Conservation and Restoration of Fossils from the Maragheh Paleoecological Site

Fereshteh Abbasi[1]*, Mehdi Razani[2]

1. MA Student in Conservation of Historical-Cultural Artifacts, Tabriz Islamic Art University, Iran.
2. Associate Professor, Tabriz Islamic Art University, Iran.

Abstract

This study examines fossils as part of the country's natural heritage. These unique and irreplaceable artifacts hold historical, aesthetic, and scientific value. The objective of this research was to investigate the structure and composition of fossils, assess their existing damages, and propose appropriate methods for their conservation and maintenance. The studied samples were obtained from the Maragheh Fossil Research Center, specifically from the 13 Aban site of the Maragheh Formation. The initial phase involved extracting the samples from their encasing blocks and identifying the resulting traces. Following sampling, chemical tests were conducted to identify soluble salts, physical tests including densitometry, moisture content determination, and porosity measurement, as well as structural analyses such as XRF were performed. The soluble salt analysis examined chloride, phosphate, sulfate, and nitrate ions, with results indicating the presence of only phosphate ions in the samples. A precise understanding of the structure, characteristics, and origin of salts is highly beneficial in selecting appropriate conservation and treatment methods. Additionally, the results of physical tests can guide the selection of the type and concentration of consolidate. The XRF analysis was conducted to determine the elemental composition of the samples and their interaction with the surrounding soil. The damages observed in the fossils are primarily physical and mechanical, resulting from environmental conditions, improper transportation, and incorrect restoration practices. Damages such as cracks, microcracks, fractures, cavities, and loss of matrix material may occur before or after excavation. Furthermore, pyrite decay, efflorescence, delamination, light-induced damage, and biological degradation are additional factors affecting fossils and minerals.

Knowledge and Conservation Restoration

Special Issue. No.1
September 2019
Pages:32-45

https://journal.richt.ir/kcr

Corresponding Author

Fereshteh Abbasi

Email
fe.abbasi@tabriziau.ac.ir

Keywords: Fossil, Conservation and Maintenance, Damage, Structural Analysis.

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.

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

حفاظت و مرمت سنگواره‌های محوطه دیرین اقلیم مراغه

فرشته عباسی[1*]، مهدی رازانی[2]

۱. دانشجوی کارشناسی حفاظت و مرمت، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران
۲. دانشیار دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ایران

چکیده

در این مقاله، بررسی سنگواره‌ها به‌عنوان بخشی از میراث طبیعی کشور انجام شد. این آثار منحصربه‌فرد و جایگزین‌ناپذیر دارای ارزش تاریخی، زیباشناسی و علمی هستند. هدف از این مطالعه، شناخت ساختار و مواد تشکیل‌دهنده سنگواره‌ها، ارزیابی آسیب‌های موجود بر آن‌ها و ارائه راهکارهای مناسب برای حفاظت و نگهداری آن‌ها بوده است. نمونه‌های مورد بررسی متعلق به مرکز تحقیقات فسیل‌شناسی مراغه بوده و از محوطه ۱۳ آبان سازند مراغه به‌دست آمده‌اند. اولین مرحله مطالعه شامل خارج کردن نمونه‌ها از بلوک‌های حاوی آن‌ها و شناسایی آثار حاصل بود. پس از نمونه‌برداری، آزمایش‌های شیمیایی برای شناسایی نمک‌های محلول، آزمایش‌های فیزیکی از جمله چگالی‌سنجی، تعیین درصد رطوبت و تخلخل‌سنجی و همچنین آزمایش‌های ساختارشناسی شامل XRF انجام شد. در آزمایش شناسایی نمک‌های محلول، یون‌های کلر، فسفات، سولفات و نیترات بررسی شدند که نتایج نشان داد نمونه‌ها تنها حاوی یون فسفات هستند. شناخت دقیق ساختار و ویژگی‌های نمک‌ها و منشأ آن‌ها، در انتخاب روش‌های حفاظت و درمان مناسب بسیار سودمند است. همچنین، نتایج آزمایش‌های فیزیکی می‌توانند در انتخاب نوع و غلظت مواد استحکام‌بخش کاربرد داشته باشند. آزمایش XRF نیز به‌منظور تعیین عناصر موجود در نمونه و تعامل سنگواره با خاک اطراف آن انجام شد. آسیب‌های موجود در سنگواره‌ها عمدتاً فیزیکی و مکانیکی هستند و ناشی از شرایط محیطی، حمل‌ونقل نامناسب و مرمت‌های نادرست می‌باشند. آسیب‌هایی مانند ترک، ریزترک، شکستگی، ایجاد حفره و از دست رفتن ماده زمینه می‌توانند پیش یا پس از حفاری ایجاد شوند. علاوه بر این، پوسیدگی پیریت، شوره‌زدگی، لایه‌لایه شدن، آسیب ناشی از نور و تخریب زیستی نیز از دیگر عوامل آسیب‌زننده به سنگواره‌ها و کانی‌ها هستند.

واژگان کلیدی: سنگواره، حفاظت و نگهداری، آسیب، ساختارشناسی.

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

ویژه‌نامه: شماره ۱
تابستان ۱۳۹۸
صفحات:۳۲-۴۵

https://journal.richt.ir/kcr

نویسنده مسئول
فرشته عباسی

رایانامه
fe.abbasi@tabriziau.ac.ir

مقاله منتخب سیزدهمین همایش دو سالانه حفاظت و مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی و تزئینات وابسته به معماری
دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیر تجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

مقدمه

سنگواره‌ها بازمانده‌های تکامل حیات و زندگی، از کوچک‌ترین و ساده‌ترین اجزاء موجودات زنده تا عظیم‌ترین و پیچیده‌ترین مخلوقات مانند دایناسورها و ماموت‌ها هستند (قانع، ۱۳۹۲). واژه‌ی «سنگواره» از کلمه‌ی لاتین *Fossilis* گرفته شده و به معنای شیئی است که از کندن زمین به دست می‌آید. سنگواره‌ها شاهدی بر وجود جانوران و گیاهانی هستند که زمانی زنده بوده‌اند و یا بازمانده‌های حفظ‌شده‌ی موجودات زنده یا نشانه‌ای از فعالیت آن‌ها محسوب می‌شوند (میلسوم و ریگبی، ۲۰۰۴/۱۳۸۹). امروزه تعریف پذیرفته‌شده برای یک سنگواره، وجود ارتباط حیاتی با منشأ زیستی آن است؛ به عبارت دیگر، چیزی که زمانی موجود زنده بوده، اثر یا بخشی از آن محسوب می‌شود. این تعریف شامل تمام اندام‌ها و اشکال حیات، از میکروب‌ها و گیاهان ظریف تا حیوانات بزرگ مانند کوسه‌ها، دایناسورها، نهنگ‌ها و ماموت‌ها می‌شود. فرآیند سنگواره شدن معمولاً زمان بسیار طولانی نیاز دارد و شانس نیز در وقوع آن مؤثر است. به‌طور کلی، تنها بخش‌هایی از موجود زنده سنگواره می‌شوند که در شرایط خاص زمانی و مکانی، مقاومت کافی در برابر خرد و تجزیه از خود نشان داده و تا زمان مدفون شدن و محفوظ ماندن در گل‌ولای و رسوبات دوام آورده باشند (قانع، ۱۳۹۲). متأسفانه مطالعات علمی درباره‌ی آسیب‌شناسی سنگواره‌ها اغلب محدود به توصیف‌های فیزیکی و مکانیکی هستند و تنها در برخی منابع به تغییرات و آسیب‌هایی که در کانی‌هایی مانند پیریت رخ می‌دهد اشاره شده است؛ بنابراین، درک دقیق‌تر مکانیسم تخریب و انجام مداخلات فنی برای حفاظت و مرمت سنگواره‌ها ضروری است. کمبود تحقیقات جامع در ایران و عدم توجه کافی به این آثار موجب آسیب‌های روزافزون به سنگواره‌ها شده است.

اکثر آسیب‌های موجود روی سنگواره‌ها از نوع مکانیکی هستند و از زمان کشف، استخراج و حمل به محیط کارگاه ایجاد می‌شوند. همچنین برخی آسیب‌ها در طول نگهداری و انجام مراحل پاک‌سازی رخ می‌دهند. خراش، ساییدگی سطحی، شکستگی، ترک و ریزترک از مهم‌ترین آسیب‌ها هستند. تراکم رسوبات طی دوره‌های طولانی می‌تواند موجب ترک‌خوردگی استخوان‌ها شود، حتی اگر استحکام ظاهری آن‌ها حفظ شده باشد. علاوه بر این، سنگواره‌هایی که تازه نمایان می‌شوند، اغلب مرطوب هستند و استخوان‌های کمتر کانی‌دار، در معرض هوا به سرعت تخریب و شکافته می‌شوند. بسیاری از نمونه‌ها شسته شده و نرم یا شکننده هستند، به‌ویژه نمونه‌های جمع‌آوری‌شده از نهشته‌های زغالی، ماسه‌ای یا شنی که نیازمند توجه ویژه‌اند (Crucher & Woolley, 1982). مطابق اطلاعات موزه ولز، آسیب‌های رایج روی اشیای سنگواره‌ای و کانی‌ها شامل فرسودگی، سایش، آلودگی، پوسیدگی پیریت، شوره‌زدگی، لایه‌لایه شدن، آسیب ناشی از نور و تخریب زیستی است (Child, 1994, p. 39). پوسیدگی پیریت یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در نگهداری مواد زمین‌شناسی است و می‌تواند منجر به نابودی کل نمونه‌ها شود. این مشکل در مصنوعات مجموعه‌های باستان‌شناسی و مردم‌شناسی که از مواد حاوی پیریت ساخته شده‌اند نیز رخ می‌دهد و تنها با کنترل دقیق شرایط محیطی قابل پیشگیری است. نشانه‌های پوسیدگی پیریت شامل شوره‌زدگی‌های سفید و زرد، ترک‌خوردگی نمونه، بوی اسیدی قوی و علائم سوختگی روی بسته‌بندی‌ها است. این واکنش که به‌عنوان اکسایش سولفید یا «بیماری فسیلی» شناخته می‌شود، خطرناک‌ترین نوع آسیب شیمیایی برای سنگواره‌هاست (Child, 1994, p. 4).

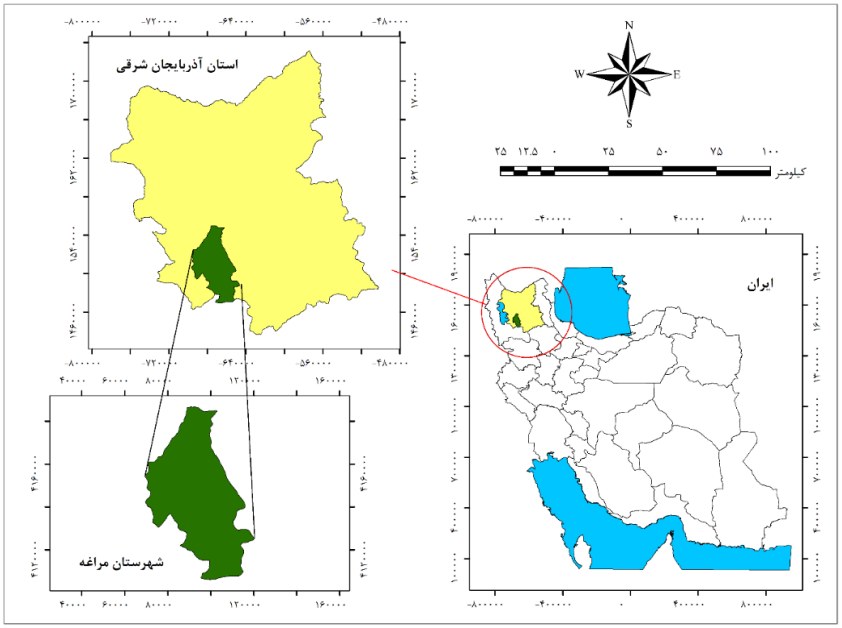
اغلب آسیب‌های مکانیکی روی نمونه‌ها شامل ترک، ریزترک، شکستگی، حفره‌دار شدن، فرسایش و از دست دادن مواد زمینه است. ترک در سنگ‌ها به درزی شاخص گفته می‌شود که با چشم غیرمسلح قابل مشاهده است و بر اثر جدایی بخشی از سنگ ایجاد می‌شود. زیرشاخه‌های ترک شامل شکستگی، ترک ستاره‌ای، ترک مویی، ترک شبکه‌ای و شکافتگی است و ممکن است ناشی از هوازدگی، ناپیوستگی در سنگ، مشکلات ایستایی یا زنگ‌زدگی بست فلزی باشد. حفره‌دار شدن به تشکیل سوراخ‌ها روی سطح سنگ اطلاق می‌شود که ممکن است به هم متصل باشند و شکل و اندازه‌های مختلفی داشته باشند. فرسایش نیز شامل از بین رفتن سطح اصلی و ایجاد اشکال هموار است و ممکن است ناشی از عوامل طبیعی، دخالت بشری یا فرآیندهای شیمیایی، فیزیکی و زیستی باشد. در فرسایش از نوع «از دست دادن زمینه»، زدایش جزئی یا انتخابی زمینه سنگ سبب نمایان شدن اجزای به‌هم‌پیوسته می‌شود (سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۱۳۸۸). نمونه‌های مورد مطالعه در این پروژه از محوطه ۱۳ آبان واقع در مراغه جمع‌آوری شده‌اند. در این ناحیه، حفظ‌شدگی سنگواره‌ها بسیار خوب است و مجموعه‌های استخوانی سنگواره‌شده فراوانی مشاهده می‌شوند. این مجموعه‌ها به‌صورت عدسی در میان لایه‌های رسوبی قرار دارند و شامل استخوان‌های پستانداران، پرندگان و خزندگان است. این رسوبات سنگواره‌دار تحت عنوان سازند مراغه شناخته می‌شوند. سنگواره‌های مهره‌داران و بی‌مهرگان عمدتاً از مواد معدنی مانند کربنات کلسیم، فسفات کلسیم و سیلیس تشکیل شده‌اند.

محل قرار گیری محوطه

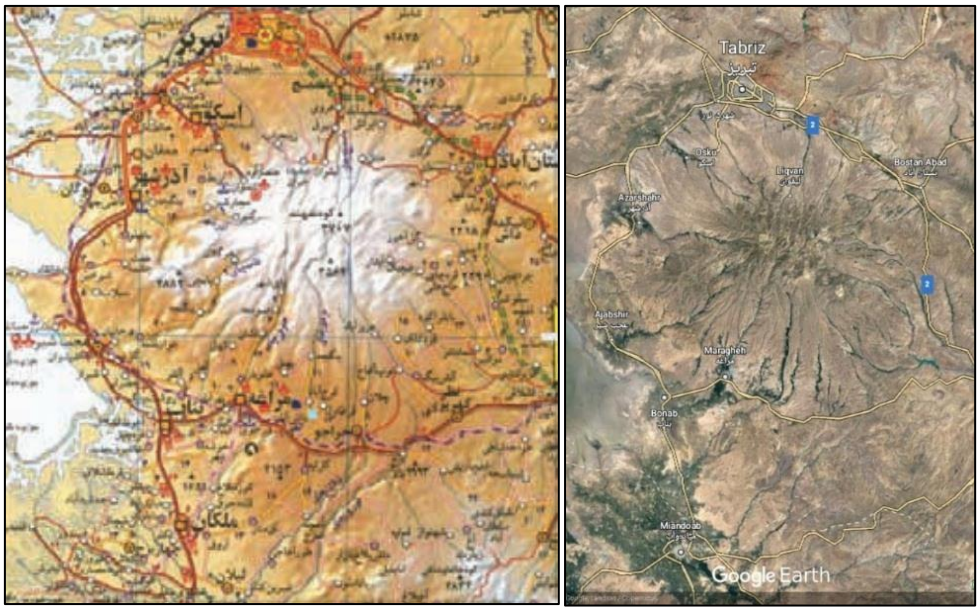
منطقه مراغه در شمال غرب ایران واقع شده و بخشی از استان آذربایجان شرقی را تشکیل می‌دهد. توالی سنگواره‌دار سازند مراغه در بخش پایینی بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ متر ضخامت دارد و شامل تناوب‌هایی از کنگلومرا، توف، پامیس، رس‌های توف‌دار، ماسه و رس‌های قهوه‌ای تا قرمز می‌شود. این رسوبات با پوشش رسوبات تراس‌دار کواترنری، که سازند کراجک نامیده می‌شوند، احاطه شده‌اند. سنگواره‌های مراغه

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

برای نخستین بار در سال ۱۸۴۰ میلادی توسط دیرینه‌شناسان روس مورد مطالعه قرار گرفتند. اهمیت این منطقه به دلایل مختلفی است: گونه‌زایی پستانداران سنگواره‌ای در میوسن فوقانی، قرارگیری در مسیرهای مهاجرتی پستانداران دوران سوم، تراکم بالای قطعات سنگواره‌ای در واحد حجم لنزهای سنگواره‌ای، تنوع خانواده‌های جانوری موجود در لنزهای حفاری‌شده و پراکنش وسیع لنزهای سنگواره مهره‌دا (زارع، ۱۳۹۶) سازند مراغه بر دامنه جنوبی کوه سهند واقع شده است. کوه سهند شامل ساختارهای پیچیده و گسترده‌ای از سنگ‌های آتش‌فشانی است که تقریباً ۱۰۰ کیلومتر را پوشش می‌دهد. حوزه مراغه از شمال توسط گسل لغزشی تبریز با روندNW–SE، از غرب توسط گسل ارومیه با روند N–S و از جنوب توسط گسل لغزشی Mendelaser با روند NW–SE محدود شده است (Bernor et al., 1980). توالی سازند مراغه ناشی از ته‌نشینی رسوبات رودخانه‌ای، مردابی، دریاچه‌ای و دشت سیلابی است. با توجه به مجموعه فسیلی یافت‌شده، از جمله انواع هیپاریون‌ها، و مقایسه آن‌ها با فسیل‌های سایر نقاط جهان، سن رسوبات این منطقه بین ۵.۷ تا ۱۲.۵ میلیون سال پیش تخمین زده می‌شود. در شکل ۱ موقعیت شهرستان مراغه در نقشه ایران و در شکل ۲ مسیرهای دسترسی به سایت‌های حفاری مراغه نشان داده شده‌اند (پور ابریشمی و دیگران، ۱۳۸۶).



شکل ۱. موقعیت شهرستان مراغه در نقشه ایران



شکل ۲. شهرستان مراغه (Google Earth). راه‌های دسترسی به سایت‌های حفاری در مراغه (پور ابریشمی و دیگران، ۱۳۸۶).

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

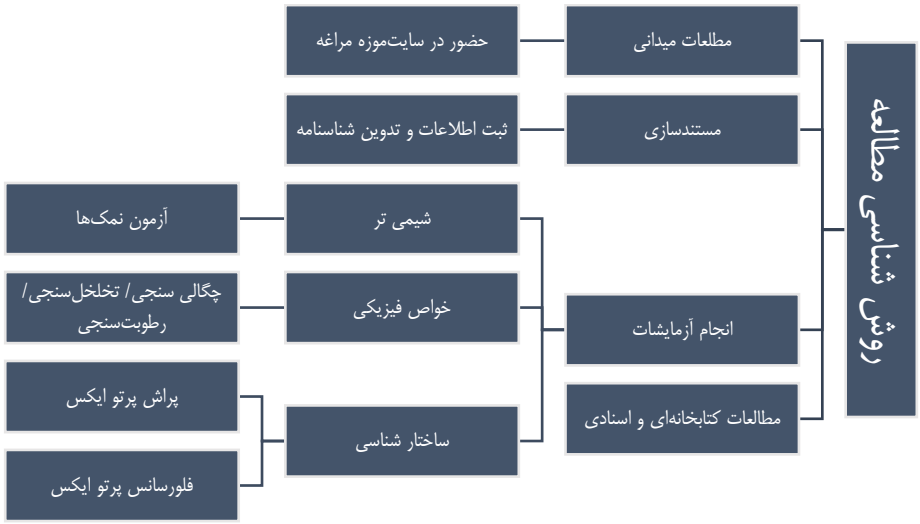
مواد و روش‌ها

مطالعات سنگواره از کاوش تا آزمایشگاه

در مطالعات سنگواره از مرحله کاوش تا آزمایشگاه، مراحل مختلف حفاری، جمع‌آوری نمونه‌ها، بسته‌بندی و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه اهمیت زیادی دارد. در حفاری سنگواره‌های مهره‌دار، انتخاب ابزار مناسب، شناسایی قطعات استخوانی از نظر اندازه و ابعاد، نوع رسوبات دربرگیرنده و میزان حفظ‌شدگی قطعات (درصد کلسیت باقی‌مانده، نوع مواد جایگزین شده و رطوبت محیط) باید مورد توجه قرار گیرد. به دلیل محدودیت امکانات آزمایشگاهی در سایت‌های صحرایی، نمونه‌ها معمولاً همراه با رسوبات دربرگیرنده و به صورت محافظت‌شده به آزمایشگاه منتقل می‌شوند. حفار باید با علم زیست‌شناسی و آناتومی جانوران مهره‌دار آشنایی داشته باشد تا بتواند قطعات مورد نظر را از نظر طول و عرض شناسایی و تصمیمات حفاری را اتخاذ کند و آگاهی از زمین‌شناسی برای شناخت لایه‌های سنگواره‌دار و رسوبات پیرامون اهمیت دارد؛ به همین دلیل اغلب گروه‌های دیرینه‌شناس همراه با متخصصان دیگر برای افزایش دقت و جلوگیری از آسیب به سنگواره‌ها، به حفاری می‌پردازند (زارع، ۱۳۸۷).

حفاری لایه‌های سنگواره‌ای به دلیل سستی قطعات نیاز به دقت و صرف زمان دارد و روش حفاری بر اساس نوع رسوبات، میزان استحکام قطعات و ویژگی‌های لایه‌ها تعیین می‌شود. به‌طور کلی، پس از شبکه‌بندی سایت و برداشت خاک رویی، محدوده لنزهای سنگواره‌ای مشخص و قطعات استخراج شده و نمونه‌ها محاط‌کاری می‌شوند. نمونه‌ها با استفاده از دستمال کاغذی، گچ، گونی و چوب‌های آتل‌بندی محافظت شده و پوشش چندلایه ایجاد می‌شود تا از آسیب جلوگیری شود. محاط‌کاری بسته به اندازه و شکنندگی نمونه، ساده یا همراه با آتل‌بندی انجام می‌شود و پس از سفت شدن گچ، نمونه‌ها همراه با رسوبات زیرین برداشت و در صورت لزوم در جعبه‌های چوبی با پوشال و یونولیت قرار می‌گیرند (سازمان حفاظت محیط‌زیست. ۱۳۸۸). در آزمایشگاه، رسوبات سطحی با ابزارهای دقیق مانند پنس دندان‌پزشکی، قلم‌های نازک و مته‌های بادی برداشته می‌شوند و برخی نمونه‌ها نیازمند قالب‌گیری از جمجمه با مواد مقاوم در برابر اسید هستند تا ساختار داخلی به‌دقت ثبت شود. پس از پاک‌سازی سطحی، محلول پلی‌وینیل‌استات (PVA B-15) در استون برای جلوگیری از خرد شدن نمونه و ایجاد سطح براق استفاده می‌شود و گچ و گونی محاط‌کاری اولیه با دقت از نمونه جدا می‌شود (زارع، ۱۳۹۶).

روش‌شناسی این مطالعه بر اساس مطالعات میدانی، حضور در سایت‌موزه، مستندسازی، انجام آزمایش‌ها و مطالعات کتابخانه‌ای طراحی شد. سنگواره‌های مهره‌داران و بی‌مهرگان عمدتاً از مواد معدنی نظیر کربنات کلسیم، فسفات کلسیم و سیلیس تشکیل شده‌اند. تعیین جنس مواد تشکیل‌دهنده آثار برای انتخاب روش مناسب حفظ و مرمت آن‌ها ضروری است. آزمایش‌های شیمی‌تری دارای محدودیت‌هایی هستند، چرا که نتایج آن‌ها معمولاً کیفی و با درصد خطای بالا همراه است. بنابراین، برای دستیابی به نتایج کمی و با دقت بالاتر، آزمایش‌های دستگاهی نیز ضروری است. در این پروژه، برای مطالعه ساختار و تعیین جنس آثار، از روش‌های آنالیز شیمی‌تری و XRF استفاده شد.



شکل ۳. نمودار روش‌شناسی انجام مطالعات حفاظت و مرمت سنگواره سایت موزه مراغه

آزمایش‌های شیمی‌تری با هدف اطمینان از حضور یا عدم حضور رسوبات مخرب، شامل شناسایی یون‌های کلر، فسفات، سولفات و نیترات انجام گرفت. نتایج آزمایش‌های فیزیکی نیز وضعیت فعلی آثار را نشان می‌دهند. به عنوان مثال، با اندازه‌گیری درصد رطوبت، تخلخل و چگالی نمونه‌ها می‌توان آسیب‌های ناشی از رطوبت، مانند کاهش مقاومت، ایجاد واکنش‌های شیمیایی و تغییر فرمول شیمیایی کانی‌ها را

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

شناسایی کرد. از آزمایش‌های دستگاهی برای شناخت دقیق ماهیت و ساختار آثار استفاده شد. یکی از اهداف این آزمایش‌ها، تعیین عناصر تشکیل‌دهنده نمونه‌ها بود تا بر اساس این اطلاعات، بهترین روش و مواد مورد نیاز برای حفظ و مرمت انتخاب گردد. همچنین، روش‌ها و دستگاه‌های مختلف استحکام‌بخشی و پاک‌سازی آثار که تاکنون در مطالعات مشابه به کار گرفته شده‌اند، مورد بررسی قرار گرفتند تا در صورت امکان و دسترسی به تجهیزات مناسب، از بهترین ابزارها برای استحکام‌بخشی و پاک‌سازی استفاده شود. در شکل ۳، روش‌شناسی انجام مطالعات حفاظت و مرمت نمونه‌های مورد بررسی نشان داده شده است.

معرفی نمونه‌های مطالعاتی

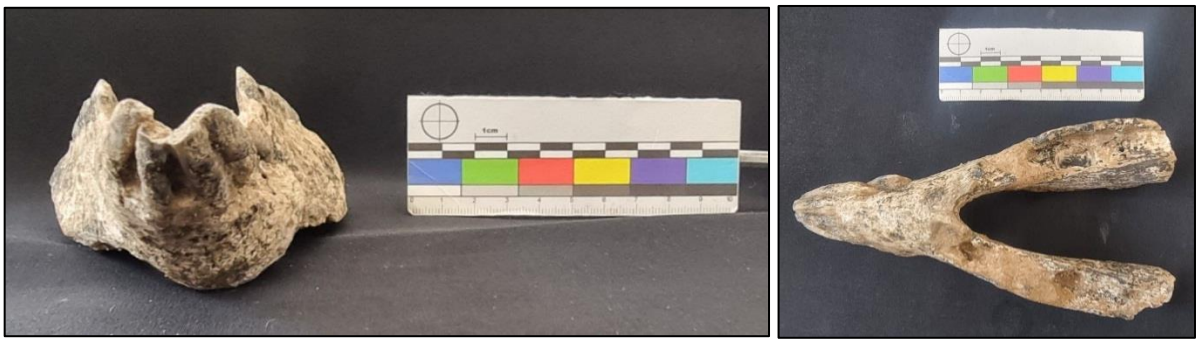
در این پژوهش از نمونه‌های موجود در کارگاه موزه دیرینه‌شناسی مهره‌داران مراغه (مرکز تحقیقات فسیل‌شناسی) استفاده شده است. این نمونه‌ها در سال ۱۳۹۵ از محوطه ۱۳ آبان مراغه جمع‌آوری شده‌اند و اطلاعات موجود روی ژاکت نمونه‌ها شامل محل حفاری، ستون، ردیف و شماره نمونه‌ها می‌باشد. نمونه مورد مطالعه از ردیفD ، ستون ۳ استخراج شده و شماره آن ۱۷۸ است. به دلیل سنگینی بلوک‌های حاوی نمونه‌ها، امکان توزین آن‌ها وجود نداشت و همچنین به دلیل عدم دسترسی به رادیوگرافی قبل از بازکردن بلوک‌ها، اطلاعاتی از محتویات داخلی در دسترس نبود. طول بلوک مورد بررسی ۷۵ و عرض آن ۲۵ سانتی‌متر بود و تصویر آن در شکل ۴ نمایش داده شده است. نمونه‌های به‌دست‌آمده شامل جمجمه کرگدن، فک تحتانی و ستون فقرات یک بچه گراز و چند قطعه استخوانی مجزا می‌باشد.

شکل ۴. بلوک‌های بررسی شده در این تحقیق

شکل ۵. نمونه‌هایی از آسیب ترک، حفره‌دار شدن، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه در جمجمه کرگدن

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

نمونه جمجمه کرگدن دارای ابعاد ۲۸.۹ × ۱۹.۷ × ۲۱.۴ سانتی‌متر و وزن ۴۳۷۰ گرم بود. در این نمونه ترک‌های ریز و گاهی ترک‌های شبکه‌ای مشاهده شد. در برخی بخش‌ها، فواصل این ترک‌ها با خاک پر شده بود و در بخش‌های دیگر ریزتر ترک‌ها دیده می‌شد. همچنین در بعضی نواحی جمجمه، آسیب‌هایی شامل حفره‌دار شدن، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه مشاهده گردید. نمونه‌هایی از این آسیب‌ها در شکل ۵ نمایش داده شده‌اند. نمونه فک تحتانی بچه گراز دارای ابعاد ۱۶.۸×۶.۲×۵.۸ سانتی متر و وزن ۲۱۳ گرم بود. در این نمونه آسیب حفره دار شدن، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه دیده می‌شد که در (شکل ۶) این آسیب‌ها نشان داده شده است.



شکل ۶. آسیب حفره دار شدن، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه در سنگواره فک تحتانی بچه گراز

نمونه ستون فقرات بچه گراز دارای ابعاد ۴۳.۴ × ۱۶.۳ × ۸.۸ سانتی‌متر و وزن ۲۹۱۰ گرم بود. این نمونه شامل آسیب‌هایی مانند ترک‌های ریز، شکستگی و تکه‌تکه شدن، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه بود. این آسیب‌ها در شکل ۷ قابل مشاهده هستند.

شکل ۷. آسیب ترک، شکستگی، فرسایش و از بین رفتن بافت زمینه در سنگواره ستون فقرات بچه گراز

شکل ۸. آسیب‌های ترک‌های ریز، ترک شبکه‌ای، آسیب تکه تکه شدن و حفره‌دار شدن در نمونه‌های قطعات استخوانی مجزا

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

نمونه‌های قطعات استخوانی مجزا شامل ترک‌های ریز و گاهی ترک‌های شبکه‌ای و آسیب‌های ناشی از تکه‌تکه شدن بودند. برخی از این آسیب‌ها به دلیل سست بودن نمونه و برخورد ابزارهای پاکسازی ایجاد شده بودند و برخی دیگر از همان ابتدا داخل بلوک دچار شکستگی شده بودند. همچنین آسیب‌هایی مانند حفره‌دار شدن نیز در این نمونه‌ها مشاهده شد. این آسیب‌ها در شکل ۸ نشان داده شده‌اند.

روش‌های آزمایشگاهی

الف) آزمون‌های شناسایی نمک‌های محلول

هر شیء سنگواره‌ای که ساختار آلی خود را از دست داده، حاصل تجمع کانی‌ها و رسوباتی است که در محل دفن آن وجود داشته‌اند. در واقع، اکثر سنگواره‌ها چیزی جز رسوبات و کانی‌های موجود در خاک نیستند و عامل اصلی شکل‌گیری آن‌ها همین رسوب‌ها است. بنابراین وجود قشری از رسوبات، حتی اگر ضخیم باشد، بر روی یک اثر سنگواره‌ای دور از انتظار نیست؛ با این حال، جنس محیط، خاک و رسوبات می‌تواند در تضاد با ساختار اثر باشد و به‌مرور زمان موجب فرسایش و تخریب آن شود. برای اطمینان از حضور یا عدم حضور رسوبات مخرب، آزمایش‌های شیمی‌تجزیه برای شناسایی نمک‌های محلول انجام شد. این آزمایش‌ها برای شناسایی یون‌های کلر، فسفات، سولفات و نیترات انجام گردید. آزمایش‌های شیمی‌تجزیه و تعیین خواص فیزیکی نمونه‌ها در آزمایشگاه شیمی عمومی دانشگاه هنر اسلامی تبریز صورت گرفت.

مواد و تجهیزات مورد نیاز: اسید نیتریک ۶ مولار، نیترات نقره ۱ مولار، اسیدکلریدریک ۶ مولار، کلرید باریم، HCl رقیق، اسید سولفوریک ۴ مولار، سولفات آهن، آب مقطر، لوله‌آزمایش، شعله و نمونه‌ها.

شرح آزمایش: پودر نمونه‌های مورد بررسی و خاک اطراف آن‌ها به‌صورت جداگانه در لوله‌آزمایش قرار گرفت و به ازای هر بخش، ۲۰ برابر حجم آن آب مقطر اضافه شد. پس از یک ساعت، محلول حاصل به چهار قسمت مساوی تقسیم شد و آزمایش‌های زیر انجام گرفت:

آزمون یون کلرید با نیترات نقره: چند قطره اسید نیتریک ۶ مولار برای اسیدی کردن محلول اضافه شد و سپس نیترات نقره ۰٫۵ مولار به آن افزوده شد. ایجاد رسوب سفید نشان‌دهنده حضور یون کلرید در نمونه است.

آزمون یون سولفات با کلرید باریم: اسیدکلریدریک ۳ مولار به محلول اضافه شد و سپس دو قطره محلول ۵ درصد کلرید باریم افزوده گردید. در صورت ایجاد رسوب سفید، نمونه حاوی یون سولفات است.

آزمون یون فسفات: HCl رقیق به نمونه اضافه شد و پس از آن نیترات نقره افزوده گردید. ایجاد رسوب نشان‌دهنده حضور یون فسفات است.

آزمون یون نیترات با سولفات آهن: چند قطره اسید سولفوریک غلیظ به محلول اضافه شد تا محیط اسیدی ایجاد شود، سپس یک قطره محلول سولفات آهن افزوده شد و مجدداً اسید سولفوریک ۸ مولار به آن اضافه گردید. ظهور حلقه قهوه‌ای‌رنگ نشان‌دهنده حضور یون نیترات است (استوارت، ۲۰۰۷/۱۳۹۳).

ب) آزمون‌های شناخت خواص فیزیکی

این آزمایش‌ها شامل اندازه‌گیری چگالی، تخلخل و رطوبت نمونه‌ها بود. چگالی سنگ تابعی از منافذ، درزها و سایر فضاهای باز موجود در آن است و با افزایش عمق و فشار ناشی از سنگ‌های فوقانی افزایش می‌یابد؛ زیرا درزها و ترک‌ها با فشار بسته می‌شوند. از سوی دیگر، هوازدگی باعث کاهش چگالی می‌گردد؛ زیرا ترک‌ها و درزها افزایش یافته، کانی‌ها تجزیه شده و تورم برخی از کانی‌ها رخ می‌دهد (فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). چگالی یک جسم، نسبت جرم به حجم آن است و با قانون ارشمیدس محاسبه می‌شود؛ بر اساس این قانون، جسم واردشده در یک سیال، نیرویی برابر با وزن سیال جابجا شده را تجربه می‌کند. حجم سیال جابجا شده برابر با حجم جسم است و معمولاً آب به‌عنوان سیال مورد استفاده قرار می‌گیرد (استوارت، ۲۰۰۷/۱۳۹۳).

مواد موردنیاز محاسبه چگالی: ترازو، استوانه مدرج، آب، نمونه موردبررسی

چگالی یک جسم، نسبت مستقیم بین جرم و حجم آن است که با فرمول $\frac{m}{v}$ محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن دانسیته (جرم حجمی)، ابتدا نمونه‌ها وزن شدند و حجم آن‌ها نیز محاسبه گردید. از آنجا که نمونه‌ها دارای شکل منظم نبودند و حجمشان به‌راحتی قابل اندازه‌گیری نبود، از روش زیر استفاده شد: در یک استوانه مدرج ۲۵ میلی‌لیتر، تا حجم ۱۵ میلی‌لیتر آب ریخته شد و سپس نمونه به‌طور کامل در آب قرار داده شد. میزان آب داخل استوانه مدرج اندازه‌گیری گردید و اختلاف حجم قبل و بعد از قرار دادن نمونه، حجم نمونه را نشان می‌دهد. پس از تعیین وزن و حجم نمونه، دانسیته آن‌ها با استفاده از فرمول جرم حجمی محاسبه شد. نمونه‌های با دانسیته بالاتر از یک زیر آب فرو می‌روند و نمونه‌های با دانسیته کمتر از یک روی آب باقی می‌مانند. منظور از درصد رطوبت، نسبت وزن آب موجود در

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

منافذ نمونه سنگ به وزن نمونه خشک‌شده بر حسب درصد است. واکنش‌های شیمیایی که بین آب و فاز جامد سنگ رخ می‌دهد، باعث تغییر فرمول شیمیایی کانی‌ها شده و اغلب این تغییرات مقاومت سنگ را کاهش می‌دهد. درصد رطوبت نمونه علاوه بر اینکه بیانگر آسیب‌های ناشی از رطوبت در نمونه، مانند کاهش مقاومت، ایجاد واکنش‌های شیمیایی و تغییر فرمول شیمیایی کانی‌ها است، برای محاسبه پارامترهایی چون درصد اشباع، تخلخل، چگالی تر و خشک نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰).

مواد و ابزار موردنیاز محاسبه درصد رطوبت، تخلخل و چگالی: آب، آون، دو عدد بشر، نمونه‌های مورد مطالعه

برای تعیین درصد رطوبت نمونه‌ها، ابتدا نمونه‌ها وزن شدند و به مدت ۲۴ تا ۴۸ ساعت درون آون با دمای ۱۰۵—۱۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند. وزن نمونه‌ها پس از ۲۴ ساعت اندازه‌گیری شد و با استفاده از فرمول زیر درصد رطوبت محاسبه گردید. برای اطمینان از خشک شدن کامل نمونه‌ها، آن‌ها باید هر ۴ ساعت توزین شوند؛ اگر اختلاف بین دو توزین متوالی کمتر از ۰.۱ وزن نمونه باشد، می‌توان پذیرفت که نمونه کاملاً خشک شده است (وفائیان، ۱۳۸۹).

W_1 = وزن اولیه نمونه ——— = درصد رطوبت نمونه

W_2 = وزن خشک نمونه

تخلخل در سنگ‌ها به دلایل مختلفی از جمله شرایط تشکیل (تخلخل اولیه) و فرآیندهای ثانویه مانند هوازدگی، دگرسانی، انحلال کانی‌ها و تبلور مجدد (تخلخل ثانویه) ایجاد می‌شود. تخلخل سنگ بستگی به شکل و توزیع ابعاد دانه‌ها، استحکام دانه‌ها، جهت‌گیری دانه‌ها، تراکم و سیمان‌شدگی دانه‌ها دارد. روش‌های میکروسکوپی برای برآورد حجم منافذ سنگ نمی‌توانند مقدار دقیق تخلخل را ارائه دهند؛ بنابراین، روش‌های آزمایشگاهی برای تعیین دقیق تخلخل مورد استفاده قرار می‌گیرند (فهیمی‌فر و سروش، ۱۳۸۰). برای تعیین تخلخل نمونه از روش اشباع و غوطه‌ورسازی استفاده شد. ابتدا نمونه به مدت ۲۴ ساعت در بشر حاوی آب قرار داده شد تا کاملاً اشباع گردد. سپس نمونه‌ها از آب خارج شده و جرم اشباع (غوطه‌وری) آن‌ها توسط ترازوی هیدرو استاتیک (ساخت و آماده شده در کارگاه مرمت سنگ) اندازه‌گیری شد. سپس نمونه‌ها از بشر خارج شده، با یک دستمال خشک شدند و جرم اشباع با سطح خشک آن‌ها نیز اندازه‌گیری گردید. پس از آن، جرم خشک نمونه‌ها با قرار دادن آن‌ها در اتوکلاو با دمای ۱۰۵ درجه به مدت ۱ ساعت و سپس ۳۰ دقیقه در دسیکاتور تعیین شد.

$$\text{درصد تخلخل} = \frac{\text{حجم فضای خالی}}{\text{حجم کل سنگ}}$$

$$\text{حجم فضاهای خالی} = \frac{\text{جرم خشک}-\text{جرم 24 ساعت اشباع}}{\text{چگالی آب}} \qquad \text{حجم کل} = \frac{\text{جرم غوطه وری}-\text{جرم 24 ساعت اشباع}}{\text{چگالی آب}}$$

ج) آزمون‌های دستگاهی

برای ساختارشناسی، از روش XRF استفاده شد. این روش قادر است عناصر بسیاری را به‌صورت کیفی و نیمه‌کمی، به‌ویژه در نمونه‌های معدنی، آنالیز کند. آنالیز مورد نظر در آزمایشگاه کانساران بینالود انجام شد. دستگاه XRF مورد استفاده، مدلPhillips PW 1480 بود. استاندارد نتایج این آزمایش بر مبنای CaO گزارش شده است و همچنین LOI در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری گردید که شامل تمامی مواد فرار در این دما است.

یافته‌ها و بحث و تحلیل

براساس نتایج حاصل از آزمایش شیمی‌تر، تنها یون فسفات در نمونه‌ها شناسایی شد. بنابراین، به نظر می‌رسد در نمونه‌های مورد بررسی، نمک‌ها عامل اصلی آسیب‌رسان نباشند. به طور کلی، تمام ترکیبات حاوی آنیون فسفات، به جز فسفات‌های عناصر فلزات قلیایی و فسفات آمونیوم که در آب محلول هستند، در آب نامحلول‌اند. رسوبات سیاه و لکه‌های سفیدرنگ ناشی از حضور فسفات‌ها، که اغلب غنی از مواد آلی می‌باشند، با تأمین مواد غذایی مناسب برای رشد میکروبیولوژیکی، موجب افزایش فساد و پوسیدگی می‌شوند. دانستن میزان نمک‌های مخرب سطح و نما، بررسی علل تخریب و شناسایی عوامل فرسایش، از ضروریات اولیه و بنیادین حفاظت محسوب می‌شود و در ارائه طرح‌های حفاظتی اهمیت بسزایی دارد. شناخت دقیق ساختار، ویژگی‌های بارز نمک‌ها و منشأ آن‌ها، امکان انتخاب نوع درمان و اقدامات حفاظتی مناسب را فراهم می‌آورد. نتایج آزمایش شیمی‌تر در جدول ۱ ارائه شده است.

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های شیمی تر

نوع آزمون	نمونه خاک	نتایج نمونه سنگواره
آزمون یون کلر	–	–
آزمون یون سولفات	–	–
آزمون یون فسفات	+ (تشکیل رسوب سفید)	+ (تشکیل رسوب سفید)
آزمون یون نیترات	–	–

آزمون تعیین درصد رطوبت و تخلخل نمونه‌های مورد بررسی، روشی برای سنجش میزان خلل و فرج موجود در نمونه و محدوده جذب رطوبت آن‌ها است. داده‌های کمی حاصل از این آزمون می‌تواند تا حدی محدوده اقدامات حفاظتی را مشخص کرده و در انتخاب نوع و غلظت ماده استحکام‌بخش مؤثر باشد. مقادیر مورد نیاز برای اندازه‌گیری چگالی، درصد رطوبت و تخلخل نمونه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است. با جایگذاری داده‌های به‌دست آمده در فرمول‌ها، میزان چگالی، درصد رطوبت و درصد تخلخل نمونه‌ها محاسبه و در جدول ۳ نمایش داده شده است. چگالی نمونه مورد بررسی بیش از یک است؛ بنابراین نمونه در صورت قرار گرفتن در آب، غرق می‌شود. درصد تخلخل نمونه برابر با ۳۳/۱۶ درصد است که مقدار نسبتاً بالایی به شمار می‌رود. تخلخل بالا نشان‌دهنده تراکم پایین نمونه است و از یک سو باعث سستی و تردی آن می‌شود، اما از سوی دیگر ویژگی مثبتی است، زیرا موجب افزایش جذب ماده استحکام‌بخش و افزایش عمق نفوذ آن در بدنه نمونه می‌گردد. با این حال، در شرایط رطوبتی بالای محیط، تخلخل بالا می‌تواند جذب آب را تسریع کند. اگر جذب آب همراه با نمک‌ها باشد، موجب شکفتگی آن‌ها می‌شود و در صورت همراه بودن با املاح، باعث نشست آن‌ها در بدنه نمونه خواهد شد. همچنین جذب آب اسیدی می‌تواند منجر به انحلال بدنه و از بین رفتن ترکیبات معدنی شود. در هوای سرد، تخلخل بالا و جذب زیاد آب ممکن است باعث یخ‌بندان و تخریب ساختاری نمونه گردد.

جدول ۲. نتایج حجم نمونه، جرم اولیه نمونه، جرم ۲۴ ساعت اشباع، جرم غوطه‌وری و جرم خشک نمونه

حجم نمونه	Cm^3 ۴/۰۶۴
جرم اولیه نمونه	۸/۰۰۸ گرم
جرم ۲۴ ساعت اشباع نمونه	۸/۹۸۸ گرم
جرم غوطه‌وری	۵/۳۳۳ گرم

جدول ۳. نتایج چگالی سنجی، درصد رطوبت و درصد تخلخل

چگالی نمونه	g/cm^3 ۱/۹۷
درصد رطوبت نمونه	۲/۹۸ درصد
تخلخل سنجی	۳۳/۱۶ درصد

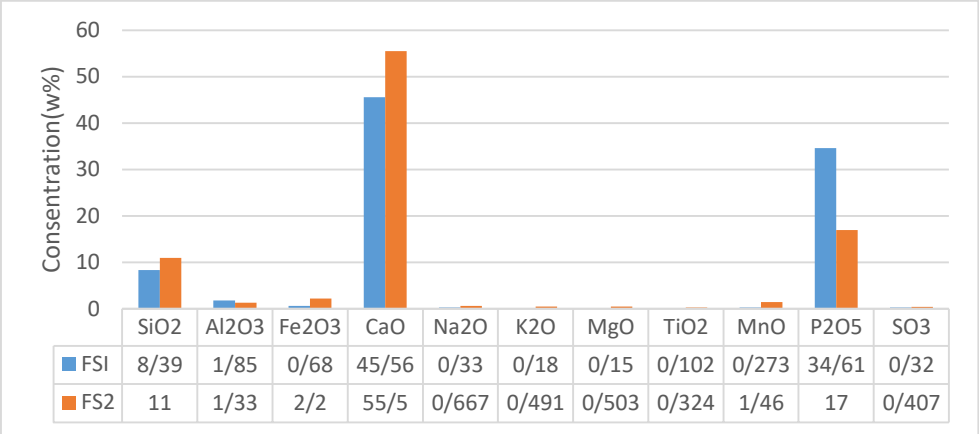
وضعیت یک شی تاریخی به دو عامل اساسی بستگی دارد: اول، ماده یا موادی که از آن ساخته شده است، که بسیار متغیر است؛ و دوم، شرایط محیطی که شی تحت آن قرار گرفته است. بنابراین، قبل از بررسی شرایط محیطی، شناسایی عناصر سازنده شی ضرورت دارد.
استخوان از دو بخش آلی و معدنی تشکیل شده است. بخش آلی شامل موادی مانند کلاژن، پلی‌ساکاریدها و گلیکوپروتئین‌ها می‌باشد و بخش معدنی شامل هیدروکسی‌فسفات‌های کلسیم، کلسیت و فلوراید است. با انجام آزمایش XRF روی نمونه‌های سنگواره، می‌توان تغییرات میزان و نوع مواد موجود در استخوان سنگواره شده را بررسی کرد. آزمایش XRF بر روی یک نمونه خاک و دو نمونه سنگواره انجام شد و نتایج آن در جدول ۴ و شکل‌های ۹ و ۱۰ ارائه شده است. در شکل ۹، مقایسه درصد عناصر موجود در نمونه‌های سنگواره ۱ و سنگواره ۲ نمایش داده شده و در شکل ۱۰، درصد عناصر موجود در هر دو نمونه سنگواره و نمونه خاک مقایسه شده است.

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

جدول ۴. نتایج آنالیز فلورسانس اشعه ایکس بر روی نمونه خاک و سنگواره انجام‌گرفته توسط دستگاه فلیپس PW1480

عناصر	مقدار در نمونه خاک (SS1)	مقدار در نمونه سنگواره ۱ (FS1)	مقدار در نمونه سنگواره ۲ (FS2)
SiO_2	51.2	11	8.39
Al_2O_3	7.68	1.33	1.85
Fe_2O_3	11.8	2.2	0.68
CaO	12.9	55.5	45.56
Na_2O	2.58	0.667	0.33
K_2O	3.69	0.491	0.18
MgO	3	0.503	0.15
TiO_2	1.19	0.324	0.102
MnO	0.126	1.46	0.273
P_2O_5	2.28	17	34.61
SO_3	0.211	0.407	0.32
LOI	3.35	9.12	5.95

برای ما مهم است که عناصر موجود در یک سنگواره شناسایی شوند و روابط آن‌ها با شرایط محیطی بررسی گردد. بر اساس شکل ۹، در هر دو نمونه فسیل، CaO بیشترین ماده موجود است و پس از آن P_2O_5و SiO_2 درصد بالایی را نشان می‌دهند. میزان بالای CaO و P_2O_5 با توجه به اینکه ماده اصلی سنگواره‌ها استخوان است و بخش معدنی استخوان شامل هیدروکسی‌فسفات‌های کلسیم، کلسیت و فلوراید می‌باشد، قابل توجیه است. با توجه به اینکه سنگواره‌ها در داخل بستر خاکی قرار دارند، این همجواری و آمیختگی موجب برهم‌کنش مواد سنگواره و خاک اطراف آن‌ها می‌شود. عناصر موجود در خاک تحت تأثیر شرایط محیطی، رطوبت و سایر عوامل می‌توانند روی ترکیب سنگواره اثر گذاشته و حتی جایگزین برخی از مواد معدنی موجود در آن شوند. در نمونه‌های مورد بررسی، میزان سیلیس در خود سنگواره کم است، اما مقدار آن در نمونه‌ها بالاست؛ این موضوع احتمالاً ناشی از نفوذ سیلیس خاک به داخل منافذ بافت استخوانی و افزایش محتوی سیلیس سنگواره است. همچنین، نتایج نشان می‌دهد که میزان Fe_2O_3 در هر دو نمونه پایین است؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پوسیدگی پیریت در این نمونه‌ها وجود ندارد.

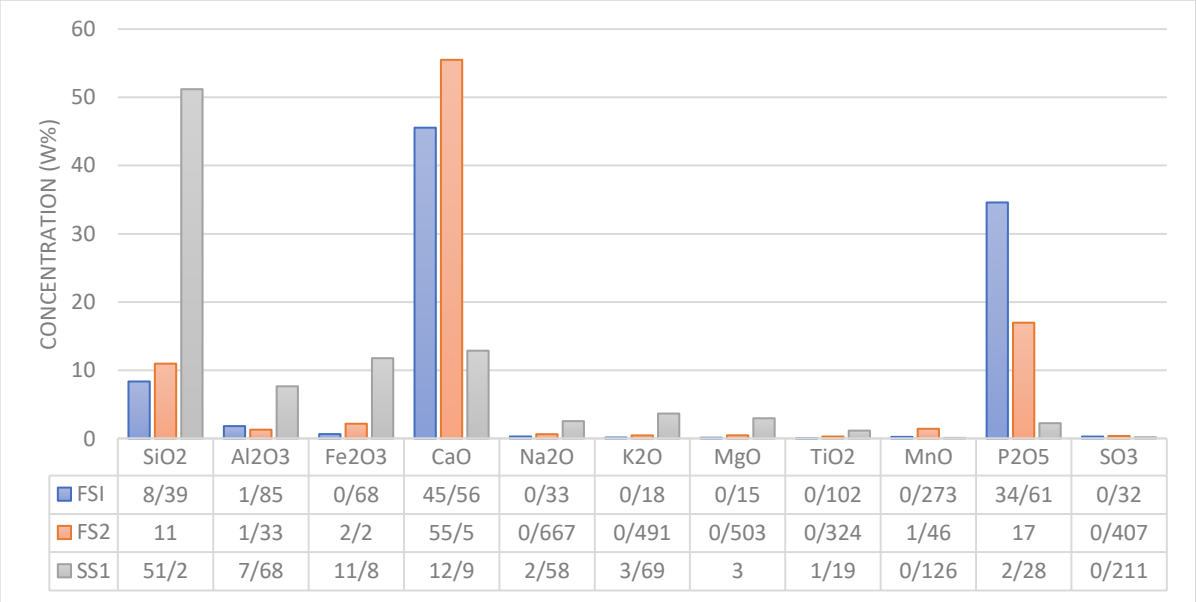


شکل ۹. مقایسه‌ی درصد عناصر موجود در نمونه‌ی سنگواره ۱ و سنگواره ۲

بر اساس نتایج ارائه شده در شکل ۱۰، خاک اطراف سنگواره‌ها دارای میزان بالای سیلیس است و این موضوع موجب افزایش سیلیس موجود در نمونه‌های سنگواره شده است. رس، که همان آلومینا سیلیکات آبدار است، دارای ذرات بسیار ریز است و می‌تواند از طریق منافذ بافت سنگواره نفوذ کرده و میزان سیلیس آن را افزایش دهد. علاوه بر این، میزان Fe_2O_3 و Al_2O_3 در خاک بالا است، اما این افزایش تاثیری بر مقدار این عناصر در نمونه‌های سنگواره نداشته است؛ این امر احتمالاً به دلیل عدم انحلال این مواد در آب و عدم نفوذ آن‌ها به درون نمونه‌هاست. میزان کلسیم و فسفات، که عناصر اصلی تشکیل‌دهنده استخوان هستند، در نمونه‌های سنگواره مورد بررسی نیز بالا

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

است و حتی پس از چند میلیون سال، این مواد به شکل عنصری و ظاهری پایدار باقی مانده‌اند. همچنین با توجه به میزان بالای کلسیم و فسفات در سنگواره‌ها، مقدار این دو عنصر در خاک اطراف سنگواره‌ها پایین است. این مطالعه قابلیت توسعه دارد و لازم است بر روی نمونه‌های بیشتری انجام شود. برهم‌کنش شیمیایی بین خاک، استخوان و سنگواره‌ها، شامل تجزیه و غنی‌شدن متقابل هر بخش از عناصر بخش دیگر، فرآیند رسیدن به تعادل خاک و بقایای سنگواره، و بررسی نحوه دستیابی به این تعادل، باید به‌طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد.



	SiO2	Al2O3	Fe2O3	CaO	Na2O	K2O	MgO	TiO2	MnO	P2O5	SO3
FSI	8/39	1/85	0/68	45/56	0/33	0/18	0/15	0/102	0/273	34/61	0/32
FS2	11	1/33	2/2	55/5	0/667	0/491	0/503	0/324	1/46	17	0/407
SS1	51/2	7/68	11/8	12/9	2/58	3/69	3	1/19	0/126	2/28	0/211

شکل ۱۰. مقایسه‌ی درصد عناصر موجود در نمونه‌ی سنگواره ۱ و سنگواره ۲ و نمونه خاک

عملیات حفاظت و مرمت

نمونه‌ها در کارگاه با استفاده از تجهیزات ویژه آماده‌سازی می‌شوند. برای بریدن محاط سنگواره، از اره و فرزهای سنگ‌بری دقیق استفاده می‌شود و این عملیات باید با نهایت دقت و احتیاط انجام گیرد. آماده‌سازی یک اسکلت مهره‌دار ممکن است چندین ماه طول بکشد و نیازمند صبر و دقتی مشابه کار جراحان است. کار آزمایشگاهی نیز ممکن است چندین ماه به طول انجامد. در این پروژه، برای خارج کردن نمونه‌ها از ژاکت محافظ، ابتدا سطح پشتی آن‌ها با آب مرطوب شد تا گچ و گونی نرم گردند. سپس با استفاده از چکش و قلم، ژاکت و محاط اطراف نمونه‌ها برش داده شد. پس از جدا شدن ژاکت از خاک اطراف، بلوک برگردانده شد و بقیه ژاکت نیز از روی خاک و سنگواره‌ها جدا گردید.

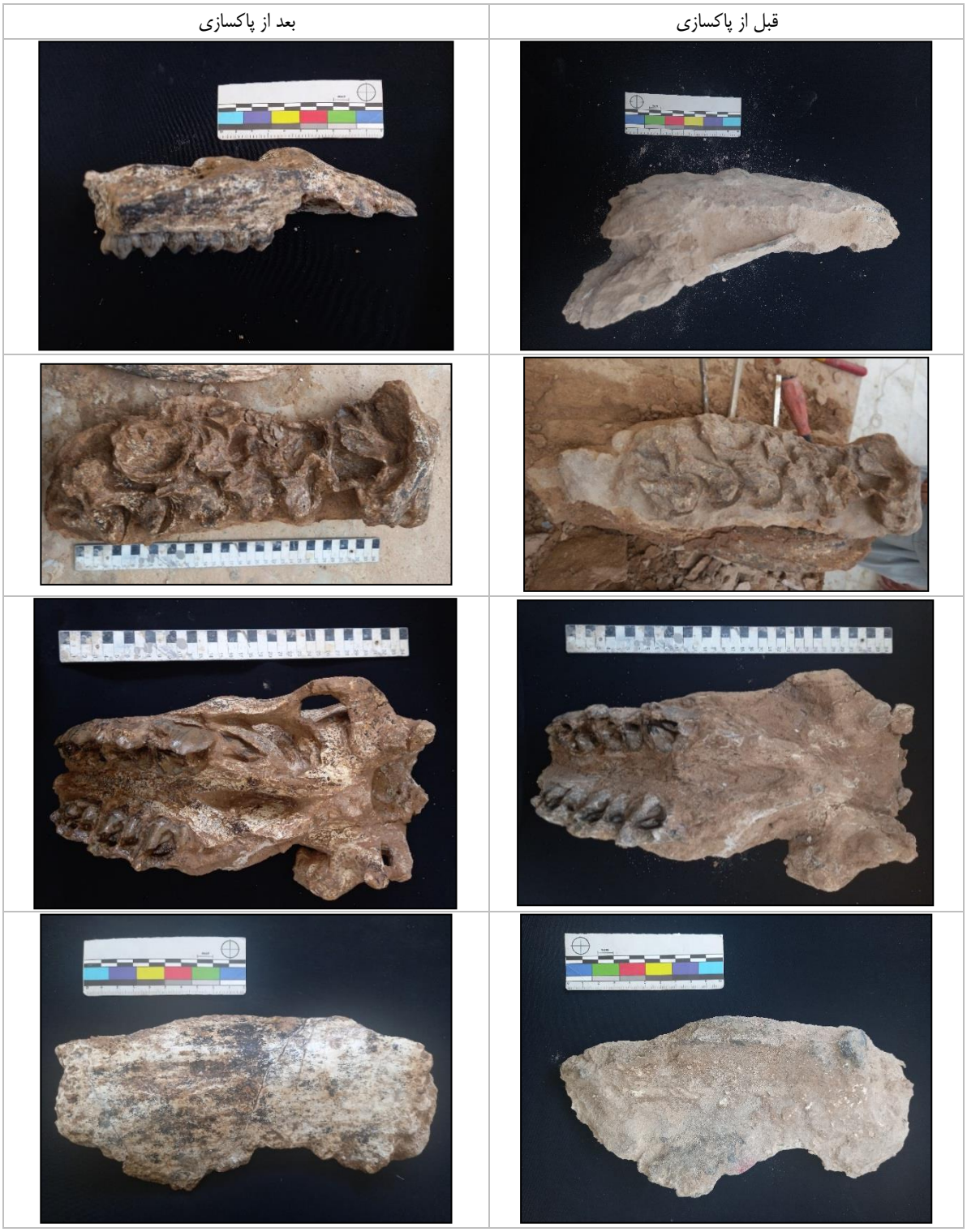
سپس از قسمت بالایی بلوک، خاک‌های اطراف سنگواره‌ها به آرامی و ابتدا با چکش و قلم، و سپس با ابزار دندان‌پزشکی و پنس‌های ریز، برداشته شد. در طول این مراحل، برای حفظ استحکام نمونه‌ها، از PVA محلول در استون استفاده گردید. به دلیل سست بودن نمونه‌ها، عملیات خارج کردن با دقت و در مدت زمان طولانی انجام شد.

نمونه‌های به‌دست‌آمده شامل ستون فقرات، فک تحتانی و چندین قطعه استخوان بودند. جداسازی و خارج کردن سنگواره‌ها از بلوک‌ها با ابزار دندان‌پزشکی، فرز، چکش و قلم انجام شد. پس از شناسایی و تشخیص کلی فسیل‌ها، خاک اطراف نمونه‌ها با احتیاط کامل برداشته شد تا آسیبی به نمونه‌ها وارد نشود. در برخی بخش‌ها، نمونه‌ها به دلیل سستی و استحکام پایین دچار شکستگی شدند که در مراحل بعدی با استفاده از چسب اپوکسی وصالی آن‌ها انجام گرفت. خاک‌های اطراف نمونه‌ها تا زمان استفاده از ابزارهای ظریف‌تر حفظ شد تا از آسیب حین کار جلوگیری شود. پاک‌سازی نهایی نمونه‌ها با ابزارهای دندان‌پزشکی و فرزهای مختلف انجام شد و نمونه‌ها روی صفحه‌ای جاذب ضربه مانند فوم پلاستیک یا کیسه ماسه‌ای قرار گرفتند تا از خرد شدن یا لغزش آن‌ها جلوگیری شود. قلم در زاویه حدود ۷۰ درجه نگه داشته می‌شد و نوک آن به فاصله ۱–۲ میلی‌متر از سطح نمایان سنگواره قرار می‌گرفت. دستی که قلم را نگه می‌داشت، روی سنگواره یا خمیره فشرده می‌شد تا پس از ضربه چکش، تراشه‌ها از سنگ جدا شوند بدون آسیب به نمونه.

ستون فقرات به‌دست‌آمده بسیار سست بود و با کوچک‌ترین فشار دچار شکستگی می‌شد. در بخش‌هایی از نمونه، بیشتر حجم زیرین تنها خاک بود و سنگواره اصلی پراکنده بود؛ بنابراین خاک‌های اطراف نمونه حفظ شد تا سنگواره از هم نپاشد. در بخش‌هایی که شکستگی رخ

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

داده بود، با قالب‌گیری دندان‌پزشکی، پایه‌ای ایجاد شد تا قطعات توسط چسب اپوکسی به هم چسبانده شوند و از شکستگی مجدد جلوگیری شود. به دلیل سستی نمونه‌ها و قابلیت انحلال استحکام‌بخش‌ها در آب و استون، پاک‌سازی عمدتاً به صورت فیزیکی و با ابزارهای ظریف انجام گرفت. دندان‌ها نسبت به سایر بخش‌ها حساس‌تر بودند و پاک‌سازی آن‌ها با سرعت کمتر و دقت بیشتری صورت گرفت. در تمام مراحل، استحکام‌بخشی با PVA انجام شد و پس از اتمام کار، نمونه‌ها برای حفاظت و ایجاد ظاهر شفاف و زیبا، با کتیرا پوشش داده شدند. تصاویر نمونه‌ها قبل و بعد از پاک‌سازی در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱. تصاویر نمونه‌ها قبل و بعد از پاکسازی

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]

نتیجه‌گیری

براساس نتایج شیمیایی، تنها یون فسفات در نمونه‌ها شناسایی شد و به نظر می‌رسد که نمک‌ها عامل آسیب‌رسان در نمونه‌های مورد بررسی نباشند. بررسی خواص فیزیکی نشان داد که این نمونه‌ها دارای تخلخل بالایی هستند؛ این ویژگی می‌تواند دلیل استحکام بسیار پایین آثار باشد. اندازه‌گیری خواص فیزیکی نمونه‌ها نقش مهمی در انتخاب نوع ماده پوشش‌دهنده و طراحی راهکارهای حفاظتی مؤثر دارد. بر اساس آزمایش‌های دستگاهی، برخی مواد از خاک اطراف آثار وارد نمونه‌ها شده و میزان عناصری مانند سیلیس را در سنگواره‌ها افزایش داده است. آسیب‌های مشاهده‌شده در نمونه‌ها عمدتاً مکانیکی بوده و شامل ترک‌ها، ریزترک‌ها، شکستگی، حفره‌دار شدن، فرسایش و از دست دادن مواد زمینه هستند. آسیب‌های ثانویه نیز به دلیل بی‌توجهی، حمل و نقل نامناسب پس از حفاری، نگهداری نادرست، قرار دادن نمونه‌ها در محیط نامناسب، مرمت اشتباه یا استفاده از مواد نامطلوب ایجاد شده‌اند. همچنین شیوه نمایش نادرست نمونه‌ها باعث کاهش دیده شدن ارزش‌ها و اطلاعات آن‌ها گردیده است. نبود اطلاعات جامع و تحقیقات کامل در ایران و عدم توجه جدی به وضعیت سنگواره‌ها موجب آسیب روزافزون به این آثار شده است. متأسفانه، در منابع علمی موجود، آسیب‌شناسی سنگواره‌ها فراتر از توصیف‌های فیزیکی و مکانیکی نرفته و تنها در برخی منابع به تغییرات و آسیب‌هایی که در کانی‌هایی مانند پیریت رخ داده، اشاره شده است. بنابراین، نیاز به درک بهتر مکانیسم تخریب و انجام مداخلات فنی برای حفاظت و مرمت سنگواره‌ها به‌وضوح احساس می‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پروژه نهایی مرمت نویسنده مسئول مقاله با عنوان "حفظ و مرمت سنگواره ستون فقرات و جمجمه جانوری متعلق به موزه فسیل‌شناسی مرکز تحقیقات دیرینه‌شناسی مراغه" است، که در دانشکده حفاظت آثار فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز و به راهنمایی دکتر مهدی رازانی انجام شد. بدین‌وسیله، از دانشگاه هنر اسلامی تبریز، اداره حفاظت محیط زیست و موزه فسیل‌شناسی مراغه تحت نظارت آقای مهندس زارع سپاسگزاری می‌شود.

منابع

استوارت، باربارا. (۱۳۹۳). *روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی* (م. باقرزاده کثیری، مترجم). تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز. (کار اصلی در ۲۰۰۷ منتشر شده است).

پورابریشمی، زین‌العابدین، کوکبی‌نژاد، امیرحسین، زارع، غلامرضا، و دبیری، امید. (۱۳۸۶). مطالعه و اکتشاف فسیل‌های مهره‌داران واحد سنگ‌چین‌های مراغه. *مجله علوم زمین، ۱۷*(۶۷)، ۱۰۸–۱۱۵.

زارع، غلامرضا. (۱۳۸۷). *گزارش کارگاه بین‌المللی دیرینه‌شناسی مهره‌داران*. مراغه: سازمان حفاظت محیط‌زیست.

زارع، غلامرضا. (۱۳۹۶). *فسیل‌های مهره‌دار مراغه*. مراغه: مرکز تحقیقات دیرینه‌شناسی و تنوع زیستی دیرینه ایران.

سازمان حفاظت محیط‌زیست. (۱۳۸۸). *فسیل‌های مهره‌دار مراغه*. تهران: بخش فسیل‌شناسی مهره‌داران، دفتر تنوع زیستی و ذخایر ژنتیکی.

قانع، فرشاد. (۱۳۹۲). *اطلس رنگی فسیل‌های ایران*. تهران: پازینه.

فهیمی‌فر، احمد، و سروش، حامد. (۱۳۸۰). *آزمایش‌های مکانیک سنگ: مبانی نظری و استانداردها*. تهران: دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

ورگس بلمین(سر ویراستار). (۱۳۹۰). *فرهنگ مصور الگوهای تخریب سنگ* کمیته علمی بین‌المللی سنگ ایکوموس (غ. وطن‌خواه و م. رازانی، مترجمان). تهران: جهاد دانشگاهی. (کار اصلی در ۲۰۰۸ منتشر شده است).

میلسوم، کلیر، و ریگبی، سو. (۱۳۸۹). *فسیل‌ها در یک نگاه* (م. اسماعیل‌بیگ، مترجم). تهران: مرکز نشر دانشگاهی. (کار اصلی در ۲۰۰۴ منتشر شده است).

وفائیان، محمود. (۱۳۸۹). *آزمایش‌های مکانیک خاک*. تهران: انتشارات ارکان دانش.

Bernor, R. L., Woodburne, M. O., & Van Couvering, J. A. (1980). A contribution to the chronology of some Old World Miocene faunas based on hipparionine horses. *Geobios, 13*(5), 705–739.

Child, R. E. (1994). *Conservation of geological collections*. London, UK: Archetype Publications.

Crutcher, R., & Woolley, A. R. (1982). *Fossils, minerals and rocks: Collection and preservation*. London, UK: British Museum (Natural History).

[Downloaded from journal.richt.ir on 2026-09-06]