A Structural Study of Buff Ware from Shahr-i Sokhta Using Petrography and XRPD

Najmeh Khatoun Miri[1], Elham Heydari-Karbaski[2]*

۱. Faculty Member, Department of Conservation of Historical Objects, University of Zabol.
۲. Conservator of Historical Objects, University of Zabol.

Abstract

Shahr-i Sokhta in Sistan is one of the most significant and pivotal archaeological sites in southeastern Iran, with initial settlement dating back to the Bronze Age (۳۲۰۰ BCE). The site spans an area of approximately ۱۵۱ hectares, of which ۱۲۰ hectares contain material and cultural remains. It consists of three major parts: the central area, the industrial zone, and the cemetery. Excavation results indicate four cultural-occupational phases (I–IV), which are further subdivided into eleven sub-phases. Pottery, being the most abundant cultural-historical artifact found across many archaeological sites in southeastern Iran, including Shahr-i Sokhta, holds considerable importance in archaeological studies. It is the only category of ancient object that has survived through millennia with minimal alteration. Archaeologists believe that most of the pottery discovered at Shahr-i Sokhta was produced locally, either within the site or in satellite workshop areas. To evaluate this hypothesis, the present study employed laboratory methods, including petrographic thin section analysis using a polarizing microscope (OPM) and X-ray Powder Diffraction (XRPD), on three buff pottery samples recovered from grave no. ۸۵۲۵ NFB at the site. The analytical results, when compared with the local geology, indicate that the buff pottery from this site is of local origin. Furthermore, based on structural analysis and the presence of calcite grains, a firing temperature of approximately ۸۰۰°C is suggested for some samples, while others likely underwent firing at around ۹۰۰°C.

Knowledge and Conservation Restoration

Special Issue. No.1
June, 2018
Pages 36-43

https://kcr.richt.ir/

Corresponding Author

Najmeh Khatoun Miri

Email
njmiri@gmail.com

Keywords: Shahr-i Sokhta, Buff Ware, Petrographic Thin Section, X-ray Powder Diffraction (XRPD), OPM.

مطالعه ساختارشناسی سفال نخودی شهر سوخته به روش پتروگرافی و XRD

نجمه خاتون میری*[1]؛ الهام حیدری‌کرباسکی[3]

۱. عضو هیئت‌علمی گروه مرمت آثار تاریخی دانشگاه زابل.

۲. کارشناس مرمت آثار تاریخی دانشگاه زابل.

چکیده

شهر سوخته‌ی سیستان یکی از کلیدی‌ترین و مهم‌ترین محوطه‌های واقع در جنوب شرق ایران بوده که آغاز استقرار در این محوطه هم‌زمان با عصر مفرغ (۳۲۰۰ ق.م) است. این محوطه با مساحتی در حدود ۱۵۱ هکتار، که ۱۲۰ هکتار آن دارای آثار و بقایای مادی و فرهنگی بوده، متشکل از سه بخش اصلی منطقه بزرگ مرکزی، منطقه صنعتی و منطقه گورستان است. نتایج حاصل از کاوش‌های مختلف نشان‌دهنده‌ی چهار دوره فرهنگی- استقراری (I-IV) در این منطقه است که به یازده فاز تقسیم‌شده است. سفال به‌عنوان بیشترین و فراوان‌ترین داده‌ی فرهنگی- تاریخی است که در اکثر محوطه‌های باستانی جنوب شرق ازجمله شهر سوخته نیز به‌دست‌آمده که از اهمیت بالایی در مطالعات باستان‌شناسی برخوردار است و تنها شیء باستانی است که طی هزاران سال بدون تغییرات عمیقی به دست ما رسیده است. باستان‌شناسان بر این باورند که بیشتر سفال‌های به‌دست‌آمده، در شهر سوخته و در کارگاه‌های محوطه‌های اقماری آن ساخته‌شده‌اند که برای سنجش این فرضیه، پژوهش حاضر بر اساس مطالعات آزمایشگاهی همچون مطالعه‌ی مقاطع نازک پتروگرافی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان (OPM) و پراش پرتوی ایکس به روش پودری (XRPD) بر روی سه نمونه از سفال‌های نخودی شهر سوخته به‌دست‌آمده از گور شماره‌ی NFB ۸۵۲۵ انجام شد، که بر اساس نتایج آزمایش‌های موجود و تطبیق آن با زمین‌شناسی منطقه موردمطالعه مشخص شد که سفال‌های نخودی این محوطه بومی می‌باشند. همچنین بر اساس مطالعه ساختارشناسی و وجود دانه‌های کلسیت دمای پخت ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و برای نمونه‌های دیگر می‌توان دمای حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد را پیشنهاد داد.

فصلنامه دانش حفاظت و مرمت

ویژه‌نامه: شماره ۱. بهار.۱۳۹۷

۴۳-۳۶

https://kcr.richt.ir/

نویسنده مسئول

نجمه خاتون میری

رایانامه

njmiri@gmail.com

واژگان کلیدی: شهر سوخته، سفال نخودی، مقطع نازک پتروگرافی، پراش پرتو ایکس به روش پودری (XRPD)، OPM.

مقاله منتخب دوازدهمین همایش دوسالانه حفاظت و مرمت اشیا فرهنگی و تاریخی و تزئینات وابسته به معماری

دسترسی به این مقاله برای همگان آزاد است. هرگونه استفاده غیرتجاری از آن در صورت ارجاع مناسب، مجاز شناخته می‌شود.

مقدمه

محوطه‌ی شهر سوخته در حوزه جنوب شرق ایران، استان سیستان و بلوچستان قرارگرفته است. این تپه در فاصله ۵۷ کیلومتری جنوب شهر زابل واقع‌شده و در سال‌های ۱۹۶۸ تا ۱۹۷۸ به‌وسیله‌ی باستان‌شناسان ایتالیایی از مؤسسه ایزمئو مورد کاوش قرارگرفته است (Tosi, ۱۹۸۳). سپس از سال ۱۳۷۶ هجری شمسی تا سال ۱۳۸۸ گروه باستان‌شناسان ایرانی به سرپرستی دکتر سید منصور سید سجادی به کاوش در بخش‌های مختلف این تپه کلیدی در جنوب شرق ایران مشغول بودند. (Sajjadi, 2003). اصولاً در باستان‌شناسی، گورستان‌ها از اهمیت خاصی برخوردارند، در سال ۱۹۷۹ میلادی اولین قبر در شهر سوخته به‌طور تصادفی کشف شد. بر اساس آنچه در گورهای شهر سوخته یافت شده است، مردم شهر سوخته به زندگی پس از مرگ اعتقاد داشته‌اند. از اشیاء کلیدی داخل قبور می‌توان به سفال اشاره کرد. نتایج کاوش‌های مختلف نشان‌دهنده‌ی چهار دوره فرهنگی- استقراری (I-IV) در این شهر است که به یازده (از صفرتا ۱۰) فاز تقسیم‌شده است (Tosi, ۱۹۷۳:۶۴-۸۰). زمان آغاز استقرار در شهر سوخته یا همان فاز ۱۰ (دوره نخست) تاریخی برابر با ۳۲۰۰ ق.م دارد (سید سجادی و مرادی، ۱۳۸۶). سفال، به‌عنوان فراوان‌ترین و متنوع‌ترین یافته‌ی باستان‌شناسی، از اهمیت و جایگاه ویژه‌ای در مطالعات باستان‌شناسی شهر سوخته، برخوردار است. پژوهش پیشرو پس از جمع‌آوری اطلاعات و نمونه‌برداری از سه قطعه سفال نخودی مکشوفه از گمانه NFB و گور شماره ۸۵۲۵ که طی کاوش سال ۱۳۸۷ در گورستان شهر سوخته به‌دست‌آمده‌اند، حول مسائلی نظیر بررسی منشأ خاک مورداستفاده در ساخت، همچنین فن‌آوری ساخت و شرایط پخت این سفال‌ها شکل‌گرفته است. روش تحقیق در این پژوهش بیشتر بر مبنای مطالعات کتابخانه‌ای و آزمایشگاهی همچون مطالعات پتروگرافی و پراش پرتو ایکس به روش پودری بوده و درنهایت با تحلیل و بررسی اطلاعات به‌دست‌آمده از آنالیزهای فوق، پاسخی در جهت حل مسئله پژوهش ارائه‌شده است.

بررسی ساختارشناسی سفالینه‌ها

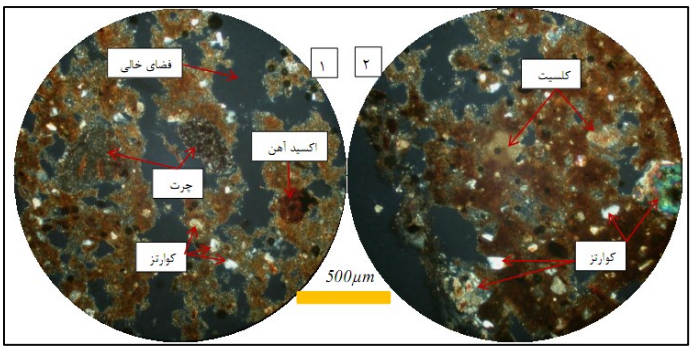
مطالعات پتروگرافی

پتروگرافی مقطع نازک روشی برای مطالعه و طبقه‌بندی ساختارهای رسی است. اطلاعات به‌دست‌آمده از پتروگرافی، سبب شناخت برخی جنبه‌های مهم مطالعات سفال ازجمله منشأ و فن تولید آن‌ها خواهد شد. مقطع نازک، به‌وسیله‌ی برش قطعه کوچکی از نمونه‌ی موردمطالعه ساخته‌شده، سپس به سطح صافی از تیغه (لام) میکروسکوپ شیشه‌ای چسبانده و سطح آن تا رسیدن به ضخامت استاندارد (۳۰-۲۵ میکرومتر) پولیش شده و درنهایت با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان، مقاطع آماده‌شده، موردمطالعه قرار می‌گیرند. در ضخامت استاندارد، اجزاء معدنی موجود در بافت سفال با طیف‌های رنگی مختلف ظاهرشده و بر اساس خواص نوری مشخص شناسایی می‌شوند. بافت سفال از طریق شناسایی و بررسی ساختار قطعات پلاستیک و غیر پلاستیک طبقه‌بندی می‌گردد. هدف از پتروگرافی، شناخت منشأ، شناسایی ماتریکس و اجزای سازنده سفال (کانی‌شناسی)، شناسایی تمپر و مواد افزودنی و شیوه ساخت است (رازانی و افشاری نژاد، ۱۳۹۵).

نتایج آنالیز پتروگرافی مقطع نازک با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان

نمونه‌ی سفال یک

بافت: ریزبلور ناهمگن (Immature) اجزاء سازنده: کوارتز، کلسیت، قطعات سنگ چرت و اکسید آهن. این نمونه دارای زمینه ریزبلور و ناهمگن است و اجزاء موجود در زمینه به‌صورت پرکننده یا تمپر در زمینه قرار دارند. در این نمونه‌ها فراوان‌ترین سازنده موجود در زمینه کانی کوارتز است. این کانی بیشتر به‌صورت فنوکریست (تک‌بلور) در زمینه دیده می‌شود. البته نوع پلی‌کریستالین (چند بلوری) آن نیز به مقدار محدودتر وجود دارد. این کانی ریزبلور بوده و اندازه آن از ۲۰ میکرون تجاوز نمی‌کند، دارای حاشیه زاویه‌دار تا نیمه گرد شده است و در حدود ۱۰ درصد حجم نمونه را تشکیل می‌دهد (شکل ۱). کلسیت: از دیگر قطعات موجود در زمینه سفال کانی کلسیت است که به‌طور پراکنده و محدود در نمونه دیده می‌شود. این کانی فراوانی حدود ۱-۲ درصد را دارد و به‌صورت درشت‌دانه دیده می‌شود (شکل۱). کانی کلسیت در مطالعه سفال به‌صورت یک دماسنج عمل می‌کند. این کانی در حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد از بین می‌رود، وجود این کانی در نمونه سفال یک نشان می‌دهد که درجه حرارت پخت نمونه از ۸۰۰ درجه بیشتر نشده است. سنگ چرت: از دیگر اجزاء سازنده‌های نمونه است که به مقدار محدود در زمینه سفال با اکسید آهن دیده می‌شود.

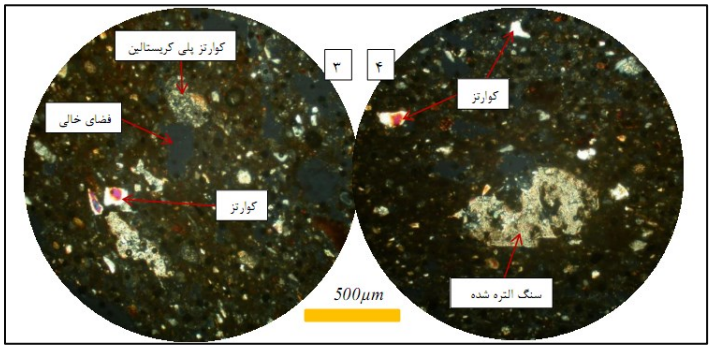


شکل ۱. نمای یک، تصویر میکروسکوپی نمونه سفال یک شکل ۲. نمای دو، تصویر میکروسکوپی نمونه سفال یک

بزرگ‌نمایی به‌کاربرده شده در شکل ۱ و ۲، ۴X و همچنین نور استفاده‌شده XPL بوده که نشان‌دهنده‌ی بافت سیلتی ناهمگن است. در شکل ۱ قطعات فراوانی از کانی کوارتز ریزبلور به رنگ روشن همراه با بقایای سنگ چرت و اکسید آهن دیده می‌شود. فراوانی فضای خالی در این نمونه به دلیل سست بودن نمونه است و ارتباطی با بافت اولیه سفال ندارد. در تصویر۲ قطعات کانی کلسیت همراه باکانی کوارتز فنوکریست و پلی‌کریستالین که در زمینه، ریزدانه دیده می‌شوند وجود دارد.

نمونه‌ی سفال دو

بافت :ریزبلور ناهمگن اجزاء سازنده: کوارتز (فنوکریست و پلی‌کریستالین)، قطعات سنگ الترە شده، آمفیبول و اکسید آهن، که این نمونه ازنظر ساختار و ترکیب تقریباً مشابه با نمونه سفال یک است و تنها تفاوت جزئی با یکدیگر دارند. در این نمونه مانند نمونه سفال یک، کانی کوارتز بیشترین فراوانی را دارد. این کانی به‌صورت ریزدانه و فنوکریست و گاه به‌صورت پلی‌کریستالین دیده می‌شود. کانی کوارتز در حدود ۲۰ درصد حجم کل نمونه را تشکیل می‌دهد. در این نمونه قطعات بزرگی از یک سنگ الترە شده دیده می‌شود. این قطعات در نمونه سفال یک دیده نمی‌شوند. همچنین در این نمونه کانی کلسیت دیده نمی‌شود که علت اصلی آن دمای پخت بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در این نمونه است که باعث شده کلسیت موجود در بافت آن از بین برود. علاوه بر اجزاء ذکرشده‌ی فوق در این نمونه کانی اکسید آهن و به مقدار جزئی کانی آمفیبول نیز وجود دارد.



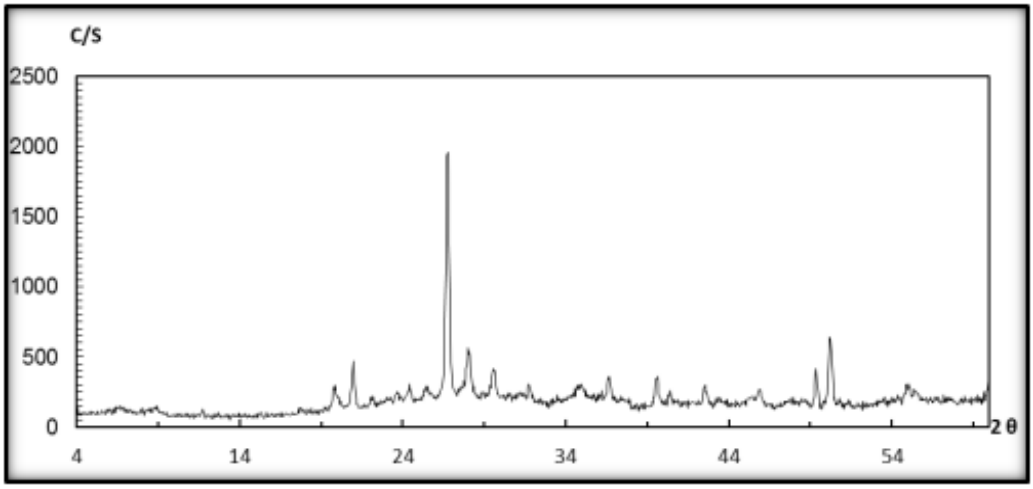
شکل ۳. نمای یک، تصویر میکروسکوپی نمونه سفال دو شکل۴. نمای دو، تصویر میکروسکوپی نمونه سفال دو

بزرگنمایی شکل ۳ و ۴، ۴X و نور استفاده‌شده در حالت XPL که نشان‌دهنده‌ی بافت سیلتی ناهمگن است. در تصویر ۳ نمای یک، قطعه بزرگی از سنگ الترە شده در مرکز تصویر همراه باکانی ریز کوارتز است. این نمونه فاقد کلسیت است. در تصویر قطعات فراوان کانی کوارتز موجود درزمینه‌ی سفال همراه با سنگ الترە شده و اکسید آهن دیده می‌شود.

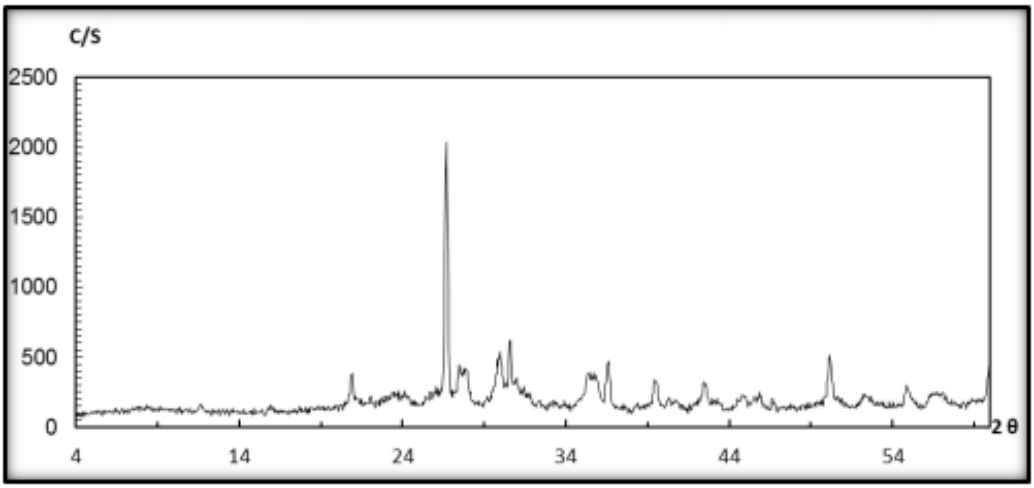
آنالیز پراش پرتو ایکس به روش پودری (XRPD)

هدف از XRPD شناسایی فازهای کریستالی و تصدیق آزمایش‌های میکروسکوپی به روش پتروگرافی است. آنالیز پراش پرتو X، ازآن‌جهت که روش مستقیمی برای تعیین فازهای کریستالی و ساختار بلورین مواد است، بسیار اهمیت دارد (صدقی و دیگران، ۱۳۹۵). پراش پرتو X که توسط مجموعه اتم‌ها پدید می‌آید، ناشی از تقویت پرتو پراکنده‌شده در جهت‌های ویژه فضایی است. پس از برخورد پرتو X به

الکترون‌های ماده، آن‌ها را به نوسان وادار می‌کند و این الکترون‌ها نیز باعث پراکندگی پرتو X در فضای اطراف خود، با همان بسامد پرتو ابتدایی خواهند شد (گلستانی فرد، ۱۳۸۳: ۷۵). شکل‌های شماره ۵ و ۶ طیف XRPD مربوط به نمونه‌های شماره ۱ و ۲ را نشان می‌دهند.



شکل ۵. طیف XRPD مربوط به نمونه شماره ۱



شکل۶. طیف XPRD مربوط به نمونه شماره ۲

آزمایش XRPD نمونه سفال‌های موردمطالعه در آزمایشگاه شرکت کانساران بینالود تهران انجام شد. دستگاه XRPD استفاده‌شده در این تحقیق ساخت ایتالیا، مدل LW06 است. این دستگاه به یک بلور گرافیت مجهز است. طول‌موج پرتو ایکس۱/۵۴۰ آنگستروم است. الگوی پراش نمونه را در محدوده‌ی ۲θ، (۶۰-۰) با سرعت پیمایش (2/min)ثبت‌شده است. نمونه‌ها روی یک صفحه تخت فلزی درون محفظه دستگاه XRPD قرار می‌گیرند. با شروع آزمایش اشعه ایکس به نمونه‌ها می‌تابد هم‌زمان آشکارساز شروع به حرکت می‌کند و در زوایای مختلف نسبت به سطح نمونه قرار می‌گیرد تا شدت پرتوهای پراش یافته در هر زاویه را ثبت کند. درواقع دستگاه پراش اشعه ایکس شدت پرتوهای پراش یافته را تعیین می‌کند در مواد بلوری این شدت‌ها به‌صورت پیک تیزی مشخص می‌شوند ولی در مواد آمورف پیک‌ها به‌صورت پهن هستند (جاسمی، ۱۳۹۰: ۵۲). در ادامه فازهای اصلی و فرعی نمونه سفال ۱ و ۲ در جدول‌های شماره ۱ و ۲ نشان داده‌شده است.

جدول ۱. فازهای کریستالی شناسایی‌شده در آنالیز XRPD سفال یک

فاز	فاز شناسایی‌شده	فرمول شیمیایی
فاز اصلی	کوارتز	SiO_2
	آلبیت	$NaAlSi_3O_8$

فاز فرعی	موسکویت	$KAl_2Si_3AlO_{10}(OH)_2$
	مونتموریونیت	$CaO.2(Al,Mg)_2Si_4O_{10}(OH)_2.xH_2O$
	کلسیت (کربنات کلسیم)	$CaCO_3$
	ارتوکلاز	$KAlSi_3O_8$
	ژیپس (سنگ گچ)	$CaSO_4.2H_2O$
	هالیت	$NaCl$

جدول ۲. فازهای کریستالی شناسایی‌شده در آنالیز XRPD سفال سه

فاز	فاز شناسایی‌شده	فرمول شیمیایی
فاز اصلی	کوارتز	SiO_2
	آلبیت	$(Na,Ca)(Si,Al)_3O_8$
	اوژیت	$Ca(Fe,Mg)Si_2O_6$
فاز فرعی	ارتوکلاز	$KAlSi_3O_8$
	ژیپس (سنگ گچ)	$CaSO_4.2H_2O$

بحث در نتایج

آنالیز پتروگرافی مقطع نازک

در تمام سفالینه‌ها، کانی‌های کوارتز موجود در بافت سفال‌ها دارای حاشیه‌ی زاویه‌دار تا نیمه گرد شده است. این موضوع دلیلی بر جابجایی کم اجزاء سازنده از منشأ اولیه یا اضافه نمودن این مواد به‌صورت مواد کمکی حمایت دارد (سلمان زاده و دیگران، ۱۳۹۳) یا می‌توان آن را از ورز دادن گاه کم و گاه زیاد بافت سفال توسط صنعتگر پیش‌ازتاریخی عنوان کرد. وجود کوارتزهای حاشیه‌دار و زاویه‌دار نشان از منشأ غیر رسوبی و فرآوری آن از خرد کردن سنگ مادر اولیه و هوازدگی می‌توان برشمرد (Riederer, 2004). آمفیبول ازجمله کانی‌هایی است که در بافت سفال شماره ۲ شناسایی شد. آمفیبول در درجه حرارت ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تخریب می‌شود و ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌گردد (امامی و دیگران، ۱۳۹۴). کلسیت کانی اصلی سنگ‌آهک است. کلسیت ازجمله کانی‌هایی است که حضور آن‌ها در بافت سفال بسیار مهم است زیرا با توجه حضور کلسیت در بافت سفال‌ها آن را می‌توان به‌عنوان یک شاخص حرارتی در نظر گرفت و به تخمین دمای پخت سفال و حرارت کوره اشاره کرد. محدوده‌ی پایداری کلسیت در حدود دمایی مابین ۷۵۰– ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است (امامی و نوغانی، ۱۳۹۲). بنابراین با توجه به وجود یا عدم وجود آن در بافت می‌توان دمای پخت را حدس زد. در سفال شماره یک با توجه به حضور کلسیت می‌توان دمای حدود پایین‌تر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفت.

آنالیز پراش پرتو ایکس به روش پودری

کوارتز ازجمله فازهای شاخصی است که توسط آنالیز پراش پرتو ایکس و پتروگرافی مشاهده می‌شود. آلبیت ازجمله کانی‌هایی است که در زیرگروه فلدسپات‌ها قرار می‌گیرد و همچنین به‌عنوان یک‌فاز اولیه شناخته می‌شود و تا ۱۱۸۰ درجه سانتی‌گراد پایدار است (امامی و همکاران، ۱۳۹۳). با توجه به اینکه فلدسپات‌ها (آلبیت) کانی‌های شایع در سطح پوسته و مرجع کانی‌های رسی هستند بنابراین حضور آن‌ها در بافت سفال‌ها امری طبیعی است. ژیپس در تمام سفال‌ها شناسایی و از آن دسته فازهایی که به‌مرورزمان و در طول مدت دفن وارد بافت سفال‌ها می‌شود. هالیت یا کلرید سدیم ($NaCl$) یا همان نمک معمولی از دسته فازهایی که در زمان تدفین از محیط پیرامون وارد بافت سفال می‌شود. در سفال‌های شهر سوخته، چون در ساختار خاک و سفال آن‌ها گچ، هالیت و کلسیت وجود دارد، این سه ماده عمده‌ترین ترکیبات شوره هستند (بهادری ۱۳۷۹). شناسایی کلسیت در دیاگرام شماره ۱ نشان‌دهنده تصدیق آزمایش پتروگرافی است. شناسایی آن در آزمایش‌های نشان از استفاده از ماده خام کاملاً آهکی در ماده اولیه سفال‌ها دارد .ارتوکلاز ازجمله فازهای آلکالی فلدسپات‌ها هستند. موسکویت یک آلومینوسیلیکات پتاسیم‌دار از فیلوسیلیکات‌های ثانویه است که در اثر تخریب و هوازدگی پلاژیوکلازها در محیط دفن در بافت به وجود می‌آید. موسکویت از دسته کانی‌های صفحه‌ای است که تا دمای ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد در حین پخت پایدار است و در درجه حرارت بالاتر تخریب‌شده و کاتیون پتاسیم تولید می‌کند. اوژیت از دسته فازهای پیروکسن است و جزو فازهای درجه حرارت بالا محسوب می‌شود (امامی و همکاران، ۱۳۹۳).

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج آزمایش‌های مطالعه مقطع نازک پتروگرافی و پراش پرتو ایکس به روش پودری نتایج زیر حاصل می‌شود. سفال شماره ۱ با توجه به حضور فازهای کلسیت در بافت خود دمای پخت پایین‌تر از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد را متحمل شده است. در سفال شماره ۲ با توجه به حضور کانی‌ها و فازهای مشخصه حرارتی که در آزمایش پتروگرافی و پراش پرتو ایکس به روش پودری مشاهده شدند دمایی مابین ۹۰۰– ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد را متحمل شده است. درنهایت برای تمام سفال‌های موردمطالعه دمایی بین ۸۵۰ تا ۱۰۰۰ را می‌توان در نظر گرفت. بافت سفال‌ها از استحکام بالایی برخوردار نبوده و در مطالعه مقطع نازک وجود خلل و فرج بزرگ و کشیده شده دلیلی دیگر بر بافت نرم و دمای پخت پایین‌تر از ۸۰۰ — ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است. شناسایی کوارتزهایی با حاشیه‌های زاویه‌دار و نیمه مدور نشان از استفاده صنعتگر پیش‌ازتاریخی از خاک‌هایی با عملیات معدن‌کاوی و غیر رسوبی آن‌ها دارد که می‌توان دلیلی بر ورز گاه کم و گاه زیاد مواد افزودنی و بافت سفال دارد. همچنین با توجه به فازهای شناسایی‌شده می‌توان پخت سفال‌های موردمطالعه را در شرایط اکسیداسیون تائید کرد و از طرفی هیچ‌گونه فازهای از شرایط احیاء دیده نمی‌شود.

سپاسگزاری

این مقاله برگرفته از پروژه نهایی مقطع کارشناسی الهام حیدری کرباسکی در در دانشکده هنر و معماری دانشگاه زابل دفاع شده است. از کلیه دست اندرکارن سپاسگزاری می‌گردد.

منابع

امامی، سید محمدامین. (۱۳۹۴). بررسی تکنولوژی سفالگری در تپه زاغه از ۵۱۰۰ تا ۴۹۰۰ پیش از میلاد (از ماکرو تا میکرو). مفاخر میراث فرهنگی ایران، جشن‌نامه دکتر صادق ملک شهمیرزادی، به کوشش مرتضی حصاری، تهران: پژوهشگاه میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.

امامی، سید محمدامین. آریانسب، سیمین. احمدی، حسین. عسگری چاوردی و پیر فرانچسکو کالیری. (۱۳۹۳). روش‌های باستان‌سنجی به منظور ساختارشناسی آجرهای کشف شده از تل آجری تخت جمشید. مطالعات باستان‌شناسی، ۶(۲) .۱۹–۱

امامی سیدمحمدامین، نوغانی سمیه.(۱۳۹۲) بررسی روند کربناتیزاسیون مجدد و شکل گیری کلسیت ثانوی در سفال های باستانی براساس مطالعات پتروگرافیک. نشریه علمی مرمت و معماری ایران.; ۳ (۵) :۶۸–۵۵

بهادری، رویا. (۱۳۷۹). بررسی شوره‌زنی آثار سفالی بدست آمده از حفاریهای باستان‌شناسی. مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، ۸(۱)–۸۲ .۷۱

پترسون، سارا. (۱۳۹۸). پتروگرافی مقطع نازک مواد سرامیکی. ترجمه مهدی رازانی و حکیمه افشار. تبریز: جام زرین حسنلو

جاسمی، فاضل. (۱۳۹۰). تهیه نانوذرات Au/TiO_2 و بررسی خواص فیزیکی آن. پایان‌نامه برای دریافت مدرک کارشناسی‌ارشد در رشته فیزیک (گرایش اتمی و مولکولی)، گروه آموزشی فیزیک دانشگاه علوم‌پایه. دانشگاه بوعلی‌سینای همدان.

سرحدی‌دادیان، حسن. وحید پورزرقان. حسین مرادی، و مهدی رازانی. (۱۳۹۴). تحلیل مقدماتی از ردپای بومی بودن صنعت سفال‌های نخودی شهر سوخته با استفاده از روش آنالیز نیمه‌کمی عنصری XRF. پژوهه باستان‌سنجی.۱(۱).۵۴–۴۷

سلمان زاده، جواد. کاوش، حسنعلی. فاضلی نشلی، حسن و سید ایرج بهشتی (۱۳۹۳). نتایج آزمایش‌های پتروگرافی نمونه‌های سفالی تپه گراتزیانی، مطالعات باستان‌شناسی،۶(۱).۶۶–۵۵

سید سجادی. سید منصور. و حسین مرادی. (۱۳۸۶). «گزارش کاوش در بنای یادمان» در: گزارش‌های باستان‌شناسی (۷) جلداول: مجموعه مقالات نهمین کنگره بین‌المللی باستان‌شناسی ایران، جلد اول، پژوهشکده باستان‌شناسی تهران صص ۲۹۹–۳۰۴.

صدقی، یاسین. قاینی، زهره. میری، نجمه خاتون. (۱۳۹۵). بررسی سفالینه‌های محوطه ۱۴ بمپور بلوچستان بر مبنای مطالعات باستان‌سنجی. دومین کنفرانس علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی– تاریخی، تهران: پژوهشکده حفاظت و مرمت.

گلستانی فرد، فرهاد. (۱۳۸۳). روش‌های شناسایی و آنالیز مواد. فرهاد گلستانی فرد، اسماعیل صلاحی، محمدعلی بهره‌ور. تهران، دانشگاه علم و صنعت ایران.

Riederer, J, (2004), Thin Section Microscopy Applied to the Study of Archaeological Ceramics. Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands.

Sajjadi, S. M. S., Foruzanfar, F., shirazi, R., & Baghestani, S. (۲۰۰۳). Excavations at Shahr-I Sokhta. First Preliminary Report on the Excavations of the Graveyard, ۱۹۹۷–۲۰۰۰. Iran, ۲۱–۹۷.

Salvarori, S. and M. Vidale,. (۱۹۹۷). Sokhta ۱۹۷۵–۱۹۷۸: Central Quatters Excavations, preliminary report. Roma: Instituto italiano per L;Africa e l;Oriente, IsIAO.

Sarhadi-Dadian, H. Ramli, Z. Nik Abdul Rahman, N & Mehrafarin, R. (۲۰۱۵), X-Ray Differaction and X-Ray Flurescence Analysis of Pottery Shards from New Archaeological Survey in South Region of Sistan, Iran. Mediterranean Archaeology and Archaeometry. Vol ۵. NO ۳.pp. 45-۵6.

Tosi, M. (1973), The cultural Sequence of Shahr I Sokhta. Ball. Asia Instit. Pahlavi Univ., 3: 64-80.

Tosi, M. (Ed.). (1983). Prehistoric Sistan. IsMEO.

Tosi,M. (1984). The notion of craft specialization and its representation in the archaeological record of early states in the Turanian Basin. Marxist perspectives in archaeology, 22-52.

Vidale, M., & Tosi, M. (1996). The Development of Wheel throwing at Shahr-I Sokhta slow and fast revolutions rowards statehood. East and West, 46(3-4):, 251-269.