پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران
فصلنامهٔ علمی پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران
P. ISSN: 2345-5225 & E. ISSN: 2345-5500
شمارهٔ ۲۷، دورهٔ دهم، زمستان ۱۳۹۹

مطالعهٔ ساختارشناسی ظروف سفالی قرمز و نخودی محوطهٔ شهرسوخته سیستان

نجمه خاتون میری[I]

شناسهٔ دیجیتال (DOI): 10.22084/nbsh.2020.18107.1908
تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۱۲/۱۲، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۲/۰۷
نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۷۲-۵۵

چکیده

شهرسوخته مربوط به هزارهٔ سوم پیش‌ازمیلاد، همواره موردتوجه باستان‌شناسان بوده و تاکنون پژوهش‌های زیادی درخصوص این محوطه صورت گرفته است. اشیاء مکشوف از این محوطهٔ عصر مفرغی بیشتر از خود محوطه برای پژوهشگران دارای اهمیت است، خصوصاً سفال که بیشترین فراوانی را دارد. ازمیان سفال‌های بی‌شمار این محوطه، تعداد ۱۲ قطعه سفال، به‌عبارتی ۸ شئ نخودی و ۴ شئ قرمز جهت انجام پژوهش انتخاب شد که همهٔ ظروف کوچک مکشوف از گورستان و دارای کاربرد آئینی هستند. به‌دلیل فراوانی کم سفال‌های طیف قرمز، فرضیهٔ وارداتی بودن این سفال‌ها مطرح است. فرضیهٔ مطرح شده در این پژوهش، فرضیهٔ وارداتی بودن سفال‌های قرمز است؛ چراکه فراوانی سفال‌های طیف قرمز در این محوطه کم بوده و به‌دنبال آن، پرسش وارداتی یا بومی بودن سفالینه‌ها مطرح است. ازجمله اهداف تعیین شده می‌توان به بررسی شباهت‌ها و تفاوت‌ها در فن ساخت، بررسی و مقایسهٔ کانی‌شناسی، هم‌چنین مقایسه به‌لحاظ ساختاری، فازهای تشکیل‌دهنده و درجهٔ حرارات پخت در کوره اشاره نمود. جهت نیل به اهداف و بررسی‌های باستان‌سنجی روی نمونه‌های موردمطالعه، آنالیزهای پتروگرافی و پراش پرتوی ایکس به‌روش پودری انجام شد. با تجزیه و تحلیل نتایج به‌دست آمده مشخص شد که نمونه سفال‌های موردمطالعه ازنظر اجزاء سازنده و ساختار تشکیل‌دهندهٔ آن، شبیه به‌هم بوده، از تمپرهای معدنی سیلیس‌دار منطقه، نظیرِ سنگ چرت استفاده شده است و تفاوت اصلی آن‌ها در ترکیب خمیره، درصد فراوانی هر یک از کانی‌های موجود در خمیرهٔ سفال‌ها، شیوهٔ ساخت و نحوهٔ عمل‌آوری خمیره توسط سفالگران شهرسوخته بوده است. بررسی‌ها نشان داد که بافت تشکیل‌دهندهٔ این سفال‌ها در دو نوع ریزبلور و درشت‌بلور هستند، اما کانی‌ها و پرکننده‌های موجود در ساختار تشکیل‌دهندهٔ آن‌ها تفاوت چندانی با یکدیگر نداشته‌اند؛ هم‌چنین میزان حرارت کوره در تعیین رنگ نمونه‌های موردمطالعه نقش بسزایی داشته است و در نمونه‌هایی که کانی کلسیت موجود بود دمای پخت زیر ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و نمونه‌های فاقد کلسیت بالاتر از این دما پخت داده شده‌اند. با توجه به نتایج آزمایش‌ها و تحلیل‌های صورت گرفته به‌نظر می‌رسد سفالگران شهرسوخته به فن‌آوری و شیوهٔ ساخت سفالینه‌های طیف قرمزرنگ دست پیدا کرده بودند.

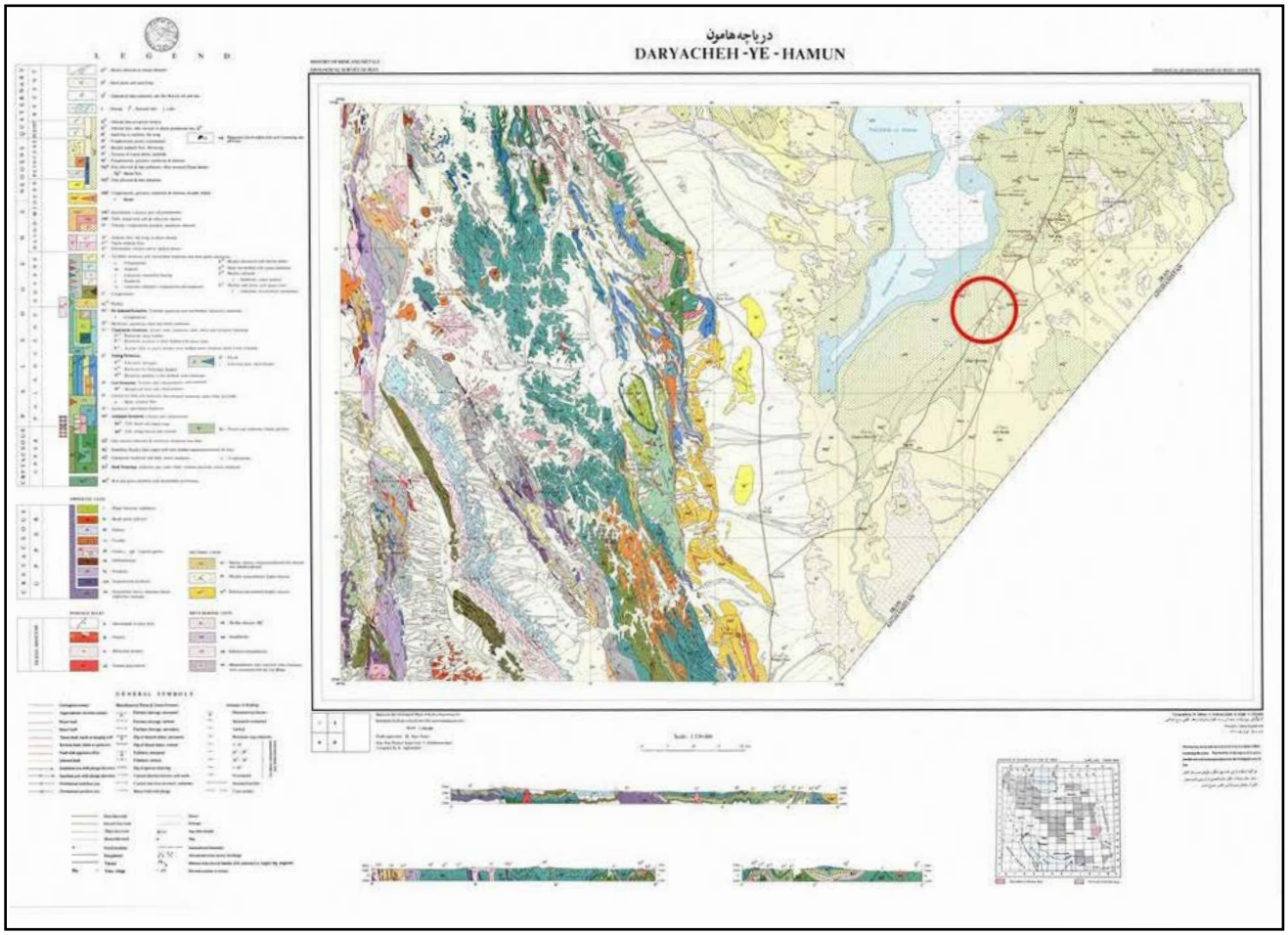
کلیدواژگان: شهرسوخته، سفال قرمز و نخودی، باستان‌سنجی، پتروگرافی، پراش پرتو ایکس.

I. کارشناس‌ارشد حفاظت و مرمت اشیاء تاریخی و فرهنگی، عضو هیأت علمی دانشگاه زابل، سیستان‌وبلوچستان، ایران.
njmiri@uoz.ac.ir

مقدمه

دشت سیستان ازنظر زمین‌شناسی متعلق به اواخر دورهٔ پلیوستسن و عبارتست‌از مجموعه دلتاهایی که طی هزاران سال در اثر تغییرات بستر و مسیر رود هیرمند به‌وجود آمده است (سیدسجادی، ۱۳۸۸). در تصویر۱، نقشهٔ زمین‌شناسی سیستان آمده که در بخش NQ، آبرفت‌های نرم و ته‌نشست‌های دریاچه‌ای، شهرسوخته مشخص شده است. شهرسوخته یکی از نمادهای تمدن بزرگ دشت سیستان است. این شهر، یکی از عظیم‌ترین شهرهای باستانی فلات ایران به‌شمار می‌آید. مطالعهٔ مواد فرهنگی موجود در این شهر به بررسی آثار و مواد باستانی منحصر نمی‌شود؛ بلکه از راه مطالعه و بررسی بقایای مواد فرهنگی می‌توان سیر تحول علوم و فنون مختلف در فلات ایران را مشاهده کرد (سیدسجادی، ۱۳۸۵). ازمیان اشیاء گوناگون مکشوف از این محوطه، سفال‌ها بیشترین فراوانی را دارند. سفال‌های به‌دست آمده از این محوطه شامل سفال‌هایی با طیف‌های گوناگون ازجمله نخودی، خاکستری و قرمز در قالب فرم‌ها، شکل‌ها و طرح‌های بسیار متنوعی هستند. خمیرهٔ اکثر سفال‌های شهرسوخته نخودی است که خمیرهٔ رایج شهرسوخته است. این خمیره در طیف گسترده‌ای از نخودی تا آجری و حتی مایل به سبز عرضه می‌شده است. سفال خاکستری در درجهٔ بعدی بوده که آن‌هم از فرآورده‌های کارگاه‌های شهرسوخته است و در قبرستان، از آن‌ها زیاد به‌دست آمده است. سفال قرمز هم در درجهٔ سوم قرار دارد و تعداد آن‌ها کم است (مرادی، ۱۳۸۸). سفال نخودی در تمام ادوار چهارگانهٔ استقرار متداول بوده است. سفال خاکستری با نقش قرمز فقط در دورهٔ اول و سفال خاکستری با نقش سیاه با تزئین چندرنگی در دوره‌های اول و دوم رایج بوده است (فلاحتی، ۱۳۸۳). پژوهش حاضر با بررسی نمونه‌های سفال نخودی و سفال طیف قرمز رنگ مکشوف از شهرسوخته در جهت اهدافی چون بررسی شباهت و تفاوت فن ساخت و فنون سفالگری (کانی‌شناسی و خاک مورد استفاده در خمیرهٔ سفال‌ها، حرارت پخت در کوره و...)، هم‌چنین مقایسهٔ این نمونه‌ها به‌لحاظ ساختاری و فازهای تشکیل‌دهندهٔ شکل‌گرفته است. با بررسی و مقایسهٔ کانی‌شناسی توسط فنون آزمایشگاهی-دستگاهی و تجزیه و تحلیل نتایج، علاوه‌بر حرکت در مسیر اهداف تحقیق، سعی‌بر یافتن پاسخی برای پرسش وارداتی یا بومی بودن سفال‌های مذکور نیز شده است. طبق بررسی منابع، سفال شهرسوخته به دو گروه کلی نخودی و خاکستری تقسیم می‌شود و گاهی به‌صورت جسته‌وگریخته سفال‌های قرمز نیز دیده می‌شوند (سیدسجادی، ۱۳۸۸)، که به‌دلیل ندرت سفال‌های طیف قرمز، مقایسهٔ ساختاری دو گروه سفال موردمطالعه (نخودی و طیف قرمز رنگ) جزو اهداف اصلی پژوهش است تا وارداتی یا بومی بودن سفال‌های قرمز نیز مشخص گردد.

پرسش و فرضیهٔ پژوهش: به‌دلیل فراوانی کم سفالینه‌های طیف قرمزرنگ در محوطهٔ باستانی شهرسوخته، این پرسش مطرح است که آیا این سفالینه‌ها وارداتی هستند یا به‌صورت بومی تولید می‌شده‌اند؟ و این فرضیه نیز وجود دارد که به‌نظر سفال‌های طیف قرمز وارداتی بوده‌اند و در کارگاه‌های سفال‌سازی شهر سوخته تولید نشده‌اند.



▲ تصویر ۱. نقشهٔ زمین‌شناسی دشت سیستان (سازمان زمین‌شناسی کل کشور).

روش پژوهش: درراستای بررسی‌های ساختارشناسی، روش‌های آزمایشگاهی مورداستفاده در این پژوهش، شامل آنالیزهای پتروگرافی مقاطع نازک و پراش پرتو ایکس به‌روش پودری استفاده شده است. آنالیز میکروسکوپی به‌روش پتروگرافی مقاطع نازک جهت بررسی سفال‌ها و دیگر مواد معدنی بر علم کانی‌شناسی استوار است که برای شناخت کانی‌ها، آمیزه‌ها و اجزاء سازندهٔ هر نمونه، اختلافی که ازنظر ترکیب و اجزاء سازندهٔ بین نمونه‌ها وجود دارد و بررسی بافت و روابط بین دانه‌ای در سفال‌ها از این روش استفاده شده است (Boldea & Praisler, 2013; Batiuk, 2000). از آنالیز پراش پرتو ایکس می‌توان برای بررسی مواد افزودنی (اطلاعاتی در مورد مواد خام)، ماتریکس و فرآیند پخت (استوارت، ۱۳۹۳: ۳۱۲) و فازهای کریستالین استفاده نمود (منافی و همکاران، ۱۳۹۱: ۸۷-۸۲)؛ از این‌رو، برای مقایسهٔ فازهای کریستالی و ساختاری دو نوع سفال نخودی و طیف قرمزرنگ، به مقدار ۰/۵ گرم از اشیاء موردنظر نمونه‌برداری و با روش پودری[1] آنالیز انجام گرفت (جدول ۱).

پیشینهٔ پژوهش

در زمینهٔ صنعت سفالگری عصر مفرغ در سیستان به‌خصوص سفالگری در شهرسوخته مطالعات باستان‌شناسی گسترده‌ای صورت گرفته است (Tosi, 1983).

جدول ۱. روش‌های آنالیز و دستگاه‌های مورد استفاده در پژوهش (نگارنده، ۱۳۹۸). ▼

آزمایشگاه‌ها و کارگاه‌های انجام آنالیز	اهداف آنالیزهای انجام گرفته	مدل دستگاه استفاده شده	کشور سازنده	آزمون	نوع آزمایش
پژوهشکدهٔ حفاظت و مرمت، آزمایشگاه پتروگرافی	شناخت بافت و کانی‌های تشکیل‌دهندهٔ دو گونهٔ سفالی	James Swift	انگلستان	Petrography	ساختارشناسی
آزمایشگاه بیم‌گستر تابان، کارگاه پراش پرتو ایکس، تهران	شناسایی فازهای کریستالی و بررسی مینرالوژیکی دو گونهٔ سفال‌های قرمز و نخودی	PHILIPS PW1730	هلند	XRPD	

«کردان» در پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد خود با انجام آنالیز شیمیایی روی سفال‌های تپه دشت مشخص نموده سفالگران این محوطه بدون توجه به کیفیت نامرغوب خاک و با استفاده از خاک کنار تپه دشت که دارای ناخالصی‌های زیادی بوده، تنها با تکیه بر فضای کنترل‌شدهٔ پخت به تولید سفال می‌پرداخته‌اند؛ هرچند هدف صنعتگران این محوطه تولید سفال نخودی بوده است، اما با وجود ترکیبات قلیایی و اکسیدهای فلزی در خاک سبب ایجاد رنگ متمایل به سبز در آن‌ها شده است. ناخالصی‌های موجود هم‌چون گدازآور عمل نموده و با ایجاد فازهای مذاب که خود عامل تغییر رنگ سفالینه‌ها نیز محسوب می‌شود، دمای پختی در حدود ۱۱۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد داشته‌اند (کردان، ۱۳۹۰). «گرگی» و «مکوندی» در پژوهشی سیر تطور در شیوهٔ ساخت، تزئین و کارکرد آئینی سفالینه‌های خاکستری‌رنگ گورستان شهرسوخته را مورد مطالعه قرار داده‌اند (گرگی و موندی، ۱۳۹۲). ازجمله دیگر مطالعات روی سفالینه‌ها می‌توان به مطالعهٔ ترکیب سفال‌های شهرسوخته با استفاده از روش XRF توسط «حسین مرادی» و همکارانش، اشاره نمود. در این مطالعه که براساس مقایسهٔ ترکیب عناصر کمیاب صورت‌گرفته نشان‌داد که تعداد بیشتر سفال‌ها در یک گروه یکسان و محلی قرار گرفته و تعدادی اندک از سفال‌ها غیربومی می‌باشند (Moradi et al., 2013). هم‌چنین مطالعهٔ دیگری توسط «حسین سرحدی‌دادیان» و همکارانش (Sarhadi-Dadian et al., 2015) صورت گرفته است؛ ایشان در مقالهٔ خود تحت عنوان: «تحلیل مقدماتی از ردپای بومی بودن صنعت سفال‌های نخودی شهرسوخته با استفاده از روش آنالیز نیمه‌کمی عنصری XRF» به بررسی ۱۵ قطعه سفال پرداخته است، که نتایج حاصل از این بررسی نشان می‌دهد که اغلب سفال‌ها در یک دستهٔ مشخص با نام گروه تولید محلی قرار می‌گیرند و هم‌چنین تعداد ۴ قطعه سفال در گروه دیگر قرار گرفته‌اند که نشان‌داد که این سفال‌ها تولید محلی نبوده‌اند (Sarhadi-Dadiyan et al., 2015). در یک پژوهشی مشابه دیگر، ایشان برای پاسخ به سؤالاتی مبنی‌بر بومی یا وارداتی بودن سفال‌ها، چندین قطعه سفال از مناطق مختلف سیستان را با استفاده از آنالیزهای XRD و XRF مورد آزمایش قرار دادند که نتایج بر بومی بودن این قطعات دلالت داشت (Sarhadi-Dadian et al., 2015). هم‌چنین «جواد سلمانزاده» براساس مطالعات پتروگرافی نمونه سفال‌های تپه گراتزیانی (یکی از محوطه‌های اقماری در دشت سیستان که در فاصلهٔ ۱۰ کیلومتری جنوب‌شرق شهرسوخته قرار گرفته

است)، مشخص نمود که تمام سفال‌ها تولید محلی و مربوط به منطقه بوده است (سلمان‌زاده و همکاران، ۱۳۹۳). هم‌چنین «روکس» و «کورتی» به مطالعهٔ سفال‌های محوطه‌های شهرسوخته و هاراپا پرداخته‌اند. در این پژوهش با استفاده از مطالعات میکروسکوپی و بررسی میکروفابریک سفال‌ها به بررسی و مطالعهٔ تکنولوژی ساخت این سفال‌ها پرداخته‌اند (Roux & Courty, 1998)؛ و نیز «یوسف صفایی‌نایینی» و همکارانش در پژوهشی که برروی سفال‌های شهرسوخته داشته‌اند، با استفاده از دستگاه میکروسکوپ حرارتی، XRD و XRF، به بررسی و تخمین دمای پخت سفال‌های این محوطه پرداختند. در این پژوهش رفتار حرارتی سفال‌ها از دمای محیط تا ۱۰۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد با استفاده از دستگاه میکروسکوپ حرارتی بررسی شده است که باتوجه به شروع انقباض پخت در حدود دمای ۷۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد این دما به‌عنوان دمای پخت نمونهٔ تخمین‌زده شده است. درنهایت بااستفاده از دو روش XRD و XRF، بررسی استحاله‌های فازی نمونهٔ خاک‌های مشابه سفال باستانی به جهت تأیید و تصدیق آزمایش حرارتی صورت گرفته، پرداخته‌اند که نتایج آن‌ها، بررسی صورت گرفته با دستگاه میکروسکوپ حرارتی را تأیید نموده است (صفایی‌نایینی، ۱۳۹۱). در پژوهشی دیگر که توسط «وحید پورزرقان» و همکارانش برروی تعداد ۵۲ قطعه سفال از دوره‌های مختلف پیش‌ازتاریخی، تاریخی و اسلامی که از شش محوطهٔ سیستان به‌دست آمده‌اند، بااستفاده از روش‌های XRD و XRF بررسی و مطالعه شده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد که ترکیبات سفال‌های اسلامی متفاوت از سفال‌های پیش‌ازتاریخی سیستان است و در منطقهٔ سیستان می‌توان استمراری از تکنولوژی، تولید و تجارت سفالینه‌ها را شاهد بود (Pourzarghan et al., 2017). هم‌چنین می‌توان به دیگر پژوهش‌هایی در رابطه با تکنولوژی ساخت سفال‌های شهرسوخته به روش‌های پتروگرافی و XRF، XRD و SEM-EDX (Javanshah, 2018) و شناسایی و نوع رنگ سفال‌های شهرسوخته به دو روش μ-XRF و μ-Raman اشاره نمود (Eftekhari et al., 2018; 2013).

محوطهٔ باستانی شهرسوخته

شهرسوخته یکی از شهرهای صنعتی اواخر هزارهٔ چهارم پیش‌ازمیلاد در جنوب‌شرقی ایران (مرتضوی، ۱۳۹۱)، مهم‌ترین محوطهٔ باستانی سیستان است که موجودیت خود را طی هزاره‌های چهارم و سوم پیش‌ازمیلاد مدیون رودخانهٔ پرآب هیرمند و دلتای آن بوده است (اسکالونه، ۱۳۹۴: ۲۲۳). کاوش‌های باستان‌شناسی در شهرسوخته طی دو مرحلهٔ زمانی، یعنی مرحلهٔ اول در بازهٔ زمانی سال‌های ۱۹۷۸-۱۹۶۶ توسط باستان‌شناسان مؤسسهٔ ایتالیایی ایزمئو و زیرنظر «ماریتزیو توزی» (Tosi, 1983) و مرحلهٔ دوم از سال ۱۹۹۷ م. تاکنون را شامل می‌شود که این مرحله از کاوش‌های باستان‌شناسی توسط باستان‌شناسان ایرانی و زیرنظر «سیدمنصور سیدسجادی» صورت گرفته شده است (Sajjadi, 2003; 2007; 2009; 2015). گسترهٔ شهر را می‌توان به سه بخش اصلی و سه بخش فرعی تقسیم کرد که عبارتنداز: الف) منطقهٔ بزرگ مرکزی شامل بخش‌های مسکونی شرقی-مرکزی و بناهای

یادمانی، ب) منطقهٔ شمال‌غربی یا منطقهٔ صنعتی، ج) بخش جنوبی یا منطقهٔ گورستان (اسکالونه، ۱۳۹۴: ۲۲۳-۲۲۴)، (تصاویر ۱ و ۲). ۱۲۰ هکتار از وسعت ۱۵۱ هکتاری شهر دارای آثار و بقایای باستانی است (سیدسجادی، ۱۳۸۵: ۱۷). تاکنون تپه‌های اقماری زیادی در این محوطه شناسایی شده است که برخی برای تولید سفال بوده است و ازجملهٔ آن‌ها می‌توان به دو محوطهٔ «تولید سفال رود بیابان ۲» و «تپه دشت» اشاره نمود (مرادقلی و همکاران، ۱۳۹۷). تپه دشت که در ۳ کیلومتری جنوب شهرسوخته قرار دارد، یکی از محوطه‌های کارگاهی عصر مفرغ در دشت سیستان است (کردان، ۱۳۹۰). با بررسی‌های انجام گرفته، مشخص شده از کود حیوانی به‌عنوان سوخت مناسب برای کوره‌های سفال‌پزی استفاده شده است. مطابق آزمایش‌های تجربی، میزان دمای تولید شده توسط این نوع سوخت بین ۹۰۰-۶۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و حتی بالاتر نیز بوده است (مرادقلی و همکاران، ۱۳۹۷). در سیستان بیش از ۹۰۰ محوطهٔ باستانی متعلق به دوران مفرغ شناسایی شده که براساس متغیر مواد فرهنگی سطحی می‌توان محوطه‌های این دوران را به سه دسته: محوطه‌های صنعتی، محوطه‌های غیرصنعتی و محوطه‌های نیمه‌صنعتی تقسیم نمود. ازمیان محوطه‌های صنعتی می‌توان به تپه دشت و تپه بیابان اشاره نمود. فعالیت‌های صنعتی حرارتی در سیستان از مهم‌ترین شیوه‌های اشتغال در دوران مفرغ بوده است؛ به‌طوری‌که ۴۸٪ محوطه‌های عصر مفرغ دارای شواهدی مربوط به این نوع فعالیت بوده‌اند. البته از این‌میان، فعالیت‌های صنعتی مرتبط به کوره‌های پخت اشیاء گلی (سفال، پیکرک و...) در جایگاه بالاتری قرار دارند؛ چراکه ۹۶٪ محوطه‌های صنعتی دارای شواهدی از این‌دست هستند و تنها ۲۲٪ محوطه‌های صنعتی عصر مفرغ سیستان دارای شواهدی از ذوب فلز بوده که در ۹٪ از آن‌ها این شواهد ناچیز است (علایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۴).

معرفی نمونه‌ها

باستان‌شناسان، سفال‌های شهرسوخته را در دسته‌بندی‌های متفاوتی ارائه می‌کنند؛ چنان‌چه «لوردانا مورگاورو» در کتاب ظروف رنگارنگ شهرسوخته این اشیاء با اهمیت را به دو گروه کلی نخودی و خاکستری تقسیم‌بندی نموده و هم‌چنین بیان می‌دارد که گاهی در بین آن‌ها به‌صورت جسته‌وگریخته سفال‌های قرمز نیز دیده می‌شود (مورگاورو، ۱۳۸۷: ۳-۴). تعداد سفال‌های قرمز کم است، جز از چند نمونهٔ استثنایی، بقیه در حقیقت قرمز نبوده‌اند و بر اثر عدم تنظیم حرارت کوره‌ها رنگ آن‌ها قرمز آجری شده است (مرادی، ۱۳۸۸). فرم سفال‌های شهرسوخته نیز بسیار متنوع است و در یک طبقه‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به: کاسه، خمره، لیوان و بشقاب دسته‌بندی نمود. گونهٔ نخودی سفال در کلیهٔ ادوار استقرار شهر دیده شده است. لیوان، کاسه و خمره، شکل اصلی ظرف‌های نخودی است (سیدسجادی، ۱۳۸۸). ازمیان این طیف سفال، بین بیشترین فراوانی، یعنی سفال‌های نخودی و کمترین فراوانی، یعنی سفال‌های قرمز، تعداد ۱۲ شئ که در جریان کاوش‌های روشمند باستان‌شناسی شهرسوخته به‌دست آمده‌اند، انتخاب شد تا براساس اهداف

تعریف شده، روی آن‌ها بررسی‌های باستان‌سنجی صورت پذیرد. تمامی این اشیاء، ظروف کوچک و مکشوف از گورستان بوده‌اند که کاربرد مشترک همهٔ آن‌ها کاربرد آئینی است. اشیاء مورد مطالعه، اشیاء شکسته و مرمت نشده‌ای به تعداد ۸ شئ نخودی و ۴ شئ قرمز هستند که امکان نمونه‌برداری و آزمایش برروی آن‌ها فراهم بود. تعدادی از این ظروف منقوش به رنگ‌های قهوه‌ای و سیاه هستند. تمامی خلاصهٔ اطلاعات باستان‌شناسی سفالینه‌های موردمطالعه در جدول ۲ ارائه شده است (تصویر ۲ و جدول ۲).

▲ تصویر ۲. سفال‌های قرمز و نخودی شهرسوخته و مورد استفاده در تحقیق (نگارنده، ۱۳۹۸).

بحث در نتایج آنالیزهای انجام‌گرفته

تحلیل نتایج پتروگرافی مقاطع نازک (میکروسکوپی): تعداد ۱۲ نمونه از سفال‌های نخودی و قرمز موردمطالعه، جهت انجام آنالیز پتروگرافی نمونه‌برداری شدند. تعداد ۴ نمونه از آن‌ها قرمز و ۸ نمونهٔ دیگر نخودی‌رنگ است. به‌طور کلی سفال از دوقسمت خمیره (زمینه) و مواد پرکننده تشکیل شده است. در مطالعهٔ پتروگرافی سفال، بحث بسیار قابل‌توجه و مهمِ مواد افزوده شده به خمیرهٔ سفال است. باستان‌شناسان اجزائی که اندازهٔ آن‌ها در خمیرهٔ سفال بزرگ‌تر از ۰/۱ میلی‌متر باشد را به‌عنوان افزاینده یا پرکننده (Temper) درنظر می‌گیرند. در هنگام پخت سفال، کلیهٔ مواد گیاهی و آلی موجود در سفال‌ها در درجهٔ حرارت ۲۰۰-۲۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد از بین می‌روند و تنها فضای آن‌ها باقی می‌ماند و در ۴۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد کلیهٔ مواد آلی موجود در خمیره کاملاً از بین می‌رود. در خمیرهٔ نمونه‌های مورد مطالعه، قطعات مختلفی از سنگ چرت، کوارتز (به دو فرم تک‌بلور و پلی‌کریستالین)، اکسید آهن و کلسیت وجود دارد. در علم زمین‌شناسی برای دسته‌بندی سنگ‌ها در زیر

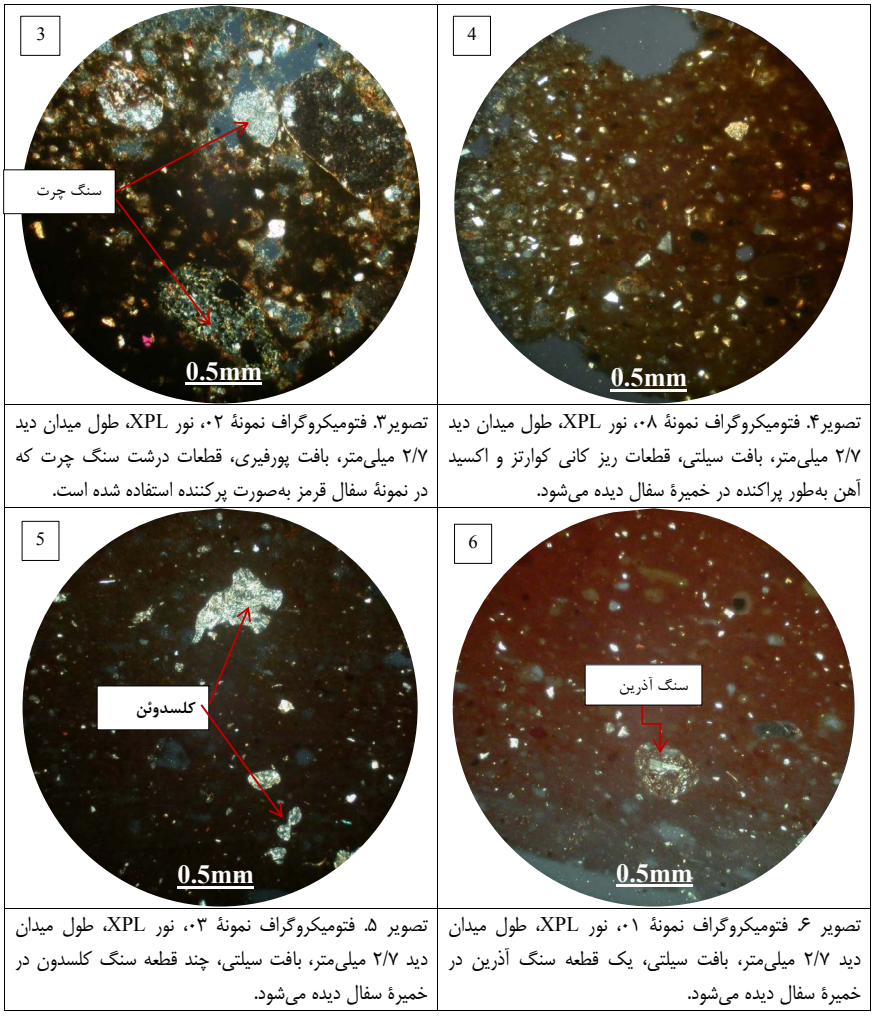
جدول۲. مشخصات سفال‌های مورد استفاده در پژوهش (نگارنده، ۱۳۹۸). ▼

شمارهٔ شئ	شمارهٔ اموال	نوع ظرف	تزئینات	رنگ ظروف			آسیب
				درون	خمیره	بیرون	
۰۱	26706-2	کاسه	ساده	قرمز	قرمز	قرمز	دارد
۰۲	6503-173887	خمره	لعاب گلی	قرمز	قرمز	قرمز	دارد
۰۳	6606-3	قدح	منقوش	قرمز	قرمز	قرمز	دارد
۰۴	NFA 9314	قدح	ساده	قرمز تیره	قرمز	قرمز تیره	دارد
۰۵	NFA 9346-2	قدح	ساده	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۰۶	NFA 9325-1	خمره	ساده	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۰۸	NFA 9313-1	خمره	منقوش	قهوه‌ای روشن	نخودی	نخودی	دارد
۰۹	NFA 9313-3	قدح	منقوش	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۱۲	NFA 9348-22	کاسه	منقوش	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۱۴	MJE 9412-2	قدح	ساده	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۱۶	NFA 9348-12	قدح	منقوش	نخودی	نخودی	نخودی	دارد
۱۷	NFA 9333-3	قدح	ساده	نخودی	نخودی	نخودی	دارد

میکروسکوپ از واژه‌ای به‌نام «بافت»(Texture/) استفاده می‌کنند. بر این‌اساس اگر اجزاء درشت بلور در زمینهٔ ریزبلور قرار گرفته باشد به آن «بافت پورفیری» (درشت دانه) می‌گویند. در این بافت اندازهٔ اجزاء سازنده در حدود ۲-۱ میلی‌متر است که در زمینهٔ ریزبلور به‌صورت پراکنده و شناور قرار دارند. نمونه‌هایی که اندازهٔ اجزاء سازنده در حدود ۰/۵ میلی‌متر و یا کوچک‌تر باشد به آن «بافت سیلتی» گفته می‌شود. ازنظر بافت یا پتروفابریک، همان‌طورکه در جدول ۳ نیز آمده، نمونه‌های موردمطالعه به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- سفال‌های دارای بافت درشت‌دانه یا پورفیری. در این نمونه‌ها از قطعات سنگ چرت، کوارتز و کلسدونی و سنگ آذرین به‌صورت پرکننده استفاده شده است (تصویر ۳). ۲- سفال‌های دارای بافت سیلتی. در این سفال‌ها اندازهٔ اجزاء سازنده کمتر از ۰/۵ میلی‌متر بوده و کانی‌هایی از قبیل: کوارتز، اکسید آهن، کلسیت و... در خمیرهٔ سفال‌ها دیده می‌شود (تصویر ۴). در این نمونه‌ها کانی کوارتز بیشترین فراوانی را دارد. این کانی بیشتر به فرم فنوکریست (تک‌بلور) و به‌مقدار محدود به‌فرم چندبلوری (پلی‌کریستالین) دیده می‌شود. میزان درصد آن بین ۲-۵ درصد در نمونه‌ها متغیر است. حاشیهٔ این کانی زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده است که نشان‌دهندهٔ جابه‌جایی کم آن از محل اولیه و یا اضافه کردن سیلیس به خاک منشأ توسط سفالگر می‌باشد. دیگر اجزاء موجود در خمیرهٔ سفال‌ها عبارتنداز: کلسیت، اکسید آهن، قطعات سنگ آذرین، کلسدونی که به‌مقدار مختلف در خمیرهٔ سفال‌ها یافت می‌شود. در نمونهٔ شمارهٔ ۰۳ قطعات کلسدونی (کوارتز لایه‌ای) مشاهده می‌گردد. این قطعات در نمونه‌های دیگر وجود ندارد (تصویر ۵). نمونهٔ سفال‌های

قرمز از نظر فابریک دو بافت پورفیری و سیلتی را دارند. خمیرهٔ این سفال‌ها یکسان و قرمز رنگ است. در نمونهٔ شمارهٔ ۰۱ علاوه‌بر کانی کوارتز و سنگ چرت و اکسید آهن به‌مقدار خیلی محدود قطعات سنگ آذرین دیده می‌شود (تصویر ۶). این نمونه فاقد کلسیت است. در این نمونه‌ها از قطعات سنگ چرت و کوارتز به‌صورت آمیزه یا پرکننده استفاده شده است. خمیرهٔ آن‌ها رُسی بوده و فاقد ترکیبات کربنات است. نمونهٔ شمارهٔ ۰۳ از نظر ترکیب مشابه با شمارهٔ ۰۱ است، با این تفاوت که در این نمونه کانی کلسیت وجود ندارد و علاوه‌بر سنگ چرت، قطعات کلسدونی در خمیرهٔ سفال دیده می‌شود (این قطعات در سنگ‌های دیگر وجود ندارد). نمونهٔ سفال‌های نخودی‌رنگ نیز از نظر ترکیب تقریباً مشابه با سفال‌های قرمز هستند. اما عمدهٔ تفاوت اصلی آن‌ها در ترکیب زمینه است. سفال‌های نخودی، ترکیب کربناتی-رُسی دارد و سفال‌های قرمز، خمیرهٔ ترکیب رُسی دارد. در این نمونه‌ها مانند سفال‌های قرمز، قطعات سنگ چرت، کوارتز، کلسیت و اکسید آهن وجود دارد.

برای بررسی درجهٔ حرارت پخت سفال از کانی کلسیت استفاده می‌شود. کانی کلسیت و یا کانی‌های با بنیان کربناته در دمای ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در اثر حرارت از



تصویر۴. فتومیکروگراف نمونهٔ ۰۸، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت سیلتی، قطعات ریز کانی کوارتز و اکسید آهن به‌طور پراکنده در خمیرهٔ سفال دیده می‌شود.

تصویر۳. فتومیکروگراف نمونهٔ ۰۲، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت پورفیری، قطعات درشت سنگ چرت که در نمونهٔ سفال قرمز به‌صورت پرکننده استفاده شده است.

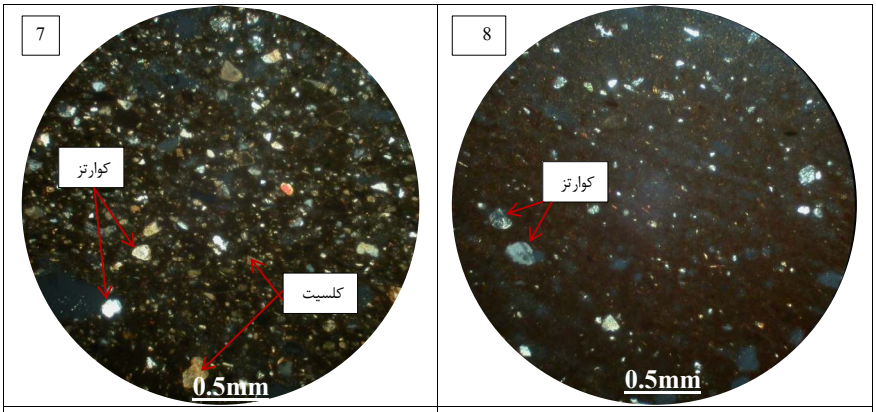
تصویر ۶. فتومیکروگراف نمونهٔ ۰۱، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت سیلتی، یک قطعه سنگ آذرین در خمیرهٔ سفال دیده می‌شود.

تصویر ۵. فتومیکروگراف نمونهٔ ۰۳، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت سیلتی، چند قطعه سنگ کلسدون در خمیرهٔ سفال دیده می‌شود.

◄ تصاویر ۳-۶. مطالعهٔ پتروگرافی سفال‌های مورد استفاده در پژوهش (نگارنده، ۱۳۹۸).

بین می‌روند. نبود کانی کلسیت در سفال‌های مطالعاتی، نشان از درجه حرارت بیش از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد برای این سفال‌ها است (Emami, 2010)؛ همان‌طورکه در جدول ۳ آمده است، نمونه‌های دارای کلسیت درجه حرارت پخت آن‌ها از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد فراتر نرفته است (تصاویر ۷ و ۸).

تصاویر ۷ و ۸. مطالعهٔ پتروگرافی سفال‌های مورد استفاده در پژوهش (نگارنده، ۱۳۹۸). ◄



تصویر ۷. فتومیکروگراف نمونهٔ ۱۷، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت سیلتی، قطعات فراوان کانی کلسیت همراه با کوارتز در خمیرهٔ سفال دیده می‌شود.

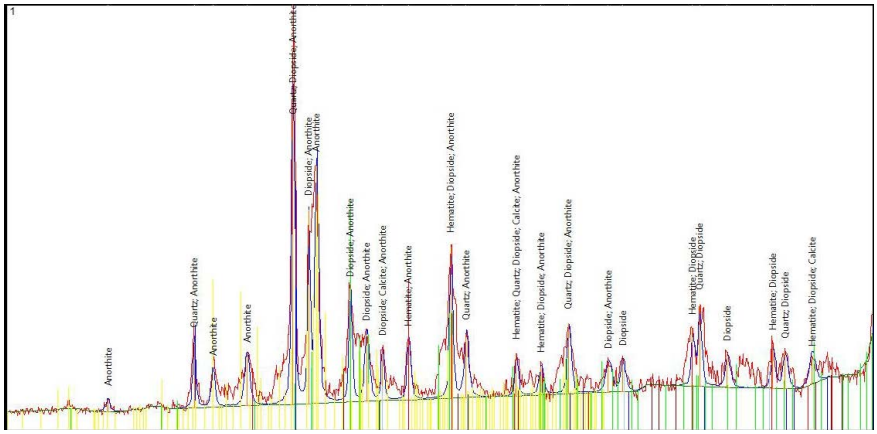
تصویر ۸. فتومیکروگراف نمونهٔ ۰۳، نور XPL، طول میدان دید ۲/۷ میلی‌متر، بافت سیلتی، خمیرهٔ سفال فاقد کانی کلسیت بوده و تنها کانی کوارتز به‌طور پراکنده دیده می‌شود.

جدول ۳. نتایج مطالعهٔ پتروگرافی سفال‌های مورد مطالعه (نگارنده، ۱۳۹۸). ▼

Number of Sample	Qz (Clea)	Qz (Cloudy)	Plg	Fe-oxid	Cc	V.R	S.R & Chert	Chalcedony	Texture
01	*	*	Tr	*	-	Tr	*	-	سیلتی
02	*	*	-	*	*	-	*	-	پورفیری
03	*	*	Tr	*	-	-	*	*	سیلتی
04	*	*	-	*	-	-	*	-	پورفیری
05	*	*	Tr	*	-	-	-	-	پورفیری
06	*	*	-	*	*	-	*	-	سیلتی
08	*	*	Tr	*	*	-	-	-	سیلتی
09	*	*	-	*	*	-	*	-	پورفیری
012	*	*	-	*	*	-	*	-	پورفیری
014	*	*	-	*	-	-	*	-	سیلتی درشت دانه
016	*	*	-	*	-	-	*	-	پورفیری
017	*	*	*	*	*	-	*	-	سیلتی درشت دانه

باتوجه به نقشهٔ زمین‌شناسی۱:۲۵۰۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰۰ زابل، منطقهٔ موردمطالعه در یک دشت مسطح قرار دارد که متشکل از رسوبات ریزآبرفتی و نهشته‌های حاصل از دریاچهٔ هامون است. در این مناطق انواع مختلف سنگ ازجمله (ماسه‌سنگ، سنگ آهک میکرایتی و فسیل‌دار، سنگ‌های سیلیسی کریپتوکریستالین، مانند: چرت و فیلینت، ژاسپر، عقیق، شیل، سنگ‌های آذرین و آذرین رسوبی و سیلت) را می‌توان یافت (سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۳۸۱). کانی کلسیت یکی از ترکیب‌های اصلی رسوبات موجود در منطقه است، درنتیجه می‌توان نبود کلسیت در تعدادی از نمونه سفال‌ها را از درجه حرارت پخت سفال توجیه نمود؛ همان‌طورکه در جدول ۳ نیز آمده، تعدادی از نمونه‌ها دارای کلسیت و تعدادی دیگر فاقد کلسیت‌اند. براساس نتایج آنالیز پتروگرافی، از بین ۴ نمونه سفال قرمز، تنها در نمونهٔ ۰۲ کلسیت شناسایی شده که نشان می‌دهد دمای پخت این سفال پایین‌تر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد بوده و ازمیان نمونه سفال‌های نخودی، تنها نمونه‌های ۱۴ و ۱۶ فاقد کلسیت هستند که این نشان‌دهندهٔ دمای پخت بالاتر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد در این نمونه‌هاست. البته باید این نکته مدنظر قرار گیرد که مطالعهٔ پتروگرافی برروی یک مقطع کوچک (۱×۳ سانتی‌متر) است و برای تعمیم به آزمایشات تکمیلی نظیر پراش پرتوی ایکس نیاز است که در ادامه آمده است.

تحلیل نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD): آنالیز XRD برروی دو نوع ظروف قرمز و نخودی (سه نمونه سفال قرمز و سه نمونه سفال نخودی) صورت گرفته است. فاز شناسایی شده کوارتز ازجمله فازهای شاخص در طیف‌های تمامی سفال‌های قرمز و نخودی است. هماتیت (اکسید آهن سه ظرفیتی) از دیگر فازهای شناسایی شده در این سفال‌ها است. این فاز نشان‌دهندهٔ پخت سفال‌ها در شرایط اکسیداسیون کوره است. کلسیت ازجمله فازهایی است که در سفال ۰۱، ۰۶ و ۱۲ شناسایی شد (تصویر ۹) که این‌امر نشان‌دهندهٔ بالا نرفتن حرارت کورهٔ پخت از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است، این موضوع به‌خوبی در مطالعات میکروسکوپی سفال‌ها مشهود است. فاز کلسیت در دیگر سفال‌ها از جمله ۰۳ و ۰۴ شناسایی نشد که نشان می‌دهد حرارت پخت این سفال‌ها فراتر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد رفته است؛ زیرا

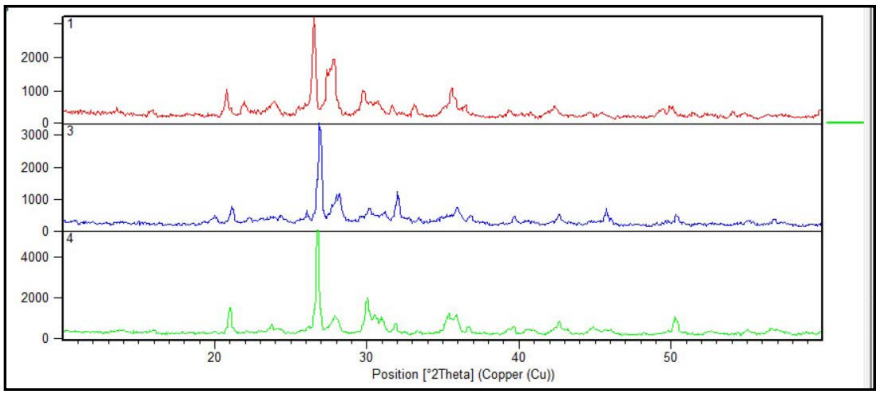


▶ تصویر ۹. دیاگرام فازی XRD از سفال قرمز (کد ۰۱). دارای فازهای کوارتز، دیوپسید، هماتیت، آنورتیت و کلسیت است (نگارنده، ۱۳۹۸).

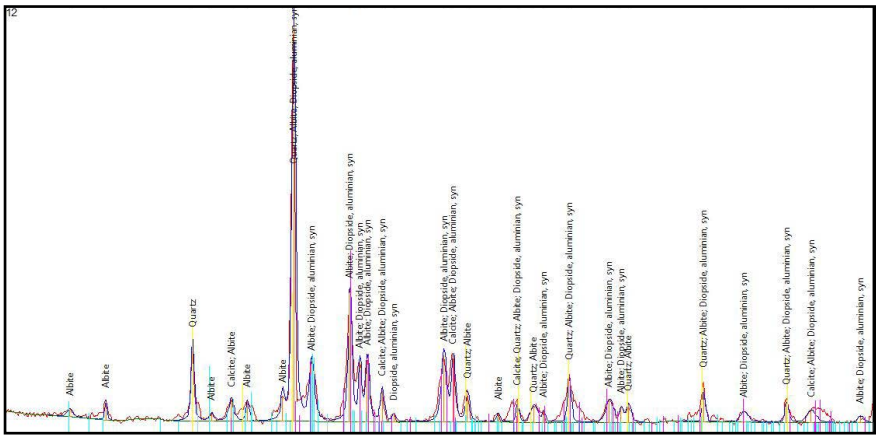
همان‌طور که قبلاً ذکر شد، کلسیت در دمایی بالاتر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد ازبین می‌رود (Fabbri et al., 2014; Shahraki et al., 2011).

تصویر ۱۰، دیاگرام مقایسه‌ای پراش پرتو ایکس بین سفال‌های قرمز (۰۱، ۰۳ و ۰۴) را نشان می‌دهد. فازهای مشخص شدهٔ این‌دسته از سفال‌ها تقریباً در یک محدودهٔ معین قرار دارد و دارای شباهت‌های ساختاری همسانی بین آن‌ها است (تصویر ۱۰).

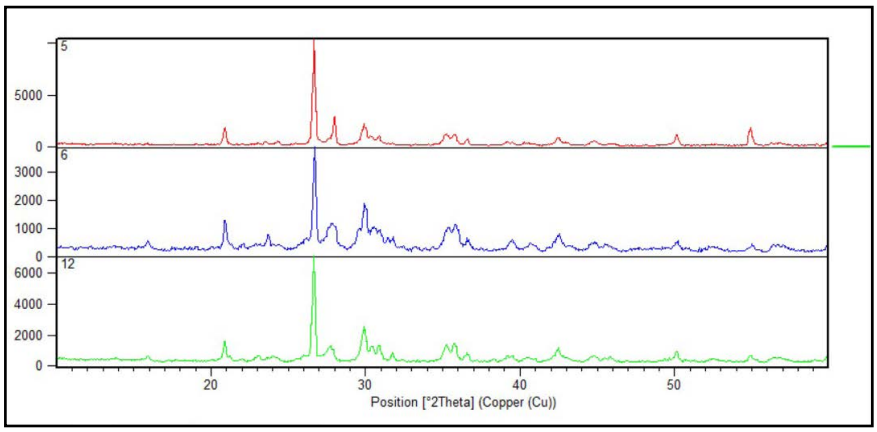
دیاگرام مقایسه‌ای صورت گرفته مابین سفال‌های نخودی با اندک اختلافات جزئی تقریباً ساختار یکسانی را برای سفال‌ها نشان می‌دهد (تصویر ۱۲).



تصویر ۱۰. دیاگرام مقایسه‌ای XRD از سه نمونه سفال قرمز شهرسوخته (نگارنده، ۱۳۹۸). ◄



تصویر۱۱. دیاگرام فازی XRD از سفال نخودی (۰۱۲). دارای فازهای کوارتز، دیوپسید، آلبیت و کلسیت است (نگارنده، ۱۳۹۸). ◄



تصویر ۱۲. دیاگرام مقایسه‌ای XRD از سه نمونه سفال نخودی مورد مطالعه (نگارنده، ۱۳۹۸). ◄

در جدول ۴، فازهای مینرالوژیکی شناسایی شده در نمونه‌های موردمطالعه آمده است. «ژیپس» از دسته فازهایی است که به‌مرور زمان و در طول مدت دفن وارد بافت سفال می‌شود. دو مادهٔ کلسیت و ژیپس در ساختار خاک و سفال‌های شهرسوخته به‌طور گسترده‌ای قابل‌مشاهده است؛ زیرا این مواد از عمده‌ترین مواد موجود در شوره‌ها هستند (بهادری، ۱۳۷۹) و این ویژگی ازجمله مهم‌ترین خصوصیت خاک و زمین‌شناسی دشت سیستان است که سبب حفاظت و باقی‌ماندن آثار فرهنگی گوناگون مشکوف از این شهر باستانی شده است. «مسکوویت» از دسته کانی‌های صفحه‌ای است که تا دمای ۹۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد در حین پخت پایدار است (امامی و همکاران، ۱۳۹۳). «فلدسپات»ها (آلبیت و آنورتیت) از فازهای معمول شناسایی شده در دیاگرام فازی سفال‌های قرمز است. باتوجه به این‌که فلدسپات‌ها از کانی‌های شایع و عمدهٔ موجود در سطح پوستهٔ زمین و مرجع کانی‌های رُسی هستند؛ بنابراین حضور آن‌ها در بافت سفال‌های موجود، امری طبیعی شمرده می‌شود (پایدار، ۱۳۸۴: ۲۴۱). «دیوپسید» نیز از دیگر فازهای مینرالوژیکی شناسایی شده در ساختار سفال‌های قرمز شهرسوخته است. «سانیدین» جزو خانواده فلدسپات‌های سدیک-پتاسیک است که در حرارت‌های بالا در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود (یک فاز حرارت بالا است)، (همان: ۲۴۶). نمونه‌های ۰۱، ۰۳ و ۰۴ دارای شباهت ساختاری بوده، هر سه نمونه دارای هماتیت هستند؛ یعنی در شرایط اکسیداسیون پخت داده شده‌اند. با توجه به نتایج این آنالیز، شباهت‌های کانی‌شناسی و ساختاری زیادی بین نمونه‌های نخودی و قرمز قابل‌مشاهده است.

◄جدول ۴. فازهای مینرالوژیکی شناسایی شده در سفال‌های مورد مطالعه (نگارنده، ۱۳۹۸).

Number of Sample	Compound Name	Chemical Formula
01	Hematite Quartz Diopside Calcite Anorthite	Fe_2O_3 SiO_2 $CaMgSi_2O_6$ $Ca(CO_3)$ $Ca(Al_2Si_2O_8)$
03	Quartz Gypsum Hematite Muscovite	SiO_2 $CaSO_42H_2O$ Fe_2O_3 $KAl_2[(OH,F)_2AlSi_3O_{10}]$
04	Quartz Albite, calcian, ordered Muscovite Hematite	SiO_2 $(Na, Ca)(Si, Al)_4O_8$ $KAl_2[(OH,F)_2AlSi_3O_{10}]$ Fe_2O_3
05	Quartz Gypsum Sanidine	SiO_2 $CaSO_42H_2O$ $(K_{0.831}Na_{0.169})(AlSi_3O8)$
06	Quartz Calcite Diopside Gypsum	SiO_2 $CaCO_3$ $CaMgSi_2O_6$ $CaSO_42H_2O$
12	Calcite Quartz Albite Diopside, aluminian, syn	$CaCO_3$ SiO_2 $Na(AlSi_3O_8)$ $Ca(Mg, Al)(Si, Al)_2O_6$

نتیجه‌گیری

براساس تحلیل نتایج آنالیزها و بررسی‌های انجام‌شده برروی نمونه‌های موردمطالعه، دو گونهٔ سفالی نخودی و طیف قرمزرنگ تقریباً ازنظر اجزاء سازنده و ساختار شبیه به‌هم هستند و تفاوت اصلی آن‌ها در ترکیب خمیره و درصد فراوانی هر یک از اجزاء موجود در خمیرهٔ سفال‌ها است؛ هم‌چنین میزان حرارت و شرایط اکسیداسیون و احیاء کوره، عامل مهم در تعیین رنگ سفال‌ها بوده است. اندازهٔ قطعات موجود در خمیرهٔ سفال‌های دارای بافت پورفیری از ۱ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند و بیشترین ترکیب موجود در خمیرهٔ کانی کوارتز و قطعات سنگ چرت است که منابع هر دوی این سنگ‌ها در منطقه به‌وفور یافت می‌شود. در مقایسهٔ خاک و کانی‌های موجود در سفال‌های بررسی شده با زمین‌شناسی منطقهٔ شهرسوختهٔ سیستان و هم‌چنین مقایسهٔ ساختاری با سایر پژوهش‌های سفال شهرسوخته، مشخص گردید که نمونه‌های موردمطالعه، ازنظر بومی بودن می‌تواند بومی منطقه و مربوط به صنعت سفالگری خود شهرسوخته باشد. با وجود تعداد کم سفال‌های طیف قرمزرنگ و طرح فرضیهٔ وارداتی بودن آن‌ها، با توجه به نتایج حاصله از آنالیزها می‌توان این‌گونه بیان کرد که چون این دو گونهٔ سفالی ازنظر کانی‌شناسی و ساختار دارای ساختاری همسان و مشابه هستند، این احتمال وجود دارد که سفالگران شهرسوخته توانسته‌اند به فن‌آوری ساخت سفال‌های طیف قرمزرنگ دست پیدا کنند.

طبق بررسی‌های آزمایشگاهی، سفال‌های نخودی و طیف قرمزرنگی که در این پژوهش موردمطالعه قرار گرفته‌اند، منابع مورد استفاده در ساخت آن‌ها تقریباً یکسان و نیز بومی بوده است. به‌نظر می‌رسد تفاوت موجود در سفال‌ها مربوط به نوع شیوهٔ ساخت و نحوهٔ عمل‌آوری خمیرهٔ سفال‌ها توسط سفالگران پیش‌ازتاریخی شهرسوخته بوده است؛ چراکه مناطق صنعتی و کوره‌های عصر مفرغ در تپه‌های اقماری شهرسوخته واقع‌شده‌اند. سفالگرهای شهرسوخته در ساخت سفال‌ها از آمیزه‌های معدنی سیلیس‌دار منطقه استفاده کرده‌اند؛ بنابراین افزاینده‌های به‌کار برده شده توسط این صنعتگران، بیشتر منابع سیلیسی چون سنگ‌های چرت منطقه بوده که باعث اصلاح خاک سفالگری نیز می‌شده است؛ اما باتوجه به سازند زمین‌شناسی دشت سیستان حضور دانه‌های کربناته، به‌ویژه کلسیت در بافت خمیره باید مشاهده می‌شد که این موضوع در تعدادی از سفال‌های موردمطالعه مشاهده (سفال‌های ۰۱، ۰۲، ۰۶، ۰۸، ۰۹، ۱۲ و ۱۷) و در تعدادی دیگر (سفال‌های ۰۳، ۰۴، ۰۵، ۱۴ و ۱۶) مشاهده نشد. این موضوع نشان می‌دهد نمونه‌های فاقد فازهای کربناته، دمای پختی بالاتر از ۸۵۰ درجهٔ سانتی‌گراد را در کوره تحمل نموده‌اند. کوره‌هایی که در محوطه‌های اقماری شهرسوخته واقع‌شده‌اند و با استفاده از سوخت حیوانی، قابلیت تولید دماهای بالایی را داشته‌اند؛ بنابراین ازلحاظ دمای پخت در کوره می‌توان سفال‌ها را در دو دستهٔ سفال‌هایی با دمای کمتر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد و سفال‌هایی با درجهٔ پخت بالاتر از ۸۰۰ درجهٔ سانتی‌گراد تقسیم‌بندی نمود.

سپاسگزاری

در این بخش نگارندگان برخود لازم می‌داند از آقایان سید ایرج بهشتی و یاسین صدقی که در به اتمام رساندن این پژوهش سهم داشته‌اند، کمال تشکر و سپاس را ابراز نماید.

پی‌نوشت

۱ - دستگاه دیفراگتومتر، لامپ تیوپ تولیدکنندهٔ پرتو ایکس آن از جنس مس (Cu) و با اختلاف پتانسیل ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر، پرتو ایکس موردنیاز را تولید می‌کند. آزمایش XRD برروی نمونه‌های موردنظر از زاویهٔ ۱۰ تا ۶۰ درجهٔ ۲ θ = ۱۰-۶۰)) انجام شده و برای تفسیر آنالیزها از نرم‌افزار X'PertHighScore Plus استفاده شده است (دینی و فاطمی، ۱۳۹۶).

کتابنامه

- استوارت، باربارا، ۱۳۹۳، روش‌های تجزیه مواد در مرمت و حفاظت آثار تاریخی. ترجمهٔ مسعود باقرزاده کثیری، تبریز: انتشارات دانشگاه هنر اسلامی تبریز، چاپ اول.

- اسکالونه، انریکو، ۱۳۹۴، باستان‌شناسی جوامع ایران باستان (در هزارهٔ سوم پیش‌ازمیلاد). ترجمهٔ سید منصور سیدسجادی، تهران: انتشارات سمت، چاپ اول.

- امامی، سیدمحمدامین؛ آریانسب، سیمین؛ احمدی، حسین؛ عسگری چاوردی، علیرضا؛ و کالیری، پیر فرانچسکو، ۱۳۹۳، «روش‌های باستان‌سنجی به‌منظور ساختارشناسی آجرهای کشف شده از تل آجری تخت جمشید». نشریه مطالعات باستان‌شناسی، دورهٔ ۶، شمارهٔ ۲،صص: ۱-۱۹.

- بهادری، رویا، ۱۳۷۹، «بررسی شوره‌زنی آثار سفالی به‌دست آمده از حفاری‌های باستان‌شناسی». مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۸، شمارهٔ ۱، صص: ۷۱-۸۲.

- پایدار، حسین، ۱۳۸۴، مواد اولیه مصرفی در صنعت سرامیک. اصفهان: انتشارات غزال، چاپ اول.

- دینی، قاسم؛ فاطمی، اعظم، ۱۳۹۶، آنالیز کیفی پراش اشعه ایکس با استفاده از نرم‌افزار *X'PertHighScore Plus*، انتشارات دانشگاه اصفهان، چاپ اول.

- سلمانزاده، جواد؛ کاوش، حسینعلی؛ فاضلی‌نشلی، حسن؛ و بهشتی، سید ایرج، ۱۳۹۳، «نتایج آزمایشات پتروگرافی نمونه‌های سفالی تپه گراتزیانی». مجلهٔ علمی پژوهشی مطالعات باستان‌شناسی، دورهٔ ۶ ، شمارهٔ ۱، صص: ۵۵-۶۶.

- سیدسجادی، سیدمنصور، ۱۳۸۵، شهر سوخته آزمایشگاهی بزرگ در بیابانی کوچک. پایگاه میراث‌فرهنگی و گردشگری شهرسوخته، چاپ اول، ص: ۱۷.

- سیدسجادی، سیدمنصور، ۱۳۸۸، «محیط طبیعی و آثار باستانی دشت سیستان». مجموعه مقالات شهرسوخته ۱، سازمان میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.

- سیدسجادی، سیدمنصور، ۱۳۸۸، «نشانه سفالگران در شهرسوخته». مجموعه مقالات شهرسوخته ۱، سازمان میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.

- صفایی‌نایینی، یوسف؛ قصاعی، حسین؛ عرب، یاسر؛ و خراسانی‌زاده، فاطمه، ۱۳۹۱، «شناسایی دمای پخت سفال‌های باستانی از طریق بررسی انقباض پخت و استحاله‌های فازی». مجموعه مقالات نخستین همایش علم مواد و حفاظت آثار فرهنگی، تاریخی، انتشارات پژوهشگاه میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری با همکاری پژوهشگاه مواد و انرژی، چاپ اول، صص: ۳۱۹-۳۲۷.

- علایی‌مقدم، جواد؛ موسوی‌حاجی، سیدرسول؛ و مهرآفرین، رضا، ۱۳۹۴، «بررسی کارگاه‌های صنعتی (کوره‌های سفال و ذوب فلز) عصر مفرغ سیستان براساس مطالعات باستان‌شناسی». دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، آبان‌ماه.

- فلاحتی، محمدرضا، ۱۳۸۳، «یک روز زندگی در شهرسوخته». جستارهای شهرسازی، شماره‌های ۱۰ و ۱۱، صص: ۸۴-۹۳.

- کردان، مرضیه، ۱۳۹۰، «آنالیز شیمیایی سفال‌های تپه دشت»، پایان‌نامهٔ کارشناسی‌ارشد در رشتهٔ باستان‌شناسی، به راهنمایی: مهدی مرتضوی، دانشگاه سیستان و بلوچستان (منتشر نشده).

- گرگی، مرتضی؛ و مکوندی، بهرنگ، ۱۳۹۲، «بررسی تغییرات در ساختار و کاربرد ظروف سفالین خاکستری‌رنگ گورستان شهرسوخته (نمونه‌های یافت شده در سال‌های ۸۲-۸۰)». همایش ملی باستان‌شناسی ایران دستاوردها، فرصت‌ها، آسیب‌ها، دانشکدهٔ هنر دانشگاه بیرجند، اردیبهشت.

- مرادقلی، ناهید؛ مرتضوی، مهدی؛ و شفیعی‌آفارانی، مهدی، ۱۳۹۸، «قوم باستان‌شناسی و تحلیل کوره‌های سفال‌پزی تپه دشت». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شمارهٔ ۲۲، دورهٔ ۹، پاییز.

- مرادی، حسین، ۱۳۸۸، «لیوان‌های گلابی‌شکل شهرسوخته». مجموعه مقالات شهر سوخته ۱، سازمان میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان، صص: ۲۴۱-۲۶۶.

- مرتضوی، مهدی، ۱۳۹۱، «بومی‌سازی باستان‌شناسی و هنرهای سنتی: مطالعه موردی استان سیستان‌و-بلوچستان». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شمارهٔ ۲، دورهٔ ۲، بهار و تابستان، صص: ۳۷-۴۷.

- منافی، صاحبعلی؛ بدیعی، سیدحسین؛ جعفریان، مجتبی، ۱۳۹۱، آشنایی با آنالیز فازی نانو مواد با استفاده از نرم‌افزار *X'PertHighScore*. تهران: دانشگاه آزاد اسلامی، سازمان چاپ و انتشارات، چاپ اول.

- مورگاورو، لوردانا، ۱۳۸۷، ظروف رنگارنگ شهرسوخته. ترجمهٔ سید منصور سیدسجادی، استانداری سیستان و بلوچستان و سازمان میراث‌فرهنگی، صنایع‌دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان، چاپ اول.

- Batiuk, S., 2000, "Petrographic Analysis of Early Transcaucaian Ceramics from the Bayburt Region, North Eastern Anatolia: An Exploratory Study". *ANES*, No. 37, Pp: 153-163.

- Boldea, D. A. & Praisler, M., 2013, "Petrographic Characterization of

Painted Eneolithic Ceramics". *European Journal of Science and Theology,* No. 9(2), Pp: 243-248.

- Eftekhari, N.; Vaccaro, C. & Thun Hohenstein, U., 2013, *Micro-Raman spectroscopy study of pigments used on the potteries of Shahr-i Sūkhté (Fourth to Third millennium B.C.), South-East Iran*. EMAC 2013, 12th European Meeting on Ancient Ceramics, Padova.

- Eftekhari, N.; Holakooei, P.; Sayyadshahri, H. & Vaccaro, C., 2018, "Four shades of black: Noninvasive scientific studies on the painted potteries from Shahr-i Sokhta, eastern Iran". *Journal of Archaeological Science: Reports,* No. 22, Pp: 100-107.

- Emami, S. M. A. & Trettin, R., 2010, "Phase Generating Processes in Ancient Ceramic Matrices Through Microstructure Investigation with High Resoluion Microscopy Methods". *Journal of Advanced Microscopy Research*, No. 5, Pp: 181-189.

- Fabbri , B.; Gualtieri, S. & Shoval, S., 2014, "The presence of calcite in archaeological ceramics". *Journal of the European Ceramic Society,* No. 34, Pp: 1899-1911.

- Javanshah, Z., 2018, "Chemical and Mineralogical Analysis for Provenancing of the Brobze Age Pottery from Shahr-I Sokhta, South Eastern Iran". *Scientific Culture,* Vol. 4, No. 1, Pp: 83-92.

- Moradi, H.; Sarhadi Dadian, H.; Ramli, Z. & Shuhaimi Nik, N. H., 2013, "Compositional Analysis of the Pottery Sherds of Shahre-I Sokhta, South Eastern Iran". *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology,* No. 6(4), Pp: 654-659.

- Pourzarghan, V.; Sarhaddi-Dadian, H. & Ramli, Z., 2017, "Morphology of ancient Potteries Using X-Ray Diffraction Analysis and X-Ray Fluorescence in Sistan Plan, Eastern IRAN". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry,* No. 17 (2), Pp: 175-186.

- Roux, V. & Courty, M. A., 1998, "Identification of Wheel-fashioning Methods: Technological Analysis of 4th-3rd Millennium BC Oriental Ceramics". *Journal of Archaeological Science*, No. 25, Pp: 747-763.

- Sajjadi, S. M. S., 2003, "Excavations at Shahr-I Sokhta. First Preliminary report on the Excavations of the Graveyard 1997-2000". *Iran*, No. 41, Pp: 11-91.

- Sajjadi, S. M. S., 2007, *Excavations at Shahr-iSokhta (Graveyard 1997-2000. Preliminary Report 1)*. Tehran: Cultural and Communication vise Directorate Central Office of Cultural Affaires.

- Sajjadi, S. M. S., 2009, *Excavations at Shahr-iSokhta (Graveyard*

1997-2000. Preliminary Report 2). Tehran: Iranian Center for ArchaeologicalResearch. Cultural Heritage, Handicrafts & Tourism Organization of Sistan & Baluchistan.

- Sajjadi, S. M. S. & Moradi, H., 2015, "Excavation at Building Nos. 1 and 20 at Shahr-I Sokhta". *International Journal of the Society of Iranian Archaeologist,* Vol. 1, No, 1, Pp: 35-49.

- Sarhadi Dadiyan, H.; Pourzarghan, V.; Moradi, H., & Razani, M., 2015, "Traces of Indigenous Buff Pottery Industry of Shahr-I Sokhta; Using Semi-Quantitative Analysis of Elements XRF". *Journal of Research on Archaeometry*, No. 1(1), Pp: 47-54.

- Sarhadi-Dadian, H.; Ramli, Z.; Nik Abdul Rahman, N. & Mehrafarin, R., 2015, "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*, No. 5 (3), Pp: 45-56.

- SHahraki, B. K.; Mehrabi, B.; Gholizadeh, K. & Mohammadinasab, M., 2011, "Thermal behavior of Calcite as expansive agent". *Journal of Mining and Metallurgy*, No. 47(1), Pp: 89-97.

- Tosi. M., 1983, *Prehistoric Sistan 1*. IsMEO, Rome.