Journal Homepage: http://journal.richt.ir/mbp/
P. ISSN: 2645-5048 & E. ISSN: 2645-5706
Motaleat-eBastanshenasi-eParseh(MBP) || Vol. 6 || No. 20 || Summer 2022 ||

Structural Study of Lapis Lazuli Stones and Beads of the Shahr-i Sokhta in Sistan

Sedghi, Y.[1]; Beheshti, I.[2]; Seyyed Sajjadi, S. M.[3]

Type of Article: **Research**
Pp: 59-84
Received: 2019/12/02; Accepted: 2020/04/19
https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.6.20.59



Abstract

One of the most critical found objects from the site of Shahr-i Sokhta are lapis lazuli stones and beads, which were used as stone jewelry and ornaments. One of the site's most significant archaeological and archaeometry topics is the way of manufacturing and types of stone structures into these objects. The Shahr-i Sokhta's lapis lazuli beads manufactured with flint borers are in the forms of lens, lozenge, circle, etc., and were used as jewelry and ornaments such as bracelets, anklets, necklaces, etc. The main discussion in this research is recognizing the structure and studying the mineralogy of lapis lazuli beads discovered from Shahr-i Sokhta. Hence, by using laboratory-device methods such as petrography of thin sections, X-ray energy diffraction microanalysis, Raman Spectroscopy analysis, and gemology methods, this research studies the structures of three samples of lapis lazuli beads and stones of Shahr-i Sokhta. The results of laboratory studies show that Shahr-i Sokhta's structure of lapis lazuli stone consists of lazurite minerals with a high percentage of calcite mineral impurities, which causes a reduction of transparency and purity of the lapis lazuli stones; also, elemental studies represent the presence of lazurite minerals. Raman structural and gemological studies show the structure, the amount of absorption coefficient, and its specific weight in the main structure of lapis lazuli stone. Chemical and structural studies indicate that the stones are similar in terms of composition.

Keywords: Stone Jewelries, Lapis Lazuli, Archeaometry, Shahr-i Sokhta in Sistan, South-east of the Iranian Plateau.

***Motaleat-e Bastanshenasi-e Parseh* (MBP)**

Parseh Journal of Archaeological Studies
Journal of Archeology Department of Archeology Research Institute, Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICHT), Tehran, Iran

Publisher: *Cultural Heritage and Tourism Research Institute (RICHT).*
Copyright©2022, The Authors. This open-access article is published under the terms of the ***Creative Commons****.*

1. Ph.D. student, Conservation of Cultural-Historical Objecs, Faculty of Conservation, Art University, Tehran, Iran (Corresponding Author).
Email: Sedghi.yassin@gmail.com
2. Expert of Research Center for Conservation of Cultural Relics, Research Iinstitute for Cultural Heritage and Tourism, Tehran, Iran.
3. Ph.D in Archeology, Director of Archeological Mission of Shahr-i Sokhta and Dahaneh-ye Gholaman, Sistan va Baluchestan, Iran.

Citations: Sedghi, Y.; Beheshti, I. & Seyed Sajadi, M., (2022). "Structural Study of Lapis Lazuli Stones and Beads of the Shahr-i Sokhta in Sistan". *Parseh J Archaeol Stud*, 6 (20): 59-84. (https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.6.20.59).
Homepage of this Article: http://journal.richt.ir/mbp/article-1-248-en.html

Introduction

Shahr-i Sokhta is one of the most important and key sites among Bronz-age sites in southeast Iran's archaeology (Biscione et al., 1974; Tosi, 1968, 1969, 1973; 1976; Tosi and Piperno, 1975; Savatori & Vidale, 1997; Piperno & Salvatori, 2007). Through excavations during different years up to now, a vast majority of semiprecious Stones and jewelry have been discovered; some of them are healthy beads in the form of necklaces, bracelets, and anklets, while others are half-worked beads as well as raw stone and blocks (Foglini, 1998). The jewelry is lapis lazuli, agate, chlorite, turquoise, limestone, flint, jasper, marble (calcite and aragonite), quartz, green tuff, and chert; that one of the most significant of them is lapis lazuli which was brought to Shahr-i Sokhta as a result of the trade from other regions. lapis lazuli stone in various forms and shapes is the most discovered abundant cultural material in Shahr-i Sokhta (Sajjadi, 2005, 2007). The discovered lapis lazuli are healthy and semi-worked, as well as raw and discarded material. The archaeological studies have demonstrated that the raw lapis lazuli blocks were imported into Shahr-i Sokhta, and then they were changed into various artifacts by artisans (Farzin et al., 2019). Hence, recognizing the structure and method of manufacturing the discovered lapis lazuli beads from Shahr-i Sokhta could be one of the most important topics for archaeologists. The archaeo-gemological study is a field of archaeometry that investigates and recognizes the structure and method of manufacturing and polishing these semiprecious Stone ornaments and jewelry. Archaeo-gemological studies examine minerals, gem materials, and jewelry, which were used as ornaments, decorative objects, jewelry materials, etc., in particular eras and places of the ancient world (Hatipoglu & Guney, 2013; Rapp, 2009; Dominguez-Bella, 2012). Therefore, this research based on Archaeo-gemological studies investigates the preliminary lapis lazuli stone jewelry produced in Shahr-i Sokhta.

Material and Methods (Samples)

The selected samples in this research include three pieces of lapis lazuli discovered from the archaeological survey of Shahr-i Sokhta. One of the samples is a raw material with a small incision that had been discarded as waste (SH-L1). The other one is a rectangular object with grooves in its width, which was broken during use (SH-L2), and the last one is a tiny bead; all three are studied in this research (SH-L3).

Methods

Microscopic thin section petrography (OPM) is administered to examine the samples under a polarizing microscope. The device model used in this research is James Swift, made in England.

The elemental Micro-analysis EDX method is applied to recognize samples chemical combinations. This examination is conducted through EDX devise coupled with a field emission electron microscope (FESEM) manufactured by Tasken company, model MIRA3TESCAN-XMU.

For structural investigation of the samples, this research uses Raman spectroscopy examination through (Takram) P50C0R10 model device, Taskan company in Raman laboratory. This device has a laser wavelength of 532nm (Nd: YAG Laser), and the range of Raman shift RS is 100-4600.

Moreover, this study uses gemological methods such as specific weight and refractive index to identify the samples.

Results

Petrography

According to the petrographic studies of the lapis lazuli samples under a polarizing microscope, blue lazurite minerals are seen with white calcite.

Raman Spectroscopy

The obtained spectra from this chart are compared with the reference spectrum at http://www.rruff.info This comparison indicates the existing lazurite in the stone structure of Na3Ca(Si3Al3)O12S. There is a Raman spectrum in the range of 546 cm-1, 1092 cm-1, and 254 cm-1, and the intensified spectrum is high in the range of 546 cm-1, considered the main spectrum.

EDX

Micro-analysis (EDX) Obtained spectra in the formula of these stones represent the amount of silicon (19/61 and 19/11), aluminum (7/14 and 7/21), magnesium (7/98 and 6/73), calcium (4/98 and 4/94), and sodium (3/46 and 3/13) elements with the highest abundance.

Gemological Analysis

This part investigates these lapis lazuli's mineralogical features through two refractometer methods and the determination of specific weight.

Refractometer

Among Shahr-i Sokhta's studied samples, this research has selected three lapis lazuli samples to study. For investigating, first, one drop of special liquid (REFRACTOMETER LIQUID-Nd 1.81) is poured into the location of the samples; second, the flat sides of the gems locates on the oil. Then, by turning on the device lamp and closing the deflectometer cap, one could obtain each sample's refractive coefficient measure by reading the refractive coefficient. The type of the studied sample has been identified by measuring the refractive coefficient of the samples and comparing obtained numbers with the standard table of gems (GIA- GEM PROPERTY CHART). The refractive coefficient of 1.50 is related to lapis lazuli stone.

Determination of Specific Weight

One of the quick identifying ways of the gems is the determination of their specific weight, which causes no damage to the gems. To obtain the particular weight of each mineral or gem, first, they are weighted in the air and then in the water. Next, by using a formula, the amount of specific weight is calculated. The particular weight of the discovered lapis lazuli samples of Shahr-i Sokhta is 2.1-3.3.

Conclusion

Microscopic investigations based on the thin section petrography show that the structure of studied lapis lazuli is lazurite mineral type with calcite minerals. In microscopic images, Lazurite minerals clearly are blue, calcite minerals in the stone texture are white, and pyrite minerals rarely can be seen in the studied stone texture. Identifying the existence of a significant amount of calcite and a poor amount of pyrite in the lapis lazuli structure represents the amount of impurities in these stones. Furthermore, elemental analysis of the three lapis lazuli indicates that there are other

elements with the highest frequency; these elements are silicon (20/95 and 20/67), aluminum (7/80 and 7/63), magnesium (7/28 and 8/52), calcium (4/94 and 5/33), sodium (3/34 and 3/74) and sulfur (0/66 and 1/09). In fact, lapis lazurite is a blue stone whose chemical composition is variable, and its basic composition is mineral lazurite consisting of aluminum, calcium, and sodium silicates. Lapis lazuli consists of several different minerals, such as sodalite, hauynolith, calcite, pyrite, and lazurite, which are lapis lazuli's main components. Fewer white calcite spots and more yellow pyrite in the lapis lazuli indicate the best quality of the lapis lazuli. In table 3, silicon element (29.87%) and calcium element (12.26%) are the most amounts of compounds in the Shahr-i Sokhta lapis lazuli structures. The identified chemical compositions of the lapis lazuli in Shahr-i Sokhta are a high amount of calcium and a low amount of iron, which indicates the lapis lazuli structure of this site has a high calcium impurity and low pyrite impurity; this issue could be confirmed through petrography studies. Finally, this analysis represents the correct recognition of the composition and type of used stones in manufacturing ornament objects of Shahr-i Sokhta.

The element percentage of obtained spectra is clearly determined, indicating the main composition of lapis lazuli. The elements represent the chemical structure of a lapis lazuli, a lazulite mineral type with a high calcite impurity percentage. In addition, this study examines the three pieces of lapis lazuli samples through Raman spectroscopy; two samples represent almost similar peaks in the range of 546 cm-1 and 1092 cm-1, and only one sample shows a peak in the range of 546 cm-1. The investigations represent that based on the lapis lazuli studies using the Raman, the lapis lazuli in the mentioned ranges shows an almost significant peak. The number of elements and obtained spectra in these two spectra are almost similar.

Acknowledgments

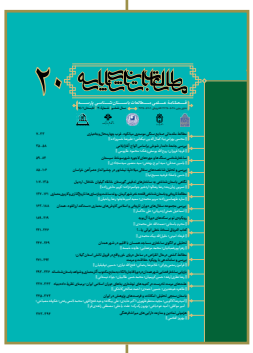
This work has been supported by the "Investigation and study of Shahr-i Sokhta semi-precious stones" project funded by the Research Center for Conservation of Cultural Relics (RCCCR). The authors are thankful to Center for Conservation of Cultural Relics. The authors want to National Museum of Iran, Southeast Regional Museum of Zahedan, and Shahr-i Sokhta World Heritage Site for their supporting.

فصلنامهٔ علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه || شمارهٔ ۲۰ || سال ششم || تابستان ۱۴۰۱ ||
نشانی پایگاه نشریه: http://journal.richt.ir/mbp
P. ISSN: 2645-5048 & E. ISSN: 2645-5706

ساختارشناسی سنگ‌ها و مهره‌های لاجورد شهرسوختهٔ سیستان

یاسین صدقی[I]؛ سید ایرج بهشتی[II]؛ سید منصور سیدسجادی[III]

نوع مقاله: پژوهشی
صص: ۸۴ - ۵۹
تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۱/۳۱
شناسهٔ دیجیتال (DOI): https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.6.20.59



چکیده

یکی از مهم‌ترین آثار به‌دست‌آمده از محوطهٔ باستانی شهرسوختهٔ سیستان، سنگ‌ها و مهره‌های لاجورد مورداستفاده به‌عنوان جواهرات و زیورآلات سنگی است که نحوهٔ ساخت و نوع ساختار سنگ‌های به‌کاررفته در این آثار همواره یکی از مهم‌ترین موضوعات باستان‌شناسی و باستان‌سنجی در این محوطه است. مهره‌های لاجورد شهرسوخته در قالب فرم‌های مختلف عدسی، لوزی، دایره‌ای و غیره ساخته شده‌اند که به‌عنوان جواهرات و زیورآلاتی هم‌چون: دستبند، پابند، گردنبند و غیره مورداستفاده قرار می‌گرفته‌اند. تراش و ساخت این مهره‌ها به‌وسیلهٔ مته‌هایی از جنس فلینت صورت می‌گرفته است. شناخت ساختارشناسی و بررسی کانی‌شناسی مهره‌های لاجورد مکشوف از شهرسوخته موضوع اصلی در این پژوهش است. در همین‌راستا، سعی‌شده است برای شناخت ساختار مهره‌ها و سنگ‌های شهرسوخته با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی-دستگاهی هم‌چون: پتروگرافی مقاطع نازک، میکروآنالیز پراش انرژی پرتوی ایکس، آنالیز رامان و روش‌های گوهرشناسی، به بررسی و مطالعهٔ سه نمونه از مهره‌ها و سنگ‌های لاجورد باستانی شهرسوخته پرداخته شود. نتایج مطالعات آزمایشگاهی نشان می‌دهند که ساختار سنگ‌های لاجورد شهرسوخته از جنس کانی‌های لازوریت با درصد بالای ناخالصی‌های کانی کلسیت است که باعث شده تا از میزان شفافیت و خلوص آن کاسته شود؛ هم‌چنین مطالعات عنصری نیز نشان‌دهندهٔ کانی‌های لازوریت است. مطالعات ساختارشناسی رامان و گوهرشناسی به‌درستی ساختار، میزان ضریب جذب و وزن مخصوص آن را در ساختار اصلی سنگ لاجورد نشان می‌دهد. بررسی‌های شیمیایی و ساختاری، سنگ‌ها را ازلحاظ ترکیب مشابه به‌هم نشان می‌دهند.

کلیدواژگان: سنگ لاجورد، زیورآلات سنگی، آنالیز رامان، پتروگرافی، گوهرشناسی، شهرسوختهٔ سیستان.

I. دانشجوی دکتری مرمت آثار و اشیاء تاریخی-فرهنگی، دانشگاه هنر، تهران، ایران (نویسندهٔ مسئول).
Email: Sedghi.yassin@gmail.com
II. کارشناس‌ارشد زمین‌شناسی، پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی-فرهنگی، پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران.
III. دکتری باستان‌شناسی، سرپرست گروه باستان‌شناسی شهرسوخته و دهانهٔ غلامان، سیستان‌وبلوچستان، ایران.

ارجاع به مقاله: صدقی، یاسین؛ بهشتی، ایرج؛ و سیدسجادی، منصور،(۱۴۰۱). «ساختارشناسی سنگ‌ها و مهره‌های لاجورد شهرسوختهٔ سیستان». مطالعات باستان‌شناسی پارسه، ۶ (۲۰): ۸۴-۵۹ (https://dx.doi.org/10.66224/PJAS.6.20.59).
صفحهٔ اصلی مقاله در سامانهٔ نشریه: http://journal.richt.ir/mbp/article-1-248-fa.html

فصلنامهٔ علمی مطالعات باستان‌شناسی پارسه
نشریهٔ پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری، تهران، ایران

ناشر: پژوهشگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری
حق نشر متعلق به نویسنده(گان) است و نویسنده تحت مجوز Creative Commons Attribution License به مجله اجازه می‌دهد مقالهٔ چاپ شده را در سامانه به اشتراک بگذارد، منوط بر این‌که حقوق مؤلف اثر حفظ و به انتشار اولیه مقاله در این مجله اشاره شود.

مقدمه

شهرسوخته یکی از شاخص‌ترین و کلیدی‌ترین محوطه‌های عصر مفرغ در باستان‌شناسی جنوب‌شرق ایران محسوب می‌شود (تصویر ۱)، (Biscione et al., 1974; Tosi, 1968, 1969, 1973; 1976; Tosi and Piperno, 1975; Savatori & Vidale, 1997; Piperno & Salvatori, 2007) که در کاوش‌های سال‌های مختلف تابه‌امروز تعداد بی‌شماری از سنگ‌ها و جواهرات نیمه‌قیمتی در آن به‌دست آمده است که برخی از آن‌ها به‌صورت مهره‌های سالم در قالب: گردنبند، دستبند، پابند و برخی دیگر به‌صورت تک‌مهره‌های نیمه‌کار شده و هم‌چنین سنگ‌های خام و بلوکه‌های کار نشده هستند (Foglini, 1998). جنس این جواهرات سنگی 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 سبزرنگ و سنگ چرت هستند؛ هم‌چنین در بین مهره‌های موجود تعدادی مهره از جنس طلا، گل پخته‌شدهٔ لعاب‌دار، شیشه و هم‌چنین مهره‌هایی با روکش‌های طلا وجود دارند (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۸). یکی از بیشترین و قابل‌توجه‌ترین آن‌ها که در اثر تجارت از دیگر مناطق به شهرسوخته وارد شده سنگ لاجورد است (سیدسجادی، ۱۳۸۳). سنگ لاجورد در فرم‌ها و قالب‌های گوناگون یکی از مهم‌ترین و بیشترین مواد فرهنگی است که در شهرسوخته یافت شده است (Sajjadi, 2005; 2007). لاجوردهای به‌دست‌آمده از نوع مهره‌های سالم و نیمه‌کارشده و هم‌چنین مواد خام و دورریز بوده‌اند. مطالعات باستان‌شناسی ثابت کرده است که بلوکه‌های خام سنگ لاجورد به شهرسوخته وارد شده و توسط صنعتگران آن به انواع مصنوعات تبدیل می‌شده است (Farzin et al., 2019)؛ از همین‌رو، شناسایی ساختار و نحوهٔ مهره‌سازی لاجوردهای مکشوف از محوطهٔ شهرسوخته می‌تواند یکی از مهم‌ترین موضوعات برای باستان‌شناسان به‌ویژه محققان و پژوهشگران حوزهٔ جنوب‌شرق و به‌خصوص در شهرسوخته باشد. یکی از مطالعات باستان‌سنجی که به بررسی و شناخت ساختاری، نحوهٔ ساخت و پرداخت این زیورآلات و جواهرات سنگی نیمه‌قیمتی می‌پردازد، مطالعات باستان‌گوهرشناسی است که به مطالعه و بررسی کانی‌ها، مواد گوهرها و جواهراتی که در زمان‌ها و مکان‌های خاصی در دنیای باستان به‌عنوان زیورآلات، وسایل تزئینی، مواد جواهرات و غیره کاربرد داشته است، می‌پردازد (Hatipoglu & Guney, 2013; Rapp, 2009; Dominguez-Bella, 2012)؛ از این‌رو، در این پژوهش سعی شده است تا با بهره‌گیری از روش‌های مطالعات باستان‌گوهرشناسی به مطالعه و بررسی مقدماتی جواهرات سنگی لاجورد تولیدشده در شهرسوخته پرداخته شود که در ادامه سعی شده است تا به تشریح و توضیح این موضوع پرداخته شود.

پرسش‌های پژوهش: با توجه به استفادهٔ فراوان و کاربرد گسترده از سنگ لاجورد در تهیهٔ محصولات زینتی و جواهرات سنگی در محوطهٔ شهرسوخته سیستان، ارزیابی و شناخت نوع ساختار و ترکیب و نحوهٔ استفاده از آن‌ها در عصر مفرغ در مطالعات باستان‌شناسی این منطقه بسیار ضروری است؛ از این‌رو، در این پژوهش سعی‌شده است تا به برخی از پرسش‌های باستان‌شناسی پاسخ داده شود، که ازجمله مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به این پرسش‌ها اشاره نمود؛ ۱- ساختار و ترکیب شیمیایی لاجوردهای موجود در محوطهٔ شهرسوخته سیستان چیست؟ ۲- آیا لاجوردهای موردمطالعه براساس ترکیب شیمیایی و ساختار دارای ترکیبات کانی‌شناسی مشابهی هستند یا خیر؟

روش پژوهش: روش تحقیق در پژوهش حاضر به‌روش تحلیلی-تجربی و برمبنای مطالعات و بررسی‌های آزمایشگاهی و گوهرشناسی و نیز میدانی است. در بخش میدانی نویسندگان با حضور در محوطهٔ شهرسوخته اقدام به نمونه‌برداری سطحی از بخش صنعتی محوطه و سپس مراحل ثبت‌وضبط و مستندنگاری آن‌ها انجام شده است. دلیل انتخاب این نمونه‌ها به‌دلیل عدم اجازه خروج آثار کاوش و ثبت‌شده در موزهٔ منطقه‌ای جنوب‌شرق و انتقال آن‌ها به آزمایشگاه‌های مختلف



تصویر ۱. محوطهٔ شهرسوختهٔ سیستان (تصاویر ویرایش‌شده از نگارندگان، ۱۳۹۸؛ اسناد موزهٔ منطقه‌ای جنوب‌شرق).

Fig. 1. Shahr-i Sokhta Site, Edited by Authors, 2019; Documents of the South Eastern Regional Museum of Iran, Zahedan).

در دیگر شهرها بوده است. در بخش مطالعات آزمایشگاهی از روش‌های دستگاهی و نیز از روش‌های گوهرشناسی استفاده شده است. نتایج به‌دست‌آمده شامل مجموعه‌ای از اطلاعات کمّی و کیفی بوده است که برای تکمیل و تحلیل نتایج به‌دست‌آمده از مطالعات کتابخانه‌ای و توصیفی در شرح نتایج استفاده شده است.

پیشینهٔ پژوهش

تاکنون بررسی‌ها و مطالعات گوناگونی برروی سنگ‌های لاجورد و تجارت آن در شرق فلات ایران انجام شده است؛ از جملهٔ مهم‌ترین پژوهش‌های صورت‌گرفته، نوشتهٔ «سیدمنصور سیدسجادی» برروی نحوهٔ تولید و ساخت مهره‌های سنگی لاجورد در شهرسوخته است، که نویسنده در آن به بررسی و مطالعهٔ باستان‌شناسی، نحوهٔ فراوری و تولید آن‌ها پرداخته است (سیدسجادی، ۱۳۸۲)؛ هم‌چنین نویسندگان مختلفی هم‌چون: «یوسف مجیدزاده» (۱۳۶۶ و ۱۹۸۲)، «فیروز منصوری» (۱۳۷۲)، «حمیدرضا ولی‌پور» (۱۳۸۴)، «سیدمنصور سیدسجادی» (۱۳۸۷)، «غلام شیرزاده» و همکارانش (۱۳۹۱)، «شراره فرخ‌نیا» (۱۳۹۶)، «رحمت عباس‌نژاد» و «مهسا شرامه» (۱۳۹۶)، «کازانووا» (۱۹۸۹) و «سامان فرزین» و همکارانش (۲۰۱۹) به بررسی تجارت سنگ لاجورد در مناطق شرقی و جنوب‌شرقی ایران پرداخته‌اند؛ هم‌چنین از دیگر پژوهش‌های مهم در این رابطه می‌توان از مقالات «توزی»، «ویزگربر» و «هرمان» نام‌برد (Hermann, 1968; Tosi, 1974; Weisgerber, 2004). همین‌طور «ماسیمو ویداله» و «آلساندرا لازاری» به بررسی کامل مهره‌های مکشوف از شهرسوخته پرداخته‌اند که نتایج آن در قالب یک کتاب به زبان انگلیسی نشر شده است (Vidale & Lazzari, 2017). از دیگر پژوهش‌های صورت‌گرفته برروی ساختار و فن‌شناسی

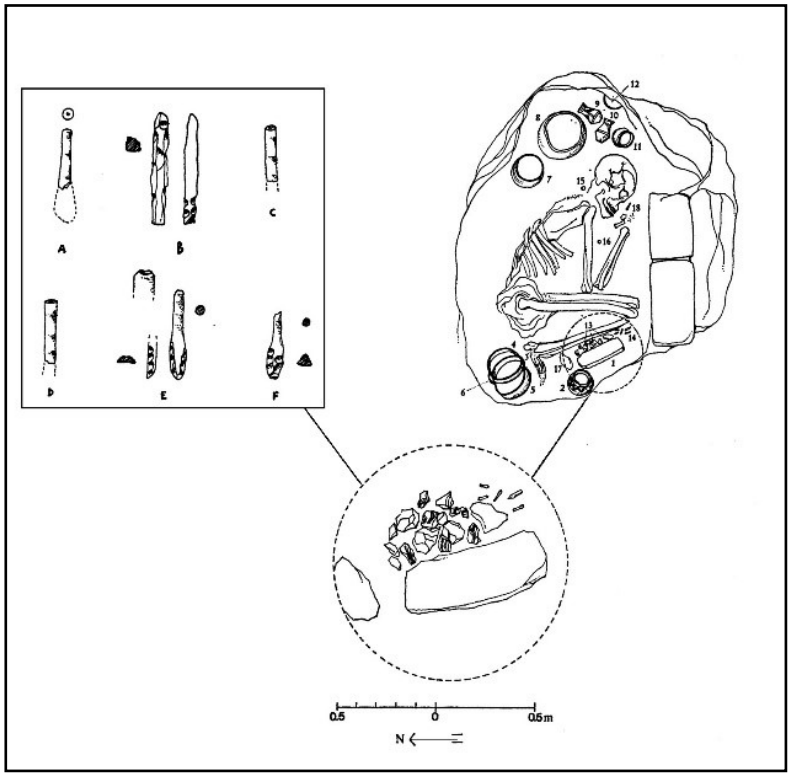
سنگ‌های شهرسوخته می‌توان بررسی «بهشتی» و همکارانش را ذکر نمود که در کتاب مجموعه مقالات شهرسوختهٔ ۲ منتشر شده است (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۸). در زمینهٔ مطالعات لاجورد و بررسی‌های علمی آن می‌توان از مقالات «هرمان» و «موری» (۱۳۸۵) درمورد باستان‌شناسی لاجورد (هرمان و موری، ۱۳۸۵)، «داداش‌زاده» و همکارانش تحت‌عنوان «بررسی ساختاری و هویت‌بخشی مجموعه‌ای از اشیاء منسوب به خمیر لاجورد» (داداش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵) و نیز مقالهٔ «رؤیا بهادری» و «آقاعلی‌گل» با عنوان «مطالعات آزمایشگاهی تعدادی از مهره‌های آبی و سبز به‌کاررفته در زیورآلات پیش‌ازتاریخ موزهٔ ملی ایران» (بهادری و آقاعلی‌گل، ۱۳۹۷) نام‌برد؛ ازطرفی دیگر، در خارج از ایران مطالعات گسترده و زیادی برروی انواع آثار لاجورد انجام شده است که برای جلوگیری از تکرار و زیاده‌گویی، برخی از مهم‌ترین‌های آن‌ها در یک جدول فهرست و قرار داده شده‌اند که در پیوست ارائه شده است (ر. ک. به: پیوست ۱).

سنگ لاجورد در شهرسوخته

بیشتر اشیاء زینتی مکشوف از شهرسوخته با انواع سنگ‌های نیمه‌قیمتی هم‌چون لاجورد، عقیق، فیروزه و غیره (نام تمام آن‌ها در مقدمه ذکر شد) که از معادن دوردست به این شهر وارد می‌شده، ساخته شده‌اند (سیدسجادی، ۱۳۸۲: ۹). لاجوردهای به‌دست‌آمده از شهرسوخته فرم‌ها و شکل‌های گوناگونی دارند که فرم‌های مهره‌های تراشیده و ساخته‌شده در شهرسوخته، توسط صنعتگران، فرم‌هایی هم‌چون: حلقوی، استوانه‌ای، مخروطی، تخم‌مرغی، کروی، عدسی‌شکل و غیره دارند (بهشتی و همکاران، ۱۳۹۸). مصنوعات ساخته‌شده در ابعاد و اندازه‌های مختلف است که تاکنون مهره‌های بسیار کوچکی به‌قطر یک میلی‌متر نیز از این محوطه شناسایی شده است (سیدسجادی، ۱۳۹۸) که نشان‌دهندهٔ مهارت بسیار بالای صنعتگران و سازندگان در ساخت این مصنوعات در شهرسوخته است. ازطرفی در طی کاوش‌های باستان‌شناسی در گورستانِ محوطه، ابزارهای کار و سنگ‌های نیمه‌کارشده یک فرد صنعتگر در گور آن شناسایی گردید که این موضوع نشان‌دهندهٔ ساخت این مهره‌ها توسط سازندگان محلی در شهرسوخته است (Piperno, 1976). حجم مواد به‌دست‌آمده از جنس لاجورد در شهرسوخته بسیار زیاد است؛ به‌طوری‌که در یک بررسی پژوهشی صورت‌گرفته که توسط نگارندگان این سطور برروی بخش کوچکی از این داده‌ها صورت گرفته، مقدار قابل‌توجهی مهره در فرم‌های فوق‌الذکر شناسایی شده است (صدقی و همکاران، ۱۳۹۶).

در رابطه با ساخت محصولات لاجوردی باید اشاره نمود که قطعات و بلوک‌های سنگ خام لاجورد پس از استخراج نخست به قطعه‌های کوچک‌تری که به‌آسانی قابل حمل‌ونقل بوده‌اند خُرد و تقسیم شده و در همان مرحله مقداری سایش داده می‌شده‌اند و سطوح سنگ‌ها را از لایه‌های آهکی و کریستالی که روی آن‌ها را می‌پوشانیده پاک می‌کرده‌اند. در مرحلهٔ بعدی متناسب با شکل شئ دلخواه، سنگ آمادهٔ تراش و کار می‌شده و با یک مته از جنس فلینت، شیاری اولیه با عمق کمی، بیشتر از یک میلی‌متر برای برش در سطح آن ایجاد می‌شده و سپس آن را به قطعات کوچک‌تری تقسیم می‌کرده‌اند. این قطعات سپس با سایش و اره کردن به قطعات کوچک‌تری تقسیم می‌شده‌اند تا اندازهٔ دلخواه برای ساختن شئ موردنظر به‌دست آید. پس از تهیهٔ هستهٔ اصلی شئ، ابتدا گوشه‌های بلوک کوچک سنگی را با همان روش بریده و زاویه‌های به‌وجودآمده را ساب می‌دادند تا این‌که سطوح بیرونی بلوک کوچک به فرم دلخواه نزدیک می‌شده است. در این مرحله و پیش از صیقل نهایی، کار سوراخ کردن که ظریف‌ترین و سخت‌ترین قسمت کار بوده، آغاز می‌شده است. مرحلهٔ ایجاد سوراخ و حفره حساس‌ترین مرحلهٔ کار مهره‌سازی بوده است و در برخی مواقع صنعتگر به‌دلایل گوناگون موفق به انجام این کار نمی‌شده و کار را به‌صورت نیمه‌تمام

رها می‌کرده و یا مهرهٔ شکسته و ناقص را دور می‌انداخته است. آثار این‌گونه کارهای نیمه‌تمام و یا شکسته و ازبین‌رفته در شهرسوخته بسیار دیده می‌شود (سیدسجادی، ۱۳۸۲).



تصویر ۲. تصویر قبر یک فرد صنعتگر مهره‌ساز در شهرسوخته (Piperno, 1976).

Fig. 2. the image of the burial of a bead maker in Shahr-i Sokhta (Piperno, 1976)



تصویر ۳. گونه‌های مختلف از مهره‌های لاجورد در شهرسوخته (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 3. Different types of Lapis Lazuli beads in Shahr-i Sokhta (Authors, 2019)

ساختار سنگ لاجورد

سنگ لاجورد ترکیبی از چندین کانی مختلف به‌خصوص هائوئین است. این سنگ زیبایی‌اش را مدیون رنگ آبی کانی‌های سودالیت، نوزآن و لازوریت است که ترکیبی مشابه هائوئین و سودالیت دارد (Webster, 1983; Vidale et al., 2017). لازوریت حاوی فلزهای انتقالی به‌مقدار کافی برای تولید رنگ آبی تیره نیست. رنگ آبی سیر لاجورد و لازوریت به‌وجود سولفور مربوط است. آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهند هرچه درصد سولفور در کانی بیشتر باشد، رنگ آبی آن تندتر است. درنتیجه هرچه رنگ آبی سنگ تیره‌تر شود ارزش سنگ بیشتر است. ۲۵ تا ۴۰٪ ترکیب کانی‌شناسی لاجورد، لازوریت است (داداش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵). محتوای لازوریت مستقیماً بر کیفیت لاجورد تأثیر می‌گذارد. بیش از ۴۰٪ بسیار تیره، کمتر از ۲۵٪ خیلی کم‌رنگ درنظر گرفته می‌شود؛ به‌علاوه کلسیت همیشه در ساختار آن وجود دارد. کلسیت با سه کانی مختلف آغشته و کاملاً رنگی می‌شود، همهٔ آن‌ها سیلیکات‌های قلیایی و آلومینیوم هستند. نقطه‌های درخشان موجود در زمینهٔ سنگ مربوط به وجود کانی پیریت در سنگ است و به‌عنوان نشانه‌ای مبنی‌بر اصل بودن سنگ دارد. ازنظر کانی‌شناسی، کریستال‌های لاجورد محلول جامدی از اجزاء مختلف گروه فلدسپات هستند که با پیریت، فورستریت، فلوکوپیت، دیوپسید و کلسیت پخش می‌شوند. بهترین لاجورد باکیفیت دارای رنگ آبی سیر خالص بدون لکه است و ناخالصی‌های آن می‌تواند شامل پیریت آهن، کلسیت و لکه‌های سیاه باشد. شناسایی لاجورد در زیر میکروسکوپ کار آسانی است (Giudice et al., 2017; Re, 2011). ذرات کاملاً آبی و نیمه‌شفاف این ماده دارای شکستگی‌های صدفی‌شکل است (Gettens & Stout, 1966: 163). لاجورد به‌خوبی صیقل می‌پذیرد و جزو سنگ‌های دگرگونی محسوب می‌شود. این سنگ نسبت به حرارت، فشار، محلول‌های گرم یا اسیدها و محلول‌های قلیایی بسیار حساس است. ناخالصی پیریت باعث جلوهٔ بیشتر آن می‌شود و دلیلی بر اصالت سنگ مورد استفاده است؛ و هم‌چنین مقدار زیاد پیریت باعث جلوهٔ مات آن خواهد شد (داداش‌زاده و همکاران، ۱۳۹۵؛ ادیب، ۱۳۹۲: ۲۵۷).

مواد و راهبردهای آزمایشگاهی پژوهش

نمونه‌های موردمطالعه

نمونه‌های انتخابی در این پژوهش، سه نمونه از لاجوردهای موجود از بررسی‌های شهرسوخته است؛ یک نمونه، سنگ خام و برش‌خوردهٔ کوچکی است که به‌عنوان زائده دور ریخته شده است (SH-L1). یک نمونه قطعه‌ای از یک شئ مستطیلی‌شکل با شیارهایی در عرض آن است؛ این شئ تزئینی در زمان استفاده شکسته شده است (SH-L2) و نیز یک عدد مهرهٔ بسیار ریز دیگر نمونهٔ موردمطالعه است (SH-L3). تصویر ۴، نشان‌دهندهٔ تصاویر نمونه‌های لاجورد موردمطالعه در این پژوهش است که مشخصات آن‌ها در جدول ۲ ارائه گردیده است (تصویر ۴، جدول ۲).



تصویر ۴. تصاویر نمونه‌های لاجورد موردمطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 4. Investigated laspis lazuli Samples (Authors, 2019)

جدول ۲. مشخصات نمونه‌های لاجورد موردمطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 2. Description of Investigated laspis lazuli Samples (Authors, 2019).

نمونه	نوع	اندازه (mm)	جنس	تزئین	آسیب	کانتکست	محوطه
SH-L1	سنگ خام	۱۱	لاجورد	ندارد	ندارد	سطحی	شهرسوخته
SH-L2	شئ تزئینی	۱۵	لاجورد	دارد	دارد	سطحی	شهرسوخته
SH-L3	مهره	۲	لاجورد	ندارد	دارد	سطحی	شهرسوخته

روش‌های آزمایشگاهی

به‌جهت بررسی و مطالعهٔ ساختارشناسی نمونه‌های لاجورد موردمطالعه از روش‌های پتروگرافی مقاطع نازک، آنالیز پراش انرژی پرتو ایکس، طیف‌سنجی رامان و روش‌های گوهرشناسی استفاده شده است.

برای بررسی نمونه‌ها در زیر میکروسکوپ پلاریزان از روش پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکپی (OPM) استفاده گردید. مدل دستگاه مورداستفاده JamesSwift ساخت کشور انگلستان است. این آزمایش در آزمایشگاه پتروگرافی و کانی‌شناسی پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی صورت گرفته است.

برای شناسایی ترکیب شیمیایی نمونه‌ها از روش میکروآنالیز عنصری EDX استفاده گردید. این آزمایش در مرکز پژوهش‌های متالورژی رازی با دستگاه EDX کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی (FESEM) ساخت شرکت Teskan مدل MIRA3TESCAN-XMU انجام شده است.

از آزمایش طیف‌سنجی رامان (Raman Spectroscopy) به‌جهت بررسی ساختاری نمونه‌ها با دستگاه مدل (Takram) P50C0R10 – کمپانی شرکت Teskan در آزمایشگاه رامان، در مرکز گوهرشناسی دانشگاه شهیدبهشتی انجام شده است. این دستگاه دارای طول موج لیزر ۵۳۲nm (Nd:YAG Laser) است؛ هم‌چنین بازهٔ رامان شیفت 4600-100 RS است.

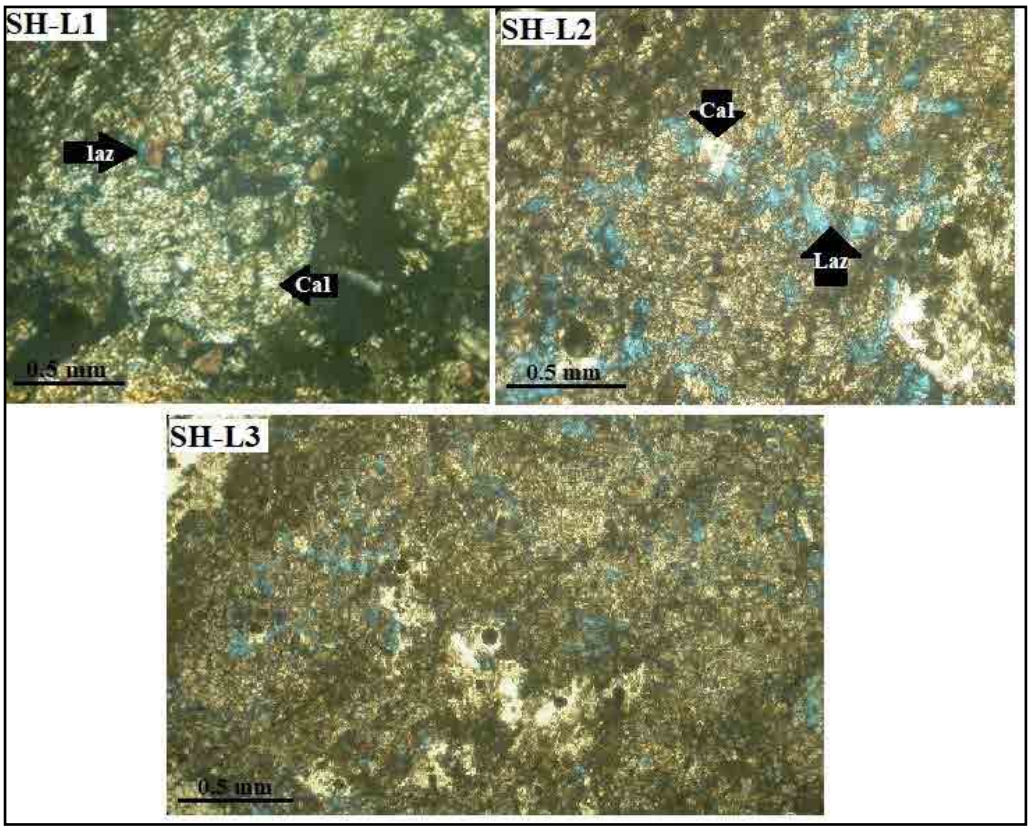
هم‌چنین برای شناسایی نمونه‌ها از روش‌های گوهرشناسی (Gemmological investigation methods) هم‌چون تعیین وزن مخصوص و ضریب شکست استفاده گردید که این بررسی‌ها نیز در آزمایشگاه پتروگرافی و کانی‌شناسی پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار تاریخی و فرهنگی صورت گرفته است.

نتایج داده‌ها

آنالیز پتروگرافی

در روش پتروگرافی، لایهٔ نازکی به ضخامت ۳۰ میکرون از نمونه‌های مورد نظر تهیه و سپس با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نوری-عبوری مطالعه شده است. روش پتروگرافی مقاطع نازک، یک روش پایه و اساسی در علم کانی‌شناسی و نیز زمین‌شناسی است که برمبنای خصوصیات کانی‌شناسی و نوری اجزاء سازندهٔ هر نمونه بنا نهاده شده است (امان‌اللهی، ۱۳۸۸). در این روش با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان نوری-عبوری کانی‌های اصلی، فرعی و ثانویهٔ موجود در نمونه‌های موردمطالعهٔ شناسایی، بافت نمونه در زیر میکروسکوپ مشخص و سپس نام سنگ براساس استانداردهای جهانی تعیین می‌گردد (Williams et al., 1982). لازم به توضیح است که این روش، یک روش مخرب است و نباید درمورد همهٔ نمونه‌های باستانی کاربرد داشته باشد. از این روش برای نمونه‌های موردنظر استفاده گردید و از سنگ‌های لاجورد موردمطالعه به‌روش فوق نمونهٔ میکروسکوپی تهیه شد.

در تصویر ۵، تصاویر میکروسکوپی (پتروگرافی) از نمونه‌های لاجورد در نورهای میکروسکوپی پلاریزه (PPL) و متقاطع (XPL) نشان داده شده است؛ براساس مطالعات پتروگرافی صورت‌گرفته در زیر میکروسکوپ پلاریزان برای نمونه‌های لاجورد موردبحث، کانی‌های آبی رنگ لازوریت[۱] همراه با کانی سفید کلسیت دیده می‌شود.

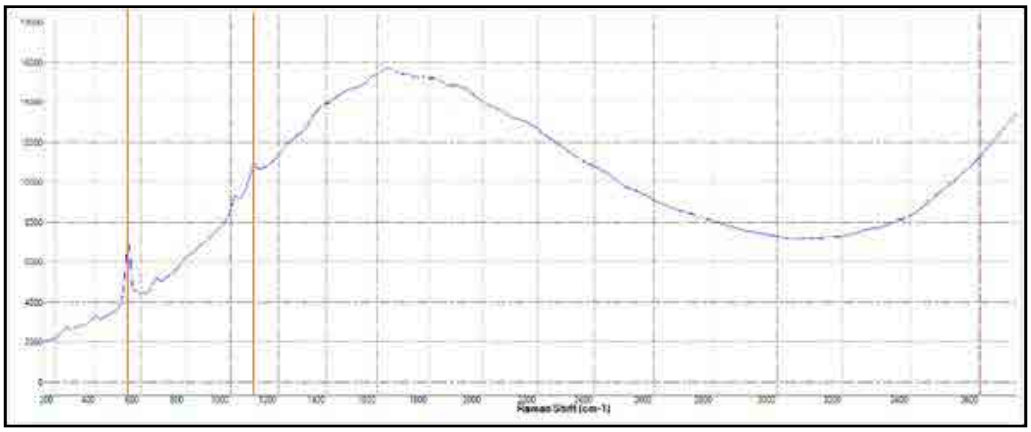


تصویر ۵. تصویر میکروسکوپی از نمونه‌های لاجورد، نور PPL و XPL با بزرگنمایی 4X (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Fig. 5. Photomicrographs of lapis lazuli samples, PPL and XPL mode, 4X (Authors, 2019)

آنالیز طیف‌سنجی رامان

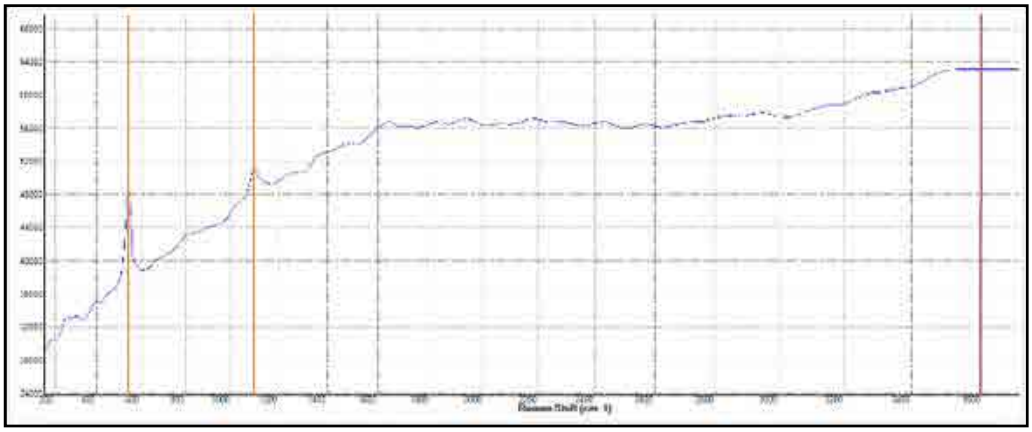
آنالیز طیف‌سنجی رامان ازجمله روش‌های طیف‌سنجی نوسانی است که در گروه روش‌های مطالعاتی غیرمخرب دسته‌بندی می‌شود، و به‌طور گسترده جهت مطالعات سنگ‌های قیمتی به‌کار رفته است (استوارت، ۱۳۹۳: ۲۰۷). گاهی اوقات تشخیص و شناسایی یک نمونهٔ سنگ قیمتی مجهول با استفاده از خصوصیات فیزیکی آن سنگ، هم‌چون ضریب شکست، چگالی یا سایر ویژگی‌های اپتیکی کمی سخت است[۲] (Henry et al., 1997; Bersani & Lottici, 2016). آنالیز به‌روش طیف‌سنجی رامان یکی از بهترین روش‌ها برای شناسایی ساختار و ترکیب نمونه‌های باستانی، به‌ویژه سنگ است؛ به‌همین دلیل از این روش برای شناسایی ساختار نمونه‌های موردمطالعه استفاده گردید. تصاویر ۶، ۷ و ۸ نشان‌دهندهٔ طیف‌های نمونه‌های موردمطالعه است.

شدت و میزان پرتوهای رامان پراکنده‌شده از سطح هر نمونه، تابعی است از مکان و آرایش سه‌بعدی اتم‌های تشکیل‌دهندهٔ آن در فضا نسبت به دیگر اجزاء سازنده؛ با این توصیف می‌توان سیگنال رامان دریافتی از سطح نمونه را به‌عنوان یک شناسهٔ اثر انگشت معرفی کرد که می‌تواند در شناسایی مواد نقش مهمی را ایفا کند و هم‌چنین قابلیت مقایسه با دیگر سیگنال‌های مشابه را نیز



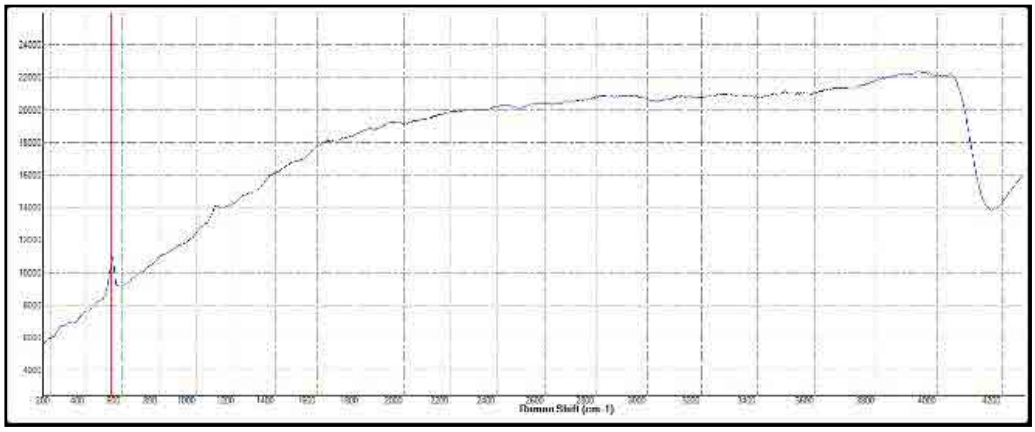
تصویر ۶. طیف رامان گرفته‌شده از نمونهٔ SH-L1 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 6. Raman Spectrum of SH-L1 sample (Authors, 2019)



تصویر ۷. طیف رامان گرفته‌شده از نمونهٔ SH-L2 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

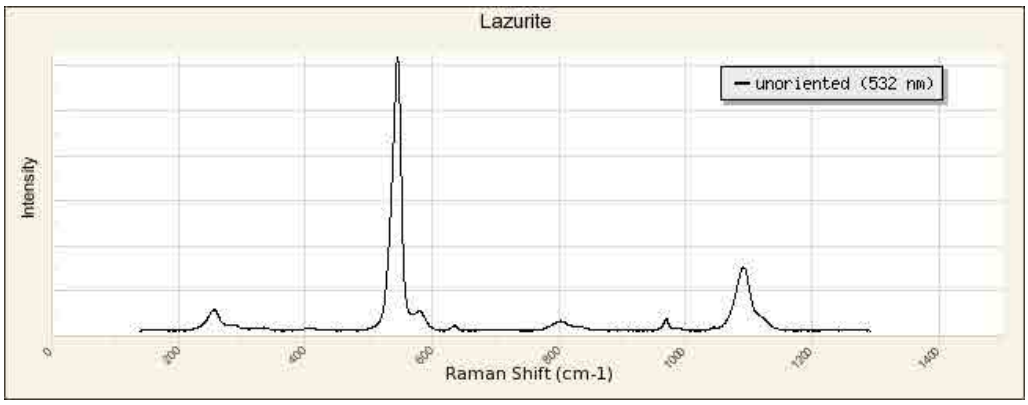
Fig. 7. Raman Spectrum of SH-L2 sample (Authors, 2019)



تصویر ۸. طیف رامان گرفته‌شده از نمونهٔ SH-L3 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 8. Raman Spectrum of SH-L3 sample (Authors, 2019)

داشته باشد؛ درحال‌حاضر پایگاه‌های داده وسیع و گوناگونی از طیف رامان به‌دست‌آمده از کانی‌ها و رنگ‌دانه‌های مختلف در دست است که می‌توان با استفاده از آن‌ها با اطمینان بالایی ماهیت طیف رامان به‌دست‌آمده از سطح ماده را شناسایی کرد (Demtröder, 2008; kook, 2009)؛ تطبیق طیف‌های به‌دست‌آمده از این نمودار با طیف مرجع در سایت http://www.rruff.org انجام شد که در تصویر ۹، نشان داده شده است. این مقایسه (Lazurit) را نشان می‌دهد که در ساختار سنگ موجود Na3Ca O12S (Si3Al3) وجود دارد. در محدودهٔ ۵۴۶ cm^ (-1) و 1092 cm^ (-1) و 254 cm^ (-1) طیف رامان وجود دارد که شدت طیف در محدودهٔ 546 cm^ (-1) بالا است و طیف اصلی حساب می‌شود.



تصویر ۹. طیف مربوط به لازوریت (لاجورد) در سایت مرجع RRUFF (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Fig. 9. Raman Spectrum of lapis lazuli, from RRUFF Website (Authors, 2019)

جدول ۳. محدودهٔ پیک‌های آنالیز رامان از نمونه‌های لاجورد شهرسوخته (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Table 3. identified main peaks with Raman Spectroscopy from Lapis Lazuli samples (Authors, 2019)

No.	Samples	cm^{-1}
SH-L1	Lapis lazuli	546-1092
SH-L2	Lapis lazuli	546-1092
SH-L3	Lapis lazuli	546

آنالیزهای گوهرشناسی

تا اواخر قرن ۱۹ م. 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 شد. این ابزارها براساس خصوصیات فیزیکی و مخصوصاً ویژگی‌های نوری کانی‌ها طراحی شد. دستگاه‌هایی مانند: میکروسکوپ، اسپکتروسکوپ، پلاریوسکوپ، دایکروسکوپ و رفراکتومتر به‌راحتی کمک می‌کنند که گوهرهای طبیعی را از مصنوعی شناخته شوند (حاج‌علیلو، ۱۳۸۶). استفاده از دستگاه‌های گوهرشناسی، برمبنای روش‌های غیرمخرب بنا شده است. در این بخش سعی‌شده است تا با دو روش رفراکتومتر و تعیین وزن مخصوص به ویژگی‌های کانی‌شناختی این لاجوردها پرداخته شود.

رفراکتومتر[۳]

در نمونه‌های مطالعاتی شهرسوخته، سه نمونه لاجورد جهت مطالعه انتخاب شدند؛ برای مطالعه، ابتدا یک قطره از مایع مخصوص (REFRACTOMETER LIQUID-Nd 1.81) در محل قرارگیری نمونه‌ها ریخته می‌شود، سپس گوهرها از قسمت مسطح برروی روغن قرار داده می‌شود. با روشن کردن لامپ دستگاه و بستن درپوش دفراکتومتر، می‌توان از محل قرائت ضریب شکست، اندازهٔ ضریب شکست[۴] هر نمونه را به‌دست آورد (Hatipoglu & Guney, 2013). نتایج محاسبهٔ ضریب شکست نمونه‌ها در جدول زیر آمده است (جدول ۴). با اندازه‌گیری ضریب شکست نمونه‌ها و مقایسهٔ اعداد به‌دست‌آمده با جدول استاندارد ضریب شکست گوهرها (GIA- GEM PROPERTY CHART) نوع نمونهٔ موردنظر شناسایی می‌شود. در جدول ۴، ضریب شکست ۱٫۵۰ مربوط به سنگ لاجورد یا لاپیس‌لازولی است.

جدول ۴. ضریب شکست (R.I.) محاسبه‌شده برای نمونه‌های لاجورد (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Table 4. Refractive Index (R.I.) of Lapis Lazuli Samples (Authors, 2019)

Sample	R.I.
SH-L1	1.50
SH-L2	1.50
SH-L2	1.50

تعیین وزن مخصوص[۵]

وزن واحد حجم هر کانی یا گوهر را وزن مخصوص یا چگالی آن می‌نامند[۶]. وزن مخصوص گوهرها به دو عامل نوع اتم‌های شرکت‌کننده در ساختمان و نحوهٔ فشردگی و تراکم اتم‌ها در شبکهٔ بلوری بستگی دارد. در شرایطی که تراکم اتم‌ها در شبکهٔ 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 آن‌هاست. 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: ۳۴-۴۰)، (جدول ۵).

وزن مخصوص=وزن گوهر در هوا / (وزن گوهر در هوا - وزن گوهر در آب).

جدول ۴. ضریب شکست (R.I.) محاسبه‌شده برای نمونه‌های لاجورد (نگارندگان، ۱۳۹۸).
Table 4. Refractive Index (R.I.) of Lapis Lazuli Samples (Authors, 2019)

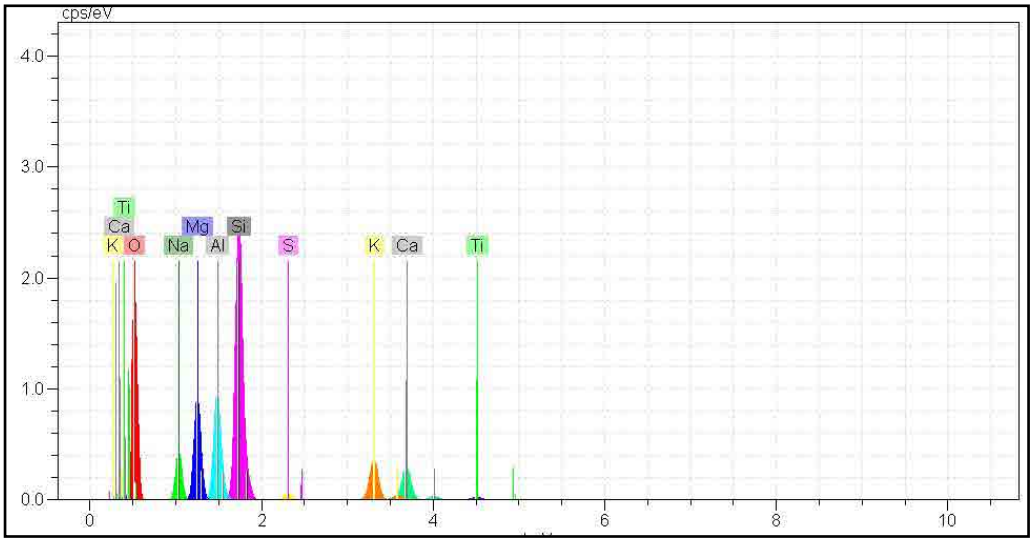
Samples	S.G.
SH-L1	3.3 - 2.1
SH-L2	3.3 - 2.1
SH-L2	3.3 - 2.1

میکروآنالیز پراش انرژی پرتو ایکس (EDX)

یکی از مهم‌ترین و رایج‌ترین روش‌های شناخت عنصری نمونه‌های باستانی، بررسی به‌شیوهٔ میکروآنالیز پراش انرژی پرتوی ایکس (EDX) است؛ به‌همین‌جهت برای شناخت شیمیایی و

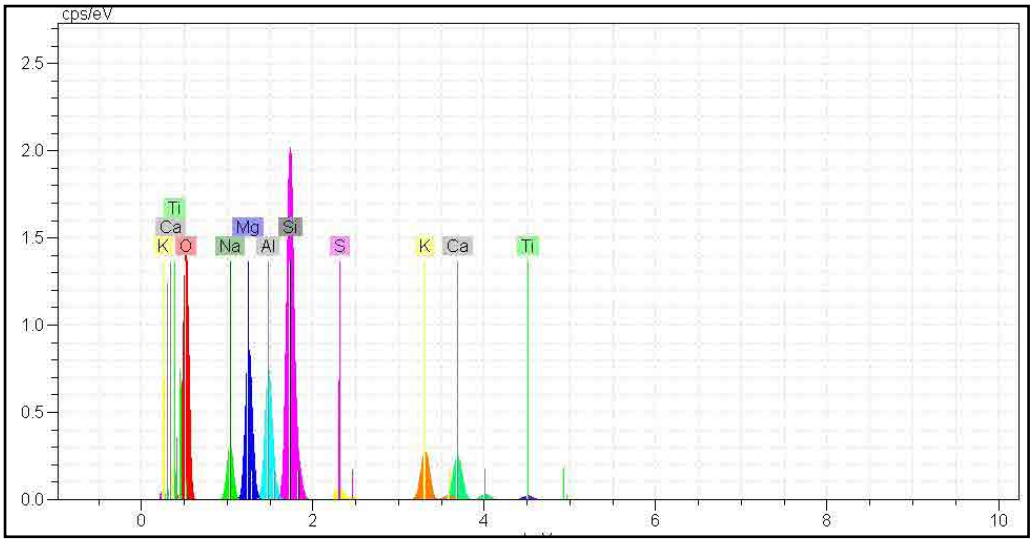
عنصری نمونه‌های موردنظر از دو نمونهٔ SH-L2 و SH-L3 آنالیز پراش انرژی پرتوی ایکس تهیه شده است (تصاویر ۹ و ۱۰).

طیف‌های به‌دست‌آمده در فرمول این سنگ‌ها، میزان عنصرهای سیلیس (۱۹/۱۱ و ۱۹/۶۱)، آلومینیوم (۷/۲۱ و ۷/۱۴)، منیزیم (۶/۷۳ و ۷/۹۸) کلسیم (۴/۹۴ و ۴/۹۸) و سدیم (۳/۴۶ و ۳/۱۳) با بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد (جدول ۶).



تصویر ۱۰. طیف EDX از نمونهٔ SH-L2 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 10. EDX Spectrum of SH-L2 sample (Authors, 2019)



تصویر ۱۱. طیف EDX از نمونهٔ SH-L3 (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Fig. 11. EDX Spectrum of SH-L3 sample (Authors, 2019).

جدول ۶. نتایج عنصری آنالیز EDX از دو نمونه سنگ لاجورد [wt.-%] (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Table 6. EDX compositional analysis of 2 samples [wt.-%] (Authors, 2019)

Element	Oxygen	Sodium	Magnesium	Aluminium	Silicon	Sulfur	Potassium	Calcium	Titanium	Total
SH-L2	49.30	3.74	7.28	7.80	20.67	0.66	5.09	4.94	0.51	92.5 %
SH-L3	47.59	3.34	8.52	7.63	20.95	1.09	4.90	5.33	0.65	93.6 %

بحث و تحلیل

در بررسی‌های میکروسکوپی به‌روش پتروگرافی مقطع نازک، ساختار لاجوردهای موردمطالعه را از نوع کانی‌های لازوریت به‌همراه کانی‌های کلسیت نشان‌داد. کانی‌های لازوریت به‌وضوح در تصاویر میکروسکپی به‌رنگ آبی مشاهده می‌شوند. ازطرفی کانی‌های کلسیت درمیان بافت سنگ به‌رنگ سفید دیده می‌شوند؛ ازطرفی در موارد بسیار نادری کانی‌های پیریت در بافت سنگ‌های موردمطالعه مشاهده می‌شود. شناسایی کلسیت به‌مقدار قابل‌توجه و نیز پیریت به‌مقدار بسیار ناچیز در بافت لاجوردها میزان ناخالصی موجود در این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. ازطرفی آنالیز عنصری گرفته‌شده در فرمول این لاجوردها، میزان عنصرهای سیلیس (۲۰/۹۵ و ۲۰/۶۷)، آلومینیوم (۷/۸۰ و ۷/۶۳)، منیزیم (۷/۲۸ و ۸/۵۲) کلسیم (۴/۹۴ و ۵/۳۳) و سدیم (۳/۳۴ و ۳/۷۴) و سولفور (۰/۶۶ و ۱/۰۹) با بیشترین فراوانی را نشان می‌دهد. لاجورد، سنگی آبی‌رنگ است که ترکیب شیمیایی آن متغیر بوده، اما ترکیب پایهٔ آن 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 و لازوریت است که جزو اصلی آن محسوب می‌شود. سنگ لاجوردی که همراه با لکه‌های سفیدرنگ کمتر کلسیت و زردرنگ بیشتر پیریت باشد، دارای بهترین کیفیت است (Cally, 2009: 69). در جدول ۳، عنصر سیلیس با (۲۹/۸۷٪) و عنصر کلسیم با (۱۲/۲۶٪) بیشترین ترکیبات موجود در ساختار سنگ‌های لاجورد شهرسوخته را نشان می‌دهند. ترکیبات شیمیایی شناسایی‌شده نشان می‌دهد که میزان کلسیم بالا، ولی درمقابل میزان آهن بسیار پایین است که این موضوع نشان می‌دهد که در ساختار سنگ‌های لاجورد این محوطه، میزان ناخالصی‌های کلسیت بالا و حضور ناخالصی پیریت بسیار پایین است (باقرزاده‌کثیری، ۱۳۹۴). این موضوع را هم می‌توان در مطالعات پتروگرافی به‌درستی تأیید نمود. درنهایت باید گفت که این آنالیز نیز نشان‌دهندهٔ شناخت درست از ترکیب و نوع سنگ‌های مورداستفاده در ساخت اشیاء زینتی موجود در شهرسوخته است. در طیف‌های به‌دست‌آمده درصد عناصر کاملاً مشخص است که نشان‌دهندهٔ ترکیب اصلی لاجورد است. عناصر موجود در طیف‌های حاصل به‌خوبی بیان‌گر ساختار شیمیایی یک لاجورد از نوع کانی‌های لازویت با درصد بالای ناخالصی کلسیت است (Favaro et al., 2011)؛ هم‌چنین در ادامه به‌جهت بررسی با طیف‌سنجی رامان، هر سه قطعه از نمونه‌های لاجورد مورد آزمایش قرار گرفت. در این آزمایش، دو نمونهٔ لاجورد تقریباً پیک‌های مشابهی در محدودهٔ ۵۴۶ cm-۱ و ۱۰۹۲ cm-۱ نشان‌دادند؛ ازطرفی تنها یک نمونه پیک در محدودهٔ ۵۴۶ cm-۱ را نشان داده است. بررسی‌ها نشان‌داد که در مطالعات سنگ لاجورد به‌وسیلهٔ رامان سنگ لاجورد در محدوده‌های فوق، پیک تقریباً قابل‌توجهی را از خود نشان می‌دهد؛ میزان عناصر موجود و طیف‌های به‌دست‌آمده در این دو طیف تقریباً یکسان و مشترک است.

نتیجه‌گیری

لاجورد یکی از مهم‌ترین محصولاتی است که از شهرسوختهٔ سیستان به بین‌النهرین و سرزمین‌های غربی و شرقی صادر می‌شده است. از گورستان، سطح محوطه و در بخش موسوم به «منطقهٔ صنعتی» این شهر مقدار بسیار قابل‌توجهی از ضایعات سنگ لاجورد به‌شکل تراشه، مهره‌های نیمه‌تمام و ابزارهای کار شکسته و ناقص و هم‌چنین آثار و بقایای کارگاه‌های بسیاری در ارتباط با تولید محصولات ساخته‌شده از سنگ لاجورد دیده شده است که از این بین در این پژوهش تعداد سه نمونه انتخاب و مورد آزمایش‌های مقدماتی قرار گرفتند. آثار مادی به‌دست‌آمده از این شهر نشان‌دهندهٔ پیشرفت‌های حیرت‌انگیزی در هزارهٔ سوم پیش‌ازمیلاد است. مهره‌های به‌دست‌آمده همان‌طورکه ذکر شد، در طرح‌ها و فرم‌های مختلفی هم‌چون مهره‌های گردنبند، پابند، دستبند و

زیورآلات دیگر ساخته شده‌اند. روش‌های ساخت و پرداخت این مهره‌ها توسط مفتول‌هایی از جنس فلینت صورت می‌گرفته که انواع آن در ابعاد گوناگون از مکان‌های مختلف، به‌ویژه کارگاه‌های صنعتی مهره‌سازی یافت شده است. مهره‌های به‌دست‌آمده از این محوطه در کارگاه‌های صنعتی ساخته می‌شده، که در این طرح سعی‌بر آن بوده است تا با بررسی‌های ساختارشناسی، شیمیایی و کانی‌شناسی براساس مطالعات باستان‌سنجی (باستان‌گوهرشناسی) به شناخت قابل‌قبولی در زمینهٔ روش‌های ساخت مهره‌ها و ساختار سنگ‌های مورداستفاده، دست پیدا کرد؛ همان‌طورکه از متن پژوهش برمی‌آید، سعی‌شده است با روش‌های آزمایشگاهی هم‌چون پتروگرافی مقطع نازک، EDX و طیف‌سنجی رامان و روش‌های گوهرشناسی هم‌چون رفراکتومتر و تعیین وزن مخصوص به بررسی مواد فرهنگی موردنظر پرداخته شود. روش‌های آزمایشگاهی، به‌ویژه پتروگرافی نشان‌داد که جنس و ساختار لاجوردها از نوع کانی‌های لازوریت به‌همراه ادخال‌های کانی‌های کلسیت با حفره‌های بسیار ریز و اندک با شکستگی‌های صدفی است. میزان بالای لازوریت موجود در بافت سنگ‌های لاجورد نشان می‌دهد که دارای ساختار نسبتاً خوبی است، اما ازطرفی وجود کلسیت از شفافیت و درصد خلوص آن کاسته است. درنهایت باید به این نکته اشاره نمود که آثار ساخته‌شده از لاجورد در شهرسوخته که در این پژوهش مورد آنالیز قرار گرفتند، ساختار مشابه و ترکیب‌های ساختاری و شیمیایی یکسانی دارند؛ البته اثبات نهایی این موضوع نیاز به مطالعه برروی تعداد بسیار زیادتری از نمونه‌های لاجورد در شهرسوخته دارد که به‌دلیل محدودیت‌های موجود در این پژوهش، نویسندگان این سطور توانستند تنها برروی سه قطعه مطالعه و بررسی انجام دهند.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از بخشی از طرح پژوهشی با موضوع «بررسی و مطالعه سنگ‌های نیمه‌قیمتی شهرسوخته» در پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت است؛ به‌همین جهت نگارندگان برخود لازم می‌دانند تا از تمامی حمایت‌های مادی و معنوی این پژوهشکده، مراتب قدردانی را به‌عمل آورند؛ هم‌چنین باید از مدیریت و کارکنان موزهٔ ایران باستان، موزهٔ جنوب‌شرق منطقه‌ای زاهدان و پایگاه میراث‌جهانی شهرسوخته قدردانی کرد.

پی‌نوشت

1. Na6,Ca2Al 6Si6O24[(SO4).S.Cl(OH)]2 (نیکبخت و همکاران، ۱۳۹۴)

۲. 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 نمونهٔ تقلبی آن شناسایی نشده است. الماس، یاقوت سرخ، یاقوت کبود زمرد جزو سنگ‌های قیمتی دنیا هستند. 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 ازطریق 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 تمییز 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 تمییز داد

3. Refractometer

۴. نسبت سرعت نور در هوا یا خلأ به‌سرعت 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 چه‌قدر 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. ازطرفی 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 برروی مقیاس آن‌ها خوانده می‌شود. محل قرارگیری نمونه برروی رفراکتومتر و در زیر درپوش آن برروی بخش شیشه‌ای است. جهت تولید نور در این دستگاه از لامپ هالوژنی معمولی یا از یک لامپ بخار سدیمی که نور تک‌رنگ با طول موج زرد ایجاد می‌کند، استفاده می‌شود. برای مشخص‌نمودن مقدار دقیق و واقعی ضریب شکست گوهرها لازم است از چندین جهت مقدار ضریب شکست گوهر اندازه‌گیری و تعیین شود (حاج‌علیلو، ۱۳۸۶: ۱۰۷-۱۰۱).

5. Specific Gravity

۶. برای بیان وزن گوهرها، از اصطلاحات متعددی استفاده می‌گردد؛ ولی معروف‌ترین واحد سنجش وزن گوهرها قیراط است.

پیوست ۱. فهرست برخی از مهم‌ترین مقالات و پژوهش‌های علمی خارج از ایران برروی نمونه‌های لاجورد (نگارندگان، ۱۳۹۸).

Annex 1. content of most important articles of lapis lazuli (Authors, 2019)

Characteristic Features of Lapis Lazuli from Different Provenances, Revised by µXRF, ESEM, PGAA and PIXE	Nöller et al., 2019
Luminescence Properties of Lapis Lazuli Investigated by means of a Proton Micro-Beam	Re et al., 2018
New markers to identify the provenance of lapis lazuli: trace elements in pyrite by means of micro-PIXE	Re et al., 2018
Protocol for lapis lazuli provenance determination: evidence for an Afghan origin of the stones used for ancient carved artefacts kept at the Egyptian Museum of Florence (Italy)	Giudice et al., 2017
Ionoluminescence spectroscopy and microscopy of lapis lazuli	Nikbakht et al., 2017
Early Evidence of Beadmaking at Mehrgarh, Pakistan: A Tribute to the Scientific Curiosity of Catherine and Jean-Francois Jarrige	Vidale et al., 2017
Ion Microbeam Analysis in Cultural Heritage: application to lapis lazuli and ancient coins	Giudice et al., 2017
µ-XRF analysis of trace elements in lapis lazuli-forming minerals for a provenance study	Angelici et al., 2015
Petrographic and Minero-Chemical characterization of Lapis Lazuli: a Provenance study of rocks and artefacts from cultural heritage	Angelici, 2015
Ion beam analysis for the provenance attribution of lapis lazuli used in glyptic: the case of the Collezione Medicea	Re et al., 2015
Neutron diffraction on lapis lazuli: characterisation of rocks and artworks for a provenance study	Re et al., 2014
Evaluating Potential Lapis Lazuli Sources for Ancient South Asia using Sulfur Isotope Analysis	Law, 2014
Le Lapis-Lazuli dans l'Orient ancien	Casanova, 2013
Characterisation of Lapis Lazuli for a provenance study by means of SEM-EDX and SEM-cathodoluminescence	Giudice et al., 2012
Lapis lazuli provenance study by means of micro-PIXE	Re et al., 2011
Ion and Electron Microscopy for the Characterization of Materials of Archaeological, Historical and Artistic Interest: Determination of the Provenance of Lapis Lazuli used for Glyptic	Re et al., 2011
Provenance Study of Lapis Lazuli by Non-Destractive Prompt Gamma Activation Analysis (PGAA)	Zoldfoldi & Kasztovszky, 2009
Multitechnique characterization of lapis lazuli for provenance study by means of ionoluminescence	Giudice et al., 2009
Multitechnique characterization of lapis lazuli for provenance study	Giudice et al., 2009
Where does Lapis Lazuli Come From? Non-Destractive Provenance Analysis by PGAA	Zöldföldi et al., 2006
The Lapis Lazuli sources in the ancient east	Delmas & Casanova, 2015
Lapis lazuli from Sar-i-Sang, Badakhshan, Afghanistan	Wyart et al., 1981

کتابنامه

- ادیب، داریوش، (۱۳۹۲). فرهنگ جامع گوهرشناسی، جهان جواهرات. تهران: انتشارات پازینه، چاپ دوم.
- استوارت، باربارا، (۱۳۹۳). روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمهٔ مسعود باقرزاده‌کثیری، تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

- امان‌اللهی، حمید، (۱۳۸۸). «پتروگرافی و کاربرد آن در شناسایی مواد باستان‌شناختی (مطالعه موردی سنگ)». مجله پیام باستان‌شناس، ۱۲: ۱۴۰-۱۲۱.
- باقرزاده‌کثیری، مسعود، (۱۳۹۴). «شناسایی رنگدانهٔ لاجورد در نگاره‌های ایرانی با استفاده از روش‌های نشر پرتو ایکس القایی پروتون (PIXE) و میکروسکپی نیروی اتمی (AFM)». نشریهٔ علمی-پژوهشی علوم و فناوری رنگ، ۹: ۲۵۸-۲۵۱.
- بهادری، رویا؛ و آقاعلی‌گل، داوود، (۱۳۹۷). «مطالعات آزمایشگاهی تعدادی از مهره‌های آبی و سبز به‌کاررفته در زیورآلات پیش‌ازتاریخ موزهٔ ملی ایران». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۱۸: ۶۲-۴۵.
- بهشتی، ایرج؛ صدقی، یاسین؛ و سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۹۸) «مطالعه‌ای نو درباب باستان‌شناسی و باستان‌سنجی مهره‌های سنگی نیمه‌بهادار شهرسوخته». مجموعه مقالات شهرسوخته ۲، به‌کوشش: سیدمنصور سیدسجادی و انریکو اسکالونه، تهران: نشرمدید، پیشین پژوه.
- حاج علیلو، بهزاد، (۱۳۸۶). گوهرشناسی (رشتهٔ زمین‌شناسی). انتشارات دانشگاه پیام نور، چاپ اول.
- داداش‌زاده، مارال؛ عبدالله‌خان گرجی، مهناز؛ و وحیدزاده، رضا، (۱۳۹۵). «خمیر لاجورد یا آبی مصری؟ بررسی ساختاری و هویت‌بخشی مجموعه‌ای از اشیاء منسوب به خمیرلاجورد در موزهٔ ملی ایران». پژوهههٔ باستان‌سنجی، ۲ (۲): ۴۸-۳۵.
- سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۸۲). جواهرسازی در شهرسوخته. تهران: معاونت پژوهشی میراث‌فرهنگی کشور.
- سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۸۳). «آغاز شهرنشینی در نیمهٔ شرقی فلات ایران». نامهٔ انسان‌شناسی، ۳ (۶): ۹۶-۶۳.
- سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۸۷). «منابع تأمین سنگ لاجورد جیرفت با توجه به آخرین یافته‌های باستان‌شناسی در شهرسوخته». مجموعه مقالات نخستین همایش بین‌المللی تمدن حوزهٔ هلیل‌رود، جیرفت، به‌کوشش: یوسف مجیدزاده، تهران: میراث‌فرهنگی‌کرمان.
- سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۹۸). «گزیده‌ای از پژوهش‌های میدانی سال ۱۳۹۳ در شهرسوخته». مجموعه مقالات شهرسوخته ۲، به‌کوشش: سیدمنصور سیدسجادی و انریکو اسکالونه، تهران: نشر مدید، پیشین پژوه.
- شیرزاده، غلام؛ کاکا، غفور؛ و محمدی، منیره، (۱۳۹۱). «تجارت سنگ لاجورد و نقش آن در توسعه استقرارهای شرق ایران، طی هزاره‌های چهارم و سوم ق. م.». فصلنامهٔ تخصصی باستان‌شناسی ایران. ۲ (۲): ۱۰۷-۸۵.
- صدقی، یاسین؛ بهشتی، ایرج؛ و سیدسجادی، سیدمنصور، (۱۳۹۶). «بررسی و مطالعه سنگ‌های نیمه‌قیمتی شهرسوخته (۳۵ نمونه)». طرح پژوهشی پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت آثار فرهنگی - تاریخی (منتشرنشده).
- طهماسبی‌زاوه، حامد؛ سلحشور دورکی، علی‌اصغر، (۱۳۹۶). «سنگ لاجورد در متون و منابع تاریخی اسلامی (بازتعریف مناطق استحصالی و کاربردها)». فصلنامهٔ تاریخ پژوهی، ۱۹ (۷۱): ۵۳-۶۵.
- عباس‌نژاد سرستی، رحمت؛ شرامه، مهسا، (۱۳۹۶). «سازوکارهای اقتصادی-اجتماعی استخراج، فراوری و تولید سنگ‌های قیمتی و نیمه‌قیمتی در جنوب‌شرق ایران در هزارهٔ سوم ق.م.». دومین همایش بین‌المللی جنوب شرق ایران، به‌کوشش: نصیر اسکندری، دانشگاه جیرفت، (چکیده).
- فرخ‌نیا، شراره، (۱۳۹۶). «تجارت سنگ لاجورد در مناطق شرقی ایران در هزارهٔ سوم پیش‌ازمیلاد». دومین همایش بین‌المللی جنوب‌شرق ایران، به‌کوشش: نصیر اسکندری، دانشگاه جیرفت، (چکیده).

- قربانی، منصور، (۱۳۸۲). سنگ‌ها و کانی‌های گرانبها (گوهرها) و جایگاه آنها در ایران. تهران: آرین زمین.
- مجیدزاده، یوسف، (۱۳۶۶). «سنگ لاجورد و جاده بزرگ خراسان». مجلهٔ باستان‌شناسی و تاریخ، ۱ (۲): ۱۲-۲۴.
- منصوری، فیروز، (۱۳۷۲). «سنگ لاجورد». مجلهٔ میراث فرهنگی، ۸ و ۹، بهار و تابستان: ۶۰-۶۸
- نیکبخت، طاهره؛ کاکویی، امیدرضا؛ لامعی‌رشتی، محمد؛ و صداقتی‌بورخانی، محمد، (۱۳۹۴). «مشخصه‌یابی سنگ لاجورد با استفاده از روش‌های مکمل آیبیل و میکروسکپی»، مجلهٔ پژوهش فیزیک، ۱۵ (۱): ۱۷-۹.
- ولی‌پور، حمیدرضا، (۱۳۸۴). «سنگ لاجورد کالای تجاری باستان». پیام باستان‌شناس، ۲ (۳): ۴۷-۵۸.
- هرمان، جورجینا؛ و موری، پی، آر.، (۱۳۸۵). «باستان‌شناسی‌لاجورد». ترجمهٔ ناصر نوروززاده‌چگینی، دوفصلنامهٔ باستان‌پژوهشی، ۱ (۲): ۶۹-۷۱.

- Abbasnezhad Seresti, R. & Sharameh, M., (2017). "Mechanisms of extraction, procreation, production and trading of precious and semiprecious stones at Southeast of Iran during 3rd millennium BC". *2nd International conference on the archaeology of southeastern iran,* December 11-13, University of Jiroft, (Abstract).

- Adib, D., (2013). *Encyclopedia of Gemology: World of Jewels.* Tehran: Pazineh, Second edition.

- Amanollahi, H., (2009). "Petrography and its Function for Investigation of Archaeological materials a case study: Stone". *Payam-e Bastanshenas,* 6(12): 121-140.

- Angelici, D., (2015). "*Petrographic and Minero-Chemical characterization of Lapis Lazuli: a Provenance study of rocks and artefacts from cultural heritage.* PLINIUS. 41.

- Angelici, D.; Borghi, A.; Chiarelli, F.; Cossio, R.; Gariani, G.; Giudice, A. L., ... & Vaggelli, G., (2015). "μ-XRF analysis of trace elements in lapis lazuli-forming minerals for a provenance study". *Microscopy and Microanalysis*, 21(2): 526-533.

- Bahadori, R. & Agha-Aligol, D., (2018). "Labratorial Studies on the Blue and Green Beads Used in the Prehistoric Ornaments of National Museum of Iran". Pazhoheshha-ye Bastanshenasi Iran, 8(18): 45-62. doi: 10.22084/nbsh.2018.14839.1654.

- Beheshti, I.; Sedghi, Y. & Seyyed Sajjadi, S. M., (2019). "New studies in archaeology and archaeometry of Semi-precious Stons and Beads of Shahr-i Sokhta in Sistan". *Scavi e Ricerche a Shahr-i Sokhta*, A cura di Enrico Ascalone and Seyyed Mansur Seyyed Sajjadi, Madid and Pishin-Pazhuh, first edition: 245-272.

- Bersani, D. & Lottici, P, P., (2016). "Raman spectroscopy of minerals and mineral pigments". *Archaeometry*, J. Raman Spectrosc. DOI 10.1002/jrs.4914

- Biscione, R.; Bulgarelli, G. M.; Costantini, L.; Piperno, M. & Tosi, M., (1974). "Archaeological discoveries and methdological problems in the excavations of Shahr-i Sokhta, Sitan". In: van Lohuizen-De Leeun, J.E., Ubaghs, J.M.M. (Eds.), *South Asian Archaeology,* 1973, Leiden.

- Cally, H., (2009). *Guide to Gemstones.* (M. H. Arab Asadi, Trans.), Tehran: Pazineh.

- Casanova, M., (1989). "The sources of the lapis lazuli found in Iran". *South Asian Archaeology,* 10: 49-56.

- Casanova, M., (2013). *Le Lapis-Lazuli dans l'Orient ancien.* Éditions du CTHS, Paris. 281 p.

- Dadashzadeh, M.; Abdollah Khan Gorji, M., & Vahidzadeh, R., (2017). ""Egyption Blue" or "Lapis Lazuli Paste"? Structural study and identification of the collection of the objects Nominate Lapis Lazuli Paste in the National Museum of Iran". *Journal of Research on Archaeometry,* 2(2): 35-48.

- Delmas, A. B. & Casanova, M., (1990). "The Lapis Lazuli sources in the ancient east". In: "South Asian Archaeology". M. Taddei, ed. *Istituto Italiano per il Medio ed Estremo Oriente, Roma, Serie Orientale Roma,* 66: 493-505.

- Demtröder, W., (2008). *Laser Spectroscopy* Vol. 2: Experimental Techniques, Spectroscopy, 2.

- Domínguez-Bella, S. & Herrero, J. M., (2012). "Archaeomineralogy of prehistoric artifacts and gemstones". In: *Archaeometry and Cultural Heritage: the Contribution of Mineralogy. International Seminar:* 5-28.

- Farokhnia, Sh., (2017). "The trade of lapis lazuli in the eastern regions of Iran during 3rd millennium BC". *2nd international conference on the archaeology of southeastern iran,* December 11-13, University of Jiroft, (Abstract).

- Farzin, S.; Zohouriyan, M. & Hajizadeh, M. A., (2019). "The Effect of Trading Lapis Lazuli on the Settlements in the East of Iran's Central Plateau (3 rd–4 th Mill. BCE)". *Central Asiatic Journal,* 62(2): 193-202.

- Favaro, M.; Guastoni, A.; Marini, F. B. & Gambirasi. A., (2011). "Characterization of lapis lazuli and corresponding purified pigments for a provenance study of ultramarine pigments used in works of art". *Anal Bioanal Chem, Springer-Verlag,* 19: DOI 10.1007/s00216-011-5645-4

- Foglini. L., (1998). "L'area di lavorazione del lapislazzuli nei quadrati EWK-EWP". In: G. Lombardo, *Perle orientali, Tradizione antica e artigianato moderno nella lavorazione delle pietre semipreziose in Medio Oriente,* Rome: 71-75.

- Gettens, R. J. & Stout, G, L., (1966). *Painting materials: a short encyclopaedia.* Courier Corporation.

- Ghorbani, M., (2003). *Precious stones and minerals (gemstones) and their position in iran.* First edition. Tehran: Ariyan Zamin.

- Giudice, A. L.; Angelici, D.; Re, A.; Gariani, G.; Borghi, A.; Calusi, S.; ... & Calligaro, T., (2017). "Protocol for lapis lazuli provenance determination: evidence for an Afghan origin of the stones used for ancient carved artefacts kept at the Egyptian Museum of Florence (Italy)". *Archaeological and Anthropological Sciences,* 9(4): 637-651.

- Giudice, A. L.; Re, A.; Calusi, S.; Giuntini, L.; Massi, M.; Olivero, P.; ... & Conz, E., (2009). "Multitechnique characterization of lapis lazuli for provenance study". *Analytical and bioanalytical chemistry,* 395(7): 2211-2217.

- Giudice, A.; Re, A.; Angelici, D. & Pratesi, G., (2012). "Characterisation of lapis lazuli for a provenance study by means of SEM-EDX and SEM-cathodoluminescence". In: *SEM2010 (SEM and microanalysis in the study of historical technology, materials and conservation:* 166-168, Archetype Publications.

- Hajalilu, B., (2007). *Gemology (Geology).* Payam-e Noor Publication, First editin.

- Hatipo˘glu, M. & Güney, H., (2013). "Archaeo-gemmological investigation of gemstone glyptics (seal stones and ceremonial stones) and ancient jewelleries mounted gemstones" in ˙Izmir Archaeological Museum (Turkey). *Journal of Cultural Heritage*, http://dx.doi.org/10.1016/j.culher.2012.12.012.

- Henry, A.; Hanni, A.; Kiefert, L. & Chalain. J. P., (1997). "A Raman Microscope in the Gemmological Laboratory: first experiences of application". *The Jouenal of Gemmology,* 25(6): 394-406.

- Hermann, G., (1968). "lapis-lazuli: the early phasses of trade". *Iraq*, 30(1): 21-57.

- Herrmann, G. & Moorey, P. R. S., (2006). "Lapis lazuli archaeology. (N. Norouz Zadeh Chegini Trans.)". *Bastan Pazhouhi,* (1)2: 69-71.

- Kasiri, M., (2015). "Identification of Lazurite Pigment in Persian Miniatures by PIXE and AFM Methosds". *Journal of Color Science and Technology,* 9(3): 251-258.

- Kock, L. D., (2010). *Raman spectroscopic studies of the underglaze pigments of porcelain shards of archaeological origins* (Doctoral dissertation, University of Pretoria).

- Law, R., (2014). "Evaluating potential lapis lazuli sources for ancient South Asia using sulfur isotope analysis". *My life is like the summer rose" Maurizio Tosi e l'archeologia come modo di vivere.* Archaeopress, Oxford: 419-429.

- Majidzadeh, Y., (1982). "Lapis lazuli and the Great Khorasan Road". *Paléorient*: 59-69.

- Majidzadeh, Y., (1987). "Lapis Lazuli and the Great Khorasan Road". *Journal of Bastanshenasi and Tarikh,* 2(1): 12-24.

- Mansouri, F., (1993). "Lapis lazuli Stone". *Journal of cultural heritage,* 8 & 9: 60-68.

- Nikbakht, T.; Kakuee, O. & Lamehi-Rachti, M., (2017). "Ionoluminescence spectroscopy and microscopy of lapis lazuli". *Journal of Luminescence,* 181: 246-251.

- Nikbakht, T.; Kakuee, O.; Lamehi Rachti, M. & Sedaghati Boorkhani, M., (2019). "Elemental Analysis of Lapis Lazuli sample, using complementary techniques of IBIL and MicroPIXE". *Iranian Journal of Physics Research*, 15(1): 9-17. doi: 10.18869/acadpub.ijpr.15.1.9

- Nöller, R.; Feldmann, I.; Kasztovszky, Z.; Szőkefalvi-Nagy, Z. & Kovács, I., (2019). "Characteristic Features of Lapis Lazuli from Different Provenances, Revised by μXRF, ESEM, PGAA and PIXE". *Journal of Geological Resource and Engineering*, 7: 57-69.

- Piperno, M., (1976). "Grave 77 at Shahr-i Sokhta : Further Evidence of Technological Specialization in the 3rd Millennium B.C. Ismeo". *East and West*, 26: 1-2.

- Piperno, M. & Salvatori, S., (2007). *The Shahr-i Sokhta Graveyard (Sistan, Iran). Excavation Campaigns, 1972-1978.* Reports and Memoirs VI, Rome.

- Rapp. G., (2009). *Archaeomineralogy*. second ed., in: B. Herrmann, G.A. Wagner (Eds.), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin.

- Re, A., (2011). "Ion and Electron Microscopy for the Characterization of Materials of Archaeological, Historical and Artistic Interest: Determination of the Provenance of Lapis Lazuli used for Glyptic'". (Doctoral dissertation, Ph.D. Thesis) Università degli Studi di Torino.

- Re, A.; Angelici, D.; Lo Giudice, A.; Corsi, J.; Allegretti, S.; Biondi, A. F.; Gariani, G.; Calusi, S.; Gelli, N.; Giuntini, L.; Massi, M.; Taccetti, F.; La Torre, L.; Rigato, V. & Pratesi, G., (2015). "Ion beam analysis for the provenance attribution of lapis lazuli used in glyptic: the case of the Collezione Medicea". *Nucl. Instrum. Meth. B,* 348: 278-284.

- Re, A.; Corsi, J.; Angelici, D.; Lo Giudice, A.; Borghi, A.; Costa, E.; ... & Pratesi, G., (2014). "Neutron diffraction on lapis lazuli: characterisation of rocks and artworks for a provenance study". *SR2A-Synchrotron radiation and neutrons in art and archaeology Conference*: 156-156, Axiome.

- Re, A.; Giudice, A. L.; Angelici, D.; Calusi, S.; Giuntini, L.; Massi, M. & Pratesi, G., (2011). "Lapis lazuli provenance study by means of micro-PIXE". *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms,* 269(20): 2373-2377.

- Re, A.; Giudice, A. L.; Guidorzi, L.; Sebar, L. E.; La Torre, L.; Carlucci, D., ... & Pratesi, G. (2018). "Luminescence Properties of Lapis Lazuli Investigated by means of a Proton Micro-Beam". https://iris.unito.it/rm/popup/rmItem/journal/crisId/journal63481/detail.htm. *LNL- ANNUAL REPORT,* 251: 132-133.

- Sajjadi, S. M. S., (2005). "Sistan and Beluchistan Project". *IRAN,* 43: 87-92.

- Sajjadi, S. M. S., (2007). *Excavations at Shahr-i Sokhta, Graveyard 1997-2000.* Preliminary Report 1, Tehran.

- Savatori, S. & Vidale, M., (1997). "Shahr-i Sokhta 1975e1978: Central Quarters Excavations". In: *Preliminary Report, Report and Memoirs,* Series Minor, I, Rome.

- Sedghi. Y.; Beheshti, I. & Seyyed Sajjadi, S. M., (2017). "Investigation and study of semi-precious stones of Shahr-i Sokhta (35 samples)". Research project of the research center for the conservation of cultural relics (RCCCR), (unpublished).

- Seyyed Sajjadi, S. M., (2005). "The origin of Urbanization in the Eastern Iran". *Iranian journal of Anthropology,* 3(6): 63-96.

- Seyyed Sajjadi, S. M., (2008). "Resources of Jiroft lapis lazuli according to the latest archaeological findings in Shahr-i Sokhta". *The collection of articles from the first international conferences on Halilroud basin civilization, Jiroft,* Edited: Yousef Majidzadeh, Tehran: Kerman Cultural Heritage.

- Seyyed Sajjadi, S. M., (2019). "Breve rapport degli scavi 2014-2015". *Scavi e Ricerche a Shahr-i Sokhta, a cura di Enrico Ascalone and Seyyed Mansur Seyyed Sajjadi,* Madid and Pishin Pazhuh, First edition: 245-272.

- Seyyed Sajjadi, S. M., (2003). *Jewelry Making in Shahr-i Sokhta.* Tehran: Cultural Heritage.

- Shirzadeh, Gh.; Kaka, Gh. & Mohammadi, M., (2012). "The trade of lapis lazuli and its effect in development settlements of eastern Iran during the forth and third millennium B.C.". *Bastanshenasi Iran,* 2(2): 85-107.

- Stuart, B. H., (2007). *Analytical techniques in materials conservation.* Johm Wiley & Sons.

- Tahmasbi Zaveh, H. & Salahshoor Doraki, A., (2017). "Lapis lazuli stone in the Islamic texts and historical sources (redefinition of areas of extraction and applications)". *Tarikh Pazhouhi,* 19(71): 53-65.

- Tosi .M., (1968). "Excavation at Shahr-i Sokhta, a Chalcolithic settelement in the Iranian Sistan. Preliminary Report on the First Campaign.October-December 1967". *East and West,* 18: 9-66.

- Tosi, M. & Piperno, M., (1975). "The Graveyard of _Shar-e Suxteh". In: *Proceedings of the 3rd Annual Symposium on Archaeological Research in Ira*: 121-141.

- Tosi, M., (1973). "The cultural sequence at Shahr-i Sokhta. Bull". *Asia Inst. Pahlavi Univ.* 3: 64-80.

- Tosi, M., (1974). *The lapis lazuli trade across the Iranian plateau in the 3rd millennium BC.* (pp. 3-22). Istituto universitario orientale.

- Tosi, M., (1976). "A Topographical and stratigraphical Periplus of Sahr-e Suxteh". In: *Proceedings of the IV Annual Symposium on Archaeological Research in Iran,* 3rd and 8th November 1975, Teheran: 130-158.

- Valipour, H., (2005). "Lapis lazuli is an ancient trade item". *Journal of Payam-e bastanshenas,* 2(3): 47-58.

- Vidale, M. & Lazzari, A., (2017). "Lapis Lazuli Bead Making at Shahr-i Sokhta". *Interpreting Craft Production in a Urban Community of the 3rd Millennium BC* (Serie Orientale Roma, Nuova Serie 6). Antilia/ISMEO, Rome.

- Vidale, M.; Mariottini, M.; Sidoti, G. & Zahir, M., (2017). "Early Evidence of Beadmaking at Mehrgarh, Pakistan: A Tribute to the Scientific Curiosity of Catherine and Jean-Francois Jarrige". In: *Stone Beads of South and Southeast Asia: Archaeology, Ethnography and Global Connections, edited by Alok Kumar Kanungo*: 233-254. Indian Institute of Technology Gandhinagar.

- Webster, R., (1983). *Gem: The Sources, Description and Identification.* London: Butterworths.,1006p.

- Weisgerber, G., (2004). "Decorative stones in the ancient orient (lapis-lazuli, turquoise, agate, carneolo)". *Persiens Antike Pracht,* Ausstellungskatalog. Veröff. Deutsch. Bergbau-Mus. Bochum, 128: 64-75.

- Williams, H.; Turner, F. J. & Cilbert, C. M., (1982). *Petrography: an introduction to the study of Rocks in Thin Section*. W.H. Freeman, San Francisco.

- Wyart, J.; Bariand, P. & Filippi, J., (1981). "Lapis-lazuli from Sar-e-Sang, Badakhshan, Afghanistan". *Gems and Gemmology,* 17(4): 184-190.

- Zöldföldi, J. & Kasztovsky, Z., (2009). "Provenance study of lapis lazuli by non-destructive prompt gamma activation analysis". In: *Proc. 7th International conf. Assoc. for Study of Marble and Other Stones in Antiquity* (ed. Y. Maniatis), BCH Suppl, 51: 677-691.

- Zöldföldi, J.; Richter, S.; Kasztovszky, Z. & Mihály, J., (2006). "Where does lapis lazuli come from? Non-destructive provenance analysis by PGAA". In: *34th International Symposium on Archaeometry*: 353-362, Centro de Estudios Borjanos.