



پتروگرافی، منشأیابی و مطالعه موردی سفال‌های تپه چگینی و حسین‌آباد در ادوار نوسنگی و انتقالی مس‌سنگی در فلات مرکزی ایران (محدوده استان البرز)

محمد محسن ذنوبی^۱، حسن فاضلی نشلی^۲✉، حسن درخشی^۳

۱ دانشجوی دکتری باستان‌شناسی، گروه تاریخ و باستان‌شناسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

۲ استاد گروه باستان‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران، تهران، ایران. نویسنده مسئول: hfazelin@ut.ac.ir

۳ استادیار گروه باستان‌شناسی، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران.

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخ‌ها	تپه چگینی در ۵ کیلومتری غرب نظرآباد و تپه حسین‌آباد در بخش مرکزی شهر ماهدشت از توابع شهرستان کرج استان البرز در زیرحوضه‌های آبخیز هشتگرد و تهران-کرج واقع شده‌اند. ۱۹ نمونه سفال از این دو محوطه مورد مطالعه‌ی پتروگرافی قرار گرفت. با بررسی ذرات تشکیل دهنده‌ی سفال‌ها در پی پاسخ به این پرسش که منشأ ماده خام به کار رفته در سفال‌ها محلی بوده است یا خیر؟ مشخص شد که در تمامی نمونه سفال‌ها وجود کانی کوارتز به عنوان یکی از اجزای تشکیل دهنده خمیر سفال مشهود است که این امر احتمال استفاده از کوارتز به عنوان آمیزه (تمپر) در فرآیند ساخت سفال را تقویت می‌نماید. مطالعه ترکیب ذرات انکلوژیون در سفال‌های مورد مطالعه از محوطه‌های باستانی حسین‌آباد و چگینی، واقع در زیرحوضه‌های آبخیز تهران-کرج و هشتگرد به ترتیب، نشان‌دهنده منشأ محلی مواد اولیه مورد استفاده در تولید این سفال‌ها است. به عبارت دیگر، مواد اولیه مورد نیاز برای تولید سفال در هر یک از این دو محوطه، از منابع موجود در همان زیرحوضه آبخیز تأمین شده است. با این حال، نتایج این پژوهش حاکی از تفاوت در میزان فراوانی و نوع کانی‌های موجود در ذرات انکلوژیون سفال‌های دو محوطه مورد مطالعه است. این تفاوت‌ها را می‌توان به عوامل متعددی از جمله تفاوت در ترکیب زمین‌شناسی دقیق محل برداشت مواد اولیه در هر یک از زیرحوضه‌ها و همچنین تفاوت در زمان تولید سفال‌ها نسبت داد.
واژگان کلیدی	
سفال	
پتروگرافی	
منشأیابی	
تپه چگینی	
تپه حسین‌آباد	
نوسنگی	
انتقالی مس‌سنگی	
فلات مرکزی	

استناد: ذنوبی، محمد محسن، فاضلی نشلی، حسن، درخشی، حسن (۱۴۰۴). پتروگرافی، منشأیابی و مطالعه موردی سفال‌های تپه چگینی و حسین‌آباد در ادوار نوسنگی و انتقالی مس‌سنگی در فلات مرکزی ایران (محدوده استان البرز). باستان‌شناسی ایران، ۱۵ (۲)، ۱-۲۱.

<https://doi.org/10.82101/AOI.2026.1222805>

© ۱۴۰۴ (۲۰۲۶) نویسندگان مقاله، نشریه باستان‌شناسی ایران، مجله دانشگاه آزاد اسلامی واحد شوشتر.



Petrography, Provenance Analysis, and a Case Study of Pottery from Chegini and Hossein Abad Tapes during the Neolithic and Transitional Chalcolithic Periods of the Central Plateau of Iran (Alborz Province)

Mohammad Mohsen Zonoubi¹, Hassan Fazeli Nashli^{2✉}, Hassan Derakhshi³

1. PhD Candidate in Archaeology, Department of History and Archaeology, SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.
Corresponding author: hfazelin@ut.ac.ir

2. Professor, Department of Archaeology, Faculty of Literature and Humanities, University of Tehran, Tehran, Iran.

3. Assistant Professor, Department of Archaeology, Sho.C., Islamic Azad University, Shushtar, Iran.

Article Info

History

Received: September 29, 2025

Accepted: November 05, 2025

Keywords

Pottery

Petrography

Provenance Analysis

Chegini Tepe

Hossein Abad Tepe

Neolithic

Transitional Chalcolithic

Central Plateau of Iran

Abstract

The archaeological sites of Chegini Tepe, located 5 km west of Nazarabad, and Hossein Abad Tepe, situated in the central district of Mahdasht in Karaj County (Alborz Province), are positioned within the Hashtgerd and Tehran–Karaj sub-watersheds, respectively. This study presents a petrographic analysis of 19 pottery samples recovered from these two sites, dating to the Late Neolithic and Transitional Chalcolithic periods. The primary objective of the research is to determine whether the raw materials used in pottery production were locally sourced or imported from other regions. Microscopic examination of thin sections reveals that quartz is present in all samples as a major component of the ceramic paste, suggesting its deliberate or natural use as a temper. Comparative analysis of mineral inclusions indicates that the raw materials used in pottery production at both sites were predominantly obtained from local geological sources within their respective sub-watersheds. However, notable differences in mineral abundance and lithofabric composition between the two assemblages were identified. These differences are interpreted as the result of variations in local geological formations and, potentially, chronological differences in pottery production. The findings provide important insights into local production strategies, technological choices, and resource procurement patterns during the Late Neolithic and Transitional Chalcolithic periods in the Central Plateau of Iran.

Citation: Zonoubi, M.M., Fazeli Nashli, H., & Derakhshi, H. (2026). Petrography, Provenance Analysis, and a Case Study of Pottery from Chegini and Hossein Abad Tapes during the Neolithic and Transitional Chalcolithic Periods of the Central Plateau of Iran (Alborz Province). *Archaeology of Iran*, 15(2), 1-21.

<https://doi.org/10.82101/AOI.2026.1222805>

© 2026 Authors, *Archaeology of Iran*, Journal of Islamic Azad University, Shushtar Branch.

مقدمه

از این منظر، مطالعه پتروگرافی سفال نه تنها ابزاری برای شناسایی منشأ مواد اولیه است، بلکه امکان ارزیابی الگوهای انتشار فرهنگی، شبکه‌های دادوستد، و ارتباطات میان محوطه‌ای را نیز فراهم می‌کند. شباهت یا تفاوت در ترکیب کانی‌شناسی سفال‌ها می‌تواند نشان دهد که آیا تولید سفال به صورت محلی و توسط صنعتگران همان محوطه انجام شده است، یا محصولات سفالی از مناطق دیگر به محل وارد شده‌اند (Childs, 2013).

پژوهش حاضر به بررسی پتروگرافی ۱۹ نمونه سفال به‌دست‌آمده از تپه‌های حسین‌آباد و چگینی (طلا) می‌پردازد. هدف اصلی این مطالعه، تعیین منشأ تهیه ماده خام سفال‌ها و پاسخ به این پرسش است که آیا منابع مورد استفاده در تولید سفال، در محیط پیرامونی و نزدیک به محوطه‌ها قابل دسترسی بوده‌اند یا مواد اولیه از فواصل دورتر تأمین شده‌اند. نتایج این پژوهش می‌تواند درک دقیق‌تری از راهبردهای تولید، میزان خودکفایی محوطه‌ها و جایگاه آن‌ها در شبکه‌های اقتصادی و فرهنگی منطقه ارائه دهد (Ben-Shlomo, 2025).

روش تحقیق

پژوهش حاضر با رویکردی تلفیقی و بر پایه سه شیوه اصلی کتابخانه‌ای، میدانی و آزمایشگاهی انجام شده است. در گام نخست، از روش کتابخانه‌ای برای گردآوری، شناسایی و تحلیل منابع مکتوب مرتبط با محوطه‌ها و سفال‌ها استفاده شد. در ادامه، به‌منظور ثبت داده‌های عینی، مستندسازی وضعیت محوطه‌ها، تهیه تصاویر و گردآوری نمونه‌های سفالی مورد مطالعه، مطالعات میدانی انجام گرفت. در مرحله نهایی، به‌منظور بررسی ویژگی‌های فنی و منشأ مواد اولیه، مطالعات آزمایشگاهی شامل آنالیز پتروگرافی بر روی ۱۹ نمونه سفالی متعلق به دو محوطه منتخب، تپه چگینی و تپه حسین‌آباد، صورت پذیرفت.

برای انجام آزمایش پتروگرافی، ابتدا برشی کوچک از هر نمونه سفالی با استفاده از تیغه الماسی جدا شد. این برش‌ها به‌وسیله سمباده‌های نرم به‌تدریج صیقل داده شدند و ذرات

سفال به‌واسطه جایگاه برجسته‌ای که در رویکرد تاریخی-فرهنگی رایج در باستان‌شناسی ایران دارد، به یکی از مهم‌ترین یافته‌های کاوش‌های باستان‌شناسی چند دهه اخیر تبدیل شده است. در شرایطی که مطالعات نظام‌مند بر سایر داده‌های باستان‌شناختی، مانند یافته‌های ویژه یا صنایع سنگی، کمتر توسعه یافته‌اند، سفال به‌دلیل فراوانی، تنوع و ماهیت فناورانه تولید خود، نقشی کلیدی در بازسازی توالی‌های فرهنگی و افق‌های زمانی ایفا می‌کند. سفال از نخستین موادی است که انسان با دخالت آگاهانه در ماهیت ماده خام، از طریق ترکیب مواد، کنترل دما و فرایند پخت، توانسته است خواص فیزیکی و شیمیایی آن را دگرگون سازد؛ امری که آن را از موادی چون سنگ، استخوان و صدف متمایز می‌کند، زیرا در این مواد معمولاً تنها تغییر شکل مکانیکی رخ داده و نه تغییر در ماهیت ماده (Childs, 2013).

در دهه‌های نخست پژوهش‌های باستان‌شناسی، تمرکز عمده بر ویژگی‌های ریخت‌شناختی و تزئینی سفال، از جمله فرم، رنگ و نقوش سطحی بود. این رویکرد، اگرچه نقش مهمی در گونه‌شناسی و مقایسه‌های فرهنگی داشت، اما به‌تدریج با پیشرفت روش‌های آزمایشگاهی و ورود باستان‌سنجی، جای خود را به مطالعاتی داد که بر ساختار درونی، فناوری تولید و منشأ مواد خام تأکید داشتند. در این میان، تحلیل پتروگرافی سفال به‌عنوان یکی از روش‌های مؤثر و استاندارد در مطالعات مواد فرهنگی مطرح شد.

پتروگرافی سفال، که ریشه در علم کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری دارد، از طریق مطالعه مقاطع نازک سفال با استفاده از میکروسکوپ قطبیده نوری، امکان شناسایی کانی‌ها، اجزای غیرپلاستیک، بافت خمیره و ویژگی‌های فناورانه تولید را فراهم می‌سازد. این روش به باستان‌شناسان اجازه می‌دهد تا با مقایسه ترکیب کانی‌شناسی سفال‌ها با ویژگی‌های زمین‌شناختی پیرامون محوطه‌ها، درباره محلی یا غیرمحلی بودن منابع تهیه مواد خام اظهارنظر کنند (Ben-Shlomo, 2025).

در کمترین ۵۵ متر است (زینی وند، ۱۳۹۴: ۲۲). تپه حسین‌آباد در سال ۱۳۸۰ توسط فرشید مصدقی شناسایی شد و در سال ۱۳۸۲ در فهرست آثار باستانی ایران به ثبت رسید. مصدقی با توجه به بررسی‌های سطحی، آثار این تپه را به دوره‌های پیش از تاریخ و قرن دهم هجری نسبت می‌دهد (مصدقی، ۱۴۷: ۱۳۸۰). این محوطه در سال ۱۳۹۴ توسط هیأتی به سرپرستی محسن زینی‌وند جهت تعیین عرصه و حریم مورد بررسی و گمانه‌زنی قرار گرفت (زینی وند، ۱۳۹۴: ۲).

با توجه به سفال‌ها و مصنوعات سنگی جمع‌آوری شده از لحاظ زمانی این محوطه را می‌توان به دو دوره سیلک I و II نسبت داد. مجموعه سفالی سیلک I بیشتر در بخش جنوب تپه و مجموعه سیلک II بطور میانگین در نیمه شمالی تپه دارای تراکم بیشتری بود. سفال‌های مربوط به دوره‌ی سیلک I دارای خمیره‌ای نخودی با نقش سیاه بر سطح بیرونی آن و در برخی موارد به همراه نقش در داخل ظرف است. از جمله نقوش موسوم به نردبانی، خطوط موج، شطرنجی و مثلثی که نمونه‌های آن به وفور در محوطه‌های هم‌دوره شناسایی و به دست آمده است. البته چند قطعه سفال‌هایی نیز در این مجموعه به دست آمده که از لحاظ مشخصات فنی کمی با نمونه‌های سیلک I فازهای ۳ تا ۵ متفاوت بودند که به احتمال قدیمی‌تر از آن و شاید نمونه‌های اولیه از آن هستند که تا زمان حاضر در هیچ محوطه‌ای شناسایی نشده است (زینی وند، ۱۳۹۴: ۲۳). گروه دوم سفال‌ها مربوط به نوع قرمز چشمه‌علی بودند و این سفال‌ها با انواع نقوش و فرم شناخته شده به خصوص با موتیف هندسی و جانوری به وفور بدست آمده است. نقوش مرغابی تصویر شده بر روی برخی از قطعات سفالی متنوع بوده و قابل مقایسه با نمونه‌های بدست آمده از محوطه چشمه‌علی در تهران هستند (زینی وند، ۱۳۹۴: ۲۴).

تپه چگینی (طالا)

این محوطه در ۵ کیلومتری غرب نظر آباد واقع شده و تپه ازبکی نیز در حدود ۴/۵ کیلومتری جنوب شرق آن قرار دارد.

باقی‌مانده سمبراده با شست‌وشو در دستگاه شناورسازی اولتراسونیک (فراصوت) حذف گردید. پس از مرحله خشک‌کردن، نمونه‌ها با استفاده از سمغ گرم‌شده بر روی صفحات شیشه‌ای چسبانده شدند. سپس مقاطع با بهره‌گیری از دستگاه‌های سایش خودکار صیقل داده شدند تا ضخامت آن‌ها به حدود ۰/۰۰۳ میلی‌متر برسد؛ ضخامتی که در آن اغلب کانی‌ها به صورت شفاف یا نیمه‌شفاف قابل مشاهده بوده و امکان مطالعه دقیق ویژگی‌های نوری و ساختاری آن‌ها فراهم می‌شود.

از آنجا که پتروگرافی مقاطع نازک روشی ترکیبی برای شناسایی ویژگی‌ها و تفسیر فناوری ساخت مصنوعات سفالی است، مقاطع تهیه‌شده با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان (پتروگرافی) مورد بررسی قرار گرفتند. این میکروسکوپ‌ها از دو نوع نور بهره می‌برند: نور پلاریزان صفحه‌ای (PPL) و نور پلاریزان متقاطع (XPL). در نور پلاریزان متقاطع، تابش نور در دو جهت قطبیده شده و با عبور از کانی‌های موجود در مقاطع نازک، ویژگی‌های نوری خاصی ایجاد می‌کند که بر اساس آن‌ها می‌توان نوع کانی‌ها و ترکیب مواد را شناسایی کرد (سین‌کولین، ۱۳۹۹: ۲۹).

داده‌های حاصل از مطالعات پتروگرافی شامل شناسایی ذرات انکلوزیون (Inclusion) و ترکیب آن‌ها، نوع لیتوفابریک، ویژگی‌های بافتی خمیره (از جمله یکنواختی و رنگ)، و همچنین بررسی میزان و نوع تخلخل (شامل شکل و پراکنش حفرات) بود. بر پایه تحلیل این داده‌ها، ویژگی‌های فناوریانه سفال‌ها، شیوه پخت، کیفیت تولید، دمای تقریبی پخت و منشأ احتمالی مواد اولیه مورد ارزیابی و تفسیر قرار گرفت.

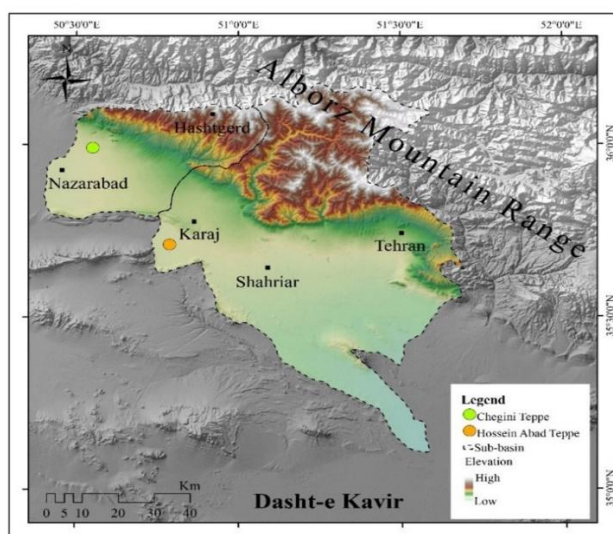
محدوده جغرافیایی مورد مطالعه

تپه حسین‌آباد

این محوطه در بخش مرکزی شهر ماهدشت از توابع شهرستان کرج استان البرز واقع شده است. عرصه ظاهری تپه در جهت شمال غربی - جنوب شرقی گسترده شده و دارای ۲۱۰ متر طول و عرضی برابر با در بیشترین ۹۲ متر و

مشهود نمی‌باشد ولی تعدادی قطعه سفال و ابزارسنگی (آثار فرهنگی منقول) در سطح پراکنده می‌باشد (احمدنژاد، ۱۳۹۸). با توجه به گونه سفال‌ها، زمختی و حالت خشن و پخت آنها به نظر می‌رسد که عموماً مربوط به دوره نوسنگی و دوره مس‌سنگی و یک مورد مربوط به دوره انتقالی مس‌سنگی است.

ابعاد تپه در امتداد شمالی-جنوبی ۸۰ متر و در امتداد شرقی-غربی ۶۰ متر و ارتفاع آن از سطح زمین‌های پیرامون حدود ۵ متر می‌باشد و شیب اثر به طور کلی در شمال بیشتر و در جنوب و غرب ملایم‌تر است. در جهات شمال، غرب و شرق اراضی کشاورزی و از جنوب دیوار گلی به طول تقریبی ۳۵۰ متر اثر مورد نظر را احاطه کرده اند. هیچگونه اثری از مواد فرهنگی غیرمنقول (عناصر و مصالح معماری) در سطح



شکل ۱: موقعیت و تصاویر تپه چگینی و حسین‌آباد

ترتیب در دماهای ۹۰۰ تا ۹۵۰ درجه و ۱۰۵۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی گراد برای سفال نوع سیلک ۱ و ۲ رخ داده‌اند (Marghussian et al., 2017a: 14-15). آزمایش‌های شیمیایی در سه منطقه دشت‌های تهران (پردیس)، قزوین (ابراهیم آباد)، کاشان (سیلک) نیز هیچ شباهت مشخصی در ترکیب شیمیایی و جزئیات فناوری سفالگری نشان نداد، ازین رو باید تغییر کلی رنگ سفال‌ها از دوره نوسنگی متاخر به مس‌سنگی انتقالی را به مواد اولیه و بهبود فناوری پخت، کنترل دقیق دما و اتمسفر پخت مربوط دانست (Marghussian et al., 2021: 18). تولید سفال در ابراهیم آباد نیز شامل افزایش دمای پخت (تغییر در مواد اولیه منجر به مقاومت بیشتر مواد سفالی شد که نیاز به دمای پخت بسیار بالاتری را ایجاد می‌کرد) و کنترل دقیق‌تر اتمسفر پخت

آزمایش‌های شیمیایی سفال‌های اواخر نوسنگی و دوره مس‌سنگی انتقالی در فلات مرکزی

سفال‌های مورد مطالعه از تپه حسین آباد مشابه سفال‌های سیلک ۱ و ۲ و سفال‌های تپه چگینی متعلق به دوره اواخر نوسنگی و مس‌سنگی انتقالی می‌باشد. صنعت سفالگری از دوره سیلک ۱ به سیلک ۲ دارای تغییر متمایزی از تغییرات در تزئین و استفاده از تزئینات جدید موسوم به سیلک ۲ است که در واقع همان سفال‌های نخودی نوع سیلک ۱ بود که با پوشش قرمز پوشانده شده بود. این تغییر تزئین، تغییر قابل‌توجهی در فناوری نبود. بلکه اعمال کنترل بیشتر بر فضای کوره (پیشرفت در فناوری پخت) که می‌توان آن را مدیون دمای کنترل شده کوره دانست. ترکیبات شیمیایی موجود در سفال‌ها، محصول واکنش‌هایی شیمیایی‌اند که به

اوایل دوره مس‌سنگی که شاید نشانه‌ای از افزایش تمرکزگرایی و پیچیدگی‌های اجتماعی در این دوره باشد (Fazeli et al., 2001).

سفال‌های مورد مطالعه

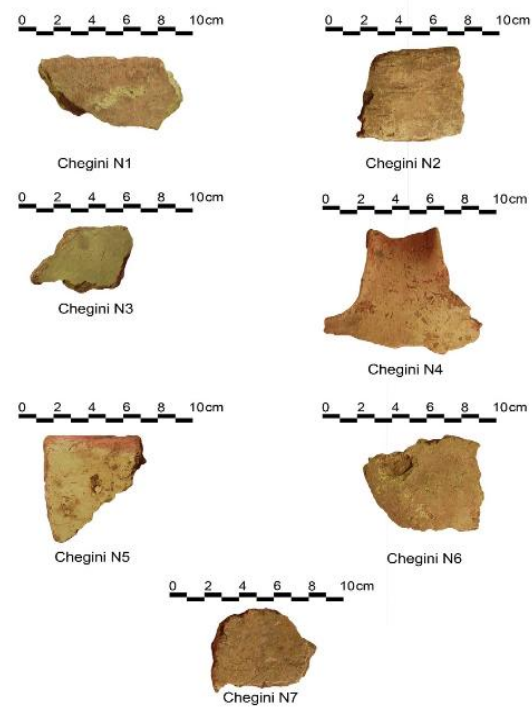
تعداد ۱۹ قطعه سفال جهت مطالعات پتروگرافی مورد بررسی قرار گرفتند (جدول ۱). از این تعداد، ۷ قطعه سفال متعلق به تپه چگینی (شکل ۲) و ۱۲ قطعه سفال متعلق به تپه حسین‌آباد می‌باشد (شکل ۳). سفال‌های محوطه حسین‌آباد غالباً قرمز رنگ بوده و دارای نقش می‌باشند. طراحی این سفال‌ها در شکل ۲ قابل مشاهده است. تعداد پنج قطعه از سفال‌های این محوطه به دوره سیلک یک و هفت قطعه به دوره چشمه علی تعلق دارند. اما از هفت قطعه سفال تپه چگینی، تنها یک قطعه سفال به دوره چشمه علی تعلق داشته و باقی متعلق به دوره سیلک ۱ می‌باشند. سفال‌های این محوطه کرم رنگ بوده و به دلیل آنکه فاقد نقش و تزئین می‌باشند، طراحی از آن‌ها صورت نگرفت. پس از پتروگرافی سفال‌ها، اطلاعاتی از ذرات انکلوژیون (ترکیب ذرات، نوع لیتوفابریک، شکل و گستره اندازه ذرات)، خمیره (ترکیب، یکنواختی و رنگ خمیره) و تخلخل (نوع، شکل و اندازه حفرات) به دست آمد که تصاویر و اطلاعات آن‌ها در ادامه ارائه شده است.

(اتمفسر اکسیدکننده‌تر برای تولید سفال کاملاً قرمز) و در نهایت کنترل دقیق‌تر رابطه زمان-دما در طول فرآیند پخت که نیازمند کوره‌های پیشرفته‌تر بود (Marghussian et al., 2017b: 614). شواهد الگوسازی در تجزیه و تحلیل تفکیکی سفال‌های نوع چشمه علی در شمال فلات مرکزی نشان داد که با توجه به شباهت‌های سبکی و سنگ‌نگاری به جای یک محل تولید مرکزی، چندین محل تولید وجود داشته است. استانداردسازی ظاهری (فراگیری سبک) در تولید می‌توانسته در نتیجه تعامل بین منطقه‌ای که ریشه در دوره‌ی نوسنگی متاخر دارد، باشد. دلیل دیگرش تبدیل تولید خانگی به کارگاهی در اواخر دوره نوسنگی به دوره مس‌سنگی انتقالی می‌باشد که همراه با گره خوردن به چرخه عرضه و تقاضا بوده است. ممکن است مصرف‌کنندگان سفال‌هایی مشابه سفال‌های مورد استفاده در مکان‌های همسایه و مناطق همجوار می‌خواسته‌اند (Wong et al., 2010: 24).

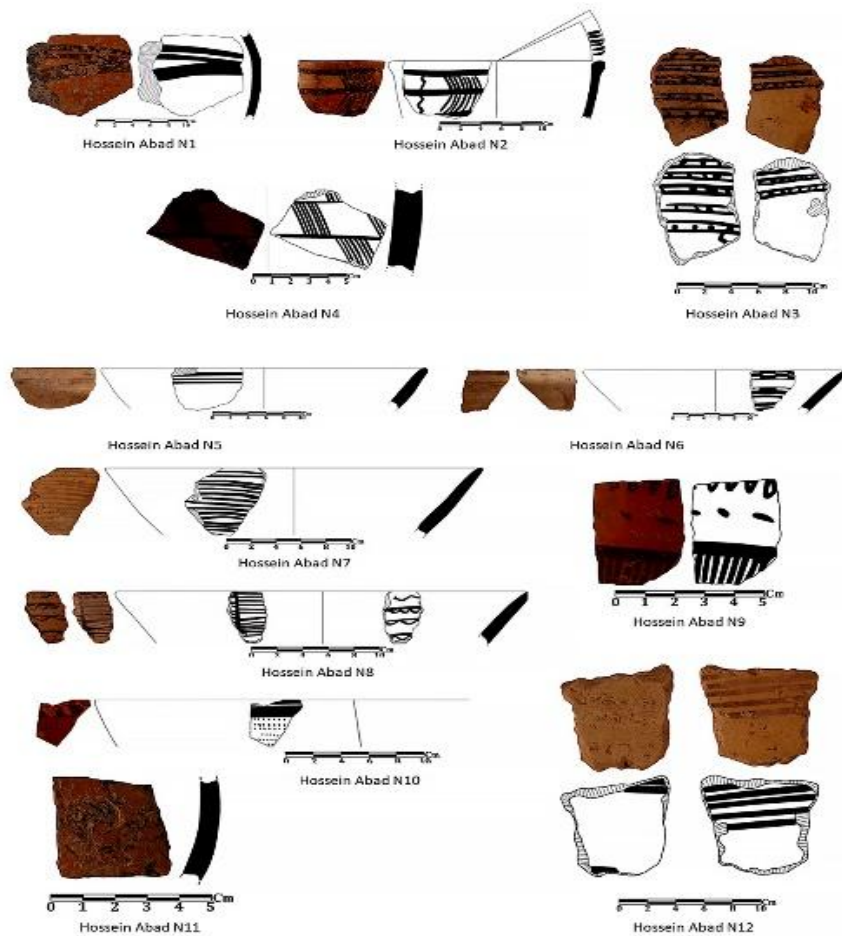
طیف‌سنجی سفال‌های ۶ محوطه در دشت تهران (تپه فکرآباد، تپه مهدیخانی، چاکمک، میمون‌آباد، مافین‌آباد و صادق‌آباد) نشان داد که هر محوطه از منابع رسی مشابه اما مجزا استفاده می‌کرده است. تغییراتی ظریف در ترکیب رس از اواخر نوسنگی تا اواسط دوره مس‌سنگی رخ داده است. تولید سفال در مقیاس محلی انجام شده به استثنای توسعه و اشتراک عرضه به محوطه‌های مهدیکانی و مافین‌آباد در

جدول ۱: سفال‌های مورد بررسی از محوطه‌های باستانی چگینی و حسین‌آباد

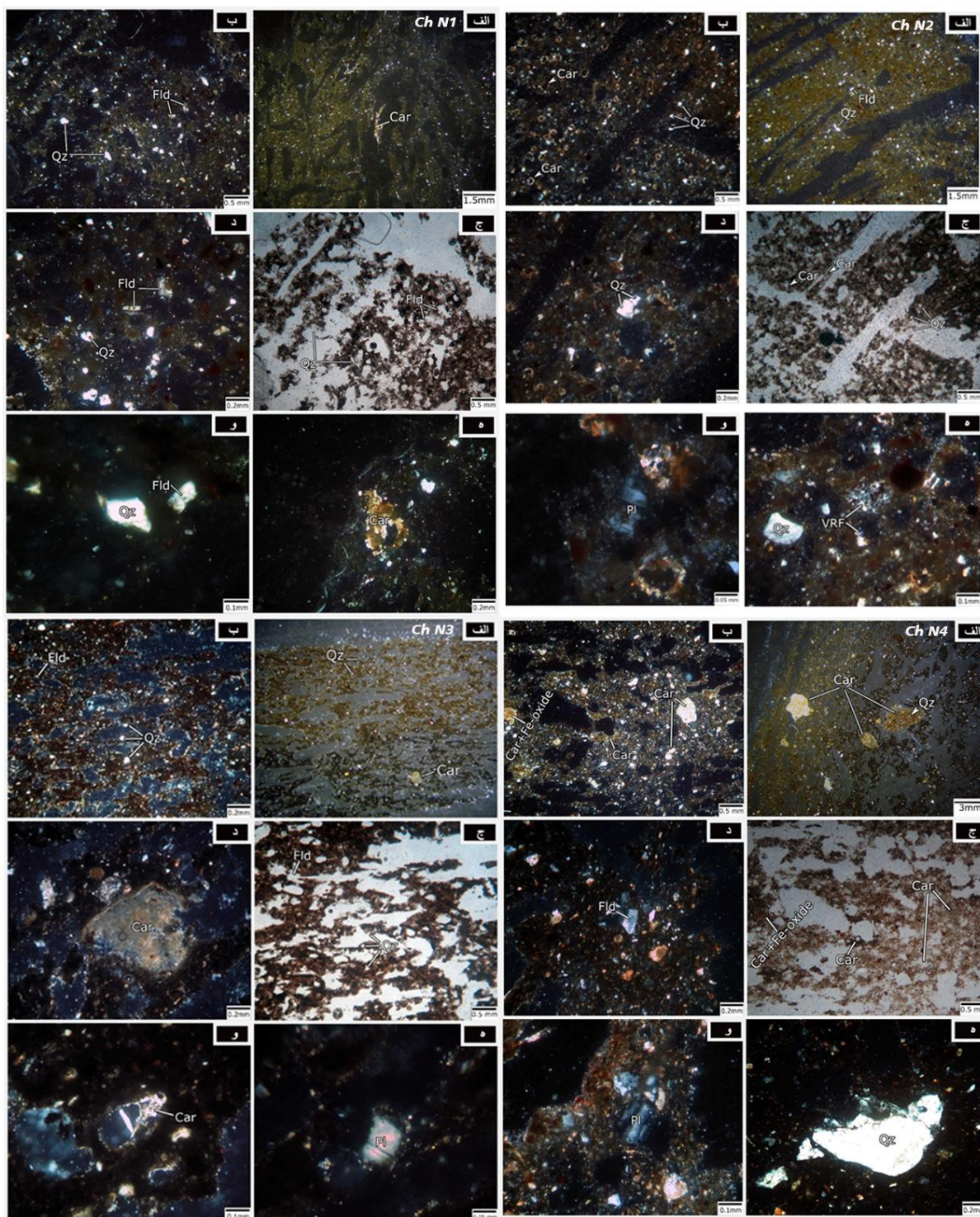
دوره	نام سفال	دوره	نام سفال	دوره	نام سفال	دوره	نام سفال
چشمه علی	Hossein Abad N9	چشمه علی	Hossein Abad N4	سیلک ۱	Chegini N6	سیلک ۱	Chegini N1
چشمه علی	Hossein Abad N10	چشمه علی	Hossein Abad N5	سیلک ۱	Chegini N7	سیلک ۱	Chegini N2
چشمه علی	Hossein Abad N11	سیلک ۱	Hossein Abad N6	چشمه علی	Hossein Abad N1	سیلک ۱	Chegini N3
سیلک ۱	Hossein Abad N12	سیلک ۱	Hossein Abad N7	چشمه علی	Hossein Abad N2	چشمه علی	Chegini N4
		سیلک ۱	Hossein Abad N8	سیلک ۱	Hossein Abad N3	سیلک ۱	Chegini N5



شکل ۲: سفال‌های تپه چگینی



شکل ۳: سفال‌های تپه حسین‌آباد



شکل ۴: Petroگرافی سفال‌های تپه چگینی نمونه‌های ۱ تا ۴

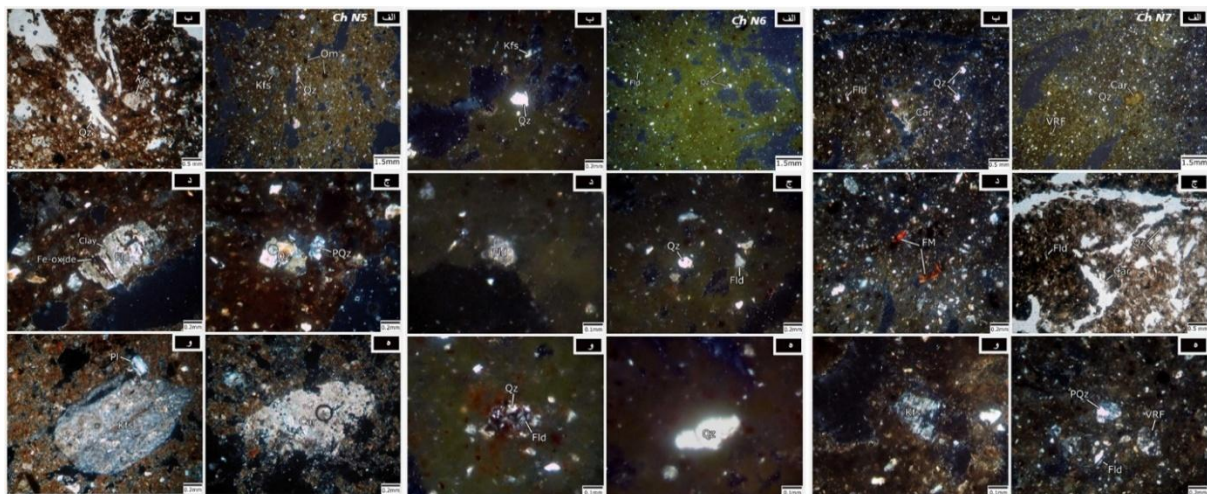
کربنات کلسیم دیده می‌شود؛ به نظر می‌رسد که خمیره به دلیل حرارت نسبتاً بالا تاحدی شیشه‌ای^۱ شده است.

کد نمونه Chegini-N1: این نمونه با خمیره ناهمگن کوارتز - فلدسپاتی است؛ در حاشیه حفرات به صورت ثانویه، تجمع

^۱ vitrified

کد نمونه Chegini-N4: این نمونه در قسمت مرکزی دارای رنگ تیره‌تری نسبت به حاشیه بیرونی است؛ در لیتو فابریک قطعات آهکی میکروکریستالین وجود دارد که در اثر حرارت تغییررنگ داده‌اند؛ خرده‌های کوارتز دارای خاموشی موجی‌اند که احتمالاً از خاستگاه زمین‌شناختی آنها به ارث رسیده است؛ حفرات تخلخل با توزیع نامنظم و تصادفی هستند که داخل برخی از حفرات وزیکولی کربناته شده است؛ این نمونه با خرده‌های کربنات فراوان مشخص می‌شود.

کد نمونه Chegini-N2: این نمونه از نظر تعداد و تراکم ذرات، تراکم زیادی از ذره را به صورت ریزدانه نشان می‌دهد؛ هیچگونه جهت‌یافتگی در ذرات و حفرات قابل مشاهده نیست؛ تمرکز ثانویه کربنات در حاشیه حفرات دیده می‌شود. کد نمونه Chegini-N3: این نمونه دارای فابریک بسیار ریزدانه است. ذرات در حد سیلت، و در ابعاد بزرگتر، هستند که به صورت پراکنده قابل مشاهده است؛ حفرات جهت‌یافتگی بالایی را نشان می‌دهند.

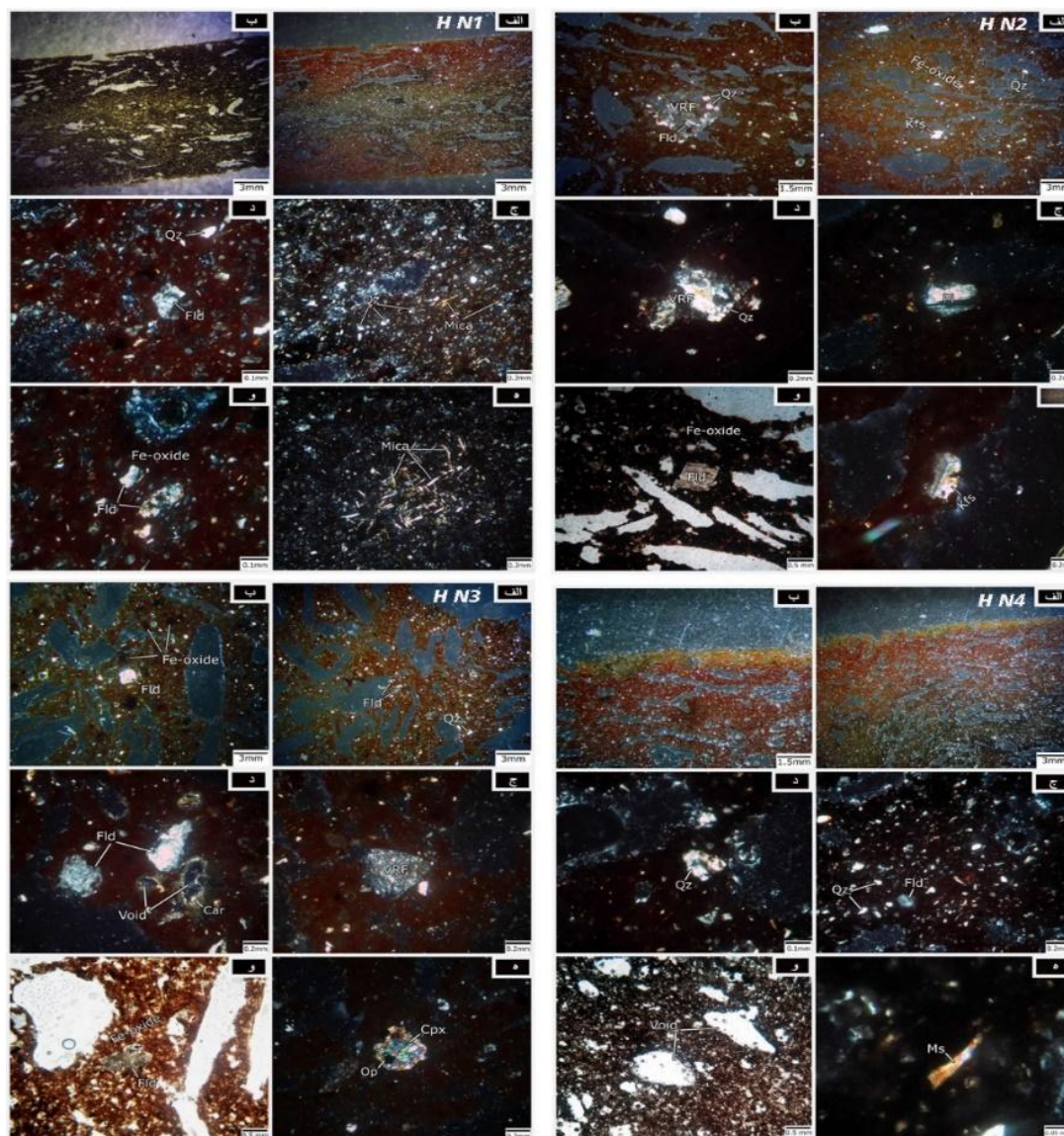


شکل ۵: پتروگرافی سفال‌های تپه چگینی نمونه‌های ۵، ۶ و ۷

کد نمونه Chegini-N6: سفال دارای خمیره یکنواخت و فابریک بسیار ریزدانه است؛ فلدسپاتها اغلب رسی شده‌اند؛ نسبت ماتریکس در این نمونه در مقایسه با حفرات و ذرات بیشتر است.

کد نمونه Chegini-N7: نمونه دارای فابریک بسیار ریزدانه است؛ خمیره سفال دارای ترکیب آهکی است که با تست اسید هیدروکلریک ضعیف نیز تایید شد؛ در حاشیه حفرات، آهک جانشین شده است؛ خرده‌های ریز کانی فرومنیزین با فراوانی کم در نمونه دیده می‌شود که اکسید شده‌اند.

کد نمونه Chegini-N5: این نمونه در قسمت مرکزی دارای رنگ تیره‌تری نسبت به حاشیه بیرونی است؛ نمونه از دو لایه شامل یک لایه تیره رنگ رسی - لایه دوم غنی از کربنات لایه‌ای نخودی رنگ غنی از کربنات که ذرات زیاد پیروکسن به مقدار بسیار کم است، تشکیل شده است؛ خمیره سفال آهکی است که با تست اسید هیدروکلریک رقیق نیز تایید شد؛ فلدسپارهای رسی‌شده در اندازه نسبتاً درشت با ماکل پلی سنتتیک که به صورت نیمه‌گردشده تا نیمه‌زاویه‌دار هستند؛ مسکویت به صورت دانه‌های پراکنده قابل مشاهده است.



شکل ۶: Petroگرافی سفال‌های تپه حسین‌آباد نمونه‌های ۱ تا ۴

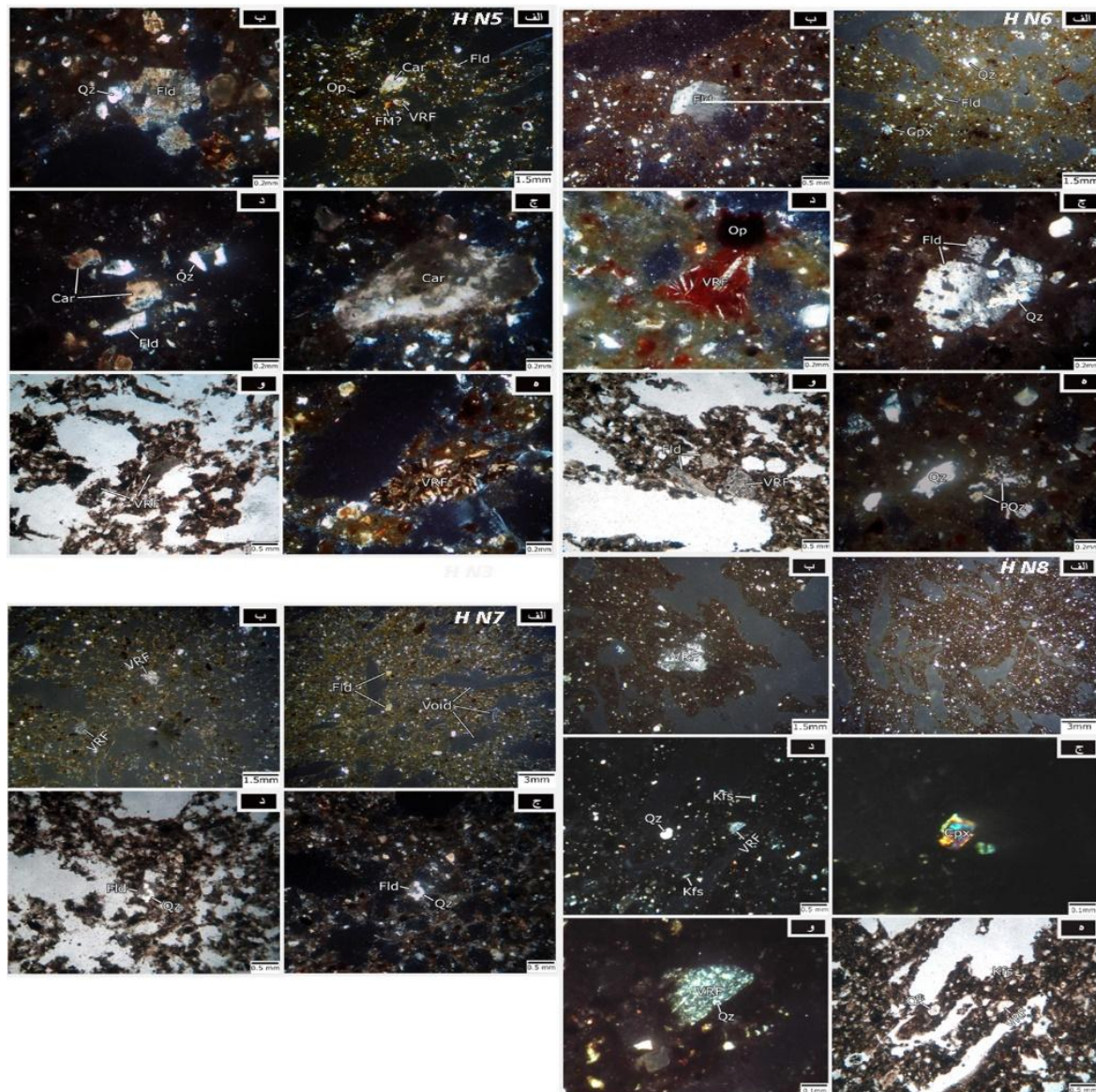
و کوارتز است. حفرات تخلخلی کشیده و نامنظم هستند و در حاشیه حفرات خوردگی دیده می‌شود.

کد نمونه Hossein Abad-N3: سفال دارای خمیره یکنواخت و ریزدانه آجری‌رنگ در زمینه و حاوی خرده‌های لیتیک آذرین ریز تا درشت است؛ از نظر خاستگاه زمین‌شناختی خرده‌ها درحد سنگ‌های حدواسط سرشار از آهن و منیزیم هستند.

کد نمونه Hossein Abad-N4: سفال دارای خمیره یکنواخت و ذرات در اندازه سیلت تا رس است؛ قسمت مرکزی با حاشیه بیرونی سفال دارای تفاوت رنگ از تیره به روشن است؛ حفرات کشیده و نامنظم هستند.

کد نمونه Hossein Abad-N1: سفال دارای خمیره یکنواخت در زمینه و حاوی اجزای سیلیسی است؛ عمده ذرات انکلوژیون شامل کوارتز و فلدسپات ریز است. ذرات و حفرات دارای جهت‌یافتگی در راستای طول سفال است؛ قسمت مرکزی متمایل به خاکستری تیره است که در حاشیه بیرونی در اثر حرارت کافی، رنگ آن از تیره به نارنجی متمایل شده‌است.

کد نمونه Hossein Abad-N2: سفال دارای خمیره یکنواخت ریزدانه در زمینه و خرده‌های لیتیک آذرین نسبتاً درشت است؛ عمده ذرات انکلوژیون شامل خرده‌های فلدسپار



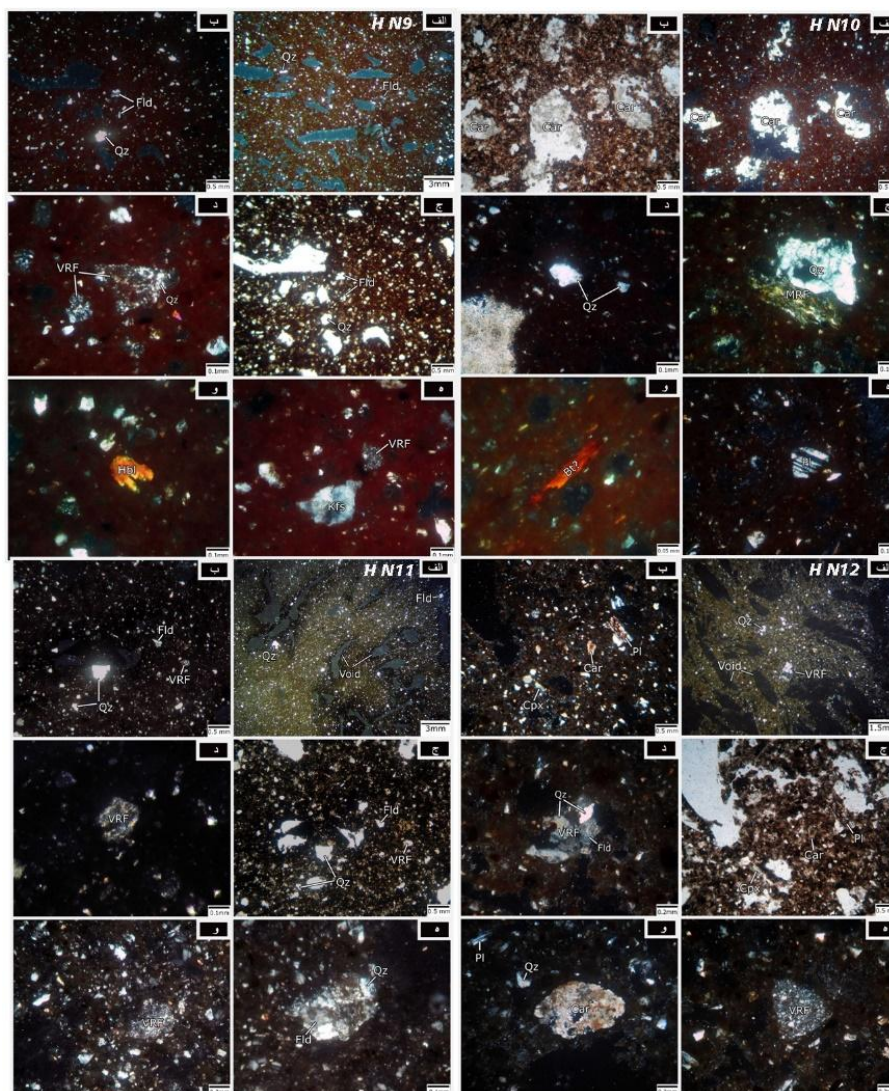
شکل ۷: پتروگرافی سفال‌های تپه حسین آباد نمونه‌های ۵ تا ۸

کد نمونه Hossein Abad-N7: از جمله ویژگی‌های شاخص نمونه، وجود خرده‌های کوارتز - فلدسپاتی آذرین است و به نظر می‌رسد که خاستگاه آنها سنگ‌های آذرین پلوتونیک (درونی) با ترکیب اسیدی مانند گرانیت‌ها است. کد نمونه Hossein Abad-N8: این نمونه با یک خمیره رسی و غنی از اکسیدهای آهن با رنگ تیره به صورت فراگیر مشخص است؛ این نمونه نسبت به سایر نمونه‌ها دارای ذرات بیشتری است.

کد نمونه Hossein Abad-N5: نمونه دارای خمیره ناهمگن حاوی ذرات آهکی درشت است که در زمینه سفال قابل مشاهده است؛ نمونه دارای حفرات صفحه‌ای زیاد نسبت به خمیره و ذرات است؛ آثار حرارت‌دیدگی و تجزیه حرارتی^۲ در خرده‌های سنگی آهکی دیده می‌شود.

کد نمونه Hossein Abad-N6: نمونه مورد نظر با ماتریکس ناهمگن کوارتز - فلدسپاتی حاوی خرده‌های ولکانیکی می‌باشد.

² thermal decomposition



شکل ۷: پتروگرافی سفال‌های تپه حسین‌آباد نمونه‌های ۹ تا ۱۲

درشت هستند و سیلیسی شده‌اند؛ حاشیه حفرات تخلخل به شدت اکسیده و تیره‌رنگ است؛ دو عدد خرده‌سنگ لیتیک درشت پیروکلاستیک یا آذرآواری دیده شده است. کد نمونه Hossein Abad-N12: این نمونه دارای فابریک کوارتز-فلدسپاتی و آهکی است که با تست اسید نیز تایید شده است؛ خرده‌های گرانیتی در نمونه دیده می‌شود.

تخلخل: حفرات و فضای خالی موجود

حفره‌ها همان فضاهای خالی داخل مقاطع نازک هستند که خلل و فرج درون ظروف سفالی را به وجود می‌آورند. منفذها جزو ویژگی‌های اصلی سفال‌ها هستند و بر خواص فیزیکی خاصی مانند وزن، مقاومت، هدایت حرارتی، نفوذ پذیری و

کد نمونه Hossein Abad-N9: این نمونه با رنگ یکنواخت قرمز آجری دارای زمینه رسی و غنی از اکسیدهای آهن است؛ فلدسپات نوع پلاژیوکلاز (سیلیکات سدیم و کلسیم دار) در این نمونه از کوارتز بیشتر است.

کد نمونه Hossein Abad-N10: این نمونه با رنگ قرمز آجری و زمینه رسی و به شدت آغشته به اکسیدهای آهن مشخص می‌شود؛ فابریک نمونه به طور کلی ریزدانه است. خرده‌های کربنات درشت‌تر از بقیه ذرات است. حفرات توسط کربنات‌های ثانویه پر شده‌اند؛ خرده‌سنگ دگرگونی شیستی حاوی بلور درشت کوارتز در نمونه دیده شده است.

کد نمونه Hossein Abad-N11: این نمونه دارای فابریک کوارتز-فلدسپاتی ریزدانه است؛ خرده‌های فلدسپات نسبتاً

محوطه را در مقایسه با سفال‌های محوطه چگینی نشان می‌دهد. در مقابل، مقایسه میزان اندازه حفرات موجود در نمونه سفال‌های محوطه حسین‌آباد با یکدیگر، طی دو دوره نوسنگی و مس‌سنگی انتقالی، تفاوت چندانی را نشان نمی‌دهد. حفرات ممکن است در مواد اولیه به کار رفته در تولید سفال وجود داشته باشند یا طی دوره‌های مختلف تاریخ زندگی اثر به وجود بیایند. وجود حفرات ریز در سرتاسر ماتریکس تقریباً طبیعی است. حفرات بزرگ‌تر ممکن است ناشی از بسته نشدن شکاف‌های موجود بین خورده‌های همجوار گل رس در طول ساخت شی سفالی باشند. هنگام تا کردن گل در زمان ورزدهی ممکن است هوا داخل آن بماند و پس از پخته شدن سفال، به صورت منافذ یا حفرات ظاهر شود. حفرات هنگام خشک شدن سفال در نتیجه انقباض گل رس بر اثر تبخیر آب نیز شکل می‌گیرند. در حین پخت سفال، حفرات ممکن است به روش‌های مختلفی تشکیل شوند. حفره‌های ایجاد شده بر اثر تخریب مواد آلی، اغلب دارای حاشیه سیاه و شکل کشیده خاصی هستند. ممکن است انکلوژیون‌های آهکی نیز در حین پخت تجزیه شوند و حفرات کاذبی برجای بماند (سین کوپین، ۱۳۹۹: ۷۶ و ۷۷).

عایق بودن تاثیر می‌گذارند (سین کوپین، ۱۳۹۹: ۳۷). بررسی فضاهای خالی موجود در خمیره سفال‌ها می‌تواند در تحلیل کیفیت ساخت آنها مفید باشد. زیرا با ورز دادن بیشتر و خروج حباب‌های خمیره سفال، کیفیت سفال نیز افزایش می‌یابد (علیرضا زاده نودهی و همکاران، ۱۳۹۹). نوع حفرات موجود در سفال‌های محوطه حسین‌آباد و چگینی، غالباً صفحه‌ای و کروی شکل می‌باشند. اندازه حفرات در هر دو محوطه غالباً متوسط، درشت و بزرگ است. دامنه نوسان اندازه حفرات در محوطه حسین‌آباد از ۰/۰۵ میلی‌متر در نمونه شماره چهار تا ۸/۵ میلی‌متر در نمونه شماره پنج متغیر است (جدول ۳). دامنه این نوسان در نمونه سفال‌ها محوطه چگینی از ۰/۰۵ میلی‌متر در نمونه شماره شش تا ۶ میلی‌متر در تعداد زیادی از نمونه‌ها متغیر می‌باشد (جدول ۲). مقایسه میانگین اندازه حفرات در نمونه سفال‌های این دو محوطه نشان می‌دهد که مقدار میانگین اندازه کوچکترین حفرات در نمونه‌های محوطه حسین‌آباد (۰/۱۸۹ میلی‌متر)، حدوداً به اندازه یک دوم همین شاخص در محوطه چگینی (۰/۳۶۴ میلی‌متر) می‌باشد. کم‌تر بودن میزان این حفرات در نمونه سفال‌های محوطه حسین‌آباد، کیفیت بالاتر سفال‌های این

جدول ۲: ویژگی حفرات و فضاهای خالی موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه چگینی

دوره	سفال‌های محوطه چگینی								شاخص‌های آماری		
	سیلک I	سیلک I	سیلک I	چشمه علی	سیلک I	سیلک I	سیلک I	سیلک I			
کد نمونه های سفال	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N7	کم ترین	بیشترین	میانگین
بزرگ ترین حفرات (میلیمتر)	۴.۲	۵	۶	۵	۶	۵	۶	۶	۴.۲	۵.۳۱۴۲۸۶	
کوچک ترین حفرات (میلیمتر)	۰.۱	۰.۵	۰.۷	۰.۷	۰.۴	۰.۰۵	۰.۱	۰.۷	۰.۰۵	۰.۳۶۴	

جدول ۳: ویژگی حفرات و فضاهای خالی موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه حسین‌آباد

دوره	سفال‌های محوطه حسین‌آباد												شاخص‌های آماری		
	چشمه علی	چشمه علی	سیلک I	چشمه علی	چشمه علی	سیلک I	سیلک I	سیلک I	چشمه علی	چشمه علی	چشمه علی	سیلک I			
کد نمونه های سفال	N1	N2	N3	N4	N5	N6	N7	N8	N9	N10	N11	N12	کم ترین	بیشترین	میانگین
بزرگ ترین حفرات (میلیمتر)	۲.۵	۷	۶	۴	۸.۵	۶	۴	۳.۷	۶	۳	۲.۵	۵	۲.۵	۸.۵	۴.۸۵
کوچک ترین حفرات (میلیمتر)	۰.۰۶	۰.۰۶	۰.۱	۰.۰۵	۰.۱۲	۰.۱۹	۰.۱	۰.۰۷	۰.۹	۰.۱	۰.۱۲	۰.۴	۰.۰۵	۰.۹	۰.۱۸۹

رسوب شناسی است که بر تیز بودن گوشه‌های ذرات دلالت دارد. انکلوژیون‌های گوشه‌دار، لبه‌های تیزی دارند اما لبه‌های نمونه‌های گرد، صاف است. انکلوژیون‌ها در یک

انکلوژیون‌ها: شکل و اندازه ذرات

تهیه گزارشی از ویژگی‌های کلی انکلوژیون‌ها بسیار مفید است. گرد و زاویه دار بودن از ویژگی‌های شکل دانه‌ها در

زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده هستند (جدول ۴). هر دو نمونه دارای ذرات زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده متعلق به دوره سیلک I بوده و تک قطعه سفالی چشمه علی، دارای ذرات نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده می‌باشد. فراوانی ذرات نیمه زاویه دار نسبت به ذرات زاویه دار در نمونه سفال‌های این محوطه، نشان دهنده آن است که مواد اولیه ساخت سفال نسبت به منشا خود تا حدودی فاصله نسبتاً زیادی داشته و عامل فرسایش طی فرایند جا به جایی و حمل نهشته‌ها رسوبی، سبب تغییر ذرات از حالت زاویه دار به حالت نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده گشته‌اند. اما بررسی سفال‌های محوطه حسین‌آباد نشان داد که از تعداد ۱۲ قطعه سفال مورد بررسی، تعداد شش قطعه دارای ذرات نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده بوده و در شش قطعه دیگر، ذرات به صورت زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده هستند (جدول ۵). از مجموع این ۱۲ قطعه سفال، تعداد ۵ قطعه متعلق به دوره سیلک I بوده که سه قطعه از آنها دارای ذرات زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده و دو قطعه دیگر دارای ذرات نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده هستند.

با نگاهی به نتایج به دست آمده از میزان زاویه دار بودن ذرات در دو محوطه می‌توان اینگونه نتیجه گرفت احتمالاً غالب سفال‌های محوطه چگینی از یک منبع تهیه شده‌اند. به بیان دیگر، مواد اولیه جهت تولید سفال‌های محوطه چگینی از یک مکان به دست می‌آمده‌است. اما پراکندگی داده‌های به دست آمده از بررسی سفال‌های محوطه حسین‌آباد، به گونه‌ای دیگر است زیرا پنجاه درصد نمونه‌ها دارای انکلوژیون‌هایی به صورت نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده بوده و در پنجاه درصد دیگر نمونه‌ها، ذرات به صورت زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده هستند. به همین دلیل، اینگونه متصور می‌شود که احتمالاً مواد اولیه جهت تولد سفال‌های این محوطه، دست کم از دو نقطه‌ی مجزا تهیه شده است.

فابریک سفالی از درجه‌های گوناگونی از گردی و زاویه دار بودن برخوردارند. شکل دانه‌ها در هنگام حمل و نقل تغییر حاصل می‌کند و این تغییرات به ترکیب شیمیایی یا کانی‌شناسی، اندازه، شکل اولیه، مسافت حمل شده و میزان سایش، خوردگی و یا حل شدگی دانه بستگی دارد. اگر دانه از یک یا چند کانی تشکیل شده باشد و یا به صورت خورده سنگ باشد، در هنگام حمل و نقل زودتر تخریب حاصل کرده و شکل و اندازه آن تغییر می‌کند. زیرا هر قدر دانه از مقاومت میکانیکی و ثبات شیمیایی بیشتری برخوردار باشد، شکل آن آهسته‌تر تغییر می‌کند که این خود بستگی به ترکیب شیمیایی دانه دارد. اندازه در تغییر شکل دانه موثر است. برای مثال شکل دانه‌های درشت‌تر در هنگام حمل و نقل بر اثر فرایند سایش زودتر از دانه‌های ریز تر تغییر می‌کند. فرایند سایش به ندرت بر روی ماسه‌های خیلی ریز و سیلت اثر می‌گذارد. هر قدر مسافتی که دانه حمل می‌شود بیشتر باشد، اندازه و شکل آن بر اثر سایش و خوردگی و یا انحلال بیشتر تغییر می‌کند، زیرا دانه مدت زمان بیشتری را در تماس با کف بستر و یا دانه‌های در حال حمل می‌باشد. ضمناً اگر سنگ‌های کف بستر دارای سختی بیشتری از دانه باشند، میزان سایش زیادتر بوده و شکل دانه بیشتر تغییر پیدا می‌کند. مکانیزم‌هایی که عموماً در هنگام حمل و نقل باعث تغییر شکل و اندازه دانه می‌شوند شامل تقسیم شدن، شکست ورقه‌ای، سایش، سایش به وسیله سبقت دانه‌های ماسه از یکدیگر، ترک برداشتن، علائم ضربه‌ای و تخریب شیمیایی یا انحلال می‌باشند. به طور کلی اهمیت این مکانیزم‌ها در تغییر شکل دانه بستگی به عامل حمل و نقل (آب، باد، یخ) و چگونگی حمل دانه‌ها دارد (موسوی حرمی، ۱۳۸۹: ۸۳ و ۸۴).

بررسی سفال‌های محوطه باستانی چگینی نشان داد که از مجموع هفت قطعه سفال، در پنج نمونه، انکلوژیون‌ها به صورت نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده و در دو نمونه، به صورت

جدول ۴: شکل و گستره اندازه ذرات موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه چگینی

شکل ذرات				
نام سفال	دوره	گستره اندازه ذرات (mm)	زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده	نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده
Chegini N1	سیلک I	۰.۳ - ۰.۰۲		*
Chegini N2	سیلک I	۰.۱۷ - ۰.۰۲		*
Chegini N3	سیلک I	۰.۳۲ - ۰.۰۷		*
Chegini N4	چشمه علی	۰.۲۲ - ۰.۰۲		*
Chegini N5	سیلک I	۰.۴۵ - ۰.۰۳		*
Chegini N6	سیلک I	۰.۲ - ۰.۱۷	*	
Chegini N7	سیلک I	۰.۲ - ۰.۱۷	*	
میانگین گستره اندازه ذرات (mm)		۰.۲۶ - ۰.۰۷		

جدول ۵: شکل و گستره اندازه ذرات موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه حسین‌آباد

شکل ذرات				
نام سفال	دوره	گستره اندازه ذرات (mm)	زاویه دار و نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده	نیمه زاویه دار تا نیمه گرد شده
Hossein Abad N1	چشمه علی	۰.۱۳ - ۰.۰۱	*	
Hossein Abad N2	چشمه علی	۰.۳۵ - ۰.۰۳		*
Hossein Abad N3	سیلک I	۰.۷ - ۰.۰۲		*
Hossein Abad N4	چشمه علی	۰.۴ - ۰.۰۳	*	
Hossein Abad N5	چشمه علی	۰.۵ - ۰.۰۲		*
Hossein Abad N6	سیلک I	۰.۲ - ۰.۰۲	*	
Hossein Abad N7	سیلک I	۰.۷ - ۰.۰۵	*	
Hossein Abad N8	سیلک I	۰.۶ - ۰.۰۵	*	
Hossein Abad N9	چشمه علی	۰.۴ - ۰.۰۷		*
Hossein Abad N10	چشمه علی	۰.۱۶ - ۰.۰۶	*	
Hossein Abad N11	چشمه علی	۰.۳ - ۰.۰۳		*
Hossein Abad N12	سیلک I	۰.۳۵ - ۰.۰۴		*
میانگین گستره اندازه ذرات (mm)		۰.۳۹ - ۰.۰۲		

بررسی ذرات انکلوژیون از منظر منشایی و برآورد حرارت پخت سفال

منابع مختلف گل و انواع مختلف سنگ در هر منطقه‌ای با مناطق دیگر تفاوت دارد، تعیین ویژگی‌های زمین‌شناختی سفال‌ها را به ویژه از طریق مطالعه مقاطع نازک پتروگرافی، می‌توان ابزار قدرتمندی جهت تعیین منشأ آن‌ها تلقی کرد (سین کوپین، ۱۳۹۹: ۱۲۸). همچنین مقایسه ترکیبات معدنی سفال‌های مختلف، کلیدی برای درک بهتر جریان‌های تجاری و مهاجرت‌های گذشته است. نوع

از جمله اصول بنیادین در تعیین منشأ سفال‌ها از طریق مقطع نازک آن است که پتروگرافی مصنوعات با ویژگی‌های زمین‌شناختی منطقه محل ساخت آن‌ها ارتباط دارد. چنین محلی را می‌توان منشأ زمین‌شناختی آن نمونه یا فابریک نامید. به دلیل اینکه زمین‌شناسی و به تبع آن احتمال وجود

کوارتز - فلدسپاتی بوده (تعداد هشت مورد از نمونه‌ها) که شش مورد از آن‌ها متعلق به دوره مس‌سنگی انتقالی و دور مورد دیگر متعلق به دوره نوسنگی می‌باشد. اما تعداد چهار نمونه از سفال‌ها دارای لیتوفابریکی متفاوت است. سه مورد آن‌ها سفال دوره نوسنگی بوده که لیتوفابریک آن‌ها کوارتز - فلدسپاتی و ولکانیکی، کوارتز - فلدسپاتی و پلوتونیک و در نهایت سیلیکاتی هستند. یک نمونه از این سفال‌ها نیز سفال چشمه‌علی بوده که دارای لیتوفابریک آهکی - سیلیکاتی است. قرارگیری محوطه حسین‌آباد در زیرحوضه آبخیز تهران - کرج که نسبت به زیرحوضه آبخیز هشتگرد وسیع‌تر است می‌تواند از جمله دلایل تنوع بیشتر لیتوفابریک در نمونه سفال‌های این زیرحوضه آبخیز باشد. زیرا وسعت بیشتر این زیرحوضه، تنوع بیشتر ویژگی‌های زمین‌شناختی و لیتولوژیکی را به ارمغان آورده است.

لیتوفابریک در نمونه‌های محوطه چگینی تقریباً یکسان و مشابه یکدیگر، به صورت کوارتز - فلدسپاری بوده که می‌تواند نشان‌دهنده منشأ یکسان مواد اولیه سفال‌های مورد مطالعه از این محوطه باشد (جدول ۶). فلدسپات‌ها فراوان‌ترین گروه کانی‌ها به شمار می‌آیند و بیش از ۵۰ درصد پوسته زمین را تشکیل داده‌اند. کوارتز نیز دومین کانی فراوان در پوسته قاره‌ای و تنها کانی ساخته شده از سیلیسیم و اکسیژن است (Marghussian et al., 2017a). تنها تک قطعه سفال که احتمالاً از نوع چشمه‌علی می‌باشد، دارای لیتوفابریک متفاوتی (آهکی سیلیکاته) است. در لیتوفابریک این نمونه، قطعات آهکی میکروکریستالین وجود دارد که در اثر حرارت تغییر رنگ داده‌اند. نوع لیتوفابریک در محوطه حسین‌آباد نسبت به محوطه چگینی، دارای تنوع و تفاوت بیشتری است (جدول ۷). نوع لیتوفابریک قالب در سفال‌های این محوطه،

جدول ۶: لیتوفابریک و ترکیب ذرات موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه چگینی

ترکیب ذرات انکلوژیون	نوع لیتوفابریک	دوره	نام سفال
بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های پلاژیوکلاز، فلدسپار آلکالن، پیروکسن	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N1
بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های پلاژیوکلاز، آلکالن، پیروکسن.	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N2
بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های لیتیک آهکی میکروکریستالین، خرده‌های پلاژیوکلاز، خرده‌های رسی - شده، پیروکسن، میکا و مسکویت بسیار کم	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N3
بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های لیتیک میکروکریستالین، خرده‌های آهکی - سیلیتی، خرده‌های ماسه - ای	آهکی - سیلیکاتی	چشمه علی	Chegin N4
خرده‌های کوارتز و فلدسپار، خرده‌های میکروولیتی - شیشه - ای ولکانیکی، خرده‌های پلاژیوکلاز با ماکل پلی - سنتتیک، خرده‌های ولکانیکی، مسکویت	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N5
کوارتز، فلدسپار، خرده‌های لیتیک میکروکریستالین	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N6
کوارتز، فلدسپار بدون ماکل و با ماکل دوتایی، خرده‌های لیتیک میکروکریستالین، خرده‌های ریز میکا، ذرات معدود پیروکسن	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Chegin N7

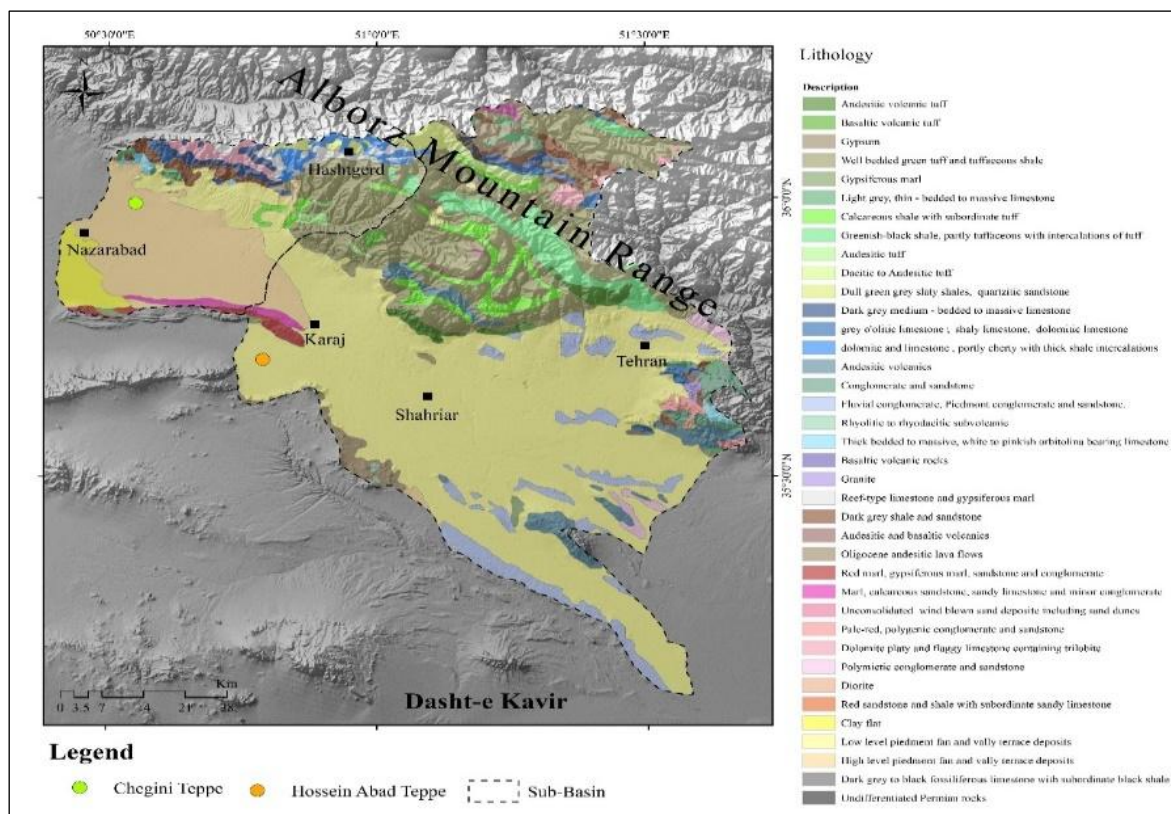
جدول ۷: لیتوفابریک و ترکیب ذرات موجود در سفال‌های مورد بررسی از محوطه حسین‌آباد

ترکیب ذرات انکلوزیون	نوع لیتوفابریک	دوره	نام سفال
کوارتز، فلدسپار، پولک‌های ریز میکا و مسکویت	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N1
غنی از فلدسپار، خرده‌های ریز کوارتز، ذرات میکروکریستالین و خرده‌های کربنات	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N2
غنی از فلدسپارهای بدون ماکل و پلی سنتتیک که برخی از آنها رسی و دگرسان شده‌اند، فلدسپار پلاژیوکلاز، کوارتز، گارنت؟، پیروکسن	سیلیکاتی	سیلک I	Hossein Abad N3
خرده‌های ریز کوارتز و فلدسپار شامل پلاژیوکلاز با ماکل پلی-سنتتیک، فلدسپار آلکالن، خرده‌های لیتیک کریپتوکریستالین تا میکرو کریستالین پراکنده، ذرات کانی فرومنیزین ریز در حد مسکویت	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N4
خرده‌های آهکی، کوارتز و فلدسپار، خرده‌های لیتیک میکرو کریستالین، خرده‌های لیتیک بازالتی شامل بلورهای فلدسپار با زمینه شیشه‌ای-آپاسیت، پیروکسن	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N5
خرده‌های کوارتز و فلدسپار شامل پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالن، فلدسپارهای رسی-شده، خرده‌های بازالتی پراکنده، پیروکسن	کوارتز - فلدسپاری و ولکانیک	سیلک I	Hossein Abad N6
قطعات فابریک درشت-دانه شامل خرده‌های میکرو کریستالین، بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های پلاژیوکلاز با ماکل پلی-سنتتیک و فلدسپار آلکالن رسی-شده	کوارتز - فلدسپاری و پلوتونیک	سیلک I	Hossein Abad N7
خرده‌های لیتیک میکروکریستالین، بلورهای کوارتز و فلدسپار، خرده‌های پلاژیوکلاز با ماکل پلی سنتتیک، فلدسپار آلکالن	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Hossein Abad N8
خرده‌های بلوری کوارتز و فلدسپار، خرده‌های لیتیک کریپتوکریستالین تا میکروکریستالین، خرده‌های آهکی، آمفیبول نوع هورنبلند به صورت معدود	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N9
خرده‌های کوارتز و فلدسپار با ماکل پلی سنتتیک، ذرات متاولکانیک، پولک‌های ریز میکا، خرده‌های آهکی، هورنبلند و بیوتیت	آهکی-سیلیکاتی	چشمه علی	Hossein Abad N10
خرده‌های کوارتز و فلدسپار، پولک‌های ریز میکا به صورت پراکنده، ذرات معدود هورنبلند	کوارتز - فلدسپاری	چشمه علی	Hossein Abad N11
خرده‌های کوارتز-فلدسپار گرانیتی، فلدسپار بدون ماکل و با ماکل پلی سنتتیک، خرده‌های لیتیک میکروکریستالین، ذرات پراکنده هورنبلند	کوارتز - فلدسپاری	سیلک I	Hossein Abad N12

هشتگرد که محوطه چگینی در آن واقع شده است، نشان داد که تمامی سفال‌های مورد مطالعه منشأ محلی دارند، به این معنا که مواد اولیه جهت تولید سفال از همان زیرحوضه تأمین گشته است. اما دلیل آنکه میزان کانی‌ها در آن‌ها متفاوت است، می‌تواند به علت آن باشد که مواد اولیه دقیقاً از یک نقطه یا مکان مشخص تأمین نگشته است. همچنین تفاوت زمانی در ساخت سفال‌ها از دیگر دلایل تفاوت میزان فراوانی کانی‌های مختلف در نمونه سفال‌های مورد مطالعه می‌باشد.

در تمام نمونه‌های سفال محوطه چگینی و همچنین محوطه حسین‌آباد، کانی کوارتز یافت می‌شود و ممکن است از این کانی به عنوان تمپر در ساخت سفال استفاده شده باشد. زیرا یکی از روش‌های بهبود خواص فیزیکی سفال، افزودن کوارتز به ترکیب آن است که باعث افزایش استحکام و کاهش احتمال ترک‌خوردگی می‌شود.

بررسی ترکیب ذرات انکلوزیون و تطبیق آن با ویژگی‌های زمین‌شناختی (شکل ۹) زیرحوضه آبخیز تهران کرج که محوطه حسین‌آباد در آن واقع شده و زیرحوضه آبخیز



شکل ۹: نقشه زمین‌شناسی زیرحوضه‌های آبخیز هشتگرد و تهران-کرج

آب که با شبکه رس پیوند شیمیایی دارند، خارج شده و سرعت این واکنش به نوع رس بستگی دارد. در نهایت تا دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد، همه آب شیمیایی خارج می‌شود. در حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، کلسیت تجزیه شده و سایر ناخالصی‌های رس شامل کربنات‌ها مانند دولومیت، سولفات‌ها مانند ژیپس و آهن سولفید مانند پیریت و مارکاسیت در دمای بین ۵۰۰ تا ۸۰۰ درجه خارج می‌شوند. در دمای بالاتر از ۹۵۰ درجه، اسپینل و مولیت تشکیل می‌شوند. از حدود ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد، شیشه‌ای شدن با ذوب ناخالصی‌ها آغاز می‌شود. یکی از معمول‌ترین ناخالصی‌ها که به عنوان کمک ذوب به خمیر رس افزوده می‌شود، فلدسپات است. فلدسپات‌های سدیمی خالص در دمای ۱۱۱۸ درجه سانتی‌گراد و فلدسپات‌های پتاسیمی خالص در دمای ۱۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شوند (دورعلی و بحرالعلومی، ۱۳۷۸).

اما در مطالعات سنت سفال‌های پیش از تاریخ، برای مشخص کردن پخت مناسب و یا نامناسب، مغز سفال‌ها مورد

شاید بتوان گفت، مهم‌ترین بخش از روند تولید سفال، فرایند پخت است که خاک را به محصولی مقاوم و مستحکم با عنوان کلی سفال تبدیل می‌کند. فرایند پخت، به ماهیت مواد اولیه، واکنش‌ها و انتقال مواد بین کانی‌ها - زمانی که تا دمای معینی حرارت می‌بینند بستگی دارد. تغییرات فازی (مانند جدایش، تجزیه، جانشینی و رشد کانی‌های جدید) در سطح مشترک کانی‌ها و ماتریکس یا دانه‌ها با یکدیگر انجام می‌شود. تغییرات دمای بالا- فشار پائین براساس عواملی همچون دانه‌بندی، ترکیب شیمیایی و مینرالی خاک مورد استفاده و دانه‌های تمپر، دمای پخت، مدت زمان ماندگاری در حداکثر دمای پخت، سرعت حرارت دهی و اتمسفر کوره اتفاق می‌افتد (امامی و نوقانی، ۱۳۹۲). در دمای بین ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، بدنه سفالی کاملاً خشک شده و مولکول‌های آب موجود در فضای بین ذرات رس خارج می‌شوند. از ۲۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، کربن و سایر مواد آلی موجود در رس شروع به اکسایش کرده و به صورت CO یا CO₂ خارج می‌شود. با افزایش دمای کوره، مولکول‌های

دمای پخت سفال هیچ گاه از ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تجاوز نکرده است زیرا از این دما به بالاتر، فلدسپات‌ها شروع به ذوب کردن می‌نمایند. نمونه‌های شماره یک و چهار از محوطه حسین‌آباد و چهار و پنج از محوطه چگینی، در مرکز دارای رنگ تیره تری نسبت به حاشیه بیرونی هستند. زمان ماندگاری و تخلخل بدنه رسی در هنگام پخت بر نفوذ اکسیژن و خروج کربن تاثیر می‌گذارد. نفوذ یا خروج ناکافی گازها ممکن است سبب اختلاف در واکنش مواد آلی و آهن دار حاشیه‌ها و هسته بدنه سفال و ایجاد تفاوت رنگ ناشی از پخت در آن‌ها شود. رنگ خاکستری تیره یا سیاه هسته و رنگ نارنجی، قرمز یا قهوه‌ای حاشیه‌های یک سفال را می‌توان نشانه ناکافی بودن زمان پخت دانست که در نتیجه آن، اکسیژن کافی برای از بین بردن کربن به بدنه سفال نفوذ نکرده است. مزر بین هسته و حاشیه عموماً واضح نیست (سین کوپین، ۱۳۹۹: ۱۹۴).

نتیجه‌گیری

در محوطه چگینی با توجه به گونه‌ی سفال‌ها، زمختی و حالت خشن و پخت آنها به نظر می‌رسد که عموماً مربوط به دوره نوسنگی و یک مورد مربوط به دوره انتقالی مس سنگی انتقالی است و از این نظر قدمت محوطه‌ی چگینی شاید به نیمه دوم هزاره هفتم برسد و احتمالاً قدیمی ترین محوطه باستانی در استان البرز است. در محوطه حسین‌آباد با توجه به سفال‌ها و مصنوعات سنگی جمع‌آوری شده از لحاظ زمانی این محوطه را می‌توان به دو دوره سیلک I و II نسبت داد. مجموعه سفالی سیلک I بیشتر در بخش جنوبی تپه و مجموعه سیلک II بطور میانگین در نیمه شمالی تپه دارای تراکم بیشتری بوده است.

در تمامی نمونه سفال‌ها حضور کانی کوارتز به عنوان یکی از اجزای تشکیل‌دهنده خمیر سفال مشهود است. این امر احتمال استفاده از کوارتز به عنوان آمیزه (تمپر) در فرآیند ساخت سفال را تقویت می‌نماید. افزودن کوارتز به خمیر سفال، منجر به بهبود خواص فیزیکی محصول نهایی از جمله افزایش استحکام مکانیکی و کاهش ترک‌خوردگی

مشاهده قرار می‌گیرد. اگر در مغز آنها رگه‌های سیاه مشاهده نشود، پخت، مناسب و در غیر این صورت، پخت، نامناسب در نظر گرفته می‌شود (طالابی و همکاران، ۱۳۸۸). کربنات‌ها باتوجه به درجه حرارت تجزیه و حساسیت نسبت به محیط‌های اسیدی و رطوبت، از فازهای دارای قابلیت واکنش‌پذیری بالا در ساختار سفال‌های تاریخی هستند. منشأ این ترکیبات می‌تواند ناشی از منبع خاک مورد استفاده برای تهیه سفال، سنگ آهک و مرمر و یا تنوع گسترده‌ای از میکروفسیل‌ها و ترکیباتی چون پوسته صدف باشد (Riedderer, 2004). این اجزا می‌توانند به صورت آگاهانه (به عنوان آمیزه) ازسوی سفالگر به ترکیب مواد اولیه تولید سفال، افزوده شده و یا ناخواسته و ناآگاهانه، به دلیل حضور در خاک، وارد ترکیب مینرالی سفال شوند (امامی و نوغانی، ۱۳۹۲).

نتایج پتروگرافی نشان می‌دهد که از مجموع ۱۲ نمونه سفال محوطه حسین‌آباد، سفال‌های شماره دو، پنج، نه و ده، دارای خرده‌های آهک بوده و همچنین نمونه شماره ۱۱ دارای فابریک آهکی است. این امر، بیانگر حرارت دهی کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برای این نمونه‌های سفال می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها مانند نمونه شماره پنج، کربنات حرارت دیده و تیره گردیده و به‌طور بخشی تجزیه شده اما به صورت کامل از بین نرفته است. با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناختی زیرحوضه آبخیز تهران کرج و وجود سازندهای کربناته، اینگونه می‌توان نتیجه گرفت که عدم وجود کربنات کلسیم در سایر نمونه سفال‌های این محوطه نشان دهنده حرارت دهی بالای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد برای سایر سفال‌ها است. در محوطه چگینی نیز، از مجموع هفت سفال، وجود کربنات کلسیم در نمونه‌های شماره سه و چهار، و همچنین فابریک آهکی در نمونه‌های شماره پنج و هفت، دمای پخت کمتر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهد. نسبت فراوانی بیشتر کربنات کلسیم در نمونه سفال‌های محوطه چگینی نسبت به محوطه حسین‌آباد، نشان دهنده حرارت دیدگی بیشتر سفال‌های محوطه حسین‌آباد می‌باشد. وجود فلدسپات در تمامی نمونه سفال‌های هر دو محوطه نشان می‌دهد که

مواد اولیه در طول زمان مورد استفاده قرار گیرد. تنوع بیشتر لیتوفابریک در سفال‌های محوطه حسین‌آباد نسبت به چگینی، نشان‌دهنده دسترسی ساکنان آن به منابع متنوع‌تری از مواد اولیه است.

مطالعه ترکیب ذرات انکلوژیون در سفال‌های مورد مطالعه از محوطه‌های باستانی حسین‌آباد و چگینی، واقع در زیرحوضه‌های آبخیز تهران-کرج و هشتگرد به ترتیب، نشان‌دهنده منشأ محلی مواد اولیه مورد استفاده در تولید این سفالینه‌ها است. به عبارت دیگر، مواد اولیه مورد نیاز برای تولید سفال در هر یک از این دو محوطه، از منابع موجود در همان زیرحوضه آبخیز تأمین شده است. با این حال، نتایج این پژوهش حاکی از تفاوت در میزان فراوانی و نوع کانی‌های موجود در ذرات انکلوژیون سفال‌های دو محوطه مورد مطالعه است. این تفاوت‌ها را می‌توان به عوامل متعددی از جمله تفاوت در ترکیب زمین‌شناسی دقیق محل برداشت مواد اولیه در هر یک از زیرحوضه‌ها و همچنین تفاوت در زمان تولید سفال‌ها نسبت داد. با توجه به تنوع سنگ‌ها و کانی‌ها در هر زیرحوضه، مواد اولیه برداشت شده از نقاط مختلف یک زیرحوضه نیز از نظر ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی با یکدیگر متفاوت خواهند بود. این تفاوت‌ها به طور مستقیم بر ترکیب ذرات انکلوژیون در سفالینه‌ها تأثیر می‌گذارد.

منابع

امامی، سید محمدامین، نوغانی، سمیه. (۱۳۹۲)، بررسی روند کربناتیزاسیون مجدد و شکل‌گیری کلسیت ثانویه در سفال‌های باستانی براساس مطالعات پتروگرافیک. مرمت و معماری ایران، ۳(۵)، ۵۵-۶۷. دورعلی، سودابه، بحرالعلومی، فرانک. (۱۳۷۸). تعیین دمای پخت ففال، آجر و کاشی به وسیله XRD و STA. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۲(۲)، ۱۳۳-۱۴۲. زینی‌وند، محسن. (۱۳۹۴). گزارش گمانه زنی بمنظور تعیین عرصه و پیشنهاد حریم تپه حسین‌آباد ماهدشت (شهرستان کرج)، اداره کل میراث فرهنگی صنایع دستی و گردشگری استان البرز (منتشر نشده). سین‌کولین، پاتریک. (۱۳۹۹). پتروگرافی سرامیک در علوم باستان‌شناختی. ترجمه مهدی رازانی و حکیمه افشاری‌نژاد. تبریز: دانشگاه هنر اسلامی.

می‌گردد. آنالیز لیتوفابریک نمونه‌های سفالی محوطه چگینی نشان‌دهنده یکنواختی نسبی در ترکیب کانی‌شناسی است. اکثر نمونه‌ها دارای لیتوفابریک کوارتز-فلدسپاتی بوده که حاکی از استفاده از مواد اولیه مشابه در ساخت آن‌ها است. فلدسپات‌ها به عنوان فراوان‌ترین گروه کانی‌های تشکیل‌دهنده پوسته زمین (بیش از ۵۰ درصد) و کوارتز به عنوان دومین کانی فراوان در پوسته قاره‌ای (Marghussian et al., 2017a) نقش مهمی در ترکیب این سفال‌ها ایفا می‌کنند. با این حال، یک نمونه سفالی با لیتوفابریک آهکی-سیلیکاته به عنوان استثنا شناسایی شد که احتمالاً از نوع چشمه علی است. قطعات آهکی میکروکریستالین که به وسیله حرارت پخت سفال دچار تغییر رنگ شده‌اند، در این نمونه وجود دارد. مطالعه لیتوفابریک سفال‌های محوطه‌های حسین‌آباد و چگینی نشان می‌دهد که محوطه حسین‌آباد از تنوع و تفاوت بیشتری در ترکیب کانی‌شناسی نسبت به محوطه چگینی برخوردار است. در هشت نمونه از سفال‌های این محوطه، ترکیب غالب لیتوفابریک از نوع کوارتز-فلدسپاتی است. شش نمونه از این سفال‌ها به دوره مس‌سنگی انتقالی و دو نمونه به دوره نوسنگی تعلق دارند. در چهار نمونه دیگر از سفال‌های این محوطه، ترکیبات لیتوفابریک متنوع‌تری مشاهده می‌شود. سه نمونه از این سفال‌های دوره نوسنگی به ترتیب دارای ترکیبات کوارتز-فلدسپاتی و ولکانیکی، کوارتز-فلدسپاتی و پلوتونیک و سیلیکاتی هستند. یک نمونه دیگر نیز سفال چشمه علی بوده و ترکیب آهکی-سیلیکاتی دارد. قرارگیری محوطه حسین‌آباد در زیرحوضه آبخیز تهران-کرج که وسعتی بیشتر نسبت به زیرحوضه آبخیز هشتگرد دارد، می‌تواند یکی از دلایل اصلی تنوع بیشتر لیتوفابریک در نمونه‌های سفالی این زیرحوضه باشد. وسعت بیشتر این زیرحوضه، تنوع بیشتری از ویژگی‌های زمین‌شناسی و لیتولوژیکی را در بر دارد که به طور مستقیم بر روی ترکیب کانی‌شناسی مواد اولیه سفال‌سازی تأثیر گذاشته است. ترکیب لیتوفابریک سفال‌ها می‌تواند به عنوان یک شاخص مهم برای بررسی منابع مواد اولیه و گستره جغرافیایی تأمین

Riederer, J. (2004). Thin Section Microscopy Applied to the Study of Archaeological Ceramics, *Hyperfine Interactions*, 154, 143-158. <https://doi.org/10.1023/B:HYPE.0000032029.24557.b1>

Marghussian, A. K., Coningham, R. A. E., & Fazeli, H. (2017a). The evolution of pottery production during the late Neolithic period at Sialk on the Kashan plain, central plateau of Iran. *Archaeometry*, 59(2), 222-238. <https://doi.org/10.1111/arcn.12258>

Marghussian, A. K., Coningham, R. A. E., & Fazeli, H. (2017b). Investigation of Neolithic pottery from Ebrahimabad in the central plateau of Iran, utilising chemical-mineralogical and microstructural analyses. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 16, 604-615.

Marghussian, A. K., Coningham, R. A., & Nashli, H. F. (2021). The development of pottery production, specialisation and standardisation in the Late Neolithic and Transitional Chalcolithic periods in the Central Plateau of Iran. *Archaeological Research in Asia*, 28, 100325.

Wong, E. H., Petrie, C. A., & Fazeli, H. (2010). Cheshmeh Ali Ware: A Petrographic and geochemical study of a transitional Chalcolithic period ceramic industry on the northern central plateau of Iran. *Iran*, 48(1), 11-26.

طلایی، حسن، علی باری، احمد، تقی ذوقی، یاسمن. (۱۳۸۸). بررسی فناوری سفالگری هزاره پنجم ق.م. با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی XRD و XRF در شمال مرکزی ایران، *مجله مطالعات باستان‌شناسی*، ۱(۱)، ۶۵-۸۴.

علیرضا زاده نودهی، مهدی، حیدریان، محمود، خسرو زاده، علیرضا. (۱۳۹۹). مطالعه تطبیقی سفال لپویی چهارمحال و بختیاری با شمال فارس براساس روش پتروگرافی. *پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران*، ۱۰(۲۴)، ۷-۲۶.

موسوی حاجی، رسول، مکوندی، بهرنگ. (۱۳۸۹). رودخانه شيله و تاثیر آن بر استقرارگاه‌های انسانی منطقه. *مجموعه مقالات چهارمین کنگره جغرافی‌دانان جهان اسلام، ایران، زاهدان*.

Ben-Shlomo, D. (2025). Thin-Section Petrography in the Use of Ancient Ceramic Studies. *Minerals*, 15(9), 984. <https://doi.org/10.3390/min15090984>

Childs, S.T. (1989). Petrographic Analysis of Archaeological Ceramics. *MRS Bulletin*, 14(3), 24-29. <https://doi.org/10.1557/S0883769400063144>

Fazeli, H., Coningham, R. A. E., & Pollard, A. M. (2001). Chemical characterisation of late Neolithic and Chalcolithic pottery from the Tehran plain, Iran. *Iran*, 39(1), 55-71. <https://doi.org/10.1080/05786967.2001.11834384>