

## “Egyptian Blue” or “Lapis Lazuli Paste” Structural Study and Identification of the Collection of the Objects Nominated Lapis Lazuli Paste in the National Museum of Iran

Maral Dadashzadeh<sup>\*1</sup>, Mahnaz Gorji<sup>2</sup>, Reza Vahidzadeh<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Conservator in National Museum of Iran, IRAN

<sup>2</sup>Lecturer of Islamic Azad University & Head of Conservation Department, National Museum of Iran, IRAN

<sup>3</sup>Member of Scientific Board at Islamic Azad University and Head of Conservation Department, IRAN

### Abstract

In some of the archeological museum, the variety of blue object are nominated as Egyptian Blue, Lapis lazuli and Lapis lazuli paste. In this research, it was found that there are many mistake in this classification. Lapis lazuli, a brilliant azure-blue color gemstone, is a mixture of minerals, primarily containing the Lazurite (blue) with small amounts of calcite, sodalite, and gold-color flecks of pyrite. It has been prized as an ornamental stone for over 6000 years. The most valuable lapis lazuli is the uniform dark blue stone from Badakhshan of Afghanistan. This semiprecious blue stone was, and still is, used for jewelry, mosaics and small carvings. Lapis lazuli was also ground and purified to make natural ultramarine blue pigments. The Egyptian blue is the earliest known multicomponent synthetic pigment produced in ancient times in Egypt since the Fourth Dynasty of the Old Kingdom in the 3<sup>rd</sup> millennium BC, where it has been found as a pigment and formed into small objects such as amulets or beads. Egyptian blue frit is a multicomponent material that was produced by firing a mixture of quartz, lime, a copper compound and an alkali flux to a temperature in the range 850-1000 °C. Its principal components are calcium-copper tetrasilicate crystals (cuprorivaite), which produce the blue color, and partially reacted quartz particles bonded together by varying amounts of glass phase. In Mesopotamia from about 1200 to 900 BC, the best information on artifacts of Egyptian blue comes from the destruction debris of Hasanlu in north-west of Iran. Also, the range of Egyptian blue production in the Achaemenid period is the best represented in the excavations at Persepolis. It must be emphasized that “Lapis lazuli Paste” is a wrong term which is not truly exist. In this research, considering the wrong terms which is used for nomination of the collection of blue objects; in the labels, registration records, catalogs and etc, some scientific research was done to specify their characterization. 10 objects from different archaeological sites including Hasanlu, Ziwiyh and Persepolis from the period of 1<sup>st</sup> millennium BC to Achaemenid were selected for this research. These objects were in different size and dimensions, including high jug with a variety of blue color from dark to pale blue, censer, plaque, small head of a young prince or princess and etc. At first, all of the samples were documented and then, structural investigation was realized by binocular microscope, to know condition and texture of their surfaces. Scientific and analytical research was done by SEM-EDX and XRD. As a result, all of these objects were identified as Egyptian blue. Finally, it was required to consider and overview the classification of the group of blue objects, which was wrongly nominated as “lapis lazuli paste”, in fact, it does not exist.

**Keywords:** Egyptian blue, Lapis lazuli, Structural studies, National Museum of Iran, SEM-EDX, XRD.

\* Corresponding author: dadashzadeh.maral@gmail.com

## «خمیر لاجورد» یا «آبی مصری»؟

# بررسی ساختاری و هویت بخشی مجموعه‌ای از اشیاء منسوب به خمیر لاجورد در موزه ملی ایران

مارال داداش‌زاده<sup>۱\*</sup>، مهناز عبدالله خان گرجی<sup>۲</sup>، رضا وحیدزاده<sup>۳</sup>

۱. کارشناس ارشد حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی-فرهنگی، دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران

۲. استاد مدعو دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، و مسئول بخش حفاظت و مرمت موزه ملی ایران

۳. عضو هیئت علمی و مدیر گروه مرمت دانشکده هنر و معماری دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران مرکزی، ایران

### چکیده

در معرفی آثار موزه‌ای مجموعه‌ای از اشیاء با طیف رنگ آبی، با نام سنگ لاجورد، آبی مصری و خمیر لاجورد نام‌گذاری می‌شود. با توجه به شکل ظاهری، ساختار و زمینه رنگی در یک مقایسه کلی تأکید می‌گردد لاجورد سنگی متشکل از چند کانی متفاوت نظیر سودالیت، کلسیت، پیریت و لازوریت است. جزء سنگ‌های دگرگونی است که دارای سطحی صیقلی و مات بوده و به رنگ‌های آبی تیره دیده می‌شود که از آن در ساخت اشیاء کوچک و به‌عنوان سنگ تزئینی استفاده شده است و بیش از ۶۰۰۰ سال قدمت دارد. آبی مصری به عنوان نخستین رنگدانه مصنوعی دست‌ساخته بشر بوده که در دو مرحله پخت مجزا ساخته می‌شود. دارای طیف رنگی از آبی کم‌رنگ تا آبی فیروزه‌ای است و برای اولین بار در مصر و بین‌النهرین حدود ۲۵۰۰ ق.م ظاهر شده و سپس در سراسر مدیترانه تا ۸۰۰ میلادی به‌صورت گسترده استفاده شده است. با تأکید بر تفاوت ساختار و ماهیت این دو ماده، بکار بردن اصطلاح خمیر لاجورد در معرفی آثاری با زمینه رنگی آبی، علمی نبوده و غیر قابل استناد است. از این‌رو پژوهش‌های علمی و مطالعات آزمایشگاهی در راستای طبقه‌بندی، شناخت ماهیت و نام‌گذاری این مجموعه آثار، دارای اهمیت ویژه‌ای است. در بررسی حاضر مطالعات آزمایشگاهی و بررسی ساختاری تعداد ۱۰ عدد از آثار شاخص موزه ملی ایران مربوط به محوطه‌های تاریخی حسنلو، زیویه و تخت جمشید از هزاره اول پیش از تاریخ تا دوره هخامنشی انجام پذیرفته است که با عنوان لاجورد و خمیر لاجورد به ثبت رسیده‌اند. این مجموعه دربرگیرنده اشیاء کاربردی و تزئینی با تنوع در ابعاد آن‌ها شامل عودسوز، سر شاهزاده هخامنشی، پلاک، گل‌میخ و تعداد دیگری از اشیاء است. آزمایش‌های انجام شده با استفاده از روش‌های دستگاهی میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM با سیستم تجزیه EDX و تعیین ترکیب شیمیایی به روش دستگاهی پراش پرتو ایکس XRD بوده است. بر اساس نتایج به دست آمده ماهیت تمامی اشیاء مورد مطالعه آبی مصری شناسایی شده و در هیچ‌کدام از آن‌ها ترکیبات لاجورد وجود نداشت. حاصل این آزمایش‌ها دلایلی مستند بر ضرورت بازنگری و تغییرات در برخی عناوین اشیاء لاجورد، حذف اصطلاح خمیر لاجورد و جایگزینی واژه صحیح آبی مصری است.

واژگان کلیدی: آبی مصری، لاجورد، موزه ملی ایران، بررسی ساختاری، SEM-EDX، XRD.

\* مسئول مکاتبات: تهران خیابان امام خمینی نبش خیابان سی تیر موزه ملی ایران، بخش مرمت، تلفن: ۶۶۷۰۲۰۶۱-۶

پست الکترونیکی: dadashzadeh.maral@gmail.com

## ۱. مقدمه

آبی مصری احتمالاً نخستین رنگدانه مصنوعی است که تاکنون توسط بشر تولید شده است. برای اولین بار در مصر و بین‌النهرین حدود ۲۵۰۰ ق.م ظاهر شده و سپس در سراسر مدیترانه تا ۸۰۰ میلادی به صورت گسترده استفاده شده است. آبی مصری همان کوپروریویت (Cuprorivaite) معدنی است. در حقیقت از نظر شیمیایی از ماده کوپروریویت، غیر قابل تشخیص است و در طبیعت بسیار نادر است. در فرم طبیعی از آن در غلظت بسیار کم برای ایجاد رنگدانه‌های بادوام استفاده می‌شود و در شکل مصنوعی به عنوان آبی مصری یاد می‌شود (Béarat, 2012, p. 6).

آبی مصری با پخت و ترکیبی از کوارتز، کلسیت و مس به همراه مقدار کمی قلیا تولید شده است. این ماده به عنوان جایگزین لاجورد بوده و در دوران باستان از سلسله چهارم پادشاهی قدیم مصر در هزاره ۳ ق.م استفاده می‌شده است (Ingo et al., 2013, p. 4284). این بازه زمانی هم‌زمان با اوایل دوره سلسله سوم در بین‌النهرین است که بر اساس تحقیقات موری (Moorey) احتمال می‌رود ظهور آبی مصری در این محدوده زودتر از پیدایش آن در مصر باشد (Moorey, 1994, p. 187). این ماده حداقل برای سه هزار سال به عنوان رنگدانه استفاده شده است و عمدتاً کاربرد آن در نقاشی‌ها، نقاشی‌های دیواری و تزئینات بوده است. از سوی دیگر آبی مصری در ساخت اشیاء گوناگون مانند سنگ‌های بدل زینتی، مهره طلسم، ترصیع جواهرات، مجسمه‌ها و ظروف کاربرد داشته است (Canti & Heathcote, 2002, p. 831).

به دلیل عدم شناخت ماهیتی در نام‌گذاری اشیاء آبی مصری، به طور معمول واژه خمیر لاجورد جایگزین آن شده و حتی در مواردی به لحاظ شباهت زمینه آبی رنگ، از این اشیاء به عنوان لاجورد نیز یاد شده است. در حالی که لاجورد سنگی مات و نسبتاً نیمه قیمتی با رنگ‌های آبی تیره از سنگ‌های روزگار باستان بوده و به عنوان سنگ تزئینی بیش از ۶۰۰۰ سال قدمت دارد. از آن در ساخت اشیاء ریز چون مهره‌ها و ظروف کوچک تزئینی و روکش پیکره‌ها استفاده شده و برای اشیاء بزرگ‌تر چون ظروف، دسته خنجر و غیره کمتر بکار رفته است و پودر آن نیز

به عنوان رنگدانه در نقاشی مصرف داشته است (Holden, 1991, p. 154). از این رو در این پژوهش با انجام مطالعات آزمایشگاهی بر روی مجموعه‌ای از آثار موزه ملی ایران، به شناسایی تفاوت میان آبی مصری و لاجورد پرداخته شده است. بر اساس نتایج مطالعات ضمن شناخت ماهیت اشیاء، اصلاح در نام‌گذاری این دسته از آثار در معرفی آن‌ها قابل توجه است.

## ۲. روش تحقیق

تحقیق حاضر بررسی مطالعات آزمایشگاهی آثاری است که ثبت و شناسنامه موزه‌ای آن‌ها تحت عنوان خمیر لاجورد و لاجورد ذکر شده است که اساس پژوهش در این زمینه را فراهم آورده است. اشیاء منتخب مشتمل بر ۱۰ قلم شیء مربوط به محوطه‌های پیش از تاریخ چون حسنلو و زیویه و نیز دوره هخامنشی است که بر اساس تنوع در فرم و شکل، طیف رنگی و ابعاد، برگزیده شده‌اند. مراحل اجرایی شامل مستندنگاری دقیق، بررسی ساختاری و مطالعات آزمایشگاهی است که با استفاده از روش دستگاهی میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM و سیستم تجزیه EDX و تعیین ترکیب شیمیایی به روش دستگاهی پراش پرتو ایکس XRD است که ماهیت تمامی این اشیاء مورد بررسی قرار گرفته است.

## ۳. پیشینه تحقیق

بر اساس تحقیقات میدانی انجام گرفته در میان برخی از متخصصین حوزه میراث فرهنگی می‌توان گفت رواج یافتن واژه خمیر لاجورد تعبیر نادرستی است که تنها بر اساس مشاهدات سطح اثر انجام گرفته و برخی بر این باورند که این اشیاء از ترکیب پودر لاجورد و آب ساخته شده است که هیچ‌گونه مدارک و دلایل علمی بر این باور وجود ندارد. در واقع به دلیل عدم شناخت کافی از نحوه به کارگیری رنگدانه آبی مصری به عنوان ماده اولیه در ساخت اشیائی که با طی مراحل پخت انجام می‌پذیرند، در نام‌گذاری این اشیاء از واژه لاجورد یا خمیر لاجورد (Lapis lazuli paste) استفاده می‌گردد. استفاده از رنگدانه آبی مصری در هزاره سوم ق.م از مصر و خاور نزدیک شروع شد، سپس به جزیره کرت و یونان

(Tite, 1987) به اهمیت حضور سیلیس و میزان آن برای تولید آبی مصری تأکید نموده است. همچنین وی به دمای پخت اولیه حدود  $900^{\circ}\text{C}$ – $1000^{\circ}\text{C}$  اشاره نموده که این محدوده دمایی متناسب با میزان ترکیبات قلیایی متغیر است. دمای مورد نیاز پخت ثانویه را  $850^{\circ}\text{C}$ – $950^{\circ}\text{C}$  معرفی می‌کند و تغییرات رنگ آبی، ساختار و بافت اشیاء آبی مصری را به تمامی عوامل فوق مرتبط می‌داند (Moorey, 1994, p. 188-189). جزئیات فنی بیشتر در مورد ساخت و بازتولید اشیاء آبی مصری توسط گروه حفاظت موزه بریتانیا حاکی از آن است که بهترین نوع آن ذرات ریزدانه است ولی در عین حال بسیار رنگ‌پریده و روشن است و ذرات درشت‌دانه به رنگ آبی تیره می‌باشند (Vincent et al., 2003, p. 3).

با توجه به پیشینه تاریخی آبی مصری همچنان عدم ثبت اشیاء با این عنوان در موزه‌ها و حتی در کاتالوگ‌های نمایشگاهی به کرات قابل مشاهده است که محدود به موزه‌های داخل کشور نبوده و حتی در موزه‌های مطرح جهان نظیر موزه بریتانیا که تحقیقات بسیاری در این زمینه انجام داده‌اند نیز دیده شده است. به‌عنوان مثال تصویر مربوط به نیم‌تنه شیر پس از مطالعات آزمایشگاهی به‌عنوان آبی مصری شناسایی شد که در کاتالوگ نمایشگاهی امپراتوری فراموش شده موزه بریتانیا، تحت عنوان سنگ لاجورد ذکر شده است (شکل 1-1 Fig.). تصویر کلون درب نیز از جنس آبی مصری است که به اشتباه در کتاب شکوه ایران باستان، سنگ لاجورد ذکر شده است (شکل 2-2 Fig.).



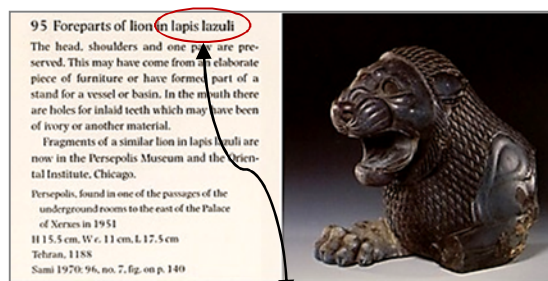
شکل ۲: کلون درب از جنس لاجورد؛ دوره تاریخی: ۵۰۰ ق.م - تخت جمشید؛ موزه ملی ایران

Fig. 2: Lapis lazuli door knob; from Persepolis; Date: 500 B.C.; National museum of Iran (Booth-Clibborn, E., & Pürjavadi, 2001, 491)

گسترش یافت و در آخر مورد مصرف رومی‌ها قرار گرفت و با افول امپراتوری روم، استفاده از این رنگدانه از رونق افتاد. این یک واقعیت است که هرگونه دانش تخصصی برای ساختن این رنگ آبی باکیفیت که به کار گرفته می‌شده، در سده هشتم میلادی کاملاً از دست رفته و در عصر حاضر مجدداً کشف شده است (Mazzocchin, 2004, p.129). کشف دوباره این ترکیب در سال ۱۹۳۸م در توده گداخته آتشفشانی توسط پابست (Pobst) در منطقه وسوویوس (Vesuvius) در نزدیکی شهر ناپل (Naples) انجام پذیرفته است (Mirit et al., 1995, p. 437-438).

به‌منظور پی بردن به ماهیت آبی مصری، نتایج مطالعات آزمایشگاهی نخستین بار توسط هومفری دوی (Humphray Davy) انجام و توسط فوک (Fouque) در سال ۱۸۸۹م تکمیل و منتشر شد. وی این ترکیب را به‌عنوان تترا سیلیکات کلسیم-مس شناسایی کرد. پس از آن لاری و همکارانش (Lari et al., 1914) در خصوص فرآیند ساخت آبی مصری و تأثیر دمای پخت به نتایج قابل توجهی دست یافتند. در ادامه تحقیقات، چیس (Chase) در سال ۱۹۷۱م و بایر (Bayer) و ویدمن (Widemann) در سال ۱۹۷۶م محدوده دمایی تولید آبی مصری و تجزیه و تحلیل تغییرات دما در روند ساخت را بررسی کردند (Moorey, 1994, p. 188).

نتایج مطالعات بعدی توسط میرتی (Mirti et al., 1995, p. 438) جزئیات بیشتر ماهیت و روند ساخت آبی مصری را تعیین نموده است. بررسی‌های بعدی تایید



شکل ۱: نیم‌تنه شیر از جنس لاجورد؛ دوره تاریخی: هخامنشی؛ موزه ملی ایران

Fig. 1: Foreparts of lion in lapis lazuli; Date: Achaemenian; National museum of Iran (Tallis, 2005. 102)

#### ۴. سنگ لاجورد و اشیاء موزه‌ای

لاجورد سنگی است متشکل از چند کانی متفاوت نظیر سودالیت، هایوئین، کلسیت، پیریت و لازوریت که جزء اصلی آن محسوب می‌شود و بیش از ۲۵٪ تا ۴۰٪ آن را شکل می‌دهد. آن نوع که همراه با لکه‌های سفید رنگ کمتر کلسیت و زرد رنگ بیشتر پیریت همراه باشد، بهترین کیفیت را دارا است (Cally, 2009, p. 69).

شناسایی لاجورد در زیر میکروسکوپ کار آسانی است. ذرات کاملاً آبی و نیمه شفاف این ماده دارای شکستگی‌های صدفی شکل است. ذرات کلسیت بی‌رنگ با شکست مضاعف، و ذرات ریز طلایی رنگ پیریت آهن را می‌توان در نور انعکاسی مشاهده کرد (Gettens & Stout, 1966, p. 163). 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 جلوه بیشتر آن می‌شود و دلیلی بر اصالت سنگ مورد استفاده است، همچنین مقدار زیاد پیریت باعث جلوه مات آن خواهد شد (Adib, 1990, p. 257). آنالیزهای شیمیایی نشان می‌دهند هرچه درصد سولفور در لاجورد بیشتر باشد رنگ آبی آن تیره‌تر است و هرچه آبی آن تیره‌تر باشد ارزش سنگ بیشتر خواهد بود (Zarmehri, 2009, p. 321). سنگ لاجورد از دیرباز برای ساخت اشیاء کاربردی و تزئینی استفاده شده است که نمونه‌های آن در موزه‌های ایران و جهان موجود است. بر اساس شواهد و قراین، به

لحاظ ویژگی‌های فیزیکی سنگ معدن لاجورد، ابعاد اشیاء ساخته شده از آن کمتر از ۲۰ cm بوده است (Herman & Moorey, 2006, p. 71). به‌عنوان مثال بزرگ‌ترین نمونه‌ها مربوط به موزه دمشق به شکل پرند با سر شیر بوده که بال‌ها از لاجورد ساخته شده و دارای سر و دم طلایی است، حدوداً متعلق به ۲۶۵۰ ق.م و ارتفاع آن ۱۲ cm است (شکل ۳-۳ Fig.). همچنین اشاره می‌گردد به صفحه‌ای با طرح گاو بالدار از موزه رضا عباسی (شماره اثر ۳۱) که قطر صفحه مدور حدود ۲۸ cm بوده و اثری یکپارچه نیست بلکه متشکل از ده قطعه وصالی شده است (شکل ۴-۴ Fig.).

#### ۵. فرآیند تولید و تحلیل ساختار رنگدانه آبی

##### مصری

آبی مصری یک ماده چند جزئی است که با حرارت دادن ترکیبی از شن، سنگ آهک (و یا شن آهکی)، ترکیبات مس (سنگ مس و براده برنز) و گداز‌آوره‌های قلیایی (سودای طبیعی، ناترون (Natron) و خاکستر گیاهان) در دمایی بین ۸۵۰°C تا ۱۰۰۰°C تولید می‌شود و ساختاری کاملاً بلوری و سخت دارد. در مواجهه با نور دارای ثبات رنگی است و با تغییر فرآیند تولید، انواع رنگ‌های مختلف از آبی تیره تا آبی بسیار روشن را می‌توان به دست آورد (Canti & Heathcote, 2002, p. 831). علت این تفاوت رنگی در ترکیب و روش ساخت آن و همچنین تفاوت‌هایی است که در اندازه دانه‌ها و نسبت‌های ترکیب



شکل ۴: صفحه‌ای با طرح گاو بالدار؛ از جنس سنگ لاجورد؛ ارتفاع ۱۲ cm، عرض ۱۴ cm و ضخامت ۱/۴ cm؛ دوره هخامنشی  
Fig. 4: Part of lapis lazuli disc showing a winged bull in relief; H: 12 cm, W: 14 cm, Th: 1.4 cm; Period: Achaemenian (Seipel, 2001, 232)



شکل ۳: پرند با سر شیر؛ از جنس سنگ لاجورد؛ ارتفاع: ۱۲ cm  
قدمت: حدود ۲۶۵۰ ق.م؛ موزه دمشق  
Fig. 3: Lion-head eagle; lapis lazuli; Height: 12 cm  
Period: 2650 B.C.; Museum of Damascus (Stöllner et al., 2004, 66)

است اکسید قلع (CuO) و یا مالاییت ( $\text{CaSnSiO}_5$ - Malayaite) تولید شود. تایت و همکارانش نیز به منظور به دست آوردن اطلاعات در مورد روش‌های باستانی برای تولید طیف گسترده‌ای از بافت آبی مصری متفاوت به صورت نرم و شکننده تا سخت و نیمه‌شیشه‌ای و در رنگ‌های آبی روشن تا تیره، دریافتند که سیلیس بیش از حد (۵٪ تا ۴۰٪) و بالاتر از آن برای تولید آبی مصری معدنی لازم و ضروری است و مقدار بسیار کم اکسید کلسیم و اکسید مس یکی از ویژگی‌های مکرر آن است (Tite, 1987, p. 34).

به‌طور معمول حرارت در حدود  $900^\circ\text{C}$  برای ترکیبات قلیای بالا و حدوداً  $1000^\circ\text{C}$  برای ترکیبات دارای قلیای کم جهت تولید آبی مصری با بافت درشت و زبر کافی است که این محصول تمایل به رنگ آبی تیره دارد و سختی آن به میزان فاز شیشه‌ای (محتوای قلیا) آن بستگی دارد. مواد با بافت درشت و زبر برای استفاده به‌عنوان پایه و اساس رنگدانه با طیف وسیعی از رنگ (تیره به روشن) از طریق سائیدن به دست می‌آید. در مقابل برای بافت‌های ریز، پخت دومرحله‌ای به همراه سائیدن و خرد کردن و قالب‌گیری به شکل مورد نیاز در میان پخت اول و دوم به‌طور معمول برای تولید استفاده شده است. حرارت دوم بین  $850^\circ\text{C}$  -  $950^\circ\text{C}$  است. اگر محتوای قلیا کم باشد گرایش به آبی روشن و نرم است و اگر مقدار قلیا زیاد باشد متمایل به آبی تیره بوده و سخت است (Moorey, 1994, p. 188-189).

از دیگر علل دگرگونی در رنگ، تفاوت‌هایی است که در ترکیب ساخت آن و همچنین تفاوت در اندازه دانه‌ها و نسبت آن‌ها وجود دارد. رنگ آبی مصری اغلب به صورت رنگدانه‌های نسبتاً درشت یافت می‌شود، چرا که کاهش اندازه دانه‌ها به‌وسیله سائیدن منجر به رنگ‌پریدگی آن می‌شود. بسیاری از اشیاء کوچک در نیمه و اواخر هزاره اول ق.م به‌منظور تسهیل در قالب‌ریزی تقریباً ریزدانه بوده به‌طوری‌که به‌جای آبی تیره، تمایل به روشنی دارند (Lambert, 1984, p. 234).

## ۶. معرفی نمونه‌ها و مطالعات آزمایشگاهی

پرونده ثبتی اشیاء مورد مطالعه، با انجام هماهنگی‌های

آن وجود دارد. بهترین نوع آن، ذرات ریز بوده که در این صورت بسیار رنگ‌پریده است و هنگامی که ذرات آن درشت باشد، رنگ آن تیره خواهد بود (Gettens & Stout, 1966, p. 163).

تحقیقات نشان می‌دهد که تولید اشیاء آبی مصری در دو مرحله پخت مجزا صورت گرفته است. پس از پخت اولیه و سائیدن و خرد کردن ترکیبات ذکر شده، به‌صورت پودر رنگدانه درمی‌آید سپس با افزودن آب و کمی آهک (به‌عنوان بست) به‌صورت خمیر درآمده، پس از قالب‌گیری و فرم‌دهی مجدداً حرارت داده می‌شود. در فرآیند تولید، پخت ثانویه باعث افزایش طیف رنگ آبی و چسبندگی ذرات از طریق رشد کریستال‌ها شده و منجر به سخت شدن مواد می‌شود (Béarat, 2012, p. 6; Schmidt, 1957, p. 134).

از نظر بررسی ساختار می‌توان گفت ماهیت آبی مصری از جمله رنگ آن، بستگی به میزان نسبی اکسید کلسیم و اکسید مس دارد. اگر مقدار اکسید مس بیش از مقدار اکسید کلسیم باشد، بلور آبی مصری شکل گرفته و فریت به‌صورت آبی پررنگ نمایان می‌شود؛ در مقابل اگر مقدار اکسید کلسیم بیشتر باشد ولاستونیت (Wollastonite) و یا دویتریت (Devitrite) شکل گرفته و اکسید مس باقی‌مانده در فاز شیشه‌ای حل شده و آبی روشن تولید می‌شود (Tite, 1987, p. 34).

گردآوری نتایج به دست آمده از بررسی‌های انجام شده بر روی این ماده توسط میرتی (Mirti et al., 1995, p. 438) بدین شرح است؛ چنانچه دما بیش از  $1050^\circ\text{C}$  باشد، رنگدانه تجزیه می‌شود و اگر کمتر از میزان گفته شده باشد نیز، رنگ تغییر شکل داده و تجزیه می‌شود. اگر مواد اولیه با نسبت دقیق با یکدیگر ترکیب نشوند، ترکیبات اضافه‌ای در آبی مصری به وجود می‌آید. اگر شن سیلیسی بیش از حد باشد، فاز سیلیسی (کوارتز، تری‌دیمیت - Tridymite) ایجاد می‌شود؛ اگر مقدار شن و سنگ آهک هر دو زیاد باشند، ولاستونیت (سیلیکات کلسیم  $\text{CaSiO}_3$ ) شکل گرفته و اگر مس زیاد باشد، اکسید مس (تنوریت  $\text{CuO}$  یا کوپریت  $\text{Cu}_2\text{O}$ ) و در صورت وجود بیش از حد شن سیلیسی و گدازآور، فاز شیشه‌ای ایجاد می‌شود. در صورتی که آلیاژ قلع و مس (برنز) استفاده شود، ممکن

لازم در موزه ملی ایران مورد بررسی قرار گرفت. پس از آن‌ها انجام پذیرفت. اطلاعات اشیاء به همراه تصاویر انجام مراحل مستندنگاری دقیق، مطالعات لازم بر روی آن‌ها در جدول ۱ ارائه گردیده است.

جدول ۱: اشیاء مورد مطالعه در موزه ملی ایران (تمامی این اشیاء در شناسنامه موزه‌ای تحت عنوان لاجورد و یا خمیر لاجورد نام‌گذاری شده‌اند)  
Table 1: Studied objects in the National Museum of Iran (All the objects in museum documents named as lapis lazuli or lapis lazuli paste)

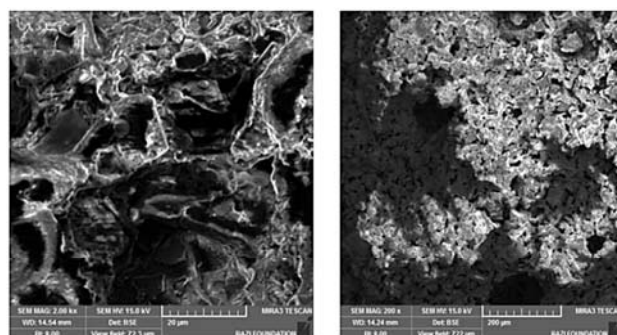
تصویر شیء Illustration	محل کشف Provenience	دوره تاریخی Date	ابعاد Dimensions	نوع شیء Type of object	شماره ثبت اثر Registration number	شماره نمونه Sample no.
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	L: 12.5 cm W: 12.6 cm	پلاک با نقش کنده عقاب با بال‌های گشوده Plaque decorated with an eagle with open wings	436	1
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	H: 6 cm W: 4 cm	سر یک شاهزاده Protome of a prince	1294	2
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	H: 5.5 cm W: 4 cm	هرکول Bes	1246	3
	زیویه Ziwiye	800-600 B.C	L: 14.4 cm W: 11.5 cm H: 4 cm	قطعه‌ای از یک ظرف به شکل پرنده Part of a vessel with an eagle decoration	8408	4
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	H: 8.7 cm	گل میخ Pin	4188	5
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	H: 8 cm	نیم تنه زن Bust of woman	4327	6
	حسنلو Hasanlu	هزاره اول پیش از میلاد 1st mill. BC	H: 11.5 cm	پای گاو Animals hoof	8754	7
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	W: 14 cm	نیم تنه یک شیر Foreparts of lion	1188	8
	حسنلو Hasanlu	هزاره اول پیش از میلاد 1st mill. BC	Diam: 8 cm H: 3.5 cm	آتشدان به شکل شیر که ظرفی را در بغل گرفته است Lion Bowl	4498	9
	تخت جمشید Persepolis	هخامنشی Achaemenid	H: 66 cm Diam: 9.5 cm	کوزه با دسته کوچک تکمه‌ای دارای سطوح رنگی متفاوت از آبی کم‌رنگ تا پر رنگ Jug with small handle with a different surface from pale blue to dark blue	220	10

کسور هلند است. نرم‌افزار تحلیل نتایج X'Pert High Score Plus (V. 3) است. بدین منظور نمونه شماره ۳ به عنوان سست‌ترین اثر و دارای رنگ آبی بسیار روشن انتخاب شد. همچنین نمونه شماره ۱۰ به لحاظ ویژگی خاص آن (تنوع رنگ آبی در سطح اثر با طیف رنگی مختلف از آبی کمرنگ تا پررنگ) انتخاب شد و ترکیب شیمیایی دو نمونه از سطح آن با رنگ‌های آبی کمرنگ و آبی پررنگ به روش XRD، مورد شناسایی قرار گرفت (جدول شماره ۱۳-13 Table).

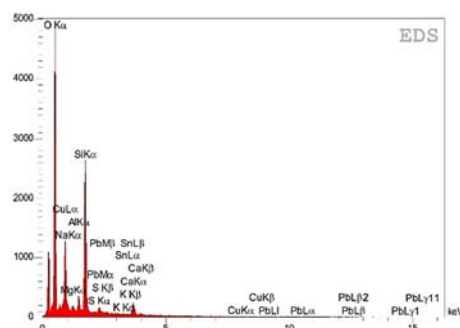
**۶-۱. نتایج آنالیز عنصری به روش SEM-EDX**  
در این بخش تصاویر SEM و طیف EDX و همچنین عناصر متشکله حاصل از آنالیز EDX در هر نمونه بصورت جداگانه ارائه شده است. از ویژگی مشترک عناصر اصلی در تمام نمونه‌های مورد مطالعه، حضور سیلیس، کلسیم و مس می‌باشد همچنین می‌توان به حضور اکسیدهای قلیایی در تمامی نمونه‌ها اشاره نمود. بر اساس تصاویر حاصل از SEM نمونه‌هایی که متمایل به رنگ آبی تیره بوده، درشت بافت و سخت هستند و نمونه‌هایی که دارای رنگ آبی روشن و رنگ پریده می‌باشند ریز بافت و نرم هستند.

همچنین در راستای انجام مطالعات آزمایشگاهی به منظور شناسایی عناصر تشکیل دهنده و مورفولوژی آن‌ها در ریزساختارهای اشیاء مورد مطالعه، آنالیز عنصری کمی و کیفی توسط دستگاه SEM-EDX بر روی آن‌ها انجام گرفت. این آزمایش‌ها در مرکز بنیاد علوم کاربردی رازی انجام شد. دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی نشر میدانی (SEM) مدل MIRA 3، شرکت سازنده TESCAN، به همراه دستگاه اسپکتروفتومتر تفرق پرتوایکس (EDX) ساخت جمهوری چک انجام شد. لازم به ذکر است که تصاویر SEM، به صورت BSE (Back Scatter) تهیه شده است. همچنین نتایج حاصل از آنالیز، به صورت پیک عنصری و درصد عناصر تشکیل دهنده در جداول شماره ۲ تا ۱۲ قابل مشاهده است.

پس از انجام مطالعات به روش SEM و EDX، چند نمونه از اشیاء مورد مطالعه از منظر بافت، میزان سختی اثر و همچنین زمینه رنگی انتخاب شده است و به منظور بررسی ترکیب شیمیایی به روش XRD نیز مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش‌ها نیز در بنیاد علوم کاربردی رازی انجام شد. دستگاه پراش اشعه ایکس (XRD) مدل X'Pert PRO MPD شرکت سازنده Panalytical ساخت



شکل ۶: تصاویر SEM نمونه شماره ۱  
راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر  
Fig 6: SEM images of sample No. 1  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x



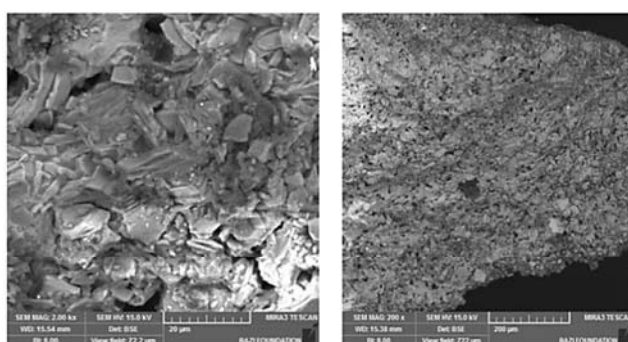
شکل ۵: طیف EDX نمونه شماره ۱  
Fig 5: EDX spectrum of sample No. 1

جدول شماره ۲: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۱

Table 2: EDX analysis of sample No. 1- wt %

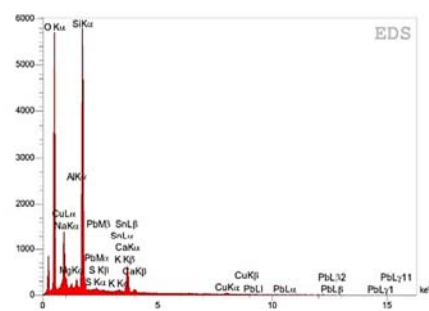
Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cu	Sn	Pb
weight percent	5.11	3.21	6.29	54.53	2.83	1.20	10.58	1.04	3.76	11.44





شکل ۸: تصاویر SEM نمونه شماره ۲  
راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 8: SEM images of sample No. 2  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

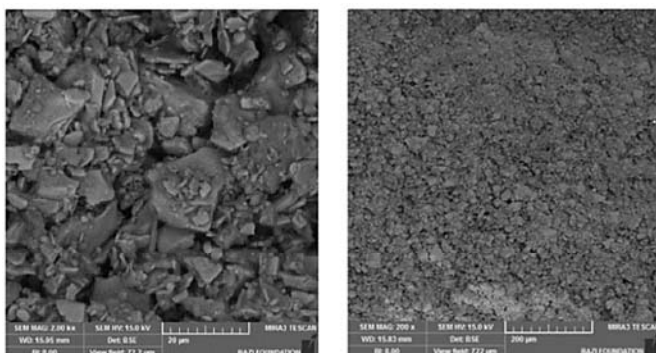


شکل ۷: طیف EDX نمونه شماره ۲  
Fig 7: EDX spectrum of sample No. 2

جدول شماره ۳: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۲

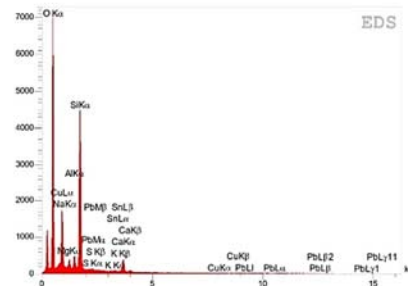
Table 3: EDX analysis of sample No. 2 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cu	Sn	Pb
weight percent	1.25	0.00	0.46	71.85	0.00	0.61	19.04	6.78	0.00	0.00



شکل ۱۰: تصاویر SEM نمونه شماره ۳  
راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 10: SEM images of sample No. 3  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

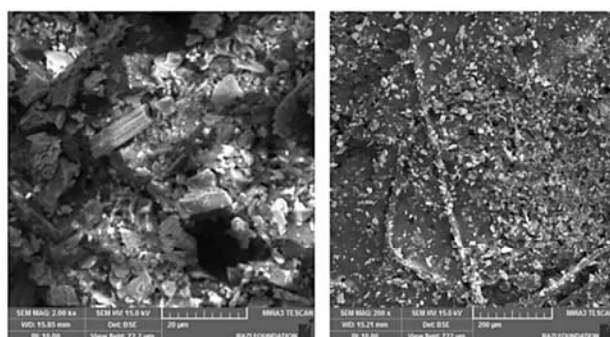


شکل ۹: طیف EDX نمونه شماره ۳  
Fig 9: EDX spectrum of sample No. 3

جدول شماره ۴: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۳

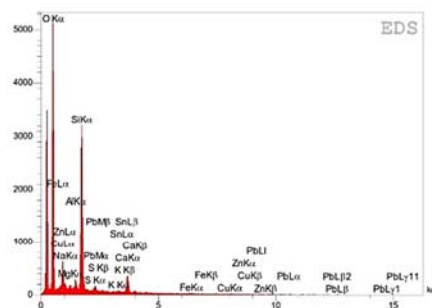
Table 4: EDX analysis of sample No. 3 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Cu	Sn	Pb
weight percent	3.77	4.97	6.46	58.72	1.26	1.63	10.84	0.87	3.88	7.59



شکل ۱۲: تصاویر SEM نمونه شماره ۴

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر  
Fig 12: SEM images of sample No. 4  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

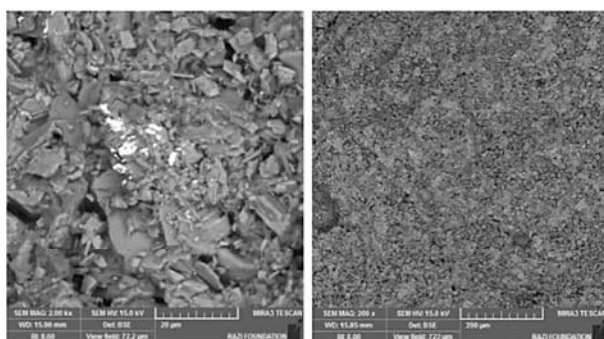


شکل ۱۱: طیف EDX نمونه شماره ۴  
Fig 11: EDX spectrum of sample No. 4

جدول شماره ۵: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۴

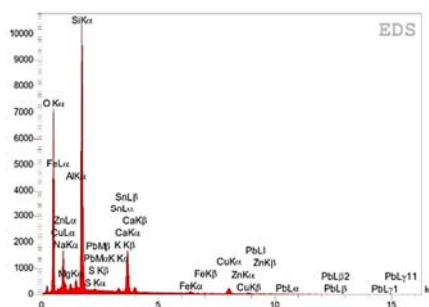
Table 5: EDX analysis of sample No. 4 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	2.84	1.49	3.48	62.54	2.82	1.31	15.40	1.06	2.19	1.53	2.55	2.78



شکل ۱۴: تصاویر SEM نمونه شماره ۵

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر  
Fig 14: SEM images of sample No. 5  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

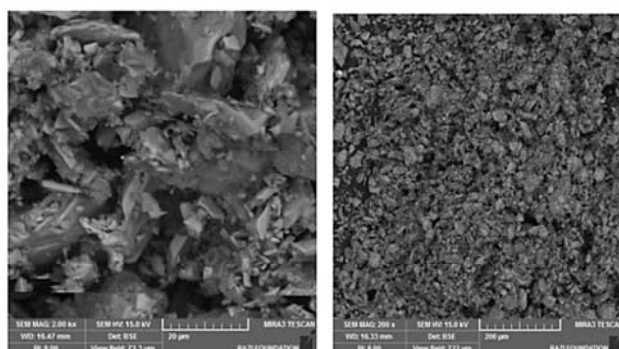


شکل ۱۳: طیف EDX نمونه شماره ۵  
Fig 13: EDX spectrum of sample No. 5

جدول شماره ۶: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۵

Table 6: EDX analysis of sample No. 5 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	2.84	1.49	3.48	62.54	2.82	1.31	15.40	1.06	2.19	1.53	2.55	2.78

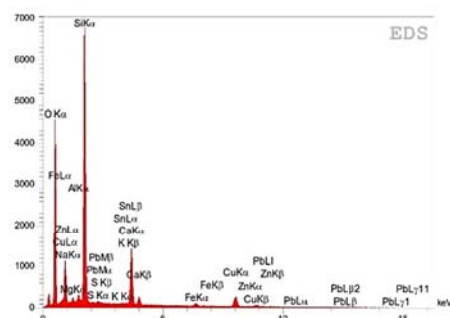


شکل ۱۶: تصاویر SEM نمونه شماره ۶

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 16: SEM images of sample No. 6

Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x



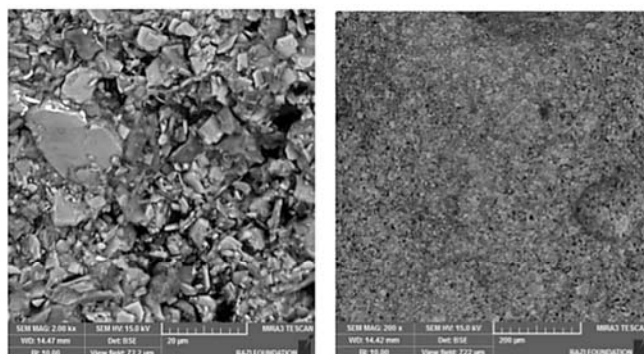
شکل ۱۵: طیف EDX نمونه شماره ۶

Fig 15: EDX spectrum of sample No. 6

جدول شماره ۷: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۶

Table 7: EDX analysis of sample No. 6 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	0.00	0.84	1.26	42.05	0.49	0.42	19.38	2.86	29.51	0.55	1.66	0.99

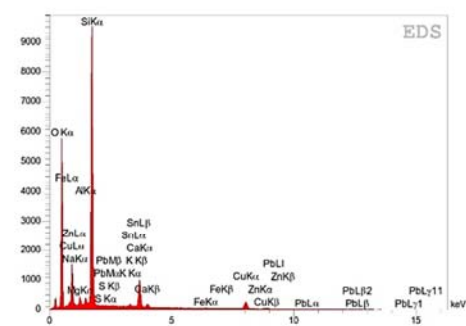


شکل ۱۸: تصاویر SEM نمونه شماره ۷

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 18: SEM images of sample No. 7

Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x



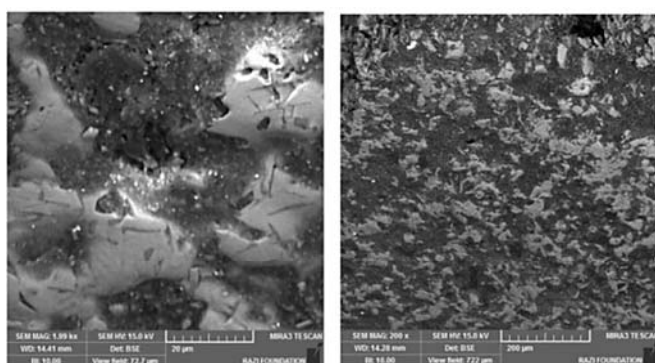
شکل ۱۷: طیف EDX نمونه شماره ۷

Fig 17: EDX spectrum of sample No. 7

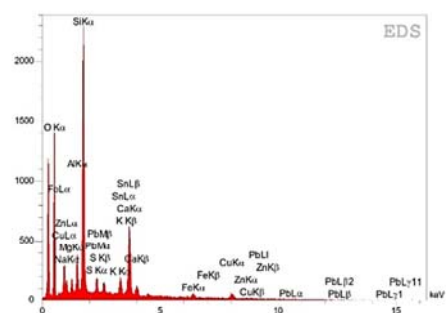
جدول شماره ۸: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۷

Table 8: EDX analysis of sample No. 7 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	0.00	1.63	1.13	54.45	0.19	1.06	12.57	0.64	26.97	0.43	0.92	0.00



شکل ۲۰: تصاویر SEM نمونه شماره ۸  
راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر  
Fig 20: SEM images of sample No. 8  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

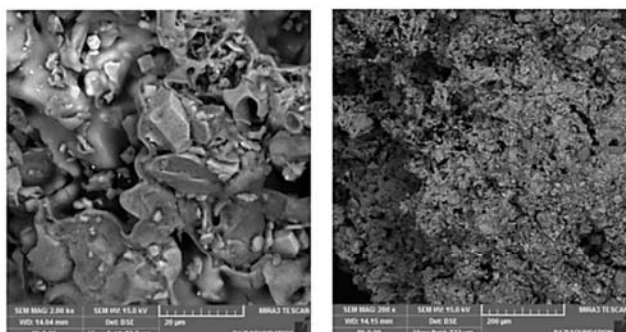


شکل ۱۹: طیف EDX نمونه شماره ۸  
Fig 19: EDX spectrum of sample e No. 8

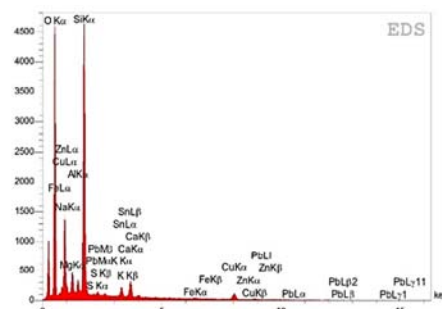
جدول شماره ۹: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۸

Table 9: EDX analysis of sample No. 8 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	1.35	0.92	4.45	39.59	2.86	5.01	24.11	3.59	15.81	2.29	0.00	0.00



شکل ۲۲: تصاویر SEM نمونه شماره ۹  
راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر  
Fig 22: SEM images of sample No. 9  
Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x

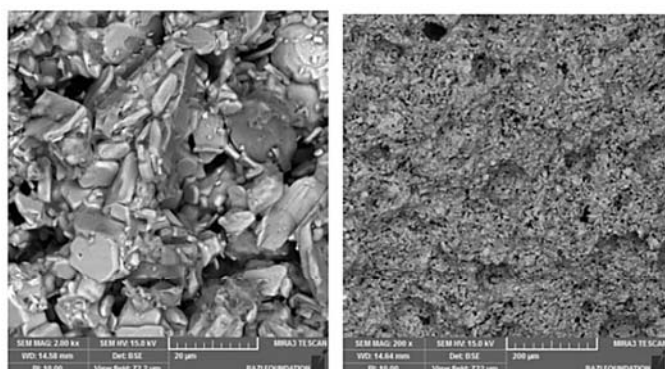


شکل ۲۱: طیف EDX نمونه شماره ۹  
Fig 21: EDX spectrum of sample No. 9

جدول شماره ۱۰: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۹

Table 10: EDX analysis of sample No. 9 - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	0.00	4.22	1.97	55.50	0.74	3.70	7.45	1.53	24.12	0.77	0.00	0.00



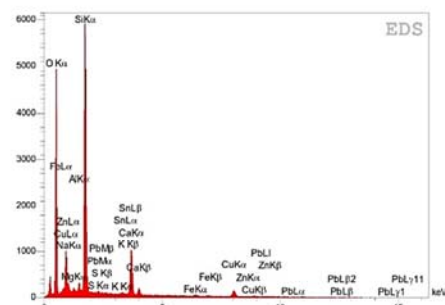
شکل ۲۴: تصاویر SEM

نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۱ نمونه آبی کم‌رنگ)

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 24: SEM images of sample No. 10 (10-1 pale blue)

Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x



شکل ۲۳: طیف EDX

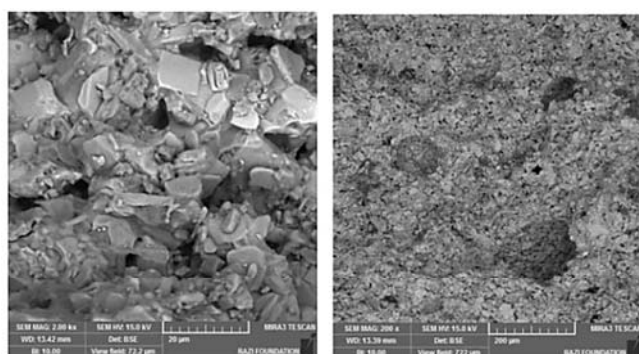
نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۱ نمونه آبی کم‌رنگ)

Fig 23: EDX spectrum of sample No. 10 (10-1 pale blue)

جدول شماره ۱۰: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۱ نمونه آبی کم‌رنگ)

Table 10: EDX analysis of sample No. 10 (10-1 pale blue) - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	0.00	4.22	1.97	55.50	0.74	3.70	7.45	1.53	24.12	0.77	0.00	0.00



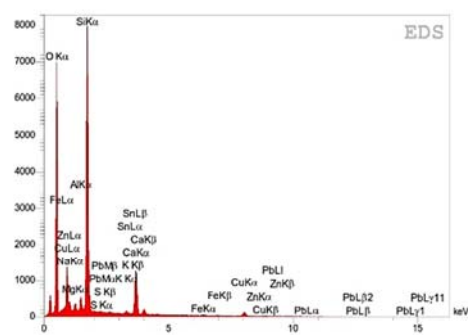
شکل ۲۶: تصاویر SEM

نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۲ نمونه آبی پر رنگ)

راست بزرگنمایی ۲۰۰ برابر - چپ بزرگنمایی ۲۰۰۰ برابر

Fig 26: SEM images of sample No. 10 (10-2 dark blue)

Right: magnified 200x, Left: magnification 2000x



شکل ۲۵: طیف EDX

نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۲ نمونه آبی پر رنگ)

Fig 25: EDX spectrum of sample No. 10 (10-2 dark blue)

جدول شماره ۱۲: نتایج حاصل از آنالیز EDX - درصد وزنی عناصر تشکیل دهنده نمونه شماره ۱۰ (۱۰-۲ نمونه آبی پر رنگ)

Table 10: EDX analysis of sample No. 10 (10-2 dark blue) - wt %

Elements	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Fe	Cu	Zn	Sn	Pb
weight percent	2.50	0.97	1.90	48.69	0.63	0.80	19.60	1.25	21.43	0.56	0.68	0.99

جدول شماره ۱۳: نتایج شناسایی ترکیبی سه نمونه به روش XRD  
Table 13: Chemical composition three samples by XRD

شماره نمونه Sample code	ترکیب شیمیایی Chemical composition	فرمول شیمیایی Chemical formula
3	Cuprorivaite, cyn	CaCuSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub>
	Quartz	SiO <sub>2</sub>
10-1 Pale blue	Cuprorivaite, cyn	CaCuSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub>
	Quartz	SiO <sub>2</sub>
10-2 Dark blue	Cuprorivaite, cyn	CaCuSi <sub>4</sub> O <sub>10</sub>
	Quartz	SiO <sub>2</sub>

$(Na, Ca)_8(AlSiO_4)_6(SO_4, S, Cl)_2$  و مقایسه آن با آبی مصری  $CaCuSi_4O_{10}$  و همچنین نتایج به دست آمده از آزمایش‌های XRD و EDX بر روی نمونه‌های مورد مطالعه و سپس مقایسه نتایج با نمونه‌های شاهد، تمامی آن‌ها بیانگر یک ترکیب شیمیایی‌اند که آبی مصری (کوپروریویت) در آن‌ها شناسایی شد. در مجموعه‌های موزه‌ای گروهی از آثار با طیف رنگ آبی لاجوردی و آبی روشن در ابعاد گوناگون و کاربردهای مختلف تحت عنوان لاجورد و خمیر لاجورد معرفی گردیده‌اند و تحت همین عناوین در کاتالوگ‌ها و مقالات نام‌گذاری شده‌اند که این امر در میان آثار موزه ملی ایران نیز تعمیم داده شده است. با تأکید بر تفاوت قابل توجه منشأ و ماهیت سنگ لاجورد و آبی مصری، اشیایی از این نوع، در دو طبقه‌بندی مجزا قابل تعریف بوده و به‌رغم کاربرد وسیع آبی مصری در ساخت اشیاء و یافته‌های باستان‌شناسی در ایران، به‌کارگیری واژه توصیفی خمیر لاجورد علمی نبوده و غیرقابل استناد است و قطعاً باید از میان واژگان مصطلح موزه‌ای حذف شود و واژه آبی مصری به‌عنوان جایگزینی برای این دسته از آثار عمومیت یابد.

## ۲-۶. بررسی ترکیب شیمیایی سه نمونه به روش XRD

به‌منظور تعیین ترکیب شیمیایی، سه نمونه از اشیاء مطالعاتی به روش XRD مورد بررسی قرار گرفت که بر اساس نتایج به دست آمده، حضور کوپروریویت (آبی مصری) و اکسید سیلیس در هر سه نمونه قابل مشاهده است.

## ۷. نتیجه‌گیری

به‌منظور دستیابی به راهکارهای علمی و اصولی در شناخت این مجموعه از آثار، مطالعات فن‌شناسی تعداد ۱۰ قلم اشیاء محفوظ در موزه ملی ایران مربوط به محوطه‌های تاریخی حسنلو، زیویه و تخت جمشید از هزاره اول پیش از تاریخ تا دوره هخامنشی با رنگ آبی و مشخصه‌های فیزیکی و ظاهری گوناگون، با استفاده از روش‌های دستگاهی میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM و سیستم تجزیه EDX انجام شد. همچنین آزمایش‌های تعیین ترکیب شیمیایی به روش دستگاهی پراش پرتو ایکس XRD نیز، ماهیت اشیاء مورد مطالعه را تعیین نموده است. با توجه به فرمول شیمیایی سنگ لاجورد

## References

- Adib, Dariush. (1990). *World of Gemstones first volume General jewelers*, Tehran: Yadvareh ketab. [in Persian]
- Béarat, H. A. Potential of Low Voltage Scanning Electron Microscopy Use in Archaeology and History of Art: A Preliminary Study.
- Booth-Clibborn, E., & Pürjavādi, N. A. (2001). *The splendor of Iran* (Vol. 1). Booth-Clibborn.
- Cally, Hall. (2009). *Guide to Gemstones*. (M. H. Arab Asadi, Trans.). Tehran: Pazineh. [in Persian] (Original work published 1994).
- Canti, M. G., & Heathcote, J. L. (2002). Microscopic Egyptian blue (synthetic cuprorivaite) from sediments at two archaeological sites in west central England. *Journal of archaeological science*, 29(8), 831-836.
- Daniels, V., Stacey, R., & Middleton, A. (2004). The blackening of paint containing Egyptian blue. *Studies in conservation*, 49(4), 217-230.
- Gettens, R. J., & Stout, G. L. (1966). *Painting materials: a short encyclopaedia*. Courier Corporation.
- Herrmann, G., & Moorey, P. R. S. (2006). Archae-

- ology Lapis Lazuli. (N. Norouzzadeh Chegini, Trans.). *Ancient studies, autumn and winter, the second*, 2, 69-71. [in Persian] (Original work published 1968).
- Holden, M. (1991). *The encyclopedia of gemstones and minerals*. Facts on File.
- Ingo, G. M., Çilingiroğlu, A., Di Carlo, G., Batmaz, A., De Caro, T., Riccucci, C., ... & Faraldi, F. (2013). Egyptian Blue cakes from the Ayanis fortress (Eastern Anatolia, Turkey): micro-chemical and-structural investigations for the identification of manufacturing process and provenance. *Journal of Archaeological Science*, 40(12), 4283-4290.
- Lambert, J. B. (Ed.). (1984). *Archaeological Chemistry—III*. American Chemical Society.
- Mazzocchin, G. A., Rudello, D., Bragato, C., & Agnoli, F. (2004). A short note on Egyptian blue. *Journal of Cultural Heritage*, 5(1), 129-133.
- Mirti, P., Appolonia, L., Casoli, A., Ferrari, R. P., Laurenti, E., Canesi, A. A., & Chiari, G. (1995). Spectrochemical and structural studies on a Roman sample of Egyptian blue. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 51(3), 437-446.
- Moorey, P. R. S. (1994). *Ancient Mesopotamian materials and industries: the archaeological evidence*. Clarendon.
- Schmidt, E. F. (1957). *Contents of the Treasury and Other Discoveries [Persepolis]*. University of Chicago Press.
- Seipel, W. (2001). 7000 years of Persian art masterpieces from the National Museum of Iran, (F. Bahrololoomi-Shapourabadi, Trans.). Tehran: Vienna Kunsthistorisches Museum. [in Persian] (Original work published 2000).
- Stöllner, T., Slotta, R., & Vatandoust, A. (2004). *Persiens antike Pracht: Bergbau, Handwerk, Archäologie: Katalog der Ausstellung des Deutschen Bergbau-Museums Bochum vom 28. November 2004 bis 29. Mai 2005*. Deutsches Bergbau-Museum.
- Tallis, N. (2005). *Forgotten empire: the world of ancient Persia*. Univ of California Press.
- Tite, M. S. (1987). Characterisation of early vitreous materials. *Archaeometry*, 29(1), 21-34.
- Zarmehri, Behrouz. (2009). *Lapis Lazuli from Badakhshan Afghanistan, The researches around precious and semi-precious stone in Iran and the world*, In H. KhajehBeydokhti (ed.), Mashhad: Cultural Heritage Handicrafts and Tourism Organization of Khorasan Razavi. [in Persian].

Arhive