نشریه جستارهای باستان‌شناسی ایران پیش از اسلام
جلد ۸/ شماره ۲/ پیاپی ۱۶/ پاییز و زمستان ۱۴۰۲ (۱۲۲-۱۳۶)

نوع مقاله : پژوهشی

بررسی های تحلیلی فنی و آسیب شناسی قطعات سفالی کشف شده از کاوش های کورگان‌های جعفر آباد و طوعلی سفلی

حمیدرضا بخشنده‌فرد[۱]*، فرشید ایروانی قدیم[۲]، مصطفی علی‌باقری[۳]

چکیده

کورگان‌های جعفرآباد و طوعلی سفلی در خداآفرین استان آذربایجان شرقی در بین سال‌های ۱۳۸۹ و ۱۳۹۲ کاوش شده است. کورگان یکی از شیوه‌های تدفین اقوام کوچرو مهاجر اورآسیا است که می تواند اطلاعات مهمی در زمینه گاه‌نگاری، قوم نگاری، را روشن نماید. مسئله اصلی این پژوهش فن ساخت و آسیب شناسی در سفال‌های این کورگان هاست. سئوالات این پژوهش عبارتند از ۱- تکنیک ساخت این سفال ها چیست؟ ۲- سفال های مذکور دارای چه آسیب‌هایی است؟ بر این اساس ۶ قطعه مطالعاتی از کورگان ۱۳ انتخاب گردید. در این پژوهش ابتدا طبقه بندی و تشخیص گونه ها و سپس ردیابی دقیق تکنولوژی و شناسایی آسیب‌ها انجام شد. به این منظور از روش‌های میکروسکوپ الکترونی روبشی ((SEM، پراش پرتو ایکس برای شناسایی فازها، فلوئورسانس پرتوایکس ((XRFبرای شناسایی ترکیب سفال‌ها، طیف سنج مادون قرمز ((FTIRآنالیز حرارتی افتراقی (DTA(استفاده شد. بر اساس بررسی‌ها درصد ترکیب عناصر در همه نمونه‌ها بسیار به هم شبیه بوده و فقط در یک نمونه کلسیت بالاتری دیده شد که می‌تواند منشاء ثانویه داشته باشد. فازهای شاخص در بدنه کوارتز، آلبیت، آنورتیت، ایلیت، دیوپسید و مقدار کمی هماتیت گزارش شد. تصاویر میکروسکوپی حضور ترک‌ها را نشان می‌دهد. پیک‌های FTIR فازهای شناسایی شده در XRD را تصدیق کرده و نشان همسانی مواد اولیه و شرایط پخت این بدنه‌های سفالی است. نمودارهای DTA واکنش‌های گرماگیر در حدود ۸۵۰ تا ۹۰۰ سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. عمده آسیب‌های وارده بر این سفال‌ها شامل ترک‌ها و شوره‌های محیطی است که در اثر شرایط دفن به‌وجود آمده‌اند.

واژگان کلیدی: سفال، کورگان جعفرآباد و طوعلی سفلی،، XRF,XRD SEM/EDS, FTIR, DTA.

ارجاع: بخشنده فرد، حمیدرضا؛ ایروانی قدیم، فرشید؛ علی باقری، مصطفی. ۱۴۰۲. بررسی های تحلیلی فنی و آسیب شناسی قطعات سفالی کشف شده از کاوش های کورگان‌های جعفر آباد و طوعلی سفلی. نشریه جستارهای باستان‌شناسی ایران پیش از اسلام. ۸ (۲) : ۱۲۲-۱۳۶.

۱- دانشیار، گروه مرمت آثار و اشیاء فرهنگی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنراصفهان، اصفهان، ایران.
*نویسنده مسئول؛ hr.bakhshan@aui.ac.ir
۲- دانشیار، گروه باستان‌شناسی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنراصفهان، اصفهان، ایران.
۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مرمت اشیاء فرهنگی و تاریخی، دانشکده مرمت، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۹/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۵

مقدمه

تدفین کورگانی، تدفینی باقی مانده از اقوام مهاجر و جنگجوی اوراسیا است و ساختارهایی مرکب از گورپشته هایی ساخته شده از سنگ و خاک بوده و معنای لغوی آن محافظ تدفین است (Iravani Ghadim,2011:191). در تدفین‌های کورگانی برخی ویژگی‌ها، هم‌چون حلقه‌های سنگی، پشته‌ها و نحوه تدفین سنگی در قبور کروملیچ (حلقه ســـنگی) تداوم می‌یابد. از لحاظ ساختاری، کورگان‌ها در گروه تدفین‌های کلان‌سنگی قراردارد (Iravani Ghadim,2018:21).

در مطالعه‌ی جوامع انسانی و شناخت فرهنگ‌های گذشتگان، شناخت جنبه‌های مادی و معنوی تدفین ضروری است. بنابراین بررسی های علمی بر روی قبـــور از اهمیت خاصی برخوردار بوده و می‌تـــوان اطلاعاتی از این‌گونه جوامع در باره فرهنـــگ، اعتقـــادات و نیـــز نحـــوهٔ زندگـــی مردمـــان آن به‌دست آورد. پژوهش پیرامون قبور کورگانی بر اساس یافته های فرهنگی که قابل انتساب به اقوام کوچرو جنگجوی اوراسیا است، در شناسایی فرهنگ و نیز حضور و شیوه حرکت این اقوام در مناطق مختلف حائز اهمیت است (ایروانی قدیم، ممی زاده، ۱۳۹۱: ۴۳-۳۳ /افضلی و همکاران،۱۴۰۰: ۴۸).

در بررسی‌های سطحی انجام شده در محدوده ۵ کیلومتری کناره جنوبی رود ارس نزدیک سد تازه احداث خداآفرین ۴۰ کورگان شناسایی شد. در این راستا در سال ۱۳۸۹ هشت کورگان و در سال ۱۳۹۲ پنج کورگان در این محدوده بازگشایی گردید (Iravani Ghadim,2015:89-111/ Iravani Ghadim& Beikzadeh,2018:101-120).



شکل ۱- موقعیت قرارگیری کورگان های جعفر آباد و طوعلی سفلی (Iravani Ghadim, 2014:98)



شکل ۲- نحوه دفن و اشیاء داخل کورگان ۱۳ (ایروانی قدیم، ۱۳۹۲:۲۶۵)

نمونه‌های مطالعاتی این پژوهش شامل شش قطعه سفال، بر اساس تنوع رنگ، پوشش سطحی از کورگان ۱۳ انتخاب گردید. کورگان ۱۳ بر اساس مختصات مرکاتور معکوس (UTM) در عرض جغرافیایی ۳۸ شمالی ۴۳۲۴۱۷۳ درجه شمالی، ۶۵۴۰۳۸ درجه شرقی و بر اساس سیستم گرید کاوش در داخل شبکه مربع‌های ۴۳ اس،۴۳ تی،۴۲ آر،۴۲ اس،۴۲ تی،۴۱ اس،۴۱ آر،۴۱

تی شناسایی گردید. کورگان در قسمت جنوبی جاده‌ی جلفا به پارس آباد قرار گرفته و به شکل پشته‌ای و به صورت مستطیل شکم‌دار است که به صورت شرقی/غربی ایجاد شده و ۹۵۵ سانتی‌مترطول،۸/۱۸ سانتی‌مترعرض ۳۲۲/۵۸۴ متر از سطح آب‌های آزاد ارتفاع دارد. سازه پشته ای این کورگان که از سنگ و گل رودخانه‌ای ساخته شده بر اثر فعالیت‌های کشاورزی آسیب دیده و نسبت به زمین‌های اطراف ۱/۶۵ سانتی‌متر ارتفاع دارد که با مشخصه کانتکس ۱ نام‌گذاری شده است. در ادامه کاوش در ارتفاع ۳۲۱.۴۷۹ از سطح آب‌های ۵ آزاد در شبکه مربع‌های ۴۲ اس،۴۲ تی یک ساختار سنگی به‌صورت شرقی/غربی به طول ۱۵/ ۵ و عرض ۱/۰۸ سانتی‌متر که در ۴/۷۰ سانتی‌متردیواره شرقی و ۶۳ سانتی‌متر از دیواره شمالی قرار گرفته است، شناسایی شده است. این مکان که لیمیت اصلی قبر است، با مشخصه کانتکس ۲ نام‌گذاری شده است. در ادامه کاوش در شبکه مربع‌ها ۴۲ آر،۴۲ اس ۴۲ اس ۴۲ آر سازه‌ای سنگچین با ابعاد ۱۱۸×۳۵۱، سانتی‌متردر قسمت جنوبی کورگان به فاصله ۴۲۰ سانتی‌متراز دیواره شمالی و ۳۸۲ سانتی‌متراز دیواره شرقی و در ارتفاع ۳۲۱/۳۱۴ از سطح آب‌های آزاد شناسایی شد که با مشخصه کانتکس ۳ نام‌گذاری شده است. نخستین اثر شناسایی شده در کورگان ۱۳ داخل کانتکس ۲ یک خمره سفالی است (Iravani Ghadim& Beikzadeh,2018: 108)

پیشینه و مبانی نظری

پورزرقان و همکارانش به سال ۲۰۱۷ در پژوهشی به کمک XRD وXRF به بررسی ۵۲ قطعه سفال شکسته که از نواحی مختلف سیستان از جمله شهرسوخته و از دوره‌های پیش از تاریخی، تاریخی تا دوره اسلامی پرداخته‌اند. این سفال‌ها از نوع ساده تا لعاب‌دار و در رنگ‌های نخودی، قرمز، خاکستری و سیاه بوده‌اند. نتایج آنان نشان داده، بسیاری از سفال‌ها به‌ویژه سفال‌های نخودی شهر سوخته و سفال‌های عصر مفرغ از نوع بومی است و سفال‌های دوره اسلامی ترکیبی متفاوت از دیگر سفال‌ها است که در منطقه سیستان می‌تواند استمراری از تکنولوژی، تولید و تجارت سفالینه‌ها باشد (175—175-186:2017 Pourzarghan et al).

سرداری و همکاران در مقاله‌ای به کمک پتروگرافی و XRF روی ۱۱ نمونه، از سفال‌های دوره باکون تل میش کریم شهرستان سمیرم، CaO و SiO_2را شناسایی کرده‌اند، آن‌ها میزان بالای عنصر آلومینیوم و اکسیدآهن در دو نمونه سفال را نسبت به بقیه شناسایی نموده‌اند (سرداری و همکاران، ۲۰۱۸: ۸۰-۶۵).

عودباشی و همکارانش در سال ۱۳۹۸ مطالعات باستان سنجی بر روی سفال های مکشوف از محوطه ی باستانی دِه دومن انجام داده اند، آن‌ها. به این منظور ۲۴ نمونه از یافته‌های این محوطه را با استفاده از روش‌های (XRF)و پتروگرافی مطالعه کرده‌اند. نتایج مطالعات آنان نشان داده سفال‌های مورد مطالعه به دو دسته‌ی آهکی یا پرکلسیم و غیرآهکی یا کم‌کلسیم دسته بندی شده، و نمونه‌ها از نظر ساختاری دو گروه کاملاً متفاوت از سفال‌های بدنه‌ی نخودی و سفال‌ها با ساختار ساندویچی هستند'(عودباشی وهمکاران،۱۳۹۸: -۲۷-۴۶).

تاجبخش وهمکارانش در سال ۱۳۹۹ مطالعه ای به کمک روش XRF و XRD انجام داده اند و ترکیبات و عناصر سفال منقوش دورهٔ سلوکی /اوایل اشکانی منطقه غرب ایران با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز نمونه‌هایی از مناطق دلفان، الشتر و نهاوند انجام داده اند. نتایج آزمایش‌هانشان داده، سفال‌های همگون در محوطه‌های مورد بررسی، علاوه بر تشابه در عناصر و ترکیب سفال‌ها با ساختار زمین‌شناسی و ناحیهٔ جغرافیایی نیز همسان هستند؛ و بحث وارداتی بودن این سفال‌ها منتفی است تاج بخش وهمکاران، ۱۳۹۹: ۶۵-۸۳.

خاموشی، لیلا. (۱۳۹۹) مطالعات آزمایشگاهی بر روی ظروف سفالی ترنجی موسوم به فقاع در ایران از سده ۴ تا سده ۷ هجری قمری انجام داده است. وی تعداد ۶ نمونه از این ظروف را به کمک روش پتروگرافی و میکروسکوپ دو چشمی پلاریزان مطالعه نموده است. او برای شناسایی مواد آلی نیز از (FTIR)و برای تجزیه عنصری نمونه‌ها از XRFاستفاده کرده است. نتایج نشان داده که این ظروف به احتمال قوی دارای مواد آلی و مایعات فراوری شده از غلات مختلف هستند، کانی های کوارتز و فلدسپات از سازندگان اصلی این بدنه ها هستند که نقش اصلی در استحکام بدنه را دارند (خاموشی،۱۳۹۹: ۲۱۰-۱۹۳).

حاجی نوروزی و همکارانش در سال ۱۴۰۰ مطالعه ای بر روی ۳۲ قطعه سفال از سطح محوطه‌های مس سنگ میانه مناطق چهارمحال و بختیاری با استفاده از آنالیز پتروگرافی و طیف‌سنجی پلاسمای جفت شده القایی ICP-OES، انجام داده اند.

نتایج کار آنان نشان داده، نمونه‌های خوزستان و فارس در شوشان و باکون تولید می‌شده‌اند؛ اما نمونه‌های چهارمحال و بختیاری با وجود شباهت‌های بسیار از لحاظ ظاهری و فنی با مناطق همجوار، در محدوده همان محوطه‌ها تولید شده‌اند؛ و تولید سفال اگرچه با تأثیر از فرهنگ‌های همجوار ساخته‌شده اما این تأثیرپذیری به دلیل کوچ سفالگران به منطقه و یا انتقال فناوری ساخت سفال در اثر همین حرکات کوچروی بوده است (حاجی نوروزی و همکاران،۱۴۰۰ :۱۹۸-۱۷۵).

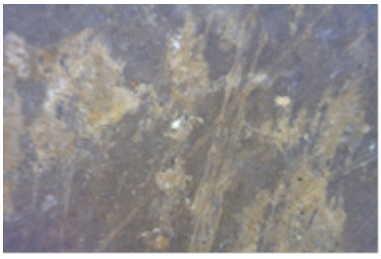
خانزادی و همکاران در سال ۱۴۰۰ بر روی ۱۴ یافته سفالی به دست آمده از محوطه‌ی تاریخی سیروان به کمک XRF و XRDبرای شناخت ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شباهت‌ها و تفاوت‌های ساختاری شناسایی عناصر و فازهای تشکیل دهندهٔ، تخمین دمای پخت و همچنین ترسیم الگویی جهت طبقه‌بندی به کمک آنالیزهای طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF)و پراش اشعه‌ی ایکس ((XRD انجام داده اند. نتایج کار آن‌ها. نایکنواختی مقادیر سیلیسیم و کلسیم، و تنوع در منابع و فرآوری مواد اولیه و تعلق سفال‌هابه کارگاه‌های متفاوت سفالگری است (خانزادی وهمکاران،۱۴۰۰:۱۲۶-۱۰۳).

افتخاری و همکارانش در سال ۲۰۲۱ به کمک پتروگرافی وWDXRF بر روی یافته های سفالی محوطه باستانی شهر سوخته در شرق ایران شامل طیف وسیعی از آثار بدون تزئین، تک رنگ وسرامیک های پلی کروم با بدنه های خاکستری، قرمز و با قدمت بین ۳۲۰۰ تا ۱۸۰۰ قبل از میلاد پژوهش انجام داده اند. به کمک داده های کمی از WDXRF آن‌ها نشان دادند، اجزای شیمیایی گروه بزرگی از سفال‌ها با بدنه‌های خاکستری، قرمز و مشابه خاک رس محلی است و ضایعات کوره، تولید محلی آن‌ها را نشان می دهد، در صورتی که، سفال‌های بدنه خاکستری و قرمز غیر محلی بوده ودارای بدنه‌های رسی ریزدانه با توزیع یکنواخت کوارتز ریزدانه در ماتریس رسی است. (Eftekhari et al 2021:13-68)

مواد و روش‌ها:

مواد: **قطعه سفال‌ها:** درفصل دوم کاوش در منطقه جعفرآباد و طوعلی سفلی تعداد ۵ کورگان بازگشایی شد که از شمارگان ۹ تا ۱۳ نام‌گذاری شده‌اند، تعداد ۶ نمونه قطعه سفال از کورگان شماره ۱۳ انتخاب شده و بررسی شد. از میان این ۶ قطعه ۳ نمونه سفال به رنگ قرمز و ۳ نمونه به رنگ خاکستری است.





شکل ۳- قطعه سفال قرمز شماره ۱ (بالا) خلل و فرج و ذرات ریز سیلیس بزرگنمایی X50 (پایین)





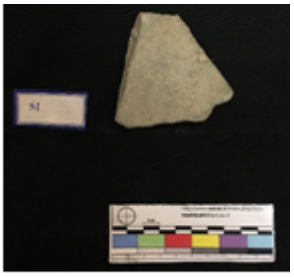
شکل ۴- قطعه سفال قرمز شماره۲ (بالا) ذرات سیلیس و رد سوختن مواد آلی احتمالا پشم یا مو بزرگنمایی X 200 (پایین).



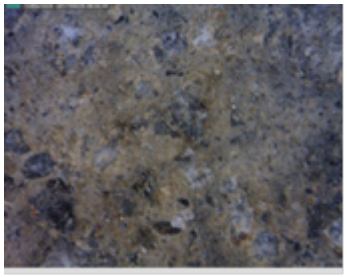


شکل ۵- قطعه سفال قرمز شماره ۳ (بالا) خراشیده شدن قسمت بیرونی بزرگنمایی)X50پایین)

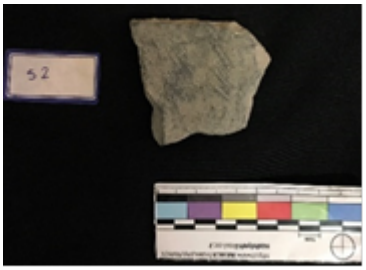
قطعه سفال قرمز شماره ۱ این قطعه سفال با کد N1 از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست آمده، دارای رنگ قرمز و بر روی آن شوره‌های سفیدرنگی مشاهده می‌شود (شکل ۳) این قطعه سفال دارای استحکام نسبتاً بالایی است و فرم منحنی و دایره توخالی دارد، ممکن است این قطعه قسمتی از یک دسته باشد. درضمن بر روی این قطعه تخلخل زیادی نیز دیده شد.



شکل ۶ - قطعه سفال خاکستری شماره ۱ (راست)

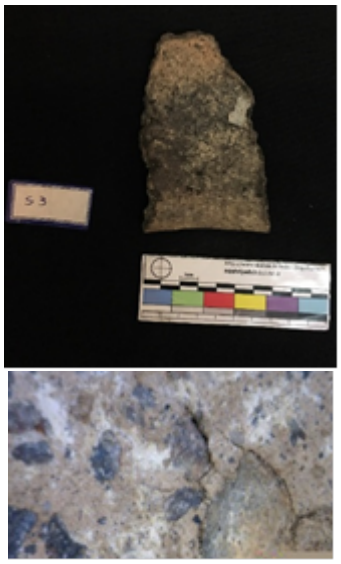


شکل ۷- سطح صاف و یکدست بزرگنمایی X50(چپ)

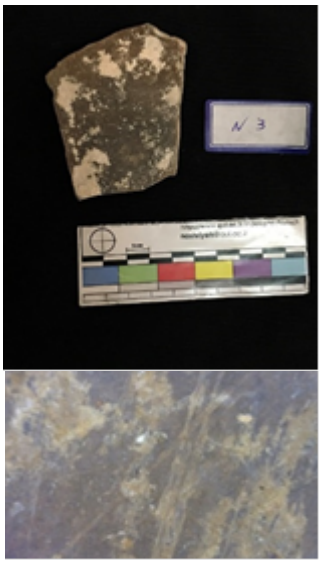


شکل ۸- قطعه سفال خاکستری شماره ۲ با کد S2 به دست آمده از کورگان شماره ۱۳

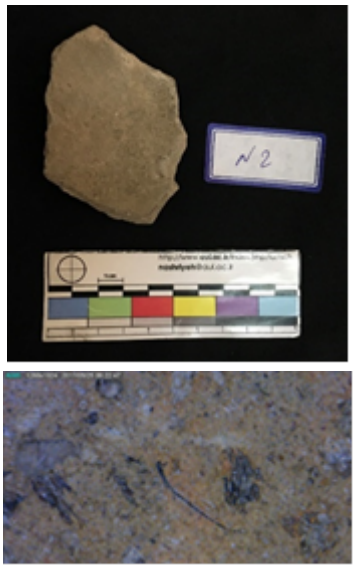
قطعه سفال قرمز شماره ۲ این قطعه سفال با کد N2 از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست‌آمده دارای رنگ قرمز، کم رنگ‌تر از ۲ نمونه N1 و N3 است و رنگ آن تیره‌تر است (شکل ۱۱)، از استحکام بالایی برخوردار بوده و دارای سطح به نسبت صافی است به نظر می‌رسد، شایداین قطعه مربوط به قسمت بدنه سفال بوده باشد.



شکل ۹- قطعه سفال خاکستری شماره ۳ با کد S3 به دست آمده از کورگان شماره ۱۳ (بالا) ترک‌ها و قطعات ریز سیلیس بزرگنمایی X50 (پایین)



شکل۱۰- قطعه سفال قرمز شماره ۳ (بالا) خراشیده شدن قسمت بیرونی بزرگنمایی X50(پایین)

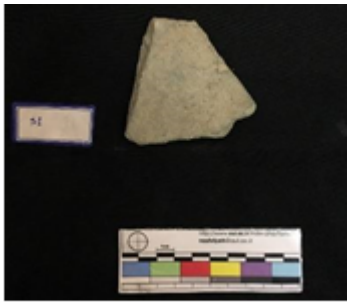


شکل ۱۱- قطعه سفال قرمز شماره۲ (بالا) ذرات سیلیس و رد سوختن مواد آلی احتمالا پشم یا مو بزرگنمایی X 200 (پایین)

قطعه سفال قرمز شماره ۳ این قطعه با کد N3 از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست آمده، بیرون سفال به رنگ خاکستری، درون آن قرمز و هر دو طرف دارای رسوبات سفید است. همچنین سطحی کمابیش صاف با استحکام بالایی دارد. به نظر می رسد این قطعه مربوط به لبه یک ظرف باشد.

قطعه سفال خاکستری شماره ۱ قطعه سفال یادشده با کد S1از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست آمده. سطحی یکدست و هموار دارد و از استحکام بالایی برخوردار است، سطح نمونه خاکستری است، اما رنگ آن یکنواخت نیست؛ این امر می‌تواند به علت کمبود اکسیژن در کوره و یا سوخت ناقص باشد. شاید این قطعه مربوط به قسمت بدنه سفال بوده باشد (شکل ۱۲).





شکل۱۲- قطعه سفال خاکستری شماره ۱ (راست) سطح صاف و یکدست بزرگنمایی X50 (چپ)

قطعه سفال خاکستری شماره ۲ این قطعه سفال با کد S2 از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست آمده (شکل ۶)، دارای سطحی به‌نسبتا صاف و خطوطی که شاید به وسیله دست سازنده و به صورت غیرعمد بر روی آن ایجاد شده در آن مشاهده می‌شود. این قطعه سفالی از استحکام بالایی برخوردار است و تقریبا از نظر ماکروسکوپی شبیه به نمونه S1بوده و مربوط به قسمت بدنه سفال است.

قطعه سفال خاکستری شماره ۳ قطعه سفال با کد S3 نیز از کانتکس ۲ کورگان شماره ۱۳ به دست آمده (شکل ۷)، دارای سطحی زمخت تر از بقیه نمونه‌ها است و با توجه به فرم قطعه به نظر می‌رسد، مربوط به لبه ظرفی باشد. از استحکام کمابیش خوبی برخوردار بوده و در لبه قطعه سفال ترک‌های ریزی دیده می شود.

روش‌ها به منظورآسیب شناسی، شناسایی فنی و بررسی ساختار و ترکیب شیمیایی سفال‌های یادشده از روش های ۱ میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM). ۲ پراش اشعه ایکس (XRD). ۳ فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF). ۴ طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR). ۵ نالیز حرارتی افتراقیی (TA)استفاده شد.

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM- EDS)

میکروسکوپ الکترونی روبشی، نوعی میکروسکوپ با قابلیت عکس برداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۱۰۰۰۰۰ برابر به کمک پرتو الکترونی از سطوح است. در این میکروسکوپ، سطح نمونه با الکترون‌هایی با تمرکز بالا اسکن می‌شود (Stuart 2007). آنالیز مواد در SEM با جمع‌آوری و مطالعه‌ی سیگنال‌های اشعه ایکس صورت می‌گیرد. اشعه‌ی ایکس از مهم‌ترین سیگنال‌های تولیدی در SEM است که دربردارنده اطلاعات مهم آنالیز کمی و کیفی است، آنالیز نیمه کمی توسط آشکارساز (EDS) انجام می‌گیرد. آنالیز دربنیاد علوم کاربردی رازی با میکروسکوپ الکترونی روبشی ساخت شرکت TE-SCAN مدل MIRA3 که مجهز به شناساگرتصاویرالکترون برگشتی و سیستم آنالیز عنصری EDS انجام شد.

طیف سنج پراش اشعه ایکس(XRD)

دستگاه XRD یک سیستم آنالیز دستگاهی است که برای تعیین فازها در نمونه هایی مثل خاک، ملات، سفال، آلیاژها و محصولات خوردگی به کار می‌رود. هر نمونه الگوی پراش خاصی دارد که با استفاده از آن و به کمک یک مولد پرتوی ایکس

تک موجی، اطلاعاتی از کانی‌های موجود در نمونه می‌دهد. نمونه‌های یاد شده با دستگاه XRD مدل D8ADVANCE کمپانی Bruker کشور آلمان در آزمایشگاه مرکزی دانشگاه اصفهان آنالیز شد.

فلوئورسانس پرتو ایکس(XRF)

روش فلورسانس پرتوایکس یا طیف سنجی پرتو X یکی از روش‌های آنالیز عنصری است که امروزه از آن به طور وسیعی برای تعیین ترکیب شیمیایی انواع مواد، استفاده می‌شود. در این روش، پرتو X تابیده شده به نمونه، باعث برانگیخته شدن اتم‌ها و در نتیجه پدید آمدن پرتو X ثانویه می‌شود و با تعیین طول موج یا انرژی پرتو X ثانویه، عنصرهای موجود در نمونه‌ها را می‌توان شناسایی کرد. سرعت XRF آنالیز در مواد بالا است. روش طیف نشری اشعه ایکس آنالیز عنصری در آزمایشگاه بیم گستر تابان تهران انجام شد.

طیف سنجی تبدیل فوریه مادون قرمز (FTIR)

دستگاه های مختلفی برای طیف سنجی مادون قرمز وجود دارند که پرکاربردترین آن‌ها دستگاه طیف سنجی مادون قرمز-تبدیل فوریه است و مزایای منحصر به فردی دارد. این روش طیف سنجی را می‌توان برای جامدات، مایعات و گازها به کار برد. نمونه‌ها با دستگاه طیف‌سنجی مادون قرمز فوریه FTIR مدل AVATAR ساخت شرکت Nicolet Thermo ایالات متحده آمریکا در آزمایشگاه دانشکده مرمت دانشگاه هنر اصفهان آنالیز شد.

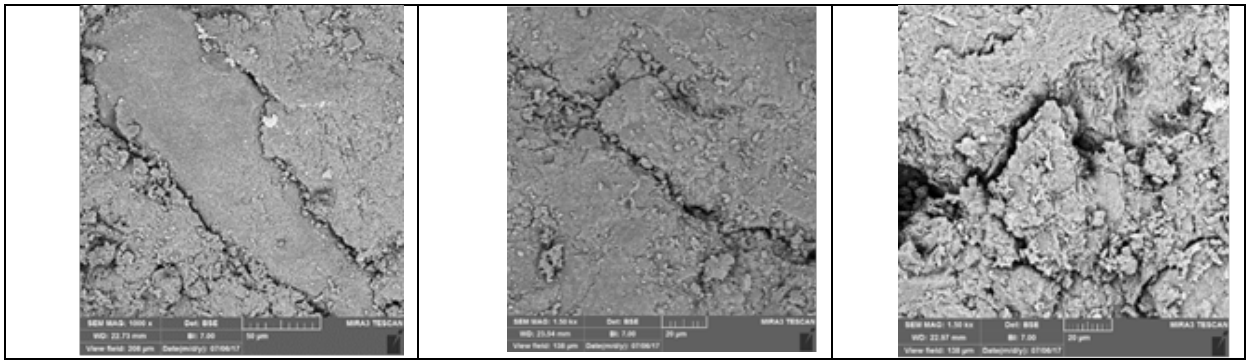
آنالیزحرارتی افتراقی(DTA)

یکی ازشناخته شده‌ترین روش‌های آنالیز حرارتی، آنالیز حرارتی تفاضلی است. اساس روش آنالیز حرارتی تفاضلی یا DTA اندازه‌گیری اختلاف دمای نمونه ناشناسا و نمونه مرجع (شاهد) است. زمانی که دمای یک ماده مطابق الگوی خاصی در محیطی مشخص افزایش یا کاهش پیدا می‌کند، دستگاه آنالیز حرارتی تفاضلی این امکان را فراهم می‌کند تا بتوان به راحتی تغییری که در ویژگی‌های فیزیکی ماده پدید می‌آید را اندازه‌گیری کرد. نمونه‌ها با دستگاه Perkin Elmer ایالات متحده آمریکا درآزمایشگاه شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان انجام شد.

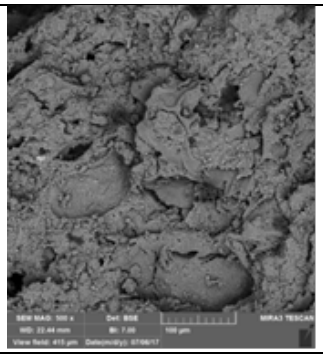
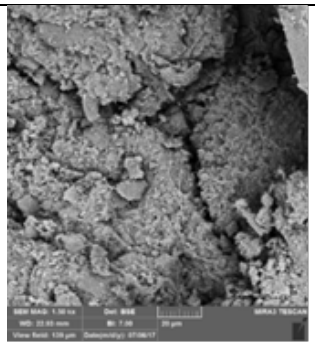
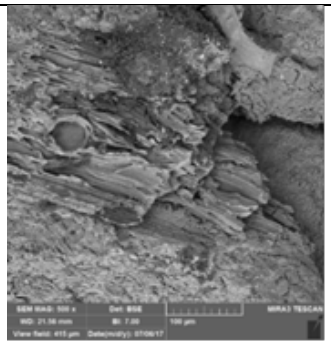
نتایج

میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

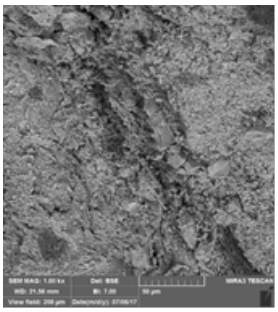
از تصاویر SEM می‌توان به این نتیجه رسید که بافت نمونه سفال‌ها سرشار از کوارتز است. همان طور که بعدا در بخش XRD در باره چگونگی تبدیل آلفا کوارتز به بتا کوارتز بحث خواهد شد، این فرایند در هنگام تبدیل فازها به یکدیگر در درجه حرارت‌های متفاوتی حاصل می شود. بنابراین در این مرحله هنگامی که بدنه سفال در حال سرد شدن است دچار ریزترک‌هایی می‌شود، این امر به خاطر مراحل پخت مختلف ماتریکس بدنه است. (شکل ۱۳ الف –ب –ج). بنابراین افزایش حجم کوارتز باعث گسستگی و ترک در بدنه سرامیک می‌شود (Emami et al., 2008: 129-137).



شکل ۱۳- الف –ب –ج (راست به چپ) ترک بر اثر انفجار کوارتز در نمونه N2 و N3 و S2

		
شکل ۱۴ - اشکال سوزنی شکل در نمونه S3	**شکل۱۵-- حفراتی که نشان از سوختن ماده آلی مثل پشم وکاه است در نمونه N1**	**شکل ۱۶- ساختار لایه ای مربوط به رخ مسکوویت S1**

همان‌طورکه از تصاویر SEM دیده می شود، ذرات شکل نامنظم و اندازه‌های متنوعی دارند. سطح سفال شامل یک صفحه حجمی مانند دانه‌ها با اندازه‌های مختلف بلوری از ۱۰ تا ۲۰ میکرومتر است (Krapukaitytė et al, 2008:4-8).



شکل ۱۷- بافت زجاجی در در نمونه S1

شکل ۱۷ نشان دهنده فاز شیشه‌ای در نمونه S1 است. فازهای کریستالی با دمای بالای ذوب یعنی آلومینوسیلیکات کربنات کلسیم (آنورتیت و ژلنیت) و سیلیکات کلسیم- منیزیوم (دیوپسید و ولاستونیت) یا همان مرحله آغاز فاز شیشه‌ای شدن است (Maniatis and tite, 1983: 773-781)؛ و به احتمال زیاد ساختار لایه ای مسکوویت است. در اثر حرارت ساختار لایه‌ای میکا، درکوارتز باز شده و خارج می‌شود. نمونه‌هایی که در دمای ۷۰۰ و ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد پخته می‌شوند بازهم شکل اولیه فیلوسیلیکات‌ها (میکا) در آن ها حفظ می‌شود، اگرچه بلورهای مسکوویت ورقه ورقه شده به وضوح در زمینه مشخص هستند، ولی به احتمال زیاد در اثر هیدروکسیل شدن فرسایش می یابند (Cultrone et al, 2001: 621-634).

پراش پرتو ایکس(XRD)

براساس نتایج حاصل از دستگاه XRD بیشترین فاز ترکیبات سفال‌ها راکوارتز تشکیل می‌دهد و این امر نشان دهنده بافت غنی از سیلیس درسفال‌ها است. کوارتز قسمت اصلی خاک‌های اولیه و بدنه تمام سفال‌ها را در بر می گیرد کوارتز، از فراوان‌ترین کانی‌ها در بدنه سفال‌های تاریخی است که یا به‌صورت شن یا ماسه در خاک به‌کاررفته درساخت وجود دارد که می‌توانسته به طور تصادفی یا به عنوان ماده‌ی افزودنی به دلیل خواص حرارتی و دسترسی به آن آسان و بسیار در ساختار سفال‌ها وارد شده باشد (Sterba et al, 2009: 1582-1589). کوارتز طی مراحل پخت در دماهای مختلف به دیگرکوارتزهای تبدیل شده و جسم سخت سفال را به وجود می‌آورد. در نمونه S1، S2و S3 آلفا کوارتز شناسایی شدکه پیک آن در محدوده Θ=26.608550 شناسایی شد. آلفا کوارتز تری گونال ساختار کوارتز در دمای پایین (۵۷۳ درجه) پایدار است و پیک آن در محدوده Θ=26.64° ظاهر می شود (Asif Ali et al,2022: 205,). کوارتزآلفا یا کوارتزکم، نام خاصی از کوارتز معمولی است به این معنا که این پلی مورف پایدارتر سیلیکا در دماهای پایین تر است. در ۵۷۳ درجه آلفا کوارتز به بتا کوارتز تبدیل شده و ساختار تری‌گونال آلفا کوارتز به ساختار هگزاگونال بتا کوارتز تبدیل می‌شود (Le page et al., 1976: 2937-2942). نتایج نمونه‌ها در (جدول ۱) نشان داده شده است. کوارتز، فلدسپات ها و ایلیت از متداول‌ترین اجزاء خاک‌های

ثانویه هستند و به وفور در خاک سفال‌گری یافت می‌شود. از این میان ایلیت تنها کانی رسی است که در دمای پایین دچار تغییر می‌شود. این کانی در دماهای بین ۳۵۰ تا ۶۰۰ درجه سانتی‌گراد آب خود را از دست داده و در ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد ساختارش به کلی از بین می‌رود Manoharan, et .al ,2011: 20-25. از طرفی آنورتیت که جزء کانی‌های ثانویه است در بسیاری موارد به‌ندرت با پیک شاخص شناسایی می‌شود و از جمله فازهای درجه حرارت بالا به‌حساب می‌آید که در دمای بالاتر از حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌شود (Daghmechi et al., 2016: 143-151).

جدول ۱- فازهای مینرالی شناسایی شده در سفالینه‌های طوعلی توسط دستگاه XRD

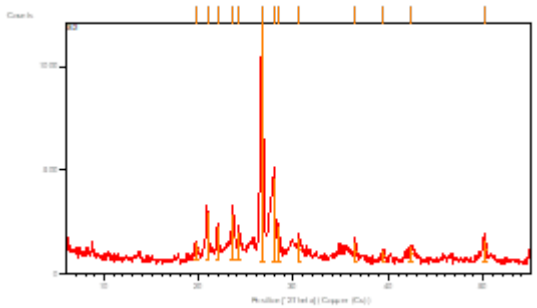
	نام ترکیب	فرمول شیمیایی
S1	Quartz	SiO_2
	Alpha Quatrz	SiO_2
	Wuestite	Fe_1O_1
	Anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
	Ilite	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
S2	Quartz Trydimite	SiO_2(Silicon oxide)
	Alpha Quartz	SiO_2
	Iron oxide (Fe_xO_y) magnetite	(Fe_xO_y)
	Ilite	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
	Anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$
S3	Quartz	SiO_2
	Calcite	Calcium Carbonate ($CaCO_3$)
	Hematite lowe	(Fe_2O_3)
	Anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$
	Ilite	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
N1	Quartz	SiO_2
	Magnetite low	($Fe_3\ O_4$)
	Silicon oxide (alpha quartz)	SiO_2
	Anorthithe	Ca Al2 Si2 O8
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
	Diopside	Pyroxene mineral $MgCaSi_2O_6$
N2	Quartz	Silicon Oxide ($Si\ O_2$)
	Anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
	Ilite	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
	Magnetite lowe	($Fe_3\ O_4$)
	Sillimanite	Aluminum Silicon Oxide ($Al_2\ Si\ O_5$)
N3	Quartz	Silicon Oxide (SiO_2)
	Anorthite	$Ca\ Al_2\ Si_2\ O_8$
	Albite	$Na\ Al\ Si_3\ O_8$
	Ilite	$(K,H_3O)(Al,Mg,Fe)_2(Si,Al)_4O_{10}[(OH)_2,(H_2O)]$
	Iron oxide Hematite	($Fe_2\ O_3$)
	Mullite or Sillimanite	Aluminum Silicate $Al_2\ (Si\ O_4)\ O$

وجود آنورتیت در بدنه می تواند شاهدی از پخت سفال دردمای ۱۰۰۰ درجه سانتی گراد یا بالاتر باشد (Cultrone et al., 2001: 621-634.). بنابراین تا اینجا می‌توان گفت شاید دمای پخت این سفال‌ها بین ۸۵۰ تا ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است.

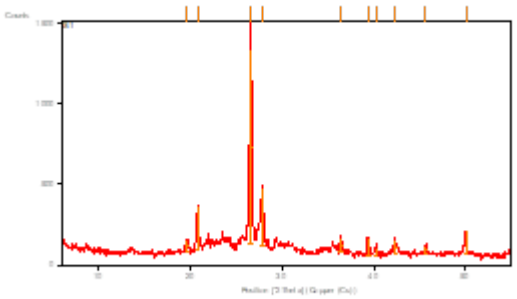
در نمونه S2 و S1 و N1 و N3 و N2 اکسیدآهن های مگنتیت (به میزان کم)، ماگمیت، ووستیت‌شناسایی شدکه از فازهای پایدار در شرایط احیایی است.

زمانی که در کوره کمبود اکسیژن و CO باشد، نتایج متفاوتی بروز می‌کند، هیدروکسیدآهن و اکسیدآهن موجود درخاک و رس اولیه در طی مراحل پخت در دمای بالای ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد با آزاد کردن اکسیژن به مگنتیت (Fe_3O_4) و یا ووستیت (FeO) تبدیل می‌شوند. در این شرایط وستیت به رنگ سیاه دیده می‌شود. همچنین وجود هماتیت نشانگر اتمسفر کوره در شرایط اکسیداسیون است که می‌تواند بر روی رنگ سفال تاثیر بگذارد و طیف رنگ‌های مشکی تا خاکستری را ایجاد کنند. درنمونه S1 (شکل ۱۸)، فازهای کوارتز، آلفاکوارتز، وستیت، آنورتیت، دیوپسید و ایلیت گزارش شد که در متن درباره آن‌ها توضیح داده شده است. در نمونه S2 سیلیکون اکسایدتریدیمیت تشخیص داده شد (شکل ۱۹)، تریدیمیت می‌تواند در هفت فرم بلور رخ دهد دو نمونه از شایع‌ترین آن آلفاتریدیمیت و بتاتریدیمیت در فشار استاندارد شناخته می‌شوند. فاز آلفا تریدیمیت در دمای بالای ۸۷۰ درجه سانتی‌گراد دیده می شود و در دمای ۱۴۷۰ درجه سانتی‌گراد به بتا کریستوبالیت تبدیل می‌شود (kihara et al., 1986: 27-38). در نمونه S3 کلسیت ($CaCO_3$) شناسایی شد (شکل ۲۰) که معمولا در

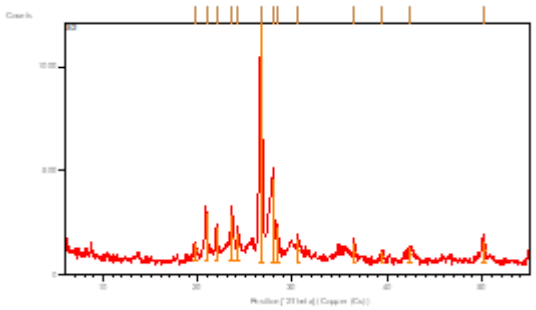
دمای زیر ۸۰۰ درجه پایدار می‌ماند (C. Rathossi, Y. Pontikes, 2010: 1841-1851).



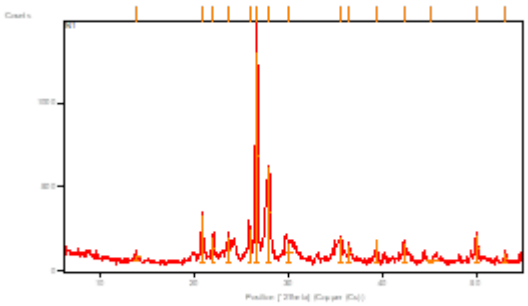
شکل۱۸- نمودار فازهای شناسایی شده در نمونه S1 کوارتز، آلفا کوارتز، ووستیت، آنورتیت، آلبیت، دیوپسید



شکل۱۹- نمودار فازهای شاخص شناسایی شده در نمونه S2 کوارتز(تریدیمیت)، آلفا کوارتز، هماتیت، آنورتیت، آلبیت، دیوپسید

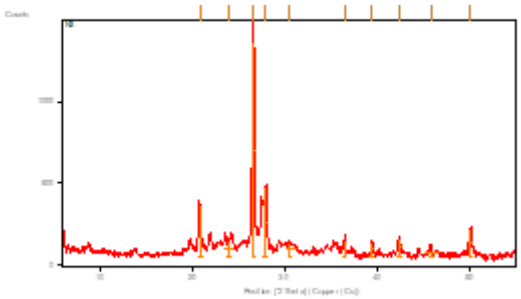


شکل۲۰- نمودار فازهای شناسایی شده در نمونه S3 کوارتز، کلسیت، آنورتیت، آلبیت، دیوپسید

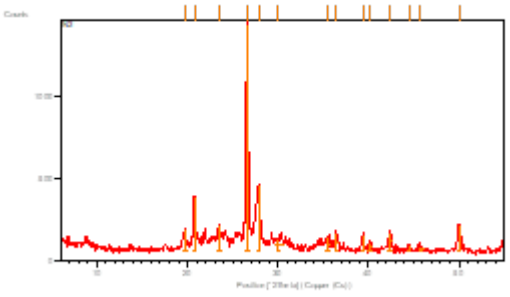


شکل۲۱- نمودار فازهای شناسایی شده در نمونه N1 کوارتز، آلفا کوارتز، مگنتیت، آنورتیت، آلبیت، دیوپسید

البته این درجه بستگی به‌نوع کانی وترکیب شیمیایی نمونه دارد؛ و در این نمونه احتمالا کلسیت ثانویه است. حضوردیوپسید در نمونه N1 نسبت به دیگر نمونه‌ها قابل تامل است، بدنه سفال N1 مقدار جزیی دیوپسید ($CaMgSi_2O_6$) در خود دارد (حضور جزیی دیوپسید در سفال‌های دیگر را نمی‌توان با توجه به الگوی پراش آن‌ها رد یا قبول کرد) که می‌تواند در اثر حرارت ایجاد شده باشد. دیوپسید معمولاً از دمای ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد شروع به تشکیل در بدنه‌های سفالی دارای منیزیم و کلسیم می‌کند و میزان آن در ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد به حداکثر می‌رسد (شکل ۲۱).



شکل ۲۲- نمودار فازهای شناسایی شده در نمونه N4 کوارتز، مگنتیت، سلیمانیت، آنورتیت، آلبیت،



شکل۲۳- نمودار فازهای شناسایی شده در نمونه N4 کوارتز، ماگمیت، سلیمانیت، آنورتیت، آلبیت، دیوپسید

در نمونه N2 و N3 فاز سلیمانیت در محدوده پیک ۴۰/۵۰۱۷۷ =Θ دیده شد. سلیمانیت یک پلی‌مورف آلومینیوم‌سیلیکات با فرمول Al_2SiO_5 است. در جدول ترکیب عناصر XRF میزان آلومینیوم بالای این دونمونه بسیار به هم نزدیک بود (شکل های ۲۲ و ۲۳). نتایج XRD الگوی پراش پیک‌های نمونه‌ها و فازهای کریستالی تشکیل دهنده درسفال‌های طوعلی بسیار شبیه به یکدیگر هستند، هرچند تفاوت‌های کمی هم داشته باشند. فازهای شناسایی شده در این نمونه‌ها بیشتر کوارتز و فلدسپات ها است که بیانگر یکسانی مواد و خاک اولیه و نوع کوره در آن هاست.

فلوئورسانس پرتو ایکس (XRF)

آنالیز به کمک دستگاه فلوئورسانس پرتو X در جدول ۲ نشان داده شده که به جز نمونه S3 نمونه‌های دیگر ترکیبات یکسانی را نشان می‌دهند و گمان می‌رود، خاک اولیه این سفال‌ها مربوط به یک منطقه است. درصد عنصر فسفات در همه نمونه‌ها تقریبا یکسان و فقط در نمونه S3 این مقدار نسبت به نمونه‌های دیگر بیشتر است. این امر می تواند به خاطر درونمایه خاک منطقه، شرایط دفن و اتفاقات بعد از دفن یا ته‌نشست و رسوب ترکیبات موجود دراستخوان بر اثر انتقال رطوبت به داخل بافت سفال باشد.

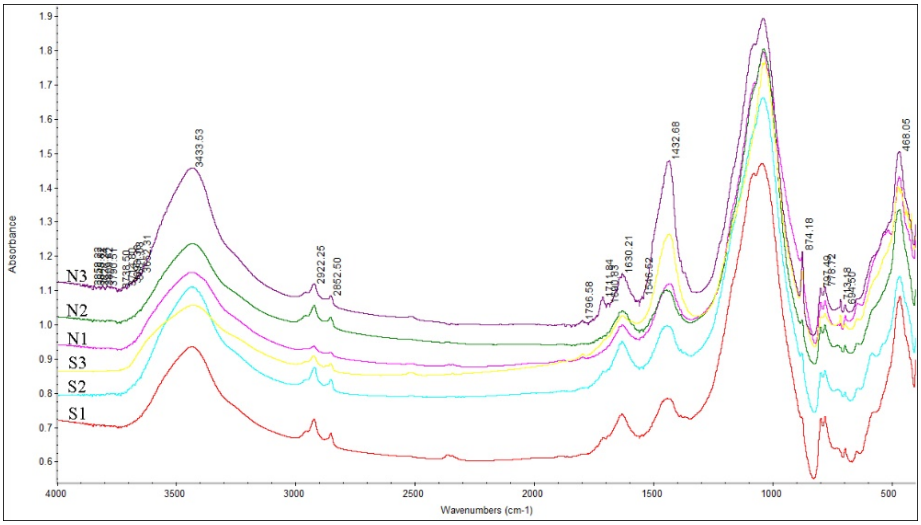
نتایج نشان دهنده میزان بالای سیلیس و اکسیدآلومینیوم است. مقدار زیاد عنصر دی‌اکسید سیلیسیم در سفال می تواند مربوط به محتوای بالای کوارتز و یا فلدسپات آن باشد (Iordanidis et al., 2009: 292-302). عناصر پتاسیم و سدیم در تمام نمونه‌ها وجود دارد، این اکسیدها در اثر تولید نمک در سطح سفال ظاهر می‌شوند. با توجه به اینکه سه نمونه از قطعه سفال‌های یادشده طیف قرمز و سه نمونه دیگر طیف خاکستری دارند، میزان ترکیب عناصر و شرایط کوره در هنگام پخت می‌تواند در رنگ سفال تاثیر بگذارد. رنگ قرمز ایجاد شده می‌تواند در اثر اکسیدآهن در ترکیب سفال باشد (سرداری و همکاران، ۲۰۱۸: ۶۵-۸۰).

جدول ۲ -نتایج آنالیز XRF مربوط به تمام نمونه‌ها (به درصد)

نمونه ها	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Na_2O	MgO	K_2O	TiO_2	MnO	P_2O_5	LOI
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
S1	۶۰/۴۶۳	۱۵/۹۲۳	۹/۳	۲/۴۶۳	۱/۱۷۸	۲/۲۶۷	۲/۶۳۴	۰/۸۵۸	۰/۱۳۷	۰/۱۱۴	۱/۵
S2	۶۱/۶۴۶	۱۶/۹۳۹	۸/۵۸۵	۲/۷۰۶	۱/۱۹۹	۲/۸۳۱	۲/۸۸۸	۰/۸۹۶	۰/۱۱۸	۰/۱۹۹	۱/۵۵
S3	۵۲/۱۹۳	۱۳/۴۷۹	۷/۶۷۲	۸/۲۳۴	۱/۹	۳/۳۳۸	۴/۴۷۹	۰/۷۶۸	۰/۱۰۹	۰/۲۰۱	۹/۳۵
N1	۶۰/۳۳	۱۵/۷۹۳	۶/۳۱۶	۵/۴۹۷	۱/۳۶۱	۲/۴۵۶	۱/۴۵۵	۰/۸۲۲	۰/۱۱۳	۰/۱۴۳	۳/۸۲
N2	۶۳/۹۰۲	۱۶/۵۳۹	۷/۳۹	۲/۰۳۸	۱/۲۷۳	۲/۵۵۷	۲/۷۱۸	۰/۸۸۴	۰/۱۱۴	۰/۱۳۱	۱/۳۱
N3	۶۲/۹۸۱	۱۶/۵۹۳	۹/۱۶۲	۲/۰۳۳	۱/۴۸	۲/۳۷۷	۲/۸۶۱	۰/۸۸۳	۰/۱۲۹	۰/۱۲۲	۱/۱۴

طیف سنج مادون قرمز تبدیل فوریه ((FTIR

درتمام نمونه‌ها باند جذبی ۳۰-۳۱-۱۶۲۹ دیده شد که مرتبط با O-H-O کششی مولکول آب است. باندهای محدوده ۶۹۴ تا ۷-۷۹۵ که در تمام نمونه‌ها دیده می‌شود مربوط به کوارتز است. در نمونه N2 باند جذب ۵۷۹ می‌تواند یکی ازاکسیدهای آهن باشد. باندهای جذب ۵۸۰ و ۵۴۰ می‌تواند به علت حضور مگنتیت یا هماتیت در نمونه باشد (Palanivel and Rajesh kumar, 2011: 56-62) و احتمالا باند جذب شده در ۲۵۱۵ cm^{1} در نمونه S3 مربوط به کلسیت است.



شکل ۲۴- نمودار مقایسه‌ای پیک‌های FTIRاز نمونه‌ها

این پیک در سایر نمونه‌ها هم دیده می‌شود، ولی در نمونه S2 و N3 به وضوح مشهود است. باند جذب شده در ۱۷۶۹/۸۰ در نمونه N1 و باند ۱۷۹۷ در نمونه S3 نیز می‌تواند مربوط به حضور کلسیت باشد. در نمونه S2 باند جذب ۱۵۷۹/۷۹ cm-1 مربوط به مگنتیت است، البته این باند در نمونه‌های دیگر ضعیف تر ظاهر شده و می‌توان گفت نمونه در شرایط احیایی بوده است. همان‌طور که در (شکل ۲۴) مشاهده شد پیک‌های FTIR تمام نمونه‌ها تقریبا از یک الگو رفتاری پیروی می‌کنند. پیک‌های کلسیت، آنورتیت و آلبیت وکوارتز شاخص‌ترین پیک‌های شناسایی شده در نمونه‌ها بودند.

آنالیزحرارتی افتراقی(DTA)

با توجه به آنالیز حرارتی بر روی این ۶ نمونه نتایج تقریبا یکسانی به دست آمد که دو رفتار یا دو گروه حرارتی سرامیک آنالیز حرارتی را با توجه به بود یا نبود پیک اندوترمیک (واکنش گرماگیر) و اگزوترمیک (واکنش گرمازا) در نمونه‌ها شناسایی کرد. به‌ویژه در سه نمونه S1، S2 و N3 وجود این پیک‌ها دقیق‌تر است، باند شناسایی شده در محدوده cm-1۶۴۶ در نمونه N2 و S1 که به خوبی نمایان است، اما در نمونه‌ها امکان ارایه تحلیل قطعی میسر نشد.

این باند می‌تواند مرتبط با کشش آلومینیومی فلدسپات باشد (Sathya andVelraj, 2011: 4-6). در نمونه N2 یک پیک اندوترمیک در محدوده ۶۳۹ و ۳۲ درجه سانتی‌گراد وجود دارد، (نمودار ۸) که شاید مربوط سوختن ماده آلی باشد؛ تغییرات حجمی از ۵۹۹/۴۹ درجه اتفاق افتاده است. واکنش اندوترمیک در دمای ۶۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌تواند مربوط به تجزیه کلسیت باشد (Ntah et al, 2017: 413-422). پیک در نمونه‌های S1 و S3 اختلاف کمی دارند که شاید ناشی از تجزیه کلسیت باشد.

در نمودار DTA نمونه S1 یک پیک اگزوترمیک در محدوده ۲۹۷/۲۲ وجود دارد (شکل ۲۶) که شاید مربوط به تبخیر آب شیمیایی است و یک پیک اندوترمیک در محدوده ۶۶۱/۰۴ که می تواند مربوط به شروع تجزیه کلسیت باشد. تغییر حجم این نمونه در محدوده ۶۲۸/۸۰ درجه سانتی‌گراد است. قبل از ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد خشک شدن بدنه متوقف و میزان تغییر جرم آن تا درجه سانتی‌گراد ناچیز است، بعد از آن دی هیدروکسیلینگ و تجزیه کربنات‌ها اتفاق می‌افتد که تمام این واکنش‌ها در ۷۵۰ درجه سانتی‌گراد پایان می‌یابد. در نمونه S3 نیز دو پیک اندوترمیک در محدوده ۲۵۹/۴۶ درجه سانتی‌گراد و دیگری در

محدوده ۶۶۵/۸۱ درجه سانتی‌گراد دیده می شود (شکل ۲۷). اوج انـدوترمیک کـه از ۵۵۰ تـا ۶۵۰ درجـه سـانتی‌گـراد ظـاهر می‌شود، به علت تجزیه کائولینت و دی هیدروکسیلینگ آن است (Mackenzie and Cardile, 1990: 2937-2942).

بحث و نتیجه گیری

در این پژوهش ۶ قطعه سفال از کورگان شماره ۱۳ با رنگ‌های قرمز و خاکستری جهت شناسایی دقیق فنی انتخاب شد. بدنه‌های خاکستری با کد S1,S2,S3 و بدنه‌های قرمز با کدهای N1,N2 و N3 کدگذاری شد. بدنه‌های سفالی گروه N و S همگی از نوع بدنه‌های رسی با میزان کلسیم پایین هستند. به طورکلی الگوی پراش همه نمونه‌ها حضور عمده کوارتز، فلدسپات‌های ایلیت، آنورتیت و آلبیت و مقدار جزئی از هماتیت را نشان داد. حضور مسکوویت (ایلیت) بدون آب در ترکیب سفال‌های یاد شده، شاید نشان از دمای پخت تا حداکثر ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد. معمولا پس از تجزیه ایلیت و از دمای ۸۵۰ درجه به بعد آهن از شبکه بلوری ایلیت خارج می‌شود و در اثر محیط اکسیداسیون به هماتیت قرمزرنگ تبدیل می‌شود. حضور فلدسپات ها در این بدنه‌ها شاید از ابتدا در خاک بدنه سفال وجود داشته و در اثر حرارت در سفال ایجاد نشده‌اند. در ضمن باید اشاره شود که حضور دیوپسید نیز در نمونه‌ها به ویژه نمونه N1 می‌تواند بیان‌گر بالا نرفتن حرارت از ۹۵۰ درجه سانتی‌گراد باشد. در باره نمونه‌های سری S (خاکستری) می‌توان گفت که اتمسفر احیاء در بدنه‌های رسی با میزان کم کلسیم معمولا در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد فاز شیشه‌ای ایجاد کرده و با تشکیل فاز هرسینیت سیاه شدن بدنه سفال را موجب می‌شود. نتیجه آنالیز XRF حضور مقداری کلسیت و نبود گلنیت و همچنین میزان قابل توجه کلر و مقادیر منیزیم (Mg(و سدیم (Na) درنمونه S3 است، که باید برای آن منشاء ثانویه برای حضورکلسیت در نظر گرفت، به عبارت دیگر کلسیت از ابتدا و قبل از پخت در ترکیب خاک سفال وجود نداشته و شاید از محیط وارد بافت سفال شده است. نتایج نمودارهای DTA نمونه‌ها واکنش‌های گرماگیر ۸۵۰-۹۰۰ درجه سانتی‌گراد از خود نشان می‌دهند که می‌تواند به ترتیب به تجزیه کلسیت و ایلیت نسبت داده شود. درآنالیز FTIR وجودگسترده کوارتز در تمامی نمونه‌ها دیده شد. همین‌طور در آنالیزهای XRD و XRF کلسیت، شناسایی شد. تصاویر SEM هم در تایید داده‌های XRD و DTA نشان می‌دهند که میزان فاز شیشه‌ای شدن در نمونه‌ها نسبتا کم است. آسیب‌های وارده بر بدنه‌های سفالی بیشتر شامل ترک‌ها و شوره‌ها است که ترک‌ها بیشتر به خاطر تکنیک ساخت و حرارت و همچنین به خاطر تنشی که بعد از حفاری به خاطر تغییر محیط به وجود می‌آید. شرایط کوره در هنگام پخت، کمبود اکسیژن و سوختن ماده حرارتی به صورت ناقص باعث پخت ناکامل بدنه‌های سفالی به ویژه در مغز سفال شده و بیماری هسته سیاه را به وجود آورده و پخت ناقص سفال‌ها موجب تخلل زیاد، ترک و انتقال نمک‌های موجود در محیط دفن به بدنه سفال‌ها شده است.

منابع

۱.ایروانی قدیم، فرشید، ممی زاده گیگلو، سلیمان. ۱۳۹۱. «گونه‌شناسی و معرفی سفال‌های عصر آهن کورگان‌های جعفرآباد خداآفرین (فصل اوّل کاوش) »، *مطالعات باستان شناسی*، ۴ (۲) , ۳۳-۵۰

۲.ایروانی قدیم. فرشید. ۱۳۹۲. گزارش کاوش فصل دوم جعفرآباد و طوعلی سفلی. سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری استان آذربایجان شرقی.

۳. تاج بخش، رویا همتی، ازندریانی، اسماعیل، سبزی، موسی. (۱۳۹۹). مطالعه ترکیبات و عناصر سفال منقوش دوره سلوکی/ اوایل اشکانی منطقه غرب ایران با استفاده از روش XRF و XRD با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز مطالعات باستان شناسی پارسه سال چهارم زمستان ۱۳۹۹ شماره ۱۴ ۶۵-۸۳.

۴.حاجی نوروزی، فاطمه، حیدریان، محمود، و خسروزاده، علیرضا. ۱۴۰۰. مطالعه سفال دوره مس سنگ میانه چهارمحال و بختیاری با استفاده از آنالیز پتروگرافی و ICP-OES. *مطالعات باستان شناسی (دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران)*، ۱۳(۲)پیاپی ۲۶، ۱۷۵-۱۹۸.

۵.خاموشی، لیلا. ۱۳۹۹. مطالعات آزمایشگاهی بر روی کوزه های موسوم به فقاع در موزه ملی ایران. دوفصلنامه *موزه ملی ایران*- ۱(۱) ۱۹۳-۲۱۰.

۶.خانزادی، محمدجواد، نوغانی، سمیه، شریفی نیا، اکبر و بهادری، رویا. ۱۴۰۰. مطالعه ساختار نمونه سفال‌های به دست آمده از محوطه تاریخی سیروان براساس نتایج آنالیزهای XRF و .XRD *پژوهش های باستان شناسی ایران، ۱۱(۳۱)*،۱۲۶-۱۰۳.
۷.سرداری، طاهری، بهشتی، سید ایرج. ۲۰۱۸. «آنالیز پتروگرافی و XRF سفال‌های دوره ی باکونِ تل مش کریم شهرستان سمیرم»، *پژوهش‌های باستان شناسی ایران، ۷*(۱۵) , ۶۵-۸۰.
۸.عودباشی، امید، ناصری، رضا، اگارتنر، ایزابل، آریتزی، آنا، و کولترونه، جوزپه. ۱۳۹۸. مطالعات باستان سنجی سفال های مکشوف از محوطه ی باستانی دِه دومن (جنوب غرب ایران) , نتایج مقدماتی. *پژوهش های باستان شناسی ایران (نامه باستان شناسی)*، ۹(۲۲)، ۲۷-۴۶.
9.Asif Ali,Yi Wai Chiang., and Rafael M, Santos. 2022. X-ray Diffraction Techniques for Mineral Characterization: A Review for Engineers of the Fundamentals, Applications, and Research reactions. *Minerals* 12(2) : 5; https://doi.org/10.3390/min12020205.
10.Cultrone, G., Rodriguez-Navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O., and De La Torre, M. J .,2001, Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy* 13(3) : 621-634.
11.Eftekhari , N .,Holakooei ,P ., Marrocchino, E., Vaccaro, C. To be or not to be local: a provenance study of archaeological ceramics from Shahr-i Sokhta, eastern Iran *Archaeological and Anthropological Sciences* (2021) 13: 68.
12.Emami, S. M. A., Volkmar, J., and Reinhard Trettin., 2008, Quantitative characterization 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* 24(2) : 129-137.
13.Iordanidis, A., Garcia-Guinea, J., and Karamitrou-Mentessidi, G., 2009, Analytical study of ancient pottery from the archaeological site of Aiani, northern Greece. *Materials characterization* 60(4) : 292-302.
14.Iravani Ghadim. F. , 2011, Jafar Abad VIII. Kurgan Kazıları, Kuzeybatı İran. Karadeniz'den Fırat'a Bilgi Üretimi. Önder Bilgi'ye Armağan Yazıları (Eds. A. Öztan/Ş Dönmez). İstanbul. 191-216.
Iravani Ghadim. F., 2014, Jafar Abad Kurgan No IV, SCRIPTA: Essays in Honour of Veli Sevin, A Life Immersed in Archaeology. Editör Aynur Özfırat, Ege Yayınları, stanbul .87-106.
Iravani Ghadim. F., 2018, The role of domestic animals in the life of Eurasian nomadic warrior groups in light of recent archaeological evidence. TÜBA-AR. 22.
15.Iravani Ghadim, F., and Beikzadeh., 2018, Animal remains excavated at Jafar Abad and Tu Ali Sofla kurgans. North weast of Iran Tuba-Ar 23. 101-120.
16.Kihara, K., Matsumoto, T., and Moritaka Imamura., 1986, Structural change of orthorhombic-I tridymite with temperature: A study based on second-order thermal-vibrational parameters.*Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials*177(1-4) : 27-38.
17.Krapukaitytė, A., Tautkus, S., Kareiva, A., and Elena Zalieckienė., 2008, Thermal analysis a powerful tool for the characterization of pottery.Chemija19(2) : 4-8.
18.Le Page, Y. V. O. N., and Donnay Gabrielle., 1976, Refinement of the crystal structure of low-quartz.*Acta Crystallographica Section B*, 32(8) , 2456-2459.
19.Mackenzie,K.J.D., and Cardile, C.,1990, A57Fe MÖssbauer study of black coring phenomena in clay-based ceramic materials. *Journal of Materials Science* 25(6) :2937-2942.
20.Maniatis, Y., Simopoulos, A., Kostikas, A., and Vasilios Perdikatsis., 1983, Effect of reducing atmosphere on minerals and iron oxides developed in fired clays: the role of Ca. *Journal of the American Ceramic Society*. 66(11) : 773-781.
21.Manoharan, C., Sutharsan, P., Dhanapandian, S., Venkatachalapathy, R., and Asanulla, R. M., 2011, Analysis of temperature effect on ceramic brick production from alluvial deposits, Tamilnadu, India. *Applied clay science* 54(1) : 20-25.
22.Ntah, Z. L., Sobott, R., Fabbri, B., and Bente, Klaus., 2017, Characterization of some archaeological ceramics and clay samples from Zamala-Far-northern part of Cameroon (West Central Africa). *Cerâmica* 63(367) : 413-422.
23.Palanivel, R., and Rajesh Kumar, U., 2011, The mineralogical and fabric analysis of ancient pottery artifacts.*Cerâmica*57(341) : 56-62.

24.Pourzarghan, V., Sarhaddi-Dadian, H., & Ramli, Z. (2017). morphology of ancient potteries using x-ray diffraction analysis and x-ray fluorescence in sistan plain, eastern iran. Mediterranean Archaeology & Archaeometry, 17(2)., 175-186

25.Rathossi, C., and Pontikes, Y., 2010, Effect of firing temperature and atmosphere on ceramics made of NW Peloponnese clay sediments. Part I: Reaction paths, crystalline phases, microstructure and colour.*Journal of the European Ceramic Society* 30(9) : 1841-1851.

26.Sathya, P., and Velraj, G., 2011, FTIR spectroscopic and X-ray diffraction analysis of archaeological grey potteries excavated in Alaga*nkulam*, Tamil nadu, India.*Journal of Experimental Sciences* 2(5) :4-6.

Spataro O Piraino A ., 2011, *La specialità della Regione siciliana a dieci anni dalla riforma del Titolo* v. le regioni, 5: 907-936, ISSN: 0391-7576 .

27.Sterba, J. H., Mommsen, H., Steinhauser, G., and Bichler, M., 2009, The influence of different tempers on the composition of pottery. *Journal of Archaeological Science* 36(7) : 1582-1589.

28.Stuart, B., 2007, *Analytical techniques in materials Conservations*.Ltd. England, John Cviley an Sons.