Journal of Research on Archaeometry

DOI: 10.29252/jra.3.2.1

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

Original Paper

Chemical-Mineralogical Analyses of the Exquisite Pottery of Life Cycle from Prehistoric Cemetery of Keshik in Sistan and Baluchistan, Southeast Iran

Yasin Sedghi*[1], Akbar Abedi[2], Mehdi Razani[2], Mohammad Heydari[3]

[1]*M.Sc. in Archaeometry, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN*

[2]*Assistant Professor, Faculty of Applied Arts, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, IRAN*

[3]*Archaeology Expert, Administration of Cultural Heritage of Sistan and Baluchistan, IRAN*

Received: 04/03/2017 **Accepted: 20/06/2017**

Abstract

Notwithstanding the existence of such famous sites as Shar-i Sokhta from the Bronze Age, southeastern Iran represents a lacuna in Iranian archaeology. Chance discovery of the prehistoric, third millennium BC, site of Keshik in Nikshahr, Sistan and Baluchistan Province provides an opportunity to study new archaeological finds from this quarter of Iran. The main part of Keshik was a Bronze Age cemetery, which yielded important metal and ceramic objects, not to mention burial remains. The excavated assemblages included a distinct ceramic jar which warranted more detailed systematic observations by virtue of the symbolic motifs ornamenting its exterior surface. The jar has received the designation the Life Cycle because of these figurative designs arranged in six alternative panels which depict round the upper body of the vessel in a symbolic form the life cycle of a goat. The related panels show: 1) the figure of a goat native to Sistan, 2) the mating of goats, 3–5) the mother goat feeding her baby goat, which gradually grows up from the 3rd to 5th panel, and 6) the baby goat together with its mother. The major archaeological question with regard to this idiosyncratic vessel was its chemical-mineralogical characterization. Hence, a chip specimen was sampled to address such issues as its geological source, manufacturing techniques, firing and kiln conditions, local or foreign provenience, and the nature of pigments involved in the paint. To determine the crystalline constituents, different mineralo-chemical investigations were undertaken. The major phase compositions of the vessel's body as well as the pigments were determined using quantitative X-ray diffraction (QXRD), and scanning electron microscopy with energy dispersive X-ray spectroscopy (SEM/EDX). Also, the the thin-section of the pottery was analyzed by optical microscopy techniques so as to petrographic identification of the minerals. The result of phase identification showed that the sample generally contains quartz, plagioclase, diopside, berlinite calcite, hematite, and enstatite as main crystalline phase constituents. Moreover, mineralo-chemical investigations demonstrated a regional alluvial soil origin related with the Keshik River, suggesting an indigenous provenience for the vessel. Further, the paste lacked any mineral variety. Firing in an oxidizing and reducing atmosphere was also evident given the carbon peaks and the poorly fired gray core of the thin-section. Analyses of the paint used in the decorative designs revealed the presence in the pigment of iron and manganese. The two elements were typically used because of their long-term sustainability and mineral base, and in combination with each other, they created a brown to black tone. In short, the study suggested that the so-called Life Circle jar was locally produced using the local clay on the potter's wheel, was fired at a temperature of 900-1000 °C in a closed oven under

* Corresponding author: yassinsedghi@gmail.com

oxidizing and reducing conditions, and was decorated with a paint containing iron and manganese pigments.

Keywords: Life Cycle Jar, Characterization, Bronze Age, Keshik Cemetery in Sistan and Baluchistan, XRPD, SEM-EDX, OPM.

پژوهه باستان‌سنجی ۱۳۹۶؛ ۳(۲): ۱-۱۴

پژوهه باستان‌سنجی (علمی-پژوهشی)

DOI: 10.29252/jra.3.2.1

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

مقاله پژوهشی

ساختارشناسی خمره‌ی نویافته‌ی سفالی چرخه‌ی زیستی متعلق به گورستان پیش‌ازتاریخی کِشیک سیستان و بلوچستان، جنوب‌شرق ایران

یاسین صدقی[۱*]، اکبر عابدی[۲]، مهدی رازانی[۲]، محمد حیدری[۳]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد باستان‌سنجی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۲. استادیار، دانشکده هنرهای کاربردی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

۳. کارشناس رسمی باستان‌شناسی اداره کل میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۲/۱۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۳/۳۰

چکیده

کشف اتفاقی محوطه پیش‌ازتاریخی کشیک در شهرستان نیک‌شهر استان سیستان و بلوچستان منجر به شناسایی یک گورستان هزاره سوم ق.م. گردید که دربردارنده آثار ارزشمند سفالی، فلزی و بقایای تدفین بود. در این میان یک خمره سفالی یافت گردید که با توجه به اهمیت و نقوش موجود در سطح آن نیازمند بررسی‌های علمی جزئی و دقیق‌تری بود. این خمره سفالی بر اساس نحوه تکرار نقوشش، خمره چرخه *زیستی* نامیده شده است. به‌منظور بررسی فن ساخت، شرایط پخت و کوره، بومی یا وارداتی بودن آن و همچنین شناسایی رنگدانه‌های به‌کاررفته برای ایجاد نقوش با روش‌های آنالیز پراش پرتوایکس به روش پودری (XRPD)، آنالیز طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتوایکس کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX) و مطالعه مقطع نازک سفال (OPM) مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل از روش‌های فوق نشان‌دهنده‌ی استفاده از خاک‌هایی با منشأ آبرفتی و منطقه‌ای رودخانه کشیک دارد که حاکی از منشأ محلی و بومی سفال بررسی‌شده در این منطقه است. همچنین در ساخت خمره هیچ‌گونه تنوعی از کانی‌ها مشاهده نمی‌شود و عمده کانی موجود در آن کوارتز با دانه‌های ریز رسوبی است. در پخت سفال شرایط اکسیداسیون و همچنین احیا را با توجه به حضور پیک کربن (گرافیت) و مغز خاکستری سفال می‌توان اثبات نمود. رنگدانه مورداستفاده جهت تزئین نقوش دارای عناصر آهن و منگنز است که به جهت پایداری و پایه معدنی آن‌ها استفاده شده و در ترکیب با یکدیگر، تنالیته‌ای از رنگ قهوه‌ای تا سیاه را ایجاد می‌نماید.

واژگان کلیدی: خمره منسوب به چرخه زیستی، ساختارشناسی سفال، گورستان کشیک نیک‌شهر بلوچستان، عصر مفرغ، XRPD، SEM-EDX، OPM.

*مسئول مکاتبات: تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، دانشکده هنرهای کاربردی، کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱

پست الکترونیکی: yassinsedghi@gmail.com

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

۱. مقدمه

جنوب شرق ایران شامل استان‌های کرمان و سیستان و بلوچستان امروزی است که مدارک و شواهد به‌دست‌آمده از بررسی‌های باستان‌شناختی این منطقه، نشان از وجود استقرارهای گسترده عصر مفرغ در این گستره‌ی جغرافیایی دارد که دربردارنده فرهنگ‌های هزاره‌ی سوم ق.م. است. گورستان کشیک در منطقه کشیک نیک‌شهر واقع در بلوچستان استان سیستان و بلوچستان از این امر مستثنا نبوده و نیز به دلیل آثار بااهمیت و ارزشمندی که در دل خود جای داده، از مناطق مهم پیش‌ازتاریخی (عصر مفرغ) منطقه محسوب می‌شود. سفال ازجمله فراوان‌ترین آثاری است که در بین تمامی اشیاء تدفینی یافت شده از این گورستان به چشم می‌خورد. از جمله ظروف و اشیاء تدفینی سفالی می‌توان به ظروفی با خمیره‌ی قرمزِ آجری، نخودی و خاکستری ساده و منقوش به فرم‌های کاسه، پیاله‌های آبخوری، قدح و کاسه‌های بسیار بزرگ، انواع خمره و تنگ در اندازه‌های متنوع اشاره کرد[1]. حضور خمره‌هایی به فرم‌ها و نقوش مختلف بخش عمده‌ای از یافته‌های باستان‌شناختی جنوب شرق ایران را به خود اختصاص داده است. ازجمله نقوش برجسته‌ی موجود بر روی ظروف، نقش بز کوهی محلی منطقه بلوچستان است.

نقوش بزکوهی در دوران پیش‌ازتاریخ ایران مورد توجه و استفاده زیادی قرار گرفته است که در آن دوران به حدّی از گسترش رسیده بود که حتّی می‌توان بازمانده‌های آن را در دوران تاریخی ایران هم مشاهده کرد[2]. بی‌شک هویت نقوش چهارپایان ایران، متأثر از شرایط زیست‌محیطی، فرهنگی و آیین این مردم است. می‌توان گفت برخی پدیده‌های هنری از شرایط اجتماعی نحوه زندگی و معاش مردم دوران خود متأثر بوده و نشان‌گر اهمیت بعضی موجودات و موضوعات در طبیعت اطراف است[3]. غلامعلی حاتم در مقاله‌ای تحت عنوان نقش و نماد در سفالینه‌های کهن ایران، بیان می‌کند که قوچ در نظرها یک حیوان بسیار پرقدرت و اسطوره‌ای است و چون مظهر باروری بوده و در گله زایش به وجود می‌آورد بنابراین در نظر مردم بسیار مقدس و محترم بوده است[4]. استفاده از نقش چرخه حیات در ادبیات باستان‌شناسی ایران از هزاره سوم ق.م. در محوطه‌های شهر سوخته و کشیک در جنوب شرق ایران شروع شده و بعدها حتی در دوران هخامنشی در روی ظروف نفیس زرین، سیمین و مفرغین مانند جام ارجان بهبهان به منصه ظهور می‌رسد[5].

گورستان پیش‌ازتاریخی کشیک واقع در منطقه کشیک شهرستان نیک‌شهر در کناره‌ی سد خیرآباد (شکل ۱-Fig; 1) در سال ۱۳۹۱ در پی برخورد بیل مکانیکی در حین عملیات حفر کانال به‌منظور لوله‌گذاری توسط پیمانکار طرف قرارداد شرکت آب و فاضلاب شهرستان نیک‌شهر (آبفا) شناسایی و بلافاصله توسط هیئت باستان‌شناسی اداره کل میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان به سرپرستی محمد حیدری به حفاری‌های اضطراری جهت نجات‌بخشی، ساماندهی، کاوش گورهای مضطرب شده و تعیین حریم آن پرداخته شد[1]. ازجمله آثار قابل‌توجهی که در بین آثار مکشوفه از گورستان کشیک به چشم می‌خورد خمره منسوب به چرخه زیستی (حیات) است. ازاین‌رو با توجه به اهمیت این ظرف به‌عنوان یک شئ آیینی- مذهبی و توجه به مسائل و پرسش‌های موجود در زمینه شرایط و فن ساخت، مواد مصرفی در ساخت خمره به مطالعه و بررسی‌های باستان‌سنجی پرداخته شده است که در ادامه به تشریح و توضیح آن‌ها پرداخته شده است.

۲. روش تحقیق

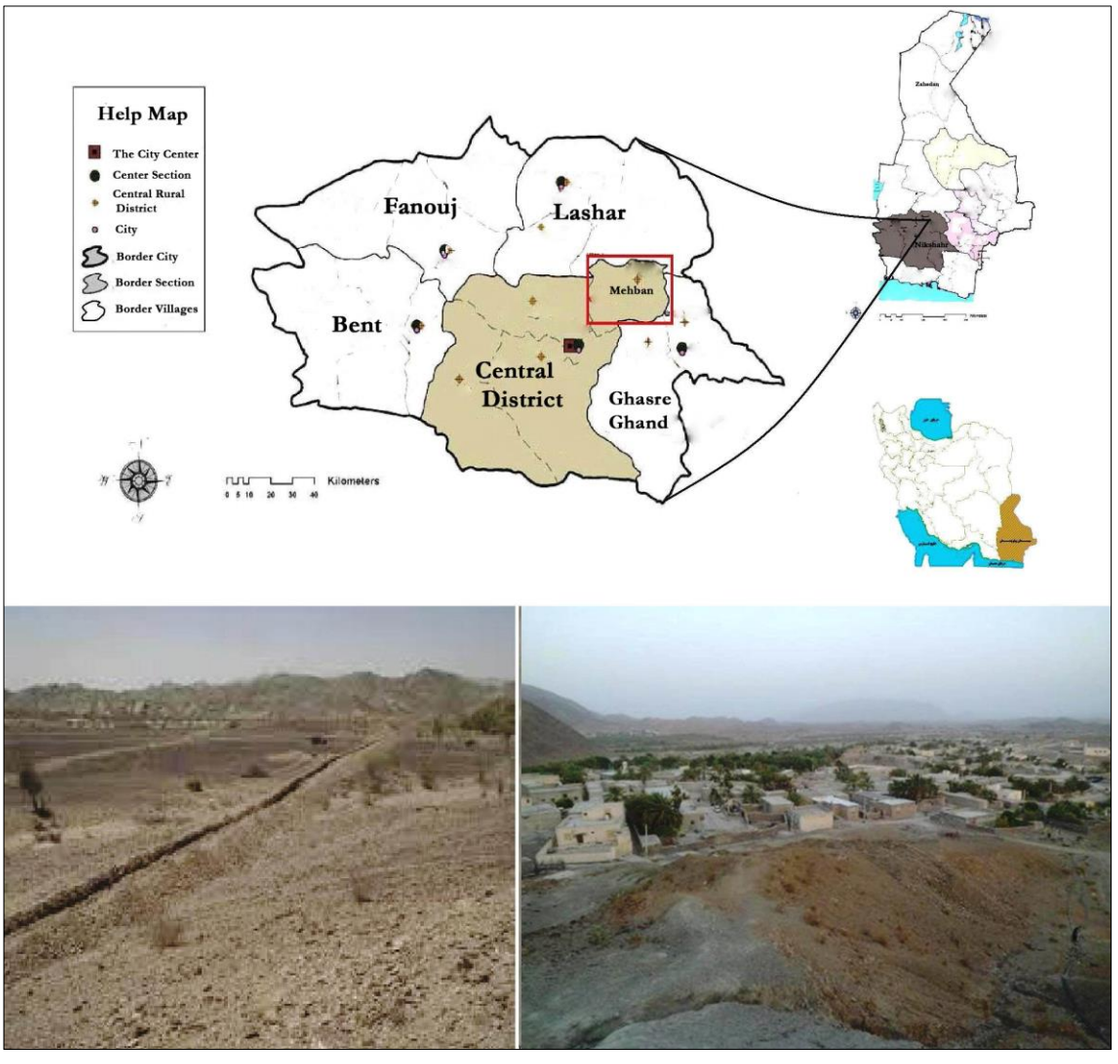
تحقیق حاضر به روش تحلیلی- تجربی و بر مبنای مطالعات میدانی و آزمایشگاهی انجام گرفته است. جهت آشنایی با نمونه مورد نظر، روش‌ها و ابزارهای مطالعاتی و آزمایشگاهی مناسب استفاده شده است. در بخش مطالعات میدانی تحقیق با حضور در منطقه اقدام به مشاهده و ثبت اولیه اثر انجام شد. سپس دیگر اقدامات بعدی ازجمله مستندنگاری وضعیت نمونه و همچنین نمونه‌برداری‌های لازم برای انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در خانه مطالعات باستان‌شناسی استان (این اثر هم‌اکنون در موزه جنوب شرق ایران در زاهدان نگهداری می‌شود) صورت گرفت. در ادامه با استفاده از

مطالعات پتروگرافی مقطع نازک (OPM) و آنالیزهای دستگاهی با روش‌های (XRPD, SEM-EDX) به تحلیل اطلاعات در رابطه با موضوع مورد بحث پرداخته شده است.

۳. گورستان پیش‌ازتاریخی کشیک[1]

روستای کشیک، در شمال شرقی شهرستان نیک‌شهر، با فاصله ۱۸ کیلومتری از مرکز شهرستان واقع است. در قسمت جنوبی آن سد خیرآباد قرار دارد و از طرف شمال به مناطق کوهستانی (قله‌های معروف به بنومه (Benoumeh)) و روستای داروکان (Daroukan) (تنها راه دسترسی به شهرستان نیک‌شهر از کشیک است) وصل می‌شود. و از طرف غرب به روستاهای هیتک (Hitak) و ساربوک (Sarbouk) و مجموع روستاهای دهستان مهبان دسترسی پیدا می‌کند. محوطه باستانی کشیک یا کشیگ (به معنای کناره‌ی رود) نام خود را از محلی به همین نام در حومه شمال شرقی نیک‌شهر در استان سیستان و بلوچستان گرفته است (شکل ۱–Fig; 1)[6].

گورستان کشیک در غرب جاده‌ی نیک‌شهر به قصرقند و در ۱/۵ کیلومتری روستای کشیک قرار دارد و شامل یک محوطه‌ی مسطح با تعدادی از سلسله تپه‌های به هم چسبیده است. مساحت این محوطه در حدود ۳۵ هکتار است که تپه‌های کوچک دیگر مساحتشان از حدود ۲ هکتار تجاوز نمی‌کند. در مجاورت این گورستان،

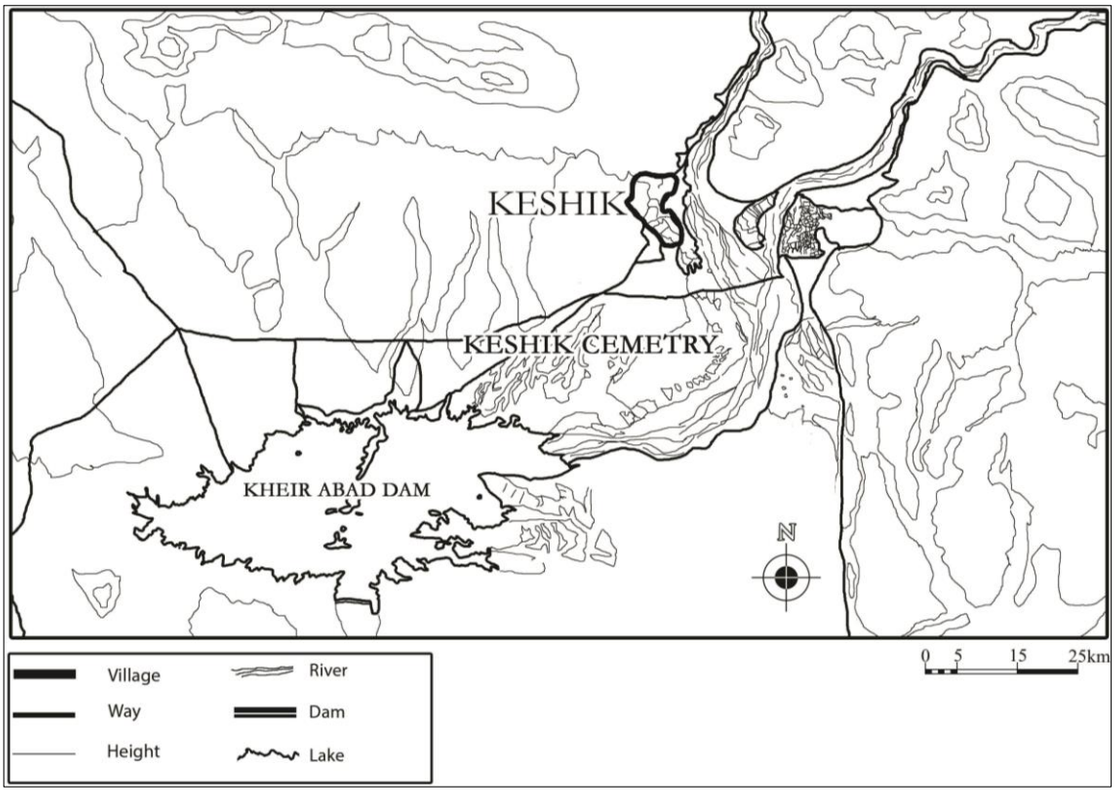


شکل۱: موقعیت گورستان کشیک بر روی نقشه جغرافیایی و منظر فرهنگی آن در کناره روستای کشیک

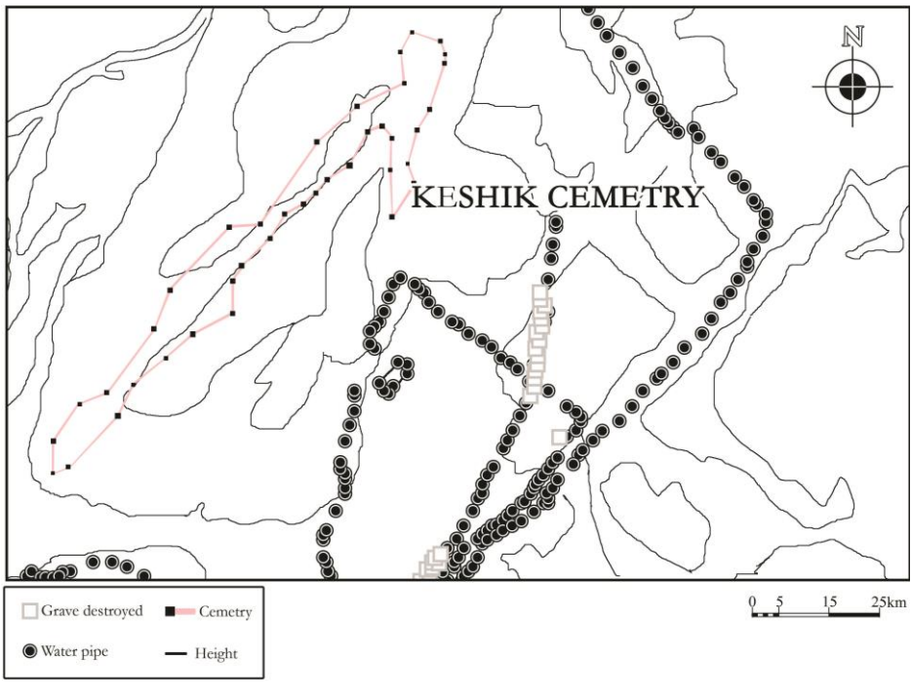
Fig; 1: Location of Keshik Cemetery on the geographical map and its cultural landscape at the edge of Keshik village

گورستان دیگری بر فراز کوهی نسبتاً کم ارتفاع قرار گرفته که دارای گورهای سنگی نسبتاً مشابه‌ای با گورستان کشیک است که دارای آثار شاخصی از دوران مفرغ (۳۰۰۰ – ۱۵۰۰ ق.م.) جنوب شرق ایران است. به سبب فرسایش شدید ناشی از باد و باران، تپه‌های گورستان دارای سطحی صاف و گوشه‌های گرد شده‌اند که می‌توان آن‌ها را به‌صورت ذوزنقه ناقصی مجسم کرد که گودال‌های داخلی و زمین‌های هموار و چسبیده به آن از رسوبات پر شده است. این سلسله تپه‌های کم ارتفاع در بالادست سد خیرآباد واقع شده (شکل ۲– Fig; 2) و از مراکز مهم عصر مفرغ شناسایی شده در جنوب شرق ایران به شمار می‌روند[1,7].

عمده کاوش‌های جنوب شرق ایران در محوطه‌های باستانی شناخته‌شده مانند تل ابلیس، بمپور، تپه یحیی، شهداد و شهر سوخته که سیمای فرهنگ‌های پیش‌ازتاریخ منطقه را مشخص می‌کند. نتایج به‌دست‌آمده از این کاوش‌ها نشان می‌دهد که در هزاره سوم ق.م. (دوره‌های مفرغ قدیم و میانی) فرهنگ توسعه‌یافته‌ای در جنوب شرق ایران وجود داشته است[8]. در سال ۱۹۱۶ م. باستان‌شناس انگلیسی مجاری‌الاصل به نام اورل اشتاین[9] مناطقی از بلوچستان ازجمله نیک‌شهر را موردبررسی قرار داد[10]. همچنین پس از ایشان و در سال‌های اخیر روح‌الله شیرازی بررسی‌های باستان‌شناسی را در منطقه نیک‌شهر انجام داد اما تا سال ۱۳۹۱ هیچ‌گونه کاوش باستان‌شناسی در منطقه صورت نگرفته است. در خردادماه همین سال اداره کل میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان کاوش‌هایی اضطراری در منطقه کشیک این شهرستان انجام داد که از آن جمله می‌توان به کاوش و مستندسازی ۲۶ گور در گورستان کشیک و شناسایی شش گورستان و محوطه نویافته دیگر در پیرامون سد خیرآباد (اشکال ۲ و ۳– Figures 2 & 3) اشاره کرد[1].

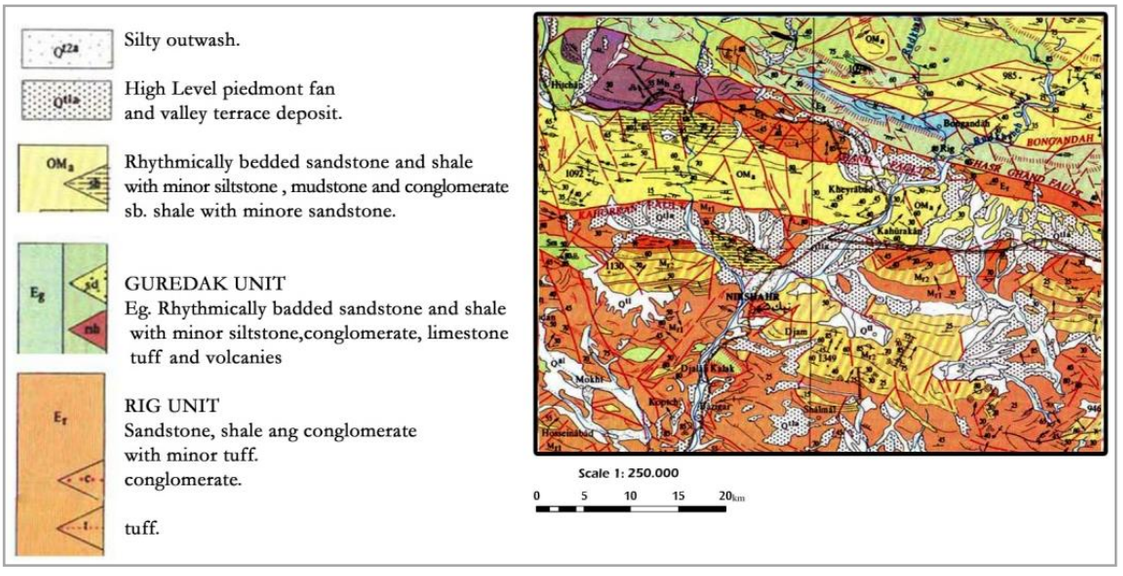


شکل۲: محدوده گورستان کشیک بر روی نقشه و موقعیت قرارگیری آن در کنار سد خیرآباد
Fig; 2: Range of Keshik Cemetery on the map and its position next to the Kheirabad dam



شکل۳: نقشه گورستان کشیک و مسیر خط لوله و قبور تخریب‌شده
Fig; 3: Map of Keshik Cemetery showing the pipeline route and destroyed graves

بر اساس زمین‌شناسی منطقه گورستان کشیک نیک‌شهر، این منطقه در بادزن‌های کوهپایه‌ای کوتاه و نهشته‌های پادگانه‌ای و حدفاصل واحد ریگ قرار گرفته است که بررسی منطقه نشان از ماسه‌سنگ، شیل و کنگلومرا با کمی توف در این ناحیه دارد. اما بخش پایین‌تر این منطقه (سد خیرآباد) دارای تناوب موزون ماسه‌سنگ لایه‌ای و شیل با کمی فورش سنگ، گلسنگ و کنگلومرا است. ناحیه ریگ در بالادست منطقه گورستان دارای تناوب موزون ماسه‌سنگ لایه‌ای و شیل، با کمی سنگ سیلتی است[11] (شکل ۴– Fig; 4).



شکل۴: نقشه زمین‌شناسی منطقه کشیک، بازسازی و تدقیق‌شده[11]
Fig; 4: Reconstructed and refined geological map of Keshik region

۴. مواد و روش‌های آزمایشگاهی

۴-۱. معرفی اثر مورد مطالعه

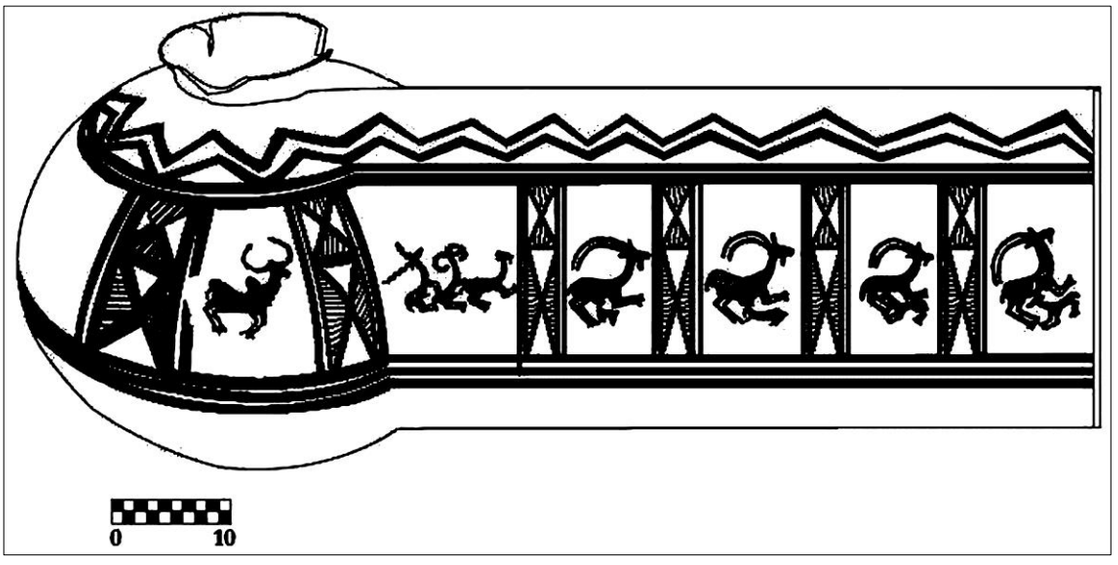
خمره سفالی منقوش تحت عنوان خمره چرخه *زیستی* (حیات) قوچ یا بز محلی استان سیستان و بلوچستان، یکی از آثار مکشوفه گورستان کشیک که آن را باید به خاطر ویژگی‌های فنی و هنری آن با تمامی آثار منطقه متمایز دانست. صنعتگر پیش‌ازتاریخی به‌خوبی توانسته در این اثر، چرخه‌ی حیات بز محلی منطقه را در شش مرحله بر روی شکم خمره‌ی سفالی طراحی کند (شکل ۵-Fig; 5)، که این بخش‌ها شامل مرحله جفت‌یابی حیوان، زایش، رشد و نمو و تغذیه از مادر تا رسیدن به مرحله بلوغ است که این سیر تکاملی با بزرگنمایی مرحله‌به‌مرحله حیوان متولد شده تا تبدیل به یک قوچ کامل به تصویر کشیده شده است (تصویر اول احتمالاً می‌تواند مربوط به یک گاو کوهان‌دار نیز باشد که نیازمند مطالعات باستان‌شناسی است و خارج از حیطه این پژوهش است) (اشکال ۶ و۷- Figs; 6 & 7).

خمره منسوب به چرخه‌ی زیستی کشف‌شده از گورستان کشیک، به علت برخورد بیل مکانیکی، دچار تخریب و آسیب‌های فراوانی ازجمله شکستگی و از بین رفتن قطعات شده است. این شئ در اثر تخریب به حدود ۶۱ قطعه، شکسته و تقسیم شده است. خمره مذکور به دلیل قرار گرفتن آن در شرایط نامناسب کوره در هنگام پخت و عدم توازن در رسیدن اکسیژن به تمامی قسمت‌های آن بخشی از آن احیاء و دچار سوختگی شده و رنگی خاکستری تیره تا روشن را ایجاد نموده است و نیمی دیگر از آن به رنگ قرمز روشن (نارنجی) باقی‌مانده است (شکل ۵-Fig; 5).

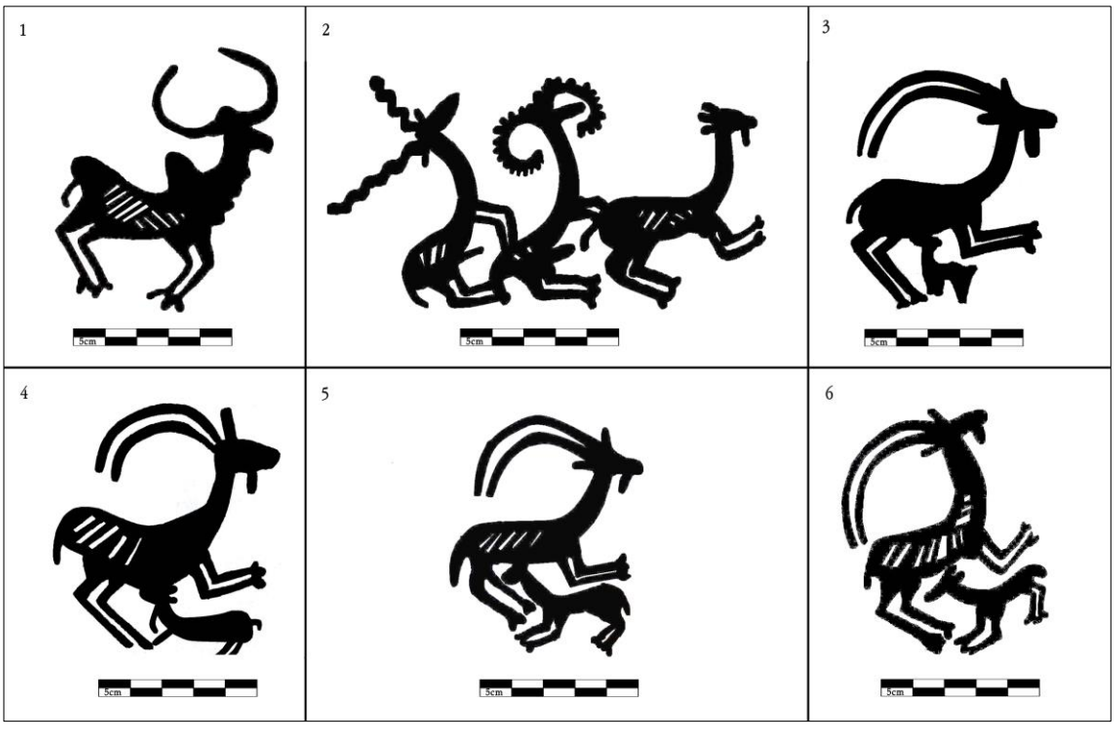
۴-۲. مطالعات آزمایشگاهی

مطالعات آزمایشگاهی شامل آزمون‌های ساختارشناسی است که از طریق تهیه و مطالعه مقطع نازک میکروسکوپی، آنالیز پراش اشعه ایکس به روش پودری (XRPD) و آنالیز طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتوایکس کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDX) انجام شده است که به جهت مطالعه و بررسی خمره منسوب به چرخه زیستی، به‌کار گرفته شده است (جدول ۱-Table 1).

شکل۵: تصویر خمره منسوب به چرخه‌ی زیستی از نمای روبرو
Fig; 5: The so-called Life Cycle Jar, front view



شکل۶: بازطراحی مراحل چرخه: مرحله جفت‌گیری، زایش، رشد و نمو تا رسیدن به مرحله بلوغ
Fig; 6: Redesigning cycle stages: mating Stage, birth, growth and development to reach the maturity stage



شکل۷: بازطراحی مراحل چرخه: مرحله جفت‌گیری، زایش، رشد و نمو تا رسیدن به مرحله بلوغ
Fig; 7: Redesigning cycle stages: mating stage, birth, and growth until the maturity

جدول۱: آنالیزهای دستگاهی، اهداف، مشخصات کلی و مراجع استانداردها
Table 1: Analysis, objectives, general specifications and standard references

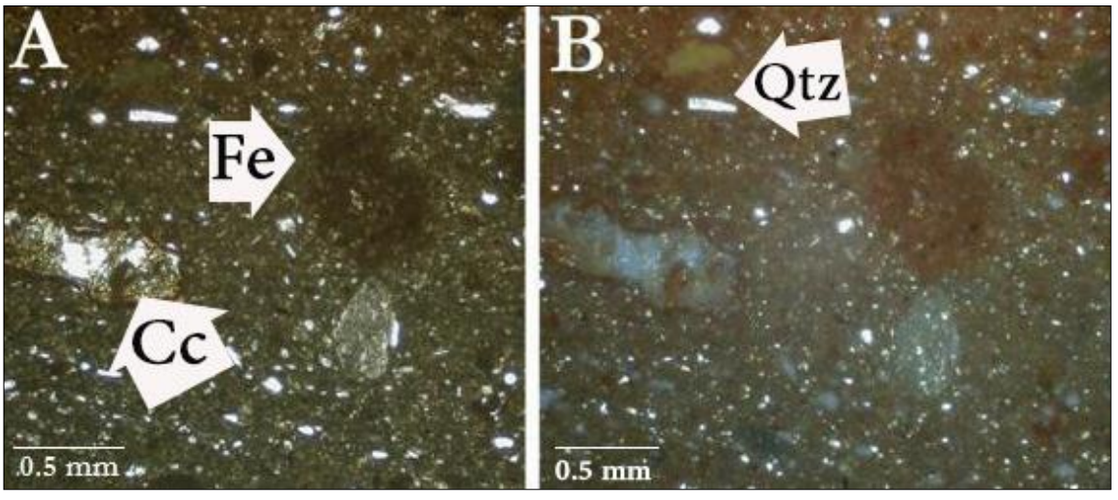
آزمون‌ها Exams	آزمایش موردنظر Analysis	اهداف آزمون Analysis purposes	تجهیزات و مدل دستگاه‌ها Model Equipment and Devices	محل انجام آنالیز Laboratory
ساختارشناسی Structural	پتروگرافی Petrography (OPM)	شناخت کانی‌ها، بررسی ماتریکس سفال، تمپرها و نوع مواد افزودنی Identification of Minerals, Matrix and Temper	میکروسکوپ پلاریزان، مدل Nikol، شرکت Olympus ژاپن Polarized Microscope, Model Nikol,	آزمایشگاه پتروگرافی دانشکده علوم طبیعی دانشگاه تبریز Petrographic Laboratory, Faculty of Natural Sciences, Tabriz University
	پراش پرتوایکس به روش پودری X-ray Powder Diffraction (XRPD)	شناسایی فازهای کریستالی و بررسی مینرالوژیکی Identification of crystalline and Mineralogical Phases	مدلBruker D8 ساخت کشور کانادا، تحلیل با استفاده از نرم‌افزار XpertHighscore 2004 Model Bruker D8, Made in Canada, XpertHighscore 2004	آزمایشگاه گروه مواد دانشگاه صنعتی سهند، تبریز Laboratory Materials Engineering Faculty, Sahand University of Technology, Tabriz
شناخت ترکیب شیمیایی Chemical Composition	طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتوایکس کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی روبشی Scanning electron microscopy and energy dispersive x-ray spectroscopy (SEM-EDX)	به‌منظور شناخت ترکیب شیمیایی بدنه و رنگدانه نقوش Identify the Chemical Composition of pottery and pigments	مدل INCAx- Sight ساخت کشور انگلستان Model INCAx- Sight, Made in England	آزمایشگاه گروه مواد دانشگاه صنعتی سهند، تبریز Laboratory Materials Engineering Faculty, Sahand University of Technology, Tabriz

۵. نتایج و تحلیل مطالعات آزمایشگاهی

۵-۱. آنالیز پتروگرافی

برای شناسایی ساختار و کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی خمره، بررسی ترکیب، بافت و همچنین تعیین درجه‌ی حرارت پخت سفال بر اساس وجود و یا عدم وجود بعضی کانی‌ها، به بررسی و مطالعه‌ی مقطع نازک در زیر میکروسکوپ پلاریزان پرداخته شد[12]. در همین راستا برای ساخت مقطع نازک، در ابتدا قطعات ریز و خردشده‌ی بدنه خمره که امکان وصالی مجدد آن‌ها فراهم نبود، انتخاب و اقدام به نمونه‌برداری در ابعاد تقریباً 1 cm^2 شد، سپس برای از بین بردن خراش‌ها و اثرات تیغه موجود بر روی نمونه عمل سایش انجام گردید و درنهایت توسط چسب اپوکسی به لام شیشه‌ای چسبانده شد. در ادامه توسط مواد ساینده‌ای همچون اکسید آلومینیوم جهت رسیدن به ضخامت استاندارد ۳۰μm ساب داده و پس از بررسی دقیق و تأیید ضخامت برای پوشش‌دهی و مراقبت از آن کاور داده شده و آماده مطالعه در زیر میکروسکوپ گردید (شکل ۸-Fig; 8 و جدول ۲-Table 2).

در ساخت خمره تنوع فراوانی از کانی‌ها دیده نمی‌شود و بافت نمونه به‌صورت ریزبلور یا سیلتی است (شکل ۸-Fig; 8 و جدول ۲- Table 2). کانی اصلی موجود در خمره کانی کوارتز است که به دو فرم تک‌بلور (Q (Clean)) و چند بلوری یا ابری (Q (Cloudy)) همراه با اکسید آهن (Fe-Oxid) در تمام نمونه وجود دارد. در مقطع نازک مشاهده شده، قطعات کوارتز به‌صورت دانه‌ریز و دارای پراکندگی یکدست و همسانی در بافت سفال است،



شکل۸: تصاویر میکروسکوپی خمره زیستی، طول میدان دید 2.7 mm، بزرگنمایی ۴۰۰ برابر، تصویر سمت راست B نور XPL و تصویر سمت چپ A نور PPL، بافت سیلتی، Fe: آهن کلوئیدی با رنگ قرمز– قهوه‌ای، Qtz: کانی کوارتز با رنگ روشن، ریزبلور و فراوان به‌صورت شناور در زمینه رسی دیده می‌شود، Cc: کلسیت ثانویه.

Fig; 8: Micrographe of the Life Cycle Jar, the Length of view field 2.7 mm, magnified 400 times, the right image (B) XPL light and the left image (A) PPL light, silty texture, Fe: Colloid iron with red-browncolor, Qtz: Quartz mineral with bright color, fine and abundant crystal is seen as float in clay, Cc: Secondary calcite.

همچنین این کانی‌ها دارای زاویه‌های گرد و مدوری هستند که گواهی بر منشأ رسوبی و فرسایش آن‌ها است [13,14].

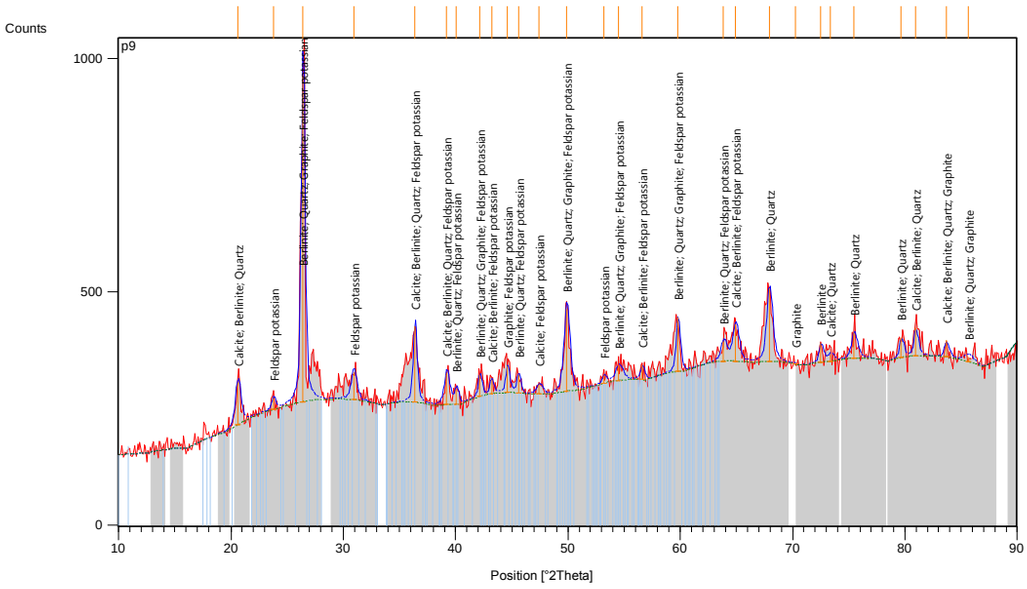
کانی دیگر موجود در نمونه ذرات آهن کلوئیدی است که با رنگ تفاضلی قرمز تا تیره در تصاویر میکروسکوپی کاملاً مشخص است. همچنین از دیگر اجزاء سازنده که دیده می‌شود می‌توان به قطعات رسی یا سیلتی اشاره نمود که به مقدار محدود در نمونه دیده می‌شود. علاوه بر دانه‌های پراکنده در بافت سفال در فضاهای خالی موجود در این نمونه مقدار کمی کانی کلسیت ثانویه می‌توان مشاهده کرد. این کانی دارای رنگ تفاضلی روشن بوده و اکثراً در حاشیه‌ی داخلی فضاهای خالی و در حاشیه‌ی بیرونی سفال‌ها دیده می‌شود. کانی کلسیت و کانی‌های دارای بنیان کربنات به دلیل اینکه در درجه حرارت $750–850^{\circ}C$ از بین می‌روند، در مطالعه سفال‌ها به‌عنوان شاخص حرارتی در نظر گرفته می‌شوند[15]. تشکیل کلسیت ثانویه می‌تواند در زمان پخت و با افزایش فشار ناشی از حضور CO_2 بعد از زمان تجزیه کلسیت اولیه و شکل‌گیری آهک آزاد به‌صورت CaO در بافت و یا به مرور زمان در محیط دفن بر اثر تجزیه‌ی فازهایی چون گلنیت و آنورتیت ثانویه یا جذب دی‌اکسیدکربن هوا توسط پرتلندیت ($Ca(OH)_2$) رخ دهد[16].

درجه حرارت پخت سفال در نمونه‌های فاقد کلسیت بیش از $800^{\circ}C$ و در نمونه‌های کلسیت‌دار کمتر از $800^{\circ}C$ تخمین زده می‌شود[17,18]. ازاین‌رو با توجه به وجود کانی کلسیت در رسوبات منطقه و وجود آن در سفال مورد بررسی می‌توان گفت خمره کشیک احتمالاً دمایی کمتر از $800^{\circ}C$ را در شرایط پخت متحمل شده است.

جدول۲: ترکیب ساختاری خمره بر اساس آنالیز پتروگرافی، در این جدول خمره منسوب زیستی با کد KSH1 نام‌گذاری شده است.

Table2. Structural composition of the Life Cycle Jar (here designated as Sample KSH1) based on petrographic analysis

Sample No.	Qtz (Clean)	Qtz (Cloudy)	Grog	Fe-oxid	Cc	Texture
KSH1	❋	❋	❋	❋	❋	Fine



شکل۹: دیاگرام XRPD نمونه مورد نظر، نشان‌دهنده‌ی فازهای کوارتز، گرافیت، برلینیت، کلسیت و فلدسپار پتاسیم است.

Fig; 9: XRPD Diagram of desired Sample Represents the Quartz, Graphite, Berlinite, Calcite and PotassiumFeldspar phases.

۵-۲. آنالیز نمونه به روش XRPD

جهت شناسایی و تشخیص فازهای کریستالی موجود در نمونه و همچنین تعیین وجود یا عدم وجود فازهایی که در مقطع نازک قابل مشاهده نیستند از آنالیز XRPD در یک نمونه از قطعات شکسته و خرده شده خمره زیستی به مقدار ۰/۵ g با روش پودری به‌وسیله‌ی دستگاه دیفراکتومتر انجام گرفت. لامپ تیوپ تولیدکننده‌ی پرتوایکس آن از جنس مس (Cu) بوده که با اختلاف‌پتانسیل ۴۰KV و شدت‌جریان ۳۰mA، پرتوایکس موردنیاز را تولید می‌کرد. آزمایش XRPD روی نمونه از زاویه ۱۰ تا ۹۰ درجه برای نمونه 2θ = 10-90 انجام شد (شکل ۹– Fig; 9 و جدول ۳ –Table 3).

با توجه به طیف آنالیز XRPD در نمونه مورد نظر، فازهایی همچون کوارتز، کلسیت، گرافیت، برلینیت، و فلدسپار پتاسیم شناسایی گردید. از شاخص‌ترین فازهای شناسایی شده در سفال، کانی کوارتز است که البته در بررسی مطالعه مقطع نازک سفال نیز مشاهده شد. وجود هسته‌ی خاکستری روشن در بخش‌هایی از مقاطع دلیلی بر شناسایی فاز گرافیت و نشانه‌ای از وجود کربن در بافت سفال است. علت شکل‌گیری این فاز، نشست کربن در اثر عدم توازن در رسیدن اکسیژن به سفال در کوره و سیاه شدن مغز خمره است. فلدسپار پتاسیم و برلینیت از دیگر فازهای شناسایی شده در بافت سفال هستند. برلینیت از دسته فازهایی است که احتمالاً از محیط اطراف دفن وارد بافت سفال شده است[19]. کلسیت یکی از فازهایی است که در بررسی‌های میکروسکوپی نیز مشخص شد. همان‌طور که قبلاً ذکر شد این فاز می‌تواند بیان‌کننده یک شاخص حرارتی به جهت تخمین دمای پخت سفال نیز باشد (شکل ۹–Fig; 9 و جدول۳–Table 3).

جدول ۳: فازهای کریستالین شناسایی شده در آنالیز XRPD

Table 3: Crystalline phases identified in the XRPD analysis

No.	Compound Name	Chemical Formula	Ref. Code
1	Calcite	$CaCO_3$	00-003-0593
2	Berlinite	$AlPO_4$	01-071-1043
3	Quartz	SiO_2	01-085-0504
4	Graphite	C	01-075-1621
5	Feldspar potassian	$K_5Na_5AlSi_3O_8$	01-084-0710

جدول ۴: نتایج ترکیب شیمیایی بدنه خمره با استفاده از آنالیز SEM-EDX
Table 4: Chemical composition of the vessel's body by SEM-EDX analysis

ELT	CO_2	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	Cl	PbO
%W	42.08	29.01	13.83	2.11	5.70	1.13	2.71	2.18	0.09	0.31	0.38	0.40

۵-۳. آنالیز نمونه به روش SEM-EDX

شناسایی ترکیبات شیمیایی و عناصر موجود در بدنه خمره و رنگدانه مورد استفاده در نقوش نمونه مورد نظر با استفاده از آنالیز طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتوایکس کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی روبشی و به‌صورت نقطه‌ای صورت گرفت. ترکیبات شناسایی‌شده برای بدنه در جدول شماره ۴ و رنگدانه در جدول شماره ۵ نمایش داده شده است. به همین جهت از دستگاه آنالیز طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتوایکس کوپل شده به میکروسکوپ الکترونی روبشی استفاده شد، این دستگاه دارای فیلمان انتشار میدانی (Field Emission) بوده و در دو حالت خلأ بالا و خلأ پایین کار می‌کند. قدرت آن تا ۱ nm و قدرت بزرگنمایی تا ۱ میلیون برابر با اعمال ولتاژ ۳۰KV است.

۵-۳-۱. نتایج آنالیز بدنه خمره

نمونه‌برداری به جهت انجام آنالیز فوق از مغز سفال صورت گرفت که برای انجام آن از روش آنالیز نقطه‌ای استفاده شده است. بیشترین عناصر شناسایی شده در نقاط آنالیزی مربوط به دی‌اکسید کربن با ۴۰/۰۸، اکسید سیلیسیم (SiO_2) با ۲۹/۰۱ و اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) با ۱۳/۸۳ درصد وزنی است، همچنین مقادیر اکسید منیزیم (MgO)، اکسید سدیم (Na_2O)، اکسید پتاسیم (K_2O)، اکسید آهن (Fe_2O_3)، اکسید کلسیم (CaO)، به ترتیب برابر با ۵/۷۰، ۲/۷۱، ۲/۱۸، ۲/۱۱، ۱/۱۳ درصد وزنی است. با توجه به عناصر مشخصه بدنه خمره می‌توان به ساختار رسی آن پی برد. همچنین عناصر شناسایی شده در این آزمایش نتایج حاصله از روش‌های پتروگرافی و پراش پرتوایکس را تائید می‌نماید (جدول ۴- Table 4).

۵-۳-۲. نتایج آنالیز رنگدانه نقوش

در دوران پیش‌ازتاریخ از خاک‌های طبیعی به‌عنوان رنگدانه استفاده می‌شده است. این رنگدانه‌ها در آثار هنری سرتاسر دنیا و همچنین در تمامی دوره‌های تاریخی یافت شده است، که شاید به علت دسترسی آسان به آن، ظرفیت‌های بالای رنگ‌آمیزی و ثباتشان در برابر نور و شرایط آب و هوایی متفاوت بوده است[20]. مطالعه رنگدانه‌های نقوش به‌کاررفته در تزئینات سفال‌ها نقش بسیار مهمی را در مطالعات باستان‌شناسی ایفا می‌کند، به همین جهت از رنگدانه‌های موجود بر سطوح سفال و نقوش آن‌ها به جهت شناخت و درک بهتر، آنالیز عنصری گرفته شد.

بیشترین عناصر شناسایی شده در رنگ‌های خمره شامل اکسید آهن (Fe_2O_3) با ۴۳/۰۵، دی‌اکسید کربن با ۳۰/۹۴، اکسید منگنز (MnO) با ۷/۱۲ درصد وزنی هستند؛ همچنین مقادیر کم اکسید کلسیم (CaO) با ۳/۵۴، اکسید آلومینیوم (Al_2O_3) با ۳/۵۲ و کلر (Cl) ۲/۳۹ درصد وزنی است. اکسیدهای آهن عموماً بیشترین کاربرد را در استفاده به‌عنوان رنگدانه داشته است. این رنگدانه‌ها به‌طور طبیعی و به‌صورت فرم‌های متفاوت در تمام مناطق زمین به دست می‌آیند. دامنه رنگدانه‌های اکسید آهن از زرد تیره تا قرمز، زرشکی و قهوه‌ای است. ته‌مایه‌های رنگ آن، در ابتدا بستگی به میزان هیدراسیون ماده معدنی و همچنین به میزان اندازه ذرات، شکل و ترکیب آن با دیگر مواد معدنی بستگی دارد. همچنین آنیدراسیون اکسیدهای آهن همانند Fe_2O_3 باعث متمایل شدن رنگ به سمت ارغوانی- قرمز تا ته‌مایه‌های قرمز خرمایی می‌شود. همچنین هیدراته شدن اکسیدهای آهن (همانند $Fe_2O_3.nH_2O$) باعث تمایل پیدا کردن رنگ آن به سمت قرمز گرم و زرد می‌شود. اکسیدهای آهن به‌شدت ترکیبات پایداری در مقابل مواد اسیدی، قلیایی (ضعیف تا متوسط) و همچنین تابش نور هستند. شواهد اثبات نموده است که بسیاری از جوامع دوران پیش‌ازتاریخ از رنگدانه‌های اکسید آهن در زینت بخشیدن سرامیک‌ها استفاده نموده‌اند. اکسیدهای منگنز ترکیبات مهمی در گروه رنگدانه‌ها

جدول ۵: ترکیب شیمیایی رنگدانه به‌کاررفته در نقوش خمره
Table 5: Chemical composition of the pigments used in the painted designs of the jar

ELT	CO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MgO	CaO	Na_2O	K_2O	MnO	P_2O_5	Cl	PbO
%W	30.94	3.52	43.05	0.61	3.54	0.1	0.85	7.12	0.05	2.39	0.58

بشمار می‌روند که دامنه‌ای از قهوه‌ای مایل به زرد تا سیاه را در بر می‌گیرد. اکسید منگنز از مواد معدنی همچون پیرولوزیت (Pyrolusite)، دیمورف (Dimorph) و رامسدلیت (Ramsdellite) (MnO_2) حاصل می‌شود. همچنین این رنگدانه‌ها در تزئین بسیاری از سفالینه‌های دوران پیش‌ازتاریخ به‌کار رفته‌اند[21]. ازاین‌رو با توجه به ترکیب رنگ متمایل به سیاه رنگدانه‌های نقوش این ظروف، و همچنین با شناسایی و اندازه‌گیری مقادیر عناصر آن، که اکسید آهن بیشترین میزان و اکسید منگنز در رتبه بعدی قرار دارد؛ می‌توان این موضوع را به اثبات رساند که پایه‌ی رنگ نقوش سفال، اکسید آهن به همراه مقادیری اکسید منگنز است. ترکیب دو رنگدانه با پایه‌ی اکسیدآهن باعث به وجود آمدن رنگی متمایل به قهوه‌ای تیره تا سیاه می‌شود (جدول ۵– Table 5).

۷. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با توجه به شاخص بودن و اهمیت خمره سفالی چرخه‌ی حیات، واقع در موزه جنوب شرق کشور (موزه زاهدان)، این پژوهش باهدف مطالعه‌ی باستان‌سنجی و ساختارشناسی ظرف موردنظر در جهت دستیابی به اطلاعات فنی (میزان حرارت، فن ساخت و شرایط کوره) و شناسایی نوع رنگدانه انجام شده است. نتایج مطالعات آزمایشگاهی همچون پتروگرافی نشان از بافت سیلتی ریزبلور غنی از کانی‌های کوارتز (به دو فرم تک‌بلور و پلی‌کریستالین) را دارد. کانی‌های کوارتز دارای لبه‌های مدور و بدون زاویه هستند که این دلیلی بر منشأ رسوبی و آبرفتی بودن آن‌ها دارد. با توجه به وجود رودخانه کشیک در این منطقه می‌توان این عامل را که سفالگر پیش‌ازتاریخی از خاک‌های منطقه‌ای آبرفتی رودخانه برای ساخت خمره استفاده نموده است را تا حدودی محتمل دانست. از اجزاء دیگر مشاهده‌شده در مقطع نازک قطعات گراگ، اکسیدهای آهن و کلسیت ثانویه هستند که تمامی این کانی‌ها به‌وسیله‌ی آنالیز XRD مورد تأیید و تصدیق واقع شده‌اند. احتمالاً به علت قرارگیری نامناسب خمره در کوره، و یا نوسانات دمایی و حرارتی کوره با دور و نزدیک بودن نسبت به منشأ حرارت بخشی از آن دارای رنگ خاکستری تیره تا روشن گردیده است (نقص فنی در پخت) که با توجه به این حالت و مغز خاکستری–روشن سفال می‌توان مشاهده کرد، این حالت را در بررسی آنالیز XRPD و شناسایی فازهای گرافیت می‌توان به اثبات رساند. در بررسی‌های انجام‌شده بر روی رنگدانه قهوه‌ای –سیاه سفال به‌وسیله‌ی آنالیز SEM-EDX وجود رنگدانه حاوی کانی آهن و منگنز مشخص شده است. این عامل نشان از به‌کارگیری مواد معدنی پایدار در ایجاد نقوش تیره دارد. با توجه به جمع‌بندی تمام بحث‌ها و آزمایش‌های صورت گرفته بر روی خمره، منشأ بومی و منطقه‌ای آن را با توجه به استفاده از خاک‌های منطقه، دمای پخت نهایت $850^{\circ}C$، فن ساخت چرخ‌ساز (جهت‌گیری حفرات و دانه‌ها به یک جهت) و کوره بسته با شرایط اکسیداسیون، و به‌کارگیری رنگدانه‌های معدنی آهن (هماتیت) و منگنز در نقوش پیشنهاد می‌گردد. با توجه به موارد ذکرشده، به دلیل جلوگیری از آسیب‌ها و تخریب‌های بیشتر، اولویت‌دهی روش‌های درمانی پیشگیرانه و حفاظتی با توجه به شناخت ساختاری خمره پیشنهاد می‌شود.

سپاسگزاری

بدین‌وسیله نگارندگان لازم می‌دانند از تمامی کارکنان اداره کل میراث فرهنگی استان سیستان‌وبلوچستان و نیز آقایان سید ایرج بهشتی (آزمایشگاه پتروگرافی پژوهشکده حفاظت و مرمت، تهران)، مهندس مصیب‌زاده (کارگاه پتروگرافی دانشگاه تبریز)، نیوشا مومنی، خانم فرح‌انگیز صبوحی و مرضیه جلیلی و تمامی عزیزانی که در این پژوهش همکاری داشته‌اند تشکر و قدردانی نمایند.

Reference

[1] Heydari M. Reporting speculation and organizing Keshik cemetery of Nikshahr city. Zahedan: Administration of cultural heritage, handicrafts and tourism organization of Sistan and Baluchistan [unpublished report]; 2013.[in Persian]
[حیدری محمد. گزارش گمانه‌زنی و ساماندهی گورستان کشیک شهرستان نیک‌شهر. زاهدان: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان وبلوچستان (گزارش منتشر نشده)؛۱۳۹۱.]

[2] Dehghan S. Exploring the role of Antelopes in artworks of ancient [Unpublished M.A thesis]. Islamic Azad University, Department of archaeology, central Tehran Branch, Iran, 2011. [in Persian]
[دهقان ساناز. بررسی نقش بزکوهی در آثار هنری ایران باستان [منتشر نشده]. پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه باستان‌شناسی. دانشگاه آزاد اسلامی. واحد تهران مرکز؛۱۳۸۹.]

[3] Afzaltousi E. Rug the preserver of wild goat figure since the ancient times. J Negareh 2013;31:55–67. [in Persian]
[افضل طوسی عفت‌السادات. گلیم حافظ نگاره بزکوهی از دوران باستان. فصلنامه علمی پژوهشی نگره ۱۳۹۱؛۳۱: ۶۷-۵۵.]

[4] Hatam G. The role and symbolism in ancient potteries of Iran. Art Mag 1996;24:355–78. [in Persian]
[حاتم غلامعلی. نقش و نماد در سفالینه‌های کهن ایران. مجله هنر ۱۳۷۴؛۲۴: ۳۷۸-۳۵۵.]

[5] Sarraf MR. Kidin Hutran bronze cup from Arjan Behbahan. Journal of Asar 1991;17:40–61. [in Persian]
[صراف محمد رحیم. جام برنزی کیدین هوتران مکشوفه از «ارجان» بهبهان. اثر ۱۳۶۹؛۱۷: ۴۰-۶۱.]

[6] Sedghi Y. Pathology, technology, conservation and restoration potteries of Keshik cemetery in Nikshahr, Balouchistan. [Unpublished B. A. thesis]. University of Zabol, Department of Restoration of Monuments. Iran, 2014. [in Persian]
[صدقی یاسین. آسیب‌شناسی، فن‌شناسی، حفاظت و مرمت سفال‌های گورستان کشیک نیک‌شهر بلوچستان [منتشر نشده]. پایان‌نامه کارشناسی مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت آثار تاریخی. دانشگاه زابل؛۱۳۹۳.]

[7] Sedghi Y. Conservation and restoration measures of discovered potteries from Keshik cemetery in Nikshahr, Balouchistan. Journal of Kav, cultural heritage administration handicrafts and tourism organization of Sistan and Baluchestan 2016;2:12–5. [in Persian]
[صدقی یاسین. اقدامات حفاظتی و مرمتی سفالینه‌های مکشوفه از گورستان منطقه کشیک نیک‌شهر بلوچستان. کاو، ماهنامه تخصصی اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان ۱۳۹۵؛۲: ۱۲-۱۵.]

[8] Talai H. The bronze age of Iran. Tehran: SAMT; 2012. [in Persian]
[طلائی حسن. عصر مفرغ ایران. چاپ پنجم. تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)؛۱۳۹۱.]

[9] Stein A, Andrews FH, Hobson RL. Archaeological reconnaissances in north-western India and south-eastern Iran. Macmillan; 1937.

[10] S-Sajjadi SM. Eight Speech: Archeology and History of Balouchistan. Cultural heritage organization, Iran; 1996. [in Persian]
[سیدسجادی سیدمنصور. هشت گفتار: باستان‌شناسی و تاریخ بلوچستان، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور؛۱۳۷۴.]

[11] Iran G organization and mineral explorations of. Geological map of 1:2500000 Nikshahrcity. Tehran: Offest; 1989. [in Persian]
[سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰۰ شهرستان نیک‌شهر. تهران: افست؛۱۳۶۷.]

[12] Quinn PS. Ceramic petrography: the interpretation of archaeological pottery & related artefacts in thin section. Archaeopress; 2013.

[13] Riederer J. Thin section microscopy applied to the study of archaeological ceramics. Hyperfine Interact 2004;154:143–58. doi:https://doi.org/10.1023/B:HYPE.0000032029.24557.b1.

[14] Reedy CL. Thin-section petrography of stone and ceramic cultural materials. Archetype; 2008.

[15] Betancourt PP, Peterson SE. Thin-section Petrography of ceramic materials. Institute for aegean Prehistory, archaeological excavation manual 2009;2.

[16] Noghani S, Emami SM. Secondary Calcite in texture of pottery from Persepolis, Iran, Florida: 38th international symposium in archaeometry, Florida, U.S.A. in Press; 2010;3:15-34. [in Persian]
[نوغانی سمیه، امامی سیدمحمدامین. ساختارشناسی سفال جلینگی متعلق به دوران پارتی براساس مطالعات آرکئومتریک (باستان‌سنجی). مجله مطالعات باستان-شناسی ۱۳۹۰؛۳:۱۵– ۳۴.]

[17] Emami SM, Trettin R. Phase generating

[امامی سیدمحمدامین، آریا نسب سیمین، احمدی حسین، عسگری چاوردی علیرضا، فرانچسکو کالیری پیر. روش‌های باستان‌سنجی به منظور ساختارشناسی آجرهای کشف شده از تل آجری تخت‌جمشید. مجله مطالعات باستان‌شناسی ۱۳۹۳؛۶:۱-۱۹.]

[20] Darchuk L, Tsybrii Z, Worobiec A, Vázquez C, Palacios OM, Stefaniak EA, et al. Argentinean prehistoric pigments' study by combined SEM/EDX and molecular spectroscopy. Spectrochim Acta Part A Mol Biomol Spectrosc 2010;75:1398–402. doi: https://doi.org/10.1016/j.saa.2010.01.006

[21] Rapp G. Archaeomineralogy (Natural Science in Archaeology) 2009.

processes in ancient ceramic matrices through microstructure investigation with high resolution microscopy methods. Journal of Advanced Microscopy Research 2010;5:181–9. doi: https://doi.org/10.1166/jamr.2010.1040

[18] Rathossi C, Ποντίκης Γ, Τσώλη-Κατάγα ΠΣ. Mineralogical differences between ancient sherds and experimental ceramics: indices for firing conditions and post-burial alteration. Δελτίον Της Ελληνικής Γεωλογικής Εταιρίας 2010;43:856–65.

[19] Emami SMA, AriyaNasab S, Ahmadi H, A-Chavordi A, F-Kaliri P. Archaeology methods for structuralogy of discovered bricks from brick walls of Takhte- Jamshid. Journal of Archaeological Studies 2015;6:1-19. [in Persian]