Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.4.2.49 URL: http://jra-tabriziau.ir/

Original Paper

Structural Characterization of Steatite Vessels of Shadyakh by XRF, XRD and SEM Techniques

Parastoo Masjedi Khak*[1], Negar Shirazi[2], Hasan Nami[1], Mahdi Hajivaliei[3]

[1] *Assistant Professor of Archeology, Department of Archaeology, University of Neyshabur, Khorasan, IRAN*
[2] *M.A. in Archeology, University of Neyshabur, Khorasan, IRAN*
[3] *Associate Professor of Physics, University of Bu-Ali Sina, Hamedan, IRAN*

Received: 21/05/2018 **Accepted: 22/11/2018**

Abstract

Using the stones to make tools and vessels dated back to Paleolithic and Neolithic periods. Stones so called soft stones, along with the alabaster, are one of the most famous stones that have been used to produce vessel in Near East, where they are in use currently in different applications. Soft stone vessels reach to highest level of flourishing during the Bronze Age and its geographical exchange area stretches from India in east to Syria in west. Iran, as one of the most important places of this kind of stones, was a potentially center in this trade and archaeological sites such as Tape Yahya and Konar Sandal in Kerman province are some of the most famous sites in making and exporting this kind of objects. Although soft stone vessel making continued during historical to Islamic era, but this industry has been neglected by researchers and archaeologist. In addition, until now morphological and artistic reports and archaeometry studies have focused only on Bronze Age vessels. During six seasons archaeological excavations at an Islamic Archaeological site called Shadyakh near to modern city of Neyshabur (about 2 km south east of Neyshabur), which its date goes back to Early and middle Islamic period, many cultural objects, like the pottery, glass, metal, bones, human skeletal, plaster, and architectural remains have been discovered. Beside of these samples, several pieces of soft stone vessels were discovered from several archaeological excavations. No evidence of workshop or crafting was reported and according to geological reports around this region, no outcrop of soft stone was seen. Although that these vessels are important, no study have yet been conducted on them. At this research, the vessels have been archaeometrically studied. The main objective of this research was to gain the information about the structural characteristics of soft stone vessels recovered from this site. Before this, Kohl and his collogues in 1979 carried an investigation on large amount of Bronze Age archaeological samples from Middle East. They found several main groups and a mine around Mashhad was recognized. Other researches on soft stones include Razani's M.A and Imami and his colleague's researches on new chlorite mines of Ashin; and Afshari Nezhad and Razani's research on structural characterization and conservation of Jiroft cultural basin's chlorite vessels. The only research on historical and Islamic soft stone vessels was about the effect of cooking conditions on structure of vessels. At this research, totally 16 samples from different seasons of archaeological excavations of Shadyakh were collected and analyzed by XRD, 4 sample analyzed by XRF, and 2 samples by SEM. The results of XRD analysis showed two main groups, while 21 trace elements and 11 chemical compound were detected by XRF. The raw data was studied by Excel statistic software. At this study, overlap graph was prepared according to finding difference or similarity between samples where the results show high similarity among the samples. The SEM and XRD results show that main compounds are Talc, Steatite,

* Corresponding author: parastomasjedi@yahoo.com

Soapstone, Clinochlore, Graftonite, Dolomite, Britholite and Clinochlore. All samples have these compounds, therefore, it could be concluded that Shadyakh samples come from one geological zone.
Keywords: Steatite, Shadyakh, Neyshabur, XRF, XRD, SEM

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۷؛ ۴(۲): ۴۹-۶۰

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: 10.29252/jra.4.2.49

URL: http://jra-tabriziau.ir/

مقاله پژوهشی

مطالعه ساختارشناسی ظروف سنگ استاتیتی محوطه شادیاخ به روش XRF، XRD و SEM

پرستو مسجدی خاک[۱*]، نگار شیرازی[۲]، حسن نامی[۱]، مهدی حاجی ولیئی[۳]

۱. استادیار گروه باستان‌شناسی دانشگاه نیشابور، خراسان رضوی، ایران

۲. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی دانشگاه نیشابور، خراسان رضوی، ایران

۳. دانشیار گروه فیزیک، دانشگاه بوعلی سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۲/۳۱ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۹/۱

چکیده

تولید ظروف سنگی از دوران نوسنگی آغاز شد، تولید و استفاده از سنگ‌های کلریت و استاتیت نیز از دوران مفرغ آغاز گردید. ایران از مهم‌ترین مراکز دارای معادن سنگ نرم جهت تولید این نوع ظروف است و محوطه‌هایی همچون تپه یحیی و کنار صندل شمالی و جنوبی در استان کرمان از معروف‌ترین محوطه‌هایی هستند که در صنعت ساخت ظروف و اشیاء از سنگ‌های نرم فعالیت داشته‌اند. پژوهش‌های محدودی در مورد منابع خام این سنگ‌ها صورت گرفته است که بر روی نمونه‌های عصر مفرغ متمرکز شده بود و باوجودآنکه استفاده از این سنگ‌ها در دوره‌های تاریخی یا اسلامی نیز رواج داشته است، تنها پژوهش در این زمینه منحصر به تأثیر پخت‌وپز بر ساختار ظروف کلریتی بود. طی کاوش‌های باستان‌شناسی در محوطه شادیاخ که به قرون ابتدایی و میانی اسلامی متعلق است، قطعات مختلفی از این ظروف در لایه‌های باستانی به‌دست‌آمده است. سؤالات این پژوهش: ظروف سنگی محوطه شادیاخ از چه جنسی هستند؟ و چه کانی‌هایی در بافت آن وجود دارد و میزان همخوانی ترکیب شیمیایی آن‌ها چه میزان است. هدف از این پژوهش ساختارشناسی ظروف سنگی شادیاخ است. در این پژوهش تعداد ۱۶ نمونه مورد آنالیز قرار گرفت. هر ۱۶ نمونه به روش XRD آزمایش شدند. به‌منظور تکمیل اطلاعات از این مجموعه ۴ قطعه نیز به روش XRF و ۲ نمونه هم با روش SEM آزمایش شد. در این پژوهش نتایج این مطالعه نشان داد که نمونه ظروف شادیاخ با توجه به نتایج جنس استاتیت است مطالعه عناصر و کانی‌ها و تهیه نمودار برهم اندازی عناصر، نشان داد که نمونه‌های محوطه شادیاخ از یک منبع یا ساختار زمین‌شناسی ساخته شدند.

واژگان کلیدی: استاتیت، شادیاخ، نیشابور، XRF، XRD، SEM

* مسئول مکاتبات: خراسان رضوی، نیشابور، انتهای بلوار ادیب، دانشگاه نیشابور، گروه باستان‌شناسی. کد پستی: ۹۳۱۹۷۷۴۴۴۶

پست الکترونیکی: parastomasjedi@yahoo.com

حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقاله چاپ شده را با دیگران به اشتراک بگذارد منوط بر اینکه حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

۱. مقدمه

یافته‌های به‌دست‌آمده از محوطه‌های پارینه‌سنگی قدیم نشان می‌دهد سنگ‌ها از مهم‌ترین مواد مورداستفاده بشر از زمان آغاز ساخت ابزارها هستند و تا به امروز نیز به طرق مختلف و به اشکال متنوع مورد بهره‌برداری جوامع انسانی قرار می‌گیرد. انسان‌ها به‌تدریج با خواص و کاربری انواع گوناگون سنگ‌ها آشنا شده و در زمینه‌های مختلف از آن استفاده کردند. برای مثال از ابسیدین به دلیل جلا و لبه‌های تیز، ابزار جهت برش ساخته می‌شد و همچنین به‌عنوان شیئی جادویی و شأن زا از آن استفاده می‌شد[1,2] و از لاجورد برای تزیین اشیاء استفاده شد و به همین شکل سنگ‌های نرم نیز از هزاره سوم مورداستفاده و مبادله قرار گرفتند که نمونه‌های بسیاری از آن از جنوب شرق ایران و سواحل جنوبی دریای عمان و خلیج‌فارس تا ترکمنستان به‌دست‌آمده است[3–5]. استفاده از ظروف سنگی در ایران به دوره نوسنگی بازمی‌گردد که نمونه‌های آن از سنگ مرمر در کاوش‌های محوطه‌هایی همچون علی کش[6] و تپه چغاسفید[7] به دست آمد. بعدها ظروف ساخته‌شده از سنگ‌های نرم با کمیت زیاد از محوطه‌های عصر مفرغ فلات مرکزی ایران همچون تپه یحیی و جیرفت یافت شد. تا پیش از شناسایی تپه یحیی، پژوهشگران پیرامون منابع سنگ نرم به گمانه‌زنی‌های متفاوت پرداخته و نقاط گوناگون را منشأ احتمالی آن می‌دانستند. برای مثال درحالی‌که وولی معدن آن را در ایران می‌دانست، اما فرانکفورت منبع آن را در محلی در قلمرو سومریان عنوان می‌کرد[8]. اما با کاوش در تپه یحیی و شهداد مشخص شد که جنوب شرق ایران یکی از منابع عمده تولید این اشیاء بوده است[9]. در دهه‌های بعد با شناسایی محوطه جیرفت که شواهد فراوانی از ظروف سنگی و همچنین سنگ‌های نیمه‌کاره از آن یافت شد، اطلاعات جدیدی به دست آمد که موجب شکل‌گیری پژوهش نوین در این زمینه شد[10,11].

آنچه مشخص است این است که این ظروف سنگی در دوران مفرغ و آهن دارای اهمیت فراوان بوده‌اند و این امر را می‌توان از بافت‌هایی که این اشیاء از آن‌ها یافت شده است و همچنین کتیبه‌های روی این ظروف دریافت. در حفاری‌های دوران اسلامی در استان خراسان چندین قطعه شیء از جنس سنگ نرم به‌دست‌آمده است که تاکنون مورد مطالعه و معرفی قرار نگرفته‌اند. محوطه‌ها شادیاخ در شهرستان نیشابور ازجمله محوطه‌هایی است که ظروف از جنس سنگ نرم از آن به‌دست‌آمده است[12–15].

شاید بتوان از علل تداوم این سنت و صنعت تا امروز در استان خراسان را ریشه در مذهب و باورهای مذهبی مردم دانست. در دوران اسلامی در احادیث بر اهمیت این ظروف تأکید شده است[1]. مطالعاتی مقدماتی برای شناسایی منبع خام این نوع سنگ انجام شد و مهم‌ترین منابع آن در نواحی داخلی ایران که دارای کمربندی آتش‌فشانی است قابل‌شناسایی است و منبعی نیز در اطراف مشهد گزارش شده است[16].

فیلیپ کوهل و همکارانش با انجام آنالیز بر روی خصیصه شیمیایی و فیزیکی اشیاء سنگی، به بحث درباره محل توزیع و گسترش آن‌ها پرداخته‌اند. نتیجه این مطالعات تا قبل از کشف آثار جیرفت، نشان‌دهنده این واقعیت بود که تپه یحیی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز تولید و توزیع اشیاء سنگ نرم در خاور نزدیک بوده است[16]. فیلیپ کوهل از روش‌های متعدد طیف‌سنجی ازجمله فلورانس اشعه X (XRF)، پراش اشعه ایکس (XRD)، جذب اتمی (AAS)، آنالیز فعال‌سازی نوترونی (NAA) و پتروگرافی مقطع نازک برای مطالعه ظروف سنگ نرم استفاده کرد. گستره جغرافیایی مطالعات وی از بین‌النهرین تا شهر سوخته و همچنین معادن منطقه کوهستانی در شمال و شمال غربی تپه یحیی را در برمی‌گرفت. نخستین مطالعات آزمایشگاهی کوهل در سال ۱۹۷۱م بر روی ۲۶ نمونه از آثار پیش‌ازتاریخی تپه یحیی و معادن اطراف آن، با روش فعال‌سازی نوترونی و طیف‌سنجی اشعه X به انجام رسید. تا پیش از مطالعات کوهل در باستان‌شناسی، این سنگ‌ها به‌عنوان استاتیت شناخته می‌شدند. درنتیجه آنالیز آثار تپه یحیی مشخص شد که درصد آهن نمونه‌ها بالای ۱۵٪ است و این بیانگر این مسئله بود که آثار تپه یحیی همگی از نوع کلریت بودند و نه استاتیت. درمجموع او این آثار را در ۵ گروه

کلریت طبقه‌بندی کرد[16].

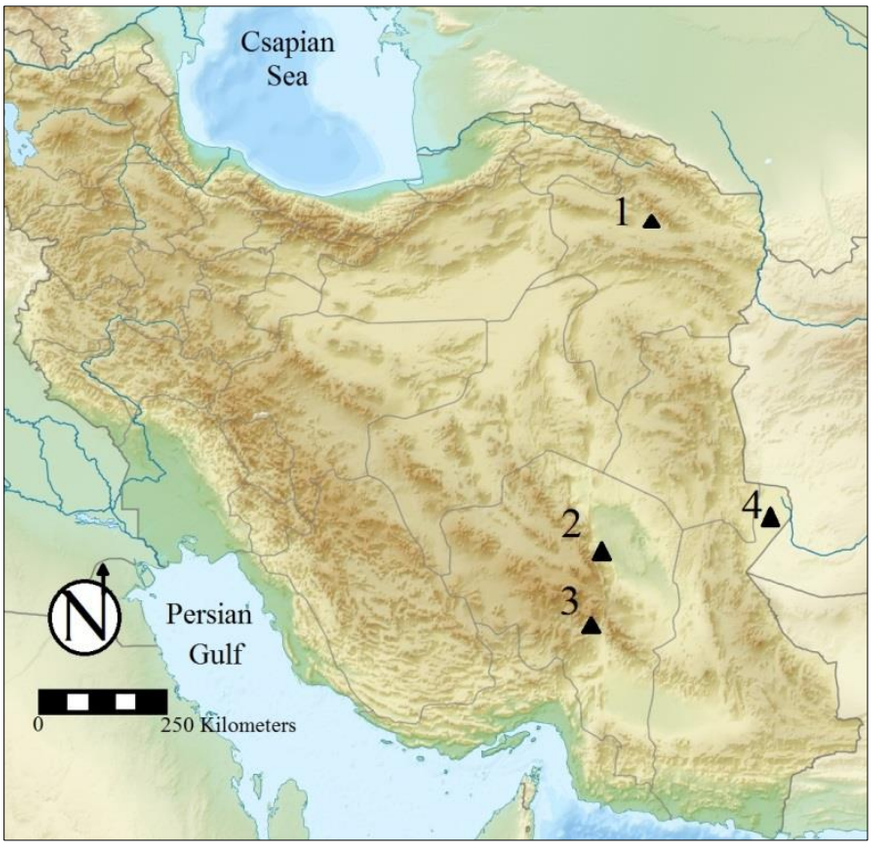
استاتیت دارای میزان عمده‌ای تالک است و به لحاظ سختی به اندازه یک موس از کلریت نرم‌تر است. نمونه‌های سنگ‌های کلریت دارای میزان بالایی آهن (Fe) است و این میزان بر اساس آزمایش‌های عنصری تا ۳۷٪ نیز می‌رسد[16,17].

در مطالعه‌ای رازانی به مطالعه ظروف از جنس سنگ سیاه به‌دست‌آمده از جیرفت متعلق به عصر مفرغ و ۹ نمونه از معدن آشین ۱، ۲، ۳ و باغ برج پرداخت. او نتیجه‌گیری کرد که اشیاء به‌دست‌آمده از جیرفت از سنگ کلریت با فازهای کلینوکلر و سافرین هستند. این اشیاء به لحاظ شیمیایی و فازی به معدن آشین ۲ نزدیک‌تر هستند. نتایج این مطالعه منتشر شده است[18,19]. در پژوهش دیگری افشاری‌نژاد و رازانی به مطالعه ساختار و مرمت سه ظرف کلریتی جیرفت پرداختند. مطالعه مذکور با استفاده از روش‌های ماکروسکوپی و میکروسکوپی، آنالیزهای XRD و SEM و همچنین پتروگرافی انجام شده است[20].

پژوهش های دیگر در زمینه مطالعات میان‌رشته‌ای به روشهایی همچون XRD و کانی‌شناسی بر روی سازه‌ها و آثار سنگی صورت گرفته است که می‌توان به مطالعه امینی بیرامی و همکارانش بر ساختار شناسی سنگهای آذرآواری در معماری صخره کند روستای کندوان اشاره کرد[21].

۲. محوطه موردمطالعه

شهرستان نیشابور در استان خراسان رضوی در شمال‌شرق ایران واقع شده است. ازلحاظ تقسیمات کشوری دشت نیشابور تا پایان اسفندماه سال ۱۳۹۴، به بخش‌های مرکزی، زبرخان، میان جلگه و سرولایت تقسیم‌شده (شکل ۱) و دارای ۷ شهر و ۱۳ دهستان است[22]. نیشابور در دوره ساسانیان، در حدود دهه‌های میانی



شکل ۱: نقشه موقعیت جغرافیایی محوطه شادیاخ، ۱- شادیاخ، ۲- تپه یحیی، ۳- کنار صندل، ۴- شهر سوخته
Fig. 1: geographic position of Shdyakh, 1- Shadyakh, 2- Tape Yahya, 3- Konar Sandal, 4- Shahre Sokhteh

سده‌ی سوم میلادی به فرمان شاپور اول تأسیس شد[23,24]. برخی پژوهشگران معتقدند آتشکده معروف آذربرزین مهر در حوالی نیشابور قرار داشته است[25].

اهمیت سیاسی این شهر در دوره اسلامی به دوره‌ای برمی‌گردد که عبدالله بن طاهر آن را مرکز حکومت خود قرار داده و این شهر بعد از مرو در درجه‌ی اول اهمیت قرار گرفت[26]. در قرون سوم و چهارم هجری نیشابور شهری بزرگ و بسیار آباد بود و مساحتش یک فرسخ در یک فرسخ و دارای شهر و قهندز و ربض و مسجد جامع بزرگی بود که این مسجد از بناهای عمرولیث محسوب می‌شود[27]. نیشابور در دوران اسلامی به لحاظ تولید و مبادله آثار فلزی از مراکز مهم ایران بوده است که شواهد متعدد باستانی آن یافته شده است[28].

محوطه باستانی شادیاخ در حدود سه کیلومتری جنوب شرقی شهر فعلی نیشابور و در غرب نیشابور قدیم و در مجاورت آرامگاه عطار واقع شده است. نام شادیاخ در متون مختلف به صورت‌های شاذیاخ، شادکاخ، شادی‌کاخ، شادخ، شادجهان و شایکان آورده شده است[29–32] .

در این محوطه یک فصل گمانه‌زنی و ۶ فصل کاوش باستان‌شناسی صورت گرفته و منجر به کشف یافته‌های باستان‌شناسی اعم از بقایای معماری و تزئینات وابسته به آن، آثار و نشانه‌های تخریب و مرمت، سیستم آبرسانی، کوره‌ها و کارگاه‌های صنعتی، فضاهای مسکونی و مذهبی شده است که نشان می‌دهد شادیاخ یک مجموعه زیستی کامل بوده و اگرچه جنگ‌ها و رویدادهای طبیعی بارها در آن ویرانی به بار آورده ولی هر بار احیاء گشته است[33]. درمجموع شادیاخ به‌منزله آیینه و تجلی‌گاه فرهنگ و هنر نیشابور از اوایل قرن ۳ تا اواخر قرن ۷ هجری در مجاورت شهر کهن باقیمانده است. علاوه بر فضاهای مختلف معماری، تعداد فراوانی اشیاء و مواد فرهنگی سفالی و فلزی و تعدادی از قطعات سنگی که اکثراً مربوط به قطعات ظروف کاربردی است، از این محوطه به‌دست‌آمده است. این قطعات ظروف سنگی از مناطق مختلف کاوش به‌دست آمدند؛ اما شواهدی از کارگاه و محل تهیه و ساخت این اشیاء به‌دست نیامد و به‌نظر می‌رسد این اشیاء به‌صورت ساخته شده وارد محوطه می‌شده است.

۳. نمونه‌ها و روش مطالعه

استفاده از روش‌های شیمیایی آزمایشگاهی و کانی‌شناسی که بر روی مواد گوناگون از قبیل شیشه، سفال و فلزات بکار گرفته می شود می تواند اطلاعات ذیقیمتی در مورد نحوه ساخت، ساختار، خصیصه‌ها و منابع آنان فراهم کند[34,35]. همچنان‌که اشاره شد ازجمله مواد فرهنگی به‌دست‌آمده در محوطه شادیاخ می‌توان به قطعات ظروف سنگی کنده‌کاری‌شده اشاره کرد (شکل ۲). این ظروف

شکل ۲: نمونه قطعات ظروف سنگی محوطه شادیاخ باستانی مطالعه شده به روش XRD

Fig. 2: archaeological stone vessels fragments of Shadyakh analysed by XRD

سنگی در فرهنگ عامه به نام ظروف دیزی و در خراسان به‌ویژه در مشهد به سنگ هرکاره معروف هستند. براساس آنچه از فرم برخی از ظروف باقی‌مانده و می‌توان شکل اصلی آنان را دریافت این اشیاء اغلب به شکل کاسه بوده‌اند. برخی از این ظروف دارای تزئین هستند که بیشترین آن به فرم کنده هستند. هدف از این پژوهش مشخص کردن جنس سنگ و ساختارشناسی، این ظروف است.

در این پژوهش نگارندگان جهت شناسایی جنس سنگ و ساختارشناسی آن‌ها از سه روش مکمل یکدیگر یعنی XRF، XRD و SEM استفاده کرده‌اند. در این مطالعه ۱۶ نمونه از قطعات ظروف سنگی محوطه شادیاخ جمع‌آوری شد. این نمونه‌ها پس از پاک‌سازی سطحی به‌دقت با برس و آب مقطر شسته شده و در هوای اتاق خشک شد و سپس به روش XRD در آزمایشگاه دانشگاه بوعلی‌سینای همدان آزمایش گردید. دستگاه مورداستفاده ساخت شرکت Italstructure مدل APD2000 کشور ایتالیا با طول‌موج ۱/۵۴۰ آنگستروم است و از نرم‌افزار Xpowder برای شناسایی پیک‌ها استفاده شده است (شکل ۴).

افزون بر این؛ ۴ نمونه (نمونه‌های ۱، ۳، ۹ و ۱۳) با دستگاه XRF شرکت کانسارهای بینالود تهران آزمایش شدند. دستگاه به‌کار گرفته شده در این آزمایشگاه شامل دستگاه XRF ساخت کمپانی PHILIPS مدل PW1480 است. برای اندازه‌گیری طول‌موج‌های تولیدشده از کریستال‌های پراش دهنده امواج کمک گرفته شد. با برقراری موقعیت پراش مطابق معادله براگ هر طول‌موج در زاویه خاصی پراش خواهد یافت. بر اساس این معادله طول‌موج محاسبه‌شده و نتیجه آن شناسایی عنصر مربوطه است. با برقراری خط کالیبراسیون میزان عنصر مورد نظر نیز به دست می‌آید.

نمونه‌های باستانی آزمایش‌شده توسط XRF، از میان نمونه‌های آزمایش‌شده XRD انتخاب شدند. نمونه شماره ۱ (نمونه شماره ۹ در آزمایش XRD)، نمونه شماره ۲ (نمونه شماره ۱۳ در آزمایش XRD)، نمونه شماره ۳ (نمونه شماره ۳ در آزمایش XRD)، نمونه شماره ۴ (نمونه شماره ۱ در آزمایش XRD). برای مطالعه کانی‌شناسی SEM نیز نمونه‌های ۱ و ۲ شادیاخ آزمایش شدند. این نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) ساخت کمپانی PHENOM هلند مدل proX بخش متالوژی دانشگاه آزاد نیشابور مطالعه گردید. نتایج XRF برای کمک به میزان شباهت آنان از نمودار برهم اندازی (همپوشانی) استفاده شد. نتایج آزمایش XRD بر اساس فازها به‌صورت جدول و نمودار خوشه‌ای نشان داده شده است.

۴. نتایج و بحث

۴-۱. آنالیز نمونه‌ها به روش XRF

برای این بخش، ۴ نمونه به آزمایشگاه تحویل داده شد نمونه‌ها تبدیل به پودر شده و سپس از نمونه‌ها قرص تهیه شد و جهت اندازه‌گیری سطح و میزان عناصر در دستگاه مذکور قرار داده شد. با این روش ۱۰ عنصر اصلی و ۲۱ عنصر کمیاب در نمونه‌ها شناسایی شد و نتایج آن در زیر ارائه شده است (جدول ۱ و ۲).

در مطالعات، تفاوت در میزان برخی عناصر در نمونه‌ها را به‌عنوان شاخصه‌ای برای تمیز دادن تعداد منابع تأمین سنگ خام به کار می‌برند.

نمونه‌ها با نرم‌افزار اکسل و با ترسیم نمودار همپوشانی بر اساس عناصر اصلی و کمیاب مشخص می‌شود نمونه‌ها با یکدیگر همخوانی و شباهت دارند (شکل ۳). اما باید خاطرنشان کرد با توجه به تعداد کم نمونه‌های آزمایش‌شده با این روش نمی‌توان با قاطعیت

جدول۱: نتایج ترکیب عناصر اصلی بر اساس آنالیز نمونه‌های آزمایشی با روش XRF (برحسب درصد)[۲].
Table 1: results of analysis by XRF (%)

L.O.I	P_2O_5	MnO	TiO_2	MgO	K_2O	Na_2O	CaO	Fe_2O_3	Al_2O_3	SiO_2	Samples
17.54	0.050	0.159	0.376	26.87	0.02	0.09	4.21	11.12	3.98	34.86	1
17.26	0.025	0.138	0.382	25.36	0.03	0.08	5.96	10.18	3.84	36.12	2
14.18	0.068	0.181	0.498	26.02	0.02	0.07	3.93	10.82	4.67	38.74	3
16.05	0.049	0.169	0.482	24.26	0.02	0.12	5.89	10.35	4.78	37.15	4

جدول۲: نتایج عناصر کمیاب موجود در نمونه‌ها بر اساس آنالیز به‌وسیله دستگاه XRF (برحسب ppm).
Table 2: results of analysis by XRF (ppm)

Ga	Mo	Th	U	As	Co	Rb	Y	Zr	W	La	Ce	V	Cr	Ni	Pb	Zn	Cu	Sr	Ba	Cl	Samples
21	4	4	10	142	120	8	9	274	2	2	5	117	3172	1814	2	106	11	163	17	38	1
23	2	4	4	11	108	8	11	352	1	8	15	118	2651	1501	1	91	24	11	12	102	2
21	3	3	3	13	84	8	9	238	1	3	9	152	2768	1989	1	100	43	11	5	26	3
23	2	5	5	18	72	9	6	257	2	2	4	133	2944	1602	9	89	31	82	4	21	4

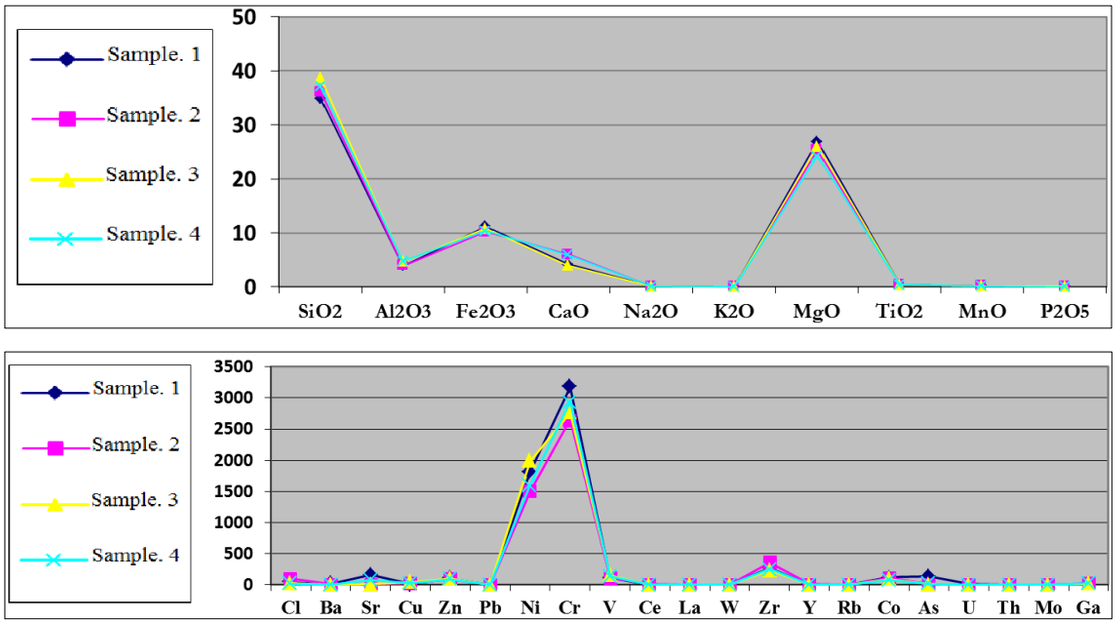
این نمونه‌ها را به یک منبع در یک زون زمین‌شناسی منتسب کرد و چه‌بسا با افزودن نمونه‌های مطالعاتی و یا معادن در آینده نزدیک ثابت شود که هر ۴ نمونه متعلق به یک منبع بوده است (زیرگروه‌های یک منبع) یا برعکس. چنین وضعیتی توسط الری فرام[36] در مورد ابسیدین‌های نمرودداغ و بینگول در آسیای صغیر گزارش شد و نشان داد عناصر زیرکن و باریم که در مطالعه به روش XRF جهت شناسایی منبع ابسیدین‌ها استفاده می‌شد، نمی‌تواند این دو منبع را از هم تمیز دهد و میزان این دو عنصر در هر دو منبع برابر است.

همچنین باید اشاره کرد که در این نمونه‌ها میزان اکسید آهن پایین‌تر از ۱۵٪ است. بالا بودن میزان آهن در نمونه‌های تپه یحیی باعث شد کوهل نتیجه‌گیری کند که نمونه‌های تپه یحیی به‌احتمال‌قوی کلریت است نه استاتیت یا تالک. اما میزان عنصر آهن در نمونه‌های شادیاخ به‌هیچ‌عنوان به ۱۵٪ نمی‌رسد و درنتیجه از جنس استاتیت یا تالک هستند[16,17].

۴-۲. مطالعه نمونه‌ها با روش XRD

۱۶ قطعه کاوش‌های شهر باستانی شادیاخ با دستگاه XRD آنالیز شدند و کانی‌هایی همچون تالک/ استاتیت، کلینوکلر و دولومیت گزارش شد (جدول ۳). نتایج به‌صورت خوشه‌بندی به نمایش گذاشته شدند تا بتوان برداشت صحیحی از نتایج XRD داشت.

بر اساس ترکیبات موجود در نمونه‌ها شاید بتوان دو گروه عمده را معرفی کرد. گروه اول نمونه‌هایی که صرفاً دارای تالک/استاتیت و کلینوکلر هستند و بزرگ‌ترین مجموعه است و گروه دوم که به همراه تالک/استاتیت و کلینوکلر دارای دولومیت هستند. گروه اول دارای ۷ عضو و گروه دوم دارای ۶ عضو است. سه نمونه نیز دارای



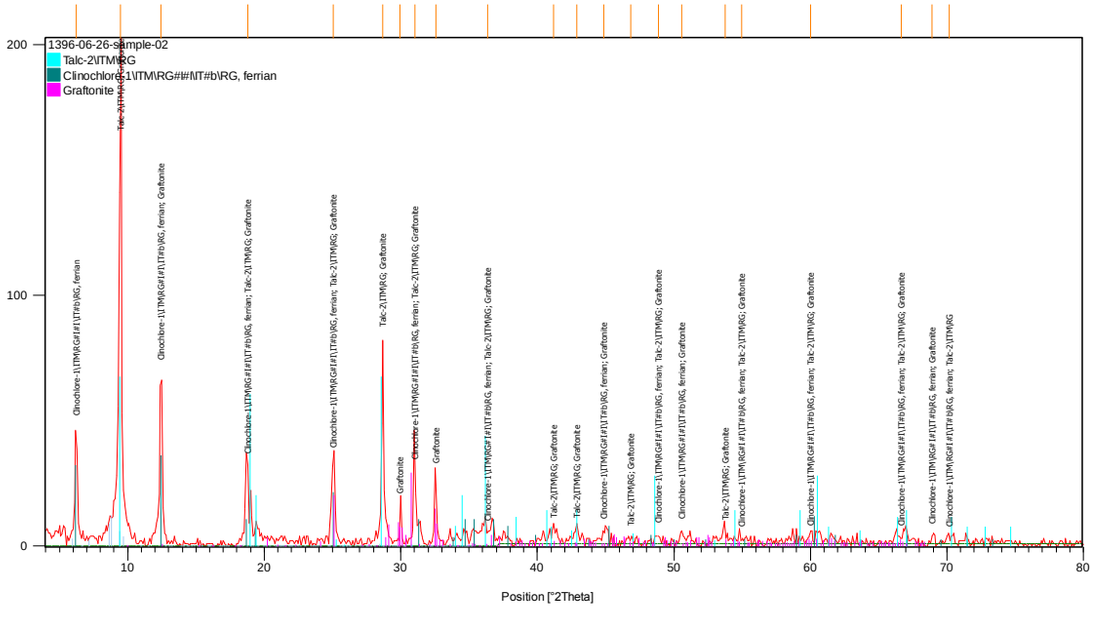
شکل ۳: نمودار برهم اندازی نمونه‌های شادیاخ در نرم‌افزار excel
Fig. 3: Overlap graph of Shdyakh's samples elements

جدول ۳: نتایج آزمایش ۱۶ قطعه ظرف سنگی شادیاخ به روش XRD

Table 3: Analyses result of 16 pieces Soft stone vessels of Shadyakh by XRD

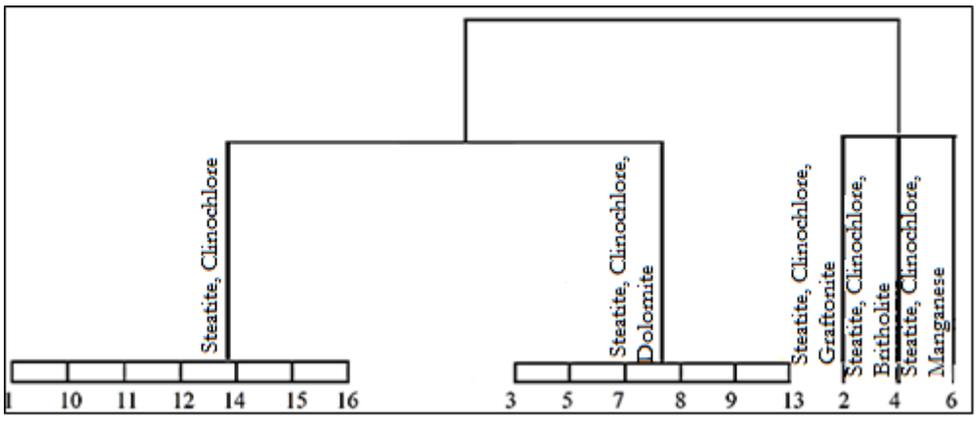
No	Talc	Clinochlore	Graftonite	Dolomite	Britholite	Magnesium carbonate
1	√	√	-	-	-	-
2	√	√	√	-	-	-
3	√	√	-	√	-	-
4	√	√	-	-	√	-
5	√	√	-	√	-	-
6	√	√	-	-	-	√
7	√	√	-	√	-	-
8	√	√	-	√	-	-
9	√	√	-	√	-	-
10	√	√	-	-	-	-
11	√	√	-	-	-	-
12	√	√	-	-	-	-
13	√	√	-	√	-	-
14	√	√	-	-	-	-
15	√	√	-	-	-	-
16	√	√	-	-	-	-

Talc: $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ Ref. Code: 00-002-0569/ Clinochlore: $(MgFe_2+Al)_6$ [(OH)8 - $(AlSi)_4$ O10], Ref. Code :00-007-0078/ Graftonite :$(Fe^{2+}MnCa)_3(PO_4)_2$ Ref. Code: 01-073-1909/ Dolomite: $CaMg(CO_3)_2$ Ref. Code: 00-001-0942/ Britholite :$(CeCa)_5(SiO_4)_3OH$, Ref. Code: 00-046-1294/ Magnesium carbonate: (MgCO3), Ref. Code: 00-008-0479.



شکل ۴: نمودار XRD (طیف) نمونه شماره ۲ از نمونه‌های باستانی شادیاخ

Fig. 4: XRD spectrum Sample No. 2 from Shadyakh



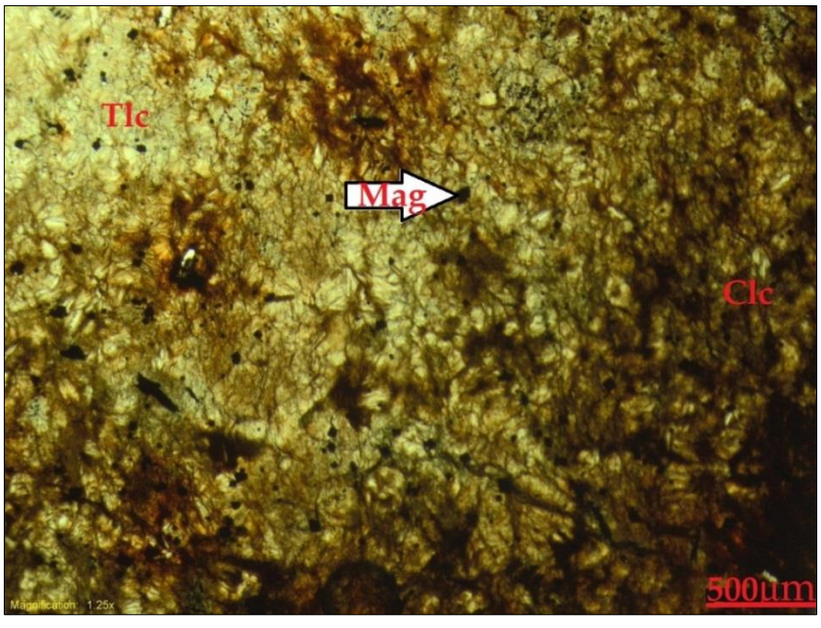
شکل ۵: نمودار گروه‌بندی ترکیبات نمونه‌های مطالعه شده
Fig. 5: Graph of grouping of compounds of studied samples

منگنز، گرافتونیت و بریتولیت هستند که جدا از دو گروه اشاره شده در بالا است (شکل ۵).

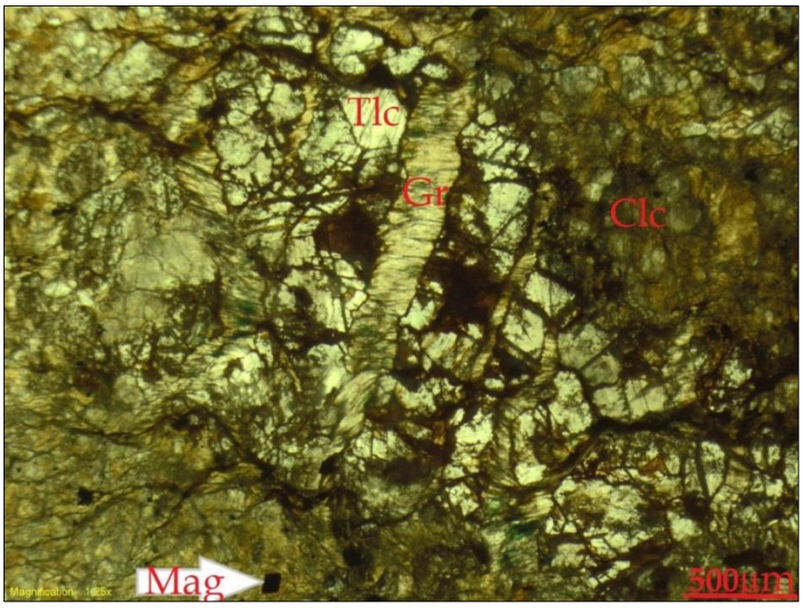
۴-۳. مطالعه نمونه‌ها به روش SEM

نمونه شماره ۱ شادیاخ

این نمونه ریزدانه و پورفیری ویتروفیریک (شیشه‌ای) دارد. عناصر تشکیل‌دهنده آن تالک، کلینوکلر و مگنتیت است (شکل ۶). تالک کانی است که از دگرسانی سرپانتین و یا دگرسانی سنگ‌های کربناته ایجاد شده است. در نمونه دستی جلای صابونی دارد. کلینوکلر کانی کلریتی با سیستم تبلور تری‌اکتاهدرال است. کانی‌های تالک و کلینوکلر در زون‌های برشی و شکستگی‌های سنگ میزبان تشکیل می‌شوند و حاصل دگرسانی هستند[37]. مگنتیت یکی از مهم‌ترین اکسیدهای آهن مشاهده‌شده در مقاطع موردمطالعه است. این کانه از مهم‌ترین کانه‌های آهن‌دار محسوب می‌شود[38].



شکل ۶ نمونه ۱ شادیاخ، ترکیبات تالک (Tlc)، کلینوکلر (Clc)، مگنتیت (Mag)
Fig. 6: Sample No.1, Talc, Clinochlore, Magnetite



شکل ۷: نمونه ۲ شادیاخ، ترکیبات تالک (Tlc)، کلینوکلر (Clc)، گرافتونیت (Gr)، مگنتیت (Mag)
Fig.7: Sample No.2, Talc, Clinochlore, Graftonite, Magnetite

نمونه شماره ۲ شادیاخ

این نمونه دارای بافت دانه‌ای یا گرانولار و پورفیری ویتروفیریک (شیشه‌ای) است. کانی‌های تشکیل‌دهنده آن شامل کلینوکلر، تالک، مگنتیت و کانی بسیار کمیاب گرافتونیت است (شکل ۷). کانی بسیار کمیابی که در این نمونه وجود دارد، گرافتونیت است که جزء کانی‌های فسفاته و منشأ تشکیل پگماتیتی دارد. گرافتونیت سیستم تبلور مونوکلینیک، سختی ضعیف، جلای شیشه ای-چرب دارد و شکل بلور آن منشوری است[37].

۵. نتیجه‌گیری

نتایج آزمایش نشان داد که تالک و کلینوکر کانی‌های غالب در نمونه‌های موردمطالعه است و در همه نمونه‌های سنگ وجود دارد. کانی استاتیت که از دیگر کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های نرم است، در ۱۱ نمونه وجود دارد. کانی‌های استاتیت، تالک و دولومیت در ۷ نمونه وجود دارد. کانی‌های گرافتونیت، بریتولیت و منگنز هرکدام در ۱ نمونه وجود دارند. وجود آنکه کلینوکلر در ترکیب نمونه‌ها وجود دارد، اما میزان آهن در آزمایش‌ها زیر ۱۵٪ است و درنتیجه نمونه‌ها از نوع تالک/استاتیت است و نه از جنس کلریت که در این صورت میزان آهن آن باید بالای ۱۵٪ باشد. افزون بر این آنچه از نتایج آزمایش‌های صورت گرفته می‌توان دریافت که احتمالاً تمام نمونه‌های شادیاخ به لحاظ ترکیب متعلق به یک معدن و ساختار زمین‌شناسی است.

به کمک روش XRF و نمودار تهیه‌شده مشخص شد که نمونه‌های شادیاخ با یکدیگر همخوانی بالایی دارند. این نتایج نیز همان نتایج آنالیز XRF را مبنی بر اینکه نمونه‌های شادیاخ احتمالاً متعلق به یک معدن یا ساختار زمین‌شناسی باشند تائید می‌کند. باید اشاره کرد که بر اساس گزارش زمین‌شناسی تهیه‌شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور و مطالعات زمین‌شناسی دیگر در مورد نیشابور و همچنین سازمان صنایع معادن منبع این نوع سنگ در ساختار زمین‌شناسی نیشابور وجود ندارد و احتمال اینکه صنعتگران در شادیاخ ماده خام و سنگین این نوع سنگ را از مشهد یا منبع دیگری بیرون از منطقه نیشابور وارد می‌کرده‌اند تا ظروف و اشیاء را در خود محوطه بسازند دور از ذهن است و این امر با یافت نشدن شواهدی از دورریز و آثار سنگی نیمه‌کاره که نشان‌دهنده تولید محلی باشد تقویت می‌شود.

در پایان باید اشاره کرد که بهتر است نمونه‌های بیشتری از محوطه شادیاخ برای آزمایش XRF و

پتروگرافی مطالعه شود تا بتوان نتایج مطمئن‌تری کسب کرد. علاوه بر این همچنان که اشاره شد چنین معادنی در مجاورت مشهد وجود دارد و مورد بهره‌برداری قرارگرفته است و باید از نمونه سنگ‌ها و معادن مناطق مجاور نیشابور ازجمله مشهد جهت نتیجه‌گیری بهتر، نمونه‌هایی به میزان لازم تهیه و مورد بررسی قرار گیرد.

پی‌نوشت‌ها

۱. برای مثال آمده است که در جنوب شرقی مشهد کوهی است که امام رضا (ع) هنگام عبور از روستای ده سرخ به توس به آن تکیه کرد و فرمود: پروردگارا به این کوه برکت ده. ایشان دستور دادند برای تهیه غذا از آن کوه دیگ‌ها بتراشند و گفتند آنچه من تناول می‌کنم باید طبخ نشود مگر در این دیگ‌های سنگی؛ و از آن روز مردم به آن کوه راه یافتند[39].

۲. به علت آنکه قرار دادن همه نتایج در غالب یک جدول به صورتی که خوانا باشد ممکن نبود؛ درنتیجه عناصر را در غالب ۲ جدول مجزا در مقاله آورده شد. در مواردی که عناصر برحسب درصد ذکرشده، منظور عناصر عمده است و برحسب درصد می‌توان آن‌ها را دید. اما در مواردی که عناصر برحسب ppm آمده است، میزان عنصر در میلیون هستند و عناصر نادر یا همان تریس هستند.

References

[1] Renfrew C, Dixon JE. Obsidian Hydration Dating. In: Taylor R., Aitken M., editors. Adv. Archaeol. Museum Sci., New York, London: 1977, p. 297–321.

[2] Abdi K. Obsidian in Iran from the Epipalaeolithic period to the Bronze Age. Persiens Antike Pr 2004:148–53.

[3] Aruz J. Intercultural style" carved chlorite objects. Art First Cities Third Millenn BC from Mediterr to Indus New York Metrop Museum Art P 2003:325–46.

[4] De Cardi B. Excavations at Bampur: a third millennium settlement in Persian Baluchistan, 1966. vol. 51. American Museum of National History; 1970.

[5] Seyed Sajadi SM. Indian-Continental Civilization. Tehran: SAMT Publication; 2009. [in Persian]
[سیدسجادی سیدمنصور. باستان‌شناسی شبه قاره تاریخ هند. تهران: انتشارات سمت؛ ۱۳۸۸.]

[6] Hole F, Flannery K V, Neely JA. Prehistory and human ecology of the Deh Luran Plain: an early village sequence from Khuzistan, Iran. University of Michigan; 1969.

[7] Hole F. Studies in the archeological history of the Deh Luran Plain: the excavation of Chagha Sefid. Museum of Anthropology, University of Michigan; 1977.

[8] Perrot J. Archaeological Report of Eight Seasons of Survey and Excavation at Shahdad (Lut Plain). In: Hakemi A, Musavi M. Tehran: Iranian Center for Archaeological Research; 2006. [in Persian]
[پرو ژان. مقدمه در: گزارش هشت فصل بررسی و کاوش در شهداد (دشت لوت). به کوشش حاکمی علی، موسوی محمود. تهران: سازمان میراث فرهنگی و گردشگری؛ ۱۳۸۵.]

[9] Rafifar J aldi, Roberto M, Massiomo V. Aspects of drilling in Konar Sandal. In: Madjidzadeh Y, editor. First Int. Conf. Archaeol. Res. Jiroft, Kerman: Cultural Heritage, Handicrafts& Tourism Organization of Kerman Province; 2008,127–44. [in Persian]
[رفیع‌فر جلال‌الدین، میکلی روبرتو، ویداله ماسیمو. جنبه‌هایی از فناوری مته‌کاری در کنار صندل جنوبی. به کوشش یوسف مجیدزاده. در مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی تمدن حوزه هلیل، جیرفت. کرمان: نشر سازمان میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری استان کرمان؛۱۳۸۷، ۱۲۷-۱۴۴.]

[10] Lamberg-Karlovsky CC. Excavations at Tepe Yahya, Iran, 1967-1969: Progress Report. American School of Prehistoric Research, Harvard University; 1970.

[11] Hakemi A. Shahdad: archaeological excavations of a bronze age center in Iran. vol. 27. IsMEO; 1997.

[12] Labbaf Khanaki M, Bakhtiari Shahri M. Report of the second season of excavation at Shadyakh. Neyshabour: 2001. [in Persian]
[لباف‌خانیکی میثم، بختیاری شهری محمود. گزارش فصل ۲ کاوش شادیاخ. پایگاه مطالعات فرهنگی

Hist. Artifacts Archit. Decor. Tabriz: 2014. [in Persian]
[افشاری‌نـژاد حکیمـه، رازانـی مهـدی. ساختارشناسـی و حفظ و مرمت ظروف کلریتی حوزه فرهنگی جیرفـت. در مجموعه مقالات یازدهمین همـایش حفاظـت و مرمـت اشیاء تاریخی–فرهنگی و تزئینـات وابسـته بـه معمـاری. تبریز: ۱۳۹۴.]

[21] Amini Birami F, Razani M, Asghari Kaljahi E, Emami, S, M A, Baghbanan A. Characterization of Pyroclastic Stones in the Cut Rock Historical Architecture of Kandovan Village. J Res Archaeom 2015;1:1–16. [in Persian]doi: https://doi.org/10.29252/jra.1.1.1
[امینی بیرامی فریده، رازانی مهـدی، اصـغری کلجـاهی ابراهیم، امامی سید محمد امین، باغبانان علیرضا. تحلیل ساختارشناسـی سـنگ‌هـای آذر آواری در معمـاری صخره‌کند روستای تاریخی کندوان. پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۴؛ ۱: ۱–۱۶.]

[22] Statistical Centre of Iran. Statistical annals of Khorasan Razavi Province 2015:60. [in Persian]
[مرکز آمار ایران. سالنامه آماری استان خراسـان رضـوی ۱۳۹۴: ۶۰]

[23] Zarrinkob, Abdolhosein. History of Iranian people. Tehran: Amirkabir; 1985. [in Persian]
[زرین‌کـوب عبدالحسـین. تـاریخ مـردم ایـران. تهـران: امیرکبیر؛ ۱۳۶۴.]

[24] Yarshater E. Cambridge History of Iran, Vol. I: Seleucid, Parthian and Sassanian Periods. Translated by Anoushe H. Tehran: Amirkabir; 1989. [in Persian]
[یارشاطر احسان. تاریخ ایران؛ از سـلوکیان تـا فروپاشـی دولت ساسانیان. ترجمه انوشه حسن. تهران: امیـر کبیـر؛ ۱۳۶۸.]

[25] Canepa MP. Building a new vision of the past in the Sasanian Empire: The sanctuaries of Kayānsīh and the Great Fires of Iran. J Persianate Stud 2013;6:64–90.doi: https://doi.org/10.1163/18747167-12341249

[26] Yaqubi A. Al-Baladan. Translated by Mohamad Ayati E. Tehran: Company Of, Translation and Publishing; 1987. [in Persian]
[یعقوبی احمـد. البلـدان. ترجمـه محمـد آیتـی ابـراهیم. تهران: بنگاه ترجمه و نشر کتاب؛ ۱۳۶۶.]

[27] Muqaddasi MA.S. The Best Divisions for نیشابور:۱۳۸۰.]

[13] Labbaf Khanaki R, Bakhtiari Shahri M. Report of the third season of excavation at Shadyakh, Neyshabour. Khorasan Razavi: 2002. [in Persian]
[لباف‌خانیکی رجبعلی، بختیاری شهری محمود. گـزارش مقدماتی فصل سوم باسـتان‌شناسـی شـادیاخ. اداره کـل میراث فرهنگی خراسان نیشابور:۱۳۸۱.]

[14] Labbaf Khanaki R, Bakhtiari Shahri M. Report of the fourth season of excavation at Shadyakh. Neyshabour: 2003. [in Persian]
[لباف‌خانیکی رجبعلی، بختیاری شهری محمود. گـزارش فصل چهارم باستان‌شناسـی شـادیاخ. اداره کـل میـراث فرهنگی خراسان نیشابور: ۱۳۸۲.]

[15] Labbaf Khanaki R. Report of the sixth season of excavation at Shadyakh. Neyshabour: 2005. [in Persian]
[لبـاف خـانیکی رجبعلـی. گـزارش اجمـالی کـاوش باستان‌شناسی شـادیاخ فصـل ششـم. اداره کـل میـراث فرهنگی خراسان نیشابور: ۱۳۸۴.]

[16] Kohl PL, Harbottle G, Sayre E V. Physical and chemical analysis of soft stone vessels from southwest Asia. Archaeometry 1979;21:131–59.doi: https://doi.org/10.1111/j.1475-4754.1979.tb00249.x

[17] De Caritat P, Hutcheon I. John L. Walshe Chlorite geothermometry. Clays Miner 1993;41:219–39.doi: https://doi.org/10.1346/CCMN.1993.0410210

[18] Razani M. Archaeometry Investigations on the Black Stones Belong to Jiroft Civilization. MA Tesis Art University of Isfahan, 2010. [in Persian]
[رازانی مهدی. بررسی آرکئومتریـک سـنگ‌هـای سـیاه تمدن جیرفت. پایان‌نامه کارشناسی ارشـد مرمـت اشـیاء فرهنگی–تاریخی. دانشگاه هنر اصفهان. ۱۳۹۰.]

[19] Emami M, Razani M, Soleimani NA, Madjidzadeh Y. New insights into the characterization and provenance of chlorite objects from the Jiroft civilization in Iran. J Archaeol Sci Reports 2017;16:194–204.doi: https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.10.004

[20] Afsharinezhad H, Razani M. Structural Characterization and Preservation and Restoration of Chlorite dishes in the Jiroft cultural area. 11th Symp. Conserv. Restor.

https://doi.org/10.29252/jra.1.1.47
[سرحدی دادیان حسین، پورزرقان وحید، مرادی حسین، رازانی مهدی. تحلیل مقدماتی از ردپای بومی بودن صنعت سفال‌های نخودی شهر سوخته با استفاده از روش آنالیز نیمه کمی عنصری XRF. پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۴؛ ۱: ۴۷-۵۴.]

[35] Razani M, Conejero, Feli, Martinez Mansori Isfahani M, Afsharinezhad H. Archaeometry, Thin Section Preparation, Mortars, Pottery, Soft &, Weathered Rock. J Res Archaeom 2017;3:45–60. [in Persian] doi: https://doi.org/10.29252/jra.3.2.45
[رازانی مهدی، گونیخرو فلی مارتینز، منصوری اصفهانی مهین، افشاری‌نژاد حکیمه. آماده‌سازی مقاطع نازک از مواد متخلخل برای مطالعه با میکروسکوپ پلاریزان در باستان‌سنجی. پژوهه باستان‌سنجی 2018، ۳: ۴۵-۶۰.]

[36] Frahm E. Distinguishing Nemrut Dağ and Bingöl A obsidians: geochemical and landscape differences and the archaeological implications. J Archaeol Sci 2012;39:1436–44.doi: https://doi.org/10.1016/j.jas.2011.12.038

[37] Klein C, Hurlbut CS. Manual of Mineralogy, edited by Farid Moore. Translated by Mer F, Modaberi S. Tehran: University Press; 2007. [in Persian]
[کلاین کورئلیس، سرل هارلبوت کورئلیوس. راهنمای کانی‌شناسی. ترجمه مر فرید، مدبری سروش. تهران: نشر دانشگاهی؛۱۳۸۶.]

[38] Bayati Rad Y, Mirnejad H, Ghalamghash J. Distribution and Abundance of Rare Earth Elements in Magnetite from Gol-Gohar Iron Ore Deposit, Sirjan, Kerman. Sci Q Journal, Geosci 2013;23:217–24. [in Persian]
[بیاتی‌راد یلدا، میرنژاد حسن، قلمقاش جلیلی. پراکندگی و فراوانی عناصر خاکی کمیاب در مگنتیت‌های کانسار آهن گل‌گهر سیرجان، کرمان. مجله علوم زمین۱۳۹۲؛ ۲۳: ۲۱۷-۲۲۴.]

[39] Erfanmanesh J. Historical Geography migration of Imam Reza from Medina to Merv. Mashhad: Islamic Research Foundation of Astane Quds Razavi; 2003. [in Persian]
[عرفان‌منش جلیل. جغرافیای تاریخی هجرت امام رضا (ع) از مدینه تا مرو. مشهد: بنیاد پژوهش های اسلامی؛ ۱۳۸۲.]

Knowledge of the Regions. Translated by Monzavi A. Tehran: Koomesh; 2006. [in Persian]
[مقدسی محمدبن احمد شمس‌الدین. احسن‌التقاسیم فی‌معرفه الاقالیم. ترجمه منزوی علینقی. تهران: کومش؛ ۱۳۸۵.]

[28] Haji Alilou S, Laleh H. Archaeological Survey of the Nishabur Cultural Zone from the Early Islamic Metallurgy Mining Viewpoint. Pazhohesh-Ha- Ye Bastanshenasi Iran 2014;3:101–20. [in Persian]
[حاجی علیلو سولماز، لاله هایده. بررسی باستان‌شناختی پهنه فرهنگی نیشابور از منظر معدن‌کاوی و فلزکاری کهن در دوران اسلامی. مجله پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران ۱۳۹۲؛ ۳: ۱۰۱-۲۰.]

[29] Sani-ol Douleh MGK. Rahe Nejat. Tehran: Iranian History Press; 1984. [in Persian]
[صنیع الدوله مرتضی قلی بن علی قلی. راه نجات. تهران: نشر تاریخ ایران؛ ۱۳۶۳.]

[30] Hedayat R ibn MH. Ajmal al-Tawarikh. Tabriz: 1909. [in Persian]
[هدایت رضا قلی بن محمد هادی. اجمل التواریخ. تبریز: ۱۲۸۸.]

[31] Khalaf Tabrizi MH. Borhan-e Ghate. Tehran: Amirkabir; 1878. [in Persian]
[خلف تبریزی محمدحسین. برهان قاطع به اهتمام محمد معین. تهران: امیرکبیر؛ ۱۳۵۷.]

[32] Ibn Hawqal MA al-Q. Surat al-Ard (The face of the Earth). Translated by Shoar J. Tehran: Amirkabir; 1987. [in Persian]
[ابن حوقل ابوالقاسم محمد بن حوقل. سفرنامه ابن حوقل (ایران در صور الارض). ترجمه شعار جعفر. تهران: امیرکبیر؛ ۱۳۶۶.]

[33] Labbaf Khanaki R, Bakhtiari Shahri M. Report of the fifth season of excavation at Shadyakh, Neyshabour. Khorasan Razavi: 2011. [in Persian]
[لباف‌خانیکی رجبعلی، بختیاری شهری محمود. گزارش فصل پنجم کاوش‌های باستان‌شناسی شادیاخ. اداره کل میراث فرهنگی خراسان: ۱۳۹۰.]

[34] Sarhadi Dadiyan H, Pourzaghan V, Moradi H, Razani M. Traces of Indigenous Buff Pottery Industry of Shahr-I Sokhta; Using Semi-Quantitative Analysis of Elements XRF. J Res Archaeom 2015;1:47–54. [in Persian]doi: