

بررسی فن آوری سفالگری هزاره پنجم ق.م. با استفاده از روشهای آزمایشگاهی XRF و XRD در شمال مرکزی ایران*

دکتر حسن طلایی

استاد گروه باستان شناسی دانشگاه تهران

احمد علی یاری

کارشناس ارشد پژوهشی موسسه باستان شناسی دانشگاه تهران

یاسمن تقی ذوقی

کارشناس ارشد پژوهشکده مرمت سازمان میراث فرهنگی، صنایع دستی و گردشگری کشور

از ص ۶۵ تا ۸۴

چکیده:

از جمله شواهد موجود برای بررسی فرایندهای تکنولوژیک در دورانهای پیش از تاریخ، سفال است که به فراوانی از بقایای باستانی، کشف و ضبط می‌شود. سفال به عنوان کهن‌ترین صنعت مردمان ساکن در فلات ایران، جایگاه ویژه‌ای در مطالعات باستان شناسی دارد. اما بیشتر مطالعات انجام شده بر اساس توصیف ظاهری و الگوهای هنری انجام شده است چرا که در چند دهه گذشته، ابزارها و فنون پیشرفته مطالعاتی در دسترس باستان شناسان نبوده است اما در حال حاضر در اثر پیشرفت‌های فن‌آوری مداوم در تمام عرصه‌ها این امکان برای باستان شناسان فراهم شده است تا بتوانند داده‌های مادی خود از جمله مجموعه سفالها را با استفاده از این ابزارها و فنون هر چه دقیق‌تر مورد مطالعه قرار دهند. در این طرح پژوهشی، تعداد ۳۰ نمونه از سفالهای همگون معروف به افق چشمه‌علی از دو محوطه باستانی مرتبط با این افق سفالی (اسماعیل‌آباد و طبقات فوقانی تپه زاغه دشت قزوین) با استفاده از تحلیل آزمایشگاهی XRD (تفرق پرتو مجهول) و XRF (فلورسانس پرتو مجهول) مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. افزون بر این در ارتباط با آزمایشهای انجام شده، وضعیت فیزیکی نمونه‌ها نیز مطالعه شده است. مقایسه نتایج تحلیل‌های آزمایشگاهی نمونه‌ها از دو محوطه وجوه افتراق و اشتراک آنها را نشان داده و در نهایت توانایی‌های فنی سفالگران هزاره پنجم ق.م. را در منطقه شمال مرکزی ایران آشکار کرده است.

واژه‌های کلیدی: افق سفالی چشمه‌علی، شمال مرکزی ایران، تکنولوژی، آزمایش XRD، آزمایش XRF.

مقدمه:

افق سفالی چشمه‌علی را که عمدتاً در مناطق شمال مرکزی ایران در هزاره پنجم ق.م. گسترش یافته است. شاید بتوان یکی از درخشان‌ترین و شاخص‌ترین افق‌های سفالی شمال مرکزی ایران در تمام دوران پیش از

* این پژوهش با استفاده از اعتبارات شورای پژوهشی دانشگاه انجام گردیده است. (شماره طرح: ۴۱۰۵۰۰۳/۱/۰۲)

تاریخ به‌شمار آورد. معیارهای اصلی این موضوع را می‌توان در محورهای زیر مورد توجه و بررسی قرار داد:

- ۱- در این افق الگوهای نقشی سفال‌های منقوش که در ارتباط مستقیم با ذهنیات و جهان بینی جوامع پیش از تاریخ است. به طور بنیادین متحول و دگرگون شده است.
- ۲- اشکال و فرمهای جدید ظروف سفالین پدیدار شده‌اند که قبل از این افق سابقه نداشته است.
- ۳- علاوه بر تحولات سفالگری در زمینه‌های فنی، در الگوهای اقتصادی و اجتماعی جوامع مرتبط با افق سفالی چشمه‌علی نیز تحولات فزاینده‌ای رخ داده است.
- ۴- پراکنش و پراکندگی افق چشمه‌علی در مناطق وسیعی از جمله شمال مرکزی، شمال شرقی ایران و جنوب غرب ترکمنستان گسترش یافته بود.

آثار و شواهد تحولات اشاره شده در منطقه شمال مرکزی ایران از حفاریها و بررسی‌های متعدد باستان‌شناسی، کشف و ضبط شده است که می‌توان از محوطه‌های باستانی مثل چشمه‌علی، سیلک کاشان، اسماعیل آباد، قره تپه شهریار، قمرود، ازبکی و لایه‌های فوقانی تپه زاغه قزوین نام برد؛ به لحاظ باستان‌شناسی، محوطه‌های اشاره شده از اهمیت یکسانی برخوردار نمی‌باشد. یافته‌های تپه سیلک کاشان به دلیل داشتن تسلسل و توالی لایه نگاری، این امکان را برای باستان‌شناسی فراهم می‌آورد تا بتوانند نحوه شکل‌گیری و فروپاشی و نیز ارتباطات افق سفالی قبل و مابعد را به دقت مورد مطالعه قرار دهند. تپه چشمه‌علی ری باستان که برای اولین بار، افق سفالی چشمه‌علی از آن شناخته شده و براساس سنت‌های باستان‌شناسی نام خود را به این افق سفالی داده است، در سالهای (۱۹۳۲م.) مورد کاوش قرار گرفته و هنوز گزارش کامل حفاری آن منتشر نشده است اما بخشی از سفالهای یافت شده از این محوطه که در موزه ملی ایران نگهداری می‌شود منتشر گردیده است (اسفندیاری، ۱۳۷۸) تپه اسماعیل آباد کرج به گونه‌ای دیگر ابعاد گوناگون افق چشمه‌علی را به نمایش می‌گذارد. در این محوطه باستان‌شناسی، آثار و بقایای سفالی افق چشمه‌علی در انباشت لایه‌های باستانی به میزان ۶/۷۰ متر شناسایی شده است که تماماً مرتبط با افق چشمه‌علی می‌باشد و از ده دوره معماری (استقراری) تشکیل گردیده؛ بنابراین یافته‌های سفالی آن بیشتر از دیگر محوطه‌های مرتبط با این افق سفالی ماهیت آن را آشکار می‌سازد (Talai, 1983) بر اساس آزمایشات انجام شده در این محوطه، طول دوره استقرار که در ده دوره معماری انعکاس یافته است حدود ۵۰۰ سال (۴۳۰۰-۴۹۰۰ ق.م.) تخمین زده شده است. براساس مطالعه مجموعه سفالهای یافته شده از تپه زاغه نمی‌توان مرز بین شروع و پایان افق چشمه‌علی را مشخص نمود. در گزارشهای اولیه و مختصر دکتر نگهبان به عنوان بنیانگذار پروژه باستان‌شناسی دانشگاه تهران در دشت قزوین به همزمانی افق چشمه‌علی و افق ماقبل آن اشاره شده است؛ این، نتیجه‌گیری اولیه پیدایش سفالهای افق چشمه‌علی با دیگر سفالها در لایه‌های همگون و همسان بوده است (نگهبان، ۱۳۵۱). از سوی دیگر، ملک شه میرزادی بین سفالهای افق چشمه‌علی با دیگر سفالها تفکیک قائل شده و آنها را مرتبط با دو دوره متمایز می‌داند (ملک شه میرزادی، ۱۳۷۴). با توجه به عدم توازن و انسجام لایه‌نگاری در پیدایش و گسترش سفالهای افق چشمه‌علی در دو محوطه اسماعیل‌آباد و زاغه که از همزمانی نسبی نیز برخوردار دارند، در این پژوهش، ۲۰ نمونه از سفالهای اسماعیل‌آباد و ده نمونه از سفالهای زاغه که هر دو مرتبط با افق سفالی چشمه‌علی هستند مورد آزمایشهای مختلف قرار گرفته‌اند که نتایج آنها در ادامه خواهد آمد.

اسماعیل آباد: مهمترین وجه بارز افق سفالی چشمه‌علی که آن را از دیگر افق‌های سفالی منطقه شمال مرکزی ایران متمایز می‌کند طیف رنگ قرمز بدنه و پوشش آن است. گرچه همگونی رنگ بدنه و پوشش

سفالهای افق چشمه‌علی در تمام محوطه‌های مرتبط با آن، امر شناخته شده‌ای است، در اینجا نتایج بررسی‌های این موضوع به عنوان تأکید بیشتر براساس ۲۰ نمونه مطالعه شده تپه اسماعیل‌آباد با استفاده از جدول رنگ مانسل در جدول شماره یک ارائه می‌گردد:

جدول شماره ۱- رنگ بدنه و پوشش نمونه‌ها براساس جدول رنگ «مانسل»

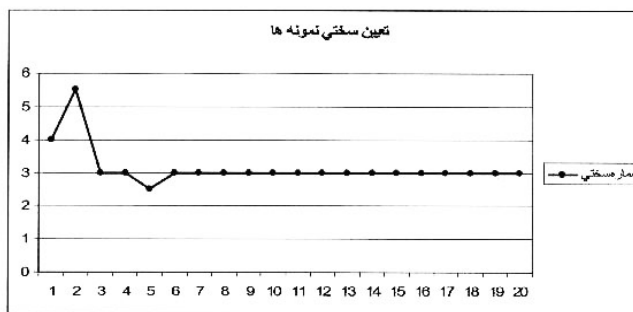
ردیف	شماره نمونه	رنگ بدنه	رنگ پوشش
۱	ML-78-۱	10R 6.6 قرمز روشن	2.5YR 5.6 قرمز
۲	ML-78-۲	2.5YR 4.6 قرمز	2.5YR 4.6 قرمز
۳	ML-78-۳	2.5YR 6.6 قرمز روشن	5YR 6.7 زرد قرمز
۴	ML-78-۴	2.5YR 5.4 قهوه‌ای قرمز	2.5YR 5.4 قهوه‌ای قرمز
۵	ML-78-۵	2.5YR 6.4 قهوه‌ای قرمز روشن	2.5YR 5.6 قرمز
۶	ML-78-۶	5YR 6.4 قهوه‌ای قرمز روشن	5YR 6.4 قهوه‌ای قرمز روشن
۷	ML-78-۷	2.5YR 6.6 قرمز روشن	2.5YR 5.6 قرمز
۸	ML-78-۸	5YR 5.2 خاکستری قرمز	5YR 4.3 قهوه‌ای قرمز
۹	ML-78-۹	2.5YR 6.6 قرمز روشن	10R 5.6 قرمز
۱۰	ML-78-۱۰	2.5YR 5.6 قرمز	2.5YR 5.6 قرمز
۱۱	ML-78-۱۱	10R 4.4 قرمز ضعیف	2.5YR 4.6 قرمز
۱۲	ML-78-۱۲	2.5YR 4.6 قرمز	2.5YR 4.6 قرمز
۱۳	ML-78-۱۳	10R 6.6 قرمز روشن	10R 5.6 قرمز
۱۴	ML-78-۱۴	2.5YR 5.6 قرمز	2.5YR 5.1 قهوه‌ای قرمز
۱۵	ML-78-۱۵	10R 5.3 قرمز	10R 5.6 قرمز
۱۶	ML-78-۱۶	2.5YR 6.6 قرمز روشن	2.5YR 6.6 قرمز روشن
۱۷	ML-78-۱۷	10R 5.4 قرمز ضعیف	10R 5.6 قرمز
۱۸	ML-78-۱۸	5YR 4.3 قهوه‌ای قرمز روشن	2.5YR 6.6 قرمز روشن
۱۹	ML-78-۱۹	2.5YR 5.6 قرمز	2.5YR 5.6 قرمز
۲۰	ML-78-۲۰	10R 6.6 قرمز روشن	10R 5.6 قرمز

براساس آزمایشهای XRD انجام شده بر روی سفالهای افق چشمه‌علی تپه اسماعیل‌آباد، به طور میانگین، ۵۰٪ نمونه‌ها دارای پخت کافی و ۵۰٪ پخت ناکافی را آشکار می‌سازند. گفتنی است گل سفال وقتی در معرض درجه حرارت‌های مختلف قرار می‌گیرد تغییرات فیزیکی و شیمیایی مشخص و متفاوتی را نشان می‌دهد. به طور متعارف، آب و رطوبت گل سفال در درجه حرارت ۱۰۰ تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد بخار می‌شود. در درجه حرارت ۲۵۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد مواد آلی موجود در گل سفال می‌سوزد و در نهایت در درجه حرارت ۷۰۰ تا ۸۰۰ سانتی‌گراد کربنات کلسیم موجود در گل، تجزیه و به اکسید کلسیم و دی‌اکسید کربن تبدیل می‌شود. این حله متعارف درجه پخت نسبتاً مناسب سفال است. در درجه حرارت ۸۵۰ سفال تنها دارای کوارتز و فلدسپات می‌باشد. در درجه حرارت بالاتر از ۸۵۰ تا ۹۵۰ مرحله شیشه‌ای شدن در فرایند پخت اتفاق می‌افتد که سفال به غیر از کوارتز و فلدسپات دارای کانی پیروکسن است. در نمونه‌های آزمایش شده اسماعیل‌آباد در هیچ یک از

نمونه‌ها ترکیبات کربنات کلسیم دیده نشد؛ یعنی، ترکیب، طبق واکنش $Co_3 \rightarrow Cao + Co_2$ تجزیه شده و Co_2 (گاز دی اکسیدکربن) از محیط، خارج و اکسیدکلسیم (Cao) در نمونه باقی می‌ماند به دلیل پایین بودن Cao در نمونه‌ها و نیز با توجه به این نکته که کربنات کلسیم در درجه حرارت ۷۰۰-۸۰۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شود و نیز از آنجایی که در نتایج ترکیبات به روش XRD کانی پروکسن که در دمای بیشتر از ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد تشکیل می‌شود و مشاهده نمی‌شود، براین اساس درجه پخت سفال‌ها در حد تشکیل این کانی نبوده است. پس به این ترتیب، سفال‌های مورد آزمایش در درجه حرارت کمتر از ۹۰۰ درجه پخته شده‌اند که درجه پخت مناسبی برای سفال‌های افق چشمه‌علی است. باید یادآوری نمود، در مطالعات سنتی سفال‌های پیش از تاریخ، برای مشخص کردن پخت مناسب و یا نامناسب، مغز سفال‌ها مورد مشاهده قرار می‌گیرد. اگر در مغز آن‌ها رگه‌های سیاه مشاهده نشود پخت، مناسب و در غیر این صورت، پخت، نامناسب در نظر گرفته می‌شود. یکی از ویژگی‌های بارز سفالهای افق چشمه‌علی ظریف بودن آنها است در بعضی از نمونه‌ها ضخامت متوسط بدنه ظروف به کمتر از چهار میلیمتر می‌رسد. این موضوع، علاوه بر مهارت فوق‌العاده سفالگران این افق به لحاظ فنی نیز قابل توجه است به طوری که در هیچ دوره‌ای از ادوار پیش از تاریخ ایران، سفالهای ساخته شده رایج در جوامع پیش از تاریخ به ظرافت سفالهای افق چشمه‌علی نبوده است. باید توجه داشت اکثریت مطلق سفالهای این افق با دست، ساخته و پرداخته شده‌اند گرچه در پایان این افق سفالی به تدریج استفاده از چرخ سفالگری در شمال مرکزی ایران رواج یافته بود. سفالهای افق چشمه‌علی بسیار فشرده‌اند. این امر، نشان دهنده این است که گل سفال به هنگام عمل‌آوری به خوبی ورز داده شده و از این طریق، حبابهای هوای داخل گل، خارج شده‌اند؛ این روش، باعث فشرده‌گی و سختی و استحکام سفال می‌شود گرچه درجه سختی سفال به غیر از ورز دادن به عوامل دیگر نیز بستگی دارد. در جدول شماره ۲ و نمودار شماره ۱ درجه سختی سفالهای اسماعیل آباد براساس جدول «موهس» اندازه‌گیری شده است.

جدول شماره ۲- درجه سختی نمونه‌ها براساس جدول «موهس»

شماره نمونه	شماره سختی	نام کانی
ML-78-۱	۴	فلونوریت
ML-78-۲	۵-۶	شیشه
ML-78-۳	۳	کلسیت
ML-78-۴	۳	کلسیت
ML-78-۵	۲-۳	ناخن
ML-78-۶	۳	کلسیت
ML-78-۷	۳	کلسیت
ML-78-۸	۳	کلسیت
ML-78-۹	۳	کلسیت
ML-78-۱۰	۳	کلسیت
ML-78-۱۱	۳	کلسیت
ML-78-۱۲	۳	کلسیت
ML-78-۱۳	۳	کلسیت
ML-78-۱۴	۳	کلسیت
ML-78-۱۵	۳	کلسیت
ML-78-۱۶	۳	کلسیت
ML-78-۱۷	۳	کلسیت
ML-78-۱۸	۳	کلسیت
ML-78-۱۹	۳	کلسیت
ML-78-۲۰	دیواره داخلی ۲-۳	ناخن
	دیواره خارجی ۴	فلونوریت



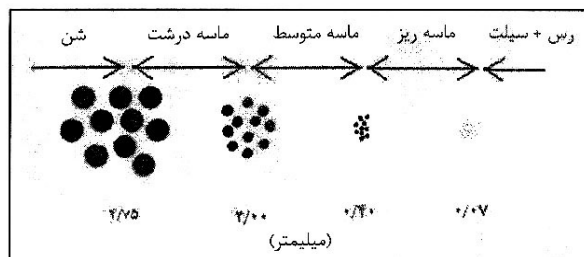
نمودار شماره یک

در افق سفالی چشمه‌علی اسماعیل‌آباد و برای یکنواختی رنگ ظروف، قبل از قرار دادن در داخل کوره و در حالت نیمه خشک آنها را با مایعی که اصطلاحاً «گلابه» «اندود» و یا «دوغاب گلی» نامیده می‌شود پوشش می‌دادند. بعد از پخت سفال، لایه‌ای بسیار نازک در روی بدنه ظروف ایجاد می‌شد. این مایع، ممکن بود رقیق و یا غلیظ باشد. به طور متعارف ظروفی که دارای پوشش غلیظ (Slip) می‌باشند به مرور زمان، پوشش سطح سفال، کنده شده و لذا سطح سفال پوسته پوسته می‌شود در مواردی رنگ پوشش با رنگ بدنه متفاوت است در موارد دیگر، رنگ ظروف سفالین و پوشش آنها همگونی و یکسانی نسبی را نشان می‌دهند. براساس مشاهده نمونه‌های اسماعیل‌آباد با استفاده از میکروسکوپ با بزرگنمایی 50X تا 6X در همه نمونه‌ها پوشش غلیظ مشاهده می‌شود. نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

توضیحات	درصد نمونه‌هایی که رنگ و پوشش یکسان دارند	درصد نمونه‌هایی که رنگ و پوشش متفاوت دارند	تعداد نمونه
بدنه و پوشش نمونه‌ها به دلیل داشتن Fe_2O_3 دارای ته رنگ قرمز هستند که در بعضی نمونه‌ها به دلیل غلظت Fe_2O_3 در دوغاب پوشش، رنگ اسلیپ، پررنگ‌تر است.	٪۴۰	٪۶۰	۲۰ عدد

به هنگام آماده کردن گل سفال، مواد دیگری را به آن به طور آگاهانه اضافه می‌کردند که این مواد با اصطلاحات مختلف از جمله تمپر (Temper) شاموت و مواد پرکننده نامیده می‌شود. در سفالگری مناطق مختلف دنیا از مواد گوناگونی به عنوان تمپر استفاده شده است که این مواد را می‌توان به دو گروه عمده: ارکانیک (کاه و علف‌های خشک) و غیرارکانیک (ماسه، شن، ماسه و ...) تقسیم‌بندی کرد. تعیین نوع تمپر که بدون تردید با استحکام سفال بعد از پخت ارتباط دارد در مطالعات سفال اهمیت ویژه‌ای دارد. مواد پرکننده، معمولاً دارای نقطه ذوب و مقاومت شیمیایی متفاوت هستند و مهمترین کاربرد آنها جلوگیری از تغییر شکل بدنه ظروف هنگام پخت، ایجاد انبساط حرارتی مناسب و کنترل انقباض تر به خشک و خشک به پخت است. افزون بر این، مواد پرکننده در تعیین تخلخل و تا اندازه‌ای رنگ بدنه، اتصال مناسب پوشش و بدنه، نقش بسیار مهمی دارند. در ساخت و پرداخت سفالهای دوره نوسنگی ایران به طور عمده از مواد ارکانیک استفاده شده است. در مواردی غیر آن، استفاده از مواد ارکانیک به قدری زیاد بوده که حتی آثار «داغی» مواد ارکانیک را در بدنه سفال می‌توان با چشم غیر مسلح نیز مشاهده کرد. این گونه از سفالها به نسبت سفالهایی که در تمپر آنها از شن و ماسه استفاده شده است سبک‌ترند. این گونه از سفالها به اصطلاح، سفالهای پوک نامیده می‌شوند. در اواخر دوره نوسنگی و نیز دوران مس سنگی برای تقویت هر چه بیشتر گل سفال از ماسه و شن یا ترکیبی

از مواد ارکانیک و غیرارکانیک استفاده شده است. در این صورت، مشاهده مواد پرکننده در سفالهای مورد مطالعه، بدون استفاده از میکروسکوپ امکان‌پذیر نیست. استفاده از مواد پرکننده غیرارکانیک در سفالگری پیش از تاریخ ایران به طور عمده منحصر به شن و ماسه بوده است؛ اما باید توجه داشت شن و ماسه در طبیعت با اندازه‌های مختلف وجود دارند. (شن: ماسه درشت، ماسه متوسط، ماسه ریز) جهت تعیین انواع شن و ماسه از اشل دانه بندی بر اساس استاندارد ASTM استفاده می‌شود که در شکل زیر آورده می‌شود:



اشل دانه بندی بر اساس استاندارد ASTM

دانه بندی، تعیین درصد وزنی دانه‌ها یا حدود و اندازه‌های مختلف آنهاست. خاکها که بخش اصلی ذراتشان را دانه‌هایی به اندازه شن و ماسه تشکیل می‌دهند خاکهای دانه‌ای و یا درشت دانه در نظر گرفته می‌شود. خاکهای ریز دانه به خاکهایی اطلاق می‌شود که بیشترین بخش آن را ذراتی به اندازه رُس تشکیل می‌دهند (بای‌بوردی، ۱۳۷۲) براساس اشل استاندارد دانه‌بندی ASTM بیست نمونه از سفالهای افق چشمه‌علی در اسماعیل‌آباد مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. نتایج مطالعات، آشکار ساخته است در همه نمونه‌ها از تمپر ارکانیک (کاه و علف‌های خشک) و غیر ارکانیک (ماسه ریز و متوسط) به صورت ترکیبی استفاده شده است؛ نتایج مطالعه به شرح جدول شماره ۳ است:

جدول شماره ۳- ماده پرکننده نمونه‌ها

ماده پرکننده		شماره نمونه	ردیف
نوع تمپر	دانه بندی		
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱	۱
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۲	۲
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۳	۳
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۴	۴
ماسه+کاه	رس+سیلیس	ML-78-۵	۵
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۶	۶
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۷	۷
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۸	۸
ماسه+کاه	رس+سیلیس	ML-78-۹	۹
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱۰	۱۰
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۱۱	۱۱
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۱۲	۱۲
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱۳	۱۳
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱۴	۱۴
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۱۵	۱۵
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۱۶	۱۶
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱۷	۱۷
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۱۸	۱۸
ماسه+کاه	ماسه متوسط	ML-78-۱۹	۱۹
ماسه+کاه	ماسه ریز	ML-78-۲۰	۲۰

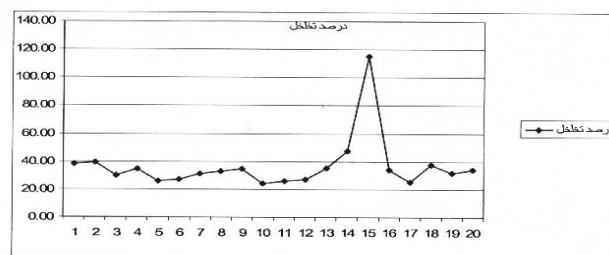
مطالعه و بررسی آزمایشگاهی مشخصات فیزیکی سفالهای پیش از تاریخ از روشهای مؤثر مطالعات غیر توصیفی سفال است. این گونه از مطالعات با هدف تعیین ویژگیهای فنی مثل شیوه ساخت، وجود پوشش و یا عدم آن، نوع دانه بندی خاک استفاده شده، نوع تمپر و کیفیت پخت انجام می شود؛ افزون بر اینها تعیین فضاهای خالی بدنه سفالها که در ارتباط با کیفیت کلی سفال است از دیگر موارد مطالعه فنی سفال است. بدین منظور در مرحله اول، برای تعیین فضاهای خالی، نمونه ها باید وزن شوند (وزن خشک). در مرحله بعدی نمونه ها به مدت لازم در داخل آب معمولی قرار داده می شوند و مجدداً وزن می شوند (وزن اشباع). تفاوت بین دو وزن، حجم فضاهای خالی نمونه مورد آزمایش را نشان می دهد در این آزمایش از فرمول زیر استفاده می شود:

$$\text{حجم فضاهای خالی} = \text{وزن خشک} - \text{وزن حالت اشباع}$$

با استفاده از این فرمول ۲۰ نمونه از سفالهای افق چشمه علی اسماعیل آباد آزمایش شد که نتایج آن به شرح جدول شماره ۴ و نمودار شماره ۲ است:

جدول شماره ۴- درصد تخلخل نمونه ها

ردیف	شماره نمونه	وزن خشک	وزن حالت اشباع	حجم کل	درصد تخلخل
۱	ML-78-۱	۲۶/۵۶	۳۱/۹۱	۱۴	٪۳۸/۲۱
۲	ML-78-۲	۲۲/۳۰	۲۵/۸۱	۹	٪۳۹
۳	ML-78-۳	۳۷/۴۱	۴۴/۸۷	۲۵	٪۲۹/۸۴
۴	ML-78-۴	۱۷/۴۰	۲۰/۸۵	۱۰	٪۳۴/۵
۵	ML-78-۵	۱۷/۱۴	۱۹/۶۹	۱۰	٪۲۵/۵
۶	ML-78-۶	۳۵/۳۰	۴۰/۶۷	۲۰	٪۲۶/۸۵
۷	ML-78-۷	۱۶/۵۰	۱۹/۹۳	۱۱	٪۳۱/۱۸
۸	ML-78-۸	۲۴/۴۹	۲۸/۴۰	۱۲	٪۳۲/۵۸
۹	ML-78-۹	۱۸/۰۲	۲۱/۴۵	۱۰	٪۳۴/۳
۱۰	ML-78-۱۰	۷/۹۱	۹/۱۰	۵	٪۲۳/۸
۱۱	ML-78-۱۱	۱۵/۲۰	۱۷/۸۰	۱۰	٪۲۶
۱۲	ML-78-۱۲	۲۰/۳	۲۳	۱۰	٪۲۷
۱۳	ML-78-۱۳	۷/۲۵	۸/۶۵	۴	٪۳۵
۱۴	ML-78-۱۴	۵/۲۷	۶/۲۲	۲	٪۴۷/۵
۱۵	ML-78-۱۵	۶۰/۰۲	۹۶/۸۴	۳۲	٪۱۱۵/۰۶
۱۶	ML-78-۱۶	۲۹/۲۱	۳۵/۳	۱۸	٪۳۲/۸۳
۱۷	ML-78-۱۷	۸/۵۲	۱۰/۰۳	۶	٪۲۵/۱۶
۱۸	ML-78-۱۸	۷/۵۸	۹/۰۷	۴	٪۳۷/۳۵
۱۹	ML-78-۱۹	۵۳/۲۶	۶۲/۶۷	۳۰	٪۳۱/۳۶
۲۰	ML-78-۲۰	۳۷/۸۰	۴۴/۹۴	۲۱	٪۳۴



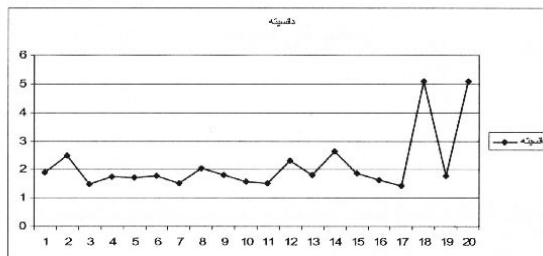
نمودار شماره ۲- تغییرات تخلخل نمونه ها

تعیین جرم حجمی (تراکم) بدنه سفال از دیگر آزمایشات فنی سفال است. تراکم، میزان چگالی یک ماده را مشخص می کند که در اثر فشرده شدن دانه ها و کاهش فضاهای خالی میان دانه ها ایجاد می شود. برای مشخص کردن تراکم نمونه ها حتماً باید حجم نمونه، معلوم گردد. پس از اندازه گیری حجم و وزن نمونه با به دست آوردن نسبت وزن به حجم، تراکم هر قطعه مورد آزمایش مشخص می شود. در این روش از فرمول زیر استفاده می شود:

تراکم = وزن نمونه ÷ بر حجم نمونه
 تغییرات تراکم نمونه‌ها آزمایش شده سفالهای افق چشمه‌علی در اسماعیل‌آباد به شرح جدول شماره ۵ و نمودار شماره ۳ است:

جدول شماره ۵- تغییرات تراکم نمونه‌ها

ردیف	شماره نمونه	وزن خشک	حجم	دانسیته
۱	ML-78-۱	۲۶/۵۶	۱۴	۱/۸۹
۲	ML-78-۲	۲۲/۳۰	۹	۲/۴۷
۳	ML-78-۳	۳۷/۴۱	۲۵	۱/۴۹
۴	ML-78-۴	۱۷/۴۰	۱۰	۱/۷۴
۵	ML-78-۵	۱۷/۱۴	۱۰	۱/۷۱
۶	ML-78-۶	۳۵/۳۰	۲۰	۱/۷۶
۷	ML-78-۷	۱۶/۵۰	۱۱	۱/۵
۸	ML-78-۸	۲۴/۴۹	۱۲	۲/۰۴
۹	ML-78-۹	۱۸/۰۲	۱۰	۱/۸۰
۱۰	ML-78-۱۰	۷/۹۱	۵	۱/۵۸
۱۱	ML-78-۱۱	۱۵/۲۰	۱۰	۱/۵۲
۱۲	ML-78-۱۲	۲۰/۸۳	۱۰	۲/۳۰
۱۳	ML-78-۱۳	۷/۲۵	۴	۱/۸۱
۱۴	ML-78-۱۴	۵/۲۷	۲	۲/۶۳
۱۵	ML-78-۱۵	۶۰/۰۲	۳۲	۱/۸۷
۱۶	ML-78-۱۶	۲۹/۲۱	۱۸	۱/۶۲
۱۷	ML-78-۱۷	۸/۵۲	۶	۱/۴۲
۱۸	ML-78-۱۸	۷/۵۸	۴	۵/۰۸
۱۹	ML-78-۱۹	۵۳/۲۶	۳۰	۱/۷۷
۲۰	ML-78-۲۰	۳۷/۸۰	۲۱	۵/۰۸



نمودار شماره ۳- تغییرات تراکم نمونه‌ها

تحلیل نتایج آزمایش شده بر روی ۲۰ نمونه از سفالهای افق چشمه‌علی تپه اسماعیل‌آباد که قبلاً جزئیات آنها ارائه شده را می‌توان به شرح جدول‌های شماره ۶، ۷، ۸ و ۹ خلاصه نمود؛

جدول شماره ۶- درصد حجم فضای خالی نمونه‌ها

تعداد نمونه	رنج حجم فضای خالی نمونه	میانگین حجم فضای خالی نمونه	توضیحات
۲۰ عدد	۰/۹۵ < ML78 < ۳۶/۸۲	۵/۴۸۸	نمونه ۱۵ نسبت به سایر نمونه‌ها دارای حجم فضای خالی بیشتر و نمونه ۱۴ کمترین حجم فضای خالی را دارد.
کمترین میزان حجم فضای خالی = نمونه ۱۴ با حجم فضای خالی: ۰/۹۵			
بیشترین میزان حجم فضای خالی = نمونه ۱۵ با حجم فضای خالی: ۳۶/۸۲			

جدول شماره ۷- درصد قابلیت جذب آب نمونه ها

تعداد نمونه	رنج درصد قابلیت جذب آب بدنه	میانگین دانسیته یا تراکم نمونه‌ها	توضیحات
۲۰ عدد	$14.87 < ML78 < 61.34$ %	36.396 %	نمونه ۱۵ در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارای درصد قابلیت جذب آب بسیار بالایی است (بقیه نمونه‌ها حدوداً بین ۱۳ تا ۲۰ هستند).
کمترین درصد جذب آب = نمونه ۱۲ با قابلیت جذب آب 13.3 %			
بیشترین میزان درصد جذب آب = نمونه ۱۵ با قابلیت جذب آب 61.34 %			

جدول شماره ۸- تراکم نمونه‌ها

تعداد نمونه	رنج دانسیته یا تراکم نمونه‌ها	میانگین دانسیته یا تراکم نمونه‌ها	توضیحات
۲۰ عدد	$1.5 < ML78 < 5.08$	2.154	نمونه ۱۸ و ۲۰ نسبت به سایر نمونه‌ها دارای دانسیته بالایی هستند.
کمترین میزان دانسیته = نمونه ۷ با دانسیته $1/5$			
بیشترین میزان دانسیته = نمونه ۱۸ و ۲۰ با دانسیته $5/08$			

جدول شماره ۹- درصد تخلخل نمونه‌ها

تعداد نمونه	رنج درصد تخلخل نمونه‌ها	میانگین دانسیته یا تراکم نمونه‌ها	توضیحات
۲۰ عدد	$23.8 < ML78 < 115.06$ %	36.396 %	نمونه ۱۵ در مقایسه با سایر نمونه‌ها دارای درصد تخلخل بسیار بالایی است.
کمترین میزان تخلخل = نمونه ۱۰ با تخلخل 23.8 %			
بیشترین میزان تخلخل = نمونه ۱۵ با تخلخل 115.06 %			

بر اساس تحلیل کلی آزمایش‌های انجام گرفته علاوه بر موارد اشاره شده می‌توان به موضوعات مهمی در زمینه سفالگری پیش از تاریخ ایران، به ویژه در افق سفالی چشمه‌علی اشاره کرد:

- ۱- حرارت کوره‌ها و نوع هوادهی و فرایند سرد شدن پس از پخت علاوه بر تعیین رنگ سفال در تخلخل، سختی و استحکام سفال مؤثر است. با توجه به این که تعیین رنگ سفال، یکی از شاخص‌های عمده در مطالعات مبتنی بر مشاهده است توجه به عوامل اشاره شده در مطالعات فنی سفال از اهمیت فزاینده‌ای برخوردار است.
- ۲- هر چه میزان تخلخل پایین‌تر و نزدیک به صفر باشد، سفال از پخت بالاتری برخوردار است و هر چه میزان تخلخل به دست آمده بالا باشد حرارت پخت پایین است؛ باید اشاره کرد محل قرارگرفتن نمونه در اندازه‌گیری تخلخل مؤثر است؛ به عبارت روشن‌تر، اگر نمونه‌ها در محیط مرطوب به مدت طولانی قرار داشته باشند میزان تخلخل محاسبه شده نمی‌تواند دقیق و قابل اطمینان باشد زیرا حفره‌های موجود در بدنه، خاصیت انبساط رطوبتی خود را از دست می‌دهد و در نتیجه، اندازه‌گیری غیر قابل اعتماد است.
- ۳- سختی سفال، مقاومت بدنه در برابر خراشیدن یا نفوذ عمقی است. سختی سفال به طور عمده در پوشش آن بررسی می‌شود زمانی که گل رس‌دار در معرض حرارت قرار می‌گیرد سخت شده و سفال شروع می‌شود و با افزایش دمای کوره، میزان سختی و درجه حرارت رابطه مستقیم وجود دارد. غیر از حرارت، عوامل دیگری از جمله ناخالصی‌های موجود در سفال، دانه‌بندی و تراکم آنها در گل سفال، مقدار میزان تمپر، نحوه هوادهی کوره جملگی به نسبت‌های مختلف در سختی سفال مؤثر هستند.
- ۴- استحکام ظروف سفالینی به لحاظ کاربردی، اهمیت زیادی دارد. حرارت بر استحکام سفال تأثیر تعیین کننده دارد و هرچه حرارت، بیشتر و در عین حال کنترل شده‌تر باشد سفال از استحکام بیشتر و در عین حال

در مقابل فشار و شکستگی از مقاومت بیشتری برخوردار خواهد شد. به غیر از حرارت، عوامل دیگری از جمله بافت گل سفال، دانه‌بندی خاک مورد استفاده، شیوه آماده سازی گل سفال (ورزدادن)، شیوه فنی ساخت، اندازه و شکل ظروف به نسبت‌های مختلف در استحکام سفال مؤثر هستند.

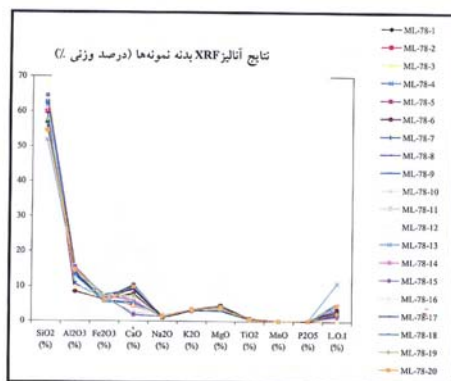
مطالعات آزمایشگاهی بر روی سفالهای پیش از تاریخ با هدف تعیین ویژگیهای فنی آنها صورت می‌گیرد. به غیر از مواردی که قبلاً اشاره گردید، از دو روش عمده (فلورانس پرتو ایکس) (XRF) (X-Ray Fluorecence) و روش تفرق پرتو ایکس (XRD) (X-Ray Defragmentation) استفاده می‌شود. XRF دستگاهی است برای اندازه گیری طول موج و شدت امواج فلورسانس منتشر شده از اتمهای مختلف در نمونه مورد آزمایش که برآیند آن آگاهی به نوع و میزان عناصر تشکیل دهنده نمونه است. آزمایش تفرق پرتو ایکس (XED) برای اندازه‌گیری فاصله‌های صفحات اتمی و به عبارت روشنتر، برای شناسایی ساختمان مواد و در نهایت، تعیین کانی و یا کانیهای موجود در سفال به کار می‌رود. جهت آزمایش XRD نمونه سفالی را باید به صورت پودر درآورد، سپس نمونه آماده شده داخل دستگاه قرار می‌گیرد؛ خود دستگاه به صورت خودکار، نمونه را آنالیز کرده و جواب آنالیز را در رایانه‌ای که به دستگاه متصل است ثبت می‌نماید. جهت آزمایش XRD و XRF بیست نمونه از سفالهای افق چشمه‌علی در تپه اسماعیل‌آباد انتخاب شده‌اند. نمونه‌ها از مجموعه سفالهایی که دارای بستر لایه‌نگاری و گاهنگاری مشخص هستند انتخاب شده‌اند. جهت آزمایش XRD به دلیل یکسان بودن ترکیبات نمونه‌ها فقط ۱۱ نمونه مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. در عین حال، بیست نمونه هم با روش XRF آزمایش شده‌اند؛ نتایج آنالیز با این روش به صورت عناصر پر مقدار (در صد وزنی /%) و عناصر کم مقدار (PPM) به شرح جدول‌های شماره ۱۰ و ۱۱ و نمودارهای شماره ۴ و ۵ است:

جدول شماره ۱۰- عناصر پر مقدار (درصد وزنی/%) بدنه نمونه‌ها

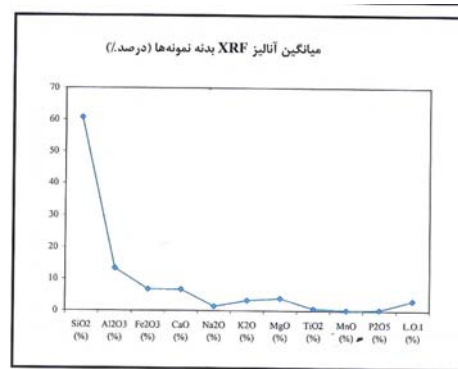
شماره نمونه	اکسید سیلیسیم	اکسید آلومینوم	اکسید آهن	اکسید کلسیم	اکسید سدیم	اکسید پتاسیم	اکسید منیزیم	اکسید تیتانیم	اکسید منگنز	اکسید سرب	L.o.I
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	MgO	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	
ML-78-1	56.9	14.05	6.37	10.01	1.23	3.27	3.94	0.577	0.085	0.213	2.96
ML-78-2	59.89	15.46	6.88	4.49	1.52	3.41	4.47	0.742	0.117	0.168	2.54
ML-78-3	63.86	9.83	6.4	7.92	1.33	3.08	3.98	0.452	0.097	0.298	2.29
ML-78-4	61.62	10.74	6.11	10.3	1.11	3.07	3.86	0.414	0.08	0.226	2.01
ML-78-5	62.67	14.01	6.17	4.86	1.3	3.11	3.29	0.603	0.089	0.181	3.02
ML-78-6	64.03	8.51	6.24	7.91	1	3.07	3.92	0.432	0.068	0.293	3.51
ML-78-7	56.54	14.48	6.29	10.42	1.36	3.22	4.49	0.565	0.069	0.308	1.61
ML-78-8	59.38	13.49	6.12	9.44	1.24	3.16	3.94	0.565	0.077	0.269	1.95
ML-78-9	62.36	13.18	5.39	5.29	1.37	3.05	2.92	0.567	0.118	0.144	5.16
ML-78-10	63.59	15.54	7.58	1.48	1.44	3.41	3.97	0.838	0.066	0.132	1.65
ML-78-11	64.4	15.72	6.51	2.45	1.88	2.96	3.69	0.691	0.063	0.159	1.3
ML-78-12	67.91	9.63	6.73	4.73	1.43	3.24	4.19	0.523	0.104	0.216	0.32
ML-78-13	51.85	13.82	7.08	6.54	1.39	3.34	3.57	0.615	0.084	0.201	10.93
ML-78-14	60.27	15.26	7.07	6.02	1.54	3.29	3.87	0.642	0.11	0.219	1.35
ML-78-15	64.58	15.53	7.04	1.87	1.38	2.92	3.6	0.812	0.076	0.133	1.58
ML-78-16	61.14	10.22	7.92	6.51	1	3.18	3.5	0.45	0.088	0.305	4.8
ML-78-17	55.75	14.33	7.55	8.96	1.1	3.08	4.06	0.58	0.094	0.287	3.51
ML-78-18	62.76	12.91	5.66	5.55	1.35	3.06	2.87	0.573	0.12	0.143	4.29
ML-78-19	57.67	14.78	7.34	7.37	1.2	3.35	4.32	0.599	0.087	0.278	2.4
ML-78-20	54.57	14.6	5.97	9.88	1.52	3.25	3.83	0.542	0.111	0.248	4.73

جدول شماره ۱۱- عناصر کم مقدار ppm بدنه نمونه‌ها

شماره نمونه	Cl	S	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb	V	Ni	Cr	Nb	Zr	Y	Rb	Co
ML-78-1	133	35	685	441	35	110	26	105	89	81	11	159	22	80	11
ML-78-2	151	30	521	368	48	108	26	140	104	139	17	181	23	95	26
ML-78-3	298	19	742	442	39	100	25	104	87	85	8	167	22	79	12
ML-78-4	114	25	265	380	32	91	32	101	83	94	11	156	22	71	7
ML-78-5	147	20	316	347	47	124	44	124	97	100	16	167	32	87	28
ML-78-6	24	30	600	367	38	102	24	107	94	100	18	170	21	81	1
ML-78-7	147	25	561	426	40	100	47	113	84	94	11	172	26	81	21
ML-78-8	204	371	625	424	36	112	87	116	82	92	18	190	22	79	10
ML-78-9	210	129	158	344	48	110	69	114	78	83	6	152	30	67	13
ML-78-10	108	26	338	239	56	126	22	152	111	148	17	167	29	94	18
ML-78-11	101	15	227	324	49	125	43	160	89	174	8	139	32	74	15
ML-78-12	109	34	394	347	49	101	32	119	97	136	13	206	22	81	11
ML-78-13	283	302	134	297	56	94	77	115	91	100	5	111	34	43	20
ML-78-14	161	28	153	246	48	101	35	129	80	104	5	111	33	48	27
ML-78-15	121	33	506	282	38	98	30	152	91	164	24	215	24	93	18
ML-78-16	71	34	903	428	38	97	33	109	91	88	13	177	21	80	13
ML-78-17	125	40	326	358	42	101	29	125	88	94	7	145	25	72	9
ML-78-18	227	243	329	386	44	113	57	109	76	81	18	166	28	77	7
ML-78-19	59	304	344	383	53	109	26	123	91	97	11	136	27	77	11
ML-78-20	228	183	723	654	44	96	25	102	75	60	18	188	23	85	17



نمودار شماره ۵



نمودار شماره ۴

نتایج آنالیز در جدولها و نمودارهای فوق، مربوط به بدنه نمونه‌ها است. جهت درک عمیق‌تر و سنجش تفاوت بین بدنه و پوشش نمونه‌ها، ده نمونه از پوشش آنها با همان روش، مورد آزمایش قرار گرفته‌اند که نتایج به صورت عناصر کم مقدار (درصد وزنی %) و عناصر کم مقدار به شرح جدولهای شماره ۱۲، ۱۳ و ۱۴ و نمودارهای شماره ۶ و ۷ است:

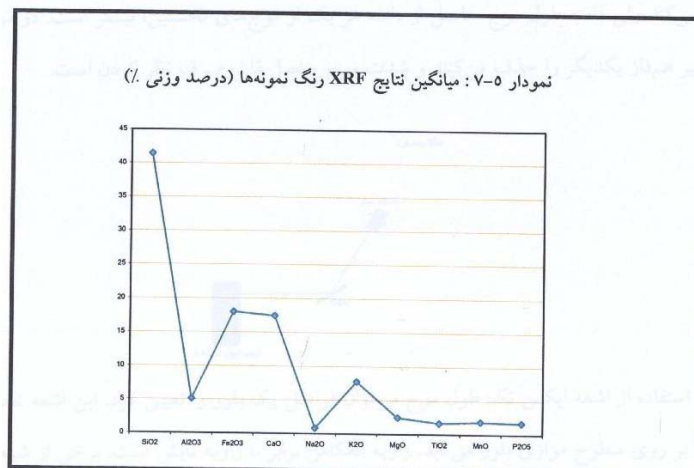
جدول شماره ۱۲- عناصر پرمقدار

شماره نمونه	اکسید سیلیسیم SiO ₂	اکسید آلومینیوم Al ₂ O ₃	اکسید آهن Fe ₂ O ₃	اکسید کلسیم CaO	اکسید سدیم Na ₂ O	اکسید پتاسیم K ₂ O	اکسید منیزیم MgO	اکسید تیتانیوم TiO ₂	اکسید منگنز MnO	اکسید سرب P ₂ O ₅
ML-78-1	37.54	5.4	21.32	16.17	0.37	9.4	1.17	1.72	2.27	1.76
ML-78-2	47.65	3.84	11.43	15.01	1.87	6.7	6.8	1.16	3.62	0.27
ML-78-7	52.04	6.7	14.44	10.12	1.79	6.8	4.5	0.96	0.88	0.45
ML-78-8	35.34	3.82	19.65	23.26	0.34	7.8	1.57	1.75	1.37	2.5
ML-78-9	51.34	5.4	16.49	4.39	0.23	12.1	1.23	1.65	1.26	2.61
ML-78-11	33.42	2.51	29.72	12.24	0.53	11	1.03	2.04	3.28	1.66
ML-78-14	42.75	7.15	16.28	14.48	0.69	6.3	1.06	1.89	3.11	2.96
ML-78-15	50.36	7.54	17.78	9.29	0.23	6.4	1.18	2.17	0.79	1.5
ML-78-17	41.29	5.16	19.71	18.52	0.27	7.5	1.12	1.84	1.46	1.81
ML-78-20	22.04	2.82	12.44	50.41	1.13	2.87	4.26	0.75	0.22	0.75

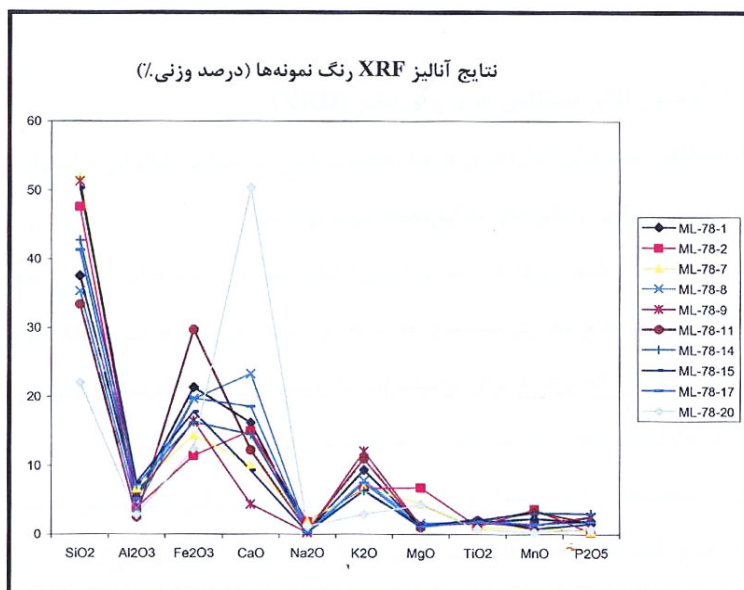
جدول شماره ۱۳- عناصر کم مقدار

شماره نمونه	Cl	S	Ba	Sr	Cu	Zn	Pb
ML-78-1	354	1320	1650	1845	285	1010	24
ML-78-2	320	2120	958	1354	65	225	46
ML-78-7	158	712	1145	985	74	135	29
ML-78-8	452	2840	2745	2350	235	515	18
ML-78-9	368	3640	2050	1745	445	312	11
ML-78-11	325	4500	2354	3156	315	378	380
ML-78-14	658	3280	1125	2052	365	816	13
ML-78-15	705	1560	2235	1654	265	517	125
ML-78-17	328	360	2154	1985	143	489	10
ML-78-20	158	4880	1450	1785	85	223	68

شماره نمونه	V	Ni	Cr	Nb	Zr	Y	Rb	CO
ML-78-1	354	121	239	17	1086	65	343	15
ML-78-2	226	175	171	12	665	85	289	16
ML-78-7	238	54	116	15	451	37	218	8
ML-78-8	416	16	151	14	1305	41	484	25
ML-78-9	505	265	260	10	1486	94	530	13
ML-78-11	701	25	424	16	2205	52	819	9
ML-78-14	348	274	267	13	1657	84	484	11
ML-78-15	465	135	452	18	1054	93	406	15
ML-78-17	504	251	157	15	1056	67	312	7
ML-78-20	347	98	109	12	685	64	257	15



نمودار شماره ۶



نمودار شماره ۷

آزمایش XRF انجام شده بر روی ۲۰ نمونه از سفالهای افق چشمه‌علی اسماعیل‌آباد نشان می‌دهد که اکسیدهای سیلیسیم (SiO₂) و آلومینیوم (Al₂O₃) از فراوانترین عناصر در گل سفال هستند. میانگین این عناصر، به ترتیب ۱۳/۳۰ و ۶۰/۵۹ است. این فراوانی نه تنها در بدنه نمونه‌ها بلکه در پوشش نمونه‌ها نیز دیده می‌شود. میانگین این عناصر در پوشش نمونه‌ها به ترتیب ۴۱/۳۷ و ۵/۰۳ است. اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی از جمله اکسید سدیم (Na₂O) با میانگین ۰/۷۵، اکسید کلسیم (CaO) با میانگین ۱۷/۳۸ و اکسید پتاسیم (K₂O) با میانگین ۷/۶۸ در تمام نمونه‌ها دیده می‌شوند. به نظر می‌رسد این اکسیدها از مهمترین مواد گداز آور در هنگام پخت می‌باشند؛ میزان این گدازه‌ها نسبتاً بالا است. میانگین عناصر بدنه و پوشش نمونه به شرح جدولهای شماره ۱۴ و ۱۵ است:

جدول شماره ۱۵ و ۱۶- میانگین عناصر بدنه و پوشش نمونه‌ها

تعداد نمونه	ترکیب	رنج آنالیز XRF بدنه قطعات	میانگین	توضیحات
۲۰ عدد	SiO ₂	51.85 < ML78 < 67.91	60.59	بالا ترین: نمونه ۱۲ پایین ترین: نمونه ۱۳
۲۰ عدد	Al ₂ O ₃	8.51 < ML78 < 15.72	13.30	بالا ترین: نمونه ۱۱ پایین ترین: نمونه ۶
۲۰ عدد	Fe ₂ O ₃	5.39 < ML78 < 7.58	6.62	بالا ترین: نمونه ۱۰ پایین ترین: نمونه ۹
۲۰ عدد	CaO	1.48 < ML78 < 10.42	6.6	بالا ترین: نمونه ۷ پایین ترین: نمونه ۱۰
۲۰ عدد	Na ₂ O	1 < ML78 < 1.88	1.33	بالا ترین: نمونه ۱۱ پایین ترین: نمونه ۶ و ۱۶
۲۰ عدد	K ₂ O	2.92 < ML78 < 3.35	3.17	بالا ترین: نمونه ۱۹ پایین ترین: نمونه ۱۵
۲۰ عدد	MgO	2.87 < ML78 < 4.49	3.76	بالا ترین: نمونه ۷ پایین ترین: نمونه ۱۸
۲۰ عدد	TiO ₂	0.414 < ML78 < 0.838	0.589	بالا ترین: نمونه ۱۰ پایین ترین: نمونه ۴۶
۲۰ عدد	MnO	0.063 < ML78 < 0.120	0.099	بالا ترین: نمونه ۱۸ پایین ترین: نمونه ۱۱
۲۰ عدد	P ₂ O ₅	0.132 < ML78 < 0.308	0.221	بالا ترین: نمونه ۷ پایین ترین: نمونه ۱۰
۲۰ عدد	L.o.I	0.32 < ML78 < 10.93	3.095	بالا ترین: نمونه ۱۳ پایین ترین: نمونه ۱۲

تعداد نمونه	ترکیب	رنج آنالیز XRF بدنه قطعات	میانگین	توضیحات
۱۱ عدد	SiO ₂	22.04 < ML78 < 52.04	41.37	بالا ترین: نمونه ۷ پایین ترین: نمونه ۲۰
۱۱ عدد	Al ₂ O ₃	2.51 < ML78 < 7.54	5.03	بالا ترین: نمونه ۱۵ پایین ترین: نمونه ۱۱
۱۱ عدد	Fe ₂ O ₃	11.43 < ML78 < 29.72	17.92	بالا ترین: نمونه ۱۱ پایین ترین: نمونه ۲
۱۱ عدد	CaO	4.39 < ML78 < 50.41	17.38	بالا ترین: نمونه ۲۰ پایین ترین: نمونه ۹
۱۱ عدد	Na ₂ O	0.23 < ML78 < 1.87	0.75	بالا ترین: نمونه ۲ پایین ترین: نمونه ۹ و ۱۵
۱۱ عدد	K ₂ O	2.87 < ML78 < 12.10	7.68	بالا ترین: نمونه ۲۰ پایین ترین: نمونه ۹
۱۱ عدد	MgO	1.03 < ML78 < 6.80	2.39	بالا ترین: نمونه ۲ پایین ترین: نمونه ۱۱
۱۱ عدد	TiO ₂	0.75 < ML78 < 2.17	1.59	بالا ترین: نمونه ۱۵ پایین ترین: نمونه ۲۰
۱۱ عدد	MnO	0.22 < ML78 < 3.62	1.82	بالا ترین: نمونه ۲ پایین ترین: نمونه ۲۰
۱۱ عدد	P ₂ O ₅	0.27 < ML78 < 2.96	1.62	بالا ترین: نمونه ۱۴ پایین ترین: نمونه ۲

درصد پایین افت حرارتی (L.O.I) در نمونه‌های آزمایش شده، نشان‌دهنده پخت مناسب نمونه است. پایین بودن یا ناشی از عدم وجود کربنات می‌باشد که درصد کم CaO با میانگین ۶/۶ در نمونه‌های بدنه، این موضوع را اثبات می‌کند و یا ناشی از درجه حرارت پخت بدنه در دمای ۹۰۰-۸۰۰ درجه سانتی‌گراد است. کربنات‌ها در محدوده دمای ۴۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تجزیه می‌شوند. براساس نتایج به دست آمده به نظر می‌رسد رنگ سفالها از اختلاط ترکیبات متفاوت حاصل می‌شود. میزان عناصر و شرایط پخت به ویژه هوادهی کوره در ایجاد رنگ مؤثر بوده است. اکسیدهای عناصر واسطه مانند اکسید آهن، اکسید منگنز، اکسیدروی، اکسیدتیتانیوم، اکسید مس و اکسید کروم در رنگ سفال تا اندازه‌ای مؤثر هستند. در نمونه‌های آزمایش شده بدنه، رنگ سفالها به دلیل درصد بالای اکسید آهن (Fe₂O₃) با میانگین ۶/۶۲ ته رنگ قرمز دارند. از سوی دیگر در نمونه‌های پوشش اکسید

آهن با میانگین ۱۷/۹۲ نشان داده شده است. بعضی از اکسیدها علاوه بر تاثیرگذاری در رنگ سفال به عنوان گدازآور نیز عمل می کنند باوجود یکسان بودن نسبی اکسیدهای آهن، رنگ بعضی از سفالها روشن تر از بقیه است. در عین حال، این گونه از سفالها اکسید کلسیم بیشتری دارند. بنابراین به نظر می رسد ترکیبات کلسیم دار رنگ قرمز ترکیبات آهن را روشن تر کرده است. در همه نمونه ها مقدار اکسید کلسیم (CaO) و اکسید پتاسیم (K₂O) در پوشش سفالها بیشتر از بدنه است. این دو عنصر در نمونه های پوشش به ترتیب با میانگین ۱۷/۳۸ و ۷/۶۸ درصد دیده می شود. علاوه بر فراوانی اکسیدهای اشاره شده، اکسیدهای پتاسیم، تیتانیوم، منگنز، آهن، مس، روی و گوگرد در ترکیب نمونه پوششها بیشتر از بدنه است. براین اساس به نظر می رسد سفالگران افق سفالی چشمه علی حداقل در اسماعیل - آباد جهت تهیه دوغاب، گلابه و یا اندود به طور آگاهانه از ترکیباتی خاص و متفاوت از بدنه استفاده می کردند.

مقایسه و نتیجه:

زاغه: شکلی وجود ندارد نتایج و اطلاعات به دست آمده از آنالیز XRD و XRF و نیز مطالعه مشخصات فیزیکی نمونه های اسماعیل آباد افق چشمه علی را باید به طور نسبی در نظر گرفت و به طور منطقی نباید این نتایج را به سفالهای دیگر محوطه های هم افق به طور کامل تعمیم داد. گرچه انجام این گونه از آزمایشات، مستلزم هزینه های بسیار زیادی است. با این همه، جهت فراهم آوردن اطلاعات، مقایسه ای مبتنی بر آزمایشهای XRD و XRF ده نمونه از سفالهای افق چشمه علی در تپه زاغه قزوین مورد مطالعه قرار گرفته اند. مشخصات و شناسنامه نمونه ها به شرح زیر می باشد:

۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z
t.t.2	t.t.2	t.t.2	t.t.2	t.t.2	t.f.x	Tr.f.x	t.t.2	t.t.2	t.t.2
1-18	1.2	1.1	1.1	1.1		5.b.s	20-25	1.1	1.1
30/5/50	27/5/50	28/6/50	14/6/50	19/6/50	1345	1349	15/6/50	10-20 20/6/50	25-31 17/6/50

مجموعه سفالهای لایه های فوقانی تپه زاغه دربرگیرنده سفالهای افق چشمه علی است. بهترین و ارزشمندترین توصیف سفالهای افق چشمه علی توسط ملک شهمیرزادی، کاوشگر اصلی محوطه انجام شده است. (Mallek, 1977) در هر صورت، نتایج آزمایشهای انجام شده، درک ما را از افق سفالی چشمه علی در زاغه عمیق تر خواهد کرد. در ساخت و پرداخت سفالهای چشمه علی زاغه بدون استثنا از مواد گیاهی و ارکانیک به عنوان تمپر استفاده شده است. بخشی از نتایج آزمایشات انجام شده به شرح جدول شماره ۱۶ است:

جدول شماره ۱۶- مشخصات سفالهای چشمه علی تپه زاغه

شماره	روش ساخت	پخت	پوشش (دوغاب)	نقش	ماده پرکننده
۱	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۲	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۳	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۴	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۵	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۶	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۷	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۸	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۹	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی
۱۰	دست ساز	کامل	+	+	گیاهی

همانطور که از جدول فوق معلوم می‌گردد اکثریت مطلق نمونه‌ها دست ساز هستند و از چرخ سفالگری بدین منظور استفاده نشده است. با توجه به شرایط پخت که احتمالاً در کوره‌های ابتدایی صورت گرفته است و نیز ترکیب شیمیایی خاک استفاده شده، خمیر سفالها ته رنگ قرمز و قرمز روشن دارند اما درصد فراوانی رنگ قرمز، فزونتر از قرمز روشن است. شناسایی رنگها با استفاده از جدول رنگ مانسل (Munsell Soil Color Chart) انجام شده است؛ شرح جدول شماره ۱۷:

جدول شماره ۱۷- رنگ بدنه و پوشش گلی سفال‌های چشمه علی تپه زاغه براساس جدول «مانسل»

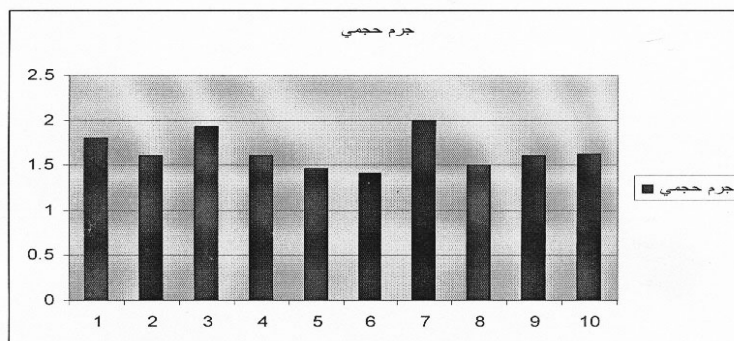
شماره نمونه	رنگ بدنه	رنگ لعاب گلی
۱	5.6/10R (قرمز)	4.4/ 10R (قهوه ای روشن)
۲	5.6/10R (قرمز)	4.6/ 10R (قرمز)
۳	4.6/ 10R (قرمز)	5.6/10R (قرمز)
۴	5.6/10R (قرمز)	5.6/10R (قرمز)
۵	5.8/ 10R (قرمز)	4.6/ 10R (قرمز)
۶	7.6/ 2.5YR (زرد قرمز)	4.6/ 2.5YR (قرمز)
۷	7.6/ 10R (قرمز روشن)	7.6/ 10R (قرمز روشن)
۸	6.4/ 2.5YR (قرمز قهوه ای روشن)	5.4/ 2.5 YR (قرمز قهوه ای)
۹	6.4/ 10R (قرمز رنگ پریده)	5.6/10R (قرمز)
۱۰	5.6/10R (قرمز)	5.6/10R (قرمز)

به رغم استفاده از مواد آرکانیک به عنوان تمپر یا ماده پرکننده هنگام عمل‌آوری گل سفالگری، سفالهای افق چشمه علی زاغه در مقایسه با اسماعیل‌آباد از درجه سختی بیشتری برخوردارند. درجه سختی نمونه‌های زاغه بر اساس جدول (موهس) اندازه‌گیری شده که به شرح جدول شماره ۱۸ است:

جدول شماره ۱۸- درجه سختی نمونه‌های سفال‌سازی نوع چشمه علی تپه زاغه براساس جدول «موهس»

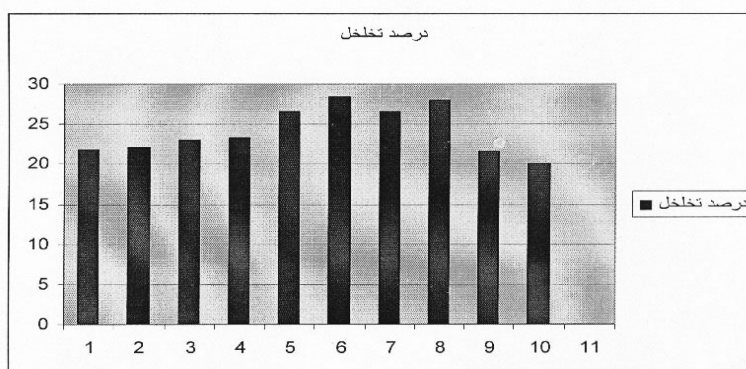
شماره نمونه	درجه سختی	نام کانی
۱	۴	فلوئوریت
۲	۴	فلوئوریت
۳	۴	فلوئوریت
۴	۴	فلوئوریت
۵	۴	فلوئوریت
۶	۳	کلسیت
۷	۴	فلوئوریت
۸	۳	کلسیت
۹	۴	فلوئوریت
۱۰	۳	کلسیت

به طوریکه از بررسی نمونه سفالهای اسماعیل‌آباد معلوم گردید مطالعه آزمایشگاهی مشخصات فیزیکی سفالهای پیش از تاریخ از روشهای مؤثر مطالعات غیرتوصیفی سفال است. به طور متعارف، اینگونه از مطالعات با هدف تعیین و اندازه‌گیری ویژگیهای فنی سفال از جمله شیوه ساخت وجود و یا عدم پوشش نوع دانه‌بندی خاک استفاده شده، نوع ماده پرکننده و کیفیت پخت انجام می‌شود. افزون بر این، اندازه‌گیری حجم فضاهای خالی و نیز جرم حجمی نمونه‌ها از دیگر روشهای مطالعاتی ویژگیهای فیزیکی سفال است که روشهای اجرائی این گونه از مطالعات در قسمت‌های قبلی شرح داده شده و نیازی به تکرار آنها نیست؛ در هر صورت تغییرات تداخل نمونه‌های آزمایش شده افق چشمه علی زاغه به شرح نمودار شماره ۸ است:



نمودار شماره ۸- جرم حجمی نمونه‌ها

به طوری که از نمودار فوق معلوم می‌گردد، میانگین تخلخل در نمونه‌های افق چشمه علی در زاغه ۲۳/۵ درصد است، در حالی که میانگین تخلخل در نمونه‌های اسماعیل‌آباد ۳۶/۳۹ درصد است. براساس این متغیر به نظر می‌رسد سفالهای افق چشمه‌علی‌زاغه به نسبت اسماعیل‌آباد از کیفیت پخت بهتری برخوردار است. باید توجه داشت تخلخل به عوامل گوناگونی مانند دانه‌بندی، تراکم، درزها و... بستگی دارد. از این نظر، میزان تخلخل بدنه‌های سفالی را هیچگاه به‌طور دقیق نمی‌توان اندازه‌گیری کرد به این دلیل، آن را به صورت درصد نشان می‌دهند. تعیین درصد تخلخل نمونه‌ها باتعیین جرم حجمی (دانسته) ارتباط تنگاتنگی دارند. از این نظر، جرم حجمی نمونه‌های چشمه‌علی‌زاغه نیز جهت مقایسه با هم افق خود یعنی اسماعیل‌آباد با روش همگون اندازه‌گیری شده است و به شرح نمودار شماره ۹ است:



نمودار شماره ۹- درصد تخلخل نمونه‌ها

نمودار فوق، میانگین ۱/۶۵ را در جرم حجمی نمونه‌های زاغه نشان می‌دهد. در مقایسه با میانگین تراکم سفالهای اسماعیل‌آباد که ۲/۱۵۴ می‌باشد تفاوت‌های زیادی بین این دو دیده می‌شود. با توجه به این که تراکم، نشان دهنده چگالی یک ماده است که در اثر به هم فشردن دانه‌ها و کاهش فضاهای خالی میان دانه‌ها به وجود می‌آید؛ از این نظر، میانگین‌های تراکم نمونه‌های آزمایش شده نشان می‌دهد که سفالهای افق چشمه‌علی در زاغه از استحکام بیشتری برخوردار بوده‌اند. این یافته، وقتی تفاوت آشکار با میانگین درصد تخلخل در

مجموعه سفالهای دو محوطه در نظر گرفته شود، وضوح بیشتری پیدا می‌کند. قبلاً نیز اشاره گردید عوامل مختلفی از جمله درجه حرارت، محیط کوره سفالگری، میزان اکسیژن و هوادهی به هنگام پخت سفال در ویژگیهای نهائی سفال، مؤثر هستند. افزون بر این، ترکیبات موجود در مواد تشکیل دهنده سفال خصوصیات متفاوتی را در آن ایجاد می‌نماید. بخشی از اطلاعات مربوط به سفالگری پیش از تاریخ را می‌توان بر اساس یافته‌های سفالی که به فراوانی از کاوشهای باستان‌شناسی کشف و ضبط می‌شود با استفاده از روشهای مشاهده و توصیف و بدون انجام عملیات آزمایشگاهی به دست آورد. اما باید توجه داشت این گونه از اطلاعات و نتایج، همیشه با شک و تردید همراه است. از این نظر و با توجه به گسترش فزاینده فن‌آوریهای نوین آزمایشگاهی، انجام آزمایش‌های مختلف، برای تکمیل اطلاعات و نتایجی که از روش مشاهده و توصیف به دست می‌آید کاملاً ضروری و لازم است. روشهای اجرائی آزمایش‌های دستگاهی XRD و XRF در رابطه با مطالعات سفال قبلاً توضیح داده شد. با استفاده از توانمندی‌های این دستگاهها فقط ۵ نمونه از سفالهای افق چشمه علی تپه زاغه مورد آزمایش قرار گرفت که نتایج آزمایش XRF به شرح جدول شماره ۱۹ است:

جدول شماره ۱۹- نتایج آزمایش XRF سفالهای افق چشمه علی تپه زاغه

شماره نمونه فرمول شیمیایی	تپه زاغه ۱	تپه زاغه ۲	تپه زاغه ۳	تپه زاغه ۴	تپه زاغه ۵
	%				
Na ₂ O	0.96	0.77	1.1	0.80	0.92
MgO	4.8	4.5	4.0	3.1	3.6
Al ₂ O ₃	16.3	17.2	17.6	17.3	16.1
SiO ₂	56.2	56.9	61.0	51.2	50.9
P ₂ O ₅	0.24	0.19	0.15	0.42	0.35
SO ₃	0.035	0.032	-	-	0.024
Cl	0.039	0.031	0.025	0.056	0.10
K ₂ O	3.9	3.9	3.9	4.0	3.8
CaO	6.5	5.6	2.2	13.1	13.8
TiO ₂	0.70	0.68	0.69	0.51	0.53
V ₂ O ₅	0.069	0.071	0.077	0.053	0.067
Cr ₂ O ₃	0.029	0.026	0.021	-	-
MnO	0.16	0.13	0.12	0.24	0.24
Fe ₂ O ₃	9.4	9.4	8.6	8.8	9.1
NiO	0.020	0.025	0.018	0.016	0.024
ZnO	-	-	-	-	-
Rb ₂ O	0.020	0.020	0.020	0.017	0.017
SrO	0.098	0.086	0.055	0.12	0.12
ZrO ₂	0.060	0.056	0.060	0.041	0.043
BaO	0.093	0.088	0.12	0.12	0.098
La ₂ O ₃	0.012	0.011	0.012	-	-
Nd ₂ O ₃	-	-	-	-	-
Gd ₂ O ₃	-	-	-	-	-
Tb ₂ O ₃	0.11	0.12	0.10	0.097	0.11
Ta ₂ O ₅	-	-	-	-	-
WO ₃	-	-	-	-	-
Au	0.028	0.028	0.024	0.030	0.031

بر اساس نتایج آنالیز فوق به نظر می‌رسد در نمونه‌های آزمایش شده وجود عناصر اکسید آلومینیوم (Al₂O₃) و اکسید سیلیسیم (SiO₂) با درجه سختی سفالهای افق چشمه علی زاغه رابطه مستقیم دارد. در این صورت اگر سفال نمونه پخت کافی داشته باشد هر چه میزان این عناصر بیشتر باشد سختی و استحکام بدنه سفال بیشتر می‌شود. درصد فراوانی این دو عنصر در تمام نمونه‌ها با درجه سختی میانگین حدود ۴ منطبق می‌باشد. باید

توجه داشت این دو عنصر از عناصر مهم و فراوان گل سفال می‌باشد که در کانیهای مختلف در گل سفال یافت می‌شود. اکسیدهای قلیایی و قلیایی خاکی مثل سدیم، پتاسیم، و کلسیم از مواد گدازآور در هنگام پخت می‌باشند؛ این اکسیدها در نمونه‌های زاغه به ترتیب با درصدهای وزنی ۰/۹۱ - ۳/۹ و ۸/۲۴ نشان داده شده‌اند در حالی که در سفالهای هم افق اسماعیل آباد این عناصر با درصدهای وزنی متفاوت به ترتیب ۷۵ - ۷/۶۸ - و ۱۷/۳۸ دیده می‌شوند. این تفاوت با توجه به گدازآور بودن این عناصر در کیفیت بهتر سفالهای افق چشمه علی زاغه نسبت به اسماعیل آباد مؤثر بوده است.

مجموعه سفالهای افق چشمه علی اسماعیل آباد نسبت به زاغه به طور نسبی دارای رنگ قرمز روشن هستند گر چه به نظر می‌رسد رنگ سفالها از اختلاف ترکیبات و شرایط پخت متفاوت حاصل می‌شود و افزون بر این، میزان عناصر تشکیل دهنده سفال به ویژه اکسید آهن و هوادهی کوره در ایجاد رنگ مؤثر هستند. اما اگر میزان اکسید آهن را در نمونه‌های آزمایش شده در هر دو مورد در نظر بگیریم ، در این صورت شاید تفاوت میزان قرمزی (قرمز روشن و قرمز سیر) در دو محوطه اسماعیل آباد و زاغه را تا اندازه‌ای بتوان توجیه نمود. میزان اکسید آهن در نمونه‌های زاغه به طور میانگین ۹/۰۶ درصد و در اسماعیل آباد ۶/۶۲ درصد است.

منابع:

- ۱- بای بردی، محمد، فیزیک خاک، چاپ ۵، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۲.
- ۲- حاکمی، علی، حفاری در اسماعیل آباد ساوجبلاغ؛ آثار و اشیاء چهار هزار سال ق.م، سالنامه کشور ایران، ۱۳۲۸.
- ۳- طلایی، حسن؛ علی‌یاری احمد، تحلیل ساختار و الگوهای طراحی نقوش حیوانی سفالهای چشمه‌علی و سیلک III در شمال مرکزی ایران، مجله علمی پژوهشی دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، شماره ۲-۱۸۰، دوره ۵۷، ۱۳۸۵.
- ۴- _____، نویافته‌های معماری پیش از تاریخ از تپه اسماعیل‌آباد، مجموعه مقالات کنگره تاریخ معماری شهرسازی ایران، جلد ۵، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۴.
- ۵- علی‌محمد اسفندیاری، آذرمدخت، جایگاه فرهنگ چشمه‌علی در فلات مرکزی ایران، سازمان میراث فرهنگی کشور، ۱۳۷۸.
- ۶- مجیدزاده، یوسف، باستان‌شناسی و سفال، مجله باستان‌شناسی و تاریخ سال ۵، شماره ۲، ۱۳۷۱.
- ۷- ملّاصالحی، حکمت‌الله و دیگران، گاهنگاری محوطه پیش از تاریخی زاغه در دشت قزوین، مجله باستان‌شناسی، سال دوم شماره ۴، پاییز و زمستان ۱۳۸۵.
- ۸- ملک شه‌میرزادی، صادق، تأملی در علل جابه‌جایی استقرارهای پیش از تاریخ در حاشیه کویر در فلات مرکزی، مجله باستان‌شناسی و تاریخ، شماره پیاپی ۸ و ۹، اسفند ۱۳۶۹.
- ۹- _____، ایران در پیش از تاریخ باستان‌شناسی ایران از آغاز تا سپیده دم شهرنشینی، تهران، سازمان میراث فرهنگی، ۱۳۷۸.
- ۱۰- _____، گاهنگاری پیش از تاریخ فلات مرکزی ایران، دوران نوسنگی تا آغاز شهرنشینی، مجله باستان‌شناسی و تاریخ، سال نهم، شماره دوم، شماره پیاپی ۱۸، اسفند ۷۴.
- ۱۱- نگهبان، عزت‌الله، حفاری دشت قزوین فصل‌های ۱۳۵۰ و ۱۳۵۶، مجله مارلیک، نشریه موسسه و گروه باستان‌شناسی دانشگاه تهران، ضمیمه مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، شماره ۱، دیماه ۱۳۵۶.
- 12- Maleke shahmirzadi S., 1977. Tepe Zagheh :A sixth Millennium B.C. village in the Qazvin plain of the Central Iranian plateau Ph.D.diss. University of Pennsylvania, Philadelphia, 1977.
- 13- Maleki, Y. 1968 . "Abstract Art and Animal motifs among the ceramists of the region of Tehran "Archaeologia viva 1/1968 .
- 14- Talai. H. 1983 "Stratigraphical Sequence and Architectural Remains at Ismailabad The Central plateau of Iran". AMI16/1983.
- 15- Vandiver: p. 1988" the Implications of variation in ceramic. Technology, The Forming of Neolithic Storage Vessels in China and the Near East"Archeomaterials, 2120 ,1988.