

مطالعه پتروگرافی سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک سربیشه (خراسان جنوبی) به منظور بررسی ماهیت مواد افزودنی به ماتریکس رسی و تعیین منشأ آن‌ها: کاربردی در راستای زمین‌باستان‌شناسی

مریم مرتضوی مهریزی^{۱*} و محمد فرجامی^۲

۱- استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- کارشناس اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی خراسان جنوبی، بیرجند، ایران

نویسنده مسئول: mmortazavi@birjand.ac.ir

چکیده

زمین‌باستان‌شناسی به عنوان یکی از شاخه‌های باستان‌سنجی به کاربرد علوم زمین (ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، خاک‌شناسی و چینه‌شناسی) در حل مسائل مربوط به باستان‌شناسی می‌پردازد. یکی از کاربردهای علم رسوب‌شناسی در مطالعات باستان‌شناسی، بررسی پتروگرافی رسوبی مقاطع نازک سرامیک‌های باستانی است. محوطه باستانی کهنک، در فاصله ۵۰ متری روستای کهنک و جنوب شهرستان سربیشه (خراسان جنوبی) واقع شده است. در مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک سفالینه‌های باستانی این محوطه (۷ نمونه سفالی) خمیره‌ی سفال‌ها به سه جزء ماتریکس رسی، انکلوزیون‌ها یا مواد افزودنی و حفره‌ها تفکیک شده است. به منظور تعیین منشأ مواد سازنده سفال‌های این محوطه، ترکیب پتروگرافی مواد افزودنی موجود در بدنه سفال با نمونه‌های خاک سطح محوطه، قطعات گراولی پراکنده در اطراف محوطه، رسوبات و گراول‌های رودخانه‌ای مجاور محوطه و واحدهای زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه مقایسه شده است. تشابه ترکیب پتروگرافی انکلوزیون‌های آواری سفال‌های فوق با داده‌های ذکر شده، محلی یا بومی بودن این مصنوعات باستانی را اثبات می‌کند. در این مطالعه، بررسی پتروگرافی رسوبی سفالینه‌های محوطه کهنک، علاوه بر تعیین منشأ مواد سازنده سفال، در تفسیر فناوری ساخت و شرایط پخت مورد استفاده قرار گرفته است.

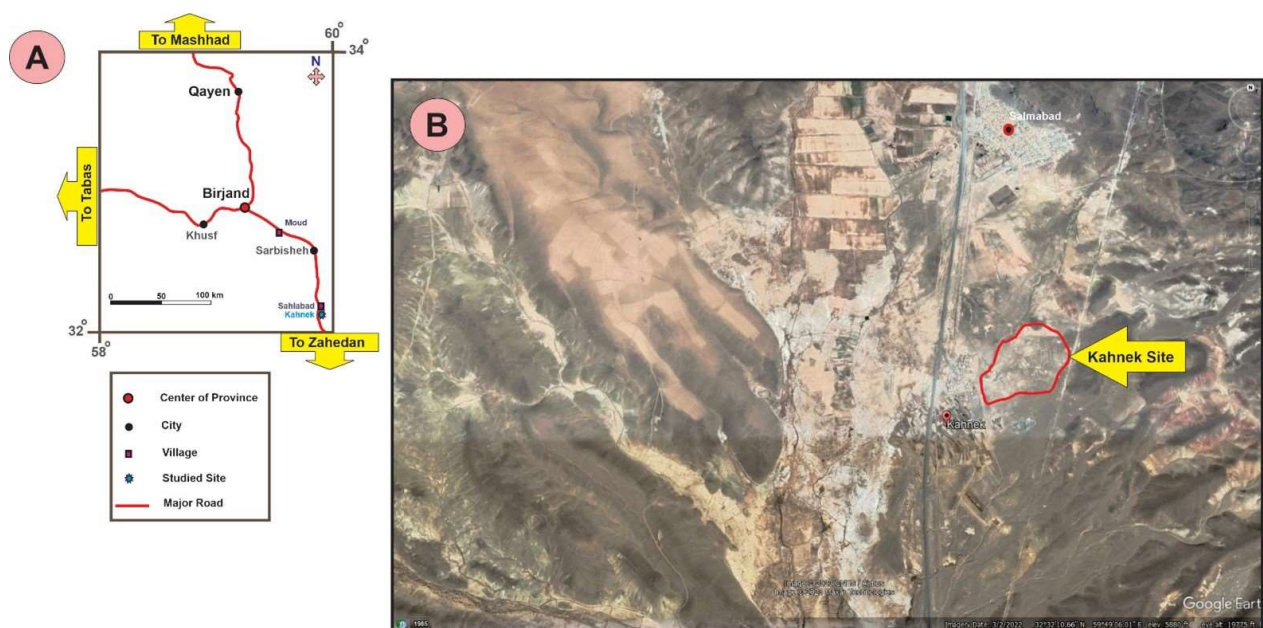
واژگان کلیدی: پتروگرافی رسوبی، اینکلوزیون، منشأیابی، سرامیک‌های باستانی، محوطه کهنک.

۱. پیشگفتار

زمین‌باستان‌شناسی کاربرد علوم زمین در حل مسائل پژوهش‌های باستان‌شناسی است. ارتباط علوم زمین و باستان‌شناسی قدمتی دیرینه داشته و به اوایل قرن نوزدهم میلادی برمی‌گردد. از جمله شاخه‌های زمین‌شناسی که در مطالعات زمین‌باستان‌شناسی کاربرد دارند می‌توان به ژئومورفولوژی، رسوب‌شناسی، خاک‌شناسی و چینه‌شناسی اشاره کرد (پلارد، ۱۹۹۹؛ گیلاردی، ۲۰۲۱). یکی از کاربردهای علم رسوب‌شناسی در مطالعات باستان‌شناسی، بررسی کانی‌شناسی و پتروگرافی مقاطع نازک سرامیک‌های باستانی است. سرامیک‌های باستانی، مصنوعات معدنی غنی از خاک رس هستند که توسط مردمان باستان تولید و مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مصنوعات سفال‌ها، مجسمه‌ها، آجرها، کاشی‌ها، اندودها، بوته‌های ذوب فلز، قالب‌ها، دهانه دم آهنگری، پیپ‌های گلی، وزنه‌های نگه‌دارنده چله در نساجی سنتی، مهر و نشان‌ها، الواح کتیبه‌دار و طیفی از اشیای سفالی دیگر را شامل می‌شوند. سرامیک‌ها در زمره نخستین مواد ترکیبی قرار دارند که به طور آگاهانه به دست بشر ساخته شده و در بسیاری موارد با استفاده از فرآیندهای حرارت‌دهی پخته شده‌اند. کشف خواص منحصر به فرد خاک رس و خلق اجسامی سخت و نیمه‌پایدار در اشکال دلخواه، گامی مهم در توسعه فناوری باستانی بوده است. مصرف گسترده اشیای سفالین در بسیاری از جوامع گذشته و تخریب نسبتاً آهسته این اشیاء در بسترهای باستان‌شناسی، آنها را به یکی از متداول‌ترین آثار باستانی در بسیاری از دوره‌ها و مناطق جغرافیایی مبدل ساخته است که منبع بسیار مهمی برای تفسیر فعالیت‌های انسان‌های باستان و بازسازی جنبه‌هایی از فرهنگ‌های آنها به‌شمار می‌رود. جمع‌آوری داده‌های سفالی باستانی با طیفی از مشاهدات ساده بصری (مطالعات ماکروسکوپی) در مورد شکل و تزئینات سطحی تا تعیین خصوصیات علمی و دقیق ترکیبات، به علاوه ساختارهای میکروسکوپی با استفاده از تجهیزات پیشرفته تجزیه‌ای حاصل می‌شود. مطالعه دقیق مواد رسی

که سفال‌های باستانی از آنها ساخته شده‌اند به نام "تجزیه ترکیبات سفال" شناخته می‌شود و به روش‌های ژئوشیمی و کانی‌شناسی تقسیم می‌گردد. روش‌های ژئوشیمی و کانی‌شناسی، اهداف و مبانی نظری مشابهی دارند. هر دوی این رویکردها به صورت معمول در شناسایی و مستندسازی الگوهای معنادار باستان‌شناختی در مجموعه سفال‌های باستانی کاربرد دارند و به شناسایی انواع مواد خام و نیز شیوه‌های استفاده شده در ساخت آنها می‌پردازند. اطلاعات حاصل از آنالیزهای ترکیبی سرامیک‌های باستانی معمولاً در تفسیر مکان ساخت یا منشأ مورد استفاده قرار می‌گیرد و شواهدی در زمینه جابجایی سرامیک‌ها از طریق فرآیندهایی همچون تجارت و مبادله، توزیع و مهاجرت ارائه می‌دهند. علاوه بر این، از پتروگرافی مقاطع نازک و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) می‌توان در شناسایی ترکیب و شواهد ریزساختاری برای مراحل فنی مربوط به ساخت سرامیک‌ها استفاده کرد. چنین اطلاعاتی برای تولید سرامیک، سنت‌های صنایع دستی و انتقال دانش اهمیت دارند. اهداف اصلی مطالعه پتروگرافی سرامیک عبارتند از: شناسایی عنصری، طبقه‌بندی، تفسیر منشأ و تبیین فناوری ساخت. سفالینه‌های مصرفی نسبتاً خشن و پخته شده در حرارت پایین (ارتنور^۱) و تراکوتا بیشترین فراوانی را در بین یافته‌های سفالی به ویژه در بسترهای پیش از تاریخی دارند. این سفالینه‌ها به دلیل انکلوژیون فراوان و اهمیت کم نسبت به محصولاتی که استادانه با خمیره ظریف ساخته شده‌اند، بیشتر استفاده شده و برای تجزیه و تحلیل مقطع نازک بسیار مناسبند (کوین، ۲۰۲۰).

محوطه باستانی کهنک از جمله محوطه‌های اسلامی مهم در استان خراسان جنوبی است که ضعف الگوهای زیست‌محیطی و محدودیت‌های اقلیمی در شرق ایران، خصوصاً کمبود منابع آبی، موجب عدم شکل‌گیری محوطه‌ها و سکونت‌گاه‌های پرجمعیت و وسیع در این منطقه شده است. به همین دلیل، این محوطه در مطالعات باستان‌شناسی شرق کشور و ارتباطات اقتصادی، اجتماعی و فرهنگی بین مناطق شمالی (خراسان) و جنوبی (منطقه سیستان) که در مسیر راه ارتباطی مهمی قرار دارد، از اهمیت بسیار برخوردار است. محوطه کهنک با توجه به داده‌های سطحی و کاوش‌های صورت گرفته، متعلق به قرون سوم و چهارم هجری قمری تا دوره تیموری است و بیشترین داده‌های به دست آمده را سفال و سازه‌های معماری مربوط به قرون میانه اسلامی در بر می‌گیرند (فرجامی و محمودی‌نسب، ۱۳۹۹). روستای کهنک در فاصله ۷۰ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان بیرجند و ۵ کیلومتری جنوب شهرستان سربیشه در استان خراسان جنوبی و در مجاورت روستای سلم‌آباد، در حاشیه جاده بیرجند به زاهدان واقع شده است. محوطه باستانی کهنک نیز با مساحتی در حدود ۱۴ هکتار، در فاصله ۵۰ متری شرق روستای کهنک و در ارتفاع ۱۷۸۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است. مختصات جغرافیایی این محوطه "۲/۶۴۷' ۴۹° ۵۹" طول شرقی و "۱۲/۲۸۸۰' ۳۲' ۳۲° عرض شمالی می‌باشد (شکل ۱). در پژوهش حاضر، پتروگرافی سفالینه‌های باستانی سطحی این محوطه مورد بررسی قرار گرفته است. هدف از مطالعه، بررسی پتروگرافی و ماهیت ترکیب بدنه سفالینه‌های مورد نظر بدون در نظر گرفتن ماهیت انواع گل‌آبه، لعاب یا لایه‌های رنگی سطحی به منظور شناخت ترکیب اصلی و منشأ مواد خام افزوده شده به خاک رس اولیه و محل تولید آنهاست. نتایج این مطالعه، علاوه بر کاربرد در علوم باستان‌شناسی، به عنوان دستاورد یک مطالعه بین‌رشته‌ای (رشته زمین‌باستان‌شناسی) قابل استفاده خواهد بود.



شکل ۱. A) موقعیت جغرافیایی محوطه باستانی کهنک و راه های دستیابی به آن (برگرفته از فایل نقشه راه های ایران، سازمان نقشه برداری کشور)، B) تصویر ماهواره ای از محوطه مورد مطالعه در مجاورت روستای کهنک (برگرفته از نرم افزار Google Earth).

Figure 1. A) The geographical location of the ancient site of Kahnek and the ways to reach it (taken from the road map file of Iran, Mapping Organization of the country), B) Satellite image of the studied area in the vicinity of Kahnek village (taken from Google Earth software).

۲. مواد و روش ها

به منظور دستیابی به اهداف مطالعه، علاوه بر برداشت سفالینه های پراکنده شده در سطح محوطه کهنک سریشه، از خاک سطحی، قطعات گراولی پراکنده در محدوده مورد مطالعه، رسوبات دیواره کانال و قطعات گراولی رودخانه فصلی مجاور محوطه نمونه برداری صورت گرفته است. در تهیه مقاطع نازک میکروسکوپی از نمونه های سفالی جمع آوری شده، مواردی انتخاب شده است که فاقد لعاب یا گل آبه بوده، بدون هرگونه تزئین و با بافت درشت (خشن) تا متوسط قابل مشاهده اند و بیشترین حجم سفال های سطح محوطه را به خود اختصاص می دهند (شکل ۲). براساس مطالعات قبلی صورت گرفته این قطعات سفالی دارای فرم کاسه، خمره و کوزه بوده و از خاک رس به رنگ های قرمز، نخودی و گاهی سبزرنگ و دوده زده ساخته شده اند (فرجامی و محمودی نسب، ۱۳۹۹). در این مطالعه از ۷ نمونه سفالی (شکل ۲)، ۳ نمونه خاک سطحی محوطه (با اعماق به ترتیب ۱۰، ۲۰ و ۳۵ سانتی متری)، ۱۰ نمونه رسوب از



شکل ۲. نمونه‌های سفالی منتخب جهت مطالعه پتروگرافی.
Figure 2. Selected pottery samples for petrographic study.

دیواره کانال رودخانه و ۲۰ قطعه گراولی (پراکنده در سطح محوطه و قطعات گراولی رودخانه‌ای) مقطع نازک تهیه شده و توسط میکروسکوپ پلاریزان مدل Leitz Laborlux 11 Pol S در گروه زمین شناسی دانشگاه بیرجند مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌منظور برآورد درصد فراوانی اجزاء تشکیل‌دهنده سفالینه‌های مورد مطالعه از چارت‌های مقایسه‌ای فلوگل (۲۰۱۰) استفاده شده است. اندازه‌گیری قطر انکلوزیون‌ها و فضاهای خالی نیز بر مبنای طبقه‌بندی اودون-ونتورث صورت گرفته است.

۳. نتایج مطالعه پتروگرافی نمونه‌های محوطه باستانی کهنک

پتروگرافی مقاطع نازک سفال‌های باستانی با ماده‌ای که سفال از آن ساخته شده است، سر و کار دارد. در مطالعه پتروگرافی سفال اغلب بر شناخت ترکیب اصلی بدنه متمرکز شده و کمتر به ماهیت انواع گل‌آبه، لعاب و لایه‌های رنگ سطحی پرداخته می‌شود (کوبین، ۲۰۲۰). بخش عمده خمیره یا فابریک سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک در مقاطع نازک میکروسکوپی از سه جزء اصلی تشکیل شده است: ماتریکس رسی، انکلوزیون‌ها^۱ یا مواد افزودنی و حفره‌ها. ماتریکس رسی دربرگیرنده مواد غالب و به ظاهر بی‌نظم به رنگ‌های مختلف قرمز تا قهوه ای است و انکلوزیون‌ها به صورت ذرات و کانی‌های جدا شده از بدنه، درون ماتریکس هستند و حفره‌ها نیز منافذی می‌باشند که در آنها هیچ ماتریکس یا انکلوزیونی وجود ندارد. تفکیک خمیره‌ی سفال‌ها به این سه جزء اصلی، چارچوب مفیدی را برای مطالعه و تشخیص ترکیب آنها در زیر میکروسکوپ فراهم می‌کند. در جدول ۱ فراوانی اجزاء تشکیل‌دهنده خمیره‌ی سفالینه‌های مورد مطالعه ارائه شده است.

۳.۱. ماتریکس رسی

ترکیب اصلی خمیره‌ی سفالینه‌های باستانی مورد مطالعه، رس است. به‌دلیل کوچکی اندازه ماتریکس رسی، امکان مشاهده و مطالعه این ذرات در میکروسکوپ پلاریزان وجود ندارد. اندازه این ذرات کمتر از ۱۰ میکرون بوده و شامل ذرات ریز انکلوزیون، معمولاً کوارتز، میکا، کلسیت و ذرات مات کانی‌های رسی (غیر قابل شناسایی) می‌باشند (شکل ۳). فراوانی ماتریکس رسی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۱۶ تا ۴۸ درصد (به طور متوسط، ۳۵/۱ درصد) در تغییر است.

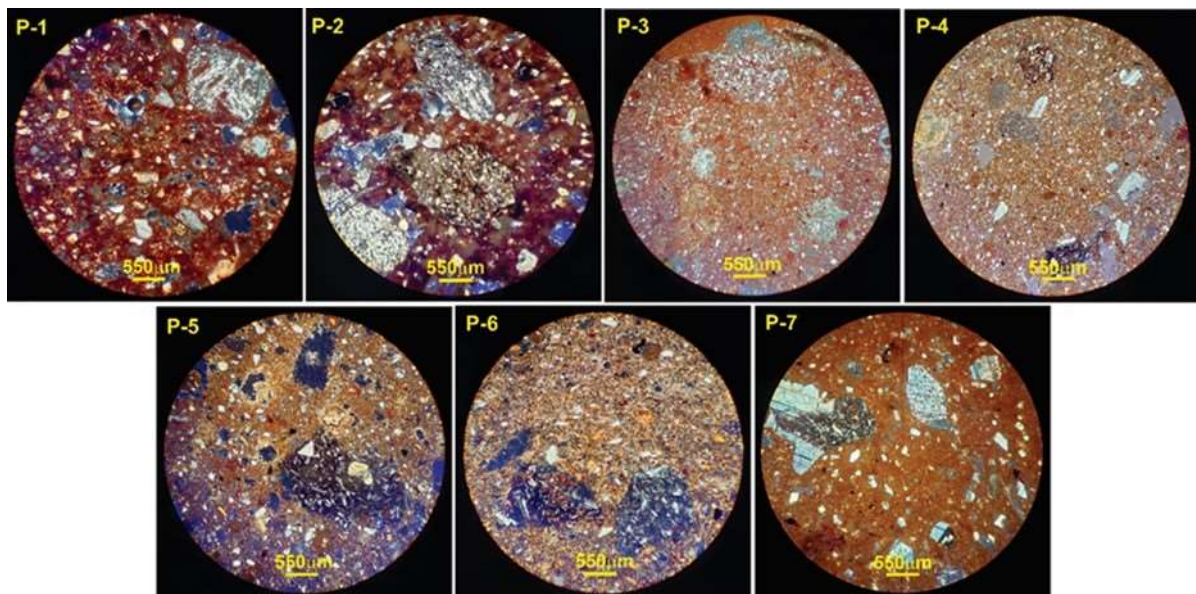
^۱ **Inclusions or Additive Materials** : ذرات مجزای بدنه یا خمیره سفال‌های باستانی و دیگر سرامیک‌ها هستند که معمولاً از فراوانی کمتری نسبت به ماتریکس رسی برخوردارند ولی حاوی بیشترین اطلاعات پتروگرافی در زیر میکروسکوپ پلاریزان، میکروسکوپ دوچشمی و عدسی دستی می‌باشند. قطعات کانی و سنگ رایج ترین نوع اینکلوزیون در سرامیک های باستانی هستند که اغلب آواری بوده و درون منابع رسی مورد استفاده برای تولید سرامیک حضور دارند (کوبین، ۲۰۲۰).

جدول ۱. اجزاء تشکیل دهنده خمیره‌ی سفالینه‌های محوطه کهنک و درصد فراوانی آنها.

Table 1. Components of the Kahnek Site pottery paste and their frequency percent.

Sample Number	Inclusions or Additive Minerals												Porosity	Matrix
	Q		F		RF			Heavy Minerals		Mica		Grog		
	Qm	Qp	K	P	VRF	SRF	MRF	Opaque	Transparent	Mus	Bio			
P-1	10	1	1	10	40	3	1	1	0	3	0	0	12	18
P-2	7	1	1	10	43	5	0	1	1	1	0	0	14	16
P-3	12	1	0	2	4	10	2	1	0	1	0	2	10	45
P-4	15	1	<1	2	27	0	0	1	0	3	0	0	8	42
P-5	7	1	0	5	20	0	0	1	0	1	0	0	17	48
P-6	10	1	0	2	35	4	0	3	1	2	2	0	10	30
P-7	12	1	<1	5	18	1	0	1	0	1	2	0	10	45

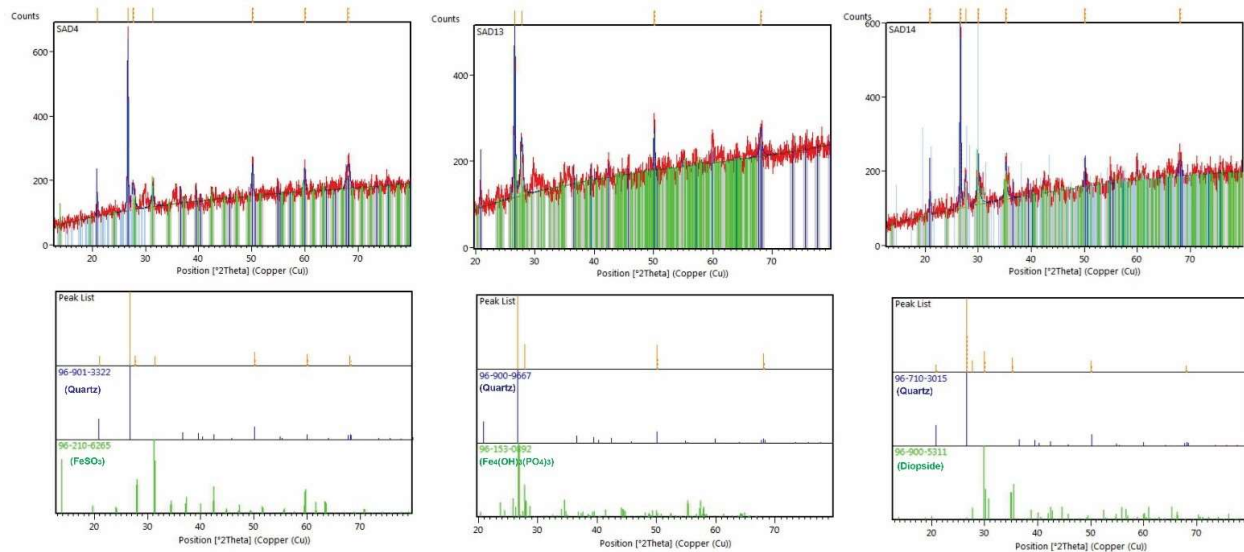
در اکثر نمونه‌های سفالی محوطه کهنک، که جزء سرامیک‌های بدنه گلی (ارتن‌ور) طبقه‌بندی می‌شوند و ماتریکس رسی انکلوژیون‌ها یا مواد افزودنی در اندازه‌های مختلف را به هم پیوند داده و مقدار حفره‌های داخل آن بیشتر است. رنگ ماتریکس در نمونه‌های فوق از قرمز نارنجی تا قرمز قهوه‌ای متغیر است. درجه همگنی و یکنواختی ماتریکس رسی همانند رنگ نمونه‌های سفالی مورد مطالعه، متفاوت است و در برخی نمونه‌ها بلورهای کلسیت در ابعاد مختلف در زمینه مشاهده می‌شود. بررسی نمونه‌ها در نور XPL نشان‌دهنده وجود رفتارها و فعالیت‌های نوری در ماتریکس رسی سفالینه‌های محوطه کهنک است. منظور از رفتار یا فعالیت‌های نوری، تغییرات درجه بیرفرژانس در بخش‌های مختلف ماتریکس رسی، در نور XPL است که حاوی اطلاعات فناورانه در مورد درجه حرارت و میزان پخت بدنه‌های سفالی مورد مطالعه است. داشتن فعالیت نوری در ماتریکس رسی این سفالینه‌ها دور از انتظار نبوده چرا که سفالینه‌های ارتن‌ور معمولاً درجه حرارت پخت پایین داشته و در اثر حرارت زیاد به حالت شیشه‌ای (ماتریکس شیشه‌ای شده معمولاً فاقد فعالیت نوری خواهد بود) درنیامده‌اند.



شکل ۳. تصاویر میکروسکوپی سفالینه‌های محوطه کهنک (نور XPL) که اجزاء تشکیل دهنده خمیره‌ی آنها، بویژه ماتریکس رسی در رنگ‌های مختلف قابل مشاهده است.

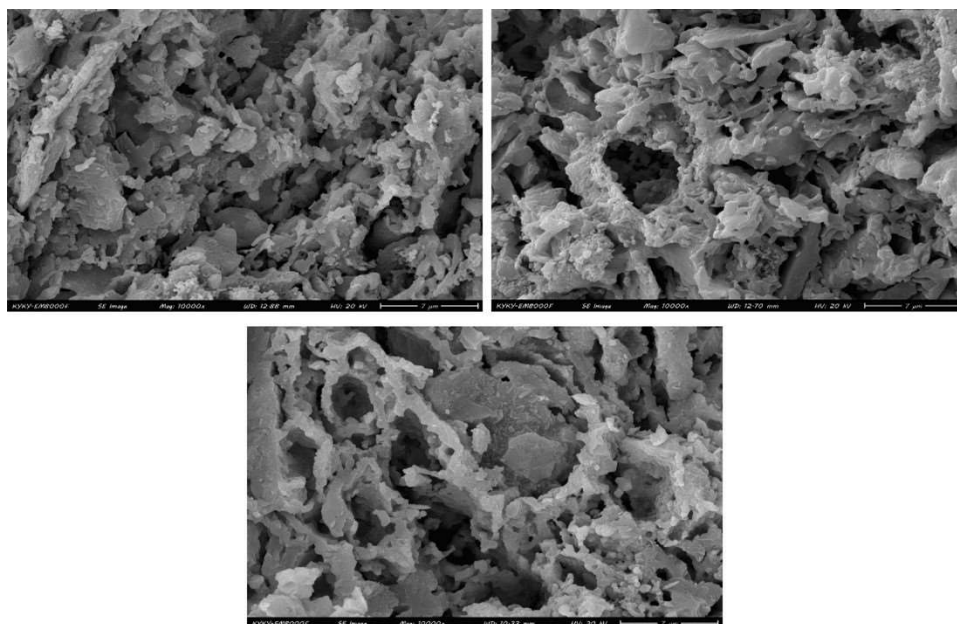
Figure 3. Microscopic images of the potteries of Kahnek Site (XPL light) where the constituents of their paste, especially the clay matrix, can be seen in different colors.

بررسی ماتریکس رسی نمونه‌های سفالی فوق به دو روش XRD و SEM فازهای اصلی کانی‌شناسی و ریزساختارهای موجود در این نمونه‌ها را آشکار ساخته است (شکل های ۴ و ۵). بر مبنای الگوی پراش اشعه ایکس در ۳ نمونه بررسی شده، فاز اصلی کانی‌شناسی کوارتز بوده و علاوه بر آن سولفیدها و هیدروکسی فسفات‌های آهن و دیوپسید نیز در این نمونه‌ها مشاهده شده است (شکل ۴).



شکل ۴. الگوی پراش ایکس مربوط به ماتریکس رسی سه نمونه سفالی محوطه باستانی کهنک.

Figure 4. XRD pattern of three pottery clay matrixes of the ancient Kahnek Site.



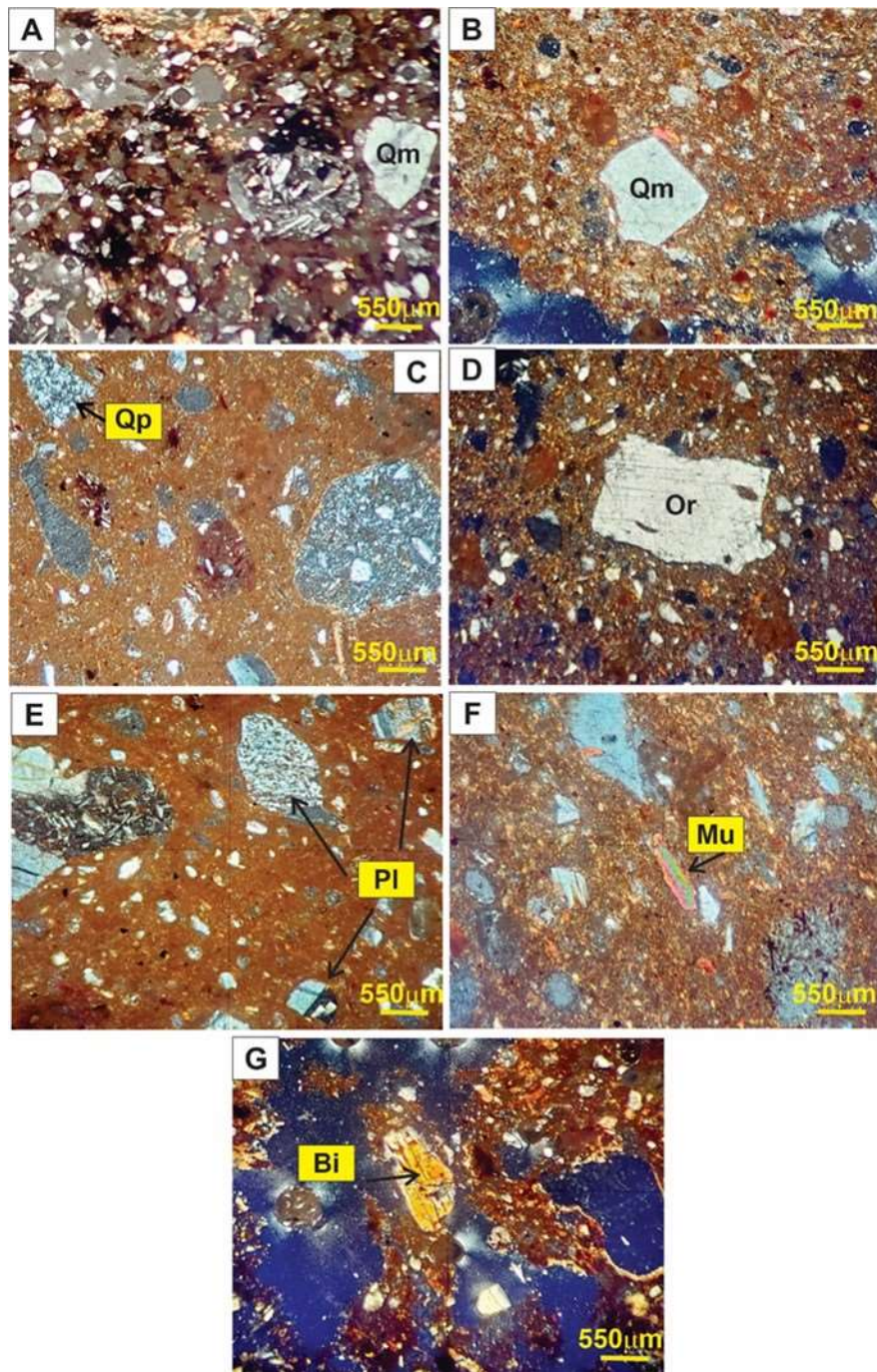
شکل ۵. تصاویر میکروسکوپ الکترونی از سفالینه‌های باستانی مورد مطالعه که ریزساختارهای موجود در ماتریکس رسی، اینکلوزیون‌ها و حفره‌ها به خوبی در آن قابل مشاهده است.

Figure 5. SEM images of the studied ancient potteries that are shown microstructures of clay matrix, inclusions and voids.

۳.۲. انکلوژیون‌ها یا مواد افزودنی

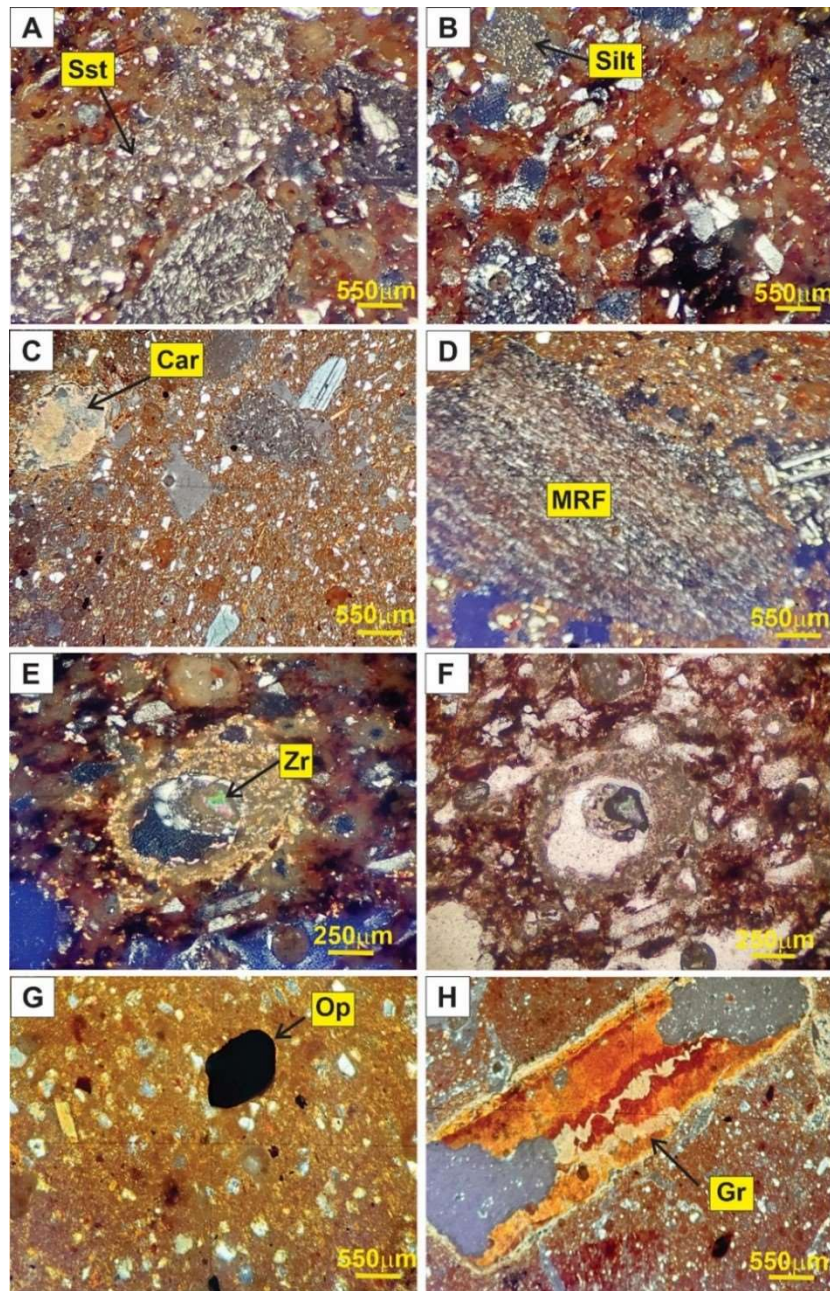
ذرات مجزای بدنه یا انکلوژیون‌ها اغلب شامل مواد متمایز و مشخصی از خمیره‌ی سفال‌های باستانی و دیگر سرامیک‌ها هستند که حاوی بیشترین اطلاعات پتروگرافی می‌باشند. در نتیجه، اغلب مطالعات تجزیه و تحلیل خمیره یا فابریک سرامیک‌ها بر روی آنها انجام می‌شود. این مواد از منابع مختلف منشأ گرفته و حاوی اطلاعاتی در مورد مواد اولیه، منشأ و فناوری ساخت سرامیک می‌باشند (کوین، ۲۰۲۰). انواع مختلف انکلوژیون‌های کانی که در سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک یافت شده است شامل انواع کوارتز (کوارتز تک‌بلور و چندبلور)، فلدسپات‌های پتاسیم‌دار (ارتوکلاز) و پلاژیوکلاز، خرده‌سنگ‌های سنگی شامل خرده‌سنگ‌های ولکانیکی (حدواسط و مافیک)، خرده‌سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگی، سیلتستونی و کربناته)، خرده‌سنگ‌های دگرگونی (فیلیتی)، میکاها (مسکویت و بیوتیت)، کانی‌های سنگین شفاف (زیرکان) و تیره (احتمالاً مگنتیت) و قطعات سفالی خرده شده یا گراگ^۱ است. معمولاً بافت سفالینه‌های باستانی براساس اندازه و فراوانی انکلوژیون‌ها یا مواد افزودنی تعریف می‌شود. به‌همین منظور، از طبقه‌بندی اودون-ونتورث جهت طبقه‌بندی اندازه انکلوژیون‌های موجود در سفال‌های مورد مطالعه استفاده شده است. اندازه انکلوژیون‌ها در نمونه‌های سفالی کهنک بسیار متغیر بوده و از ۵۵ تا ۳۸۵۰ میکرون (به طور متوسط، ۱۷۰۱ میکرون) در تغییر است. به‌عبارتی، در اکثر نمونه‌های سفالی، ذرات انکلوژیون درشت‌تر در زمینه‌ای دانه‌ریز قرار گرفته و دارای جورشدگی ضعیف هستند (شکل ۳). از بین نمونه‌های مورد مطالعه، سفال‌های P-1، P-2، P-5 و P-6 حاوی انکلوژیون‌های درشت در حد گرانول هستند و به‌همین دلیل در نمونه دستی نیز بافتی درشت‌دانه و خشن دارند، در حالیکه سفال‌های P-3 و P-4 حاوی انکلوژیون‌های در حد ماسه درشت می‌باشند که بافتی دانه‌ریزتر نسبت به گروه قبلی دارند. قطعات انکلوژیون از نظر شکل زاویه‌دار، نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده هستند و انکلوژیون‌های درشت هر نمونه، کرویت پایین‌تری نسبت به انکلوژیون‌های ریزتر آن دارند. شاید علت این امر این باشد که مواد افزودنی درشت‌تر طی ساخت خمیره رسی اولیه سفال، به‌صورت رسوبی با بافت متفاوت و توسط سفالگر به آن اضافه شده‌اند. درصد فراوانی انکلوژیون‌ها یا مواد افزودنی در سفالینه‌های مورد بحث بین ۳۵ تا ۷۶ درصد (به طور میانگین، ۵۱ درصد) می‌باشد. کوارتز تک‌بلور (پلوتونیک و ولکانیکی) با فراوانی ۷ تا ۱۵ درصد (با میانگین، ۱۰/۵ درصد)، کوارتز چندبلور (دگرگونی تبلور مجدد) با فراوانی حدود ۱ درصد، فلدسپات پتاسیم‌دار (ارتوکلاز) با فراوانی ۰ تا ۱ درصد (متوسط، ۰/۵ درصد)، پلاژیوکلاز با فراوانی ۲ تا ۱۰ درصد (میانگین ۵/۱ درصد)، خرده‌سنگ‌های آذرین ولکانیکی (حدواسط و مافیک) با فراوانی ۴ تا ۴۳ درصد (با میانگین ۲۶/۷ درصد)، خرده‌سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگی، سیلتستونی و کربناته) با فراوانی ۰ تا ۱۰ درصد (به طور متوسط، ۳/۲ درصد)، خرده‌سنگ‌های دگرگونی (فیلیتی) با فراوانی ۰ تا ۲ درصد (متوسط ۰/۴ درصد)، کانی‌های سنگین تیره یا اپاک (مگنتیت) با فراوانی ۱ تا ۳ درصد (متوسط ۱/۲ درصد)، کانی‌های سنگین شفاف با فراوانی ۰ تا ۱ درصد (متوسط ۰/۲ درصد)، میکای مسکویت با فراوانی ۱ تا ۳ درصد (متوسط ۱/۷ درصد)، میکای بیوتیت با فراوانی ۰ تا ۲ درصد (با میانگین ۰/۵ درصد) و گراگ یا خرده‌سنگ‌های سفال به مقدار ۲ درصد (تنها در نمونه P-3) قابل مشاهده است. تصاویر میکروسکوپی انکلوژیون‌های موجود در خمیره سفال‌های مورد مطالعه در شکل‌های ۶، ۷ و ۸ آورده شده است. همانطور که در شکل ۸ مشخص است، تنوع بالای خرده‌سنگ‌های آذرین ولکانیکی (حدواسط و مافیک) با فراوانی بیشتر نسبت به انواع دیگر انکلوژیون، در این نمونه‌ها قابل تأمل است. خرده‌سنگ‌های ولکانیکی یافت شده در نمونه‌های مورد مطالعه شامل قطعات سنگی حدواسط آندزیت و آندزیت بازالتی و انواع مافیک بازالتی است (شکل ۸). در برخی نمونه‌های کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌های آذرین به صورت منفرد نظیر کانی‌های پلاژیوکلاز با بافت غربالی، پیروکسن، هورنبلند و بیوتیت‌های درشت بلور نیز یافت شده است (شکل ۸).

^۱ Grog



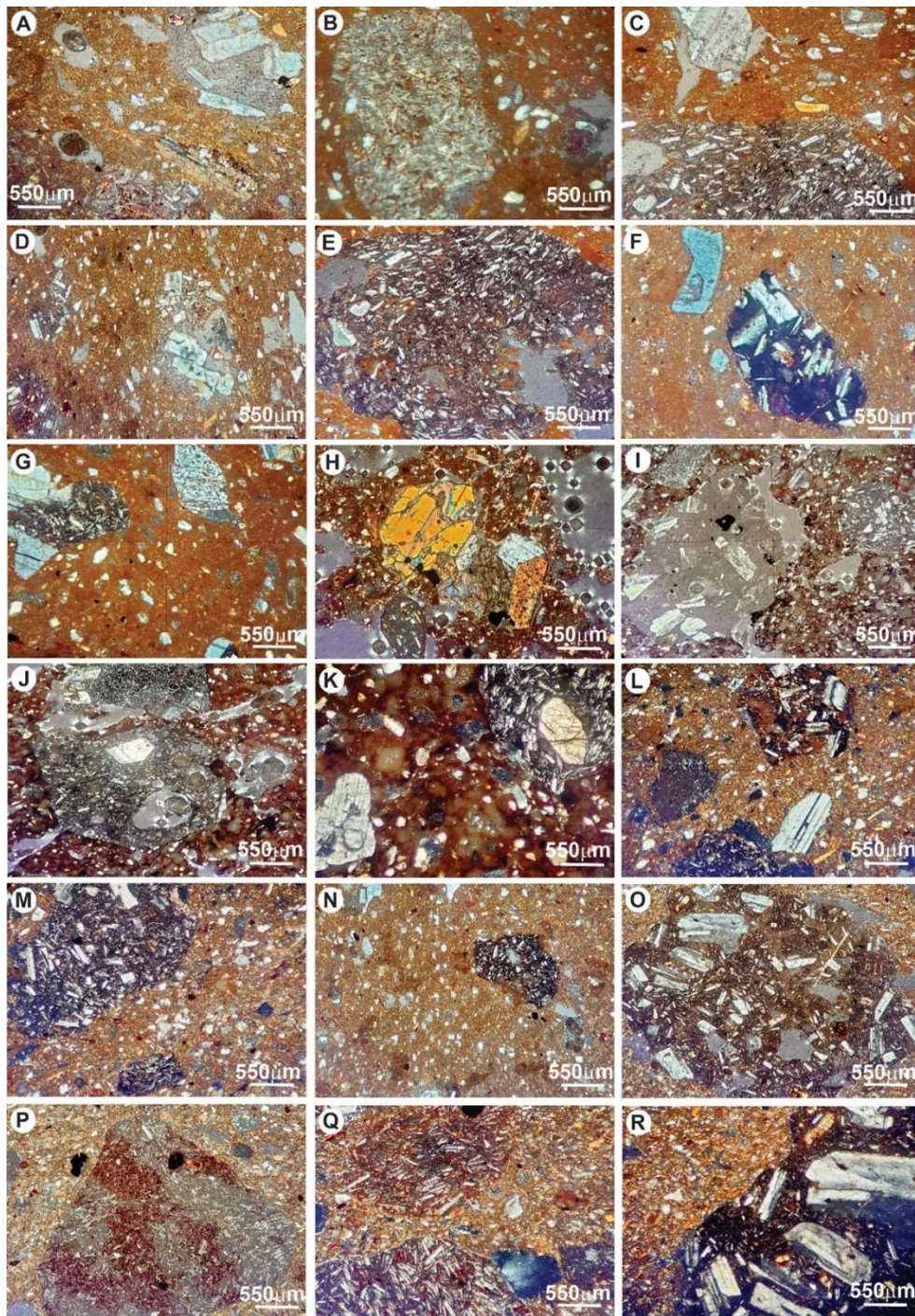
شکل ۶. تصاویر میکروسکوپی (XPL) از انواع انکلوزیون‌های تشکیل‌دهنده سفالینه‌های مورد مطالعه، A) کوارتز تک بلور پلوتونیک (Qm)، B) کوارتز تک بلور ولکانیک (Qm)، C) کوارتز چند بلور دگرگونی تبلور مجدد (Qp)، D) فلدسپات ارتوکلاز (Or)، E) فلدسپات پلاژیوکلاز (Pl)، F) میکای مسکویت (Mu) و G) میکای بیوتیت (Bi).

Figure 6. Microscopic images (XPL) of the inclusion types that make up the studied potteries, A) Plutonic monocrystalline quartz (Qm), B) Volcanic monocrystalline quartz (Qm), C) Metamorphic recrystallized polycrystalline quartz (Qp), D) Orthoclase feldspar (Or), E) plagioclase feldspar (Pl), F) muscovite mica (Mu) and G) Biotite mica (Bi).



شکل ۷. تصاویر میکروسکوپی انکلوژیون‌های سفالینه‌های مورد مطالعه (همه تصاویر به غیر از تصویر F در نور XPL عکسبرداری شده است).
 (A) خرده‌سنگ رسوبی ماسه‌سنگی (Sst)، (B) خرده‌سنگ رسوبی سیلتستونی (Silt)، (C) خرده‌سنگ رسوبی کربناته (Car)، (D) خرده‌سنگ
 دگرگونی فیلیتی (MRF)، (E) کانی سنگین زیرکان (Zr)، (F) همان تصویر در نور PPL، (G) کانی سنگین تیره (Op) و (H) گراگ یا خرده
 سفال (Gr).

Figure 7. Microscopic images of the studied potteries inclusions (all images were photographed in XPL light except image F), A) Sandstone sedimentary rock fragment (Sst), B) Siltstone sedimentary rock fragment (Silt), C) Carbonate sedimentary rock fragment (Car), D) Phyllitic metamorphic rock fragment (MRF), E) Zircon heavy mineral (Zr), F) same image in PPL light, G) Opaque heavy mineral (Op) and H) Grog or pottery shard (Gr).



شکل ۸. تنوع و فراوانی انواع خرده‌سنگ‌های ولکانیکی (حدواسط و مافیک) در سفالینه‌های محوطه کهنک (نور XPL). قطعات ولکانیکی با ترکیب حدواسط شامل قطعات آندزیتی (تصاویر A, B, C, D, E, I, J, M, N, O, Q) و آندزیت بازالتی (تصاویر K, L, G, R) است و قطعات ولکانیکی مافیک شامل خرده‌سنگ‌های بازالتی (تصاویر H, F, P) است.

Figure 8. Diversity and abundance of volcanic igneous rock fragments (intermediate and mafic) in the potteries of Kahnek site (XPL light). Intermediate volcanic igneous fragments include andesite (A, B, C, D, E, I, J, M, N, O, Q) and basaltic andesite (K, L, G, R) fragments and mafic volcanic fragments include basaltic fragments (H, F, P).

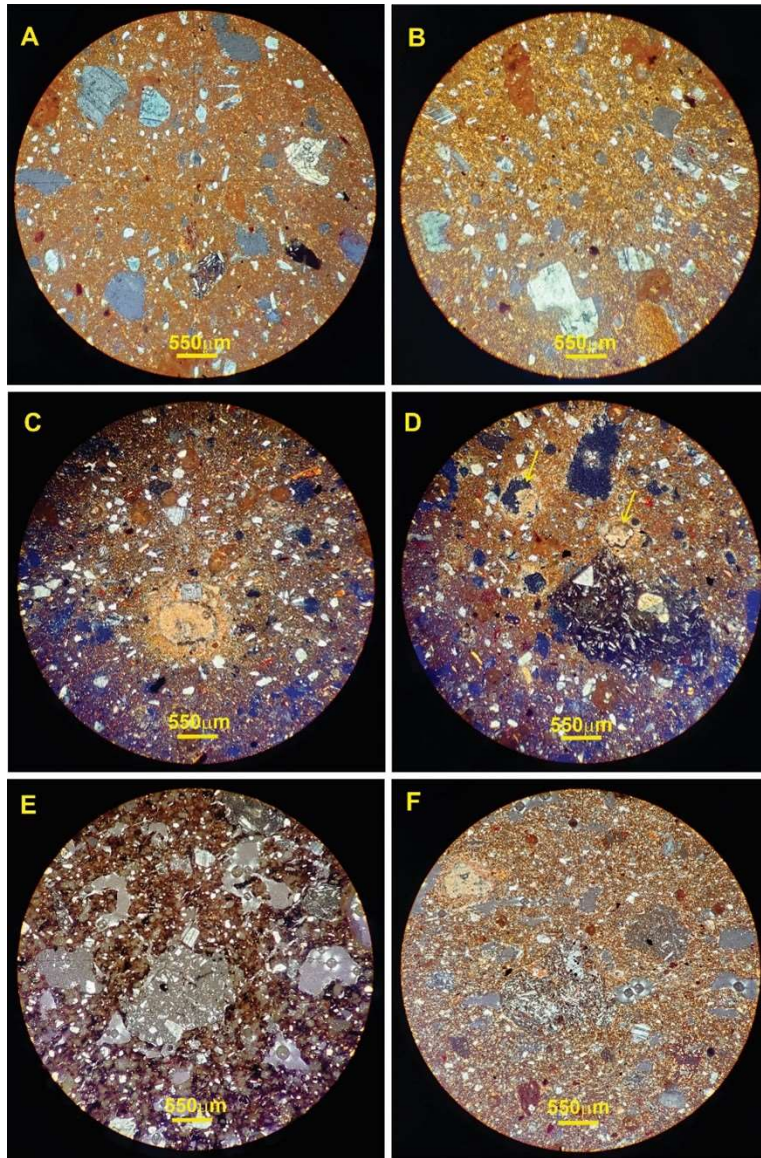
۳.۳. حفره‌ها یا فضاهای خالی

منافذ جزء ویژگی‌های اساسی سرامیک‌ها هستند و بر خواص فیزیکی خاصی مانند وزن، مقاومت، هدایت حرارتی، نفوذپذیری و عایق بودن تأثیر می‌گذارند. حفره‌ها معمولاً تابع انکلوژیون‌های مشخص و میزان ماتریکس رسی بوده و اطلاعات مفیدی در تفسیر منشأ و فناوری سرامیک ارائه می‌کنند (کویین، ۲۰۲۰). در مقاطع نازک مورد مطالعه منافذ از نظر شکل و اندازه و براساس معیارهای موجود توصیف شده‌اند. در سفال‌های ارتن‌ور میزان تخلخل به‌طور معمول کمتر از ۳۰ درصد است (کویین، ۲۰۲۰). فراوانی فضاهای خالی در نمونه‌های سفالی منطقه مورد مطالعه از ۸ تا ۱۷ درصد (به‌طور میانگین ۱۱/۶ درصد) در تغییر است که با این مشخصه سفال‌های ارتن‌ور مطابقت دارد (شکل ۹). براساس استانداردهای موجود حفرات سرامیک‌های باستانی بر مبنای اندازه، در چهار گروه طبقه‌بندی می‌شوند: حفرات ریز ($0/05 <$ میلی‌متر)، حفرات متوسط (بین $0/05$ تا $0/5$ میلی‌متر)، حفرات درشت ($0/5$ تا 2 میلی‌متر) و حفرات بزرگ (> 2 میلی‌متر) (کویین، ۲۰۲۰). اندازه فضاهای خالی در هر یک از نمونه‌های سفالی محوطه کهنک بسیار متفاوت است، به طوری که اندازه حفرات از محدوده متوسط تا درشت در تغییر بوده و در نمونه‌های فوق یکنواختی در اندازه حفرات مشاهده نشده است (شکل ۹). البته در نمونه سفال P-5 یکنواختی در اندازه حفرات مشاهده شده و اغلب حفرات با اندازه $0/110$ تا $0/165$ میلی‌متر، در محدوده حفرات با اندازه متوسط قرار می‌گیرند. به‌طور کلی، اندازه حفرات در مقاطع نازک مورد مطالعه از $0/110$ تا $0/825$ میلی‌متر (به‌طور متوسط $0/345$ میلی‌متر) در تغییر است و اکثر حفرات در محدوده حفرات متوسط تا درشت طبقه‌بندی می‌شوند. بر اساس معیارهای تعیین شده، منافذ سفال از نظر شکل به سه نوع، حفرات کروی، دووجهی یا وزیکول، حفرات نازک و بلند یا کانال و حفرات نامنتظم یا روزن طبقه‌بندی می‌شوند (کویین، ۲۰۲۰). در سفالینه‌های محوطه کهنک اکثر حفرات از نظر شکل به صورت نامنتظم (یا روزن) هستند و هیچ‌گونه جهت‌یابی خاصی نسبت به لبه‌های قطعه سفال یا ماتریکس و انکلوژیون‌های موجود در آن نشان نمی‌دهند. در برخی حفرات و فضاهای خالی پرشدگی کامل توسط کلسیت و در برخی تنها در حاشیه دیواره حفره‌ها بلورهای کلسیت مشاهده شده است.

۴. نتایج مطالعه پتروگرافی نمونه‌های خاک، قطعات گراولی و رسوبات رودخانه‌ای مجاور محوطه باستانی کهنک

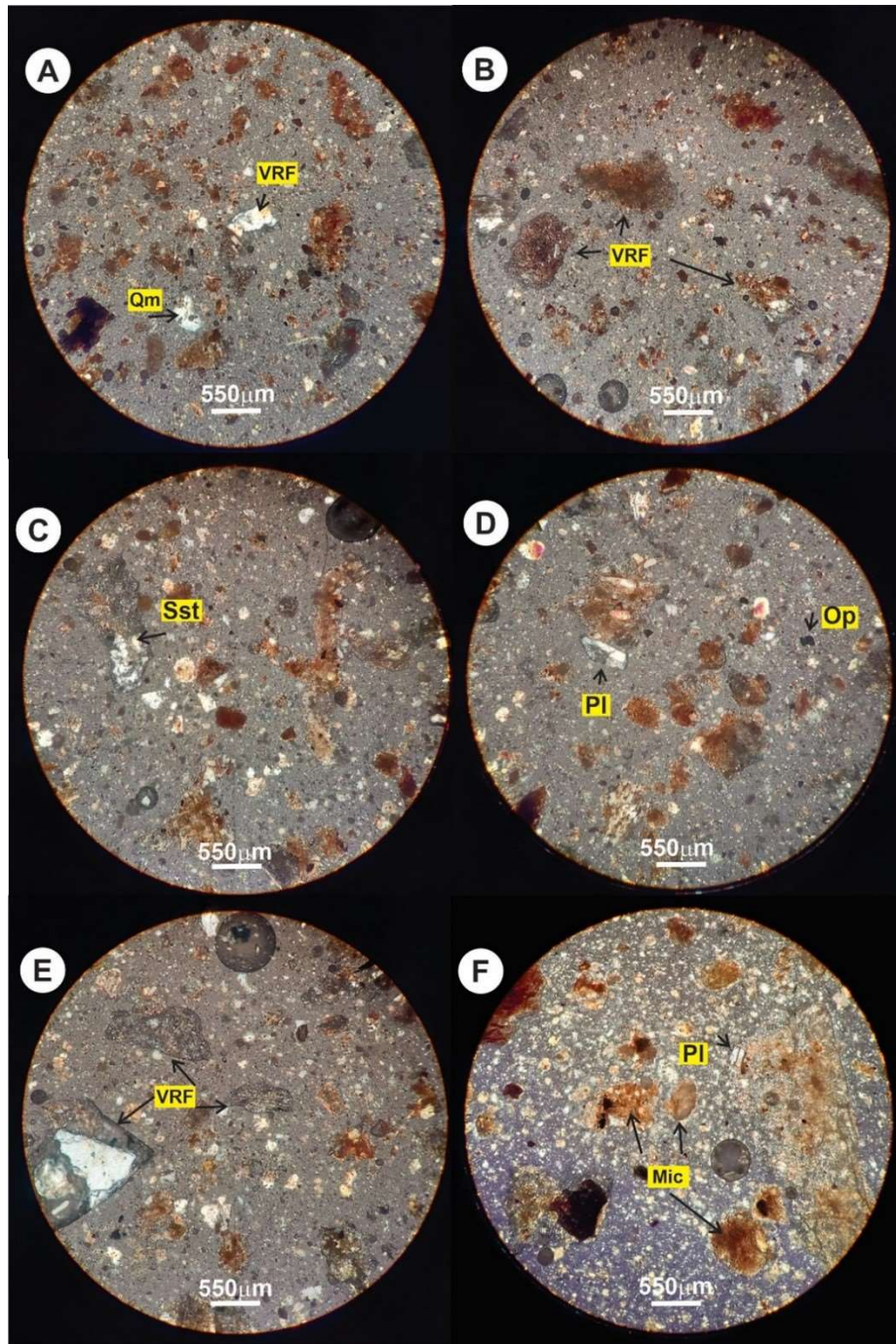
به‌منظور بررسی نحوه ارتباط ترکیب اجزاء تشکیل‌دهنده سفالینه‌های محوطه کهنک با مناطق مجاور آن، ترکیب اجزاء این رسوبات در سه محدوده مجزا مطالعه شده است: ۱) نمونه‌های خاک محوطه، با اعماق برداشت ۱۰، ۲۰ و ۳۵ سانتی‌متری از سطح محوطه، ۲) قطعات گراولی پراکنده در سطح و محیط اطراف محوطه، ۳) قطعات گراولی و رسوبات ماسه‌ای دیواره کانال رودخانه مجاور محوطه (موقعیت رودخانه مجاور محوطه کهنک، بر روی تصویر ماهواره‌ای شکل ۱۸ مشخص می‌باشد). مطالعه پتروگرافی مقاطع نازک مربوط به سه نمونه خاک محوطه، بعد از آماده‌سازی آنها به روش غربال کردن، نشان می‌دهد که اجزاء اصلی تشکیل‌دهنده این نمونه‌ها شامل کوارتز تک‌بلور، پلاژیوکلاز، خرده‌سنگ‌های ولکانیکی، قطعات میکریتی کربناته، خرده‌سنگ‌های رسوبی ماسه‌سنگی و کانی‌های سنگین تیره (احتمالاً مگنتیت) می‌باشند (شکل ۱۰) که فراوانی کوارتز تک‌بلور و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی نسبت به سایر اجزاء بیشتر است. بررسی میکروسکوپی ۲۰ قطعه گراولی پراکنده در سطح و اطراف محوطه و قطعات گراولی رودخانه‌ای نیز نشان می‌دهد که این قطعات از سنگ‌های آذرین ولکانیکی با ترکیب حدواسط و مافیک (برخی نمونه‌ها دگرسان شده‌اند) نظیر آندزیت، پیروکسن آندزیت، آندزیت بازالتی با بافت گلمروپورفیری و پلاژیوکلازهای با بافت غربالی، بازالت و قطعات سنگی رسوبی مثل آهک ماسه‌ای تشکیل شده‌اند (شکل‌های ۱۱ و ۱۲) که از واحدهای زمین‌شناسی اطراف منطقه مورد مطالعه مشتق شده و توسط عوامل حمل و نقل به این مکان منتقل شده‌اند. از ۲۰ قطعه گراولی مطالعه شده حدود ۱۸ گراول، قطعات سنگ‌های ولکانیکی حدواسط و مافیک (۹۰ درصد قطعات) و تنها دو قطعه از سنگ‌های رسوبی (۱۰ درصد قطعات) هستند. مشاهدات میکروسکوپی ۱۰ نمونه رسوب رودخانه‌ای، که ابتدا غربال شده و بعد برای تهیه مقطع نازک آماده شده است، نشان می‌دهد که ذرات تشکیل‌دهنده این رسوبات آواری نیز شامل کوارتز تک‌بلور ولکانیکی و پلوتونیک، کوارتز چندبلور دگرگونی تبلور مجدد، فلدسپات پتاسیم‌دار ارتوکلاز، پلاژیوکلازهای بعضاً با بافت غربالی، خرده‌سنگ‌های آذرین ولکانیکی حدواسط و مافیک و قطعات کانی‌هایی مثل پیروکسن، الیوین و قطعات آذرین سرپانتینی شده،

خرده‌سنگ‌های رسوبی کربناته، ماسه‌سنگی و سیلتستونی، میکاهای مسکویت و بیوتیت و کانی‌های سنگین تیره (احتمالاً مگنتیت) می‌باشند (شکل ۱۳). کوارتز تک‌بلور، خرده‌سنگ‌های آذرین حدواسط و ولکانیکی و فلدسپات پلاژیوکلاز در این نمونه‌ها از فراوانی بیشتری نسبت به ذرات دیگر برخوردار هستند.



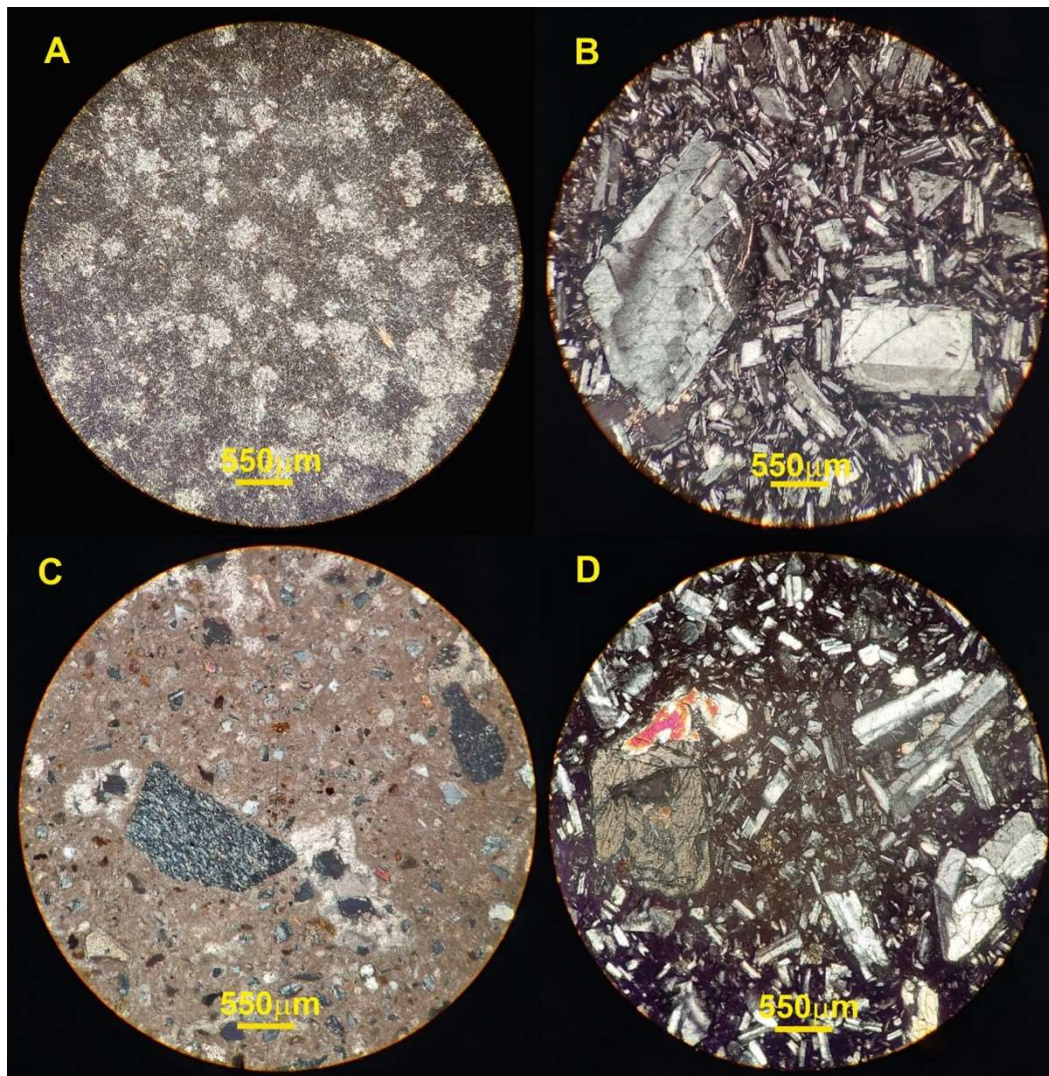
شکل ۹. تصاویر میکروسکوپی از فراوانی و تنوع فضاهای خالی در سفال‌های محوطه کهنک (نور XPL)، (A) روزن‌ها یا منافذ نامنتظم غیر یکنواخت با اندازه درشت تا متوسط، (B) روزن‌ها یا منافذ نامنتظم غیر یکنواخت با اندازه درشت تا متوسط، (C) حفرات نامنتظم یا روزن‌های تقریباً یکنواخت با اندازه متوسط، (D) پرشدگی منافذ سفال به صورت کامل و جزئی توسط بلورهای کلسیت که احتمالاً در طی دفن نمونه انجام شده است، (E و F) درصد فراوانی بالای فضاهای خالی در برخی نمونه‌های مورد مطالعه.

Figure 9. Microscopic images of the abundance and variety of pore spaces in the Kahnek site potteries (XPL light), A) Irregular non-uniform vughs or pores with coarse to medium size, B) Irregular non-uniform pores or pores with coarse to medium size, C) Irregular uniform vughs with medium-sized, D) Full and partial filling of pottery pores by calcite crystals, which was probably done during the burial of the sample, E and F) High frequency percent of pore spaces in some studied samples.



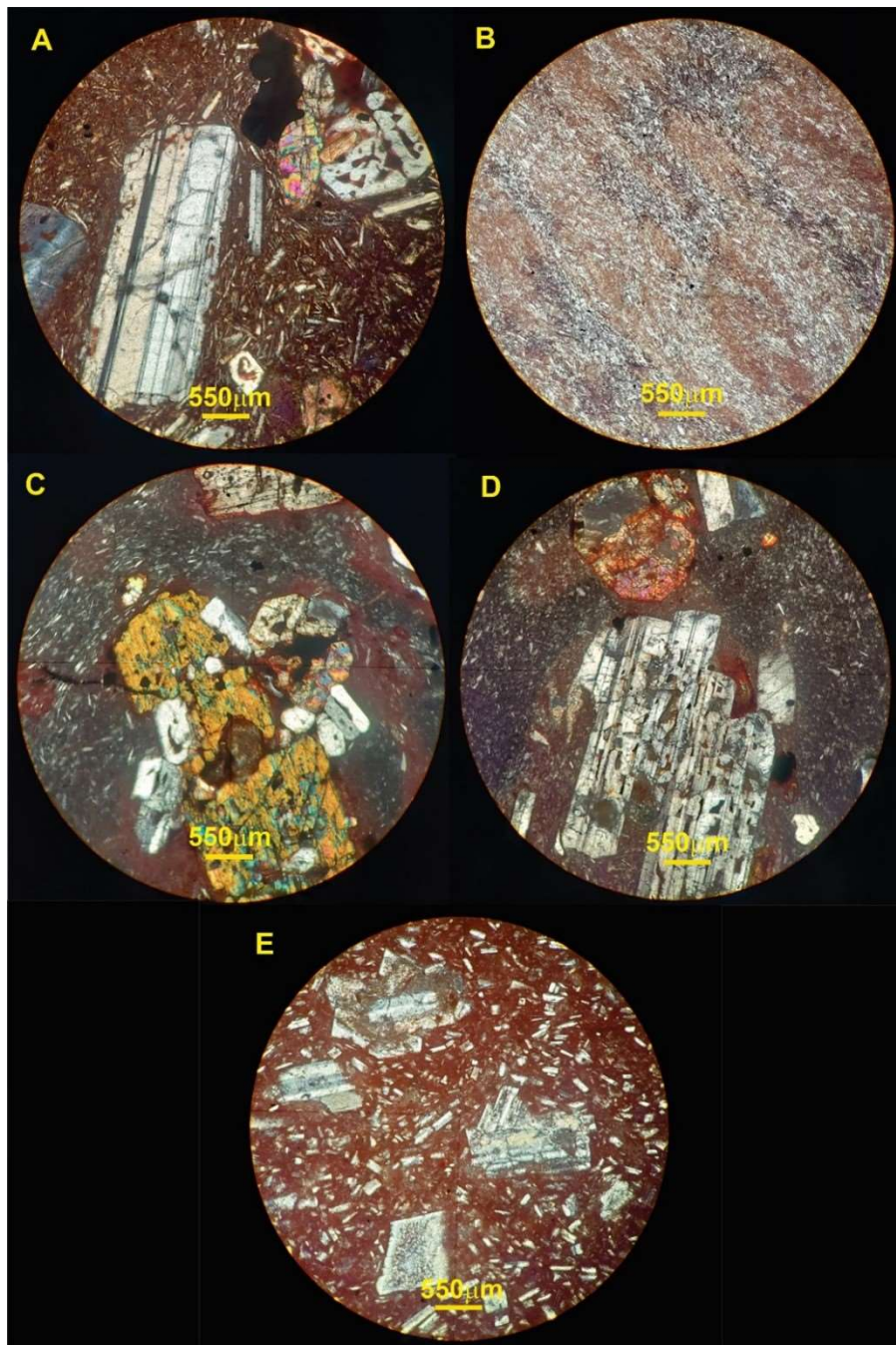
شکل ۱۰. تصاویر میکروسکوپی (نور XPL) از اجزاء تشکیل‌دهنده نمونه‌های خاک سطحی محوطه کهنک. کوارتز تک‌بلور (Qm)، کوارتز چند-بلور (Qp)، پلاژیوکلاز (Pl)، خردسنگ‌های ولکانیکی حدواسط و مافیک (VRF)، خردسنگ رسوبی ماسه‌سنگی (Sst) و قطعات میکریتی کربناته (Mic) در تصاویر مشخص شده است.

Figure 10. Microscopic images (XPL light) of the surface soil samples constituents of Kahnek site. Monocrystalline quartz (Qm), polycrystalline quartz (Qp), plagioclase (Pl), intermediate and mafic volcanic rock fragments (VRF), sandstone sedimentary rock fragments (Sst) and carbonate micritic fragments (Mic) are identified in the images.



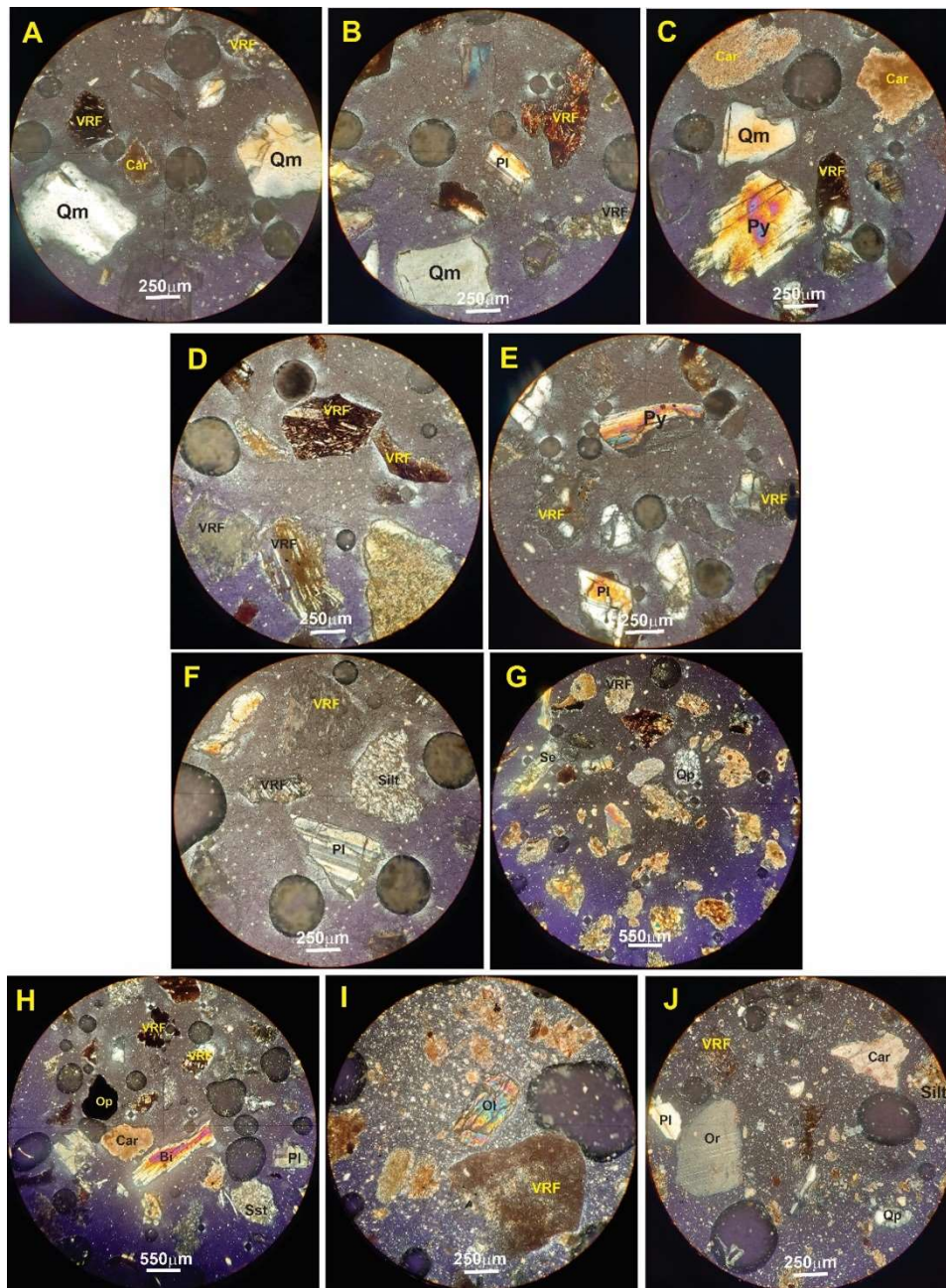
شکل ۱۱. تصاویر میکروسکوپی (XPL) قطعات گراولی پراکنده در اطراف محوطه و دیواره کانال رودخانه مجاور محوطه. (A) سنگ ولکانیکی دگرسان شده (احتمالاً شیشه آتشفشانی)، (B) آندزیت، (C) آهک ماسه‌ای همراه با خرده‌سنگ‌های ولکانیکی و دگرگونی، (D) آندزیت.

Figure 11. Microscopic images (XPL) of gravel fragments scattered around the site and the river channel wall adjacent to the site. A) Altered volcanic rock (probably volcanic glass), B) Andesite, C) Sandy limestone with volcanic and metamorphic rock fragments, D) Andesite.



شکل ۱۲. تصاویر میکروسکوپی (XPL) قطعات گراولی پراکنده در اطراف محوطه و دیواره کانال رودخانه مجاور محوطه. (A) آندزیت بازالتی، (B) بازال، (C) پیروکسن آندزیت با بافت گلمروپورفیری همراه با پلاژیوکلازهای با بافت غربالی، (D) آندزیت با پلاژیوکلازهای با بافت غربالی، (E) آندزیت.

Figure 12. Microscopic images (XPL) of gravel fragments scattered around the site and the river channel wall adjacent to the site. A) Basaltic andesite, B) basalt, C) Pyroxene andesite with glomeroporphyry texture along with sieve-textured plagioclase, D) Andesite with sieve-textured plagioclase, E) andesite.



شکل ۱۳. تصاویر میکروسکوپی (XPL) از اجزاء تشکیل دهنده نمونه‌های رسوب رودخانه مجاور محوطه کهنک. این قطعات شامل کوارتز تک‌بلور (Qm)، کوارتز چندبلور (Qp)، پلاژیوکلاز (Pl)، ارتوکلاز (Or)، قطعات الیوین (Ol)، پیروکسن (Py)، خرده‌سنگ‌های ولکانیکی (VRF) و آذرین سرپانتینی شده (Se)، خرده‌سنگ‌های رسوبی ماسه‌سنگی (Sst)، سیلتستونی (Silt) و کربناته (Car)، بیوتیت (Bi) و کانی‌های سنگین تیره (Op).

Figure 13. Microscopic images (XPL) of the constituents of the river sediment samples near the Kahnek area, these particles include monocrystalline quartz (Qm), polycrystalline quartz (Qp), plagioclase (Pl), orthoclase (Or), olivine fragments (Ol), pyroxene (Py), volcanic (VRF) and serpentinized igneous rock fragments (Se), sedimentary sandstone (Sst), silt and carbonate rock fragments (Car), biotite (Bi) and opaque heavy minerals (Op).

۵. بحث

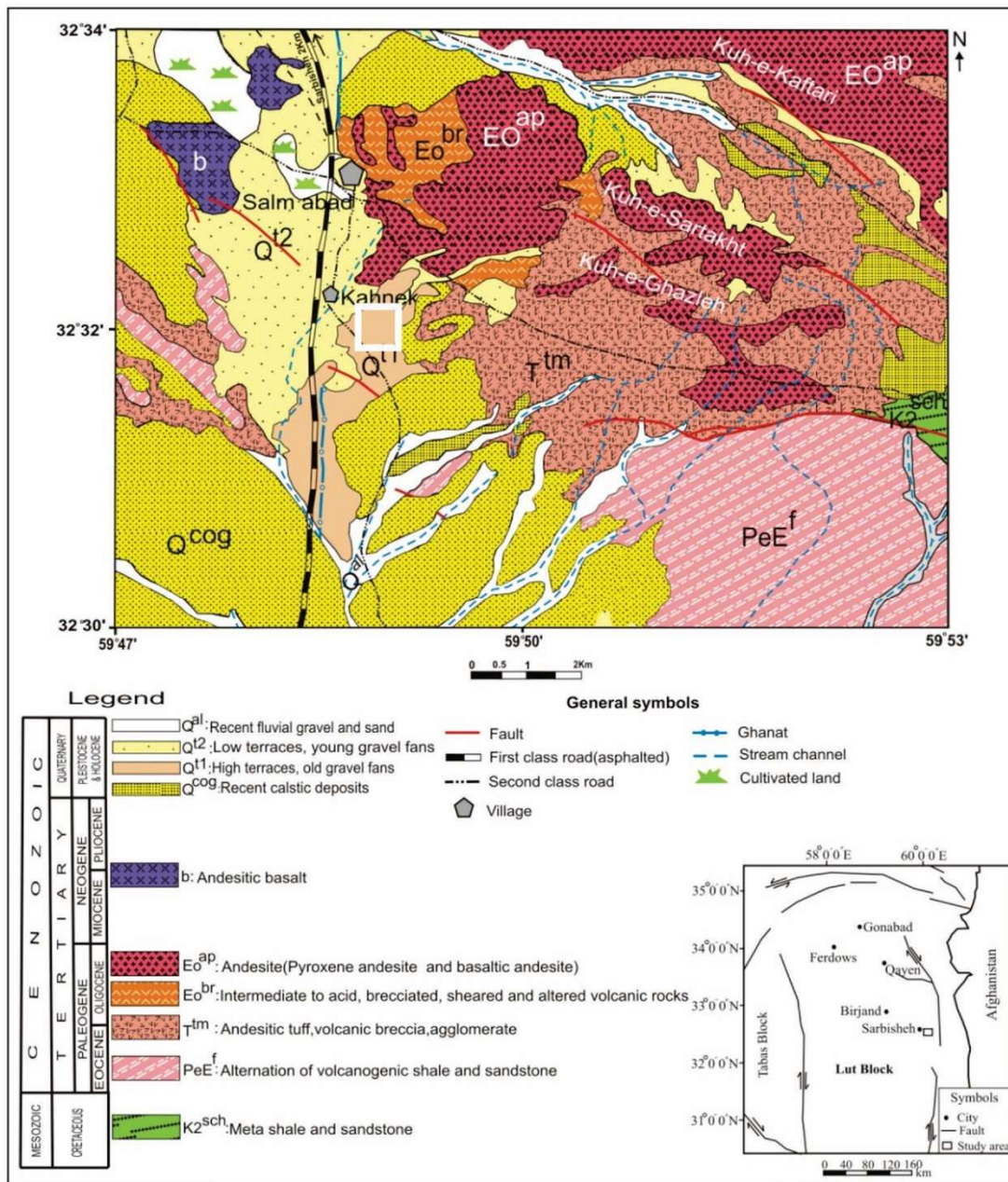
۵.۱. موقعیت زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه

منشأ مصنوعات مانند قطعات سرامیکی یا یک ظرف سفالین، ناظر بر محل تولید یا ساخت آن اثر است. انتقال سرامیک‌های باستانی از محل تولید خود به محلی که در آن کشف شده‌اند ناشی از طیف وسیعی از فعالیت‌های انسان از قبیل تجارت، تبادل، توزیع، مهاجرت و کوچ گروهی بوده است. از این‌رو، با تعیین منشأ آثار سرامیکی می‌توان به اطلاعات مهمی در زمینه‌های آشنایی با این فرآیندهای تعاملی و پاسخ پرسش‌های عدیده در مورد جوامع گذشته، دست یافت. منشأ آثار سرامیکی را می‌توان از روی ویژگی‌های ماکروسکوپی (رهیافت‌های گونه‌شناسانه) و تحلیل‌های ترکیبی سرامیک‌ها (مطالعات پتروگرافی مقاطع نازک و ژئوشیمی کلی) تفسیر کرد. در تحلیل‌های ترکیبی سرامیک‌ها به موضوع منشأ از طریق بررسی رابطه بین خمیره سفال و محیط زمین‌شناختی پرداخته می‌شود. رهیافت‌های گونه‌شناسانه (بررسی شکل ظاهری، تغییرات سطحی و سبک‌های تزئینی) و ترکیبی هر دو به دنبال تعریف الگوی جغرافیایی مجموعه سرامیک‌ها و استفاده از این الگوها برای ردیابی فرآیند جابه‌جایی مصنوعات سفالین از محلی به محل دیگر هستند (کویین، ۲۰۲۰). در مطالعه پتروگرافی سفالینه‌های محوطه باستانی کهنک نیز هدف تعیین ویژگی‌های زمین‌شناختی مصنوعات سرامیکی و ماهیت مواد خام به کار رفته در ساخت آنها است. از آنجایی که محتمل‌ترین اطلاعات مربوط به محل تولید در فابریک سرامیک‌های باستانی مورد مطالعه در کانی‌ها و انکلوژیون‌های سنگی آن نهفته است، تفسیر زمین‌شناسی منشأ مواد خام این سفال‌ها، از طریق شناسایی آنها صورت گرفته است. به کمک این اطلاعات می‌توان خمیره سفالینه‌های محوطه کهنک را به منابع طبیعی موجود در منطقه مورد مطالعه یا مناطق خارج از آن نسبت داد. بدین‌منظور، زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفته و بین ترکیب انکلوژیون‌ها و مواد افزودنی یافت شده در مقاطع میکروسکوپی مورد مطالعه و واحدهای زمین‌شناسی اطراف محوطه ارتباط برقرار شده است. از دیدگاه تقسیم‌بندی واحدهای رسوبی-ساختاری ایران، منطقه مورد مطالعه در جنوب شهرستان سربیشه، در حاشیه شرقی بلوک لوت (جانگ و همکاران، ۱۹۸۳؛ نظری و سلامتی، ۱۹۹۹؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱؛ ارجمندزاده و همکاران، ۲۰۱۱؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۲؛ ریچاردز و همکاران، ۲۰۱۲) و در حد فاصل زون زمین‌درز سیستان (کمپ و گریفیس، ۱۹۸۲؛ تیرو و همکاران، ۱۹۸۳؛ ساکانی و همکاران، ۲۰۱۰؛ پانگ و همکاران، ۲۰۱۲) واقع شده است. فعالیت ماگمایی در بلوک لوت در ژوراسیک میانی آغاز شده (کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱) و در ترشیری به اوج خود رسیده است (جانگ و همکاران، ۱۹۸۳؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌عمیق ترشیری بیش از نیمی از بلوک لوت را با ضخامت بیش از ۲۰۰۰ متر پوشانده و در پی فرورانش، پیش از برخورد صفحه‌های عربی و آسیا پدید آمده است (بربریان و همکاران، ۱۹۸۲؛ کمپ و گریفیس، ۱۹۸۲؛ تیرو و همکاران، ۱۹۸۳؛ کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱). در بخش‌های شمالی بلوک لوت، سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی همراه با داسیت و ریوداسیت‌ها، طی فاصله زمانی ۵۰ میلیون سال از کرتاسه تا نئوژن زیرین، فوران کرده است. به نظر می‌رسد که شدت فعالیت‌های آتشفشانی در این مدت به میزان قابل‌توجهی متغیر بوده است (جانگ و همکاران، ۱۹۸۳). در بخش‌های شرقی روستای سلم‌آباد، در جنوب سربیشه، رخنمون قابل‌توجهی از فعالیت‌های آتشفشانی ترشیری (ائوسن-الیگوسن تا پلیوسن) با ترکیب کلی حدواسط همراه با نهشته‌های آذرآواری مشاهده می‌شود.

محدوده مورد مطالعه در محدوده نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه (نظری و سلامتی، ۱۹۹۹) قرار دارد. قدیمی‌ترین واحدهای زمین‌شناسی موجود در شرق منطقه مورد مطالعه (شکل ۱۴)، سنگ‌های رسوبی شیلی و ماسه‌سنگی متعلق به کرتاسه هستند که به‌علت قرارگرفتن در مجاورت مناطق گسلی، در حد رخساره شیست سبز (اسلیت و فیلیت) تا رخساره‌های با درجه بالاتر دگرگون شده‌اند (K_2^{sch}). رخساره‌های پالئوژن (پالئوسن-ائوسن) در بخش جنوب شرقی محدوده مورد مطالعه شامل نهشته‌های توریدایتی نازک لایه و سبز رنگ است که از تناوب شیل‌های سبز تیره تا خاکستری متمایل به سبز و ماسه‌سنگ‌های متوسط لایه به رنگ قهوه‌ای (شکل ۱۵A) تشکیل شده است (PeE^f). براساس داده‌های صحرایی، در ائوسن پایانی تکاپوی آتشفشانی در منطقه آغاز شده

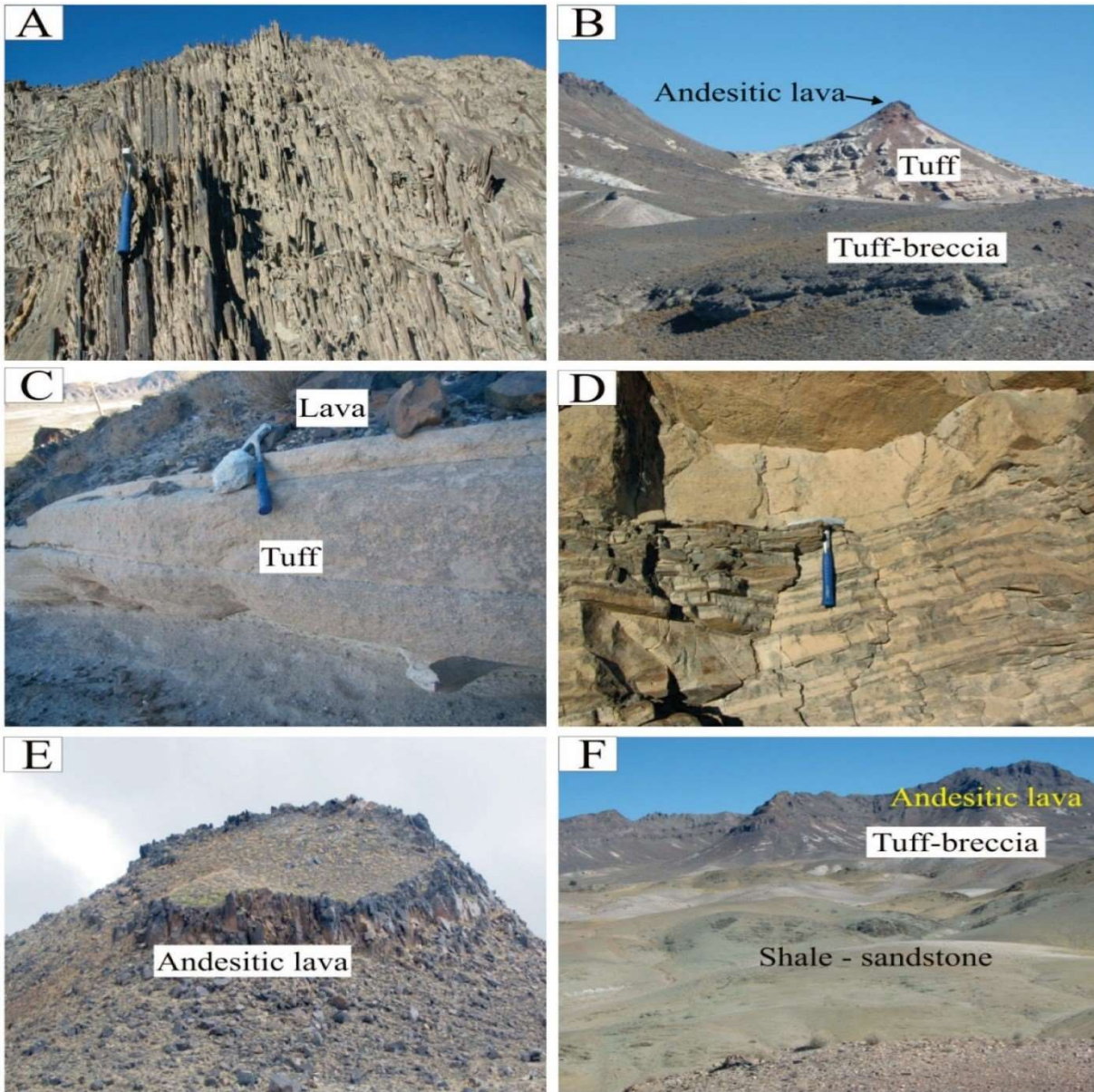
است. پس از فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن میانی و پایانی، که بیشتر ترکیب حدواسط و آندزیتی دارند و در میان نهشته‌های گوناگون جای گرفته‌اند، در زمان ائوسن پایانی - الیگوسن، رخساره‌هایی متناوب از توف، برش، آگلومرا، آندزیت، داسیت و دیگر سنگ‌های وابسته در منطقه سربیشه رخنمون یافته است (نظری و سلامتی، ۱۹۹۹). در بخش‌های مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه، واحد آذرآواری متشکل از لیتیک توف، برش (شکل ۱۵B) و آگلومرا وجود دارد (واحد T^{tm}) (شکل ۱۴) که در بخش‌های بالایی به توف‌های اسیدی سفید رنگ (شکل ۱۵B و C) تبدیل می‌شود. بخش عمده این واحد، لیتیک توف است که در پاره‌ای افق‌ها دربرگیرنده شیشه‌های آتشفشانی بوده و حالت نواری نشان می‌دهد (شکل ۱۵D). در جنوب کوه کفتاری، طبقات آذرآواری که به شدت خردشده و تکتونیزه است، به صورت متناوب با ماسه سنگ دیده می‌شود. در بخش شمالی منطقه، آمیزه‌ای تفکیک‌نشده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری - ها، به صورت مجموعه‌ای تکتونیزه و خردشده (Eo^{bt})، در مجاورت دیگر واحدهای پالئوژن قرار دارد (شکل ۱۴). واحد آتشفشانی Eo^{ap} شامل گدازه‌های آندزیتی، از گسترش قابل توجهی در بخش‌های مرکزی و شمال شرقی منطقه مورد مطالعه برخوردار می‌باشد. این سنگ‌ها به صورت گنبدی با ساخت توده‌ای و گاهی ستونی (شکل ۱۵E) بر روی واحد آذرآواری T^{tm} قرار گرفته (شکل ۱۵F) و ارتفاعات منطقه نظیر کوه‌های کفتاری، سر تخت و غزله را می‌سازند (شکل ۱۴). بخش بالایی این واحد دارای ترکیب آندزیتی - بازالتی و بافت حفره‌ای است. بالاترین واحد آتشفشانی با ترکیب بازالت آندزیتی (واحد b)، به رنگ قهوه‌ای تیره و سیاه به صورت روانه‌هایی گسترده، چهره دشت را در غرب سلم‌آباد پوشانده و در برخی مناطق ساخت منشوری دارند. نهشته‌های آواری عهد حاضر (واحد Q^{og}) به صورت طبقه‌هایی سخت‌نشده و افقی در بخش‌های جنوبی، غرب و شمال منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود. بیشتر قطعات پدیدآورنده این کنگلومرا، سنگ‌های آتشفشانی و در غرب و جنوب محدوده مطالعاتی شامل قطعاتی از بازالت آندزیتی واحد b می‌باشد. نهشته‌های آبرفتی قدیمی (Q^{t1}) به طور عمده شامل قلوه‌سنگ‌های گردشده بدون سیمان است. دانه‌های تشکیل‌دهنده بادبزنی‌های شنی جوان (Q^{t2}) به سوی کفه‌های گلی به طور کاهنده تا اندازه ماسه و سیلت می‌رسد (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳).

بررسی پتروگرافی واحدهای فراوان و گسترده آتشفشانی در جنوب و جنوب شرق سربیشه نشان می‌دهد که این سنگ‌ها بیشتر شامل سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای می‌باشند. واحدهای گدازه‌ای این مجموعه، دارای ترکیب کلی آندزیتی بوده و شامل آندزیت (پیروکسن - آندزیت) و آندزیت‌بازالتی می‌باشند. بافت غالب آندزیت‌ها (پیروکسن آندزیت‌ها) پورفیری - میکرولیتی (شکل ۱۶A و B)، میکرولیتی شیشه‌ای (شکل ۱۶C) و گاهی گلومروپورفیری (شکل ۱۶E) می‌باشد. بلورهای پلاژیوکلاز با بافت‌های غیرتعدالی مثل منطقه‌بندی، بافت غربالی (شکل ۱۶B) و خوردگی خلیجی با ترکیب آندزین - الیگوکلاز، بلورهای شکل‌دار پیروکسن از نوع اوژیت (شکل ۱۶A و B) و بلورهای هورنبلند به صورت نیمه‌شکل‌دار تا شکل‌دار (شکل ۱۶A)، فنوکریست‌های غالب این سنگ‌های آندزیتی را تشکیل می‌دهند. آندزیت‌های بازالتی نسبت به آندزیت‌ها از پراکندگی کمتری در منطقه مورد مطالعه برخوردارند و بیشتر در قسمت‌های شمالی، مرکزی و غرب منطقه رخنمون دارند. بافت غالب آنها پورفیری با زمینه میکرولیتی، (شکل ۱۶F)، شیشه‌ای، گلومروپورفیری و گاهی حفره‌ای است و تیره‌تر از آندزیت‌ها هستند. پلاژیوکلازها هم به صورت درشت بلور و هم به صورت میکرولیت در زمینه دیده می‌شوند. فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در برخی نمونه‌ها بافت غربالی نشان داده و میکرولیت‌ها بافت جریان‌ی دارند. همچنین در برخی نمونه‌ها پلاژیوکلازها دگرسان شده و به کربنات تبدیل شده‌اند. درشت بلورهای نیمه‌شکل‌دار و شکل‌دار کلینوپیروکسن (اوژیت) از سازندگان اصلی این سنگ‌ها بوده (شکل ۱۶F) و الیوین اغلب به صورت ریزبلور و به ندرت درشت‌بلور (شکل ۱۶F) قابل مشاهده‌اند (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۱۴. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه در جنوب سریشه (برگرفته از گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳). موقعیت محدوده مورد مطالعه در نقشه ساده بلوک لوت (کریم‌پور و همکاران، ۲۰۱۱) با علامت مستطیل نشان داده شده است. موقعیت محوطه باستانی کهنک نیز با مربع سفیدرنگ مشخص شده است.

Figure 14. Geological map of the study area in the southern Sarbisheh (Goodarzi et al., 2015). Location of the study area showing on a simple map of Lut block (Karimpour et al., 2011) with rectangular symbol. The location of Kahnek ancient site is characterized by white square.



شکل ۱۵. A) نمایی از شیل و ماسه‌سنگ‌های دگرگون‌شده در جنوب شرق سریشه، دید به سوی شمال غرب، B و C) حضور گدازه‌های آندزیتی بر روی توف‌ها در جنوب شرق سریشه، دید به سوی شمال شرق، D) لیتیک توف دربرگیرنده شیشه آتشفشانی و دارای حالت نواری در جنوب شرق سریشه، E) رخنمون واحدهای گدازه‌ای آندزیتی در بخش‌های مرکزی و شمال شرق سلم‌آباد به صورت گنبدهایی با ساخت توده‌ای و گاهی ستونی، دید به سوی شمال شرق، F) نمایی از قرارگیری گدازه و آذرآوری‌ها بر روی شیل و ماسه‌سنگ در شرق روستای کهنک، دید به سوی شمال شرق (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳).

Figure 15. A) View metamorphosed shale and sandstone in southeast of Sarbisheh, look toward northwest, B and C) Presence of andesitic lavas on top of tuffs in southeast of Sarbisheh, look toward northeast, D) Lithic tuff with volcanic glass and band shape in southeast of Sarbisheh, E) Outcrops of andesitic units in central and northeastern parts of Salm abad as domes with massive and columnar structure, look toward northeast, F) View of lava and pyroclastics on top of shale and sandstone in east of Kahnek village, view toward northeast (Goodarzi et al., 2015).

۵.۲. مقایسه پتروگرافی نمونه‌های سفالی و رسوبی محوطه مورد مطالعه با سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی منطقه

در بخش نتایج مطالعه پتروگرافی و تعیین ماهیت انکلوزیون‌های موجود در سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک عنوان شد که این مواد افزودنی شامل کانی‌ها، قطعات سنگی و مواد مصنوعی متنوعی هستند که درصد فراوانی آنها در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۳۵ تا ۷۶ درصد (به‌طور میانگین، ۵۱ درصد) در تغییر می‌باشد. از بین انواع انکلوزیون‌های یافت شده در مقیاس میکروسکوپی، خرده-سنگ‌های آذرین ولکانیکی (با ترکیب حدواسط و مافیک) با میانگین فراوانی ۲۶/۷ درصد، کوارتز تک‌بلور (ولکانیکی و پلوتونیک) با میانگین فراوانی ۱۰/۵ درصد، پلاژیوکلاز با میانگین فراوانی ۵/۱ درصد و خرده‌سنگ‌های رسوبی (بویژه ماسه‌سنگی و سیلتستونی) با فراوانی متوسط ۳/۲ درصد، فراوانترین انکلوزیون‌های شناسایی شده در سفالینه‌های باستانی مورد مطالعه هستند (شکل‌های ۶ تا ۸). همانطور که پیش‌ازین ذکر شد، فراوانی و تنوع خرده‌سنگ‌های آذرین ولکانیکی حدواسط و مافیک در نمونه‌های سفالی فوق بالا بوده و طیفی از خرده‌سنگ‌های ولکانیکی حدواسط با ترکیب آندزیت و آندزیت بازالتی و قطعات سنگی ولکانیکی مافیک با ترکیب بازالتی به‌همراه کانی‌هایی چون الیوین، پیروکسن، هورنبلند، بیوتیت و بویژه پلاژیوکلازهای با بافت غربالی با اندازه درشت، در این نمونه‌ها قابل مشاهده است (شکل‌های ۶ تا ۸). مقایسه‌ی پتروگرافی این اجزاء با سنگ‌شناسی واحدهای زمین‌شناسی اطراف محدوده مورد مطالعه تشابه انکلوزیون‌های فوق به واحدهای سنگی اطراف محوطه باستانی کهنک را اثبات می‌کند. فراوانی واحدهای سنگی آذرین آتشفشانی (بویژه با ترکیب حدواسط) به سن ترشیری در اطراف محدوده مورد مطالعه نسبت به واحدهای سنگی رسوبی و دگرگونی، با فراوانی انواع انکلوزیون‌های یافت شده در سفالینه‌های مورد بحث کاملاً مطابقت دارد. ترکیب سنگ‌های آذرین آتشفشانی حدواسط اطراف منطقه مورد مطالعه برطبق مطالعات پتروگرافی این واحدها توسط گودرزی و همکاران (۱۳۹۳) آندزیتی (پیروکسن‌آندزیت) و آندزیت‌بازالتی است که با داشتن بافت پورفیری- میکرولیتی، میکرولیتی- شیشه‌ای و گاهی گلوپورفیری مشخص شده و حاوی فنوکریست‌هایی چون پلاژیوکلاز (با بافت غربالی، منطقه‌بندی و خوردگی خلیجی)، پیروکسن اوژیت و الیوین می‌باشند. فراوانی خرده‌سنگ‌های آذرین ولکانیکی آندزیتی، آندزیت‌بازالتی و بازالتی در انکلوزیون‌های موجود در قطعات سفالی مورد مطالعه به‌خوبی با ترکیب سنگ‌های آذرین فوق مطابقت دارد. علاوه‌براین، فراوانی کوارتزهای تک‌بلور بویژه کوارتز ولکانیکی، بلورهای پلاژیوکلاز بویژه پلاژیوکلازهای با بافت غربالی و حضور کانی‌هایی نظیر پیروکسن، الیوین، هورنبلند و بیوتیت اشتقاق این انکلوزیون‌ها را از هوازدگی و فرسایش سنگ‌های آذرین اطراف محدوده مورد مطالعه تقویت می‌کند. به‌علاوه، نوع خرده‌سنگ‌های رسوبی یافت شده (بویژه خرده-سنگ‌های ماسه‌سنگی و سیلتستونی) نیز با واحدهای رسوبی اطراف منطقه تشابه دارد.

بررسی و مقایسه‌ی نتایج مطالعه پتروگرافی نمونه‌های خاک، قطعات گراولی و رسوبات رودخانه‌ای مجاور محوطه باستانی کهنک با واحدهای زمین‌شناسی اطراف این محدوده (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳) نیز به‌وضوح تشابه و مشتق شدن اجزاء تشکیل‌دهنده خاک، رسوبات و قطعات گراولی فوق را از هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی اطراف محوطه نشان می‌دهد. علاوه‌براین، در مقیاس میکروسکوپی بین انواع قطعات و اجزاء رسوبی یافت شده، بویژه در نمونه‌های گراولی و رسوبات رودخانه‌ای مجاور محوطه و نیز نمونه‌های خاک سطح محوطه و انواع انکلوزیون‌های یافت شده در سفالینه‌های باستانی مورد مطالعه نیز تشابه ترکیب وجود دارد. بنابراین، اجزاء تشکیل‌دهنده خاک رس و مواد افزودنی مورد استفاده در ساخت سفالینه‌های محوطه باستانی کهنک، از هوازدگی و فرسایش واحدهای سنگی اطراف محوطه بوده است. باتوجه‌به نتایج منشأیابی پتروگرافی بنظر می‌رسد سفالینه‌های باستانی فوق در همین محل تولید شده و از جای دیگر به این مکان انتقال نیافته‌اند. به‌عبارتی، سفالینه‌های مورد بحث بومی و محلی بوده و توسط فرآیندهای فرهنگی چون تجارت، مبادله، مهاجرت و تغییر مکان به این محل منتقل نشده‌اند.



شکل ۱۶. تصاویر میکروسکوپی از آندزیت‌های منطقه مورد مطالعه (نور XPL). A) بافت پورفیری با زمینه میکرولیتی، B) بافت‌های غیرتعادلی نظیر بافت غربالی در پلاژیوکلازها و حضور کلینوپیروکسن‌های شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، C) بافت پورفیری با زمینه میکرولیتی شیشه‌ای، هورنبلندهای نیمه‌شکل‌دار و دگرسانی بخش مرکزی پلاژیوکلاز به کربنات، D) بافت غربالی در پلاژیوکلاز و فراوانی پیروکسن در پیروکسن آندزیت‌ها، E) تجمعات پلاژیوکلاز و پیروکسن و تشکیل بافت گلومروپورفیری در پیروکسن آندزیت‌ها، F) الیوین ریزبلور به همراه کلینوپیروکسن در آندزیت‌های بازالتی (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۳).

Figure 16. Photomicrographs of study area andesites (XPL light). A) Porphyritic texture with microlitic groundmass, B: Disequilibrium textures such as sieve in plagioclases and presence of euhedral to subhedral clinopyroxenes, C: Porphyritic texture with vitric microlitic groundmass, subhedral hornblendes and alteration of plagioclase to carbonate in central part, D: Sieve texture in plagioclase and abundant pyroxene in pyroxene andesites, E: Plagioclase and pyroxene assemblages and formation of glomeroporphyritic texture in pyroxene andesites, F: Microcrystals of olivine with clinopyroxene in basaltic andesites (Goodarzi et al., 2015).

خاک رس سفالینه‌های محوطه کهنک دارای بافتی همگن است ولی قطعات درشت‌تر انکلوژیون به این ماتریکس رسی اضافه شده است. این مسئله که، ذرات درشت‌تر مواد افزودنی در اندازه ماسه درشت و گرانول، در اثر خردشدن سنگ‌های اطراف منطقه توسط سفالگر و به‌صورت تمپر به ماتریکس رسی اضافه شده یا حاصل مخلوط‌شدن دو خاک با بافت متفاوت، که حاصل از هوازگی سنگ‌های منشأ اطراف محل تولید سفال است، می‌باشند، با بررسی شکل انکلوژیون‌های موجود در ماتریکس رسی و در مقیاس میکروسکوپی امکان‌پذیر است. اگر شکل انکلوژیون‌ها بسیار زاویه‌دار و مشخص باشد، آنها در اثر خردشدن قطعات سنگی توسط سفالگر ایجاد و به خاک رس اولیه اضافه شده‌اند، اما اگر شکل مواد افزودنی نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده باشد و ذرات از کرویت بالاتری برخوردار باشند، نشان‌دهنده حمل ذرات هوازده و فرسایش یافته توسط عوامل حمل و نقل نظیر آب است و در نهایت، به‌صورت نهشته رسوبی ماسه‌ای درشت تا گرانول برجای گذاشته شده که در زمان‌های بعدی با خاک رسی اولیه مخلوط شده است. از آنجایی که، ذرات انکلوژیون موجود در سفالینه‌های کهنک اغلب نیمه‌زاویه‌دار تا نیمه‌گردشده بوده و در ماتریکس رسی نسبتاً همگن‌تر مشاهده می‌شوند، نشان‌دهنده ترکیب رسوبات درشت‌تر (ماسه درشت تا گرانول) حاصل از هوازگی و فرسایش واحدهای سنگی اطراف منطقه با رسوبات در اندازه رس بوده و حاصل خردشدگی سنگ‌ها توسط سفالگر نمی‌باشند. با توجه به وجود خواص نوری در ماتریکس رسی سفالینه‌های مورد مطالعه، درجه حرارت پخت آنها پایین بوده و باعث تغییر فازی در ترکیب کانی‌شناسی اولیه خمیره سفال و ایجاد بافت شیشه‌ای در آن نشده است. رنگ قرمز تا قرمز قهوه‌ای بدنه سفالینه‌های فوق مؤید شرایط پخت اکسیک بوده و با توجه به عدم تغییر رنگ بدنه سفال‌های مورد مطالعه، تغییری در شرایط اکسیداسیون-احیای کوره پخت آنها (از حالت اکسیدی به احیائی) صورت نگرفته است.

۶. نتیجه‌گیری

ارتباط علوم زمین‌شناسی و باستان‌شناسی (علم زمین‌باستان‌شناسی) قدمتی دیرینه داشته و به اوایل قرن نوزدهم میلادی بر می‌گردد. در پژوهش حاضر، از مطالعه پتروگرافی رسوبی جهت بررسی ماهیت مواد سازنده نمونه‌های سفالی باستانی محوطه کهنک و تعیین منشأ این قطعات بهره گرفته شده است. محوطه باستانی کهنک در فاصله ۵۰ متری روستای کهنک، ۷۰ کیلومتری جنوب‌شرقی شهرستان بیرجند و ۵ کیلومتری جنوب شهرستان سربیشه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. مهم‌ترین راه دستیابی به محدوده مورد مطالعه جاده آسفالتی بیرجند به زاهدان است. به‌منظور دستیابی به اهداف مطالعه، از ۷ نمونه سفالی، ۳ نمونه خاک سطحی محوطه، ۱۰ نمونه رسوب دیواره کانال رودخانه و ۲۰ قطعه گراول پراکنده در سطح محوطه و قطعات گراولی رودخانه مجاور محوطه، مقطع نازک تهیه و مورد مطالعه قرار گرفته است. بخش عمده خمیره یا فابریک سفالینه‌های باستانی محوطه کهنک از سه جزء اصلی ماتریکس رسی، انکلوژیون‌ها یا مواد افزودنی و حفره‌ها تشکیل شده است. فراوانی ماتریکس رسی در نمونه‌های مورد مطالعه از ۱۶ تا ۴۸ درصد و رنگ آن از قرمز نارنجی تا قرمز قهوه‌ای در تغییر است. اگرچه در برخی نمونه‌ها درجه همگنی یا یکنواختی ماتریکس رسی نسبت به انکلوژیون‌ها کم و جورشده‌گی ذرات در حالت کلی ضعیف است، ولی رفتارها و فعالیت نوری در ماتریکس رسی سفالینه‌های مورد بحث وجود دارد که ناشی از درجه حرارت پخت پایین آنهاست. مواد افزودنی یا انکلوژیون‌های سفالینه‌های باستانی مورد مطالعه شامل انواع کوارتزهای تک‌بلور و چندبلور، فلدسپات‌های پلاژیوکلاز و ارتوکلاز، خرده‌سنگ‌های سنگی شامل قطعات آذرین و لکانیکی حدواسط و مافیک، خرده‌سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگی، سیلتستونی و کربناته)، خرده‌سنگ‌های دگرگونی، میکا (مسکویت و بیوتیت)، کانی‌های سنگین (زیرکان) و تیره (احتمالاً مگنتیت) و قطعات سفالی خردشده یا گراگ است. فراوانی انکلوژیون-ها در نمونه‌های فوق بین ۳۵ تا ۷۶ درصد و اندازه آنها بین ۵۵ تا ۳۸۵۰ میکرون در تغییر است. در مقاطع نازک مورد مطالعه منافذ با فراوانی ۸ تا ۱۷ درصد مشاهده شده و بر اساس معیارهای موجود از نظر شکل و اندازه طبقه‌بندی شده‌اند. مطالعه پتروگرافی و صحرایی واحدهای زمین‌شناسی اطراف محدوده مورد مطالعه مؤید فراوانی انواع سنگ‌های آذرین آتشفشانی و حدواسط (بویژه آندزیت و آندزیت‌بازالتی) و سنگ‌های رسوبی (ماسه‌سنگی و شیلی) و به مقدار کمتر سنگ‌های دگرگونی در این منطقه است. بررسی ترکیب پتروگرافی این سنگ‌ها (بویژه سنگ‌های آذرین) و مقایسه ترکیب و اجزاء تشکیل‌دهنده آنها با انکلوژیون‌های سفالینه‌های محوطه

کهنک، تشابه ماهیت مواد سازنده سفال با واحدهای زمین‌شناسی اطراف محوطه را اثبات می‌کند. علاوه‌براین، هماهنگی و تطابق ترکیب انکلوژیون‌های سفالی فوق با ترکیب نمونه‌های خاک، قطعات گراولی و رسوبات رودخانه‌ای اطراف محوطه، که خود حاصل هوازگی و فرسایش واحدهای زمین‌شناسی اطراف محدوده مورد مطالعه می‌باشند، اشتقاق این انکلوژیون‌ها از واحدهای سنگی همین منطقه را تأیید می‌کند. به‌عبارت‌دیگر، سفالینه‌های مورد بحث در محل ساخته شده و توسط فرآیندهای فرهنگی نظیر تجارت، مهاجرت، مبادله و ... به این مکان انتقال نیافته‌اند. با توجه به پتروگرافی سفالینه‌های این محوطه، خاک رس اولیه این مصنوعات احتمالاً از مخلوط شدن دو خاک مربوط به همین محل با دو بافت متفاوت ساخته شده و در شرایط درجه حرارت پایین و بدون تغییر شرایط اتمسفر پخت (شرایط اکسیداسیون- احیا) حرارت دیده و پخته شده‌اند.

۷. تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مدیریت محترم اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی خراسان جنوبی، جناب آقای دکتر شاه‌وردی و کارشناس محترم این اداره، جناب آقای دکتر فرجامی، بابت ارائه مجوز نمونه‌برداری از محوطه باستانی کهنک سربیشه و فراهم‌ساختن وسیله نقلیه و راهنمایی جهت عزیمت به محدوده مورد مطالعه، تشکر و قدردانی می‌گردد.

۸. منابع

- Arjmandzadeh, R., Karimpour, M.H., Mazaheri, S.A., Santos, J.F, Medina, J.M., Homam, S.M (2011) Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut block, Eastern Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 41(3): 283-296. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.02.014>
- Berberian, F., Muir, I.D., Pankhurst, R.J., Berberian, M (1982) Late Cretaceous and early Miocene Andeantype plutonic activity in northern Makran and Central Iran. *Journal of the Geological Society*, 139(5): 605-614. <https://doi.org/10.1144/gsjgs.139.5.0605>
- Camp, V.E., Griffis, R (1982) Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran. *Lithos*, 15(3): 221-239. [https://doi.org/10.1016/0024-4937\(82\)90014-7](https://doi.org/10.1016/0024-4937(82)90014-7)
- Farjami, M., and Mahmoudi Nasab, A.A (2020) Review and analysis of the archaeological findings of the fourth chapter of the Kahnek site excavation, Sarbisheh city, Southern Khorasan. *Parse Journal of Archaeological sciences*, 14: 101-123. <https://doi.org/10.30699/PJAS.4.14.101>. (In Persian).
- Flugel, E (2010) *Microfacies of Carbonate Rocks, Analysis, Interpretation and Application*. Springer-Verlag, Berlin, 976 p.
- Ghilardi, M (2021) Geoarchaeology: Where Geosciences Meet the Humanities to Reconstruct Past Human-Environment Interactions. An Application to the Coastal Areas of the Largest Mediterranean Islands. *Applied Sciences*, 11: 4480. <https://doi.org/10.3390/app11104480>
- Goodarzi, M., Mohammadi, S.S., Zarrinkoub, M.H (2015) Petrography, geochemistry and tectonic setting of Salmabad Tertiary volcanic rocks, southeast of Sarbisheh, eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 11: 217-234. <http://doi.org/10.22067/ECONG.V6I2.24938>. (In Persian)
- Jung, D., Keller, J., Khorasani, R., Marcks, Chr., Baumann, A., Horn, P (1983) Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, East of Iran. Ministry of mines and metals. Geological survey of Iran, geodynamic project (geotraverse) in Iran, Tehran, Report 51: 285-336.
- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekezadeh, A (2011) Review of age, Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lut Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1):19-36. <http://doi.org/10.22059/JGEOPE.2011.22162>
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Farmer, G.L. and Stern, C.R (2012) Petrogenesis of granitoids, U-Pb Zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristics and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut block, eastern Iran. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 1-27. (In Persian). <https://doi.org/10.22067/ECONG.V4I1.13391>
- Nazari, H., and Salamati, R (1999) Geological map of Sarbisheh, scale1:100000. Geological survey of Iran.
- Pang, K.N., Chung, S.L., Zarrinkoub, M.H., Mohammadi, S.S., Yang, H.M., Chu, C.H., Lee, H.Y., Lo, C.H (2012) Age, geochemical characteristics and petrogenesis of Late Cenozoic intraplate alkali basalts in the Lut-Sistan region, eastern Iran. *Chemical Geology*, 306-307: 40-53. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2012.02.020>

- Pollard, A. M (1999) Geoarchaeology: An Introduction. In A. M. Pollard (Ed.), *Geoarchaeology: Exploration, Environments, Resources* (pp. 7-14). Geological Society of London, N. 165. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1999.165.01.01>
- Quinn, P.S (2020) *Ceramic Petrography: The Interpretation of Archaeological Pottery and Related Artefacts in Thin Section*. Archaeopress, Oxford, 260 p (translated into Persian by Razani, M. and Afshari Nezhad, H.).
- Richards, J.P., Spell, T., Rameh, E., Razique, A., Fletcher T (2012) High Sr/Y Magmas Reflect Arc Maturity, High Magmatic Water Content, and Porphyry Cu ± Mo ± Au Potential: Examples from the Tethyan Arcs of Central and Eastern Iran and Western Pakistan. *Economic Geology*, 107(2): 295–332. <https://doi.org/10.2113/econgeo.107.2.295>
- Saccani, E., Delavari, M., Beccaluva, L., Amini, S (2010) Petrological and geochemical constraints on the origin of the Nehbandan ophiolitic complex (eastern Iran): Implication for the evolution of the Sistan Ocean. *Lithos*, 117(1-4): 209–228. <http://doi.org/10.1016/j.lithos.2010.02.016>
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., Camp, V.E (1983) The Sistan suture zone of eastern iran. *Geological Society of America Bulletin*, 94(1): 134-156. <https://doi.org/10.1130/0016-7606>

The ancient potteries petrographical study of the Kahnek site of Sarbisheh (Southern Khorasan) in order to investigate the nature of additives to clay matrix and determine their origin: implication in the geoarchaeology

M. Mortazavi Mehrizi^{1*} and M. Farjami²

1- Assist. Prof., Dept., of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

2- The expert of Cultural Heritage Administration, Birjand, Iran

* mmortazavi@birjand.ac.ir

Abstract

As one of the branches of archaeometry, geoarchaeology deals with the application of earth sciences (geomorphology, sedimentology, soil science and stratigraphy) in solving problems related to archaeology. One of the applications of sedimentological science in archeological studies is the investigation of sedimentary petrography of ancient ceramics thin sections. The Kahnek archaeosite is located 50 meters away from Kahnek village and south of the Sarbisheh city (Southern Khorasan). In the petrographic study of the ancient pottery thin sections of this area (7 pottery samples), the pottery paste has been separated into three components: clay matrix, inclusions or additive materials, and voids. In order to determine the origin of the materials that make up the pottery of this site, the petrographic composition of the additive materials in the pottery body has been compared with soil samples of the surface of the site, gravel fragments scattered around the site, fluvial sediments and gravels adjacent to the site and geological units of the study area. The similarity of the petrographic composition of the above pottery clastic inclusions with the mentioned data proves that these ancient artefacts are local or indigenous. In this study, investigating the sedimentary petrography of Kahnek site potteries, in addition to determining the origin of pottery materials, has been used in the interpretation of manufacturing technology and firing conditions.

Keywords: Sedimentary Petrography, Inclusion, Provenance Study, Ancient Ceramics, Kahnek Site.

Introduction

Geoarchaeology is the application of earth sciences in solving the problems of archaeological research. Geomorphology, sedimentology, soil science and stratigraphy can be mentioned among the branches of geology that are used in geo-archaeological studies (Pollard, 1999; Ghilardi, 2021). One of the applications of sedimentology in archeological studies is mineralogical and petrographically investigations of the ancient ceramic's thin sections.

Ancient ceramics are clay-rich soil artifacts that were produced and used by ancient people. The widespread use of pottery objects in many past societies and the relatively slow destruction of these objects in archaeological sites have made them one of the most common ancient artifacts in many periods and geographical regions. The detailed study of the clay materials from which ancient pottery is made is known as "pottery compositional analysis" and is divided into geochemical and mineralogical methods. The information that obtained from the compositional analyzes of ancient ceramics is usually used in the interpretation of the place of manufacture or origin and provides evidence in the field of movement of ceramics through processes such as trade and exchange, distribution and migration.

According to the surface data and the excavations, the site of Kahnek belongs to the 3rd and 4th centuries of Ah (the Timurid period), and most of the obtained data include pottery and architectural structures related to the Islamic Middle Ages. (Farjami and Mahmoudi Nasab, 2020). Kahnek village is located 70 km southeast of Birjand city and 5 km south of Sarbisheh city in South Khorasan province and adjacent to Salam Abad village, on the side of the Birjand-Zahedan Road. The ancient site of Kahnek, with an area of about 14 hectares, is located 50 meters east of the village of Kahnek and at an altitude of 1780 meters above sea level.

In the present research, the petrography of the surface ancient pottery of this area has been investigated. The purpose of the study is to investigate the petrography and the nature of the body composition of the desired pottery in order to know the main composition, the origin of the additive raw materials and their production technology. The results of this study, in addition to being used in archeology, can be used as the result of an interdisciplinary study (geoarchaeology).

Methods and Materials

In order to achieve the objectives of the study, in addition to the collection of earthenware scattered on the surface of Kahnek site, from the surface soil, gravel pieces scattered in the study area, sediments of the channel wall and gravel pieces of the seasonal river adjacent to the area were sampled. In the preparation of microscopic thin sections of the collected pottery samples, the ones select that have no glaze and are visible without any decoration. These samples with coarse to medium texture include the largest volume of pottery of the surface of Kahnek site. These samples have been studied by Leitz Laborlux 11 Pol S polarizing microscope in Geology Department of the University of Birjand. Flugel (2010) comparative charts were used in order to estimate the abundance percentage of the studied pottery components. The measurement of the diameter of inclusions and pore spaces is also based on Udden-Wentworth classification.

Discussion and Results

Petrography of ancient pottery thin sections deals with the materials which the pottery is made. The major part of the ancient pottery pastes or fabric of Kahnek area in microscopic thin sections consists of three main components: clay matrix, inclusions or additive materials and voids. The main composition of the studied ancient pottery paste is clay. The size of these particles is less than 10 microns and includes fine inclusion particles, usually quartz, mica, calcite and matte particles of clay minerals (unidentifiable). The abundance of clay matrix in the studied samples varies from 16 to 48% (on average, 35.1%). The color of the matrix in the above samples varies from red-orange to red-brown. The degree of homogeneity and uniformity of the clay matrix is different, and in some samples, calcite crystals of different dimensions are observed in the field. Examining the samples in XPL light shows the existence of optical behaviors and activities in the clay matrix.

Additives or inclusions of the studied ancient pottery include monocrystalline and polycrystalline quartz, plagioclase and orthoclase feldspars, rock fragments including intermediate igneous and volcanic igneous rock fragments, sedimentary rock fragments (sandstone, siltstone and carbonate), metamorphic rock fragments, mica (muscovite and biotite), transparent (zircon) and dark (probably magnetite) heavy minerals and crushed pottery pieces or grog. The frequency of inclusions in the above samples varies between 35 and 76% and their size varies between 55 and 3850 microns. In the studied thin sections, pores were observed with a frequency of 8 to 17% and they were classified according to the existing criteria in terms of shape and size.

Petrographical and field studies of the geological units around the studied area confirm the abundance of various types of volcanic and intermediate igneous rocks (especially andesite and basaltic andesite) and sedimentary rocks (sandstone and shale) and to a lesser extent metamorphic rock in the area. Investigation of the petrographic composition of these rocks (especially igneous rocks) and comparing their composition and constituents with the pottery inclusions of the Kahnek site, proves the similarity of the nature of the pottery-making materials with the geological units around the area. In addition, the correlation and compatibility of the composition of the above pottery inclusions with the composition of soil samples, gravel fragments and river sediments around the area, which are the result of weathering and erosion of the geological units around the study area, confirms the derivation of these inclusions from the rock units of this region. In other words, the above potteries were made in the place and were not transferred to this place by cultural processes such as trade, migration, exchange, etc. According to the petrography of the studied potteries, the initial clay soil of these artifacts was probably made by mixing two soils from the same place with two different textures and under low temperature conditions and without changing the conditions of the baking atmosphere (oxidation-reduction conditions) have been heated and cooked.

Conclusions

As one of the branches of archaeology, geoarchaeology deals with the application of earth sciences (geomorphology, sedimentology, soil science and stratigraphy) in solving problems related to archaeology. One of the applications of sedimentological science in archeological studies is the investigation of sedimentary petrography of thin sections of ancient ceramics. The ancient site of Kahnek is located 50 meters away from Kahnek village and south of Sarbisheh city (Southern Khorasan). In the petrographic study of the ancient pottery thin sections of this area (7 pottery samples), the pottery paste has been separated into three components: clay matrix, inclusions or additive materials, and voids. In order to determine the origin of the materials that make up the pottery of this site, the petrographic composition of the additive materials in the pottery body has been compared with soil samples of the surface of the site, gravel fragments scattered around the site, fluvial sediments and gravels adjacent to the site and geological units of the study area. The similarity of the petrographic composition of the above pottery clastic inclusions with the mentioned data proves that these ancient artefacts are local or indigenous. In this study, investigating the sedimentary petrography of Kahnek site potteries, in addition to determining the origin of pottery materials, has been used in the interpretation of manufacturing technology and firing conditions.