Journal of Research on
ARCHAEOMETRY
A Peer-Reviewed Academic Journal of Archaeological and Conservation Science Studies

Tabriz Islamic Art University

Research Paper

Reconstruction of the Manufacturing Technology of Grooved Pottery From the Parthian Period in South Khorasan Based on Laboratory Analyses

Parvin Talebi[1], Maryam Zohouriyan*[2], Maryam Mortazavi Mehrizi[3], Mohammad Farjami[4]

1. Master's student Master studentr, Department of Archaeology, University of Birjand, Birjand, Iran
2. Assistant Professor, Department of Archaeology, University of Birjand, Birjand, Iran
3. Assistant Professor, Department of Geology, University of Birjand, Birjand, Iran
4. Expert, South Khorasan Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts Directorate, South Khorasan, Iran

* Correspondence: zohouriyan@birjand.ac.ir

Abstract

Archaeological investigations in South Khorasan indicate a widespread presence of grooved pottery in Parthian-period sites. The present study aims to provide a preliminary assessment of the material characteristics and technological aspects of the production of these ceramics, adopting an interdisciplinary approach. To this end, six sherds were selected from five sites (Tepe Chahardeh Surak, Kalateh Shahpuri, Qaleh-e Kamar Zadnebeh, Anbazposhteh Hajjabad, and Tepe Kureh Mohammadabad) based on criteria such as manufacturing quality, type of decoration, and minimal post-depositional alteration, and were analysed using thin-section petrography, X-ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS).Petrographic observations reveal the presence of quartz, feldspar, mica and lithic fragments of sedimentary, igneous and metamorphic origin within the ceramic fabric, showing a general correspondence with the composition of nearby alluvial sediments. XRD data confirm quartz and plagioclase feldspars as the dominant crystalline phases in all samples. Moreover, the absence of high-temperature marker phases suggests that firing temperatures probably did not exceed the threshold of major mineralogical transformations. SEM-EDS results, used as complementary semi-quantitative data, are broadly consistent with the petrographic and XRD findings. Overall, this research represents the first systematic laboratory-based study of grooved pottery from South Khorasan and provides a scientific basis for future, more detailed archaeometric investigations.

Keywords: Grooved Pottery, South Khorasan, Parthian Period, Archaeometry, Petrography, XRD, SEM-EDS

Received: 2025/09/28
Revised: 2026/06/14
Accepted: 2026/06/16
Published: 2026/06/30

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

Introduction

South Khorasan Province, located in eastern Iran, has long been a major center of cultural and economic interaction throughout history. Archaeological surveys in the region reveal that during the Parthian period (247 BCE–224 CE), South Khorasan held a prominent position not only politically and militarily, but also in ceramic production. One particularly distinctive ceramic type from this era is decorated with orderly, parallel fluting, referred to in archaeological literature as "fluted pottery." This ceramic style, also widespread in the Sistan plain and farther afield in Makran, is recognized as a hallmark of the Parthian cultural and artistic repertoire. Recent fieldwork in the sites of Tape Chārdeh Sourg (Birjand), Kalāte Shāhpouri (Nehbandan), Castle Kamar Zadonbeh (Khusf), Anbaz Poshteh Haji-Abād, and Tape Kureh Mohammadābād (Zirkuh) confirms that such pottery was not only locally significant, but probably part of a broader interregional network of production and distribution. The possible links between ceramic manufacturing in southern Khorasan and the key centers in Sistan may reflect trade relations, the movement of craftspeople, or the exchange of artistic and technological knowledge. This interdisciplinary research aims to provide a preliminary assessment of the possible provenance of raw materials, mineralogical composition, and firing conditions of Parthian fluted pottery from South Khorasan. The laboratory methods employed include petrographic analysis, X-ray diffraction (XRD), and scanning electron microscopy coupled with energy-dispersive spectroscopy (SEM-EDS).

Methodology

From the recovered assemblage, six representative pottery samples were selected based on manufacturing quality, fluting pattern, body color, and temper type. These samples represent the main observable characteristics of fluted pottery recovered from the studied sites. To assess potential clay sources, sediment samples were also taken from surface soils and the walls of ancient river channels adjacent to each archaeological site. For petrography, thin sections (30 μm) were prepared and examined under a polarizing microscope in both XPL and PPL light. In XRD analysis, five samples were processed to identify crystalline phases. For SEM-EDS studies, high-magnification micrographs and semi-quantitative elemental composition data were obtained, allowing for detailed observation of microstructure and secondary phases.

Results

The integrated petrographic, XRD, and SEM-EDS analyses provide a preliminary characterization of the mineralogical and microstructural properties of Parthian fluted pottery from South Khorasan. Petrographic observations reveal that quartz (approximately 10–20 vol.%), occurring in both monocrystalline and polycrystalline forms, is the dominant mineral phase, accompanied by plagioclase feldspar (3–5%), micas (muscovite and biotite), amphiboles, and opaque heavy minerals. The presence of diverse lithic fragments of volcanic, metamorphic, and sedimentary origin, together with a bimodal grain-size distribution, suggests varied paste composition; however, distinguishing between naturally occurring components and intentionally added temper requires complementary geochemical data. Partial mineralogical similarities between the ceramic fabrics and surrounding site soils may suggest the possible use of locally available raw materials, though definitive provenance determination is beyond the scope of the present dataset. XRD results identify quartz, feldspar, calcite, and plagioclase as dominant phases. The absence of high-temperature phases such as mullite and corundum provides indirect evidence that firing did not reach the threshold of major phase transformations, although precise firing temperature ranges cannot be established on the basis of mineralogical data alone. SEM-EDS analyses, presented here as semi-quantitative complementary data, reveal variability in microstructural density across samples and elemental patterns consistent with the mineralogical assemblage identified by petrography and XRD. Notable variation in Ca and Mg values across samples reflects heterogeneity in raw material composition rather than uniformity. Overall, the three analytical methods provide a mutually consistent preliminary picture of the ceramic fabric, suitable as a foundation for future investigations.

Discussion

The petrographic and mineralogical data suggest deliberate selection of raw materials prior to shaping, though the degree of intentional processing cannot be fully assessed from the available evidence alone. Similarities in fluting style and observable manufacturing characteristics among the different sites may indicate shared technical practices, although this interpretation requires further systematic comparison. The available mineralogical evidence is consistent with firing in an oxidizing environment, though the specific fuel types and kiln management practices cannot be determined from the present data alone. From a material culture perspective, stylistic parallels between the South Khorasan

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

and Sistan fluted pottery may suggest broader regional connections, though technological exchange and the nature of these interactions remain to be examined through more comprehensive analytical studies. While the ceramics appear to have been manufactured locally, understanding their role within wider regional networks requires expanded investigation encompassing additional sites and analytical methods.

Conclusion

This study presents a preliminary mineralogical and microstructural characterization of Parthian fluted pottery from South Khorasan based on petrographic, XRD, and SEM-EDS analyses. The results suggest the possible use of locally available raw materials, though definitive provenance determination requires further geochemical investigation. The absence of high-temperature diagnostic phases provides indirect evidence that firing conditions did not reach extreme thermal thresholds, while the precise temperature range remains to be established through experimental studies.
.

As the first systematic laboratory investigation of grooved ceramics from this region, this study establishes a preliminary comparative framework for understanding ceramic production networks in southeastern Iran during the Parthian period, and highlights the need for expanded sampling and quantitative analytical methods in future research.

Author Contributions: Archaeological analysis, M. Zohouriyan, Experimental and laboratory procedures, Ms. Talebi and Dr. Mortazavi; Data curation, Dr. Farjami. This research is derived from the [Master's] thesis of P. Talebi.

Funding: This research received no external funding.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors upon reasonable request.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest.

پژوهه باستان‌سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

مقاله پژوهشی

بازشناسی فناوری ساخت سفالینه‌های شیاردار دورهٔ اشکانی خراسان جنوبی بر پایهٔ مطالعات آزمایشگاهی

پروین طالبی [۱]، مریم ظهوریان [۲*]، مریم مرتوضی مهریزی [۳]، محمد فرجامی [۴]

۱. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۲. استادیار، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۳. استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران
۴. کارشناس اداره‌کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی استان خراسان جنوبی
* مسئول مکاتبات: zohouriyan@birjand.ac.ir

چکیده

پژوهش‌های باستان‌شناختی در خراسان جنوبی، حاکی از حضور گسترده سفال‌های شیاردار در محوطه‌های دوره اشکانی است. پژوهش حاضر با هدف ارائه ارزیابی مقدماتی از ویژگی‌های مادی و فناوری ساخت این سفالینه‌ها با رویکردی میان‌رشته‌ای صورت پذیرفته است. بدین منظور، شش نمونه منتخب از پنج محوطه (تپه چارده سورک، کلاته شاهپوری، قلعه کمر زادنبه، انبزپشته حاجی‌آباد و تپه کوره محمدآباد) بر پایه معیارهایی همچون کیفیت ساخت، نوع تزیین و حداقل آسیب‌دیدگی ، انتخاب و با استفاده از روش‌های پتروگرافی، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDS) تحلیل شدند. نتایج پتروگرافی نشان‌دهنده حضور کانی‌های کوارتز، فلدسپات، میکا و خرده‌سنگ‌های رسوبی، آذرین و دگرگونی در خمیره سفالینه‌هاست که با ترکیب رسوبات آبرفتی پیرامون محوطه‌ها همخوانی نسبی دارد. داده‌های XRD، حضور فازهای غالب کوارتز و فلدسپات‌های پلاژیوکلاسی را در تمامی نمونه‌ها تأیید کرد. همچنین، عدم شناسایی فازهای شاخص دماهای بسیار بالا نشان می‌دهد که دمای پخت سفالینه‌ها احتمالاً از آستانه تحولات فازی عمده فراتر نرفته است، یافته‌های SEM-EDS نیز به عنوان داده‌های تکمیلی و نیمه‌کمی، هم‌سویی کلی با نتایج پتروگرافی و XRD داشتند. در نهایت، این پژوهش به عنوان نخستین مطالعه آزمایشگاهی نظام‌مند بر سفال‌های شیاردار خراسان جنوبی، بستری علمی برای انجام پژوهش‌های تکمیلی در آینده فراهم می‌آورد.

واژگان کلیدی: سفال شیاردار، خراسان جنوبی، دوره اشکانی، باستان‌سنجی، پتروگرافی، XRD، SEM-EDS

دریافت: ۱۴۰۴/۷/۶
آخرین اصلاح: ۱۴۰۵/۳/۲۴
پذیرش: ۱۴۰۵/۳/۲۶
انتشار: ۱۴۰۵/۴/۹

Copyright: ©2026 by the Authors. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution Noncommercial 4.0 International (CC BY-NC 4.0 license)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱. مقدمه

سفال از جمله مهم‌ترین مصنوعات فرهنگی برجای‌مانده از جوامع انسانی است که به‌واسطه ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خود، یکی از پایدارترین منابع برای مطالعهٔ جنبه‌های مختلف زندگی در گذشته به شمار می‌رود. بررسی‌های باستان‌شناسی بر روی سفال‌ها، علاوه بر شناسایی گونه‌ها و سبک‌های سفالی، امکان درک عمیق‌تری از فناوری تولید، منابع مواد اولیه و الگوهای تعاملات منطقه‌ای و فرامنطقه‌ای را فراهم می‌کند. استان خراسان جنوبی، به‌عنوان بخشی از قلمروی تاریخی شرق ایران، دارای محوطه‌های باستانی متعددی از دوره‌های مختلف، از پیش از تاریخ تا دورهٔ ساسانی است. شواهد تاریخی نشان می‌دهد که این منطقه در دورهٔ اشکانی از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده است. بر اساس مطالعات انجام‌شده، سفال‌های اشکانی شرق ایران بر مبنای ویژگی‌های گونه‌شناختی و تزئینی به چندین حوزهٔ منطقه‌ای تقسیم می‌شوند (هرینگ، ۱۳۷۶: ۵۰) که خراسان جنوبی در زمرهٔ حوزهٔ شرقی این تقسیم‌بندی قرار می‌گیرد. یکی از گونه‌های شاخص این منطقه، سفال‌های شیاردار است که نمونه‌های مشابه آن در دشت سیستان نیز گزارش شده است (مهرآفرین و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲). این هم‌پوشانی می‌تواند بیانگر نوعی شباهت در سنت‌های تولید یا ارتباطات فرهنگی میان این نواحی باشد، هرچند تفسیر دقیق این موضوع نیازمند داده‌های تحلیلی بیشتر است. سفال‌های شیاردار بر اساس ویژگی‌های ظاهری به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند و پراکندگی آن‌ها عمدتاً در جنوب خراسان جنوبی و نواحی مجاور سیستان مشاهده شده است (لباف خانیکی و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۹۴).

در بررسی‌های میدانی و سیستماتیک سال ۱۴۰۰، از پنج محوطه باستانی استان شامل چهارده سورگ، کلاته شاهپوری نهبندان، قلعه کمر زادنبه خوسف، انبزپشته حاجی‌آباد زیرکوه و تپه کوره محمدآباد زیرکوه، مجموعه‌ای از سفال‌های شیاردار گردآوری شد. از میان این مجموعه، تعداد ۳۰ قطعه از هر محوطه برای مطالعات گونه‌شناختی انتخاب گردید و انتساب آن‌ها به دوره اشکانی بر اساس شاخصه‌های مورد نظر تأیید شد. با توجه به محدودیت‌های مربوط به نمونه‌برداری و ماهیت نیمه‌تخریبی آزمایش‌ها، در مرحله بعد، تعداد محدودی نمونه به‌صورت هدفمند و بر اساس معیارهایی نظیر کیفیت ساخت، نوع تزئین، ویژگی‌های خمیره، نوع شاموت و حداقل دگرسانی پس از تولید انتخاب شدند. در نهایت، شش نمونه به‌عنوان نمونه‌های نماینده برای انجام تحلیل‌های آزمایشگاهی برگزیده شدند.

این پژوهش با هدف ارائهٔ یک ارزیابی مقدماتی از ویژگی‌های فناورانه و منشأ احتمالی سفال‌های شیاردار منطقه، از رویکردی میان‌رشته‌ای شامل مطالعات پتروگرافی، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) بهره گرفته است. لازم به تأکید است که نتایج حاصل از این مطالعه، با توجه به محدودیت در تعداد نمونه‌ها و روش‌های تحلیلی، با احتیاط تفسیر شده‌اند و تعمیم آن‌ها به کل تولیدات سفالی منطقه نیازمند انجام مطالعات تکمیلی است.

۲. پیشینه پژوهش

در آغاز باید یادآور شد که پژوهش‌های باستان‌شناسی در گسترهٔ خراسان از سال ۱۸۷۶م و با فعالیت‌های اسپیگل آغاز شد و تا سال ۱۹۶۲م بیش از هفتاد هیئت باستان‌شناسی خارجی در این منطقه به مطالعه پرداختند. بااین‌حال، از میان این پژوهش‌ها تنها یک مورد به‌طور مشخص به جنوب خراسان اختصاص داشت. نخستین بررسی‌های میدانیِ مستند در خراسان جنوبی در سال ۱۳۲۰ش در محوطهٔ کال‌جنگال انجام شد؛ محوطه‌ای که به‌واسطه وجود کتیبه و سنگ‌نگاره‌ها مورد توجه قرار گرفت و توسط جمال رضایی و صادق کیا بررسی شد. در ادامه، در سال ۱۹۷۵م، کارلتون استنلی کون از دانشگاه پنسیلوانیا در غار لَکی‌اَسپور (در حدود ۲۰ کیلومتری جنوب قاین) ابزارهای سنگی متعلق به پارینه‌سنگی جدید را شناسایی کرد. این یافته‌ها نشان‌دهندهٔ تداوم استقرارهای انسانی و اهمیت این منطقه در ادوار مختلفِ پیش‌ازتاریخ و تاریخی است و جایگاه خراسان جنوبی را به‌عنوان یکی از حوزه‌های کمتر شناخته‌شده اما دارای ظرفیت بالای باستان‌شناختی در شرق ایران روشن می‌سازد (زارعی و دیگران، ۱۳۹۱: ۳). پژوهش‌های مربوط به دوران تاریخی در استان خراسان جنوبی با تعیین عرصه و گمانه‌زنی در محوطه‌های گبری مود (لباف‌خانیکی، ۱۳۷۷الف) و کلاته سلیمان (لباف‌خانیکی، ۱۳۷۷ب) در شهرستان سربیشه و نیز تَخچَرآباد در بیرجند (لباف‌خانیکی، ۱۳۷۸) آغاز شد. این روند در دههٔ ۱۳۸۰ش با تعیین حریم محوطه‌های شاه‌ولی (زعفرانلو، ۱۳۸۲)، دوکوهه و خرگوشی (یوسفی، ۱۳۸۹)، کلاته شاهپوری (نصرآبادی، ۱۳۸۴) و تپه‌قلعه چهارفرسخ (نصرآبادی، ۱۳۸۴) تداوم یافت.

کاوش‌های انجام‌شده در دو محوطهٔ گبری مود/مود B و تپه تَخچَرآباد، مطالعات مربوط به نیمهٔ هزارهٔ اول پیش از میلاد را وارد مرحله‌ای تازه کرد (فرجامی و محمودی‌نسب، ۱۳۹۸؛ ۱۳۹۹؛ ۱۴۰۰؛ ۱۴۰۱؛ ۱۴۰۲؛ همچنین: دانا، ۱۳۸۸؛ ۱۳۹۵؛ ۱۳۹۶؛ ۱۳۹۷). در پی این پژوهش‌های میدانی، پایان‌نامه‌ها و مقالاتی با محوریت محوطه‌ها و مواد فرهنگی استان منتشر شد؛ از جمله: «طبقه‌بندی و تحلیل گونه‌شناختی سفالینه‌های تپه مود B شهرستان سربیشه–خراسان جنوبی» (مرادزاده و همکاران، ۱۳۹۹) و «کاربرد مطالعه پتروگرافی نهشته‌های کواترنری در منشأیابی آثار فرهنگی باستانی: سفالینه‌های منسوب به دوره اشکانی محوطه گبری مود خراسان جنوبی» (مرتضوی مهریزی، ۱۴۰۲). با وجود این، در زمینهٔ شناخت سفال‌های شیاردار خراسان جنوبی، مطالعات موجود محدود است و عملاً می‌توان تنها به دو مقاله و یک پایان‌نامه اشاره کرد که در آن‌ها این گونه سفالی عمدتاً در حد معرفی و گاهنگاری (و نه تحلیل‌های منشأ، فناوری ساخت و زنجیره تولید) بررسی شده است. در این میان، مقاله فرجامی (۲۰۲۴) با عنوان «تحلیلی بر سفال شیاردار خراسان جنوبی» با هدف مطالعه، بررسی و معرفی گونه‌های مختلف سفال شیاردار در پهنه کنونی خراسان جنوبی و سپس تحلیل پراکنش آن در مناطق پیرامونی و در محدوده ایران فرهنگی تدوین شده است. همچنین، مقالهٔ

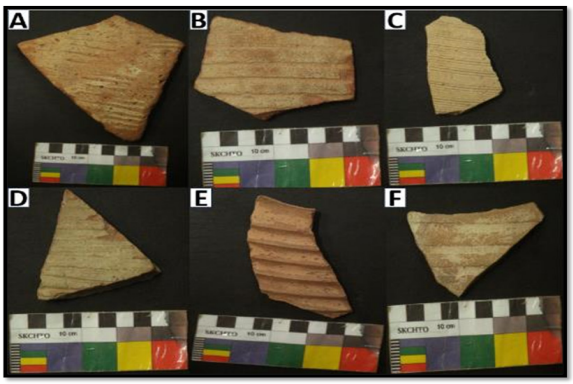
[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

لباف‌خانیکی، فرجامی و احمدی‌حیدری (۱۴۰۰) با عنوان «سبک‌های بومی و منطقه‌ای در سفال‌های اشکانی – ساسانی شرق ایران با تکیه بر نویافته‌های سفالین شهرستان نهبندان (استان خراسان جنوبی)» بر معرفی سبک‌های بومی و محلی سفال‌ها در منطقه نهبندان تمرکز دارد. افزون‌براین، پایان‌نامهٔ اسماعیلی (۱۴۰۰) با عنوان «تحلیل و بررسی گونه‌شناختی سفال‌های مکشوفه از تپه سورگ بیرجند» عمدتاً به گونه‌شناسی و گاهنگاری سفال‌ها پرداخته است. بنابراین، می‌توان گفت، مطالعات آزمایشگاهیِ نظام‌مند درباره منشأ مواد اولیه، فناوری ساخت و الگوهای تولید سفال‌های شیاردار خراسان جنوبی (از جمله مجموعه‌های منتسب به محوطه‌هایی نظیر تپه مود) تاکنون به‌طور جدی انجام نشده است؛ خلأیی که پژوهش حاضر می‌کوشد با تکیه بر روش‌های آزمایشگاهی، برای نخستین‌بار به‌صورت هدفمند به آن بپردازد.

در سال‌های اخیر، رویکردهای باستان‌سنجی (Archaeometry) برای درک بهتر ساختار و منشأ سفال‌های دورهٔ اشکانی اهمیت ویژه‌ای یافته است. در همین راستا، نوقافی و امامی (۱۳۹۰) در مطالعه‌ای بر روی سفال‌های موسوم به «کلینکی/جلینکی» (Clinky) متعلق به دورهٔ پارتی، با بهره‌گیری از روش‌های آرکئومتریک به بررسی ساختارشناسی این گونهٔ سفالی پرداخته و ویژگی‌های فنی پخت و ترکیبات آن را واکاوی کرده‌اند. علاوه‌براین، شهیدی همدانی و همکاران (۱۳۹۷) در پژوهشی جامع‌تر در زاگرس مرکزی، با استفاده از تکنیک‌های آزمایشگاهی XRF، EDX، XRD و FT-IR منشأ و ساختار فیزیکی- شیمیایی سفال‌های کلینکی را بررسی کردند. نتایج این مطالعات، ضمن نشان دادن استانداردهای تولید و تفاوت‌های ساختاری معنادار میان مناطق مختلف در دورهٔ اشکانی، ضرورت انجام پژوهش‌های مشابه بر سفال‌های شیاردار خراسان جنوبی، به‌ویژه مجموعه‌هایی مانند تپه مود، را برای مقایسهٔ فناوری تولید و ارزیابی تفاوت‌های منطقه‌ای دوچندان می‌سازد.

۳. مواد و روش‌های آزمایشگاهی

بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی و ریزساختاری سفال‌ها و ارزیابی مقدماتی شرایط پخت آن‌ها، مستلزم بهره‌گیری از روش‌های آنالیز دستگاهی است. در این پژوهش، به‌منظور شناسایی فازهای معدنی و مطالعه ساختار خمیرهٔ سفال‌ها، از روش‌های پتروگرافی مقاطع نازک، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) استفاده شد. در این پژوهش، جامعهٔ آماری مورد مطالعه، سفالینه‌های شیاردار به‌دست آمده از بررسی‌های میدانی و سیستماتیک پنج محوطهٔ باستانی خراسان جنوبی، شامل: چهارده سورگ، کلاته شاهپوری نهبندان، قلعه کمر زادنبه خوسف، انبزپشته حاجی‌آباد زیرکوه و تپه کوره محمدآباد زیرکوه در سال ۱۴۰۰ بود که در مرحلهٔ نخست، از میان این قطعات سفال، تعداد ۳۰ قطعه از هر محوطه به‌طور تصادفی انتخاب گردید و پس از تأیید قدمت و انتساب آن‌ها به دورهٔ اشکانی بر اساس شاخصه‌های باستان‌شناختی و گونه‌شناسی مورد نظر، در مرحلهٔ بعد، از میان این مجموعه با توجه به محدودیت‌های مالی پروژه و ماهیت نیمه‌تخریبی آزمایش‌ها، تعداد شش قطعه سفال شیاردار اشکانی به شیوهٔ غیر تصادفی و هدفمند، بر اساس معیارهایی نظیر کیفیت ساخت، نوع تزئین، ویژگی‌های خمیره، نوع شاموت و حداقل دگرسانی پس از تولید برای نمونه‌برداری از بدنهٔ سفال‌ها و آنالیز ترکیب شیمیایی و ساختار قطعات انتخاب شد. در انتخاب نهایی نمونه‌های مورد نظر به شیوهٔ هدفمند، قطعاتی انتخاب شد که کیفیت تولید و ساخت مطلوبی به شیوهٔ چرخ‌ساز داشته و از بدنهٔ سفالی منسجمی برخوردار باشند، به‌طوری‌که بدنهٔ سفالی نمونه‌ها دچار فرسایش و تخریب ناشی از عوامل محیطی نشده باشد. علاوه‌براین، شیارهای تزئینی خاص سفال اشکانی در بدنهٔ آنها بارز و بدنهٔ قطعات انتخابی، خمیره، شاموت و رنگ یکدستی داشته و دگرسانی در ظاهر، بافت و ساختار ماکروسکوپی بدنهٔ سفال‌ها دیده نشود. این شش قطعه سفال پس از انتخاب و نمونه‌گیری به شیوهٔ فوق، به‌عنوان نمونه‌های نماینده برای نمونه‌برداری از بدنهٔ آنها و سپس آنالیز به روش‌های آزمایشگاهی دستگاهی انتخاب شدند (شکل ۱).



شکل ۱. سفال‌های شیاردار مورد مطالعه منطقه خراسان جنوبی: A و B: سفال‌های تپه سورگ؛ C: تپه کوره؛ D: قلعه‌کمر زادنبه؛ E: کلاته‌شاهپوری؛ F: انبزپشته

Figure 1. Studied Grooved Pottery from the South Khorasan Region: A and B: Sourg Tepe Pottery, C: Koureh Tepe Pottery, D: Ghaleh Kamar Zadonbeh Pottery, E: Kalateh Shahpouri Pottery, F: Anbaz Poshteh Pottery.

مطالعات پتروگرافی بر روی نمونه‌های سفالی و همچنین نمونه‌های خاک سطحی پنج محوطه شامل تپه چارده سورگ، کلاته شاهپوری، قلعه کمر زادنبه، انبزپشته حاجی‌آباد و تپه کوره محمدآباد در آزمایشگاه کانی‌شناسی گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند انجام شد. بدین منظور، از هر نمونه مقاطع نازکی با ضخامت حدود ۳۰ میکرون تهیه گردید و بررسی‌ها با استفاده از میکروسکوپ‌های پلاریزان (مدل James Swift و Laborlux II pol S Leitz) در دو نور متقاطع (XPL) و معمولی (PPL) صورت گرفت. شناسایی اجزاء تشکیل‌دهنده شامل ماتریکس رسی و مواد افزودنی، بر اساس ویژگی‌های نوری و مطابق با طبقه‌بندی توصیفی Whitbread انجام شد. آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) به‌منظور شناسایی فازهای بلوری اصلی نمونه‌ها در آزمایشگاه پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری (تهران) با استفاده از دستگاه XRD مدل T2T ساخت شرکت Siefert انجام گرفت. شناسایی فازها با بهره‌گیری از پایگاه داده PDF2 و نرم‌افزار X'Pert HighScore Plus صورت پذیرفت. از میان نمونه‌های انتخاب‌شده، ۵ نمونه برای آنالیز XRD مورد بررسی قرار گرفتند؛ به‌طوری‌که به دلیل شباهت نتایج

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

پتروگرافی دو نمونه از محوطه چارده سورگ، تنها یکی از آن‌ها برای این آنالیز انتخاب شد. همچنین، جهت بررسی ریزساختار و نحوه توزیع فازها در خمیرهٔ سفال، از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه تهران استفاده شد. لازم به ذکر است که داده‌های حاصل از این روش‌ها، به‌ویژه XRD و SEM، عمدتاً در جهت شناسایی کیفی فازها و بررسی ریزساختار به کار رفته‌اند.

٤. موقعیت جغرافیایی استان خراسان جنوبی و معرفی محوطه‌های مورد بررسی

استان خراسان جنوبی با مساحتی برابر با ۱۵۱،۰۱۸ کیلومتر مربع، سومین استان بزرگ ایران محسوب می‌شود و در شرق کشور به مرکزیت شهر بیرجند واقع شده است. این استان از شمال با خراسان رضوی، از جنوب با سیستان و بلوچستان و کرمان، از غرب با استان‌های اصفهان، سمنان و یزد و از شرق به طول ۳۳۱ کیلومتر با کشور افغانستان هم‌مرز است (شکل ۲). از دیدگاه زمین‌شناسی، خراسان جنوبی میان دو بلوک لوت در غرب و هلمند افغانستان در شرق قرار گرفته است. بیشتر کوهستان‌های این استان را کوه‌های جوان تشکیل می‌دهند و مناطق مرتفع و کوهستانی، به‌ویژه در نواحی شمالی و مرکزی، در دورهٔ ترشیاری شکل گرفته‌اند. قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه متعلق به دوران پرکامبرین هستند که در مناطقی مانند درهٔ دهسلم نهبندان و قاین مشاهده می‌شوند. در بخش غربی استان نیز سنگ‌های مربوط به دوران پالئوزیک در نواحی بشرویه و طبس قابل مشاهده هستند. این رسوبات، در مناطقی با شیب کم و خاک نسبتاً حاصلخیز، شرایط مناسبی برای فعالیت‌های کشاورزی و اسکان جمعیت فراهم کرده‌اند (فرجامی، ۱۳۹۹: ۶).

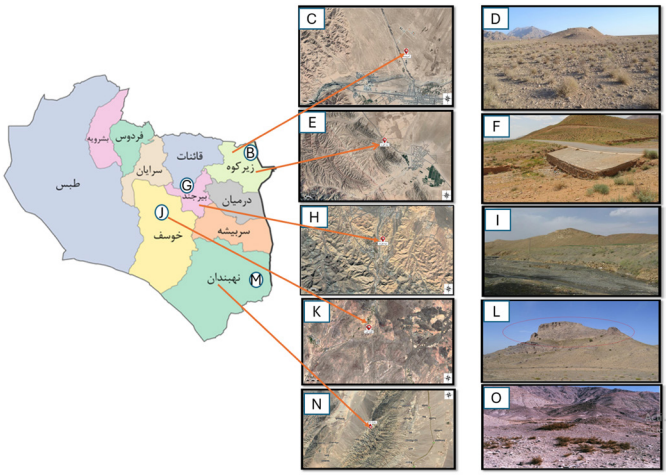


شکل ۲. موقعیت قرارگیری خراسان جنوبی در نقشه ایران (گوگل ارث، n.d)

Figure 2. Location of South Khorasan on the map of Iran (Google Earth, n.d)

۵. معرفی محوطه‌های مورد مطالعه در پژوهش

در این پژوهش نمونه‌های مورد مطالعه از پنج محوطهٔ باستانی جمع‌آوری شده است: ۱) تپه چارده سورگ (Tape Chardeh Sourg)، ۲) قلعه کمر زادنبه (Qaleh Kamar Zadonbeh)، ۳) کلاته شاهپوری (Kalateh Shahpoori)، ۴) تپه کوره محمدآباد (Tape KurehMohammad-Abad) و ۵) انبز پشته حاجی آباد (Anbaz Poshteh Haji-Abad). تپه چارده سورگ با شماره ثبت ۶۷۳ و ارتفاع ۱۸۹۸ متر از سطح دریا (شکل ۳–G)، در ۵۰ متری شمال روستای سورگ و ۱۵ کیلومتری شرق بیرجند واقع شده است (کریمیان، ۱۳۸۸: ۵–۲) (شکل ۳_ تصویر ماهواره‌ای H و دید منطقه‌ای I). محوطهٔ قلعه کمر زادنبه بر روی تپه‌ای مرتفع با مساحت ۱۰۲۳۵ متر مربع در جنوب شرق روستای زادنبه سفلی شهرستان خوسف قرار دارد (شکل ۳–J). نتایج گاهنگاری این محوطه تعلق آن به دورهٔ اشکانی تا قرون متأخر دوران اسلامی را نشان می‌دهد (صدیقیان، ۱۳۹۳: ۱–۴) (شکل ۳_ تصویر ماهواره‌ای K و دید منطقه‌ای L).



شکل ۳. نقشه استان خراسان جنوبی (فرجامی و محمودی نصب، ۱۳۹۹: ۱۰۴) موقعیت و تصاویر صحرایی و ماهواره‌ای محوطه‌های مورد بررسی در پژوهش (گوگل ارث، n.d)

Figure 3. Map of South Khorasan Province (Farjami & Mahmoudi-nasab, 2020, p. 104) and the location and field and satellite images of the studied sites in the research (Google Earth, n.d)

محوطهٔ باستانی کلاته شاهپوری با مساحت ۱/۵ هکتار در هفت کیلومتری شرق چهار فرسخ، شمال روستای قدمگاه و در منطقهٔ نهبندان واقع شده (شکل ۳–M) و در سال ۱۳۸۱ در فهرست آثار ملی ثبت شده است. عملیات تعیین حریم آن در سال ۱۳۸۳ انجام شده است (نصرآبادی، ۱۳۸۴) (شکل ۳_ تصویر ماهواره‌ای N و دید منطقه‌ای 0). دو محوطهٔ باستانی انبز پشته حاجی آباد و تپه کوره محمدآباد در منطقه زیرکوه واقع شده‌اند (شکل ۳–B). مساحت تپه انبز پشته حاجی آباد حدود ۳۶۰۰ متر مربع است که در ۳ کیلومتری شمال شهر حاجی آباد قرار داشته و داده‌های سطحی آن به عصر مفرغ تا دوران تاریخی بازمی‌گردد. این محوطه در سال ۱۳۹۳ بررسی و شناسایی شده است (فرجامی و محمودی‌نسب، ۱۳۹۳: ۳) (شکل ۳_ تصویر ماهواره‌ای C و دید منطقه‌ای D).

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

وسعت تپه کوره محمد آباد نیز به ۱۲۰۰ متر مربع می‌رسد و در شمال غرب روستای محمدآباد واقع شده است. به نظر می‌رسد، این تپه سازه‌ای دفاعی مربوط به دوره‌های هخامنشی و ساسانی باشد. این محوطه در سال ۱۳۹۳ شناسایی شده است (قلی‌نژاد، ۱۳۹۴: ۷-۳) (شکل ۳_ تصویر ماهواره‌ای E و دید منطقه‌ای F).

٦. گونه‌شناختی سفال شیاردار شرق ایران

تزیینِ شیاردار از جمله تزیین‌های رایج بر سفالینه‌های دوره اشکانی است و در منطقه سیستان ایران به‌صورت گسترده به‌کار رفته است؛ به‌گونه‌ای که یکی از شاخص‌های شناسایی محوطه‌های اشکانی در سیستان، پراکندگی سفال‌های شیاردار بر سطح محوطه‌های این دوره به شمار می‌آید. این گونهٔ سفالی از تمامی حوزه‌های سیستان ایران که دارای محوطه‌های اشکانی‌اند به‌دست آمده است.



شکل ٤. موقعیت خراسان جنوبی با منطقه سیستان و مکران (گوگل ارث، n.d)

Figure 4. Location of South Khorasan in relation to the Sistan and Makran regions (Google Earth, n.d)

بااین‌حال، توزیع آن در حوزه‌های شرقی و شمالی سیستان (مناطق هم‌مرز با افغانستان) نسبت به حوزه‌های غربی و جنوبی چشمگیرتر است. این الگوی پراکنش، همراه با مقایسه‌های گونه‌شناختی، دیدگاهی را تقویت می‌کند که بر اساس آن سیستان را می‌توان یکی از کانون‌های اصلی شکل‌گیری/رواج سفال‌های شیاردار در شرق ایران دانست و دامنهٔ نفوذ آن را تا سیستانِ فرامرزی (ایالت‌های غربی افغانستان) پی گرفت (Basafa, 2008: Pl. 17, Nos. 6–7). از همین منظر، بیشترین همسانی‌های فرمی و تزیینی سفال‌های سیستان ایران با مجموعه‌های سفالی محوطه‌های اشکانی افغانستان قابل توضیح است و گسترش این سنت سفالی را می‌توان، افزون بر افغانستان، در بلوچستان ایران، جنوب خراسان و غرب پاکستان نیز مشاهده کرد (شکل ۴) (Walter& Fairservis, 1959).

سفالگران سیستانی برای اینکه ظروف سفالی خود را از حالت یکنواختی و سادگی خارج کنند، با استفاده از ابزاری چوبی و یا هر ابزار دیگری اقدام به شیاردارکردن آنها می‌کردند. زمانی که سفال بر روی چرخ قرار دارد، شیارهای باعمق، عرض و یا فاصله‌های متفاوت، در عرض ظرف و به صورت افقی به دور آن ترسیم می‌شده است. پهنای شیارها و پهنای برآمدگی در بیشتر این سفال‌ها برابر است و این تزیین به علت شیوع آن در سفال‌های دورهٔ اشکانی سیستان به‌عنوان سبک شیاردار سیستان شناخته می‌شود (مهرآفرین و همکاران، ۱۳۹۴). برای ایجاد شیارهای عمیق بر سطح ظروف دو دلیل وجود دارد:

۱) خارج ساختن سطح ظروف از یکنواختی و سادگی (این شیارها باعث ایجاد الگوها و طرح‌های مختلفی در سطح ظروف شده و آنها را از سادگی خارج می‌کنند).

۲) افزودن سطح اصطکاک بدنهٔ ظروف با دست و پیشگیری از لغزیدن و سقوط ظروف. وقتی دست با سطح شیاردار ظروف برخورد می‌کند، این شیارها سطح اصطکاک بیشتری را با دست فراهم می‌کنند و بدین ترتیب، استفادهٔ راحت‌تر از ظرف را مقدور می‌سازند (لباف خانیکی و همکاران، ۱۴۰۰).

سفال‌های شیاردار اغلب چرخ ساز بوده، از کیفیت مناسب، پخت کافی و یکسان برخوردارند. خمیرهٔ این سفال‌ها اغلب از کانی‌های مختلف تشکیل شده و به ندرت از آمیزهٔ گیاهی در ساخت آنها استفاده شده است. در این سفال‌ها پوشش سطحی مشابه خمیره بوده و رنگ خمیرهٔ آنها از قرمز قهوه‌ای تا نخودی در تغییر است. با توجه به کیفیت و ضخامت قطعه سفال‌های شیاردار، این گونه‌های سفالی عمدتاً به کوزه‌ها و خمره‌های بزرگ تعلق داشته‌اند (فرجامی، ۱۴۰۳: ۲۳- ۲۴). با توجه به کشف سفال‌های شیاردار در خراسان جنوبی و نزدیکی جغرافیایی این منطقه به سیستان، انتخاب نمونه‌ها با هدف بررسی منشأ این سفالینه‌ها و تبیین نسبت آن‌ها با سنت سفالگری سیستان انجام شد. بر این اساس، افزون بر معیارهای فنی، نمونه‌هایی برای مطالعه برگزیده شدند که از نظر نوع تزیین و الگوی شیارها بیشترین شباهت را با سفال‌های شیاردار سیستان داشتند. این معیار امکان مقایسهٔ داده‌های گونه‌شناختی و آزمایشگاهی را فراهم می‌کرد و به تحلیل تمایز میان تولیدات محلیِ تأثیرپذیرفته از سیستان و نمونه‌های احتمالاً وارداتی یاری می‌رساند (جدول ۱).

۷. مطالعات آزمایشگاهی

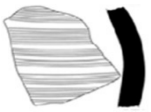
۷-۱. پتروگرافی نمونه‌های سفالی

مطالعه و شناخت دقیق ترکیب شیمیایی و ساختار تشکیل دهنده بدنهٔ سفال‌های باستانی، تنها از طریق تجزیهٔ بدنهٔ سفال به روش‌های مختلف کلاسیک و دستگاهی اعم از شیوه‌های ژئوشیمی و کانی‌شناسی امکان پذیر است. بررسی و مطالعه ساختاری بدنهٔ سفالینه‌های تاریخی به روش‌های مختلف کانی‌شناسی، شناسایی فازهای تشکیل دهنده بدنه سفال را ممکن نموده و تکمیل این داده‌ها با آنالیز عنصری بدنه با روش‌های آزمایشگاهی، امکان شناخت دقیق‌تر فناوری‌های کهن در تولید و ساخت سفالینه‌های باستانی را برای پژوهشگران فراهم می‌آورد. به منظور مطالعهٔ ساختاری بدنهٔ سفال و شناسایی ترکیب کانی‌شناختی آنها معمولاً از روش‌های طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس (XRD) و مطالعهٔ پتروگرافی مقاطع نازک در زیر میکروسکوپ نوری پلاریزان استفاده می‌شود. در پتروگرافی سرامیک، با اعمال روش‌های کانی‌شناسی نوری و پتروگرافی مقطع نازک بر مواد باستان‌شناختی، انواع کانی‌ها و انکلوزیون‌های سنگی موجود در آنها شناسایی می‌گردد.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۱. گونه‌شناسی سفال‌های مورد بررسی

Table 1. Typological Classification of the Studied Pottery

نام سفال	عکس سفال	نام منطقه	معیار مقایسه	مطالعه تطبیقی (دوره اشکانی)	رفرنس	مطالعه تطبیقی (دوره اشکانی)	رفرنس
		تپه سورگ	شیاردارخطی ریز، کم عمق و نزدیک به هم به صورت نامنظم		هرمزگان (منصوری،۱۳۹۱ :۳۰۲، شماره ۵۱)		مکران (دهمرده پهلوان و جوزی، ۱۴۰۱: ۸)
		تپه سورگ	شیار دار نیمه عمیق با نوارهای پهن – نیمه عمیق		دشت سرخس (Usmanova, 1992: Fig 7, No 12)		
		کلاته شاهپور ی	شیاردار عمیق با نوارهای برجسته نازک		سیستان (روستایی، : ۱۳۹۱، شماره ۱۵۰)		
		قلعه کمر زادنبه	شیاردارکم عمق با نوارهای پهن		سیستان (روستایی،۱۳۹۱: ۹۴، شماره ۱۴۷		
		انبز پشته	شیاردار کم عمق با نوارهای پهن		سیستان (مهرآفرین، ۱۳۹۴: ۲۰)		
		تپه کوره	شیاردار چندخطی ریز– کم عمق– منظم		سیستان (روستایی، ۱۳۹۱: ۱۰۱، شماره ۲۰۰)		مکران (علیزاده، ۱۳۹۱: ۲۴۳ شماره ۲۴۹)

اندازهٔ کانی‌های رسی موجود در ماتریکس سرامیک‌های باستانی کوچک‌تر از آن است که بتوان آن را به صورت جداگانه در مقاطع نازک مطالعه کرد. بدین منظور معمولاً از مطالعات طیف‌سنجی پراش اشعه ایکس برای شناسایی ماتریکس رسی سرامیک‌ها استفاده می‌گردد. پتروگرافی سرامیک می‌تواند به‌عنوان ابزار پژوهشی برای بازنگری جنبه‌هایی از ترکیب، فناوری و منشأ آثار باستانی استفاده شود (کویین، ۱۳۹۱: ۲۵-۳۴).

باید توجه داشت که تهیه مقطع نازک سرامیکی جهت مطالعات پتروگرافی فرآیندی تخریبی است ولی مقطع نازک تهیه شده برای چندین بار قابل استفاده است. به منظور مطالعهٔ پتروگرافی سفالینه‌های مورد مطالعه، ۶ مقطع نازک میکروسکوپی از قطعات مربوط به بدنه ظروف سفالی یافت شده در ۵ محوطه باستانی مذکور، به ضخامت ۳۰ میکرون تهیه شده است. مقاطع تهیه شده، جهت شناسایی اجزاء تشکیل‌دهنده، تعیین منشأ و فناوری ساخت سفال، توسط میکروسکوپ پلاریزان در دو نور XPL و PPl و با بزرگنمایی‌های 4X و 5X مورد بررسی و عکسبرداری قرار گرفته است.

به منظور تعیین منشأ مواد سازنده سفالینه‌های مورد مطالعه از ۵ نمونه رسوبات آبرفتی نزدیک به محوطه‌های باستانی نیز مقطع نازک میکروسکوپی تهیه شده است. این رسوبات از عمق ۵۰ سانتی‌متری سطح محوطه برداشت شده است. از آنجایی که نمونه‌های فوق سست بوده و قابلیت مقطع‌گیری نداشتند، ابتدا مقداری از رسوبات بر روی رزین اپاکسی در سطح لام میکروسکوپی ریخته شده و پس از سخت‌شدن توسط دستگاه و پودرهای ساینده مخصوص تا ضخامت ۳۰ میکرون نازک شده‌اند و سپس توسط میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفته‌اند.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

۷-۲. تحلیل نتایج پتروگرافی

نتایج بررسی‌های پتروگرافی نشان می‌دهد که فابریک سفالینه‌ها از سه بخش اصلی شامل ماتریکس رسی، مواد افزودنی (انکلوزیون‌ها) و فضاهای خالی تشکیل شده است. ماتریکس، که بخش غالب نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد (به‌طور میانگین حدود ۵۶ درصد)، عمدتاً شامل مواد رسی همراه با ذرات ریز کلسیت و آثار اکسیدهای آهن است. به دلیل ریزدانه بودن این بخش، بررسی دقیق ترکیب آن در مقطع نازک با محدودیت‌هایی همراه است و شناسایی کامل کانی‌های رسی مستلزم استفاده از روش‌های تکمیلی نظیر XRD است (جدول ۲).

بررسی و آنالیز بدنه سفال‌های شیاردار مورد مطالعه با استفاده از مطالعهٔ میکروسکوپی مقاطع نازک آنها به شیوهٔ پتروگرافی، حاکی از وجود کانی‌هایی همچون: کوارتز (تک‌بلور و چندبلور)، فلدسپات‌ها (پلاژیوکلاز و ارتوکلاز)، خرده‌سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی، میکا (مسکویت و بیوتیت)، هماتیت، کلسیت و کانی‌های تیره است. این اجزاء دارای تنوع در اندازه، شکل و درجه گردشدگی بوده و جورشدگی آن‌ها در اغلب نمونه‌ها متوسط تا ضعیف ارزیابی می‌شود. لازم به تأکید است که تنوع در نوع خرده‌سنگ‌ها (آذرین، دگرگونی و رسوبی) به‌تنهایی نمی‌تواند منشأ مواد اولیه یا ماهیت شاموتی بودن خمیره را اثبات کند، زیرا این اجزاء می‌توانند هم منشأ دتریتیک (آواری از رسوبات محلی) و هم منشأ افزودنی عمدی داشته باشند. در برخی نمونه‌ها نیز حضور خرده‌سفال (گراگ) مشاهده شده است (جدول ۳).

توزیع دانه‌بندی یا بافت پورفیری در بسیاری از نمونه‌ها به‌صورت دو مدی (bimodal) است، به‌طوری‌که ذرات ریز و درشت به‌طور همزمان در خمیره مشاهده می‌شوند. این ویژگی می‌تواند ناشی از اختلاط مواد با اندازه‌های متفاوت باشد که ممکن است به‌صورت طبیعی در رسوبات وجود داشته باشد یا در برخی موارد ناشی از افزودن آگاهانهٔ مواد غیرپلاستیک (تمپر) باشد. بااین‌حال، تمایز قطعی بین این دو حالت تنها بر اساس داده‌های پتروگرافی امکان‌پذیر نیست و نیازمند داده‌های ژئوشیمیایی تکمیلی است. به نظر می‌رسد، خاک رس مورد استفاده در تهیهٔ سفال از نهشته‌های طبیعی ناهمگن و رسوبات آبرفتی یا رسوبی منطقه یا مواد اولیه‌ای با منشأ زمین‌شناختی متنوع تأمین شده است. حضور همزمان قطعات سنگی از چند منبع مختلف و متنوع، بیشتر می‌تواند نشان از خمیره و خاک رسی باشد که کاملا طبیعی و غیر پالایش شده است به همین دلیل است که ترکیب کانی‌شناختی نمونه ناهمگن و غیر یکنواخت است. چنان‌که پیش‌تر اشاره شد، فراوانی کوارتز در ترکیب کانی‌شناختی بدنه سفالینه‌ها، با توجه به جامعه آماری محدود مورد مطالعه و گستردگی حضور این کانی در محیط‌های زمین‌شناختی مختلف، به‌تنهایی نمی‌تواند نشان‌دهندهٔ منشأ مواد اولیه مورد استفاده باشد. بااین‌حال، به نظر می‌رسد در ساخت بدنه این سفال‌های شیاردار از رس‌های طبیعی غنی از کوارتز استفاده شده باشد یا اینکه ماسه سیلیسی به‌طور عمدی به‌عنوان افزودنی و پرکننده معدنی، با هدف جلوگیری از ترک‌خوردگی بدنه سفالینه‌ها هنگام خشک‌شدن، به خمیره افزوده شده باشد. بنابراین، احتمال استفاده از مواد اولیه با منشأ آبرفتی را نمی‌توان دور از انتظار دانست.

جدول ۲. کانی‌های شناسایی شده در نمونه سفال‌های شیاردار مورد مطالعه

Table 2. Identified minerals in the studied grooved pottery samples

	Q		Srf	Vrf	Mrf	Silt	Shl	Igneous Rock	F		Mica		Opa			klMatrix		
نمونه سفال در محوطه‌ها	Qm	Qp	Sst	Vrf	Mrf	Silt	Shl	Igneous Rock	Pla	Ort	Mus	Bio	Opq	Ol	Am	Hematite	Calcite	Swcondary calcite
نمونه چارده سورگ۱	*	*	*								*		*		*	*		*
نمونه چارده سورگ ۲	*	*	*	*				*	*		*	*	*		*	*		
نمونه‌کلاته شاهپوری	*	*	*		*	*	*				*		*	*	*		*	
نمونه‌قلعه کمر زادنبه	*	*	*	*	*			*	*		*		*		*	*		
نمونه انبزپشته	*	*	*	*	*				*		*		*				*	
نمونه تپه کوره	*	*	*	*		*			*	*	*		*		*	*	*	

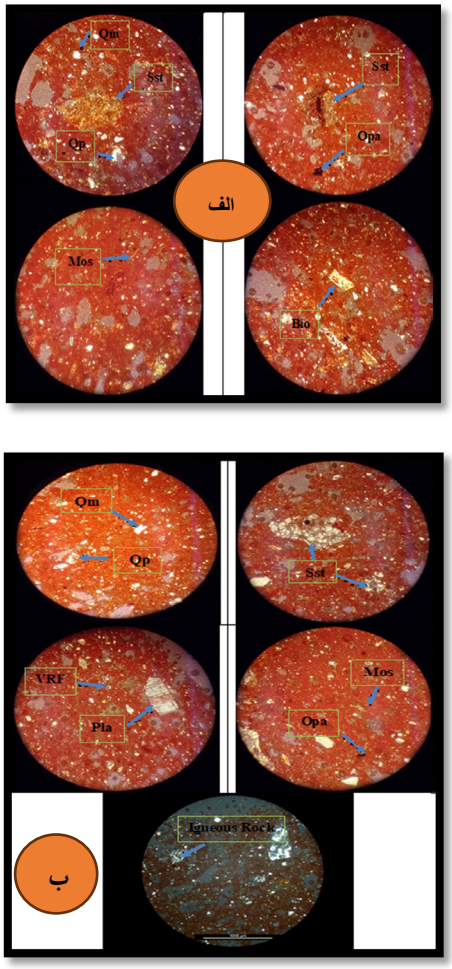
[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ۳. توصیف اختصارات به کار رفته در جدول ۲

Table 3. Description of abbreviations that are used in Table 2.

توصیف	حروف اختصاری
کوارتز	Q
کوارتز مونوکریستالین یا تک بلور	Q_m
کوارتز پلی کریستالین یا چند بلور	Q_p
فلدسپات	F
پلاژیوکلاز	Pla
اورتوکلاز	Ort
خرده‌سنگ رسوبی	SRF
خرده‌سنگ رسوبی ماسه سنگی	Sst
خرده‌سنگ رسوبی سیلتستونی	Silt
خرده‌سنگ رسوبی شیلی	Shl
خرده‌سنگ ولکانیکی	VRF
خرده‌سنگ دگرگونی	MRF
خرده‌سنگ آذرین	Igneous Rocks
میکا	Mica
میکای مسکویت	Mus
میکای بیوتیت	Bio
کانیهای اپاک یا تیره	Opq
الیوین	Ol
آمفیبول	Am
ماتریکس	Matrix
هماتیت	Hematite
کلسیت	Calcite
کلسیت ثانویه	Secondary Calcite

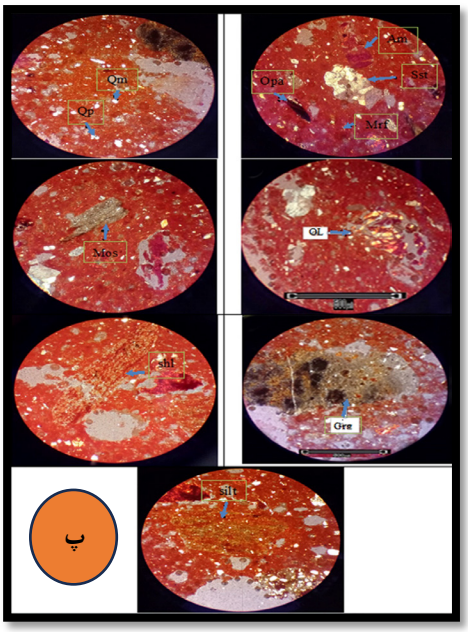
فضاهای خالی موجود در نمونه‌ها به‌طور متوسط حدود ۵ درصد برآورد شده‌اند و از نظر شکل و اندازه تنوع دارند. وجود این منافذ از منظر آسیب‌شناختی حائز اهمیت است؛ زیرا مسیرهایی برای نفوذ آب و نمک‌های محلول از محیط به درون بدنه سفال فراهم می‌کنند و بستر مناسبی برای رسوب‌گذاری و جابه‌جایی یون‌ها به شمار می‌روند. این فرایندها ضمن ایجاد تنش در ساختار سفال، می‌توانند موجب تغییر بافت اولیه، تشدید ریزترک‌ها، هوازدگی و تخریب شدید بدنه سفالینه‌ها تحت تأثیر عوامل محیطی و شرایط محیط دفن شوند. شواهد این فرایندها را می‌توان در تشکیل کلسیت ثانویه و پوسته‌شدن سطحی بدنه برخی از قطعات مورد مطالعه مشاهده کرد. در برخی موارد، حضور کلسیت ثانویه در این فضاهای خالی مشاهده شده است که این موضوع تفسیر دقیق دمای پخت قطعات را دشوار می‌سازد. شایان ذکر است که حضور کلسیت، چه در ماتریکس و چه به‌صورت ثانویه در فضاهای خالی، با دمای پخت بالا (بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد) سازگار نیست؛ زیرا کلسیت در چنین دماهایی تجزیه می‌شود. بنابراین، حضور آن در نمونه‌های مورد مطالعه احتمالاً ناشی از دگرسانی پس از دفن یا رسوب‌گذاری ثانویه است، نه باقی‌ماندن آن از فرایند پخت. از سوی دیگر، حضور فاز کلسیت و سایر ترکیبات کانی‌شناختی شناسایی‌شده در این بخش، با فرض پخت سفالینه‌ها در دماهای متوسط سازگار است و شواهد کافی برای تأیید پخت این آثار در دماهای بالا در دست نیست. در مجموع، داده‌های پتروگرافی ارائه‌شده صرفاً امکان ارزیابی مقدماتی ویژگی‌های کانی‌شناختی و بافتی سفال‌ها را فراهم می‌کنند.



شکل۵. ردیف الف: تصویر میکروسکوپی، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال محوطه چارده سورگ: (A)کوارتز مونو کریستالین(Qm)، کوارتز پلی کریستالین (Qp)، خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی (Sst)، (B)کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)، خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی (Sst)، (C) میکامسکویت (Mos)، (D) میکا بیوتیت (Bio).
ردیف ب: تصویر میکروسکوپی، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال محوطه چارده سورگ: (A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، (B) خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی (Sst)، (C) فلدسپات پلاژیوکلاز(Pla)، خرده‌سنگ ولکانیکی (VRF)، (D) کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)، میکا مسکویت (Mos)، (E) سنگ آذرین(Igneous Rock)

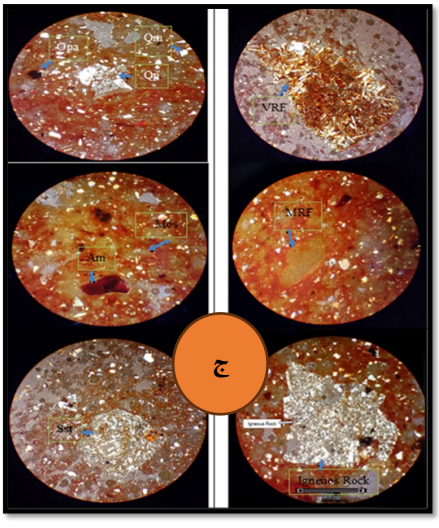
Figure 5. Microscopic Images (XPL Light) of the Types of Minerals Identified in the Pottery from the Chardeh Sourg Site. Row A: (A) Monocrystalline Quartz (Qm), Polycrystalline Quartz (Qp), Sandstone Lithics (Sst); (B) Heavy or Opaque Minerals (Opa), Sandstone Lithics (Sst); © Muscovite Mica (Mos); (D) Biotite Mica (Bio). Row B: (A) Monocrystalline Quartz (Qm), Polycrystalline Quartz (Qp); (B) Sandstone Lithics (Sst); (c) Plagioclase Feldspar (Pla), Volcanic Rock Fragment (VRF); (D) Heavy or Opaque Minerals (Opa), Muscovite Mica (Mos); (E) Igneous Rock.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026



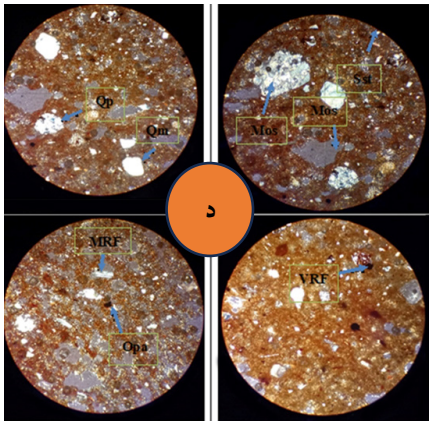
شکل ٦. پ: تصویر میکروسکوپی ، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال محوطه کلاته شاهپوری: (A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، (B) خرده‌سنگ‌های ماسه‌سنگی (Sst)، آمفیبول (Am)، مسکویت (Mos)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)، (C) خرده‌سنگ‌های دگرگونی (MRF)، (D) شیل (shl)، (E) گراگ یا خرده سفال (Grg)، (F) خرده‌سنگ سیلتستونی(Silt)، (G) الیوین(OL)

Figure 6. P: Microscopic Image, XPL Light, of the Types of Minerals Identified in the Pottery from the Kalateh Shahpouri Site. (A) Monocrystalline Quartz (Qm), Polycrystalline Quartz (Qp), (B) Sandstone Lithics (Sst), Amphibole (Am), Muscovite (Mos), Heavy or Opaque Minerals (Opa), (c) Metamorphic Rock Fragments (MRF), (D) Shale (Shl), (E) Grog or Pottery Fragments (Grg), (F) Siltstone Lithics (Silt), (G) Olivine (Ol)



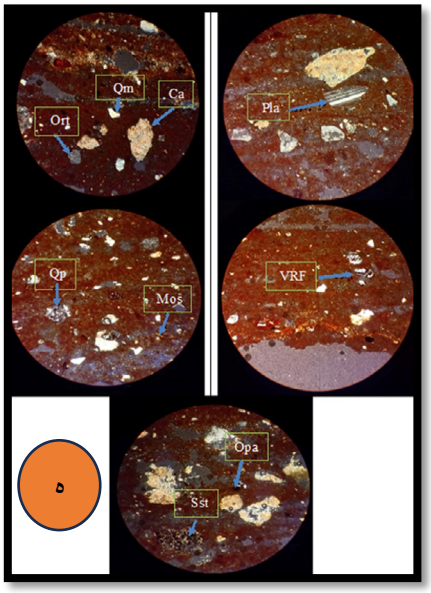
شکل ۷. ج: تصویر میکروسکوپی، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال محوطه قلعه کمر زادنبه: (A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)، (B) خرده‌سنگ ولکانیکی (VRF)، (C) آمفیبول (Am)، میکا مسکویت (Mos)، (D) خرده‌سنگ دگرگونی (MRF)، (E) خرده‌سنگ رسوبی ماسه سنگی (Sst)، (F) خرده‌سنگ آذرین (پلوتونیکی) (Igneuos Rock)

Figure 7. C: Microscopic Image, XPL Light, of the Types of Minerals Identified in the Pottery from the Ghaleh Kamar Zadonbeh Site.(A) Monocrystalline Quartz (Qm), Polycrystalline Quartz (Qp), Heavy or Opaque Minerals (Opa), (B) Volcanic Rock Fragment (VRF), (c) Amphibole (Am), Muscovite Mica (Mos), (D) Metamorphic Rock Fragment (MRF), (E) Sedimentary Sandstone Lithics (Sst), (F) Igneous (Plutonic) Rock Fragment.



شکل ۸ . د: تصویر میکروسکوپی، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال محوطه انبز پشته حاجی آباد: (A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، (B) خرده‌سنگ ماسه‌سنگی (Sst)، میکا مسکویت (Mos)، (C) خرده‌سنگ دگرگونی (MRF)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)، (D) خرده‌سنگ ولکانیکی (VRF)

Figure 8. D: Microscopic Image, XPL Light, of the Types of Minerals Identified in the Pottery from the Anbaz Poshteh Hajiabad Site. (A) Monocrystalline Quartz (Qm), Polycrystalline Quartz (Qp), (B) Sandstone Lithics (Sst), Muscovite Mica (Mos), (c) Metamorphic Rock Fragment (MRF), Heavy or Opaque Minerals (Opa), (D) Volcanic Rock Fragment (VRF).



شکل ۹. ه: تصویر میکروسکوپی ، نور XPL، انواع کانی‌های شناسایی شده در سفال تپه‌کوره محمد آباد: (A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، ارتوکلاز (Ort)، کلسیت (Ca)، (B) پلاژیوکلاز (Pla)، (C) کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، میکا مسکویت (Mos)، (D) خرده‌سنگ ولکانیکی (VRF)، (E) خرده‌سنگ‌های رسوبی ماسه‌سنگی (Sst)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

Figure 9. E: Microscopic Image, XPL Light, of the Types of Minerals Identified in the Pottery from Tappeh Koureh Mohammadabad. (A) Monocrystalline Quartz (Qm), Orthoclase (Ort), Calcite (Ca), (B) Plagioclase (Pla), (c) Polycrystalline Quartz (Qp), Muscovite Mica (Mos), (D) Volcanic Rock Fragment (VRF), (E) Sedimentary Sandstone Lithics (Sst), Heavy or Opaque Minerals (Opa)

۷-۳. پتروگرافی خاک رسوبات آبرفتی

نمونه‌های خاک از رسوبات آبرفتی رودخانه‌های مجاور محوطه‌های باستانی مورد مطالعه در این پژوهش و از عمق تقریبی ۵۰ سانتی‌متری زمین برداشت شدند. انتخاب این عمق با هدف کاهش تأثیر عوامل محیطی بر نمونه‌های برداشته شده و هوازدگی و دگرسانی‌های جدید بر آنها و دستیابی به نمونه خاکی با ویژگی‌های نسبتاً پایدارتر رسوبات انجام شد (عبادی‌راد، ۱۳۹۹: ۳). محل نمونه‌برداری نیز بر اساس مجاورت جغرافیایی آن با محوطه‌های مورد مطالعه و دسترسی به نهشته‌های آبرفتی قابل برداشت، انتخاب شد. بااین‌حال، با توجه به محدود بودن تعداد نمونه‌ها، داده‌های حاصل از این بخش ماهیت توصیفی دارند و قابلیت تعمیم آماری آن‌ها به کل منطقه محدود است. در مجموع، پنج نمونه از رسوبات آبرفتی رودخانه‌های حاجی‌آباد (بمرود)، محمدآباد، بهدان، چهارفرسخ و زادنبه در مجاورت محوطه‌های باستانی انتخابی، برداشت شد. پس از تهیهٔ مقاطع نازک، نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان و در نورهای عبوری معمولی (PPL) و متقاطع (XPL) مورد بررسی و مطالعه قرار گرفتند. نتایج پتروگرافی نشان داد که تمامی نمونه‌ها دارای بافت غالباً ریزدانه‌اند و ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها عمدتاً شامل کوارتز مونوکریستالین و پلی‌کریستالین، به همراه مقادیر متغیری از فلدسپات‌ها، میکاها و کانی‌های اپاک است. در برخی نمونه‌ها نیز حضور محدود کربنات‌ها، از جمله کلسیت و کلسیت آهن‌دار، در زمینهٔ رسی مشاهده شد. در اغلب نمونه‌ها، فراوانی کوارتز نسبت به کانی‌های ناپایدارتر، مانند فلدسپات‌ها، بیشتر بود. این مشاهدات از فازهای موجود در نمونه‌های خاک، به نظر می‌رسد، در طی فرایندهایی مانند هوازدگی شیمیایی و مکانیکی در خاک مادر و همچنین پایداری بیشتر فاز کوارتز در چرخه رسوبی و نیز انتخاب‌گری رسوبی در طی حمل‌ونقل بوجود آمده باشد. بااین‌حال، تبیین دقیق سهم هر یک از این عوامل در تشکیل این نوع خاک، نیازمند داده‌های مکمل رسوب‌شناسی و ژئوشیمیایی است. در نمونه‌های مربوط به چارده‌سورگ، نهبندان، انبزپشته، قلعه‌کمر زادنبه و تپه‌کوره محمدآباد، کوارتز مونوکریستالین و پلی‌کریستالین به‌عنوان اجزای غالب شناسایی شدند، درحالی‌که کانی‌های اپاک، فلدسپات‌ها، میکاها و کربنات‌ها به‌صورت فازهای فرعی و با فراوانی‌های متفاوت حضور دارند. این تفاوت‌ها احتمالاً بازتابی از تنوع سنگ‌مادر، شرایط هوازدگی و فرایندهای رسوب‌گذاری در حوضه‌های مختلف در طی تشکیل خاک است. با توجه به محدودیت داده‌های موجود، ارائه تفسیری قطعی در این زمینه بسیار مشکل است. با وجود این، مقایسه کیفی میان ترکیب کانی‌شناسی رسوبات آبرفتی و ماتریکس سفال‌های شیاردار اشکانی مورد مطالعه در این پژوهش، نشان‌دهندهٔ برخی شباهت‌های کلی است، همچون: وجود انواع کوارتز به‌عنوان جزء غالب و نیز حضور فلدسپات‌ها، میکاها و کانی‌های اپاک در ترکیب کانی‌شناختی خاک مورد مطالعه و قطعات سفالی مورد آزمایش که این موضوع نشان دهنده آن است که احتمالاً یک همخوانی کانی‌شناختی کلی در میان نتایج حاصل از بررسی ترکیب کانی‌شناسی آنها به روش‌های پتروگرافی مشاهده می‌گردد. از سوی دیگر، حضور خرده‌سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی در بدنهٔ سفالینه‌ها و با تنوع بلورین در خاک تا حد زیادی همخوانی دارد. این امر فرضیهٔ استفاده از منابع رسوبی محلی را برای تهیه خاک مناسب برای تولید فرآورده‌های سفالی تقویت می‌نماید. از آنجا که این کانی‌ها در بسیاری از رسوبات آبرفتی پوستهٔ زمین به‌طور گسترده حضور دارند، روشن است که این شباهت‌ها به‌تنهایی برای شناسایی و اثبات منشأ اصلی مواد اولیه مورد استفاده در ساخت سفال‌های شیاردار اشکانی کافی نیست. ازاین‌رو، نتایج این بخش صرفاً می‌تواند به‌عنوان مطالعهٔ مقدماتی در طرح این فرضیه مبنی بر استفاده از برخی منابع رسوبی محلی در تولید سفال‌ها مطرح گردد؛ فرضیه‌ای که شواهد تاریخی در سایر محوطه باستانی نیز امکان صحت آن را تأیید می‌نماید. با وجود این، روشن است که اثبات این مدعا و ارزیابی دقیق‌تر آن مستلزم بهره‌گیری از مطالعات تکمیلی در آینده و بهره‌گیری از داده‌های ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی و مطالعات آماری گسترده‌تر است.

۷-٤. طیف سنجی پراش اشعه ایکس (XRD)

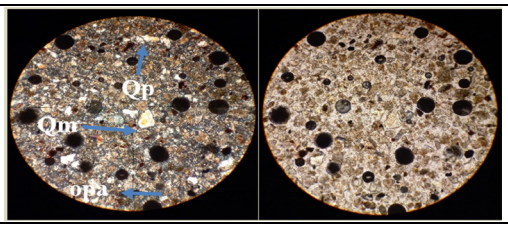
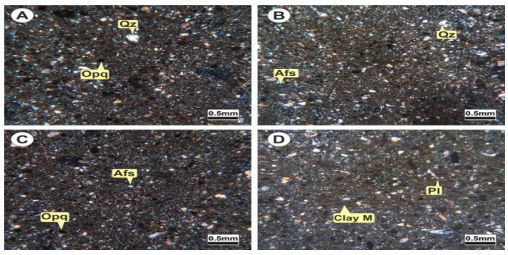
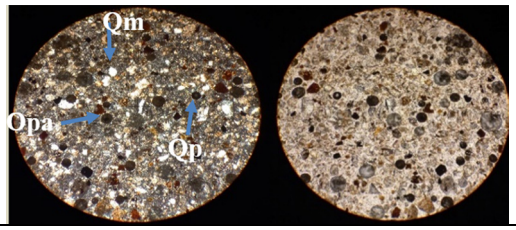
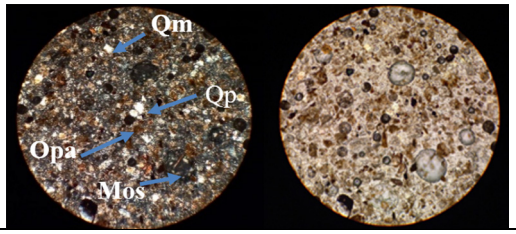
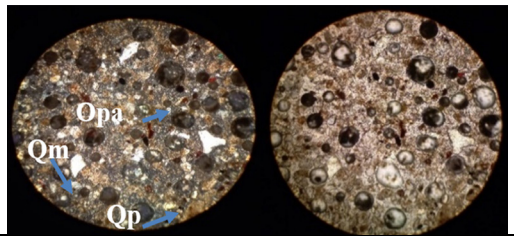
طیف‌سنجی پراش پرتو ایکس (XRD)، به‌عنوان یکی از روش‌های استاندارد در شناسایی فازهای بلورین مواد زمین‌شناسی و باستان‌سنجی، برای بررسی ترکیب کانی‌شناسی نمونه‌های سفالی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به تأکید است که XRD به‌تنهایی قادر به تعیین منشأ مواد اولیه، دمای پخت یا نوع کوره نیست و نتایج آن باید در کنار سایر داده‌های تحلیلی تفسیر شود. در این مطالعه، پنج نمونه از سفال‌های شیاردار با استفاده از روش XRD مورد تحلیل قرار گرفتند. با توجه به حجم نمونه‌ها، از آن‌ها قرص تهیه شد. نمونه‌ها با دستگاه پراش‌سنج پرتو ایکس پودری، مدل T2T، متعلق به شرکت SIEFERT، در شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر و ولتاژ ۴۰ کیلوولت آنالیز شدند. اطلاعات مربوط به شناسایی فازهای بلوری بر اساس بانک اطلاعاتی PDF2 و با استفاده از نرم‌افزار Xpert High Score Plus به دست آمدند. نتایج XRD نشان می‌دهد که فازهای غالب در تمامی نمونه‌ها شامل کوارتز (SiO_2) و فلدسپات‌های گروه پلاژیوکلاز، به‌ویژه آلبیت، هستند (جدول ۵). این فازها دارای پیک‌های مشخص و قابل شناسایی‌اند و با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی هم‌خوانی دارند.

کوارتز، به‌عنوان یکی از فازهای پایدار و گسترده در سیستم‌های طبیعی، در تمامی نمونه‌ها حضور دارد. فلدسپات‌های پلاژیوکلازی، به‌ویژه آلبیت، نیز از کانی‌های رایج در سنگ‌های منشأ و رسوبات آبرفتی هستند و حضور آن‌ها با ترکیب اولیه خمیر رسی هم‌خوانی دارد.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

جدول ٤. مشخصات پتروگرافی خاک محوطه‌های مورد مطالعه

Table 4. Petrographic Characteristics of Site Soils (more concise)

کانی‌ها	خاک محوطه مورد مطالعه	تصاویر میکروسکوپی
(A): کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، کانی‌های سنگین یا اپاک(Opa	تصاویر میکروسکوپی (XPL،PPL). خاک محوطه چارده سورگ	
(A): کوارتز(QZ)، اپاک(Opq)، (B) کوارتز (Qz)، آلکالی فلدسپار(Afs)، (C) آلکالی فلدسپار(Afs)، اپاک (Opq)، (D) پلاژیوکلاز (Pla)، کانی‌های رسی در زمینه (Clay M) تصاویر در نور	تصاویر میکروسکوپی XPL. خاک محوطه نهبندان:	
(A): کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)	تصاویر میکروسکوپی(XPL،PPL). خاک محوطه قلعه کمر زادنبه	
(A): کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، میکا مسکویت (Mos)، کانی‌های سنگین یا اپاک(Opa)	تصاویر میکروسکوپی(XPL،PPL). خاک محوطه انبزپشته حاجی‌آباد	
(A) کوارتز مونوکریستالین (Qm)، کوارتز پلی‌کریستالین (Qp)، کانی‌های سنگین یا اپاک (Opa)	تصاویر میکروسکوپی(XPL،PPL). خاک محوطه تپه‌کوره محمدآباد	

در برخی نمونه‌ها، فازهای فرعی نظیر لابرادوریت، میکروکلین، انستاتیت، اوژیت و هدنبرژیت شناسایی شدند. باید توجه داشت که حضور این فازها به‌تنهایی نمی‌تواند به‌عنوان شاخص منشأ آذرین یا شاموتی تفسیر شود، زیرا XRD قادر به تفکیک فازهای دتریتیک (آواریِ حاصل از رسوبات) از فازهای نوفرم‌شده در اثر پخت نیست. این فازها صرفاً نشان‌دهنده تنوع طبیعی در ترکیب مواد اولیه هستند. فاز کیزریت که در نمونه ۲ با شدت ضعیف مشاهده شده است، از نظر ترمودینامیکی در دماهای بالاتر از ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد ناپایدار است. بنابراین، احتمال خطای شناسایی در تطبیق با پایگاه‌های داده یا انتساب آن به فازهای ثانویه یا آلودگی محیطی وجود دارد و نمی‌توان آن را به‌عنوان جزء اصلی بدنه سفال در نظر گرفت. در مجموع، نتایج XRD در کنار داده‌های پتروگرافی، امکان توصیف ترکیب کانی‌شناسی سفال‌های شیاردار را فراهم می‌کنند.

۷-٤-۱. تحلیل آنالیزهای XRD

نتایج حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) در پنج نمونهٔ مورد مطالعه (شکل ۱۰) نشان می‌دهد که فازهای غالب در تمامی نمونه‌ها شامل کوارتز (SiO_2) و فلدسپات‌های گروه پلاژیوکلاز، به‌ویژه آلبیت، هستند. این فازها دارای پیک‌های مشخص و تکرارشونده بوده و حضور گسترده آن‌ها در تمامی نمونه‌ها بیانگر نقش اصلی آن‌ها در ترکیب کانی‌شناسی بدنه سفال‌ها است. حضور کوارتز

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

در همه نمونه‌ها نشان‌دهنده ماهیت سیلیسی مواد اولیه و پایداری بالای این فاز در برابر تغییرات فیزیکی و حرارتی است. فلدسپات‌های سدیک (آلبیت) نیز از کانی‌های رایج در رسوبات آبرفتی و سنگ‌های منشأ بوده و حضور آن‌ها در کنار کوارتز می‌تواند صرفاً بیانگر استفاده از مواد اولیه طبیعی با ترکیب سیلیکاتی–فلدسپاتی باشد و نه لزوماً شاخصی برای منشأ خاص یا فرآیند ویژه‌ای از تولید. در برخی نمونه‌ها فازهای فرعی شامل لابرادوریت، میکروکلین، اوژیت، هدنبرژیت و انستاتیت شناسایی شده‌اند. حضور این فازها به‌تنهایی قابل تفسیر به‌عنوان شاخص منشأ آذرین یا فرآیندهای خاص فناوری (مانند شاموتی بودن) نیست، زیرا XRD به‌تنهایی توانایی تفکیک میان منشأ دتریتیک (رسوبی/آواری) و فازهای نوفرم‌شده در اثر پخت را ندارد. بنابراین این فازها صرفاً می‌توانند نشان‌دهنده ناهمگنی طبیعی در مواد اولیه یا وجود ذرات معدنی فرعی در رسوبات مورد استفاده باشند.

فاز کیزریت که در نمونه ۲ (Sample 2) با شدت ضعیف مشاهده شده، از فازهای سولفاتی منیزیم است و از نظر ترمودینامیکی در دماهای بالاتر از ۷۰۰–۸۰۰ درجه سانتی‌گراد ناپایدار است. بنابراین، احتمال خطای شناسایی در تطبیق با پایگاه‌های داده یا انتساب آن به فازهای ثانویه/آلودگی محیطی وجود دارد و نمی‌توان آن را به‌عنوان جزء اصلی بدنه سفال در نظر گرفت. غنای بدنه سفال‌ها از کوارتز و آلبیت، احتمالا نشان‌دهندهٔ استفاده از خاک‌های رس سیلتی – ماسه‌ای است. از سوی دیگر، با توجه به تنوع فازهای فرعی در نتایج حاصل از پراش‌سنجی به نظر می‌رسد که سفالگران برای تهیه خاک احتمالا از چند منبع رسوبی مختلف استفاده نموده‌اند و یا این که رسوبات آبرفتی منطقه‌ای که خاک را از آن استخراج کرده‌اند دارای تنوع کانی‌شناختی بالایی بوده که می‌تواند ناشی از تخریب سنگ‌های آذرین و دگرگونی در منطقه بالادست بوده باشد. حضور پیروکسن‌هایی همچون اوژیت و هدنبرژیت و پلاژیوکلازهای کلسیک (لابرادوریت و آنورتیت) به شدت فرضیه استفاده از رسوبات حاصل از تخریب سنگ‌های مافیک و میانی همچون بازالت و دیوریت را تقویت می‌نماید و این شاخصه‌ها، شواهد مهمی برای ردیابی موقعیت جغرافیایی معادن خاک رس مورد استفاده سفالگران در دوره اشکانی در اختیار قرار خواهد داد.

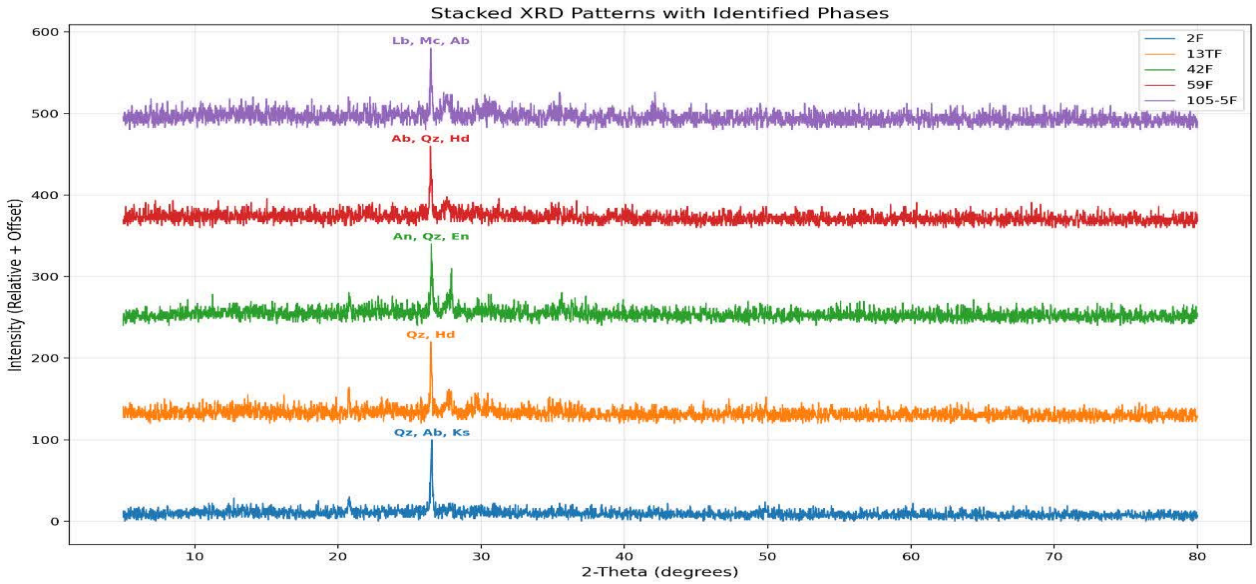
فقدان کانی‌های رسی همچون کائولینیت یا ایلیت در نتایج پراش‌سنجی نمونه سفال‌ها نشان‌دهندهٔ آن است که احتمالاً دمای پخت قطعات سفال قطعاً فراتر از ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد بوده است، چون در این دما ساختار کانی‌های رسی فرو می‌پاشد. از سوی دیگر، وجود پیروکسن‌ها (اوژیت، هدنبرژیت و انستاتیت) حاکی از دمای پخت بالای ۸۵۰ تا ۹۰۰ درجه است، ولی با توجه به شناسایی فاز آلبیت در بیشتر نمونه‌های سفال و عدم حضور کانی‌های دمای بالایی همچون: مولایت یا کریستوبالایت در ساختار سفالینه‌ها به نظر می‌رسد که حضور پیروکسن‌ها مربوط به خاک اولیه مورد استفاده در ساخت سفال‌ها است. این امر نشان می‌دهد که احتمالاً سفال‌های شیاردار پارتی مورد مطالعه احتمالاً با دمای متوسطی در حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد پخت داده شده است.

جدول ۵. فازهای شناسایی‌شده در آنالیز پراش پرتو ایکس(XRD)

Table 5. Phases identified by X-ray diffraction (XRD) analysis

ردیف	شماره نمونه سفال	نتایج XRD (فاز)	Ref
1	2 (2f)	Quartz, SiO_2	(Ref: 01-083-2465)
		Albite, $NaAlSi_3O_8$	(Ref: 01-076-0898)
		Kieserite, $Mg_4S_4O_{20}H_8$	(Ref: 96-110-0094)
2	۳ (42f)	Anorthite, $CaAl_2Si_2O_8$	(Ref: 00-041-1486)
		Quartz, SiO_2	(Ref: 01-083-2465)
		Enstatite, $Mg_8Si_8O_{24}$	(Ref: 96-900-3434)
3	۴ (105-5f)	Labradorite, Na0.4Ca0.6Al1.6Si2.4O8	(Ref: 00-003-0499)
		Microcline, $KAlSi_3O_8$	(Ref: 01-087-1791)
		Quartz, SiO_2	(Ref: 96-900-5022)
		Augite, $Ca(Fe,Mg)Si_2O_6$	(Ref: 00-024-0201)
		Albite, $NaAlSi_3O_8$	(Ref: 01-083-1607)
4	5 (13tf)	Quartz, SiO_2	(Ref: 96-900-5022)
		Hedenbergite, $CaFeSi_2O_6$	(Ref: 00-041-1372)
		Albite, $NaAlSi_3O_8$	(Ref: 00-001-0739)
5	6 (59f)	Albite, $NaAlSi_3O_8$	(Ref: 01-083-1611)
		Quartz, SiO_2	(Ref: 01-085-1780)
		Hedenbergite, $CaFeSi_2O_6$	(Ref: 01-071-1500)

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ۱۰. الگوهای روی‌هم‌چیده‌ی پراش پرتو ایکس (Xrd)

Figure 10. Stacked X-ray diffraction (XRD) patterns of the five pottery samples investigated in this study.

۷- ۵. تحلیل تطبیقی آنالیز پتروگرافی با آنالیز XRD

ترکیب نتایج پتروگرافی و XRD در این پژوهش با هدف بررسی میزان همخوانی میان این دو روش و ارائه تصویری منسجم‌تر از ترکیب کانی‌شناختی سفالینه‌ها انجام شده است. لازم به تأکید است که این مقایسه صرفاً در سطح توصیف همپوشانی کانی‌شناختی قابل ارزیابی است و به‌هیچ‌وجه جایگزین داده‌های کمی ژئوشیمیایی، نظیر XRF یا ICP، برای تعیین منشأ مواد اولیه یا فناوری تولید نمی‌شود. بررسی نتایج پتروگرافی نشان می‌دهد که نمونه‌ها از نظر نوع خرده‌سنگ‌های موجود در خمیره تنوع دارند؛ به‌طوری‌که برخی نمونه‌ها دارای خرده‌سنگ‌های آذرین و برخی دیگر واجد خرده‌سنگ‌های دگرگونی یا رسوبی هستند. این تنوع احتمالاً بازتابی از تفاوت در ترکیب رسوبات محلی در محوطه‌های مختلف است، هرچند اثبات قطعی این موضوع به داده‌های تکمیلی نیاز دارد. مقایسه با نتایج XRD نشان می‌دهد که ترکیب فازهای شناسایی‌شده در الگوهای پراش تا حدی با این تنوع کلی همخوانی دارد؛ اما این همخوانی صرفاً در سطح شباهت‌های کانی‌شناختی قابل تفسیر است و به‌معنای تأیید مستقیم منشأ مواد اولیه نیست. در هر دو روش، کوارتز به‌عنوان فاز اصلی و فراوان شناسایی شده است.

در نتایج پتروگرافی، حضور کوارتز به‌صورت دانه‌های درشت در خمیره (حدود ۱۰ تا ۲۰ درصد) گزارش شده که با شدت نسبی پیک‌های کوارتز در الگوهای XRD همخوانی کلی دارد. همچنین، در بررسی‌های پتروگرافی، حضور انواع پلاژیوکلازها در کنار سایر فلدسپات‌ها مشاهده شده که در داده‌های XRD نیز به‌صورت فازهای مختلف فلدسپاتی قابل شناسایی هستند. این همخوانی نشان‌دهنده تنوع طبیعی در ترکیب فلدسپات‌های نمونه‌های مورد مطالعه است. باید توجه داشت که پتروگرافی و XRD اطلاعاتی در مقیاس‌های متفاوت ارائه می‌دهند؛ پتروگرافی امکان مشاهده مستقیم اجزا و بافت خمیره را فراهم می‌کند، درحالی‌که XRD ترکیب فازهای بلوری را به‌صورت کلی شناسایی می‌کند. بنابراین، مقایسه این دو روش صرفاً امکان بررسی کلی همپوشانی کانی‌شناختی را فراهم می‌سازد و نتایج آن باید با احتیاط تفسیر شود. حضور کوارتز به‌صورت تک‌بلور و چندبلور در بررسی‌های پتروگرافی با پیک‌های شدید کوارتز در تمامی نمونه‌های مورد بررسی به روش پراش‌سنجی همخوانی دارد. همچنین، تنوع فلدسپاتی مشاهده‌شده در بررسی میکروسکوپی، به‌صورت پلاژیوکلاز و ارتوکلاز، در نتایج پراش پرتو ایکس و در قالب فازهای شناسایی‌شده‌ای همچون آلبیت، لابرادوریت و میکروکلین نمود یافته است. این موضوع می‌تواند حاکی از استفاده از رسوبات طبیعی نابالغ (Immature) در تولید این سفالینه‌ها باشد که از تخریب و فرسایش سنگ‌های آذرین و دگرگونی مناطق مجاور حاصل شده‌اند.

مطالعات پتروگرافی حضور خرده‌سنگ‌های آذرین و کانی‌های اوپک را گزارش کرده است و نتایج پراش‌سنجی، با شناسایی دقیق کانی‌هایی نظیر اوژیت، هدنبرژیت و انستاتیت، احتمال منشأ آذرین این اجزا و ارتباط آن‌ها با سنگ‌های آذرین بازیک (مانند بازالت و دیاباز) را مطرح می‌کند. بنابراین، تحلیل تطبیقی نتایج این دو بخش نشان می‌دهد که سفال‌های شیاردار اشکانی مورد مطالعه احتمالاً از یک سنت ساخت محلی مبتنی بر استفاده از رس‌های آبرفتی غنی از کوارتز و فلدسپات برخوردار بوده‌اند. تنوع خرده‌سنگ‌های آذرین، دگرگونی و رسوبی مشاهده‌شده در مقاطع نازک حاصل از مطالعات پتروگرافی و شناسایی فازهای پیروکسن و پلاژیوکلاز در نتایج پراش پرتو ایکس، می‌تواند بیانگر بهره‌برداری سفالگران پارتی از منابع رسوبی ناهمگن در نزدیکی محوطه‌های باستانی مورد مطالعه باشد. در مجموع، همخوانی نسبی میان داده‌های پتروگرافی و XRD می‌تواند به‌عنوان مبنایی مقدماتی برای مطالعات تکمیلی آینده مورد استفاده قرار گیرد.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

۷-٦. آنالیز SEM

آنالیز SEM–EDS در این پژوهش با هدف بررسی برخی از ویژگی‌های مهم ریزساختاری بدنه سفالینه‌ها و اندازه‌گیری و تعیین ترکیب شیمیایی عنصری نمونه‌ها به‌صورت نقطه‌ای انجام شد. این داده‌ها در کنار نتایج پتروگرافی و XRD، به‌عنوان شواهد تکمیلی مورد استفاده قرار گرفتند. بااین‌حال، لازم است تأکید شود که داده‌های حاصل از EDS ماهیتی موضعی و نیمه‌کمی دارند و بنابراین، برای تعیین ترکیب شیمیایی کل بدنه سفالینه‌ها یا استنتاج قطعی درباره منشأ مواد اولیه کفایت نمی‌کنند. بررسی‌های انجام‌شده نشان داد که عناصر اصلی شناسایی‌شده در نقاط تحلیل‌شده شامل Si, O, Al, Na Fe, Ca, K, Mg, و Ti هستند. حضور این عناصر، در سطحی کلی، با اجزای کانی‌شناختی و ترکیبات شناسایی‌شده در مطالعات پتروگرافی و XRD قابل مقایسه است. بااین‌حال، از داده‌های EDS به‌تنهایی نمی‌توان نوع دقیق فازهای معدنی یا سهم هر یک از آن‌ها را تعیین کرد. افزون‌براین، با توجه به ماهیت نقطه‌ای این روش، تغییرات مشاهده‌شده در مقادیر نسبی عناصر لزوماً نماینده ترکیب کلی بدنه هر نمونه نیست.

در برخی از نقاط تحلیل‌شده، تغییرپذیری موضعی در مقادیر نسبی عناصری مانند Ca و Mg مشاهده شد. این تغییرات می‌تواند با ناهمگنی ریزمقیاس خمیره، حضور ذرات یا فازهای موضعی، تفاوت در محل انتخاب‌شده برای آنالیز یا شرایط سطح شکست مرتبط باشد. ازاین‌رو، این داده‌ها صرفاً برای توصیف الگوهای کلی عنصری در نقاط بررسی‌شده به کار می‌روند و مبنای کافی برای نتیجه‌گیری درباره ترکیب شیمیایی کل بدنه یا منشأ مواد اولیه فراهم نمی‌کنند. بالا بودن نسبت سیلیسیم به آلومینیوم (Si/Al) در تمامی نمونه‌های مورد آنالیز، به‌ویژه در نمونه‌های شماره ۱ و ۲، با فراوانی کوارتز به‌عنوان فاز اصلی در نتایج پراش‌سنجی و مطالعات پتروگرافی همخوانی دارد و می‌تواند نشان‌دهنده استفاده از خاک‌های رسی غنی از سیلیکات و دارای پلاستیسیته پایین در تولید این سفالینه‌ها باشد. در برخی نقاط، عنصر C نیز ثبت شد. با توجه به محدودیت‌های روش EDS، حضور این عنصر می‌تواند ناشی از آلودگی‌های سطحی، بقایای مواد آلی، فرایندهای پسادفنی یا حتی فرایند آماده‌سازی نمونه باشد. بنابراین، وجود آن لزوماً به معنای حضور اولیه ترکیبات کربن‌دار در بدنه سفال نیست.

عنصر Fe نیز در تمام نمونه‌های بررسی‌شده مشاهده شد. این یافته، در سطحی کلی، با وجود ترکیبات آهن‌دار گزارش‌شده در سایر روش‌های تحلیلی قابل مقایسه است؛ اما داده‌های EDS به‌تنهایی امکان تشخیص نوع دقیق فازهای آهن‌دار را فراهم نمی‌کنند. بااین‌حال، وجود آهن به میزان ۲٫۷ تا ۳٫۹ درصد در بدنه این قطعات سفالی شیاردار، برای ایجاد رنگ سرخ متمایل به نخودی در شرایط پخت اکسایشی کوره کافی به نظر می‌رسد؛ به‌ویژه آنکه این موضوع با شناسایی فاز هماتیت در الگوهای پراش پرتو ایکس نیز تأیید شده است. از سوی دیگر، میزان نسبتاً بالای عنصر کلسیم، در محدوده ۲٫۳۸ تا ۱۱٫۶۲ درصد، که بیشترین مقادیر آن در نمونه‌های شماره ۱، ۴ و ۶ مشاهده می‌شود، می‌تواند بیانگر حضور فازهای ثانویه کلسیت در بدنه سفالینه‌ها باشد و لزوماً به ترکیب خاک اولیه مورد استفاده در تولید این نمونه‌ها ارتباط ندارد؛ زیرا درصورتی‌که این کلسیم متعلق به رس اولیه بود، انتظار می‌رفت در نتایج پراش‌سنجی نمونه‌ها شاهد حضور فازهایی همچون دیوپسید نیز باشیم. بنابراین، این میزان کلسیم در بیشتر قطعات احتمالاً حاکی از تبادلات کلسیمی در محیط دفن و محل کشف قطعات سفالی و مؤید ثانویه‌بودن کلسیت و نفوذ آن به درون بدنه نمونه‌هاست؛ موضوعی که در تصاویر پتروگرافی مقاطع نازک قطعات نیز تأیید شده است.

حضور منیزیم تا میزان ۴٫۵ درصد وزنی و سدیم، در کنار شناسایی فاز کیزریت در نتایج پراش‌سنجی بدنه‌های سفالی، هشداری جدی از منظر آسیب‌شناسی به شمار می‌رود؛ زیرا این عناصر می‌توانند با وجود نمک‌های محلول منیزیمی و سدیمی، ازجمله ترکیبات سولفاتی و کلریدی، در بدنه سفالینه‌ها مرتبط باشند. این نمک‌ها در صورت قرارگیری قطعات در معرض تغییرات رطوبت نسبی محیط، فعال شده و تبلور آن‌ها می‌تواند به تخریب و متلاشی‌شدن بدنه سفال‌ها بینجامد.

تصاویر SEM نشان دادند که نمونه‌ها از نظر تراکم نسبی بافت، میزان تخلخل و یکنواختی ساختار تفاوت‌هایی دارند. در برخی نمونه‌ها بافتی نسبتاً متراکم‌تر و در برخی دیگر، فضاهای خالی و تخلخل بیشتری مشاهده شد. این تفاوت‌ها می‌تواند با عواملی مانند نحوه آماده‌سازی خمیره، اندازه و توزیع اجزای غیرپلاستیک، ناهمگنی مواد اولیه و برخی فرایندهای تولیدی یا پسادفنی مرتبط باشد. بااین‌حال، بر پایه تصاویر SEM به‌تنهایی نمی‌توان درباره شرایط پخت یا فناوری ساخت، نتیجه‌گیری قطعی ارائه کرد. در مجموع، نتایج حاصل از SEM–EDS در این پژوهش نقشی تکمیلی دارند و برای توصیف کلی ویژگی‌های ریزساختاری و الگوهای عنصری موضعی نمونه‌ها به کار رفته‌اند (جدول ۶).

جدول ٦. درصد وزنی عناصر موجود در سفالینه‌های مورد مطالعه
Table 6. Weight Percentage of Elements Present in the Studied

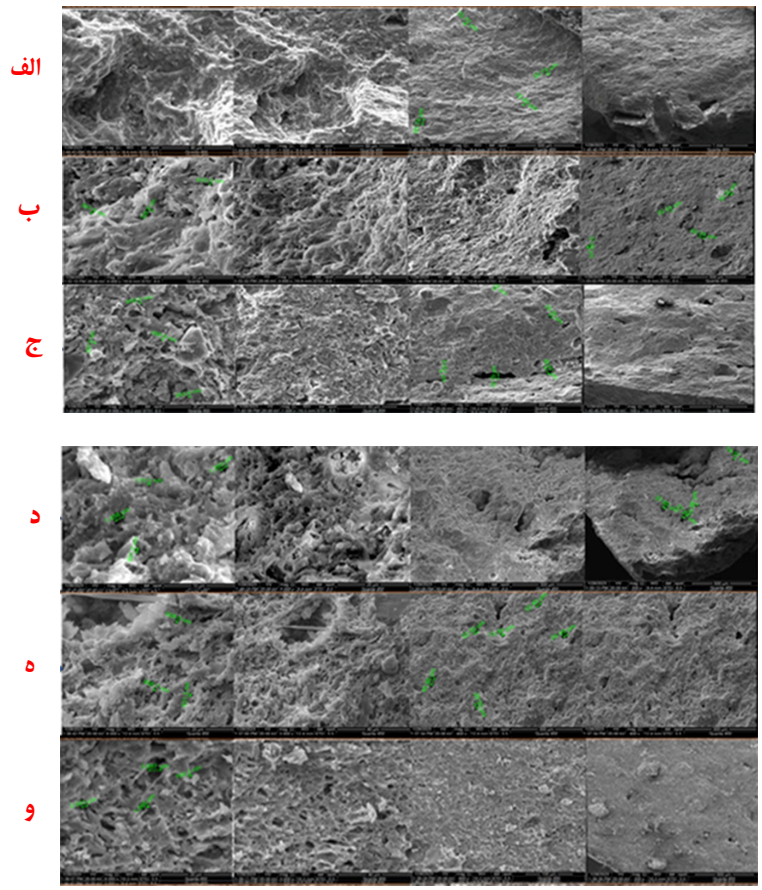
Sample	1	2	3	4	5	6
O	43.46	28.03	28.57	35.83	35.70	25.29
Si	11.08	15.19	15.36	13.05	14.60	10.94
Ca	11.62	3.27	3.67	7.31	2.38	8.49
Al	5.20	6.78	7.14	6.10	6.75	4.56
C	6.79	3.30	4.68	7.14	10.51	3.56
Fe	2.70	3.49	3.51	3.20	3.94	3.21
K	1.40	3.05	1.67	1.09	2.48	2.18
Mg	2.02	1.63	4.55	2.91	2.14	1.51
Ti	0.29	0.43	0.20	0.09	0.14	0.12
Na	1.13	0.78	1.18	1.49	0.18	0.11

تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)، مستندات تصویری بسیار ارزشمندی هستند که اطلاعات مهمی درباره ریزساختار، میزان تفجوشی و شیشه‌ای‌شدن بدنه سفال‌ها و وضعیت آسیب‌شناختی آن‌ها در اختیار ما قرار می‌دهند. بررسی تصاویر SEM در کنار نتایج حاصل از پتروگرافی و پراش‌سنجی نشان می‌دهد که با وجود شباهت‌های کلی کانی‌شناختی

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

نمونه‌های سفالی به‌دست‌آمده از محوطه‌های مختلف دوره پارتی و غلبه فازهای کوارتز و فلدسپات در آن‌ها، فرایند حرارتی و فناوری ساخت این نمونه‌ها تا حد زیادی با یکدیگر متفاوت است. دمای پخت نمونه‌ها از حدود ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد در نمونه‌های «ب» و «ه»، با بافت ورقه‌ای دگرگون‌شده و سست، تا حدود ۸۰۰ تا ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد در نمونه‌های «الف» و «و» متغیر است.

در نمونه‌های گروه نخست، صفحات کانی‌های رسی کاملاً از یکدیگر مجزا و دارای لبه‌های تیز هستند و هیچ‌گونه اثری از پیوستگی صفحات، ذوب آن‌ها یا ایجاد پیوندهای بین‌صفحه‌ای مشاهده نمی‌شود. در مقابل، تصاویر میکروسکوپ الکترونی نمونه‌های «الف» و «و» ساختاری نسبتاً متراکم و همگن را نشان می‌دهند که در آن ذرات به‌خوبی به یکدیگر جوش خورده و شیشه‌ای شده‌اند. همچنین، در این نمونه‌ها، اسکلت تف‌جوشی‌شده‌ای با کمک گدازآور کلسیم شکل گرفته است که میزان آن در ترکیب بدنه این سفال‌ها بالاست. این تفاوت و نوسان در دمای پخت، ساختار داخلی و بافت میکروسکوپی نمونه‌ها، می‌تواند نشان‌دهندهٔ عدم کنترل دقیق دما در کوره‌های سنتی مورد استفاده یا تفاوت در سنت‌های محلی و کارگاهی محوطه‌های مختلف باشد. از سوی دیگر، وجود ساختار متخلخل، تخلخل‌های باز، ریزترک‌ها، ترک‌های موازی و گسیختگی‌های بافتی، همراه با کلسیت ثانویه و فازهای سولفاتی، بیانگر استعداد بالای قطعات برای فرسایش و تخریب در اثر نوسانات رطوبت نسبی محیط است. این وضعیت احتمالاً ناشی از فعالیت و تبلور نمک‌های محلول در بدنه قطعات سفالی است؛ ازاین‌رو، اتخاذ تدابیر لازم برای کنترل رطوبت نسبی در محیط نگهداری آن‌ها ضروری به نظر می‌رسد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱. تصاویر تهیه شده از بدنهٔ سفال‌ها در آنالیز SEM

Figure 11. Images Obtained from the Pottery Body in SEM Analysis

تصویر الف: متعلق به نمونه ۱ از محوطه تپه سورگ – از سمت چپ به راست با مقیاس 40µm-50µm-500µm-1mm

تصویر ب: متعلق به نمونه ۲ از محوطه تپه سورگ – از سمت چپ به راست با مقیاس 20µm-40µm-100µm-500µm

تصویر ج : متعلق به نمونه ۳ از محوطه کلاته شاهپوری – از سمت چپ به راست با مقیاس 20µm-50µm-500µm-1mm،

تصویر د: متعلق به نمونه ۴ محوطه قلعه‌کمر زادنبه – از سمت چپ به راست با مقیاس10µm -20µm -300µm-500µm

تصویر ه: متعلق به نمونه ۵ محوطه انبز پشته حاجی‌آباد – از سمت چپ به راست با مقیاس20µm-40µm-300µm-500µm

تصویر و: متعلق به نمونه ۶ تپه‌کوره محمدآباد – از سمت چپ به راست با مقیاس20µm-40µm-100µm-500µm

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

Figure A: Pertaining to Sample 1 from Tappeh Sourg site – with scales from left to right: 40 μm40\,\mu\text{m}40μm–50 μm50\,\mu\text{m}50μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm–1 mm1\,\text{mm}1mm.

Figure B: Pertaining to Sample 2 from Tappeh Sourg site – with scales from left to right: 20 μm20\,\mu\text{m}20μm–40 μm40\,\mu\text{m}40μm–100 μm100\,\mu\text{m}100μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm.

Figure C: Pertaining to Sample 3 from Kalateh Shahpouri site – with scales from left to right: 20 μm20\,\mu\text{m}20μm–50 μm50\,\mu\text{m}50μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm–1 mm1\,\text{mm}1mm.

Figure D: Pertaining to Sample 4 from Ghaleh Kamar Zadonbeh site – with scales from left to right: 10 μm10\,\mu\text{m}10μm–20 μm20\,\mu\text{m}20μm–300 μm300\,\mu\text{m}300μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm.

Figure E: Pertaining to Sample 5 from Anbaz Poshteh Hajiabad site – with scales from left to right: 20 μm20\,\mu\text{m}20μm–40 μm40\,\mu\text{m}40μm–300 μm300\,\mu\text{m}300μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm.

Figure F: Pertaining to Sample 6 from Tappeh Koureh Mohammadabad site – with scales from left to right: 20 μm20\,\mu\text{m}20μm–40 μm40\,\mu\text{m}40μm–100 μm100\,\mu\text{m}100μm–500 μm500\,\mu\text{m}500μm.

۸. نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی و مطالعه مقدماتی ویژگی‌های کانی‌شناختی، ریزساختاری و ترکیب شیمیایی تعدادی از سفال‌های شیاردار دوره اشکانی که از برخی محوطه‌های باستانی خراسان جنوبی به‌دست آمده‌اند، با بهره‌گیری از ترکیب سه روش آنالیز دستگاهی، شامل پتروگرافی مقطع نازک، پراش پرتو ایکس (XRD) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDS)، انجام شده است. انتخاب این رویکرد با هدف جبران محدودیت‌های ذاتی هر یک از روش‌ها به‌تنهایی، همچنین محدودیت تعداد نمونه‌های مورد مطالعه و آنالیز به‌دلیل تنگناهای مالی و ملاحظات نمونه‌برداری، و فراهم‌کردن تصویری منسجم‌تر از ویژگی‌های فناورانه این سفال‌ها در دورهٔ پارتی صورت گرفته است.

برآیند نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی، پراش‌سنجی، آنالیز عنصری (EDS) و تصاویر میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) نشان داد که نمونه‌های سفالی مورد مطالعه از خمیره‌هایی با ترکیب کانی‌شناختی ناهمگن و مبتنی بر رسوبات سیلتی ـــ ماسه‌ای غنی از کوارتز و فلدسپات ساخته شده‌اند. حضور هم‌زمان کوارتز، فلدسپات‌ها، خرده‌سنگ‌های آذرین، رسوبی و دگرگونی، میکاها و فازهای فرعی مختلف، بیانگر آن است که احتمالاً در ساخت این سفال‌ها از خاک حاصل از منابع رسوبی طبیعی و احتمالاً آبرفتی با منشأ زمین‌شناختی متنوع استفاده شده است. تنوع کانی‌شناختی و بافتی نمونه‌ها همچنین نشان می‌دهد که مواد اولیه مورد استفاده سفالگران احتمالاً از رس‌های کاملاً پالایش‌شده تهیه نشده و دارای ترکیب طبیعی و نابالغ (Immature) بوده‌اند.

مطالعات پتروگرافی، وجود بافت دومدی (Bimodal) و حضور هم‌زمان ذرات ریز و درشت را در بسیاری از نمونه‌ها نشان داد که می‌تواند حاصل استفاده از رسوبات طبیعی ناهمگن یا در برخی موارد، ناشی از افزودن مواد غیرپلاستیک با هدف کنترل رفتار حرارتی و کاهش ترک‌خوردگی بدنه در هنگام خشک‌شدن باشد.

فراوانی کوارتز در کنار نسبت بالای Si/Al در داده‌های EDS نیز مؤید استفاده از خمیره‌های غنی از سیلیکات و کم‌پلاستیک است که می‌توانسته نقش مهمی در پایداری حرارتی و کنترل انقباض بدنه سفال‌ها هنگام خشک‌شدن ایفا کند. نتایج حاصل از آنالیز دستگاهی قطعات به روش‌های XRD و SEM بیانگر آن بود که فرایند پخت در نمونه‌های مورد مطالعه یکنواخت نبوده و سفال‌ها در دامنه‌ای از دماهای متوسط پخته شده‌اند. فقدان کانی‌های رسی اولیه، نظیر ایلیت و کائولینیت، بیانگر آن است که دمای پخت از حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد فراتر رفته است؛ درحالی‌که عدم حضور فازهای شاخص دماهای بالا، مانند مولایت و کریستوبالیت، نشان می‌دهد که دمای پخت احتمالاً از حدود ۸۰۰ تا ۸۲۰ درجه سانتی‌گراد فراتر نرفته است. تصاویر SEM نیز این موضوع را تأیید می‌کنند؛ به‌طوری‌که برخی نمونه‌ها دارای ساختاری متراکم، تف‌جوشی مناسب و درجاتی از شیشه‌ای‌شدن هستند، درحالی‌که در برخی دیگر، ساختار ورقه‌ای کانی‌های رسی و عدم پیوستگی بین‌ذره‌ای همچنان حفظ شده است. این تفاوت‌ها احتمالاً ناشی از نوسانات دمایی در کوره‌های سنتی یا تفاوت در سنت‌های کارگاهی محلی و فناوری ساخت در محوطه‌های مختلف است.

شناسایی پیروکسن‌هایی نظیر اوژیت، هدنبرژیت و انستاتیت در کنار پلاژیوکلازهای کلسیک، نشان‌دهنده تأثیر رسوبات حاصل از تخریب سنگ‌های آذرین مافیک و حدواسط بر ترکیب مواد اولیه است که می‌تواند به‌عنوان شاخصی مهم برای ردیابی منشأ زمین‌شناختی خاک رس مورد استفاده در مطالعات آتی مطرح شود. از سوی دیگر، همخوانی نسبی میان داده‌های پتروگرافی و XRD حاکی از آن است که سفالگران دوره پارتی احتمالاً از منابع رسوبی محلی غنی از کوارتز و فلدسپات بهره برده‌اند.

بررسی‌های آسیب‌شناختی بدنه‌های سفالی مورد مطالعه نیز نشان داد که وجود تخلخل‌های باز، ریزترک‌ها، کلسیت ثانویه و فازهای سولفاتی و کلریدی، سفالینه‌ها را در برابر نوسانات رطوبت نسبی محیط آسیب‌پذیر ساخته است. حضور کلسیت ثانویه در منافذ و شکستگی‌ها نشان می‌دهد که بخشی از

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

ترکیبات کلسیمی موجود حاصل فرایندهای پسادفنی و تبادلات یونی محیطی است و لزوماً به ترکیب اولیه خمیره ارتباط ندارد. همچنین، شناسایی نمک‌های محلول منیزیمی و سدیمی بیانگر پتانسیل بالای تخریب ناشی از تبلور نمک‌ها در شرایط ناپایدار محیطی است.

در مجموع، داده‌های حاصل از روش‌های مختلف آنالیز دستگاهی بدنه سفالینه‌ها و تجزیه‌وتحلیل نتایج نشان می‌دهد که سفال‌های شیاردار پارتی مورد مطالعه احتمالاً محصول سنتی فناورانه مبتنی بر استفاده از رسوبات طبیعی محلی هستند که به‌صورت بومی و منطقه‌ای و با کنترل تجربی رفتار حرارتی خمیره، در دماهای متوسط پخته شده‌اند. بر این اساس، سفال‌های مورد مطالعه را نمی‌توان در زمره سفال‌های وارداتی از سیستان قلمداد کرد؛ بلکه احتمالاً این آثار نمونه‌هایی تقلیدی و ساخت محل (تولید محلی) هستند. این نتایج، افزون بر ارائه اطلاعاتی درباره فناوری ساخت و انتخاب مواد اولیه، می‌تواند مبنایی برای مطالعات آینده در زمینه منشأیابی مواد اولیه، بازسازی فناوری تولید و تدوین راهکارهای حفاظتی و مرمتی این گروه از سفالینه‌های تاریخی باشد.

محدودیت‌های پژوهش

یکی از مهم‌ترین محدودیت‌های این پژوهش، عدم امکان افزایش تعداد نمونه‌های سفالی برای انجام تحلیل‌های آزمایشگاهی بوده است. در پژوهش‌های باستان‌سنجی سفال، به‌ویژه در مورد آنالیزهایی نظیر XRD که ذاتاً ماهیتی تخریبی یا نیمه‌تخریبی دارند، انتخاب نمونه‌ها ناگزیر تابع ملاحظات حفاظتی و اصول صیانت از میراث فرهنگی است. ازاین‌رو، امکان نمونه‌برداری تصادفی یا گسترده از کل مجموعه‌های سفالی موجود فراهم نبوده و نمونه‌ها به‌صورت هدفمند و بر اساس سلامت فیزیکی، نمایندگی ویژگی‌های فناورانه و قابلیت پاسخ‌گویی به پرسش‌های پژوهش انتخاب شده‌اند. در نتیجه، نتایج پژوهش حاضر بیش از آنکه واجد قابلیت تعمیم آماری باشند، منعکس‌کننده الگوهای غالب فناورانه، منشأ و نوع کانی‌های به‌کاررفته در تولید همین گونه خاص سفالی هستند و می‌توانند مبنایی قابل اتکا برای مطالعات تکمیلی آتی با دامنه نمونه‌های گسترده‌تر قرار گیرند.

مشارکت نویسندگان: تحلیل باستان‌شناختی: مریم ظهوریان؛ انجام آزمایش‌ها و مراحل آزمایشگاهی: پروین طالبی و مریم مرتضوی؛ مدیریت و تنظیم داده‌ها: محمد فرجامی. این پژوهش برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد خانم پروین طالبی است.
تأمین مالی: این پژوهش هیچ‌گونه بودجه خارجی دریافت نکرده است.
تضاد منافع: نویسندگان اظهار می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی وجود ندارد.
دسترسی به داده‌ها و مواد: داده‌های خامی که پشتیبان نتایج این مقاله هستند، در صورت درخواست معقول، توسط نویسندگان در دسترس قرار خواهند گرفت.

References

Abedi Rad, S. M. (2020). *Exploration geochemistry of stream sediments*. Technical Unit of Rasa Mining Group, 1-12. [in Persian]

Alizadeh, F. (2012). *Study of Parthian pottery samples from Baluchestan (Case study: Surface pottery of Nikshahr and Chabahar counties).* (Master's thesis). University of Sistan and Baluchestan. [in Persian]

Basafa, H. (2008). A New Perspective on Dambakoh Site in South East Iran. *Irania Antiqua*, *43*, 185-204. DOI: 10.2143/IA.43.0.2024048

Dana, M. (2009). *Report of the First Season of Excavation at Takhcharabad Tepe.* Birjand: Archive of the General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of South Khorasan.. [in Persian]

Dehmardeh Deh-Pahlavan, M., & Jozi, Z. (2022). Study and analysis of archaeological findings from the systematic survey and delimitation of Dambigan, Qasr-e Qand. *Journal of Archaeological Studies of Pre-Islamic Iran*, (1), 2-14. https://doi.org/10.22034/iaej.2022.13865.1044 [in Persian]

Emami, M. A., & Trettin, R. (2012). Mineralogical-chemical investigations on the ceramic technology in Čoġā Zanbil (Iran, 1250 BC). *Periodico di Mineralogia*, *81*(3), 359-377.

Esmaeili, N. (2021). *Typological analysis of pottery discovered from Tappe Surg, Birjand* (Master's thesis). University of Birjand, Faculty of Arts. [in Persian]

Farjami, M. (2020). Mountain castles of the medieval Islamic period in South Khorasan (1st ed.). Research Institute of Cultural Heritage and Tourism. [in Persian]

Farjami, M. (2024). Analysis of grooved pottery in South Khorasan. *Sinus Persicus*, *1*(2), 17-52. https://doi.org/10.22034/sp.2024.477614.1007 [in Persian]

Farjami, M., & Mahmoudinasab, A. (2020). Archaeological Survey and Analysis of the Fourth Season of Excavation at Kohnek Site, Sarbisheh County South Khorasan. *Journal of Archaeological Studies of Parseh*, *4*(14), 101–123. https://doi.org/10.30699/PJAS.4.14.101[in Persian]

Farjami, M., & Mahmoudi-Nasab, A. A. (2014). *Proposal report for the registration of the Anbaz-Poshteh Hajiabad archaeological site.* Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of South Khorasan. [in Persian]

Gholinejad, M. (2015). *Proposal report for the registration of the Tappe Kureh Mohammadabad archaeological site.* Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of South Khorasan. [in Persian]

Google Earth. (n.d.). South Khorasan, Iran [Satellite image]. Retrieved July 16, 2026, from https://earth.google.com/

Hering, E. (1997). *Iranian pottery in the Parthian period*, (H. Choobak, Trans.). Cultural Heritage Organization Publications. [in Persian]

Karimian, H. (2009). *Proposal report for the registration of Tappe Chardeh Surg.* Archives of the General Directorate of Cultural Heritage of South Khorasan Province. [in Persian]

Labbaf-Khaniki, M., Farjami, M., & Heidari, A. (2021). Indigenous and regional styles of Parthian-Sasanian pottery in Eastern Iran with a focus on new findings in Nehbandan (South Khorasan Province). *Journal of Archaeological Studies*, *13*(3), 287-314. https://doi.org/10.22059/jarcs.2020.301702.142871 [in Persian]

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

Labbaf-Khaniki, R. (2008). *First season excavation report of the Jame Mosque of ancient Qaen*. Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts of South Khorasan. [in Persian]

Mehrafarin, R., Mousavi-Haji, S. R., & Roostaei, M. S. (2015). Grooved pottery: The dominant pottery of Sistan in the Parthian period. *Journal of Native Art Studies*, (4), 9-22. [in Persian]

Moradzadeh, K., Zohouriyan, M., Kohestani, H., & Farjami, M. (2020). Typological classification and analysis of pottery from Tappe Mod B, Sarbisheh County, South Khorasan. *Journal of Archaeological Studies of Pre-Islamic Iran*, *5*(2), 93-112. https://iaej.sku.ac.ir/article_11156.html [in Persian]

Nasrabadi, A. (2004). *Sounding report for the purpose of delimitation of the historic site of Kalateh-Shahpouri, Nehbandan*. Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of South Khorasan (Unpublished). [in Persian]

Noghani, S., & Emami, S. M. A. (2012). Archaeometry of Historical potteries: Requirements and Methods. Journal of the First Symposium on Materials Science and Conservation of cultural, historical, Tehran: Publishing Research Institute of Cultural Heritage, Handicraft and Tourism in collaboration with Research materials and energy, pp. 505-524. [in Persian]

Nooghafi, S., & Emami, M. M. (2011). Structural analysis of Clinky pottery belonging to the Parthian period based on archaeometric studies. *Journal of Archaeological Studies*, *3*(2), 15-34. https://jarcs.ut.ac.ir/article_28854.html [in Persian]

Oudbashi, O., Emami, S. M., Ahmadi, H., & Davami, P. (2013). Micro-stratigraphical investigation on corrosion layers in ancient Bronze artefacts by scanning electron microscopy energy dispersive spectrometry and optical microscopy. *Journal of Archaeometry*, 1(21): 1-10. DOI: 10.1186/2050-7445-1-21

Paydar, H. (2005). Raw materials used in the ceramics industry. Isfahan: Gazal Publications. [in Persian]

Roostaei, S. (2012). Study of Parthian pottery samples in Sistan (Master's thesis). University of Sistan and Baluchestan, Faculty of Literature and Humanities. [in Persian]

Sedighian, H. (2014). Report on the survey of Khusf. Archives of the General Directorate of Cultural Heritage of South Khorasan Province. [in Persian]

Shahidi Hamedani, H., Mirfattah, A. A., & Zhaleh, B. (2018). Study of the origin and structure of Parthian (Clinky) pottery in the Central Zagros region based on laboratory methods (XRF, EDX, XRD, FT-IR). *Journal of Archaeological Studies of Iran*, *8*(16), 125-140. https://doi.org/10.22084/nbsh.2018.11975.1519 [in Persian]

Sterba, J. H., Mommsen, H., Steinhauser, G., & Bichler, M. (2009). The Influence of Different Tempers on the Composition of Pottery. *Journal of Archaeological Science*, *36*, 1582–1589.

Usmanova, Z. I. (1992). New Material on Ancient Merv. *Iran, Journal of the British Institute of Persian Studies*, *12*, 55-64.

Walter, A., & Fairservis, J. R. (1959). Excavation Quetta Valley, West Pakistan. *Anthropological Papers of the American Museum of Natural History New York*, *45*(2).

Yousefi, S. (2010). *Sounding report for the purpose of delimitation of the Do-Kooheh Khusf site, South Khorasan*. Archives of the General Directorate of Cultural Heritage, Tourism and Handicrafts of South Khorasan. [in Persian].

اسماعیلی، نیره. (۱۴۰۰). *تحلیل و بررسی گونه‌شناختی سفال‌های مکشوفه از تپه سورگ بیرجند*. پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند، دانشکده هنر.

دانا، محسن. (۱۳۸۸). *گزارش کاوش تپه تخچرآباد، فصل نخست*. بیرجند: بایگانی اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری خراسان جنوبی.

دهمرده ده‌پهلوان، مهدی و جوزی، زهره. (۱۴۰۱). مطالعه و تحلیل یافته‌های باستان‌شناسی حاصل از بررسی روشمند و تعیین عرصه و حریم دمبیگان قصر قند. *جستارهای باستان‌شناسی پیش از اسلام*، (۱)، ۱۴-۲. 10.22034/iaej.2022.13865.1044

روستایی، صادق. (۱۳۹۱). *مطالعه نمونه‌های سفالین دوره اشکانی در سیستان*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

شهیدی همدانی، حسام‌الدین؛ میرفتاح، علی‌اصغر و ژاله، بابک. (۱۳۹۷). مطالعه و بررسی منشأ و ساختار سفال‌های اشکانی (کلینکی) در منطقه زاگرس مرکزی براساس شیوه‌های آزمایشگاهی (XRF, EDX, XRD, FT-IR). *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۸(۱۶)، ۱۴۰-۱۲۵. doi: 10.22084/nbsh.2018.11975.1519

صدیقیان، حسین. (۱۳۹۳). *گزارش بررسی خوسف*. آرشیو اداره کل میراث فرهنگی استان خراسان جنوبی.

عابدی‌راد، سیدمعصومه. (۱۳۹۹). *ژئوشیمی اکتشافی رسوبات آبراهه‌ای*. تهیه‌شده در واحد فنی گروه معدنی رسا: ۱۲-۱.

علیزاده، فاطمه. (۱۳۹۱). *مطالعه نمونه‌های سفالین دوره اشکانی بلوچستان (موردشناسی: سفال‌های سطحی شهرستان‌های نیکشهر و چابهار)*. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده ادبیات و علوم انسانی.

فرجامی، محمد و محمودی‌نسب، علی‌اصغر. (۱۳۹۳). *گزارش پیشنهاد ثبت محوطه باستان‌شناختی انبزپشته حاجی‌آباد*. بیرجند: آرشیو اداره کل میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری خراسان جنوبی.

فرجامی، محمد و محمودی‌نسب، علی‌اصغر. (۱۳۹۹). بررسی و تحلیل یافته‌های باستان‌شناسی فصل چهارم کاوش محوطه کهنک، شهرستان سربیشه، خراسان جنوبی. *مطالعات باستان‌شناسی پارسه*، (۱۴)، ۱۲۳-۱۰۱. doi: 10.30699/PJAS.4.14.101

فرجامی، محمد. (۱۳۹۹). *دژهای کوهستانی قرون میانه اسلامی در خراسان جنوبی*. چاپ اول، انتشارات پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری.

فرجامی، محمد. (۲۰۲۴). تحلیلی بر سفال شیاردار خراسان جنوبی. *سینوس پرسیکوس*، ۱ (۲)، ۱۷-۵۲. 10.22034/sp.2024.477614.1007

قلی‌نژاد، مستنصر. (۱۳۹۴). *گزارش پیشنهاد ثبت محوطه باستان‌شناختی تپه کوره محمدآباد*. بیرجند: آرشیو اداره کل میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری خراسان جنوبی.

کریمیان، حمیده. (۱۳۸۸). *گزارش پیشنهاد ثبت تپه چارده سورگ*. بیرجند: آرشیو اداره کل میراث فرهنگی استان خراسان جنوبی.

لباف‌خانیکی، رجب‌علی. (۱۳۸۷). *گزارش فصل اول کاوش باستان‌شناسی مسجدجامع کهن قائنات*. بیرجند: بایگانی اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی خراسان جنوبی.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.105]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:34 +0330 on Sunday November 15th 2026

لباف‌خانیکی، میثم؛ فرجامی، محمد و حیدری، احمد. (۱۴۰۰). سبک‌های بومی و منطقه‌ای سفال‌های اشکانی–ساسانی شرق ایران با تکیه بر نویافته‌های سفالین شهرستان نهبندان (استان خراسان جنوبی). *مطالعات باستان‌شناسی، ۱۳* (۳)، ۳۱۴–۲۸۷. doi.org/10.22059/jarcs.2020.301702.142871

مرادزاده، کاظم، ظهوریان، مریم، کوهستانی، حسین، فرجامی، محمد. (۱۳۹۹). طبقه‌بندی و تحلیل گونه‌شناختی سفالینه‌های تپه مود B شهرستان سربیشه–خراسان جنوبی. *جستارهای باستان‌شناسی ایران پیش از اسلام، ۵*(۲)، شماره پیاپی ۱۰، ۹۳–۱۱۲. https://iaej.sku.ac.ir/article_11156.html

مهرآفرین، رضا؛ موسوی‌حاجی، سیدرسول و روستایی، محمدصادق. (۱۳۹۴). سفال شیاردار سفال غالب سیستان ایران در دوره اشکانی. *مطالعات هنر بومی*، (۴)، ۹–۲۲. noormags.ir/view/fa/articlepage/1274245

نصرآبادی، علیرضا. (۱۳۸۳). *گزارش گمانه‌زنی به منظور تعیین حریم محوطه تاریخی کلاته شاهپوری نهبندان*. آرشیو اداره کل میراث فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری خراسان جنوبی، منتشرنشده.

نوقافی، سمینه و امامی، محمدامین. (۱۳۹۰). ساختارشناسی سفال جلینکی متعلق به دوران پارتی براساس مطالعات آرکئومتریک (باستان‌سنجی). *مطالعات باستان‌شناسی*، ۳(۲)، ۳۴–۱۵. https://jarcs.ut.ac.ir/article_28854.html

هرینگ، ارنی. (۱۳۷۶). *سفال ایران در دوره اشکانی*. ترجمه حمیده چوبک، چاپ اول، تهران: انتشارات سازمان میراث فرهنگی.

یوسفی، صاحب. (۱۳۸۹). *گزارش گمانه‌زنی به منظور تعیین عرصه و حریم محوطه دوکوهه خوسف، خراسان جنوبی*. بیرجند: بایگانی اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع‌دستی خراسان جنوبی.

APA REF
Talebi, P., Zohouriyan, M., Mortazavi Mehrizi, M., & Farjami, M. (2025). Reconstruction of the Manufacturing Technology of Grooved Pottery From the Parthian Period in South Khorasan Based on Laboratory Analyses. *Journal of Research on Archaeometry, 12*(1), 12105, DOI: 10.66224/jra.2026.12.105