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

Tabriz Islamic Art University

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

Research Paper

Archaeometric Investigation into the Manufacturing Technology of Terracotta Horse Figurines from the Abpa Site, Farashband: An Integrated Approach Using XRD and EDS

Neshat Mottaghi*[1], Vahid Askarpour[2], Mehdi Razani[3], Cyrus Barfi[4]

1. PhD Candidate in Islamic Period Archaeology, Department of Archaeology, Tarbiat Modarres University, Tehran, Iran
2. PhD Candidate, St. Paul's College, University of Manitoba, Manitoba, Canada
3. Associate Professor, Faculty of Cultural Materials Conservation, Tabriz Islamic Art University, Tabriz, Iran
4. M.A in Archaeology, Jundishapur Research Center, Shiraz, Iran

* Correspondence: mottaghineshat3@gmail.com

Abstract

This study investigates 120 fragmented clay horse figurines excavated from the archaeological site of Koh-e Abpa, located in the Farashband intermountain plain of western Fars (near Shiraz). The site lacks well-defined cultural stratigraphy. Recurrent breakage patterns, predominantly affecting the head, legs, and tail, exhibit consistent features suggestive of deliberate fragmentation, most likely linked to ritual practices (ritual fragmentation or intentional breakage). In the absence of previous archaeometric investigations, a representative subset of samples from the 2014 excavation season was selected and subjected to a type-variety classification approach. The integrated analytical protocol combined stereomicroscopic examination with X-ray diffraction (XRD) for mineralogical composition, energy-dispersive X-ray spectroscopy (EDS) for elemental characterization, and principal component analysis (PCA) for multivariate statistical grouping of the compositional data. The results reveal high porosity and the presence of surface coatings/slip features consistent with hand-modeling (plastic forming) techniques rather than mold production or wheel-throwing. Compositional analyses identified six discrete compositional groups, while firing temperature estimates (based on mineralogical transformations, vitrification degree, and thermal indicators) indicate consistently low firing, below the α-β quartz inversion point of ~573°C (i.e., very low-fired earthenware, non-vitrified). These technological characteristics demonstrate a close correspondence between the manufacturing technology (low technological investment, hand-crafted, low-temperature firing) and the inferred ritual function, reinforcing the interpretation of the figurines as votive or sacrificial objects employed in ritual or ceremonial contexts, likely deliberately fragmented as part of structured depositional or termination practices.

Keywords: Horse Figure, Technology, Parthian-Sasanian, Farashband in Fars

Received: 2024/09/20
Revised: 2026/02/19
Accepted: 2026/02/21
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

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

Introduction

The archaeological site of Koh-e Abpa, located in the intermontane plain of Farashband County, Fars Province, Iran, occupies a strategically significant position along an ancient communication route connecting Shiraz to the Persian Gulf. Situated at an elevation of 750–850 m in a hot and arid environment, the region has long functioned as a cultural corridor linking southwestern Iran to major historical centers, including the prominent Sasanian center of Firuzabad. Previous surveys, notably those conducted by Vanden Berghe in the mid-20th century, documented several chahartaq (four-arched) structures in the broader Farashband area, attesting to sustained occupation and activity during the Sasanian and early Islamic periods.

Within this cultural landscape, a distinctive assemblage of composite clay figurines—particularly those depicting the horse-and-rider motif—has been recovered from Koh-e Abpa and adjacent areas of Farashband. These figurines, predominantly fragmented, are hand-modeled, highly stylized, and abstract in form, featuring exaggerated anatomical characteristics such as elongated and curved necks, with minimal emphasis on anatomical realism or naturalistic detail.

Comparable horse-and-rider figurines are widely attested across various regions of Iran and Southwest Asia from the Parthian period onward (and continuing into Sasanian times), suggesting the existence of shared symbolic, votive, or ritual traditions across these periods and areas. Ceramic artifacts, including figurines, form a central focus of archaeological and archaeometric research owing to their abundance, durability, and insights into technological practices. Despite the interpretive value of clay figurines for understanding cultural, economic, and ritual behaviors, the Koh-e Abpa assemblage had not previously undergone systematic archaeometric investigation.

To address this gap, the present study employs X-ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS), supplemented by Principal Component Analysis (PCA), to examine raw material composition, manufacturing technology, and inter-sample compositional variability. The principal objective is to develop a robust analytical framework for characterizing figurine production technology in the Farashband region and to generate empirical data that can strengthen broader archaeological interpretations regarding the function, cultural significance, and ritual contexts of these figurines.

Material and Methods

The study examines 15 fragmented and heavily encrusted clay figurine fragments from Koh-e Abpa, primarily consisting of legs, heads, necks, head–neck combinations, and one tail–body piece. Samples were selected based on size, encrustation degree, paste color, wall thickness, and morphology. An initial typological classification employed the Type–Variety system, focusing on visual and morphological traits to identify recurring symbolic forms and stylistic patterns. This was supplemented by microscopic examination, though interpretation remains limited by the assemblage's fragmented and poorly preserved state.

All specimens were recovered broken, with no complete figurines preserved. Potential refitting of fragments from the same object was evaluated using criteria such as neck curvature, leg form, surface treatment, paste color, and encrustation patterns. While similarities support this in some cases, the lack of physical joins and the dispersed find contexts preclude definitive matches. To overcome these limitations, X-ray Diffraction (XRD) and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDS) were applied, with compositional data subjected to Principal Component Analysis (PCA). The analyses distinguished six discrete mineralogical and chemical groups, revealing that visually similar fragments often exhibit markedly different paste compositions. This indicates production across multiple workshops, chronological phases, or using varied raw material sources, and underscores that morphological similarity alone is unreliable for inferring shared provenance. Overall, the results emphasize the value of integrating typological classification with archaeometric data for more reliable interpretations of fragmented figurine assemblages.

ESEM–EDS

Environmental Scanning Electron Microscopy with Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (ESEM–EDS) was used to investigate microstructure and elemental composition. Given the small size and fragility of the artifacts, a minimally invasive powder sampling method was employed, targeting the core fabric to minimize surface contamination. Analyses were conducted on a Philips XL30 ESEM equipped with an EDAX EDS system, yielding quantitative elemental data that informed compositional grouping and technological interpretation.

X-ray Diffraction (XRD)

XRD identified crystalline mineral phases in the figurines. Measurements were performed at the Kimiazi Laboratory using

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

a PANalytical X'Pert Pro MPD diffractometer with Cu–Kα radiation, scanning 2θ from 7° to 80°. The same powders analyzed by EDS were used for direct comparability. Phases were identified via X'Pert HighScore Plus software against PDF-2 and COD databases, providing complementary mineralogical data for multivariate analysis.

Principal Component Analysis (PCA)

PCA was applied to standardized EDS elemental data using SPSS v. 24 to classify fragments and assess affinities. Principal components were retained based on eigenvalues >1 and Scree Plot inspection; the first two components, capturing the majority of variance, revealed distinct clusters. Integration with XRD results confirmed six discrete chemical–mineralogical groups, highlighting production variability beyond visual typology.

Results and Discussion

The EDS analyses reveal that the principal elements in the figurine fabrics are Si, Fe, Al, K, Mg, and Ca, with Si and Fe dominating all samples. Silicon contents range from 10.09 to 35.27 wt% (average 16.37 wt%), and iron from 5.35 to 12.49 wt% (average 8.84 wt%), consistent with the use of iron-rich clay raw materials. Al, K, and Mg occur in moderate concentrations, while Mn, Ni, Cu, Zn, Cr, P, S, and Cl are minor or trace elements. Calcium shows marked variability, enabling division into low-Ca (< 6 wt%) and high-Ca (> 6 wt%) fabrics.

The frequent presence of primary calcite suggests low firing temperatures, as carbonates typically decompose above ~750–880 °C (with onset often lowered in ceramic matrices). Partial darkening of carbonates, grain-size effects, and hematite in some samples indicate locally higher temperatures approaching ~800 °C. PCA of the EDS data highlights chemical heterogeneity; the first two principal components are dominated by Ca (PC1) and Zn (PC2), providing strong discrimination among groups. Scatter plots and cluster analysis identify several distinct clusters, including outliers with unique signatures, pointing to varied raw material sources or paste recipes. This reveals a clear disconnect between visual typology and chemical composition.

XRD identifies quartz as the dominant phase in all samples, with variable calcite, dolomite, and diopside. The presence of α-quartz (main peak at 2θ ≈ 26.64°) indicates firing below the α–β quartz inversion at 573 °C. Survival of carbonate phases (especially dolomite as the main carbonate in many samples) supports low to moderate firing. The occurrence of diopside ($CaMgSi_2O_6$) in several samples is significant, as this pyroxene typically forms above ~750–850 °C through reactions involving dolomite and quartz; these samples show harder, more compact fabrics, consistent with elevated local temperatures. PCA on XRD mineralogical data confirms and refines the EDS-based groupings. The integrated EDS–XRD–PCA approach demonstrates production from multiple raw material sources and firing regimes despite morphological similarities, underscoring the limitations of macroscopic typology alone and offering a robust basis for interpreting technological variability in the Koh-e Abpa assemblage.

Conclusion

The sampling and analytical strategy confirmed XRD and EDS as highly effective for these small, fragile artifacts. Microscopic observations of surface features (porosity, coatings) enhanced technological evaluation within the Type–Variety framework. No diagnostic manufacturing tool marks were observed. Integrated data classified the samples into six distinct compositional groups, corroborated by both techniques. XRD indicates maximum firing temperatures below 573 °C for most samples (based on α-quartz stability and carbonate persistence), though localized higher conditions are inferred from diopside. Overall, the findings reveal technological variability in raw material selection, preparation, and firing linked to ritual practices involving figurine use and deposition, emphasizing the need for archaeometric integration in interpreting such assemblages.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

پژوهه باستان‌سنجی
دانشگاه هنر اسلامی تبریز

مقاله پژوهشی

بررسی باستان‌سنجی فناوری ساخت پیکرک‌های سفالین اسب در محوطه آبپا، فراشبند: رویکردی ترکیبی با استفاده از XRD، EDS

نشاط متقی[1*]، وحید عسکرپور[2]، مهدی رازانی[3]، سیروس برفی[4]

۱. دانشجوی دکترای باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
۲. دانشجوی دکترای انسان‌شناسی فرهنگی، کالج سنت پل، دانشگاه مانیتوبا، مانیتوبا، کانادا
۳. دانشیار، دانشکده حفاظت آثار فرهنگی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران
۴. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، پایگاه پژوهشی شهر تاریخی بیشاپور، شیراز، ایران
* مسئول مکاتبات: mottaghineshat3@gmail.com

چکیده

پیکرک‌های اسب موردمطالعه در این پژوهش از محوطه باستانی کوه آبپا، واقع در دشت میانکوهی فراشبند (غرب شیراز)، به‌دست‌آمده‌اند. این محوطه فاقد لایه‌نگاری فرهنگی مشخص است و یافته‌های آن عمدتاً محدود به پیکرک‌های گِلی اسب می‌شود که درمجموع ۱۲۰ قطعه از سطح محوطه و کاوش‌ها گردآوری‌شده‌اند. تمامی پیکرک‌ها به‌صورت شکسته کشف‌شده‌اند و بررسی‌های فرمی نشان‌دهنده الگوی تکرارشونده شکستگی در نواحی سر، پا و دم است. این الگو می‌تواند بیانگر کنشی هدفمند یا رفتاری آیینی در فرایند استفاده از پیکرک‌ها باشد. فرایند ساخت و کارکرد پیکرک‌های گلی از مسائل چالش‌برانگیز در انسان‌شناسی فرهنگی و باستان‌شناسی به شمار می‌رود. باوجود انجام کاوش‌های باستان‌شناختی در کوه آبپا، تاکنون مطالعه‌ای با رویکرد باستان‌سنجی بر این مجموعه صورت نگرفته بود. در پژوهش حاضر، نمونه‌هایی از پیکرک‌های به‌دست‌آمده از کاوش فصل اول سال ۱۳۹۳ شهرستان فراشبند انتخاب شدند که ازنظر فرمی بیشترین شباهت را به اندام‌های اسب داشتند. این نمونه‌ها پس از طبقه‌بندی به روش نوع–تنوع، برای تحلیل‌های آزمایشگاهی برگزیده شدند. در این مطالعه، از روش‌های میکروسکوپی، پراش پرتوایکس (XRD) و آنالیز عنصری (EDS) استفاده شد و داده‌ها با تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بررسی گردیدند. داده‌های آزمایشگاهی نمونه‌ها را به شش گروه مجزا تقسیم کرد که نتایج XRD و EDS این طبقه‌بندی را تأیید نمودند. همچنین، تحلیل XRD نشان داد که پیکرک‌ها در دمایی پایین‌تر از ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد پخته‌شده‌اند. درنهایت، نتایج پژوهش حاکی از ارتباط معنادار میان شیوه ساخت پیکرک‌ها و کارکرد آیینی آن‌هاست؛ به‌ویژه شواهد از احتمال نقش این اشیاء در آیین‌های قربانی حکایت دارد.

واژگان کلیدی: پیکرک اسب، فناوری ساخت، اشکانی – ساسانی، فراشبند، فارس

دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۳۰
آخرین اصلاح: ۱۴۰۴/۱۱/۳۰
پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۲
انتشار: ۱۴۰۵/۰۴/۰۹

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.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

۱. مقدمه

محوطه باستانی کوه آبپا در دشت میان کوهی فراشبند، واقع در ۱۷۲ کیلومتری غرب شیراز در استان فارس، بر فراز یک برجستگی طبیعی نسبتاً مسطح قرارگرفته و مشرف‌به دره‌ای است که مسیل فصلی آبپا از آن عبور می‌کند. این دشت با ارتفاع ۷۵۰ تا ۸۵۰ متر از سطح دریا، دارای آب‌وهوای گرم و خشک بیابانی است و به دلیل موقعیت استراتژیک خود بر سر یکی از راه‌های اصلی ارتباطی دوران باستان، که شیراز را به خلیج‌فارس و بندرها مهمی چون سیراف متصل می‌کرد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده است (نیکنامی و فاضل، ۱۳۹۵: ۱۲۰). منطقه فراشبند از غرب به فیروزآباد امتداد می‌یابد که یکی از کانون‌های اصلی تمدن ساسانی به شمار می‌رود و میزبان آثار برجسته‌ای چون نقش برجسته پیروزی اردشیر بابکان بر اردوان پنجم اشکانی، کاخ اردشیر، شهر باستانی گور و قلعه دختر است (متقی و همکاران، ۱۴۰۲).

لویی واندنبرگ در بررسی‌های خود در دهه ۱۹۶۰میلادی، چندین بنای چهارطاقی (احتمالاً آتشکده) را در دشت فراشبند شناسایی و به دوره ساسانی نسبت داده است (Vanden Berghe, 1961:10). ازجمله این بناها، چهارطاقی آناهیتا یکی از مهم‌ترین نمونه‌هاست که معماری آن، شامل دو چهارطاقی متصل و حیاط مرکزی، ویژگی‌هایی از اواخر دوره ساسانی و اوایل اسلامی را نشان می‌دهد (Vandaee et al., 2012: 5). در دوران باستان ایران، مشخصاً از زمان آغاز حکومت شاهنشاهی پارتیان، مجموعه‌ای از پیکرک‌های ترکیبی گلی میان بقایای باستان‌شناختی فلات ایران، به‌خصوص نواحی غربی و جنوب غربی آن نمایان می‌شود و تا نواحی غرب‌تر آسیای جنوب غربی امتداد می‌یابد (متقی و همکاران، ۱۴۰۲).

سفال قطعاً یکی از عناصر اصلی در مطالعات باستان‌شناسی و باستان‌سنجی در علوم میراث فرهنگی است. مصرف گستردهٔ اشیا سفالین در بسیاری از جوامع گذشته و تخریب نسبتاً آهستهٔ این اشیا در بسترهای باستانی، آن را به یکی از متداول‌ترین انواع آثار باستانی در بسیاری از دوره‌ها و مناطق جغرافیایی مبدل ساخته است. سفال‌های باستانی، مصنوعات معدنی غنی از خاک رس هستند که توسط مردمان باستان تولید و مورداستفاده قرارگرفته‌اند. کشف خواص منحصربه‌فرد خاک رس و خلق اجسامی سخت و نیمه پایدار در اشکال دلخواه مهم و در توسعهٔ فناوری صنایع باستانی بوده است. اشیای گلی و سفالی به مقدار زیاد در کاوش‌های باستان‌شناسی یافت می‌شوند و مطالعه آن‌ها در تفسیر داده‌های باستان‌شناسی و انسان‌شناسی یک محوطه نقش محوری دارد. پیکرک‌ها موردمطالعه اسب و سوارکار را تجسم می‌بخشند. نمونه‌های مختلفی از پیکرک‌های گلی اسب و سوارکار در مناطقی از ایران به‌دست‌آمده‌اند. چند نمونه از این پیکرک‌ها در جریان انجام فعالیت‌های باستان‌شناختی استان فارس در شهر فراشبند (دهستان آویز) از بخش مرکزی شهرستان فراشبند به‌دست‌آمده است. در محل مذکور انباشتی از پیکرک‌های سفالی اسب کشف شد که تقریباً تمام آن‌ها شکسته بودند، این پیکرک‌ها دست‌ساز بوده و سبکی انتزاعی دارند (برفی، ۱۳۹۴) (شکل ۱). در ساخت و پرداخت این آثار توجهی به‌واقع نمایی یا جزئیات نشده است و در اکثر موارد گردن اسب بسیار بلندتر از حد طبیعی بوده و با انحنای غیرمعمول ساخته‌شده است. در سال‌های گذشته مطالعات بسیاری بر روی آثار گلی به‌خصوص گل پخته‌شده صورت گرفته است، این آنالیزها هرچند تا مدت‌ها به‌صورت پراکنده انجام‌شده‌اند ولی پس از یک مطالعه وسیع بنا به بررسی (Mairinger & Schreiner, 1982)) ذیل بررسی (Lahanier, 1991) می‌توان روش‌های فیزیکی و شیمیایی تقسیم‌بندی نمود.

در مطالعات مؤثر برای بررسی سفال‌ها روش‌های XRD , EDS روش‌های بسیار کاربردی می‌باشند (Mirti, 2000؛ شریفی و گراوند، ۱۴۰۲). با توجه به مطالعات صورت گرفته در خصوص طریقه نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها از نمونه‌های مختلف انجام‌شده بر روی پیکرک‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد روشی که در خصوص آزمایش‌ها انجام‌شده، XRD , EDS است. نمونه‌برداری از نمونه‌ها انجام‌گرفته و به آزمایشگاه فرستاده می‌شوند و تطابق نتایج XRD, EDS درنتیجه‌گیری نمونه‌ها بسیار مهم است. با توجه به داده‌های XRD , EDS روش‌های آماری PCA بر روی نمونه‌ها اجرا شد که در این روش خوشه‌ها و نمونه‌هایی که ویژگی‌هایی مشترکی باهم دیگر مشخص‌شده و نمونه‌هایی که دارای عناصر ویژگی‌های جدایی داشتند نیز مشخص گردید.

هدف اصلی از انجام این پژوهش ایجاد یک‌روند مشخص پژوهشی بر پایه فناوری ساخت پیکرک‌های به‌دست‌آمده از فراشبند در مطالعات باستان‌سنجی مجموعه‌های پیکرکی است. همچنین بررسی و مطالعه ساختار پیکرک‌ها ازنظر مطالعات تاریخی، درک محیط، اقتصادی و فرهنگی حائز اهمیت است. تاکنون هیچ‌گونه مطالعه و بررسی در خصوص ویژگی‌های مجموعه‌های پیکرکی درزمینه های باستان‌سنجی صورت نگرفته است. نتایجی که از این پژوهش استخراج خواهد شد، چارچوبی تجربی و آزمون‌پذیر را برای مطالعات تفسیری – باستان‌شناختی پیرامون آن‌ها فراهم خواهد کرد.



شکل ۱. موقعیت، شهرستان فراشبند، محوطه کاوش آبپا مدفن اصلی کاوش‌های باستان‌شناسی و کشف پیکره‌های موردمطالعه (Google 2021)

Figure 1. Location map of Farashband County, Fars Province, highlighting the Koh-e Abpa site – the main excavation locus and provenance of the studied clay figurines (Google Earth imagery, 2021)

در واپسین سده‌های هزاره دوم ق.م و نخستین سده‌های هزاره اول ق.م، مدارکی از اسب و ادوات وابسته به آن در میان شواهد باستان‌شناختی نمایان می‌شود. قبور نخبگان جمعیت‌های ساکن در استپ‌های بلند آسیای مرکزی،

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

نظیر آنچه در کرانه رود زرافشان تاجیکستان کاوش شده است، نمونه‌های مختلفی از تدفین اسب و پیکرک‌های گِلی اسب ریخت در اختیار گذاشته است (LambergKarlovsky, 2002: 73). در درهٔ سند و سرزمین‌های هند و پاکستان امروزی، یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های لایه‌های باستان‌شناختی مربوط به عصر آهن را نمایانی مدل‌های اسب ریخت شکل می‌دهد. این را برای مثال می‌توان در نمونه‌های مکشوف از محوطه گوملا (Dikshit, 2013: 5) به‌وضوح مشاهده کرد. نمایانی تجسم‌های دوبعدی و سه‌بعدی اسب و اسب‌سوار در این بازهٔ زمانی گستردگی قابل‌توجهی به خود می‌گیرد و تا حوزه مدیترانه امتداد می‌یابد. از سده سیزدهم ق.م، یکی از خصوصیت‌های بارز تمدن میسنی را پیکرک‌های سفالی اسب و گردونه شکل می‌دهد. مدل تجسمی «سوارکار» که در طول هزاره نخست ق.م، به‌ویژه در قبرس مسیر تطوری ویژه‌ای را پشت سر می‌گذارد، یکی از نخستین نمایانی‌های خود را در دژ اریونی واقع در شهر کنونی ایروان می‌یابد (Khatchadourian, 2016: 29).

این محوطه را آرگیشتی یکم در سده هشتم ق.م بنیان نهاد. در متون تاریخی نیز چنین می‌خوانیم که ارامنه خراج خویش را در قالب اسب وصول می‌کردند (Ibid.: 165). در فلات ایران، به‌خصوص در نواحیِ جنوب غربی آن، شواهدی از یوغ و زین اسب درشوش و هفت‌تپه به‌دست‌آمده است که به نیمه دوم هزاره دوم ق.م بازمی‌گردد و در متن تپتی‌آهار نیز به ارابه (گردونه) اسب اشاره‌شده است (Feldman & Sauvage, 2010: 70). یافته‌های محوطه حسنلو مربوط به لایه‌های سده‌های هشتم و هفتم ق.م مدارکی را از زیب‌وزیور سوارکاری (de Schauensee, 2006: 5) در اختیار می‌گذارد. مجموعه‌های مفرغی مربوط به ادوات اسب مکشوف از لرستان، گاهی به شکل اسب و سوارکار ساخته می‌شدند. سر سنجاق عاجی مکشوف از محوطه سرخ دم لری و متعلق به سده‌های هشتم و هفتم ق.م، نمونه‌ای جالب‌توجه را از فیگور نشسته یک اسب بالدار در اختیار می‌گذارد (Muscarella, 1981: 26). یک پیکرک سفالین اسب نیز در لایه‌های باستان‌شناختی مربوط به سده‌های هفتم و ششم ق.م در محوطه نوشی جان به‌دست‌آمده است (Crawford, 1969: 59). در باب این محوطه در ادامه بیشتر سخن خواهد رفت.

مجموعه‌های گلی و سفالی اسب و سوارکار از اوایل سده هشتم ق.م، به‌طور بی‌وقفه و در یک‌جهت رو به تکامل در ادوار مختلف فرهنگ باستان‌شناختی قبرس حضوری برجسته می‌یابند و تا حدود سده سوم ق.م (دوره فرهنگی هلنیستی)، ظرافت و خوش‌ساختی قابل‌توجهی به خود می‌گیرند؛ چنانکه در یک نمونه حتی جزئیات سپر سوارکار نیز به‌وضوح قالب‌گیری و پرداخت‌شده است. این مدل‌های گلی اسب و سوارکار، با طرز پوشش ویژه‌ای که به سبک پارسی معروف است، یکی از خصوصیت‌های باستان‌شناختی شاخص لایه‌های مربوط به دوره پارسی در سواحل شرقی مدیترانه و نواحی غربی فلات آناتولی است. برای مثال می‌توان به نمونه‌های مکشوف از تل دور اشاره کرد که به سده پنجم ق.م تعلق دارند و در کنار پیکرک‌های معروف به «سبک قبرسی» نمایان می‌شوند (Nitschke et al., 2011: 219). این سنت را حتی تا مصر دوره بطلمیوسی (۳۰۶–۳۰ ق.م) نیز می‌توان پیگیری کرد. همه این مدارک، شواهدی را از ورود یا گسترش فرهنگ‌هایی وابسته به اسب به فلات ایران و دیگر نواحی خاورمیانه در طول اواخر هزاره دوم و سرتاسر هزاره اول ق.م در اختیار می‌گذارد که اسب و سوارکار، جایگاهی محوری در آن‌ها دارند (متقی، ۱۴۰۴). در سده‌های آغازین نیمه دوم هزاره نخست ق.م صحنه‌هایی از سوارکار در حال مبارزه با نیزه، درحالی‌که اجساد دشمنان را زیر سم اسب دارد، برای مثال روی مهر معروف به «کورش انشانی»، همان کورش کبیر (۵۵۹–۵۳۰ ق.م) که خود را «شاه انشان» می‌خواند (Stronach, 2013: 19) مشاهده می‌شود (Finn, 2011: 3). در میان تصاویر مربوط به همو است که شاهِ ارابه‌ران میان مواد تصویرگری هخامنشیان نمایان می‌شود. یکی از برجسته‌ترین نمونه‌های فلزی ارابه اسب و سوارکار از همان دوره هخامنشی مذکور در تخت کواد تاجیکستان به‌دست‌آمده است (Green, 2005:128). نقش برجسته‌های آپادانای پارسه (تخت جمشید) آکنده‌اند از اسب‌ها و ارابه‌ها که احتمالاً مردمانی ساکن در همان نواحی آسیای مرکزی، آن‌ها را پیشکش شاهنشاه هخامنشی می‌کنند (Roaf, 1983:20). روی مهرهای هخامنشی، به‌خصوص نمونه‌های متعلق به داریوش یکم، می‌توان اسب را در اشکال مختلف طبیعی ، شاخ‌دار و بالدار یافت (Boardman, 1970: 47).

در جهانِ پساهخامنشی، اسب و سوارکاری در میان مدارک باستان‌شناختی حتی برجستگی و گستردگی افزون‌تر نیز می‌یابد. پیکرک‌های گِلی اسب‌سوار دورا–اوروپوس (تل صالحیه) به‌وفور یافت شده‌اند و نمونه‌های آن را می‌توان در گالری دانشگاه ییل امریکا مشاهده کرد (Parthian; Parthian II). پارتیان به‌خصوص اسب‌سوار را به‌عنوان یک الگوی مشخص، پشت سکه‌های خود ضرب می‌کردند (برای مثال و به‌عنوان یکی از نخستین گزارش‌ها در این زمینه بنگرید به: (Thomas, 1870: 10). در میان اثر مُهرهای مکشوف از لایه‌هایی که توسط بیوار و همکارانش (Bivar, 1982: 161) «پارتی» نام‌گرفته‌اند، نمونه‌هایی از همین تجسم اسب‌سوار قابل‌مشاهده است.

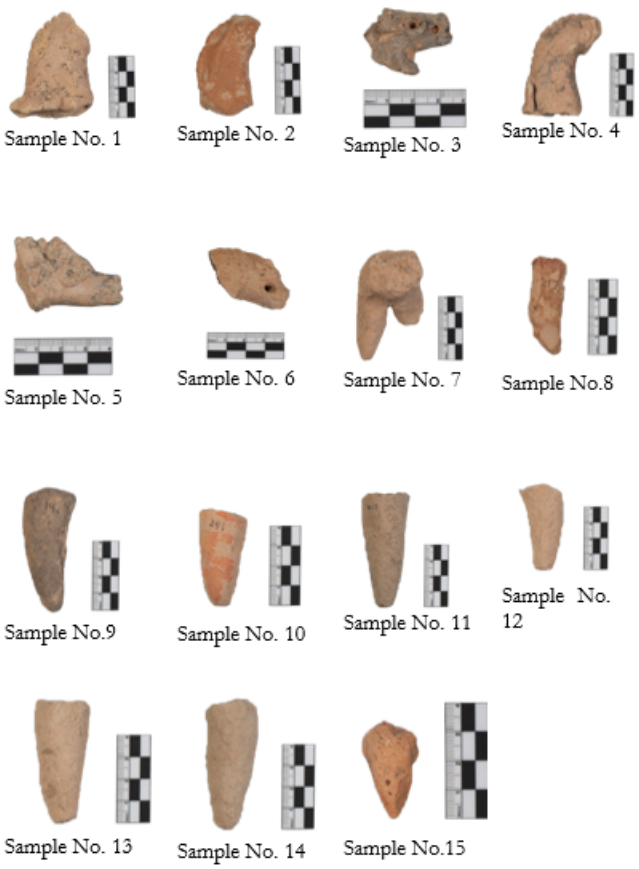
نمونه‌های موردبررسی در این پژوهش که از محوطه آپا در فلات ایران به‌دست‌آمده‌اند ازلحاظ ویژگی ظاهری سادگی بیشتری نسبت به نمونه‌های مشابه داشته و باید خاطرنشان کرد نمونه‌های مشابه به‌صورت یکپارچه و سالم به‌دست‌آمده‌اند اما نمونه‌های موردبررسی در این پژوهش به‌صورت شکسته و تکه‌تکه شده به‌دست‌آمده‌اند (برفی، ۱۳۹۴)؛ بنابراین، باوجوداینکه به نظر می‌رسد سنت ساخت پیکرک‌های اسب و سوارکار، دست‌کم در طول هزاره نخست ق.م سنتی رایج در جنوب غرب آسیا تا سواحل شرقی دریای مدیترانه بوده است، نمی‌توان شرحی یکسان برای همه آن‌ها در نظر گرفت برای مثال، نمونه‌های آپا نسبت به پیکرک‌های مکشوف از دورا–اوروپوس، به‌خصوص در زمینه سر و گردن و پاها متفاوت است. از طرفی، آن الگوی شکستگی حاکم در نمونه‌های آپا، دستکم میان نمونه‌های منتشرشده از دورا–اوروپوس

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

مشاهده نمی‌شود. در این مقاله یافته‌های محوطه آبپا در زمینه سیاق و بستر مکانی–زمانی آن‌ها مورد واکاوی قرار خواهند گرفت. نخست اینکه همه موارد مکشوف، عملاً فاقد سوارکارند. دوم اینکه بنا بر آنچه می‌توان روی آن‌ها مشاهده کرد، به‌احتمال قریب‌به‌یقین به شکلی تعمدی شکسته و سپس روی یک برجستگی طبیعی رهاشده‌اند؛ و درنهایت، نکته سوم و به همان اندازه مهم اینکه سیاق آن‌ها خلاف اکثر نمونه‌های مذکور، نه آرامگاهی است و نه تدفینی؛ بنابراین به نظر می‌رسد در اینجا با یک سنت کردارشناختی ویژه در نسبت با پیکرک‌های اسب ریخت مواجهیم که شرحی مخصوص به خود را طلب می‌کند، شرحی که در این مقاله، همراه با گمانه‌زنی‌هایی چند برآمده از شواهد و مدارک موجود پیگیری خواهد شد. در مطالعه مؤثر برای بررسی آثار ساخته‌شده از خاک رس روش EDS یک روش کاربردی است. ازآنجاکه آثار ساخته‌شده از خاک رس با شناسایی رس و یا تمپر مرتبط می‌باشند، از روش EDS می‌توان برای تعیین عناصر مشخصه در آثار ساخته‌شده از خاک رس با منشأ معلوم و یا ناشناخته استفاده کرد. تشخیص یک‌فاز معدنی خاص، از طریق هر دو روش کانی‌شناسی و شیمیایی امکان تضمین در درجه حرارت ترکیب خاک برگشت‌ناپذیر است و تغییرات در ترکیب معدنی تنها با برخورد نمونه‌ها بالاتر از دمای اعمال‌شده توسط سازنده آثار گلی رس مشاهده می‌شود. برسی کانی‌شناسی سفال معمولاً با پراش اشعه ایکس XRD در برخی از نمونه‌ها مورداستفاده قرارگرفته است.

۲. مواد و روش‌ها

آثار موردمطالعه در این پژوهش شامل ۱۵ قطعه پیکرک گلی شکسته و رسوب گرفته است که ازنظر آناتومیکی عبارت‌اند از: ۷ عدد پا، ۲ عدد گردن، ۲ عدد سر، ۲ عدد سر و گردن متصل، و ۱ عدد ترکیب دم و بخش بدنه. این قطعات با توجه به معیارهایی چون ابعاد، میزان رسوب گرفتگی در نواحی مختلف، رنگ بدنه، شکل و فرم کلی انتخاب شدند (شکل ۲). برای تکمیل اطلاعات، روش‌های آنالیز دستگاهی بر روی این نمونه‌ها اعمال گردید. در این مطالعه، از سیستم طبقه‌بندی نوع–تنوع برای گروه‌بندی اولیه پیکرک‌های گلی بهره گرفته شد. این سیستم که عمدتاً مبتنی بر تشخیص بصری و ویژگی‌های مورفولوژیکی است، در شناسایی الگوهای پراکنده نمادین و نقوش مؤثر بوده و مطالعات میکروسکوپی نیز با مقایسه داده‌های بصری، به تأیید و تکمیل این گروه‌بندی کمک کرد. بااین‌حال، دقت این روش به وضعیت حفاظتی آثار وابسته است و محدودیت‌های آن را نباید نادیده گرفت. با توجه به ماهیت شکسته تمامی قطعات و عدم وجود پیکرک کامل در مجموعه، احتمال تعلق برخی نمونه‌ها به یک پیکرک واحد اولیه وجود دارد. این احتمال به‌ویژه در مواردی تقویت می‌شود که قطعات ازنظر ویژگی‌های مورفولوژیکی (مانند انحنای گردن یا فرم پا)، رنگ بدنه، ضخامت دیواره، نوع پوشش سطحی و میزان رسوب گرفتگی شباهت چشمگیری نشان دهند. با وجو داین، فقدان اتصالات فیزیکی مستقیم و پراکندگی یافته‌ها در سطح محوطه، امکان اثبات قطعی این تعلق را محدود می‌سازد.



شکل ۲. پیکرک های به دست آمده از استان فارس محوطه فراشبند

Figure 2. Clay figurines fragments excavated from the Farashband region, Fars Province

نتایج آنالیزهای دستگاهی (XRD و EDS) و تحلیل آماری PCA نیز، با شناسایی شش گروه مجزای ترکیب شیمیایی و کانی‌شناختی، نشان داد که برخی قطعات علی‌رغم شباهت بصری، تفاوت‌های معناداری در ترکیب خمیر دارند که می‌تواند بیانگر تولید در کارگاه‌ها یا زمان‌های متفاوت باشد؛ بنابراین، احتمال تعلق همه قطعات مشابه به یک پیکرک واحد ضعیف است. در مقابل، سیستم نوع–تنوع ازلحاظ نظری بر پایه ترکیب خمیر و پوشش سطحی عمل می‌کند، اما در عمل بسیاری از محصولات گلی از این قاعده تبعیت نمی‌کنند و ممکن است قطعاتی با خمیر متفاوت در یک گروه بصری قرار گیرند. این محدودیت، همراه با وضعیت ناقص مجموعه، لزوم ترکیب رویکردهای بصری با داده‌های باستان‌سنجی را برای تفسیرهای دقیق‌تر برجسته می‌سازد.

۲-۱. میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی کوبل شده با پروب پراش انرژی پرتو ایکس (EDS)

به‌منظور شناسایی ساختارهای بلوری، مطالعه مورفولوژی و تعیین ترکیب شیمیایی نمونه‌ها، از آنالیز میکروسکوپ الکترونی روبشی محیطی مجهز به طیف‌سنج تفرق انرژی پرتو ایکس (ESEM-EDS) استفاده شد. فرآیند نمونه‌برداری جهت این آنالیز، با توجه به ابعاد کوچک و وزن کم پیکرک‌ها (بین ۳ تا ۴۰ گرم)، به روش تخریبی محدود و طبق پروتکل هورکاخادا و همکاران به‌صورت استخراج پودر انجام گرفت (Horcajada et al., 2014)؛ برای این منظور از یک دستگاه دریل Dremel مدل ۴۰۰۰ با سرعت دوران

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

۵۰۰۰ تا ۱۵۰۰۰ rpm و مته فلزی HSS کبالت‌دار با قطر ۱ میلی‌متر جهت برداشت نمونه از بخش مرکزی (مغز) آثار استفاده شد تا ضمن دستیابی به خمیره اصلی، از تداخل آلودگی‌های سطحی ناشی از رسوبات یا شست‌وشوی آثار در زمان کاوش اجتناب گردد. در ادامه، نمونه‌های استخراج شده در آزمایشگاه کیمیازی به‌وسیله میکروسکوپ مدل Philips XL30 (ساخت کشور هلند) مجهز به آشکارساز EDS شرکت EDAX (ساخت کشور آمریکا) مورد بررسی قرار گرفتند؛ طی این فرآیند، ویژگی‌های ریزساختاری و درصد وزنی عناصر تشکیل‌دهنده با دقت بالا استخراج شد تا مبنای تحلیل‌های آماری و دسته‌بندی علمی نمونه‌ها قرار گیرد.

۲-۲. پراش سنجی پرتو ایکس (XRD)

الگوهای XRD در آزمایشگاه کیمیازی با دستگاه Panalytical مدل Xpert Pro MPD با تشعشع Cu–Kα (λ = 1.5406 Å)، در ۴۰Kv و ۳۰mA جمع‌آوری شدند. اندازه‌گیری‌های 2θ با اندازه پله °۰/۰۵، زمان نوردهی ۱ ثانیه در دامنه 2θ از °۷ تا °۸۰ انجام گردید. همان نمونه‌های آنالیز شده توسط EDS در این روش نیز مورد آنالیز قرار گرفتند. شناسایی فازهای بلوره‌ای با ارجاع پایگاه داده فایل پراش پودری[۱] (PDF2)[۲] و پایگاه داده آزاد کریستالوگرافی[۳] (COD)[۴] به‌صورت نیمه کمی به کمک نرم‌افزار PANalytical X'pert HighScore Plus نسخه ۳.۰.۵ انجام پذیرفت.

۲-۳. روش آماری PCA

به‌منظور دسته‌بندی علمی نمونه‌ها و بررسی میزان قرابت‌های شیمیایی و کانی‌شناسی، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) بر روی داده‌های حاصل از آنالیز عنصری (EDS) انجام شد. جهت اجرای این تحلیل، از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۴ استفاده گردید. در مرحله نخست، به‌منظور حذف اثر اختلاف مقیاس متغیرها و جلوگیری از غلبه عناصر اصلی بر عناصر ناچیز، تمامی داده‌ها تحت فرآیند استانداردسازی (Z-score) قرار گرفتند تا با وزن یکسان در تحلیل وارد شوند. سپس با تشکیل ماتریس همبستگی، مقادیر ویژه (Eigenvalues)و بردارهای ویژه استخراج گردیدند (Horcajada et al., 2014). انتخاب مؤلفه‌های اساسی بر مبنای مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک و بررسی نمودار اسکری (Scree Plot) صورت گرفت. در نهایت، دو مؤلفه نخست که بیشترین سهم را در تبیین واریانس تجمعی داده‌ها داشتند، جهت ترسیم نمودارهای پراکنش و شناسایی الگوهای خوشه‌بندی میان پیکرک‌ها ملاک عمل قرار گرفتند.

۳. نتایج و بحث

اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ ترکیب پیکرک‌ها به ترتیب شامل Mg,Fe,Ca,Al,Si,K هستند. میزان Si بین ۱۰/۰۹ – ۳۵/۲۷ درصد وزنی اندازه‌گیری شده است. دیگر اجزای اصلی به ترتیب شامل Al بین ۶/۰۲ – ۱۲/۳۶ درصد، Fe بین ۵/۳۵ – ۱۲/۴۹ درصد و Mg بین ۰/۶۱ – ۳/۲۶ درصد، K بین ۳/۰۱ – ۵/۳۵ گزارش‌شده است. دیگر اجزای تشکیل‌دهنده شامل: Mn,Ni,Cu,Zn,Cl,S,P,Cr,Ca به‌عنوان اجزای فرعی و به میزان متفاوت در نمونه‌های مختلف شناسایی‌شده‌اند. با توجه به نتایج EDS اجزای اصلی ترکیب در همگی نمونه‌ها شامل Si,Fe هستند. میانگین میزان Si در نمونه‌ها شامل Fe,Si هستند. میانگین میزان Si در نمونه‌ها ۱۶/۳۷ درصد و میانگین Fe در تمامی نمونه‌ها ۸/۸۴ درصد وزنی است. این دو جزو اجزای اصلی تشکیل‌دهندهٔ ترکیب سفال‌های باستانی هستند که به دلیل استفاده از کانی‌های رسی به‌عنوان ماده اولیهٔ تولید سفال در ترکیب سفال‌های باستانی وجود دارد (Oudbashi et al., 2019). میزان کلسیم نسبت به دیگر اجزای اندازه‌گیری شده از تفاوت زیادی برخوردار است. در طبقه‌بندی سفال‌های باستانی، نمونه‌های حاوی ۶ درصد کلسیم به‌عنوان کم کلسیم[۵] یا غیر آهکی[۶] و نمونه‌های حاوی بیش از ۶ درصد Ca به‌عنوان پر کلسیم[۷] یا آهکی[۸] دسته‌بندی می‌شوند. بر این اساس و با توجه به میزان کلسیم شناسایی‌شده در ترکیب نمونه‌های سفال محوطه آب‌پا می‌توان آن‌ها را به دودستهٔ کم کلسیم و پر کلیسم تقسیم‌بندی نمود (Maniatis & Tite, 1981; De Bonis et al., 2014).

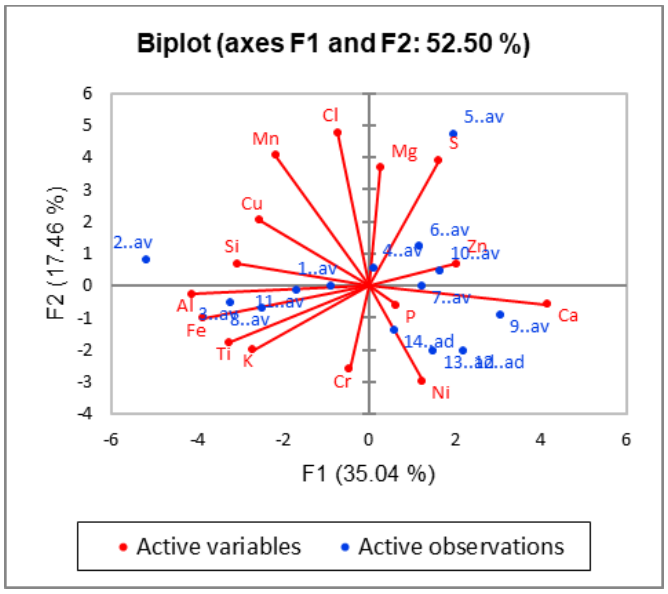
با توجه به حضور میزان قابل‌توجه کلسیت اولیه در ساختار بیشتر نمونه‌ها، می‌توان گفت که پیکرک‌های محوطه آبپا تحت تأثیر حرارت در دمای بالا قرار نگرفته‌اند. با توجه به این‌که ترکیبات کربناتی مانند کلسیت در دمای ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند، دمای تخمین زده‌شده برای پخت سفال‌های محوطهٔ آبپا کمتر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد در محیط و شرایط اکسیداسیون است (De Bonis et al., 2014). از سوی دیگر، برخی تأثیرات دمای بالاتر پخت را می‌توان در ساختار برخی نمونه‌ها مشاهده نمود؛ مانند تغییر رنگ‌دانه‌های کربناتی و تیره شدن آن‌ها می‌تواند به دلیل تأثیر دمای بالاتر از حد تخمین زده‌شده باشد (عود باشی و همکاران، ۱۳۹۸)؛ همچنین اندازهٔ داده‌های کلسیت در تجزیه آن تحت تأثیر دما مؤثر است؛ به شکلی که در صورت بزرگ بودن ذرات و قطعات کربناتی، دمای تجزیه کربنات‌ها ممکن است تا حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد افزایش یابد. از سوی دیگر، حضور هماتیت در ساختار برخی نمونه‌های موردمطالعه (جدول۱) به‌صورت تجمع فازهای قرمزرنگ را می‌توان استناد کرد دمای پخت حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است (Maritan et al., 2006).

مطالعات انجام‌شده بر روی ماهیت شیمیایی و ویژگی‌های فیزیکی خاک رس در استان فارس و نواحی اطراف آن، نشان می‌دهد که میزان کانی کلسیت یا کربنات کلسیم در کنار کانی‌های مختلف رسی در خاک نواحی مختلف این منطقه (شامل استان فارس) نسبتاً بالاست، همچنین خاک این نواحی ازنظر pH تا حدی قلیایی است (Fabbri et al., 2014). از سوی دیگر، آنالیز دانه‌بندی خاک‌نشان می‌دهد که میزان ماسه، سیلت و رس در خاک نواحی مختلف متفاوت است (Ouliaei, 2012) که موجب می‌شود تا خاک منطقه دارای کیفیت متفاوت و حاوی کانی‌های مختلف شامل رس‌ها و همچنین ترکیبات سیلیکاتی مختلف

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

با اندازهٔ ذرات متفاوت در آن باشد (Ghiri et al., 2010). همچنین، میزان پتاسیم موجود در خاک ناحیه ذکرشده نسبتاً بالاست که می‌تواند بیانگر حضور کانی‌های سیلیکاتی پتاسیم دار در خاک باشد (Ghiri et al., 2010; 2011).

در پژوهش حاضر به‌جای روش تحلیلی مقیاس سازی چندبعدی، از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده‌شده است. با استفاده از روش خوشه‌بندی دورترین همسایه بر روی ماتریسی از فواصل اقلیدسی با استفاده از Statgraphics Centuri در XV انجام شد. نواحی فلورسانس خالص Ca,Zn متغیرهایی هستند که بیشترین جدایی را بین گروه نشان می‌دهند، همان‌طور که در نمودار بارگذاری اجزای مشتق شده از دو جز در (شکل ۳) گزارش‌شده است. مؤلفه‌های اصلی PC1 و PC2 به ترتیب بیشترین بارگذاری را از عناصر Ca و Zn نشان می‌دهند، در حالی که سایر عناصر سهم قابل‌توجهی در تبیین واریانس داده‌ها ندارند. نمودار حاصل از داده‌های EDS برای مؤلفه PC1 در شکل ۳ گزارش شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، پیکرک‌های ۱، ۵، ۸ و ۹ گروه جداگانه‌ای را تشکیل داده‌اند که نشان‌دهنده تفاوت ساختاری (یا شیمیایی) آن‌ها با سایر پیکرک‌هاست.



شکل ۳. نتایج داده‌های **EDX**؛ روش آماری **PCA**

Figure 3. Principal Component Analysis (PCA) of the EDX (EDS) elemental data

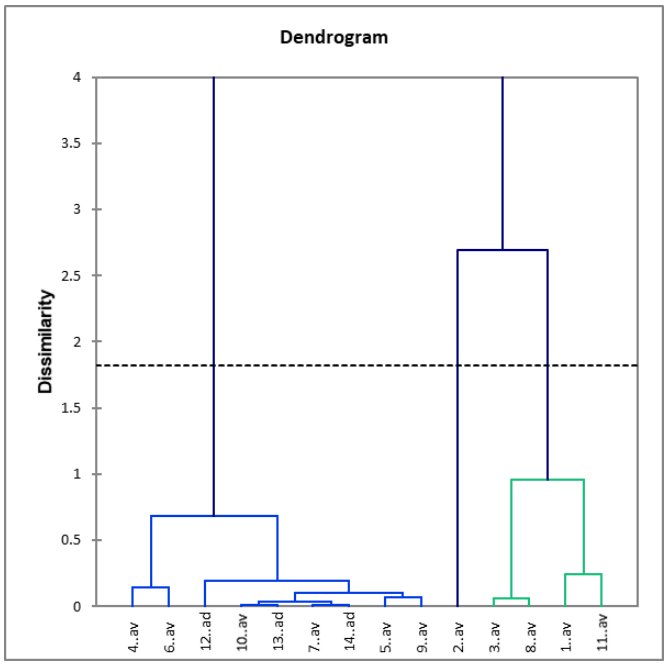
دندوگرام به‌دست‌آمده با انجام داده‌های EDS و PC1 با سهم مهمی از زمینهٔ شکل در الگوهای پراش است. بقیه نمونه‌های موجود در خوشه C1 دارای کوارتز به‌عنوان فاز غالب Fe,Mn,Mg,K,Al,Ti هستند. خوشه C2 که شامل نمونه‌های ۸ و ۲ و ۳ که کمی بالاتر از خوشه C1 است. نمونه ۱۲ و ۱۴ و ۱۳ از این خوشه دارای Zn به‌عنوان فاز غالب است. خوشه C2 که شامل نمونه‌های ۳ و ۱۱ است دارای فاز غالب Fe,Al,Ti است. خوشه C3 دارای نمونه‌های ۴ و ۶ است دارای فاز غالب Ni,Sr است. خوشه C4 که نمونه ۵ را به نمایش می‌گذارد دارای فلورسانس نسبتاً بالا است. خوشه C5 نیز نمونه ۱ را نشان می‌دهد و دارای فلورسانس بالایی است (شکل ۴)؛ بنابراین تجزیه‌وتحلیل EDS از پیکرک‌های سرامیکی مواد اولیه متنوعی را که در محصولات آن‌ها استفاده می‌شود شناسایی کرده است؛ که با مشاهدات کلان نمی‌توان آن‌ها را شناسایی کرد. بدیهی است، این مطالعه ناسازگاری‌های آشکاری رابین گروه‌های برآمده از سیستم طبقه‌بندی – نوع، تنوع، ترکیب کانی‌شناسی آن‌ها و خوشه‌های حاصل از تجزیه‌وتحلیل PCA از داده‌های EDS نشان می‌دهد.

جدول ۱. نتایج آنالیز EDS نمونه‌های موردمطالعه (برحسب w%)

Table 1. EDS elemental composition of the studied samples (wt%)

	Si	Al	Ca	K	Fe	Ti	Cr	Mn	Mg	Ni	Cu	Zn	Cl
1	35.26	11.57	29.50	3.12	10.25	1.56	0.38	0.59	3.02	0.24	0.66	0.00	0.00
2	28.54	22.16	12.12	6.99	18.43	2.39	0.00	0.77	1.70	0.00	1.01	0.85	5.46
3	22.60	16.75	24.51	7.63	15.97	2.04	0.63	0.66	2.40	0.00	0.83	0.73	1.00
4	20.97	13.00	39.52	4.28	12.83	1.42	0.00	0.47	3.00	0.00	0.04	1.91	0.00
5	16.51	8.23	48.26	4.31	6.73	1.16	0.00	0.69	4.10	0.00	0.80	1.30	1.02
6	20.90	9.25	44.84	4.99	9.92	0.91	0.14	0.41	3.00	0.00	0.29	0.95	0.57
7	15.83	9.85	49.03	4.85	9.77	1.32	0.28	0.32	3.55	0.00	0.46	0.80	0.00
8	24.27	17.36	27.82	7.54	14.23	2.09	0.00	0.01	2.01	0.00	0.53	2.28	4.88
9	16.59	6.94	51.39	4.88	10.23	0.96	0.00	0.00	2.00	0.00	0.00	1.70	0.00
10	18.27	10.67	49.25	5.04	11.21	1.25	0.02	0.23	1.30	0.00	0.55	1.50	0.00
11	29.13	13.75	29.46	6.45	13.61	1.70	0.37	0.59	2.90	0.00	0.64	1.40	0.00
12	12.90	10.23	58.38	5.38	8.52	1.33	0.10	0.07	0.78	0.00	0.57	0.73	0.00
13	16.67	9.54	46.25	5.87	10.45	1.44	0.40	0.20	2.03	0.00	0.31	1.34	0.00
14	15.90	10.14	48.45	6.09	9.73	2.44	0.09	0.23	2.50	0.00	0.00	0.99	0.00

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026



شکل ٤. نتایج داده‌های **EDS**به شیوه خوشه‌بندی سلسله مراتبی

Figure 4. Hierarchical clustering dendrogram of the EDS elemental data

XRD یک روش گسترده برای توصیف و تعیین مواد معدنی در اشکال پیچیده بلوره‌ای و شناسایی روش‌های تولید مصنوعات سرامیکی مانند دمای پخت است (Emami et al., 2011). روش پراش پرتوایکس XRD درواقع می‌تواند به‌عنوان روشی مکمل برای نمونه‌های SEM-EDX باشد. بنابراین استفاده از این روش می‌تواند سبب شناخت بهتر، بیشتر و مطلوب‌تر نمونه‌های موردمطالعه شود. چراکه درروش SEM-EDX شناسایی کانی‌های رسی انجام نمی‌گیرد اما با استفاده از تحلیل و تفسیر پیکرک‌های به‌دست‌آمده اطلاعات کامل‌تری از سفال حاصل می‌گردد.

در ادامه الگوهای پراش ایکس نمونه‌های موردمطالعه و فازهای به‌دست‌آمده از آن‌ها قرار داده می‌شود. در مطالعه حاضر، از XRD برای شناسایی اجزای اصلی بلوری نمونه‌ها استفاده‌شده است. نتایج XRD نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها دارای توزیع نسبتاً مشابهی از اجزای اصلی عناصر معدنی هستند. در اکثر نمونه‌ها کوارتز که کانی اصلی خاک است مشاهده‌شده است. در نمونه‌های موردمطالعه به‌جز کوارتز، دیوپسید و کلسیت نیز جزو کانی‌ها موجود در نمونه‌ها بودند. با توجه به نتایج گرفته‌شده از آزمایش XRD کانی‌هایی از نمونه‌های موردبررسی، شناسایی‌شده است که شامل کوارتز و کلسیت و دیوپسید هست که وجود هرکدام از این کانی‌ها در نمونه‌ها اطلاعات بسیار مفیدی را در خصوص ساختار شناسی نمونه‌ها که شامل دمایی پخت آن‌ها، کانی‌هایی موجود، تحلیل PCA و نیز برای تطابق عناصر به‌دست‌آمده و نیز کانی‌های به‌دست‌آمده در تحلیل داده‌ها و نیز در فهم آن‌ها بسیار مؤثر بوده است. کوارتز ازجمله فراوان‌ترین کانی‌ها در بافت سفال‌ها است که یا به‌صورت خرده‌سنگ یا ماسه در خاک مورداستفاده موجود بوده و به شکل تصادفی در بافت سفال واردشده است و یا به‌صورت ماده افزودنی و تمپر، به مجموعه مواد اولیه تهیهٔ سفال افزوده‌شده است. استفاده از کوارتز به‌عنوان تمپر دو دلیل داشته باشد: یکی در دسترس بودن به میزان بالا و دیگری خواص حرارتی آن است (Sterba et al., 2009).

کانی‌های کوارتز بر اساس معیارهایی چون بافت مونوکریستالین در برابر پلی کریستالین، اندازه دانه و شکل و تیپولوژی قابل‌شناسایی‌اند. به دلیل رایج بودن کوارتز در بیش‌تر خاک‌ها، شناسایی آن به‌عنوان جز کوارتز از قبیل گرد شدگی، کروی بودن، درصد و اندازه توزیع دانه‌های مجزا، می‌توان از آن در تعیین منشأ استفاده نمود. چنانکه کانی کوارتزهای تیز و زاویه‌دار محصول هوازدگی و خرد شدن سنگ مادر مولد خاک مورداستفاده‌اند (Shane et al., 2008). گاهی پراکندگی کوارتزهای گوشه‌دار، محصول فرآوری آن‌ها به‌صورت خردشده و سرند شده است که به روش تولید مرتبط می‌شود (Riederer, 2004).

تغییر فازهای کوارتز همیشه با افزایش و کاهش حجم همراه است تا به فرم پایدار برسد، به‌محض اینکه دماپایین آمد بتا کوارتز به شکل اولیه آلفا کوارتز برمی‌گردد (Reedy, 2018). عمده فاز کوارتز شناسایی‌شده در آنالیز در نمونه‌هایی ۱،۲،۴،۵،۱۱ (جدول ۲) کوارتز مشاهده‌شده است و در نمونه‌هایی ۳،۷،۸،۱۰،۱۲،۱۳،۱۴ (جدول ۲) با توجه به تغییر و تبادلات فاز کوارتز در دماهای متفاوت، کوارتز مربوط در سفال‌های موردمطالعه کوارتز (α-quartz) است (۲θ= ۲۶.۶۴)؛ زیرا کوارتز آلفا که در سیستم تریگونال متبلور می‌شود، در دمای پایین‌تر از ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد پایدار بوده و در این دما به کوارتز بتا که فاز حرارت بالای کوارتز نام دارد و در سیستم هگزاگونال متبلور می‌شود، تبدیل می‌گردد (Oudbashi et al., 2010).

کربنات‌ها نقش مهمی را در افزایش تخلخل سفال و بهبود ویژگی‌های خشک شدن و پخت رس دارند و همچنین به‌عنوان کمک‌ذوب جهت کاهش دمای گداخته‌شدن موردنیاز برای بدنه‌های رسی عمل کنند. کربنات کلسیم اختصاصاً در سفال‌های با درجه پخت پایین دیده می‌شود و هم می‌تواند به‌عنوان تمپر به بدنه اضافه شود که به نحوی مقاومت مناسبی را در مقابل شوک‌های حرارتی به وجود می‌آورد و هم اینکه به‌صورت طبیعی در خاک منطقه موجود باشد (Reedy, 2018). به دلیل اینکه دولومیت، کلسیت و منیزیت به‌عنوان کانی‌های کربناتی معمولاً ظاهری مشابه دارند، تشخیص آن‌ها از یکدیگر با چشم غیرمسلح چندان آسان نبوده و با روش میکروسکوپ نوری پلاریزان نیز با خطا همراه است؛ بدین‌جهت برای تشخیص دقیق و تفکیک آن‌ها از هم، روش پراش ایکس نتیجهٔ بهتری ارائه کرده که عمده فاز کربناتی شناسایی‌شده

در آنالیز XRD نمونه‌های محوطه آبپا، دولومیت CaMg(CO3)2 در نمونه‌های شماره ۲،۵،۹،۱۰،۱۲،۱۳،۱۴ و کلسیت (CaCO3) در سفال‌های نمونهٔ ۷ و ۸ است (جدول ۲). حضور فازهای کربناتی در

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

سفال، بیشترین میزان تغییر و تبادل فازهای معدنی (مینرالی) را حین فرآیند پخت ایجاد می‌کند. این دانه‌ها در دمایی حدود ۷۰۰–۶۵۰ درجه سانتی‌گراد در ماتریکس سفال ناپایدار شده و بسته به اندازه و درصد خلوص دانه‌ها، ترکیب ماتریکس و کانی‌های مجاور، شرایط اتمسفر کوره (اکسیداسیون یا احیا)، فشار CO_2 و عامل زمان، تجزیه و تخریب می‌شوند. به‌عنوان‌مثال تجزیهٔ بلورهای کلسیت دارای رخ رومبوئدریک[۹] (لوزوجهی) در دمای حدود ۶۰۰ آغازشده و تقریباً ۸۰۰–۹۰۰ پایان می‌یابد؛ بنابراین نقش کلسیم در تعیین حرارت و دمای ۷۵۰ درجه سانتی گراد بسیار قابل‌توجه است (Moropoulou et al., 2002).

دیوپسید، یکی از کانی‌های سنگ‌ساز مهم در سنگ‌های دگرگونی و سنگ‌های آذرین بازیک تا الترابازیک است؛ که از متامورفیسم اغلب شیمیایی سنگ‌آهک‌های سیلیسی[۱۰]و دولومیت‌ها حاصل می‌شود؛ که رنگ آن از سفید، آبی، سبز روشن و کمرنگ تا زرد یا سبز قهوه‌ای متغیر است (Martens, 2004). کانی‌های موجود در زیرگروه پیروکسین‌ها در بافت سفال بیشتر از ذخایر سنگی و خاکی به‌عنوان تمپر در بافت سفال دیده می‌شوند. ترکیب شیمیایی این فازها در بافت سفال تابع نسبت کلسیم– منیزیم است.

در سفال وجود پیروکسین‌های با درصد بالای منیزیم باعث به وجود آمدن خاصیت نسوزی می‌گردد (جدول ۲). گونه پیروکسین شناسایی‌شده در بافت سفال دیده می‌شوند. ترکیب شیمیایی این فازها در بافت سفال تابع نسبت کلسیم – منیزیم است. در سفال وجود پیروکسین‌های با درصد بالای منیزیم باعث به وجود آمدن خاصیت نسوزی می‌گردد (نوغانی و امامی، ۱۳۹۰). گونه پیروکسین شناسایی‌شده در بافت نمونه‌های موردبررسی دیوپسید است که در نمونه‌های ۱،۴،۷،۳ بر اساس آنالیز پراش پرتوایکس شناسایی گردیده است. وجود این فاز نشان‌دهنده دمایی بالاتر از ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد است (Papadopoulou et al., 2006).

با توجه به وجود فاز دیوپسید در نمونه‌های ۱ و ۳ و ۴ و ۷ این نمونه‌ها به هنگام نمونه‌برداری به روش دریل نیز دارای مغز بسیار سفتی بوده و به‌سختی از این آثار نمونه‌برداری انجام شد که این خود نشان‌دهنده دما دیدگی بالای این نمونه‌ها است. (جدول ۲). ازلحاظ ظاهری نیز این نمونه‌ها دارای وضعیت سفت و محکمی می‌باشند و نسبت به نمونه‌های دیگر استحکام بیشتری دارند که این عوامل ظاهری نیز نشان‌دهنده دما دیدگی این نمونه‌ها است. بسیاری از دستگاه‌های مدرن امروزی حجم عظیمی داده در هر آنالیز تولید می‌کنند که داده‌های این آنالیزها، تحلیل و تفسیر آن‌ها، بدون کمک روش‌های آماری تقریباً غیرممکن است. استخراج اطلاعات مفید از این حجم بسیار بزرگ داده یک چالش جدی است.

جدول ۲. فازهای شناسایی‌شده پراش پرتوایکس در نمونه‌های ۱ تا ۱۴

Table 2. XRD-identified mineral phases in samples 1–14

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Di	*	-	*	*	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-
Qz	*	*	-	*	*	-	-	-	-	-	*	-	-	-
Mic	*	*	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
Cal	-	*	-	-	*	-	*	*	*	*	-	*	*	*
Hd	-	*	-	-	-	*	-	-	-	-	*	-	-	-
Spl	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Fa	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
En	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gh	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sp	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mll	-	-	-	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-
Sap	-	-	-	-	*	-	-	*	-	-	-	-	*	-
Sil	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Sa	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Rt	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-
Hem	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-
Crs	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	*	-	
An	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-
Sep	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*	-
Alu	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	*
Ph	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
GAES	-	-	*	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mgh	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Allo	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
FFQ	-	-	*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sil	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-
Sa	-	-	-	-	-	-	-	*	-	-	-	-	-	-

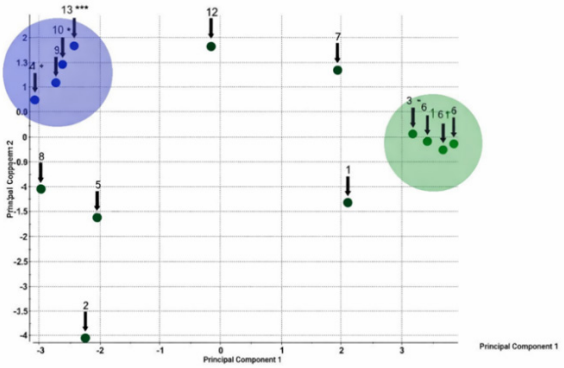
Abbreviation :Di- Diopside, aluminian, syn/ Qz- quartz/ Mic- microcline/ Cal- calcite/ Hd- hedenbergite/ Spl- spinel
Fa- fayalite/ En- enstatite/ Gh – gehlenite/ Sap – saponite/ Mll – melilite/ Cal – calcite/ Sap – saponite
Sil – sillimanite/ Sa – sanidine/ Rt – rutile/ Hem – hematite/ Crs – cristobalite/ An – anorthite/ Sep – sepiolite/ Alu – alunite/Ph- Phonotephrite /Mgh- Manganbabingtonite/Allo- Allophane/FFQ- Fayalite/GAES-Enstatite/Sil-sillimanite/Sa-Sanidine/

روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین الگوریتم‌های کمومتریکس، نقشی اساسی در خوشه‌بندی و کاهش ابعاد داده‌های حاصل از آنالیزهای عنصری ایفا می‌کند. PCA ابزاری عالی برای تجزیه‌وتحلیل داده‌های چند متغیر، است. این مهم‌ترین روش برای تجزیه‌وتحلیل اکتشافی داده‌های چندمتغییره کاهش ابعاد و نمایش پرافیکی داده‌ها است. برای داده‌های XRD نیز از روش PCA استفاده کرده و خروجی گرفته‌شده و داده‌هایی آنالیز عنصری و آنالیز ترکیب معدنی باهم دیگر مقایسه شد.

داده‌های PCA آنالیز ترکیب معدنی تکمیل‌کننده داده‌های آنالیز عنصری است. بر اساس داده‌های PCA در XRD می‌توان چنین تحلیل کرد که نمونه‌های ۴ و ۱۱ و ۶ و ۳ در یک گروه C1 قرارگرفته‌اند و دارای ویژگی‌های مشترکی می‌باشند. همچنین، نمونه‌های ۳ و ۱۰ و ۴ و ۹ نیز در یک گروه مجزا با عنوان C2 قرارگرفته‌اند (شکل ۵) و این داده‌ها نشان می‌دهد که این نمونه‌ها دارای ویژگی‌های مشترکی هستند. در داده‌های PCA می‌توان مشاهده کرد که نمونه‌های ۱۲ و ۷ و ۱ و ۸ و ۵ و ۲ دارای خواص و کانی‌های

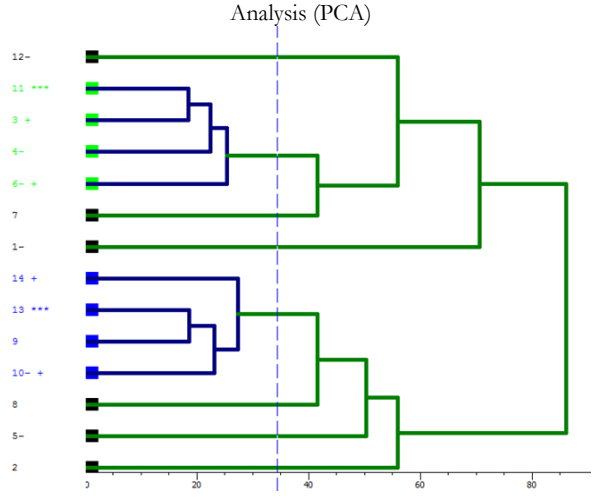
[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

منحصربه‌فردی نسبت به نمونه‌های دیگر خود داشته و هرکدام گروه جداگانه‌ای را برای خودشان تشکیل می‌دهد (شکل ۶). با توجه به نتایج گرفته‌شده از PCA آنالیز عنصری و PCA آنالیز ترکیب معدنی می‌توان گفت که این ۲ داده تکمیل‌کننده همدیگر هستند و بر اساس داده‌های هر دو روش می‌توان نمونه‌هایی که دارای ویژگی مشترک و همچنین نمونه‌هایی که ویژگی‌های خاصی نسبت به نمونه‌های دیگر دارند به‌طور کامل از همدیگر تفکیک کرده و این روش آماری در جمع‌بندی نمونه‌ها و تحلیل و تکمیل آنالیزهای شیمیایی بسیار مؤثر و مفید است.



شکل ۵. نتایج داده‌های XRD؛ روش آماری PCA

Figure 5. XRD data results processed using Principal Component Analysis (PCA)



شکل ٦. دندروگرام حاصل از تحلیل خوشه‌بندی سلسله‌مراتب (HCA) نمونه‌ها بر اساس داده‌های عنصری (محور افقی بیانگر فاصله پیوند میان خوشه‌ها است)

Figure 6. Dendrogram resulting from hierarchical cluster analysis (HCA) of the samples based on elemental data (the horizontal axis represents the linkage distance between clusters).

٤. نتیجه‌گیری

با توجه به مطالعات صورت گرفته دربارهٔ طریقهٔ نمونه‌برداری و انجام آزمایش‌ها برروی پیکرک‌ها می‌توان نتیجه گرفت، روش‌هایی که در این نمونه‌ها داده‌هایی بهتری را برای ما به ارمغان می‌آورد, XRD, EDS است. نمونه‌برداری از پیکرک‌ها و میزان نمونه برای آزمایش به دلیل اندازهٔ کوچک آثار دارای چالش‌های مختلفی است که در این مقاله سعی شد راه‌حل‌هایی را مورد سنجش قرار داده و بهترین روش ارائه گردد. نتایج بررسی میکروسکوپی برای سطح، ازجمله خلل و فرج و پوشش سطحی را نمایان ساخته و در کنار آن، امکان بررسی دقیق پارامتر ویژگی‌های ترکیبی در سیستم طبقه‌بندی نوع – تنوع را تسهیل نمود. از طرفی، با توجه الگوی هندسی و ردیابی ابزار، هیچ‌گونه اثری از ساخت به شیوهٔ قالبی در آن‌ها دیده نشد و درنتیجه، منجر به گروه‌بندی نمونه‌های مطالعه در ۶ گروه متنوع گردید که نتایج آنالیز عنصری EDS و XRD آن را تصدیق می‌کند. از طرفی نیز نتایج حاصل از XRD نشان از این دارد که این پیکرک‌ها حداکثر دمای پایین‌تر از ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد را در فرایند ساخت استفاده خود تجربه کرده‌اند. نهایتاً می‌توان گفت، ارتباط معناداری بین روند آیین فرهنگی قربانی‌کردن پیکرک‌ها با فرایند ساخت پیکرک‌ها با الگوهای ساخت متفاوت (از انتخاب ماده اولیه تا فرایند پرداخت) وجود دارد.

سپاسگزاری: این مقاله مستخرج از پایان‌نامهٔ مقطع کارشناسی ارشد با عنوان "مطالعه باستان‌سنجی پیکرک‌های اسب باستانی مکشوفه از محوطه فراشبند استان فارس" در دانشکده حفاظت آثار فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز بوده، لذا از این دانشگاه بابت در اختیار قرار دادن امکانات جهت انجام این پژوهش قدردانیم.

مشارکت نویسندگان: پیش‌نویس اولیه مقاله، ایده‌پردازی و روش شناسی توسط N.MوV.A ؛ نرم‌افزار و تحلیل آماری توسط N.M؛ ارائه داده‌های باستان‌شناختی C.B؛ بازبینی و ویرایش متن توسط N.M، V.A و M.R انجام گرفته است. نهایتاً تمام نویسندگان نسخه منتشرشده، مقاله را مطالعه کرده و با آن موافقت نموده‌اند.

تأمین مالی: این پژوهش هیچ بودجه خارجی دریافت نکرده است.

تضاد منافع: نویسندگان هیچ گونه تضاد منافع را اعلام نمی کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: اشتراک‌گذاری داده‌ها برای این مقاله قابل اجرا نیست.

پی‌نوشت

1. International Centre for Diffraction Data Powder Diffraction Files
۲. پایگاه داده مورداستفاده مربوط به انتشار سال ۲۰۱۳
۳. نسخه مورداستفاده مربوط به انتشار تاریخ ۲۰۱۶ در پایگاه http://www.crystallography.net
4. Crystallography Open Database
5. Ca-poor
6. Non-calcareous
7. Ca-rich
8. Calcareous
9. Rhombohedra
10. Siliceous Limestones

References

Barfi, S. (2015). Salvage excavation at Tang-e Abpay site, Farashband, Fars. In H. Choubak (Comp.), *Reports of the 14th Annual Symposium of Iranian Archaeology* (S. R. Seyedin Borujeni & A. Javanmardzadeh, Eds). Research Institute of Archaeology. [In Persian]

Binford, Lewis R. 1964. A Consideration of Archaeological Research Design. *American Antiquity*, 425-41. https://doi.org/10.2307/277978

Bivar, A.D. H. (1982). Seal-Impressions of Parthian Qūmis (Qūmis Commentaries no. 4). *Iran, 20*(1), 161-176. https://doi.org/10.2307/4299727

Boardman, J. (1970). Pyramidal Stamp Seals in the Persian Empire.

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science, 31*(1-2), 1-15. https://doi.org/10.1016/j.clay.2005.08.007

Sharifi M, Garavand A. (2023). Pottery Making Technology from Late Chalcolithic Period in Girdi Ashoan tepe,(North west Iran),Based on XRD,XRF and Petrography Techniques. *Journal of Research on Archaeometry, 9*(2), 145-163. [in Persian]

Martens, W. N. (2004). *The vibrational spectroscopy of minerals*. Queensland University of Technology.

Mirti, P. (2000). X-ray microanalysis discloses the secrets of ancient Greek and Roman potters. *X-Ray Spectrometry, 29*(1), 63-72. https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4539(200001/02)29:1<63::AID-XRS409>3.0.CO;2-F

Moropoulou, A., Cakmak, A. & Polikreti, K. (2002). Provenance and technology investigation of Agia Sophia bricks, Istanbul, Turkey. *Journal of the American Ceramic Society, 85*(2), 366-372. https://doi.org/10.1111/j.1151-2916.2002.tb00098.x

Mottaghi, N. (2025). Symbolism of the horse in Mithraism: Investigating its role and importance in ancient Iran. *Religious Research, 13*(25), 109-138. [In Persian]. DOI: 10.22034/jrr.2025.523387.2281

Mottaghi, N., Askarpour, V. & Barfi, S. (2023). Horse and Avesta: A reflection on the findings of the Tang-e Abpay site in Farashband in the light of the resurrection of Zoroastrianism. *Religious Research, 11*(22), 29-58. [In Persian]. DOI: 10.22034/jrr.2024.336106.2006

Muscarella, Oscar White (1981). Surkh Dum at the Metropolitan Museum of Art: a Mini-Report. *Journal of Field Archaeology, 8*(3), 327-359. https://doi.org/10.2307/529573

Niknami, K. A. & Fazel, L. (2016). Identification and introduction of the ancient route of Bishapur-Firuzabad (Ardashir-Khurrah) in the Sassanid period and early Islamic centuries. *Journal of Archaeological Studies of Iran, 6*(11), 117-134. [In Persian]

Nitschke, Jessica L. S., Rebecca Martin, and Yiftah Shalev (2011). Between Carmel and the Sea: Tel Dor: The Late Periods. *Near Eastern Archaeology, 74*(3), 132-154. https://doi.org/10.5615/neareastarch.74.3.0132

Noghani, S. & Emami, S. M. A. (2011). Structural analysis of Jalinaki pottery belonging to the Parthian period based on archaeometric studies. *Journal of Archaeological Studies, 3*(2), 15-34. [In Persian]

Oudbashi, O. Seyed, M. E. & Parviz, D. (2010). *Archaeometallurgy in Luristan Region: Investigation on Chemical and Structural Aspects of Bronze Artifacts from Sangtarashan Archaeological Site of Khorramabad (First Millennium B.C)*. The Fourth Joint Conference of the Association of Metallurgical Engineers and the Iranian Casting Scientific Society.

Oudbashi, O., Naseri, R., Egartner, I., Arizzi, A. & Cultrone, G. (2019). Archaeometric Study of Potteries Excavated from Deh Dumen Archaeological Site (Southwestern Iran): Preliminary Results. *Pazhoheshha-Ye Bastan Shenasi Iran, 9*(22), 27-46.

Oudbashi, O., Naseri, R., Egartner, I., Artizi, A. & Cultrone, G. (2019). Archaeometric studies on the pottery found from the ancient site of Deh-Dumen (Southwest Iran), preliminary results. *Journal of Archaeological Studies of Iran, 9*(22), 27-46. [In Persian]

Ouliaei, H. R. (2012). *Micromorphology of pedogenic carbonate features in soils of Kohgiluye, Southwestern Iran*.

Papadopoulou, D. N., Zachariadis, G. A., Anthemidis, A. N., Tsirliganis, N. C. & Stratis, J. A. (2006). Development and optimisation of a portable micro-XRF method for in situ multi-element analysis of ancient ceramics. *Talanta, 68*(5), 1692-1699. https://doi.org/10.1016/j.talanta.2005.08.051

Reedy, C. L. (2018). Petrography and Ceramics. *The Encyclopedia of Archaeological Sciences*, 1-6. https://doi.org/10.1002/9781119188230.saseas0449

Roaf, M. (1983). Sculptures and sculptors at Persepolis. Iran Richmond, 21, 1-164. https://doi.org/10.2307/4299731

Iran, 8, 19-45. https://doi.org/10.2307/4299629

Crawford, Vaughn Emerson (1969). "Reports of the Departments: Ancient Near Eastern Art. *The Metropolitan Museum of Art Bulletin, 28*(2), 1-18. https://doi.org/10.2307/3258470

De Bonis, A., Cultrone, G., Grifa, C., Langella, A., & Morra, V. (2014). Clays from the Bay of Naples (Italy): new insight into ancient and traditional ceramics. *Journal of the European Ceramic Society, 34*(13), 3229-3244. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.04.014

De Schauensee, Maude (2006). A Note on Bit Types at Hasanlu, Iran. *Iraq, 68*, 129-138. http://www.jstor.org.uml.idm.oclc.org/stable/4200612 https://doi.org/10.1017/S0021088900001212

Dikshit, K. N. (2013). The Rise of Indian Civilization: Recent Archaeological Evidence from The Plains Of'lost'river Saraswati and Radio-Metric Dates. *Bulletin of the Deccan College Post-Graduate and Research Institute, 72-73*, 1-42.

Emami, S. M., Volkmar, J. & Trettin, R. (2011). Characterization of ancient ceramic matrices with high-resolution microscopy methods. *Laser Scanning, Theory and Applications*, 291-304.

Fabbri, B., Gualtieri, S. & Shoval, S. (2014). The presence of calcite in archeological ceramics. *Journal of the European Ceramic Society, 34*(7), 1899-1911. https://doi.org/10.1016/j.jeurceramsoc.2014.01.007

Feldman, Marian H. and Caroline Sauvage (2010). "Objects of Prestige? Chariots in the Late Bronze Age Eastern Mediterranean and Near East. *Ägypten und Levante / Egypt and the Levant, 20*, 67-181. https://doi.org/10.1553/AEundL20s67

Finn, J. (2011). Gods, Kings, Men: Trilingual Inscriptions and SymbolicVisualizations in the Achaemenid Empire. *Ars Orientalis, 41*, 219-275.

Ghiri, M. N., Abtahi, A., Jaberian, F., & Owliaie, H. R. (2010). Relationship between soil potassium forms and mineralogy in highly calcareous soils of southern Iran. *Aust J Basic Appl Sci, 4*, 434-441.

Ghiri, M. N. Abtahi, A. Karimian, N. Owliaie, H. R. & Khormali, F. (2011). Kinetics of non-exchangeable potassium release as a function of clay mineralogy and soil taxonomy in calcareous soils of southern Iran. *Archives of Agronomy and Soil Science, 57*(4), 343-363. https://doi.org/10.1080/03650340903440144

Green, Jack (2005). "No Longer Forgotten, Ancient Persia Comes to the British Museum." in: Near Eastern Archaeology, 68(3), 128-130. https://doi.org/10.1086/NEA25067612

Horcajada, P., Roldán, C., Vidal, C., Rodenas, I., Carballo, J., Murcia, S. & Juanes, D. (2014). Archaeometric study of ceramic figurines from the Maya settlement of La Blanca (Petén, Guatemala). *Radiation Physics and Chemistry, 97*, 275-283. https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2013.12.016

Khatchadourian, Lori (2016). Imperial Matter: Ancient Persia and the Archaeology of Empires. Oakland (California): University of California Press. https://doi.org/10.1525/9780520964952

Lahanier, C. (1991). Scientific methods applied to the study of art objects. Mikrochimica Acta (Vienna, Austria: 1953-62).

Lamberg-Karlovsky, Clifford Charles (2002). Archaeology and Language: The Indo-Iranians. *Current Anthropology, 43*(1), 63-88. https://doi.org/10.1086/324130

Mairinger, F. & Schreiner, M. (1982). New methods of chemical analysis-A tool for the conservator. *Studies in Conservation, 27*(sup1), 5-15. https://doi.org/10.1179/sic.1982.27.Supplement-1.5

Maniatis, Y. & Tite, M. S. (1981). Technological examination of Neolithic-Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East. *Journal of Archaeological Science, 8*(1), 59-76. https://doi.org/10.1016/0305-4403(81)90012-1

Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A., & Russo, U. (2006). Influence of firing conditions on ceramic products: experimental

[DOI: 10.66224/jra.2026.12.102]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 22:36 +0330 on Sunday November 15th 2026

Shane, P., Smith, V. C., & Nairn, I. (2008). Millennial timescale resolution of rhyolite magma recharge at Tarawera volcano: insights from quartz chemistry and melt inclusions. *Contributions to Mineralogy and Petrology, 156*(3), 397-411. https://doi.org/10.1007/s00410-008-0292-2

Shane, P., Smith, V. C., & Nairn, I. (2008). Millennial timescale resolution of rhyolite magma recharge at Tarawera volcano: insights from quartz chemistry and melt inclusions. *Contributions to Mineralogy and Petrology, 156*(3), 397-411. https://doi.org/10.1007/s00410-008-0292-2

Sterba, J. H., Mommsen, H., Steinhauser, G., & Bichler, M. (2009). The influence of different temperatures on the composition of pottery. *Journal of Archaeological Science, 36*(7), 1582-1589. https://doi.org/10.1016/j.jas.2009.03.022

Stronach, D. (2013). Cyrus and the Kingship of Anshan: Further Perspectives. *Iran, 51*, 55-69. https://doi.org/10.1080/05786967.2013.11834723

Thomas, E. (1870). Indo-Parthian Coins. *The Numismatic Chronicle and Journal of the Numismatic Society, 10*, 139-163

Vandaee, M., Tajbakhsh, R., & Maghsoudi, R. (2012). Sassanid Fire Temple Discovered in ArdašīrKhore, Pars. *Journal of American Science, 9*(3s), 105-114.

Vanden Berghe, L. (1961). Récentes découvertes de monuments sassanides dans le Fars. *Iranica antiqua, 1*, 163-198.

برفی، سیروس. (۱۳۹۴). کاوش نجات‌بخشی در محوطه تنگه آبپای فراشبند، فارس. *گزارش‌های چهاردهمین گردهمایی سالانه باستان‌شناسی ایران*، تهران. به کوشش حمیده چوبک. ویراسته سید رسول سیدین‌بروجنی، اردشیر جوانمرد زاده.

شریفی مهناز، گراوند افراسیاب. (۱۴۰۲). فن‌آوری تولید و آنالیز سفال عصر مس و سنگ جدید شمال غرب ایران براساس آزمایشات XRF/ XRD و پتروگرافی(مطالعه موردی تپه گردآشوان). *پژوهه باستان‌سنجی* ۹(۲)، ۱۶۳-۱۴۵.

عود باشی، امید. ناصری، رضا. اگارتنر، ایزابل. آریتزی، آنا. کولترونه، جوزپه. (۱۳۹۸). مطالعات باستان‌سنجی سفال‌های مکشوف از محوطه‌ی باستانی دِه‌دومن (جنوب غرب ایران)، نتایج مقدماتی. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۹(۲۲)، ۲۷-۴۶.

متقی، نشاط. (۱۴۰۴). نمادگرایی اسب در مهرپرستی: بررسی نقش و اهمیت آن در ایران باستان. *پژوهش‌های ادیانی*، ۱۳(۲۵)، ۱۳۸-۱۰۹.

متقی، نشاط. عسکر پور، وحید. برفی، سیروس. (۱۴۰۲). اسب و اوستا؛ تأملی بر یافته‌های محوطه تنگه آبپای فراشبند در پرتو رستاخیز دین زرتشت. *پژوهش‌های ادیانی*، ۱۱(۲۲)، ۵۸-۲۹.

نوغانی، سمیه. امامی، سید محمدامین. (۱۳۹۰). ساختارشناسی سفال جلینکی متعلّق به دوران پارتی بر اساس مطالعات باستان‌سنجی. *مطالعات باستان‌شناسی*، ۳(۲)، ۳۴-۱۵.

نیکنامی، کمال‌الدین، فاضل، لیلا. (۱۳۹۵). شناسایی و معرفی مسیر باستانی بیشاپور-فیروزآباد (اردشیرخره) در دوره‌ی ساسانی و قرون اولیه اسلامی. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، (۱۱)، ۱۱۷-۱۳۴.

APA REF
Mottaghi, N., Askarpour, V., Razani, M., & Barfi, C. (2025). Archaeometric Investigation into the Manufacturing Technology of Terracotta Horse Figurines from the Abpa Site, Farashband: An Integrated Approach Using XRD and EDS. *Journal of Research on Archaeometry, 12*(1), 12102. DOI: 10.66224/jra.2026.12.102