Journal of Research on Archaeometry 2024; 10 (2); 207-224

Journal of Reserarch on Archaeometry

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jra.10.2.417

Original Paper Open Access

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

PIXE Analysis of the Pottery of Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm Cemeteries in Order to Reconstruct the Subsistence System and Cultural Links of the Iron Age Communities in the Central Plateau of Iran

Sara Benmaran[1], Javad Hosseinzadeh Sadati[2*], Mohammad Torkiha Isfahan[3]

1. MA Archaeology, Department of Archaeology, Kashan University, Kashan, Iran
2. Assistant Professor, Department of Archaeology, Kashan University, Kashan, Iran
3. Assistant Professor, Department of Physics, Kashan University, Kashan, Iran

Received: 2024/06/9 Accepted: 2024/10/14

Abstract

One of the most important characteristics of Iran's Iron Age is the existence of cemeteries without a connection with the settlement. The reason for not finding settlements near most of these cemeteries can be explained in connection with the nomadic nature of the Iron Age societies or the existence of temporary settlements whose traces have not been discovered so far. The important feature of these cemeteries is the abundance of burial pottery that is not known how and where they were made. Pottery from relatively close cemeteries are very similar. Since the time of Ghirshman, important questions have been raised in this regard; Were very similar pottery produced in a specific workshop and then distributed among the communities, or did each community produce its own pottery, considering that no pottery production sites and kilns have been found in its vicinity? In this research, to answer the questions mentioned above, a total of 22 random samples of Iron Age pottery from the three cemeteries of Estark-Joshaghan and Sialk in Kashan and Sarm in Qom were subjected to PIXE elemental analysis, and the resulting data were analyzed by PCA statistical method. According to the results, no correlation was observed between the pottery. Further, despite the overlap in some of the main elements, the amount of magnesium oxide was significantly different in the ceramics of all three areas.This archaeometric analysis shows that the Iron Age pottery samples of Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm cemeteries were made from separate soil sources. However, the ceramics of the sites are very similar in form, which most likely indicates the existence of cultural relations, demographic displacement, or stylistic imitation, not due to concentrated production in one or more limited places and their distribution through trade. Therefore, the results support the nomadic or semi-sedentary hypothesis of Iron Age societies in the cultural region of North Central Iran.

Keywords:

Iron Age I-II pottery, Estark-Joshaghan, Sarm, Sialk cemeteries, PIXE analysis

* Corresponding Author: saarabenmaaran@gmail.com

©2024 by the Authours.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: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

Introduction

The Iron Age (ca. 1500–550 BC) in Iran's Central Plateau is marked by distinctive cultural transformations often attributed to the migration of Indo-European tribes. These tribes, believed to be nomadic herders and hunters, introduced significant changes to the region's subsistence systems, material culture, and burial practices. The decline of the traditional patterned pottery and the emergence of gray polished pottery, as well as the shift from intra-residential burials to designated cemeteries, reflect this transformation. One intriguing phenomenon is the presence of richly equipped cemeteries with no associated settlement remains, prompting debates over the nature of these communities—whether they were pastoral nomads or settled populations whose sites have yet to be identified. Scholars propose various causes for the widespread movement of tribes into Iran during this period, such as ecological pressures, droughts, and intertribal conflict. These migrations appear to have been gradual and largely non-violent. However, archaeogenetic and stratigraphic evidence challenges the idea of large-scale migrations, suggesting cultural continuity instead. Despite this, many cemeteries in semi-arid areas lack evidence of permanent settlements, reinforcing the hypothesis of a nomadic or semi-sedentary lifestyle. Notably, the abundance and quality of burial pottery raise further questions. Nomadic communities are not typically associated with such skilled ceramic production, nor with transporting fragile vessels. This paradox has led researchers to investigate the provenance of these ceramics. This study focuses on the Iron Age cemeteries of Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm, applying PIXE elemental analysis and PCA statistical tools to determine the origin of the pottery and, by extension, infer the nature of these societies. Identifying distinct clay sources can support the idea of decentralized pottery production by mobile groups, offering insights into economic and cultural dynamics of Iron Age communities in North Central Iran.

Materials and Methods

To examine the origin of Iron Age pottery, 22 potsherds from the cemeteries of Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm were analyzed using Particle-Induced X-ray Emission (PIXE). This technique involves bombarding a sample with high-energy protons generated by a Vandograph accelerator, causing inner-shell electrons to be ejected. When electrons from higher shells fill these vacancies, they emit characteristic X-rays that identify the elements present. The experimental setup allowed for the simultaneous analysis of 10 samples under controlled conditions. The resulting elemental data were processed with GUPIX software to determine concentrations, detecting elements down to parts per million. Subsequently, the results were subjected to Principal Component Analysis (PCA) using SPSS. PCA helps identify patterns in data by reducing dimensionality and revealing correlations among multiple variables. It groups elements based on covariation, allowing researchers to determine similarities or distinctions among pottery samples. If the results indicate a single elemental composition group, centralized production is implied. Conversely, multiple groups suggest diverse production sources, possibly local or mobile potters. This approach allows for a systematic investigation into whether Iron Age pottery was produced locally or distributed from centralized workshops, thereby shedding light on the socio-economic structures of the associated communities.

Results

From each site, 7–8 potsherds were selected for PIXE analysis, identifying 20 elements in total. Elements with low frequency or high error margins were excluded, and 13 elements remained for PCA. Five principal component groups were identified, each dominated by distinct elements (e.g., CaO, K2O, MgO, etc.). PCA scatterplots revealed multiple pottery clusters, suggesting the existence of distinct compositional groups.

Notably, a handmade clay cap from Estark-Joshaghan (EJ 2018-8) stood out for its stark chemical composition, suggesting a unique production source. This item likely reflects influence from steppe pottery traditions, hinting at cultural diffusion or migration from northern regions in the early second millennium BC.The PCA revealed no uniform elemental pattern across the three sites, with distinct differences particularly in MgO concentrations. This supports the hypothesis that the pottery was produced locally, using diverse clay sources rather than being manufactured at a centralized workshop and traded widely. Interestingly, some Stark-Joshaghan samples share similarities with both Sialk and Sarm, likely due to their geographic position between these two sites, which may have facilitated interaction.

Discussion

The three cemeteries analyzed—Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm—are significant Iron Age sites in North Central Iran. Estark-Joshaghan, near Kashan, was excavated across multiple seasons and yielded pottery indicative of both Iron Age I and II. Sialk, one of Iran's most studied archaeological sites, contains two cemeteries (A and B) corresponding to Iron Age II and III, respectively. Sarm, near Qom, features over 190 identifiable graves and no settlement remains, suggesting use solely as a burial ground during the Iron Age II–III.

These findings align with archaeological interpretations that most Iron Age communities in this region were nomadic or semi-sedentary. They relied on seasonal mobility and localized production, yet maintained cultural ties across regions. Despite their mobility, the quality and stylistic consistency of the pottery suggest shared cultural aesthetics or mutual influence rather than centralized economic systems.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

This study adds to the growing body of archaeometric evidence in Iranian archaeology, demonstrating that PIXE analysis, combined with PCA, can offer valuable insights into prehistoric production systems and social organization. While the sample size is relatively limited, the results robustly challenge assumptions of centralized production and reinforce the interpretation of mobility, diversity in resource use, and regional interaction among Iron Age groups in the Central Plateau of Iran.

Conclusion

This research aimed to investigate the subsistence patterns of Iron Age societies in North Central Iran by analyzing pottery from Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm cemeteries. Using PIXE elemental analysis and PCA statistical evaluation, it was found that the ceramics were made from chemically distinct clay sources, supporting the idea that pottery production was localized rather than centralized. These findings substantiate the theory that Iron Age communities in this region were predominantly pastoral nomads or semi-sedentary groups.Although similarities in ceramic forms indicate cultural connections and interactions, the elemental diversity points to decentralized production and independent clay procurement. The presence of distinctive ceramic types, such as the handmade red clay cap, suggests cultural influence from steppe populations and highlights the region's dynamic intercultural exchanges. This study demonstrates how combining archaeometric methods with archaeological context can clarify long-standing questions about prehistoric lifeways. For more definitive conclusions, broader sample sizes and further regional studies are needed. Nonetheless, this research provides crucial support for the interpretation of Iron Age societies in Iran as mobile yet culturally interconnected communities.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

پژوهه باستان سنجی، ۱۴۰۳؛ ۱۰ (۲): ۲۲۴-۲۰۷

پژوهه باستان‌سنجی

DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jra.10.2.417

مقاله پژوهشی

دسترسی آزاد

آنالیز PIXE سفال گورستان‌های استرک ـ جوشقان، سیلک و صرم به منظور بازسازی نظام معیشتی و پیوندهای فرهنگی اجتماعات عصر آهن منطقهٔ مرکز فلات ایران

سارا بنماران[۱*]، جواد حسین‌زاده ساداتی[۲]، محمد ترکی‌های اصفهانی[۳]

۱. دانش‌آموختهٔ کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۲. استادیار، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

۳. استادیار، گروه فیزیک هسته‌ای، دانشکدهٔ فیزیک، دانشگاه کاشان، کاشان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۳/۲۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۷/۲۳

چکیده

یکی از مهمترین ویژگی‌های عصر آهن ایران، وجود گورستان‌هایی بدون ارتباط با استقرارگاه است. دلیل یافت نشدن استقرارگاه در نزدیکی اغلب این گورستان‌ها می‌تواند در ارتباط با کوچ‌نشین بودن جوامع عصر آهن و یا وجود استقرارگاه‌های موقتی که تاکنون آثاری از آن‌ها کشف نشده است، توضیح داده شود. ویژگی مهم این گورستان‌ها، فراوانی زیاد سفال‌های تدفینی است که مشخص نیست چگونه و در کجا ساخته شده‌اند. سفال‌های گورستان‌های نسبتاً نزدیک شباهت زیادی به هم دارند. از زمان گیرشمن پرسش‌های مهمی در این خصوص مطرح بوده است: آیا سفال‌های با شباهت بسیار زیاد در یک کارگاه خاص تولید می‌شدند و سپس بین جوامع توزیع می‌گردیدند یا هر جامعه با توجه به اینکه هنوز استقرارگاه و کوره‌های تولید سفال در پیرامونش یافت نشده است، تولیدکنندهٔ سفال خودش بوده است؟ در این پژوهش، به منظور پاسخگویی به پرسش‌های مذکور، جمعاً ۲۲ نمونهٔ تصادفی از سفال‌های عصر آهن سه محوطهٔ گورستانی استرک ـــ جوشقان و سیلک در کاشان و صرم در قم مورد آنالیز عنصری PIXE قرار گرفت و داده‌های حاصل به روش آماری PCA تحلیل شدند. بر طبق خروجی‌ها، هیچگونه همبستگی بین سفال‌ها مشاهده نشد. همچنین، با وجود همپوشانی در بعضی از اکسیدهای اصلی، اما مقدار اکسید منیزیم به‌طور معناداری در سفال‌های هر سه محوطه متمایز بود. این تحقیق باستان‌سنجی نشان می‌دهد که نمونه سفال‌های عصر آهن گورستان‌های استرک ـــ جوشقان، سیلک و صرم از منابع خاک جداگانه‌ای ساخته شده‌اند ولی سفال‌های محوطه‌های مذکور از نظر فرم، شباهت زیادی با هم دارند که به احتمال زیاد، نشان‌دهندهٔ وجود روابط فرهنگی، جابجایی جمعیتی و یا تقلید سبکی است، نه به‌دلیل تولید متمرکز در یک یا چند مکان محدود و توزیع آنها از طریق تجارت. بنابراین، نتایج پژوهش از فرضیهٔ کوچ‌نشین یا نیمه‌یکجانشین بودن جوامع عصر آهن منطقهٔ فرهنگی شمال مرکزی ایران پشتیبانی می‌کند.

واژگان کلیدی

سفال عصر آهن I-II، استرک ـ جوشقان، صرم، گورستان‌های سیلک، آنالیز عنصری پیکسی

*مسئول مکاتبات: saarabenmaaran@gmail.com

©2024 by the Authours.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: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

۱. مقدمه

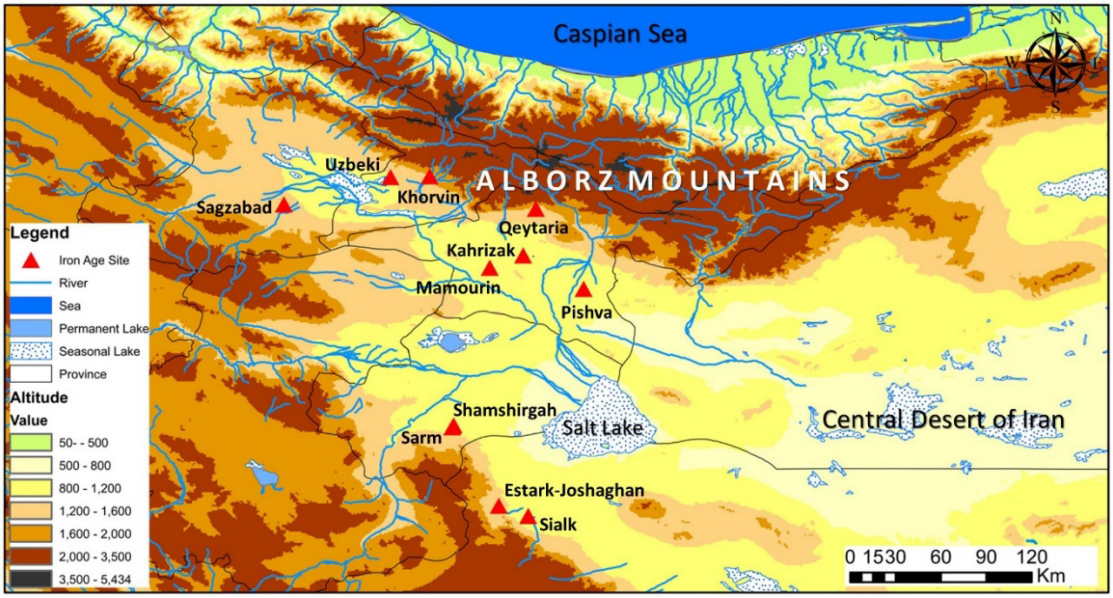
بسیاری از پژوهشگران عصر آهن ایران، معتقدند که فرهنگ‌های این دوره به‌طور ناگهانی در فلات ایران ظهور کرده‌اند و تغییر به وجود آمده در ساختار فرهنگی این منطقه توسط اقوام مهاجر در نیمهٔ دوم هزارهٔ دوم ق.م رخ داده است. به بیان دیگر، مردمان عصر آهن اقوام کوچرویی بودند که در روند یک مهاجرت بزرگ از سرزمین‌های دوردست وارد فلات ایران شدند. به نظر می‌رسد، سیستم معیشتی این اقوام در خاستگاه‌شان گله‌داری و شکارگری بوده است و بنابراین، به مراتع و چراگاه‌های طبیعی کاملاً وابسته بوده‌اند (Ghirshman, 1939; Dyson, 1965; Young, 1965; Young, 1967; Stronach, 1979: 150). با ورود این اقوام به فلات ایران، تغییر نظام معیشتی و ساختار اقتصادی ساکنان منطقهٔ فرهنگی شمال مرکزی ایران به‌روشنی قابل مشاهده است (طلایی، ۱۳۸۷: ۳۴-۳۳). استفاده از اسب در میان این جوامع کوچگر اهمیت ویژه‌ای داشت و شواهد نشان می‌دهد که از این زمان پرورش اسب به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. همچنین، منابع آشوری حضور افرادی با نام‌های ایرانی را در غرب فلات ایران از قرن نهم قبل از میلاد تأیید می‌کنند (Potts, 2014). در این دوره، سنت تولید سفال‌های منقوش که در سراسر ایران رایج بود، منسوخ شد و تولید سفال‌های شاخص خاکستری صیقل‌خورده، جایگزین گردید. هم‌زمان، سنت تدفین مردگان در کف خانه‌های مسکونی نیز از بین رفت و قبرستان‌هایی در خارج از محوطه‌های مسکونی به وجود آمد (طلایی، ۱۳۷۴: ۳۴). یکی دیگر از الگوهای جدید رایج در این عصر، وجود گورستان‌های فراوانی است که در کنار یا نزدیک آن‌ها آثاری از استقرارگاه‌های هم‌زمان یافت نشده است. براساس این ویژگی، فرضیهٔ نظام معیشتی کوچ‌نشینی مردمان عصر آهن ایران مطرح شده است.

توضیح دلایل مهاجرت‌هایی با این ابعاد گسترده در بخش اعظمی از اوراسیا چندان ساده نیست. به گفتهٔ گیرشمن، احتمال دارد که افزایش تعداد گله‌ها، دامداران را وادار به جست‌وجوی چراگاه‌های جدید کرده باشد. همچنین، وقوع دوره‌های خشکسالی که بر مراتع اوراسیا تأثیر منفی می‌گذاشت، می‌توانسته محرک کوچرو ـ گله‌دارها برای مهاجرت به مناطق سرسبزتر بوده باشد (گیرشمن، ۱۳۷۹: ۶۶). به نظر می‌رسد، شرایط اقلیمی و زیست‌محیطی مساعدتر در برخی مناطق فلات ایران باعث شده که کوچ‌نشین‌ها به این سرزمین مهاجرت کنند. غیر از این، احتمالاً فشارها و درگیری‌های میان این اجتماعات به دلیل کمبود منابع در خاستگاه‌شان سبب مهاجرت به مناطق سرسبز شمال و غرب ایران و کوهپایه‌های جنوبی البرز شده است (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۹: ۱۳۹-۱۴۰). به نظر گیرشمن، مهاجرت این اقوام در موج‌هایی از جهات مختلف به‌صورت تدریجی و اغلب بی‌خشونت بوده است و احتمالاً نفوذ آن‌ها از شرق به غرب یا از شمال/شمال شرقی به جنوب/جنوب غربی ایران رخ داده است (گیرشمن، ۱۳۸۹: ۱۰۲). این زمان مصادف است با بروز یک دورهٔ خشکسالی شدید که منجر به افزایش تحرکات و نزاع‌های اجتماعی ـ سیاسی در سراسر خاورمیانه باستان شده (Shaikh Baikloo, 2023) و نیز سبب تغییر الگوهای استقراری و جابه‌جایی‌های جمعیتی در فلات ایران در پاسخ به تغییرات زیست‌محیطی و امکانات معیشتی گردیده است (شیخ بیکلو اسلام، ۱۳۹۱). همچنین، این احتمال مطرح شده است که بومیان بسیاری از مناطق نیمه‌خشک تا بسیار خشک ایران در اوایل عصر مفرغ (حدود پنج هزار سال پیش) برای سازگاری با رویدادهای شدید و مکرر خشکسالی، نظام معیشتی خود را از یکجانشینی ـ کشاورزی به کوچرو ـ گله‌داری و شکارگری تغییر داده‌اند. به این مفهوم که ـ اگر ورود اقوام مهاجر را هم بپذیریم ـ در نیمهٔ دوم هزارهٔ دوم ق.م، بسیاری از بومیان فلات ایران نیز دارای همین نظام معیشتی بودند چون با ظرفیت‌های محیطی آنها سازگارتر بود (شیخ بیکلو اسلام و چایچی امیرخیز، ۱۳۹۹). اما، پژوهش‌های باستان‌ژنتیک اخیر از یک مهاجرت انبوه به فلات ایران که بر خزانهٔ ژنی بومیان تأثیر گذاشته باشد، حمایت نمی‌کند (وحدتی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۶). به‌علاوه، مطالعات باستان‌شناسی بازنگرانهٔ دانتی در محوطه‌های عصر آهن شمال غربی ایران حاکی از تداوم برخی اشکال شاخص ظروف خاکستری و نیز بقایای معماری از عصر مفرغ جدید (حسنلو V) به عصر آهن I (حسنلو IVC) است (Danti, 2013: 313). بر این اساس، فهیمی استدلال می‌کند که شواهد قطعی دربارهٔ مهاجرت اقوام جدید به فلات ایران (هم شمال غربی و هم شمال مرکزی) وجود ندارد (Fahimi, 2019). بنابراین، تأکید ما در این مقاله بر مهاجرت یا ورود اقوام تازه‌وارد به این سرزمین نیست، بلکه هدف ما صرفاً یافتن ادله‌ای از طریق مطالعات باستان‌سنجی برای بررسی فرضیهٔ نظام معیشتی کوچ‌نشینی یا نیمه‌یکجانشینی جوامع شمال مرکزی ایران در عصر آهن I و II ـ بر طبق گاهنگاری دایسون (1989): ۱۵۰۰ـ۸۰۰ ق.م و بر طبق گاهنگاری دانتی (2013): ۱۲۵۰ـ۸۰۰ ق.م ـ است. البته ما بر پایهٔ شواهد شمایل‌نگاری اثر مهرهای یافت‌شده در تعداد محدودی از محوطه‌های این منطقه همچون تپه‌های گلستان و معمورین در نزدیکی رباط کریم تهران، تپه سگزآباد قزوین و تپه قلی‌درویش قم که ظاهراً فعالیت کشاورزی را نشان می‌دهند (Alibaigi & Khosravi, 2014)، می‌پذیریم که این نظام معیشتی مختص همهٔ جوامع عصر آهن شمال مرکزی ایران نبوده است، بلکه در بعضی نواحی مساعدتر زندگی یکجانشینی مبتنی بر کشاورزی نیز رواج داشته است. بر طبق مطالعهٔ طلایی، ۹۰ درصد محوطه‌های عصر آهن این منطقهٔ فرهنگی که اغلب گورستان‌هایی بدون شواهد استقراری هستند، در نواحی نیمه خشک قرار

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

دارند و مابقی در نواحی خشک یافت شده‌اند. احتمال دارد، نواحی خشک چراگاه زمستانی بوده باشد، زیرا حواشی کویر مرکزی ایران در فصول سرد، علوفه لازم را برای احشام فراهم می‌کند ولی در فصول گرم فاقد پوشش گیاهی است (طلایی، ۱۳۸۷: ۲۰-۲۱).

با وجودی‌که مطالعات عصر آهن عمدتاً در مناطق شمال، شمال غربی و غرب کشور متمرکز بوده است ولی همچنین، آثار بسیار ارزشمندی نیز از کاوش محوطه‌های شمال مرکزی ایران مانند گورستان‌های الف و ب سیلک (Ghirshman, 1939)، تپه صرم (پوربخشنده، ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲)، محوطهٔ شمشیرگاه که بسیار نزدیک به تپه صرم است (Fahimi, 2010)، گورستان قیطریه (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۰)، محوطهٔ خوروین (Vanden Berghe, 1964)، محوطهٔ کهریزک (کامبخش‌فرد، ۱۳۷۹: ۱۳۹-۱۴۰)، محوطهٔ معمورین (مهرکیان، ۱۳۷۴)، تپه سگزآباد (ملک‌شهمیرزادی، ۱۳۵۶؛ Talai, 1983)، گورستان پیشوا (تهرانی‌مقدم، ۱۳۷۶)، محوطهٔ ازبکی (مجیدزاده، ۱۳۸۹) و گورستان استرک ـ جوشقان (Hosseinzadeh et al., 2017; Hosseinzadeh et al., 2018) به دست آمده است (شکل ۱).



شکل ۱. برخی از مهم‌ترین محوطه‌های عصر آهن کاوش‌شده در منطقهٔ فرهنگی مرکز فلات ایران

Figure 1. Some of the most important Iron Age sites excavated in the cultural region of the central plateau of Iran

چنانچه ذکر شد، با توجه به فقدان آثار و بقایای استقرار در حوالی اغلب این گورستان‌ها، اکثر باستان‌شناسان احتمال می‌دهند که آن‌ها متعلق به جوامع کوچرو ـ گله‌دار بوده‌اند. اما در مقابل نکته‌ای که وجود دارد این است که بیشتر گورهای این گورستان‌ها مملو از ظروف سفالی با شکل و اندازه‌های مختلف هستند. این ظروف خوش‌ساخت نشان‌دهندهٔ مهارت بالای سفالگران است که چندان با ماهیت و روحیات جوامع کوچ‌نشین سازگار نیست. همچنین، می‌دانیم که جوامع کوچرو معمولاً ترجیح می‌دهند تا سَبُک سفر کرده و بیشتر از لوازمی همچون چرم و پوست که وزن کم‌تری دارند استفاده نمایند. بنابراین، پرسشی که از این وضعیت متناقض مطرح می‌گردد، این است که آیا ظروف سفالین تدفینی در گورستان‌های عصر آهن توسط همان جامعه و در محل اسکان موقت آن‌ها ساخته شده‌اند یا در مکان دیگری تولید شده و سپس باواسطه یا بی‌واسطه به محل مزبور انتقال یافته و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. سفال، به‌عنوان یکی از فراوان‌ترین و ماندگارترین یافته‌های باستانی که در حدود ۹۰۰۰ سال پیش در خاورنزدیک تولید و رایج شده است، نه تنها در بسیاری از گاهنگاری‌های نسبی محوطه‌های باستانی نقش مؤثر و تعیین‌کننده‌ای دارد، بلکه در بررسی‌های منشأیابی، بازسازی نظام معیشتی و شناخت روند فراز و فرود فرهنگ‌ها و تمدن‌های باستانی بسیار کارآمد است (Shepherd, 1985). از همین رو، در این پژوهش، با انجام آنالیز عنصری پیکسی روی تعدادی از سفال‌های عصر آهن محوطه‌های استرک ـ جوشقان، سیلک و صرم در منطقهٔ شمال مرکزی ایران و همچنین، انجام تحلیل‌های آماری روی نتایج آنالیز عنصری پیکسی، سعی شده است تا به یکی از مهمترین پرسش‌های باستان‌شناسی ایران مربوط به مکان تولید سفال‌های عصر آهن پاسخ داده شود. مشاهدهٔ چندین منبع خاک سفالگری می‌توان مؤید فرضیهٔ کوچ‌نشینی جوامع عصر آهن باشد.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

۲. مطالعات باستان‌سنجی با آنالیز عنصری پیکسی در ایران

از آنالیز عنصری پیکسی برای بررسی عناصر تشکیل دهندهٔ سفال، سکه، کاغذ، شیشه، خاک و هر مادهٔ دیگری استفاده می‌شود. به کمک آنالیز عنصری حتی می‌توان سیستم معیشتی جوامع پیشین را بازسازی کرد (عزیزی‌پور و همکاران، ۱۳۹۱). با وجودی‌که گسترش انجام آنالیزهای پیکسی در مطالعات باستان‌شناسی ایران قدم‌های نخستین خود را برمی‌دارد، اما تاکنون پژوهش‌های مفیدی روی مواد فرهنگی گوناگون از دوره‌های مختلف انجام شده است. آقاعلی‌گل و همکارانش با استفاده از آنالیز عنصری پیکسی سعی کرده‌اند تا منشأ سفال‌های زرین‌فام سده‌های میانی اسلامی (قرون ششم و هفتم هجری قمری) را تعیین کنند. این بررسی به‌روشنی نشان داده است که آنالیز عنصری پیکسی روش بسیار مناسبی برای منشأیابی است (آقاعلی‌گل و همکاران، ۱۳۸۵). غلامی برای پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد خود، تعدادی از سفال‌های هزارهٔ چهارم ق.م متعلق به محوطه‌های باستانی چغاحسن و لهرامش در شهرستان گلپایگان و محوطه‌های جمالو و گاویاران در شهرستان چادگان واقع در استان اصفهان را به منظور تعیین نوع و غلظت عناصر موجود، آنالیز عنصری پیکسی کرده است. پرسش اصلی پژوهش این بود که آیا با داشتن این اطلاعات در مورد تعداد محدودی از سفال‌های این مناطق، می‌توان منشأ سفال‌های ناشناختهٔ دیگر را تعیین نمود؟ نتایج تحقیق نشان داد که با آنالیز عنصری هر نمونه سفال ناشناخته، منشأیابی با اطمینان بالایی انجام‌پذیر است (غلامی، ۱۳۹۰). محمدی‌فر و عرب سفال‌های جلینگی (کلینکی) دورهٔ اشکانی منطقهٔ همدان را با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز به سه روش PIXE، XRD و XRF آنالیز عنصری کرده‌اند. این پژوهش مشخص کرد که سه ترکیب SiO2، Al2O3 و CaO بخش عمدهٔ ترکیبات نمونه سفال‌های مورد آنالیز را شامل می‌شوند و تشابه ترکیب مادهٔ اولیهٔ (گِل) ساخت سفال کلینکی منطقهٔ همدان با ترکیبات زون‌های ساختاری سنندج ـ سیرجان و ایران مرکزی تعیین کنندهٔ احتمالی محلی‌بودن سفال‌های مزبور است. اما همچنین، به‌دلیل گستردگی زون‌های مذکور و پراکندگی سفال جلینگی از سنندج تا اصفهان، بعید نیست که سفال‌های جلینگی در هر جایی از این زون‌های ساختاری ساخته شده و به همدان راه یافته باشند (محمدی‌فر و عرب، ۱۳۹۲). صنایعی‌شعاع و همکارانش تعداد ۹ قطعه سفال جلینگی، متعلق به دورهٔ اشکانی، از محوطه‌های باستانی هرسین، کنگاور، دهلران و اسدآباد را به منظور بررسی ساختار این نوع سفال، آنالیز عنصری پیکسی و XRF کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان دهندهٔ ساختار یکپارچهٔ سفال جلینگی از لحاظ ترکیبات شیمیایی بدنه است (صنایعی شعاع و همکاران، ۱۳۹۳).

۳. روش پژوهش/ مواد و روش ها

برای انجام این پژوهش از روش آنالیز عنصری پیکسی استفاده شد. آنالیز عنصری پیکسی از دسته آنالیز با باریکه یونی است. در این نوع آنالیزها باریکه‌ای از یون‌های پرانرژی به نمونه برخورد کرده و با الکترون‌ها و هسته‌های هدف برهم‌کنش می‌کند. در این میان ذرات باریکه و یا ذرات و پرتوهایی بازتاب می‌شوند. آشکارسازی این ذرات و پرتوها اطلاعاتی از نوع، تعداد و ساختار اتم‌های هدف استخراج می‌کند. گسیل پرتوی ایکس ذرهٔ القایی یکی از این روش‌ها است که به آشکارسازی پرتوهای ایکس تولید شده از برهم‌کنش یون‌های باریکه فرودی با الکترون‌های اتم‌های هدف می‌پردازد. معمولاً آنالیز با باریکه یونی در خلاء انجام می‌شود. برای نمونه‌های بزرگ و یا نمونه‌هایی که امکان قرار گرفتن در محیط خلاء را ندارند تجهیزاتی ساخته شده که امکان آنالیز در هوا را فراهم می‌کند (Torkiha et al., 2010). این فرآیند شامل کندن الکترونی از لایه‌های اتمی داخلی (پوستهٔ K) است. جای خالی الکترونی به وجود آمده توسط الکترونی از لایهٔ بیرونی‌تر (پوستهٔ L) پر می‌شود. این حالت برانگیخته، باعث آزادشدن مقدار اضافی انرژی الکترون (EK-EL) به صورت نشر پرتوی ایکس می‌شود که مشخصات این پرتو، مختص عنصر مورد نظر است (استوارت، ۱۳۹۳: ۳۲۶-۳۲۷).

در این پژوهش، از شتاب‌دهندهٔ واندوگراف پژوهشگاه علوم و فنون هسته‌ای استفاده شده است. این شتاب‌دهنده قادر است پروتون‌های پرانرژی تا انرژی 3 MeV با بازهٔ جریان از pA تا mA را برای برخورد به نمونه در محفظهٔ برهم‌کنش فراهم نماید. در این محفظه امکان نصب ۱۰ نمونه و آشکارساز و سیستم خلاء کمکی و تجهیزات دیگر وجود دارد. دریچهٔ محفظه شفاف است و امکان تنظیم دقیق محل برخورد باریکه به نمونه برای نمونه‌های دارای نقش و طرح میسر است. تجهیزات الکترونیکی برای تقویت پالس اندازه‌گیری‌شده توسط آشکارساز و تبدیل پالس به داده منجر به تولید داده‌های آزمایش می‌گردد. داده‌ها توسط نرم‌افزار GUPIX تحلیل و به غلظت عناصر تبدیل می‌گردد. در این روش عناصر جدول تناوبی بعد از سدیم قابل آشکارسازی است و تا دقت ppm (ذره در میلیون) قابلیت شناسایی عناصر وجود دارد.

در مرحلهٔ بعد، نتایج بدست آمده از آنالیز عنصری پیکسی، توسط نرم‌افزار آماری SPSS، به روش PCA (تحلیل مؤلفه‌های اصلی)

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

بررسی شدند. اساس تحلیل PCA قبول این فرض نظری است که متغیرهای مورد بحث دارای یک رابطهٔ هم‌تغییری هستند. اگر این تعداد متغیر بتواند به‌وسیلهٔ تعداد محدودی متغیر بیان شوند، یعنی متغیرهای اولیه با همدیگر رابطهٔ همبستگی دارند (متغیرها روابط بسیار نزدیکی با هم دارند)؛ بنابراین، متغیرهای خلاصه شدهٔ محدود از آن‌ها تا حدودی می‌تواند معدلی از همان گروه متغیرهای اولیه محسوب شود. هرچه متغیرهای اولیه روابط همبستگی بیشتری داشته باشند، معدل آن متغیرهای اولیه (یعنی متغیرهای استخراج شدهٔ ثانویه) بهتر خواهد بود. هرچه معدل بهتر باشد، جایگزینی آنها به جای متغیرهای اولیه، بسیار منطقی‌تر خواهد بود (نیکنامی، ۱۳۹۰: ۱۸۹).

نمودارهای حاصل از این تحلیل آماری، می‌توانند ارتباط سفال‌ها با یکدیگر را نشان دهند. به این صورت که اگر آنالیز عنصری و تحلیل آماری سفال‌ها، نشان‌دهندهٔ فقط یک گروه سفالی باشد، می‌توان ادعا کرد که احتمالاً جوامع عصر آهن، خود تولید کنندهٔ سفال‌هایشان نبودند، بلکه اتکایشان به یک محوطهٔ مرکزی تولیدکنندهٔ سفال بوده است. اما، اگر گروه‌های متعددی شناسایی شوند، می‌توان احتمال داد که این جوامع سفال‌هایشان را خود در محل‌های استقرارشان تولید می‌کردند و یا این‌که اساساً تولیدکنندگان سفال، گروه‌هایی دوره‌گرد بودند که با جوامع دیگر، سفال مبادله می‌کردند. بنابراین، انجام چنین تحلیل‌هایی می‌تواند یکی از اساسی‌ترین ابهامات عصر آهن را تا اندازهٔ زیادی بر طرف نماید. البته هرچقدر که مجموعهٔ سفال‌های مورد بررسی بزرگتر باشد، قطعاً نتایج دقیق‌تری حاصل می‌گردد.

۴. محوطه‌های مورد مطالعه

۴-۱. استرک - جوشقان

گورستان عصر آهن استرک ـ جوشقان که در ۱۵ کیلومتری شمال غربی کاشان در استان اصفهان واقع شده، توسط هیأت باستان‌شناسی دانشگاه کاشان به سرپرستی دکتر محسن جاوری با همکاری دانشگاه ورشو لهستان طی چهار فصل در سال‌های ۱۳۹۵، ۱۳۹۶ ، ۱۳۹۷ و ۱۳۹۸ مورد بررسی و کاوش قرار گرفته است. این محوطه متشکل از دو تپهٔ شرقی (استرک ـ جوشقان۱) و تپهٔ غربی (استرک ـ جوشقان ۲) است. هر دو تپه با حفر ترانشه‌هایی مورد کاوش قرار گرفته‌اند. تاکنون چندین تدفین با اسکلت انسانی و تعداد زیادی مادهٔ فرهنگی، به ویژه سفال، از این محوطهٔ گورستانی کشف شده است. نتایج دو نمونه تاریخ‌گذاری از ترانشهٔ A (مربوط به فصل اول کاوش)، تاریخ‌های ۲۱۴۶-۱۹۶۰ ق.م (کانتکست ۳۵، با درصد اطمینان ۹۵/۴ و میانگین ۲۰۵۰ ق.م) و ۱۸۸۵-۱۶۹۱ ق.م (کانتکست ۲۵، با درصد اطمینان ۹۵/۴ و میانگین ۱۷۸۰ ق.م) را نشان داد. هر دو نمونه از درون یک آرامگاه سنگ‌چین بیضوی‌شکل به قطرهای ۲/۵ و ۳/۵ متر به دست آمده‌اند. با توجه به شباهت سفال‌های یافت‌شده از ترانشهٔ A با سفال‌های گورستان الف سیلک، خوروین و صرم، در ابتدا گمان می‌رفت که تاریخ این گورستان نیز بر طبق گاهنگاری مرسوم عصر آهن، متعلق به سده‌های ۱۴ تا ۱۲ ق.م (عصر آهن I) بوده است، اما تاریخ‌گذاری‌های مذکور تفاوت قابل ملاحظه‌ای داشتند. دو نمونه تاریخ‌گذاری دیگر نیز از نمونه‌های انسانی یافت‌شده از بخش شرقی گورستان استرک ـ جوشقان تاریخ ۱۲۰۰ تا ۹۰۰ ق.م (عصر آهن II) را ارائه داده‌اند. این بخش، از نظر مجموعهٔ مواد فرهنگی، به‌ویژه فرم سفال، کاملاً متفاوت از بخش غربی بود و بیشتر به گورستان ب سیلک شباهت داشت تا گورستان الف. بنابراین، تپه‌های شرقی و غربی گورستان استرک ـ جوشقان دارای تفاوت زمانی هستند که این تفاوت بر اساس مواد فرهنگی نیز مشهود است (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۳۱-۴۳۳).

۴-۲. سیلک

محوطهٔ سیلک، واقع در ۳ کیلومتری جنوب غربی شهر کاشان، دارای دو تپهٔ پیش از تاریخی شمالی و جنوبی و همچنین، دو گورستان عصر آهن به نام‌های الف (در ۲۵۰ متری جنوب تپه جنوبی) و ب (در ۲۰۰ متری غرب تپه جنوبی) است. با توجه به مواد فرهنگی یافت شده می‌توان قدمت گورستان الف (دورهٔ سیلک V) را به عصر آهن II و گورستان ب (دورهٔ سیلک VI) را به عصر آهن III نسبت داد. محوطهٔ سیلک طی سه فصل در سال‌های ۱۹۳۳، ۱۹۳۴ و ۱۹۳۷ توسط رومن گیرشمن کاوش گردید (Ghirshman, 1938, 1939). در طرح بازنگری سیلک به سرپرستی صادق ملک‌شهمیرزادی (۱۳۸۰-۱۳۸۴)، یک استقرارگاه متعلق به عصر آهن III در این محوطه یافت شد (فهیمی، ۱۳۸۲، ۱۳۸۳الف، ۱۳۸۳ب، ۱۳۸۴).

در حین کاوش‌های باستان‌شناسی سال ۱۹۳۷/۱۳۱۶، برجستگی اندکی که دو مسیل آن را به وجود آورده بود، توجه هیأت باستان‌شناس را به خود جلب کرد. این محل از قطعات سفال خاکستری پوشیده شده بود که در بین آن‌ها استخوان نیز پراکنده بود. بر طبق شواهد و اظهارات روستاییان پیرامون محوطه، این گورستان (الف) بسیار وسیع‌تر بوده که روی آن ساخت‌وساز انجام شده

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

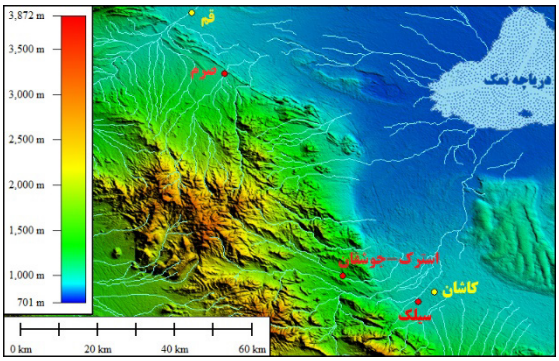
است. همچنین، بسیاری از گورها توسط حفاران غیر مجاز و فعالیت‌های طبیعی به شدت خسارت دیده و یا به کلی از بین رفته بودند. در گورستان الف، متوفی را به صورت چمباتمه در خاک دفن می‌کردند، بدون این‌که حدود قبر را تعیین کنند. در این گورستان ۱۵ گور کاوش شده که تنها در گور شمارهٔ ۴ دو شیء آهنی کشف گردیده است. گیرشمن، گورستان الف سیلک را به حدود ۱۲۰۰ تا ۱۰۰۰ ق.م تاریخ‌گذاری نسبی کرده است (گیرشمن، ۱۳۸۹: ۱۸–۱۹، ۳۲).

گورستان ب توسط یک بستر سیلابی محدود شده است. این بستر مسلماً بعد از به‌وجود آمدن گورستان شکل گرفته است. به مرور زمان و بر اثر شیب زمین، گورهای قسمت جنوبی گورستان ب که به کوهستان نزدیک‌ترند و زمین در آن‌جا بالاتر است، با قشری از گل که آب آن را آورده، پوشیده شده‌اند. در سمت جنوب، که به طور محسوسی پایین‌تر است، آب از دلایل اصلی تخریب گورهاست. انهدام این گورها توسط مردم محلی با برداشتن سنگ‌های آن‌ها کامل شده است. دیوار این گورها هرگز سنگ‌چین نشده است. پس از این‌که متوفی را در گور قرار می‌دادند و اشیای تدفینی را در اطراف او می‌گذاشتند، چاله را با خاک پر می‌کردند، به طوری‌که خاک در بالای گور، تپهٔ کوچکی را تشکیل می‌داد. سپس، روی قبر را با سنگ‌های بزرگ به شکل خرپشته می‌پوشاندند. تدفین در این گورستان به دو صورت شمالی ـ جنوبی و شرقی ـ غربی بوده و متوفی در وضعیت جنینی، به پهلوی راست و یا به پهلوی چپ، خوابانده شده و بازو یا روی سینه و یا روی شکم جمع شده است. از بین ۲۱۷ گوری که توسط هیأت گیرشمن گشوده شده، فقط ۷۱ گور آن دست‌نخورده و سالم بوده است. گیرشمن، گورستان ب سیلک را به حدود ۱۰۰۰ تا ۸۰۰ ق.م تاریخ‌گذاری نسبی کرده است (گیرشمن، ۱۳۷۹: ۳۸–۴۰).

۴-۳. صرم

تپه صرم در حدود ۱۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان قم، در بخش کهک، در حد فاصل دو روستای خورآباد و صرم و به فاصلهٔ ۵۰ متری سمت چپ جاده قرار دارد. این محوطهٔ گورستانی در سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۸۲ به سرپرستی خسرو پوربخشنده و در سال‌های ۱۳۸۳، ۱۳۹۳ و ۱۳۹۴ به سرپرستی عمار کاووسی کاوش شده است. قدمت گورستان صرم به نیمهٔ اول هزارهٔ اول ق.م تخمین زده می‌شود. در کمتر از یک کیلومتری شمال گورستان صرم، یک محوطهٔ استقراری به نام شمشیرگاه به همراه آثار معماری متعلق به عصر آهن II یافت شده است (فهیمی، ۱۳۸۳ب؛ Fahimi, 2010).

در طی کاوش‌های پوربخشنده، گمانه‌هایی در تمامی قسمت‌های تپه باز شد و شواهد قابل توجهی در ارتباط با دارندگان فرهنگ سفال خاکستری به دست آمد. نتایج حاصل از سه فصل اول کاوش در تپه صرم ثابت کرده است که این تپه صرفاً یک تپه طبیعی است که از اواخر هزارهٔ دوم تا اواسط هزارهٔ اول قبل از میلاد (عصر آهن II و III) به منظور تدفین مردگان، توسط اقوام دارندهٔ فرهنگ سفال خاکستری استفاده شده و فاقد هر گونه شواهد استقراری است. طی سه فصل اول کاوش، حدود ۱۹۰ گور در سطحی به مساحت ۱۲۰ متر مربع شناسایی شدند که این تعداد، گورهای قابل بررسی بودند و در این میان، تعداد زیادی گورهای تخریب شده نیز وجود داشتند. در این گورستان، ۸ نوع شیوهٔ معماری (قبور گودالی بیضی یا مستطیلی، چهار چینه‌ای خشتی، خرپشته‌ای، چلیپایی، سنگ‌چین، قبور با ساختار خشتی قائمه‌ای، قبور با ساختاری شبیه حرف L و فاقد معماری خاص) و ۷ نوع شیوهٔ تدفین (تدفین انفرادی، گروهی، چمباتمه‌ای، گورخمره‌ای، تدفین‌های قرارگرفته روی هم، تدفین به صورت تاقباز و تدفین زوجی زن و مرد) شناسایی شد (پوربخشنده، ۱۳۸۰، ۱۳۸۱، ۱۳۸۲) (شکل ۲).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی محوطه‌های مورد بررسی. فاصلهٔ صرم و استرک ـ جوشقان ۵۷ کیلومتر؛ فاصلهٔ استرک ـ جوشقان و سیلک ۱۷ کیلومتر؛ فاصلهٔ صرم و سیلک ۷۱ کیلومتر

Figure 2. Geographical location of the studied sites. The distance between Sarm and Estark-Joshaghan is 57 km; The distance between Estark-Joshaghan and Sialk is 17 km; The distance between Sarm and Sialk is 71 km

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

۵. آنالیز عنصری پیکسی

در این پژوهش، تعداد ۸ قطعه سفال از مجموعهٔ سفال‌های گورستان استرک ـ جوشقان، ۷ قطعه از سفال‌های گورستان‌های سیلک و ۷ قطعه از سفال‌های گورستان صرم برای انجام آنالیز عنصری پیکسی انتخاب شدند (شکل ۳). این آنالیز در آزمایشگاه واندوگراف تهران انجام شده و نتایج آن در جدول ۱ آمده است. نمونه‌ها (به‌طور معمول) با استفاده از وسایل شستشو کاملاً تمیز و از هرگونه آلودگی پاک شده و آنالیز از قسمت لعابدار نمونه‌ها انجام شده است. در مجموع، ۲۰ عنصر و اکسید مختلف شناسایی شد که برخی از آن‌ها (Al_2O_3, SiO_2, K_2O, CaO, TiO_2, MnO, Fe_2O_3, SrO) در همهٔ نمونه سفال‌ها وجود داشت ولی برخی دیگر (Na_2O, SO_3, Cu_2O, NiO, As_2O_5, GeO_2, ZrO_2) فقط در تعداد انگشت‌شماری نمونه سفال به‌چشم می‌خورد. برخی عناصر و اکسیدها (MgO, Cl, V_2O_3, Cr_2O_3, ZnO) نیز در اغلب نمونه‌ها یافت شد. لازم به ذکر است، در مورد حد آشکارسازی با توجه به سابقه چنین آنالیزهایی توسط نویسندگان (قدیری و همکاران، ۱۳۹۳)، آنالیز عناصری را بیان کردیم که مقدار داده بدست آمده از خطای کمتر از ۱۰درصد برخوردار باشد (جدول ۱).

شکل ۳. سفال‌های انتخاب‌شده از محوطه‌های استرک ـ جوشقان، صرم و سیلک برای آنالیز عنصری پیکسی

Figure 3. Potsherds selected from Estark-Joshaghan, Sarm, and Sialk for PIXE analysis

Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025 [DOI: 10.61882/jra.10.2.417]

جدول ۱. نتایج آنالیز عنصری پیکسی سفال‌های یافت‌شده از محوطه‌های استرک ـ جوشقان (EJ)، سیلک (Si) و صرم (Sa). اعداد قرمزرنگ، میانگین اعداد همان ستون هستند که برای تحلیل مؤلفه‌های اصلی در خانه‌های خالی جدول نوشته شده‌اند

Table 1. The results of PIXE elemental analysis of pottery found from the sites of Estark-Joshaghan (EJ), Sialk (Si), and Sarm (Sa). The red numbers are the average numbers of the same columns, which have been written in table empty cells for Principal Components Analysis

Pottery	Na2O (%)	MgO (%)	Al2O3 (%)	SiO2 (%)	SO3 (%)	Cl (%)	K2O (%)	CaO (%)	TiO2 (%)	V2O3 (%)	Cr2O3 (%)	MnO (%)	Fe2O3 (%)	Cu2O (%)	NiO (%)	ZnO (%)	As2O5 (%)	GeO2 (%)	SrO (%)	ZrO2 (%)
E.J.2018-1		1/13	10/83	39/94		0/27	3/33	27/45	1/16	0/05	0/02	0/28	15/14			0/06			0/31	
E.J.2018-3		1/02	11/77	47/12		0/29	4/76	17	1/66	0/07	0/03	0/15	15/65			0/04			0/24	0/19
E.J.2018-4		1/27	10/44	41/76	0/24	0/25	3/65	29/92	1/13	0/05	0/04	0/13	10/82			0/06			0/26	
E.J.2018-6		1/93	13/33	57/08		0/11	4/25	7/25	1/34	0/03	0/02	0/15	14/35			0/04			0/11	
E.J.2018-7 Red		2/39	14/13	40/11		0/31	6/08	19/93	1/25	0/05	0/03	0/25	15/15			0/05			0/31	
E.J.2018-7 Gray		2	9/58	41/86	0/23	0/22	4/29	29/22	1/32	0/06	0/03	0/14	12/96			0/03			0/25	
E.J.2018-8		2/79	9/43	47/51		0/16	1/93	7/92	1/28	0/06	0/05	0/22	28/48			0/05			0/11	
E.J2018-9		1/13	14/42	57		0/16	5/88	4/61	1/48	0/05	0/02	0/13	14/74	0/03		0/03			0/31	
Si.2018-4		1/87	14/11	55/41		0/13	4/33	6/19	1/62	0/06	0/03	0/16	15/67			0/05			0/4	
Si.2018-6		1/64	11/8	35/03		0/23	4/17	31/02	1/04	0/05	0/04	0/24	14/32			0/07			0/4	
Si.2018-7		1/96	14/21	38/11		0/35	5/59	22/11	1/15	0/05	0/04	0/23	15/88			0/04			0/34	
Si.2018-12		1/46	11/96	46		0/14	3/82	19/87	1/59	0/06	0/03	0/17	14/46			0/16		0/05	0/23	
Si.2018-17		2/09	13/34	52/29	0/54	0/15	4/32	11	1/37	0/05	0/04	0/15	14/43			0/04			0/22	
Si.2018-20		2	13/25	47/6		0/23	6/02	15/87	1/19	0/05	0/02	0/27	13/37			0/05			0/09	
Si.2018-21		1/91	12/56	48/31		0/24	4/28	13/05	1/41	0/07	0/03	0/68	17/19			0/05			0/23	
Sa.2018-1	0/75	2/24	12/85	51/24		0/17	5/25	12/48	1/46	0/06	0/03	0/12	13/08			0/04			0/23	
Sa.2018-2		2/15	11/17	41/23		0/24	4/3	25/85	1/11	0/03	0/03	0/23	13/32	0/04		0/05			0/22	
Sa.2018-5		3/06	12/2	40/85		0/24	5/28	18/91	1/21	0/07	0/04	0/21	17/34	0/04	0/05	0/1	0/05		0/35	
Sa.2018-8		2/83	10/64	38/6		0/21	4/6	24/77	1/13	0/04	0/04	0/22	16/47	0/03		0/05			0/36	
Sa.2018-9		1/74	14/21	54/24		0/22	6/47	6/12	1/46	0/05	0/04	0/12	15/35	0/04		0/05			0/1	
Sa.2018-10		3/2	11/15	38/51		0/27	4/83	21/28	1/18	0/05	0/03	0/25	18/56	0/04	0/05	0/05			0/49	
Sa.2018-11		3/18	11/74	42/54		0/23	5/33	19/47	1/17	0/05	0/04	0/18	15/71	0/03		0/06			0/26	

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

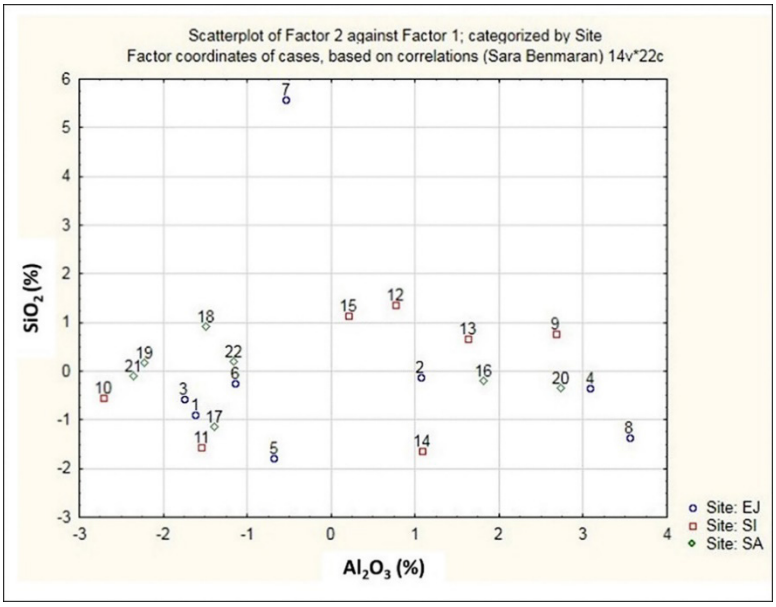
۶. تحلیل مؤلفه‌های اصلی

ابتدا، اکسیدهای با فراوانی اندک (Na_2O, SO_3, Cu_2O, NiO, As_2O_5, GeO_2, ZrO_2) حذف شدند و در جاهای خالی مقدار عناصر و یا اکسیدهایی که در برخی سفال‌ها موجود نبودند، عدد میانگین همان عنصر یا اکسید در تمام سفال‌ها قرار داده شد (اعداد قرمز در جدول ۱). پس از انجام این عملیات اولیه، ۱۳ عنصر و اکسید برای ۲۲ سفال باقی ماند که با این داده‌ها تحلیل مؤلفه‌های اصلی توسط نرم افزار SPSS انجام شد. بر طبق خروجی نرم‌افزار، عناصر در ۵ گروه اصلی قرار گرفتند. گروه اول دارای اکسید اصلی (بالای ۷۰ درصد) CaO، گروه دوم دارای اکسید اصلی K_2O، گروه سوم دارای اکسیدهای اصلی MgO و Cr_2O_3، گروه چهارم دارای اکسید اصلی V_2O_3 و گروه پنجم دارای اکسید اصلی MnO بودند. سپس، برای تحلیل ارتباط سفال‌ها از لحاظ عناصر و اکسیدها، گروه اول با دوم و گروه سوم با چهارم سنجیده شدند (جدول ۲)؛ (شکل‌های ۴ و ۵).

جدول ۲. ماتریس گروه؛ خروجی نرم افزار SPSS بر اساس تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)

Table 2. Group matrix; Output of SPSS software based on Principal Components Analysis (PCA)

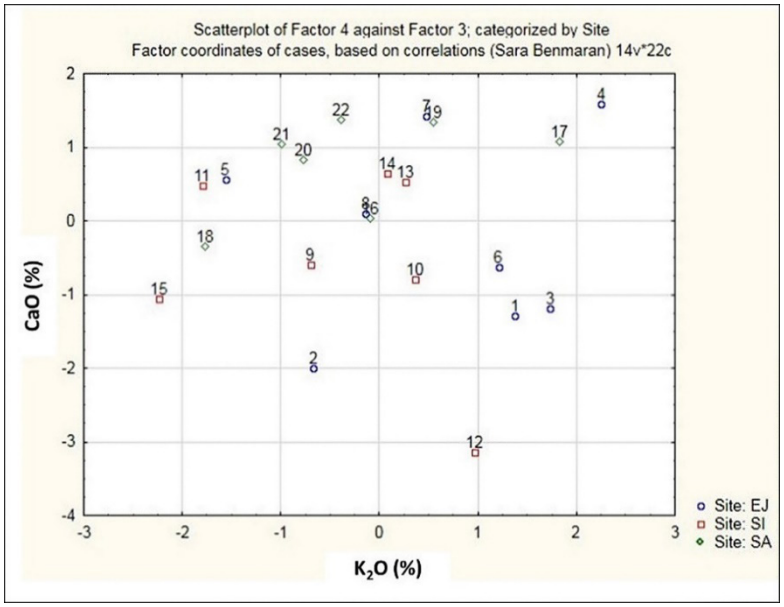
	Component (%)				
	1	2	3	4	5
Al_2O_3	-0.639	-0.437	0.466	-0.103	0.143
SiO_2	-0.969	0.159			
K_2O	-0.278	-0.673	0.510	-0.224	0.246
CaO	0.861	-0.314	-0.258	0.266	
TiO_2	-0.774	0.221	0.175	0.432	
MnO	0.252	0.105	0.415		-0.693
Fe_2O_3	0.123	0.799	0.267	-0.297	-0.158
SrO	0.486	-0.211	0.320	0.159	0.286
MgO	0.378	0.317	0.285	-0.638	0.278
Cl	0.612	-0.443	0.432		-0.220
Cr_2O_3	0.376	0.583	0.233	-0.118	0.351
ZnO	0.181	0.237		0.535	0.461
V_2O_3		0.386	0.569	0.604	



شکل ۴. تحلیل مؤلفه‌های اصلی از فاکتور ۱ و فاکتور ۲

Figure 4. PCA of factor 1 and factor 2

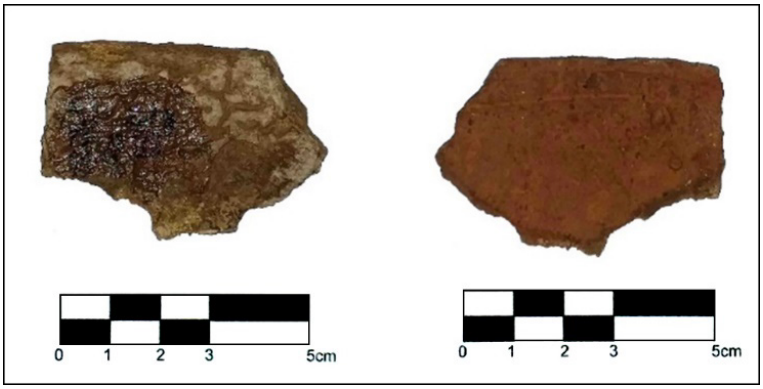
[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025



شکل ۵. تحلیل مؤلفه‌های اصلی از فاکتور ۳ و فاکتور ۴

Figure 5. PCA of factor 3 and factor 4

بر طبق بررسی نمودارهای فوق، چند گروه سفالی قابل شناسایی هستند و تعدادی سفال نیز به هیچ گروهی تعلق ندارند. درپوش سفالی دست‌ساز قرمزرنگ (سفال EJ 2018-8 / شماره ۷ در PCA) (شکل ۶) که از نظر تکنولوژی ساخت و رنگ، کاملاً با سفال خاکستری تفاوت دارد، به نظر می‌رسد که از یک منبع خاک جداگانه‌ای تولید شده است. بر اساس آنچه که تحلیل‌های باستان‌شناسی انجام‌شده (توسط نویسندهٔ دوم و همکارانش، در حال انتشار) نشان می‌دهد، احتمالاً این نوع سفال‌ها تحت تأثیر فرهنگ‌های سفالی مناطق استپی که در نیمهٔ نخست هزاهٔ دوم ق.م به مناطق جنوبی‌تر مهاجرت کرده‌اند، ساخته شده‌اند و از این‌رو، ظاهراً این تفاوت بارز در ترکیب شیمیایی این قطعه با سایر قطعات می‌تواند بسیار معنادار باشد.

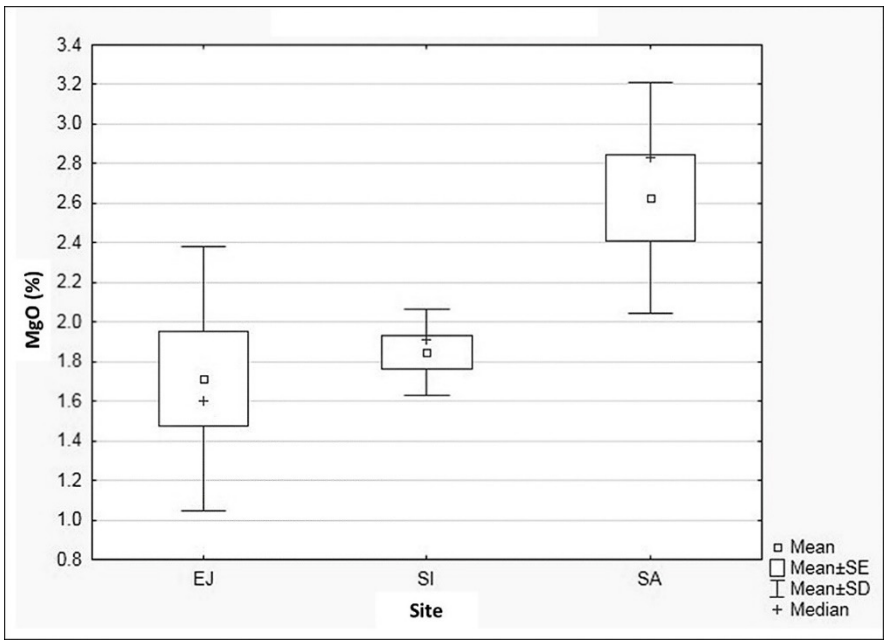


شکل۶. قطعه‌ای از یک درپوش سفالی یافت شده از گورستان استرک ـ جوشقان، EJ 2018-8

Figure 6. A fragment of a clay cap found in the Estark-Joshaghan cemetery, EJ 2018-8

تحلیل مؤلفه‌های اصلی سفال‌های هر محوطه بازتاب‌دهندهٔ ویژگی‌های مشترک خاصی نیست که بتوان منشأ سفال‌ها را به محوطه‌ای که در آن یافت شده‌اند، نسبت داد. بنابراین، تحلیل مزبور تا اندازه‌ای حاکی از وجود تفاوت معنادار در منشأ سفال‌ها است. اما، از طرفی تعدادی از سفال‌های استرک ـ جوشقان به سفال‌های سیلک شباهت دارند و تعدادی دیگر به سفال‌های صرم شباهت بیشتری را نشان می‌دهند که با توجه به قرارگیری این محوطه بین محوطه‌های صرم و سیلک، چندان دور از انتظار نیست. از طرف دیگر، بر اساس تحلیل هر یک از عناصر و اکسیدهای اصلی در سفال‌های هر محوطه، تنها الگوی قابل مشاهده، توزیع MgO در آن‌ها است. مقادیر مختلف اکسید منیزیم در سفال‌های سه محوطه نشانگر آن است که ظاهراً سفال‌های استرک ـ جوشقان، سیلک و صرم در مکان‌های گوناگونی تولید شده‌اند (شکل ۷).

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025



شکل ۷. فراوانی اکسید منیزیم (MgO) در سفال‌های سه محوطهٔ استرک ـ جوشقان، سیلک و صرم

Figure 7. The amount of MgO in the pottery of the three sites of Estark-Joshaghan, Sialk, and Sarm

۷. نتیجه‌گیری

محوطه‌های عصر آهن I و II در منطقهٔ فرهنگی شمال مرکزی ایران، به‌طور کلی، ویژگی گورستانی دارند و استقرارگاه‌های یافت‌شدهٔ عصر آهن عمدتاً متعلق به مرحلهٔ III هستند. بنابراین، به نظر می‌رسد، بین حدود ۱۲۵۰/۱۵۰۰ تا ۸۰۰ ق.م مردمان منطقهٔ مذکور اغلب دارای نظام معیشتی کوچ‌نشینی بودند. ما سعی کردیم این فرضیه را با آنالیز عنصری تعدادی از سفال‌های این عصر متعلق به سه محوطهٔ کاوش‌شده بررسی کنیم. در این پژوهش با هدف تعیین ارتباط منابع خاک سفال‌های عصر آهن گورستان‌های استرک ـ جوشقان (۲۰ کیلومتری شمال غربی کاشان)، سیلک (جنوب غربی کاشان) و صرم (۱۶ کیلومتری جنوب شرقی قم)، ۲۲ نمونه سفال از این سه محوطه به‌طور تصادفی انتخاب و آنالیز عنصری PIXE شدند و روی نتایج آن، تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) انجام گردید. با تکیه بر آنالیز این تعداد سفال می‌توان نتیجه گرفت که احتمالاً هر کدام از سفال‌ها در مکانی و با منبع خاک متفاوتی تولید شده است چون هیچ‌گونه ارتباط معناداری بین عناصر و اکسیدهای موجود در آن‌ها وجود ندارد. به بیان دیگر، احتمالاً هر محوطه سفال‌های خودش را با استفاده از منابع مختلف خاک سفال‌گری تولید می‌کرده که تا اندازهٔ زیادی می‌تواند فرضیهٔ کوچ‌نشین بودن جوامع عصر آهن شمال مرکزی ایران را تأیید نماید. همچنین، با توجه به این نتایج، نباید تصور کرد که این جوامع به صورت بسته زندگی می‌کردند و ارتباطات فرهنگی با یکدیگر نداشتند، بلکه شباهت‌های فرمی سفال‌های شاخص عصر آهن کاملاً گویای تعاملات اقوام گوناگون این دوره با یکدیگر است. شایان ذکر است، برای دستیابی به نتایج دقیق‌تر قطعاً بهتر خواهد بود که مجموعهٔ بزرگتری از سفال‌های این عصر آنالیز عنصری و تحلیل آماری شوند. با این حال، پژوهش روی همین مجموعهٔ سفالی محدود نیز توانسته است منابع متعدد خاک سفالگری را به‌روشنی نشان دهد، یافته‌ای که احتمالاً گویای زندگی متحرک (کوچ‌نشین یا نیمه‌یکجانشین) این جوامع در عصر آهن است.

سپاسگزاری: این مقاله مستخرج از پایان نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول، سارا بنماران میباشد که جواد حسین زاده ساداتی، استاد راهنما و محمد ترکی های اصفهانی، استاد مشاور نامبرده میباشند. از متخصصین آزمایشگاه واندوگراف تهران که آنالیز عنصری پیکسی نمونه‌ها را انجام دادند صمیمانه متشکریم و همچنین، قدردان دانشگاه دولتی کاشان هستیم که در این پروژه تحقیقاتی از ما حمایت کرد.

مشارکت نویسندگان: پیش‌نویس اولیه توسط نویسنده اول، س.ب، تهیه شد که به نظر نویسندگان دوم، ج.ح، و سوم، م.ت، رسید و بدین ترتیب بازبینی و ویرایش گردید. تمام نویسندگان نسخه منتشر شده مقاله را مطالعه کرده و با آن موافقت نموده‌اند.

تامین مالی: بودجه این پژوهش توسط دانشگاه دولتی کاشان تأمین شده است.

تضاد منافع: تضاد منافع را اعلام کنید یا بیان کنید "نویسندگان هیچ‌گونه تضاد منافع را اعلام نمی‌کنند.

دسترسی به داده‌ها و مواد: داده‌های اصلی این پژوهش در متن مقاله آورده شده‌اند. اطلاعات بیشتر در صورت درخواست از نویسندگان در دسترس است.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

References منابع

Agha Ali Gol, D., Mohsenian, M., Olyaei, P., Baghizadeh, A. (2006). Study on the origin of production of the Iranian Luster Wares using the PIXE analysis method. In *Physics Conference of Iran*. Shahroud University of Technology. [in Persian].

Alibaigi, S., & Khosravi, S. (2014). Some socio-economic evidence from Iron Age societies of the Iranian Central Plateau. *Iran*, *52*(1): 53-64. https://doi.org/10.1080/05786967.2014.11834737

Azizipour, T., Khademi Nadushan, F., Lameie Rashti, M. (2012). Investigating the living conditions of the ancient areas of Iran in the Parthian period based on the laboratory study of human bones discovered from the sites of this period. *Payam-e Bastanshenas, 9*(17): 113-126. [in Persian].

Danti M. (2013). *Hasanlu V, The Late Bronze Age and Iron Age I Periods. Hasanlu Excavation Reports III*, Philadelphia, Pennsylvania.

Dyson Jr, R. H. (1989). Rediscovering Hasanlu in East of Assyria: the Highland Settlement of Hasanlu. *Expedition*, *31*(2-3): 3-11.

Dyson Jr, R.H. (1965). Problems of Protohistoric Iran as seen from Hasanlu. *Journal of Near Eastern Studies, 24*(3): 193-217. https://doi.org/10.1086/371815

Fahimi, H. (2019). The Bronze Age and the Iron Age on the Central Iranian Plateau: Two successive cultures or the appearance of a new culture? In Meyer, J., Vila, E., Mashkour, M., Casanova, M., & Vallet, R. (Eds.), *The Iranian Plateau during the Bronze Age: Development of urbanisation, production and trade*. Lyon: MOM Éditions. https://10.4000/books.momeditions.8196

Fahimi, H. (2010). An Iron Age fortress in central Iran: archaeological investigations in Shamshirgah, Qom, 2005. Preliminary report. In *Proceedings of the 6th International Congress of the Archaeology of the Ancient Near East, 5*: 165-183.

Fahimi, H. (2005). Sialk cultural sequence 5 and 6 in South Tepe of Sialk: Excavation report in trenches J21, R20, R18. In S. Malek Shahmirzadi (ed.), *The Fishermen of Sialk, the report of the fourth season of the Sialk Reconsideration Project*. Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Institute of Archaeology, 144-105. [in Persian].

Fahimi, H. (2004a). Architectural remains of Sialk VI (Iron III) in South Tepe of Sialk; Excavation report in trench R19. In S. Malek Shahmirzadi (Ed.), *The Potters of Sialk: report of the third season of the Sialk Reconsideration Project*. Research Institute of Cultural Heritage and Tourism, Institute of Archeology, 56-88. [in Persian].

Fahimi, H. (2004b). The settlement of the Gour-e Khoftegan of Saram: report on Shamshirgah site in the south of Qom. *History and Archaeology, 18*: 61-68. [in Persian].

Fahimi, H. (2003). Iron Age in Sialk, a preliminary report on the investigation of Iron Age pottery in Sialk. In S. Malek Shahmirzadi (Ed.), *The Silversmiths of Sialk, the report of the second season of the Sialk Reconsideration Project*. Tehran: Cultural Heritage and Tourism Research Institute, Archaeology Research Institute, 126-80. [in Persian].

Ghadiri, M., Torkiha Esfahani, M., Kakuee, O., & Fathollahi, V. (2015). Combination of particle-induced X-ray emission (PIXE) spectrometry and proton-induced gamma-ray emission (PIGE) spectrometry for analysis of azure color in tile. *Journal of Nuclear Science, Engineering and Technology (JONSAT)*, *35*(4): 19-24. [in Persian].

Ghirshman, R. (2010). *Sialk of Kashan, the oldest human habitat in the plateau of Iran*. Vol 2. Translated by A. Karimi and A. Hampartian. Kashan: Morsal. [in Persian].

Ghirshman, R. (2000). *History of Iran from the beginning to Islam*. Translated by M. Behforozi. Tehran: Jami. [in Persian].

Ghirshman, R. (1939). *Fouilles de Sialk près de Kashan 1933, 1934, 1937*. Vol. 2. Paris: Geuthner.

Ghirshman, R. (1938). *Fouilles de Sialk: près de Kashan, 1933, 1934, 1937*. Vol. 1. Paris: Geuthner.

Gholami M. (2011). *Elemental analysis of prehistoric pottery of Isfahan province to compare their coloring technique*. Master's Thesis. Faculty of Physics, Kashan University. [in Persian].

Hosseinzadeh, J., Noralivand, H., Javery, M., Montazerzohori, M., Sohrabinia, A., Sołtysiak, A. (2019). The Grey Ware Culture and the Second Millennium BC Cemeteries in Central Iran: An Appraisal of the Recent Absolute Dates. In *Proceedings of the International Conference on The Iron Age in Western Iran and Neighbouring Regions*, vol 1, Kurdistan University, Sanandaj, Iran; 2 & 3 November 2019, 421-437. [in Persian].

Hosseinzadeh, J., Sarlak, S., Kavosi, A., Rafie, H., Sołtysiak, A. (2018). Human remains from Sarm, Iran, 2015. *Bioarchaeology of the Near East, 12*: 103-106.

Hosseinzadeh, J., Javeri, M., Montazerzohouri, M., Banitaba, A., Shadmahani, R. N., Makvandi, L., Sołtysiak, A. (2017). A palimpsest grave at the Iron Age cemetery in Estark-Joshaghan, Iran. *Antiquity, 91*(359): e1. https://doi.org/10.15184/aqy.2017.168

Kambakhshfard, S. (2000). *Ceramics and pottery in Iran from the beginning of the Neolithic to the modern era*. Tehran: Phoenix. [in Persian].

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

Kambakhshfard, S. (1991). *Three-thousand-and-two-hundred-year-old Tehran based on archaeological excavations*. Tehran: Scientific and Cultural Institute of Space. [in Persian].

Malek Shamirzadi, S. (1977). Preliminary report of the first and second season of excavations at Tepe Segzabad. *Marlik Journal, 2*: 81-98. [in Persian].

Majidzadeh, Y. (2010). *Excavations at the archaeological site of Uzbeki*. Tehran: General Directorate of Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism of Tehran Province. [in Persian].

Mehrkian, J. (1995). A research on the unknown architecture of gray pottery in Tepe Mamorin. In *Proceedings of the First Congress of the History of Architecture and Urban Planning of Iran*. Iranian cultural heritage, 345-356. [in Persian].

Mohammadifar, Y., Arab, A. (2013). Study on the Clinky Ware Composition in the Hamadan Region applying PIXE, XRF, and XRD Aiming to Show the Similarities and Diversities. *Pazhoheshha-ye Bastan shenasi Iran, 3*(4): 57-76. [in Persian]. https://nbsh.basu.ac.ir/article_564_en.html?lang

Niknami, K. (2011). *Advanced Quantitative Methods in Archaeological Data Analysis*. Tehran: SAMT [in Persian].

Potts, D. T. (2014). The Coming of the Iranians. In D. T. Potts (Ed.), *Nomadism in Iran: From Antiquity to the Modern Era*. Oxford University Press. https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199330799.003.0002

Pourbakhshandeh, K. (2003). *Report of the third season excavations at the ancient tepe of Sarm, Qom province, Kahak section of Sarm village*. Tehran: Cultural Heritage Organization of Iran. Unpublished. [in Persian].

Pourbakhshandeh, K. (2002). *Report of the second season excavations at the ancient tepe of Sarm, Qom province, Kahak section of Sarm village*. Tehran: Cultural Heritage Organization of Iran. Unpublished. [in Persian].

Pourbakhshandeh, K. (2001). *Report of the first season excavations at the ancient tepe of Sarm, Qom province, Kahak section of Sarm village*. Tehran: Cultural Heritage Organization of Iran. Unpublished. [in Persian].

Sanayeie Shua, A., Noghani, S., Samavat, F., & Ismaili Nojedehi, M. (2014). Investigating the chemical structure of Jalingi pottery belonging to the Parthian era using XRF and PIXE analysis methods. In *Physics conference of Iran*. Iranian Physics Association-University of Sistan and Baluchistan [in Persian].

Shaikh Baikloo Islam, B. (2023). Aryans and the Sea Peoples: Migration and Invasion, Responses to the Climatic Stress in the Second Millennium BC. *Persica Antiqua, 3*(5): 15-29. https://doi.org/10.22034/pa.2023.384534.1039

Shaikh Baikloo Islam, B. (2022). Study on Demographic Changes and Spatial Distribution of the Iron Age Communities of Iran with an Environmental Archaeology Approach. *Payām-e Bāstānshenās, 26*(14): 33-49. [in Persian]. https://doi.org/10.30495/peb.2022.699723

Shaikh Baikloo Islam, B., & Chaychi Amirkhiz, A. (2020). Adaptations of the Bronze and Iron Ages Societies of North Central Iran to the Holocene Climatic Events. *Climate Change Research, 1*(2): 39-54. [in Persian]. https://doi.org/10.30488/ccr.2020.111121

Shepherd, A. O. (1985). *Ceramics for the Archaeologist*. Washington DC: Carnegie Institution of Washington.

Stronach, D., Kleiss, W. Rosenberg, M., Huff, D., Burney, C., Bakhtiari, H., Huff, D., Pullar, J., Howell, R., & Keall, E. J. (1979). Survey of Excavations in Iran—1978. *Iran, 17*(1): 143-159. https://doi.org/10.1080/05786967.1979.11834254

Stuart, B. H. (2014). *Analytical techniques in materials conservation*. Translated by M. Bagherzadeh Kasiri. Tabriz: Tabriz Islamic Art University. [in Persian].

Talai, H. (2008). *The Iron Age of Iran*. Tehran: SAMT [in Persian].

Talai, H. (1995). *Iranian Art and Archaeology in the first millennium BC*. Tehran: SAMT [in Persian].

Talai, H. (1983). Late Bronze Age and Iron Age I Architecture in Sagzabad, Qazvin plain, the Central Plateau of Iran. *Iranica Antiqua Leiden, 18*: 51-57. http://pascal-francis.inist.fr/vibad/index.php?action=getRecordDetail&idt=12324095

Tehrani Moghadam, A. (1997). *The first-millennium BC cemetery of Pishva*. Memorandum of Susa Archaeology Conference. [in Persian].

Torkiha, M., Lamehi-Rachti, M., Kakuee, O. R., & Fathollahi, V. (2010). An external sub-milliprobe optimized for PIXE analysis of archaeological samples. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms, 268*(9): 1517-1522. https://doi.org/10.1016/j.nimb.2010.01.019

Vahdatinasab, H., Anvari, Z., Ghamari Fatideh, M., Sheykholeslami, A., Akbari, M. T., & Lesani, N. (2017). Dispersals of the Aryans into the Iranian Plateau in the Light of New Genetic Discoveries, Case Study: Gohar Teppe Iron Age Cemetery, Behshahr, Iran. *Iranian Journal of Anthropological Research, 7*(1): 117-143 [in Persian]. https://doi.org/10.22059/ijar.2017.65922

Vanden Berghe, L. (1964). *La Necropole de Khurvin*. Istanbul: Nederlands historisch-archaeologisch Instituut in het Nabije Oosten.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

Young Jr, T.C. (1965). A comparative ceramic chronology for western Iran, 1500–500 BC. *Iran, 3*(1): 53-85. https://doi.org/10.1080/05786967.1965.11834401

Young Jr, T. C. (1967). The Iranian migration into the Zagros. *Iran, 5*(1): 11-34. https://doi.org/10.1080/05786967.1967.11834760

آقاعلی‌گل، داود، محسنیان، محمد، اولیائی، پروین، باقی‌زاده، علی (۱۳۸۵). مطالعه منشأ تولید سفالینه‌های زرین فام ایرانی با استفاده از روش آنالیز پیکسی. کنفرانس فیزیک ایران. دانشگاه صنعتی شاهرود.

استوارت، باربارا (۱۳۹۳). روش‌های تجزیهٔ مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمهٔ مسعود باقرزاده کثیری. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز.

پوربخشنده، خسرو (۱۳۸۰). گزارش کاوش فصل اول تپهٔ باستانی صرم، استان قم، بخش کهک روستای صرم. سازمان میراث فرهنگی کشور. منتشر نشده.

پوربخشنده، خسرو (۱۳۸۱). گزارش کاوش فصل دوم تپهٔ باستانی صرم، استان قم، بخش کهک روستای صرم. سازمان میراث فرهنگی کشور. منتشر نشده.

پوربخشنده، خسرو (۱۳۸۲). گزارش کاوش فصل سوم تپهٔ باستانی صرم، استان قم، بخش کهک روستای صرم. سازمان میراث فرهنگی کشور. منتشر نشده.

تهرانی‌مقدم، احمد (۱۳۷۶). گورستان هزاره اول قبل از میلاد پیشوا. یادنامه گردهمایی باستان‌شناسی شوش.

حسین‌زاده ساداتی، جواد، نورعلی‌وند، حمزه، جاوری، محسن، منتظرظهوری، مجید، سهرابی‌نیا، احمد، سولتیشیاک، آرکادیوش (۱۳۹۸). فرهنگ سفال خاکستری و گورستان‌های هزارهٔ دوم منطقهٔ مرکزی ایران ارزیابی تاریخ گذاری‌های مطلق. مجموعه مقالات همایش بین المللی عصر آهن در غرب ایران و مناطق همجوار، ج ۱، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران، ۱۱–۱۲ آبان ۱۳۹۸، ۴۲۱–۴۳۷.

شیخ بیکلو اسلام، بابک (۱۴۰۱). بررسی تغییرات جمعیتی و پراکنش مکانی جوامع عصر آهن ایران با رویکرد باستان‌شناسی محیطی. پیام باستان‌شناس، ۲۶(۱۴): ۳۳–۴۹.

شیخ بیکلو اسلام، بابک، چایچی امیرخیز، احمد (۱۳۹۹). سازگاری‌های جوامع انسانی عصرهای مفرغ و آهن شمال ایران مرکزی با رویدادهای اقلیمی هولوسن. پژوهش‌های تغییرات آب و هوایی، ۱(۲): ۳۹–۵۴.

صنایعی شعاع، امیرحسین، نوغانی، سمیه، سموات، فریدون، اسمعیلی، نوجه‌دهی، مرتضی (۱۳۹۳). بررسی ساختار شیمیایی سفال جلینگی متعلق به دوران اشکانی با استفاده از روشهای آنالیز XRF و PIXE . کنفرانس فیزیک ایران. انجمن فیزیک ایران ـ دانشگاه سیستان و بلوچستان.

طلایی، حسن (۱۳۷۴). باستان‌شناسی و هنر ایران در هزارهٔ اول قبل از میلاد. تهران: سمت.

طلایی، حسن (۱۳۸۷). عصر آهن ایران. تهران: سمت.

عزیزی‌پور، طاهره، خادمی، ندوشن، فرهنگ، لامعی رشتی، محمد (۱۳۹۱). بررسی وضعیت معیشتی مناطق باستانی ایران در دوره اشکانی بر اساس مطالعه آزمایشگاهی استخوان های انسانی کشف شده از محوطه های این دوره. پیام باستان‌شناس، ۱۷: ۱۱۳–۱۲۶.

غلامی، مرضیه (۱۳۹۰). آنالیز عنصری سفالهای دوره پیش از تاریخ استان اصفهان جهت مقایسه تکنیک رنگ آمیزی آنها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فیزیک، دانشگاه کاشان.

فهیمی، حمید (۱۳۸۲). عصر آهن در سیلک، گزارش مقدماتی بررسی سفال‌های عصر آهن در سیلک. در نقره‌کاران سیلک، گزارش فصل دوم پروژه بازنگری سیلک، به کوشش صادق ملک‌شهمیرزادی، پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، ۸۰–۱۲۶.

فهیمی، حمید (۱۳۸۳ب). سکونتگاه گور خفتگان صرم: گزارش دربارهٔ محوطهٔ شمشیرگاه در جنوب قم. تاریخ و باستان‌شناسی، ۱۸: ۶۱–۶۸.

فهیمی، حمید (۱۳۸۳الف). بقایای معماری سیلک ۶ (آهن ۳) در تپه جنوبی سیلک؛ گزارش کاوش در ترانشه R19. در سفالگران سیلک، گزارش فصل سوم بازنگری سیلک، به کوشش صادق ملک‌شهمیرزادی. پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، ۵۶–۸۸.

فهیمی، حمید (۱۳۸۴). توالی فرهنگی سیلک ۵ و ۶ در تپهٔ جنوبی سیلک: گزارش کاوش در ترانشه‌های J21، R20، R18. در صیادان سیلک، گزارش فصل چهارم طرح بازنگری سیلک، به کوشش صادق ملک‌شهمیرزادی. پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، پژوهشکدهٔ باستان‌شناسی، ۱۰۵–۱۴۴.

[DOI: 10.61882/jra.10.2.417]
Downloaded from jra-tabriziau.ir at 1:25 +0330 on Monday December 8th 2025

قدیری، مرجان، ترکیهای اصفهانی، محمد، کاکویی، امیدرضا، فتح‌اللهی، وحید (۱۳۹۳). ترکیب طیف‌سنجی گسیل پرتو ایکس ذره ـ القایی و طیف‌سنجی گسیل پرتو گامای پروتون ـ القایی برای تجزیه‌ی رنگ لاجوردی در کاشی باستانی. مجله علوم و فنون هسته‌ای، ۳۵(۴): ۱۹-۲۴.

کامبخش‌فرد، سیف‌الله (۱۳۷۰). تهران سه هزار و دویست ساله بر اساس کاوشهای باستان‌شناسی. تهران: موسسه علمی و فرهنگی فضا.

کامبخش‌فرد، سیف‌الله (۱۳۷۹). سفال و سفالگری در ایران از ابتدای نوسنگی تا دوران معاصر. تهران: ققنوس.

گیرشمن، رومن (۱۳۷۹). تاریخ ایران از آغاز تا اسلام، ترجمه محمود بهفروزی. تهران: جامی.

گیرشمن، رومن (۱۳۸۹). سیلک کاشان کهن‌ترین زیستگاه انسان در فلات ایران. جلد دوم. ترجمه اصغر کریمی و آزیتا همپارتیان. کاشان: مرسل.

مجیدزاده، یوسف (۱۳۸۹). کاوشهای محوطه باستانی ازبکی. تهران: اداره کل میراث فرهنگی، صنایع دستی وگردشگری استان تهران.

محمدی‌فر، یعقوب، عرب، احمد علی (۱۳۹۲). مطالعه ترکیب سفال کلینکی دوره اشکانی منطقه همدان با استفاده از سه روش: PIXE، XRF و XRD با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، ۴(۳): ۵۷- ۷۶.

ملک‌شهمیرزادی، صادق (۱۳۵۶). گزارش مقدماتی فصل اول و دوم حفاری تپه سگزآباد. مجله مارلیک، ۲، ۹۸-۸۱.

مهرکیان، جعفر (۱۳۷۴). پژوهشی در معماری ناشناخته سفال خاکستری در تپه معمورین. مجموعه مقالات اولین کنگره تاریخ معماری و شهرسازی ایران. میراث فرهنگی کشور. ۳۵۶-۳۴۵.

نیکنامی، کمال‌الدین (۱۳۹۰). روشهای پیشرفته آماری در تحلیل داده‌های باستان‌شناختی. تهران: سمت.

وحدتی نسب، حامد، انواری، زهره، قمری فتیده، محمد، شیخ الاسلامی، امیرسامان، اکبری، محمدتقی، لسانی، نغمه (۱۳۹۶). بازنگری ورود آریایی‌ها به فلات ایران در پرتو آگاهی‌های جدید ژنتیکی (گورستان گوهرتپه، بهشهر). پژوهش‌های انسان‌شناسی ایران، ۷(۱): ۱۱۷-۱۴۳.