



# Pathology of Anubani Sarpol Zahab Stone Relief in Kermanshah and Providing Conservation and Restoration Approaches

Hamidreza Bakhshandehfard<sup>1\*</sup>, Ali Moradzadeh<sup>2</sup>, Omid Oudbashi<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Associate Professor, Department of Restoration of Cultural Artifacts and Objects, Isfahan Art University, Iran.

<sup>2</sup>Graduated, Department of Restoration of Historical and Cultural Objects, Faculty of Restoration, Isfahan Art University, Isfahan, Iran.

<sup>3</sup>Senior Lecturer of Conservation Sciences, Department of Restoration, Faculty of Science, University of Gothenburg, Sweden.

## ARTICLE INFO

### Article Type:

Original Research

**Received:** 02.08.2024

**Revised:** 06.11.2024

**Accepted:** 08.14.2024

### Keyword:

Pathology  
Conservation  
Restoration  
Stone Relief  
Anubani  
XRD  
XRF

### \*Corresponding Author:

Hamidreza Bakhshandehfard

**Email:** [hr.bakhsan@aui.ac.ir](mailto:hr.bakhsan@aui.ac.ir)

## ABSTRACT

Anubani in Sarpol Zahab city of Kermanshah is one of the oldest stone reliefs in Iran, belonging to the Lolubi people, dating back to 2800 BC. This work is constantly exposed to environmental factors that have been less investigated. The main damage is physical weathering in the form of pitting, cracking, separation and crushing. The research method included laboratory investigations and identification of mineralogy and structure and the mechanism of rock destruction, which included XRD methods to identify the phase and type of mineral in the rock. XRF was used to obtain quantitative data on element concentrations and petrography to study the minerals in it. Standard water absorption and porosity tests were used. The results of the XRD and XRF showed that the dominant material is limestone, and according to the petrography results, the main matrix of the rock in thin sections includes a dense texture of micrite to coarse calcite crystals of secondary sparite and streaks of sparite. The texture of the stone is compact and free of holes. The most necessary measure for conservation is the use of protective scaffolding and false ceilings. The solutions of establishing a security unit, creating a culture and informing the public, installing appropriate security and designing a visiting route were suggested to solve this problem. In the discussion of cleaning, two physical and chemical methods were suggested, and then deionized water in addition to biodegradable detergents such as Diedrich was presented to clean sediments.



---

## EXTENDED ABSTRACT

---

### Introduction

The stone relief of Anubani is one of the oldest historical monuments of Iran in Sarpol Zahab, located in the west of central Zagros, which dates back to the third millennium BC, and was identified by Rawlinson in 1836. This stone relief belongs to the Lolubi period. Conservation of stone works in the open environment has always been complex, which requires the use of different sciences and technologies and the consideration of different variables in the analysis of data. Cracks, fractures, seams, pitting, crushing, separation, sediments and copper, as well as biological damages, have appeared in the Anubani relief. In addition, the surface of the effect is in contact with dust caused by fine dust coming from Iraq, as well as pollutants caused by oil extraction in the Naft Shahr area near Sarpol Zahab. Since this relief is not in a good state of conservation and unfortunately its damages are spreading, and also due to the uniqueness of the relief and its unfavourable conditions, efforts towards this matter are necessary. The goals of this article were to identify minerals and rock structures, identify the damaging factors and destructive mechanisms, and provide conservation and restoration solutions for them.

### Methodology

The XRD method was used to determine the crystal structure of materials and is one of the best and most practical methods in identifying the structure of minerals, including rocks. To identify the composition of the desired rock sample, XRD, model D8 ADVANCE of BRUKER company, Germany, was used in the central laboratory of Isfahan University.

X-ray fluorescence (XRF) is a non-destructive method to identify and measure the amount of elements in compounds. In this experiment, the XRF model S4 PIONEER, BRUKER company in Germany, was used in the central laboratory of Isfahan University.

Petrography was used to identify the minerals and structure of the studied relief patterns from the cross-section. Several images were prepared in XPL cross-polarized light and PPL parallel-polarized light mode. In the petrography method, a thin layer of 30 microns thick was prepared on the laboratory slide from the sample and after the cutting and abrasion process, the sample was covered to protect it from possible damages.

The water absorption test was conducted to determine the amount of water absorption on two rock samples according to the (UNE-EN 1936.2007) standard in the Soil Mechanics and Technical Laboratory of Kermanshah Province. First, the samples were washed with distilled water and dried in an oven at a temperature of  $(60 \pm 2)$  for 48 hours. After the samples were dried, they were cooled at room temperature for 30 minutes and weighed. All samples were weighed in alternate minutes.

The porosity test was carried out to determine the porosity of the relief stone at the Soil Mechanical Laboratory of Kermanshah Province. The samples were first placed in a desiccator chamber immersed in water with a temperature of  $(22 \pm 2)$  under a vacuum of 700 mmHg. The samples were then weighed. PHT is measured based on the following formula:

$$P_{HT} = (M_S - M_0) / (M_S - M_H) \times 100$$

Where (M0) is the dry weight of the samples, MS is in water under vacuum, and MH is in air.

### **Results and discussion**

The results of the X-ray diffraction are presented in Table 2. The phases that form the rocks contain calcite, showing a peak in the range of 42000; quartz was also identified in the sample. X-ray fluorescence results showed that calcium (CaO) is the largest constituent percentage in both samples A 54.35 wt.% and B 54.35 wt.%. MgO and SiO<sub>2</sub>, respectively, with an average of 1.56 wt.% and 0.6wt.% of the total sample volume; other elements such as aluminium, iron, sulfur, potassium, strontium and copper constituted less than 5.5. A high amount of volatile matter (LOI) indicates the presence of light elements in a high amount in the rock. Calcium is the main element in the composition of the rock. MgO and SiO<sub>2</sub> were also measured in the composition of the samples. A sample was classified in the very pure group and B sample in the pure group.

### **Petrography**

The main matrix includes compact texture from micrite to sparite. The veins are filled with coarse crystals of sparitic secondary calcite. Sample B is similar to A. The number and variety of fossils in the tissue of this sample are much greater than in sample A and show an obvious difference. Stylolites and streaks can be seen on the side of this texture. Both samples had low porosity.

### **Conclusion**

The pathological studies carried out in the relief of Anubani show that the impact of the weathering event was of great intensity. This relief made of limestone is filled with sparite; the main matrix contains a compact texture from micrite to sparite and the veins contain crystals of coarse secondary calcite.

### **Conservation approaches**

The use of scaffolding and false ceilings with non-ferrous or stainless-steel bases to avoid the effects of rust and possible stains on the embossed surface are recommended. Roof covering made of PVC should be used to prevent damage caused by natural factors and establishing a security unit, informing the public, as well as installing appropriate protection and designing a visit route are also suggested.

### **Treatment approaches**

Physical and chemical cleaning methods are suggested using tools such as Bisturi blades and spatulas and then deionized water along with biodegradable detergents such as Diedrich. Ethyl silicate (TEOS) + methoxysilane (MTMOS) was chosen to match the composition of this stone. LEDAN-INJECTION Adnaral is also used to fill micro cracks, and fractures. Ledan-Adnaral was kneaded with water for 10 minutes with a stirrer and applied to surface. It was repeated again after 4 to 5 hours. These materials were used in the form of mortar to fill cracks and in injection solution under pressure to fill and connect large and small cracks.



## آسیب‌شناسی نقش برجسته آنوبانی نی سرپل‌ذهاب کرمانشاه و ارائه راهکار حفاظت و مرمت

حمیدرضا بخشنده‌فرد<sup>۱\*</sup>، علی مرادزاده<sup>۲</sup>، امید عودباشی<sup>۳</sup>

- ۱- دانشیار، گروه مرمت آثار و اشیاء فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
- ۲- دانش‌آموخته، رشته مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.
- ۳- مدرس ارشد علوم حفاظت، دپارتمان مرمت، دانشکده علوم دانشگاه گوتنبرگ، گوتنبرگ، سوئد.

### چکیده

### اطلاعات مقاله

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

دریافت مقاله: ۱۴۰۲/۱۱/۱۹

بازنگری مقاله: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۲۴

### کلید واژگان:

آسیب‌شناسی

حفاظت

مرمت

نقش برجسته

آنوبانی‌نی

XRD

XRF

\*نویسنده مسئول: حمیدرضا بخشنده‌فرد

پست الکترونیکی:

[hr.bakhshan@aui.ac.ir](mailto:hr.bakhshan@aui.ac.ir)

در آنوبانی‌نی در شهرستان سرپل‌ذهاب کرمانشاه از کهن‌ترین نقوش برجسته سنگی در ایران، مربوط به قوم لولوبی‌ها به تاریخ ۲۸۰۰ سال قبل از میلاد است. این اثر دائماً در معرض عوامل محیطی است و آسیب‌های آن کمتر بررسی شده است. عمده‌ترین آسیب در آن، هوازدگی فیزیکی به‌صورت حفره‌دارشدن، ترک، شکستگی، جدایش و خوردشدگی است. روش تحقیق در این مقاله شامل بررسی‌های آزمایشگاهی و شناسایی کانی‌شناسی و ساختارشناسی و مکانیسم تخریب سنگ است که از روش‌های XRD به منظور شناسایی فاز و نوع کانی در سنگ، از (XRF) برای دستیابی به داده‌های غلظت کمی عناصر، پتروگرافی به‌منظور مشاهده و مطالعه‌کانی‌های موجود در سنگ، آزمون جذب آب و تخلخل‌سنجی برای بررسی درصد جذب آب نسبت به وزن و حجم و مقدار مقاومت احتمالی در برابر تنش و فشار مطابق با استاندارد استفاده شده است. نتایج (XRD) و ماتریکس اصلی سنگ در مقطع نازک شامل بافت فشرده‌ای از میکرایت (آهک‌های بسیار ریزدانه) تا بلورهای درشت کلسیت ثانویه اسپرایت و رگه‌ها از اسپرایتی است. بافت‌سنگ، فشرده و خالی از حفرات و تخلخل است. ضروری‌ترین اقدام برای حفاظت، استفاده از داربست‌های حفاظتی و سقف‌های کاذب است. راه‌کارهای استقرار یگان حفاظت، فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی به عموم، تعبیه حفاظ مناسب و طراحی مسیر بازدید برای رفع این مشکل، پیشنهاد شد. در بحث پاکسازی با توجه به تنوع آلودگی‌های سطحی، دو روش فیزیکی و شیمیایی و سپس از آبدیونیزه به همراه مواد شوینده زیست‌تخریب‌پذیر مانند دیریش برای پاکسازی رسوبات، چرکی‌ها و کبره‌ها ارائه و به توجه به ماهیت سنگ، کاربرد استحکام بخش ترکیبی اتیل‌سیلیکات و متوکسی‌سیلان پیشنهاد شد.



## مقدمه

نقش برجسته آنوبانی‌نی یکی از قدیمی‌ترین آثار تاریخی ایران در سرپل ذهاب واقع در غرب زاگرس مرکزی، منطقه‌ای مرزی میان ارتفاعات زاگرس است که قدمت آن به هزاره سوم پیش از میلاد می‌رسد که در سال ۱۸۳۶ راولینسون آن را شناسایی کرد [۱] و در سال ۱۸۹۶ دموگان نخستین طرح را از آن منتشر کرد. مربوط به دوره لولوبیان است. با توجه به ارزش‌های تاریخی این اثر و کتیبه آکدی که در این نقش برجسته وجود دارد، بدون شک این اثر یکی از جذاب‌ترین نقش‌برجسته‌های ایران است. جنس سنگ این نقش‌برجسته، آهکی است و تخریب آثار سنگی بر پایه سنگ‌آهک یکی از مشکلات مهم و پیچیده در حوزه حفظ و مرمت آثار تاریخی است. در حفاظت از آثار تاریخی مهم‌ترین کار پیش از هر اقدامی تشخیص آسیب‌ها و علل وقوع آن است [۲]. آسیب‌های وارد شده به نقش‌برجسته شامل ترک‌ها، شکستگی‌ها، درزه‌ها، حفره‌ای شدن، خوردشدگی، جداشدگی، رسوبات و کبره‌ها، هم‌چنین آسیب‌های بیولوژیکی مانند گل‌سنگ‌ها است. هم‌چنین سطح اثر، با گرد و غبار ناشی از ریزگردها و آلاینده‌های ناشی از استخراج نفت پوشیده شده است با توجه به منحصر به فرد بودن نقش‌برجسته و شرایط نامطلوب آن، تلاش برای حفاظت آن ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین مطالعه ساختاری و تشخیص نوع کانی‌های سنگ و تعیین علت الگوی تخریب در فرایند فرسایش می‌تواند موجب ارائه راهکار حفاظتی مناسب برای نقش‌برجسته آنوبانی‌نی شود. اهداف این مقاله، شناسایی کانی و ساختارشناسی سنگ و مطالعه عوامل آسیب‌رسان شناسایی، مکانیسم تخریب و ارائه راهکار حفاظتی و مرمتی این نقش‌برجسته است. سنگ‌های آهکی سنگ‌هایی هستند که حداقل ۵۰ درصد ساختمان کانی‌شناسی آن از کربنات کلسیم تشکیل شده و اغلب به صورت آراگونیت<sup>۱</sup> متبلور در سیستم اورترومبیک که کربناتی ناپایدار است [۳] کلسیت متبلور در سیستم رمبوندریک، دولومیت<sup>۲</sup> کربنات مضاعف کلسیم و منیزیم یا سایر اشکال کربنات کلسیم دیده می‌شود [۴؛ ۵].

## پیشینه پژوهش

مشخصاً می‌توان گفت هیچ‌گونه مطالعه متمرکزی از نظر آسیب‌شناسی بر روی این نقش‌برجسته انجام نشده است. می‌توان کلیه پژوهش‌ها در این زمینه را به شرح جدول ۱ دسته‌بندی و جمع‌بندی کرد:

### جدول ۱. پژوهش‌های انجام‌شده بر روی نقش‌برجسته‌ها.

در پایان‌نامه خود به شناخت عوامل اصلی آسیب در عمده‌ترین نقش‌برجسته‌های کرمانشاه و مقایسه آن‌ها با یکدیگر و با در نظر گرفتن اشتراک‌ها و اختلاف‌های آن‌ها به راه‌حل‌های حفاظتی مشترکی برای آن‌ها پرداخته است که این مطالعات به صورت مشاهدات میدانی و بدون انجام آنالیزهای دستگاهی انجام شده است [۶].	مهدی‌آبادی (۱۳۷۵)
به آسیب‌شناسی نقش‌برجسته تاج‌گیری شاپور اول از اهورامزدا و پیروزی شاه در تنگه چوگان بیشاپور در استان فارس، متعلق به دوران ساسانی پرداخته‌اند و اظهار داشتند این نقش‌برجسته قدیمی‌ترین نقش‌برجسته بیشاپور است که به دلیل رسیدگی‌نکردن، قسمت اعظم آن آسیب‌دیده و ریخته و بر روی سطوح آن، پوششی از آلودگی سیاه‌رنگ دیده می‌شود. آنان مطالعات آزمایشگاهی، در مورد ساختار نوع سنگ و گونه گل‌سنگ‌های موجود بر روی آن انجام داده‌اند [۷].	بهرمان و همکارانش (۱۳۸۷)
فرج‌زاده در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد به فن‌شناسی، آسیب‌شناسی و ارائه طرح حفظ و مرمت نقش‌برجسته رنگ‌آمیزی شده قاجاری در طاق‌بستان پرداخته است [۸].	فرج‌زاده (۱۳۹۰)
در پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد خود تحت عنوان «بررسی عوامل مخرب محیطی در روند فرسایش سنگ‌برجسته ساسانی در خان‌تختی و ارائه طرح حفاظتی» با هدف بررسی جنس سنگ‌های آن با استفاده از آنالیز نتایج	بخشایی (۱۳۹۰)

<sup>۱</sup> CaCO<sub>3</sub>

<sup>۲</sup> MgCa(CO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>

<p>آزمایشگاهی وجود مقادیر بالای آهن و دولومیت آن را سنگ آهنک دولومیتی تشخیص داده‌اند و همچنین وجود مقادیر قابل توجهی از کوارتز به همراه آن ترکیبات در رسوبات سطحی این اثر نشان می‌دهد و بنابر مشاهدات نگارنده حضور کوارتز به فروشست ذرات خاک‌های بالادستی و نشست ذرات غبار انتقال یافته توسط جریان‌های جوی، بارش نزولات و قرارگیری در مسیر وزش باد به اثر، نسبت داده شده است که از جمله مؤثرترین دلایل فرسایش سطحی محسوب می‌شوند. همچنین منشأ نمک‌های کلریدی و نیتراتی که در نمونه‌های سطحی اثر شناسایی شده‌اند را به دریاچه ارومیه و زمین‌های کشاورزی اطراف نسبت داده است [۹].</p>	
<p>تحلیلی درباره سازه و معماری طاق‌بستان پرداخته‌اند اما درباره آسیب‌شناسی سنگ مطلبی ارائه نشده است [۱۰].</p>	<p>خدیی و همکارانش (۱۳۹۱)</p>
<p>در مقاله «مطالعه و استحکام‌بخشی سنگ آهنک در سنگ‌نوشته خرم‌آباد لرستان» نخست روش‌های مختلف استحکام‌بخشی سنگ را معرفی کرده است و پس از آن روش و مکانیزم استحکام‌بخشی سنگ آهنک با استفاده از آب آهنک معرفی کرده است که هدف از آن ارزیابی کاربردی روش آهنک برای استحکام‌بخشی آثار سنگی واقع در فضای باز است. برای این پژوهش از روش‌های میدانی و آزمایشگاهی شامل پتروگرافی، XRF، XRD، SEM-EDS، استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد وقوع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی در ساختار سنگ آهنک و از بین رفتن بخشی از آن به سبب هوازدگی است. در پایان عملیات حفاظت و مرمت انجام‌شده روی با توجه به نتایج مطالعه‌های میدانی و آزمایشگاهی ارائه شده است. در پایان نتیجه به دست آمده پس از پنج سال بیانگر تأثیر مثبت روش یادشده در کنترل روند فرسایش در سنگ‌نوشته را بیان می‌کند [۱۱].</p>	<p>شکفته و همکاران (۱۳۹۲)</p>
<p>در مقاله «بررسی عوامل و شرایط درونی تخریب کتیبه بیستون کرمانشاه» با استفاده از دستگاه رادار وضعیت اثر و درزو شکاف و شکستگی‌های ریز در کتیبه را به کمک داده‌های ژئوفیزیک و ژئومورفولوژی شناسایی و نوع تخریب را شناسایی کرده است [۱۲].</p>	<p>ملکی (۱۳۹۲)</p>
<p>در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با استفاده از روش‌های XRF، XRD، اندازه‌گیری میزان جذب آب، آنالیز موئینگی، تعیین درصد تخلخل و چگالی، آنالیزهای انجام‌گرفته ساختار سنگ، نوع و جنس سنگ بررسی شده است. آسیب‌های موجود در این اثر شامل درزها و ترک‌های ناشی از فعالیت‌های تکنونیک، رشد گیاهان آبی و گلسنگ‌ها، درزها و حفره‌های ناشی از انحلال، ساختار سنگ و تخریب‌های انسانی است و طرح حفاظتی مرمتی ارائه داده است [۱۳].</p>	<p>عسکری (۱۳۹۲)</p>
<p>در مقاله «شناسایی ساختار شیمیایی و ارزیابی الگوهای تخریب در سنگ‌های محوطه میراث جهانی پاسارگاد» با هدف تشخیص ماهیت شیمیایی سنگ‌های این محوطه از طریق آنالیزهای دستگاهی XRF، XRD و شناسایی تخریب‌های سطحی و نمک‌های احتمالی سطحی از طریق مشاهدات ریزساختاری توسط میکروسکوپ دیجیتال و آنالیز دستگاهی SEM-EDS به این نتیجه دست یافتند که سنگ‌های به‌کاررفته در مجموعه از نظر شیمیایی همگی نوعی سنگ آهنک هستند که دو گونه آن خلوص بالاتر و ساختار فشرده‌تری دارند اما یک گونه از سنگ‌های مجموعه که معروف به سنگ‌کیود است، ساختار ماسه‌ای و نسبتاً متخلخلی دارند، پرداخته‌اند [۱۴].</p>	<p>شکفته و همکاران (۱۳۹۶)</p>
<p>درباره تغییرات، نقش برجسته و نقش اسیر اضافه‌شده در انتهای نقش برجسته، ماهیت این نقش و ارتباط نقش برجسته آنوبانی‌نی با نقش برجسته ایدین‌سین که رویه‌روی آن قرار دارد، بحث شده است [۱].</p>	<p>نیکنامی و همکار (۱۳۹۷)</p>
<p>از منظر باستان‌شناسی بررسی و مقایسه ویژگی‌های بصری نقش برجسته‌های صخره‌ای آنوبانی‌نی و بیستون انجام شده است [۱۵].</p>	<p>قائم‌پناه و همکارانش (۱۳۹۸)</p>
<p>در مقاله «مطالعه الگوهای تخریب نقوش برجسته سنگی در محوطه تاریخی - فرهنگی طاق‌بستان» با هدف بررسی الگوهای تخریب نقوش برجسته سنگی، الگوهای تخریب از طریق مشاهده و بررسی میدانی و به روش ماکروسکوپی شناسایی شدند. از مطالعه الگوهای تخریب معلوم شد که جریان آب در بین نقش برجسته‌ها و انحلال رخ داده توسط این جریان در کنار فعالیت میکروارگانیزم‌ها و مداخلات نادرست پیشین، از مهم‌ترین عوامل مخدوش‌کننده سطوح نقش برجسته سنگی طاق‌بستان هستند [۱۶].</p>	<p>شکفته و همکاران (۱۴۰۰)</p>

## معرفی اثر

شهرستان سرپل‌ذهاب ناحیه‌ای است جلگه‌ای و کوهستانی مرکز شهرستان در ۱۴۰ کیلومتری غرب کرمانشاه بین ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۴۵ ثانیه عرض شمالی و ۴۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۴۵ ثانیه طول شرقی نسبت به نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است [۱۷]. در صخره‌های سرپل‌ذهاب فعلی در ارتفاع ۱۶ متری از سطح زمین در محله معروف به میان‌کل تصویر آنوبانی‌نی و کتیبه‌ای به خط آکدی نوشته شده هنوز بر جای مانده است (شکل ۱).



شکل ۱. موقعیت قرار گیری نقش برجسته آنوبانی‌نی [۱۸؛ ۱۹].

در این نقش آنوبانی‌نی پادشاه لولوبی با ریشی طویل و مربع و کلاهی مدور و دامن ریشه‌دار با کمربندی کارد زده و کفش صندل دیده می‌شود. پادشاه پای چپ خود را بر دشمنی که بر زمین افتاده نهاده است. رب‌النوع (نی‌نی) در مقابل شاه ایستاده است و کلاهی بلند و پیراهنی پشمین و پرزدار در بر دارد. رب‌النوع با دست راست علامت سلطنتی را به طرف شاه دراز کرده و با دست چپ سر طنابی را گرفته که بدان طناب هشت اسیر بسته شده است (شکل ۲). از این هشت اسیر دو نفر در قسمت بالای نقش مقابل شاه دیده می‌شوند و شش نفرشان در صف زیرین طناب بند گردیده‌اند. اسیران همگان برهنه‌اند و دست‌هایشان از عقب بسته است. اولین اسیری که در صف زیرین، مقدم بر دیگران است کلاه یا تاجی بر سر دارد. این کلاه یا تاج در هزاره اول پیش از میلاد ویژه مادی‌های شرقی است و در روزگاران بعد پارسیان این نوع کلاه را از اینان اخذ کرده‌اند [۲۰].



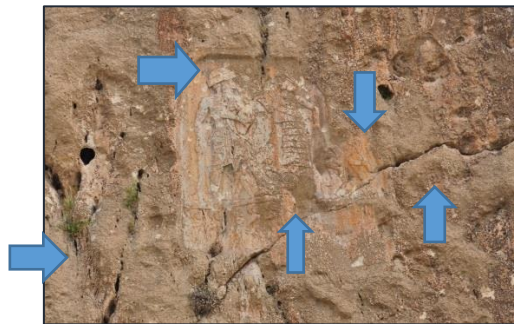
شکل ۲. راست: تصویر نقش برجسته. چپ: تصویر طرح نقش برجسته و کتیبه آنوبانی‌نی [۲۱].

**شرایط اقلیمی منطقه:** براساس آمار اداره کل هواشناسی استان کرمانشاه [۲۲] منطقه سرپل‌ذهاب با زمستان‌های معتدل و تابستان‌های گرم است و پاییز و تابستانی خشک و بی‌باران دارد. میزان اندازه‌گیری بارش و دمای ایستگاه سرپل‌ذهاب در بازه زمانی سال‌های ۱۳۷۰ تا ۱۴۰۱ نشان می‌دهد، بیشترین بارش در آذرماه با ۷۰/۶۳ میلی‌متر و کمترین

میزان در طول سال ۷/۵۷ میلی‌متر گزارش شده است. بالاترین میانگین متوسط دما در مردادماه با ۳۴/۸ درجه سانتی‌گراد و کمترین میانگین متوسط دما در دی ماه با ۸/۸۹ درجه سانتی‌گراد و بیشترین آمار روز یخبندان مربوط به بهمن‌ماه و دی‌ماه است.

### الگوهای تخریب در نقش برجسته آنوبانی‌نی

**الف) ترک:** یکی از انواع الگوهای تخریب که در نقش برجسته آنوبانی‌نی به‌وضوح قابل دیدن است ترک‌ها و شکافتگی سطح اثر است. در منابع این نوع از آسیب بدین‌سان تعریف می‌شود: درزی شاخص که با چشم غیرمسلح قابل دیدن است که ناشی از جدایش قسمتی از قسمت دیگر است. عمده‌ترین اشکال ترک در نقش برجسته آنوبانی‌نی به‌صورت شکستگی ترک‌مویی، ترک‌شبکه‌ای و شکافتگی رخ داده که در شکل ۳ قابل مشاهده است.



شکل ۳. ترک‌ها و شکستگی‌های موجود بر سطح نقش برجسته آنوبانی‌نی.

**ب) رسوب‌ها:** نوعی از آسیب که به‌طور معمول در اثر منتقل شدن رسوبات و جابه‌جایی ذرات جامد نظیر دوده و غبار در محیط اطراف سنگ بر سطح اثر نمایان می‌شود که در شکل ۴ مشهود است. عوامل اصلی تأثیرگذار در این آسیب، باد و باران و رطوبت موجود در محیط که با توجه به شرحی بودن منطقه سرپل‌ذهاب به دلیل آب موجود در محیط باعث انحلال بخش‌هایی از سنگ در بالادست می‌شود و رسوب‌ها را ایجاد می‌کند و به روی سطح اثر قابل مشاهده هستند. رسوبات، اغلب در بین فضاهای متخلخل سنگ با ضخامت‌های متغیر تجمع می‌کنند و با انباشته شدن آن‌ها موجب اثرگذاری به‌صورت تغییر رنگ با قشر نازکی از رنگ تیره بر سطح سنگ می‌شود. هم‌چنین فضولات پرنده (شکل ۴الف) و خفاش‌ها نیز رسوب محسوب می‌شود که بر سطح نقش برجسته آنوبانی‌نی قابل مشاهده است.



ب



الف



د



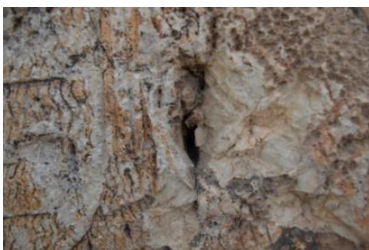
ج

شکل ۴. تصویر رسوبات موجود بر نقش برجسته آنوبانی‌نی. الف) فضولات پرنده که به صورت رسوب موجود بر قسمت‌های حفره‌دار نقش برجسته. ب) تصویر رسوب‌های قسمت پشت دست الهه رب‌النوع که موجب تیرگی و کثیفی سطح اثر شده است. ج) تصویر رسوبات زیر دامن آنوبانی‌نی. د) تصویر رسوبات موجود بر کتیبه آکدی نقش برجسته.

پ) جدایش و خردشدگی: از دیگر آسیب‌های موجود در نقش برجسته آنوبانی‌نی می‌توان به جدایش و خردشدگی حفره جانبی نامنظم جلوه می‌کند. ترکیدگی برخی اوقات با ترک ستاره‌ای و شکستگی ادامه می‌یابد. این الگوی تخریب مربوط به افزایش حجم ناخالصی‌های معدنی که به‌طور طبیعی در نزدیک سطح سنگ واقع شده‌اند است که در این نقش برجسته نیز در بعضی از قسمت‌ها (شکل ۵) قابل مشاهده است.



شکل ۵. قسمت‌های جدا شده و خردشدگی در قسمت اسیران بر سطح نقش برجسته.



ب



الف



د



ج

شکل ۶. الف.ب) قسمت‌های جداشده و خردشدگی بین آئوبانی‌نی و رب‌النوع توسط عوامل مختلف بر سطح نقش برجسته. تصویر (ج.د) در قسمت پایین نقش برجسته بین اسیران.

ت) **حفره‌دار شدن:** پدیده حفره‌دار شدن سطح سنگ در این نقش برجسته قابل مشاهده است و تقریباً به میزان نسبتاً زیادی در بعضی از قسمت‌های سطح اثر قابل مشاهده است. این نوع آسیب با تشکیل حفره بر روی سطح سنگ که ممکن است به هم متصل باشند و به صورت حفره حفره بر سطح اثر نمایان می‌شود. حفره‌دار شدن، نوعی از هوازدگی نامنظم و احتمالاً ناشی از ناهمگونی در خواص فیزیکی یا شیمیایی سنگ است که در شکل ۶ و ۷ قابل مشاهده است.



ب



الف

شکل ۷. الف) قسمت‌های حفره‌دار جلوی آخرین اسیر کنار سمت چپ کتیبه اکدی تصویر (ب) حفره‌دار شدن قسمت‌های دو اسیر بسته‌شده پشت سر رب‌النوع.



شکل ۸. قسمت‌های حفره‌دار سمت راست بالای کتیبه اکدی.

**ث) کبره:** این پدیده به‌طور کلی تجمع چسبنده مواد بر روی سطح است. کبره ممکن است شامل آمیزش رسوبات قشری با مواد مشتق از سنگ باشد و غالباً تیره‌رنگ (کبره سیاه) است ولی در بعضی موارد رنگ‌های روشن نیز مشاهده می‌شود. کبره‌ها ممکن است ضخامت همگن داشته باشند و از این‌رو سطح سنگ را نیز تکرار کنند یا ضخامت نامنظم داشته باشند و جزئیات سطح سنگ را مخدوش کنند. در این اثر نیز در بعضی از قسمت‌ها سطح نقش برجسته کبره‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۹).



شکل ۹. تصویر کبره‌های موجود بر سطح اثر اولین اسیر پشت الهه رب‌النوع.

**ج) شکستگی‌ها:** یکی دیگر از الگوهای تخریب، وجود شکستگی‌ها است که در نتیجه موجب کمبود قسمتی از سطح اثر شده است که در میانه نقش برجسته آنوبانی‌نی به‌چشم می‌خورد. علل گوناگونی بر مکانیسم شکستگی‌ها تأثیر دارد اما اصلی‌ترین آن وجود تنش‌های مکانیکی سریعی است که به اثر وارد می‌شود و در نتیجه این شکست، سنگ به دو یا چند قسمت مجزا تبدیل می‌شود. این آسیب ممکن است در اثر عاملی چون زلزله به‌وجود بیاید. آثار شکستگی‌ها این نوع آسیب بعد از زلزله سرپیل‌ذهاب به سال ۱۳۹۶ در شکل ۱۰ دیده می‌شود.



شکل ۱۰. شکستگی‌های ناشی از تنش‌های مکانیکی موجود بر سطح نقش برجسته آنوبانی‌نی.

**چ) رشد گیاهان:** رشد گیاهان بر روی آثار و رشد و نفوذ ریشه‌های آن‌ها در سطوح سنگی سبب ایجاد تخریب فیزیکی- مکانیکی و در نهایت سبب شکستن سنگ می‌شود که در نقش برجسته آنوبانی‌نی رشد گیاهان خود رو بر سطح آن مشاهده می‌شود (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. رشد گیاهان بر قسمتی از سطح نقش برجسته آنوبانی‌نی.

**ح) میکروارگانیزم‌ها:** نوعی از عوامل تخریب که تقریباً در بیشتر محوطه‌های تاریخی از جمله محوطه نقش برجسته آنوبانی‌نی، دیده می‌شود. میکروارگانیزم‌ها نظیر باکتری‌های سیانیدی، جلبک، قارچ، گلسنگ که می‌توان بر سطح آثار سنگی مشاهده کرد (شکل ۱۲ الف و ب). این عوامل با رشد مستقیم درون یا روی سنگ یا حفره‌های سنگ، بر آثار تاریخی تأثیر می‌گذارد. حجم و پراکندگی میکروارگانیزم‌ها در این نقش برجسته بسیار بالا نیست و بیشتر در اطراف این نقش برجسته قابل مشاهده هستند که در صورت رشد آن‌ها ممکن است میزان بیشتری از آن به سطح اثر کشیده شود و موجب تخریب گردد.



ب



الف

شکل ۱۲. (الف و ب) وجود گلسنگ بر سطح نقش برجسته آنوبانی‌نی.

**خ) اصابت گلوله:** یکی از عمده‌ترین مشکلاتی که در بناها و آثار تاریخی دیده می‌شود پدیده واندالیسم، همان یادگاری‌نویسی‌ها و آسیب‌های انسانی است، اگرچه هر حادثه مضبوط دیگر نیز می‌تواند تعبیر یادگاری به خود گیرد؛ مانند آثار گلوله‌ای که بر نقش برجسته آنوبانی‌نی دیده می‌شود که تقریباً به میزان زیاد بر سطح اثر که از آن به‌عنوان سیل تیراندازی استفاده شده است به چشم می‌خورد (شکل ۱۳).



شکل ۱۳. قسمت‌های آسیب‌دیده توسط اصابت گلوله که در بیشتر نقاط نقش برجسته قابل مشاهده است.

### روش‌شناسی

در راستای اهداف پژوهش، از روش‌های آزمایشگاهی برای گونه‌شناسی از پتروگرافی، طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس، طیف‌سنجی فلورسانس پرتو، شناسایی میزان چگالی و جذب آب استفاده شد:

**طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس:** این روش با طول موج مشخص برای تعیین نوع فازها و ساختار بلورین مواد به کار می‌رود. XRD کاربرد وسیعی در زمین‌شناسی، علم مواد، علوم محیطی، شیمی، فیزیک، آرکئومتالورژی و دیگر علوم وابسته دارد و هم‌چنین می‌تواند در زمینه حفاظت و مرمت آثار سنگی شامل شناسایی فاز یا هر نوع کانی در سنگ، خاک، مواد معدنی، ترکیبات شیمیایی یا ردیابی هر نوع ماده مصنوعی که به دلایلی در مرمت‌های پیشین مورد استفاده قرار گرفته است و نیز مطالعه ساختار بلوری، تغییرات ساختار بلوری حین فرایندهای خاص، شناسایی مواد بسیار ریز بلور مثل رس‌ها و سایر مواد در هم‌آمیخته به کار رود. XRD یکی از بهترین و کاربردی‌ترین روش‌ها در شناسایی ساختار مواد معدنی از جمله سنگ‌ها است [۲۳]. برای شناسایی ترکیبات نمونه سنگ، اینکه چه کانی‌هایی در بافت آن وجود دارد و مقایسه نتایج تجزیه دستگاهی در دو نمونه برداشتی از محوطه نقش‌برجسته آنوبانی‌نی به کمک دستگاه XRD، مدل D8 ADVANCE کمپانی BRUKER ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان، برای شناسایی اجزای کریستالین شاخص در نمونه‌های مطالعاتی و بررسی نیمه‌کمی و کیفی نمونه‌ها و سپس تطبیق آن‌ها با مشاهدات میکروسکوپی و تأیید آن‌ها از طریق این مشاهدات در پتروگرافی انجام گرفته است. هدف از پراش پرتو ایکس، شناسایی بافت کریستالی موجود در نمونه برای مطابقت با تصاویر پتروگرافی است.

**طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس:** طیف‌سنجی فلورسانس اشعه ایکس، روشی غیرمخرب برای شناسایی و اندازه‌گیری میزان عناصر ترکیبات عنصری است [۲۴]. هدف از این آنالیز، دست‌یابی به داده‌های مربوط به غلظت کمی است و نکات مهم در آن شامل امکان آنالیز با یا بدون نمونه‌برداری و ماهیت سطحی و به‌دست‌آوردن اطلاعات از سطح اثر و عملی بودن شناسایی عناصر بالای Na است. XRF پیک‌های مختلف را جدا و آن‌ها را شناسایی می‌کند [۲۵]. این روش گام مهمی در پی‌بردن به میزان عناصر موجود و تعیین نوع سنگ از نظر ماهیت و تغییرات ساختاری در نتیجه شرایط محیطی را فراهم می‌کند و می‌تواند در اتخاذ شیوه مناسب درمان با توجه به ملاحظات حفاظت و مرمت راهگشا باشد. بنابراین از دستگاه طیف‌سنج XRF مدل S4 PIONEER کمپانی BRUKER ساخت کشور آلمان، در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان برای شناسایی و میزان عناصر موجود در نمونه مورد نظر استفاده شد.

**پتروگرافی:** از پتروگرافی برای مطالعه منشأ، ترکیب، پراکندگی و ساختارشناسی و خصوصیات بافت سنگ و به عنوان ابزاری برای مشاهده لایه‌های سنگ استفاده شد [۲۶]. هدف از آزمایش پتروگرافی، اعتماد به نتایج آنالیزهای دستگاهی با استفاده از مشاهده بصری کانی‌هاست. آنالیزهای پتروگرافی مقطع نازک نمونه‌ها برای مطالعه کانی‌شناختی

اجزای تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، به‌عنوان روشی تکمیلی در کنار آنالیز XRD و XRF تحت نورپلاریزان با استفاده از میکروسکوپ نوری عبوری انجام گرفت. به این منظور از میکروسکوپ پلاریزان دو چشمی مدل James Swift ساخت کشور انگلستان استفاده شد. به‌منظور شناسایی کانی‌ها و ساختار سنگ نمونه نقش‌برجسته مورد مطالعه، ابتدا مقاطع نازک آن‌ها به ضخامت استاندارد آماده و تصاویر در نور قطبیده (پلاریزان) متقاطع XPL و نور قطبیده (پلاریزان) موازی PPL تهیه شد. در این روش از نمونه موردنظر لایه نازکی به ضخامت ۳۰ میکرون بر روی لام آزمایشگاهی تهیه شد و پس از اتمام فرایند برش نمونه و سایش، نمونه پوشش داده شد تا از آسیب‌های احتمالی مصون بماند.

**آزمون تعیین چگالی:** چگالی نسبت جرم به حجم است. به عبارت دیگر، چگالی جرم واحد برای هر جسم به‌شمار می‌رود. در آزمایش تعیین چگالی و نسبت تخلخل مؤثر سنگ بر پایه روش اشباع و غوطه‌وری حجم نمونه محاسبه وزن غوطه‌وری محاسبه می‌شود. در این آزمون، نمونه اشباع‌شده را داخل یک بشر حاوی آب مقطر قرار داده و چگالی آن تعیین شد. این آزمون در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمانشاه انجام شد.

**آزمون جذب آب:** این آزمایش یا همان درصد جذب آب، یکی از آزمایش‌هایی است که بر روی نمونه‌ها انجام شد. برای این منظور در حالت اشباع با سطح خشک (SSD) چگالی خشک یا حالتی که نمونه‌ها خشک تلقی می‌شود و برای چندین ساعت در آن قرار داشته باشند. حالت مرطوب در شرایط عادی در فضای آزاد قرار دارد و در واقع رطوبت نمونه‌ها در حالت مرطوب مقداری بین رطوبت در حالت خشک و رطوبت در حالت اشباع است. این آزمون برای تعیین میزان جذب آب بر روی دو نمونه سنگ از محوطه آنبانی نی طبق استاندارد اروپا [۲۷] در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمانشاه انجام شد. ابتدا نمونه‌ها توسط آب‌مقطر شسته شد و در آن با دمای  $(60 \pm 2)$  درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشک شد؛ در واقع تا جایی که وزن نمونه‌ها ثابت باقی بماند. پس از آن در دمای اتاق به مدت ۳۰ دقیقه سرد شد و سپس با ترازو به دقت  $0.01$  گرم توزین شد. در ادامه نمونه‌ها به‌طور کامل در آب مقطر با دمای  $(20 \pm 5)$  سانتی‌گراد در مدت‌زمان‌های تعیین‌شده وزن شدند. زمان‌های تعیین‌شده برای وزن‌سنجی به‌گونه‌ای است که پس از اولین دقیقه غوطه‌وری تمامی نمونه‌ها و در دقایق مشخص از شروع وزن‌سنجی اولیه توزین شد. در واقع تمام زمان‌های وزن‌سنجی در روز اول برابر با هشت ساعت است. پس از گذشت ۱۶ ساعت از انتهای آخرین زمان وزن‌سنجی در روز دوم نمونه‌ها هر دو ساعت یکبار با ۵ بار توزین انجام شد.

**آزمون تخلخل سنجی:** چگالی، یکی از خصوصیات فیزیکی سنگ است که به مقدار قابل توجهی به مشخصات درزه و ترک سنگ‌ها بستگی دارد. با وجود نزدیک‌بودن چگالی‌دانه‌ای در کانی‌های مختلف، اختلاف چگالی سنگ‌ها بیشتر از میزان تخلخل بین آن‌ها ناشی می‌شود. علاوه بر این موضوع با توجه به ارتباط مستقیم بین سن سنگ و چگالی آن، ارزیابی و تعیین چگالی بسیار می‌تواند در شناخت سنگ مفید واقع شود. در آزمایش تعیین تخلخل و چگالی خشک سنگ، میزان تخلخل و چگالی خشک نمونه سنگ ارزیابی می‌شود تا ارزش ماده سنگ و هم‌چنین درصد جذب آب آن نسبت به وزن و حجم، مشخص شود. در این آزمون دو نمونه از سنگ‌نقش برجسته آنبانی نی، در آزمایشگاه فنی و مکانیک خاک استان کرمانشاه، طبق استاندارد اروپا [۲۷] مورد آنالیز قرار گرفت. نمونه‌ها ابتدا در یک محفظه دسیکاتور غوطه‌ور شده در آب با دمای  $(22 \pm 2)$  درجه سانتی‌گراد تحت خلأ  $700$  میلی‌متر جیوه قرار داده شد. توزین نمونه‌ها با دقت  $0.01$  گرم انجام گرفت. اندازه‌گیری میزان درصد تخلخل (PHT) بر اساس فرمول زیر انجام گرفته است.  $(M_0)$  وزن خشک نمونه‌ها است.  $(M_S)$  نیز وزن نمونه‌های غوطه‌ور شدن در آب تحت وکیوم است و  $(M_H)$  وزن نمونه‌های اشباع‌شده و وزن‌شده در هوا است.

$$P_{HT} = (M_S - M_0) / (M_S - M_H) \times 100$$

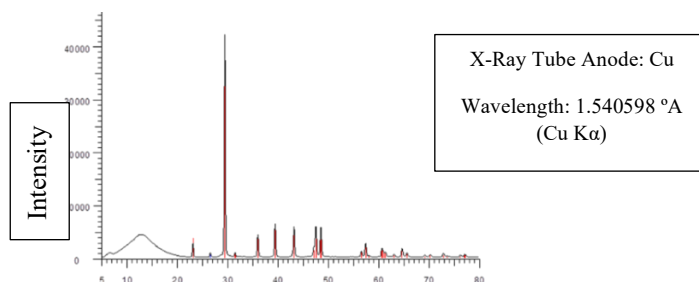
## نتایج و بحث

**ارزیابی حجم و شکل الگوهای تخریب رخ داده بر اساس مطالعات میدانی:** طبق نتایج حاصل از اشکال تخریب‌های رخ داده در محوطه نقش برجسته آنوبانی‌نی به صورت مشاهدات میدانی، به صورت خلاصه انواع عوامل تخریب به دسته‌های مندرج در جدول ۲ تقسیم‌بندی شده‌اند. این تقسیم‌بندی بر اساس شدت آسیب رخ داده به همراه وسعت آن در سطح سنگ نقش برجسته است.

جدول ۲. الگوهای تخریب وارده به همراه شدت و وسعت رخ داده بر اساس مشاهدات میدانی.

اصابت گلوله	رشد گیاه	شکستگی	کبره	حفره‌دار شدن	جدایش و خردشدگی	ترک رسوب
زیاد	متوسط	کم	متوسط	زیاد	زیاد	متوسط

**طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس:** نتایج آنالیز کانی‌شناسی و شناسایی فازی عناصر نمونه سنگ مورد بررسی توسط پراش پرتو ایکس در جدول ۳ نشان می‌دهد فازهای تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، حاوی پیک شاخص کلسیت است که این پیک در شدت ۴۲۰۰۰ را نشان می‌دهد و همچنین کوارتز نیز در نمونه شناسایی شده است. شایان ذکر است پیک نشان داده شده در شدت ۵۰۰۰ که با رنگ سیاه نشان داده شده است (شکل ۱۴) مربوط به رطوبت باقی‌مانده در نمونه سنگ است.



شکل ۱۴. الگوی پراش پرتو ایکس از نمونه مطالعاتی سنگ محوطه آنوبانی‌نی.

جدول ۳. آنالیز پراش پرتو ایکس از نمونه مطالعاتی سنگ محوطه آنوبانی‌نی.

شماره PDF	فرمول شیمیایی	نام ترکیب	رنگ ترکیب
۰۵-۰۵۸۶	CaCO <sub>3</sub>	Calcite, syn	
۴۶-۱۰۴۵	SiO <sub>2</sub>	Quartz, syn	

**طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس:** به منظور شناسایی ترکیبات و میزان موجود در دو نمونه برداشتی از محوطه نقش برجسته آنوبانی‌نی آنالیز فلورسانس پرتو ایکس انجام گرفت و نتیجه آن در جدول ۴ آمده است.

جدول ۴. فلئورسانس پرتو ایکس نمونه A و نمونه B سنگ محوطه نقش برجسته آنوبانی نی (wt%).

ترکیب شیمیایی نمونه B		ترکیب شیمیایی نمونه A	
ترکیبات	مقدار (درصد وزنی)	ترکیبات	مقدار (درصد وزنی)
CaO	۵۵/۲۵	CaO	۵۴/۳۵
MgO	۱/۶۱	MgO	۱/۵۲
SiO <sub>2</sub>	۰/۶۰۰	SiO <sub>2</sub>	۰/۵۹۸
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۳۱۴	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۱۳۰
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۱۹۲	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	۰/۱۰۳
SO <sub>3</sub>	۰/۰۹۰	SO <sub>3</sub>	۰/۰۵۱
K <sub>2</sub> O	۰/۰۶۳	K <sub>2</sub> O	۰/۰۳۲
SrO	۰/۰۲۹	SrO	۰/۰۲۱
CuO	۰/۰۲۱	CuO	۰/۰۱۷
LOI	۴۱/۶۴۱	LOI	۴۳/۰۹
Total	۹۹/۸۱	Total	۹۹/۹۱

نتایج آنالیز فلئورسانس پرتو ایکس در جدول ۴ نشان می‌دهد کلسیم (CaO) بیشترین درصد تشکیل‌دهنده در هردو نمونه A و B به ترتیب با مقدار ۵۴/۳۵ و ۵۵/۲۵ درصد از کل حجم نمونه‌های موردنظر است و می‌توان با توجه به نتایج آن را به عنوان جزء اصلی در نظر گرفت.

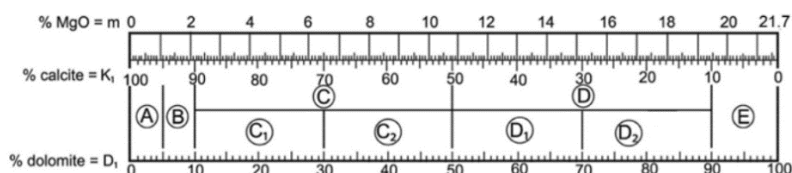
جدول ۵. گروه‌بندی سنگ‌های کربناتی آهکی براساس مقدار (CaO) و مقدار CaCO<sub>3</sub> [۲۵].

مقدار (درصد وزنی)		گروه/ دسته
مقدار معادل CaO	مقدار CaCO <sub>3</sub>	
> ۵۵/۲	> ۹۸/۵	۱ بسیار خالص
۵۴/۳ - ۵۵/۲	۹۷ - ۹۸/۵	۲ خالص
۵۲/۴ - ۵۴/۳	۹۳/۵ - ۹۷	۳ تقریباً خالص
۴۷/۶ - ۵۲/۴	۸۵ - ۹۳/۵	۴ تا حدی خالص
< ۴۷/۶	< ۸۵	۵ ناخالص

عناصر بعدی منیزیم (MgO) و سیلیسیوم (SiO<sub>2</sub>) که بعد از کلسیم دارای بیشترین میزان فراوانی در بین عناصر به ترتیب با میانگین ۱/۵۶ درصد و ۰/۶ درصد از کل حجم نمونه‌های موردنظر است و می‌توان آن‌ها را به عنوان اجزای فرعی در نظر گرفت. هم‌چنین می‌توان به عناصری دیگری همانند آلومینیوم، آهن، گوگرد، پتاسیم، استرانسیوم و مس اشاره کرد که میزان آن‌ها کمتر از ۰/۵ درصد است. مقدار ناچیزی از عناصر دیگر نیز در سنگ شناسایی شد اما به علت مقدار کم آن‌ها نمی‌توان آن را به‌طور قطعی تفسیر کرد. میزان بالای مواد فرار (LOI) نشان‌دهنده وجود عناصر سبک به میزان بالا در سنگ است. بر اساس نتایج حاصل‌شده از آنالیز فلئورسانس پرتو ایکس (XRF) از نمونه سنگ محوطه آنوبانی‌نی می‌توان دریافت که کلسیم با توجه به میزان فراوانی نسبت به دیگر عناصر در نمونه که با (CaO) در نتایج ارائه شد، عنصر غالب و اصلی در ترکیب سنگ است هم‌چنین همان گونه که ذکر شد، منیزیم (MgO) و سیلیسیوم (SiO<sub>2</sub>) نیز در ترکیب نمونه‌ها به‌عنوان اجزای فرعی اندازه‌گیری شده‌اند. براساس آن می‌توان گفت که نمونه سنگ‌های

مورد مطالعه سنگ‌هایی حاوی کلسیم و منیزیم همراه با مقدار کمی سیلیسیم هستند که با توجه به میزان بسیار بالایی از (CaO) که در دسته سنگ‌های کربناتی قرار می‌گیرند. جدول ۵ تخمین میزان کربنات کلسیم (کلسیت) موجود در ترکیب سنگ آهک براساس میزان (CaO) شناسایی شده در نتایج آنالیز را نشان می‌دهد [۲۸؛ ۲۹] که بر این اساس میزان خلوص سنگ آهک از بسیار خالص تا ناخالص نمایش داده می‌شود. بر اساس اطلاعات ارائه شده نمونه A در گروه بسیار خالص و نمونه B در گروه خالص طبقه‌بندی می‌شوند.

در سال ۲۰۱۳ میکه<sup>۱</sup> و همکارانش یک روش ساده برای شناسایی نوع سنگ آهک براساس میزان CaO و MgO معرفی کردند [۳۰]. براساس این روش ساده ارائه شده (نمودار خطی ارائه شده در شکل ۱۵) بر اساس میزان MgO و CaO موجود در ترکیب سنگ کربناتی می‌توان میزان فازهای کلسیت و دولومیت و همچنین نوع سنگ آهک را مشخص کرد. با توجه به نتایج آنالیز هر دو نمونه مقدار MgO که کمتر از دو درصد است و همچنین میزان کلسیت، می‌توان آن‌ها را به عنوان سنگ آهک منیزیمی (گروه B) با ناخالصی دولومیت کم طبقه‌بندی کرد. (شکل ۱۵).



شکل ۱۵. طبقه‌بندی سنگ‌های کربناتی براساس ترکیب شیمیایی. (A) سنگ آهک حاوی دولومیت، (B) سنگ آهک منیزومی، (C) سنگ آهک *Sensu Lato* شامل گروه‌های (C1) سنگ آهک نسبتاً دولومیتی و (C2) سنگ آهک دولومیتی *Sensu Lato*، (D) دولومیت آهکی *Sensu Lato*، شامل (D1) دولومیت آهکی *Sensu Lato*.

**پتروگرافی:** به منظور مطالعات ساختارشناسی و کانی‌شناسی از طریق پتروگرافی، دو نمونه از سنگ نقش برجسته و سنگ کوه مجاور در محوطه آنوبانی‌نی استفاده شده است.

**نمونه A سنگ نقش برجسته:** ماتریکس اصلی سنگ در مقطع نازک شامل بافت فشرده‌ای از میکرایت<sup>۲</sup> تا اسپارایت<sup>۳</sup> است. رگه‌ها نیز با بلورهای درشت کلسیت ثانویه اسپاراتی پر شده‌اند. بافت این سنگ فشرده و خالی از حفرات و تخلخل است.



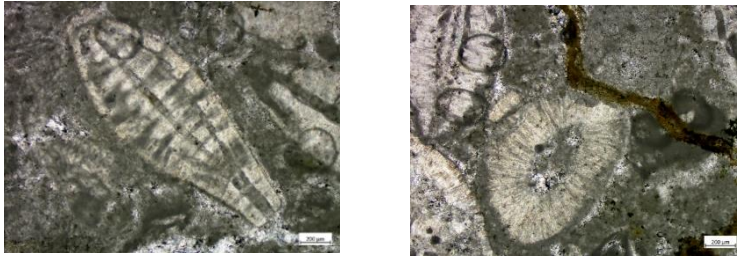
شکل ۱۶. راست: ریزساختار نمونه A بافت فشرده میکرایت تا اسپارایت و فسیل. چپ: ریزساختار نمونه A بافت فشرده میکرایت تا اسپارایت و رگه پر شده با کلسیت ثانویه. بزرگنمایی‌ها ۵۰ برابر.

<sup>1</sup> Miche

<sup>2</sup> Micrite <20 microns

<sup>3</sup> Sparite: microspar (crystal size between about 5 and 30 microns); pseudosparite (crystals larger than 30 microns); Metasparite

در برخی نواحی مانند رگه‌ها یا استیلولیت‌ها می‌توان فضاهای خالی ناشی از خارج شدن محصولات ثانویه را مشاهده کرد که موجب ایجاد منافذ به هم پیوسته یا مجزا در سنگ شده است. به‌طور کلی بافت فشرده خالی از منافذ دارد که با رگه‌ها و استیلولیت‌ها به چند بخش تقسیم شده است. فسیل‌های متنوعی نیز در بافت سنگ قابل مشاهده هستند (شکل ۱۶) و این سنگ ممکن است حاوی مقدار کمی دولومیت نیز باشد.



شکل ۱۷. راست: ریزساختار نمونه B بافت فشرده میکرایت تا اسپارایت و فسیل با دانه‌های درشت کلسیت (احتمالاً ثانویه). چپ: ریزساختار نمونه B بافت فشرده میکرایت تا اسپارایت، رگه پرشده با کانی‌های آهن‌دار و رس و فسیل با دانه‌های درشت کلسیت (احتمالاً ثانویه) بزرگنمایی‌ها ۵۰ برابر.

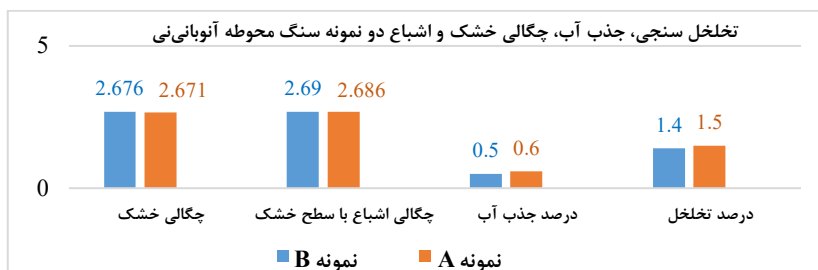
**نمونه B متعلق به کوه مجاور:** این نمونه نیز مشابه با نمونه A است و بیانگر سنگ کربناتی همراه با بافت فشرده‌ای از میکرایت تا اسپارایت است. تعداد و تنوع فسیل‌های موجود در بافت این نمونه بسیار بیشتر از نمونه A است و تفاوت آشکاری را نشان می‌دهد. در لایه‌های این بافت، استیلولیت‌ها<sup>۱</sup> و رگه‌هایی قابل مشاهده هستند. استیلولیت‌ها توسط ماده‌ای تیره‌رنگ پرشده‌اند که احتمالاً ترکیبات آهن ثانویه یا کانی‌های رسی هستند. این رگه‌ها به‌صورت کشیده در ساختار سنگ قابل مشاهده هستند. ساختار بیشتر فسیل‌ها با کلسیت ثانویه یا بافت اسپارایتی پر شده است (شکل ۱۷).

**آزمون تعیین چگالی:** این آزمون نیز مانند آزمون تخلخل‌سنجی پس از آماده‌کردن نمونه و قراردادن نمونه اشباع‌شده در آب مقطر و محاسبه میزان آن و در ادامه با غوطه‌وری نمونه داخل ظرف آب و محاسبه حجم آب جابه‌جاشده میزان آن به‌دست آمد. در نمونه (A) چگالی خشک ( $g/cm^3$ ) ۲/۶۷۱ است و در نمونه (B) چگالی خشک ( $g/cm^3$ ) ۲/۶۷۶ است. هم‌چنین در نمونه (A) چگالی اشباع با سطح خشک در نمونه ( $g/cm^3$ ) ۲/۶۸۶ و در نمونه (B) چگالی اشباع با سطح خشک به میزان ( $g/cm^3$ ) ۲/۶۹۰ است که در شکل ۱۸ به صورت گرافیکی نمایش داده شده است.

**آزمون جذب آب:** این آزمون برای تعیین میزان جذب آب بر روی دو نمونه سنگ برداشتی از محوطه آنوبانی‌نی انجام شد. پس از انجام مراحل آزمایش که قبل‌تر بیان شد نتایج آزمون با توجه به شکل ۱۸ بدین‌صورت است: میزان جذب آب نمونه (A) ۰/۶ درصد و میزان جذب آب نمونه (B) ۰/۵ درصد که نشان می‌دهد میزان جذب آب نمونه کم است.

**آزمون تخلخل‌سنجی:** آزمون تخلخل‌سنجی بر روی نمونه‌های برداشتی از محوطه آنوبانی‌نی تحت آزمون جذب آب انجام گرفته است و نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که هر دو نمونه‌ها دارای تخلخل کمتر از ۲ درصد هستند که در نمونه (A) ۱/۵ درصد و در نمونه (B) ۱/۴ درصد است که نشان‌دهنده تخلخل بسیار پایین آن‌هاست.

<sup>1</sup> Stylolite



شکل ۱۸. نمودار گرافیکی تخلخل‌سنجی، جذب آب، چگالی خشک و اشباع دو نمونه سنگ محوطه.

## نتیجه‌گیری

مطالعات آسیب‌شناسی نشان می‌دهد که تأثیر رخداد هوازدگی با شدت زیادی انجام شده و در نتیجه عوامل بیرونی و درونی در ساختار سنگ به‌وجود آمده است.

**الگوهای تخریب:** الگوهای تخریب متنوعی در این نقش برجسته دیده شد و برخی از آن‌ها همچون حفره‌دار شدن که نوعی از هوازدگی نامنظم و احتمالاً ناشی از ناهمگونی در خواص فیزیکی یا شیمیایی سنگ به شکلی جزئی بر سطح ایجاد شده است اما برخی دیگر مانند رسوبات ناشی از انحلال‌ها و بازتبلورها، به‌طور گسترده روی سطح، اغلب در چند تنالیت‌های تیره ایجاد کرده که در اثر ریزش و شره آب شکل گرفته‌اند. این گونه رسوبات بسته به خصوصیات شیمیایی خود طی چرخه‌های تر و خشک از طریق انحلال و بازتبلور می‌توانند موجب ازهم‌پاشیدن و پوسته‌شدن سطح شوند. کبره غالباً دارای رنگ تیره (کبره سیاه) است ولی در بعضی موارد رنگ‌های روشن نیز مشاهده شد که در اثر تجمع زیستی، به شکل تغییر رنگ و همچنین لکه‌های میکروسکوپی تیره‌رنگ ناشی از فعالیت میکروارگانیسم‌ها شامل گل‌سنگ‌ها و قارچ‌ها بر سطح موجب شکل‌گیری الگوی تخریبی انحلال حفره‌ای خصوصاً در خلل و فرج سنگ شده است. می‌توان گفت پرخطرترین الگوهای تخریبی در این اثر، شامل انفصال‌های ناشی از ترک‌ها و هوازدگی نامنظم منجر به حفره‌دار شدن و آسیب‌های انسانی و رشد میکروارگانیسم‌ها و گیاهان بر سطح اثر دانست.

**راهکارهای حفاظت:** ارائه راهکار حفاظت برای جلوگیری از گسترش دامنه عملکرد عوامل آسیب‌رسان با هدف حفظ وضع موجود اثر صورت گرفت. در حفاظت این نقش برجسته به دو عامل طبیعی شامل هوازدگی، باران، باد، رطوبت، یخ‌زدگی، تغییرات دما، نور خورشید، آلاینده‌های محیطی، گیاهان پست و عالی و عامل آسیب‌های انسانی توجه داشت. از تأثیر گذارترین عوامل مخرب، آب‌های نزولی که موجب شسته‌شدن مواد محلول و کندسانه‌شدن رطوبت بر نقش برجسته شده که در فصول سرد با چرخه‌های متعدد انجماد-ذوب، موجب رخداد پدیده هوازدگی شده است. همچنین تجمع رطوبت بستر مناسب برای رشد میکروارگانیسم‌ها فراهم آورده است. بنابراین کنترل و هدایت آب، یکی از مهم‌ترین راهکارها برای نقش برجسته مذکور است. حفاظت در برابر آسیب‌های انسانی که موجب تخریب سطح آن شده است، راهکار اساسی دیگر در راستای حفاظت، استفاده از داربست‌های حفاظتی و سقف‌های کاذب یا پوشش‌های موقتی پایه‌های غیر آهنی یا فولادهای ضدزنگ برای اجتناب از ایجاد آثار زنگ‌زدگی و ایجاد لکه احتمالی در نقش برجسته به کمک پوشش سقف از جنس پلی‌وینیل کلراید برای جلوگیری از آسیب ناشی از عوامل طبیعی به کار برده شود. همچنین بخش‌هایی از نقش برجسته به دلیل ناآگاهی و ضعف فرهنگی دچار آسیب شده است. استقرار یگان حفاظت، فرهنگ‌سازی و اطلاع‌رسانی به عموم، تعبیه حفاظ مناسب و طراحی مسیر بازدید برای رفع این مشکل پیشنهاد شد.

**راهکارهای مرمت:** نتایج، نشان‌دهنده هوازدگی فیزیکی و شیمیایی در ساختار سنگ‌آهک و تخریب بخش‌هایی از سطح اثر است، بنابراین راهکارهای پاکسازی، استحکام‌بخشی و تحکیم برای حفاظت از نقش برجسته پیشنهاد شد. **پاکسازی:** از آن جایی که سطح اثر با گرد و غبار محیطی به‌خصوص گرد و غبار ناشی از ریزگردهایی که از سمت کشور عراق وارد می‌شود، همچنین آلاینده‌های ناشی از استخراج نفت در منطقه نفت شهر در نزدیکی سرپل‌ذهاب در

تماس است و این آلودگی‌ها از کارکرد مناسب و نفوذ استحکام بخش به درون بافت سنگ تا حدودی جلوگیری می‌کند. در این مرحله از تیغ‌های بیستوری و اسپاتول رسوبات و گلسنگ‌های حجیم حذف و سپس و با توجه به نتایج آزمایش‌های ترکیبات سنگ شناسایی انجام‌شده در آنالیز XRF و XRD، میزان MgO و CaO موجود در ترکیب سنگ و میزان فازهای کلسیت و دولومیت نوع سنگ‌آهک مشخص شده و مقدار MgO کمتر از دو درصد است و سنگ‌آهک منیزیمی (گروه B) با ناخالصی دولومیت و نتایج آزمایش‌های پتروگرافی که نشان داد بافت سنگ ساختاری فشرده از میکرایت تا اسپرایت و متشکل از کلسیت یا آراگونیت خالص است؛ از آب دیونیزه به‌صورت پاششی به‌همراه مواد شوینده زیست تخریب‌پذیر دیدریش برای پاکسازی رسوبات، چرکی‌ها و کبره‌های داخل ترک‌ها، شکاف‌ها، شکستگی‌ها و هم‌چنین درزها و پاکسازی گلسنگ‌ها و قارچ‌ها درون ترک‌ها و شکستگی‌های سطح اثر پیشنهاد شد.

**استحکام‌بخشی:** با توجه به بافت سنگ نقش برجسته فشرده و تخلخل کم و میزان جذب آب پایین برخی از قسمت‌های سطح اثر و ماهیت سنگ، نظر به همخوانی روش اجرایی و ایجادنشدن آسیب در ساختار سنگ، استفاده از ترکیب اتیل‌سیلیکات (TEOS) + متوکسی سیلان (MTMOS) پیشنهاد شد. این استحکام‌بخش معدنی با هدف همگونی با ساختار سنگ انتخاب شد. هم‌چنین برای پرکردن فضاهایی مانند ترک‌ها، ریزترک‌ها، انفصال‌ها، جداسازی بزرگ و شکستگی‌ها لدان-آدنارال (Ledan-Adnaral) پیشنهاد می‌شود که پس از پاکسازی سطوح، لدان با آب به مدت ۱۰ دقیقه با همزن رز داده و بر سطوح اجرا شود. پوشش‌دهی بعد از ۴ تا ۵ ساعت دوباره تکرار خواهد شد. این مواد به‌صورت ملات برای بندکشی و پرکردن شکاف‌ها و به‌صورت محلول تزریق تحت فشار برای پرکردن و اتصال ترک‌های بزرگ و ریزترک‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

## References

- [1] Niknami, K. A., & Mirghaderi, M. A. (2019). The Anubanini,s Rock Relief of Sarpol-e Zahab Reconsidering a Historical Event. *Iranian Studies*, 8(2), 127-145. <https://doi.org/10.22059/jis.2019.71438>
- [2] Delgado Rodrigues, J. (2022). Stone Consolidation .Between Science and Practice. In F. Gherardi & P. N. Maravelaki (Eds.), *Conserving Stone Heritage: Traditional and Innovative Materials and Techniques* (pp. 101-135). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-82942-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-82942-1_4)
- [3] Terribili, L., Rateau, R., Szucs, A. M., Maddin, M., & Rodriguez-Blanco, J. D. (2024). Impact of Rare Earth Elements on CaCO<sub>3</sub> Crystallization: Insights into Kinetics, Mechanisms, and Crystal Morphology. *Crystal Growth & Design*, 24(2), 632-645. <https://doi.org/10.1021/acs.cgd.3c00858>
- [4] Purgstaller, B., Goetschl, K. E., Mavromatis, V., & Dietzel, M. (2019). Solubility investigations in the amorphous calcium magnesium carbonate system. *Crystal Engineering Community*, 21(1), 155-164. <https://doi.org/10.1039/C8CE01596A>
- [5] Sugawara, S., Fujiya, W., Kagi, H., Yamaguchi, A., & Hashizume, K. (2022). Heat-Induced Dolomitization of Amorphous Calcium Magnesium Carbonate in a CO<sub>2</sub>-Filled Closed System. *American Chemical Society Omega*, 7(49), 44670-44676. <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c03258>
- [6] Mahdiabadi, M. (1996). *The main factors of damage in the main reliefs of Kermanshah*. [Master, Isfahan university of art]. Isfahan, Iran.
- [7] Behrman, A. R., & Talebian, M. H. (2008). Stone Monuments: Pathology of the Chogan Gorge relief in Bishapur (Shapur I's Coronation by Ahura Mazda and Her Victory. *Restoration and research*, 3(4), 161-170. <https://www.noormags.ir/view/en/articlepage/582799>

- [8] Farajzade, S. (2011). *Technology, pathology, and presentation of a conservation and restoration plan for the Qajar painted relief in Taq-e Bostan* [Master, Isfahan university of art]. Isfahan, Iran. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#!/articles/19208e3d382ed7bf84dd2920dc533715>
- [9] Bakshaei, H. (2011). *Investigating the destructive environmental factors in the erosion process of the Sassanid relief stone in Khan Takhti and presenting a conservation plan* [Master, Art university]. Tehran, Iran. <https://www.virascience.com/thesis/author/376530/>
- [10] Khedevi, S., Mahdiabadi, M., & Amirshakermi, A. (2011, May 15). *Analysis of the Taq-e-Bostan, a perspective of architecture and structure* [Conference session]. 2nd International Conference on Architecture and Structure, Tehran, Iran. <https://civilica.com/doc/119300/>
- [11] Shekofteh, A., Oudbashi, O., Bakrani, M., Siapoosh, M., & Siapoosh, B. (2013). Study and consolidation of limestone in Khorramabad petroglyphs, Lorestan. *Scientific Journal of Maremat & Me'mari-e Iran*, 3(5), 99-116. <https://mmi.aui.ac.ir/article-1-892-en.html>
- [12] Maleki, A. (2013). Effect of destruction factors Bistoon inscription (Kermanshah –province). *Geography and Environmental Planning*, 24(1), 129-140. [https://gep.ui.ac.ir/article\\_18584.html?lang=en](https://gep.ui.ac.ir/article_18584.html?lang=en)
- [13] Askari, M. (2013). *Technology, pathology, and presentation of a conservation and restoration plan for Tang Sulak relief No. 3* [Master, Islamic Azad University Central Organization]. Tehran, Iran. <https://ganj.irandoc.ac.ir/#!/articles/22cba52501be41dd3d3c8ca505ca99dd>
- [14] Shekofteh, A., Ahmadi, H., & Yazdi, M. (2018). Chemical composition and Decay Patterns of Stones used in Pasargadae World Heritage Site. *Scientific Journal of Maremat & Me'mari-e Iran*, 7(14), 27-44. <http://mmi.aui.ac.ir/article-1-380-en.html>
- [15] Ghaempanah, H., & Mobini, M. (2020). Review and Comparison of the Visual Characteristics of Anubanini and Bistoon Rock Reliefs. *Motaleat-e Tatbiqu-e Honar*, 10(19), 69-85. <https://doi.org/10.29252/mth.10.19.69>
- [16] Shekofteh, A., Bahadori, S., Qaemimoqaddam, A.-A., & Charesaz, M. (2022). Study on Decay Patterns of the Stone Reliefs of the Tāq-e Bostān Historical-Cultural Site. *Athar*, 42(4), 606-630. <http://athar.richt.ir/article-2-812-en.html>
- [17] Afshar Sistani, I. (1992). *Kermanshahs and their ancient civilization (Volume 2)*. Zarin. <https://www.gisoom.com/book/182833>
- [18] Google Maps. (2022). *Location of the Anubani relief*. Retrieved December 31, 2022, from <https://maps.google.com>
- [19] Ruoz. (2022). *Location of the Anubani relief*. Retrieved December 31, 2022, from <https://ruoz.ir/yauaz>
- [20] Mohabbat, M. (2018). *Qasr Shirin in the millennium of history*. Bright Morning. <https://www.gisoom.com/book/11413119>
- [21] Vanden Bergh, L. (2021). *Rock reliefs of ancient Iran* (H. Kohnsalvajargah & S. Safa, Trans.; H. Sepehri & S. M. Mirmiran Salakjani, Eds.). University of Guilan. <https://www.gisoom.com/book/11784816>
- [22] Kermanshah Regional MetOffice. (2024). *Statistics and information about Kermanshah province*. Iran Meteorological Organization. <http://www.kermanshahmet.ir/met/amar>
- [23] Pollard, A. M., Batt, C. M., Stern, B., & Young, S. M. M. (2007). *Analytical Chemistry in Archaeology*. Cambridge University Press. <https://books.google.com/books?id=8aYW AQAIAAJ>

- [24] Riu, J., & Giussani, B. (2024). Analytical chemistry meets art: The transformative role of chemometrics in cultural heritage preservation. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 247, 105095. <https://doi.org/10.1016/j.chemolab.2024.105095>
- [25] Knight, W., Gantz, F., Carl, M., Young, M. L., Kovacevich, B., Crawford, D., Torok, E., & Baas, F. (2024). Complementary scientific techniques for the study of Mesoamerican greenstone objects. *Heritage Science*, 12(1), 42. <https://doi.org/10.1186/s40494-023-01128-7>
- [26] Salvini, S., Coletti, C., Maritan, L., Massironi, M., Pieropan, A., Spiess, R., & Mazzoli, C. (2023). Petrographic characterization and durability of carbonate stones used in UNESCO World Heritage Sites in northeastern Italy. *Environmental Earth Sciences*, 82(1), 49. <https://doi.org/10.1007/s12665-022-10732-y>
- [27] EUROPEAN STANDARD. (2007). *Natural stone test methods - Determination of real density and apparent density, and of total and open porosity* (UNE EN 1936:2007). En-Standard. <https://www.dinmedia.de/en/standard/une-en-1936/99226999>
- [28] Geysant, J. (2001). Geology of Calcium Carbonate, from Mineral to Rock-the Deposits. In F. W. Tegethoff (Ed.), *Calcium Carbonate: From the Cretaceous Period into the 21st Century* (pp. 1-2). Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-0348-8245-3>
- [29] Shekofteh, A., Oudbashi, O., Cultrone, G., & Ansari, M. (2020). Geochemical and petrographic identification of stone quarries used for the construction of the Anahita Temple of Kangavar (West Iran). *Heritage Science*, 8(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s40494-020-0361-z>
- [30] Miche, H., Simler, R., Affaton, P., Mickala, O., Boudzoumou, F., & Mbina, M. (2013). New computerized method for the geochemical classification of Precambrian carbonate rocks: case of a set of African cap carbonates. *International Journal of Geosciences*, 4(10A), 37-49. <https://doi.org/10.4236/ijg.2013.410A005>