

## مطالعه ساختار نمونه سفال‌های به‌دست آمده از محوطه تاریخی سیروان براساس نتایج آنالیزهای XRD و XRF

محمد جواد خانزادی<sup>I</sup>، سمیه نوغانی<sup>II</sup>،  
اکبر شریفی‌نیا<sup>III</sup>، رویا بهادری<sup>IV</sup>

شناسه دیجیتال (DOI): 10.22084/NB.2021.23256.2261  
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۹/۲۵، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۴/۰۸  
نوع مقاله: پژوهشی؛ صص: ۱۲۶-۱۰۳

### چکیده

محوطه تاریخی سیروان در استان ایلام، با استناد به منابع تاریخی و مطالعات اولیه کارشناسان، مربوط به دوره ساسانی و قرون نخستین اسلامی است. متأسفانه باوجود اهمیت باستان‌شناختی سیروان، در این منطقه فعالیت‌های گسترده باستان‌شناسی و مطالعات باستان‌سنجی اشیاء به‌دست آمده، انجام نشده است. به‌منظور بررسی سیستماتیک نمونه‌های حاصل گمانه‌زنی اولیه جهت انجام مطالعات زمین باستان‌شناسی محوطه، در این پژوهش ۱۴ نمونه از یافته‌های سفالی به‌دست آمده از این محوطه، مورد بررسی و آزمایش قرار گرفتند. با توجه به این پرسش که ویژگی‌های ژئوشیمیایی، شباهت‌ها و تفاوت‌های ساختاری نمونه‌های مورد مطالعه چیست و با هدف شناسایی عناصر و فازهای تشکیل‌دهنده این نمونه‌ها، تخمین دمای پخت و هم‌چنین ترسیم الگویی جهت طبقه‌بندی آن‌ها، آنالیزهای طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) و پراش اشعه ایکس (XRD) انجام شد. میزان انحراف معیار مقادیر اکسیدهای اصلی سیلیسیم، آلومینیوم، آهن، کلسیم و منیزیم در این ۱۴ نمونه به ترتیب ۱۱/۵۲۷، ۳/۲۹۰، ۲/۷۰۵، ۵/۸۸۷، و ۲/۰۸۷ محاسبه شد. پراکندگی بالای مقادیر این عناصر به‌ویژه در سیلیسیم و کلسیم، نشان‌دهنده تنوع در منابع و فرآوری مواد اولیه است و حاکی از آن است که این نمونه‌ها متعلق به کارگاه‌های متفاوت سفالگری، مناطق و یا دوره‌های تاریخی متفاوت هستند؛ هم‌چنین به‌طور کلی الگویی برای طبقه‌بندی این نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود، مگر در دو نمونه شماره‌های S8 و S9 که از نظر ترکیب شیمیایی و فازهای مینرالی، شباهت بسیاری دارند. سه نمونه S12، S13 و S14 نیز به‌طور کامل مشخصات شیمیایی متفاوتی دارند و احتمال می‌رود محصولات وارداتی باشند. در نمونه‌های با درصد کلسیم اکسید بالا (بیشتر از ۶٪ وزنی) به نظر می‌رسد از ترکیبات آهک‌دار موجود در منطقه به‌عنوان ماده پُرکننده استفاده شده است. با توجه به عدم شناسایی کانی‌های رُسی و حضور فازهای کلسیت (احتمالاً باقی‌مانده از مواد اولیه)، دیوپسید و گلنیت (محصولات فرآیند پخت)، دمای پخت نمونه‌ها نیز در حدود ۸۵۰ تا ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود.

**کلیدواژگان:** ایلام، محوطه تاریخی سیروان، سفال، ساختارشناسی، آنالیزهای XRD و XRF.

## مقدمه

فراوانی سفال و قابلیت آن در توصیف و تفسیر فرهنگ و تمدن‌های گذشته (خلیل‌زاده‌احمدی، ۱۳۹۶: ۴)، آن را به منبع قابل توجهی برای به دست آوردن اطلاعاتی در رابطه با بازسازی رفتار انسان در مطالعات باستان‌شناسی تبدیل کرده است (Feinman & Skibo, 1999; Shrotriya, 2007). یکی از جنبه‌های مطالعه سفال‌های حاصل از کاوش‌های باستان‌شناسی، مطالعه ویژگی‌های سفال در بافت باستان‌شناختی آن، یعنی توجه به جنبه‌هایی از شیوه تولید، فناوری ساخت، نحوه بهره‌برداری و کارکرد آن است (Sinopoli, 1991: p. 70). امروزه با گسترش علم باستان‌شناسی، کارشناسان این حوزه از مرحله توصیف ساده و ظاهری مواد تاریخی-فرهنگی [به ویژه سفالینه‌ها] عبور کرده و توجه به علوم میان‌رشته‌ای و مطالعات آزمایشگاهی نیز اهمیت بسیاری یافته است. پژوهشگران دریافته‌اند که آنالیزهای شیمیایی سفالینه‌ها به عنوان مهم‌ترین و فراوان‌ترین مواد تاریخی، نقش بسیار مهمی در استخراج اطلاعات اجتماعی و فرهنگی جوامع باستانی دارند (Eslami et al., 2020). سفال‌ها با رویکردهای گوناگونی هم‌چون بررسی ویژگی‌های ماکروسکوپی (شکل، رنگ، نقوش تزئینی و...) و مطالعه ویژگی‌های میکروسکوپی، از جمله کانی‌شناسی، و ترکیب شیمیایی و ریزساختاری، تجزیه و تحلیل می‌شوند. اطلاعات به دست آمده از بررسی ترکیب مینرالی و شیمیایی سفال‌ها، می‌تواند به شناخت منشأ و تکنولوژی تولید آن‌ها بیانجامد (امامی و نوغانی، ۱۳۹۲).

محوطه تاریخی سیروان در استان ایلام، از جمله مناطقی است که براساس شواهد باستان‌شناختی و اشارات متون و منابع تاریخی، شهری متعلق به دوران ساسانی و قرون نخستین اسلامی است. در منابعی چون: آثار البلاد و اخبار العباد «قزوینی»، احسن التقالیم فی معرفة الاقالیم «مقدسی»، تاریخ طبری، تاریخ ابن اثیر، معجم البلدان «یاقوت حموی»، فتوح البلدان «بلذری»، التنبیه الاشراف «مسعودی» و... به ولایات «ماسبدان» و «مهرجانقدق» و حاکم‌نشینان آن‌ها، یعنی «سیروان» و «صیمره (سیمره)» اشاره شده است (علی بیگی، ۱۳۹۱). این ناحیه، با استناد به نوشته‌های مورخین و جغرافیایانویسان، سیروان (سیزوان) محل یا مرکز استان «ماسپتان» به زبان عربی یا ماسبدان (ماه سبدان) به زبان فارسی بوده است (مارکوارت، ۱۳۷۳: ۴۸؛ بلذری، ۱۴۲۱: ۳۰۰). به نقل از: همین منابع، رونق و آبادانی این شهر، مربوط به اواخر دوران ساسانی و قرون نخستین اسلامی است (یعقوبی، ۱۸۹۲: ۲۷۰؛ ابن فقیه‌همدانی، ۱۸۸۵: ۲۱۱).

متأسفانه با وجود اهمیت باستان‌شناختی سیروان، در این منطقه فعالیت‌های گسترده باستان‌شناسی و مطالعات باستان‌سنجی اشیاء به دست آمده، صورت نگرفته است.

در این پژوهش، ۱۴ نمونه سفال به دست آمده از فعالیت‌های باستان‌شناسی، شامل گمانه‌زنی به منظور مطالعات زمین‌باستان‌شناسی این محوطه تاریخی، با هدف بررسی احتمال طبقه‌بندی سیستماتیک نمونه‌های به دست آمده از نظر ژئوشیمیایی، شناسایی عناصر و ترکیبات به کار رفته در آن‌ها و نیز تخمین دمای

پخت نمونه‌ها، مورد آزمایش پراش اشعه ایکس (XRD) و طیف‌سنجی فلورسانس پرتو ایکس (XRF) قرار گرفتند. این مرحله، در واقع مطالعه آزمایشی جهت ارزیابی نمونه‌های منطقه و پیش‌زمینه‌ای برای مطالعات سیستماتیک آتی در این محوطه بوده است.

**پرسش‌های پژوهش:** به‌منظور تعیین ویژگی‌های ژئوشیمیایی یافته‌های سفالین در محوطه سیروان و امکان بررسی تفاوت‌ها و شباهت‌های آن‌ها از منظر باستان‌شناختی و با استفاده از بررسی‌های آزمایشگاهی، پرسش‌های زیر مطرح می‌شود؛ فازهای اصلی تشکیل‌دهنده ساختار نمونه سفال‌های مورد مطالعه چیست؟ با توجه به شناسایی مواد اولیه، طبقه‌بندی این نمونه‌ها بر چه اساسی خواهد بود؟ با توجه به شناسایی فازهای موجود در ساختار، دمای پخت نمونه‌ها در چه محدوده‌ای تخمین زده می‌شود؟

**روش پژوهش:** این پژوهش با رویکرد تجربی و بر مبنای استفاده از روش‌های آنالیز دستگاهی و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل، انجام شده است.

جهت ساختارشناسی نمونه‌های مورد نظر، از روش‌های آنالیز فلورسانس اشعه ایکس (X-ray Fluorescence Spectroscopy: XRF) (دستگاه مدل Magix-pro ساخت کمپانی Philips هند و نرم‌افزار نیمه‌کمی IQ+) برای آنالیز عنصری و شناسایی ترکیب شیمیایی، و پراش پرتو ایکس (X-ray Diffraction: XRD) برای تعیین فازهای اولیه و ثانویه استفاده شده است. دستگاه XRD مورد استفاده در این پژوهش، دستگاه BRUKER ساخت آلمان مدل D4 و نرم‌افزار DIFFRAC Plus بوده است. استاندارد مرجع آزمون BS EN 13925-1: 2003 و نمونه‌های مورد مطالعه پیش از آزمایش، به صورت پودر ۷۵ میکرون تهیه و پس از تبدیل شدن به قرص فشرده، آزمایش شدند. برای اندازه‌گیری از لامپ مس با شدت جریان ۳۰ mA و ولتاژ 40 kV استفاده شده و هر نمونه از زاویه ۴-۸۰ درجه، در فواصل ۰/۲ درجه با زمان توقف ۵/۵ ثانیه در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و رطوبت نسبی ۳۰٪ پیمایش شده است. آنالیزها در آزمایشگاه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور انجام شده است.

### پیشینه پژوهش

در رابطه با آثار منتشر شده از کاوش‌های باستان‌شناسی در مناطق نزدیک به محوطه تاریخی سیروان، می‌توان به منابعی چون: بنای ساسانی رونه بر کرانه‌های سیمره (نیاکان، ۱۳۹۸)، کتاب باستان‌شناسی و تاریخ دره‌شهر (سیمره) (شریفی‌نیا و شاکرمی، ۱۳۹۷)، کتاب پژوهش‌های باستان‌شناسی حوضه آبگیر سد سیمره (نیاکان، ۱۳۹۴) و کاوش باستان‌شناسی در محوطه برزقاواله، حوضه سد سیمره (هورشید و موسوی حاجی، ۱۳۹۴)، اشاره کرد.

فعالیت‌های باستان‌شناختی بسیار محدودی در رابطه با محوطه تاریخی سیروان در قالب فعالیت‌های بررسی و شناسایی و گمانه‌زنی به‌منظور تعیین عرصه و حریم آن صورت گرفته است. در بررسی و شناسایی سال ۱۳۸۰ ه.ش.، محوطه

تاریخی سیروان به عنوان شهری از دوران ساسانی-اسلامی شناسایی شد و با شماره ۴۱۶۵ در فهرست آثار ملی ایران به ثبت رسید (پازودکی طرودی و شادمهر، ۱۳۸۴). در سال های اخیر، گمانه زنی به منظور پاکسازی عناصر غیرمرتبط معماری محوطه تاریخی سیروان (خانزادی، ۱۳۹۷)، گمانه زنی به منظور مطالعات زمین باستان شناسی محوطه تاریخی سیروان (خانزادی، ۱۳۹۸)، و بررسی سیستماتیک باستان شناسی محوطه تاریخی سیروان (احمدی، ۱۳۹۹)، در این منطقه انجام شده است. از دیگر پژوهش های مرتبط با این شهر باستانی می توان به مواردی چون: «بررسی باستان شناختی شهرهای صدر اسلام در استان ایلام» (یوسفوند، ۱۳۸۹)، «بررسی تحولات باستان شناختی شهر سیروان در دوران تاریخی» (محمودیان، ۱۳۹۸)، و «جغرافیای تاریخی شهر سیروان (شیروان) در دوره ساسانی و اوایل اسلام» (نوراللهی، ۱۳۹۱) اشاره کرد. اما به طور مشخص مطالعات باستان سنجی و بررسی تکنولوژی تولید در رابطه با آثار و اشیاء به دست آمده از محوطه های باستانی این منطقه، انجام نشده است.

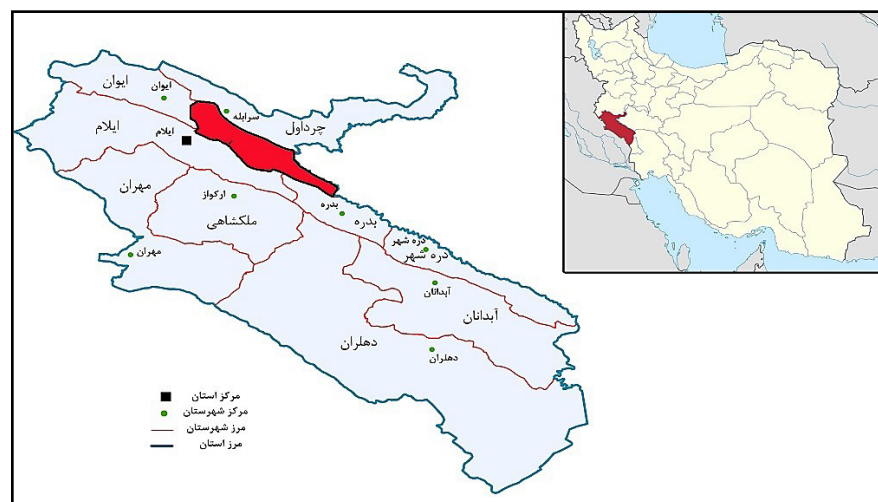
به طور کلی ساختارشناسی سفالینه ها بخش قابل توجهی از مطالعات باستان سنجی آثار تاریخی را شامل می شود. در زمینه سفالینه های تاریخی ایران، پژوهشگران بسیاری فعالیت نموده و نتایج حاصل را منتشر کرده اند که در ادامه به بخشی از آن ها اشاره شده است (لازم به ذکر است در اینجا تنها به تعدادی از مقالات مرتبط با سفال های بدون لعاب پرداخته شده است):

جهت بررسی تنوع ژئوشیمیایی نمونه های به دست آمده از محوطه باستانی تل کمین، مطالعات آماری بر روی ۱۶۸ نمونه با روش XRF پرتابل انجام شده و نتایج حاکی از تنوع در ترکیب شیمیایی و در نتیجه تنوع مواد اولیه مورد استفاده در تهیه سفالینه ها در دوره های تاریخی مختلف (از پیش از تاریخ، مس و سنگ و دوره ایلام جدید در حوضه رود گر بوده است (Eslami et al., 2020). به منظور گروه بندی نمونه های به دست آمده از محوطه سه چای تپه زنگان، از آنالیز XRF استفاده شده و نتایج بیانگر تمایز در تولیدات مختلف سفالگری در این منطقه بوده است (Rahimi Sorkhani & Eslami, 2018). نتایج آنالیزهای XRF، XRD و SEM-EDX نمونه سفال های پیش از تاریخی تپه اسماعیل آباد در فلات مرکزی ایران، با توجه به شباهت نسبی ترکیب، ریزساختارهای همگن و وجود فازهایی با درجه حرارت بالا، نشان داد که تکامل تدریجی در تولید سفال نوع سیلک I به سیلک II وجود دارد که در نهایت به تولید سفال قرمز منجر شده است (Marghussian et al., 2017). تنوع ترکیب عنصری نمونه های به دست آمده از دوره آغاز ایلامی (۳۴۰۰-۲۹۰۰ پ. م.) بیانگر آن بوده که فن آوری ها و سبک های سفالگری از طریق سفالگران مهاجر و یا به تعبیری دوره گرد در مناطق مختلف این حوزه، گسترش یافته است (Alden & Minc, 2016). با مطالعه ۲۶ نمونه سفال متعلق به عصر نوسنگی تا اواخر عصر مفرغ از حوضه رود گر، با استفاده از آنالیز XRF پرتابل، پنج گروه متفاوت از نظر ترکیب مواد اولیه و فرآیند تولید شناسایی شد (Pincé et al., 2016). آنالیز اشیاء سفالی مکشوف از محوطه گورستان عصر مفرغ ده دومن (هزاره سوم پیش از میلاد)

واقع در جنوب غرب ایران نشان داد که این نمونه‌ها در دو دسته آهکی یا پرکلسیم و غیرآهکی یا کم‌کلسیم طبقه‌بندی شده و احتمالاً بخش بزرگی از سفال‌های محوطه ده‌دومن به صورت محلی و با فناوری نسبتاً ساده و ابتدایی ساخته شده‌اند که موجب ایجاد ساختار ساندویچ‌مانند و حضور آخال‌های کوچک یا بزرگ کلسیتی و رُسی در آن‌ها شده است (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۸). ساختارشناسی سفال‌های خاکستری، قرمز و نخودی متعلق به کهن‌شهر آذربایجان غربی، با استفاده از پتروگرافی و آنالیز XRD، نشان داد که این نمونه‌ها تا دمای حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد حرارت دیده و از لحاظ شیوه و فرآیند پخت با یکدیگر متفاوت هستند (افشاری نژاد و همکاران، ۱۳۹۶). نتایج مطالعه ساختاری سفال‌های منطقه هورامان استان کردستان (محوطه‌های سرچم، برده‌مار و کناچه)، و مقایسه آن‌ها با خاک منطقه با استفاده از آنالیزهای XRD و XRF، حاکی از آن است که با وجود تنوع زمانی نمونه‌ها و تعلق آن‌ها به دوره‌های مختلف، تولید این سفال‌ها با استفاده از ترکیب خاک محلی صورت گرفته است (ساعدموچشی و همکاران، ۱۳۹۸). علاوه بر این، مطالعه ساختار سفال جلینگی متعلق به دوره اشکانی در منطقه همدان (Noghani & Emami, 2014; نوغانی و امامی، ۱۳۹۰؛ محمدی‌فرو و عرب، ۱۳۹۲؛ شهیدی‌همدانی و همکاران، ۱۳۹۷)، هم‌چنین بررسی فن‌آوری سفالگری هزاره پنجم پیش از میلاد در شمال مرکزی ایران (طلایی و همکاران، ۱۳۸۸)، از جمله پژوهش‌هایی است که در خصوص کاربرد روش‌های آنالیز دستگاهی به‌ویژه دو روش XRD و XRF در زمینه ساختارشناسی سفالینه‌ها منتشر شده است.

### موقعیت جغرافیایی شهر تاریخی سیروان

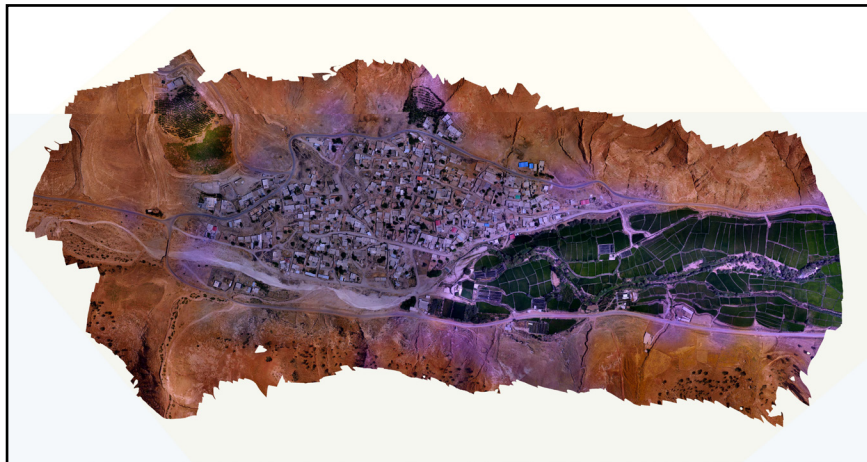
شهرستان سیروان واقع در استان ایلام، از نظر موقعیت جغرافیایی بین طول جغرافیایی ۴۷ درجه و ۳ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۱۵ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۲ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۲۳ دقیقه شمالی قرار دارد (تصویر ۱). مساحت این شهرستان به‌طور تقریبی ۶۷۶۹۴ هکتار است (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۶).



تصویر ۱. موقعیت جغرافیایی شهرستان سیروان (نگارندگان، ۱۳۹۹).



شهرستان سیروان، در واقع یک دشت میان‌کوهی به طول حدود ۶۵ کیلومتر و عرض حدود ۵ کیلومتر است که از طرف شمال با کوه چرمی، و از سمت جنوب و غرب به وسیله کوه‌های سیوان، قلازنگ و بانکول احاطه شده است. مرکز این شهرستان شهر لومار است و با مرکز استان ایلام ۶۱ کیلومتر فاصله دارد (مرادی، ۱۳۹۸). متأسفانه امروزه گسترش مساکن روستایی بر سطح محوطه، آسیب‌های جدی را بر شواهد فرهنگی برجای مانده از این شهر تاریخی وارد آورده است (تصویر ۲).



تصویر ۲. تصویر فتوگرامتری از گستره محوطه تاریخی سیروان و گسترش خانه‌های روستایی بر سطح محوطه (نگارندگان، ۱۳۹۹). ◀


### مواد و روش‌ها

گمانه‌زنی در محوطه تاریخی سیروان براساس مجوز شماره ۹۸۱۰۴۹۵ پژوهشگاه میراث فرهنگی و گردشگری، در خرداد و تیرماه ۱۳۹۸ ه.ش. صورت گرفته است. یافته‌های فرهنگی به دست آمده از گمانه‌زنی در محوطه تاریخی سیروان را می‌توان در طبقه‌بندی‌های مختلف شامل: سفال، شیشه، آثار معماری و آثار فلزی مورد مطالعه قرار داد. آثار معماری به دست آمده از گمانه‌های مورد کاوش، بیشتر شامل باقی مانده دیواره‌هایی با مصالحی از قلوه‌سنگ و ملاط گچ است؛ تنها در یک گمانه، تعدادی آجر با ماده پُرکننده کاه به دست آمده است. سفالینه‌ها بیشترین حجم یافته‌های این محوطه را به خود اختصاص می‌دهند که می‌توان آن‌ها را به طور کلی در گروه سفال‌های لعابدار و بدون لعاب تقسیم‌بندی نمود (خانزادی، ۱۳۹۸). از میان این یافته‌های، ۱۴ نمونه جهت انجام آزمایش‌های اولیه انتخاب شده است. تصاویر و مشخصات نمونه‌ها در جدول ۱، ارائه شده و همان‌طور که پیش از این گفته شد، این نمونه‌ها حاصل کاوش‌های اولیه از گمانه‌زنی به منظور مطالعات زمین‌باستان‌شناسی محوطه تاریخی سیروان هستند. نمونه‌ها با توجه به تنوع مشخصات و ویژگی‌های ظاهری، به دو گروه نمونه‌های لعابدار (S4, S5, S6) و نمونه‌های بدون لعاب (S1, S2, S3, S8, S9) و (S7, S10, S11, S12, S13, S14) طبقه‌بندی شدند.

### بررسی نتایج آنالیز XRF

نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها براساس درصد وزنی (%Wt) ترکیبات اکسیدی در جدول

جدول ۱. تصاویر و مشخصات نمونه‌های مورد مطالعه (نگارندگان، ۱۳۹۹).

توضیحات		تصویر	کد نمونه
۲۰۲	ترانشه		S1
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
متماایل به قرمز	رنگ لایه بیرونی		
نقش افزوده	تکنیک تزئین		
۲۰۲	ترانشه		S2
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
نقوش کنده	تکنیک تزئین		
۲۰۲	ترانشه		S3
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
نقوش کنده	تکنیک تزئین		
۲۰۲	ترانشه		S4
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
لعب فیروزه‌ای	رنگ لایه داخلی		
خطوط کنده	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S5
لبه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعب سبز	رنگ لایه بیرونی		
خطوط کنده - لعب پاشیده؟	تکنیک تزئین		

۲۰۲	ترانشه		S6
کف	نوع قطعه		
دست ساز؟	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
لعاب سبز	رنگ لایه داخلی		
-	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S7
کف	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعاب آبی	رنگ لایه بیرونی		
نقوش زیرلغابی؟	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S8
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
خطوط کنده	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S9
بدنه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
نقوش کنده	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S10
لبه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
نخودی	رنگ لایه بیرونی		
لعاب سبز آبی	رنگ لایه داخلی		
-	تکنیک تزئین		
۲۰۲	ترانشه		S11
لبه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعاب سبز کمرنگ	رنگ لایه بیرونی		
نقوش کنده (که با رنگ قلم‌گیری شده)	تکنیک تزئین		



۲۰۲	ترانشه		S12
لبه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعاب سبز - آبی	رنگ لایه بیرونی		
-	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S13
لبه	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعاب آبی لاجوردی	رنگ لایه بیرونی		
کتیبه‌نگاری؟	تکنیک تزئین		
۲۰۳	ترانشه		S14
کف	نوع قطعه		
چرخ‌ساز	تکنیک ساخت		
لعاب آبی لاجوردی	رنگ لایه بیرونی		
-	تکنیک تزئین		

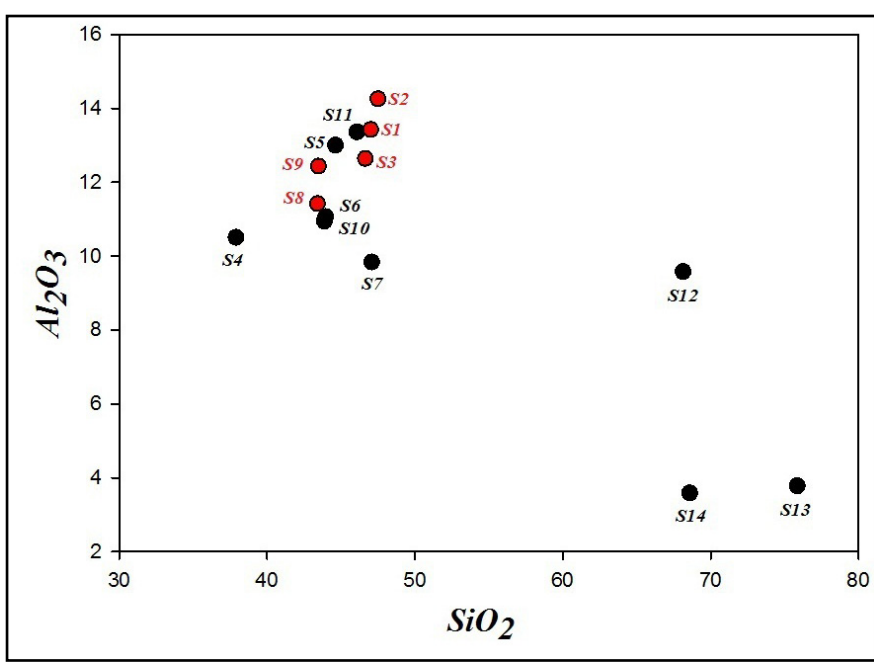
۲، گزارش شده است. لازم به ذکر است که در این جدول تنها عناصر اصلی و فرعی گزارش شده و عناصر جزئی مانند منگنز (Mn) و استرانسیوم (Sr)، با درصد وزنی کمتر از ۰/۶٪، ذکر نشده است؛ همان‌طور که انتظار می‌رود بیشترین درصد وزنی ترکیبات، به مجموع سیلیسیم اکسید و آلومینیوم اکسید تعلق دارد. البته درصد این اکسیدها در نمونه‌های مورد مطالعه، مقدار وزنی متفاوتی داشته ( $37.9 \leq SiO_2 \leq 75.9$ ) و ( $3.6 \leq Al_2O_3 \leq 14.3$ ) و این نکته احتمالاً ناشی از استفاده از منابع مختلف سیلیکاتی و آلومینوسیلیکاتی در فرآیند تولید این نمونه‌هاست.

در تصویر ۳، درصد دو اکسید سیلیسیم و آلومینیوم به‌عنوان اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده آلومینوسیلیکاتی‌هایی مانند کانی‌های رسی و فلدسپارها، در دو گروه نمونه‌های لعابدار و نمونه‌های فاقد لعاب نسبت به هم سنجیده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در نمونه‌های لعابدار (●) از لحاظ این نسبت، پراکندگی بسیار بالایی وجود دارد و در نمونه‌های بدون لعاب (●)، این پراکندگی کمتر است و تقریباً در یک محدوده، متمرکز شده‌اند. تنها در دو نمونه S10 و S6 این نسبت بسیار به هم نزدیک است.

دومین گروه عناصر تأثیرگذار بر ترکیب شیمیایی و مینرالی نمونه‌های سفال، ترکیب آهن اکسید ( $Fe_2O_3$ ) و البته ترکیبات اکسیدی عناصر قلیایی و قلیایی خاکی مانند:  $CaO$ ,  $MgO$ ,  $K_2O$ ,  $Na_2O$  هستند که از این میان، کلسیم اکسید بیشترین نقش را در واکنش‌های حین فرآیند پخت ایفا می‌کند.

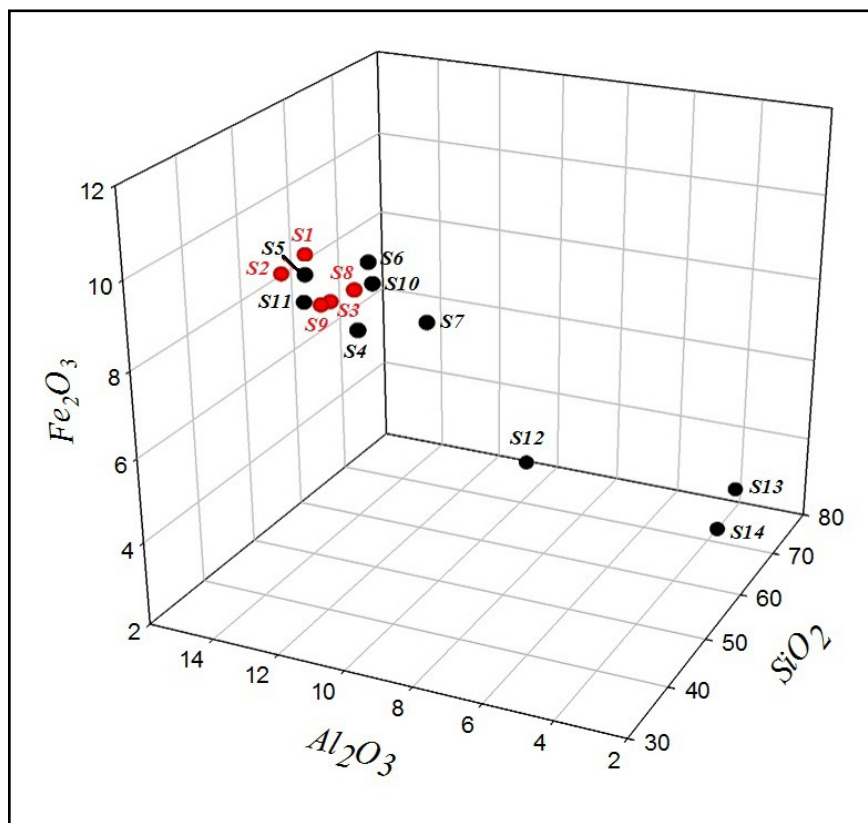
جدول ۲. درصد وزنی (%Wt) عناصر شناسایی شده در نمونه‌ها به صورت درصد اکسیدی (نگارندگان، ۱۳۹۹).

Sample No.	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	L.O.I
S1	47.0000	13.4300	9.6190	10.4920	7.5760	0.8830	3.9720	0.4640	0.9	5.2
S2	47.4980	14.2630	9.0430	16.1020	3.9910	0.7130	4.0470	0.1270	1.1	2.7
S3	46.6480	12.6470	8.6770	12.4940	8.7090	0.8870	4.1170	0.2340	1.0	4.2
S4	37.8969	10.5090	9.0130	24.8920	3.0170	0.7670	2.5640	0.2820	1.0	8.3
S5	44.6430	13.0250	9.3800	16.4780	4.1690	0.8430	3.5990	0.4750	1.0	3.6
S6	43.8720	10.9510	9.5140	20.8240	5.7310	1.5160	2.3850	0.1790	0.9	3.2
S7	47.0710	9.8430	8.5380	17.2870	5.9460	3.0030	2.3220	0.3010	0.8	3.2
S8	43.4040	11.4210	9.3500	20.4020	3.1090	1.8350	1.8900	0.2490	0.9	5.2
S9	43.4720	12.4360	8.8790	20.4820	5.5740	1.8870	1.3140	0.0740	1.0	4.5
S10	43.9620	11.0720	9.9650	18.4310	5.8370	1.5020	2.0850	0.4000	1.0	4.8
S11	46.0720	13.3640	8.6150	10.5050	4.3840	1.0440	4.2070	0.1010	0.9	2.4
S12	68.1370	9.5810	3.3140	3.8520	1.4310	4.9300	3.4340	0.6020	0.4	1.0
S13	75.8560	3.7800	2.7940	7.6080	2.4200	2.9850	1.3310	0.3490	0.2	2.2
S14	68.5840	3.5870	2.5100	11.3300	2.3250	2.5550	1.2590	2.0820	0.3	5.1



تصویر ۳. نمودار SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> براساس نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۹).

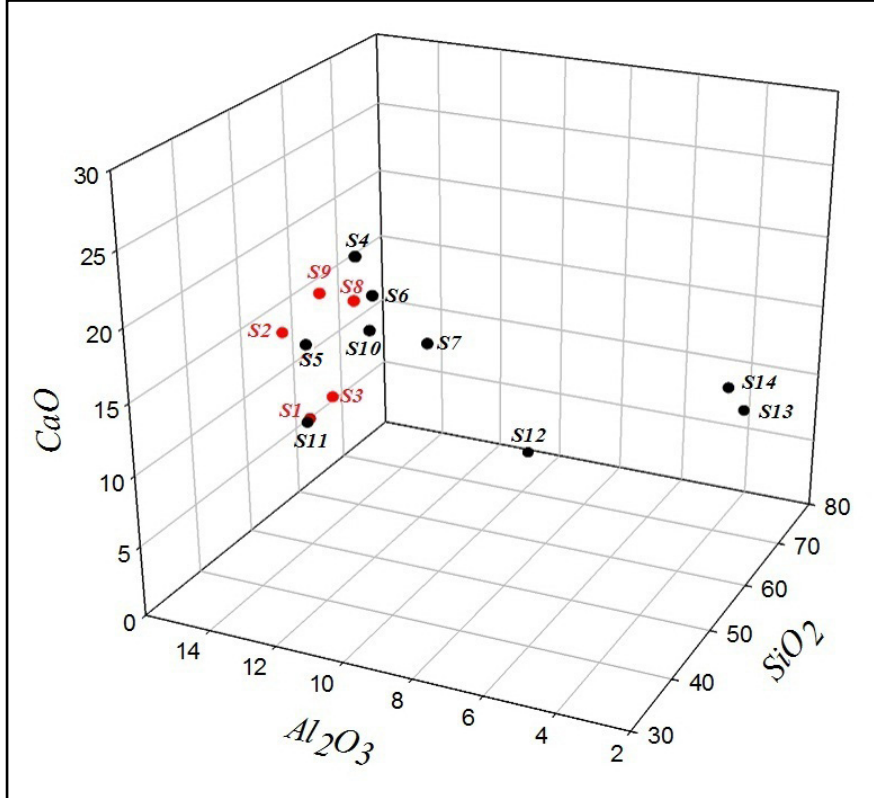
در تصویر ۴، نمودار سه‌بعدی SiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> رسم شده است. در این نمودار نیز پراکندگی زیاد نمونه‌های لعابدار (●) مشهود است. درصد آهن اکسید در این نمونه‌ها بین ۲/۵٪ (کمترین مقدار) تا ۹/۹۶۵٪ (بیشینه مقدار)، متغیر است. آهن به‌عنوان ناخالصی کانی‌های رُسی و یا استفاده‌ی تعمدی سفالگر، در سفالینه‌های تاریخی یافت می‌شود. در سه نمونه لعابدار S12، S13 و S14، مقدار آهن اکسید شناسایی شده کم است (< 3/3٪). میانگین آهن اکسید در نمونه‌های



► تصویر ۴. نمودار سه‌بُعدی نسبت  $SiO_2$ - $Al_2O_3$ - $Fe_2O_3$  برای نمونه‌های لعابدار (●) و نمونه‌های بدون لعاب (●)، (نگارندگان، ۱۳۹۹).

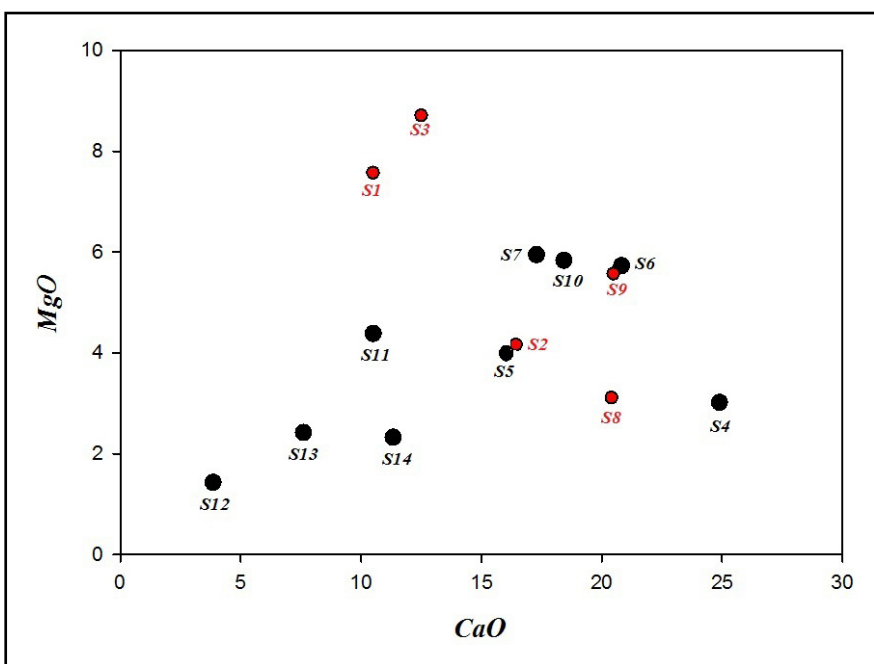
لعابدار ۶/۷۸۳ با انحراف معیار ۳/۲۷۷ است، اما میانگین این اکسید در نمونه‌های بدون لعاب ۹/۱۵۸ با انحراف معیار ۰/۳۲۲ است. این نکته می‌تواند گویای آن باشد که نمونه‌های لعابدار با منابع اولیه متفاوت و در کارگاه‌های مختلفی تولید شده‌اند، اما در نمونه‌های فاقد لعاب، از مواد رُسی حاوی آهن اکسید و تقریباً نزدیک به هم استفاده شده است.

در رابطه با کلسیم اکسید شناسایی شده نیز محدوده تغییرات زیادی مشاهده می‌شود. کمترین مقدار این ترکیب در نمونه‌های مورد مطالعه ۳/۸۵۲٪ و مقدار بیشینه آن ۲۴/۸۹۲٪ است و کماکان دو گروه سفالینه‌های لعابدار و بدون لعاب، رفتار متفاوتی را نشان می‌دهند (میانگین حدود ۱۵/۱ و انحراف معیار ۵/۸۸۷)، (تصویر ۵). می‌توان این نمونه‌ها را به دو دسته کم کلسیم (CaO با درصد وزنی کمتر از ۶٪) و پُر کلسیم (CaO با درصد وزنی بیشتر از ۶٪) تقسیم‌بندی کرد (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۸) که در هر دو گروه لعابدار و بدون لعاب هم نمونه‌های کم کلسیم و هم پُر کلسیم مشاهده می‌شوند. در نمونه‌های پرکلسیم، به‌ویژه مقادیر بالاتر از ۱۰٪ وزنی، به‌طور مشخص از ترکیبات کربناته، مانند کلسیم کربنات (کلسیت) به‌عنوان ماده پُرکننده (ماده افزودنی) در مواد اولیه استفاده شده است. اگر نسبت MgO نیز در ترکیبات قابل توجه باشد، ترکیب اولیه می‌تواند شامل دولومیت (کربنات مضاعف کلسیم - منیزیم:  $CaMg(CO_3)_2$ ) شود. انحراف معیار مقادیر منیزیم اکسید، حدود ۲/۰۸۷ محاسبه شد؛ بنابراین با توجه به پراکندگی بسیار در نسبت CaO-MgO



تصویر ۵. نمودار سه بُعدی  $SiO_2-Al_2O_3-CaO$  براساس نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۹).

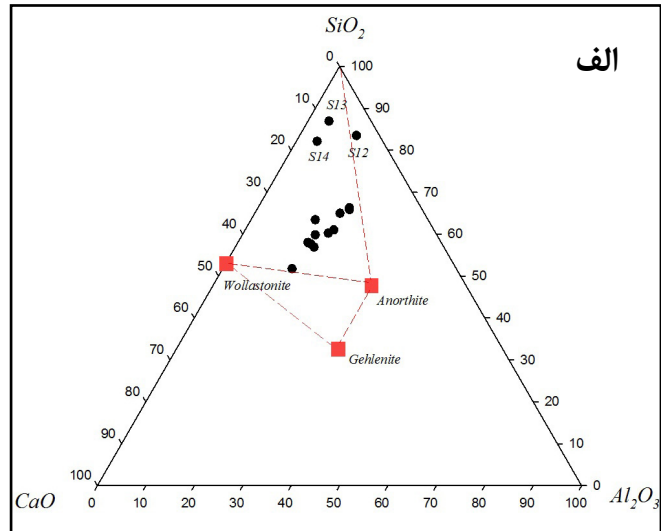
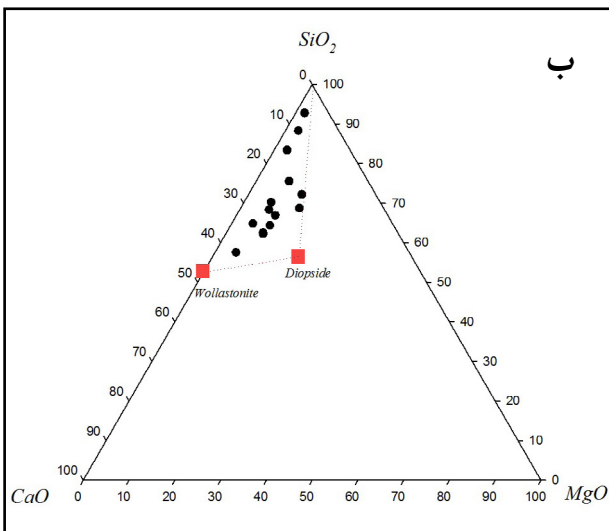
(تصویر ۶)، احتمال استفاده از منابع دولومیتی مشابه در این نمونه‌ها کم می‌شود. تنها در نمونه‌های S1 و S3 نسبت کلسیم اکسید به منیزیم اکسید به ترتیب برابر است با ۱/۳۸ و ۱/۴۳، که احتمال دارد در این دو نمونه از ترکیب دولومیتی استفاده شده باشد.



تصویر ۶. نمودار نسبت اکسیدهای  $MgO - CaO$  براساس نتایج آنالیز XRF نمونه‌ها (نگارندگان، ۱۳۹۹).

پتاسیم اکسید ( $K_2O$ ) می‌تواند از منابعی مانند: فلدسپارهای پتاسیمی (مانند اورتوکلاز) و یا کانی‌های رُسی مانند ایلیت تأمین شود و البته با توجه به مقادیر کم این عنصر در نمونه‌ها (بین ۱/۲۵۹ تا ۴/۲۰۷ درصد وزنی)، از ترکیب مواد اولیه در بافت سفال حضور دارد. سدیم اکسید ( $Na_2O$ ) نیز با مقادیر متنوعی در تمامی نمونه‌ها شناسایی شده و بیشترین مقدار (۴/۹۳٪) متعلق به نمونه S12 است. تیتانیوم اکسید ( $TiO_2$ ) از عناصر فرعی است که همراه مواد اولیه وارد بافت سفال می‌شود و می‌تواند در مطالعات دقیق و مقایسه با خاک منطقه، برای تعیین منشأ مورد استفاده قرارگیرد.

از لحاظ شیمی فازهای مینرالی نیز با توجه به موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در دیاگرام سه تایی  $SiO_2-Al_2O_3-CaO$  و  $SiO_2-MgO-CaO$  (تصویر ۷: الف و ب)، اگر فرآیند پخت در دمایی بالاتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده باشد، ترکیباتی چون آنورتیت ثانویه و هم‌چنین دیوپسید امکان شکل‌گیری دارند، البته به‌جز در نمونه‌های S12، S13 و S14.



▲ تصویر ۷. الف: دیاگرام سه‌تایی  $SiO_2-Al_2O_3-CaO$ ؛ ب: دیاگرام سه‌تایی  $SiO_2-MgO-CaO$ . موقعیت قرارگیری نمونه‌ها با توجه به ترکیب شیمیایی آن‌ها نسبت به ترکیب ایده‌آل برای تشکیل فازهای ولاستونیت، گلنیت، آنورتیت و دیوپسید (نگارندگان، ۱۳۹۹).

### بررسی نتایج آنالیز XRD و شیمی فازهای مینرالی

نتایج آنالیز XRD نمونه‌ها در جدول ۳، ارائه شده است. فاز شاخص در تمامی نمونه‌ها کوارتز است و همان‌طور که ملاحظه شد در نتایج XRF نیز بیشترین درصد وزنی به  $SiO_2$  تعلق داشت. بخشی از سیلیسیم اکسید شناسایی شده مربوط به فاز کوارتز و بخشی نیز مربوط به آلومینوسیلیکات‌هایی، مانند فلدسپار و پیروکسن‌هاست. نوع فلدسپار شناسایی شده در این نمونه‌ها، عمدتاً آنورتیت [ $CaAl_2Si_2O_8$ ] و آنورتیت سدیم‌دار بوده و در دو نمونه S11 و S14 آلایت کلسیم‌دار شناسایی شده است. این فازها از مواد اولیه موجود در ترکیب خاک نمونه‌ها به‌جای مانده و شناسایی آلایت در دو نمونه S11 و S14 احتمالاً به تفاوت منشأ مواد اولیه آن‌ها بازمی‌گردد. البته با توجه به تصویر ۷: الف، و موقعیت قرارگیری نمونه‌ها در دیاگرام سه‌تایی  $SiO_2-Al_2O_3-CaO$ ، احتمال تشکیل آنورتیت ثانویه نیز وجود دارد. تأیید این مطلب نیازمند مطالعات بیشتری است.

Phases Samples	Qz.	An.	Al.*	Cal.	Di.	Dol.	Mag.	Geh.	And.	Tri.
S.1	●	●	-	●	-	●	-	-	-	-
S.2	●	●	-	◆	●	-	-	-	-	-
S.3	●	●	-	●	●	-	●	-	-	-
S.4	●	●	-	●	●	-	-	●	-	-
S.5	●	●	-	◆	●	-	-	●	-	-
S.6	●	●	-	●	●	-	-	●	-	-
S.7	●	●	-	●	●	-	-	-	-	-
S.8	●	●	-	◆	●	-	-	●	●	-
S.9	●	●	-	◆	●	-	-	-	●	●
S.10	●	▲	-	◆	●	-	-	-	-	-
S.11	●	-	●	◆	●	-	-	-	-	-
S.12	●	▲	-	◆	-	-	-	-	-	-
S.13	●	●	-	-	●	-	-	-	-	-
S.14	●	-	●	●	-	-	-	-	-	-

جدول ۳. فازهای شناسایی شده در آنالیز XRD نمونه‌های مورد مطالعه؛ کوارتز: Qz، آورتیت: An، آلپیت: Al، کلسیت: Cal، دیوپسید: Di، دولومیت: Dol، مگنیزیت یا منیزیت: Mag، گلنیت: Geh، آندالوزیت: And، تریدیمیت: Tri (نگارندگان، ۱۳۹۹).

\* آلپیت شناسایی شده در آنالیز XRD این نمونه‌ها، آلپیت کلسیم‌دار  $[(Na, Ca)Al(Si, Al)_3O_8]$  بوده است. ▲ آورتیت شناسایی شده در این نمونه‌ها، از نوع سدیم‌دار  $[(Ca, Na)(Si, Al)Si_3O_8]$  است. ◆ در این نمونه‌ها، کلسیت حاوی منیزیم  $[(Ca, Mg)CO_3]$  شناسایی شده است. ◀

همان‌طور که مشاهده می‌شود در تمامی نمونه‌ها کلسیت شناسایی شده است. طبق گزارش‌های زمین‌شناسی، سازند ایلام، یک سازند کربناته است؛ بنابراین حضور فازهای کربناته‌ای چون: کلسیت، کلسیت منیزیم‌دار، دولومیت و منیزیت (آدابی و اسدی مهمان دوستی، ۱۳۸۴؛ شوشتریان و همکاران، ۱۳۹۰) می‌تواند گویای منابع محلی تهیه مواد اولیه این سفالینه‌ها در محدوده سازند ایلام باشد. باقی ماندن فاز کربناته در سفال می‌تواند به چند علت رخ دهد؛ ۱- دمای پخت کمتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد، ۲- درشت دانه بودن فازهای کربناته در مواد اولیه، و ۳- محیط پخت احیا. به نظر می‌رسد محدوده دمای پخت و درشت دانه بودن کربنات‌ها در این نمونه‌ها، عامل اصلی وجود این فازهاست. همان‌طور که در نتایج آنالیز XRF برای حضور فاز دولومیت در دو نمونه S1 و S3 پیش‌بینی شده بود، تنها در نمونه اول، دولومیت  $[CaMg(CO_3)_2]$  و در نمونه S3 مگنیزیت (یا منیزیت:  $MgCO_3$ ) شناسایی شده است. با توجه به این‌که در این نمونه، کلسیت نیز شناسایی شده، بنابراین دمای پخت S1 کمتر از دمای تجزیه کربنات‌ها و در نتیجه کمتر یا در حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

در ۱۱ نمونه، دیوپسید  $[CaMgSi_2O_6]$  شناسایی شده است؛ دیوپسید، فازی است که از حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و با حضور فازهای حاوی کلسیم و منیزیم (مانند دولومیت و یا کلسیت منیزیم‌دار) به تدریج و در مجاورت ترکیبات سیلیکاته مانند  $SiO_2$ ، شکل می‌گیرد (نوغانی و امامی، ۱۳۹۶). بیشترین میزان حضور این فاز در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است (Trindade et al., 2009). همان‌طور که در تصویر نمودار ۷: ب، مشاهده می‌شود، بیشتر نمونه‌ها در محدوده شکل‌گیری دیوپسید قرار دارند.

گلنیت  $[Ca_2Al_2Si_2O_7]$  نیز فازی است که به عنوان یکی از محصولات فرآیند پخت در مجاورت سیلیکات‌ها-کربنات‌ها، در دمای حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد

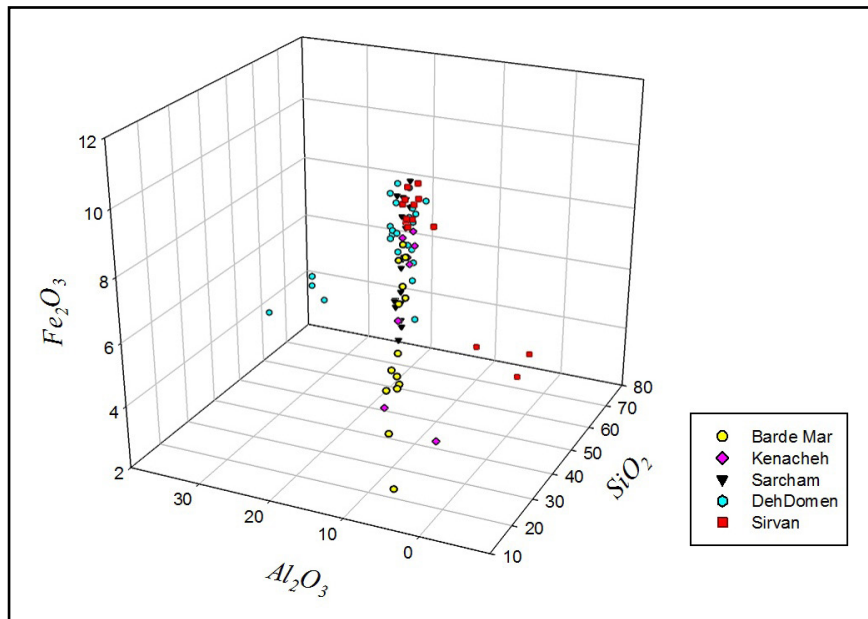


شروع به شکل‌گیری می‌کند (نوغانی و امامی، ۱۳۹۶)؛ البته گلنیت می‌تواند از محیط نیز در بافت وارد شده و در نتیجه تجزیه کربنات‌ها نیز ایجاد شود. آندالوزیت [ $Al_2SiO_5$ ] شناسایی شده در دو نمونه S8 و S9 می‌تواند از ترکیبات موجود در مواد اولیه تهیه نمونه‌ها باشد.

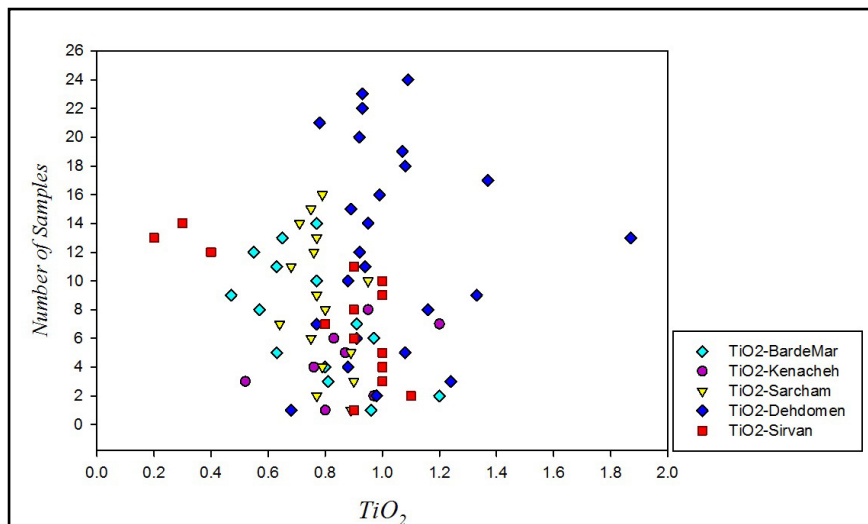
## بحث و تحلیل

در این ۱۴ نمونه، پراکندگی درصد عناصر تشکیل‌دهنده، می‌تواند نشان از تفاوت زمان ساخت و یا منشأ تهیه مواد اولیه توسط کارگاه سفالگری و سفالگر باشد. با استناد به پژوهش‌های انجام شده، کانی‌های رُسی شناسایی شده در سازند ایلام شامل: مونت-موریلونیت، ایلیت، کلریت و هم‌چنین شیل هستند (ارجی و طباطبایی، ۱۳۹۴). شیل، سنگی رسوبی آواری و ریزدانه است با ترکیبی از کانی‌های رُسی، کوارتز و کلسیت و البته حاوی ترکیبات آهن. مونت‌موریلونیت کانی سدیم‌دار، ایلیت، کانی پتاسیم‌دار و کلریت نیز حاوی آهن، منگنز و منیزیم است. این ترکیبات می‌توانند حامل یون‌های شناسایی شده در ساختار قطعات مورد مطالعه باشند. اگر نمونه‌ها در بافت زمین‌شناسی سازند ایلام قرار بگیرند، این کانی‌ها می‌توانند حامل عناصر شناسایی شده در نمونه‌های مورد مطالعه باشند؛ علاوه بر این شناسایی کلسیت در تمامی نمونه‌ها، می‌تواند ناشی از ژئوشیمی این منطقه که دارای ترکیبات آهنی است، باشد. البته برای تأیید قطعی، لازم است آنالیزهای شیمیایی خاک انجام شود. هم‌چنین در مقایسه مقادیر اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم و آهن، با نتایج منتشر شده از آنالیز نمونه‌هایی مربوط به منطقه هورامان کردستان (محوطه‌های سرچم، برده‌مار و کناچه)، (ساعدموچشی و همکاران، ۱۳۹۸) و ده‌دومن (شهرستان دنا) کهکیلویه و بویراحمد (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۸) که در واقع از نزدیک‌ترین مناطق تاریخی به منطقه مورد پژوهش بوده که نتایج آنالیز عنصری نمونه‌های آن‌ها منتشر شده است، می‌توان موقعیت نمونه‌های سیروان را بررسی نمود (تصویر ۸). همان‌طور که در نمودار مشاهده می‌شود به جز سه نمونه S13، S12 و S14 که در موقعیت مجزایی قرار دارند، بقیه نمونه‌های سیروان تقریباً در یک محدوده قرار گرفته و به تعدادی از نمونه‌های ده‌دومن و سراچم نزدیک‌اند. از لحاظ موقعیت قرارگیری در نمودار  $TiO_2$  نیز این نکته دیده می‌شود (تصویر ۹).

در مجموع می‌توان اظهار داشت که با توجه به نتایج آنالیزهای آماری بر روی نتایج XRF، دو نمونه S1 (بدون لعاب) و S11 (لعابدار) از لحاظ ترکیب شیمیایی بسیار مشابه هستند (تفاوت در مقدار MgO و درصد مواد فُزار)، (تصویر ۱۰). دو نمونه S8 و S9 (هر دو بدون لعاب) نیز ترکیب شیمیایی مشابهی دارند (به جز مقادیر MgO)، (تصویر ۱۱). در دو نمونه S12 و S14 نیز (به جز تفاوت مقادیر  $Al_2O_3$  و CaO) مشابهت ترکیب شیمیایی وجود دارد؛ بنابراین به نظر می‌رسد هر کدام از این گروه نمونه‌ها (S1-S11, S8-S9, S12-S14)، متعلق به منطقه‌ای مشابه از لحاظ تهیه مواد اولیه باشند.



تصویر ۸. مقایسه موقعیت قرارگیری نمونه‌های منطقه هورامان کردستان (ساعدموچشی و همکاران، ۱۳۹۸)، ده‌دومن شهرستان دنا (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۸) و نمونه سفالینه‌های سیروان در نمودار  $SiO_2-Al_2O_3-Fe_2O_3$  (نگارندگان، ۱۳۹۹).

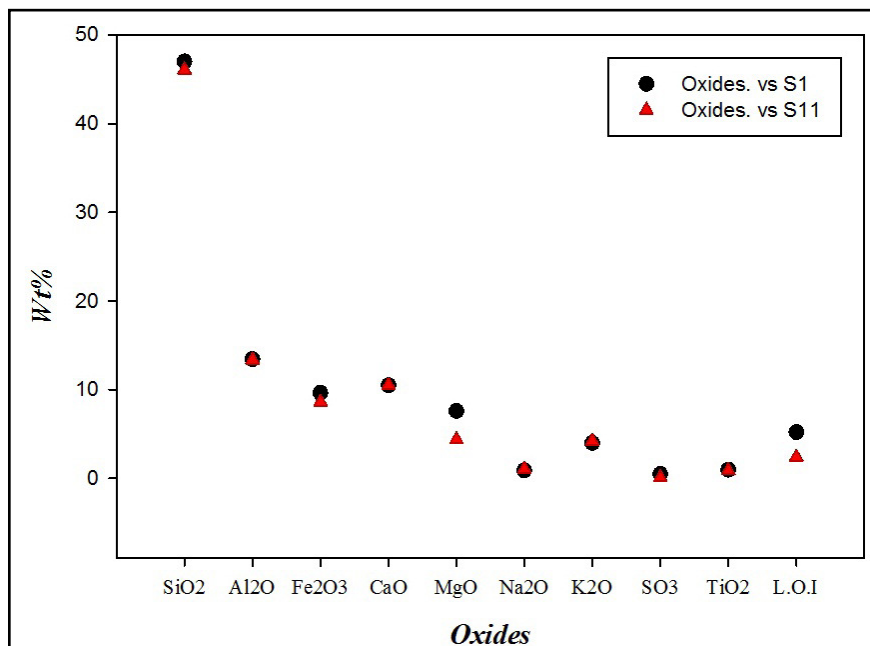


تصویر ۹. مقایسه موقعیت قرارگیری نمونه، نمونه‌های منطقه هورامان کردستان (ساعدموچشی و همکاران، ۱۳۹۸)، ده‌دومن شهرستان دنا (عودباشی و همکاران، ۱۳۹۸) و نمونه سفالینه‌های سیروان با توجه به مقادیر تیتانیوم اکسید (نگارندگان، ۱۳۹۹).

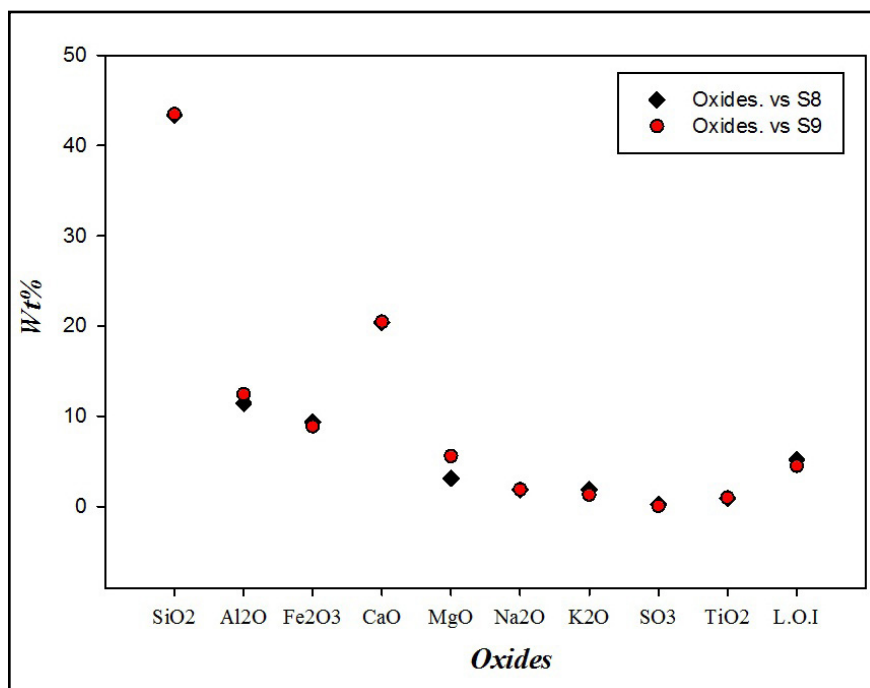
### نتیجه‌گیری

به منظور تعیین ویژگی‌های شیمیایی و بررسی امکان طبقه‌بندی سیستماتیک نمونه‌های حاصل کاوش‌های اولیه از گمانه‌زنی به منظور مطالعات زمین‌باستان‌شناسی محوطه، ۱۴ نمونه از سفالینه‌های کشف شده از این محوطه، با استفاده از آنالیزهای XRF و XRD مورد آزمایش قرار گرفتند. با توجه به درصد وزنی ترکیبات شناسایی شده، این نمونه‌های شامل عناصر: سیلیسیم، آلومینیوم، کلسیم، آهن، و منیزیم به عنوان عناصر اصلی، پتاسیم، سدیم و تیتانیوم به عنوان عناصر فرعی بوده و استرانسیوم، منگنز، گوگرد و فسفر نیز عناصر جزئی هستند. تفاوت مقادیر درصد وزنی عناصر شناسایی شده و انحراف معیار بالای آن‌ها (انحراف معیار مقادیر اکسیدهای سیلیسیم، آلومینیوم، آهن، کلسیم و منیزیم در این ۱۴ نمونه به ترتیب: ۱۱/۵۲۷، ۳/۲۹۰، ۲/۷۰۵، ۵/۸۸۷، و ۲/۰۸۷ محاسبه شد)، می‌تواند ناشی

► تصویر ۱۰. نمودار نسبت درصد وزنی اکسیدهای شناسایی شده در دو نمونه S11 و S1 (نگارندگان، ۱۳۹۹).



► تصویر ۱۱. نمودار نسبت درصد وزنی اکسیدهای شناسایی شده در دو نمونه S9 و S8 (نگارندگان، ۱۳۹۹).



از تنوع در منابع اولیه تهیه این محصولات و هم‌چنین تفاوت در شیوه‌های فرآوری مواد باشد. البته در این بین، نمونه‌های بدون لعاب، پراکندگی کمتری را نشان می‌دهند.

با توجه به محدوده پایداری هر یک از فازهای مینرالی در فرآیند پخت سفال، دمای پخت نمونه‌ها را می‌توان تخمین زد. ترکیبات کربناته و به‌ویژه کلسیت، در تمامی نمونه‌ها شناسایی شده است. همان‌طور که اشاره شد، حضور کلسیت می‌تواند

ناشی از وجود در خاک منطقه به صورت همراه با سایر مواد اولیه و یا استفاده آگاهانه به عنوان آمیزه باشد که در ترکیبات پرکلسیم، این احتمال بیشتر است. علاوه بر این، حضور این فاز نشان دهنده دمای پختی کمتر از دمای تجزیه کامل کربنات‌هاست که معمولاً این تجزیه از ۷۵۰ درجه آغاز شده و تا حدود ۹۰۰ درجه ادامه می‌یابد. اما باید توجه داشت که در صورت درشت‌دانه بودن فاز کربناته، ممکن است مقادیری از این فاز بدون تغییر در بافت باقی بماند؛ هم‌چنین بخشی از فاز کربناته نیز می‌تواند به صورت کلسیت ثانویه و طی زمان دفن تشکیل شده باشد که تحلیل دقیق این موضوع از طریق مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نمونه‌ها امکان‌پذیر است.

فازهای گنیت و دیوپسید که دمای تشکیل آن‌ها از حدود ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد و نتیجه مجاورت فازهای سیلیکاته و کربناته در ماتریکس سفال است، می‌تواند به عنوان پارامتری برای تخمین دمای پخت مورد توجه قرارگیرد. در تمامی نمونه‌ها دیوپسید شناسایی شده است. مناسب‌ترین دمای تشکیل پایداری این فاز حدود ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است؛ بنابراین در مجموع با توجه به مشاهده فازهای دیوپسید و گنیت در کنار کلسیت، و عدم شناسایی کانی‌های رُسی، به نظر می‌رسد دمای پخت این نمونه‌ها در حدود ۸۵۰ یا نهایتاً ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد است؛ البته به جز نمونه S1 که با توجه به حضور کلسیت و دولومیت و عدم شناسایی دیوپسید و یا گنیت، دمای پختی کمتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد داشته است. هم‌چنین فاز دیوپسید، می‌تواند عامل ایجاد رنگ نخودی (کرم رنگ) در بدنه این سفالینه‌ها باشد که مجدداً در نمونه S1 این فاز شناسایی نشده و رنگ این نمونه متمایل به قرمز است.

در مجموع با توجه به مطالعات آزمایشگاهی انجام شده، از منظر باستان‌شناسی می‌توان گفت که منشأ خاک استفاده شده در ساخت سفال‌های مورد مطالعه، محدوده جغرافیایی زاگرس بوده است. بنابراین در گام نخست این نمونه‌ها را می‌توان به طور کلی تولید محلی (به جز سه نمونه ذکر شده) در نظر گرفت. علاوه بر این، تفاوت مقادیر عناصر و ترکیبات سفال‌های مورد مطالعه حاکی از آن است که این نمونه‌ها که احتمالاً متعلق به دوران مختلف تاریخی است (با توجه به مسکونی بودن این منطقه در ادوار مختلف، تفاوت در شکل ظاهری و هم‌چنین نقوش نمونه‌ها، و تفاوت‌های مشاهده شده در ترکیب شیمیایی و مینرالی آن‌ها)، در کارگاه‌های متفاوت سفالگری تولید شده و محل تهیه، نسبت و نحوه فرآوری مواد اولیه متنوع بوده، اما در یک حوزه جغرافیایی مشترک ساخته شده‌اند. در این میان، هم‌گونی بیشتری در ترکیبات سفال‌های بدون لعاب دیده می‌شود و در نتیجه می‌توان آن‌ها را به احتمال محصول شیوه و یا دوره تولید مشابهی در نظر گرفت.

### کتابنامه

- ابن فقیه همدانی، ابی بکر احمد بن محمد، ۱۸۸۵ م.، مختصر کتاب البلدان. تحقیق: م. دخویه، لیدن: بریل.
- آدابی، محمدحسین؛ و اسدی مهمان دوستی، الهام، ۱۳۸۴، «مطالعه کانی شناسی اولیه کربنات‌های سازند ایلام و تفکیک مرز این سازند با سازند سروک با

- استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی در تأقیس پیون، شمال ایذه». بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۱۳ (۲)، صص: ۲۲۹-۲۴۴.
- ارجی، علی‌اکبر؛ و طباطبایی، حسین، ۱۳۹۴، «محاسبه حجم شیل و تشخیص نوع کانی‌های رسی موجود در سازند ایلام، میدان نفتی کوپال». دومین کنگره بین‌المللی زمین‌شناسی کاربردی، مشهد.
- احمدی، شهلا، ۱۳۹۹، «بررسی سیستماتیک باستان‌شناسی محوطه تاریخی سیروان». پایگاه پژوهشی شهر تاریخی سیروان (منتشر نشده).
- افشاری‌نژاد، حکیمه؛ آجورلو، بهرام؛ جهانگیری، احمد، رازانی، مهدی؛ و علیزاده، کریم، ۱۳۹۶، «ساختارشناسی سفال‌های دوره پایانی مفرغ قدیم، محوطه باستانی کهنه شهر آذربایجان غربی». مطالعات باستان‌شناسی، شماره ۹ (۱)، صص: ۱۷-۱.
- امامی، سیدمحمدامین؛ و نوغانی، سمیه، ۱۳۹۲، «بررسی روند کربناتیزاسیون مجدد و شکلگیری کلسیت ثانویه در سفال‌های باستانی براساس مطالعات پتروگرافیک». نشریه مرمت و معماری ایران، شماره ۳ (۵)، صص: ۵۵-۶۷.
- بلاذری، احمد بن یحیی، ۱۴۲۱ م.، فتوح البلدان. بیروت: دار و مکتبه الهلال.
- پازوکی‌طرودی، ناصر؛ و شادمهر، عبدالکریم، ۱۳۸۴، آثار ثبت شده ایران در فهرست آثار ملی (از ۱۳۱۰/۶/۲۴ تا ۱۳۸۴/۶/۲۴). تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور.
- خانزادی، محمدجواد، ۱۳۹۸، «گمانه‌زنی به‌منظور مطالعات زمین‌باستان‌شناسی محوطه تاریخی سیروان». پایگاه پژوهشی شهر تاریخی سیروان، (منتشر نشده).
- خانزادی، محمدجواد، ۱۳۹۷، «گمانه‌زنی به‌منظور پاکسازی عناصر غیرمرتبط معماری محوطه تاریخی سیروان». پایگاه پژوهشی شهر تاریخی سیروان، (گزارش منتشر نشده).
- خلیل‌زاده‌احمدی، رقیه، ۱۳۹۶، اصول مستندسازی سفال در باستان‌شناسی. تهران: آریارمنا.
- ساعدموچشی، امیر؛ اثنی‌عشری، امیر؛ رحمتی، سیدمرتضی؛ بهادری، رویا؛ و مدنی، فرح‌سادات، ۱۳۹۸، «مطالعه ساختاری سفال‌های منطقه هورامان کردستان (محوطه‌های سرچم، برده‌مار و کناچه)». پژوهش باستان‌سنجی، شماره ۵ (۱)، صص: ۱۰۵-۱۲۷.
- شریفی‌نیا، اکبر؛ و شاکرمی، طیب، ۱۳۹۷، «باستان‌شناسی و تاریخ دره‌شهر (سیمره)». تهران: پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.
- شهیدی‌همدانی، حسام‌الدین؛ میرفتاح، علی‌اصغر؛ و ژاله، بابک، ۱۳۹۷، «مطالعه و بررسی منشأ و ساختار سفال‌های اشکانی (کلینکی) در منطقه زاگرس مرکزی براساس شیوه‌های آزمایشگاهی (XRF. EDX. XRD. FT-IR)». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران (نامه باستان‌شناسی)، شماره ۸ (۱۷)، صص: ۱۲۵-۱۴۰.

- شوشتریان، فرناز سادات؛ آدابی، محمدحسین؛ صادقی، عباس؛ حسینی برزی، محبوبه؛ و لطف‌پور، مسعود، ۱۳۹۰، «کانی‌شناسی اولیه سازند ایلام براساس داده‌های ژئوشیمیایی در برش نمونه، تاقدیس پیون و مقطع تحت‌الارضی دانان- a». پژوهش‌های چینه‌نگاری و رسوب‌شناسی، شماره ۲۷ (۳)، صص: ۳۹-۶۸.
- طلایی، حسن؛ علی‌یاری، احمد؛ و تقی‌ذوقی، یاسمن، ۱۳۸۸، «بررسی فن‌آوری سفالگری هزاره پنجم پ.م. با استفاده از روش‌های آزمایشگاهی XRD و XRF در شمال مرکزی ایران». مطالعات باستان‌شناسی، شماره ۱ (۱)، صص: ۶۵-۸۴.
- علی‌بیگی، حسین، ۱۳۹۱، «جغرافیای تاریخی ولایات ماسبدان و مهرجانقذق و حاکم نشین آن‌ها»، تاریخ نو، شماره ۴ (۲)، صص: ۱۲۳-۱۴۲.
- عودباشی، امید؛ ناصری، رضا؛ اگارتنر، ایزابل؛ آرتیزی، آنا؛ و کولتروونه، جوزپه، ۱۳۹۸، «مطالعات باستان‌سنجی سفال‌های مکشوف از محوطه باستانی ده‌دومن (جنوب غرب ایران)، نتایج مقدماتی». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، شماره ۹ (۲۲)، صص: ۲۷-۴۶.
- مارکوارت، یوزف، ۱۳۷۳، ایرانشهر برمبنای جغرافیای موسی خورنی. ترجمه مریم میراحمدی، تهران: انتشارات اطلاعات.
- مرادی، ابراهیم، ۱۳۹۸، «گزارش تعیین عرصه و حریم شهر تاریخی سیروان». آرشیو میراث فرهنگی استان ایلام، پایگاه پژوهشی شهر تاریخی سیروان (منتشر نشده).
- محمدی‌فر، یعقوب؛ و عرب، احمدعلی، ۱۳۹۲، «مطالعه ترکیب سفال کلینی دوره اشکانی منطقه همدان با استفاده از سه روش XRF، PIXE و XRD با هدف تعیین میزان تشابه و تمایز». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران (نامه باستان‌شناسی)، شماره ۳ (۴)، صص: ۵۷-۷۶.
- محمودیان، حبیب‌اله، ۱۳۹۸، «بررسی تحولات باستان‌شناختی شهر سیروان در دوران تاریخی». مطالعات ایلام‌شناسی، شماره ۳ (۱۲)، صص: ۲۸-۸.
- مهدوی، علی؛ رنگین، سمیه؛ مهدی‌زاده، حسین؛ و میرزایی‌زاده، وحید، ۱۳۹۶، «ارزیابی روند تغییرات پوشش جنگلی و تعیین مهم‌ترین عوامل فیزیوگرافی مرتبط با تخریب جنگل‌ها در استان ایلام، مطالعه موردی: شهرستان سیروان». تحقیقات حمایت و حفاظت جنگل‌ها و مراتع ایران، شماره ۱۵ (۱)، صص: ۱-۱۶.
- نوراللهی، علی، ۱۳۹۱، «جغرافیای تاریخی شهر سیروان (شیروان) در دوره ساسانی و قرون اولیه اسلامی». اولین کنفرانس بین‌المللی نقش میراث فرهنگی در شکل‌گیری هویت ملی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز.
- نوغانی، سمیه؛ و امامی، سیدمحمدامین، ۱۳۹۰، «ساختارشناسی سفال جلینگی متعلق به دوران پارتنی براساس مطالعات آرکئومتریکی (باستان‌سنجی)». مطالعات باستان‌شناسی، شماره ۳ (۲)، صص: ۱۵-۳۴.
- نوغانی، سمیه؛ و امامی، سید محمدامین، ۱۳۹۶، «بررسی کمی فرآورده‌های فرآیند پخت در محیط اکسایش براساس نتایج پراش پرتو X در سرامیک‌های رسی». بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، شماره ۲۵ (۳)، صص: ۵۹۵-۶۰۸.



- نیاکان، لیلی، ۱۳۹۸، «بنای ساسانی روئه بر کرانه‌های سیمره». پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران، دوره ۹، شماره ۲۰، صص: ۱۲۹-۱۴۸.
- نیاکان، لیلی، ۱۳۹۴، پژوهش‌های باستان‌شناسی حوضه آبخیز سد سیمره. تهران: پژوهشگاه سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری.
- هورشید، شقایق؛ و موسوی حاجی، سید رسول، ۱۳۹۴، «کاوش باستان‌شناسی در محوطه برزقاواله، حوضه سد سیمره». اثر، شماره ۶۸ (۳)، صص: ۹۳-۱۰۸.
- یعقوبی، احمد ابن ابی‌واضح، ۱۸۹۲ م.، البلدان. تصحیح: یان دخویه، لیدن: بریل.
- یوسفوند، یونس، ۱۳۸۹، «بررسی باستان‌شناختی شهرهای صدراسلام در استان ایلام». پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه محقق اردبیلی (منتشر نشده).

- Adabi, M. H., 2005, "Determination of original carbonate mineralogy of Ilam Formation and recognition of boundary between Ilam and Sarvak Formations by geochemical data in the Peyon Anticline, North of Izeh". *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, Vol. 13, No. 2, PP: 229-244. [in Persian].

- Afsharinezhad, H.; Ajorloo, B.; Jahangiri, A.; Razani, M. & Alizadeh, K., 2017. "A Structural Analysis of the Late Early Bronze Age Pottery from Kohna Shahar, West Azerbaijan, Iran". *Journal of Archaeological Studies*. Vol. 9, Issue 1, No. 15, Pp: 1-17. [in Persian].

- Ahmadi, Sh., 2021, *Systematic study of archeology of Sirvan historical site*. Payegahe Pazhoheshi Shahreh Tarikhiye Sirvan. [in Persian].

- Alden, J. R. & Minc, L., 2016, "Itinerant potters and the transmission of ceramic technologies and styles during the Proto-Elamite period in Iran". *Journal of Archaeological Science: Reports*, No. 7, Pp: 863-876. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2016.03.022>

- AliBeigi, H., 2013, "Historical geography of Masbazan and Mehrjanghzag provinces and Their ruler". *New History Quarterly*. Volume 4(2). Pp: 123-142. [in Persian].

- Arji, A. A., Tabatabai, H., 2015. "Calculation of shale volume and detection of type of clay minerals in Ilam Formation, Kopal oil field". *The Second International Congress of Applied Geology*, Mashhad. [in Persian].

- Balazeri. A., 1421, *Fotuh al-Boldan*. Beirut: Maktab Al-Helal. [in Persian].

- Emami, M. A.; Noghani, S., 2013, "An Investigation of re-Carbonation Process and Formation of Secondary Calcite in the Texture of Ancient Potteries by Petrographical Method". *Maremat & Me'mari-e Iran*, Vol.3. No. 5, Pp: 67-55. [in Persian].

- Eslami, M.; Wicke, D. & Rajabi, N., 2020, "Geochemical analyses result of prehistoric pottery from the site of Tol-e Kamin (Fars, Iran) by pXRF. STAR". *Science & Technology of Archaeological Research*, No. 6(1), Pp: 61-71. doi:10.1080/20548923.2020.1759912
- Feinman, G. M. & Skibo, J. M., 1999, *Pottery and people: a dynamic interaction (Vol. Foundations of archaeological inquiry)*. Salt Lake City: University of Utah Press.
- Horshid, Sh. & Mosavijahi, S. R. 2016. "Archaeological excavations In Barzzavaleh area, Seymareh dam basin". *Athar Journal*. Vol. 68(3), PP: 93-108 [in Persian].
- Ibn Faqih Hamedani, A., 1885, *Mokhtasarol Boldan*. Research: M. Dekhyeh. LIden. Beril [in Persian].
- Khalilzadeh Ahmadi, R., 2018, *Principles of documentation of pottery in Archaeology*. Tehran: Aryaramna Press [in Persian].
- Khanzadi, M. J., 2019, *Speculation in order to clear the unrelated elements of the architecture of Sirvan historical site*. Payegahe Pazhoheshi Shahreh Tarikhiye Sirvan [in Persian].
- Khanzadi, M. J., 2020, *Speculation for the study of Geoarchaeological of Sirvan historical site*. Payegahe Pazhoheshi Shahreh Tarikhiye Sirvan [in Persian].
- Mahdavi, A.; Rangin, S.; Mehdizadeh, H. & Mirzaeizadeh, V., 2017, "Assessment of forest cover change trends and determination of the main physiographic factors on forest degradation in Ilam province (case study: Sirvan county)". *Iranian Journal of Forest and Range Protection Research*, Vol. 15, Issue 1, Vol. 29, Pp: 1-16 [in Persian].
- Mahmoudian, H., 2020. "Investigation of archaeological developments in Sirvan In historical times". *Motaleate Ilam Shenasi*, Vol. 3(12), Pp: 8-28. [in Persian].
- Marghussian, A. K. I.; Coningham, R. A. E. & Fazeli, H., 2017, "Investigation of Neolithic pottery from Ebrahimabad in the central plateau of Iran, utilising chemical–mineralogical and microstructural analyses". *Journal of Archaeological Science: Reports*, No. 16, Pp: 604-615. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.06.029>
- Markwart, J., 1373, *Š. Iranshahr based on the geography of Musa Khouroni*. Translated by: Dr. Maryam Mirahmadi, Tehran:Information publication [in Persian].
- Mohammadifar, Y. & Arab, A. A., 2014, "An Study of the Clinky Ware Composition in the Hamadan Region Applying PIXE, XRF and XRD Aiming to Show the Similarities and Diversities". *Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran*. Volume 3, No. 4 , Pp: 57-76 [in Persian].
- Moradi, I., 2020, *Report on determining the area and privacy of the*

*historical city of Sirvan*. Payegahe Pazhoheshi Shahreh Tarikhiye Sirvan [in Persian].

- Mucheshi, A.; Esna-Ashari A.; Rahmati, S. M.; Bahadori, R. & Madani F. S., 2019, "Compositional Study of the Potteries from Sarcham, Bardemar and Kenacheh Sites, Hawraman Area, Kurdistan Province, Iran". *Journal of Research on Archaeometry*, No. 5 (1), Pp: 105-127 [in Persian].

- Niakan, L., 2019. "Rouha, Sassanian Building in the Seymareh Coast". *Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran*. Vol. 9, No. 20, Pp: 129-148 [in Persian].

- Niakan, L., 2016, *Archaeological researches on the catchment area of the Seymareh dam*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Research Institute Press [in Persian].

- Noghani, S. & Emami, M. A., 2017. "Quantitative investigation on firing products in oxidation atmosphere according to XRD analysis data in clay – base ceramics". *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 25(3) Pp: 595-608 [in Persian].

- Noghani, S. & Emami, M., 2014, "Mineralogical Phase Transition on Sandwich-like Structure of Clinky Pottery from Parthian Period". *Iran*, No. 83(2), doi: 10.2451/2014pm0010

- Noghani, S. & Emami, M. A., 2012, "Structural Pattern of Parthian Clinky Pottery: An Archaeometric Study". *Journal of Archaeological Studies*. Vol. 3, No. 2. Pp: 15-34 [in Persian].

- Noorullahi, A., 2013, "Historical geography of Sirvan (Shirvan) in the Sassanian period and the early Islamic centuries". *The first international conference on the role of cultural heritage in Formation of National Identity*, Shiraz Branch of Azad University [in Persian].

- Oudbashi, O.; Naseri, R.; Egartner, I.; Arizzi, A. & Cultrone, G., 2019, "Archaeometric Study of Potteries Excavated from Deh Dumen Archaeological Site (Southwestern Iran) Preliminary Results". *Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran*. Vol. 9, No. 22, Pp: 27-46 [in Persian].

- Pazouki Taroudi, N., 2006, *Registered works of Iran in the list of national works (1931/9/16- 2005/9/15)*. Tehran: Iranian Cultural Heritage Research Institute Press, Cultural Heritage Organization [in Persian].

- Pincé, P.; Vekemans, B.; Vandenabeele, P.; Haerinck, E. & Overlaet, B., 2016, "Analysis of pre-Islamic ceramics from the Kur River Basin (Fars, Iran) using handheld X-ray fluorescence spectrometry". *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*, No. 123, Pp: 150-156, doi: <https://doi.org/10.1016/j.sab.2016.08.012>

- Rahimi Sorkhani, R. & Eslami, M., 2018, "Specialized pottery production in Dalma tradition; a statistical approach in pottery analysis from

Soha Chay Tepe, Zanjan, Iran”. *Journal of Archaeological Science: Reports*, No. 17, Pp: 220-234. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2017.11.007>

- Shahidihamedani, H.; Mirfatah, A. A. & Zhaleh, B., 2018, “Study and Inquiry About Origin and Structure of Parthian Potteries (Clinky Ware) in the Central Zagros Region Based on Experimental Methods (XRF, EDX, XRD, FT-IR)”. *Pazhohesh-ha-ye Bastanshenasi Iran*. Volume 8, No. 17, Pp: 125-140 [in Persian].

- Sharifinia, A. & Shakarami, T., 2017. *Archaeology and the History of Darrehshahr (Seymareh)*. Tehran: Research Institute of Cultural Heritage & Tourism publications [in Persian].

- Shrotriya, A., 2007, “Ceramic Ethno-archaeology and its Applications”. *Anistoriton Journal, ArtHistory*, No. 10 (3), Pp: 1-10.

- Shushtarian, F.; Adabi, M. H.; Sadeghi, A.; Barzi, M. H. & Lotfpour, M., 2012. “Original mineralogy of the Ilam Formation, based on geochemical data in type locality, Payun Anticline and subsurface section DA # a”. *Journal of Stratigraphy and Sedimentology Researches*. Vol. 27, No. 3(3). Pp: 39-68 [in Persian].

- Sinopoli, C. M., 1991, *Approaches to archaeological ceramics*. New York (N.Y.): Plenum press.

- Tala'i, H.; Aliyari, A. & Taghi Zoghi, Y., 2009. “The Technological Studies of the Fifth Millennium B.C. Pottery from North-Central Iran by Using X-Ray Defragmentation (XRD) and X-Ray Fluorescence (XRF) Laboratory Testing”. *Journal of Archaeological Studies*, Vol. 1, No. 1, Pp: 65-84 [in Persian].

- Trindade, M. J.; Dias, M. I.; Coroado, J. & Rocha, F., 2009, “Mineralogical transformations of calcareous rich clays with firing: A comparative study between calcite and dolomite rich clays from Algarve, Portugal”. *Appleid Clay Science*, No. 42, Pp: 345-355.

- Yaquibi, A., 1892, *Al Boldan*. Correction: M. Dekhyeh, LIden, Beril [in Persian].

- Yusefvand, Y., 2010, “Archaeological survey of early Islamic cities in Ilam province”. Department of Archaeology. University of mohaghegh Ardabili [in Persian].