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

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

*Research Paper*

# Characterization of the Anubanini Rock Relief Sarpol-e Zahab, Kermanshah Province (Iran)

**Maliheh Mehdiabadi** *[1], **Naser Mahdiabadi**[2]

1. Faculty Member of the Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran
2. PhD in Geology and Manager of Protection and Exploitation, Kermanshah Regional Water Company, Iran
* Correspondence: m.mehdiabadi@richt.ir

## Abstract

The Anubanini rock relief, one of the most important and ancient rock reliefs of Iran, holds exceptional significance for Iranian cultural heritage, archaeology, and linguistics. Carved on the limestone cliffs of Mount Mīyān Kal in Sarpol-e Zahab, Kermanshah Province, this monument depicts the Lulubi king Anubanini, the goddess Nini, nine bound prisoners, and an Akkadian cuneiform inscription. Due to the calcitic composition of the host rock belonging to the Asmari Formation, chemical dissolution has emerged as the primary degradation process, leading to the formation of dissolution pits, grooves, and surface roughness that have already caused partial loss of motifs and inscriptions. If left unchecked, continued weathering threatens the complete destruction of this valuable historical document. This study examines the petrographic, mineralogical, and structural characteristics of the host rock along with the climatic conditions of the region. Through microscopic thin section analysis, X-ray diffraction (XRD), X-ray fluorescence (XRF), and fracture mapping, the research identifies the key factors influencing the weathering process. The host rock is identified as bioclastic packstone (equivalent to biomicrite), predominantly composed of high-purity calcite with no significant dolomitization. The presence of near-vertical bedding, multiple joint sets, and a right-lateral fault, combined with semi-arid climatic conditions characterized by approximately 422 mm annual precipitation, 43% relative humidity, and severe temperature fluctuations, have significantly intensified chemical and biochemical weathering. The results indicate that the dissolution process remains active, with mineral composition, rock discontinuities, and climatic factors being the main contributors to the observed degradation. This research emphasizes the urgent need for immediate protective and conservation measures to safeguard this irreplaceable cultural monument.

**Keywords:** Anubanini rock relief, chemical weathering, limestone dissolution, petrography, mineralogy, fracture mapping, Asmari Formation, cultural heritage conservation.

Received: 2025/04/8
Revised: 2025/10/4
Accepted: 2025/10/19
Published: 2025/12/30

**Copyright:** ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

## Introduction

The Anubanini rock relief is located in the northern outskirts of Sarpol-e Zahab city, Kermanshah Province, western Iran, at coordinates 34° 27' 46" N and 45° 52' 9" E, at an elevation of 16 meters above ground level. This ancient monument portrays the victory of Anubanini, king of the Lulubi people, in the presence of the goddess Nini, along with nine prisoners and an accompanying inscription in Akkadian script and language. The relief holds special importance among Iranian rock reliefs as it is considered one of the earliest examples that, while influenced by Mesopotamian art, displays distinct Iranian characteristics. It is widely regarded as the founder of the tradition of carving royal scenes and inscriptions on natural rock surfaces in Iranian culture and has influenced later works such as the Bisotun relief of Darius the Great. Among the six surviving Lulubi rock reliefs, the Anubanini monument is the oldest and most significant. Researchers generally date it to the Ur III period (approximately 2100–2000 BCE), meaning nearly 4200

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

years have passed since its creation. The relief is carved into limestone of the Asmari Formation from the Oligo-Miocene period in the Zagros folded zone. The region experiences a semi-arid cold temperate climate according to the Emberger classification and semi-arid conditions according to the De Martonne system. Despite its outstanding historical and documentary value, prolonged neglect in protection and restoration has exposed the monument to severe damage, primarily through chemical dissolution of the limestone. This study aims to analytically evaluate the damages caused by natural processes and provide scientific data to support effective conservation strategies. The main research questions addressed in this paper are: What are the petrographic and mineralogical characteristics of the host rock? What natural weathering and degradation processes have affected the relief? And which of these processes are currently active?

## Methodology

This research employed a combination of library, field, and laboratory methods. The library study involved reviewing geological maps, archaeological publications, and climatological data from reliable sources. Field investigations included direct observation, detailed photography, and systematic fracture mapping of the rock mass around the relief. Because of conservation considerations and the historical importance of the monument, direct sampling from the carved surface was not permitted. Instead, two representative samples were collected from the Asmari Formation approximately 20 meters away from the relief, selecting points with minimal visible weathering to best represent the original rock composition. These samples underwent petrographic analysis through thin section preparation, X-ray diffraction (XRD) for mineralogical identification, and X-ray fluorescence (XRF) for chemical composition determination. Thin sections were studied under polarized light microscopy at ×40 magnification. XRD analysis was performed using a Seifert T2T powder diffractometer, while XRF was conducted with an ARL 8420 spectrometer. Fracture mapping was carried out using rose diagrams and contour plots to determine the orientation and characteristics of bedding and joint sets.

## Results

Petrographic examination revealed that the host rock of the Anubanini relief is bioclastic packstone according to Dunham's classification, equivalent to biomicrite in Folk's classification. The main components are skeletal fragments of corals, benthic foraminifera, miliolids, algae, and echinoids, cemented by sparry calcite in multiple stages. The rock shows low intergranular porosity (3–5%) and contains small cavities related to coral structures. Staining tests confirmed that the limestone is predominantly calcitic and undolomitized. XRD analysis identified calcite as the dominant mineral phase. XRF results indicated high purity of calcium carbonate, with silica content around 1.8% and other elements below 1%. Fracture mapping showed that bedding has the highest frequency in the northwest-southeast direction (azimuth 140–150°) with a near-vertical dip (80–90°) toward the southwest. Three joint sets were identified with northeast-southwest orientations and varying dips, creating a well-developed network of discontinuities in the rock mass.

## Discussion

The degradation of the Anubanini rock relief results from the complex interaction between the intrinsic properties of the host rock and external environmental factors. The high-purity calcitic composition of the Asmari limestone makes it highly susceptible to chemical dissolution, particularly in the presence of carbon dioxide dissolved in meteoric water. Tectonic discontinuities, including near-vertical bedding and multiple joint sets, act as preferential pathways for rainwater infiltration and circulation, promoting both vertical and horizontal dissolution. The semi-arid climate of the region, with an average annual precipitation of 422 mm and relative humidity of 43%, provides sufficient moisture to sustain the dissolution process. Significant temperature fluctuations and frost days further accelerate weathering by increasing physical stress and enhancing calcite solubility in colder water. Dissolution pits and grooves are more pronounced in areas exposed to surface runoff, while moisture-retaining cavities facilitate lichen growth, which contributes to biochemical weathering through the production of organic acids. This creates a self-reinforcing degradation cycle. Observations on relatively recent bullet impact scars clearly demonstrate the rapid development of dissolution features and lichen colonization, confirming that chemical and biological weathering processes remain highly active under current conditions.

## Conclusion

The Anubanini rock relief is one of the most significant historical monuments of Iran, marking the beginning of the tradition of rock relief carving and written documentation in Iranian culture approximately 4200 years ago. It also holds great importance in the history of Iranian clothing and has influenced subsequent Achaemenid and Sasanian rock reliefs. Petrographic, mineralogical, and structural studies have shown that the host rock is high-purity calcitic limestone characterized by systematic tectonic joints and fractures. These features, combined with the semi-arid climatic conditions of the region, have made chemical dissolution the dominant and still-active degradation mechanism. The dissolution process has created numerous cavities and grooves on the carved surface, while lichen growth has intensified biochemical weathering. Without immediate intervention, further irreversible damage to the motifs and inscriptions is inevitable. Therefore, regular monitoring, diversion of surface runoff away from the relief, periodic cleaning to prevent dust accumulation and lichen growth, and the application of suitable protective measures are strongly recommended. The preservation of the Anubanini rock relief is

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

not only a national responsibility but also a significant contribution to the protection of global cultural heritage.

**Author Contributions:** The article was written by two authors; therefore, all credit belongs to the authors. The first author, Maliheh Mehdiabadi, was responsible for the ideation, methodology, and part of the formal analysis and research, data management and organization, writing the first draft, reviewing and partially editing the text, and data visualization. Sampling and another part of the formal analysis, especially the analysis of geological data, and reviewing and editing the text were carried out by the second author, Nasser Mehdiabadi. All authors have read and approved the published version of the article.

**Funding:** This article was written at the authors' personal expense and did not receive financial support from any organization or individual.

**Data Availability Statement:** The datasets used or analyzed during the present study are available upon reasonable request from the corresponding author.

**Acknowledgments:** We would like to thank Mr. Bahman Saedi, PhD in Geology, for his assistance in the joint mapping. We would like to thank Dr. Aminollah Kamali, PhD in Geology, for his interpretation of the XRD and guidance in improving the presentation of the paper.

**Conflicts of Interest:** All samples were taken at the request of the authors and no assistance was received from any specific organization.

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

پژوهه باستان‌سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

*مقاله پژوهشی*

# ساختارشناسی سنگ نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی سرپل ذهاب استان کرمانشاه (ایران)

**ملیحه مهدی‌آبادی[۱،*]، ناصر مهدی‌آبادی[۲]**

۱. عضو هیئت علمی پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
۲. دکتری زمین‌شناسی و مدیر حفاظت و بهره‌برداری شرکت آب منطقه‌ای، کرمانشاه، ایران
* مسئول مکاتبات: m.mehdiabadi@richt.ir

## چکیده

نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی یکی از مهم‌ترین و کهن‌ترین نقش‌برجسته‌های ایران است. از این رو، این اثر برای ایرانیان، باستان‌شناسان و زبان‌شناسان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. این نقش برجسته بر روی سنگ‌های آهکی کوه «میان کل؛ Mīyān Kal» در شهر سرپل ذهاب حجاری شده است. با توجه به ترکیب شیمیایی سنگ‌های آهکی، انحلال از عوامل اصلی تخریب آثار تاریخی حجاری‌شده بر این نوع سنگ‌هاست، سطح نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی، به دلیل انحلال دچار آسیب شده و بخش‌هایی از نقوش و متون آن از بین رفته‌اند. در صورت ادامهٔ این تخریب، این اثر به‌طور کامل نابود خواهد شد و میراث فرهنگی ایران یکی از مهم‌ترین اسناد نوشتاری و تاریخی خود را از دست خواهد داد. انحلال سنگ‌های آهکی به ساختار تودهٔ سنگ و کانی‌شناسی سنگ وابسته است و از سوی دیگر، هوازدگی سنگ‌ها به عوامل درونی مانند خصوصیات کانی‌شناسی و شیمیایی و عوامل بیرونی همچون اقلیم بستگی دارد. این مقاله با مطالعهٔ خصوصیات ذاتی سنگ زمینهٔ نقش‌برجسته از طریق مقاطع میکروسکوپی، بررسی نتایج آزمایش‌های XRD، XRF تحلیل شرایط اقلیمی منطقه و تأثیر آن بر کانی‌های موجود در سنگ و همچنین درزه‌نگاری، به شناسایی عوامل ساختاری مؤثر در فرایند هوازدگی پرداخته است. سنگ زمینهٔ نقش‌برجسته از نوع بایوکلاست پک استون (معادل بایو میکرایت) متعلق به سازند آسماری است که عمدتاً کلسیتی بوده و دولومیتی نشده است. ساختار سنگ شامل لایه‌بندی قائم، درزه‌ها و گسل راست‌گرد در تنگهٔ میان کل است که همراه با شرایط اقلیمی نیمه‌خشک با تغییرات شدید دما، رطوبت، بارش و روزهای یخبندان، هوازدگی شیمیایی را تشدید کرده و منجر به ایجاد حفره‌های انحلالی کوچک و بزرگ بر سطح اثر شده است. نتایج نشان می‌دهند که انحلال همچنان فعال است و نوع کانی‌های سازندهٔ ساختار سنگ، لایه‌بندی و درزه‌ها همراه با عوامل اقلیمی، از عوامل اصلی ایجاد این حفره‌های انحلالی هستند. این پژوهش بر ضرورت اقدامات حفاظتی فوری تأکید دارد.

دریافت: ۱۴۰۴/۱/۱۹
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۷/۱۲
پذیرش: ۱۴۰۴/۷/۲۷
انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۹

**Copyright:** ©2025 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

**واژگان کلیدی:** نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی، هوازدگی شیمیایی، کانی‌شناسی، پتروگرافی، درزه‌نگاری.

## ۱. مقدمه

نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی در غرب ایران، استان کرمانشاه و در حومهٔ شمالی شهر سرپل ذهاب قرار دارد. این نقش و سنگ‌نبشته در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه شمالی و در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۹ ثانیه شرقی و در ارتفاع ۱۶ متری از سطح زمین، واقع است. این نقش‌برجسته تصویر آنوبانی‌نی (پادشاه قوم لولوبی)، الههٔ نی‌نی، نُه اسیر، به همراه کتیبه‌ای با خط و زبان اکدی است که به معرفی شاه و الهه می‌پردازد (شکل ۱). این نقش‌برجسته در میان نقوش برجستهٔ شناخته شده در ایران و جهان از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، فرخ ملک‌زاده معتقد است این اثر از اولین نقش‌برجسته‌های ایرانی است که با وجود این‌که تحت‌تأثیر هنر بین‌النهرین بوده، اما ویژگی‌های خاص ایرانی را دارد. وی اهمیت نقش را در

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

ارائهٔ اولین تصویر از البسهٔ ساکنان ماد می‌داند (ملک‌زاده، ۱۳۴۷: ۲۱) پرادا (Porada) معتقد است «این نوع حجاری؛ یعنی نشان‌دادن پیروزی پادشاه بر دشمنانش در کنار جاده‌های پررفت‌وآمد از این قوم (لولوبی، Lulubi) به یادگارمانده است». شاهد این مدعا را نقش برجستهٔ داریوش در بیستون و سپس نقش‌برجسته‌های ساسانی می‌داند (پرادا، ۱۳۸۳، ۳۷) دندامایف (Danmadyayev) معتقد است که داریوش در کتیبهٔ بیستون از این نقش الهام گرفته است (دندامایف، ۱۳۵۲: ۵۰)؛ در نتیجه، این اثر یکی از مهم‌ترین نقش‌برجسته‌های ایران تلقی می‌گردد که بنیان‌گذار فرهنگ نوشتاری ایرانیان بر صخره‌هاست. از قوم لولوبی تنها شش نقش‌برجسته باقی‌مانده است که اولین نقش‌برجسته و مهم‌ترین آن‌ها نقش‌برجسته آنوبانی‌نی است؛ بنابراین، از ارزش ویژه‌ای در نزد باستان‌پژوهان برخوردار است. از نظر زمان حجاری اثر، به گفتهٔ هرودا (Hrouda) اختلاف‌نظرهایی در بین محققان وجود دارد. هرتسفلد (Herzfeld) ابتدا بر این عقیده بود که نقش هم‌زمان به هنر اکدی تحت لوای نرامسین است؛ اما بعداً تجدیدنظر کرد و نقش را قدیمی‌تر از نارمسین دانست، وایس باخ (Weiss Bach) نقش را بابلی کهن می‌داند و کانتور (Kantor) آن را مربوط به دوره گودا (Gudea) می‌داند. واندنبرگ (Wandenberg) کامرون (Cameron) و پرادا (Porada) آن را به دورهٔ اور (Ur3) (برابر با ۲۰۰۰ تا ۲۱۰۰ پیش از میلاد) نسبت می‌دهند. (Hrouda, 1976: 175). به استناد نظرات پژوهشگران فوق تقریباً ۴۲۰۰ سال از عمر نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی می‌گذرد.

**شکل ۱.** نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی

**Figure 1.** Anubanini's Rock Relief

صخره‌ای که این اثر روی آن حجاری شده از سنگ‌های آهکی سازند آسماری مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی و دوره الیگومیوسن در ناحیهٔ چین‌خورده (The Folded zone) زاگرس است. مطالعات اقلیم‌شناسی محل نشان می‌دهد که بخش زیادی از حوزهٔ آبریز رودخانهٔ اروند که اثر موردنظر در آن واقع است، بر اساس سیستم رده‌بندی آمبرژه در ناحیهٔ اقلیم نیمه‌خشک زیر اقلیم سرد معتدل و در رده‌بندی دومارتین (De Martonne) در ناحیهٔ نیمه‌خشک است (آب منطقه غرب کشور، ۱۳۷۶: ۱۶ تا ۲۴).

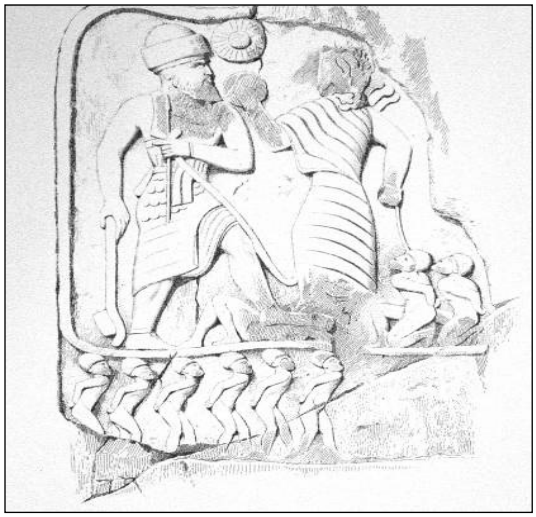
اگر چه نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی از نظر تاریخی و اسنادی در شناخت فرهنگ ایران از اولویت ویژه‌ای برخوردار است؛ اما به دلیل بی‌توجهی در حوزهٔ حفاظت و مرمت این اثر، در معرض آسیب شدید قرار دارد. به همین دلیل در این مقاله سعی شده که آسیب‌دیدگی‌های ناشی از فعل و انفعالات شیمیایی اثر، مورد ارزیابی تحلیلی و علمی قرار گیرد تا نتیجهٔ آن به حفاظت و مرمت اثر یاری رساند. پرسش‌های مطرح‌شده در این پژوهش، شامل این موارد است: سنگ زمینه و ترکیب کانی‌شناسی نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی چه ویژگی‌هایی دارد؟ فرایندهای هوازدگی و تخریب طبیعی که بر روی سنگ نقش اثر گذاشته‌اند، چه هستند؟ کدام فرایندهای تخریبی در حال حاضر فعال هستند؟

همان‌طور که گفته شد، رابطهٔ مستقیمی بین تخریب سنگ‌نبشته با نوع و بافت سنگ، خصوصیات تودهٔ سنگ و اقلیم منطقه وجود دارد که برای شناخت دقیق آن‌ها نیاز به مطالعهٔ مقاطع میکروسکوپی سنگ و بررسی آزمایش‌های XRD و XRF وجود داشت که این مهم صورت گرفت. در ادامهٔ نتایج این آزمایش‌ها و داده‌های اقلیمی (درجه‌حرارت، رطوبت، بارش و غیره) جمع‌آوری و بررسی شد. پس از تحلیل داده‌ها، مشخص شد که فرایند انحلال در نقش‌برجسته همچنان تداوم دارد و نیاز به انجام امور حفاظتی است. لازم به ذکر است که مقاطع میکروسکوپی در دانشکدهٔ زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان تهیه و مطالعه شده و آزمایش XRD و XRF در پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری انجام و بررسی شده است.

## ۲. پیشینهٔ پژوهش

راولینسون (Rawlinson) افسر انگلیسی اولین کسی بود که این نقش را معرفی نمود (Rawlinson, 1839: 37)، کست (Coste) معمار به همراه فلاندن نیز طرحی ابتدایی (شکل ۲) از نقش تهیه نمود (Coste & Flandin, 1841: 208). ژاک دمورگان (Jacques de Morgan) زمین‌شناس و ایران‌شناس در سال ۱۸۹۱ توصیف جامع‌تری از نقش نمود و برای اولین بار نام حکمران تصویر شده را بیان کرد (DE Morgan, 1895). هرتسفلد (Herzfeld) ایران‌شناس آلمانی و استاد دانشگاه شیکاگو در سال ۱۹۱۰ یک طرح (Herzfeld, 1935) و در سال ۱۹۲۰ طرح دیگری از نقش‌برجسته تهیه نمود (Herzfeld, 1941). پژوهشی در سال ۱۹۷۶ توسط هیئت آلمانی انجام پذیرفت (Hrouda, 1976) ارحام صدر عکاس درسال ۱۳۵۴ عکسی از این سند تهیه نمود که در کتاب کرمانشاهان باستان به چاپ رسانده است (گلزاری، ۱۳۵۰). در ۱۹۸۳ اسمکنس (Smekens) به خواستهٔ واندنبرگ (Vanden Berghe) باستان‌شناس بلژیکی طرحی از اثر تهیه کرد.

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026



**شکل ۲.** طرح کوست، ۱۸۴۱
**Figure 2.** Coste's Drawing, 1841

مقالهٔ صدیق رمضان ضمن بررسی تأثیرات هنر دورهٔ باستان خاور نزدیک بر کتیبهٔ داریوش اول در بیستون (۵۲۲–۴۸۶ پ.م) دربارهٔ مکان و اهمیت کتیبهٔ داریوش و تأثیرات معنایی و هنری در این اثر، معتقد است که این کتیبه تأثیر فراوانی از نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی گرفته است (Sadiq Ramadan, 2023: 156). نیکنامی و همکارانش، معتقدند حجاری نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی در خارج از مرزهای حکومتی لولوبیان از ارزش ویژه‌ای برخوردار است (نیکنامی و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۹). پورسپاهی در مقاله‌ای که دربارهٔ شناخت تن‌پوش کهن ایرانی ارائه کرده، نقش آنوبانی‌نی را قدیمی‌ترین نقش ایرانی برای پژوهش خود در نظر گرفته است (پورسپاهی، ۱۴۰۳: ۷۶).

در رابطه با تخریب و حفاظت آثار سنگی تاریخی–فرهنگی پژوهش‌هایی انجام می‌گیرد که یکی از مهم‌ترین آن‌ها کنگرهٔ بین‌المللی تخریب و حفاظت سنگ است که هر سه سال یک‌بار برگزار می‌گردد. در مجموعه‌مقالات این همایش در رابطه با ساختارشناسی سنگ‌ها و ملات‌ها، مقالات متعددی چاپ شده است (Hughes and Howind, 2016). یکی از مقالات با عنوان *ساختارشناسی ملات‌های تاریخی در آرایه‌های معماری و اندود داخلی معبد صخره‌ای ورجووی مراغه*، مشابهت بیش‌تری به این پژوهش دارد. در این مقاله، نویسندگان سعی کرده‌اند با شناسایی ساختار ملات‌های موجود در معبد ورجووی بر اساس روش‌های آزمایشگاهی XRD و XRF و پتروگرافی اثبات نمایند که این معبد که تحت عنوان معبد مهری به ثبت آثار ملی رسیده، در دوران اسلامی نیز مورد استفاده قرار گرفته است (رازانی و حمزوی، ۱۳۹۷). مقالهٔ دیگر «تحلیل ساختارشناسی سنگ‌های آذرآواری در معماری صخره‌کند روستای تاریخی کندوان» است. نویسندگان این مقاله نیز با استفاده از روش‌های ساختارشناسانه به بررسی نقش عیوب ذاتی در فرسایش سنگ‌های صخره‌های کندوان پرداخته‌اند. آنها هم بر اساس مطالعات میدانی و آزمایشگاهی شامل: بررسی‌های صحرایی و نمونه‌برداری، در کنار انجام آزمایش‌های سنگ‌شناسی، شامل پتروگرافی مقطع نازک، پراش پرتو ایکس (XRD) و مطالعات دیگر نتیجه گرفته‌اند؛ ساختار سنگ سست عامل اصلی در مقابل چرخه‌های یخ و ذوب‌شدن و دیگر عوامل اقلیمی در تخریب صخره‌های این روستا است (امینی بیرامی و همکاران، ۱۳۹۴).

در خصوص آسیب‌شناسی و شناسایی ساختار سنگ نقش‌برجسته آنوبانی‌نی، اولین پژوهش در سال ۱۳۷۵ شمسی در قالب پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد تحت عنوان «آسیب‌شناسی عمده‌ترین نقش‌برجسته‌های کرمانشاه و پیشنهاد راه‌حل‌های حفاظتی برای آنها (مهدی‌آبادی، ۱۳۷۶) صورت‌گرفته که در آن اقلیم، سنگ زمینه و آسیب‌های موجود بر اثر، به‌صورت کلی و در مقایسه با دوازده نقش‌برجستهٔ دیگر مورد بررسی قرار گرفته است. مهدی‌آبادی دو مقاله دربارهٔ بررسی آسیب‌های انسانی با رویکرد حفاظت اثر (مهدی‌آبادی، شاکرمی، تابستان ۱۳۹۱) و مقاله دیگری با عنوان «بررسی طرح‌های ارائه شده» از اثر چاپ کرده است. وی در مقاله اول به ارزیابی میزان خسارت انسانی ناشی از برخورد گلوله‌ها بر نقش‌برجسته پرداخته و در مقاله دوم طرح‌های ارائه شده از نقش، از اولین طرح‌ها تا سال ۱۳۷۶ را مورد بررسی قرار داده و تفاوت این طرح‌ها را تحلیل کرده است او برای اولین بار نام دو اسیر یکی در زیر پای آنوبانی‌نی و دیگری اسیری با کلاه مادهای شرقی در قسمت پایین نقش‌برجسته، ارائه داده است (مهدی‌آبادی، زمستان ۱۳۹۱). مقاله‌ای توسط حیدری و همکارانش ارائه شده است که با مقایسه کارایی روش‌های مختلف زوال تسریع شده و استفاده از سیستم استنتاج فازی، درجه هوازدگی طبیعی این محوطه‌ها را پیش‌بینی کرده است. مقادیر پیش‌بینی‌شده برای آنوبانی‌نی ۶۱ ٪ است. این مقادیر با شاخص‌های فروپاشی پیش‌رونده ۳.۴۲ در نقش آنوبانی‌نی همخوانی دارند که نشان‌دهندهٔ دقت مدل فازی در پیش‌بینی هوازدگی است. این مطالعه نشان می‌دهد که سیستم استنتاج فازی می‌تواند به‌عنوان یک ابزار کارآمد در ارزیابی میزان هوازدگی سنگ‌های تاریخی مورداستفاده قرار گیرد و دقت بالایی در پیش‌بینی روند تخریب این آثار دارد (Heydari et al. ۲۰۱۷: ۴۱).

پژوهش بر ساختارشناسی سنگ‌های تاریخی ایران با تمرکز بر روش‌های XRD، XRF و پتروگرافی، مطالعات متعددی، الگوهای مشابهی برای بررسی نقش‌برجسته آنوبانی‌نی ارائه می‌دهند. برای نمونه، پژوهش بر معادن سنگ معبد آناهیتا در کنگاور از XRD و XRF برای تحلیل شیمیایی و پتروگرافی برای شناسایی بافت و کانی‌شناسی بهره برده تا منشأ سنگ‌ها را تعیین کند (Shekofteh et al, 2020). در تحلیلی بر سنگ‌های کاخ‌های هخامنشی برازجان، تکنیک‌های PLM (میکروسکوپ نوری پلاریزه) XRD و XRF برای تعیین منشأ و ویژگی‌های سنگ‌ها به‌کاررفته است (Kasiri et al, 2020). مطالعهٔ دیگری بر پایهٔ ستون‌های همدان (هگمتانه) از پتروگرافی و XRD برای

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

شناسایی منابع سنگ و تحلیل ساختاری استفاده کرده که به درک فرایندهای فرسایش و حفاظت کمک می‌کند (Nejad et al, 2012).

در تخت‌جمشید، پروژه‌های حفاظتی مشترک ایرانی – ایتالیایی مانند From Palace to Town ویژگی‌های پتروگرافی، الگوهای تخریب و لایه‌های پرداخت سطح سنگ را با XRF و تأیید نتایج با XRD تحلیل کرده‌اند ( Askari Chaverdi et al, 2016؛ Ridolfi 2019). گزارش‌های پایگاه میراث جهانی تخت‌جمشید نیز مطالعات آزمایشگاهی بر مصالح سنگی با پتروگرافی مقاطع نازک، XRD و XRF برای شناسایی خواص فیزیکی و شیمیایی را برجسته می‌کند. علاوه بر این، پژوهش بر معادن مرتبط با تخت‌جمشید ترکیب سنگ‌ها را عمدتاً آهکی خاکستری با کلسیت اصلی و کوارتز جزئی نشان می‌دهد و ارتباط ساختار با آسیب‌های شیمیایی مانند هوازدگی را بررسی کرده است (Emami et al, 2018). این پژوهش‌ها بر ادغام روش‌های آزمایشگاهی برای حفاظت آثار سنگی تأکید دارند و شفافیت علمی آن‌ها از طریق نمونه‌برداری میدانی، تحلیل‌های کمی و کیفی و مقایسه با داده‌های تاریخی تضمین شده است. مقاله‌ای که اکنون ارائه می‌شود، برای اولین‌بار به ارتباط ساختار سنگ با آسیب‌دیدگی انحلال در نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی می‌پردازد.

## ۳. توصیف نقش‌برجسته

این نقش‌برجسته از دو بخش تشکیل شده است. بخش بالایی شامل تصویر آنوبانی‌نی (پادشاه قوم لولوبی)، الههٔ نی‌نی است. شاه در یک دست کمان و در دست دیگر تبری در دست دارد و پای راستش را بر پیکر اسیری نهاده است. در مقابل او الههٔ نی‌نی با ردایی بلند و دو تیردان که در پشت او بسته شده، تصویر شده است. در دست چپ الهه ریسمانی است که از بینی دو اسیر رد شده است. الههٔ نی‌نی پایش را بر سر اسیری که در زیر پای شاه هم قرار دارد، گذاشته است. در بین شاه و الهه ستارهٔ چندپری که سمبل الههٔ ایشتار است، قرار دارد. در بخش زیرین نقش که با خطی از قسمت بالا جدا شده است، شش اسیر قرار دارند که همگی برهنه‌اند و کلاه نفر اول اسیران با دیگر اسرا متفاوت است. در مقابل اولین اسیر قسمت پایین و پشت پای الهه کتیبه‌ای به خط و زبان اکدی نوشته شده که ترجمهٔ آن چنین است «آنوبانی‌نی، شاه قدرتمند، شاه لولوبوم، تصویری از خودش و تصویری از الههٔ ایشتار در روی کوه باتیر برپا ساخته است. او، کسی که این دو تصویر را مخدوش کند/ آسیب بزند و کتیبه را، خدایان آنوم و سین و ایشتار و اَدد و نینلیل و انلیل و شمّش و آنتوم و آنوم ... خدایان نرگال [...] و سرور [...] و [...] خدای بزرگ و ... نفرین کناد، نفرینی بد، سلاله او را از بین ببرند. دریای بالایی و پایینی که ... و آن ... و ... و... ... نام خودش ... در برابر مردم خودش منفور شود. آنوبانی‌نی در این زمان فرمانروایی قدرتمند است» (Edzard, 1973: 74).

## ٤. مطالعات اقلیم شهرستان سرپل ذهاب

همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، تخریب سنگ‌ها از یک سو به ساختار سنگ و از سوی دیگر به شرایط اقلیمی آن‌ها مرتبط است. پیش از تحلیل داده‌های زمین‌شناختی، شرایط آب‌وهوایی مورد بررسی قرار می‌گیرند.

بر اساس مطالعات اقلیم‌شناسی سرپل ذهاب، منطقهٔ مذکور در رده‌بندی آب‌وهوایی آمبرژه، در اقلیم نیمه‌خشک زیر اقلیم سرد معتدل و در طبقه‌بندی دومارتین در ردهٔ نیمه‌خشک است (هواشناسی کرمانشاه، اسفند ۱۴۰۳). شکل‌های مربوط به شاخص هواشناسی (شکل‌های ۳، ۴، ۵) (از آخرین آمار هواشناسی در یک دورهٔ ۳۰ سالهٔ آب‌وهوای شهرستان سرپل ذهاب، استخراج شده است (هواشناسی کرمانشاه، اسفند ۱۴۰۳).

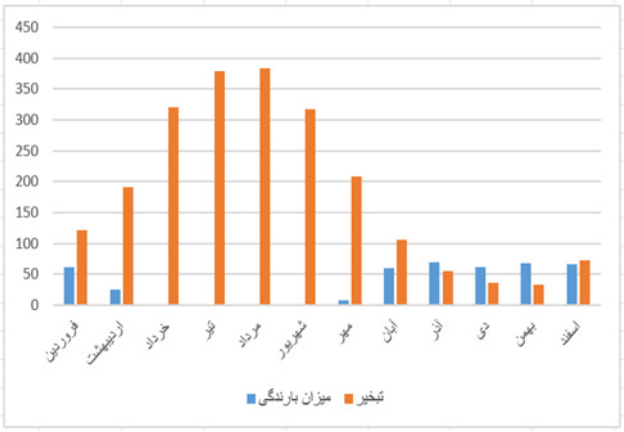
طبق آمار بلندمدت ایستگاه هواشناسی سرپل ذهاب و همان‌طور که در جدول ۱ و شکل‌های ۳، ۴ و ۵ مشاهده می‌شود؛ تغییرات درجه حرارت، بارش، تبخیر و رطوبت در طول سال زیاد است. لازم به ذکر است با توجه به نزدیکی اثر تاریخی به رودخانهٔ دائمی، میزان رطوبت محلی نسبت به محل ایستگاه هواشناسی، بیش‌تر است. از طرفی تعداد میانگین بلندمدت روزهای یخبندان ۱۸ روز در سال است، میانگین بلندمدت روزهای بارانی ۶۳ روز و میزان میانگین بارندگی سالانه ۴۲۲ میلی‌متر است. این تغییرات شاخص‌های آب‌وهوایی به صورت دوره‌ای سبب واردآمدن انواع تنش به تودهٔ سنگ‌ها می‌شود. در واقع این دوره‌های متوالی سردوگرم‌شدن، تر و خشک‌شدن، یخزدن و آب‌شدن یخ باعث ایجاد انواع ترک و توسعهٔ آنها در بلندمدت می‌شود.

**جدول ۱.** میانگین حداقل و حداکثر ماهیانهٔ شاخص‌های اقلیمی در یک دورهٔ سی‌ساله

**Table 1.** Monthly Minimum and Maximum Averages of Climatic Indicators over a 30-Year Period

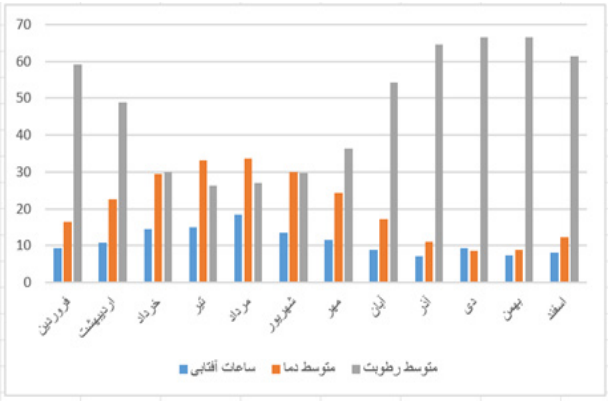
| شاخص اقلیم | میانگین حداقل ماهیانه | میانگین حداکثر ماهیانه |
|---|---|---|
| دما (سانتی‌گراد) | 8.6 | 33.7 |
| بارش (میلی‌متر) | 0.3 | 68.5 |
| تبخیر (میلی‌متر) | 33 | 384 |
| رطوبت (٪) | 26 | 66 |
| ساعات آفتابی (ساعت) | 250 | 450 |

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026



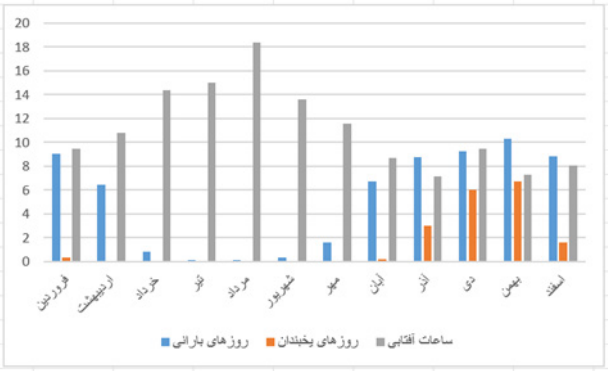

**شکل ۳.** تبخیر و میزان بارندگی در یک دورهٔ سی‌ساله

Figure 3. Evaporation and Rainfall over a 30-Year Period




**شکل ٤.** متوسط دما، رطوبت و ساعات آفتابی در یک دورهٔ سی‌ساله

**Figure 4**. Average Temperature, Humidity, and Sunny Hours over a 30-Year Period




**شکل ۵.** متوسط روزهای یخبندان و روزهای بارانی در یک دورهٔ سی‌ساله

**Figure 5.** Average Frost Days and Rainy Days over a 30-Year Period

## ۵. مطالعات زمین‌شناختی نقش‌برجسته

منطقهٔ موردمطالعه در بخش چین‌خوردهٔ زاگرس (The Folded zone) در تقسیم‌بندی فُلک (Folk, 1980: 153 – 179) واقع است. بر اساس نقشه چهارگوش زمین‌شناسی سرپل‌ذهاب (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۴۰۳). سنگ‌نبشته آنوبانی‌نی در عرض جغرافیایی ۳۴ درجه و ۲۷ دقیقه و ۴۶ ثانیه شمالی و در طول جغرافیایی ۴۵ درجه و ۵۲ دقیقه و ۹ ثانیه شرقی واقع است. با توجه به بررسی‌های میدانی و مطالعهٔ نقشهٔ زمین‌شناسی، محل نقش‌برجسته و کتیبه‌ها در تنگه‌ای به نام «میان‌کل» در یال جنوب‌غربی تاقدیس « پاتاق» بر روی لایه‌های سازند آهکی آسماری واقع شده است. این تاقدیس از نوع دبل پلانژ و دارای امتداد محوری شمال غربی–جنوب شرقی هم راستا با چین‌خوردگی کلی زاگرس است. لایه‌های یال جنوب غربی که اثر روی آن قرار گرفته تقریباً به صورت قائم است (مهدی‌آبادی، ۱۳۷۶).

تنگهٔ میان‌کل در حقیقت محل عبور یک گسل عمدهٔ راست‌گرد است. خردشدگی در دو سوی تنگه موجب تشکیل زمین‌لغزه‌هایی به صورت پلکانی به‌ویژه در سمت غرب تنگه گردیده است که علاوه بر هوازدگی فیزیکی شدید شرایط بسیار مساعدی را جهت عملکرد عوامل هوازدگی شیمیایی به وجود آورده است. قرارگرفتن رودخانهٔ اروند در مسیر این شکستگی و عبور آن از تنگه میان‌کل موجب افزایش میزان رطوبت و تشدید هوازدگی شیمیایی گشته است (مهدی‌آبادی، ۱۳۷۶: ۱۰۱).

## ٦. مواد و روش‌ها

در این پژوهش از روش مطالعهٔ کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی استفاده شده است؛ روش کتابخانه‌ای: مطالعهٔ نقشه زمین‌شناسی و مقالات بود که به منظور شناخت بیش‌تر اثر به لحاظ باستان‌شناسی و آسیب‌شناسی و اقلیم به داده‌های کتابخانه‌ای شامل مقالات و کتاب‌های مرتبط و سایت هواشناسی مراجعه شد و سپس داده‌ها با هم دیگر تطبیق داده شد. روش میدانی: در این روش شناسایی عینی و عکس‌برداری و درزه‌نگاری از نقش‌برجسته به عمل آمده است. روش آزمایشگاهی: تهیهٔ نمونه از لایه‌های زمین‌شناسیِ نزدیک اثر، جهت انجام انواع آزمایش‌های آزمایشگاهی. در نهایت، تحلیل‌ها انجام و نتایج استخراج شدند.

### ٦-۱. نمونه‌برداری

با توجه به محدودیت‌های نمونه‌برداری مستقیم از سنگ‌نگارهٔ تاریخی آنوبانی‌نی به دلیل ملاحظات حفاظتی و ارزش باستانی اثر، رویکرد جایگزینی برای مطالعهٔ سنگ‌شناسی این اثر اتخاذ شد. سنگ‌نگارهٔ آنوبانی‌نی در منطقهٔ سرپل ذهاب، کرمانشاه، بر روی سنگ‌های متعلق به سازند آسماری است. مطالعات زمین‌شناسی نشان می‌دهند که در فاصلهٔ نزدیک از اثر، تغییرات قابل‌توجهی در ترکیب شیمیایی سنگ‌های یک سازند رخ نمی‌دهد؛ بنابراین، به منظور انتخاب نمونه‌های معرف از سازند میزبان، نمونه‌برداری از سنگ‌های اطراف اثر در فاصله‌ای مناسب انجام شد. در این راستا، نقاطی برای نمونه‌برداری انتخاب شدند که کم‌ترین میزان هوازدگی و تخریب فیزیکی– شیمیایی را نشان می‌دادند تا نمونه‌ها بتوانند به خوبی معرف ترکیب اولیهٔ سنگ‌های سازند باشند. دو نمونه در فاصلهٔ حدود بیست‌متری اطراف سنگ‌نگاره برداشت شد. بر روی این دو نمونه مطالعات پتروگرافی (تهیهٔ مقاطع نازک) آنالیز پراش اشعهٔ ایکس

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

(XRD) به منظور شناسایی فازهای کانی‌شناسی و آنالیز فلورسانس اشعهٔ ایکس (XRF) جهت تعیین ترکیب شیمیایی عنصری انجام شد. نمونه‌ها با دقت کدگذاری و موقعیت‌یابی جغرافیایی شده و برای انجام آنالیزهای آزمایشگاهی به مرکز مربوطه ارسال گردیدند.آزمایش‌های سنگ‌شناسی و XRD و XRF روی نمونه‌ها در آزمایشگاهِ گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان و پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار پژوهشگاه میراث‌فرهنگی صورت گرفت.

### ٦-٢. مطالعات آزمایشگاهی

#### ٦-٢-١. پتروگرافی

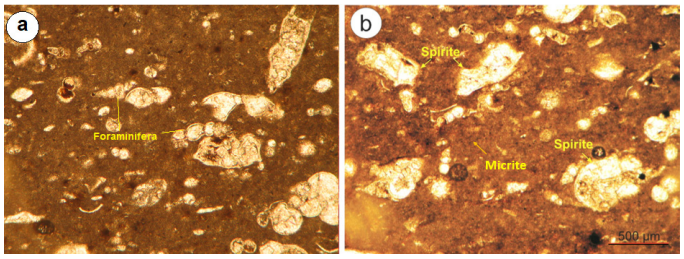
مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه‌شده از لایه‌های زمین‌شناسی صخره‌های اثر، در گروه زمین‌شناسی دانشگاه بوعلی سینای همدان در زیر میکروسکوپ نوری با بزرگ‌نمایی ۴۰ برابر و نور سادهٔ پلاریزه (ppl 40) مورد مطالعه قرار گرفتند.

#### ٦-٢-٣. آنالیز XRF

بخشی از سنگ نمونه پودر شد و برای آزمایش‌های XRF مورد استفاده قرار گرفت. برای طیف‌سنجی از دستگاه طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس مدل ۸۴۲۰ از کمپانی ARL استفاده شده است و نرم‌افزار مورداستفاده برای آنالیز نمونه‌های مجهول، UniQuant است. نتایج به صورت نیمه‌کمی می‌باشند. جهت اندازه‌گیری افت حرارتی (LOI)، نمونه به مدت یک ساعت در دمای ۱۰۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد قرار داده شد.

## ۷. نتایج پتروگرافی

پتروگرافی سنگ یک عامل ذاتی مهم است که بر پتانسیل هوازدگی سنگ‌ها تأثیر می‌گذارد. حتی در شرایط آب‌وهوایی مشابه، سنگ‌هایی با پتروگرافی متفاوت درجات متفاوتی از هوازدگی را نشان می‌دهند؛ بنابراین، پتروگرافی سنگ‌ها به صورت دقیق مورد مطالعه قرار گرفت. مقاطع میکروسکوپی تهیه‌شده از لایهٔ زمین‌شناسی نقش‌برجسته، پس از تهیهٔ مقطع با میکروسکوپ نوری و با بزرگ‌نمایی ۴ برابر، نشان داد که سنگ زمینهٔ نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی بایوکلاست پک استون (بر اساس طبقه‌بندی دانهام ۱۹۶۲) معادل بایو میکرایت (بر اساس طبقه‌بندی فولک ۱۹۶۲) است. ذرات تشکیل‌دهندهٔ اصلی ذرات اسکلتی زیستی هستند که اغلب آن‌ها مربوط به مرجان‌ها و قطعات اسکلتی فرامیفرهای کف‌زی بنتیک (Benthic Foraminfera)، میلیولیدها (Miliolids) جلبک‌ها (Alges) خارپوستان (Horseradish) (شکل ۶) می‌باشند و مربوط به دوران سوم زمین‌شناسی‌اند و دارای تنوع زیستی هستند که باعث تنوع اشکال انحلالی شده و در مراحل بعدی سنگ‌شدگی به‌وسیلهٔ سیمان اسپارایتی (موزائیکی) پر شده است. از خصوصیات این سنگ، سیمانی‌شدن است که در چند مرحله صورت‌گرفته است. در مرحلهٔ اول انحلال بین ذرات اسکلتی سبب ایجاد تخلخل شده و سپس عمل سیمانی‌شدن صورت‌گرفته و در مرحلهٔ بعد، تحت‌تأثیر شکستگی، تخلخل ثانویهٔ دیگری حاصل شده که کل سیمان و ذرات اولیه را قطع نموده و مجدداً عمل سیمانی‌شدن صورت گرفته است که تمام تخلخل موجود را سیمان اسپارایتی پر نموده است. تخلخل بین‌دانه‌ای بین ۳ تا ۵٪ است. به دلیل حضور مرجان‌ها، در سنگ حفره‌های بسیار کوچک وجود دارد. مقاطع با محلول آلیزارین آغشته شدند و مشخص گردید که سنگ‌آهکی زمینهٔ اثر دولومیتی نشده و کلسیتی است.




**شکل ٦.** مقطع میکروسکوپی، اسپارایت و میکرایت؛ نور ppl x40 (b) مقطع میکروسکوپی دارای قطعات فسیلی، نور ppl x 40 (a)

**Figure 6.** Thin Microscopic section, Sparite or Calcite Sparay cemen & Micrite 50x magnification of PPL (b) & Thin Microscopic section of fossil parts,, 40x magnification of pp (a)

## ۸. درزه‌نگاری

نمودار گل‌سرخی؛ نموداری شبیه به گل سرخ است که در آن راستای ناپیوستگی‌ها شامل لایه‌بندی، گسل، درزه و یا هر ساختار صفحه‌ای دیگر را به صورت قطاع‌های دایره در گستره ۳۶۰ درجه بر اساس آزیموت (زاویه نسبت به شمال در جهت عقربه‌های ساعت) ارائه می‌شود. میزان فراوانی این ساختارها بر اساس طول این قطاع‌ها که از مرکز دایره به سمت لبهٔ آن افزایش می‌یابد، ارائه می‌گردد. بدیهی است که در این نمودار، ساختارهای مورد مطالعه تنها به لحاظ تفاوت در آزیموت خود رده‌بندی شده و میزان شیب این ساختارها، تأثیری در شکل نمودار گل‌سرخی ندارد.

نمودار کانتوری؛ نموداری است به شکل دایره که معرف نیمکرهٔ پایین و یا نیمکرهٔ بالای کره استریونت بوده و در آن خطوط تراز مربوط به فراوانی قطب صفحات ناپیوستگی مورد مطالعه نمایش داده می‌شود. هر یک از این قطب‌ها بیانگر جهت‌گیری فضایی و میزان و جهت شیب ساختار ناپیوستگی است که به شکل ناحیه‌هایی روی دایره به نمایش درمی‌آید. هر ناحیهٔ مشخص روی این نمودار با توجه به تراکم نقاط تشکیل‌دهندهٔ خود، نمایانگر فراوانی یک دسته ناپیوستگی، با جهت‌گیری فضایی و شیب مشابه است.

### ۸-۱. تفسیر نمودار

#### ۸-۱-۱. لایه‌بندی Bending

این ناپیوستگی با راستای کلی شمال غربی- جنوب شرقی (آزیموت ۱۵۰-۱۴۰ درجه) بیش‌ترین فراوانی را در راستاهای مشخص‌شده در این نمودار دارد. ساختارهای مربوط به این دسته، دارای شیب بسیار زیاد (۹۰-۸۰ درجه) بوده و

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

سمت شیب آن‌ها به سمت جنوب غرب است. ساختارهای مربوط به این دسته به لحاظ جهت‌گیری فضایی، یکنواخت بوده و تقریباً تمامی آن‌ها دارای آزیموت، شیب و سمت شیب یکسان هستند.

### ۸-۱-۲. ناپیوستگی J1

ساختارهای مربوط به این ناپیوستگی دارای راستای شمال شرقی- جنوب غربی (آزیموت ۵۰-۴۰ درجه) بوده و به لحاظ فراوانی نسبی در دستهٔ دوم فراوانی در این نمودار قرار می‌گیرد. ساختارهای مربوط به این راستا دارای شیب بسیار کم (۱۵-۲۵ درجه) بوده و سمت شیب آن‌ها به سمت شمال غرب است. ناپیوستگی‌های این دسته نیز یکنواخت بوده و تقریباً تمامی ساختارهای اندازه‌گیری‌شدهٔ آن دارای جهت‌گیری فضایی نزدیک به هم هستند.

### ۸-۱-۳. ناپیوستگی J2

این ساختارها دارای راستای شمال شرقی- جنوب غربی بوده و تقریباً در محدودهٔ آزیموت ۳۰-۷۰ درجه، جای می‌گیرند. ساختارهای این دسته نیز دارای شیب متوسط در حدود ۷۵-۶۵ درجه و به سمت شمال غرب هستند. این ساختارها به لحاظ جهت‌گیری فضایی غیریکنواخت بوده و به‌خصوص در مورد آزیموت، در یک گسترهٔ ۴۰ درجه‌ای قرار می‌گیرند.

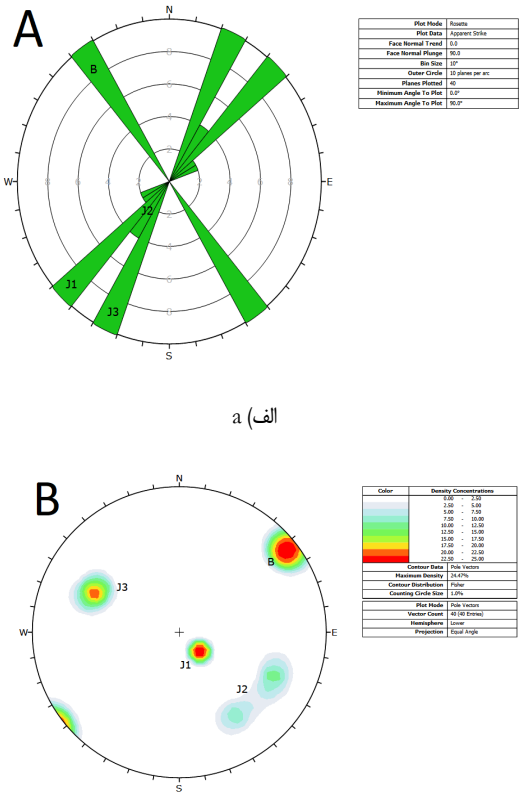
### ۸-۱-٤. ناپیوستگی J3

ساختارهای مربوط به این دسته دارای راستای کلی شمال شرقی-جنوب غربی (آزیموت ۲۰-۳۰ درجه) بوده و شیب عمومی آن‌ها به سمت جنوب شرق است. این ساختارها دارای شیب متوسط به میزان حدوداً ۶۰ - ۷۰ درجه هستند. ساختارهای این دسته نیز به لحاظ جهت‌گیری فضایی، یکنواخت بوده و تنوع زیادی در آزیموت و شیب ندارند.

## ۹. نتایج XRD

پراش اشعهٔ ایکس تکنیکی است که به منظور شناسایی کانی‌های موجود در سنگ‌های بلورین استفاده می‌شود. از این تکنیک ارزان، سریع و قابل‌اعتماد برای مطالعهٔ دیگر مواد باستانی از جمله فلزات، سرباره، سرامیک، خاک، سنگ‌های ساختمانی، رنگ‌دانه‌ها، گچ‌ها و غیره است.

با توجه به این‌که سنگ زمینهٔ نقش‌برجسته متعلق به واحد آهکی سازند آسماری است، فاز غالب در این نمونه‌ها کلسیت شناسایی شد (جدول ۲، شکل ۸)




**شکل ۷.** الف) نمودار گل‌سرخی ، ب) نمودار کانتوری از درزه‌نگاری صخره‌های نقش‌برجسته آنوبانی‌نی (مهدی‌آبادی، ۱۴۰۴)

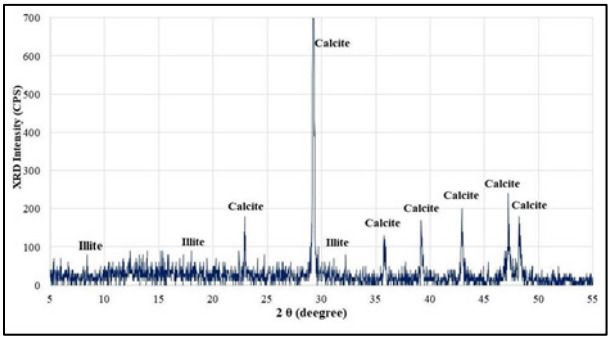
**Figure 7.** A. Rose Diagram and B. Contour Plot of Joint Mapping on the Rocks of Anubanini's Rock Relief (Mehdi Abadi, 2025)

**جدول ۲.** فازهای شناسایی شده در نمونه‌های ۱ و ۲

**Table 2.** Phases identified in sample MM1 & MM2

| Visible | Ref. Code | Score | Compound Name | Displacement [°2Th.] | Scale Factor | Chemical Formula |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **MM1** | 01-088-1809 | 35 | Calcium Carbonat | 0.000 | 0.801 | Ca (C O3) |
| **MM2** | 01-072-1937 | 36 | Calcium Carbonat | 0.000 | 0.674 | Ca C O3 |

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026




**شکل ۸.** گراف XRD، نمونه MM1 و MM2

**Figure 8.** XRD Graph of Sample

## ۱۰. نتایج آزمایش XRF

نتایج آنالیز نمونه‌های برداشت‌شده از این نقش‌برجسته آهکی، حاکی از خلوص بالای کربنات کلسیم است. علاوه بر کلسیم، این سنگ‌آهک حاوی حدود ۱/۸ ٪ سیلیس بوده و غلظت سایر عناصر در آن کمتر از ۱ ٪ است (جدول ۳).

**جدول ۳.** نتایج آنالیز به روش **XRF** نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی

**Table 3.** Results of XRF analysis of the Anubani relief

| Stone 02 | Stone 01 | Sample |
|---|---|---|
| $SiO_2$ | 1.9 | 1.7 |
| $Al_2O_3$ | 0.51 | 0.5 |
| MgO | 0.83 | 0.83 |
| $Na_2O$ | 0.052 | 0.027 |
| $K_2O$ | 0.011 | 0.01 |
| CaO | 54.4 | 54.8 |
| $Fe_2O_3$ | 0.34 | 0.32 |
| $TiO_2$ | 0.035 | 0.033 |
| Cl | 0.011 | 0.011 |
| $SO_3$ | 0.21 | 0.27 |
| $P_2O_5$ | 0.075 | 0.073 |
| LOI | 41.51 | 14.2 |

## ۱۱. یافته‌ها

### ۱۱-۱. آسیب‌نگاری نقش‌برجسته آنوبانی‌نی بر اساس شناسایی عینی

در بررسی عینی و میدانی اولین آسیب‌هایی که در این نقش‌برجسته نمایان است، وجود سه درزه (Joint) است که یکی از آن‌ها از بین الهه و شاه و دو اسیر انتهای سمت چپ می‌گذرد (J2). درزهٔ دوم (J1) از کمر اول اسیر پشت سر الهه و بخشی از کتیبهٔ میخی و اسیر اول و دوم زیر پای شاه می‌گذرد. درزهٔ سوم (J3) در پایین نقش اسیران و انتهای سمت چپ کتیبه می‌گذرد. بخش دوم آسیب‌ها به صورت حفره‌های ریز و درشتی است که سطح نقش‌برجسته را دربرگرفته و به آن آسیب رسانده است. وجود رسوب و رشد گل‌سنگ در بخش‌هایی از نقش به‌خصوص در محل ریزش آب باران، مشاهده می‌شود. در آخر آسیب‌های انسانی به دلیل اصابت گلوله، بخشی از اثر را تخریب نموده است (مهدی‌آبادی، تابستان ۱۳۹۱: ۹۶). (شکل ۹ و ۱۰).

**شکل ۹.** نمونه‌های آسیب‌های عینی در نقش‌برجسته

**Figure 9.** Samples of Visible Damages on the Rock Relief

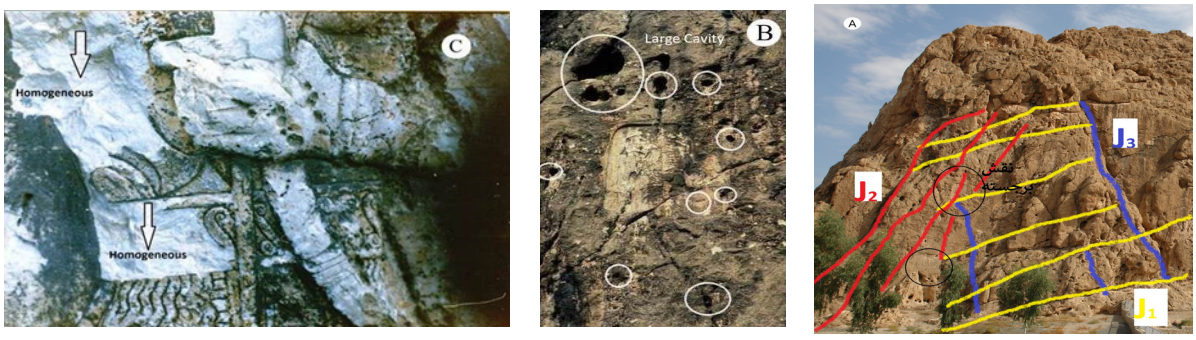
**شکل ۱۰.** گل‌سنگ‌های موجود در سطح نقش‌برجسته

**Figure 10.** Lichens on the Surface of the Rock Relief

## ۱۲. تحلیل داده‌های XRD و XRF و مقاطع نازک میکروسکوپی

داده‌های XRD اطلاعات مربوط به کانی‌شناسی و نوع ترکیب معدنی را نشان می‌دهند در حالی که داده‌های XRF ترکیب شیمیایی سنگ‌ها را ارائه می‌کند. ترکیب بالای CaO و LOI در XRF تأیید می‌کند که سنگ‌ها آهکی هستند که با XRD همخوانی دارد. حضور فسیل‌های مرجانی و جلبک‌های آهکی در مقاطع میکروسکوپی تأیید می‌کند که ترکیب سنگ‌ها بیش‌تر شامل کربنات‌ها است که در XRF نیز دیده شد. سیمانی‌شدن مکرر در مقاطع میکروسکوپی مشاهده شده است.

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026




الف) a ب) b ج) c

**شکل ۱۱.** درزه‌های تکتونیکی، حفره‌های انحلالی و حفرهٔ گلوله در سنگ زمینهٔ نقش‌برجسته: الف) درزه‌های تکتونیکی، ب) حفره‌های انحلالی و ج) عدم وجود حفره در محل اصابت گلوله

**Figure 11.** Tectonic joints, dissolution cavities, and bullet holes in the bedrock of the relief: a) Tectonic joints, b) dissolution cavities and c) No holes at the site of the bullet impact

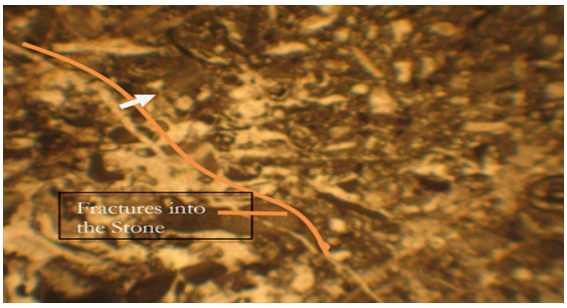
## ۱۳. بحث در نتایج یافته‌ها

از نظر زمین‌شناختی، بررسی میدانی نشان می‌دهد که دو نوع گسیختگی در سنگ‌های اطراف اثر دیده می‌شود؛ اول: درزهای تکتونیکی و ترک‌ها (شکل ۱۱) و دوم: حفره‌های بزرگ، متوسط و بسیار ریز با قطر ۱۰ سانتی‌متر تا حد ۰.۵ میلی‌متر که حاصل انحلال شیمیایی هستند.

بر اساس مطالعهٔ ناپیوستگی‌های تودهٔ سنگ پیرامون اثر، سه دسته درزه (J1, J2, J3) و لایه‌بندی مشاهده می‌شود. شیب لایه‌بندی نزدیک به قائم و به سوی جنوب غرب است. دستهٔ درزه (J1) از نوع کششی و امتداد آن عمود بر محور چین بوده و شیب آن ملایم و به سمت شمال غرب است. دسته درزه‌های (J2, J3) از نوع برشی هستند و شیب آن‌ها نسبتاً تند و به ترتیب به سمت شمال غرب و جنوب شرق است. به‌طورکلی ناپیوستگی‌های تودهٔ سنگ موردمطالعه بر اساس رده‌بندی براون (Brown, E.T, 1986.) دارای بازشدگی در ردهٔ باز تا خیلی باز، فاصله داری دور تا بسیار دور و پیوستگی متوسط تا زیاد، فاقد پرشدگی و سطحی زبر هستند. این شرایط ناپیوستگی‌ها سبب می‌شود که جریان حاصل از بارش از فاصلهٔ بین لایه‌بندی وارد تودهٔ سنگ شده و از دستهٔ درزه‌ها خارج و سطوح ناپیوستگی را دچار انحلال نماید.

از نظر زمین‌شناسی، حضور ریزترک‌ها در مقاطع نازک میکروسکوپی حاکی از آن است که این توده‌سنگ تحت تأثیر فرایندهای تکتونیکی قرار گرفته و شکستگی‌هایی را در چند جهت در خود دارد که در مقیاس میکروسکوپی و ماکروسکوپی باعث ناپایداری سنگ در مقابل تخریب فیزیکی و انحلال شده است (شکل ۱۲). سیمانی‌شدن مجدد که در مقاطع میکروسکوپی مشاهده‌شده، به دلیل فرایندهای دیاژنزی است.

انحلال‌پذیری سنگ فرایندی است که طی آن کانی‌های محلول مانند کلسیت (کربنات کلسیم) با نفوذ و جریان آب حل‌شده، به صورت یون‌های محلول حمل می‌گردند و تخلخل ثانویه ایجاد می‌کنند. در سنگ‌های کربناته، خلوص بالاتر و درصد بیشتر (CaO و کمتر MgO) انحلال‌پذیری را افزایش می‌دهد. عوامل اصلی مؤثر بر انحلال عبارت‌اند از: ناپیوستگی‌ها و شکستگی‌های تکتونیکی که جریان آب را تسهیل و انحلال را در جهت‌های عمودی و افقی گسترش می‌دهند؛ مواد پرکننده ناپیوستگی‌ها؛ ترکیب شیمیایی آب (حضور گاز $CO_2$ حلالیت کلسیت را تا ۳۰ برابر آب خالص افزایش می‌دهد و دما (انحلال در آب سرد به دلیل حلالیت بیشتر $CO_2$ و اسیدیته بالاتر، ۴ تا ۶ برابر آب گرم است) (قبادی، ۱۳۸۶: ۱۳۸-۱۴۱).




**شکل ۱۲.** شکستگی‌های داخل سنگ که منجر به نفوذ آب، انحلال و بزرگ‌تر شدن حفره‌ها می‌گردند. نور PPL، بزرگ‌نمایی ۴۰ برابر

**Figure 12.** Intra-Stone Fractures Leading to Water Infiltration, Dissolution, and Cavity Enlargement. PPL Light, 40x Magnification

فرآیند انحلال کارستی با نفوذ آب از طریق شکستگی‌ها آغاز می‌شود. این شکستگی‌ها امکان جریان سیالات جوی را فراهم کرده و در نقاط تلاقی خود، افزایش حجم جریان آب را سبب می‌شوند که منجر به گسترش انحلال و بزرگ‌تر شدن حفره‌ها می‌گردد. بزرگ‌شدن حفره‌ها سطح تماس را افزایش داده، سرعت و حجم آب عبوری را بیش‌تر کرده و انحلال را تشدید می‌نماید.

وجود کانی‌های ایلیت و کلسیت (بر اساس نتایج XRD و XRF)، همراه با مشاهدهٔ قطعات فسیلی جانوران دریازی، شکستگی‌های داخلی و تفاوت‌های ترکیب شیمیایی در مقاطع میکروسکوپی، ناهمسان بودن ساختار سنگ را تأیید می‌کند. فسیل‌ها در حضور آب با انحلال اولیه و ایجاد حفره‌های ریز و سپس پیشرفت تخریب، به تشکیل حفره‌های کارستیک کمک می‌نمایند (شکل ۱۳). به‌نظر می‌رسد سنگ زمینهٔ اثر در زمان حجاری تنها دارای درزه‌های کاملاً بسته بوده و فاقد هرگونه بازشدگی انحلالی و حفره بوده است و حفره‌های کنونی سطح نقش‌برجسته پس از حجاری و در نتیجه انحلال شیمیایی ایجاد شده‌اند.

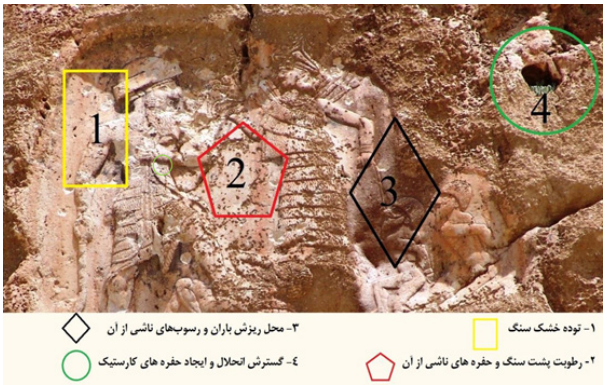
[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

**شکل ۱۳.** گسترش انحلال و ایجاد حفره‌های کارستیک در کنار و روی اثر
**Figure 13.** Expansion of Dissolution and Formation of Karstic Cavities Adjacent to and on the Artifact

با توجه به شرایط اقلیمی منطقه، شامل میانگین بارش سالانه حدود ۵۷۵ میلی‌متر و رطوبت نسبی ۴۳ درصد که هر دو بیانگر حضور مداوم آب به صورت بارندگی و رطوبت محیطی هستند، گسترش حفره‌ها و درزه‌ها از طریق فرآیند انحلال می‌تواند به سرعت انجام گیرد.

حفره‌های انحلالی ایجادشده سبب زبرشدن سطح سنگ و همچنین سطح نقش‌برجسته شده است که این زبری، محیط مناسبی برای ته‌نشینی غبار و ریزگردها فراهم کرده و در حضور رطوبت شرایط ایدئالی برای رشد گل‌سنگ‌ها و هوازدگی بیوشیمیایی ایجاد می‌نماید. این فرایند به نوبهٔ خود چرخهٔ انحلال را تشدید می‌کند.

افزایش میزان انحلال در بخش‌هایی از سطح نقش‌برجسته که در مسیر جریان آب باران مشهود است. برای مثال، در ناحیهٔ اسیران پشت الهه، ریزش آب باران از سطح حفره‌ها مشاهده می‌شود و رشد گل‌سنگ‌ها نیز باعث تیرگی بیش‌تر رنگ این بخش نسبت به سایر نقاط کتیبه گردیده است. در مقابل، بر روی ناحیه پا، رد بارش سطحی دیده نمی‌شود، اما وجود حفره‌ها بیانگر حضور رطوبت در سطح سنگ است. در ناحیهٔ دست راست شاه، به‌دلیل وجود برآمدگی اندک در کادر نقش‌برجسته که به صورت آب‌چکان عمل می‌کند، ریزش آب سطحی رخ نداده و حفره‌های کم‌عمق، نشان‌دهندهٔ عدم جریان آب باران در این ناحیه از اثر است (شکل ۱۴).




**شکل ۱۴.** پراکندگی و توزیع آسیب در سطح نقش‌برجسته
**Figure 14.** Spatial Distribution and Pattern of Damage on the Rock Relief Surface

در نواحی اصابت گلوله‌ها که منجر به نمایان‌شدن سنگ زمینه شده و تنها چند دهه از ایجاد آن‌ها می‌گذرد، فرایند انحلال و تخریب ناشی از رشد گل‌سنگ‌ها (مهدی‌آبادی و شاکرمی، تابستان ۱۳۹۱) به‌وضوح بیانگر فعال‌بودن هوازدگی شیمیایی و بیولوژیکی در نقش‌برجسته است (شکل ۱۵).

**شکل ۱۵.** هوازدگی بیوشیمیایی در محل اصابت گلوله‌ها
**Figure 15.** Biochemical Weathering at Bullet Impact Sites

## ۱۴. نتیجه‌گیری

نقش‌برجستهٔ آنوبانی‌نی به لحاظ تاریخی یکی از مهم‌ترین نقش‌برجسته‌های ایران است که آغازگر فرهنگ نوشتار بر صخره‌هاست و تاریخ اسناد نوشتاری ایرانیان را به حدود ۴۲۰۰ سال پیش می‌رساند. از نظر تاریخچهٔ پوشاک در ایران نیز حائز اهمیت است. حفاظت از آن وظیفهٔ ملی و حتی جهانی است؛ زیرا نمونهٔ منحصربه‌فرد از فرهنگ و هنر قومی است که در سپیده‌دم تاریخ ایران حضور داشته و اکنون از بین رفته است. این اثر تأثیر زیادی در نقش‌برجسته‌های دوره‌های هخامنشی و ساسانی داشته است.

بر اساس مطالعات مقاطع میکروسکوپی و همچنین نتایج آزمایش‌های XRD و XRF ، سنگ زمینهٔ نقش‌برجستهٔ آهکی کلسیتی با خلوص بالا است و به دلیل شرایط زمین‌ساخت محل، دارای درزه‌های منظم تکتونیکی است. همچنین به دلیل قطعات فسیلی و سیمان آهکی مختلف (میکرایت و اسپارایت) و تغییرات دما و رطوبت محیط دارای حفره، درزه و ترک‌های پراکنده است.

– آب جوی، به‌صورت بارش و رطوبت موجب انحلال سنگ به‌ویژه در محل تلاقی درزه‌ها و ترک‌ها شده است. آب باران بر روی سطوحی که جاری شده، ایجاد حفره و شیار کرده است. چنان‌که سطح ن.

نقش‌برجسته در مکانی‌هایی که در تماس با آب باران قرار گرفته، دارای حفره‌های ریز و درشت از ۰.۵ میلی‌متر تا چندسانتی متر است. فرایند انحلال نیز سبب بازشدگی درزه‌ها و ترک‌هایی در سطح اثر شده است؛ بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که عامل اصلی گسترش حفره‌ها و ترک‌ها، انحلال است. حفره‌های ایجادشده در اثر انحلال، محلی مناسب جهت ته‌نشست غبار و ریزگرد و خاک است که محلی برای رشد گل‌سنگ‌ها است. گل‌سنگ‌ها با

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

ریشه‌های‌شان اسید آلی تولید و این اسید فرایند انحلال بیوشیمیایی را ایجاد می‌کند که حاصل آن گسترش حفره‌ها است. سطح زبر و ناهموار سنگ نقش‌برجسته ناشی از بارندگی، تغییرات دما و انحلال است. ناحیه‌های تیره‌تر در سطح نقش‌برجسته به دلیل رسوب‌گذاری دوبارهٔ مواد محلول معدنی و تأثیر میکروارگانیسم‌ها ایجاد شده است. تغییرات دما و میزان تابش نور خورشید که در نمودار ساعات آفتابی در سرپل ذهاب ارائه شده است. سبب ایجاد ریزترک‌ها و تخلخل سطحی سنگ علاوه بر تأثیر رطوبت است. این عوامل از مهم‌ترین فرایندهای هوازدگی و تخریب طبیعی هستند که بر سنگ زمینهٔ نقش‌برجسته اثر گذاشته‌اند.

– در پاسخ به پرسش سوم، مقایسهٔ سنگ زمینه در محل اصابت گلوله‌ها و مشاهدهٔ رشد گل‌سنگ و پدیدهٔ انحلال پس از چند دهه، نشان از فعال‌بودن آسیب در اثر هوازدگی بیوشیمیایی (شیمیایی و زیستی) دارد که روند انحلال در سطح اثر را افزایش می‌دهد.

در پایان پیشنهاد می‌شود برای حفاظت بهتر اثر، پایش منظم و استفاده از روش‌های حفاظتی، مانند، هدایت آب‌های سطحی حاصل از بارش به دورتر از سطح اثر، و پاک‌سازی سطحی از ریزگردها برای جلوگیری از رشد گل‌سنگ‌ها انجام پذیرد.

**سپاسگزاری:** از زحمات جناب آقای بهمن ساعدی دکتری زمین‌شناسی که در درزه‌نگاری یاری نمودند، سپاسگزاریم. از جناب آقای دکتر امین‌الله کمالی دکتری زمین‌شناسی برای تفسیر XRD و راهنمایی در بهبود ارائهٔ مقاله قدردانی می‌شود.

**مشارکت نویسندگان:** مقاله توسط دو نویسنده نوشته شده است؛ بنابراین تمام امتیاز متعلق به همان نویسندگان است. ایده‌پردازی، روش‌شناسی و بخشی از تحلیل رسمی و تحقیق و بررسی، مدیریت و تنظیم داده‌ها، نگارش پیش‌نویس اولیه، بازبینی و بخشی از ویرایش متن، تصویرسازی داده‌ها بر عهدهٔ نویسندهٔ اول، ملیحه مهدی‌آبادی، بوده است. نمونه‌برداری و بخش دیگری از تحلیل رسمی به‌خصوص تحلیل داده‌های زمین‌شناسی و بازبینی و ویرایش متن توسط نویسندهٔ دوم، ناصر مهدی‌آبادی، انجام شده است. تمام نویسندگان نسخهٔ منتشرشدهٔ مقاله را مطالعه کرده و با آن موافقت نموده‌اند.

**تأمین مالی:** این مقاله با هزینهٔ شخصی نگارندگان انجام شده و حمایت مالی سازمان یا شخص را نداشته است.

**تضاد منافع:** تمام نمونه‌ها به درخواست نگارندگان انجام‌گرفته است و از سازمان خاصی کمک گرفته نشده است.

**دسترسی به داده‌ها و مواد:** مجموعه‌داده‌های مور استفاده و یا تحلیل‌شده در طول پژوهش حاضر از طریق درخواست منطقی از نویسندهٔ مسئول قابل‌دسترسی هستند.

## References

Abdollahpour Sepahi, N. (2024). The evolution of clothing from Anubanini Relief in Sarpol-e-Zahab (2000 BC( to Darius Rock Relief in Mount Bisotoun (first half millennium BC). Bunyān-i hunar; justārhā-yi mūzah/dārī, marimmat, bāstānshināsī va tārīkh-i hunar (Foundation of Art; Studies of Museums, Conservation, Archeology and Art History(, 2(2(, 81–102. [In Persian]

Āb-e Mantagheh-ye Gharb-e Keshvar. (1997). Report on the survey of the Piran River (pp. 16–24). [In Persian]

Askari Chaverdi, A., Callieri, P., Laurenzi Tabasso, M., & Lazzarini, L. (2016). The archaeological site of Persepolis (Iran): Study of the finishing technique of the bas-reliefs and architectural surfaces. Archaeometry, 58(1(, 17–34. https://doi.org/10.1111/arcm.12153.

Dandamaev, M. (1973). Iran during the early Achaemenid kings (R. Arbab, Trans., 1st ed.). Tehran: Institute for Transla-tion and Publication of Books. [In Persian]

De Morgan, J. (1895). Mission scientifique, Perse, par Tome, Second, études geografiques. Paris: Ernest Leroux.

Edzard, D. O. (1973). Zwei Inschriften am Felsen von Sar-i-Pūl-i-Zohāb: Anubanini 1 und 2. AfO, 24, 77–79.

Emami, M. A., Eslami, M., Fadaei, H., & Neyestani, J. (2018). Mineralogical-geochemical characterization and prove-nance of the stones used at the Pasargadae complex in Iran: A new perspective. Journal of Archaeological Science: Re-ports, 19, 648–661.

Flandin, C., & Coste, P. (1851). Voyage en Perse. Paris: Ernest Leroux.

Folk, R. C. (1980). Sedimentary petrology. Texas: Hemphill Publishing Co.

Geological Survey & Mineral Exploration of Iran. Kermanshah province quadrangle map. Retrieved from www.si.ir

Ghobadi, M. H. (1989). Karst engineering geology. Hamedan: Bu-Ali Sina University Press. [In Persian]

Heidari, M., Torabi-Kaveh, M., & et al. (2017). Application of fuzzy inference system for determining weathering degree of some monument stones in Iran's cultural heritage. Cultural Heritage, 25, 41–55.

Heruda, B. (1997). Rock reliefs of Iran: Sarpol-e Zahab, reliefs 1–4 (F. Najd Samiei, Trans., Unpublished translation). Translated upon request of the author. [In Persian]

Herzfeld, E. (1920). Am Tor von Asien: Felsdenkmale aus Irans Heldenzeit. Berlin: Dietrich Reimer.

Herzfeld, E. (1935). Archaeological history of Iran. London.

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

Herzfeld, E. (1941). Iran in the ancient East. Oxford.

Herzfeld, E. (1947). Zoroaster and his world (Vols. 1–2). Princeton.

Hrouda, B. (1976). Iranische Denkmäler: Lieferung 7 enthaltend Reihe II: Iranische Felsreliefs C: Sarpol-i Zohab. Berlin: Dietrich Reimer Verlag.

Kasiri, M. B., Shahrsabzi, S., Emami, M., & Razani, M. (2020). Provenance of the stones used in plinths of the Achaeme-nid palaces of Borazjan, south-western Iran. Journal of Archaeological Science: Reports, 29, 102139. https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2019.102139

Kermanshah Meteorological Organization. Retrieved from http://www.kermanshahmet.ir

Malekzadeh, F. (1968). The history and art of the Gutians and Lullubi (Ancient tribes of western Iran). Historical Studies Journal, 1968(18), 1–30. [In Persian]

Mehdiabadi, M. (1996). Pathology of major rock reliefs of Kermanshah and proposed conservation solutions. Tehran: University of Tehran, Faculty of Art. [In Persian]

Mehdiabadi, M. (2012). Comparative evaluation of the proposed reconstructions of the Anubanini relief in Sarpol-e Zahab. Asar Journal, 59. [In Persian]

Mehdiabadi, M., & Amir Shahkarami, S. A. (2012). Identification and analysis of the deterioration mechanisms of the Anubanini rock relief with emphasis on human-induced damages. Asar Journal, 57, 95–110. [In Persian]

Nejad, M. R., Nadooshan, F. K., Khazaie, M. P., & Masjedi, P. (2012). An archaeometrical analysis of the column bases from Hegmatâneh to ascertain their source of provenance. Interdisciplinaria Archaeologica: Natural Sciences in Ar-chaeology, 3(2(, 197–203.

Niknami, K., & Mirghader, M. A. (2018). 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 [In Persian]

Prada, E. (2004). Ancient art of Iran (Pre-Islamic civilizations( (Y. Majidzadeh, Trans., 2nd ed.). Tehran: University of Tehran Press. [In Persian]

Ramzadan, S. Z. (2023). Influences of the arts of the ancient Near East in the Behistun inscription (King Darius I, 522–486 BC). JCOART, University of Baghdad. [In Arabic]

Rawlinson, M. (1839). Notes on a march from Zohab, at the foot of Zagros, along the mountains to Khuzistan (Susi-ana(, and from thence through the province of Luristan to Kirmanshah, in the year 1836. Journal of the Royal Geograph-ical Society of London, 9, 26–116.

Ridolfi, S. (2019). The finishing technique of the stone monuments of Persepolis: Further studies and new findings through the use of non-destructive analytical techniques. Archaeometry, 61 (2(, 272–281. https://doi.org/10.1111/arcm.12417

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(14). https://doi.org/10.1186/s40494-020-0361-z

Van den Berg, L. (1958). Ancient archaeology of Iran (I. Behnam, Trans.). Tehran: University of Tehran Publishing. [In Persian].

Brown, E.T., 1986. Rock Characterization, testing and monitoring. ISRM suggested methods, Pergamon Press, 211 PP.

آب منطقه غرب کشور. (۱۳۷۶). گزارش بررسی رودخانه پیران. ۲۴-۱۶.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران. نقشه چهارضلعی استان کرمانشاه. برگرفته از سایت: www.si.ir

سازمان هواشناسی کرمانشاه. برگرفته از سایت: http://www.kermanshahmet.ir

داندامایف، محمد. (۱۳۹۷). ایران در دوران نخستین پادشاهان هخامنشی. ترجمهٔ روحی ارباب. تهران: مؤسسه ترجمه و نشر کتاب. چاپ اول.

عبدالله‌پور سپاهی، نوشین. (۱۴۰۳). سیر تکامل پوشش و لباس از سنگ نگارهٔ آنوبانینی (۲۰۰۰ پ.م) در سرپل ذهاب تا یادمان صخره‌ای داریوش (نیمهٔ هزارهٔ نخست پ.م) در بیستون. بنیان هنر؛ جستارهای موزه‌داری، مرمت، باستان‌شناسی و تاریخ هنر. ۲(۲): ۱۰۲-۸۱.

قبادی، محمدحسین. (۱۳۸۸). زمین‌شناسی مهندسی کارست. همدان: انتشارات دانشگاه بوعلی سینا.

ملک‌زاده، فرخ. (۱۳۴۷). بررسی تاریخ و هنر گوتیان و لولوبیان (اقوام باستانی غرب ایران). نشریه بررسی‌های تاریخی، (۱۸): ۱-۳۰.

مهدی‌آبادی، ملیحه. (۱۳۷۶). آسیب‌شناسی مهم‌ترین نقش‌برجسته‌های کرمانشاه و پیشنهاد راهکارهای حفاظتی. تهران: دانشگاه تهران، دانشکدهٔ هنر و معماری.

مهدی‌آبادی، ملیحه. (۱۳۹۱). مقایسه و ارزیابی طرح‌های ارائه شده از نقش‌برجستهٔ آنوبانینی در سر پل ذهاب. نشریه اثر، (۵۹): ۶۶-۸۸.

مهدی‌آبادی، ملیحه و امیر شاهکرمی، سید عبدالعظیم (۱۳۹۱). شناسایی و تحلیل سازوکارهای تخریب نقش برجسته آنوبانینی با تأکید بر آسیب‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی. مجله اثر، (۵۷): ۹۵-۱۱۰.

انتشارات دانشگاه تهران.
هرودا، ب. (۱۹۹۷). نقش برجسته‌های سنگی ایران: سرپل ذهاب، نقش برجسته‌های ۴-۱ (ترجمه فرامرز نجد سمیعی، منتشر نشده). ترجمه بنا به درخواست نویسنده.
ویلکینسون، چارلز و رابرت دایسون و ایدت پرادا. (۱۳۹۲). هنر ایران باستان (تمدن‌های پیش از اسلام). ترجمهٔ یوسف مجیدزاده. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
نیکنامی، کمال‌الدین و میرقادری، محمد امین. (۱۳۹۷). سرنخ های جدیدی از رویدادهای تاریخی در سرپل ذهاب در اواخر هزارهٔ سوم پ.م با نگاهی به نقش برجسته آنوبانی نی مطالعات ایرانی، ۸(۲): ۱۲۷-۱۴۵. https://doi.org/10.22059/jis.2019.71438
وندن برگ، لوئی. (۱۳۹۸). باستان‌شناسی ایران باستان. ترجمهٔ عیسی بهنام. تهران:

[ DOI: 10.66224/jra.2025.11.205 ]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 0:13 +0330 on Sunday November 15th 2026

M. & Mahdiabadi, N. Mahdiabadi (2025). Characterization of the Anubanini Rock Relief Sar-pole-e Zahab, Kermanshah Province, *Journal of research on Archaeometry, 11*(2), 11205. DOI: 10.66224/jra.2025.11.205