

سفال باستانی و باستان سنجی؛ شناخت تکنولوژی ساخت سفال‌های فرهنگ علی‌آباد در تپه دهنو شهداد، جنوب شرق ایران (۳۷۵۰-۳۲۵۰ پ.م)

نوع مقاله: علمی پژوهشی

سید محمدامین امامی^{۱*}، یاسین صدقی^۲، اکبر عابدی^۳، نصیر اسکندری^۴

^۱ گروه مرمت و باستان‌سنجی دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

^۲ گروه باستان‌سنجی، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

^۳ گروه باستان‌سنجی و باستان‌شناسی دانشگاه هنر اسلامی تبریز، تبریز، ایران

^۴ عضو هیأت علمی دانشگاه تهران، گروه باستان‌شناسی، تهران، ایران

* m.emami@ui.ac.ir

اطلاعات مقاله:

دریافت: ۲۲ مرداد ۱۳۹۸

پذیرش: ۱۳ خرداد ۱۳۹۹

چکیده:

توزیع و پراکندگی سفالینه‌های فرهنگ علی‌آباد، که مربوط به هزاره‌ی چهارم قبل از میلاد (دوره مس‌سنگی جدید) هستند را در مناطق مختلف جنوب شرق ایران از جمله کرمان، مکران و غرب بلوچستان پاکستان می‌توان مشاهده کرد. در جنوب شرق ایران محوطه‌ی تپه دهنو شهداد واقع در استان کرمان از این امر مستثنی نبوده و دربرگیرنده این سبک سفال‌ها نیز است. در پژوهش حاضر سعی شده است تا با بررسی و مقایسه ریزساختارشناسی و مشخصات کانی‌شناسی سفال‌های فرهنگ فوق، به تکنولوژی ساخت و منشأ آنها پی برده شود. در همین راستا به منظور بررسی تفاوت‌ها و شباهت‌های ساختاری، تکنیک ساخت و منشأ سفال‌ها از روش‌های آنالیز پتروگرافی مقاطع نازک میکروسکوپی، FESEM-EDS XRD و pXRF نیز استفاده شده است. نتایج آنالیزهای صورت گرفته بر روی سفال‌ها بیان‌گر استفاده از منابع یکسان در ساخت سفال‌ها دارد که با مقایسه آنها با سازند زمین‌شناسی منطقه می‌توان پی برد که سفالگران پیش از تاریخی منطقه شهداد از معادن خاک‌های رس محلی مشابهی استفاده نموده‌اند. سفال‌های مورد بررسی را از لحاظ پتروفابریک می‌توان به دو بخش سفال‌هایی با زمینه رسی در زمینه قرمز رنگ و زمینه سبز رنگ تقسیم نمود که تمام آن‌ها دارای تمپرهای معدنی مشابه هستند و تنها تفاوت در سفال‌ها را می‌توان در نوع تکنیک ساخت و درجه حرارت‌های پخت‌شان دانست، یعنی سفال‌ها در دو دسته، سفال‌هایی با درجه حرارت پخت کمتر از ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد و سفال‌هایی با درجه پخت ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند.

کلید واژه:

سرامیک‌نگاری؛ ساختارشناسی؛ پترولوژی؛ منشاء‌یابی؛ آرکئومتری؛ فرهنگ علی‌آباد؛ جنوب شرق ایران.

۱- مقدمه

کشورهای اروپایی ادامه دارد. استفاده از روش‌های نوین علمی در جهت شناسایی ساختاری مواد باستانی از زمره کاربردهای علوم پایه در مطالعات باستان‌شناسی است [۱].

مطالعات باستان‌سنجی در راستای شناسایی سفال باستانی و تکنولوژی ساخت آنان قریب به ۳ دهه است که در



اسکندری در سال ۱۳۹۰ دشت لوت را مورد بررسی‌های باستان‌شناختی قرار داد که منجر به شناخت الگوهای استقراری آن به‌ویژه دوره مس‌سنگی در این منطقه شد. استقرارهای هزاره‌ی پنجم و چهارم پ.م. یا دوره‌ی مس‌سنگی (مس‌سنگی قدیم، میانی و جدید) شناسایی شده در دشت لوت، از قدیمی‌ترین زیستگاه‌های انسانی یافت‌شده در این منطقه به‌شمار می‌آیند [۶]. اطلاعات شایان ذکر از دوره‌ی مس‌سنگی جدید (هزاره‌ی چهارم پ.م.)، از کاوش‌های تپه علی‌آباد بردسیر [۷] محوطه‌آباد جیرفت [۸] و گورستان خواجه‌عسکر بم [۱۰]، تپه دهنو شهداد [۱۱] و محوطه ورامین جیرفت [۸] به‌دست آمده است. از نتایج این مطالعات آنچنان که برمی‌آید فرهنگ غالب دوره‌ی مس‌سنگی جدید یا هزاره‌ی چهارم پ.م. جنوب‌شرق ایران، فرهنگ علی‌آباد بوده است. این فرهنگ سرتاسر منطقه کرمان و بلوچستان را دربرمی‌گیرد، همچنین سفال‌های مشابه آن از پاکستان در محوطه شاهی تمب به‌دست آمده است [۱۲]. فرهنگ علی‌آباد (ابلیس IV) برای اولین بار از لایه‌های فوقانی فرهنگ دسکر محوطه‌ی علی‌آباد در دشت بردسیر شناسایی شد [۱۳] دارای پنج گونه سفالی است [۷]. ویت و دایسون باتوجه‌به یافت‌شدن سفال‌های مشابه دوره‌ی بانس قدیم مانند کاسه‌های لبه‌واریکته، فرهنگ علی‌آباد را همزمان با بانس قدیم (۳۴۰۰-۳۲۵۰ پ.م.) دانسته‌اند [۱۴]. همچنین کمرون پتری دوره‌ی علی‌آباد را همزمان با دوره‌ی بانس قدیم و میانی (۲۹۵۰-۳۲۵۰ پ.م.) دانسته است [۱۵]. اما کاوش‌های اخیر در محوطه‌ی محوطه‌آباد جیرفت و تپه دهنو شهداد تاریخ مطلق ۳۲۵۰-۳۷۵۰ پ.م. را برای این فرهنگ در نظر گرفته است [۶]. کالدول براساس دیدگاه‌های

شناسایی ساختارهای سفالین و نوع مواد خام و درجه حرارت زینتر ایم مواد از زمره مطالعاتی است که در حال حاضر توجه متخصصین علوم کاربردی و پایه را بخود جلب کرده است. این مهم که سفال قدیمی‌ترین سنت بشر و جدیدترین علم بشر است را می‌توان در مطالعات سفال‌های باستانی مشاهده کرد. این تحقیقات با استفاده از روش‌های مرسوم مطالعاتی نظیر روش‌های میکروسکوپی تا شناسایی فازی و شیمیایی انجام گردیده است. در حال حاضر مطالعه بر روی خواص بین دانه‌ای و تاثیرات آن در زینتر کردن بافت سفال و خصوصیات سطحی آن موضوع مطالعات بسیار ریزبینانه‌تر و با روش‌های جدیدتر نظیر میکروسکوپ روبشی اتمی (AFM) و سینکروترون گشته است [۲]. در این خصوص در فلات ایران بدلیل سابقه ۱۰۰۰۰ ساله استفاده از سفال مطالعات علمی و دستگاهی بر روی سفال‌های تاریخی موضوعی زیبا و در خور توجه با موضوعات روز صنعت سرامیک گشته است.

شهداد در جنوب‌شرق فلات ایران یکی از بزرگ‌ترین و مهم‌ترین مناطق باستان‌شناختی ایران، در ۷۰ کیلومتری شمال‌شرق کرمان در حاشیه‌ی باختری لوت مرکزی قرار گرفته است و کویری‌ترین بخش استان کرمان به‌شمار می‌رود. این بخش بین طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۲۸ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۲۱ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۲۹ درجه و ۲۷ دقیقه واقع شده است [۳]. محوطه‌ی باستانی شهداد واقع در بخش میانی دشت لوت را برای اولین بار علی‌حاکمی به مدت هشت فصل کاوش کرد [۴]. پس از آن همین محوطه را میرعابدین کابلی در چهار فصل دیگر کاوش و بررسی نمود [۵]. درنهایت نصیر



سنگ، مهره، پارچه و نیز آثار سفالی منجمله سفال‌های فرهنگ علی‌آباد به‌دست آمد [۶]. از این‌رو در راستای مطالعات باستان‌شناسی انجام شده و در جهت تکمیل اطلاعات مربوط به سفال‌های علی‌آباد، سعی شد تا با بررسی‌های شیمیایی، مینرالوژیکی و ریزساختارشناسی به اطلاعات تکنولوژیکی ساخت و منشأ تولید سفال‌های فرهنگ مذکور که از تپه دهنو شه‌داد به‌دست آمده‌اند، پرداخته شود.

۲- تپه دهنو شه‌داد

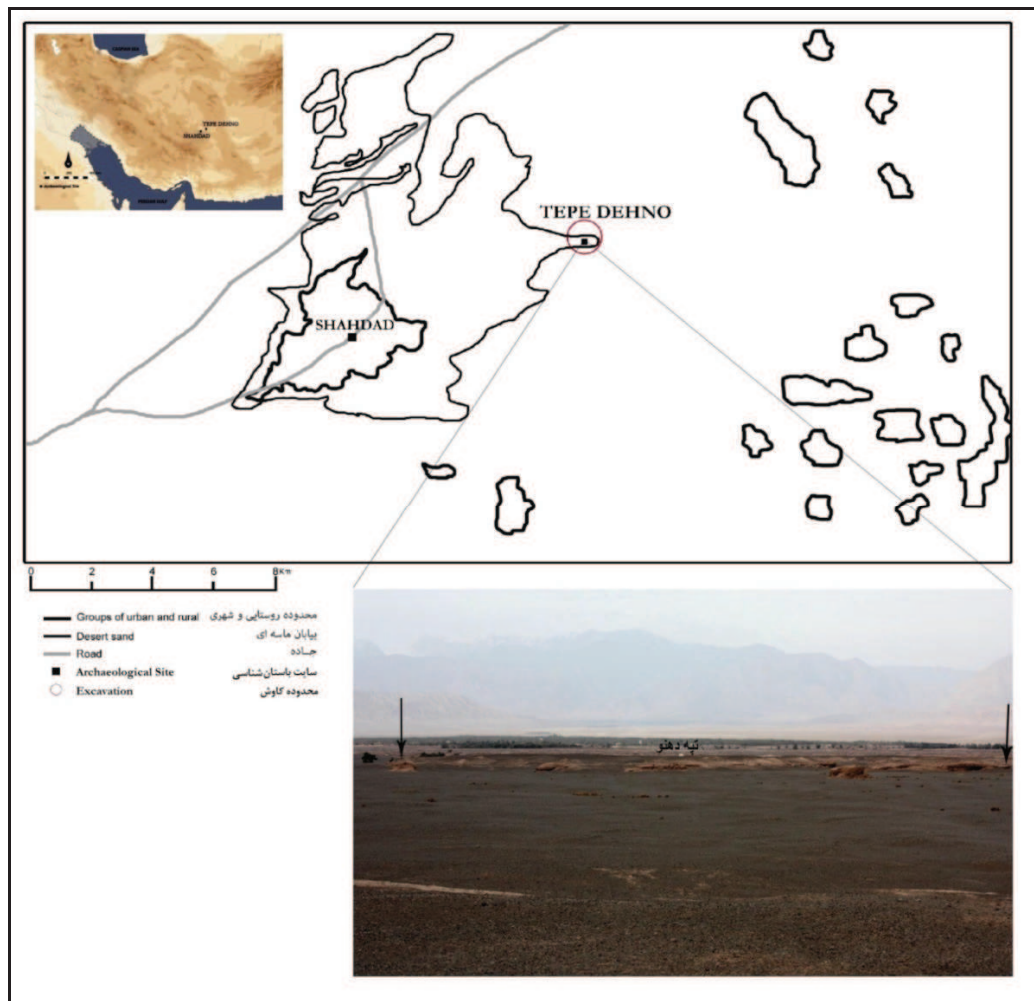
تپه دهنو در ۵ کیلومتری شرق شهر امروزی شه‌داد و در بخش انتهایی مخروط افکنه شه‌داد واقع شده است. نام تپه دهنو برگرفته از روستای دهنو است که در ۳ کیلومتری شرق آن قرار دارد. این تپه دارای ۷ متر بلندی نسبت به زمین‌های اطراف است و وسعت آن بیست و پنج هکتار است. تپه دهنو بر روی یک کلهت (تپه طبیعی که در اثر فرسایش بادی و آبی شکل گرفته است و از عارضه‌های منحصربه‌فرد شه‌داد است) شکل گرفته است که از یک کلهت بزرگ به ابعاد ۸۰۰ در ۴۰۰ متر و کلهت‌های کوچکتر که در کمتر از یک هکتار در اطراف کلهت مرکزی پراکنده شده‌اند. تپه‌ی مذکور در شرق شهر کاوش شده هزاره‌ی سومی پ.م شه‌داد واقع شده است. تپه دهنو در فاصله ۲ کیلومتری شرق محله‌ی کشاورزان شهر شه‌داد کاوش شده توسط آقای کابلی، قرار گرفته است (شکل ۱). مواد فرهنگی با تراکم بسیار بالا در سطح محوطه پراکنده شده است. براساس سفال‌های سطحی، تپه دهنو دربردارنده فرهنگ‌های هزاره‌ی پنجم، چهارم و سوم پ.م است. به‌نظر

باستان‌شناسانه و نقوش، سفال‌های علی‌آباد را به پنج دسته‌ی کلی تقسیم نمود که شامل: گروه علی‌آباد ساده، علی‌آباد منقوش (نقوش با رنگ‌های قرمز، قهوه‌ای و سیاه)، علی‌آباد دو رنگ (برای نقاشی این نوع سفال‌ها از ترکیب دو رنگ قرمز و سیاه، قهوه‌ای و سبز و یا سیاه و سبز استفاده شده است)، علی‌آباد شسته و علی‌آباد دارای نوار برجسته می‌شوند [۷]. همچنین در این مقاله عنوان شده است که این سفال‌ها نیز دست‌ساز و خمیره سفال‌ها دارای شاموت گیاهی و به رنگ قهوه‌ای متمایل به صورتی یا آجری است. بعضی نمونه‌ها نیز دارای شاموت شنی هستند. سطح سفال‌ها را با لعاب گلی غلیظی به رنگ نخودی پوشش داده‌اند. سفال‌های علی‌آباد ظریف‌تر از سایر انواع دیگر هستند و ضخامت بدنه بین ۶ تا ۱۰ میلی‌متر است. ظروف به شکل کاسه‌های با دهانه باز که دارای زینه‌ای روی لبه و به‌صورت کاسه‌های با بدنه کروی و کاسه‌های دارای پایه‌های حلقوی ساخته می‌شدند. سفال‌های دارای نوار برجسته در کف دارای علامت نخ‌بری هستند که احتمال داده می‌شود برای ساختن ظروف از نوعی چرخ ساده سفالگری استفاده شده است [۱۶] و [۱۷]. سفال‌های اولیه علی‌آباد نشان از تغییر تدریجی از ابلیس III به ابلیس VI دارند و تحت عنوان علی‌آباد قدیم نامیده شده‌اند و آزمایش کربن ۱۴ ربع دوم هزاره چهارم پ.م. را برای آن‌ها نشان می‌دهد، تاریخ پیشنهادی کالدول برای دوره ابلیس IV از ربع دوم تا اواخر هزاره چهارم پ.م. را دربر می‌گیرد [۷ و ۱۱]. در طی کاوش‌های باستان‌شناسی محوطه تپه دهنو شه‌داد که به‌جهت شناخت بیشتر فرهنگ‌های پیش‌ازتاریخ این منطقه به سرپرستی نصیر اسکندری انجام شد، آثار قابل ملاحظه‌ای از جنس مفرغ،



به غرب رشد کرده است. تپه دهنو، بزرگ‌ترین استقرار هزاره‌ی چهارم پ.م. در دشت شهداد بوده است و در امتداد آن در هزاره سوم پ.م. یک محوطه اقماری کوچک در ۲ کیلومتری شرق شهر هزاره‌ی سومی شهداد بوده است [۱۸].

می‌رسد که اوج وسعت محوطه مربوط به هزاره‌ی چهارم پ.م. است که شامل فرهنگ علی‌آباد (ابلیس IV) در منطقه شمال کرمان است (شکل ۲). این محوطه از لحاظ توپوگرافی دارای رشد افقی است و از قدیم به جدید از شرق



شکل ۱- منظر فرهنگی تپه دهنو شهداد و موقعیت آن بر روی نقشه جغرافیایی



شکل ۲- سفال‌ها و جام‌های پایه‌دار نوع علی‌آباد [۱۱]

طبقات آهکی زیاد بوده و در پاره‌ای از موارد حالت توده‌ای دارد. از لحاظ ژئومورفولوژیکی شهداد دشت عریضی است با شیب کم، از چاله لوت تا ارتفاعات اطراف امتداد دارد که سطح آن را قله سنگ‌های بزرگ پوشانده و جریان‌های نامنظم سیلاب‌ها، آن را قطع نموده و سطح آن بر اثر جریان آب‌ها و آبراهه‌ها از ماسه، لیمون و رس نمک‌دار پوشیده شده است و غالباً خشک است [۳]. بخش گلباف در غرب کویر لوت از طرف شرق به کویر لوت، از غرب به رشته کوه‌های مرتفع کوه سگج که ارتفاع آن بالای ۳۰۰۰ متر است، محدود می‌گردد. بنابراین از نظر توپوگرافی این بخش دو واحد کوهستانی-دره‌ای و نواحی پست و هموار با شیب خیلی ملایم تقسیم می‌شود [۳]. منطقه کرمان و به‌ویژه مناطق مورد مطالعه در سازندهای آتشفشانی قرار دارند که

فعالیت‌های زمین‌ساخت و فعالیت‌های تکنونیک منطقه شهداد متأثر از سازند لوت است. در غرب این بخش گسل معروف نهبندان به جهت شمالی جنوبی کشیده شده است که مرز شرقی سازند لوت را تشکیل می‌دهد. قسمت‌های مرکزی و شرق بخش شهداد مربوط به دوران کواترنری و متشکل از فورس سنگ و سنگ رسی سیلت‌دار است که در داخل پهنه‌های پوشیده از ماسه بادی و کلوت‌های حاصل از فرسایش آبی-بادی با جهت شمال غرب جنوب شرق واقع شده است. حواشی غربی این سازند را نهشته‌های آبرفتی جوان متشکل از پادگان‌ها و مخروط افکنه‌های دوران کواترنری پوشانده که شهر شهداد در این قسمت واقع شده است. در منطقه شهداد رسوبات آهکی کرتاسه زیرین شامل آهک و در برخی قسمت‌ها همراه با دولومیت است. ضخامت



ترکیب و توالی کانی‌شناخت برخی از آن‌ها گرانیت، گرانودیوریت تا کوارتز می‌باشند. کانی‌های متامورفیک، پلاژیوکلازها، کلینوپیروکسن‌ها و میکاها و سنگ‌های آذرین و دگرگون در خانواده زمین‌شناسی این ناحیه قرار دارد.

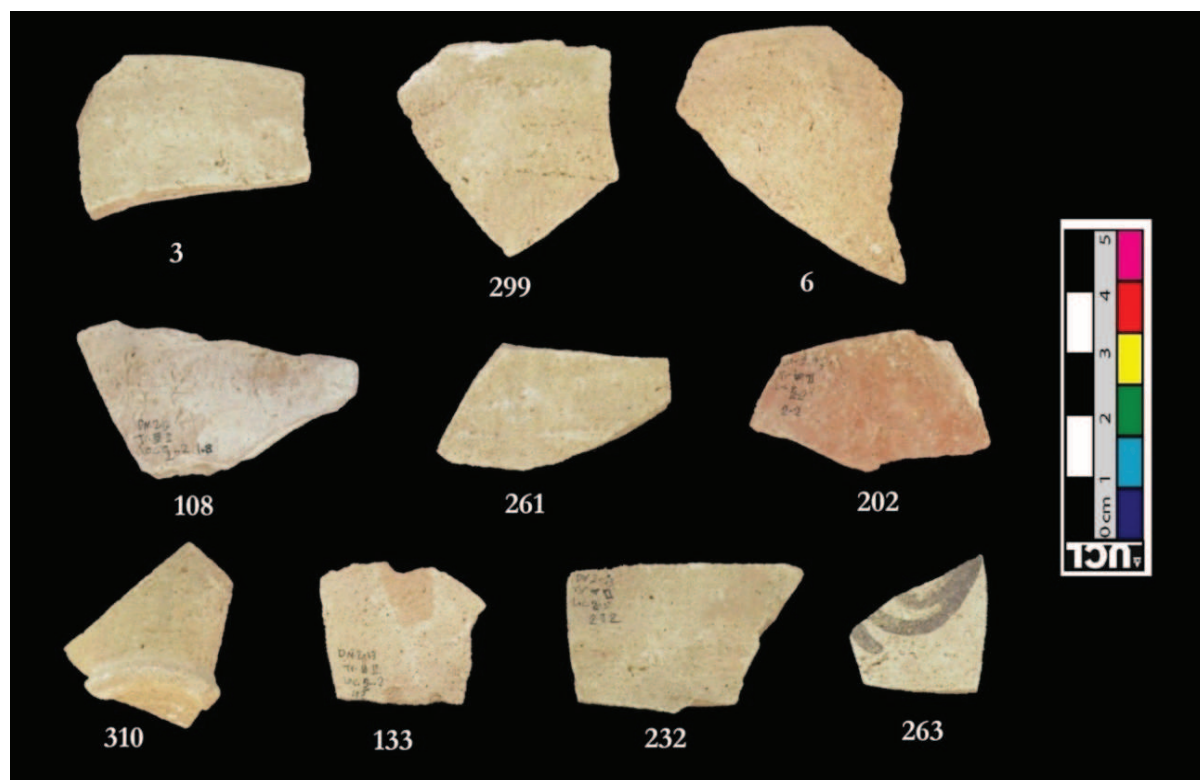
۳- فعالیت‌های تجربی

۳-۱- نمونه‌های مورد مطالعه

سفال‌های فرهنگ علی‌آباد در یک گستره جغرافیایی وسیع از کرمان تا پاکستان به دست آمده‌اند. علاوه بر دره بردسیر که از آن سفال‌های ابلیس IV به فراوانی یافت شده است [۷ و ۱۹]، این سفال‌ها در جنوب‌شرق ایران از دشت شهداد [۴ و ۸]، دره هلیل‌رود [۹] و بلوچستان ایران [۲۰] به دست آمده‌اند. در مکران نمونه‌های مشابه با سفال علی‌آباد از دوره IIIa شاهی تمب به دست آمده است؛ هرچند شباهت‌هایی بین دوره II شاهی تمب (سفال میری) و سفال علی‌آباد نیز دیده می‌شود [۱۲]. فرم جام‌های بلند مخروطی پایه‌دار قابل مقایسه با سفال علی‌آباد از شرق بلوچستان پاکستان و از دوره VI مهرگاه (۳۶۰۰-۳۴۰۰ پ.م.) به دست آمده است [۱۲]. سفال‌های علی‌آباد از تپه یحیی به دست نیامده است، کاوشگران تپه یحیی، دوره ابلیس IV را هم‌زمان با وقفه‌ی فرهنگی بین پایان دوره یحیی VA و یحیی VIC یعنی اواسط تا اواخر هزاره‌ی چهارم پ.م. در تپه یحیی می‌دانند [۲۱]. مواد فرهنگی مربوط به ابلیس VI در دره هلیل‌رود از لایه‌های زیرین تپه کنارصندل جنوبی [۹] و محوطه

محوطه‌آباد (دوره II) به دست آمده است و تاریخ نیمه اول هزاره‌ی چهارم پ.م. برای آنها پیشنهاد گردیده است [۸]. اطلاعات موجود نشان می‌دهد که فرهنگ علی‌آباد در هزاره‌ی چهارم پ.م. در یک گستره وسیع جغرافیایی چند صد کیلومتری از شمال استان کرمان تا منطقه مکران گسترش داشته است [۱۱ و ۱۶].

نمونه‌های مورد مطالعه شامل ۱۰ قطعه (۳ قطعه لبه، ۵ قطعه بدنه ساده، ۱ قطعه بدنه منقوش و ۱ قطعه کف) از سفالینه‌های هزاره‌ی چهارم پیش از میلاد (دوره مس و سنگ) می‌باشد که از حفاری‌های روشمند باستان‌شناسی محوطه‌ی دهنو شهداد در سال ۲۰۱۳ میلادی کشف و ضبط شده‌اند (شکل ۳). این سفال‌ها مربوط به فرهنگ علی‌آباد این محوطه بوده و ضخامت‌های متفاوتی دارند. تمامی سفال‌ها دارای تنالیت‌های به رنگ نخودی-نارنجی و بافت تقریباً سست و متخلخلی را دارا هستند. سفال‌های صورتی رنگ دارای استحکام بیشتری نسبت به سفال‌های نخودی هستند. سفال‌ها تقریباً حالت متخلخل و سبکی را دارا هستند و حفرات موجود در آن را به راحتی می‌توان با چشم غیرمسلح دید. بیشتر سفال‌های علی‌آباد منقوش هستند اما قطعات انتخاب شده در این پژوهش بیشترشان بدون نقش هستند البته نه اینکه ظروف کامل آنها بدون نقش بوده است بلکه تنها این بخش‌ها از قسمت‌های بدون نقش سفال‌ها انتخاب شده است (شکل ۳ و جدول ۱).



شکل ۳- سفال‌های هزاره‌ی چهارم پ.م. (علی‌آباد) مربوط به دوره مس و سنگ

جدول ۱- مشخصات کلی نمونه‌های مطالعاتی

Sample	Type of vessel	Made	Color Paste	Shred type	Firing	Decoration	Slip	Age
3	Aliabad	Handmade	Pink	Edge	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
6	Aliabad	Handmade	Buff- Pink	Edge	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
310	Aliabad	Handmade	Buff	Floor	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
108	Aliabad	Handmade	Pink	Body	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
133	Aliabad	Handmade	Buff- Pink	Body	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
202	Aliabad	Handmade	Pink	Body	Suitable	Simple	Simple	Chalcolithic
232	Aliabad	Handmade	Buff	Body	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
261	Aliabad	Handmade	Buff	Body	Suitable	Simple	Buff	Chalcolithic
263	Aliabad	Handmade	Buff	Body	Suitable	Painted	Buff	Chalcolithic
299	Aliabad	Handmade	Buff- Green	Edge	Suitable	Simple	Simple	Chalcolithic



۴- روش‌های آزمایش

در تجزیه و تحلیل نمونه‌های مورد تحقیق در روش پتروگرافی (مطالعه مقاطع نازک میکروسکوپی) با استفاده از میکروسکوپ نوری پلاریزان (OPM) و با استفاده از دستگاه پلاریزان مدل Olympusbx60, Camera Dp71 ساخت کشور ژاپن در آزمایشگاه دانشگاه هنر اصفهان استفاده شده است. همچنین آماده‌سازی و ساخت نمونه‌های مقاطع نازک میکروسکوپی در کارگاه پتروگرافی شرکت زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی آماده‌سازی مقاطع و مینرالوژی اصفهان صورت گرفته است.

آنالیز XRD به‌وسیله‌ی دستگاه دیفراکتومتر مدل PW1730 ساخت کمپانی Philips و محصول کشور هلند انجام شده است. آزمایش مذکور با استفاده از لامپ تیوپ تولیدکننده‌ی پرتو ایکسی که از جنس مس (Cu) و انرژی تولید شده $K\alpha_1=1.5406$ بوده و با اختلاف پتانسیل ۴۰ کیلوولت و شدت جریان ۳۰ میلی‌آمپر، پرتو ایکس مورد نیاز را تولید می‌کرد انجام شد. آزمایش XRD روی نمونه از زاویه ۱۰ تا ۵۵ درجه برای نمونه‌ها ($2\theta = 10-55$) انجام شده است. این آزمایش در آزمایشگاه بیم گستر تابان صورت پذیرفته است.

آنالیز FE-SEM-EDS (میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی مجهز به طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتو ایکس) به‌وسیله دستگاه مدل MIRA3 ساخت شرکت Tescan (محصول آمریکا) با قدرت تفکیک در حد $1/5\text{mm}$ در ولتاژ 15KV و $4/5\text{nm}$ در ولتاژ 1kv با آشکارساز BSE صورت پذیرفت. آنالیز EDS به کار رفته در این دستگاه دارای قدرت تفکیک 126 ev و حد تفکیک بیشتر از 5000 ppm است.

برای آنالیز pXRF از دستگاه Niton XL3t 8.0.0 دارای شرایط دتکتور SDD، آند Ag، با فاصله‌ی شیء از پرتو 5cm ، و بیشترین میزان ولتاژ 50 kV و ابعاد اشعه‌ی 3mm مورد استفاده قرار گرفته است.

۵- نتایج و بحث

۵-۱- نتایج پتروگرافی

مطالعات پتروگرافی در جهت شناسایی بافت زمینه سفالینه‌ها و شناسایی سه جزء مهم در بافت سفال یعنی بافت زمینه، مواد افزودنی و تخلخل صورت گرفته است (جدول ۲). بافت زمینه سفال‌های تپه دهنو شه‌داد یک بافت زمینه رسی با افزودنی‌های درشت بلور ناهمگن و درجه حرارت بالا است که خود را به رنگ‌های تقریباً سبز و قرمز نشان می‌دهد [۲۲]. عمده کانی‌های مشاهده شده در بافت سفال‌ها دانه‌های کوارتزی هستند که به دو فرم تک‌بلور و چندبلوری است. کانی‌های کوارتز در تمام نمونه‌ها دارای لبه‌های تیز و گوشه‌دار بوده که حاصل خردکردن و آسیاب نمودن قطعات سنگی و متمورف است. پلاژیوکلازها (آنورتیت و بیوتیت) از دیگر کانی‌هایی است که در تمام نمونه‌ها وجود دارند و ساختار خود را با ماکل پلی‌سنتتیک آلیتی نشان می‌دهند. آنورتیت در دمای 1550°C و آلیت در حرارت 1100°C در سنگ‌های آذرین متبلور می‌شوند و به‌همین دلیل در این سرامیک‌ها بدون تغییر دیده می‌شوند [۲۳]. در بیشتر نمونه‌های سفالی افزودنی‌هایی با منشا دگرگونی مشاهده می‌شوند که اجزای مهم تشکیل‌دهنده‌ی بسیاری از رسوبات خشکی‌زاد هستند [۲۴] و غالباً می‌توان دانه‌های کوارتز، فلدسپار و مسکویت را در آن‌ها مشاهده کرد. آپاتیت از گروه



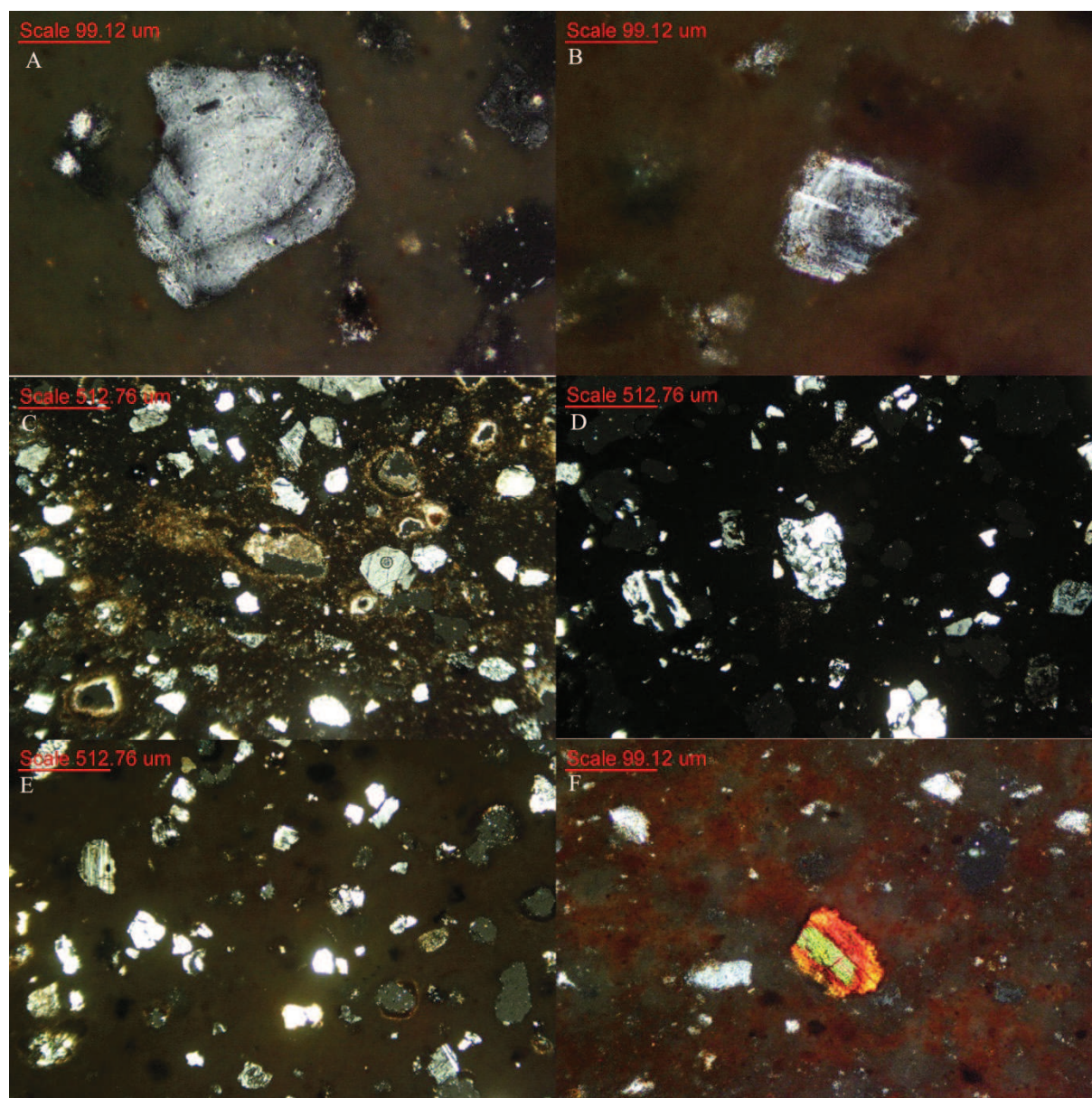
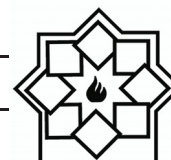
کانی‌های فسفاتی است که در نمونه شماره ۶ وجود داشته و می‌توان منشأ آن را به کانی‌های اولیه و دگرگونی موجود در منطقه مربوط دانست. آهک در بافت بیشتر سفال‌ها مشاهده می‌شود که اغلب با جذب رطوبت به صورت ثانویه و قرارگیری در محیط دفن تبدیل به کانی پرتلندیت شده‌اند. دانه‌های کلسیتی موجود در برخی نمونه‌ها را می‌توان به‌عنوان شاخص حرارتی در نظر گرفت و تخمین مناسبی برای دمای پخت سفال‌ها داشت [۲۴ و ۲۵]. در نمونه ۲۰۲ بافت کلسیت سالم در مرکز دانه حضور دارد که اطراف آن را آهک فرا گرفته و در مرز بیرونی آن واکنش تشکیل پرتلندیت صورت گرفته است. این نکته نشان می‌دهد که قاعدتاً دمای پخت سفال به دلیل وجود کلسیت فراتر از 850°C نرفته از طرفی واکنش تبدیل کلسیت به آهک و فرآیند تشکیل پرتلندیت اتفاق افتاده است، که این امر احتمالاً می‌تواند گویای استفاده از یک کوره درجه حرارت بسیار بالا بوده یا می‌توان این نکته را مطرح نمود که صنعتگر پیش از تاریخی این سفال را در لحظه‌ی آخر با دمای بسیار بالا برای پخت در کوره قرار داده که سرعت حرارت‌دهی بالا بوده است.

مسکویت از دسته کانی‌های گروه میکا است و خود را با

ساختار صفحه‌ای به رنگ نارنجی نشان می‌دهد. کانی‌های مسکویت موجود در بافت سفال‌های دهنو بسیار ریز و محدود بوده و دارای منشأ گرانیتهی هستند. مسکویت از دسته کانی‌هایی است که باتوجه به حضورشان در بافت سفال‌ها می‌توان آن‌ها را به‌عنوان یک فاز حرارتی و ترمومتر در نظر گرفت و تاحدودی دمای پخت را تخمین زد [۲۶]. مسکویت در دمایی بالاتر از 900°C خواص نوری خود را از دست داده و به رنگ زرد سوق پیدا می‌نماید. اغلب کانی‌های مسکویت موجود در سفال‌ها به رنگ نارنجی بوده و هیچ‌گونه تخریبی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود که نشان‌گر فراتر نرفتن دمای پخت از 900°C درجه سانتی‌گراد است. اما در مواردی مسکویت را می‌توان با حاشیه‌هایی به رنگ زرد و بافت درونی نارنجی رنگ مشاهده نمود که بیانگر رسیدن دما به 1000°C بوده درحالی‌که دما از 1020°C فراتر نرفته است. از دیگر نکات شاخص موجود در این نمونه‌ها مشاهده پدیده زون‌افکت^۱ (باندازه‌های رنگی) یا میرمکیتی^۲ شدن فلدسپات‌ها است. این پدیده در اثر تأثیر مواد رادیواکتیو موجود در محل دفن سفال‌ها و به پیروی از آن باعث تشکیل ساختارهای لایه‌ای در فلدسپات‌ها می‌شود [۲۷ و ۲۸ و ۲۹ و ۳۰].

¹ Zoning of Plagioclase

² Myrmekite Texture



شکل ۴- (A) پدیده میرمیکیتی شدن فلدسپات‌ها (2Pol-X40). (B) فلدسپات با خاصیت پدیده زون افکت (2Pol-X20). (C) پراکندگی کانی‌ها در نور XPL (2Pol-X40). (D) کوارتز با منشا متامورف (2Pol-X10). (E) پراکندگی دانه‌های پرکننده کوارتز، کربنات‌ها و پلاژیوکلازها در بافت زمینه، مربوط به نمونه ۲۳۲، (2Pol-X40). (F) کانی مسکوویت در حال از دست دادن خواص نوری در بافت زمینه رسی قرمز رنگ، مربوط به نمونه ۱۰۸، (2Pol-X20).



جدول ۲- فازهای کریستالین مشاهده شده در سفال‌ها و تنوع وجود آنان

Texture	Color Texture	Hornblende	chert	Gehlenite	Alkali-Feldspar	Apatite	Calcite	Fe-oxid	Muscovite	Pyroxene	Plagioclase	Quartz	No. Sample
Immature	Green	-	+	-	+	-	++	+	+	+	++	++	3
Immature	Green	-	-	-	-	tr	+	+	+	+	++	++	6
Immature	Red	-	++	-	-	-	-	++	+	tr	+	++	108
Immature	Red	-	+	-	+	-	+	+	+	+	++	++	133
Immature	Red	-	-	+	-	-	+	+	+	+	++	++	202
Immature	Green	tr	-	-	-	-	-	+	Tr	+	++	++	232
Immature	Green	-	+	-	-	-	++	+	+	+	++	++	261
Immature	Green	-	+	-	-	-	+	+	+	+	++	++	263
Immature	Green	-	+	-	-	-	+	++	+	+	++	++	299
Immature	Green	-	+	-	-	-	++	+	+	+	++	++	310

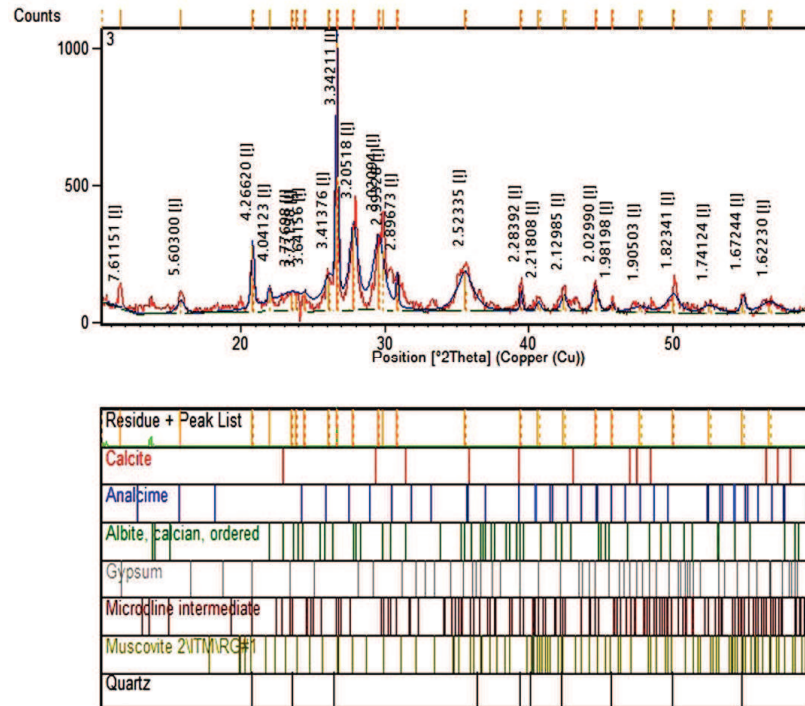
۶- نتایج آنالیز فازی (XRD)

به جهت مقایسه و شناخت فازهای بلوری و کریستالین موجود در سفال‌های موجود از تمامی نمونه‌های موردنظر آنالیز XRD تهیه شد که فازهای شناسایی شده در جدول شماره ۳ بیان شده‌اند. کوارتز از بیشترین و شاخص‌ترین فازهای شناسایی شده در تمام سفال‌ها است که در واقع بافت غنی از سیلیس سفال‌ها را نشان می‌دهد. این فاز در بررسی‌های مقاطع نازک میکروسکوپی و شیمیایی مشاهده و شناسایی شده است. فلدسپات‌ها و پلاژیوکلازها به مقدار زیاد در نمونه سفال‌ها مشاهده و شناسایی شد. این دسته از آلومینوسیلیکات‌ها از دسته فازهایی هستند که از خاک منطقه و یا مواد خرد شده‌ی پرکننده در بافت سفال‌ها می‌باشند. کلسیت از دسته فازهایی است که وجود آن‌ها در سفال‌ها به عنوان شاخص حرارتی در نظر گرفته می‌شود. باتوجه به تجزیه کلسیت در دمایی بالاتر از ۸۵۰ درجه

سانتی‌گراد می‌توان دمای پخت سفال‌هایی که دارای کلسیت هستند پایین‌تر از ۸۵۰ درجه تخمین زد [۳۱ و ۳۲]. فازهای آهن‌دار هماتیت تنها در نمونه ۲۰۲ شناسایی شده است. این فاز از جمله فازهای مهم تأثیرگذار در شرایط اکسیداسیون می‌باشد و یا اینکه دلیل تشکیل آن با توجه به مطالعه پتروگرافی که بافت قرمز حرارت بالا را دارد، به وجود آمده است. تشکیل ترکیبات جدیدی همانند آنالسیم (زئولیت سدیم‌دار) نشان از تخریب آلبیت در شرایط مرطوب دارد. این فاز از نظر آسیب‌شناسی بسیار مهم است زیرا این ساختار با قابلیت جذب بالای مولکول‌های آب و تمایل به تبادل یونی خوب، سبب ناپایداری در بافت سفال‌ها می‌شود [۲۳ و ۳۲]. سانیدین و مشخصه سنگ‌های با منشأ آذرین می‌باشند که به عنوان فازهای کریستالی که در دسته اورتوکلازها قرار می‌گیرد، شناسایی گردیده‌اند (شکل ۵ و جدول ۳). با توجه به اینکه محل پیک‌های محاسبه شده بر



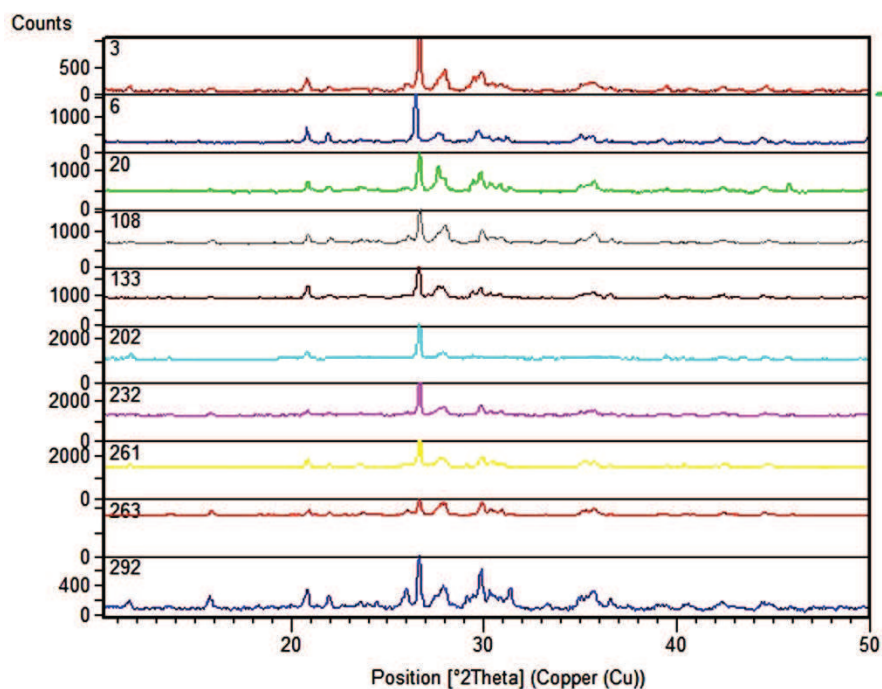
اساس 2θ وابسته به شدت اشعه ایکس تولید شده است،
تمتمی پیک‌ها بر اساس فاکتور d -spacing در نمودار آورده
شده که خصلت وابسته با ثابت شبکه کریستالی بوده و
بعنوان یک اثر انگشت برای شناسایی فازها استفاده می‌شود.



شکل ۵- دیاگرام XRPD قطعه شماره ۳ و فازهای کریستالین شناخته شده

جدول ۳- حضور و عدم حضور فازهای کریستالین در سفال‌ها براساس نتایج کیفی ریتفلد

Sample	Quartz	Albite	Analcime	Anorthite	Calcite	Diopside	Enstatite	Gypsum	Hematite	Illite	Labradorite	Gehlenite	Muscovite	Microcline	Pyroxene	Sanidine
3	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
6	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	-	+	+
108	+	+	+	-	+	-	-	+	-	+	+	-	+	+	-	-
133	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+
202	+	+	+	-	+	+	-	+	+	-	-	-	-	-	+	-
232	+	+	-	-	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	+	-
261	+	+	-	+	-	+	+	+	+	-	-	-	+	-	-	+
263	+	+	+	+	-	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+
299	+	+	+	+	-	+	-	+	-	+	+	+	-	-	-	-
310	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	-	+	+	-



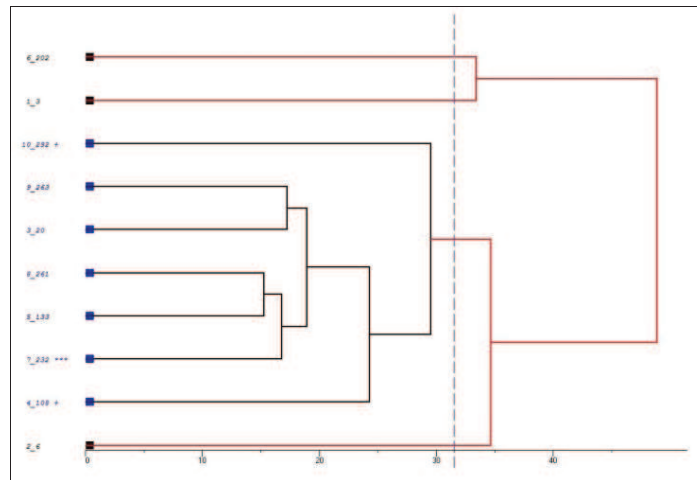
شکل ۶- دیاگرام مقایسه‌ای آنالیز پراش پرتو ایکس پودری ۱۰ قطعه سفال مورد مطالعه

می‌توان نمودارهای شباهت (دندوگرام) نمونه‌های مطالعاتی را رسم و تشابهات و تفاوت‌ها را در قالب دیاگرام مشاهده کرد (امامی، ۱۳۹۱). براساس نمودارهای شکل ۱۱ و ۱۲ می‌توان سفال‌ها را براساس فازهای بلوری XRD به دو دسته تقسیم‌بندی نمود. این تفاوت در تقسیم‌بندی را باید به تکنیک‌های ساخت سفال‌های مذکور مرتبط دانست نه متفاوت بودن منشأ خاک آن‌ها، که سفال‌های ۳، ۶ و ۲۰۲ را باید در یک دسته و بقیه سفال‌ها را مربوط به یک دسته مرتبط دانست (شکل ۷).

در تحلیل داده‌های XRD از روش‌های آماری خوشه‌ای و PCA استفاده شده است. تحلیل خوشه‌ای^۱ (یا کلاستر) روشی برای گروه‌بندی داده‌هاست که دربردارنده الگوریتم‌ها و روش‌هایی برای گروه‌بندی موردهای مشابه درون طبقات مختلف است. PCA^۲ از جمله روش‌های تحلیل چندمتغیری است که این امکان را فراهم می‌سازد تا به‌توان داده‌های زیادی را طبقه‌بندی، تحلیل و استنتاج کرد [۳۳]. بر پایه‌ی نتایج XRD و ایجاد شباهت‌های محاسبه شده براساس نوع مواد خام کاربردی و همچنین مقدار آن

^۱ Cluster Analysis

^۲ Principal Components Analysis



شکل ۷- دندوگرام‌های خوشه‌ای شباهت در سفال‌های تپه دهنو شهداد

۷- نتایج ریزساختاری FE-SEM-EDS

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی نشر میدانی مجهز به طیف‌بینی پاشنده انرژی پرتو ایکس، از سه نمونه ۱۰۸، ۱۳۳ و ۲۶۱ آنالیز انجام شده است. تصاویر میکروسکوپی سفال‌ها بافت نیمه شیشه‌ای شده نمونه‌ها و تخلخل موجود در آن را به خوبی نشان می‌دهد. همان‌طور که در بررسی‌های پتروگرافی مشخص شد سفال‌ها دارای تخلخل‌ها و حفرات بسیاری بودند که این تخلخل‌ها را در تصاویر میکروسکوپی SEM در قالب حفره‌های ریز و درشت می‌توان دید که بر اساس مطالعات صورت گرفته حاکی از بافت زمینه نیمه‌شیشه‌ای بافت زمینه است (تصویر A۸). که از جمله مهم‌ترین علل آن در این سفال‌ها می‌توان به عدم ورز مناسب خمیره‌ی سفال‌ها توسط سفال‌گران در مرحله فرآوری و آماده‌سازی خمیره اشاره کرد و یا درجه حرارت پخت نه‌چندان زیاد که بافت سفال را در حالت نیمه شیشه‌ای و غلیظ نشان می‌دهد [۳۴]. همچنین برخی از حفرات که تقریباً بزرگ را می‌توان مربوط به سوختن مواد

آلی یا تغییرات فازی موجود در خمیره در حین حرارت‌دهی و پخت آنها دانست، چرا که در مطالعات پتروگرافی نیز آثاری از حفرات موجود در اثر سوختن مواد آلی به‌دست آمده است. همان‌طور که قبلاً ذکر گردید برای تهیه خمیره سفال‌ها از تمپرها و مواد افزایش‌دهنده معدنی‌ای که حاصل خرد کردن و آسیاب سنگ‌های متامورفیک و آذرین بوده استفاده شده است، به‌همین جهت در تصاویر میکروسکوپی SEM دانه‌های کوارتز، موسکویت و پلاژیوکلاز مشاهده می‌گردد که دارای لبه‌های تیز و خرد شده است (تصویر B۸). دانه‌های کوارتز به‌دست آمده دارای ترک‌های واضح و مشخصی هستند، این عمل یا می‌تواند در اثر خرد شدن و آسیاب کردن آنها در هنگام تهیه عملیات حرارتی برای افزودن به خاک رس یا در اثر فشارهای حرارتی به‌وجود آمده باشد. سفال‌هایی با بافت زمینه غنی از کوارتز ممکن است به‌علت انبساط کوارتز در دمای ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد ترک بردارند (تصویر C۸). این مورد را می‌توان یکی از آسیب‌های حرارتی در حین پخت ظروف سفالی برشمرد [۲۷]. به همین جهت بایستی عنوان نمود که مرحله پختن سفال یکی از

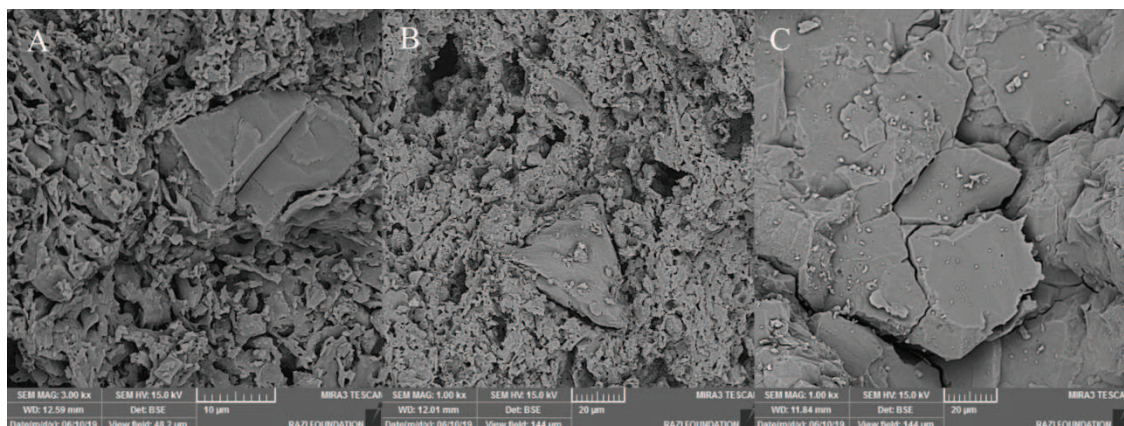
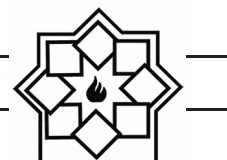


توان در بررسی‌های پتروگرافی و XRD هم مشاهده کرد. همان‌طور که در مطالعه مقطع نازک مشاهده شد در بافت تمام سفال‌ها کرنات کلسیم و کلسیت موجود می‌باشد که عنصر کلسیم شناسایی شده در اینجا می‌تواند به‌وضوح بیانگر این نکته باشد. وجود کلسیم در بافت سفال‌ها نشان می‌دهد که سفالگر هزاره چهارم در ساخت آنها از خاک‌های رسی با پایه آهکی (Calc rich clay) استفاده نموده است. همچنین وجود آهک فراوان در بافت سفال‌ها در بررسی‌های پتروگرافی مشخص گردید [۳۵]. سفال‌های علی‌آباد دارای رنگ‌های نخودی - نارنجی هستند که می‌توان حضور آهن با درصد بالا را دلیلی بر این امر دانست. دلیل دیگر حضور درصد بالای آن را می‌توان به‌دلیل بافت زمینه قرمز رنگ حرارت بالای سفال‌ها ناشی از تشکیل اکسید آهن از جمله هماتیت در آنها دانست. عناصر قلیایی و قلیایی خاکی را از جمله پتاسیم و منیزیم با درصدهای تقریباً بالا در نمونه‌ها مشاهده می‌شود. پتاسیم بیشتر بصورت غالب در فازهای آلکالی فلدسپار (آلبیت و سانیدین) و منیزیم بصورت ترکیبات بجای مانده از دولومیت و یا دیوپسید در این چنین بافت زمینه ای مشاهده می‌شوند. که این عناصر می‌تواند بر ویژگی‌های خاک رس و در نهایت ساختار سفال تأثیرگذار باشند زیرا این عناصر می‌توانند نقش گداز‌آور را در بافت سفال‌ها ایفا کنند [۳۶ و ۳۷ و ۳۸]. مسئله مهم دیگری که به‌چشم می‌خورد درصد بالای کلر (Cl) است که این میزان نشان می‌دهد خاک محل دفن سفال‌ها دارای میزان قابل توجهی ترکیبات کلریدی بوده است و منطقه‌ای شورزار را معرفی می‌نماید، که این مهم باتوجه به منطقه مورد نظر دشت شهداد صدق می‌کند (جدول ۴ و شکل ۹).

مهمترین مراحل ساخت سفال در دوران باستان بوده است. ساختار سفال‌ها وابسته به زمان موردنیاز برای پختن با توجه به نوع کوره، نوع رس و زمان سرد شدن تغییر می‌کند. بدلیل عدم کنترل کاملاً یکسان و نبود قانون حرارتی ثابت هنگام پخت در کوره‌ها مواد سفالین دچار شوک حرارتی شده و تخریب می‌شدند. این تخریبات بصورت سست شدن ترکیبات سفالین مشاهده می‌شود. از طرفی تغییرات فازی کوارتز الف (α) به بتا (β) در حین فرایند پخت سبب ایجاد ترک در داخل ذرات کوارتز شده که در بافت زمینه نمونه‌ها ادامه دارد [۲۷]. از طرف دیگر ترک‌های ایجاد شده در حین پخت سفال‌های باستانی پس از مدت زیاد فرایند دفن با ترکیبات ثانویه نظیر نمک‌ها تا حدی دوباره پر می‌شوند. به همین دلیل ایجاد تفاوت بین ترک ناشی از ساخت سفال با ترک ناشی از شوک حرارتی هنگام پخت سفال در سرامیک باستانی امری مشکل است. لیکن ترک ایجاد شده بر روی وارتر در میکروسکوپ الکترونی قابل مشاهده است.

۸- نتایج آنالیز شیمیایی (pXRF)

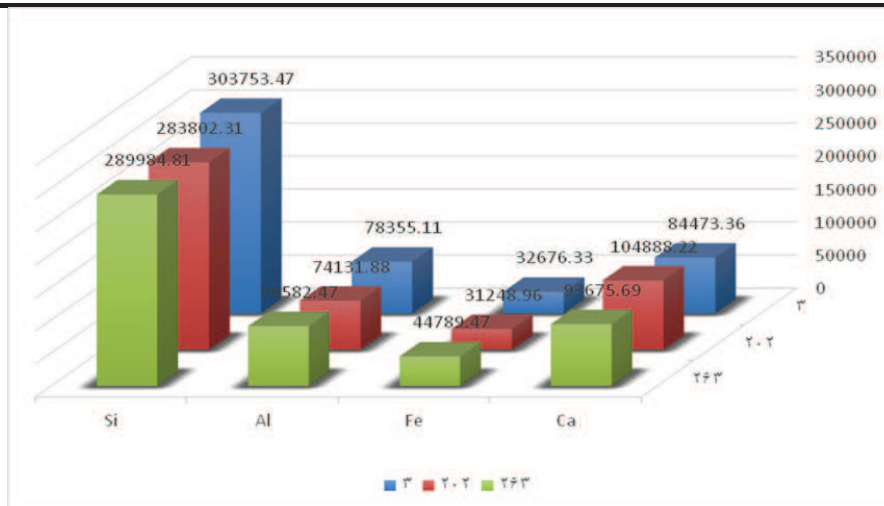
به‌منظور مقایسه ترکیب شیمیایی سفال‌های دهنو، تعداد سه قطعه از سفال‌ها (نمونه‌های ۳، ۲۰۲ و ۲۶۳) مورد آنالیز قرار گرفتند. نتایج آنالیز XRF پرتابل نمونه‌ها در جدول ۵ عنوان شده است. باتوجه به نتایج حاصل از آنالیز عنصری پرتابل می‌توان تقریباً تشابه یکسان و مشابهی برای مواد خام مورد استفاده در سفال‌های مذکور مشاهده کرد. چهار عنصر سیلیس، آلومینیوم، کلسیم و آهن بیشترین درصد ترکیبات در نمونه سفال‌ها را شامل می‌شوند. مقدار بالای سیلیس نشان از وجود بافت غنی سیلیسی سفال‌ها دارد که این موضوع را می‌-



شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی مربوط به نمونه ۱۰۸ (A)، ۱۳۳ (B) و ۲۶۱ (C)

جدول ۴- آنالیز pXRF نمونه سفال‌های تپه دهنو (بر حسب ppm)

Sample	Si	Ti	Al	Fe	Mn	Mg	Ca	K	P	S	Cl	Sc	V	Cr	Ni	Cu	Zn	As	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Pd	Ag	Cd	Sn	Sb	Te	Cs	Ba	W	Au
263	289984.81	2340.8	90582.47	44789.47	879.77	26171.68	93675.69	11391.03	377.57	1799.77	667.61	266.57	80.07	36.27	29.32	29.2	97.46	10.58	35.18	1163.92	23.75	155.52	12.03	0	3.52	2.61	2.32	8.3	7.17	7.49	8.15	341.79	33.52	2.59
202	283802.31	2386.65	74131.88	31248.96	703.63	29550.05	104888.22	14425.55	360.34	3987.36	1644.4	291.02	67.1	32.53	29.28	30.83	71.95	5.62	49.98	708.94	18.63	125.28	9.84	0	6.95	3.81	14.49	15.73	27.92	79.31	29.09	626.79	35.84	1.53
3	303753.47	2698.23	78355.11	32676.33	681.22	39666.48	84473.36	12183.7	804.11	3835.45	2307.47	268.53	74.32	22.51	26.21	19.87	85.85	11.94	32.06	1405.83	18.84	121.08	8.75	0.24	6.94	2.27	1.97	5.76	11.3	29.05	12.39	454.85	11.75	1.36



شکل ۹- نمودار مقایسه میزان عناصر سیلیس، آلومینیوم، آهن و کلسیم در سفال‌های موردنظر



۹- نتیجه گیری

کالبدول در گزارشات خود از محوطه‌ای در محدوده‌ی منطقه‌ی علی‌آباد که تقریباً در حدود ۲ کیلومتری شرق رود لاله‌زار کنونی و ۴ کیلومتری شمال تل‌ابلیس بود گزارش می‌دهد که نام علی‌آباد را برای این محوطه انتخاب می‌کند. مجموعه‌ای که ایشان از این محوطه گردآوری کردند شامل ۵۰ قطعه سفال و یک تکه از ظرفی از جنس مرمر سفید بود. به کمک اطلاعاتی که بعدها از محوطه‌ی تل‌ابلیس به دست آمد متوجه تمایز این سفال‌ها با دیگر سفالینه‌های به دست آمده شدند که آنها را سفالینه‌های علی‌آباد نامید. سبک کار این سفالینه‌ها مشابه سبک دوره چهارم تل‌ابلیس است. باتوجه به شناخت کم و محدودی که در زمینه‌ی سفال‌های علی‌آباد جنوب شرق فلات ایران وجود داشت، سعی در پاسخ‌گویی به برخی از پرسش‌های موجود از جمله تکنولوژی ساخت و منشأ آنها در این زمینه شده است. به همین جهت آزمایشاتی نظیر آنالیز مقطع نازک پتروگرافی، XRD، FE-SEM-EDS و PXRf برای دستیابی به اطلاعات فنی (تکنیک ساخت، مواد افزودنی، شرایط پخت و کوره)، شناخت منشأ (محلی یا وارداتی بودن و یکسان بودن یا چندگانگی منشأ) و غیره صورت گرفته است.

در آنالیز میکروسکوپی پتروگرافی قطعات کوارتز مشاهده شده دارای لبه‌های گوشه‌دار و تیز هستند که این مسئله دلیلی بر منشأ معدن کاوی و آسیاب نمودن مواد افزودنی به خمیره‌ی سفال است. بیشتر کوارتزها دارای منشأ متمورف یا گرانیسی است. از دیگر کانی‌های مشاهده شده پلاژیوکلازاها، فلدسپات‌ها، مسکویت، بیوتیت و خرده‌سنگ‌ها

می‌باشند که باتوجه به رخنمون‌های زمین‌شناسی منطقه می‌توان مربوط به کانی‌شناسی منطقه دانست و منشأ یکسان و محلی بودن را تاحدودی برای آنها در نظر گرفت. باتوجه به مطالعه بر روی پتروفابریک سفال‌ها که دارای زمینه رسی قرمز و سبز هستند می‌توان این را ادعا کرد که سفال‌ها حرارت تقریباً بالای را متحمل شده‌اند، که نشان می‌دهد سفال‌گران هزاره‌ی چهارم توانسته‌اند دمای کوره پخت را تاحد نسبتاً زیادی بالا ببرند؛ اما باید این نکته را هم متذکر شد که صنعتگران آن دوره هنوز به آن چنان درجه‌ای از پیشرفت نرسیده بودند تا بتوانند دما و شرایط کنترل پخت کوره را تنظیم نمایند. میزان تخلخل سفال‌ها تقریباً بالاست که می‌توان آنها را ناشی از دمای پخت بالا و تجزیه مواد موجود (آلی) و یا تغییرات پلی‌مورفیکی دانست. در برخی سفال‌ها دانه‌ها و فازهای حرارت بالا مشاهده می‌شوند که باتوجه به فازهای شناسایی شده می‌توان دمای تقریبی متحمل شده سفال‌ها را حدس زد. اما در نهایت میانگین دمایی که می‌توان پیشنهاد داد محدوده‌ی دمایی مابین ۱۰۰۰-۸۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد می‌باشد. سفال‌هایی با فازهای حرارت بالا در محدوده ۱۰۰۰-۹۰۰ درجه که دمای آنها فراتر از ۱۰۰۰ درجه نرفته، و سفال‌هایی با فازهای اولیه حرارت پایین نظیر کلسیت در محدوده‌ی ۸۵۰ درجه‌ی سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. در نهایت باید گفت خاک مورد استفاده در ساخت خمیره سفال‌ها از یک منبع یکسان برداشت شده است و تفاوت در سفال‌ها تنها در تکنیک ساخت‌شان است که دندوگرام‌های شباهت و PCA نیز این مهم را به اثبات می‌رسانند.

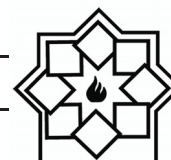


مراجع

- [۶] اسکندری، نصیر، حکمت‌الله، ملاصالحی، حسن، فاضلی. استقرارهای پیش از تاریخ دشت لوت، جنوب شرق ایران، مجله مطالعات باستان‌شناسی ایران. ۱۳۹۵، ۸، ص ۱-۱۵.
- [7] R. J. Caldwell, (ed.), "Investigations at Tal-i-Iblis", Illinois State Museum Preliminary Reports 9). Springfield: Illinois State Museum Society, 1967.
- [8] M. Vidale, F. Desset, "Mahtoutabad (KSS, Jiroft). Preliminary Evidence of Occupation of a Halil Rud Site in the early 4th Millennium BC", In C. Petrie (ed) Ancient Iran and Its Neighbours: Local Developments and Long-range Interactions in the 4th Millennium BC. The British Institute of Persian Studies, Archaeological Monographs Series III, pp. 233-252, 2013.
- [9] Y. Madjidzade, Excavations at Konar Sandal in the region of the Jiroft in Halil Basin: First preliminary report (2002-2008), IRAN, Vol. 46, pp. 69-103, 2008.
- [10] N. Soleimani, M. Shafie, N. Eskandari, H. Molasalehi, "Khaje Askar: A fourth millennium BC cemetery in Bam, southeastern Iran", Journal of Iranica Antiqua, Vol. LI, pp. 57-84, 2016.
- [1] M. Emami, R. Trettin, "Mineralogical and chemical investigations on the ceramic technology in Coga Zanbil, (Iran, 1250 B.C.)", Periodico di Mineralogia, Vol 81(3), pp. 359-377, 2012.
- [2] M. Emami, Y. Sakali, C. Pritzel, R. Trettin, "Deep inside the ceramic texture: A microscopic-chemical approach to the phase transition via partial-sintering processes in ancient ceramic matrices. Journal of Microscopy and Ultrastructure", Vol 4, pp. 11-19, 2016.
- [۳] سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح جغرافیایی آبادی‌های استان کرمان شهرستان جیرفت. انتشارات سازمان جغرافیایی وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، جلد پنجم، چاپ اول. ۱۳۸۲.
- [4] Hakemi, "Shahdad: Archaeological Excavations of a Bronze Age Center in Iran", Istituto Italiano per il Medio ed Estremo Oriente, Centro scavi e ricerche archeologiche, Reports and Memoirs 27. Rome: Oxford & IBH, 1977.
- [۵] کابلی، میرعابدین. روابط فرهنگی و بازرگانی شهاداد و منطقه ترکستان در هزاره‌ی سوم ق.م. منتشر شده در مجموعه مقالات کرمان‌شناسی، به کوشش محمدعلی گلاب‌زاده، انتشارات مرکز کرمان‌شناسی. ۱۳۶۹.



- [15] C. A. Petrie, "The Chalcolithic of south Iran", in: Potts, D.T. (ed.), Oxford Handbook of Iranian Archaeology, OUP, Oxford, pp. 120–158, 2012.
- [16] ملک‌شهمیرزادی، صادق. ایران در پیش از تاریخ، باستان‌شناسی ایران از آغاز تا سپیده‌دم شهرنشینی. چاپ دوم، تهران: سازمان میراث فرهنگی کشور. ۱۳۸۲.
- [17] ملک‌شهمیرزادی، صادق. اطلس باستان‌شناسی ایران (از آغاز تا پایان دوره یکجانشینی و استقرار در روستاها). چاپ اول، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت). ۱۳۸۷.
- [18] N. Eskandari, "Excavations at the prehistoric site of Tepe Dehno and East Dehno, Shahdad, Southeastern Iran", Iranian Journal of Archaeological Studies 7, pp. 1-17, 2017.
- [19] S. K. S. Sajjadi, "Prehistoric Settlements in the Bardsir Plain, South-Eastern Iran", East and West, Vol. 37: pp. 11-129, 1987.
- [20] M. A. Stien, "Archaeological Reconnaissances in North-Western India and South-Eastern Iran", London: Macmillan, 1937.
- [21] T. Beale, C. C. Lamberg-Karlovsky, "Excavations at Tepe Yahya, Iran 1967-
- [۱۱] ملاصالحی، حکمت‌الله. شفیعی، مژگان. فیروزمندی شیره‌چینی، بهمن. علی‌دادی سلیمانی، نادر و نصیر اسکندری. خواجه‌عسکر: گورستانی از هزاره‌ی چهارم پیش از میلاد در جنوب‌شرق ایران از داده‌های مشهود تا بوده‌های مفقود. پژوهش‌های باستان‌شناسی ایران. شماره ۶ (۴) ص ۲۰-۳۵.
- [12] B. Mutin, "Ceramic traditions and interactions on the south-eastern Iranian Plateau during the fourth millennium BC", In C. Petrie (ed) Ancient Iran and Its Neighbours: Local Developments and Long-range Interactions in the 4th Millennium BC. The British Institute of Persian Studies, Archaeological Monographs Series III, pp. 253-276, 2013.
- [13] D. W. Chase, G. Fehervari, J. R. Caldwell, "Reconnaissance in the Bard Sir Valley", In J. R. Caldwell (ed.), Investigations at Tal-i Iblis. Illinois State Museum Preliminary Reports 9 (Springfield), pp. 73-107, 1967.
- [14] Voigt, M., and R. H. Dyson. 1992. The Chronology of Iran, ca. 8000-2000 B.C. in: R. W. Ehrich (ed.), Chronologies in old world archaeology (3rd ed). Chicago: University of Chicago Press, Pp. 122-178.



آجرهای کشف شده از تل‌آجری تخت‌جمشید. مجله علمی پژوهشی مطالعات باستان‌شناسی، ۱۳۹۳، ۶ (۲)، ص ۱-۱۹.

[26] M. Emami, J. Volkmar, R. Trettin, "Characterization of Ancient Ceramic Matrices with High Resolution Microscopy Methods", Laser Scanning, Theory and Applications, Prof. Chau-Chang Wang (Ed.), ISBN: 978-953-307-205-0, InTech, 2011.

[27] M. Emami, J. Volkmar, R. Trettin, "Quantitative characterisation of damage mechanisms in ancient ceramics by quantitative X-ray powder diffraction, polarization microscopy, confocal laser scanning microscopy and non-contact mode atomic force microscopy", Surface Engineering, Vol. 24 (2), pp. 129-137. DOI 10.1179/174329408X298157, 2008.

[28] C. Ginibre, A. Kronz, G. Wörner, "High-Resolution quantitative imaging of plagioclase composition using accumulated backscattered electron images: new constraints on oscillatory zoning", Contrib Mineral Petrol., Vol. 142, pp. 436-448, 2002.

1975. The Early Periods, American School of Prehistoric Research Bulletin", Vol. 38, Peabody Museum of Archaeology and Ethnology, Cambridge, 1986.

[22] M. Daghmehchi, C. Rathossi, H. Omrani, M. Emami, M. Rahbar, "Mineralogical and thermal analyses of the Hellenistic ceramics from Laodicea Temple, Iran", Applied Clay Science, Vol. 162, pp. 146-154, 2018.

[23] M. Emami, R. Trettin, "Phase Generating Processes in Ancient Ceramic Matrices Through Microstructure Investigation with High Resolution Microscopy Methods", Journal of Advanced Microscopy Research, Vol. 5, pp. 181-189, 2010.

[۲۴] امامی، سیدمحمدامین. آرکئومتری و مینرالوژی فن سفالگری از ۱۶۰۰ تا ۷۰۰ پیش از میلاد در چغازنبیل و هفت تپه. مجموعه مقالات ۸۰ سال باستان‌شناسی ایران (جلد دوم)، به کوشش یوسف حسن‌زاده و سیما میری، تهران: نشر پازینه، ۱۳۹۱، ص ۳۲۸-۳۱۳.

[۲۵] امامی، سیدمحمدامین. آریانسب، سیمین. احمدی، حسین. عسگری چاوردی، علیرضا و پیر فرانسکو کالیری. روش باستان‌سنجی به منظور ساختارشناسی



- [۳۳] نیکنامی، کمال‌الدین. روش‌های پیشرفته آماری در تحلیل داده‌های باستان‌شناختی. تهران: سمت. ۱۳۹۰.
- [34] Y. Maniatis, M.S. Tite, "Technological examination of Neolithic-Bronze Age pottery from central and southeast Europe and from the Near East", *Journal of Archaeological Science*, Vol. 8, pp. 59-76, 1981.
- [۳۵] بلت، هاروی. تریسی، رابرت. اوزن، برنت. پترولوژی سنگ‌های رسوبی. ترجمه محمد لنگرانی، حبیب‌الله قاسمی، سید مسعود همام. مشهد: دانشگاه صنعتی شاهرود. ۱۳۸۹.
- [36] R. B. Heimann, M. Maggetti, "Ancient and Historical Ceramics: Materials, Technology, Art, and Culinary Traditions", Germany, stuttgart: E.Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung (Nagele u. Obermiller), 2014.
- [37] P.S. Quinn, „Ceramic Petrography: The Interpretation of Archaeological Pottery & Related Artefacts in Thin Section", Oxford: Aechaeopress, 2013.
- [38] B. K. Shahraki, B. Mehrabi, K. Gholizadeh, M. Mohammadinasab, "Thermal behavior of calcite as an expansive agent", *Journal of Mining and Metallurgy*, Vol. 47(1), pp. 89-97, 2011.
- [29] J. Riederer, "Thin Section Microscopy Applied to the Study of Archaeological Ceramics", Kluwer Academic Publishers, Printed in the Netherlands, 2004.
- [30] M. Gorres, C. Evangelakakis, H. Kroll, V. Kohl, "The application of mineralogical techniques to the characterization of archaeological ceramic finds", *Applied Mineralogy*, Vol. 2, pp. 985-987; 2000.
- [31] M. A. Cau Ontiveros, M.D. Peter, G. Montana, "Secondary Calcite in Archaeological Ceramics: Evaluation of Alteration and Contamination Processes by Thin Section Study", In Kilikoglou Vassilis; Anno Hein & Yannis Maniatis (eds). *Modern Trends in Scientific Studies on Ancient Ceramics*: 9-18. Oxford: Archaeopress, 2002.
- [32] C. Rathossi, Y. Pontikes, P. Tsolis-Katagas, "Mineralogical Difference Between Ancient Sherds and Experimental Ceramics: Indices for Firing Conditions and Post-Burial Alteration", *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Proceedings of the 12th International Congress Patras, 2010.