



بررسی و شناخت هنر سفال خاکستری در محوطه عصر مفرغی چگردک بلوچستان با استفاده از روش‌های پتروگرافی، XRD و SEM-EDX

سید محسن حاجی سیدجوادی^I

یاسین صدقی^{II}

محمدرضا شیخی^{III}

نجمه خاتون میری^{IV}

نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۴۸ - ۳۱
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۱۳
شناسه دیجیتال (DOI): 10.66224/PJAS.5.18.31

چکیده

سفالینه‌های خاکستری‌رنگ یکی از شاخص‌ترین و مهم‌ترین آثار فرهنگی مکشوف از محوطه‌های عصر مفرغی جنوب شرق فلات ایران است. این سبک سفالینه‌ها به مقدار بسیار گسترده‌ای از محوطه عصر مفرغی چگردک جلگه چاه‌هاشم در بلوچستان به دست آمده است که تاکنون از نظرها و مطالعات باستان‌شناسی، باستان‌سنجی و تاریخ هنری جنوب شرق فلات ایران به دور مانده است. پرسش اصلی این پژوهش حول چگونگی ساخت و تزئین این سفال‌هاست. به نظر می‌رسد در این منطقه، ساخت سفال توسعه یافته بود و روش‌های ساخت متفاوتی داشتند. پژوهش حاضر به روش تحلیلی-تجربی و بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است. اشیاء مورد مطالعه متعلق به موزه جنوب شرق ایران بوده که اقداماتی نظیر مستندنگاری وضعیت اشیاء و همچنین نمونه‌برداری‌های لازم جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در محل کارگاه مرمت موزه منطقه‌ای جنوب شرق زاهدان صورت پذیرفته است. در ادامه با استفاده از مطالعات پتروگرافی مقطع نازک (OM) و آنالیزهای دستگاهی با روش‌های SEM-EDX و XRD به تحلیل داده‌ها در جهت تحقق اهداف پژوهش پرداخته شده است. در این مطالعه، بررسی ۱۱ نمونه سفال خاکستری‌رنگ مربوط به محوطه چگردک که در سال ۱۳۹۷ ه.ش، از کاوش‌های اضطراری به دست آمده است، صورت پذیرفت که تمام سفال‌ها چرخ‌ساز و به رنگ خاکستری در طیف‌های تیره تا روشن و با ضخامت‌های مختلف اما در محدوده سفالینه‌های نازک هستند. بررسی‌های باستان‌سنجی صورت گرفته بر روی سفال‌ها، ترکیبی مشابه در نظر می‌گیرد، ولی نشان می‌دهد که شیوه‌های تولید مختلفی به کار گرفته می‌شده است. سفال‌های مورد نظر سفال‌هایی با تولید در کوره‌های حرارت بالا و روش‌های پیشرفته بوده است؛ به طوری که دقت در ساخت، ظرافت و استحکام مدنظر سفالگران بوده است. نتایج حاصله نشان می‌دهند که سفالگری در این محوطه یک صنعت بسیار پیشرفته بوده است که برای تزئین سفال‌ها از مواد معدنی با پایه آهن و منگنز استفاده کرده‌اند.

کلیدواژگان: باستان‌سنجی، پتروگرافی، سفالگری عصر مفرغ، چگردک، XRD، SEM-EDX.

I. استادیار، گروه هنر و معماری، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران (نویسنده مسئول). hajsayyedjavady@pnu.ac.ir

II. کارشناس ارشد باستان‌سنجی، اداره حفاظت و مرمت مؤسسه فرهنگی موزه‌های بنیاد مستضعفان، تهران، ایران.

III. کارشناس مرمت آثار تاریخی، گروه مرمت آثار تاریخی، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

IV. مربی، گروه مرمت آثار تاریخی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه زابل، زابل، ایران.

مقدمه

جنوب شرق ایران یکی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین مناطق از نقطه نظر تحولات بشری در عصر مفرغ محسوب می‌شود. گواه این مطلب، پراکندگی و وجود محوطه‌ها و تپه‌های باستانی متعدد مربوط به هزاره سوم پیش از میلاد، در این منطقه است. محوطه‌های شاخصی همچون: شهرسوخته (DeCardi, 1968; Tosi, 1975; Biscione et al., 1977; Tosi, 1976; Piperno & Tosi, 1975; Heydari et al., 2006; Mortazavi, 1968)، کشیک (Heydari et al., 2018)، اسپیدژ (Heidary et al., 2019)، خوراب (Stein, 1937) و دامین (Tosi, 1970) و نیز محوطه چگردک (Heydari et al., 2015) نمونه‌های بارز و برجسته موجود و شناخته شده در استان سیستان و بلوچستان هستند که تا به امروز تمامی آن‌ها مورد مطالعه و بررسی‌های مختلف باستان‌شناختی قرار گرفته‌اند و همچنان سیر این مطالعات در حوزه‌های مختلف آن نیز ادامه دارد. در بازه زمانی هزاره سوم پیش از میلاد، جنوب شرق ایران دچار شکوفایی ویژه‌ای در تمامی وجوه فرهنگی، اقتصادی، سیاسی و... می‌شود (Mortazavi, 2005). تبیین این روابط فرهنگی با بررسی‌های آثار فرهنگی موجود در محوطه‌های جنوب شرق به راحتی قابل تشخیص است. در این دوران است که در تمامی محوطه‌های فوق می‌توان هنر ساخت و تولید آثار و اشیاء مختلف را به مثابه یک صنعت-هنر برای مصارف داخلی و نیز تجارت مشاهده کرد. ساخت انواع زیورآلات از سنگ‌های نیمه قیمتی (Vidale & Lazzari, 2017)، انواع ابزارآلات فلزی از جنس مفرغ (Keykhaei et al., 2012)، پارچه بافی (سیدسجادی و همکاران، ۱۳۸۸)، حصیربافی و سبده بافی، ساخت ظروف سنگی (رازانی و همکاران، ۱۳۹۸) مانند ظروف مرمری (Boccuti et al., 2015) و سنگ صابونی (Aminemami et al., 2017) و نیز ساخت انواع ظروف سفالین در فرم‌ها و اندازه‌های متفاوت (موگاورو، ۱۳۸۷؛ صدقی و همکاران، ۱۳۹۶) به اوج شکوفایی خود می‌رسد.

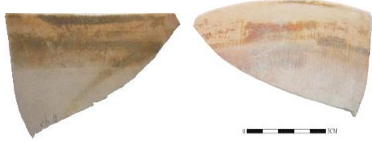
هنر ساخت ظروف سفالین توسط سفالگران در محوطه‌های جنوب شرق به حد پیشرفت یک صنعت برای تجارت و تبادلات اقتصادی بدل می‌گردد؛ به طوری که روند تولید گسترده و هدفمند آن‌را در محوطه‌هایی همچون شهرسوخته سیستان می‌توان مشاهده نمود (Moradi et al., 2013; SarhadiDadian et al., 2015; Roux & Courty, 1998; Pourzarghan et al., 2017). محوطه‌های باستانی بلوچستان هم نیز از این امر مستثنی نبوده و تولید آثار سفالین یکی از مهم‌ترین صنایع و تولیدهای آن‌ها بوده است؛ به گونه‌ای که در هزاره سوم پیش از میلاد است که حضور سفالینه‌های متفاوت، به ویژه سفالینه‌های طیف خاکستری رنگ را می‌توان در فرم‌ها و قالب‌های مختلف در جنوب شرق ایران یافت. یکی از مهم‌ترین این محوطه‌ها که دارای انواع فرم‌های گوناگون سفالینه‌های خاکستری است، محوطه چگردک در دشت چاه‌هاشم شهرستان بزمان است. مهم‌ترین عناصر فرهنگی این محوطه سفال‌های پیش از تاریخی خاکستری و قرمز رنگ و نیز اشیاء مفرغی و ظروف سنگ صابونی است. اکثر آثار و بقایای این محوطه، ظروف سفالینی است که بسیار زیبا و هنرمندانه ساخته شده، سفال‌ها چرخ ساز و فرم ظروف شامل: کاسه‌ها با بدنه‌های کروی، تنگ‌ها، خمره‌های کوچک، پیاله‌ها و قدح‌ها هستند. نقوش سفال‌های این محوطه نیز بسیار جالب و متنوع است و شامل نقوش هندسی، حیوانی و گیاهی هستند. همه سفال‌های جمع‌آوری شده از سطح محوطه در اطراف چاله‌ها به صورت شکسته دیده شده که توسط قاچاقچیان و سوداگران پس از خارج کردن از قبرها، آن‌ها را خرد کرده و در همان جا ریخته و رها کرده‌اند. از تراکم سفال‌های به جای مانده چنین برمی‌آید که قبرها دارای اشیاء زیادی بوده‌اند و به طور متوسط بین ۱۰ تا ۲۰ شیء و ظرف سفالی برای هر قبر می‌توان برشمرد. سفال‌های دیده شده و جمع‌آوری شده در بررسی‌های صورت گرفته، عموماً خاکستری بوده و سفال‌های قرمز در درجه بعدی قرار دارند. سفال‌های خاکستری ظریف تر و دارای نقوشی به مراتب بیشتر

و پرکارتر از سایر سفال‌های قرمز هستند. این درحالی است که سفال‌های قرمز عموماً متعلق به خمره‌های کروی شکل با لبه مدور است. برروی سفال‌های خاکستری نقوش هندسی، جانوری و گیاهی به صورت ترکیبی دیده می‌شوند. بدون تردید این محوطه بسیار مهم و کلیدی به همراه دو محوطه مجاور خود، زوایای تاریک و پنهان بسیاری را درمورد پیش از تاریخ این منطقه روشن خواهد کرد (اقلیما، ۱۳۹۲: ۵۴-۵۵)؛ همان‌طور که ذکر گردید، در بررسی‌ها و کاوش‌های صورت گرفته در محوطه مذکور، سفالینه‌های گوناگون در فرم‌ها و قالب‌های متفاوت در رنگ‌های خاکستری، قرمز و نخودی رنگ کشف شده است، به گونه‌ای که سفال‌های طیف خاکستری رنگ آن در حد قابل ملاحظه‌ای زیاد بوده است؛ به طوری که این سفال‌ها نیازمند بررسی‌های مختلفی از بُعد باستان‌شناسی، تاریخ هنر، مرمت و باستان‌سنجی است. به همین جهت در این پژوهش سعی شده است تا با بررسی‌ها و تحلیل‌های باستان‌سنجی سفال به هنر و صنعت سفالگری در این ناحیه پرداخته شود.

پرسش‌های پژوهش: مجموعه سفالینه‌های خاکستری به دست آمده از گورستان عصر مفرغی چگردگ، یکی از مهم‌ترین و برجسته‌ترین مجموعه مواد فرهنگی مکشوف در جنوب شرق ایران است. سفالینه‌های این محوطه بدون شک در ارتباط با مناطق همجوار خود بوده که مهم‌ترین آن بمپور است. از آنجایی که مطالعه و بررسی برروی این سفال‌ها توسط پژوهشگران حوزه‌های مختلف مانند باستان‌شناسی، مرمت و باستان‌سنجی هم‌اکنون به طور موازی در حال انجام است؛ بنابراین شناخت فناوری ساخت و فناوری تولید این سفال‌ها به پژوهشگران پیش از تاریخ حوزه جنوب شرق کمک بسیار شایانی می‌نماید؛ چراکه چگونگی هنر ساخت و شناخت صنعت سفالگری در این منطقه می‌تواند یکی از مهم‌ترین پرسش‌ها و اهداف باشد. از این‌رو، در این پژوهش سعی شده است تا با استفاده از برخی روش‌های رایج آنالیز در باستان‌سنجی سفال‌های باستانی به این پرسش‌ها پاسخ داده شود؛ سفال‌های مکشوف از چگردگ دارای چه نوع ترکیب کانی‌شناسی است؟ مطالعات ساختارشناسی و باستان‌سنجی سفال نشان‌دهنده چه نوع فرآیندی را در نحوه ساخت و پخت سفال‌ها نشان می‌دهد؟ براساس مطالعات حاصل چند نوع دسته‌بندی را می‌توان برای سفال‌های خاکستری مورد مطالعه در نظر گرفت؟ در نهایت، با استفاده از جمع‌بندی‌های حاصل هنر ساخت و صنعت سفالگری در عصر مفرغ چگردگ را چگونه می‌توان تعریف نمود؟

روش پژوهش: پژوهش حاضر به روش تحلیلی-تجربی و بر مبنای مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است. اشیاء مورد مطالعه متعلق به موزه جنوب شرق ایران بوده که اقداماتی نظیر مستندنگاری وضعیت اشیاء و همچنین نمونه‌برداری‌های لازم جهت انجام آزمون‌های آزمایشگاهی در محل کارگاه مرمت موزه منطقه‌ای جنوب شرق زاهدان صورت پذیرفته است. در ادامه با استفاده از مطالعات پتروگرافی مقطع نازک (OM) و آنالیزهای دستگاهی با روش‌های SEM-EDX و XRD به تحلیل داده‌ها در جهت تحقق اهداف پژوهش پرداخته شده است. در این مطالعه، بررسی ۱۱ نمونه سفال خاکستری رنگ مربوط به محوطه چگردگ که در سال ۱۳۹۷ ه.ش.، از کاوش‌های اضطراری به دست آمده، صورت پذیرفته است. تمام سفال‌ها چرخ‌ساز و به رنگ خاکستری در طیف‌های تیره تا روشن و با ضخامت‌های مختلف اما در محدوده سفالینه‌های ظریف این منطقه هستند. نام‌گذاری نمونه‌ها براساس حرف اول نام محوطه چگردگ به صورت لاتین (CH) و شماره نمونه از ۱ تا ۱۱ انجام گرفت. در بین این نمونه‌ها، شماره‌های ۱ تا ۸ از قطعات سفالی شکسته و کوچکی هستند که در کاوش‌های این محوطه به دست آمده‌اند و شماره‌های ۹ تا ۱۱ سفال‌هایی به مراتب کامل‌تر و با قابلیت اجرای عملیات مرمت هستند (جدول ۱). سفالینه‌های خاکستری رنگ منقوش یکی از گونه‌های سفالی است که در بسیاری از محوطه‌های جنوب شرق ایران به دست آمده‌اند. نقوش آن‌ها برگرفته از زیست‌بوم منطقه و فرهنگ مردمان آن دوره بوده است.

جدول ۱. مشخصات و تصویر نمونه سفال‌های خاکستری مورد مطالعه مربوط به محوطه چگردگ (نگارندگان، ۱۳۹۹).

نمونه (CH1): این قطعه سفال، قسمتی از لبه یک کاسه بوده که با چرخ سفالگری ساخته شده است. ضخامت دیواره‌های آن ۲-۳ میلی متر متغیر است. این نمونه به رنگ خاکستری روشن بوده و نقوشی به رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای سوخته در درون و بیرون آن دیده می‌شود. در داخل و خارج آن طرح گردونه خورشید دیده می‌شود.	
نمونه (CH2): این قطعه سفال، قسمتی از لبه یک کاسه است که با چرخ سفالگری ساخته شده است. ضخامت دیواره‌های آن از ۲-۳ میلی متر متغیر است. این نمونه به رنگ خاکستری روشن بوده که دارای نقوشی به رنگ قهوه‌ای در درون و در خارج است. در داخل آن طرح گردونه خورشید دیده می‌شود.	
نمونه (CH3): این قطعه سفال، قسمتی از بدنه ظرف سفالی است. دیواره‌های آن یکسان و حدود ۴ میلی متر است. این نمونه درون و بیرون آن با رنگ قهوه‌ای طراحی شده است. رنگ نقوش بر اثر سایش و فرسودگی تا حدودی از بین رفته است.	
نمونه (CH4): این قطعه سفال قسمتی از لبه یک کاسه سفالی است و با چرخ سفالگری ساخته شده است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۵ میلی متر است. این نمونه دارای نقوشی به رنگ قهوه‌ای-قرمز روشن در داخل و خارج خود است. ظرف دارای نوار نقش صلیب شکسته است.	
نمونه (CH5): این قطعه سفال قسمتی از لبه کاسه سفالی کوچک بوده که با چرخ سفالگری ساخته شده است. ضخامت دیواره‌های آن از ۲-۳ میلی متر متغیر است. درون و بیرون این ظرف به ویژه لبه‌های آن با نقوش هندسی و با رنگی قرمز-قهوه‌ای تزئین و نقاشی شده است.	
نمونه (CH6): این قطعه سفال که قسمتی از گردن یک ظرف سفالی است با چرخ سفالگری ساخته شده است و رنگ آن خاکستری مایل به سیاه است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۵ میلی متر است. این نمونه درون و بیرون آن با رنگ قهوه‌ای-قرمز نقاشی شده است.	
نمونه (CH7): این قطعه سفال قسمتی از لبه یک کاسه سفالی بوده و با چرخ سفالگری ساخته شده است. رنگ آن خاکستری است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۴ میلی متر است. این نمونه درون و بیرون آن با رنگ قهوه‌ای تیره-سیاه نقاشی شده است.	
نمونه (CH8): این قطعه سفال قسمتی از لبه یک کاسه سفالی بوده و با چرخ سفالگری ساخته شده است و رنگ آن خاکستری تیره است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و در حدود ۴ میلی متر است. درون و بیرون آن با رنگ قهوه‌ای تیره نقاشی شده است.	
نمونه (CH9): این ظرف سفالی دارای قطر ۱۵ سانتی متر است و با چرخ سفالگری ساخته شده است. رنگ آن خاکستری و ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۴ میلی متر است. این نمونه درون و بیرون آن با رنگ قهوه‌ای-سیاه تزئین شده است. لبه‌های داخلی و خارجی آن دارای تزئین و نیز در داخل آن نقش صلیب شکسته اجرا شده است.	

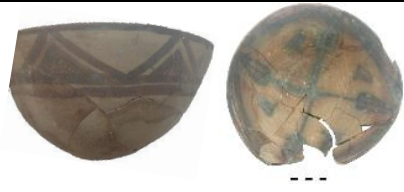
در ابتدا برای مطالعه نمونه سفال‌ها از روش تهیه مقطع نازک و مطالعه آن‌ها با میکروسکوپ نوری پلاریزان (PLM)، استفاده شده است. مدل دستگاه مذکور استفاده شده میکروسکوپ دوچشمی پلاریزان مدل James Swift ساخت کشور انگلستان است. بزرگ‌نمایی به‌کاررفته در این مطالعه 4X و 10X است. هدف از انجام آزمایش پتروگرافی بر روی قطعات و نمونه سفال‌های مطالعاتی، شناسایی بافت زمینه سفالینه‌ها و شناسایی سه جزء مهم در بافت سفال، یعنی بافت زمینه، مواد افزودنی و تخلخل صورت گرفته است. این آزمایش در آزمایشگاه کانی‌شناسی و پتروگرافی پژوهشکده حفاظت و مرمت در تهران انجام شده است.

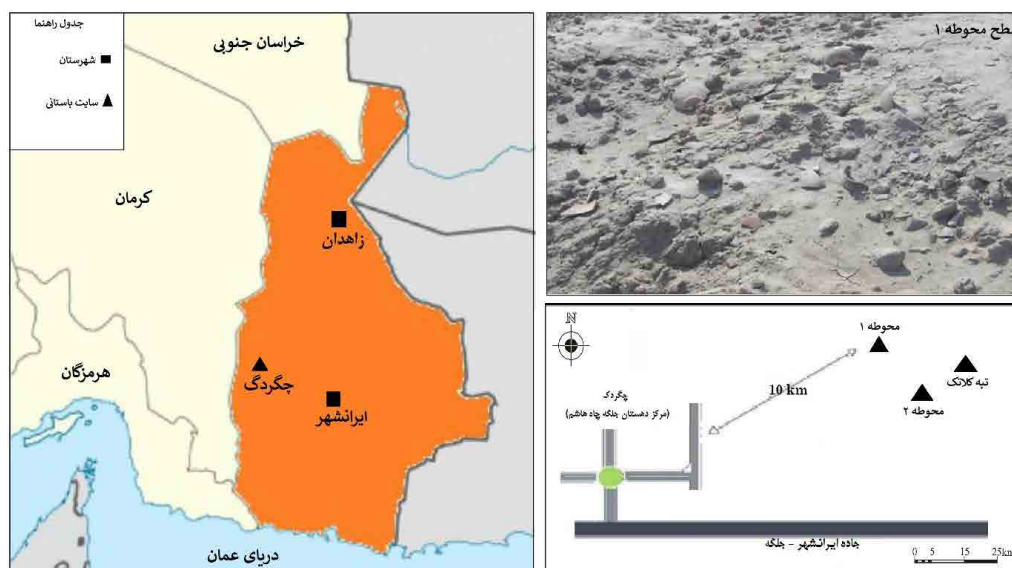
در ادامه، به منظور بررسی میکروسکوپی ماتریکس سفال‌ها، شناسایی کانی‌ها و نیز مراحل ذوب و شیشه‌ای شدن بافت سفال‌ها و نیز همچنین شناسایی ترکیب شیمیایی ماتریکس و کانی‌ها از روش SEM-EDX استفاده گردید. دستگاه SEM مورد استفاده مدل MIRA3 ساخت شرکت Tescan محصول آمریکا است؛ همچنین برای شناسایی ترکیب رنگ‌دانه‌های استفاده شده در نقاشی سفال‌ها از روش عنصری EDX و از دستگاه مدل VEGA/TESCAN-XMU ساخت کشور آمریکا که کویل شده به دستگاه SEM فوق بوده، استفاده شده است. قدرت تفکیک در حد ۱٫۵ mm در ولتاژ ۱۵ KV و ۴٫۵ nm در ولتاژ ۱ KV با آشکارساز BSE صورت پذیرفت. همچنین روش استفاده شده در این پژوهش به صورت آنالیز نقطه‌ای است. آزمایش مذکور در آزمایشگاه متالوژی رازی تهران انجام گرفته است.

در نهایت، برای شناسایی فازهای کریستالین و بررسی‌های کانی‌شناسی در سفال‌های موردنظر از روش پراش پرتوی ایکس به روش پودری استفاده شده است. مدل دستگاه مورد استفاده X'spert Prompd Panytical ساخت کشور هلند است که در آزمایشگاه متالوژی رازی تهران صورت گرفته است. نمونه‌های موردنظر در شدت جریان 30Ma و ولتاژ 40Kv آنالیز شدند. اطلاعات مربوط به شناسایی فازهای بلوری براساس بانک اطلاعاتی PDF2 توسط نرم‌افزار Xpert High Score Plus نسخه ۲۰۱۰ بررسی و به دست آمدند.

محوطه چگردک

محوطه باستانی چگردک (E: ۸°۷'۵۹"; N: ۱۴°۵۰'۲۷") در شهرستان دلگان و دهستان دشت چاه‌هاشم و ۱۰ کیلومتری شمال شرق روستای چگردک (در فاصله ۲۰۰ کیلومتری غرب شهرستان ایرانشهر) واقع شده است (تصویر ۱). این محوطه، نام خود را از روستای نزدیک آن، یعنی «چگردک» گرفته است. این محوطه در دشتی هموار و پست واقع شده است. محوطه باستانی چگردک در دشت چاه‌هاشم جازموریان شامل یک تپه و دو گورستان مربوط به عصر مفرغ بلوچستان است. این محوطه در سال ۱۳۸۴ ه.ش.، به دلیل تخریب و غارت گسترده‌ای که از سوی سوداگران صورت گرفت دچار آشفته‌گی و آسیب‌های فراوانی گردیده است. طی کاوش‌های نجات‌بخش صورت گرفته در سال ۱۳۹۷ ه.ش.، توسط گروه باستان‌شناسی اداره کل میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان آثار متنوعی، از جمله آثار سفالین: منقوش نخودی، خاکستری و قرمز رنگ کشف شد. پوشش گیاهی این منطقه، غنی‌تر و شامل درختان گز و بوته‌های خودرو است که از سایر بخش‌های دشت متراکم‌تر به نظر می‌رسد. خاک این منطقه نیز به دلیل هجوم ماسه بادی سست گردیده و با یک لایه ماسه بادی پوشیده شده است و در قسمت جنوبی آن تپه ماسه‌ای بزرگی قرار دارد. محوطه چگردک ۱، به همراه کلاتک چگردک و محوطه ۲ چگردک، از جمله شناخته‌شده‌ترین و مهم‌ترین محوطه‌ها و تپه‌های دشت چاه‌هاشم هستند که مورد حفاری قاجاق در سطح بسیار گسترده‌ای قرار گرفته و صحنه بسیار تأسف باری را به وجود آورده‌اند. محوطه چگردک ۱، که پیش از این به وسیله «محمد حیدری» مورد گمانه‌زنی جهت تعیین حریم قرار گرفته است؛ درواقع گورستانی

نمونه (CH10): این نمونه یک کاسه سفالی با قطر ۱۵ سانتی‌متر است و رنگ آن خاکستری روشن است. درون و بیرون کاسه منقوش است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۴ میلی‌متر است. لبه‌ها تزیین و در وسط آن نقوش گیاهی به شیوه صلیب شکسته اجرا شده است.	
نمونه (CH11): این نمونه یک کاسه سفالی با قطر ۲۳ سانتی‌متر است و با چرخ سفالگری ساخته شده است و رنگ آن خاکستری روشن است. ضخامت دیواره‌های آن یکسان و حدود ۵ میلی‌متر است. این نمونه ساده و بدون نقش است.	



تصویر ۱. موقعیت قرارگیری محوطه باستانی چگردگ بر روی نقشه و پراکندگی سفال‌های شکسته بر روی محوطه، طرح و ویرایش از نگارندگان (اقلیما، ۱۳۹۲: ۵۹-۵۷).

پیش از تاریخی است و در حاشیه یکی از رودخانه‌های فصلی واقع گردیده که این رودخانه از منابع مهم تغذیه آب این بخش از دشت به شمار می‌آمده است. شست‌وشوی بخشی از این محوطه مهم به وسیله آب، باعث جلب توجه حفاران غیرمجاز به این بخش و تخریب تقریباً کامل تپه گردیده است (اقلیما، ۱۳۹۲: ۵۴). با توجه به بسترهای زیاد رودهای فصلی در این دشت به نظر می‌رسد در گذشته در این منطقه منابع آبی به اندازه کافی برای بهره‌وری وجود داشته که اجازه رشد و توسعه جوامع انسانی را به‌ویژه در هزاره سوم پیش از میلاد، در این بخش داده است (تصویر ۲)، Heydari, et al., 2015).

محدوده جغرافیایی منطقه مورد بررسی در جنوب شرق کشور و جنوب ورقه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جازموریان و ۱:۱۰۰۰۰۰ دلگان در استان سیستان و بلوچستان قرار دارد. این منطقه در کنار تالاب جازموریان و در یک منطقه پست قرار دارد. به دلیل فروافتادگی جازموریان تمام روان آب‌های منطقه و مناطق اطراف به این قسمت حرکت دارند و در رسوبات منطقه می‌توان آثار و شواهد سنگ‌های موجود در ارتفاعات مشرف و مناطق دورتر را مشاهده نمود. در شمال ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ جازموریان و شمال و شمال شرق تالاب جازموریان انواع مختلف سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی (گرانیت، گرانودیوریت، گابرو)، سنگ آهک، ماسه سنگ، مارن، سنگ‌های دگرگونی و پادگانه‌های آبرفتی و غیره وجود دارد و در جنوب تالاب جازموریان و اطراف منطقه مورد بررسی تناوبی از پهنه‌های

ماسه‌ای نهشته‌های تبخیری و لایه‌های رس وجود دارد که شواهد آن در منطقه دیده می‌شود (تصویر ۱)، (نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰؛ جازمویان، ۱۳۶۹).

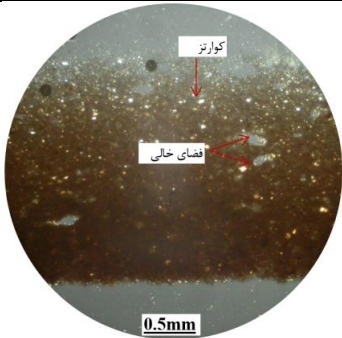
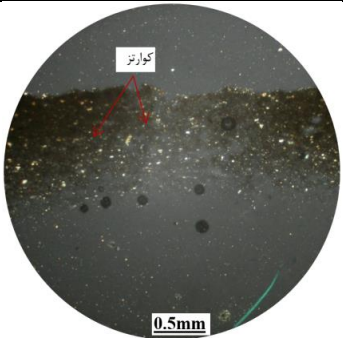
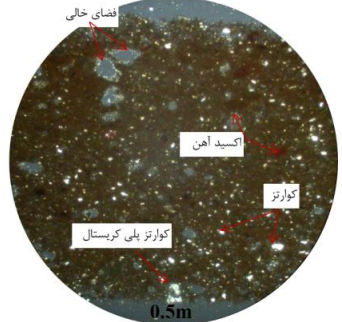
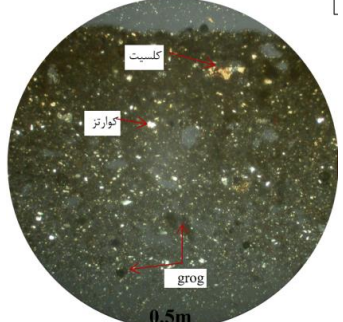
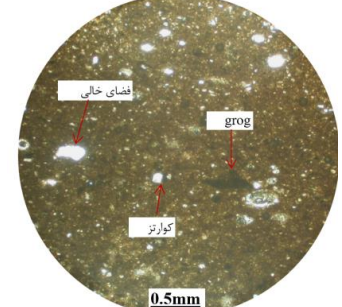
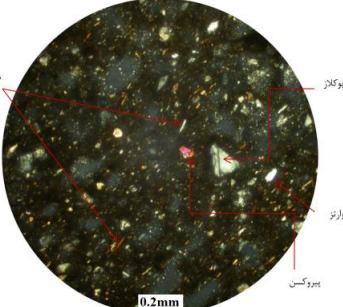
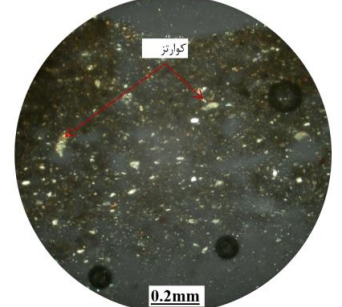
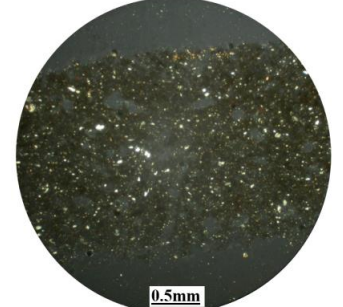
نتایج و تحلیل مطالعات آزمایشگاهی

- پتروگرافی مقطع نازک

نمونه‌های مورد مطالعه فاقد کانی‌های متعددی هستند و خمیره سفال‌های مورد مطالعه غیرکربناتی (رسی) همراه با قطعات ریز کوارتز و اکسید آهن است. کانی‌های کوارتز فراوان‌ترین سازنده موجود در خمیره سفال‌ها است که در حدود ۱۵-۱۰٪ حجم نمونه‌ها را تشکیل می‌دهد. این کانی به فرم‌های ریزدانه، تک بلور با حاشیه‌ای زاویه‌دار تا نیمه‌گرد شده و همچنین به میزان کمتری به صورت درشت بلور و یا پلی کریستالین هستند که به صورت رنگ روشن در زیر میکروسکوپ پلاریزان مشاهده می‌شوند. اکسیدهای آهن موجود در سفال‌ها به رنگ قهوه‌ای تا تیره و به فراوانی محدود در خمیره وجود دارد. اندازه اجزاء در این نمونه‌ها از ۲۰ میکرون تجاوز نمی‌کند. همچنین خمیره تمام سفالینه‌ها کاملاً همگن بوده و فضاهای خالی محدودی در آن وجود دارد. تنها نمونه CH3 خمیره ناهمگن تری دارد و قطعات گراگ که به صورت پراکنده در آن استفاده شده است، که گراگ‌های موجود در آن حدود ۳٪ حجم نمونه را تشکیل می‌دهند. همچنین وجود مقدار کمی کانی کلسیت در این نمونه، نشان‌دهنده درجه حرارت پخت کمتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد آن است که همراه با مقادیر جزئی کانی پیروکسن در کنار دیگر اجزاء در خمیره سفال مشاهده می‌شوند. همچنین نمونه CH6 مورد مطالعه از نظر ترکیب با دیگر نمونه‌ها کاملاً متفاوت است. در این نمونه علاوه بر کانی کوارتز قطعات فراوانی از کانی‌های فیلسیلیکاته (میکا)، پلاژیوکلاز، پیروکسن و آمفیبول دیده می‌شوند که در دیگر نمونه‌ها مشاهده نشده است. کانی‌های ذکر شده فوق در سنگ‌های آذرین تشکیل می‌شود و این طور به نظر می‌رسد که در ساخت این نمونه از قطعات سنگ آذرین به صورت آمیزه (پرکننده) استفاده شده است. پیروکسن‌ها (سیلیکات‌های زنجیره‌ای ساده) درواقع سیلیکات آهن، منیزیم و کلسیم است که در دمای حداقل ۹۸۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود (Riedere, 2004)؛ اما از آنجایی که وجود این نوع از کانی‌ها در بافت سفال مذکور مرتبط با مواد اولیه و آمیزه موجود در آن است، نمی‌توان دمای فوق را برای آن در نظر گرفت. باتوجه به وجود سنگ‌های آذرین در شمال و شمال شرق ورقه جازموریان احتمالاً منشأ این نمونه با دیگر نمونه‌های مطالعاتی کاملاً تفاوت دارد.

- میکروسکوپ الکترونی روبشی مجهز به فلورسانس اشعه ایکس (SEM-EDX)

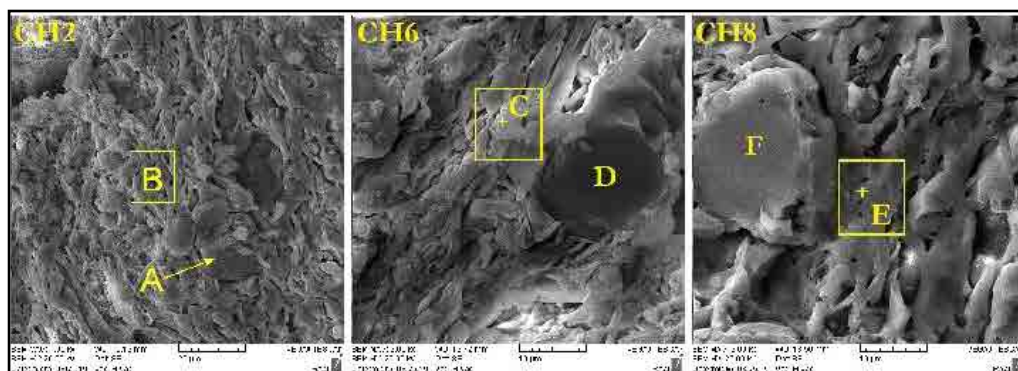
آنالیز بدنه: در این بخش از بررسی‌ها و آزمایش‌های گرفته شده از سفال‌ها، سعی شده است تا سفال‌های مورد مطالعه با استفاده از روش SEM-EDX مورد بررسی میکروسکوپی و عنصری قرار گیرند، به دلیل شباهت سفال‌ها در مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک که محرز گردید؛ در این بخش تنها از ۳ نمونه سفال CH2، CH6 و CH8 آنالیز SEM-EDX صورت پذیرفت. تهیه تصاویر میکروسکوپی از مقطع سفال‌های مورد نظر با بزرگ‌نمایی‌های مختلف صورت گرفته است که در تصویر ۱۰، می‌توان تصاویر SEM را مشاهده نمود؛ همچنین در برخی از نقاط موجود اعم از ماتریکس، دانه‌ها و کانی‌های مشاهده شده، آنالیز EDX به صورت نقطه‌ای جهت شناخت ترکیب شیمیایی آن‌ها انجام شده است که در جدول ۳، نتایج آن و نیز به طور نمونه طیف EDX آورده شده است (جدول ۳). تصاویر میکروسکوپی بافت زینتر شده و نیمه شیشه‌ای را به همراه رس‌های ثانویه در سفال‌ها را به خوبی نشان می‌دهند؛ به طوری که هیچ‌گونه تخلخل و حفره‌ای در بافت سفال‌ها که ناشی از پوکی و ورز نامناسب باشد را نیز نمی‌توان مشاهده کرد (Maniatis & Tite).

	
تصویر ۳. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH2): در نور PPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است. همان تصویر در نور پلاریزه است که در این نور فضای خالی به رنگ روشن است.	تصویر ۲. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH1): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است. نمونه دارای بافت ریزدانه و کانی کوارتز به وفور در خمیره سفال دیده می شود.
	
تصویر ۵. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH5): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است، قطعات فراوان و ریز کوارتز در خمیره سفال دیده می شود.	تصویر ۴. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH3): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است. نمونه دارای بافت ریزدانه، کانی کوارتز همراه با قطعات تیره گراگ در خمیره سفال است.
	
تصویر ۷. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH7): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است. نمونه دارای بافت ریزدانه و قطعات گراگ است.	تصویر ۶. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH6): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است. نمونه دارای بافت ریزدانه و قطعات فراوان کانی کوارتز، میکا همراه با پلاژیوکلاز و پیروکسن است.
	
تصویر ۹. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH10): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است.	تصویر ۸. تصویر میکروسکوپی از نمونه (CH9): در نور XPL و طول میدان دید ۲٫۷ میلی متر است، قطعات فراوان و ریز کوارتز در خمیره سفال دیده می شود.

جدول ۲. نتایج مطالعه پتروگرافی سفال‌های خاکستری گورستان چردک (زیاد +++)، (متوسط ++)
(بسیار کم +)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

شماره نمونه	کانی‌ها								
	بافت سفال	میکا	جرای	کلسیت	پیروکسن / آمفیبول	اکسید آهن	پلاژیوکلاز	کوارتز درشت دانه	کوارتز ریز دانه
CH1	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++
CH2	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++
CH3	ریزبلور	-	++	++	+	+++	-	+	+++
CH4	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++
CH5	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++
CH6	ریزبلور	++	-	-	++	+++	++	+	+++
CH7	ریزبلور	-	+	-	-	+++	-	+	+++
CH8	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++
CH9	ریزبلور	-	++	-	-	+++	-	+	+++
CH10	ریزبلور	++	-	-	+	+++	-	+	+++
CH11	ریزبلور	-	-	-	-	+++	-	+	+++

(1981). به دلیل ذوب کانی‌های رُسی سفال‌ها و تشکیل کانی‌های ثانویه، به راحتی نمی‌توان نوع کانی‌های رُسی را تشخیص داد؛ همچنین بافت متمرکز و سیمانی و عدم حفره نیز در آزمایش‌های میکروسکوپی پتروگرافی مشاهده شد که این موضوع در تصاویر SEM نیز مورد تصدیق قرار گرفت؛ بنابراین می‌توان گفت که سفالگر برای ساخت خمیره سفال‌ها از کانی‌های ریز و ورز مناسبی استفاده کرده است. در تصاویر ۳ و ۶ که از دانه‌های سیلیس نیمه‌گردشده گرفته شده است، به ترتیب عناصر سیلیس با ۵۳٫۲۲٪ و ۷۲٫۵۶٪ وزنی اندازه‌گیری شده است؛ همچنین عناصر شناسایی شده، بافت سیلیسی سفال‌ها را نشان می‌دهد، به طوری که درصد کلسیم بافت بسیار پایین و محدود بوده و تنها در نمونه E-CH8 (تصویر ۱۰) نقطه E مقدار ۹٫۸۳٪ وزنی و در مابقی سفال‌ها مقدار بسیار اندکی را نشان می‌دهد. آزمایش شیمیایی در نهایت ساختار رُسی بسیار خالصی را نشان می‌دهد. دانه‌های کوارتز دارای ترک‌های بسیار ریز واضح و مشخصی هستند، این عمل یا می‌تواند در اثر خرد شدن و آسیاب کردن آن‌ها در هنگام تهیه آمیزه برای افزودن به خاک رس یا در اثر فشارهای حرارتی به وجود آمده باشند. سفال‌هایی با بافت غنی از کوارتز ممکن است به علت انبساط کوارتز در دمای ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد ترک بردارند. نمونه E-CH8 (تصویر ۱۰) که یکی از علت‌های آن می‌تواند ناشی از آسیب‌های حرارتی در حین پخت ظروف سفالی برشمرده (تصویر ۱۰، جدول ۳). به همین جهت، بایستی عنوان نمود که مرحله پخت سفال یکی از مهم‌ترین مراحل ساخت سفال در دوران باستان بوده است. ساختار سفال، وابسته به زمان مورد نیاز برای پختن، باتوجه به نوع کوره، نوع رُس و زمان سرد شدن تغییر می‌کند؛ از این رو، به دلیل عدم کنترل کاملاً یکسان و نبود کانون حرارتی ثابت هنگام پخت در کوره‌ها مواد سفالین دچار شوک حرارتی شده و تخریب می‌شوند. این تخریب‌ها به صورت سست شدن ترکیب آثار سفالین مشاهده می‌شود.



تصویر ۱۰. تصاویر SEM از سفال‌های CH2 – CH6 – CH8، نقاطی که آنالیز نقطه‌ای EDX شده با عبارات لاتین مشخص شده است (نگارندگان، ۱۳۹۹).

جدول ۳. نتایج آنالیز EDX گرفته شده در تصاویر SEM (نگارندگان، ۱۳۹۹).

Element (wt%)	CH2- A	CH2- B	CH6- C	CH6- D	CH8- E	CH8- F
Sodium	–	0.21	0.75	2.28	–	–
Magnesium	–	7.53	7.57	–	4.03	–
Aluminium	16.98	18.98	20.83	20.10	18.30	–
Silicon	53.22	53.36	48.05	72.56	54.10	100
Potassium	26.22	4.78	5.29	1.05	4.05	–
Calcium	1.67	0.71	0.91	1.40	9.83	–
Iron	1.91	14.39	16.56	2.49	9.66	–

ازطرفی تغییرات فازی کوارتز آلفا به بتا در حین فرآیند پخت سبب ایجاد ترک در داخل ذرات کوارتز شده که در بافت زمینه نمونه‌ها ادامه دارد (AminEmami et al., 2008); ازسوی دیگر، ترک‌های به وجودآمده در حین پخت سفال‌های باستانی پس از مدت زیاد فرآیند دفن با ترکیب‌های ثانویه نظیر نمک‌ها تاحدی دوباره پر می‌شوند، به همین جهت شناسایی و ایجاد تفاوت بین ترک‌های ناشی از ساخت سفال در سفال باستانی امری بسیار مشکل است؛ اما ترک‌های ایجاد شده برروی کوارتز در میکروسکوپ الکترونی روبشی قابل مشاهده هستند (امامی و همکاران، ۱۳۹۹).

آنالیز نقش: جهت بررسی و تشخیص رنگ‌های استفاده شده توسط نقاش و هنرمند پیش از تاریخی برروی سفال‌های این منطقه از رنگ موجود برروی سه سفال CH4، CH7 و CH10 که دارای طیف رنگی مختلفی بودند، آنالیز EDX صورت گرفته است. آنالیز EDX انجام شده به صورت نقطه‌ای و از سطح رنگ موجود برروی سفال‌ها گرفته شده است (جدول ۴). در تهیه رنگ‌دانه‌های مورد استفاده در نقاشی‌های رنگی و تزئینات روی سفال‌های پیش از تاریخی عموماً از اکسیدهای آهن که غالباً به صورت قرمز آخرا یا هماتیت، مگنتیت و نیز اکسید منگنز جهت تهیه مواد رنگی تیره و سیاه کاربرد داشته است که این مواد در بسیاری از مطالعات اخیر شناسایی شده است (Čiuladienė et al., 2018; Mioč et al., 2004; Goodall et al., 2009; Afifi, 2011; Eftekhari et al., 2018). در شناسایی رنگ‌دانه‌های موجود در سطح سفال‌ها بیشترین عناصر

شناسایی شده عناصر سیلیس، آلومین، آهن و منگنز است. به دلیل نفوذ اشعه X در لایه‌های داخلی بدنه سفال غالباً عناصر مربوط به ساختار بدنه را هم نیز می‌توان مشاهده کرد. اما مهم‌ترین عناصری را که می‌توان مربوط به رنگ‌دانه‌های موجود دانست، عناصر آهن و منگنز هستند. بیشترین میزان عنصر آهن در سفال CH7 به میزان ۳۵/۴۴٪ (درصد وزنی) است؛ همچنین در سفال CH10 میزان آهن ۱۵/۴۵٪ و در سفال CH4 در کمترین میزان، یعنی ۶/۹۹٪ (درصد وزنی) است (جدول ۴). از طرفی در سفال CH7 نیز عنصر منگنز به میزان ۱۳/۷۶٪ تشخیص داده شده است و برای دیگر سفال‌ها این عنصر شناسایی نشده است. اکسیدهای آهن عموماً بیشترین کاربرد را در استفاده به عنوان رنگ‌دانه در دنیای باستان داشته است. دامنه رنگ‌دانه‌های اکسید آهن از زرد تیره تا قرمز، زرشکی و قهوه‌ای است. ته‌مایه‌های رنگ آن، در ابتدا بستگی به میزان هیدراسیون ماده معدنی و همچنین به میزان اندازه ذرات، شکل و ترکیب آن با دیگر مواد معدنی بستگی دارد؛ همچنین آنیدراسیون اکسیدهای آهن همانند Fe_2O_3 باعث متمایل شدن رنگ به سمت ارغوانی-قرمز تا ته‌مایه‌های قرمز خرمایی می‌شود؛ همچنین هیدراته شدن اکسیدهای آهن ($Fe_2O_3 \cdot nH_2O$) باعث متمایل پیدا کردن رنگ آن به سمت قرمز گرم و زرد می‌شود؛ همچنین اکسیدهای منگنز ترکیبات مهمی در گروه رنگ‌دانه‌ها به شمار می‌روند که دامنه‌ای از قهوه‌ای مایل به زرد تا سیاه را در برمی‌گیرند. این رنگ‌دانه‌ها در تزئین بسیاری از سفالینه‌های دوران پیش از تاریخ استفاده شده است (Rapp, 2009: 207-212).

جدول ۴. عناصر شناسایی شده در رنگ‌های موجود نقاشی سفال‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۹).

Element (wt%)	CH4	CH7	CH10
Oxygen	46.95	29.05	45.46
Sodium	1.20	–	4.65
Magnesium	1.21	1.45	1.60
Aluminium	11.66	3.61	6.54
Silicon	21.95	11.81	15.93
Sulfur	–	–	5.02
Chlorine	0.43	–	1.49
Potassium	1.58	0.87	1.07
Calcium	6.64	3.45	2.78
Titanium	1.40	0.56	–
Manganese	–	13.76	–
Iron	6.99	35.44	15.46

باتوجه به نتایج آنالیز، مشخص است که هنرمندان و سفالگران ناحیه چگردک از مواد معدنی با پایه آهن، همچون قرمز آخرا و هماتیت برای تزئین بخش قرمز سفال‌ها و نیز برای بخش‌های تیره و سیاه از ترکیب مواد معدنی با پایه عناصر آهن و منگنز استفاده نموده‌اند (صدقی و همکاران،

(۱۳۹۹)؛ همچنین در آزمایشی دیگر، جهت بررسی پایداری و مقاومت رنگ دانه‌های موجود در سطح سفال‌ها، آزمایش حساسیت به آب برای تمام نمونه‌ها انجام پذیرفت که مشخص شد در تمامی نمونه‌ها رنگ‌ها تقریباً در طول زمان تدفین ناپایدار گشته و به راحتی از سطح سفال‌ها ممکن است پاک شوند (تصویر ۱۱).



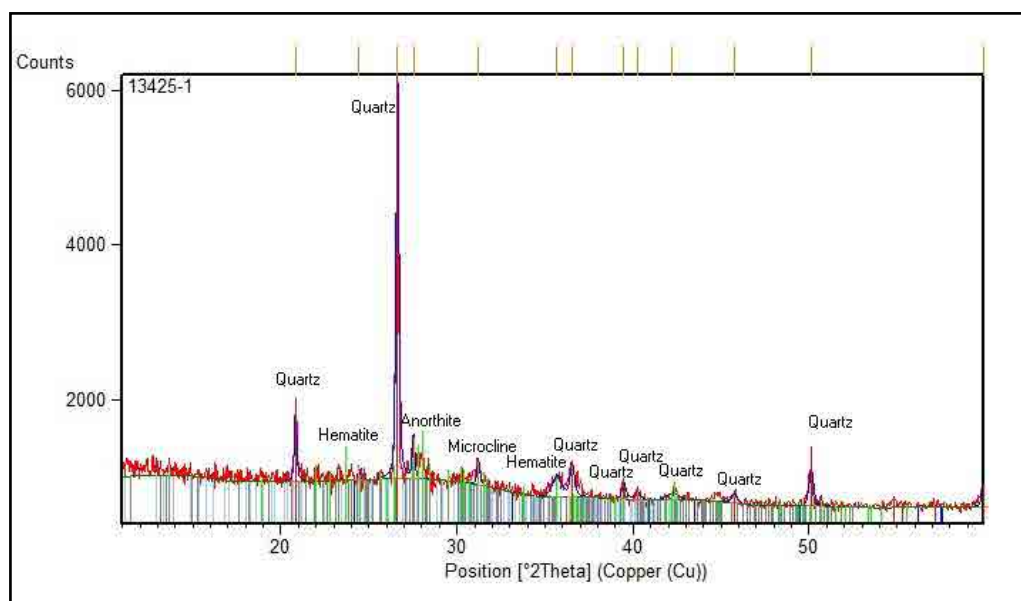
تصویر ۱۱. آزمایش حساسیت به آب بر روی رنگ موجود در نقاشی سفال‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۹).

- پراش پرتوی ایکس (XRD)

از نمونه‌های CH6، CH3، CH1 و CH7 جهت بررسی‌های کریستالوگرافی آنالیز پراش پرتوی ایکس به روش پودری گرفته شده است. نتایج فازهای به دست آمده توسط این آزمایش در جدول ۵، نشان داده شده است. به جهت جلوگیری از تکرار، تنها طیف XRD نمونه CH3 آورده شده است (تصویر ۱۲). کوارتز یکی از مهم‌ترین فازهای شناسایی شده است، این فاز در بررسی‌های میکروسکوپی و شیمیایی به وضوح تشخیص داده شده است و بافت سیلیسی سفال‌ها را نیز تأیید می‌نماید. بافت غنی از سیلیس سفال‌ها در تمام آزمایش‌ها مشخص گردید؛ به طوری که در اینجا نیز این امر مورد تصدیق قرار گرفت. این فاز را باید از جمله فازهای اولیه موجود در سفال‌های مورد نظر دانست که در اینجا شناسایی شده‌اند. فاز آنورتیت از دیگر فازهای شناسایی شده در تمام سفال‌های مورد آنالیز است. آنورتیت، یک فاز ثانویه و حرارت بالا در گروه فلدسپات‌ها است که تا محدوده دمایی ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد پایدار بوده است. پس با توجه به حضور و شناسایی این فاز در سفال‌های مورد نظر می‌توان محدوده دمایی فوق را برای آن‌ها تا به اینجا مدنظر قرار داد، یعنی این که سفال‌های مورد نظر تا به این محدوده دمایی رسیده‌اند (AminEmami & Trettin, 2010; Maggetti & Schwab, 1982) فاز میکروکلین در دو نمونه CH1 و CH7 شناسایی شده است. این فاز مربوط فلدسپات‌های پتاسیم‌دار با سیستم تبلور تری‌کلینیک است که در بسیاری از سنگ‌های دگرگونی و آذرین یافت می‌گردد. فاز هماتیت از دیگر فازهای شناخته شده در دو سفال CH1 و CH7 است. فازهای آهن‌دار اکسید آهن در مقاطع نازک پتروگرافی تمام سفال‌ها شناسایی شده است که در اینجا با توجه به این که سفال‌های مورد نظر خاکستری بوده، این فازها می‌تواند مربوط به خاک مورد استفاده در خمیر سفال‌ها باشد؛ چرا که همان طور که ذکر گردید اکسیدهای آهن در تمام آزمایش‌ها، چه بررسی‌های پتروگرافی و چه آنالیزهای شیمیایی به میزان قابل ملاحظه‌ای شناسایی شده و در خمیر باقی مانده است و نمی‌تواند مربوط به فازهای حرارت بالا باشد؛ چرا که تشکیل اکسیدهای آهن حرارت بالا در شرایط اکسیداسیون و حرارت بالای کوره اتفاق خواهد افتاد که این موضوع مخالف با نوع پخت سفال‌های مورد نظر است؛ زیرا که سفال‌ها در شرایط احیاء تولید شده‌اند.

جدول ۵. نتایج XRD به دست آمده از سفال های مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۹).

SAMPLE	Quartz	Anorthite	Microcline	Hematite
CH1	+	+	+	+
CH3	+	+	-	-
CH6	+	+	-	-
CH7	+	+	+	+
Ch. Formula	SiO ₂	Ca(Al ₂ Si ₂ O ₈)	KAlSi ₃ O ₈	Fe ₂ O ₃



تصویر ۱۲. دیفراکتوگرام فازی XRD نمونه CH3، نشان دهنده فازهای کوارتز، آنورتیت، هماتیت و میکروکلین است (نگارندگان، ۱۳۹۹).

نتیجه گیری

سفالینه های خاکستری، ازجمله مهم ترین یافته های مکشوف از محوطه کمتر شناخته شده چگردک بلوچستان است؛ از این رو، این یافته ها در این پژوهش مقدماتی مورد آنالیز و مطالعه باستان سنجی با استفاده از روش های پتروگرافی، SEM-EDX و XRD قرار گرفته است. در مرحله اول از تمام سفال ها آنالیز پتروگرافی صورت گرفت. در مطالعه پتروگرافی سفال، بحث بسیار مهم مواد افزوده شده به خمیره سفال است. باستان شناسان اجزائی که اندازه آن ها در سفال بزرگ تر از ۱mm باشد را به عنوان افزایش دهنده یا پرکننده در نظر می گیرند. در نمونه های مورد مطالعه از قطعات کوارتز و Grog به صورت آمیزه یا پرکننده استفاده شده است. بافت یا فابریک تمام نمونه های مورد بررسی سیلتی یا ریزبلور است. در این فابریک تمام اجزاء سازنده موجود در خمیره ریزدانه بوده و بزرگی و اندازه آن ها کمتر از ۵/۵ میلی متر است. کانی کوارتز در تمام نمونه ها وجود دارد و به عنوان سازنده اصلی محسوب می شود؛ این کانی اغلب به فرم ریزدانه، تک بلور و با حاشیه زاویه دار تا نیمه گرد شده دیده می شود. البته کوارتز نوع پلی کریستال (چندبلور) نیز وجود دارد که فراوانی خیلی

کمی دارد. فراوانی این کانی بین ۱ تا ۲۰٪ در نمونه‌ها متغییر است. در نمونه (CH4)، کانی کوارتز به عنوان تنها سازنده موجود در خمیره، فراوانی خیلی کمی دارد و کمتر از ۱٪ حجم نمونه را تشکیل می‌دهد. در مطالعه سفال، وجود کانی کلسیت اولیه برای تعیین درجه حرارت پخت سفال بسیار مهم است. کانی کلسیت در هنگام پخت سفال به صورت یک ترمومتر عمل می‌کند. این کانی در دمای حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد (۷۷۰-۸۳۰) بسته به نوع ترکیب آن، سوخته و در ترکیب خمیره دیده نمی‌شود. باتوجه به زمین‌شناسی منطقه و وجود آثار و شواهد کانی کلسیت و سنگ‌های کربناته در منطقه، تنها دلیلی که می‌توان برای نبود کانی کلسیت در خمیره سفال بیان کرد، دمای پخت بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است. در نمونه‌های مورد مطالعه، نمونه (CH3) تنها نمونه‌ای است که در آن می‌توان آثار و بقایای کانی کلسیت را مشاهده نمود و بقیه نمونه‌ها فاقد شواهد کانی کلسیت هستند؛ به عبارت دیگر، نمونه (CH3) دمای پخت کمتر از ۸۰۰ درجه و دیگر نمونه‌ها دمای پخت بیش از ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد دارند. دمای پخت پیشنهادی برای دیگر سفال‌ها باتوجه به جمع‌بندی نتایج آنالیزها می‌تواند دمایی بالاتر از ۹۳۰ درجه سانتی‌گراد باشد؛ همچنین در نمونه (CH3) از قطعات Grog به صورت آمیزه استفاده کرده‌اند. این قطعات بقایای کانی‌های رُسی هستند که به رنگ تیره و نسبتاً درشت در خمیره سفال دیده می‌شوند. آثار و شواهد قطعات Grog در ۳ نمونه ۳ و ۷ و ۱۰ دیده می‌شود و در بقیه نمونه‌ها دیده نمی‌شود. نمونه (CH6) از نظر ترکیب کاملاً با بقیه نمونه‌ها تفاوت دارد. در این نمونه، علاوه بر کانی کوارتز، کانی‌های فیلسیلیکاته (میکا)، پلاژیوکلاز، آمفیبول و پیروکسن و اکسید آهن نیز دیده می‌شود. این دسته از کانی‌ها در سنگ‌های آذرین یافت می‌شود و به نظر می‌رسد که در این نمونه از یک سنگ آذرین به عنوان «شاوت» استفاده کرده‌اند و باتوجه به وجود سنگ‌های آذرین در شمال ورقه جازموریان، احتمالاً این نمونه مربوط به آن مناطق باشد. در این نمونه، کوارتز با فراوانی حدود ۱۵-۲۰٪ بیشترین درصد را دارد، کانی میکا (مسکویت) ۵٪، پلاژیوکلاز ۳٪، پیروکسن و آمفیبول ۱٪ همراه با اکسید آهن سازنده‌های این نمونه هستند. خمیره تمام سفال‌ها همگن، غیرکربناته و فضای خالی نسبتاً کمی در خمیره آن‌ها دیده می‌شود. در کل برای سفال‌های منطقه می‌توان چهار دسته یا گروه را باتوجه به مطالعات پتروگرافی تعیین کرد؛ دسته اول که بیشترین فراوانی را دارند، سفال‌هایی هستند که ترکیب غالب موجود در خمیره کانی کوارتز و اکسید آهن است. در این دسته نمونه‌های (CH1, 2, 5, 8) جای دارند. دسته دوم، دو نمونه (CH3, 7, 10) که علاوه بر کوارتز از قطعات Grog به صورت آمیزه استفاده کرده‌اند. دسته سوم نمونه‌هایی (CH4, 9, 11) که خمیره‌ای کاملاً همگن دارد و تراکم کانی کوارتز در خمیره آن کمتر از ۱٪ است. دسته چهارم نمونه (CH6) است؛ این نمونه از نظر ترکیب کاملاً متفاوت است و در آن از قطعات سنگ آذرین و یا رسوبات حاصل از آن به صورت آمیزه استفاده شده است.

در ادامه بررسی‌های SEM-EDX صورت‌گرفت که نمونه‌های مورد نظر آزمایش‌های پتروگرافی را تأیید نمود. این آزمایش‌ها مشخص کرد که سفال‌ها دارای بافت بسیار متراکم، سخت و بدون تخلخل هستند که نشان می‌دهد سفالگران پیش از تاریخی محوطه چگردک در پنج هزار سال پیش در نوع ورز دادن و شیوه عمل‌آوری بسیار دقیق و با مهارت بوده‌اند؛ به طوری که هیچ‌گونه پوکی و نشانی از ورز نامناسب در سفال‌ها نمی‌توان یافت. این نکته را باید یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های سفال‌های خاکستری این منطقه و به ویژه جنوب شرق ایران دانست. از طرفی مطالعات حاصل نشان می‌دهد که خاک مورد استفاده در ساخت و تولید خمیره سفال‌ها بسیار مطلوب، شسته شده و عاری از هرگونه ماده اضافی است. به گونه‌ای که استحکام آن‌ها پس از پخت آن قدر بالا است که به سادگی قابل شکستن نیستند، این مورد را می‌توان به خوبی در نوع بافت **زینترشده** و نیمه‌شیشه‌ای سفال‌ها دید؛ همچنین در آنالیزهای فازی XRD وجود فازهای حرارت بالا شناسایی

گردید؛ این احتمال بسیار وجود دارد که در ساخت سفال‌ها از کوره‌های حرارت بالای شرایط احیاء استفاده شده است. از طرفی در بررسی‌های باستان‌شناسی و کاوش‌های اضطراری که توسط گروه باستان‌شناسی محوطه به سرپرستی محمد حیدری صورت گرفت، بقایای معماری کوره پخت سفال و سفال‌های ذوب شده و جوش کوره کشف شده است که این موضوع نشان می‌دهد که این صنعت یک هنر و تولید بومی مردمان این ناحیه بوده است. آخرین مرحله از تولید یک سفال، روش‌های پرداخت و تزئین آن به جهت تولید یک اثر هنری فاخر بوده است؛ بررسی‌های عنصری نشان داد که نقاش و صنعت‌گر پیش از تاریخی چگردک از مواد معدنی با پایه آهن، همچون هماتیت و قرمز اُخرا برای ثبت رنگ‌های قرمز و از ترکیب موادی با پایه اکسید آهن و منگنز برای تولید رنگ سیاه و تیره استفاده نموده است.

سپاسگزاری

نگارندگان پژوهش حاضر از آقایان محمد حیدری، سیدایرج بهشتی و همچنین گروه مرمت آثار تاریخی دانشگاه زابل، میراث فرهنگی استان سیستان و بلوچستان و موزه منطقه‌ای جنوب شرق، کمال تشکر و قدرانی را دارند؛ چراکه بدون کمک‌ها و راهنمایی‌های ارزنده‌شان تحقق این پژوهش امکان‌پذیر نمی‌بود.

کتابنامه

- اقلیما، محمدرضا، (۱۳۹۲). «مطالعه تطبیقی برهم‌کنش‌های منطقه‌ای مبتنی بر سفال‌های مکشوفه از محوطه چگردک جلگه چاه‌هاشم». پایان‌نامه کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشگاه سیستان و بلوچستان (منتشر نشده).
- امین‌امامی، سید محمد؛ صدقی، یاسین؛ عابدی، اکبر؛ و اسکندری، نصیر، (۱۳۹۹). «سفال باستانی و باستان‌سنجی، شناخت تکنولوژی ساخت سفال‌های فرهنگ علی‌آباد در تپه دهنو شهداد، جنوب شرق ایران (۳۷۵۰-۳۲۵۰ پ.م)». علم و مهندسی سرامیک، دوره ۹، شماره ۳، صص: ۵۷-۳۷.
- رازانی، مهدی؛ صدقی، یاسین؛ و حیدری باباکمال، یدالله، (۱۳۹۸). «بررسی تطبیقی فرآیند ساخت در هنر سنگ‌تراشی پیش از تاریخ جنوب شرق ایران و سنگ هرکاره مشهد در دوران معاصر». فصلنامه مطالعات باستان‌شناسی پارسه، شماره ۷، سال ۳، صص: ۷۶-۵۷.
- صدقی، یاسین؛ رازانی، مهدی؛ قاینی، زهره؛ و صبحی‌ثانی، فرح‌انگیز، (۱۳۹۹). «بررسی و مرور نوع رنگ‌های به‌کاررفته در تزئینات نقوش سفالینه‌های به‌دست‌آمده از محوطه‌های عصر مفرغی سیستان و بلوچستان». نشریه علمی مطالعات در دنیای رنگ، جلد ۱۰، شماره ۲، صص: ۶۱-۷۲.
- صدقی، یاسین؛ عابدی، اکبر؛ رازانی، مهدی؛ و حیدری، محمد، (۱۳۹۶). «ساختارشناسی خمره نو یافته سفالی چرخه زیستی متعلق به گورستان پیش از تاریخی کشیک سیستان و بلوچستان، جنوب شرق ایران». پژوهش باستان‌سنجی، سال ۳، شماره ۲، صص: ۱۴-۱.
- مورگاورو، لوردانا، (۱۳۸۷). ظروف رنگارنگ شهر سوخته. ترجمه سید منصور سیدسجادی، زاهدان: استانداری سیستان و بلوچستان و سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان.
- نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ جازموریان، (۱۳۶۹)، تهران: افست.
- هلالی‌اصفهانی، هاله؛ و کنستانتینی، لورنزو، (۱۳۸۸). پارچه‌های شهر سوخته و فرهنگ پوششی آن. زاهدان: سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان سیستان و بلوچستان، گروه باستان‌شناسی شهر سوخته و دهانه غلامان.

- Afifi, H. A., (2011). "Analytical Investigation of Pigments, Ground Layer and Media of Cartonnage Fragments from Greek Roman Period". *Mediterranean Archaeology & Archaeometry*, Pp: 11 (in Persian).

- Aminamami, S. M.d; Sedqi, Y.; Abedi, A. & Eskandari, N., (2020). "Ancient pottery and archeology, knowledge of the technology of making pottery of Aliabad culture in Dehno Shahdad hill, southeast of Iran (3750-3250 BC)". *Ceramic Science and Engineering*, Vol. 9, No. 3, Pp: 57-37 (in Persian).

- AminEmami M.; Razani, M.; Soleimani N. A. & Madjidzadeh Y., (2017). "New insights into the characterization and provenance of chlorite objects from the Jiroft civilization in Iran". *J Archaeol Sci Reports*, No. 16, Pp: 194-204. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.10.004> (in Persian).

- AminEmami, S. M. & Trettin, R., (2010). "Phase generating processes in ancient ceramic matrices through microstructure investigation with high resolution microscopy methods". *Journal of Advanced Microscopy Research*, No. 5(3), Pp: 181-189 (in Persian).

- AminEmami, S. M.; Volkmar, J. & Trettin, R., (2008). "Quantitative characterisation of damage mechanisms in ancient ceramics by quantitative X-ray powder diffraction, polarization microscopy, confocal laser scanning microscopy and non-contact mode atomic force microscopy". *Surface Engineering*, No. 24 (2), Pp: 129-137. DOI 10.1179/174329408X298157 (in Persian).

- Biscione R.; Salvatori, S. & Tosi, M., (1977). "Shahr-i sokhta: LA bittatoprotoistorico la sequenzacronologica p". Bagsaglia (ed) La cite bruciata del desertosalato, *ERIZZO IDIIRICE venice*, Pp: 77-121.

- Boccuti, S.; Squitieri, A.; Angelini, G.; Lazzari, A.; Di Luzio, E. & Albano, M., (2015). "Preliminary surface analyses by ESEM-EDS of calcite bowls from Shahr-i Sokhta (Sistan, Iran, ca. 3200-1800 BCE): Results and possible interpretations". *Journal of Archaeological Science*, No. 61, Pp: 244-259.

- Čiuladienė, A.; Luckutė, A.; Kiuberis, J. & Kareiva, A., (2018). "Investigation of the chemical composition of red pigments and binding media". *Chemija*, Pp: 29

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

- Eqlima, M. R., (2013). "Comparative study of regional interactions based on pottery discovered from Chagardak area of Chah Hashem plain". Master Thesis in Archeology, Sistan and Baluchestan University (unpublished, in Persian).

- Geological map 1: 25000 Jazmourian, (1990), Tehran: Offset.

- Goodall, R. A., Hall, J., Viel, R., & Fredericks, P. M., (2009). "A spectroscopic investigation of pigment and ceramic samples from Copán, Honduras". *Archaeometry*, No. 51(1), Pp: 95-109.

- Heidary, M.; Desset, F. & Vidale, M., (2018). "Bronze Age Glyptics of Eastern Jazmurian, Iran". *Paléorient*, No. 44(1), Pp: 133-153.
- Heidary, M.; Desset, F. & Vidale, M., (2019). "A Late 4th-Early 3rd Millennium B.C. Grave at Spidej (Eastern Jazmurian, Iranian Baluchistan)". *Iranica Antiqua*, Pp: 54.
- Heydari, M.; Fazeli-Nashli, H.; Cortesi, E. & Vidale, M., (2015). "A surface collection at Chegerdak, a Bronze age centre in the Jazmurian basin (South-Eastern Iran)". *Paléorient*, Pp: 133-155.
- Hilali Esfahani, H. & Konstantini, L., (2009). "Burnt City Fabrics and its Cover Culture". Zahedan: Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of Sistan and Baluchestan Province, Arbukhteh Archaeological Group and the Slave Mouth(in Persian).
- Keykhaei, M.; Haji Valiei, M.; Shirazi, R. & Khademi Nadooshan, F., (2012). "Shahr-i Sokhta and the Bronze Production Workshop: A Review". *Interdisciplinaria Archaeologica, Natural Sciences in Archaeology*, Vol. III, Issue 2, Pp: 203-210(in Persian).
- Maggetti, M. & Schwab, H., (1982). "Iron Age fine pottery from Châtillon-s-glâre and the Heuneburg". *Archaeometry*, No. 24(1), Pp: 21-36.
- Maniatis, Y. & Tite, M. S., (1981). "Technological examination of Neolithic-Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East". *Journal of Archaeological Science*, No. 8, Pp: 59-76.
- Mioč, U. B.; Colomban, P.; Sagon, G.; Stojanović, M. & Rosić, A., (2004). "Ochre decor and cinnabar residues in Neolithic pottery from Vinča, Serbia". *Journal of Raman Spectroscopy*, No. 35(10), Pp: 843-846.
- 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 (in Persian).
- Mortazavi, M., (2004). "Systems Collapse: A Comparative study of the Collapse of the urban communities of southeast Iran in the Second Millennium BC". Ph.D Thesis. England: University of Bradford.
- Mortezaei, M., (2005). "Economy, Environment and the Beginnings of Civilizations in South Eastern Iran". *Journal of Near Eastern Archaeology*, No. 68(3), Pp: 106-111.
- Mortezaei, M., (2006). "TheBampur Valley: A New Chronological Development", *Ancient Asia*, Pp: 53-64.
- Murgavuro, L., (2008). *Colorful dishes of Shahr-e Sokhteh*. Translated by: Seyed Mansour Seyed Sajjadi, Zahedan: Sistan and Baluchestan Governorate and the Cultural Heritage, Handicrafts and Tourism Organization of Sistan and Baluchestan Province(in Persian).
- Piperno, M. & Tosi, M., (1975). "The Graveyard of Shahr-i Sokhta Iran". *Archaeology*, No. 28(2), Pp: 186-197.
- 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.

- Rapp, G., (2009). "Natural Science in Archaeology: Archaeomineralogy". Second edition: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

- Razani, M.; Sedghi, Y. & Heidari Babakmal, Y., (2019). "A Comparative Study of the Manufacturing Process in the Art of Pre-Masonry in the History of Southeastern Iran and the Stone of Everything in Mashhad in the Contemporary Period". *Journal of Archaeological Studies of Parseh*, No. 7, Vol. 1, Pp: 76-57 (in Persian).

- Riedrer, J., (2004). "Thin Section Microscopy applied to the study of archaeological Ceramics". *Hyperfine Interactions*, No. 154, Pp: 143-153.

- 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.

- Sarhadi-Dadian, H.; Ramli, Z.; Nik Abdul Rahman, N. & Mehrafarin, R., (2015). "X-Ray Diffraction and X-Ray Fluorescence Analysis of Pottery Shards from New Archaeological Survey in South Region of Sistan, Iran". *Mediterranean Archaeology and Archaeometry*, No. 5 (3). Pp: 45-56.

- Sedqi, Y.; Abedi, A.; Razani, M. & Heidari, M., (2017). "Structure of newly discovered pottery of the biological cycle belonging to the prehistoric cemetery of Sistan and Baluchestan, southeast of Iran". *Archaeological Research*, Vol. 3, No. 2, Pp: 14-1 (in Persian).

- Sedqi, Y.; Razani, M.; Ghaeni, Z. & Sabuhisani, F., (2020). "Study and review of the type of paints used in the decoration of pottery motifs obtained from the bronze sites of Sistan and Baluchestan". *Scientific Journal of Studies in the World of Color*, Vol. 10, No. 2, Pp: 72-61 (in Persian).

- Stein, S. A., (1937). *Archaeological Reconnaissances in North-Western India and South-eastern Iran* Macmillan and Co. Limited St. Martins Street, London, Pp: 407.

- Tosi, M., (1968). "Excavation at shahr-i Sokhta: A calcolithic settlement In Iranian sistan, preliminary report on the First Campaging". Oc- Des, 1967, *East and West*, No. 18, Pp: 9-66.

- Tosi, M., (1970). "A tomb from Damin and the problem of the Bampur sequence in the third millennium BC". *East and West*, No. 20, Pp: 9-50.

- Tosi, M., (1976). "A Topographical and stratigraphic alperplus of shahr-e suxteh", *Proceedings of the IV the annual symposium on archaeological research in Iran*, Tehran (in Persian).

- Vidale, M. & Lazzari, A., (2017). "Lapis Lazuli Bead Making at Shahr-i Sokhta. Interpreting Craft Production in a Urban Community of the 3rd Millennium bc". ed by: Massimo Vidale and Alessandra Lazzari. Ancient Civilizations from Scythia to Siberia.