مطالعه‌ای نو در باب باستان‌شناسی و باستان‌سنجی مهره‌های سنگی نیمه‌بهادار شهر سوخته سیستان

سید ایرج بهشتی، یاسین صدقی و سید منصور سید سجادی

Un nuovo studio archeologico e archeometrico sulle analisi delle pietre semipreziose di Shahr-i Sokhta

Seyyed Iraj Beheshti, Yasin Sedghi, Seyyed Mansur Seyyed Sajjadi

One of the most important materials coming from Shahr-i Sokhta are various forms of precious and semi-precious stones and jewels. Archeological evidences suggested that the people of Shahr-i Sokhta had trade and cultural contacts with the east, west and north civilizations during the Bronze Age period. Several materials and objects which have been collected through the excavations conducted in different years confirm this preliminary assumption. Besides, the materials found in the main parts of this city, including its cemetery and Yadmani region, and several evidences of industrial workshops for cutting and primary production were identified in the area surrounding Shahr-i Sokhta, in which cutting tools, crude stones, unfinished and finished beads were found. According to the study carried out by the authors on 345 stone pieces obtained from the archeological excavations at Shahr-i Sokhta several sets of necklaces, beads and stones have been studied. The stone jewels were made of various materials including azure gems, opal (opal blue, red, yellow, smoky, soleimani and rhinestone), chlorite, turquoise (blue and green), limestone, flint, jasper, marble (calcite and aragonite), quartz, green tuff, and nectar, although also a number of beads made of gold, glazed baked clay and glass as well as gold-plated beads were identified. This collection includes intact stones, unfinished

beads, blades, appendages and un-raw stones with different usages, in various types and sizes. On the basis of archaeological investigations of these above stone gems, the scientific and laboratory study of the samples carried out archaeometry analysis using thin-section microscopy, scanning electron microscopy equipped with X-ray Spectroscopy (SEM-EDX), Raman spectroscopy and X-ray fluorescence portable (pXRF) methods. The structure of the examined beads and stones in each group revealed that these materials have similar structure and composition.

Uno dei materiali più importanti provenienti da Shahr-i Sokhta sono le varie forme di pietre preziose e semipreziose e, allo stesso modo, diversi tipi di gioielli. Tuttavia diverse evidenze di laboratori industriali per il taglio e la produzione primaria di materiale di lusso sono state raccolte anche nell'area circostante Shahr-i Sokhta, in cui utensili da taglio, pietre grezze, non finite, perle e materiale per la lavorazione sono stati rinvenuti. Sulla base di 345 frammenti di pietra provenienti dagli scavi archeologici di Shahr-i Sokhta sono stati identificati diversi gruppi di collane, perline e pietre, realizzate usando diversi materiali tra cui la gemma azzurra, l'opale, la clorite, il turchese (blu e verde), il calcare, la selce, il diaspro, l'alabastro (calcite e aragonite), il quarzo, il tufo; serie di perle in oro e argilla a vetro smaltato furono altresì anche rinvenute. Questa collezione comprende pietre intatte, perle non finite, lame, frammenti e pietre lavorate per diversi usi, di varie tipologie e dimensioni. Sulla base di quanto rinvenuto dalle indagini archeologiche, successivi studi laboratoriali e archeometrici (SEM-EDX, spettroscopia Raman e pXRF) hanno permesso di ricostruire struttura e composizioni di ogni singolo materiale.

چکیده

یکی از مهم‌ترین مواد فرهنگی به‌دست آمده از محوطه‌ی باستانی شهرسوخته سیستان مهره‌ها و جواهرات سنگی قیمتی و نیمه‌قیمتی در قالب‌ها و فرم‌های گوناگون است. شواهد باستان‌شناختی در محوطه شهرسوخته حاکی از آن است که مردمان این شهر در ارتباط و تجارت با تمدن‌های شرق، غرب و شمال خود بوده‌اند. اشیاء و مواد فرهنگی بسیاری در طول کاوش‌های سالیان مختلف به‌دست آمده که گویای این مطلب است. در شهرسوخته علاوه بر مواد یافت شده از بخش‌های گوناگون اصلی آن همچون گورستان و منطقه یادمانی و ... در محوطه‌های اقماری آن شواهدی از کارگاه‌های صنعتی متشکل از کارگاه‌های برش و تولید جواهرات سنگی و تزئیناتی به‌دست آمده که موادی همچون ابزارهای برش، سنگ‌های خام و مهره‌های نیمه‌کاره و سالم به‌دست آمده است. در بررسی‌های صورت‌گرفته توسط نگارندگان این پژوهش بر روی ۳۴۵ عدد از سنگ‌های به‌دست آمده از حفاری‌های روشمند باستان‌شناسی شهرسوخته که شامل مجموعه‌ای از گردنبندها، مهره‌ها و سنگ‌های خام بودند؛ پرداخته شده است. جواهرات سنگی مورد بررسی دارای جنس‌های متنوعی ازجمله سنگ‌های لاجورد، عقیق (عقیق آبی، قرمز، زرد، دودی، سلیمانی و بی‌رنگ)، کلریت، فیروزه

(آبی و سبز)، سنگ آهک، فلینت، ژاسپر، مرمر (کلسیتی و آراگونیتی)، کوارتز، توف سبز رنگ و سنگ چرت هستند. همچنین دربین مهره‌های موجود تعدادی مهره از جنس طلا، گل پخته شده لعابدار و شیشه و همچنین مهره‌هایی با روکش‌های طلا وجود دارند. این مجموعه‌ها شامل سنگ‌هایی به‌صورت مهره‌هایی سالم و نیمه‌کار شده، تیغه‌ها، زائده‌ها و سنگ‌های خام و کار نشده با کاربری‌های مختلف و در انواع و ابعاد متنوعی هستند. در ادامه پس از شناسایی و بررسی‌های باستان‌شناسی این جواهرات سنگی، اقدام به مطالعه‌ی علمی و آزمایشگاهی نمونه‌ها در قالب بررسی‌های باستان‌سنجی شد. برای نیل به اهداف مورد نظر از روش‌های میکروسکپی مقاطع نازک، میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به طیف‌بینی پاشنده پرتو ایکس (SEM-EDX)، طیف‌سنجی رامان و فلوئورسانس پرتو ایکس پرتابل (pXRF) استفاده شده است. ساختار مهره‌ها و سنگ‌های بررسی شده در هر گروه نشان می‌دهد که این مواد دارای ساختار و ترکیبات مشابهی با یکدیگر هستند.

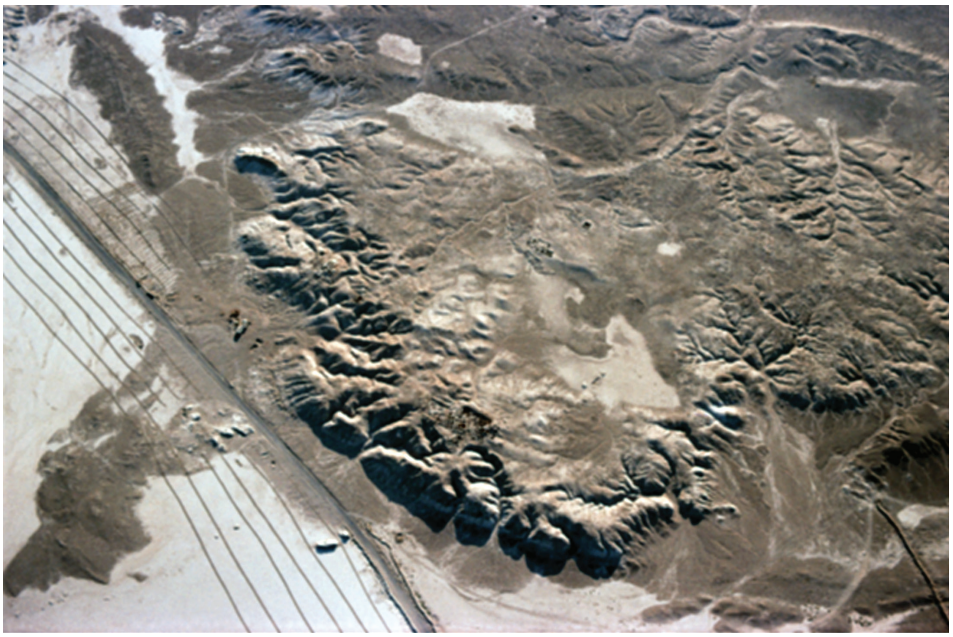
۱. مقدمه

کانی‌ها و سنگ‌های گرانبها موادی هستند که از دیرباز، ارزشمند به‌شمار آمده‌اند و آدمی به‌عنوان زیورآلات آن‌ها را به‌کار گرفته است. نام سنگ‌های گران‌بها و نیمه‌قیمتی معمولاً برای دسته‌ای از کانی‌ها به‌کار برده می‌شود که با داشتن برخی از ویژگی‌ها از سایر مواد معدنی و سنگ‌ها متمایزاند، از آن‌جمله میتوان برخی مواد آلی را نیز که پایداری و زیبایی ویژه دارند و در زینت به‌کار می‌روند نام برد. به غیر از مروارید، مرجان، کهربا، شبق و چند ماده دیگر که جز گوهرها و سنگ‌های بهادار آلی به‌شمار میروند، بیشتر گوهرها از جمله مواد متبلور معدنی‌اند. معمولاً سنگ‌های قیمتی را به دو بخش سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی تقسیم می‌کنند (قربانی، ۱۳۸۲). هنر به‌کاربردن و برش دادن جواهرات سنگی قیمتی و نیمه‌قیمتی دارای جایگاه منحصربه‌فردی در تاریخ بشر، به‌سبب ارزش‌های اقتصادی و جنبه‌های زیبایی‌شناختی آن‌ها بوده است و یکی از مشاغل حرفه‌ای محسوب می‌شده که تداوم سنت آن را در مناطق مختلف می‌توان مشاهده کرد (Rajan - Athiyaman 2004). از این رو با توجه به وجود منابع و معادن سنگ‌های متنوعی که در مناطق مختلف فلات ایران و مناطق دوردست آن وجود داشته، شاهد به‌کارگیری و تراش جواهرات سنگی قیمتی و نیمه قیمتی در قالب‌های مختلف، در بعضی از محوطه‌های باستانی هستیم. شهرسوخته سیستان از این حیث مستثنا نبوده و یکی از مشاغل مهم مردم آن مهره‌سازی و جواهرسازی با استفاده از سنگ‌های قیمتی و نیمه قیمتی بوده است. از وظایف مهم مهره‌سازان شهرسوخته، آماده‌سازی و ساختن انواع مهره‌ها از موادی مانند چوب، استخوان، گل، سفال، سنگ و فلز بوده است. گواه این مطلب تعداد

بسیار زیاد مهره‌های ساخته شده از جنس لاجورد، عقیق، مرمر، فیروزه و انواع دیگر سنگ‌ها در گورستان و دیگر بخش‌های شهرسوخته است. کشف این مواد و مهره‌های آماده شده و نیز وجود ضایعات سنگ‌ها و مهره‌های نیمه‌کاره و ابزارهای مهره‌سازی در سطح و باقیمانده‌های کارگاه‌های صنعتی و سنگ‌تراشی در کنار کارگاه‌های دیگری از جمله سفال‌سازی و فلزگری در بخش صنعتی شهرسوخته نشان‌دهنده‌ی ساخت و پرداخت اشیاء در همین محل بوده است. در شهرسوخته سنگ‌های نیمه‌قیمتی وارداتی چون سنگ لاجورد، عقیق و فیروزه از معادن دوردست تهیه می‌شدند. این سنگ‌ها و به‌ویژه لاجورد را پس از ورود به شهرسوخته صنعت‌گران شهر تراش داده و به‌شکل یک شئ زینتی در می‌آوردند و یا به‌صورت بلوک‌های تراشیده شده برای صدور به سرزمین‌های دوردست، آن سوی خلیج‌فارس و میان‌رودان به ایستگاه‌های مبادلاتی موجود در فاصله بین این سرزمین‌ها می‌فرستادند (سیدسجادی، ۱۳۸۲). باتوجه به حجم زیاد سنگ‌های به‌دست آمده از محوطه شهرسوخته که در طی سالیان متمادی در مخزن موزه‌های مختلفی همچون موزه و پایگاه شهرسوخته، موزه جنوب‌شرق زاهدان و موزه ایران باستان نگاهداری، جمع‌آوری و انبار شدند، سعی شد تا با بررسی، مستندنگاری و در قالب مطالعات باستان‌شناسی به شناختی درست از این مجموعه و همچنین در ادامه کار به شناخت ساختاری و در قالب مطالعات باستان‌سنجی آن پی برده شود، که در ادامه مقاله سعی شده است تا به‌طور کامل به تشریح و توضیح آن‌ها پرداخته شود. (تصویر ۱)

۲. مهره‌های نیمه‌قیمتی در شهرسوخته

در شهرسوخته سنگ‌های بهادار به‌کاررفته دارای شکل‌ها و گونه‌های متفاوتی است. مهره‌های موجود به اشکال حلقوی، استوانه‌ای، مخروطی، تخم‌مرغی شکل، کروی، دو مخروطی، مثلث با مقطع صاف، مخروط با مقطع صاف، لوزی و عدسی شکل هستند که در جدول ۱ شکل و نوع هر کدام از آن‌ها بیان شده است (جدول ۱). مهره‌های شهرسوخته به شکل‌های مختلف و از مواد گوناگونی چون سنگ لاجورد، فیروزه، عقیق، کریستال بلوری، کلسیت، سنگ آهک، مرمر، سنگ صابون، کلریت، صدف‌های دریایی، استخوان، فلز و در موارد نادری از طلا ساخته شده‌اند و مجموعه آن تشکیل‌دهنده گردنبند یا دستبندهایی از ترکیب چند سنگ با رنگ‌های مختلف بوده است (تصویر ۳). بررسی‌های انجام شده نشان داده‌اند که مهره‌ها بیشتر از سنگ لاجورد، فیروزه و عقیق ساخته شده‌اند. یکی از نکات بسیار مهم قابل اشاره آن است که در گورستان شهرسوخته و در گورهای صنعتگران، جز مهره‌های مورد بحث ابزار کار این صنعتگران نیز حفظ شده است (تصویر ۲) (سیدسجادی، ۱۳۸۲). (تصاویر ٤ – ٦)



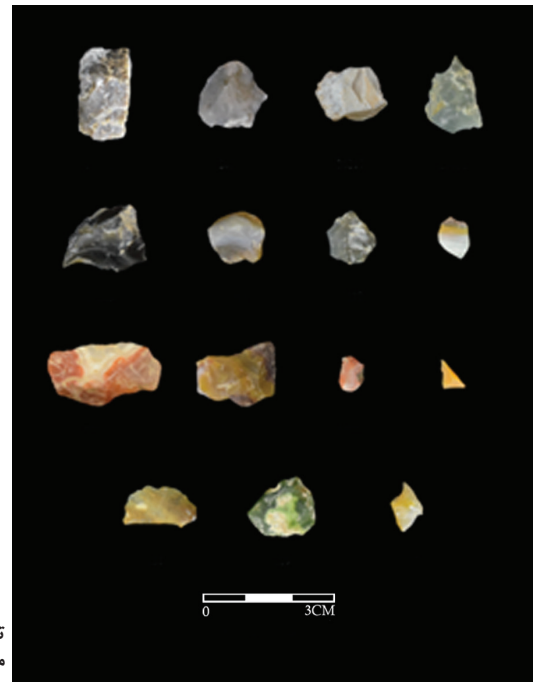
تصویر ۱. عکس هوایی شهرسوخته (Mille *et al*, 2004)

تصویر ۲. ابزارهای کار یک فرد صنعتگر پیش از تاریخی در شهرسوخته (Piperno, 1976)

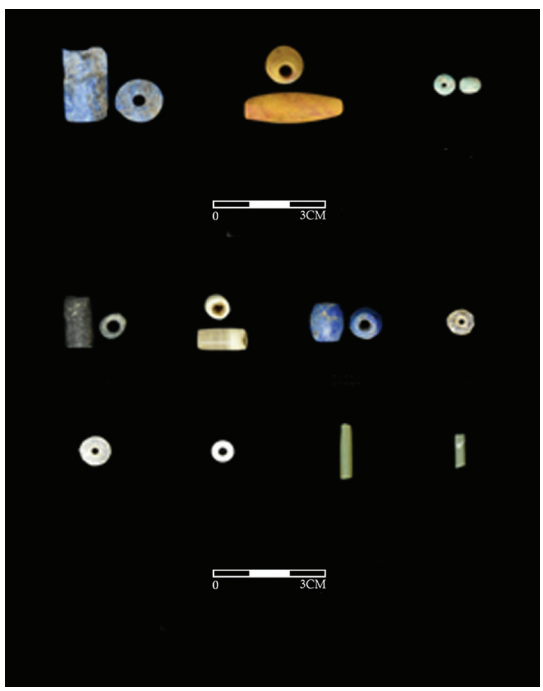
تصویر ۳. منتخبی از مجموعه مهره‌های شهر سوخته A : دو عدد مهره از جنس لاجورد و گل پخته شده. B: دستبند/ گردنبند از جنس عقیق، سنگ آهک و گل پخته شده. C: مهره‌هایی از جنس عقیق، لاجورد و طلا در گونه‌های مختلف. D: مهره‌هایی از جنس عقیق در قالب دستبند-گردنبند. E: مهره‌هایی از جنس عقیق، شیشه و سرامیک لعاب‌دار. F: دستبند ساخته شده از سنگ‌های عقیق و آهک. G: دو مهره از جنس فیروزه و عقیق. H: مهره‌هایی از جنس کلسیت، آراگونیت و گل پخته. I: مهره‌هایی از جنس‌های لاجورد، عقیق و طلا

روش‌شناسی تحقیق

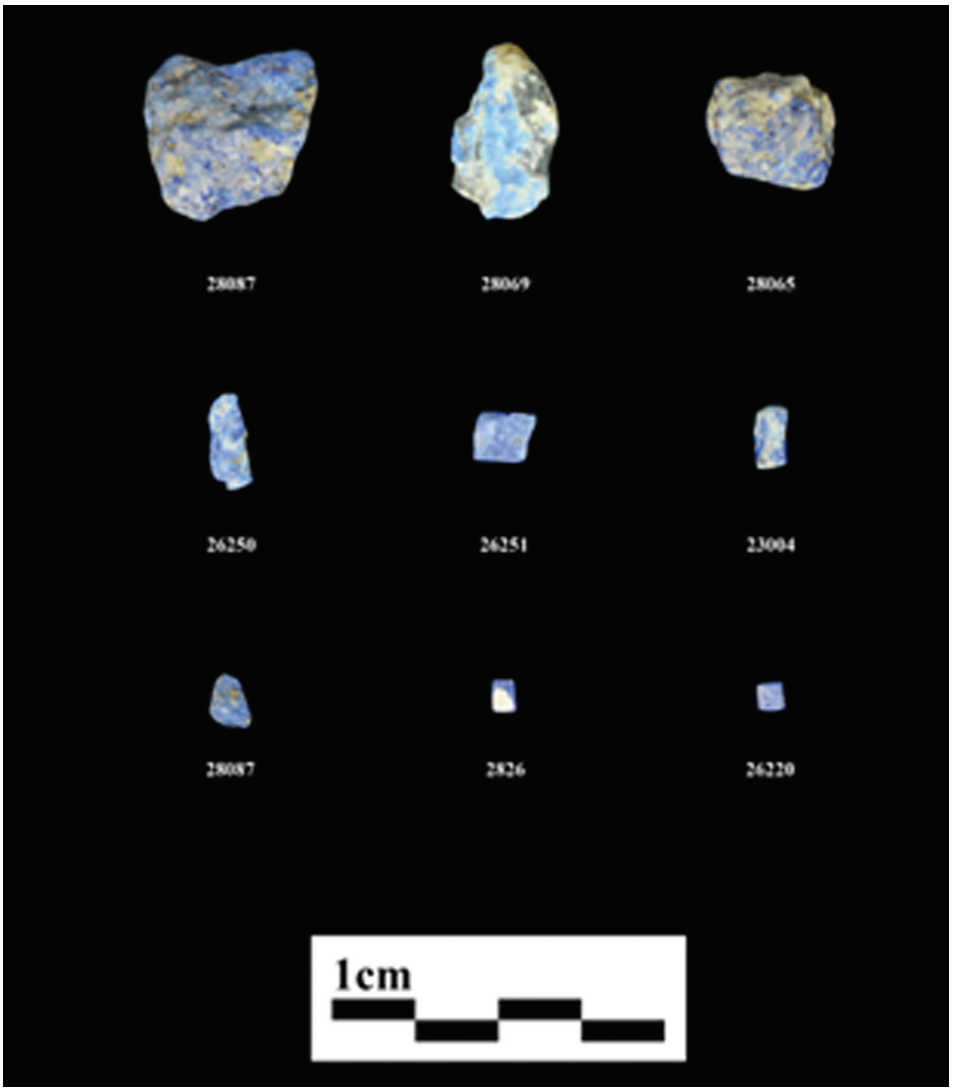
مطالعه سنگ‌های بهادار باستانی با مشکلات و پیچیدگی‌های خاص خود همراه است. این سنگ‌ها به‌دلیل اینکه در کاوش‌های باستانی به‌دست آمده‌اند، هویت یک منطقه یا حکومت را نشان می‌دهند. به‌همین دلیل لازم است که مطالعه این گونه آثار بدون تخریب یا با کمترین تخریب انجام گیرد. در این بررسی با دو گروه از سنگ‌های بهادار مواجهه هستیم. گروه اول سنگ‌های بهاداری که به‌صورت دستبند، گردنبند و یا مهره‌های کاملی هستند که در



تصویر۴. مته‌ها و مهره‌هایی از جنس‌های گوناگون، موزه جنوب شرق (نگارندگان)



تصویر۵. سنگ‌های خام و برش خورده از جنس عقیق به رنگ‌های مختلف، موزه جنوب‌شرق (نگارندگان)



تصویر ۶. سنگ‌های خام و نیمه کار شده از جنس لاجورد، موزه جنوب‌شرق (نگارندگان)

حفاری‌های شهرسوخته به‌دست آمده است و اکنون در مخزن موزه ملی نگهداری می‌شوند. برای مطالعه این نمونه‌ها، از روش غیرمخرب (Non Distructive method) استفاده شده است. برای انجام این کار، دستگاه‌های گوهرشناسی، اعم از دوربین، سه پایه، میکروسکوپ جواهرشناسی، پلاریسکوپ، ترازوی تعیین وزن مخصوص و رفرکتومتر به اتاق مخصوص مطالعه در مخزن موزه ملی انتقال داده شده و سپس نمونه‌ها در همان مکان مطالعه شدند.

جدول ۱: گونه‌شناسی مهره‌های شهرسوخته، ویرایش شده (سیدسجادی، ۱۳۸۲: ۱۸)

ردیف	گونه	طرح مقطع طولی	طرح مقطع از روبرو
۱	حلقوی		
۲	استوانه‌ای		
۳	مخروط		
٤	تخم مرغی		
٥	کروی		
٦	دو مخروطی		
۷	مخروط با مقطع صاف		
۸	لوزی		
۹	عدسی شکل		
۱۰	مثلث با مقطع صاف		

گروه دوم سنگ‌های بهاداری هستند که به‌صورت ضایعات و سنگ خام و گاه مهره‌های سالم و شکسته در حفاری‌های اخیر یا در هنگام بازدید از شهرسوخته به صورت سطحی در منطقه یافت شده است. جهت بررسی تکمیلی برروی تعدادی از سنگ‌های ضایعاتی و سنگ‌های خام، آنالیز غیرمخرب طیف‌سنجی رامان در موسسه گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی و SEM/EDX در آزمایشگاه رازی کرج انجام شد. همچنین بر روی چهار نمونه از روش (Thin Polish)، روش تهیه مقطع نازک–صیقلی برای مطالعه استفاده گردید. لازم به توضیح است که این روش، یک روش تخریبی بوده و به‌هیچ عنوان در مورد نمونه‌های موزه‌ای کاربرد ندارد و باید از روش‌های جایگزین غیرتخریبی استفاده نمود. شرح آزمایش‌های صورت گرفته در ادامه بیان خواهد شد (جدول ۲).

مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک به‌جهت بررسی میکروسکپی سنگ‌های نیمه‌قیمتی و تحلیل‌های کانی‌شناسی و ساختارشناسی در زیر میکروسکوپ پلاریزان نوری

آنالیز به‌روش میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی مجهز به فلوئورسانس پرتو یکس، به‌جهت به‌دست آوردن ترکیب شیمیایی سنگ‌های مورد مطالعه

آنالیز با استفاده از دستگاه XRF پرتابل به جهت شناخت ترکیب شیمیایی و عنصری نمونه‌ها

آنالیز به‌روش طیف‌سنجی رامان به‌منظور شناسایی ساختار و ترکیب سنگ‌های نیمه‌قیمتی

مطالعات جواهرشناسی نمونه‌ها با استفاده از دستگاه‌هایی همچون رفرکتومتر، ترازوی تعیین وزن مخصوص، پلاریسکوپ و میکروسکوپ جواهرشناسی به جهت شناخت نوع سنگ

مواد فرهنگی مورد تحقیق

در این پژوهش مجموعه موجود از سنگ‌های نیمه بهادار، در مخزن موزه جنوب‌شرق شهر زاهدان، موزه و پایگاه میراث جهانی شهرسوخته و موزه ایران باستان تماماً بررسی و از لحاظ جنس، حجم و تنوع دسته‌بندی و از همدیگر تفکیک شدند. این بخش از مطالعه صرفاً به‌جهت شناخت مواد فرهنگی موجود و به‌دست آوردن آماری کلی از تعداد هرکدام از یک سنگ‌های نیمه‌قیمتی موجود در مخزن موزه بوده است. در این بررسی تعداد سنگ‌های نیمه قیمتی شمارش شده، ۳٤٥ قطعه است. سنگ‌های فوق‌الذکر در قالب مهره‌های گردنبند و دستنبند، تیغه، سنگ‌های برش‌خورده، سنگ‌های خام و ضایعات است. جنس سنگ‌های مورد بررسی و موجود در این مجموعه شامل: عقیق در گونه‌های مختلف، فیروزه، لاجورد، کلریت، سنگ آهک، مرمر (کلسیتی و آراگونیتی)، فلینت، کوارتز، ژاسپر، توف سبز رنگ، سنگ چرت

جدول ۲: آنالیزهای صورت گرفته، اهداف و مشخصات دستگاه‌ها

Analysis	Purposes	method	Devices	Laboratory
Petrography	Structural	Destructive	Model JamesSwift	آزمایشگاه پتروگرافی، پژوهشکده حفاظت و مرمت Petrographic Laboratory, Institute for Conservation and Restoration
SEM-EDX	Chemical Composition	Non-Destructive	TE-SCAN Company Model MIRA3	Razi Metallurgical Research Center (RMRC)
Portable XRF (pXRF)	Chemical Composition	Non-Destructive	Model 950t Goldd+3Niton XL Thermo Scientific Company	پژوهشکده XRF آزمایشگاه حفاظت و مرمت
Raman Spectroscopy	Structural	Non-Destructive	Model 8420 Portable ARL Company	آزمایشگاه رامان، مرکز گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی
Refractometer	Study of the main properties of the beads	Non-Destructive		مرکز گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی
Polariscope				
Gemstone Microscope				

و همچنین مهره‌هایی از جنس‌های طلا، گل پخته شده لعاب‌دار و بدون لعاب و شیشه نیز هستند که نمود صنعت جواهرسازی ایرانیان در هزاره‌های پیش از میلاد هستند. (جدول ۳)

بحث در نتایج مطالعات میکروسکپی

در این بخش از بررسی از نمونه سنگ‌های خام محوطه شهرسوخته، تعداد چهار نمونه، جهت مطالعه انتخاب شده است. در این روش، لایه نازکی به ضخامت ۳۰ میکرون از نمونه های مورد نظر تهیه و سپس آن را با میکروسکوپ پلاریزان مطالعه می‌کنند. روش پتروگرافی و مطالعه مقاطع نازک، یک روش پایه‌ای و اساسی در زمین‌شناسی است که برمبنای خصوصیات کانی‌شناسی و نوری اجزا سازنده نمونه بنا نهاده شده است . در این روش با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان کانی‌های اصلی، فرعی و ثانویه موجود در نمونه شناسایی، بافت نمونه در زیر میکروسکوپ مشخص و سپس نام سنگ بر اساس استانداردهای

جدول ۳. انواع سنگ‌های نیمه‌بهادار موجود و بررسی شده در این پژوهش

ردیف	جنس سنگ	نوع مهره‌های موجود			تعداد	کانتکس	محوطه
		مهره	نیمه‌کاره	خام			
۱	عقیق	❊	❊	❊	۱۰۵	حفاری	شهرسوخته
۲	سنگ آهک	❊	–	–	٦۰	حفاری	شهرسوخته
۳	مرمر	❊	❊	❊	٤۲	حفاری	شهرسوخته
٤	توف سبز	–	–	❊	۳۱	حفاری	شهرسوخته
٥	لاجورد	❊	❊	❊	۲۹	حفاری	شهرسوخته
٦	فیروزه	❊	–	❊	۲٥	حفاری	شهرسوخته
۷	گل لعابدار و بدون لعاب	❊	–	–	۱۸	حفاری	شهرسوخته
۸	ژاسپر	–	–	❊	۱۹	حفاری	شهرسوخته
۹	شیشه	❊	–	–	٤	حفاری	شهرسوخته
۱۰	کلریت	❊	–	–	۳	حفاری	شهرسوخته
۱۱	سنگ چرت	–	–	❊	۳	حفاری	شهرسوخته
۱۲	طلا	❊	–	–	۳	حفاری	شهرسوخته
۱۳	کوارتز	–	–	❊	۲	حفاری	شهرسوخته
۱٤	فلینت	–	–	❊	۱	حفاری	شهرسوخته

جهانی تعیین می‌گردد. لازم به توضیح است که این روش، یک روش مخرب است و نباید در مورد همه نمونه‌ها کاربرد داشته باشد (Quinn 2013: 4). چهار نمونه انتخابی جهت آنالیز پتروگرافی عبارتند از یک نمونه سنگ لاجورد، یک نمونه فیروزه، یک نمونه ژاسپر و یک نمونه کلسیت شفاف قرمز رنگ. این نمونه‌ها در حفاری‌های هدفمند محوطه شهرسوخته یافته شده و از جمله سنگ‌های ضایعاتی و کار نشده هستند.

نمونه کلسیت به رنگ قرمز – بی‌رنگ و شفاف، فاقد هرگونه خلل و فرج است. در مقطع میکروسکوپی این نمونه تمام از کانی کلسیت درشت بلور (اسپارایت)، تشکیل شده است. این کانی در نور پلاریزه بی‌رنگ است (تصویر ۷). نمونه ژاسپر به رنگ قرمز – قهوه‌ای، فاقد هرگونه خلل و فرج است (تصویر ۸). در مقطع میکروسکوپی این نمونه تمام از کانی کوارتز

کریپتوکریستالین همراه با رگه‌های قرمز اکسید آهن تشکیل شده است. در قسمت‌هایی از نمونه سیلیس به صورت نودول و گرهک دیده می‌شود. نمونه مقطع عرضی لاجورد به رنگ آبی فیروزه‌ای است و رگه‌های سفید رنگ همراه با کانی پیریت زرد رنگ در نمونه دیده می‌شود (تصویر ۹). کانی فیروزه نیز به فرم نودول و رگه‌ای در زمینه سنگ دیده می‌شود (تصویر ۱۰).

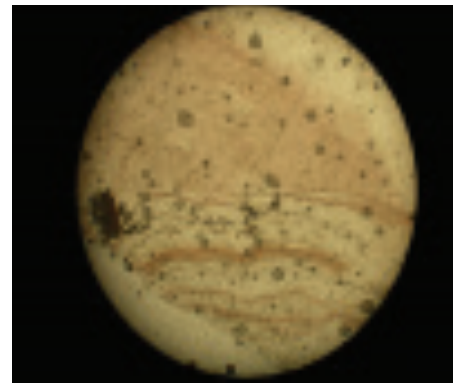
نتایج مطالعات XDE-MES

برای اطمینان از نتایج کار با دستگاه‌های گوهرشناسی، ۱۰ نمونه عقیق، ژاسپر، لاجورد، کلسیت، آراگونیت سبز رنگ و فیروزه برای این آنالیز انتخاب شدند. این آنالیز در مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی با میکروسکپ الکترونی روبشی نشر میدانی مجهز به فلوئورسانس اشعه ایکس (FE-SEM-EDX) ساخت شرکت TE-SCAN مدل MIRA3 انجام شده است. طیف‌ها و نتایج آنالیز گرفته شده از سنگ‌های فوق‌الذکر در جداول ذیل به‌صورت مجزا توصیف شده‌اند.

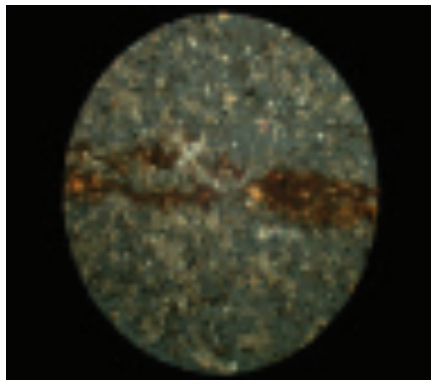
در فرمول این کانی، میزان عنصرهای سیلیس (۱۹/۱۱ و ۱۹/٦۱)، آلومینیوم (۷/۲۱ و ۷/۱٤)، منیزیم (٦/۷۳ و ۷/۹۸) کلسیم (٤/۹٤ و ٤/۹۸) و سدیم (۳/٤٦ و ۳/۱۳) همراه با اکسیژن بیشترین فراوانی را دارد. در گراف به‌دست آمده درصد عناصر کاملاً مشخص است که نشان‌دهنده ترکیب اصلی لاجورد می‌باشد (تصاویر ۱۱ و ۱۲). عناصر موجود در طیف‌های حاصل به خوبی بیان‌گر ساختار شیمیایی یک لاجورد است. میزان عناصر موجود در این دو طیف کاملاً یکسان و مشترک است که نشان می‌دهد ساختار شیمیایی سنگ‌های لاجورد موجود در شهرسوخته دارای منبعی یکسان هستند.

در آنالیز مربوط به مهره‌های فیروزه میزان درصد عناصر آلومینیوم (۱۸/۱۷ و ۱۸/۳۱)، فسفر (۱۳/۳۳ و ۱۳/۸۹)، سیلیس (٤/۷۹ و ٤/۹۵) و مس (٤/۷٤ و ٤/۷۸) همراه با اکسیژن بیشترین فراوانی را دارد. ترکیبات اصلی فیروزه مس، فسفر و آلومینیوم است (گاراژیان و لطفی قرایی، ۱۳۹۳). میزان بالای عناصر فسفر، ترکیب فسفاته نمونه‌ها را مشخص می‌کند. رنگ سبز در سنگ‌های فیروزه به‌سبب جانشینی بخشی از عنصر آلومینیوم کانی فیروزه با عنصر آهن حاصل می‌شود. همچنین هرچه میزان عنصر آهن در ساختار کانی فیروزه افزایش یابد، رنگ آن سبزتر خواهد شد (Reddy *et al*. 2006). رنگ سفید در فیروزه به‌علت وجود اکسید آلومینیوم در ترکیبات فیروزه است (معزز لسکو، ۱۳۸۰: ۱۰٦). (تصاویر ۱۳ و ۱٤).

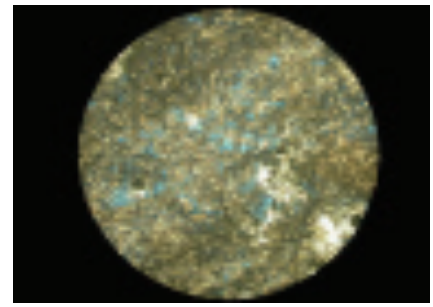
در مهره عقیق و همچنین عقیق قرمز رنگ و کار شده، با درصد بالای سیلیس و اکسیژن در ترکیب خود کاملاً مشخص است (تصاویر ۱۵ و ۱٦). عقیق متعلق به خانواده‌ی کوارتزهای



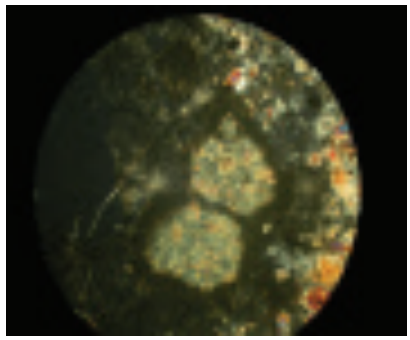
تصویر ۷. تصویر میکروسکوپی از نمونه کلسیت، نور PPL، بزرگنمایی ۴X، تمام نمونه از کلسیت درشت بلور (اسپارایت) همراه با رگه‌های اکسید آهن قرمز تشکیل شده است.



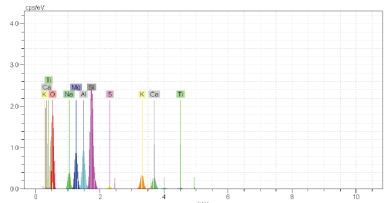
تصویر ۸. تصویر میکروسکوپی از نمونه ژاسپر، نور XPL، بزرگنمایی ۴X، تمام نمونه از کوارتز کریپتوکریستالین تشکیل شده است که به رنگ خاکستری دیده می‌شود. در این زمینه رگه اکسیدآهن قرمز رنگ همراه با کوارتز متبلور وجود دارد.



تصویر ۹. تصویر میکروسکوپی از نمونه لاجورد، نور PPL، بزرگنمایی 4X



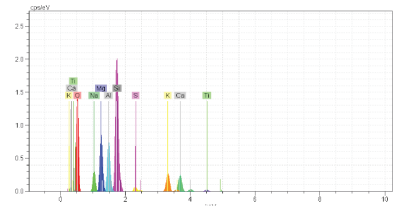
تصویر ۱۰. تصویر میکروسکوپی از نمونه فیروزه، نور XPL، بزرگنمایی 4X



Spectra: LAJEVARD1

Element	Series	unn.C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	45.59	49.30	63.49
Sodium	K series	3.46	3.74	3.36
Magnesium	K series	6.73	7.28	6.17
Aluminium	K series	7.21	7.80	5.96
Silicon	K series	19.11	20.67	15.16
Sulfur	K series	0.61	0.66	0.42
Potassium	K series	4.71	5.09	2.68
Calcium	K series	4.57	4.94	2.54
Titanium	K series	0.47	0.51	0.22
		% Total:	92.5	

تصویر ۱۲. طیف EDX از سنگ لاجورد



Spectra: LAJEVARD2

Element	Series	unn.C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	44.55	47.59	61.91
Sodium	K series	3.13	3.34	3.02
Magnesium	K series	7.98	8.52	7.29
Aluminium	K series	7.14	7.63	5.89
Silicon	K series	19.61	20.95	15.52
Sulfur	K series	1.02	1.09	0.71
Potassium	K series	4.59	4.90	2.61
Calcium	K series	4.98	5.33	2.77
Titanium	K series	0.61	0.65	0.28
		% Total:	93.6	

تصویر ۱۱. طیف EDX از سنگ لاجورد

رشته‌ای و گروه کلسدونی است. عقیق معمولاً از نوارهای پی‌درپی کلسدونی و کوارتز تشکیل می‌شود که به‌سبب وجود اکسیدهای فلزی، به رنگ‌های متفاوتی ظاهر می‌شوند. ترکیب شیمیایی عقیق به‌صورت اکسید سیلیسیم (SiO_2) است (Gotze *et al*. 2000).

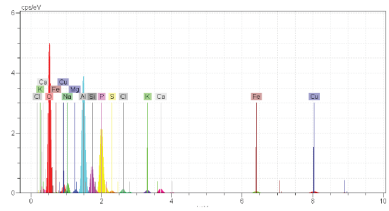
ژاسپر همان ترکیب عقیق را دارد و معمولاً به‌صورت کریپتوکریستالین است و به‌حالت مات یا کدر دیده می‌شود. در این نمونه درصد بالای سیلیس و اکسیژن در طیف کاملاً مشخص است (تصاویر ۱۷ و ۱۸). ژاسپر ازجمله کانی‌های گروه کلسدونی است. سیستم تبلور آن تریگونال و دارای جلای شیشه‌ای است. در رنگ‌های قهوه‌ای، آبی خاکستری، قرمز، زرد و سبز دیده می‌شود (قربانی، ۱۳۸۲: ۳۵۷).

در ترکیب کانی کلسیت به‌جز کلسیم و اکسیژن و کربن به‌صورت بنیان کربناته چیزی مشاهده نمی‌شود (تصویر ۲۰). آراگونیت پلی‌مورف کلسیت است که از نظر سیستم تبلور با یکدیگر تفاوت دارند (تصویر ۱۹).

آنالیز طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس پرتابل (pXRF)

برای آزمایش فوق، تعداد ۷ قطعه سنگ نیمه‌قیمتی به‌دست آمده از حفاری‌های شهرسوخته استفاده شد. این آزمایش با دستگاه طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس پرتابل مدل 950t Goldd+3Niton XL از کمپانی Thermo Scientific در آزمایشگاه XRF پژوهشکده حفاظت و مرمت پژوهشگاه میراث فرهنگی انجام گرفت. نتایج آن به‌صورت نیمه‌کمی است که در جدول شماره ٤ ارائه شده است.

همان‌طور که از جدول ٤ استنباط می‌شود در نمونه‌های کلسیت و آراگونیت بیشترین فراوانی مربوط به عنصر کلسیم است، که بافت کربناته آن را به وضوح نشان می‌دهد. میزان عنصر کلسیم در نمونه‌ی کلسیتی (٤٣,٨١٪) درصد وزنی و در نمونه آراگونیتی میزان آن در حدود (٤٤,٥١٪) درصد وزنی می‌باشد. فیروزه از خانواده فسفات‌ها با ترکیب آلومینیوم فسفات آبدار مس است (Cornelis *et al*. 1999: 671). درصد وزنی عناصر آلومینیوم (١٣,٥٨٪)، فسفر (١٢,٥٩٪)، سیلیس (١٢,٥٠٪)، آهن (٣,٩٩٪)، سولفور (٣,٤٩٪) و مس (٣,٤٠٪) است. در نمونه فیروزه آزمایش شده، فراوانی درصد فسفر نشان‌دهنده‌ی ترکیب فسفاته آن در نمونه است. همچنین در نمونه‌های عقیق و ژاسپر بیشترین فراوانی را عنصر سیلیس دارا است. در عقیق قرمز میزان عنصر سیلیس (٥٤,٨٨٪)، عقیق سفید (٤٩,٥٧٪) و همچنین این میزان در ژاسپر برابر با (٤٦,٥٩٪) است. لاجورد سنگی آبی رنگ که ترکیب شیمیایی آن متغیر اما ترکیب پایه کانی لازوریت است و شامل سیلیکات آلومینیوم، کلسیم و سدیم است (قربانی، ۱۳۸۲: ۱۱۹). لاجورد متشکل از چند کانی متفاوت مانند سودالیت، هایوئین، کلسیت، پیریت

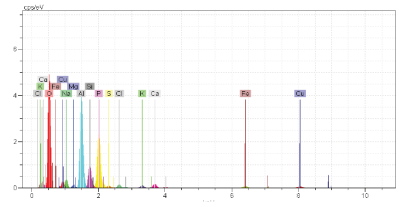


Spectra: Turquoise2

Element	Series	unn.C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	60.15	55.15	70.40
Sodium	K series	1.81	1.66	1.48
Magnesium	K series	0.53	0.49	0.41
Aluminium	K series	18.17	16.66	12.61
Silicon	K series	4.79	4.39	3.19
Phosphorus	K series	13.33	12.22	8.06
Sulfur	K series	0.49	0.45	0.29
Chlorine	K series	0.99	0.91	0.52
Potassium	K series	0.71	0.65	0.34
Calcium	K series	1.38	1.27	0.65
Iron	K series	1.97	1.81	0.66
Copper	K series	4.74	4.34	1.40

% Total: 109.1

تصویر ۱۴. طیف EDX از سنگ فیروزه

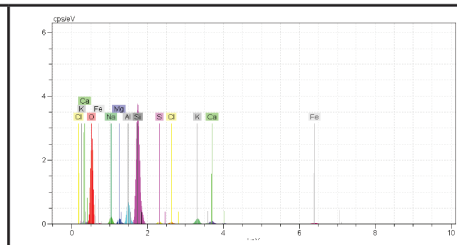


pectra: Turquoise1

Element	Series	unn.C [%-.wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	58.23	53.11	68.74
Sodium	K series	2.05	1.87	1.68
Magnesium	K series	0.70	0.64	0.55
Aluminium	K series	18.31	16.70	12.82
Silicon	K series	4.95	4.52	3.33
Phosphorus	K series	13.89	12.67	8.47
Sulfur	K series	0.62	0.57	0.37
Chlorine	K series	1.04	0.95	0.55
Potassium	K series	0.90	0.82	0.43
Calcium	K series	1.70	1.55	0.80
Iron	K series	2.48	2.26	0.84
Copper	K series	4.78	4.36	1.42

% Total: 109.6

تصویر ۱۳. طیف EDX از سنگ فیروزه

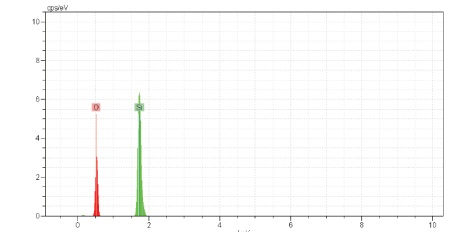


Spectra: Agate3

Element	Series	unn.C	norm. C	Atom. C
		[%-.wt.-%]	[wt.-%]	[at]
Oxygen	K series	56.42	50.72	65.20
Sodium	K series	2.46	2.21	1.98
Magnesium	K series	1.57	1.41	1.20
Aluminium	K series	6.15	5.53	4.22
Silicon	K series	35.53	31.94	23.39
Sulfur	K series	0.88	0.79	0.51
Chlorine	K series	0.78	0.70	0.41
Potassium	K series	2.83	2.55	1.34
Calcium	K series	1.83	1.64	0.84
Iron	K series	2.79	2.50	0.92

% Total: 111.2

تصویر ۱۵. طیف EDX از سنگ عقیق

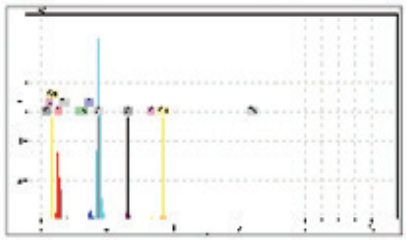


(Spectra: Agate(red

Element	Series	unn.C	norm. C	Atom. C
		[%-.wt.-%]	[wt.-%]	[at]
Oxygen	K series	57.45	57.83	70.65
Silicon	K series	41.90	42.17	29.35

% Total: 99.3

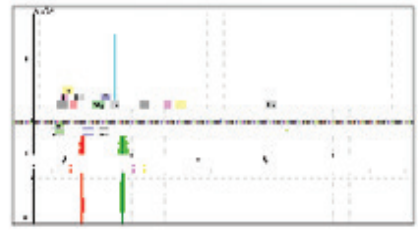
تصویر ۱۶. طیف EDX از سنگ عقیق قرمز



Spectra: Agate1

Element	Series	unn.C [%-.wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	49.97	51.35	66.00
Magnesium	K series	0.78	0.80	0.67
Aluminium	K series	1.79	1.84	1.40
Silicon	K series	37.04	38.06	27.87
Chlorine	K series	3.52	3.62	2.10
Potassium	K series	0.72	0.74	0.39
Calcium	K series	1.63	1.67	0.86
Iron	K series	1.88	1.93	0.71
% Total:		97.3		

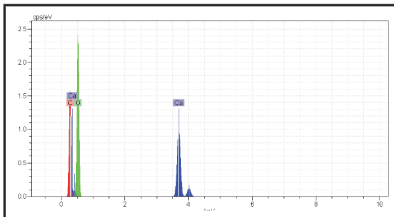
تصویر ۱۸. طیف EDX از سنگ عقیق



Spectra: Agate2

Element	Series	unn.C [%-.wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Oxygen	K series	50.90	51.01	65.43
Magnesium	K series	0.56	0.56	0.47
Aluminium	K series	1.41	1.42	1.08
Silicon	K series	41.29	41.38	30.24
Chlorine	K series	2.28	2.29	1.32
Potassium	K series	0.45	0.45	0.24
Calcium	K series	1.05	1.05	0.54
Iron	K series	1.84	1.84	0.68
% Total:		99.8		

تصویر ۱۷. طیف EDX از سنگ ژاسپر



Spectra: Aragonite

Element	Series	unn.C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Carbon	K series	17.02	16.32	24.10
Oxygen	K series	60.87	58.36	64.70
Calcium	K series	26.42	25.33	11.21
			% Total:	104.3

تصویر ۱۹. طیف EDX از سنگ آراگونیتی

Spectra: CALCITE

Element	Series	unn.C [wt.-%]	norm. C [wt.-%]	Atom. C [at]
Carbon	K series	23.65	23.65	32.34
Oxygen	K series	59.00	59.01	60.56
Calcium	K series	17.34	17.34	7.10
			% Total:	100.0

تصویر ۲۰. طیف EDX از سنگ کلسیتی

و لازوریت است که جزء اصلی آن محسوب می‌شود. سنگ لاجوردی که همراه با لکه‌های سفیدرنگ کمتر کلسیت و زرد رنگ بیشتر پیریت باشد دارای بهترین کیفیت است (Cally. 2009: 69). در جدول ذیل عنصر سیلیس با (۲۹,۸۷٪) و عنصر کلسیم با (۱۲,۲۶٪) بیشترین ترکیبات موجود در ساختار سنگ‌های لاجورد شهرسوخته را نشان می‌دهند. درنهایت باید گفت که این آنالیز نیز نشان‌دهنده شناخت درست از ترکیب و نوع سنگ‌های مورد استفاده در ساخت اشیاء زینتی موجود در شهرسوخته است (جدول ٤).

آنالیز طیف‌سنجی رامان

آنالیز طیف‌سنجی رامان، به‌طور گسترده جهت مطالعات سنگ‌های قیمتی به‌کار رفته است (استوارت، ۱۳۹۳: ۲۰۷). گاهی اوقات تشخیص و شناسایی یک نمونه سنگ قیمتی مجهول با استفاده از خصوصیات فیزیکی آن سنگ، همچون ضریب شکست، چگالی یا سایر ویژگی‌های

جدول ۴. نتایج آنالیز شیمیایی به‌وسیله دستگاه XRF پرتابل براساس درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده

Sample %	Aragonite	Calcite	Tur-quoise	Lapis Lazuli	Agate jasper	Agate white	Agate red
Bal	41.78	54.52	46.12	37.42	53	48.96	44.13
Mg	1.96	-	0.659	7.17	-	0.430	0.348
Al	2.21	0.384	13.58	8.44	0.081	0.495	0.284
Si	6.06	0.479	12.50	29.87	46.59	49.57	54.88
P	0.604	-	12.59	-	0.052	0.195	0.107
S	0.023	0.292	3.49	2.51	0.036	0.091	0.070
Cl	0.063	0.226	0.718	0.350	0.119	0.053	0.076
K	0.148	0.043	0.524	1.66	-	0.040	-
Ca	44.51	43.81	1.79	12.26	0.014	0.135	0.058
Ti	0.065	0.045	0.019	0.167	-	-	-
Mn	0.026	0.025	-	-	-	-	-
Fe	0.127	0.059	3.99	0.058	0.098	0.019	0.038
Cu	0.081	-	3.40	-	-	-	-
As	-	-	0.074	-	-	-	-
Sr	2.28	0.068	0.030	0.013	-	-	-
Ba	0.058	0.030	0.016	0.021	0.012	0.010	0.006
Zn	-	-	0.446	-	-	-	-

اپتیکی کمی سخت می‌باشد. در سال‌های اخیر بازار جواهرآلات دستخوش حضور سنگ‌های تقلبی و مشکوک شده است. بارها آنالیز کامل توسط یک جواهرساز ماهر نیز بی‌ابهام نبوده و جواهر اصلی از نمونه‌ی تقلبی آن شناسایی نشده است. الماس، یاقوت سرخ، یاقوت کبود زمرد جزو سنگ‌های قیمتی دنیا می‌باشند. برای پاسخ به نیاز مصرف‌کنندگان این نوع بدلیجات این نوع سنگ‌ها در بازار توزیع شده است. این بدلیجات ظاهری مشابه (رنگ، جلا و غیره) به

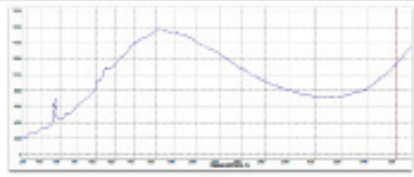
سنگ‌های قیمتی طبیعی دارند و برای تشخیص و شناسایی آن‌ها از طریق روش‌های متداول با مشکلاتی مواجه خواهیم شد. اما با بهره‌گیری از طیف‌سنجی قادر خواهیم بود سنگ‌های قیمتی و مشتقات جواهرآلات را از نوع بدلی آن تمیز دهیم. برای نمونه، در بازار از زیرکن و زیرکن مکعبی به‌جای الماس استفاده می‌شود. با استفاده از آنالیزهای طیف‌سنجی به‌راحتی می‌توان الماس و زیرکن را تمیز داد (Henry *et al*. 1997).

برای آزمایش فوق، ۱۰ قطعه سنگ نیمه‌قیمتی به‌دست آمده از حفاری‌های شهرسوخته استفاده شد. این آزمایش با دستگاه رامان مدل ۸٤۲۰ – کمپانی ARL پرتابل در آزمایشگاه رامان، مرکز گوهرشناسی دانشگاه شهید بهشتی انجام شد. نتایج آن به‌صورت گراف در ادامه متن ارائه شده است.

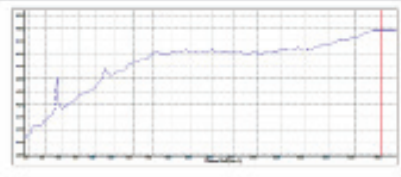
سه نمونه لاجورد تقریباً پیک‌های مشابهی در محدوده $550\ cm^{-1}$ و $110\ cm^{-1}$ نشان می‌دهند. این موضوع بیان‌گر ساختار شیمیایی یکسان نمونه‌ها است (تصاویر ۲۱، ۲۲ و ۲٤). مهره‌ی فیروزه پیک تقریباً ضعیفی را در محدوده $1020\ cm^{-1}$ نشان داده است (تصویر ۲۳). اما این آنالیز در ادامه بر روی فیروزه‌های خام، به‌علت خاصیت بالای فلوئورسانس پیک خاصی را از خود به نمایش نگذاشتند (تصاویر ۲۹ و ۳۰). دو مهره کلسیتی دو پیک قوی در نواحی $278\ cm^{-1}$ و $1083\ cm^{-1}$ و یک پیک ضعیف در ناحیه $709\ cm^{-1}$ از خود نشان داده است. پیک‌های مربوط به مهره‌های کلسیتی مشابه هم بوده و دارای تشابه ساختاری با یکدیگر نیز هستند (تصاویر ۲۵ و ۲٦). همچنین آنالیز انجام شده بر روی دو مهره از جنس عقیق دو پیک بسیار قوی در نواحی $200\ cm^{-1}$ و $450\ cm^{-1}$ و یک پیک بسیار ضعیف در ناحیه $160\ cm^{-1}$ از خود نشان داده است. آنالیز صورت گرفته بر روی مهره‌های عقیق گواه از تشابه ساختاری یکسانی با یکدیگر دارند (تصاویر ۲۷ و ۲۸). (جدول ۵)

روش‌های گوهرشناسی

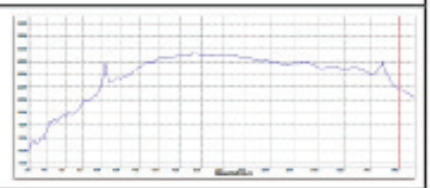
تا اواخر قرن نوزدهم که گوهرهای مصنوعی هنوز وارد بازار نشده بودند نیازی برای ابزار شناسایی دقیق گوهرها و به‌ویژه شناخت گوهرهای مصنوعی از طبیعی احساس نمی‌گردید. پس از جنگ جهانی اول و با وارد شدن گوهرهای مصنوعی مثل الماس و یاقوت مصنوعی به بازار تجارت گوهرها، نیاز به طراحی و ساخت ابزارهای مخصوص گوهرشناسی کاملاً احساس گردید. این ابزارها براساس خصوصیات فیزیکی و مخصوصاً ویژگی‌های نوری کانی‌ها طراحی گردید. دستگاه‌هایی مثل میکروسکوپ، اسپکتروسکوپ، پلاریوسکوپ، دایکروسکوپ و رفراکتومتر به راحتی کمک می‌کنند که گوهرهای طبیعی را از مصنوعی شناخت (حاج‌علیلو، ۱۳۸٦). استفاده از دستگاه‌های گوهرشناسی، برمبنای روش‌های



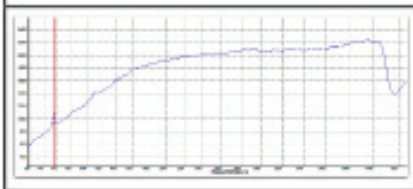
تصویر ۲۱ . گراف مربوط به مهر شکسته لاجورد



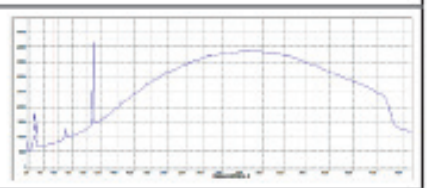
تصویر ۲۲. گراف مربوط به مهره کوچک لاجورد



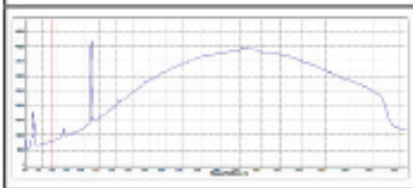
تصویر ۲۳. گراف مربوط به مهره کوچک فیروزه



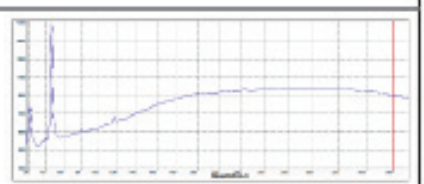
تصویر ۲۴. گراف مربوط به لاجورد خام



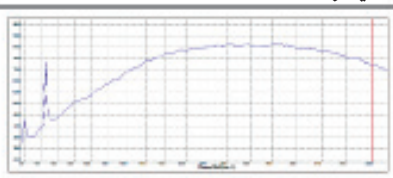
تصویر ۲۵. گراف مربوط به کلسیت قرمز رنگ



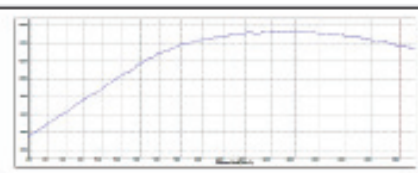
تصویر ۲۶. گراف مربوط به مهره کوچک کلسیت سفید رنگ



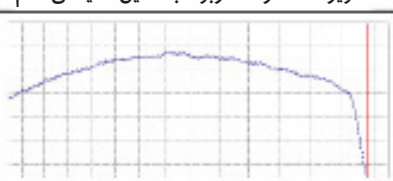
تصویر ۲۷. گراف مربوط به مهره عقیق



تصویر ۲۸. گراف مربوط به عقیق سلیمانی خام



تصویر ۲۹. گراف دوباره گرفته، مربوط به فیروزه خام، به علت خاصیت بالای فلوئورسانس پیک خاصی را نمایش نمی‌دهد.



تصویر ۳۰. گراف مربوط به فیروزه خام، به علت خاصیت بالای فلوئورسانس پیک خاصی را نمایش نمی‌دهد.

جدول ۵. طول موج‌های به‌دست آمده از آنالیز طیف‌سنجی رامان سنگ‌های نیمه‌بهادار شهرسوخته

.No	Sample	cm^{-1}
1	Lapis	550-1100
2	Lapis	550-1100
3	Lapis	560
4	Turquoise	1020
5	Calcite	278-709-1083
6	Calcite	278-709-1083
7	Agate	200-450-1160
8	Agate	200-450-1160
9	Turquoise	-
10	Turquoise	-

غیرمخرب بنا شده است، زیرا نباید در هنگام بررسی و شناسایی گوهرها کوچکترین لطمه‌ای به آن‌ها وارد شود.

پلاریوسکوپ

در نمونه‌های مطالعاتی شهرسوخته، دو نمونه عقیق، دو نمونه ژاسپر، دو نمونه فیروزه، دو نمونه لاجورد و یک نمونه کلسیت جهت مطالعه انتخاب شدند. نمونه‌های ژاسپر، فیروزه، کلسیت و لاجورد به‌دلیل مات بودن امکان مطالعه آن‌ها با پلاریوسکوپ وجود ندارد. اما نمونه‌های عقیق به‌دلیل شفاف بودن امکان مطالعه با دستگاه پلاریوسکوپ وجود دارد. برای شروع کار با دستگاه پلاریوسکوپ، ابتدا لازم است که راستای ارتعاشی پلاریزور پایینی و بالایی به صورت عمود بر هم قرار بگیرند به طوری که وقتی لامپ دستگاه روشن می‌شود و از پلاریزور بالایی به طرف پایین نگاه می‌کنیم، میدان دید کاملاً تیره باشد. پس از تنظیم دستگاه، نمونه را بر روی صفحه پاتین پایینی قرار داده و صفحه را ۴۵ درجه به راست یا چپ می‌چرخانیم. در ۳۶۰ درجه چرخش وضعیت و حالت نمونه، میتوان خاصیت نمونه را از دیدگاه ایزوتروپ بودن و یا انیزوتروپ بودن تشخیص داد (حاج علیلو، ۱۳۸۶: ۹۶-۹۳).

در مطالعه نمونه با دستگاه پلاریسکوپ چهار حالت معمول رخ می دهد.

1. SR. نمونه در زیر پلاریسکوپ در تمام حالات خاموش باقی می ماند.
2. DR. نمونه در زیر پلاریسکوپ خاموش و روشن می‌شود. (در ۳۶۰ درجه نمونه چهار بار خاموش و روشن می‌شود.

3. ADR. در زیر پلاریسکوپ خاموش و روشن می‌شود. به طور نامنظم در زوایایی غیر از ۹۰ درجه
4. AGG. در تمام حالات در زیر پلاریسکوپ روشن باقی می‌ماند.

برای مطالعه نمونه، ابتدا دستگاه در موقعیت تیره تنظیم می‌شود، نمونه را بر روی فیلتر پلاریزه قرار داده و سپس آنالیزور بالایی را چرخانده، مشاهده می‌شود که نمونه در تمام حالات چرخش (۳۶۰ درجه)، کاملاً روشن است و تغییری در آن ایجاد نمی‌شود. این دسته از سنگ‌ها را (AGG Agergate) گویند. عقیق نیز به دلیل ساختار ریز بلور و کریپتوکریستالین اجزا سازنده چنین خاصیتی دارد و در تمام مدت چرخش ۳۶۰ درجه کاملاً روشن است. (علیلو، ۱۳۸۶).

رفراکتومتر

نسبت سرعت نور در هوا یا خلأ به سرعت نور در محیط دیگر را ضریب شکست محیط می‌نامند و با حروف (RI) نشان داده میشود. سرعت عبور نور در هر محیط در ارتباط با تراکم اتم‌ها در ساختمان آن محیط است. هر چقدر تراکم اتم‌ها در محیطی بیشتر باشد به‌همان مقدار سرعت عبور نور از آن محیط کندتر شده و لذا ضریب شکست آن محیط بزرگتر خواهد بود. ارتباط مستقیمی بین ضریب شکست و وزن مخصوص گوهرها وجود دارد. از طرفی میزان شکست نور در گوهرهای مختلف ثابت است و لذا می‌توان با تعیین ضریب شکست نور، انواع گوهرها را از هم تشخیص داد. برای تعیین ضریب شکست گوهرها می‌توان از دستگاه رفراکتومتر استفاده نمود. این دستگاه‌ها طوری ساخته شده‌اند که مستقیماً مقدار ضریب شکست بر روی مقیاس آن‌ها خوانده می‌شود. محل قرارگیری نمونه بر روی رفراکتومتر و در زیر درپوش آن بر روی بخش شیشه‌ای است. جهت تولید نور در این دستگاه از لامپ هالوژنی معمولی یا از یک لامپ بخار سدیمی که نور تک رنگ با طول موج زرد ایجاد می‌کند استفاده می‌شود. برای مشخص نمودن مقدار دقیق و واقعی ضریب شکست گوهرها لازم است از چندین جهت مقدار ضریب شکست گوهر اندازه‌گیری و تعیین شود (حاج‌علیلو، ۱۳۸۶: ۱۰۱-۱۰۷).

در نمونه‌های مطالعاتی شهرسوخته، دو نمونه عقیق، دو نمونه ژاسپر، دو نمونه فیروزه، دو نمونه لاجورد و یک نمونه کلسیت جهت مطالعه انتخاب شدند. برای مطالعه ابتدا یک قطره از مایع مخصوص در محل قرارگیری نمونه‌ها ریخته می شود، سپس گوهرها از قسمت مسطح بر روی روغن قرار داده می‌شود. با روشن کردن لامپ دستگاه و بستن درپوش رفراکتومتر،

می‌توان از محل قرائت ضریب شکست، اندازه ضریب شکست هر نمونه را به‌دست آورد. نتایج محاسبه ضریب شکست نمونه‌ها در جدول زیر آمده است (جدول ٦).

تعیین وزن مخصوص

برای بیان وزن گوهرها، از اصطلاحات متعددی استفاده می‌گردد ولی معروف‌ترین واحد سنجش وزن گوهرها قیراط است. وزن واحد حجم هر کانی یا گوهر را وزن مخصوص یا چگالی آن می‌نامند. وزن مخصوص گوهرها به دو عامل بستگی دارد:

۱- نوع اتم‌های شرکت کننده در ساختمان

۲- نحوه فشردگی و تراکم اتم‌ها در شبکه بلوری

در شرایطی که تراکم اتم‌ها در شبکه بلوری گوهرها یکسان باشد گوهری که از عنصر سنگین‌تری تشکیل شده باشد، وزن مخصوص بیشتری خواهد داشت. یکی از راه‌های شناخت سریع گوهرها، تعیین وزن مخصوص آن‌ها است. در این روش آسیبی به گوهر وارد نمی‌شود. برای به‌دست‌آوردن وزن مخصوص هر کانی یا گوهر، ابتدا آن را در هوا و سپس در داخل آب وزن می‌نمایند. آنگاه با استفاده از فرمول زیر مقدار وزن مخصوص محاسبه می‌شود. معمولاً مقدار وزن مخصوص با علامت اختصاری (S.G) نمایش داده می‌شود (ادیب، ۱۳۹۲: ٣٤-٤٠) (جدول ۷).

(Specific Gravity) وزن مخصوص= وزن گوهر در هوا / (وزن گوهر در هوا – وزن گوهر در آب) (Hatipoglu - Güney 2013)

نتیجه‌گیری

استفاده از سنگ‌های نیمه‌قیمتی و وجود صنعت تراش سنگ‌های نیمه‌قیمتی در هزاره سوم پیش از میلاد در شهرسوخته سیستان، نشان‌دهنده تمدن بالا و پیشرفته این منطقه است. با بررسی‌های انجام شده در منطقه مشخص گردید که منشاء بسیاری از سنگ‌های به‌کار رفته در صنعت جواهرسازی شهرسوخته مربوط به کوه‌های اطراف و یا دلتای رودخانه هیرمند است که روزگاری در منطقه جریان داشته است. اما دو سنگ لاجورد و فیروزه که به یقین منشاء اولیه آن‌ها در منطقه نیست و به گفته باستان‌شناسان لاجورد از منطقه بدخشان تامین

جدول۶. ضریب شکست (RI) محاسبه شده برای نمونه‌های مطالعاتی

Sample	RI
Turquoise	1.1-650.610
Agate	1.1-54.53
jasper	1.54
Lapis	1.50
Calcite	1.1-658.486

می‌شده و در شهرسوخته تراش اولیه بر روی آن انجام می‌شده و مجدداً به دیگر مناطق صادر می‌شده است. برای فیروزه که فراوانی کمتری دارد چندین نظریه وجود دارد. منشأ این سنگ را از منطقه‌ی خراسان و یا منطقه‌ی کرمان می‌دانند که باید برای اثبات بررسی تطبیقی با نمونه‌های این دو منطقه انجام شود. در این پژوهش ضمن شمارش و دسته‌بندی اولیه، شناسایی سنگ‌های مورد مطالعه با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی مخرب (پتروگرافی) و

جدول ۷. وزن مخصوص نمونه‌های سنگ شهرسوخته

Sample	Specific Gravity
Turquoise	2.2-80.60
Agate	58.2-64.2
jasper	2.2-91.58
Lapis	3.3-2.1
Calcite	2.2-65.260.71

غیرمخرب (آنالیز رامان، SEM-EDX، pXRF) نوع سنگ‌های مورد استفاده براساس ساختار و ترکیب و آنالیز عنصری انجام گردید.

تقدیر و تشکر

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی با موضوع «بررسی و مطالعه سنگ‌های نیمه‌قیمتی شهرسوخته» در پژوهشکده حفاظت و مرمت است. به‌همین جهت نگارندگان برخود لازم می‌دانند تا از حمایت‌های مادی و معنوی این پژوهشکده مراتب قدردانی را به‌عمل آورند. همچنین از تمام همکاران خود در موزه ایران باستان، موزه جنوب شرق زاهدان و پایگاه میراث جهانی شهرسوخته قدردانی می‌شود.