

ساختارشناسی سفال جلینکی متعلق به دوران پارتنی بر اساس مطالعات آرکئومتریکی (باستان‌سنجی)

سمیه نوغانی

کارشناس ارشد مرمت اشیاء تاریخی - فرهنگی، دانشگاه هنر اصفهان

دکتر سید محمدمبین امامی

استاد دانشگاه هنر اصفهان

(از ص ۱۵ تا ۳۴)

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۰/۰۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۷/۱۶

چکیده:

در این مقاله سفال جلینکی به عنوان یکی از انواع سفال‌های دوره اشکانی مورد مطالعه قرار گرفته است. مواد اولیه و کیفیت فرآوری و شرایط پخت سفال، عواملی تأثیرگذار در استحکام و پایداری این ماده بوده است. استفاده از روش‌های هدفمند آنالیزهای شیمیایی به منظور بررسی این عوامل و در واقع ساختارشناسی سرامیک‌های تاریخی، علاوه بر آشکارسازی ارزش‌های نهفته در این آثار، از نظر شناخت فن‌آوری تولید و شناخت تاریخ آن و همچنین از نظر اتخاذ شیوه‌های مناسب حفظ و مرمت میراث تاریخی و فرهنگی مؤثر خواهد بود. بررسی کانی‌شناسی ساختار سفال جلینکی با استفاده از پتروگرافی، آنالیز پراش اشعه X و میکروسکوپ الکترونی روبشی SEM-EDX نتایج جالب توجهی از تکنولوژی تولید و شرایط پخت این‌گونه سفال به دست می‌دهد. استفاده از دانه‌بندی مناسب مواد اولیه، فرآوری کوارتز به صورت ریزدانه با پراکندگی یکسان در تمام بافت در فرایند تولید خمیر اولیه تهیه سفال و شکل‌گیری کانی‌های ثانویه‌ای چون آنورتیت، گلنیت، دیوپسید و انستاتیت (آهن‌دار) و شبه مولایت در برخی نمونه‌ها در محدوده دمای پخت ۹۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، همچنین تشکیل اکسیدهای متنوع آهن در شرایط اکسیداسیون و احیا - به ترتیب هماتیت و مگنتیت - از ویژگی‌های ساختاری این نوع سفال است.

فرضیه نوین ارائه‌شده در خصوص ساختار لایه‌ای یا ساندویچی در سفال‌های جلینکی در این مقاله، به شکل‌گیری فاز آمورف شیشه‌سازی با ساختار پلیمری $(Si-O)_n$ پرداخته که عامل استحکام و همچنین ایجاد طنین صدای فلزی است.

واژه‌های کلیدی: آرکئومتری، سفال، سفال جلینکی، ساختارشناسی، آنالیز دستگاهی (پتروگرافی، میکروسکوپ الکترونی، پراش اشعه ایکس).

مقدمه:

استفاده از روش‌های آنالیز و بررسی سیستماتیک سرامیک‌های تاریخی برای دستیابی به اطلاعاتی نظیر تکنولوژی تولید (شناسایی مواد خام اولیه و نحوه فرآوری آنها، فرایند شکل‌دهی، پروسه پخت سفال و شرایط پخت و اتمسفر کوره)، نوع کاربری و استفاده، منشأیابی، شرایط محیط دفن، آسیب‌شناسی و بررسی فرایند تخریب ساختاری سفال، بر پایه داده‌های آنالیز دستگاهی، آرکئومتری^۱ یا باستان‌سنجی سرامیک (سرامیک‌نگاری^۲) نامیده می‌شود.

سابقه تولید سفال در ایران را هزاره نهم پیش از میلاد تخمین می‌زنند (سفال لایه E گنج درّه با تاریخ ۱۵۰ ± ۸۴۵۰ ق.م. (کامبخش فرد، ۱۳۷۹: ۲۳) که به تدریج مراحل رشد و تکامل صنعتی خود را پیموده و علاوه بر آشکار ساختن هنر و صنعت آفرینندگان خود، ماده‌ای ارزشمند در مطالعات باستان‌شناختی، تاریخ هنر و تکنولوژی به شمار می‌رود. در این میان، پرداختن به گونه‌های مختلف سفال متعلق به دوران امپراتوری اشکانی در ایران، می‌تواند شاهی بر تنوع و گستردگی، خلاقیت و روند رو به رشد تکنولوژی بومی و همچنین میزان مراودات و دادوستدها در جامعه آن روزگار باشد. متأسفانه بررسی هنر دوران اشکانی، به دلیل قرارگرفتن عمده آثار این دوران در خارج از مرزهای کنونی ایران، و همچنین به سبب شکوهمندی دو دوران هنری هخامنشی و ساسانی، مهجور مانده است. مطالعاتی از این دست اما می‌تواند گامی در جهت شناسایی و شناساندن این برهه ارزشمند از تاریخ ایران باشد.

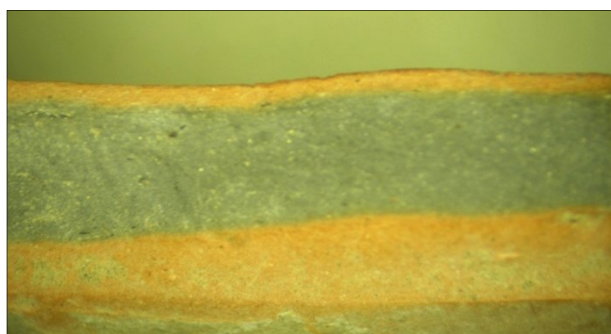
دوران اشکانی در غرب ایران با ظهور سفال جلینکی^۳ مشخص شده است (نیکنامی و دیگران، ۱۳۸۵). وجه تسمیه این سفال، ایجاد طنین صدای فلزی در هنگام ضربه‌زدن به آن است و نخستین بار توسط دیوید استروناخ این نام برای این گونه از سفال‌های دوره اشکانی برگزیده شد (هرینک، ۱۳۷۶).

سفال جلینکی یا سفال دارچینی^۴، سرامیکی ظریف با بدنه سخت و متراکم و ساختاری لایه‌ای است که رنگ سطوح خارجی آن قرمز - نارنجی تا قرمز - قهوه‌ای بوده و مغز سفال (لایه درونی)، سیاه - خاکستری است و در مقطع عرضی به شکل ساختار ساندویچی^۵ دیده می‌شود (تصویر شماره ۱).

1. Archaeometry
2. Cramography
3. Clinky pottery

۴. این نام به دلیل رنگ لایه سطح این نوع سفال به آن داده شده است.

5. Sandwich structure.



تصویر شماره ۱

ساختار ساندویچی سفال جلینکی، نمونه به دست آمده از سایت بیستون (نمونه شماره B.87.88.B1 سایت بیستون).

در مباحث باستان‌شناختی به تفاوت گونه‌های مختلف این سفال در غرب و جنوب غربی ایران و همچنین بازه زمانی دربرگیرنده تولید این سفال پرداخته شده است (برای مثال ر.ک.هرینک، ۱۳۷۶؛ نیکنامی و دیگران، ۱۳۸۵؛ محمدی فر، ۱۳۸۷). در این مقاله به ساختارشناسی سفال جلینکی با توجه به نتایج مطالعات آرکئومتریک پرداخته خواهد شد.

نظریات مرتبط با شکل‌گیری ساختار لایه‌ای (ساندویچی) در سفالهای تاریخی:

در حوزه آرکئومتری سفال، مقالاتی در رابطه با ساختار ساندویچی سفال‌هایی مرتبط با تمدنهای باستانی اتروسکی (Nodari et al. ..., 2004)، شمال بین‌النهرین (Broekmans et al, 2006; 2008) حوزه کارپاتیان^۱ در مرکز و شرق اروپا (Szakmány et al, 2007)، و همچنین بررسی تأثیر شرایط پخت بر محصولات سرامیکی به ویژه سفال‌های دارای ساختار لایه‌ای (ساندویچی) (Maritan et al, 2006) منتشر شده است.

نظریات مرتبط با این پدیده ارائه شده در مقاله Nodari (Nodari et al, 2004) عبارتند از:

الف) حضور و باقی ماندن ذرات کربن در بافت مرکزی سفال بر اثر شرایط احیا.

ب) پخت احیا و سپس یک مرحله سرد کردن در محیط اکسیداسیون.

ج) پخت خاک‌ها یا رس‌های غنی از مواد آلی در شرایط اکسیداسیون و باقی ماندن کربن در بافت سفال

در هنگام تبدیل شرایط محیط کوره به احیاء.

د) شکل‌گیری اکسیدهای آهن در لایه‌های مختلف و نسبت Fe^{2+} / Fe^{3+} (به طور ویژه شکل‌گیری




هماتیت (Fe_2O_3) و مگنتیت (Fe_3O_4) یا ووستیت (FeO)). یکی دیگر از نظریات مطرح شده، ایجاد شرایط احیاء

موضعی در داخل بافت سفال و شکل‌گیری مگنتیت و مگمایت^۱ ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) و یا سایر اسپینل‌های آهن‌دار مانند هرسینیت در لایه تیره‌رنگ است (Maritan et al, 2006).

نمونه‌ها و روش‌های آنالیز:

نمونه‌های مطالعاتی این پژوهش، شش قطعه سفال جلینکی (نمونه مطالعاتی) به دست آمده از کاوش‌های سطحی (سه نمونه از سایت هگمتانه و سه نمونه از یک کاروانسرای ایلخانی در ناحیه بیستون) است (جدول شماره ۱).



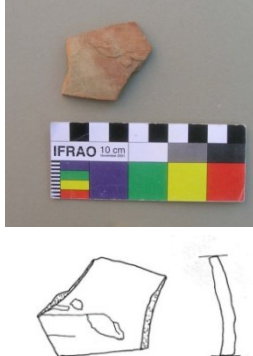
نمونه‌های هگمتانه حاصل فاز اول شانزدهمین فصل کاوش در این محوطه توسط دکتر یعقوب محمدی‌فر^۲، از ترانسه‌های شماره‌های AK 46، AK 45 و AJ 45 است و نمونه‌های بیستون نیز حاصل کاوش‌های سطحی ایشان در ناحیه مذکور در سال ۱۳۸۷ است.

		
نمونه شماره: H.88.88.A3 شماره ارجاع در متن: 7085	نمونه شماره: H.88.88.A2 شماره ارجاع در متن: 7084	نمونه شماره: H.88.88.A1 شماره ارجاع در متن: 7083
محل اکتشاف: سایت هگمتانه (همدان)	محل اکتشاف: سایت هگمتانه (همدان)	محل اکتشاف: سایت هگمتانه (همدان)
شماره ثبت: Ak 46 C.164/p1	شماره ثبت: Ak 45 LB152/p3	شماره ثبت: Aj 45 A.136/p3

جدول شماره ۱: معرفی نمونه‌های مورد مطالعه

1. maghemite

۲. ریاست دانشکده هنر و معماری دانشگاه بوعلی سینای همدان و سرپرست گروه کاوش فصل شانزدهم سایت هگمتانه.

		
<p>نمونه شماره: B.87.88.B3 شماره ارجاع در متن: 7082</p>	<p>نمونه شماره: B.87.88.B2 شماره ارجاع در متن: 7081</p>	<p>نمونه شماره: B.87.88.B1 شماره ارجاع در متن: 7080</p>
<p>محل اکتشاف: محوطه تاریخی بیستون حاصل کاوش سطحی در یک کاروانسرای ایلخانی</p>	<p>محل اکتشاف: محوطه تاریخی بیستون حاصل کاوش سطحی در یک کاروانسرای ایلخانی</p>	<p>محل اکتشاف: محوطه تاریخی بیستون حاصل کاوش سطحی در یک کاروانسرای ایلخانی</p>
<p>شماره ثبت: ندارد</p>	<p>شماره ثبت: ندارد</p>	<p>شماره ثبت: ندارد</p>

مطالعه مقاطع نازک نمونه‌های سفال جلینکی با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان^۱ (پتروگرافی) به منظور بررسی ماتریکس^۲ (بافت) این نوع سفال، نوع مواد افزودنی و تمپر به کار رفته در تولید آن، انکلوژیون‌های^۳ موجود در بافت، الگوی تخلخل‌ها و احتمالاً حضور ترکیبات ثانویه و نمک‌ها در طول زمان تدفین، انجام گرفته است. همچنین از آنالیز پراش اشعه X^۴ (Semi-Q. XRD) به همراه روش محاسباتی ریتفلد^۵ با استفاده از نرم‌افزار X'pert high score به منظور شناسایی ترکیب مینرالی (کانی شناسی) ماتریکس و محصولات جدید واکنش در دمای بالا (با هدف تخمین دمای پخت) استفاده شده است. میکروسکوپی در مقیاس میکرومتر برای بررسی ساختار زینتر و همچنین ترکیب شیمیایی نمونه‌ها با میکروسکوپ الکترونی روبشی^۶ SEM-EDX مدل Philips XL 30 with scandium software انجام گرفته است.

۱. مدل دستگاه میکروسکوپ پلاریزان: PM-240 (صا ایران)

2. Matrix
3. Inclusions : دربرداري
4. Quantitative X-ray diffraction
5. Rietveld
6. Scanning Electron Microscopy – Energy Dispersive X-ray Spectroscopy

مروری بر فرایند پخت در سفال:

آنچه از خاک سست، سرامیکی سخت و بادوام پدید می‌آورد، حرارت است. در نتیجه فرایند پخت، تغییرات برگشت‌ناپذیری در خمیررسی رخ می‌دهد که سبب شکل‌گیری ماده‌ای مستحکم با ساختاری متفاوت از ترکیب اولیه می‌شود. مطالعه بافت و ترکیبات جدید رشدیافته در آن، علاوه بر امکان تخمین دمای پخت و اتمسفر کوره، میزان استحکام و پایداری قطعه و همچنین شرایط محیط دفن را آشکار می‌سازد. مهم‌ترین تغییرات زمان پخت عبارتند از: خروج آب آزاد و شیمیایی موجود در ترکیب اولیه، سوخت و تجزیه مواد آلی (در صورت موجود بودن در بافت، به صورت آگاهانه یا آنکلوژیونی همراه خاک)، تبدیلات پلی مورفی کوارتز (آلفا کوارتز ← بتا کوارتز ← تردیمیت ← کریستوبالیت)^۱ در دماهای مختلف، تجزیه کانی‌های رسی، تجزیه کربنات‌ها، تجزیه فلدسپارها، تشکیل محلول جامد (ناشی از نرم‌شدن دانه‌ها در دمای زیر نقطه ذوب آن‌ها) و کریستالیزاسیون فازهای جدید از این محلول، فرایند زینتر و اتصال دانه‌ها به یکدیگر و کاهش تخلخل عمومی بافت همراه با افزایش چگالی در زیر نقطه ذوب. افزایش چگالی در زیر نقطه ذوب.

~ 100 ° c ~ 250 ° c < 700 ° c	خروج آب سطحی (آب آزاد) خروج آب موینگی (بین لایه‌های) خروج آب مولکولی (آب شیمیایی - گروه‌های هیدروکسیل)
500 - 700 ° c	سوخت و تجزیه مواد آلی (برای تجزیه مواد آلی حدود ۲۷۵ تا زیر ۴۰۰ درجه نیز پیشنهاد شده است).
400 - 600 ° c	تخریب کائولینیت و تبدیل آن به متاکائولینیت $Al(OH)_4(Si_2O_5) \rightarrow Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 + H_2O$
550 - 650 ° c	تبدیل ترکیباتی مانند سیدریت، اکسیدهای آهن و ... به هماتیت
700 - 900 ° c	تجزیه کلسیت، دولومیت و منیزیت (تجزیه کربنات‌ها)
~ 950 ° c	تبدیل متاکائولینیت به فاز اسپینل (سیلیکون اسپینل) $Al_2O_3 + SiO_2 - Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \rightarrow \gamma$
985 ° c	نقطه بوتکتیک کوارتز - فلدسپار
1150 - 1400 ° c	تشکیل فاز مولایت و فرایند زینتر $3Al_2O_3 + 6SiO_2 \rightarrow 3Al_2O_3 \cdot SiO_2 + 4SiO_2$

جدول شماره ۲: محدوده دمایی برخی از تغییرات حین حرارت‌دهی خمیر سفال (Emami, 2008).

بیشترین تغییرات فازی و تشکیل کانی‌های ثانویه در هنگام پخت در شرایط حضور کربنات‌هایی چون کلسیت و دولومیت در بافت، رخ می‌دهد. آنچه در مطالعات مختلف به طور کلی به آن اشاره شده شکل‌گیری

۱. تبدیل آلفا کوارتز به بتا کوارتز در ۵۷۳ درجه سانتی‌گراد، تبدیل بتا کوارتز به تردیمیت در ۸۶۷ درجه سانتی‌گراد و تبدیل تردیمیت به کریستوبالیت در ۱۴۷۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.

فازهای ثانویه چون گلنیت^۱، ولاستونیت^۲ و لارنیت^۳ در ماتریکس حاوی کلسیم کربنات و تشکیل دیوپسید^۴، مونتیسلیت^۵، فورستریت^۶، پریکلز^۷ و اسپینل در ماتریکس غنی از یون‌های کلسیم، منیزیم و آهن می‌باشد (منیزیم عمدتاً از فاز دولومیتی و یا کلسیت دارای ناخالصی منیزیم، وارد بافت سفال می‌شود) (Trindade et al, 2009; Cultrone et al. 2001; Riccardi, 1999; Maggetti, 1982).

نکتهٔ حائز اهمیت در فرایند پخت و تبدیل و تبدلات صورت گرفته، تأثیر اتمسفر کوره بر این فرایند است؛ به طوری که محصول واکنش برخی کانی‌ها در اتمسفر اکسیداسیون و احیا با هم متفاوت خواهد بود.

ویژگی‌های مینرالوژیکی - شیمیایی و ماتریکس سفال جلینکی

پتروگرافی - بافت متراکم با تخلخل‌های ایزولهٔ عمدتاً ریزدانه و پراکندهٔ سفال جلینکی، ساختار لایه‌ای خود را در زیر میکروسکوپ پلاریزان با خاصیت ایزوتروپی^۸ (همسانگردی) به نمایش می‌گذارد. این تراکم بافت می‌تواند ناشی از شکل‌گیری فاز آمورف (شیشه‌ای) در نتیجهٔ فرایند پخت باشد که تمامی اجزای تشکیل‌دهندهٔ ماتریکس را در خود نگهداری می‌کند. تخلخل رؤیت‌شده در بافت سفال، احتمالاً ناشی از تجزیهٔ فازهای آلی به‌کاررفته در خمیر سفال و یا تخریب فازهای مینرالوژیکی در بافت آن در حین پخت و یا تغییر شبکهٔ کریستالی اجزاء متشکلهٔ درون ماتریکس است؛ اگرچه فرایند سایش برای آماده‌سازی مقطع نازک نیز می‌تواند عاملی برای خروج ترکیبات سست‌تر از بافت و ایجاد فضای خالی باشد. ترک و ریزترک، در پتروگرافی نمونه‌های مورد مطالعه، دیده نشد؛ به جز در نمونهٔ ۷۰۸۱ که می‌توان مسیر حرکت یک ریزترک در بافت را مشاهده کرد (تصویر شمارهٔ ۲). ریزترک با محصولات ثانویه‌ای چون کلسیت ثانویه^۹ و یا ژپس پر نشده است و این نکته می‌تواند دلیلی بر حضور مقادیر کم کلسیم کربنات در بافت این سفال و همچنین درگیری یون‌های کلسیم در ماتریکس باشد که در طی زمان در برابر محلول‌های احتمالی‌ای که از خاک، این سفال را مورد تهاجم قرار داده‌اند، واکنش ناپذیر بوده‌اند.

در محل تلاقی حاشیهٔ قرمز رنگ و هستهٔ مرکزی خاکستری، مرز دقیق و معینی وجود ندارد و تداخل لایه‌ها در هم مشاهده می‌شود (تصویر شمارهٔ ۳). کانی‌های شاخص مشاهده‌شده در تمامی نمونه‌ها با توجه به اصول شناسایی کانی‌ها در میکروسکوپ پلاریزان (مانند رنگ‌های تداخلی^{۱۰} و

1. Gehlenite
2. Wollastonite
3. Larnite
4. Diopside
5. Monticellite
6. Forsterite
7. Periclase
8. Isotropy
9. Secondary calcite
10. Interference color

بیرفرزانس^۱، رخ^۲، چند رنگی یا پلی کروئیسیم^۳ و ... عبارتند از: کوارتز، فیلوسیلیکات‌هایی مانند بیوتیت^۴ و مسکوویت^۵، کُلی‌های آهن به صورت پراکنده در بافت، خرده‌سنگ‌های حاوی کوارتز که به صورت انکلوزیون انکلوزیون در بافت حضور دارند و همچنین فازهای کربناته (عمدتاً به شکل کلسیت). به نظر می‌رسد فازهای کربناته، همراه خاک و به عنوان انکلوزیون وارد ماتریکس شده‌اند و البته حضور آنها در این سفال با توجه به وجود ترکیبات کلسیتی در خاک ناحیه زاگرس مرکزی و به ویژه همدان تا گلپایگان (درویش‌زاده، ۱۳۸۰: ۵۲۰) امری طبیعی به نظر می‌رسد.

نشانه‌های حضور کلسیت در بافت را علاوه بر دانه‌های پراکنده در ماتریکس، می‌توان از تخلخل‌های ناشی از تجزیه کلسیت و شکل‌گیری کریستال‌های ریزدانه کلسیت ثانویه در جداره این تخلخل‌ها (در برخی نقاط) مشاهده کرد (تصاویر شماره ۴ و ۵). شکل‌گیری کلسیت ثانویه می‌تواند در زمان پخت و با افزایش فشار کربن دی اکسید^۶ (f_{CO_2}) پس از تجزیه کلسیت اولیه و شکل‌گیری آهک آزاد به صورت CaO در بافت و یا به مرور زمان و در محیط دفن بر اثر تجزیه فازهایی چون گلنیت^۷ و آنورتیت ثانویه^۸ (که خود، محصول فرایند پخت می‌باشند) یا جذب کربن دی اکسید هوا توسط پرتلندیت ($Ca(OH)_2$)، رخ دهد (Noghani et al, 2010).

پراکندگی کوارتز در تمام بافت نمونه‌ها به صورت یکسان است و با توجه به ریزدانه بودن و وجود زاویه‌های تیز در گوشه‌ها، می‌توان فرآوری این کانی را حاصل خردکردن (آسیاب کردن) سنگ مادر (به صورت شن یا ماسه-سنگ) و سرند کردن آن دانست (Riederer, 2004). کوارتز بسیار ریزشده و زاویه‌دار به همراه کانی‌های رسی در ترکیب با آب و ورز دادن مناسب، بافتی همگن و متراکم را ایجاد کرده است. فیلوسیلیکات‌های شناسایی شده در ماتریکس نمونه‌ها، مسکوویت و بیوتیت می‌باشند (تصویر شماره ۶). خاک همدان و منطقه زاگرس مرکزی، حاوی میکا - البته عمدتاً میکاشیست‌های متنوعی از جمله آندالوزیت، سیلیمانیت و ... (درویش‌زاده، ۱۳۸۰) - است و حضور چنین کانی‌هایی در ترکیب این سفال‌ها می‌تواند ناشی از بومی بودن خاک مورد استفاده در تهیه سفال‌ها باشد.

1. Birefringence
2. Cleavage
3. Polyochromatism
4. Biotite
5. Muscovite
6. Carbon dioxide fugacity
7. Gehlenite
8. Secondary anorthite

در مقاطع نازک، گُلنی‌های کوچکی از ترکیب ایزوتروپ سیاه‌رنگی مشاهده می‌شود که بی‌شکل بوده و به نظر می‌رسد ناشی از ته نشست کربن باشد. این دانه‌ها از دانه‌های ایزوتروپ اکسیدهای آهن از لحاظ ظاهری متفاوتند.

نتایج آنالیز XRD - بر اساس بررسی‌های مینرالوژیکی ساختار سفال جلینکی با استفاده از روش مطالعاتی ریتفلد با نرم‌افزار X'pert high score و به صورت نیمه کمی^۱، الگوی پیک‌ها، حضور شاخص فاز کوارتز را به نمایش می‌گذارد و با توجه به شدت کم پیک ناحیه کلسیت و دولومیت می‌توان این سفال‌ها را در نوع سفال‌های با بافت غنی از سیلیس^۲ طبقه‌بندی کرد (دی‌گرام شماره ۱). هم‌پوشانی پیک کوارتز با پیک فازهایی چون گرافیت، مولایت و یا شکل‌گیری ترکیبات ثانویه‌ای چون آنالسیم (زئولیت سدیم دار محصول تخریب آل‌بیت)، می‌تواند عدم تقارن در این پیک را سبب شود، اگرچه گرده سمت چپ پیک (مشخصه شکل - گیری آنالسیم) در این نمونه‌ها بسیار ضعیف است (لازم به ذکر است پلاژیوکلاز شناخته‌شده در بافت عمدتاً آنورتیت بوده و میزان حضور یون سدیم بسیار کم است. بنابراین عملاً شرایط تشکیل آنالسیم فراهم نیست).

پیک‌های شاخص فیلوسیلیکات‌های رسی نظیر کائولینیت در نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود که حاکی از دمای پخت بالاتر از ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد است؛ با این وجود حضور بیوتیت و مسکوویت را در نمونه‌ها می‌توان تشخیص داد (که در مقاطع نازک نیز قابل مشاهده بودند). دمای تجزیه این کانی‌ها از حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد آغاز می‌شود و البته اندازه دان‌ها نیز در فرایند تجزیه مؤثر خواهد بود. بنابراین تا این مرحله حداقل دمای پختی در حدود ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد برای سفال‌های جلینکی تخمین زده می‌شود.

دمای تجزیه کربنات‌ها معمولاً از ۷۵۰ تا ۸۵۰ درجه سانتی‌گراد گزارش شده است و از تخریب آنها و در مجاورت دانه‌های کوارتز و فیلوسیلیکات‌ها فازهای ثانویه‌ای شکل می‌گیرد که در مطالعات XRD نمونه‌های سفال جلینکی فازهای گلنیت $Ca_2Al_2SiO_7$ ، دی‌پوسید آهن‌دار^۳ و انستاتیت آهن‌دار^۱، آنورتیت $CaAl_2Si_2O_8$ و

1. Semi quantitative
2. Silica-rich matrix
3. Diopside ferroan $(Ca,Mg,Fe)(Si_2O_6)$

همچنین مونوهیدروکلسیت (تنها در نمونه‌های شماره ۷۰۸۲ و ۷۰۸۳) شناسایی شدند. علت شکل‌گیری مونوهیدروکلسیت و یا احتمالاً پرتلندیت در بافت، ناشی از جذب رطوبت توسط کلسیت تجزیه‌شده و آهک باقی‌مانده در بافت است.

به دلیل تخریب و تجزیه فلدسپارها و همپوشانی پیک ترکیبات جدید با این پیک در $28^\circ \sim 2\theta$ عدم تقارن در پیک مشاهده می‌شود. فلدسپارها از کانی‌های شایع در سطح پوسته و مرجع تشکیل کانی‌های رسی می‌باشند. بنابراین حضور آنها در بافت سفال‌های تاریخی امری طبیعی است. همانطور که پیش از این اشاره شد، آنورتیت (به عنوان فلدسپار حاوی یون کلسیم) می‌تواند به طور ثانویه نیز در بافت به وجود بیاید.

دیاگرام شماره ۱: پیک XRD نمونه ۷۰۸۴، و محل پیک‌های شاخص ترکیبات Qz: کوارتز، fld: فلدسپار، Cah: کلسیت، Geh: گلنیت، Bio: بیوتیت، Ens: انستاتیت، Di: دیوپسید، Hem: هماتیت، مگنتیت، Mul: مولایت، G: گرافیت.

فازهای هماتیت (Fe_2O_3) و مگنتیت (Fe_3O_4) که در تمامی نمونه‌ها شناسایی شدند، از جمله تأثیرگذارترین فازها در شکل‌گیری ساختار لایه‌ای سفال جلینکی می‌باشند. هماتیت فاز پایدار شرایط اکسیداسیون و مگنتیت فاز پایدار آهن در شرایط احیا می‌باشد. حضور هر دوی این فازها بیانگر شرایط تناوبی اکسیداسیون - احیا در پخت سفال جلینکی بوده است.

از دیگر فازهای شناسایی شده در این نمونه‌ها، گرافیت است که حاکی از وجود مقادیری کربن در بافت سفال جلینکی است. کلوئیدهای کربن را می‌توان در مقاطع نازک نیز مشاهده کرد. به منظور بررسی دقیق‌تر حضور ماده آلی در بافت سفال جلینکی، از آنالیز^۱ FT-IR نیز استفاده گردید، نکته جالب توجه حضور پیک ناشی از پیوندهای C-H در نمونه‌های سفال جلینکی است (دیگرام شماره ۲). آنالیز FT-IR برای لایه مغز سفال‌ها و حاشیه آنها به صورت جداگانه انجام گرفت. پیک‌های حدود 2923 & 2853 cm^{-1} شاهدی بر حضور ترکیبات هیدروکربنی (ماده آلی) در لایه مغز سفال جلینکی در تمامی نمونه‌هاست (پیک این ناحیه برای لایه سطحی قرمز رنگ بسیار ضعیف است).

دیگرام شماره ۲: بررسی حضور ترکیبات آلی موجود در بافت نمونه‌های مورد مطالعه و اختلاف فازها در این نمونه‌ها در مغز سفال و سطح آن. نمونه موردی: نمونه ۷۰۸۰.

مولایت ($3Al_2O_3.SiO_2$) نیز به صورت جزئی در برخی نمونه‌ها (برای مثال نمونه‌های ۷۰۸۰، ۷۰۸۳ و ۷۰۸۴) شناسایی شد. اگرچه شکل‌گیری این فاز به دمایی حدود ۱۱۰۰ درجه نیاز دارد، وجود کمک ذوب‌هایی چون کلسیت، ترکیبات آهن‌دار و فلدسپارها می‌تواند این دما را کاهش داده و در نمونه‌ها به صورت جزئی و مقطعی با این فاز مواجه شویم (در میکروسکوپی نمونه‌ها با SEM این فاز مشاهده شد).

براساس نتایج آنالیز QXRD و نمودار شاخه‌ای^۱ (دیاگرام شماره ۳)، نمونه سفال‌های جلینکی مورد مطالعه، در دو دسته طبقه‌بندی می‌شوند: نمونه‌های ۷۰۸۰ و ۷۰۸۱ از بیستون در یک گروه قرار می‌گیرند و نمونه‌های ۷۰۸۳، ۷۰۸۴، ۷۰۸۵ از هگمتانه به همراه نمونه ۷۰۸۲ از بیستون، در یک گروه. دو نمونه ۷۰۸۴ و ۷۰۸۵ شباهت بسیاری به هم دارند که الگوی پیک آنها نیز شاهدهی بر این مدعاست. برای هر گروه می‌توان تکنولوژی تولید یکسانی را پیش‌بینی کرد؛ اختلافات اندک موجود احتمالاً ناشی از تفاوت مواد خام اولیه (به صورت جزئی) یا حتی تفاوت در مقدار انکلوژیون‌ها، تفاوت شرایط پخت (مانند قرار گرفتن در نقاط مختلف کوره در زمان پخت) و پخت در کوره‌های مختلف، باشد. (لازم به ذکر است که نمونه ۷۰۸۶، نمونه خشت به دست آمده از عمق 3.36 cm- ترانشه Ak 45 (B) سایت هگمتانه است که به منظور مقایسه ترکیبات اولیه به کار برده شده در تولید سفال و شباهت‌های آنها با خاک منطقه، مورد استفاده قرار گرفته است).

نتایج مطالعه میکروسکوپی بافت سفال جلینکی با استفاده از میکروسکوپ الکترونی رومیشی SEM-EDX:
آنچه از مطالعات میکروسکوپی در مقیاس میکرومتری از ماتریکس سفال جلینکی می‌توان مشاهده کرد، عدم اختلاف فازی بین لایه‌های مغز سفال و حاشیه سطحی است و این نکته دلالت بر یکدست بودن خمیر مورد استفاده در تولید این‌گونه سفال دارد. همچنین بافت متراکم و منسجم در این تصاویر نیز قابل مشاهده است. مرحله پیش ذوب فیلوسیلیکات‌ها و زینتر ناقص را می‌توان در آنها مشاهده کرد (تصاویر شماره ۷ و ۸).

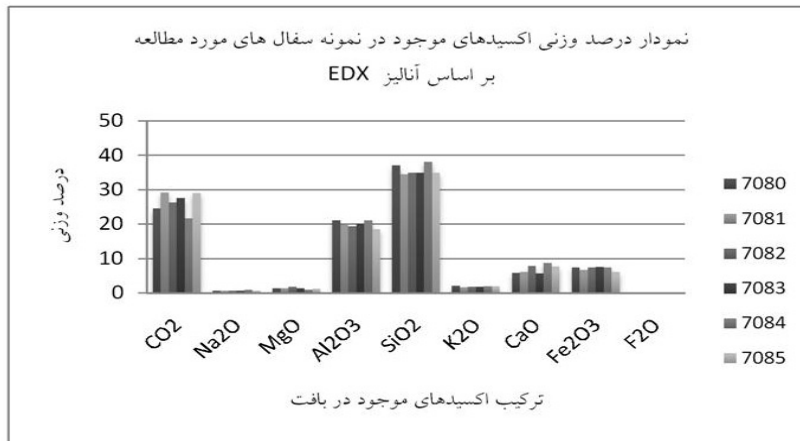
عنوان زینتر ناقص تنها در مقابل زینتر کامل در سرامیک‌های صنعتی و امروزی به کار می‌رود و سفال‌های مورد مطالعه، در نوع خود، از پخت مناسبی برخوردارند.

فیلولوسیلیکات‌های باقی مانده، احتمالاً کائولینیت تجزیه نشده (دمای ذوب کامل این کانی حدود ۱۷۰۰ درجه سانتی‌گراد است)، مسکوویت و بیوتیت می‌باشند. تخلخل‌های ثانویه (در ابعاد میکرومتری) ناشی از فرایند پخت و زینتر را هم می‌توان در تصاویر^۱ SE-SEM نمونه‌ها مشاهده کرد. در برخی از خلل و فرج موجود در بافت می‌توان تجمع برخی نمک‌ها را شاهد بود که غیرفعال به نظر می‌رسند و از آنجا که شوره‌ای ناشی از فعل و انفعالات درونی در نمونه‌ها مشاهده نمی‌شود، منفعل بودن این ترکیبات قابل قبول است (تصویر شماره ۹).

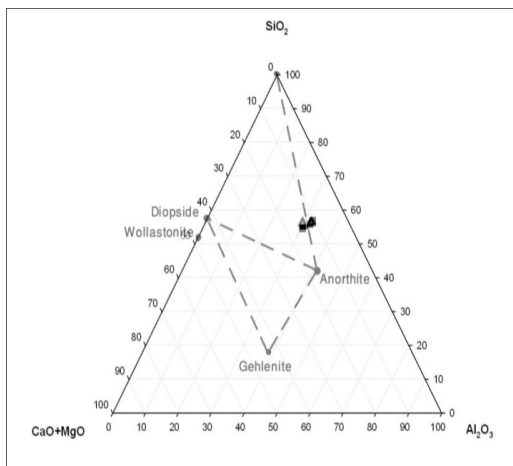
از این مطالعات می‌توان نتیجه گرفت که از خاک نسبتاً مرغوبی برای تهیه سفال جلینکی استفاده شده است؛ خاکی مانند رس کائولینیتی با ناخالصی آهن و همراه با سایر انکلوژیون‌های خاک شامل میکاها و کلسیت. پس از تخریب ساختارهای کائولینیتی به متاکائولینیت، در دمای مناسب، ساختارهای سوزنی شکل مولایت که به استحکام شبکه کمک می‌کنند، شکل می‌گیرند. اگرچه مولایت‌های اولیه (به صورت شبه مولایت^۲) خود را در بافت نشان می‌دهند، اما درجه حرارت و همچنین زمان ماندگاری در حداکثر درجه حرارت به اندازه کافی نبوده تا این ساختارها کاملاً شکل بگیرند (تصویر شماره ۷).

شناسایی ترکیب شیمیایی نمونه‌های مورد مطالعه با استفاده از آنالیز EDX انجام گرفت.

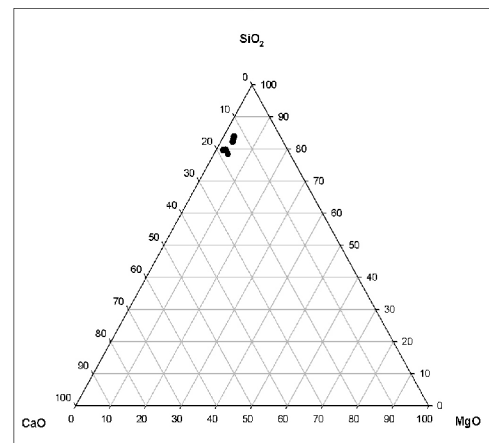
-
1. Secondary Electron-SEM
 2. Pseudomullite



دیاگرام شماره ۴: درصد فراوانی ترکیبات موجود (لازم به ذکر است که مجموع اکسیدهای آهن موجود به صورت Fe_2O_3 محاسبه شده است).



دیاگرام شماره ۶: طبقه‌بندی سفال‌های مورد مطالعه بر اساس نمودار تعادل ترمودینامیکی SiO_2 -CaO-MgO.



دیاگرام شماره ۵: انطباق نمونه‌های سفال جلینیکی مورد مطالعه با نمودار تعادلی نول در سیستم SiO_2 - Al_2O_3 -(CaO+MgO).

براساس این آنالیز و طبقه‌بندی سرامیک‌های تاریخی توسط والتر نول (Noll, 1991) در سیستم تعادلی SiO_2 - Al_2O_3 -CaO+MgO، شش نمونه مورد مطالعه را می‌توان مورد تحلیل قرار داد (دیاگرام شماره ۵). به منظور بررسی ماتریکس و تأثیر عمده فازهای شکل‌دهنده ترکیبات جدید در بافت، دیاگرام شماره ۶ نیز بر اساس سه ترکیب اصلی SiO_2 -CaO-MgO رسم گردید. لازم به ذکر است این دیاگرام‌ها، نمودار ترکیبات مورد انتظار در شرایط تعادل ترمودینامیکی است و از آنجا که در مورد سرامیک‌های تاریخی عمدتاً با عدم تعادل ترمودینامیکی مواجهیم و برخی محصولات به شکل ابتدایی، کاذب و غیراستوکیومتری شکل

می‌گیرند، کاربرد این دیاگرام‌ها، به منظور بررسی حوزه‌های تعادلی مورد نظر و پیش‌بینی فازهای ثانویه و همچنین طبقه‌بندی نوع سفال‌ها از لحاظ ساختاری است.

با توجه به دیاگرام شماره ۵ عمده فاز ثانویه شکل گرفته در ترکیب، پلاژیوکلاز ثانویه آنورتیت است که در آنالیز XRD نیز این مطلب قابل مشاهده بود. احتمال تشکیل مقادیری از ترکیباتی چون پیروکسن‌ها نظیر دیوپسید و انستاتیت نیز در بافت وجود دارد (آنچه در XRD ملاحظه شد حضور پیروکسن‌های آهن‌دار انستاتیت فروآن و دیوپسید فروآن است. از آنجا که در این دیاگرام ترکیبات آهن محاسبه نشده‌اند، محدوده‌های تعادلی آنها را نمی‌توان مشاهده کرد).

آنچه از مجموع این دیاگرام‌ها برمی‌آید نشانگر بافت غنی از سیلیس سفال جلینکی همراه با مقادیری کربنات است که این گونه سفال را در رده سفال‌های سیلیسی طبقه‌بندی می‌کند. محدوده قرارگیری ترکیبات نمونه‌ها، در مجاورت یکدیگر است و از این نکته می‌توان به تشابه تکنولوژی تولید در این نوع از سفال‌ها و وجود یک روش هدفمند در تولید سفال جلینکی پی برد.

شکل‌گیری ساختار لایه‌ای در سفال جلینکی:

در نمونه‌های مطالعاتی، علی‌رغم شناسایی ترکیبات آلی در بافت و وجود گرافیت (به صورت کربن) در آنالیزهای دستگاهی، در پتروگرافی مقاطع نازک، نشانه‌ای دال بر استفاده از تمپر گیاهی مشاهده نگردید. این نکته می‌تواند در پی چند دلیل رخ دهد:

- ۱- سوخت و تجزیه کامل ماده آلی به کار برده شده که در نتیجه آن می‌بایستی تخلخل‌هایی به شکل این مواد در بافت، ایجاد شده و باقی مانده باشد، اما چنین شواهدی مشاهده نگردید.
- ۲- تجمع کربن در خلل و فرج؛ در طی فرایند پخت با اتمسفر احیا، براساس واکنش تعادلی بودوآرد^۱ $CO \leftrightarrow C + CO_2$ و اصل لوشاتلیه، در حین سرد شدن، واکنش به سمت واکنش گرم‌زای تولید کربن دی‌اکسید و به همراه آن کربن (به صورت دوده) پیش می‌رود. از آنجا که در سطح سفال‌های جلینکی معمولاً نمی‌توان ته نشست کربن را مشاهده کرد- مگر در بعضی نمونه‌ها- احتمال این فرضیه نیز کاهش می‌یابد.
- ۳- محیط قرارگیری این نوع سفال و هوموس خاک در طی زمان دفن و نفوذ محلول‌های حاوی ماده آلی به درون بافت، می‌تواند از دلایل تشخیص ماده آلی با پیوند C-H بر اساس آنالیز FTIR در مورد این نمونه‌ها باشد.

- ۴- و اما فرضیه نوینی که می‌توان در این خصوص ارائه داد، استفاده آگاهانه سفالگر از خاکی دارای مقادیری ماده آلی در تولید این نوع سفال است که می‌توانسته از منابع خاک‌های رسوبی تأمین شده باشد.

در خصوص شکل‌گیری ساختار لایه‌ای یا ساندویچی در نمونه‌های مورد مطالعه، چنین به نظر می‌رسد که طی یک فرایند اکسیداسیون، تا حدود ۷۵۰ - ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد، روند پخت طی شده و در این حدود، به تدریج با افزایش فشار CO_2 و کاهش فشار اکسیژن، اتمسفر احیا در کوره حاکم شده است. مرحله پیش‌ذوب فیلوسیلیکات‌ها و کانی‌های رسی در شرایط احیا حدود ۵۰ درجه سانتی‌گراد زودتر اتفاق می‌افتد، اگرچه حضور مقادیری کلسیت و همچنین فلدسپار، نیز نقش‌گذار آور را داشته است. محلول جامد شکل‌گرفته طی فرایند زینتر، اجزای بافت را در بر گرفته و بافتی متراکم و مستحکم ایجاد کرده است. در مرز دانه‌های سیلیکات‌ها با کلسیت، به تدریج کریستالیزاسیون مجدد و بلورینگی ترکیبات جدید رخ داده است. از آنجا که ترکیب مواد اولیه مورد استفاده عمدتاً سیلیسی بوده و از کانی‌های رسی‌ای چون کائولینیت بهره برده‌اند، طی فرایند پیش‌ذوب و در واقع نرم‌شدگی و زینتر، بنیان سیلیس از شبکه‌های کریستالین آزاد شده و در نتیجه واکنش $SiO_2 \leftrightarrow SiO + \frac{1}{2}O_2$ ، پلیمرهای $(Si-O)_n$ به صورت ژل قهوه‌ای تیره، شکل‌گرفته و علاوه بر آن سیلیکات‌های آهن (نظیر انستاتیت فروآن و دیوپسید فروآن) و همچنین اکسید آهن در اتمسفر احیا - مگنتیت - در این بافت قرار گرفته‌اند.

شکل‌گیری مگنتیت در محیط احیا، می‌تواند دلیلی بر حضور این فاز آمورف باشد که با بستن منافذ، از نفوذ اکسیژن به درون بافت جلوگیری کرده است. در چنین شرایطی و در دمایی در حدود ۹۵۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد، پخت متوقف شده و دمش اکسیژن به درون کوره اتفاق افتاده و بر اثر اکسیداسیون سریع، اکسیژن به بافت سفال جلینکی تنها تا محدوده اندک و معینی، نفوذ کرده و اکسید آهن شرایط اکسیداسیون - یا همان هماتیت - در سطح تشکیل شده است (و به همین دلیل، در مقطع نازک نمونه‌ها نمی‌توان مرز مشخصی از تبدیل لایه مرکزی سیاه‌رنگ به سطح قرمز رنگ را مشاهده کرد). ژل آمورف، اکسیژن جذب کرده و به SiO_2 تبدیل شده اما این اکسید سیلیسیم تازه تشکیل شده همانند یک لایه پسیو- غیرفعال - (مانند اکسید آلومینیوم در سطح این فلز) عمل کرده و از ادامه روند اکسیداسیون به درون بافت جلوگیری کرده است. در این صورت کربن نیز در شرایط احیا، امکان ته‌نشست در خلل و فرج مجاور و یا بر روی دانه‌های دارای برجستگی را دارد. فرضیه جدید ارائه‌شده در این مقاله، حاکی از تشکیل فاز آمورف و پلیمری $(Si-O)_n$ و در واقع یک شبه شیشه در مغز سفال جلینکی است که می‌تواند عامل ایجاد طنین صدای فلزی در این نوع سفال و همچنین استحکام شیمیایی این بافت باشد.

از نشانه‌های حائز اهمیت برای پذیرش این فرضیه، فرم و میزان ضخامت سفال‌های جلینکی است. این سفال‌ها عمدتاً دارای دهانه‌های باز و به شکل کاسه و ظروف دهان‌گشاد هستند - و نه کوزه و مانند آن - و البته ضخامت کمی هم دارند تا امکان کنترل نفوذ اکسیژن، ایجاد ساختار لایه‌ای و همچنین رنگ قرمز قهوه‌ای به عنوان تزئین در سطح، با وجود بافت مستحکم و شبه شیشه‌ای درونی، وجود داشته باشد.

نتیجه‌گیری:

تکنولوژی تولید سفال جلینکی، از نمونه‌های بی‌نظیر خلاقیت در تولید چنین سفالی با ویژگی‌های منحصربه‌فردی چون ساختار لایه‌ای با توجیه تکنیکی _ بیشتر به منظور تولید ماده‌ای مستحکم و مناسب برای حمل یا نوشیدن مایعات _ در حدود ۲۰۰۰ سال قبل است.

برای تولید این سفال از خاک بهینه و فرآوری شده استفاده گردیده و کوارتز به عنوان ماده پرکننده اصلی (تمپر)، به صورت آسیاب و سرنده شده، مورد استفاده قرار گرفته است، تا خمیری منسجم با ویژگی درگیری مکانیکی اجزا با هم، ایجاد شود.

از آنجا که کربنات‌های درشت‌دانه در بافت مشاهده نمی‌شود، به نظر می‌رسد به طور آگاهانه این فاز تا حد ممکن حذف شده تا هم از لحاظ رنگ و هم از لحاظ پایداری شیمیایی سفال‌ها، محصولی قابل قبول ایجاد شود.

فلدسپارهای شناسایی شده در بافت عمدتاً از نوع آنورتیت هستند که البته می‌توانند محصولات ثانویه نیز باشند. اما نکته قابل توجه عدم استفاده از ترکیبات حاوی سدیم و پتاسیم است و چنانکه در آنالیز EDX نیز مشاهده می‌شود مقادیر اکسید این کاتیون‌ها بسیار اندک است. این مطلب حاکی از عدم استفاده از ترکیباتی حاوی این کاتیون‌ها (نظیر فلدسپارهایی چون آلبیت و ارتوکلاز و یا فیلوسیلیکاتی چون ایلیت) می‌باشد؛ زیرا تخریب این فازهای کریستاله با آزاد شدن سدیم و پتاسیم همراه است که از کاتیون‌های نمک‌ساز می‌باشند. علاوه بر این، این کاتیون‌ها در ترکیب با فاز آمورف، قادر به ایجاد ساختارهای ژئولیتی با شبکه‌های کریستالی بزرگ حاوی تعدادی مولکول آب و قابلیت تبادل یونی می‌باشند.

ایجاد شرایط متناوب اکسیداسیون - احیا و اکسیداسیون مجدد (به صورت دمش سریع اکسیژن در کوره) و کنترل تقریبی زمان هر یک از این رخدادها، به ایجاد ساختار لایه‌ای منجر شده است با شکل‌گیری فاز آمورفی از پلیمرهای $(Si-O)_n$ تیره رنگ، باقی ماندن مگنتیت و سیلیکات‌های آهن در بافت و شکل‌گیری هماتیت در سطح، با کنترل میزان نفوذ اکسیژن به درون بافت.

بنابراین سفالگر اشکانی، با علم به مواد مورد استفاده خود و شناخت شرایط کوره و تأثیر آن بر فرایند پخت، به تولید سفال جلینکی پرداخته است.

تشکر و سپاسگزاری

بدینوسیله از همکاری اداره باستان‌شناسی میراث فرهنگی اصفهان، جناب آقای دکتر جاوری و جناب آقای علیان و همچنین از همکاری بی‌دریغ جناب آقای دکتر یعقوب محمدی‌فر در تهیه نمونه‌ها، سپاسگزاری می‌نمایم.

منابع:

- درویش‌زاده، علی (۱۳۸۰). زمین‌شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، تهران.
 کامبخش فرد، سیف‌الله (۱۳۷۹). سفال و سفالگری در ایران از ابتدای نوسنگی تا دوران معاصر، ققنوس، تهران.
 محمدی‌فر، یعقوب (۱۳۸۷). باستان‌شناسی و هنر اشکانی، سمت، تهران.

نیکنامی، کمال‌الدین و دیگران، (۱۳۸۵) «تحلیل باستان‌شناختی استقرارهای اشکانی در زاگرس مرکزی». مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تهران، دوره ۵۷، شماره ۲-۱۸۰، تهران.

هرینک، ارنی (۱۳۷۶). *سفال ایران در دوران اشکانی*. ترجمه حمیده چوبک، انتشارات سازمان میراث فرهنگی کشور (پژوهشگاه)، تهران.

Broekmans, T., Adrianes, A., Pantos, E., (2008). "Insights into the production technology of North-Mesopotamian Bronze Age pottery", *Applied Physics A*, 90, 35 – 42,

Broekmans, T., Adrianes, A., Pantos, E., (2006). "Insights into North-Mesopotamian metallic ware" *Archaeometry*, 48(2), 219 – 227,

Cultrone, G., Rodriguez-navarro, C., Sebastian, E., Cazalla, O., & De Torre, M. J., (2001). "Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing". *Eur. J. Mineral* , 13, 621- 634,

Emami, S. M., (2008). "Mineralogisch - chemische untersuchungen zur archaometrie elamischer keramiken aus Khuzestan, Iran". Dissertation, Universitat Siegen, URN: nbn:de:hbz:467-3603.

Nodari, L., Maritan, L., Mazzoli, C. & Russo, U., (2004). "Sandwich structures in the Etruscan-Padan type pottery". *Applied Clay Science*, 27, 119 – 128,

Noghani, S., Emami, S. M. A., (2010). "Secondary calcite in texture of pottery from Persepolis, Iran". 38th international symposium in Archaeometry, Florida, U.S.A. In Press,

Noll, W., (1999). *Alte Keramiken und ihre Pigmente*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung Stuttgart,

Maggetti, M. (1982). "Phase analysis and its signification for technology and origin." (J. S. Olin, Ed.) *Archaeological Ceramics*, 121 – 133,

Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A., Russo, U., (2006). "Influence of firing conditions on ceramic productions: Experimental study on clay rich in organic matter". *Applied Clay Science*. 31, 1-15,

Riccardi, M. P., Mseeiga, B., Duminuco, P., (1999). "An approach to the dynamics of clay firing". *Applied Slay Science*. 15(3-4), 393-409,

Riderer, J., (2004). "Thin section microscopy applied to the study of archaeological ceramics". *Hyperfine Interactions*. Netherlands:Kluwer Academic Publisher , 154, 143 – 158,

Szakmány, G., Starnini, E., , (2007). "Archaeometric research on the first pottery production in the Carpathian Basin: manufacturing traditions of the early Neolithic, Körös culture ceramics". *Archeometriai Műhely*, 2007/2, 5 – 19

Trindade, M. J., Dias, M. I., Coroado, J. & Rocha, A., , (2009). "Mineralogical transformation of calcareous rich clays with firing: a comparative study between Calcite and Dolomite rich clay from Algarve, Portugal". *Applied clay science* , 42, 345 – 355