF استفاده کردند. نتایج حاصل شده حاکی از آن بودند که در میان پنج نوع ترکیب شناسایی شده، ملاط گچ آهک نیز حضور داشت (Tenconi et al., 2018). با توجه به اینکه دهیدراسیون ژپس می‌تواند جوانب گوناگونی را دربر داشته باشد و اثرات تخریبی آن آشکار است، عبدالله کامل (۲۰۱۹) برای بررسی این مسئله بر روی سه نمونه مطالعاتی از معبد هابو، مناره مسجد العلیا و ساختمان تئاتر ملی مصر از روش‌های دستگاهی XRPD و SEM-EDX استفاده کرده است (Kamel, 2019). آکسامیا و همکاران (۲۰۱۹) در روند مطالعه و بررسی چسب‌های آلی در تعدادی از نقش برجسته‌های مذهبی متعلق به رنسانس ایتالیا در مجموعه‌های فرانسوی از روش‌های دستگاهی SEM-FEG، FTIR و GC-MS استفاده کرده‌اند. با استفاده از SEM-FEG بلورهای سوزنی شکل، ستاره‌ای و مسطح ژپس شناسایی شد. آن‌ها از FTIR به منظور بررسی ماتریکس نمونه‌های خود بهره بردند که حاوی ژپس، مقادیری از کربنات و سیلیکات، و مواد آلی همچون ترکیبات لیپیدها، مونوساکاریدها و پروتئین‌ها بود. GC-MS نیز جهت بررسی مواد پروتئینی موجود در این نمونه‌ها مورد استفاده قرار گرفت (Aksamija et al., 2019).

### ۳- مواد و روش‌ها

توصیف آثار مورد مطالعه: قطعه شماره ۱ بخشی از یک قاب کتیبه گچبری شده است. رنگ سطح این قطعه سفید مایل به خاکی و رنگ مغز آن، سفید است. ضخامت گچ اجرا شده در حدود ۵ سانتی‌متر بوده و با توجه به شواهد موجود، ملاط گچ در دو لایه بر تکیه‌گاه اعمال شده که در شکل (۳ الف) دولا به بودن قابل مشاهده است. این قطعه آرایه گچی به همراه دو آجر (تکیه‌گاه) از محل اصلی جدا شده و پشت آن‌ها، حین عملیات حفاظت در کاوش در سال ۱۳۸۴، گونی کفی چسبانده شده است. لازم به ذکر است در این زمان، عملیات پاکسازی و تثبیت سطح قطعات آرایه گچی انجام نشده است. در متن کتیبه، نشانه‌های «ا او الم» دیده می‌شود. زمینه آن نیز با نقش مایه گیاهی (ساقه دو برگی با سه حفره) و بند اسلیمی پوشیده شده است (شکل ۳ الف). قطعه شماره ۲ نیز بخشی از یک قاب کتیبه ثلث است. ضخامت ملاط گچ اجرا شده حدود ۴ الی ۵ سانتی‌متر بوده و به نظر می‌رسد در دو لایه اجرا شده است. در متن کتیبه نشانه‌های «و الا (ف ق؟)» دیده می‌شود. زمینه کتیبه را نقوش گیاهی (ساقه تک برگ با دو حفره) و بند اسلیمی پوشانیده است. رنگ سبز بسیار کم‌رنگ و ناچیزی در دو بخش بالایی قطعه بر روی نوار بالای حروف یکی در سمت راست و دیگری در سمت چپ وجود دارد (شکل ۳ ب). قطعه شماره ۳، از حیث خط، نقش و ضخامت با دو قطعه دیگر متفاوت است. این قطعه به خط کوفی نگاشته شده و ضخامت کل آن نزدیک به ۷ سانتی‌متر است. با تماشای مقطع چپ قطعه به نظر می‌رسد از ۳ لایه تشکیل شده باشد. در این کتیبه نشانه‌های «الملم...» به چشم می‌خورد. زمینه آن ساده بوده و نقشی بر آن دیده نمی‌شود (شکل ۳ ج).

#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
 (ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)



شکل ۳. الف (قطعه شماره ۱)، ب (قطعه شماره ۲)، ج (قطعه شماره ۳)

**مطالعات آزمایشگاهی:** تصویربرداری و مشاهده دانه‌بندی دو نمونه از قطعات ۱ و ۳ و یک نمونه از قطعه ۲ با استفاده از میکروسکوپ پورتابل Dinolite با قابلیت بزرگنمایی حداکثر ۲۵۰ برابر انجام شد. تصاویر در بزرگنمایی ۶۰ برابر تهیه شدند.

جهت آنالیز XRD از دستگاه مدل EXPLORER ساخت شرکت GNR ایتالیا، دکتور DECTRIS، با تیوپ تولید کننده پرتو ایکس از جنس مس ( $\text{Cu K alpha} = 1/54 \text{ \AA}$ )، حداکثر اختلاف پتانسیل ۴۰ Kv و شدت جریان ۳۰ mA تحت زاویه  $2\theta$  و زاویه تابش ۶-۶۰ درجه استفاده شد. آنالیز به صورت کیفی انجام شد و تحلیل مورد نیاز با نرم افزار Xpert انجام گرفت.

به منظور تصویربرداری از ریزساختار بلوری نمونه‌ها، دستگاه SEM مدل LEO1450VP ساخت شرکت Zeiss کشور آلمان با حداکثر ولتاژ ۳۵ Kv مجهز به آنالیز EDS ساخت OXFORD انگلیس مدل 7353 و با قدرت تفکیک ۱۳۳eV استفاده شد. نمونه‌ها با استفاده از دستگاه پوشش‌دهی طلا-پالادیوم مدل SC 7620 به مدت ۱۸۰ ثانیه پوشش‌دهی شدند. تصویربرداری در بزرگنمایی‌های مختلف و تحت ولتاژ ۲۰ Kv انجام شد.

با توجه به هدف پژوهش حاضر، به منظور ساختارشناسی ملاط در قطعات آرایه‌های گچی از هر قطعه تعداد دو الی سه نمونه تهیه شد (جدول ۱؛ شکل ۴). این پژوهش با روش تجربی-توسعه‌ای انجام شده. مبنای آن مطالعات میدانی و کتابخانه‌ای است. در بخش بررسی‌های میدانی وضعیت آثار ثبت گردید و هم‌زمان نمونه‌برداری از آثار انجام شد. در ادامه با تجزیه و تحلیل داده‌های به دست آمده از آنالیزهای فازی و عنصری، ساختارشناسی ملاط گچ انجام شد. آنالیز فازی تهیه شده از مغز لایه فوقانی قطعات بوده و آنالیز عنصری و تصویربرداری با میکروسکوپ دیجیتال بر روی تمامی نمونه‌ها انجام شد.

جدول ۱. مشخصات نمونه‌ها، نوع آنالیز بر روی نمونه‌ها، کدگذاری نمونه‌ها

SH.3-S	SH.3-U	SH.2	SH.1-S	SH.1-U	نمونه‌های مطالعاتی
-	XRD	XRD	-	XRD	آنالیز و تصویر
SEM	SEM	SEM	SEM	SEM	
EDS	EDS	EDS	EDS	EDS	
Dino-Lite	Dino-Lite	Dino-Lite	Dino-Lite	Dino-Lite	



شکل ۴. محل نمونه برداری از قطعات ۱ (الف)، ۲ (ب)، ۳ (ج)

#### ۴- نتایج و بحث

بررسی سطحی نمونه‌ها به کمک میکروسکوپ دیجیتال: ابتدا قطعات آرایه گچی با میکروسکوپ دیجیتال مورد بررسی قرار گرفت و سپس از بخش‌هایی که در ظاهر آثار آسیبی وارد نمی‌کرد و همچنین از نظر کیفیت دانه‌بندی و ترکیب مواد می‌توانست نماینده قطعه گچی باشد، نمونه‌هایی تهیه گردید. نمونه‌های ارائه شده در جدول (۱) با استفاده از میکروسکوپ دیجیتال مشاهده و بررسی شدند (شکل ۵). همان‌طور که در شکل پیداست، نمونه‌های SH.2.2022 و SH.3.2022 ناخالصی کمتری نسبت به نمونه SH.1.2022 دارند و رگه‌های سیاه رنگی نیز در نمونه SH.2.2022 و نمونه SH.3-U.2022 مشاهده می‌شود. این درحالی است که دو لایه مربوط به نمونه SH.1.2022 نیز از لحاظ خلوص با یکدیگر تفاوت دارند. ناخالصی موجود در نمونه SH.1-S.2022 بیشتر از نمونه SH.1-U.2022 است. دانه‌بندی نمونه‌ها نیز در نمونه SH.1.2022 درشت‌تر از دو نمونه دیگر به چشم می‌خورد.

نمونه‌های مورد مطالعه در پژوهش حاضر از نظر ظاهری با نمونه‌های مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان مقایسه شد. از نظر زمانی شاید کمی با یکدیگر اختلاف داشته باشند. ولی معادن گچ متفاوت باعث شده ملاط گچی در شادیاخ با نمونه‌های اصفهان هم از نظر رنگ و هم از نظر دانه‌بندی و تخلخل متفاوت باشد (حمزوی و دیگران، ۱۴۰۲).



شکل ۵. تصاویر تهیه شده با بزرگنمایی ۶۰ برابر از نمونه‌های متعلق به قطعات گچی ۱، ۲ و ۳

آنالیز XRD: به دلیل وجود گردوغبار و خاک محوطه بر سطح قطعات گچی (به میزان کم)، برای انجام آنالیز فازی از مغز قطعات نمونه برداری شد. با توجه به نتایج حاصل از آنالیز XRD (جدول ۲، شکل ۶)، نمونه‌ها دارای مقادیر کوارتز، کریستوبالیت، انیدریت، ژیس، کلسیت و گوتیت هستند. قابل ذکر است که میزان ۳۴/۴٪ از نمونه‌های SH.1-U و SH.3-U، همچنین ۵۷٪ از نمونه SH.2 شناسایی نشده است. فازهای اصلی شناسایی شده در نمونه SH.1-U: کوارتز، انیدریت و ژیس هستند و فازهای فرعی شامل کریستوبالیت و کلسیت است. با بررسی گراف‌های این نمونه و نمونه SH.2 (شکل ۶) شاهد هم‌نشینی انیدریت و ژیس در کنار یکدیگر هستیم که می‌توان آن را به عواملی همچون کوره گچی، دهیدراسیون و یا ریختن نمایی نسبت داد.

باتوجه به اینکه در گذشته کنترل دما در کوره‌های گچی موسوم به چاهی ممکن نبوده است، لذا انواع گچ‌ها در این کوره‌ها فراوری می‌شدند (کباری، ۱۳۷۵، ۲۴). ازسوی دیگر وجود انیدریت و بازانیت در ترکیبات قطعات می‌تواند

#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

حاصل فرایند دهیدراسیون ژپس باشد. به طور کلی ژپس به سه روش مختلف بواسطه دهیدراسیون، به انیدریت تبدیل می شود که عبارت اند از؛ فرایند محلول- ته نشینی، تبدیل مستقیم ژپس به انیدریت به واسطه از دست دادن آب ساختاری و در نهایت کم آب شدن مرحله به مرحله بازآینت تا تبدیل شدن به انیدریت (Kamel, 2019).

ریخت‌نمایی از دیگر دلایل مشاهده انیدریت در ترکیب قطعات است. ریخت‌نمایی زمانی رخ می دهد که بلور مورد نظر طی فرایندهای گذر زمان، رطوبت، فشار و... با حفظ ظاهر بلوری خود دستخوش دگرگونی‌های درونی شده است (حمزوی، ۱۴۰۰). در نمونه SH.1-U ژپس و انیدریت به عنوان فاز اصلی شناسایی شده و در نمونه SH.2 ژپس به عنوان فاز اصلی و انیدریت به عنوان فاز فرعی شناسایی شده است. به نظر می رسد شرایط قرارگیری این دو نمونه، پس از حفاری و کاوش، یکسان نبوده و در طول زمان در شرایط دما و رطوبت یکسان قرار نداشته‌اند. در نمونه سوم، تنها ژپس شناسایی شده و انیدریت شناسایی نشده است. کوارتز نیز که در نمونه SH.1-U و SH.2 پیک بلندی به جای گذاشته، به عنوان ناخالصی در ترکیبات گچ وجود دارد و اغلب آرایه‌های گچی بررسی شده در گذشته، مقادیر اندک کوارتز را نشان داده‌اند. در نمونه SH.3-U نیز فاز کوارتز به عنوان فاز فرعی شناسایی شده است. این ناخالصی عمدتاً به صورت تعددی توسط استادکار با استفاده از خاک یا ماسه به ملاط گچی اضافه می شده و یا گاهی در معدن در ترکیب با سنگ گچ وجود داشته است (جدول ۲).

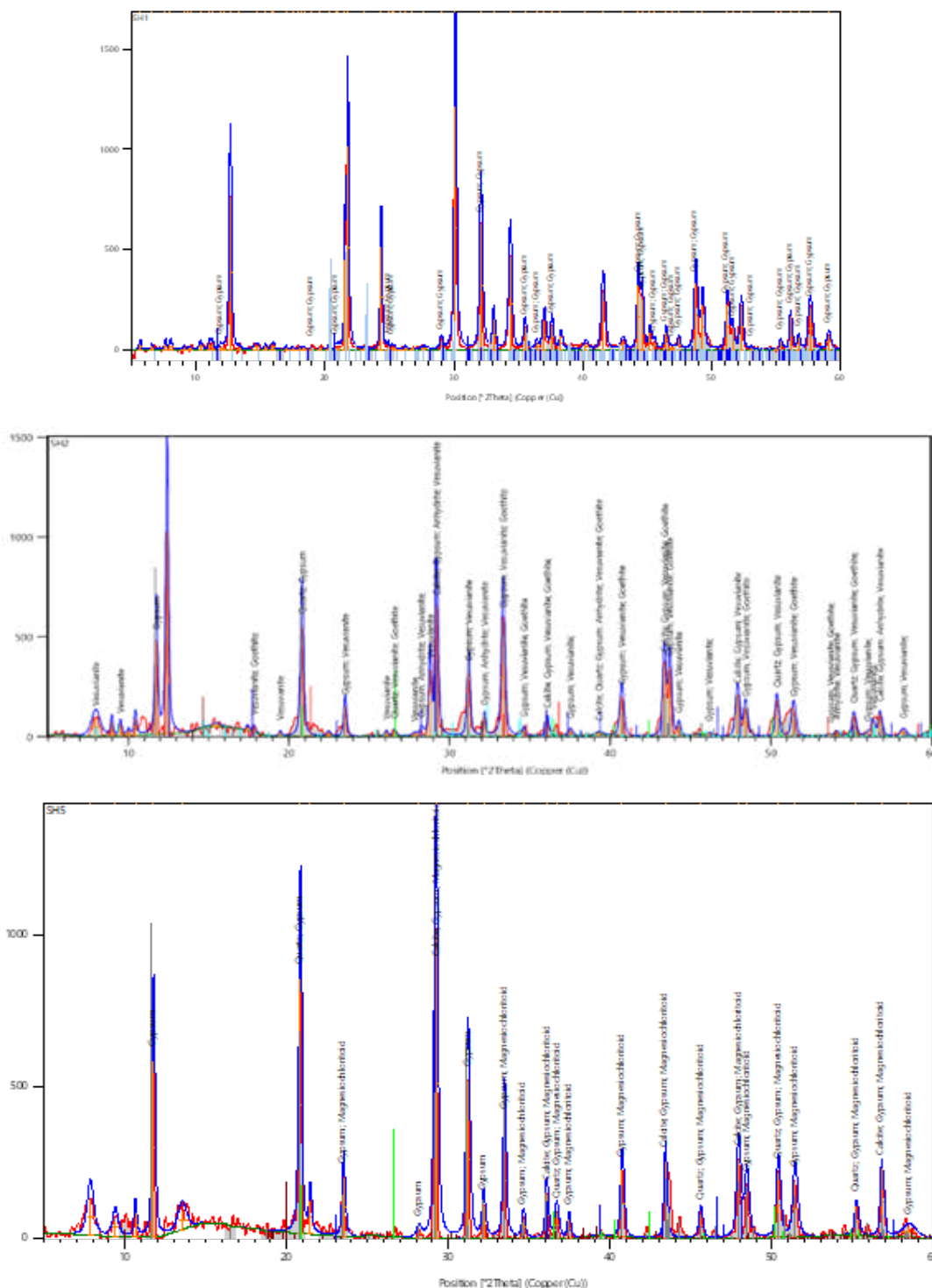
از دیگر فازهای شناسایی شده در این سه قطعه آرایه گچی، کلسیت است. کلسیت می تواند در قالب ناخالصی موجود در پودر گچ بوده باشد. البته باید به خاطر داشت که در گذشته تهیه خمیر گچ با استفاده شیرآهک روشی متداول بوده؛ چراکه افزایش استحکام و پایداری اثر را به دنبال داشته است. در نمونه SH.2 و SH.3-U کلسیت به عنوان فاز اصلی و در نمونه SH.1-U به عنوان فاز فرعی شناسایی شده است. با بررسی طیف نمونه SH.3-U در می یابیم که بیشتر ترکیبات این قطعه از ژپس است و درکنار آن پیک‌های شناسایی نشده نیز حضور دارند. فاز غالب در نمونه‌های SH.2 و SH.3-U ژپس شناسایی شد. با وجود اینکه هر سه قطعه ترکیبات و فازهای مشابه با یکدیگر داشتند، اما به دلیل تفاوت شدت در پیک‌ها، درصد حضور هر یک از آن‌ها در قطعات متفاوت است. این تفاوت می تواند ناشی از مقدار آسیب‌های وارده بر قطعات و یا تفاوت در ساختار خمیر گچ آن‌ها باشد. همان طور که در شکل (۵) پیداست، نمونه SH.3-U از لحاظ بصری و دانه بندی نیز نسبت به دو قطعه دیگر از خلوص بیشتری برخوردار بوده و نتایج آنالیز فازی آن نیز بیشترین مقدار ژپس را نشان می دهد. مقداری گوئیتیت در نمونه SH.2 شناسایی شده است که به نظر می رسد این ترکیب آهن به صورت ذره در ساختار ملاط بوده و به صورت عمدی به ساختار ملاط اضافه نشده است. اگر میزان ترکیبات آهن اکسید شده نسبت بالایی داشته باشد، معمولاً رنگ گچ به سرخی می گراید (مانند گچ اصفهان)، در صورتی که نمونه‌های مورد مطالعه، به رنگ سفید است. در مقایسه نتیجه این آنالیزها با آنالیزهای مربوط به نمونه ملاط‌های گچی مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان، مقدار ناخالصی (ترکیبات موجود در خاک) در نمونه‌های اصفهان به وضوح بیشتر است که به نظر می رسد دلیل آن، وجود معادن گچ با ناخالصی نسبتاً زیاد در اطراف اصفهان است.



جدول ۲. نتیجه آنالیز فازی XRD از نمونه های: SH.1-U، SH.2، SH.3-U (نگارندگان)

	SH.3-U	SH.2	SH.1-U	Sample	Min
	√	√	√	Quartz	SiO <sub>2</sub>
Date: 23.07.2022	-	-	√	Cristobalite	SiO <sub>2</sub>
kV = 40	-	√	√	Anhydrite	CaSO <sub>4</sub>
mA = 30	√	√	√	Gypsum	CaSO <sub>4</sub> , 2H <sub>2</sub> O
Ka. = Cu	√	√	√	Calcite	CaO
Fil. = Ni	-	√	-	Goethite	FeO(OH)
Major Phase(s)	34.4	57.4	34.4	Unidentified peak area	
Minor Phase(s)	%	%	%		

#### نیایش خاکسار باغان



شکل ۶. طیف‌های مربوط به آنالیز XRD نمونه‌های SH.1 (بالا)، SH.2 (وسط)، SH.3 (پایین)

بررسی میکروسکوپی SEM: مهندسی بلور در مواد معدنی غیر فلزی بسیار حائز اهمیت است (Mishmastnehi et al., 2023). با توجه به امکانات موجود و شیوه‌های مطالعه در دست، می‌توان مطالعاتی در خصوص مهندسی بلور در ملاط‌های گچی در دوره‌های تاریخی انجام داد. گاهی به صورت اتفاقی و بدون شناخت استادکاران سنتی، تغییراتی در بلورهای گچی ایجاد می‌شده که بخشی مربوط به مواد موجود و ناخالصی‌ها است و بخشی مربوط به عمل‌آوری ملاط.

#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

در بسیاری مواقع نیز با آزمون و خطا در صدها سال، استادکاران برای رسیدن به ویژگی خاصی از ملاط گچی، تغییراتی در ترکیب مواد اولیه می‌دادند و یا در مرحله عمل‌آوری، ترفندهایی برای نیل به این هدف به کار می‌گرفتند. در بررسی میکروسکوپی، یکی از مهم‌ترین هدف‌ها، مطالعه بلورشناسی است تا درکنار دیگر شیوه‌های مطالعه، پژوهشگر متوجه شود در زمان خلق اثر، مهندسی بلور به صورت خودآگاه انجام شده است یا نه؟ و اگر این اتفاق افتاده، به چه صورتی و با چه خلایقی بوده است.

تمامی نمونه‌های معرفی شده در جدول (۱) برای ریخت‌شناسی (مورفولوژی) بلورهای ملاط گچی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی بررسی شدند. تصاویر سمت چپ شکل (۷) با بزرگنمایی ۳۰۰۰ برابر و تصاویر سمت راست با بزرگنمایی ۶۰۰۰ برابر هستند. با توجه به تصاویر تهیه شده می‌توان گفت تجمع بلورها در نمونه‌های SH.1-U، SH.1-S، SH.2، SH.3-S و SH.3-U زیاد است و بلورها به صورت متراکم درکنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. نمونه‌های SH.3-S و SH.3-U از تراکم کمتری برخوردار هستند و فضاهای خالی مانند حفره در آن دیده می‌شود (در مقایسه با دو نمونه قبل). یکی از دلایل میزان تراکم بلورها، میزان آب استفاده شده برای ملاط به هنگام عمل‌آوری است. وجود آب بیشتر در زمان عمل‌آوری ملاط گچی می‌تواند سبب ایجاد فاصله بین توده‌های بلوری شود.

در نمونه‌های SH.1-U و SH.1-S بلورهای ژپس کمتری دیده می‌شود. همچنین بر روی برخی از بلورها، ریزبلورهای قابل مشاهده هستند که به نظر می‌رسد به مرور زمان تشکیل شده‌اند (که نوعی تغییر و آسیب محسوب می‌شود). در دیگر نمونه‌ها، به دلیل نوسانات رطوبتی و دمایی، بخشی از بلور ژپس در آب حل شده و سپس با بخار شدن آب ریزبلور ژپس بر روی بلورهای اصلی تشکیل شده است. این ریزبلورها در دیگر نمونه‌ها نیز در مقادیر کم قابل رؤیت هستند. در مطالعه بلورشناسی، صفحه 010 بیشتر از دیگر صفحات قابل مشاهده است. به این دلیل نیز می‌توان گفت جذب آب توسط بلورها نسبت به حالت عادی بیشتر است.

به نظر می‌رسد در نمونه‌های SH.1-U و SH.1-S برخی از بلورهای ژپس به مرور زمان، با شرایط محیطی گرم و خشک، به انیدریت تبدیل شده است. در ادامه، از نظر زنده و کشته‌بودن ملاط گچی تا حد زیادی می‌توان به مطالعه مورفولوژی بلورها اتکا کرد. در مقایسه نمونه‌های مطالعاتی با تصاویر تهیه شده از ملاط گچ استاندارد (شکل ۸)، می‌توان به این نتیجه رسید که برای برش راحت‌تر نقوش آرایه گچی برجسته، هنرمند گچبر ملاط کم‌مایه را انتخاب کرده و کمی بیشتر از حالت معمول، آن را ورز داده است. بنابراین می‌توان گفت از گچ نیم‌کشته استفاده شده است. لازم به ذکر است بین ملاط گچ زنده و ملاط گچ کشته، عمل‌آوری‌های متعدد و متنوعی وجود داشته که استادکاران سنتی با توجه به قابلیت گچ و همچنین شرایط اثری که قرار است خلق شود، بهره می‌برده‌اند. عمل‌آوری ملاط در زمان خلق اثر در فضای معماری، کاملاً متفاوت از نگاه علمی امروز و نگاه آزمایشگاهی است. استادکاران سنتی با تکیه بر تجربه‌ای که داشتند برای هر بخش از کار تصمیم می‌گرفتند که میزان نسبت آب به گچ چقدر باشد؟ مواد افزودنی باشد یا نه؟ اگر نیاز به مواد افزودنی است، چقدر باشد؟ به چه میزان و چگونه عملیات ورزدهی انجام شود؟ و نکاتی از این دست. بنابراین، نامگذاری دقیق برای همه گونه‌های عمل‌آوری ملاط عملاً امکان‌پذیر نیست و به این دلیل از اصطلاح ملاط گچ نیم‌کشته در این بخش استفاده شده است. گاهی استادکاران کمی خاک به پودر گچ اضافه می‌کردند که با توجه به میزان آن، اندکی گیرش ملاط به تعویق می‌افتاد. از طرفی گاهی در مرحله اجرای لایه بستر گچی که عمل گچبری روی آن انجام می‌شود، عملیات ماله‌کشی با اندکی فشار بیشتر از حد معمول و با چند بار تکرار انجام می‌شده است. در این صورت، هم برش ملاط گچی نسبت به گچ زنده راحت‌تر بوده و هم ماندگاری اثر نسبت به گچ کشته بیشتر بوده است. با توجه به ساختمان بلوری نمونه‌های مورد مطالعه، به نظر می‌رسد استادکاران در شادیاخ نیشابور برای سهولت کار و همچنین ماندگاری اثر، از این شیوه بهره برده‌اند.

معمولاً در آرایه‌های گچی تاریخی به ندرت به ملاط گچ کشته برمی‌خوریم، چرا که استادکاران به ماندگاری کم آن اشراف داشته‌اند و برای استحکام و ماندگاری بیشتر اثر خود سعی می‌کردند ملاط را به صورت زنده عمل‌آوری کنند. همچنین نوع و میزان ماله‌کشی در نحوه قرارگیری بلورها درکنار هم بسیار تأثیرگذار بوده است. قابل ذکر است که نمونه‌های SH.1-U



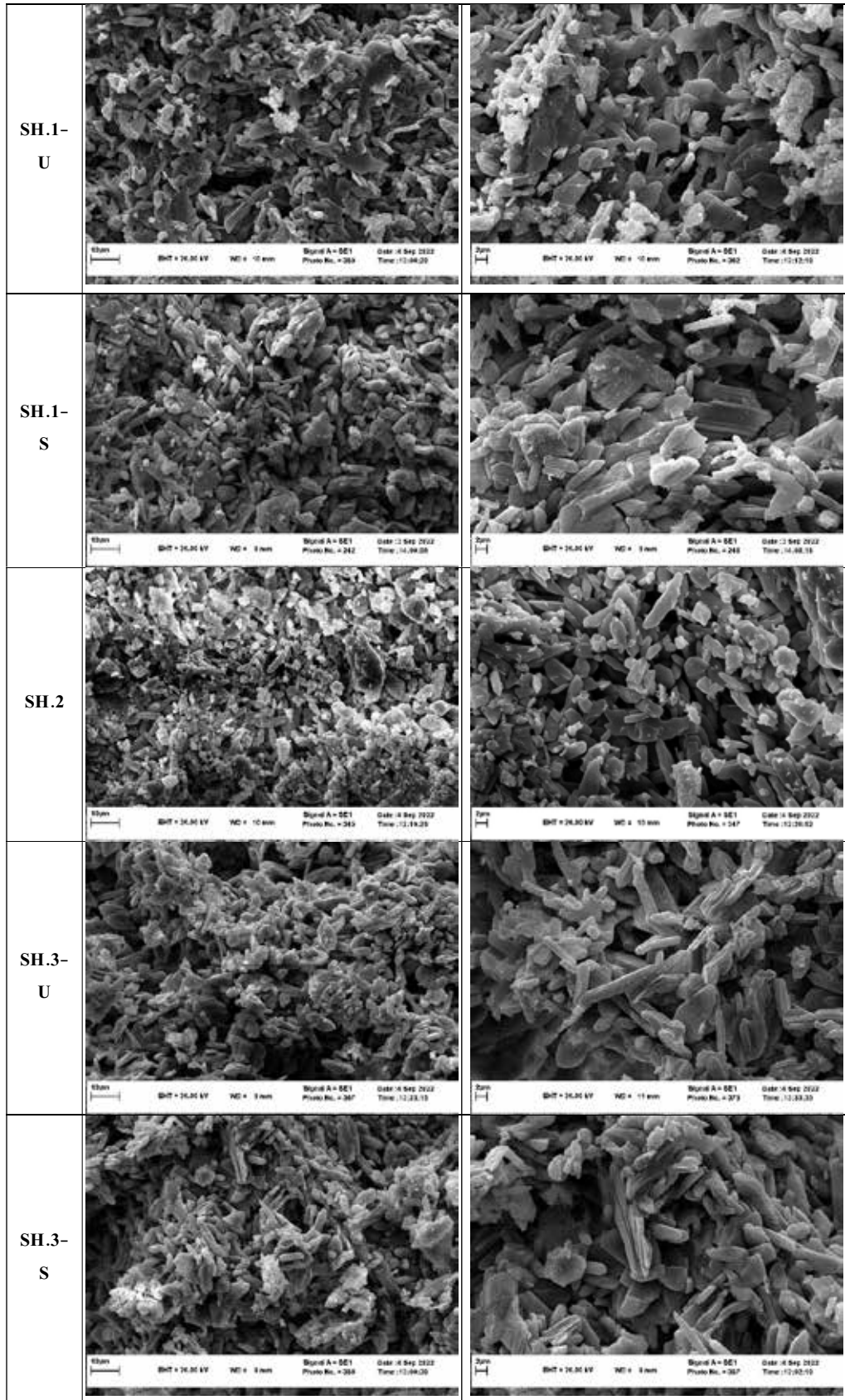
و SH.1-S نسبت به دیگر نمونه‌ها بیشتر ورز داده شده است. همچنین در این دو نمونه، بلورهای دوقلویی بیشتر دیده می‌شود. باید به این نکته توجه داشت که دوقلویی رایج در ساختار طبیعی گچ، دم چلچله‌ای است که در این مورد متفاوت است (دوقلویی یا ماکل مون مارتر در جهت 101) و ما شاهد تقارن انعکاسی بلور ژپس هستیم. اسم این رده مونوکلین پریسماتیک و علامت آن  $mirior/2$  است.

در نمونه‌های SH.1 و SH.2 بلورهایی به صورت صفحه‌های (تخت) رشد نموده (بیشتر از دو جهت رشد کرده است) و تعدادی از آن‌ها بر روی هم قرار گرفته که یکی از دلایل آن می‌تواند کندگی بودن گچ باشد. دلیل آن اضافه کردن افزودنی‌هایی همچون خاک به ملاط گچ در هنگام عمل‌آوری است. در این صورت بلور در حال رشد با یک مانع برخورد نموده و در صورت مهیا بودن شرایط از جهت دیگری رشد می‌کند. همچنین در این نمونه‌ها به نظر می‌رسد مجموعه‌ای از بلورهای همسان با محورهای بلورشناسی و وجوه موازی، رشد موازی دارند. چنین انبوه‌هایی اگرچه ابتدا چند بلور به نظر می‌آیند در واقع یک تک بلور هستند، زیرا سوگیری ساختار درونی (اتمی) در تمام نمونه بدون تغییر می‌ماند (کلاین، ۱۳۸۶، ۱۰۹).



#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادباخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

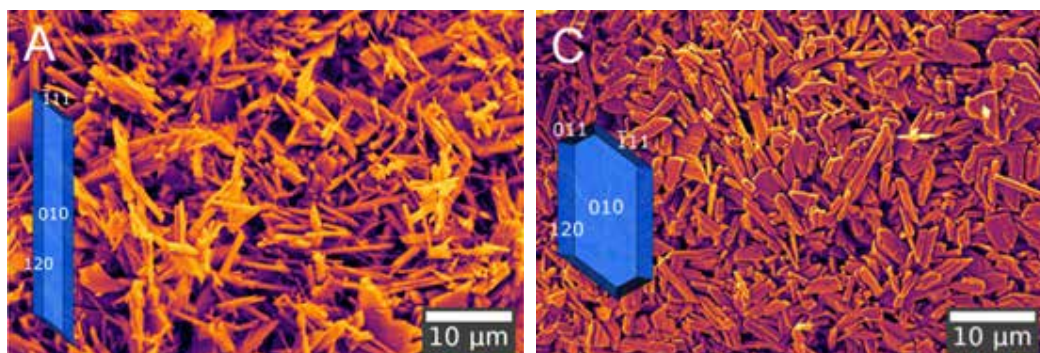


اثر  
فصلنامه

شکل ۷. تصاویر SEM از ۵ نمونه ملاط گچی

نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)



شکل ۸. تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی از شکل و نحوه قرارگیری بلورهای ملاط گچ زنده (A) و بلورهای ملاط گچ کشته (C) (Mishmastnehi *et al.*, 2023)

در مقایسه ساختمان بلوری نمونه‌های مورد مطالعه با نمونه‌های مربوط به مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان، نکته قابل توجه اندازه بلورها و همچنین رشد متفاوت بلورها است. به این صورت که اندازه بلورها در نمونه ملاط‌های مربوط به شادیاخ در مقیاس مساوی با نمونه‌های مربوط به اصفهان، بسیار ریزتر است. از طرفی رشد بلور در نمونه‌های مربوط به اصفهان در جهت دوم و سوم بیشتر از نمونه‌های مربوط به شادیاخ است. دلیل این اختلاف، متفاوت بودن عمل‌آوری ملاط در این سه بنا است.

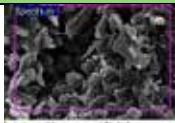

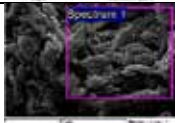
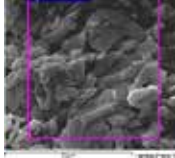
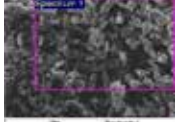
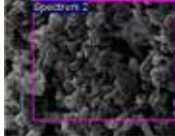
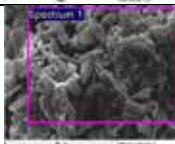

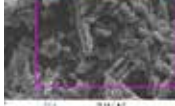
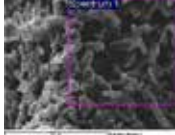
آنالیز EDS: از ۵ نمونه مطالعه بلورشناسی شده، آنالیز عنصری EDS تهیه شده است. برای دقیق‌تر شدن اطلاعات، از هر نمونه دو آنالیز از دو نقطه مختلف تهیه شد (جمعاً ۱۰ آنالیز) که نتایج آن در جدول (۳) ارائه شده‌اند. در سنگ گچی که در طبیعت و در ملاط گچی وجود دارد، سولفور و کلسیم به صورت عنصر نقشی ندارند. در واقع این عناصر در ترکیب با اکسیژن (ترکیب اکسیدی:  $SO_3 + CaO$ ) و در ترکیب با هم، گچ را تشکیل می‌دهد. این دو ترکیب اکسیدی با یک نسبت خاصی می‌توانند با هم ترکیب شوند. نسبت S به Ca ۳۲ به ۴۰ است که این اعداد مربوط به جرم اتمی استاندارد هستند. همچنین نسبت  $SO_3$  به CaO برابر با ۸۰ به ۵۶ است. اگر یکی از آن‌ها در نتیجه آنالیز بیشتر از حد نیاز برای ترکیب گچ شناسایی شده باشد، مربوط به ماده دیگری به جز گچ است که در ملاط وجود دارد. این ماده اضافه، می‌تواند مربوط به ناخالصی سنگ گچ بوده و یا مربوط به زمان عمل‌آوری آن باشد.

در آنالیزهای انجام‌شده در این پژوهش و نگاهی به جدول (۳)، متوجه خواهیم شد که در نمونه SH.1-U.A نسبت  $SO_3$  به CaO از حالت استاندارد، حدود ۵ درصد بیشتر است. در نمونه SH.2.A نسبت  $SO_3$  به CaO از حالت استاندارد، حدود ۳ درصد بیشتر است. در نمونه SH.2.B نسبت  $SO_3$  به CaO از حالت استاندارد، حدود ۷ درصد بیشتر است. در نمونه SH.3-S.A نسبت  $SO_3$  به CaO از استاندارد حدود ۲ درصد بیشتر است. این مقدار اضافه سولفور می‌تواند مربوط به نمک‌های سولفات یا دیگر ترکیبات سولفات باشد. از طرفی، در نمونه SH.3-U.A نسبت CaO به  $SO_3$  از استاندارد حدود ۱۰ درصد بیشتر و در نمونه SH.3-U.B حدود ۶/۸ درصد بیشتر است. این مقدار اضافه اکسید کلسیم می‌تواند مربوط به ترکیبات کربناته مانند نمک‌ها یا آهک باشد. اختلاف درصد بین این دو ترکیب اکسیدی در دیگر نمونه‌ها بسیار کم و زیر یک درصد است که قابل چشم‌پوشی است. نکته حائز اهمیت دیگر اینکه عناصر مربوط به خاک در نمونه‌ها بسیار کم مشاهده شدند. مقدار اکسید سیلیسیم در نمونه‌های SH.1 و SH.2 نسبت به نمونه SH.3 بیشتر شناسایی شده است. به جز سیلیس، فقط در چند مورد مقدار بسیار کم اکسید آلومینیوم شناسایی شده است.

#### نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

جدول ۳. نتایج آنالیز عنصری نقطه‌های از ۵ نمونه

Samples	Elements	O	Si	S	Ca	Al	Image
			SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	
SH.1-U	A	51.94	1.12	22.06	24.88	-	
			2.4	55.15	34.83	-	
	B	48.01	-	23.17	28.82	-	
			-	57.92	40.34	-	
SH.1-S	A	49.33	3.16	21.07	26.44	-	
			6.77	52.13	37.01	-	
	B	50.31	2.09	20.76	25.55	1.29	
			4.47	51.9	35.77	2.43	
SH.2	A	42.57	2.11	16.55	19.41	-	
			4.52	41.37	27.17	-	
	B	57.93	3.93	17.35	18.29	2.5	
			8.42	43.37	25.6	4.72	
SH.3-U	A	36.56	-	21.1	33.68	-	
			-	52.75	47.15	-	
	B	41.40	-	21.9	32.29	-	
			-	54.75	45.2	-	
SH.3-S	A	57.01	-	19.59	23.41	-	
			-	48.97	32.77	-	
	B	50.85	1.16	20.3	26.16	1.53	
			2.48	50.75	36.62	1.36	



### ۵- نتیجه‌گیری

بررسی ریخت‌شناسی بلورهای ملاط گچی درکنار آنالیزهای فازی و عنصری می‌تواند بررسی مفیدی درعرصه مطالعات آرایه‌های گچی تاریخی باشد. در مطالعه نمونه ملاط‌های آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور، داده‌های

نمایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

مفیدی به دست آمد که درکنار دیگر مطالعات فنی درخصوص آرایه‌های گچی ایران، می‌تواند نقش مؤثری در تکمیل اطلس میراث فرهنگی ایران داشته باشد. درخصوص مواد تشکیل‌دهنده نمونه ملاط‌های مورد مطالعه می‌توان گفت: ترکیبات تشکیل‌دهنده آن‌ها تفاوت چندانی با هم ندارند. بخشی از تفاوت اندک موجود در عناصر و ترکیبات نمونه‌های مطالعاتی، می‌تواند مربوط به شرایط قرارگیری اثر در بلند مدت و در دوره پس از کاوش باشد، به این صورت که به مرور زمان، املاح و نمک‌های حمل شده توسط آب، به اثر رسیده و تغییراتی ایجاد می‌کند. بخشی نیز مربوط به زمان عمل‌آوری ملاط گچی است. بخشی از تفاوت مواد هم می‌تواند مربوط به ناخالصی سنگ گچ باشد که به همان صورت پخته و پس از خرد کردن و الک کردن، استفاده می‌شده است.

از نظر فازهای تشکیل‌دهنده ملاط‌های مورد مطالعه، بیشترین فازهای اصلی مربوط به ژپس، کلسیت و کوارتز است. البته در یکی از نمونه‌ها، انیدریت هم به‌عنوان فاز اصلی شناخته شده است که این تبدیل فاز در شرایط آب و هوایی نیشابور امری نامتعارف نیست. با توجه به بررسی مورفولوژیکی بلورها، در مقایسه با تصاویر تهیه شده از ملاط گچ استاندارد، می‌توان به این نتیجه رسید که برای برش راحت‌تر نقوش آرایه گچی برجسته از ملاط گچ نیم‌کشته استفاده شده است که برای ماندگاری بیشتر آن، در زمان اجرای لایه بستر گچی، عملیات ماله‌کشی از حالت عادی بیشتر بوده و همچنین فشار ماله بر سطح بستر از حالت معمول بیشتر بوده است. درخصوص تغییرات و فرسایش ملاط به نظر می‌رسد برخی از بلورهای ژپس به مرور زمان به انیدریت تبدیل شده‌اند و در برخی نمونه‌ها، به‌دلیل نوسانات رطوبتی و دمایی، بخشی از بلور ژپس در آب حل شده و پس از تبخیر آب، ریزبلور ژپس بر روی بلورهای اصلی تشکیل شده است. با توجه به قدمت اثر (حدود ۱۰۰۰ سال)، ملاط آرایه‌های گچی باقی‌مانده از محوطه شادیاخ، چه به‌صورت جدا شده (که در موزه یا انبار نگهداری می‌شود) و چه در محل اصلی، از نظر استحکام، مناسب است.

در مقایسه نتیجه این پژوهش با نتیجه مطالعه بر روی نمونه ملاط‌های گچی مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان، موارد ذیل قابل ارائه است: معادن گچ متفاوت باعث شده ملاط گچی در شادیاخ با نمونه‌های اصفهان هم از نظر رنگ و هم از نظر دانه‌بندی و تخلخل متفاوت باشد. در مقایسه نتیجه آنالیزهای XRD نمونه‌های شادیاخ با آنالیزهای مربوط به نمونه ملاط‌های گچی مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان، مقدار ناخالصی (ترکیبات موجود در خاک) در نمونه‌های اصفهان به وضوح بیشتر است که به نظر می‌رسد دلیل آن، وجود معادن گچ با ناخالصی نسبتاً زیاد در اطراف اصفهان است. در مقایسه ساختمان بلوری نمونه‌های مورد مطالعه با نمونه‌های مربوط به مسجد جامع گز و مسجد سین اصفهان، نکته قابل توجه اندازه بلورها و همچنین رشد متفاوت بلورها است. به این صورت که اندازه بلورها در نمونه ملاط‌های مربوط به شادیاخ در مقیاس مساوی با نمونه‌های مربوط به اصفهان، بسیار ریزتر است. از طرفی رشد بلور در نمونه‌های مربوط به اصفهان در جهت دوم و سوم بیشتر از نمونه‌های مربوط به شادیاخ است. دلیل این اختلاف، متفاوت بودن عمل‌آوری ملاط در این سه بنا است.

پیشنهاد برای پژوهش‌های آتی: به‌علت وجود آرایه‌های گچی ارزشمند در ایران عزیز از دوره اشکانیان تا دوره معاصر، همچنین به‌دلیل انجام نشدن پژوهش‌های گسترده درخصوص شناخت فنی آرایه‌های گچی این منطقه، پیشنهاد می‌شود هم از نظر تکنیکی و هم از نظر دوره‌های تاریخی، پژوهش‌های تخصصی ساختارشناختی، فن‌شناختی و آسیب‌شناختی بر روی این آثار انجام شود تا به مرور زمان بانک اطلاعاتی این حوزه تکمیل گردد.

## سپاس‌گزاری

نگارندگان لازم می‌دانند از همکاری دانشگاه هنر اسلامی تبریز-دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری خراسان رضوی، همچنین مدیریت محترم پایگاه شادیاخ جناب آقای دکتر شریفان سپاس‌گزاری نمایند. این مقاله مستخرج از پایان‌نامه دوره کارشناسی با عنوان «حفاظت و مرمت بخشی از آرایه‌های گچی یافت شده از شهر قدیم نیشابور (مربوط به سده‌های اولیه اسلام)» است.

## نیایش خاکسارباغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

## تعارض منافع و سهم نویسندگان

بین نویسندگان تعارضی وجود ندارد.

## منابع مالی

وجود ندارد.

## پی‌نوشت‌ها

### 1. Spot Test

۲. هم‌رشدی (هم‌نموی) قانونی دو بلور همجنس را دوقلو یا ماکل می‌نامند. در بلورهای دوقلو، دو نوع نظم تقارنی مشاهده می‌شود: در حالت اول هرکدام از بلورها نسبت به هم تصویر آینه‌ای همدیگرند. در حالت دوم هرکدام از بلورها حول یک یال عمومی ساده که محور ماکل نام دارد به مقدار یکصد و هشتاد درجه در مقابل هم چرخیده‌اند (Correns, 1969).
۳. هرگاه نقطه‌ای را که خارج از محوری قرار دارد به اندازه ۱۸۰ درجه حول آن محور دوران بدهیم به طوری که نگذاریم درست در نقطه مقابل نقطه اولیه تکرار شود، بلکه بلافاصله روی نقطه‌ای حول این محور که حاصل انعکاس نقطه حقیقی هست با فاصله معین تکرار گردد و نیز همین عمل ادامه یابد، نظم حاصل می‌شود که این نظم را می‌توان بوسیله یک سطح تقارنی که عمود بر جهت چرخش می‌باشد به دست آورد. نکته قابل توجه این است که در موقع چرخش نقطه به اندازه نود درجه و بلافاصله انعکاس نظمی به دست خواهد آمد که نمی‌توان آن را با ترکیب عناصر تقارن ساده دیگر توجیه کرد (Correns, 1969).

## فهرست منابع

- بی‌نام (۱۳۱۸). حفريات نيشابور: كاوش‌های هيت موزه متروپوليتن در تپه سبز پوشان. ترجمه عبدالله فریار. نشریه آموزش و پرورش ۹ (۳): ۶۸-۵۰.
- حمزوی، یاسر (۱۴۰۰). مطالعه ساختارشناسی ملاط گچی ایوان بقعه سید شمس‌الدین یزد (کتابخانه کوفی، آرایه گچی قالبی، لایه بستر گچی). مرمت و معماری ایران ۱۱ (۲۵): ۳۷-۵۳. Doi:10.29252/mmi.580.13990415
- حمزوی، یاسر، حاجی سید جوادی، سید محسن؛ مصلح، مریم (۱۴۰۲). مطالعه ساختارشناسی نمونه‌های ملاط گچی از سه دوره تاریخی و چهار اقلیم ایران. پژوهش باستان‌سنجی، ۹ (۱): ۲۵-۵۲. DOI: 10.52547/jra.9.1.346
- حمزوی، یاسر، کوچکزایی، علیرضا و نگارستانی، علی اصغر (۱۴۰۰). ساختارشناسی ملاط رنگی آرایه‌های گچی بوم‌سبب در مدرسه (کاروانسرا) گنجعلی‌خان کرمان. مطالعات باستان‌شناسی پارسه، سال ۵، شماره ۱۷: ۲۸۷-۳۰۲.
- طاهری، علی (۱۳۸۴). درآمدی بر جغرافیا و تاریخ نیشابور. نیشابور: ابرشهر.
- کباری، سیاوش (۱۳۷۵). مصالح‌شناسی. تهران: انتشارات دانش و فن
- کورنس، کارل ویلهلم (۱۳۵۶). اصول کانی‌شناسی. ترجمه دکتر فرزانه رستمی، تهران: دانشگاه آذربادگان ۲۲۷.
- لباف خانیکی، رجبعلی (۱۴۰۱). مصاحبه حضوری. مصاحبه‌کننده: یاسر حمزوی، محل مصاحبه: موزه ملی ایران، زمان مصاحبه: ۱۱ بهمن ماه ۱۴۰۱.
- لباف خانیکی، رجبعلی، بختیاری شهری، محمود (۱۳۸۲). گزارش فصل چهارم کاوش‌های باستان‌شناختی شادیاخ/پایگاه میراث فرهنگی - منطقه تاریخی - فرهنگی نیشابور، مرکز اسناد اداره کل میراث فرهنگی گردشگری و صنایع دستی خراسان رضوی (منتشر نشده).
- مویذآبیتی، علی (۱۳۵۳). تاریخ نیشابوری. انجمن آثار ملی ایران.
- میثم مست‌نهی، مسلم (۱۳۹۴). کاربرد تحلیل‌های بلورشناسی در مطالعات فنی آثار تاریخی گچی (مطالعه موردی گچبری کوه خواجه سیستان، ملاط گچ شادیاخ نیشابور و گچ قلعه الموت قزوین). پژوهش باستان‌سنجی ۱ (۲): ۱-۱۴.
- Aksamija, A., Nowik, W., Lehuédé, P., Le Hô, A. S., Bormand, M., & Bouquillon, A. (2019). Investigation of organic additives in Italian Renaissance devotion stucco reliefs from French collections. *Journal of Cultural Heritage*, 39, 66-81.
- Boostani, A., Fratini, F., Misseri, G., Rovero, L., & Tonietti, U. (2018). A masterpiece of early islamic architecture: the Noh-Gonbad Mosque in Balkh, Afghanistan. *Journal of Cultural Heritage*, 32, 248-256.
- Correns, Carl Wilhelm (1969). *Introduction to Mineralogy: Crystallography and Petrology*. Second Edition, Translated by William D. Johns, Springer-Verlag New York Inc.

## نیایش خاکسار باغان

مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور  
(ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی)

- Haddon, Rosalind Wade. 2016. "Nishapur Revisited: Stratigraphy and Ceramics of the Qohandez by Rocco Rante and Annabelle Collinet, with Contributions by Rajabali Labbaf Khaniki. *Islamic Archaeology* 3 (1): 150-51.
- Kamel, A. M. (2019). Dehydration of gypsum component of plasters and stuccos in some Egyptian archaeological buildings and evaluation of K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> activator as a consolidant. *Sci. Cult*, 5, 49-59.
- Mishmastnehi M, Van Driessche AES, Smales GJ, Moya A, Stawski TM. (2023). Advanced materials engineering in historical gypsum plaster formulations. *Proc Natl Acad Sci U.S.A.*, Feb 14; 120(7):e2208836120. doi: 10.1073/pnas.2208836120. Epub 2023 Feb 10. PMID: 36763534; PMCID: PMC9963871.
- Rante, Rocco, and Annabelle Collinet. 2013. *Nishapur Revisited: Stratigraphy and Ceramics of the Qohandez*. Oxford: Oxbow Books.
- Tenconi, M., Karatasios, I., Bala'awi, F., & Kilikoglou, V. (2018). Technological and microstructural characterization of mortars and plasters from the Roman site of Qasr Azraq, in Jordan. *Journal of Cultural Heritage*, 33, 100-116.
- Wilkinson, Charles Kyrle (1986). *Nishapur: Some Early Islamic Building and their decoration*. New York: the Metropolitan Museum of Art.

#### COPYRIGHTS

Copyright © 2024. This open-access journal is published under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License which permits Share (copy and redistribute the material in any medium or format) and Adapt (remix, transform, and build upon the material) under the Attribution-NonCommercial terms.



نحوه ارجاع به این مقاله  
 خاکسار باغان، نیایش؛ حمزوی، یاسر و موسی‌زاده، مزگان (۱۴۰۳). مطالعه فنی آرایه‌های گچی محوطه تاریخی شادیاخ نیشابور (ساختارشناسی سه قطعه آرایه گچی). فصلنامه علمی اثر، دوره ۴۵، شماره ۱ (۱۰۴): ۱۴۳-۱۶۱.

DOI: 10.22034/45.1.125

URL: <http://athar.richt.ir/article-2-1831-fa.html>

