Study of Conservation and Restoration of Sassanid Reliefs of Bahram II in Naqsh-e Rostam

Mostafa Rakhshandeh [1], Hamid Fadaei [2], Masoud Ansari [3], Leila Razavi [4]*

1*. MA of Conservation and Restoration of Historical Building, Naqshe- Rostam Historical Site, Iran

2. Assistant Professor, Research Centre for Conservation and Restoration of Cultural Relics, Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Tehran-Iran.

3. MA of Conservation and Restoration of Historical and Cultural Objects, Naqshe- Rostam Historical Site, Iran

4. BA of Conservation and Restoration of Historical Building, Persepolis World Heritage Site, Iran

Abstract

The Sassanian bas-reliefs are among the most significant historical artifacts of ancient Iran, primarily found in the province of Fars. Approximately 30 Sassanian bas-reliefs exist in Fars, depicting scenes related to power demonstrations, court proceedings, and battles or hunting scenes. Unfortunately, many of these bas-reliefs have suffered damage over the years due to their outdoor exposure and the impact of climatic conditions. Depending on the type of stone and their geographical location, they have been gradually eroded. Given their historical importance for Iran's cultural heritage, a comprehensive program involving study, documentation, conservation planning, and restoration is crucial. The Naqsh-e Rostam Relief Complex houses more than 11 bas-reliefs and numerous inscriptions, all situated in open-air environments and vulnerable to environmental factors such as rain, wind, and temperature fluctuations. These elements have contributed to the gradual deterioration of these ancient artworks. The central question addressed by this article pertains to the process of studying, assessing damage, documenting, and planning the conservation of a rock relief. To answer this, a combination of field and laboratory methods has been employed, including petrography, X-ray diffraction (XRD), and X-ray fluorescence (XRF). The results indicate both physical and chemical weathering in the limestone structure, leading to various forms of damage such as erosion, flaking, cracking, and breakage. Therefore, protective and conservation measures for these prominent bas-reliefs should focus on strengthening and preserving their surfaces against deteriorating agents.

Keywords: Bas Relief of Bahram II, Documentation, Pathology, Conservation, Naqsh-e Rostam

Knowledge of Conservation and Restoration

Vol. 6(1) No.15
May 2023

https://kcr.richt.ir

Pages: 2 to 25

Corresponding Author

Mostafa Rakhshandeh

MA of conservation and restoration of historical building, Naqshe- Rostam historical site, Iran

Email
mostafa_rakhshande@yahoo.com

Copyright © 2020,Knowledge of Conservation and Restoration. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0. International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

مستندنگاری، حفاظت و مرمت نقش برجسته ساسانی بهرام دوم در محوطه نقش رستم

مصطفی رخشنده‌خو[1*]، حمید فدایی[2]، مسعود انصاری[3]، لیلا رضوی[4]

۱*. کارشناس ارشد حفاظت و مرمت ابنیه تاریخی، مجموعه تاریخی نقش رستم، مرودشت، شیراز، ایران
۲. استادیار پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی ـ فرهنگی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی ـ فرهنگی، مجموعه تاریخی نقش رستم، مرودشت، شیراز، ایران
۴. کارشناس حفاظت و مرمت ابنیه تاریخی، پایگاه میراث جهانی تخت جمشید، مرودشت، شیراز، ایران

چکیده

نقش برجسته‌های ساسانی از مهمترین آثار تاریخی ایران باستان هستند که محل اصلی نمایش این نوع نقش‌ها استان فارس است. در حدود ۳۰ عدد نقش برجسته ساسانی در استان فارس وجود دارد که موضوع اصلی این نقش برجسته‌ها صحنه‌های القاء قدرت، دیهیم بخشی و یا صحنه‌های جنگ و شکار است. متأسفانه بسیاری از این نقش برجسته‌ها به دلیل این‌که در فضای باز قرار داشته و عموماً تحت تأثیر شرایط اقلیمی می‌باشند، بسته به نوع سنگ مورد نظر و موقعیت مکانی، در طول سالیان، آسیب‌هایی را متحمل شده‌اند. برنامه مطالعه، مستندنگاری، تهیه طرح حفاظت و مرمت این مجموعه نقش برجسته‌ها از نظر تاریخی برای تاریخ و میراث فرهنگی کشور اهمیت بسیار دارد. بالغ بر ۱۱ عدد از این نقش برجسته‌ها و همچنین کتیبه‌های خطی متعددی در مجموعه نقش رستم قرار دارد که همگی در فضای روباز و در معرض تهاجم عوامل محیطی (بارش باران، باد، دما و غیره) قرار دارند و همه این عوامل باعث فرسایش تدریجی این نگاره‌ها گردیده‌اند. پرسش اصلی در این مقاله در زمینه نحوه و روند مطالعات، آسیب‌شناسی، آسیب‌نگاری و اجرای مرمت یک اثر صخره‌ای بوده است. در جهت جوابگویی به مشکلات نقش برجسته بهرام دوم پس از انجام مستندنگاری و آسیب‌نگاری اثر مطالعات بصورت آزمایشگاهی و میدانی به انجام رسید. در همین‌باره مطالعات آزمایشگاهی با مطالعه مشخصات فیزیکی، بررسی‌های پتروگرافی و آزمایشات دستگاهی XRD، XRF همراه بوده است. بر اساس این مطالعات نمونه‌های سنگ به طورکامل از کلسیت با مقادیر کمی منگنوکلسیت تشکیل شده است. وقوع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی در ساختار سنگ آهک به ایجاد اشکال مختلف آسیب همانند تورق، ترک، شکستگی در سطح نقش برجسته بهرام دوم بوده است. همچنین به منظور حل بخشی از مشکلات فرسایشی بر روی نقش برجسته برخی اقدامات اضطراری حفاظت و مرمت با تمرکز بر استحکام‌بخشی و مقاوم نمودن سطح در برابر عوامل فرساینده برنامه‌ریزی و اجرا شد.

واژگان کلیدی: نقش‌برجسته بهرام دوم، مستندنگاری، آسیب‌نگاری، حفاظت و مرمت، نقش رستم

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

سال ششم، شماره ۱

شماره پیاپی ۱۵، بهار ۱۴۰۲

https://kcr.richt.ir

صفحات: ۲ تا ۲۵

نویسنده مسئول

مصطفی رخشنده‌خو

کارشناس ارشد حفاظت و مرمت ابنیه تاریخی، مجموعه تاریخی نقش رستم، مرودشت، شیراز، ایران

رایانامه

mostafa_rakhshande@yahoo.com

مقاله منتخب سیزدهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی – فرهنگی و آرایه‌های معماری

دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

مقدمه

فرسودگی سنگ فرآیند پیچیده‌ای است که که از یک‌سو به تاثیر عواملی متعدد بیرونی مانند مولفه‌های آب و هوایی، نوع و میزان آلاینده‌های هوا، تاثیر عوامل زیستی و از سوی دیگر به خصوصیات درون‌ساختاری سنگ و از جمله ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ بستگی دارد. سنگ‌ها تحت تاثیر عوامل بیرونی و درون ساختاری دچار انواع هوازدگی فیزیکی و شیمیایی خواهند شد (Saba et al, 2018). هوازدگی فیزیکی باعث ایجاد شکستگی‌های مکانیکی در سنگ شده درحالی‌که هوازدگی شیمیایی موجب از هم‌پاشیدگی سنگ در اثر فعل و انفعالات سنگ با مواد شیمیایی می‌گردد (پرویـن, ۱۳۷۵, ص. ۶). به‌علت ساختار ناهمگن در بخش‌های مختلف یک اثر سنگی، کانی‌های متفاوت با خواص متفاوت می‌توان یافت به‌طوری که هر بخش از آن نسبت به عوامل آسیب‌رسان واکنش خاصی نشان می‌دهد. بنابراین آسیب ایجادشده در سنگ می‌تواند حاصل مشارکت چند عامل مخرب باشد که بروز نشانه‌های مشابهی از آسیب و تخریب در سنگ را به دنبال خواهد داشت؛ به‌نحوی‌که معمولاً تشخیص دقیق عامل مخرب اصلی را با مشکل روبرو می‌سازد. در مرحله تشخیص آسیب‌ها از اطلاعاتی استفاده می‌شود که در طی زمان جمع‌آوری خواهند شد (Fitzner, 2014). این اطلاعات اساس تصمیم‌گیری و اجرای برنامه‌های حفاظت خواهند بود. هدف اساسی تشخیص این است که اثر ضمن معرفی، توصیف و تفسیر شده و سرعت تخریب در آن مشخص شود. روش تشخیص شامل آنالیزهای آزمایشگاهی و بررسی‌های میدانی است. اطلاعات مربوط به پیشرفت روند فرسودگی در تشخیص بسیار مهم است.

نقش برجسته بهرام دوم

این سنگ نگاره در زیر آرامگاه داریوش اول قرار دارد و در دو بخش مجزا حجاری شده است و در آن نبرد پیروزمندانه شاهنشاه (احتمالاً بهرام دوم) با دشمنی که هویتش معلوم نیست تصویر گشته است (شکل ۱). در هر دو صحنه شهریارانی اسب‌سوار در نبردگاه در حالتی تصویر شده‌اند که دشمنان خود را نگون‌سار کرده‌اند. کریستین‌سن با تأکید بر نظریه هرتسفلد، این نقش را بهرام دوم معرفی می‌کند (کریستین‌سن، ۱۳۱۴، ص. ۳۲۴). لوکونین این نظریه را تایید می‌کند (لوکونین، ۱۳۵۰، ص. ۲۶)، و فون گال نیز نقش را به بهرام چهارم نسبت می‌دهد (فون گال، ۱۳۷۸، ص. ۴۵). شهبازی نگاره پایینی را به احتمال ولی نگاره بالایی را به قطعیت به بهرام دوم منسوب دانسته است (شاپورشهبازی، ۱۳۹۳، ص. ۲۰۸). او تاریخ این سنگ تراشی را به حدود ۲۸۵ میلادی تخمین زده‌اند (شاپورشهبازی، ۱۳۵۷، ص. ۱۱۶).

نقش پایین از هر لحاظ با نقش فوقانی ارتباط دارد به همین جهت آن را به بهرام انتساب داده‌اند. در این نقش فرمانروایی سواره با نیزه‌ای بلند دشمن را از پای در می‌آورد. لوکونین این نقش را در ادامه نقش پیشین و منسوب به بهرام دوم دانسته است (لوکونین،۱۳۵۰، ص. ۲۶). اشمیت احتمال داده که وی شاهزاده بهرام است که بعد از پدر به مدت چهار ماه به عنوان بهرام سوم بر تخت نشست. تاریخ تراشیدن این نقش درست معلوم نیست. شاید که با جنگ دو جبهه‌ای بهرام دوم مناسبت داشته باشد و آن را به حدود ۲۸۵ میلادی بتوان تخمین زد (شاپورشهبازی، ۱۳۵۷، ص. ۱۱۷). ابعاد و اندازه نقش‌برجسته در جدول ۱ ارایه گردیده است. این اثر، به‌ویژه بخش بالای آن که طی گذار زمان بیشتر در دسترس بوده به‌شدت آسیب دیده است و علت کمتر آسیب دیدن بخش زیرین، مدفون شدن تدریجی نقش در زیر خاک بوده که در سال ۱۹۳۸ میلادی در کاوش‌های موسسه شرق شناسی دانشگاه شیکاگو توسط اریک اشمیت نمایان می‌گردد.

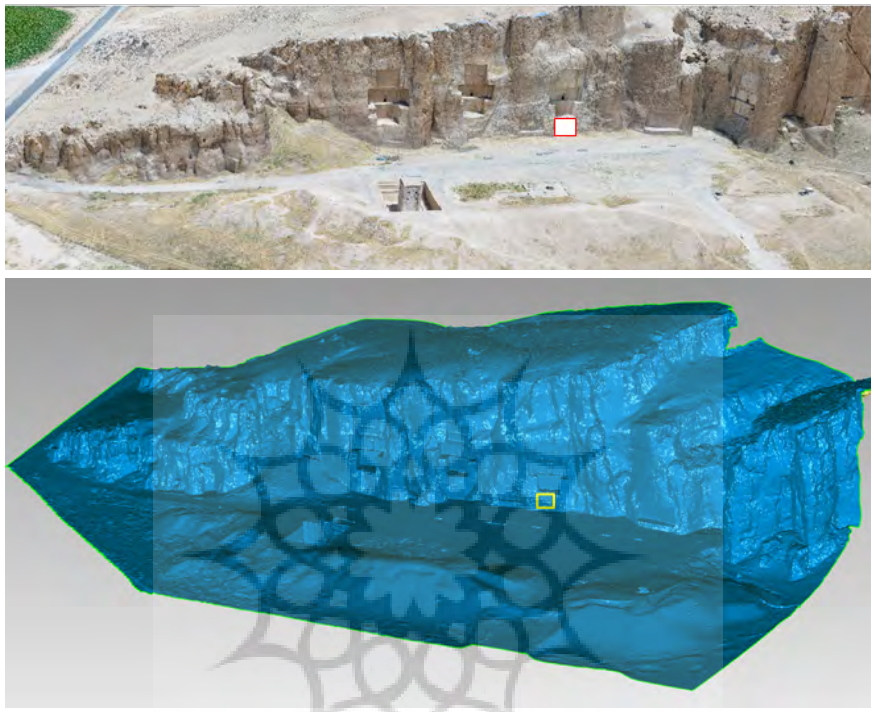
جدول ۱. ابعاد و اندازه نقش برجسته بهرام II

عرض	۵.۶۰ متر
طول	۶.۹۵ متر
عمق نقش برجسته	بین ۳ تا ۲۰ سانتیمتر

مواد و روش‌ها

به عنوان گام نخست قبل از اقدامات حفاظت و مرمت اقدام به مستندنگاری نقش‌برجسته بهرام دوم گردید.

مستندنگاری نقش‌برجسته بهرام دوم با همکاری شرکت نقشه‌برداری فرانگار پیمایش و با استفاده از لیزر اسکنر و فتوگرامتری دیجیتال انجام شد. داده‌های به‌دست آمده پردازش گردید و در نهایت خروجی‌های زیر به دست آمدند: تهیه مدل‌های ابر نقطه سه بعدی از بدنه و پیرامون کوه نقش رستم بدون و پس از تلفیق با بافت طبیعی و تهیه مدل‌های سه بعدی و رنگی از نقش بهرام دوم (شکل ۱ و ۲). نهایتاً تصویر تخت رقومی شده از نقش‌برجسته ایجاد گردید.



شکل ۱. بالا: تصویر هوایی از محوطه نقش رستم و موقعیت نقش بهرام دوم، پایین: مدل ابر نقطه سه بعدی تهیه شده از بدنه کوه نقش رستم و نقوش برجسته آن بدون بافت طبیعی با استفاده از تکنولوژی لیزر اسکن سه بعدی و موقعیت نقش برجسته بهرام دوم بر روی مدل (منبع: مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی تخت جمشید، تهیه شده توسط آقای ضیاء دیلمی‌پور شرکت مهندسی فرانگار پیمایش)

شکل ۲. مدل ابر نقطه سه‌بعدی نقش برجسته بهرام دوم بدون بافت و پس از تلفیق با بافت طبیعی (منبع: مرکز اسناد پایگاه میراث جهانی تخت جمشید، تهیه شده توسط آقای ضیاء دیلمی‌پور شرکت مهندسی فرانگار پیمایش)

هدف اصلی این اقدامات ثبت و ضبط وضعیت اثر قبل از حفاظت بود. هدف دیگر این بود که بستری مطمئن برای آسیب‌نگاری دقیق نقوش را فراهم شود و همچنین در آینده نیز امکان پایش تغییرات و آسیب‌های احتمالی در نقوش مهیا گردد. در آسیب‌نگاری نقش‌برجسته، انواع پدیده‌های وابسته به تخریب شیمیایی و فیزیکی سنگ که بر اساس الگوهای استاندارد کمیته سنگ ایکوموس معرفی شده‌اند (ICOMOS-ISCS, 2008)، شناسایی و دسته‌بندی گردید و بر روی تصاویر تخت و نقشه‌های حاصل از آن لکه‌گذاری شدند. همچنین به منظور شناسایی کیفی و کمی سنگ بستر نقش‌برجسته، نمونه‌های کوچکی از بیرون از قاب نقش برجسته و از بستر صخره نمونه‌برداری و مورد آنالیز قرار گرفت. نمونه‌ها مشتمل بر ۴ نمونه بودند (شکل ۳) که یکی از آنها فاصله دورتری از بدنه صخره برداشت گردید و آزمایش‌های مختلف سنگ‌شناسی با میکروسکوپ پولاریزان نوری، آزمون‌های فیزیکی انجام شد و همچنین ترکیب و عناصر سازنده سنگ با روش دستگاهی XRD و XRF مورد شناسایی قرار گرفت.

لازم به ذکر است آنالیز XRF در دانشکده زمین شناسی دانشگاه تهران و بر اساس استاندارد مرجع آزمون ASTM E ۱۶۲۱-۱۳ و آنالیز XRD نیز در آزمایشگاه دانشکده

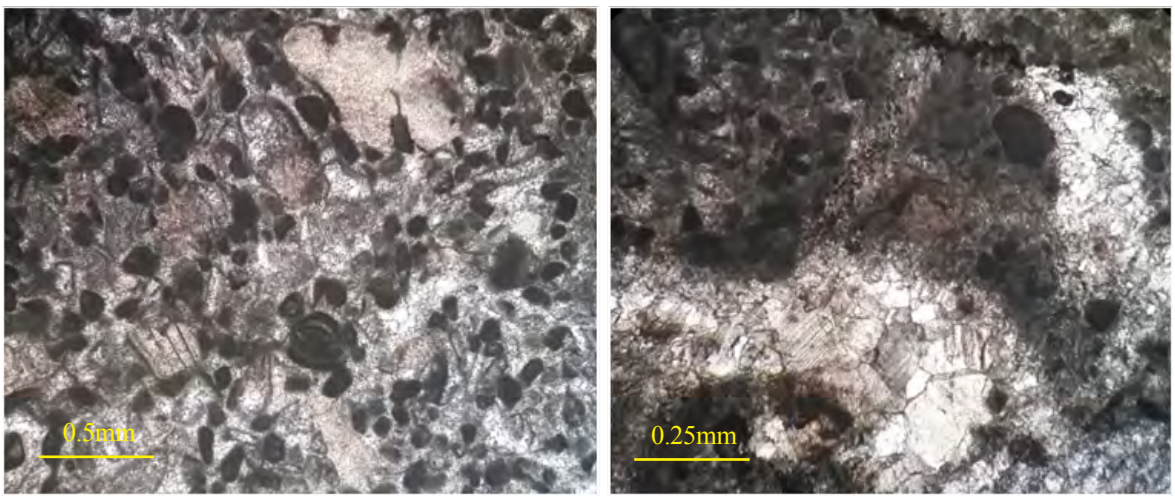
شکل۳. نقش نبرد بهرام در نقش‌رستم و محل‌های نمونه‌برداری از سنگ

علوم دانشگاه شیراز (مدل دستگاه D8-ADVANCE شرکت Bruker) انجام شده است. همچنین آزمون‌های فیزیکی سنگ و از جمله اندازه‌گیری دانسیته و مقاومت فشاری نمونه‌های سنگ طبق استاندارد ASTM C170 در آزمایشگاه فنی و مکانیکی خاک استان فارس انجام شد.

یافته‌ها و بحث در نتایج

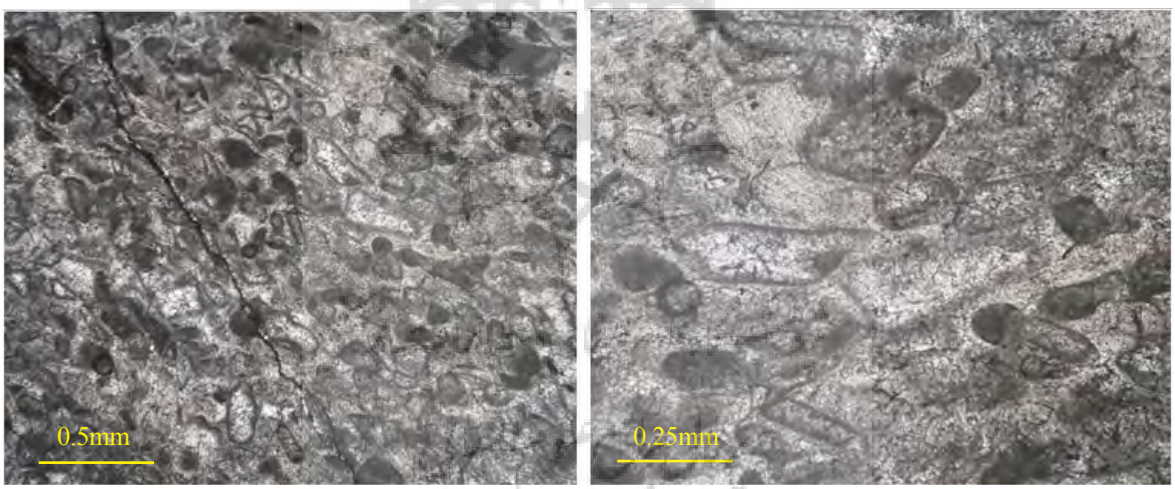
الف) مطالعه مقاطع نازک سنگ

بر اساس مطالعات سنگ‌شناسی مقاطع نازک نمونه‌ها، سنگ‌ها از گونه آهکی (Limestone) بوده و غالباً از بافت سنگ‌دانه‌ای (Grainstone) برخوردارند. وجود این بافت بدان معناست که بخش عمده اجزاء تشکیل‌دهنده سنگ را دانه‌ها یا ذرات کربناتِ (Allochems) تشکیل داده‌اند و زمینه (Matrix) و سیمان کربنات (Cement) به میزان کمتری در بافت سنگ حضور دارند. از دیدگاه نوع ذرات تشکیل‌دهنده، قطعات مختلف فسیلی نظیر دوکفه‌ای‌ها (Bivalves) جلبک‌های سبز (Green algae)، فرامینیفرای بنتیک (Benthic foraminifera) و خارپوستان (Echinoderms) و نیز اجزاء غیر اسکلتی شامل پلوئیدها (Peloid) در این نمونه‌ها حضور دارند. با توجه به شباهت بافتی و محتوای ذرات تشکیل‌دهنده نمونه‌ها، محیط رسوب‌گذاری آن‌ها به‌طور یکسان در پشته‌های پر انرژی زیر آبی موسوم به شول (Shol) بوده است. مهمترین فرآیندهای پس از رسوب‌گذاری دیاژنزی(Diagenetic) مشاهده شده در این نمونه‌ها عبارتند از اشکال مختلف: سیمانی شدن[۱]، فشردگی مکانیکی[۲]، نوشکلی‌شدن[۳]، میکرایتی‌شدن[۴] و شکستگی[۵] (شکل ۴ و ۵).



شکل ۴. تصاویر مقاطع نازک از نمونه سنگ شماره ۱ با نتایج پتروگرافی زیر:

سنگ‌شناسی: سنگ آهک؛ **رخساره:** گرینستون اسکلتی ـ پلوئیدی؛ **اجزاء اسکلتی:** دوکفه‌ای، جلبک سبز، فرامینفرای بنتیک، خرده‌های خارپوستان؛ **اجزاء غیر اسکلتی:** پلوئید؛ **محیط رسوبی:** پشته‌های زیرآبی (شول)؛ **فرآیندهای دیاژنزی:** سیمانی‌شدن (هم‌بعد، رشد هم‌محور، هم‌ضخامت)، میکرایتی شدن، فشردگی شیمیایی؛ **نوع حفرات:** فاقد حفرات قابل مشاهده؛ **شکستگی:** ریزشکستگی پر شده با سیمان کلسیتی درشت‌بلور



شکل ۵. تصاویر مقاطع نازک از نمونه سنگ شماره ۴ با نتایج پتروگرافی زیر:

سنگ‌شناسی: سنگ آهک؛ **رخساره:** گرینستون اسکلتی؛ **اجزاء اسکلتی:** دوکفه‌ای‌ها، جلبک سبز، فرامنیفرای بنتیک؛ **اجزاء غیراسکلتی:** پلوئید؛ **محیط رسوبی:** پشته‌های زیرآبی (شول)؛ **فرآیندهای دیاژنزی:** فشردگی مکانیکی و شیمیایی (رگچه انحلالی و استیلولیت)، سیمانی‌شدن، میکرایتی‌شدن؛ **نوع حفرات:** فاقد حفرات قابل مشاهده؛ **شکستگی:** ریزشکستگی‌های پرشده با سیمان کلسیتی درشت‌بلور

ب) بررسی مشخصات فیزیکی

علاوه بر مطالعه بر روی مقاطع نازک نمونه‌های سنگ، به جهت شناخت مشخصات فیزیکی سنگ‌ها، بر روی تعداد ۱۰ نمونه سنگ که از بستر کوه نقش رستم در خارج از عرصه آثار تاریخی نمونه‌برداری شده بود، آزمون‌هایی همچون اندازه‌گیری میزان دانسیته و

جدول ۲. نتایج اندازه‌گیری دانسیته و مقاومت فشاری تک‌محوری نمونه‌های سنگ در محوطه تاریخی نقش رستم

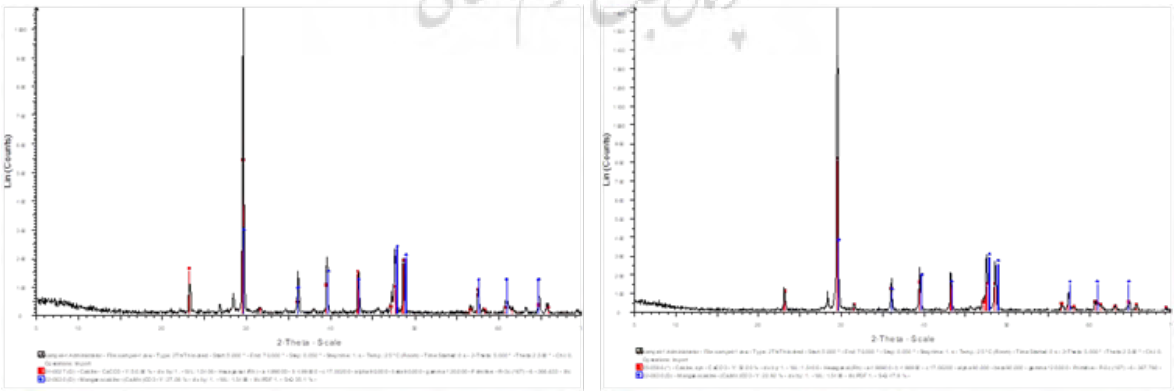
نوع و تعداد نمونه	شرایط آزمایش	استاندارد آزمایش	ابعاد نمونه (قطر/ ارتفاع)	سطح مقطع cm^2	حجم نمونه cm^3	ورن نمونه g	نسبت قطر به ارتفاع	بار در لحظه شکست نمونه Kg	دانسیته نمونه g/cm^3	مقاومت فشاری نمونه Kg/cm^2
میانگین ۵ نمونه سنگ	در حالت خشک	ASTM C170	۵ × ۵	۱۹.۶۳	۹۸.۱۳	۲۴۷.۴	۱.۰۰۰	۱۲۵۱۴.۶	۲.۵۲۱	۶۳۷.۸
میانگین ۵ نمونه سنگ	در حالت غرقاب	ASTM C170	۵ × ۵	۱۹.۶۳	۹۸.۱۳	۲۵۲.۴	۱.۰۰۰	۸۸۲۲	۲.۵۷۲	۴۴۹.۶

مقاومت فشاری سنگ‌ها انجام گردید. نتایج آزمایشات مقاومت فشاری نمونه‌های سنگ برداشت شده از کوه نقش رستم را در حالت خشک ۶۳۷.۸ Kg/cm^2 نشان داد. میزان دانسیته نمونه‌های سنگ نیز در همین حالت مقدار 2.521 g/cm^3 است. همچنین اندازه‌گیری دانسیته و مقاومت فشاری سنگ‌های محوطه در شرایط غرقابی نیز اندازه‌گیری شد که نشان‌دهنده افت نسبتاً زیادی در میزان مقاومت فشاری نمونه‌ها (449.6 Kg/cm^2) است (جدول ۲).

نج) مطالعه عناصر و ترکیبات شیمیایی

آنالیز پراش اشعه ایکس بر روی ۴ نمونه انجام گرفت. بدین منظور، از نمونه‌های سنگی، پودر تهیه شده و سپس جهت انجام آنالیز به آزمایشگاه مربوطه ارسال گردید (شکل ۶). بر اساس نتایج بدست آمده همه نمونه‌های مطالعه شده، به طورکامل ازکانی کلسیت ($CaCO_3$) با مقادیر کمی منگنوکلسیت (Manganocalcite) با فرمول شیمیایی $Ca,MnCO_3$ تشکیل شده‌اند (شکل ۶، جدول ۳). منگنوکلسیت، نوعی کلسیت غنی از منگنز است که رنگ صورتی به این ماده معدنی می‌دهد.

با توجه به نتایج آنالیزهای عنصری با دستگاه فلورسانس پرتو ایکس (XRF)، اکسید کلسیم دارای بیشترین مقدار در نمونه‌های سنگ است و سایر اکسیدها (اکسید آهن، اکسید منیزیم، اکسید سیلسیم، اکسید آلومینیوم و اکسید پتاسیم) با مقادیر زیر یک درصد به‌عنوان عناصر فرعی کم‌مقدار در نمونه‌های



شکل ۶. دو نمودار حاصل از آنالیز پراش سنجی پرتوایکس (XRD) بر روی دو نمونه

جدول ۳. نتایج شناسایی عناصر و ترکیبات شیمیایی نقش برجسته به روش XRF و XRD

مکان نمونه‌برداری	نتایج ترکیب کیفی (XRD)	نتایج درصد ترکیب شیمیایی (XRF)						
		L.O.I	MgO	Al_2O_3	SiO_2	K_2O	CaO	Fe_2O_3
نمونه شماره ۱	- Calcite $CaCO_3$ (high) -Manganocalcite $(Ca,Mn)CO_3$ (low)	۴۳.۱	۰.۳۵	۰.۳۳	۰.۸۹	۰.۰۷	۵۴.۸	۰.۴۶
نمونه شماره ۲		۴۴.۰۲	۰.۲۲	۰.۰۹	۰.۰۵	۰.۰۱	۵۵.۵۵	۰.۰۶
نمونه شماره ۳		۴۳.۹۸	۰.۲۲	۰.۰۳	---	۰.۰۱	۵۵.۷	۰.۰۶
نمونه شماره ۴		۴۴.۰	۰.۱۵	۰.۰۲	---	۰.۰۱	۵۵.۸	۰.۰۲

سنگ حضور دارند (جدول ۳). کاهش وزن ناشی از احتراق (میزان L.O.I) در همه نمونه‌ها بسیار بالا است که نشان‌دهنده بالا بودن مواد فرار و مولکول‌های آب در نمونه‌های سنگ است. بنابراین نمونه‌ها تقریبا آهک با خلوص خوب، کم سیلیس، کم دولومیت (بیشتر کلسیت) همراه با اکسیدهای آهن هستند.

عوامل آسیب‌رسان به نقش برجسته

مهمترین عواملی که سبب بروز فرسایش و ازهم‌گسیختگی بستر صخره‌ای نقوش برجسته در محوطه تاریخی نقش رستم شده‌اند را می‌توان در قالب عوامل محیطی و اقلیمی و ویژگی‌های درون ساختاری سنگ به شرح زیر دسته‌بندی و مورد بررسی قرار داد.

الف) عوامل محیطی و اقلیمی

مهمترین عوامل اقلیمی تاثیرگذار در فرسایش نقوش برجسته محوطه نقش رستم و از جمله در فرسایش نقش برجسته بهرام دوم مولفه‌های آب و هوایی و از جمله بارندگی، رطوبت، تغییرات دمایی و فرسایش‌های بادی بوده است. برخی از این عوامل که مقادیر آن در دوره آماری ۱۳۷۷-۱۳۹۹ شمسی در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تخت جمشید واقع در فاصله ۱۰ کیلومتری از محوطه نقش رستم، ثبت گردید است می‌تواند نشانگر تاثیرات مخرب این عوامل در فرسایش ساختارهای سنگی منطقه و به ویژه در محوطه تاریخی نقش رستم باشد (جدول ۴). بر اساس این آمار میانگین تعداد روزهای با دمای زیر صفر و شرایط یخبندان در طول دوره آماری که عمدتاً در ماه‌های آذر لغایت اسفندماه حادث می‌گردد ۵۴ روز ثبت شده است. بر اساس داده‌ها سردترین ماه سال دی‌ماه با میانگین درجه حرارت -۶/۸ درجه سانتی گراد است. تحلیل این شرایط دمایی با لحاظ میزان بارندگی در همین دوره آماری می‌تواند حاکی از نقش مخرب و فرساینده دمایی در یخبر شدن سطوح متخلخل سنگ باشد. آب از جمله مواد نادری است که بر اثر انجماد افزایش حجم (انبساط حجمی حدود ۹٪) پیدا می‌کند. در این فرآیند جریان آب توسط خیلی از کانی‌های سنگ جذب می‌شود، به داخل درزه‌های ریز نفوذ کرده و آن‌ها را باز می‌کند و به این ترتیب نفوذ آب در لوله‌های مویینه آسان‌تر شده و به درون ساختار سنگ هدایت می‌شود. با افت شدید دما، آب در لوله‌های موئینه باز سطحی منجمد شده و باعث انتقال فشار به لوله‌های موئینه درونی می‌گردد.

در محوطه نقش رستم در فصل‌های بارشی، جریان‌های آب بر روی نقوش برجسته و در مجاورت آن‌ها مشاهده می‌شود که به علت ایجاد روان‌آب در بخش‌های بالایی نقش‌برجسته‌ها است و منجر به آب‌شستگی و آسیب‌های رطوبتی می‌گردد. آمار وضعیت بارش سالانه که از ایستگاه هواشناسی تخت‌جمشید استنتاج شده است، نشان می‌دهد که در چهار ماه

جدول ۴. میانگین اقلیمی عوامل آب و هوایی در ایستگاه هواشناسی سینوپتیک تخت جمشید در دوره آماری ۱۳۷۷-۱۳۹۹
(منبع: آرشیو ایستگاه هواشناسی تخت جمشید)

ماه	متوسط ماکزیمم باد		تعداد روز	ساعت آفتابی	تبخیر(میلیمتر)	رطوبت نسبی ماهیانه %			بارندگی میلیمتر			رطوبت برف	میانگین درجه حرارت						
	سرعت m/s	سمت درجه	یخبندان	جمع ماهانه	جمع ماهانه	متوسط	حداکثر	حداقل	مقدار	تعداد روزانه	تعداد روزانه	سانتی‌متر	متوسط	حداکثر	روز	حداکثر مطلق	روز	حداقل مطلق	حداقل دما	متوسط دما	حداکثر دما	حداقل دما
فروردین	11	261	1	257.3	135.0	57	78	36	50.1	7	65.3	0	31.4		2.2-		14.4	22.1	6.8
اردیبهشت	11	261	0	312.9	200.3	47	68	27	11.5	3	28.2	0	37.0		1.0		19.8	28.5	11.1
خرداد	10	243	0	360.4	297.9	33	49	16	0.3	0	3.6	0	40.4		8.6		25.5	35.1	15.9
تیر	9	270	0	350.8	349.7	29	44	15	0.5	0	3.0	0	43.0		12.2		29.2	38.2	20.2
مرداد	9	195	0	348.1	348.5	30	44	17	0.6	0	7.8	0	42.0		14.0		29.0	37.4	20.5
شهریور	8	260	0	334.8	277.9	35	53	18	0.0	0	0.2	0	39.4		8.2		25.6	35.1	16.1
مهر	9	260	0	303.8	183.5	41	62	21	0.6	0	6.1	0	37.2		2.4		20.3	30.1	10.5
آبان	10	258	2	245.9	104.3	52	72	31	24.6	4	38.3	0	29.2		3.0-		13.9	22.4	5.4
آذر	8	232	12	217.4	42.8	63	84	43	53.1	5	68.2	0	24.0		5.8-		8.6	15.7	1.4
دی	9	222	19	210.3	20.9	65	85	45	63.4	6	76.2	4	24.0		8.6-		6.3	13.1	0.4-
بهمن	11	234	16	226.7	22.4	62	83	40	55.7	6	57.7	1	24.7		8.1-		7.1	14.0	0.1
اسفند	11	232	6	245.3	83.8	57	79	35	35.8	6	42.1	0	28.8		5.0-		10.6	18.2	3.1
جمع			54	3413.6	2067.2				296.2	39		5							
معدل	10	244	4	9.4	5.7	48	67	29		3							17.5	25.8	9.2
حداقل مطلق															8.6-				
حداکثر مطلق	25										76.2		43.0						

از سال تقریباً بارندگی وجود ندارد و حداکثر بارش‌ها طی ماه‌های بهمن، دی و آذر صورت می‌پذیرد (جدول ۴). عامل بسیار مهم دیگر در فرسایش نقوش برجسته در نقش رستم تغییرات دمایی در مدت شبانه روز است. از آنجایی که سنگ‌ها عموماً اجسامی ناهمگن هستند، تغییرات دما به طور یکسان در تمام جهات سنگ پخش نمی‌شود و لذا قسمت‌های بیرونی هم زودتر گرم و هم زودتر سرد می‌شوند که این عمل سبب ایجاد نیروهایی در سنگ می‌شود که در دراز مدت برای سنگ زیان‌بار است. در اثر این پدیده در سنگ، ریزگسستگی‌هایی ایجاد می‌شود که استحکام سنگ را پایین می‌آورد.

اقلیم نیمه خشک مرودشت، با اختلاف دمای فاحش شب و روز همراه است. این اختلاف دما، با انقباض و انبساط سطح سنگ منجر به تخریب و ایجاد ریز گسستگی‌هایی در سطح سنگ می‌گردد. به موازات تاثیر عوامل آب و هوایی و اقلیمی، رشد عوامل بیولوژیکی در محوطه و بر سطوح سنگی از دیگر دلایل فرسایش تزیینات و نقوش سنگی بوده است. این دسته از عوامل محیطی در قالب گیاهان عالی در مجاورت رطوبت با ریشه‌دوانی در میان درزه‌های سنگ باعث متلاشی شدن ساختار سنگ ها می‌شوند (Moroni & Pitzurra, 2008). همچنین تجمع انواع گیاهان پست اعم از گلسنگ و سیانو باکتریا علاوه بر تخریب سطوح سنگ، با ایجاد رسوبات و قشرهای تیره رنگ ضمن پوشاندن جزییات نقوش، بدمنظری نقوش برجسته سنگی را به‌دنبال دارند.

ب) عوامل درون‌ساختی سنگ

به طور حتم تحلیل و ارزیابی مولفه‌های آب و هوایی در ایجاد فرسایش به موازات توجه به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی سنگ به عنوان ماده تاثیرپذیر از عوامل فرساینده است که معنادار خواهد بود و می‌تواند به درکی عمیق‌تر از چرخه فرسایش منجر گردد. سنگ به عنوان مصالح متخلخل، بسته به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود همچون بافت، تخلخل، میزان سختی و نوع ترکیب شیمیایی می‌تواند متاثر از شرایط محیطی، رفتار مقاومتی متفاوتی را در برابر فرسایش بروز دهد.

بطور مثال افزایش میزان تخلخل در ماندگاری بیشتر

رطوبت درون بافت سنگ تاثیرگذار بوده و تغییرات رفتاری آب در سنگ را به دنبال خواهد داشت که خود در نقل و انتقال بیشتر نمک‌های محلول در بافت سنگ تاثیرگذار است (Price, 1996).

بررسی‌های آزمایشگاهی و سنگ‌شناسی بر روی بستر صخره‌ای نقوش برجسته در نقش رستم فارس نشان‌دهنده نرمی سنگ‌های منطقه است. بخشی از این فرسایش‌پذیری مربوط به ماهیت آهکی و کلسیتی این سنگ‌ها و انحلال تدریجی آن در مقابل رطوبت و بارندگی است. بسیاری از منافذ رطوبتی (Opening) بر روی نقوش آرامگاهی در نقش رستم که در طول سال رطوبت را به سطح نقوش برجسته هدایت می‌کند در نتیجه نفوذ رطوبت و انحلال تدریجی سنگ‌ها، ایجاد شده است.

اسیدی‌شدن جریان بارندگی که حتی در شرایط معمول می‌تواند نتیجه واکنش‌های شیمیایی بین گازهای فعال اتمسفری و قطرات باران باشد مسئله بسیار مهمی است که انحلال سنگ‌های آهکی را در برابر بارندگی‌ها سرعت و شدت می‌بخشد (Amoroso & Vasco, 1983) و باعث ایجاد هوازدگی شیمیایی در نقوش برجسته و سنگ نبشته‌های تاریخی واقع در فضای باز می‌گردد.

از سویی با توجه به افزایش مراکز ایجاد آلایندگی در منطقه نقش رستم و به ویژه نزدیکی مجتمع پتروشیمی مرودشت به این محوطه سنگی میتوان انتظار داشت سرعت انحلال در سنگ‌های آهکی در کنار بارندگی‌های منطقه در محوطه افزایش یابد. در واقع به دلیل مجاورت محوطه نقش‌رستم با منابع ایجاد آلاینده‌های هوا از جمله محورهای مواصلاتی، کارخانجات، مجتمع پتروشیمی، حجم بالای مصرف علف‌کش‌های شیمیایی در مزارع و دوده ایجاد شده ناشی از آتش‌زدن زمین پس از برداشت سالانه در زمین‌های کشاورزی، هوازدگی شیمیایی نقوش برجسته محوطه در کنار منابع رطوبتی بدیهی به نظر می‌رسد (فدایی، ۱۳۹۹).

روند آسیب‌نگاری در نقش ساسانی بهرام دوم

با توجه به بررسی عوامل آسیب‌رسان در محوطه

شکل۷. تصویر تخت تهیه شده از نقش برجسته بهرام دوم در محوطه تاریخی نقش رستم

نقش رستم، نخستین گام در جهت تدوین و اجرای طرح حفاظت و مرمت، مستندنگاری نقش برجسته ساسانی بهرام دوم و سپس آسیب‌نگاری سطح نقش بوده است. هدف‌گذاری در نوع استفاده از داده‌های حاصل از مستندنگاری می‌تواند در انتخاب مقیاس، روش و ابزار مستندنگاری از اهمیت زیادی برخوردار باشد. همانگونه که در بخش مواد و روش‌ها اشاره گردید به منظور استفاده از مستندنگاری نقوش در پایش‌های آتی نقوش برجسته و همچنین استفاده در آسیب نگاری سطح نقوش سنگی، به دقت نسبتا بالا نیاز بود.

لذا اقدام به فتوگرامتری نقوش با استفاده از لیزر اسکنر زمینی و فتوگرامتری دیجیتال گردید و داده‌های بدست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای نقشه‌برداری، فتوگرامتری و نمایه‌سازی، پردازش گردید و در نهایت تصاویر رقومی شده تخت و بدون پرسپکتیو اورتوفتو (Ortho photo) از نقش‌برجسته بهرام دوم تهیه گردید (شکل ۷).

پس از تهیه مستندات، کارگاه مجهزی به منظور دسترسی به نقاط مختلف نقش برجسته طراحی و احداث گردید. این کارگاه امکان معاینه کلیه نقوش را برای آسیب‌نگاری عوارض در سطوح مختلف نقش از نزدیک میسر نمود. لذا عوارض و آسیب‌های وارده به سطح سنگ و نقوش بر روی تصویر تخت منتقل گردید.

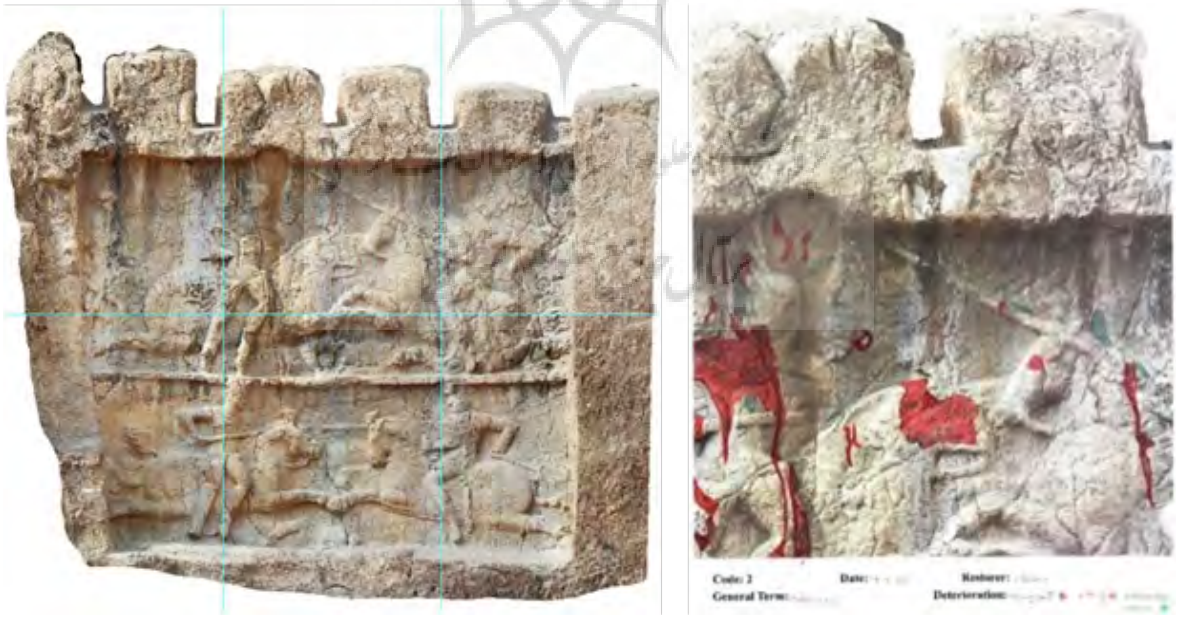
تهیه نقشه‌های آسیب‌نگاری

پس از بررسی انواع آسیب‌های وارده به نقش بهرام دوم، مهمترین آسیب‌ها ذیل پنج گروه اصلی دسته‌بندی و هر یک از آسیب‌های پنج‌گانه به اجزای ریزتری تقسیم شدند (جدول ۵). در دسته‌بندی آسیب‌ها تلاش گردید انواع پدیده‌های وابسته به تخریب شیمیایی و فیزیکی سنگ بر اساس الگوهای استاندارد کمیته سنگ ایکوموس شناسایی و به صورت کمی دسته‌بندی شود (ورگس بلمین، ۱۳۹۰؛ ICOMOS-ISCS, 2008). همچنین برای هر یک از آسیب‌ها راهنمای مشروح تهیه شد تا به مستندنگار در جهت تشخیص بهتر آسیب‌ها، تفکیک و انتقال آنها بر روی نقشه‌های خطی که از تصاویر تخت تهیه شده بود، کمک نماید. بنابراین پس از مشخص نمودن محدوده آسیب‌ها، اطلاعات خام برداشت شده در محیط نرم‌افزاری اتوکد بر روی طرح خطی مستخرج از تصاویر رقومی شده منتقل‌گردید و امکان آن فراهم شد تا لایه‌های مختلفی از آسیب در قالب نقشه‌های مجزا و یا در قالب یک نقشه یکپارچه با امکان پردازش هر یک موارد آسیب قابل استفاده گردد (شکل‌های ۸ تا ۱۵).

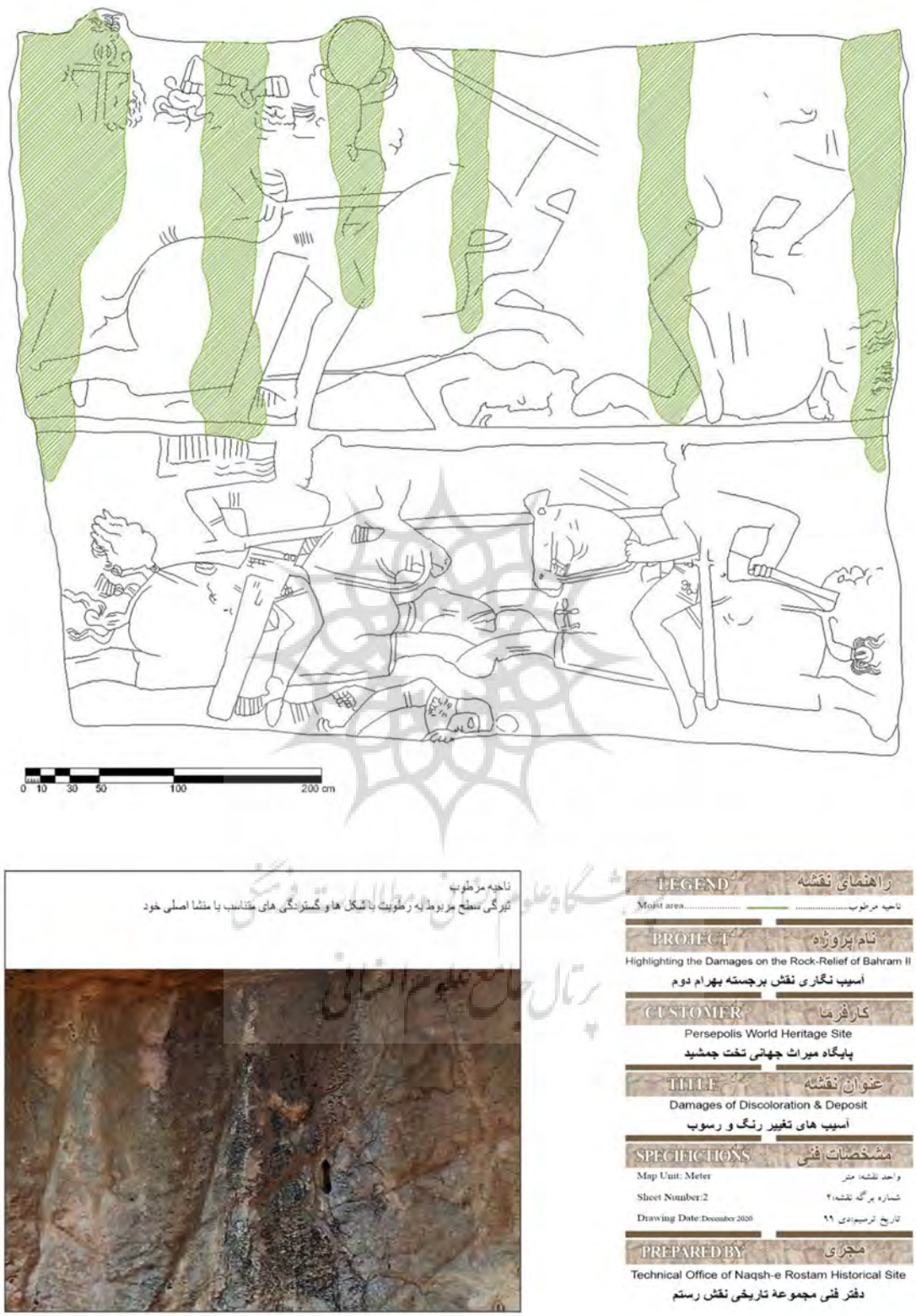
جدول ۵. دسته‌بندی، شرح و علل شکل‌گیری انواع آسیب‌ها در آسیب‌نگاری نقش برجسته بهرام دوم
(بر اساس الگوهای استاندارد ارایه شده توسط کمیته بین المللی سنگ ایکوموس. ماخذ: ورگس بلمین،۱۳۹۰)

گروه آسیب	شکل آسیب	شرح آسیب	علل شکل‌گیری آسیب
تغییر رنگ و رسوب Discoloration & Deposit	پوسته بستن (Encrustation)	لایه معدنی فشرده، سخت و چسبیده به سنگ با ریخت شناسی سطحی و رنگ معمولا متفاوت از سنگ	غالبا از مواد جابجا شده توسط آب تراوشی به وجود آمده و ناشی از خود اثر می‌باشند.
	ناحیه مرطوب (Moist area)	تیرگی سطح مربوط به رطوبت با شکل‌ها و گستردگی‌های متناسب با منشا اصلی خود.	رطوبت صعودی، رفتار جذب رطوبت ناشی از حضور نمک‌ها، میعان
	رسوب (Deposit)	تجمع مواد قشری با ضخامت متغیر و فاقد چسبندگی به سطح سنگ	دوده و غبار، شره رنگ یا ملاط، آئروسل نمک دریا و مواد پاشیده شده، فضولات پرنده و خفاش
از دست دادن مواد Material loss	بخش¬های مفقود (Missing part)	فضای خالی در جایی که از قبل وجود داشته است. قسمت‌های برجسته مجسمه‌ها بخش‌های رایج مفقود هستند.	عموماً در اثر فعالیت انسان و یا فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی سنگ
	فرسایش نامنظم (Differential Erosion)	تخریب غیر یکنواخت، زمانی رخ می‌دهد که فرسایش با سرعت یکسان از قسمتی به قسمت دیگر سنگ پیش نمی‌رود در نتیجه سنگ به صورت نامنظم تخریب می‌گردد. این ویژگی روی سنگ‌های ناهمگن، دارای مناطق سخت تر یا با تخلخل کم دیده می‌شود.	در سنگ‌های ناهمگن، ناشی از حمله انتخابی گلسنگ
جدایش Detachment	لایه لایه شدن (Delamination)	فرآیند جدا شدن لایه‌های سنگ‌های لایه‌ای. این پدیده مربوط به جدایی فیزیکی سنگ به یک یا چندین لایه نازک است. ضخامت و شکل این لایه‌ها متغیر است، این لایه‌ها ممکن است در هر سو نسبت به سطح سنگ جهت یافته باشند.	هوازدگی سنگ‌های لایه‌ای، مانند رسوبی و برخی از سنگ‌های دگرگونی
	تورق یا پوست انداختن (Peeling)	جدایش لایه‌های نازک سنگ که موازی با سطح سنگ می‌باشد. این لایه‌ها ممکن است خمیده یا تاب خورده همانند صفحات کتاب باشند.	هوازدگی سنگ‌های لایه‌ای، مانند رسوبی و برخی از سنگ‌های دگرگونی
	تکه تکه شدن (Fragmentation)	شکست کامل یا جزیی سنگ به اجزایی با ابعاد متغییر که دارای شکل، ضخامت و حجم نامنظم هستند.	به علت قرارگیری بلوک سنگی

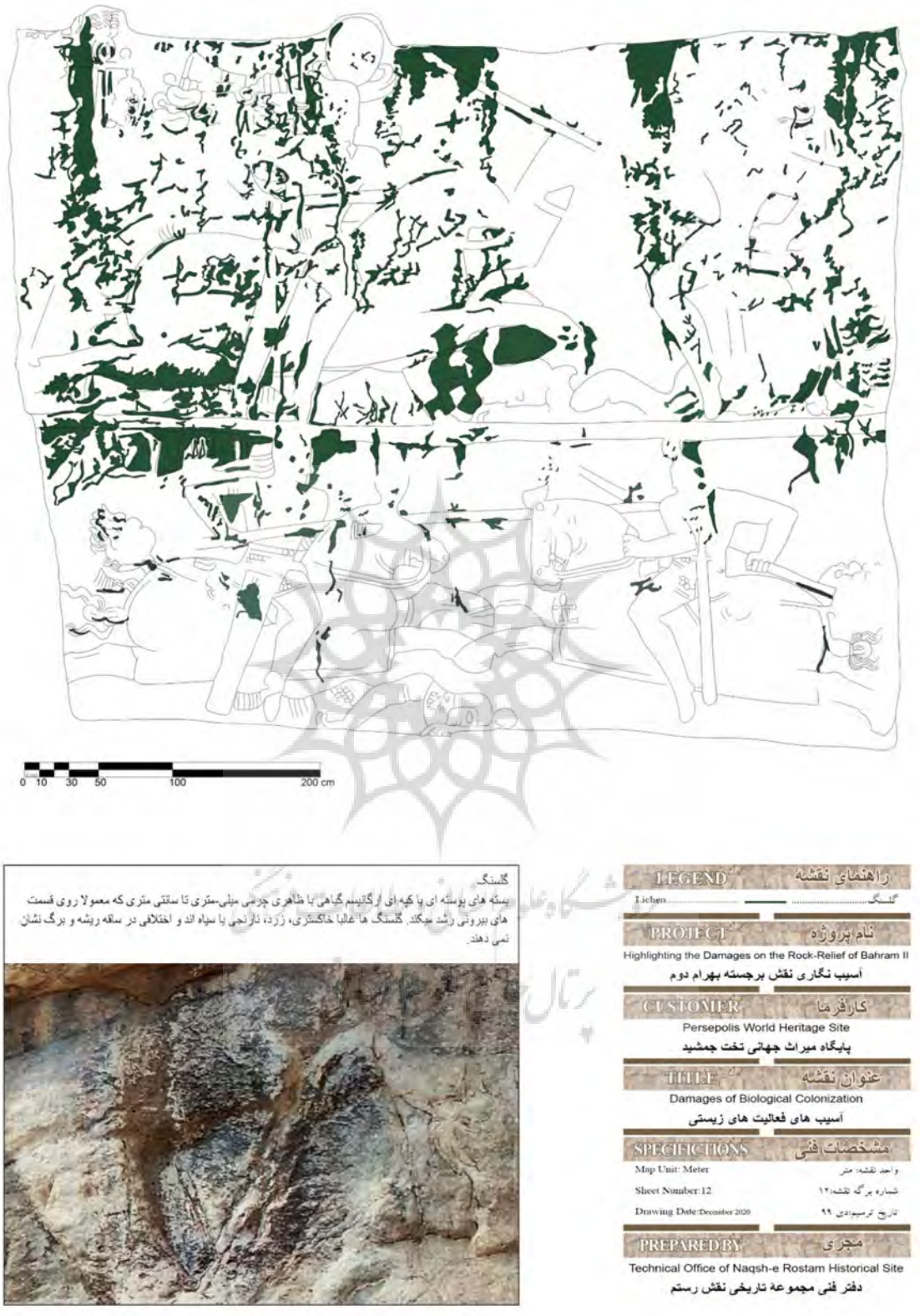
گروه آسیب	شکل آسیب	شرح آسیب	علل شکل‌گیری آسیب
ترک و تغییر شکل Crack & Deformation	شکستگی‌ها (Fracture)	ترکی که کاملاً در قطعه سنگ امتداد می¬یابد.	هوازدگی و ناپیوستگی در سنگ
	شکافتگی (Splitting)	شکاف برداشتن سنگ در طول صفحات سست،نظیر ریز ترک‌ها یا لایه‌های رسی/ سیلتی (لای) در مواردی که عناصر ساختاری به صورت عمودی جهت یافته‌اند.	حرکات
	ترک (Carck)	درزی شاخص، قابل مشاهده با چشم غیر مسلح، ناشی از جدایی قسمتی از قسمت دیگر	هوازدگی، ناپیوستگی در سنگ، مشکلات ایستایی، زنگ‌زدن بست‌های فلزی، تجدید بندکشی سخت ملاط، زمان لرزه، آتش، انجماد
فعالیت‌های زیستی Biological colonization	گلسنگ (Lichen)	بسته‌های پوسته‌ای یا کپه‌ای ارگانیسم گیاهی با ظاهری چرمی (میلی‌متری تا سانتی‌متری) که معمولا روی قسمت‌های بیرونی رشد می‌کند. گلسنگ‌ها غالبا خاکستری، زرد، نارنجی یا سیاه‌اند و اختلافی در ساقه ریشه و برگ نشان نمی‌دهند.	مرطوب ماندن طولانی مدت بستر زیستگاه طبیعی
	گیاه آلی (Plant)	پوشش گیاهی زنده که در حالت کامل رشد، دارای ریشه، ساقه و برگ است. گرچه برخی اوقات تنها شامل برگی مجزاست.	وجود آب و محل مناسب برای ریشه دوانی گیاه مثل حفرات و یا شکاف‌های موجود در نقش



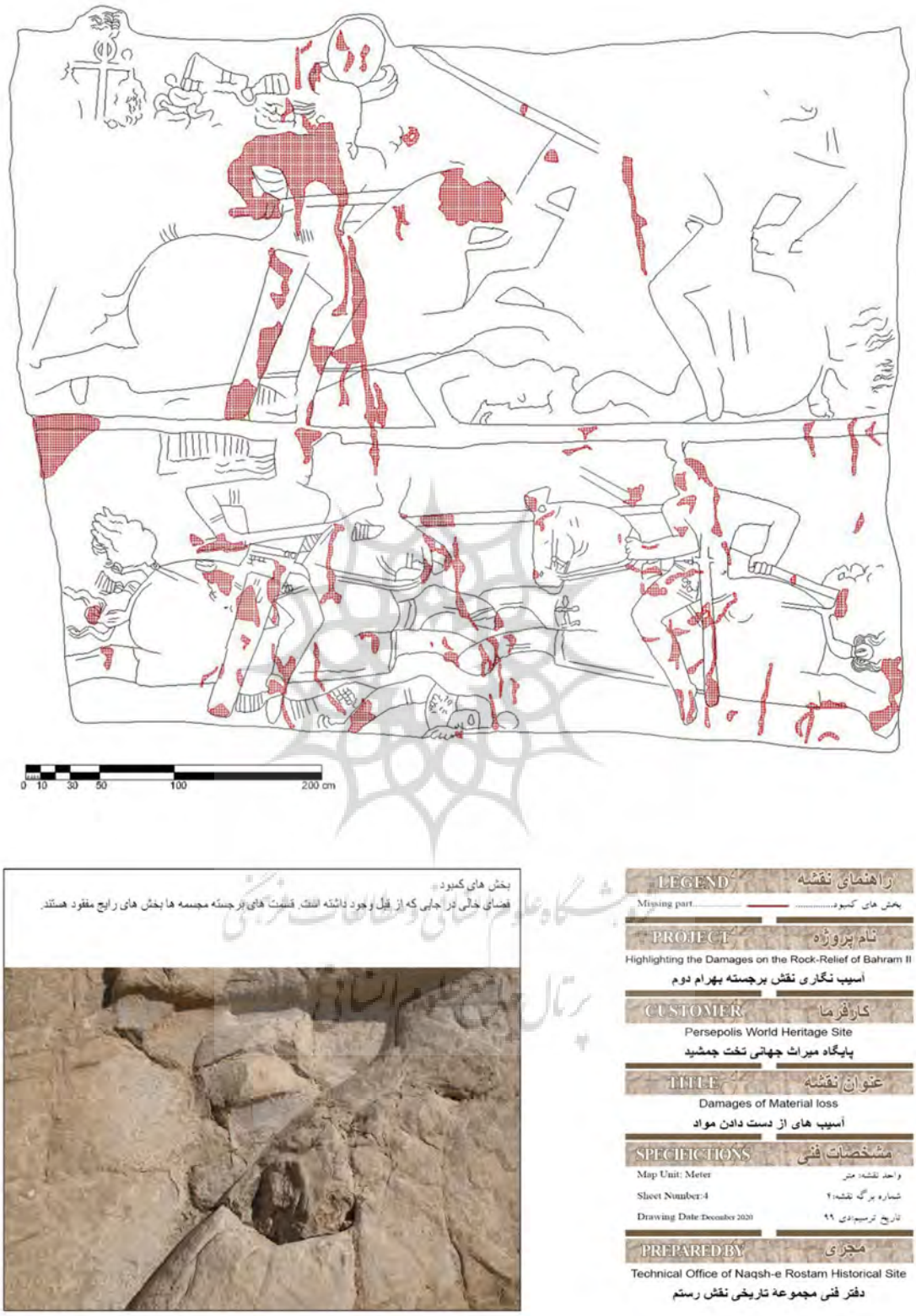
شکل ۸. آغاز آسیب‌نگاری نقش برجسته بهرام دوم با اجرای شبکه‌بندی بر روی تصویر تخت (چپ)
و ترسیم آسیب‌ها بر روی هر یک از شیت‌ها (راست)



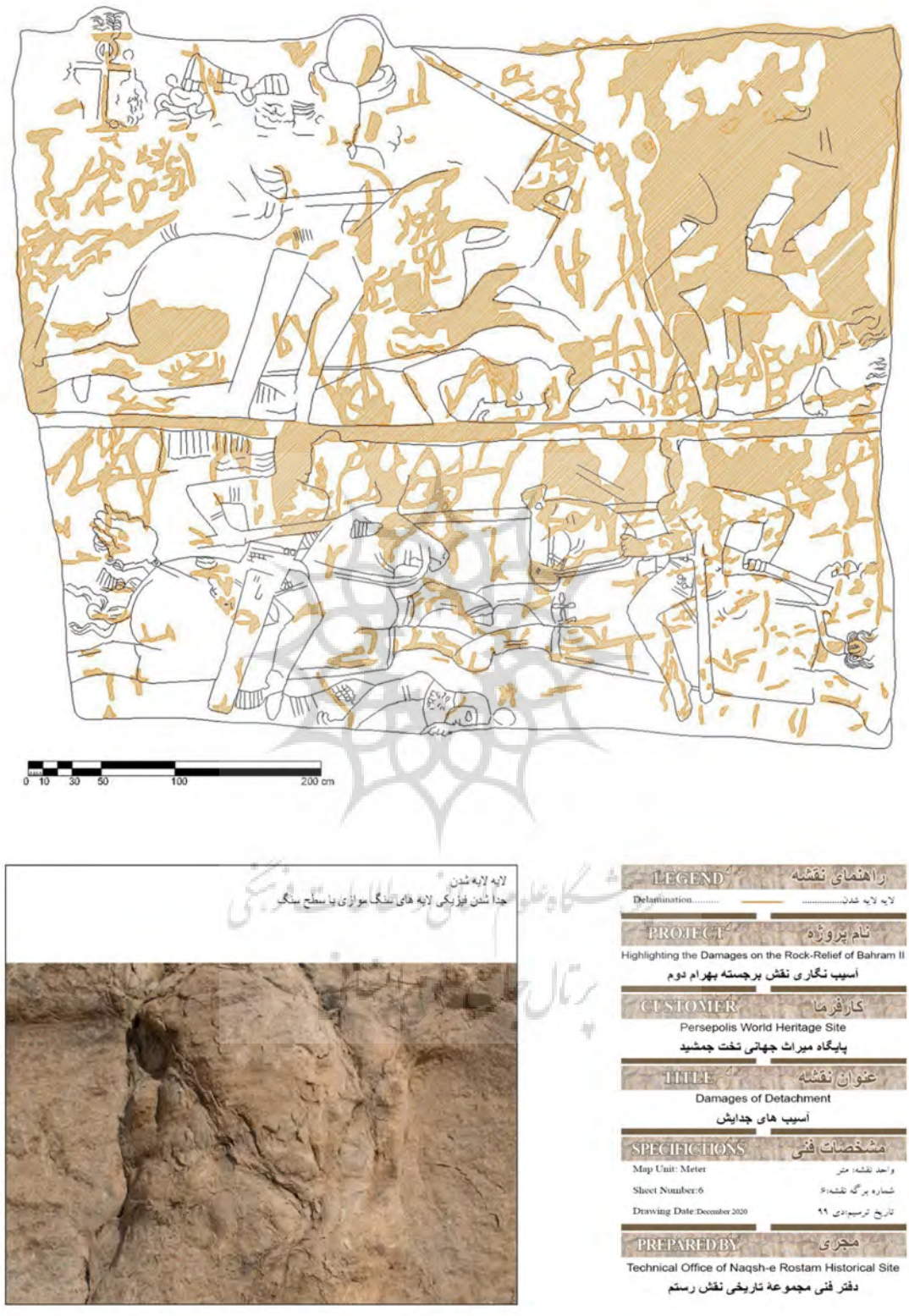
شکل ۹. آسیب‌نگاری "ناحیه مرطوب" بر روی نقش‌برجسته(در گروه آسیبی تغییر رنگ و رسوب)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



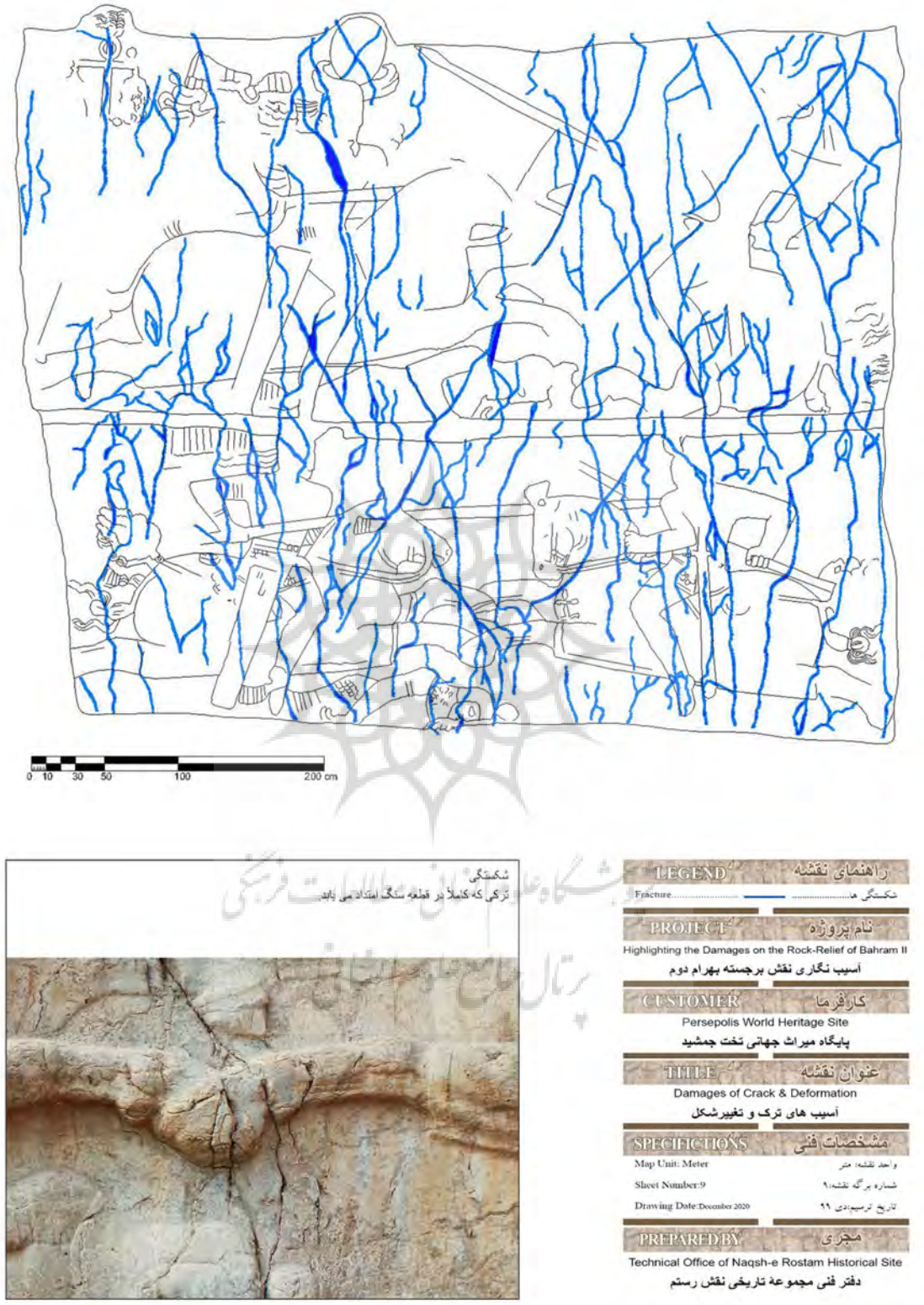
شکل ۱۰. آسیب‌نگاری "گلسنگ" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی فعالیت‌های زیستی)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



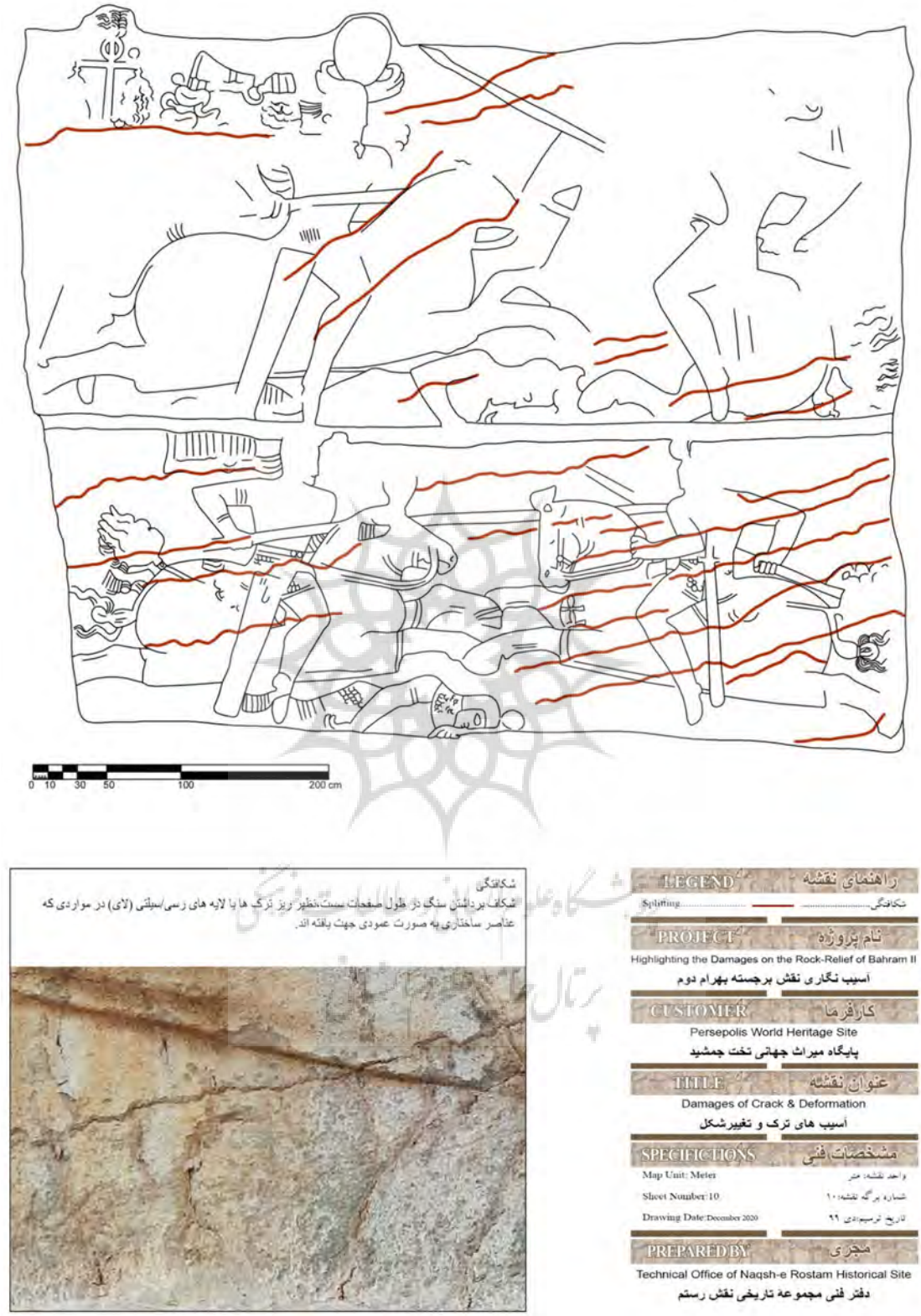
شکل ۱۱. آسیب‌نگاری "بخش‌های مفقود" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی از دست‌دادن مواد)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



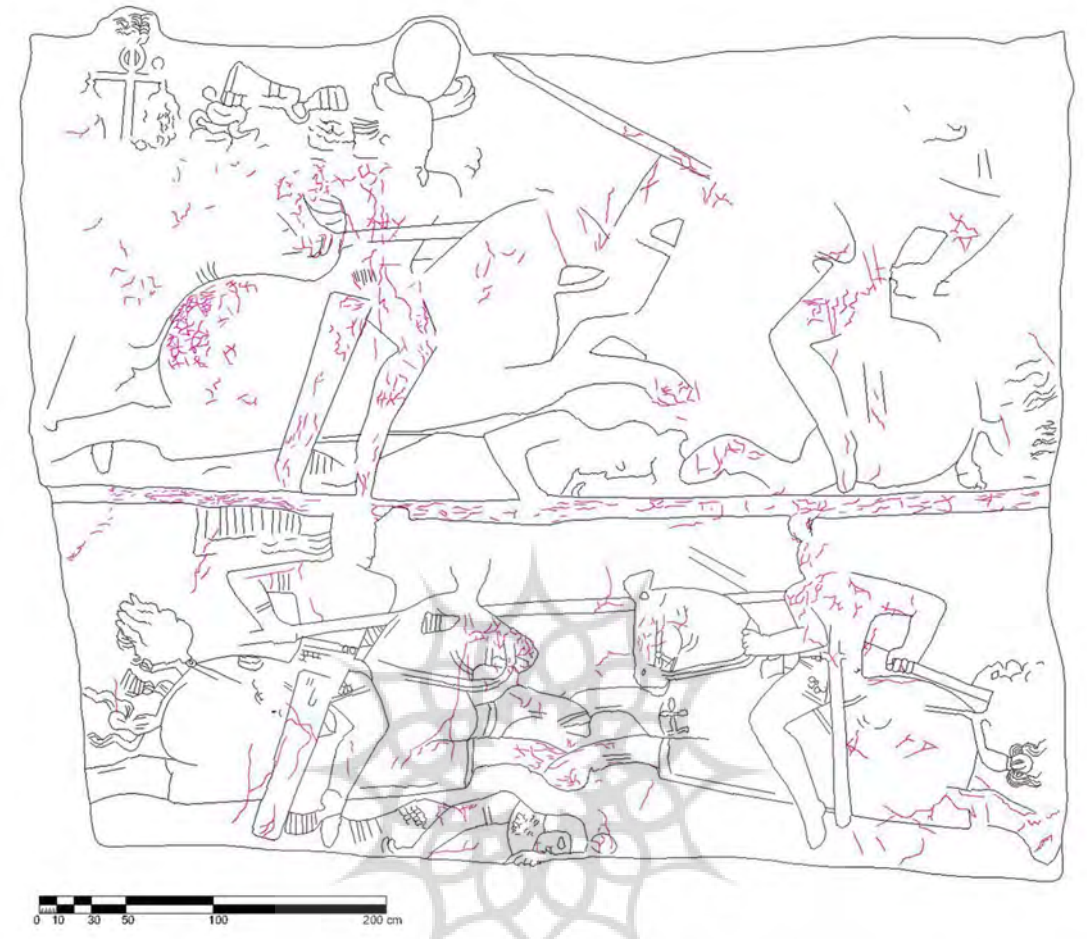
شکل ۱۲. آسیب‌نگاری "لایه لایه شدن" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی جدایش)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



شکل ۱۳. آسیب‌نگاری "شکستگی‌ها" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی ترک و تغییر شکل)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



شکل ۱۴. آسیب‌نگاری "شکافتگی‌ها" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی ترک و تغییرشکل)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵



شکل ۱۵. آسیب‌نگاری "ترک‌ها" بر روی نقش‌برجسته (در گروه آسیبی ترک و تغییر شکل)، شرح و علل شکل‌گیری آسیب در جدول ۵

عملیات اضطراری حفاظت و مرمت

پس از تکمیل مطالعات آسیب‌نگاری اقدام به تهیه طرح اضطراری حفاظت و مرمت از نقش برجسته گردید. آنچه که اضطراری بودن طرح حفاظتی را توجیه می‌کرد بالا بودن فرسایش در سطح نقش برجسته و لزوم کاهش و کنترل روند تخریب بود. بنابراین چارچوب این طرح انجام مداخلات اندک در بستر فیزیکی اثر در جهت کاهش نرخ فرسودگی و تخریب در نقش برجسته قرارگرفت که با اقداماتی همچون تثبیت و استحکام بخشی سطوح فرسوده همراه بود. در این طرح حفاظتی قطعات فروافتاده نقش‌برجسته مورد بازسازی قرار نمی‌گرفت و فقط قطعات برجسته نقش که از بستر صخره جدا شده و در معرض فروافتادن بودند، مجدد در محل خود مستحکم می‌شدند. طرح در شورای فنی پایگاه پارسه پاسارگاد به مشورت و نظرخواهی گذاشته شد و نهایتاً جهت اجراء مورد تایید اعضاء قرار گرفت. بنابراین با تدوین چارچوب حفاظتی طرح و نوع اقدامات مورد نیاز برای هر دسته از آسیب‌هایی که پیشتر آسیب‌نگاری و مورد بررسی قرار گرفته بود، به منظور کند نمودن روند فرسایش و تخریب در سطح نقش برجسته و پیشگیری از ایجاد آسیب‌های بیشتر، حفاظت اضطراری نقش برجسته آغاز گردید (جدول ۶).

الف) مصالح و مراحل مرمت

جزییات نقش برجسته تحت تاثیر عواملی همچون یخ‌بر شدن، انبساط و انقباض شدید در اثر تابش مستقیم نور خورشید و وجود ناهمگنی طبیعی ساختار سنگ، دچار آسیب‌هایی نظیر تورق، ترک و ریزترک و در مواردی پودرشدگی شده بود که عوارض آن در سطح سنگ مشهود بود. بروز هوازدگی شدید در بخش‌هایی از سطح نقش برجسته، باعث متخلخلشدن بیش از حد در سطح سنگ شده بود؛ به گونه‌ای که در بسیاری از نقاط نقش‌برجسته چسبندگی و پیوستگی ذرات سطحی سنگ تحلیل رفته بود. شکستگی‌ها و فروریختگی در بسیاری از جزییات برجسته در نقوش، استحکام بخش‌های باقیمانده را تهدید می‌کرد و لازم بود محدوده‌های شکستگی مشخص شده بر روی نقشه‌های آسیب‌نگاری، تثبیت و مستحکم شوند تا از آسیب به نقوش بخش‌های همجوار آن ممانعت گردد.

در تثبیت و استحکام‌بخشی سطوح هوازده سنگ لازم بود که مواد حفاظتی به عمق هوازده سنگ نفوذ کنند، به گونه‌ای که این اطمینان حاصل گردد که پیوند استواری بین مواد تثبیت‌کننده و سطوح زیرین سنگ ایجاد شده است. به این منظور بایستی چگالی مواد تثبیت‌کننده با افزایش عمق، کاهش یابد تا ارتباط قوی مابین سطح و عمق اثر برقرار گردد. همچنین چنانچه، پوشش‌ها و تثبیت‌کننده‌های محافظ در سنگ‌ها، جاذب گازها و آلاینده‌های موجود در جو و خصوصاً اشعه UV باشند، میزان تخریب سنگ‌های درمان شده می‌تواند به طرز فراوانی افزایش یابد. از این رو مناسب‌ترین ماده استحکام‌بخش، ماده‌ای است که کاملاً در سنگ نفوذ کرده و صرفاً در سطح باقی نماند. امروزه در دنیا جهت تثبیت آثار سنگی از مواد مختلفی استفاده می‌شود (Anderson. 1986, pp. 133-137). مراحل کلی حفاظت و مرمت نقش برجسته بهرام دوم با توجه به موارد یاد شده شامل، پاکسازی سطحی، استحکام بخشی قسمت‌های سست، فرسوده و آسیب‌دیده سنگ و نهایتاً ملاط‌گذاری در محلهای شکستگی، ترک و کمبود بود.

در انجام حفاظت‌های اضطراری در طرح حاضر از آهک‌های هیدرولیک طبیعی با نام تجاری لدان استفاده شد. ترکیبات آهکی لدان با قابلیت نفوذ و ایجاد چسبانندگی لازم به منظور استحکام‌بخشی و حفاظت از سنگ استفاده می‌شود (www.ctsconservation.com). لدان‌ها با توجه به رنگ و سختی مورد نیاز انواع مختلفی را شامل می‌شوند. آهک‌های هیدرولیک طبیعی منتخب جهت مرمت نقش برجسته دارای نام‌های تجاری Ledan C30، Ledan TA1 و Ledan MTX بودند که به منظور ساخت ملاط و یا تزریق به درون لایه‌های فرسوده سنگ استفاده شدند. در استفاده از مواد استحکام‌بخش در سنگ‌های مرمت‌شده بایستی نفوذپذیری اثر که همان قابلیت تنفس سنگ است، حفظ گردد. از این رو، سطوح نبایستی مسدود شوند تا اجازه خروج رطوبتی که در سنگ موجود است فراهم آید. مهمترین ویژگی

جدول ۶. جزییات پیشنهادی در طرح حفاظت و مرمت نقش برجسته بهرام دوم
(بر اساس الگوهای استاندارد ارایه شده توسط کمیته بین المللی سنگ ایکوموس. ماخذ: ورگس بلمین،۱۳۹۰)

گروه آسیب	شکل آسیب	شرح آسیب	علل شکل‌گیری آسیب	درمان
تغییر رنگ و رسوب Discoloration & Deposit	پوسته بستن (Encrustation)	لایه معدنی فشرده، سخت و چسبیده به سنگ با ریخت‌شناسی سطحی و رنگ معمولا متفاوت از سنگ	غالبا از مواد جابجا شده توسط آب تراوشی به وجود آمده و ناشی از خود اثر می‌باشند.	با توجه به فعال نبودن این آسیب، تنها به حفظ شرایط موجود و جلوگیری از تخریب احتمالی بسنده می‌گردد
	ناحیه مرطوب (Moist area)	تیرگی سطح مربوط به رطوبت با شکل‌ها و گستردگی های متناسب با منشا اصلی خود.	رطوبت صعودی، رفتار جذب رطوبت ناشی از حضور نمک‌ها، میعان	حذف عامل آسیب‌رسان
	رسوب (Deposit)	تجمع مواد قشری با ضخامت متغیر و فاقد چسبنگی به سطح سنگ	دوده و غبار، شره رنگ یا ملاط، أثروسل نمک دریا و مواد پاشیده شده، فضولات پرنده و خفاش	پاکسازی به وسیله آب و آب مقطر
از دست دادن مواد Material loss	بخش‌های مفقود (Missing part)	فضای خالی در جایی که از قبل وجود داشته است. قسمت‌های برجسته مجسمه‌ها بخش‌های رایج مفقود هستند.	عموماً در اثر فعالیت انسان و یا فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی سنگ	به شرط دارا بودن شرایط حفاظت ملاط‌گذاری
	فرسایش نامنظم Differential) (Erosion	تخریب غیریکنواخت، زمانی رخ می‌دهد که فرسایش با سرعت یکسان از قسمتی به قسمت دیگر سنگ پیش نمی‌رود در نتیجه سنگ به صورت نامنظم تخریب می‌گردد.این ویژگی روی سنگ‌های ناهمگن، دارای مناطق سخت‌تر یا با تخلخل کم دیده می‌شود.	در سنگ‌های ناهمگن، ناشی از حمله انتخابی گلسنگ	*****
جدایش Detachment	لایه لایه شدن (Delamination)	فرآیند جدا شدن لایه‌های سنگ‌های لایه‌ای. این پدیده مربوط به جدایی فیزیکی سنگ به یک یا چندین لایه نازک است. ضخامت و شکل این لایه‌ها متغیر است، این لایه‌ها ممکن است در هر سو نسبت به سطح سنگ جهت یافته است.	هوازدگی سنگ¬های لایه¬ای، مانند رسوبی و برخی از سنگ¬های دگرگونی	تزریق میکرواکریل ۳۳ با غلظت‌های ۲۰ و ۵۰ درصد
	تورق یا پوست انداختن (Peeling)	جدایش لایه‌های نازک سنگ که موازی با سطح سنگ می‌باشد. این لایه‌ها ممکن است خمیده یا تاب خورده همانند صفحات کتاب باشند.	هوازدگی سنگ‌های لایه‌ای، مانند رسوبی و برخی از سنگ‌های دگرگونی	تزریق میکرواکریل ۳۳ با غلظت‌های ۲۰ و ۵۰ درصد
	تکه تکه شدن (Fragmentation)	شکست کامل یا جزیی سنگ به اجزایی با ابعاد متغییر که دارای شکل، ضخامت و حجم نامنظم هستند.	به علت قرارگیری بلوک سنگی	استفاده از تزریق میکرواکریل و TA1 (با توجه به میزان فضای خالی پشت شکستگی‌ها)
ترک و تغییر شکل Crack & Deformation	شکستگی‌ها (Fracture)	ترکی که کاملاً در قطعه سنگ امتداد می¬یابد.	هوازدگی و ناپیوستگی در سنگ	استفاده از ملاط با انه بندی ۸۰ و ۵۰
	شکافتگی (Splitting)	شکاف برداشتن سنگ در طول صفحات سست،نظیر ریز ترک‌ها یا لایه‌های رسی/سیلتی (لای) در مواردی که عناصر ساختاری به صورت عمودی جهت یافته‌اند.	حرکات	استفاده از ملاط دانه‌درشت در عمق شکافتگی‌ها و ملاط با دانه‌بندی ۵۰ جهت نمای اثر
	ترک (Carck)	درزی شاخص، قابل مشاهده با چشم غیر مسلح، ناشی از جدایی قسمتی از قسمت دیگر	هوازدگی، ناپیوستگی در سنگ، مشکلات ایستایی، زنگ زدن بست‌های فلزی، تجدید بندکشی سخت ملاط، زمان لرزه، آتش، انجماد	ملاط‌گذاری با استفاده از دانه بندی ۸۰
فعالیت‌های زیستی Biological colonization	گلسنگ (Lichen)	بسته‌های پوسته‌ای یا کپه‌ای ارگانیسم گیاهی با ظاهری چرمی میلی‌متری تا سانتی‌متری که معمولا روی قسمت‌های بیرونی رشد می‌کند. گلسنگ‌ها غالبا خاکستری، زرد، نارنجی یا سیاه‌اند و اختلافی در ساقه ریشه و برگ نشان نمی‌دهند.	مرطوب ماندن طولانی مدت بستر زیستگاه طبیعی	استفاده از الکل ۷۰ درصد
	گیاه آلی (Plant)	پوشش گیاهی زنده که در حالت کامل رشد، دارای ریشه، ساقه و برگ است. گرچه برخی اوقات تنها شامل برگی مجزاست.	وجود آب و محل مناسب برای ریشه‌دوانی گیاه مثل حفرات و یا شکاف‌های موجود در نقش	حذف فیزیکی گیاه، پرکردن حفره محل رشد

لدان‌ها و مواد استحکام‌بخش مورد استفاده در حفاظت و مرمت نقش برجسته بهرام دوم نیز دارا بودن همین ویژگی بوده است.

بنابراین از ملاط تزریقی TA1 برای اتصال قسمت‌های جداشده در سنگ استفاده شد. لدان TA1 ماده چسباننده بسیار خوبی است که جهت تثبیت ترک‌های پدید آمده طی تورق در لایه‌های درونی سنگ، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این ماده به‌صورت پودر است که در ترکیب با آب به نسبت ۱ به ۸/۰ به‌صورت محلول در می‌آید و می‌تواند به‌وسیله سرنگ تزریق گردد. با توجه به ساختار متخلخل سنگ، تزریق آهک نقش بسزایی در کنترل روند فرسایش ایفا می‌کند. همچنین از لدان C30 به عنوان یک ماده چسباننده آهکی، در ترکیب با آب و پرکننده‌ها، به‌صورت ملاط یا دوغاب به منظور حفاظت از قسمت‌های ازدست‌رفته سنگ استفاده گردید. به منظور مرمت ترک‌های ریز و تثبیت سطوح لایه لایه شده سنگ از تزریق رزین میکرواکریل CV 40 با غلظت ۵ تا ۱۰ درصد به داخل ترک‌ها استفاده گردید. استفاده از این رزین به عنوان یک ماده حلال در آب مناسب، موجب شد ویژگی‌هایی همچون مقاومت فشاری، جذب آب و نفوذپذیری در سنگ درمان شده و بهبود یابد (www.ctsconservation.com).

ب) ملاط‌گذاری

شکستگی‌ها به روش ملاط‌گذاری با آهک‌های هیدرولیک C30 و MTX در ترکیب با پودر سنگ سفیدرنگ به عنوان پرکننده، پوشش یافتند تا از نفوذ رطوبت و در نتیجه افزایش هوازدگی و فرسایش نقوش برجسته جلوگیری شود. به منظور استفاده از ترکیبات آهکی، پرکننده‌هایی همچون پودر سنگ که با ساختار سنگ همگن باشد اضافه می‌گردد. لذا ابتدا ترکیبات با نسبت و دانه‌بندی‌های مختلف با یکدیگر ادغام می‌شوند و به جهت رنگ و میزان سختی ارزیابی می‌شوند. در محوطه نقش رستم با توجه به ساختار آهکی و رنگ سفید سنگ‌ها از پودر سنگ مجدآباد، ماسه سیوند به عنوان پرکننده استفاده گردید. نسبت ماده پرکننده به لدان ۲۵/۲ به ۱ بود. پس از انتخاب نوع لدان و نوع و رنگ ماده پرکننده، مواد با یکدیگر ترکیب و کاملاً با یکدیگر مخلوط شدند تا پودری یکدست حاصل گردد. سپس ملاط با قرارگرفتن در یک ظرف پلیمری انعطاف‌پذیر، به مقدار مورد نیاز به ترکیب آب اضافه گردید. در قسمت‌هایی از نقش برجسته که نیاز به استحکام بیشتر ملاط نهایی در محل‌های شکسته و یا فرسوده سنگ داشت، مقدار ۵ درصد میکرواکریل نیز در ترکیب آب اضافه گردید. این ترکیب به کمک ابزار اسپاتول به حدی ورز داده شد تا یک ملاط یکدست حاصل گردد.

پیش از ملاط‌گذاری لازم بود محل‌های شکستگی از وجود رسوبات و آلودگی‌های خاکی در سطح و یا حضور گلسنگ‌ها، کاملاً پاکسازی گردد. لذا قبل از شروع عملیات استحکام بخشی و ملاط‌گذاری در سطح نقش برجسته، پاکسازی آن در حد حذف غبار و خاک نشسته بر سطح انجام شد. هنگام ملاط‌گذاری نیز سطح مورد نظر سنگ، مرطوب و پس از پرداخت اولیه ملاط با ابزار اسپاتول، پرداخت نهایی سطح مرمتی به کمک اسفنج مرطوب انجام گردید. توجه به این نکته حائز اهمیت است که ملاط پس از قرار گرفتن در سطح سنگ تا چند روز به‌طور متوالی نیاز به شرایط مرطوب دارد تا به گیرش نهایی خود برسد و لذا مراقبت‌های لازم پس از تکمیل مرحله ملاط‌گذاری، با مرطوب نمودن متوالی سنگ به ویژه در ساعات گرم روز، انجام گردید و ملاط‌های حفاظتی به گیرش و سختی مورد نظر دست یافتند.

نتیجه‌گیری

موقعیت نقش برجسته بهرام دوم در نقش‌رستم، در فضای باز و در معرض مستقیم شرایط جوی و اقلیمی، زمینه را برای تخریب هرچه بیشتر این اثر مهم تاریخی فراهم آورده است. بارندگی‌های فصلی و موسمی در منطقه با عملکرد مکانیکی (برخورد قطرات آب به سطح سنگ) و همچنین عملکرد شیمیایی (همراهی باران با آلاینده‌های طبیعی و یا مصنوع انسان)، شرایط لازم برای فرسایش و انحلال تدریجی را در سطح صخره و نقوش برجسته محوطه فراهم آورده است. به خصوص در شرایطی که بارندگی با

بـاد همـراه اسـت، عمومـاً لایـه‌ای نـازک از آب بـر روی سـطح تشـکیل می‌شـود کـه بـا فشـار بـاد و مکـش مویینه بـه درون بافـت سـنگ رانـده می‌شـود. بارنـدگی و جـاری شـدن آب بـاران بـر روی سـطوح نقـش برجسـته و بـروز دماهـای زیـر صفـر در فصـول سـرد سـال، شـرایط لازم بـرای فرآینـد یـخ بـر شـدن و فرسـودگی سـطح اثـر را مهیـا نمـوده اسـت. همچنیـن موقعیـت قرارگیـری نقـش برجسـته دقیقـا در زیـر آرامـگاه داریـوش باعـث گردیـده کـه رطوبـت نـزولی از سینـه صخـره و از ارتفاعـات آرامـگاه بـر روی نقـش برجسـته سـرازیر گـردد، لـذا بارنـدگی و رطوبـت را می‌تـوان مهمتریـن عامـل آسیب‌رسـان بـه نقـش برجسـته بهـرام دوم به‌شـمار آورد.

تغییـرات دمـایی در طـول شـبانه روز، بـه دلیـل ایجـاد تنش در سـاختار ناهمگـن سـنگ و انقبـاض و انبسـاط نامتـوازن ذرات متشـکله آن از دیگـر دلایـل فرسـایش نقـوش صخـره‌ای محوطـه نقـش رسـتم بـوده اسـت. عوامـل زیسـتی همچـون رشـد گل سـنگ‌ها و نیـز ریشـه‌دوانی گیاهـان در میـان درزه‌هـای سـنگ خـود از دیگـر دلایـل فرسـایش سـطحی و عمـقی نقـوش برجسـته در محوطـه نقـش رسـتم بـوده اسـت. وزش جریـان بـاد کـه به‌ویـژه در فصـل بهـار از پایـداری و شـدت بیشـتری برخـوردار اسـت باعـث گردیـده اسـت کـه در گـذر قرن‌هـا، جداشـدن بخش‌هـای سسـت و هـوازده نقـوش برجسـته از دیـواره صخـره تسـهیل گـردد. همـه ایـن عوامـل طبیـعی و بیولوژیـکی در کنـار بـروز آسیب‌هـای انسـانی باعـث گردیـده بسیـاری از نقـوش برجسـته سـنگی در محوطـه نقـش رسـتم دچـار هـوازدگی و فرسـودگی در قالـب اشـکالی همچـون ترک‌خـوردگی، شکسـتگی، تـورق و لایـه لایـه شـدن سـنگ، پوسـته شـدن و پـودری شـدن سـطحی گردنـد.

بـه منظـور کنتـرل فرسـایش در سـطح نقـش برجسـته بهـرام دوم و کاهـش رونـد فرسـودگی، اقدامـات اضطـراری حفاظـت برنامه‌ریـزی و همزمـان بـا تدویـن طـرح حفاظـت و مرمـت اجـرا گردیـد. ایـن اقدامـات بـر اسـاس شـناخت آسیب‌هـا کـه بـه انـواع آن در بـالا اشـاره گردیـد و پـس از انجـام مسـتندنگاری و سـپس تهیـه نقشـه‌های آسیب‌نگارانـه بـه انجـام رسـید. در اقدامـات اجـرایی حفاظـت از انـواع مصالـح آهـکی موسـوم بـه لـدان بـه عنـوان مـاده اسـتحکام‌بخش و همچنیـن بـه عنـوان ملاط حفاظـتی اسـتفاده شـد. همچنیـن از تزریـق رزیـن میکرواکریـل در تثبیـت ریـز ترک‌هـا و سـطوح لایـه لایـه شـده سـنگ اسـتفاده گردیـد. اقدامـات حفاظـتی باعـث گردیـد ضمـن درمـان و تثبیـت نـواحی شکسـته و یـا سسـت سـنگ، ویژگی‌هـایی همچـون جـذب آب و نفوذپذیـری در سـنگ بهبـود یابـد.

سپاسگزاری

نگارنـدگان از آقایـان ضیـاء دیلمی‌پـور و بنیامیـن احمـدی در نقشـه‌برداری محوطـه نقـش رسـتم و تهیـه تصاویـر فتوگرامتـری از محوطـه تشـکر مینماینـد. از بخـش علـوم زمیـن دانشـگاه شیـراز بـه دلیـل همـکاری در تفسیـر مقاطـع سـنگ تهیـه شـده از محوطـه نقـش رسـتم سپاسـگزاری می‌گـردد. همچنیـن از آقایـان محمـد زارع (حافـظ) و علیرضـا برومنـدی کـه در فرآینـد حفاظـت از نقش‌برجسـته همـکاری داشـتند قـدردانی ویـژه می‌گـردد

حامیان مالی و معنوی

حفاظـت و مرمـت نقش برجسـته بهـرام دوم در نقش رسـتم فـارس در قالـب یـکی از برنامه‌هـای بنیادیـن حفاظـت و مرمـت پایـگاه میـراث جهـانی تخـت جمشیـد و زیـر نظـر مدیـر پایـگاه و مدیـر داخـلی محوطـه نقش رسـتم در سـال ۱۳۹۹ خورشیـدی بـا اعتبـار مـالی پایـگاه مذکـور بـه انجام رسـیده اسـت. همچنیـن پـروژه مسـتندنگاری محوطـه نیـز طی سـال‌های ۱۳۹۶-۹۷ بـا اعتبـار پایـگاه توسـط شـرکت مهندسـی فرانـگار پیمایـش و پشـتیبانی شـرکت آلمـانی Ingenieurbżro GILAN بـه انجـام رسـیده اسـت.

پی‌نوشت‌ها

۱.سـیمانی شـدن (Cementation): ایـن فرآینـد بـه شـکل تـه نشسـت شـیمیایی کربنـات کلسـیم ($CaCO_3$) در فضـای بیـن ذرات تشـکیل‌دهنده سـنگ اتفـاق می‌افتـد و سـبب سـخت شـدن رسـوبات و تبدیـل شـدن آنهـا بـه سـنگ می‌گـردد. انـواع سـیمان‌های مشـاهده شـده در نمونه‌هـا شـامل سـیمان رشـد اضافـی هـم محـور (Syntaxial)، سـیمان هـم ضخامـت (Isopachous)، سـیمان هم‌بعـد ریزبلـور (Equant) و سـیمان درشـت بلـور (Blocky) پرکننـده شکسـتگی‌ها هسـتند.

۲. **فشـردگی مکانیکـی** (Mechanical compaction) و **شـیمیایی** (Chemical compaction): ایـن فرآیندهـا در پـی رسـوب‌گذاری طبقـات فوقانـی و اعمـال فشـار روبـاره بـر روی

طبقات زیرین روی می‌دهد. فشردگی مکانیکی شامل نزدیک شدن دانه‌ها / اجزاء تشکیل دهنده سنگ، چسبیدن آن‌ها به یکدیگر و ایجاد مرزهای تماس نقطه‌ای، خطی و محدب مقعر بین آنهاست. با ادامه افزایش فشار روباره، دانه‌ها در تماس با یکدیگر دچار انحلال می‌شوند (انحلال فشاری) که نتیجه آن ایجاد مرزهای انحلالی به شکل رگچه (Solution seam) یا مضرس (Stylolite) در سنگ است.

۳. **نوشکلی‌شدن** (Neomorphism): این پدیده در اثر اعمال فشار و افزایش دما طی تدفین رسوبات و سنگ‌های رسوبی در آنها اتفاق می‌افتد و شامل افزایش تدریجی اندازه ذرات زمینه (میکرایت) و تبدیل شدن آنها به میکرواسپار (Micro spar) است. چنین پدیده‌ای همچنین می‌تواند هنگام تماس رسوبات و سنگ‌های کربناته با آب‌های جوی نیز رخ دهد.

۴. **میکرایتی‌شدن** (Micritization): این پدیده دیاژنزی عموما کمی پس از رسوب‌گذاری اجزاء سنگ در محیط رسوبی آنها رخ می‌دهد و طی آن، موجودات ریز میکروسکوپی، دیواره اجزاء بزرگتر را جهت دستیابی به مواد غذایی حفاری کرده و پس از جذب مواد مغذی، بقایای آن را به شکل ذرات تیره رنگ بر روی قطعه بر جای می‌گذارند. این عمل سبب ایجاد یک غشای تیره رنگ بر روی سطح دانه شده و تشخیص دقیق آن را دشوار می‌سازد.

۵. **شکستگی** (Fracturing): این فرآیند در پی اعمال نیروهای جهت‌دار تکتونیکی بر روی سنگ‌ها اتفاق می‌افتد و موجب شکسته شدن آنها می‌شود. در نمونه‌های مطالعه شده، شکستگی‌های میکروسکوپی پر شده با سیمان کلسیتی در تمامی نمونه‌ها مشاهده گردید.

منابع

پروین, حسین. (۱۳۷۵). سنگ شناسی رسوبی. دانشگاه پیام نور

شاپورشهبازی, علیرضا. (۱۳۵۷). شرح مصور نقش رستم فارس. تهران: بنداد تحقیقات هخامنشی

شاپورشهبازی, علیرضا. (۱۳۹۳). راهنمای مستند نقش رستم. تهران: سفیران

فدایی، حمید. (۱۳۹۹). پایش ساختاری و محیطی میراث صخره‌ای در محوطه تاریخی نقش رستم به منظور شناخت میزان تاثیر آلاینده‌های هوا بر سنگ‌های آهکی. رساله دکتری حفاظت و مرمت آثار تاریخی فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان

فون گال، هوبرتوس. (۱۳۷۸). جنگ سواران. مترجم فرامرز نجد سمیعی. تهران، نسیم دانش

کریستین‌سن، آرتور. (۱۳۱۴). وضع ملت، دولت و دربار دوره شاهنشاهی ساسانی. مترجم مجتبی مینوی. تهران، کمیسیون معارف

لوکونین، ولادیمیر گریگورویچ. (۱۳۵۰). تمدن ایران ساسانی. تهران، بنگاه ترجمه و نشر کتاب

ورگس بلمین، ورونیک (سر ویراستار). (۱۳۹۰). فرهنگ مصور الگوهای تخریب سنگ، کمیته علمی بین المللی سنگ ایکوموس. مترجمین: غلامرضا وطن‌خواه و مهدی رازانی. تهران، سازمان انتشارات جهاد دانشگاهی

Amoroso, G. G., Vasco, F. (1983). Stone Decay and Conservation: Atmospheric Pollution, Cleaning, Consolidation, and Protection, Elsevier, 453 pages.

Andersson, T. (1986). Preservation of rock carvings and rune-stones. Ed.N.S.Brommelle and P.Smith. London, pp.133-137.

Fitzner, B. (2014). Diagnosis of Weathering Damage on Stone Monuments. Macla 18: Workshop Mineralogśa Aplicada. Sevilla: Universidad de Sevilla, 21-28.

ICOMOS - ISCS (2008). Illustrated glossary on stone deterioration patterns. Paris: ICOMOS-ISCS. Pdf format available in the ICMOS website a form the date 08.10.30 at: http://www.international.icomos.org/publications/stoneglossary.pdf.

Matero, F. (1995). Cleaninig iron stain removal,and surface reair of architectural marble and crystalline limestone. American Institute of Conservation, 49-68.

Moroni, B., Pitzurra, L. (2008). Biodegradation of atmospheric pollutants by fungi: A crucial point in the corrosion of carbonate building stone. International Biodeterioration & Biodegradation, 62(4), 391. Doi: https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2008.03.011.

Price, C. A. (1996). Stone conservation, an overview of current research. Research in Conservation Series. Getty Conservation Institute, USA.

Saba, M., Quiūones-Bolaūos, E. E., Barbosa Lúpez, A. L. (2018). A review of the mathematical models used for simulation of calcareous stone deterioration in historical buildings. Atmospheric Environment, 180, 156. Doi: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2018.02.043.

www.ctsconservation.com: htt://www.cts.com, (بازیابی در 2021).