

مطالعه و بررسی ۲۰ نمونه سفال کلینکی استان کردستان و انجام آزمایش‌های مقایسه‌ای با

نمونه رس‌های برداشته شده از منطقه‌ی هشمیز

حسام الدین شهیدی همدانی

دانشجوی دکترای تخصصی گروه باستان شناسی و تاریخ دانشگاه علوم و تحقیقات تهران-ایران

علی اصغر میرفتاح

استاد مدعو رشته باستان شناسی دانشگاه علوم و تحقیقات تهران-ایران (نویسنده مسئول)

Ali.mirfattah@yahoo.com

بابک ژاله

عضو هیئت علمی گروه فیزیک دانشگاه بوعلی سینای همدان

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۱۰ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۰۵)

چکیده

پس از اخذ مجوز از پژوهشکده باستان شناسی، بیست قطعه سفال کلینکی به دو روش پیمایشی و در مواردی که طی بررسی سطحی، امکان یافت نمونه‌ای که شرایط لازم برای انجام آزمایشات را نداشت، از نمونه‌های جمع آوری شده در بانک سفال استان کردستان، استفاده شد. همچنین نمونه‌های خاک رس نیز، از روستای هشمیز استان کردستان، جهت آزمایش و تجزیه عنصری، با هدف به دست آوردن تکنولوژی تولید و شناسایی منشاء این نوع سفال جهت پاسخ به بوم‌آوردن یا وارداتی بودن این نوع سفال شاخص استخراج شد. آزمایش‌های صورت گرفته شامل پراش اشعه ایکس (XRD)، آنالیز حرارتی افتراقی (DTA/TG) و طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) بود. به استثنای یک نمونه، آنالیزهای به دست آمده معرف یک گروه شیمیایی و کانی شناسی همجنس بودند. فازهای کانی شناسی مشاهده شده عبارت بودند از کوارتز، فلدسپات پتاسیم (میکرو کلین) و پلاژیوکلاز (آلبیت و اولیگوکلاز). از مطالعه‌ی آزمایش‌های XRD، دو نمونه خاک رس بومی این منطقه، حضور کوارتز، کائولینیت، میکا، فلدسپات و پلاژیوکلاز مشاهده شد. وجود پیک گرماگیر در آنالیز حرارتی افتراقی (DTA/TG) در نمونه‌ی شاهد و عدم وجود آن در منحنی نمونه سفال‌ها، نشان داد که دمای پخت سفال‌ها بالاتر از ۶۰۰-۵۵۰ درجه سانتی‌گراد بوده است؛ آزمایش پخت در دمای بین ۴۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد در محیط احیاء نشان داد که کانی میکا در دمای بیش از ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد ناپدید می‌گردد. از این رو، دمای پخت سفال‌ها باید بالاتر از ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد باشد. نزدیک بودن نتایج آزمایش‌های شیمیایی سفال‌ها و تجزیه‌ی عنصری خاک رس‌های برداشته شده از منطقه، نشان دهنده‌ی تولید بومی این نوع سفال است.

واژگان کلیدی: سفال کلینکی، پراش اشعه ایکس، آنالیز حرارتی افتراقی، طیف سنجی فلورسانس اشعه ایکس

مقدمه

با مطالعه‌ی سفال می‌توان جوامع گذشته را از جنبه‌های سیاسی، اقتصادی، اجتماعی و هنری مورد بررسی قرار داد. سفال به جهت تولید فراوان و مداوم، همیشه با دگرگونی‌ها و نوآوری‌ها در شکل و نقش همراه بوده است؛ دگرگونی‌هایی که بخشی از آن بر اثر تطور و رشد درونی فرهنگ در طول زمان به وجود می‌آید و بخش دیگر به علت پیوندهای فرهنگی و اقتصادی با جوامع دور و نزدیک پدیدار می‌شود. از سوی دیگر، سفال، به دلایل گوناگون از جمله تولیدی و وارداتی بودن و کاربرد آن در حمل و نقل کالاهای تجاری، بهترین محمل فرهنگی در شناخت اقوام و جوامع به شمار می‌آید و برای مطالعه‌ی میان واحدهای مختلف یک فرهنگ منطقه‌ای از یک سو و فرهنگ‌های منطقه‌ای دیگر، اهمیت بسیار زیادی دارد؛ اهمیتی که مشابه آن را برای هیچگونه‌ی فرهنگی دیگر نمی‌توان متصور بود. برای استخراج اطلاعات جدید و مدارک قابل تفسیر باید از شیوه‌های نوین و روش‌های علمی استفاده نمود. از آنجا که داده‌ها، فقط حاوی اطلاعاتی درباره اثر است و نمی‌توان آنها را به خودی خود مدارک باستانشناختی تمام شمول قلمداد کرد، بنابر این هر داده زمانی به مدرک بدل می‌شود، که در چهارچوبی مشخص بررسی شود. با توجه به این توضیحات، سفال

کلینکی به عنوان سفال شاخص غرب و جنوب غربی ایران، انتخاب گردید تا به کمک آنالیز دستگامی پراش اشعه‌ی ایکس (XRD)، فلورسینس اشعه‌ی ایکس (XRF)، و آنالیز حرارتی افتراقی (DTA/TG) نیز جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها، و شناسایی کمی و کیفی عناصر تشکیل دهنده و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر، و ادغام آن با دیدگاه‌های نظری در حوزه تحقیقات باستانشناسی به سوالاتی از جمله اینکه آیا تکنولوژی تولید (فن شناسی) این گونه سفال، در این منطقه به یک صورت است؟ و همچنین آیا سفال‌های کلینکی در منطقه‌ی مورد مطالعه از جهت جنس و پردازش دارای منشأ یکسانی است؟ پاسخ‌های علمی داده شود.

پیشینه پژوهش

سفال کلینکی (Clinky Ware) یا (Cinnamon ware) برای اولین بار توسط کایلر یانگ و دیوید استروناخ شناسایی و نامگذاری شده است و دوران اشکانی در غرب ایران نیز با ظهور این نوع سفال قابل شناسایی است. (نیکنامی و دیگران: ۱۳۸۵) به نظر می‌رسد که سفال‌های کلینکی نوعی خلاقیت و نوآوری بومی و محلی منطقه‌ی غرب ایران بوده و به مرور زمان به مناطق دیگر گسترش یافته و از سال ۱۵۰-۱۷۰ ق.م تا اواخر قرن دوم میلادی (۲۵۰ م.) کاربری و رواج داشته است. وجه تسمیه‌ی این نوع سفال بر این

چیاقرعلی، تپه ماهور، محوطه قلابی، تپه کلک واژون در، تپه پاچیا ربی آباد؛ فصل اول بررسی و شناسایی باستانشناسی شهرستان دهلران(عباس مترجم، یعقوب محمدی فر، بهار ۱۳۸۲) در محوطه های تپه نزدیک تپه رمان، و تپه رمان؛ فصل دوم بررسی و شناسایی شهرستان آبدانان(خداکرم مظاهری، ۱۳۸۵) در محوطه های گرز لنگر، شهر ورکمره، تپه سیاه گاو، تپه سبزه حمام، تپه طاق مغوی؛ بررسی و شناسایی باستانشناسی دره سیمره(خداکرم مظاهری، ۱۳۸۵) در محوطه های تپه یارآباد، تپه نقاره، تپه مالگه، انبار قدیم، هومان، چهارطاقی چم نمشت، چوبینه، تپه آقا حسن، در بررسی و شناسایی باستانشناسی آثار تاریخی و فرهنگی شهرستان ایلام حوزه چوار(حبیب...محمودیان، ۱۳۸۹) در محوطه های بان سول، محوطه سید عیسی، محوطه آوه زا، وروادگاه، مجموعه مورت، محوطه چگا؛ در بررسی و شناسایی شهرستان قروه(علی بهنیا، فروردین ۱۳۸۸) محوطه های تپه امامزاده، ده کهنه سیلاب، هوارنشین، چال قشلاق، تپه قلعه چژنی، کانی زرزه، محوطه مری ویس، تپه قت، تپه حسین آباد؛ بررسی و شناسایی و مستند سازی آثار باستانی شهرستان کامیاران بخش مرکزی(نادر نوری، بهار ۱۳۸۹) در محوطه های تپه دست نثار، تپه حصیل رش، تپه پشت آوایی، تپه کونا چاله که، تپه برآوایی؛ در بررسی و شناسایی و مستند سازی آثار باستانی بخش نمشیر شهرستان بانه(صلاح نصرالهی) در محوطه های تپه گردی کاولان، تپه

اساس است که، وقتی قطعات آن به هم برخورد کنند، جلنگ جلنگ صدا می دهند. (هرمان: ۶۰، ۱۳۸۷). در بحث مطالعات نظری و میدانی جهت شناسایی سفال های کلینکی حوزه ی زاگرس مرکزی تحقیقاتی چند صورت گرفته، اکثر بررسی های انجام شده فاقد مطالعات آزمایشگاهی بوده و از آنجا که این گونه سفال یکی از شاخص های دوران میانی حکومت اشکانی است، سمت و سوی این تحقیقات بیشتر جنبه تطبیقی و مقایسه ای دارد. در اینجا به طور مثال چند نمونه از بررسی های باستان شناختی در محوطه هایی که در آن ها به وجود سفال کلینکی اشاره شده است ارائه می گردد: فصل اول بررسی و شناسایی و مستند سازی شهرستان کوهدشت(علی سجادی، ۱۳۸۳) در محوطه های سرخ دم لری، تپه گُمیر مالمیر، چیا بل چم کبود، تپه بردگلو، چقابور، چیا خندق؛ بررسی و شناسایی و مستند سازی شهرستان خرم آباد بخش پاپی(مجتبی مهدور، ۱۳۸۵) در محوطه های گورستان پیش آلی، تپه پزکو، تپه کنگرینه، تپه حق سور، پرک، دول زینل مرده، بونگلان بالایی، تپه سرچک، محوطه گاره، گردکو؛ بررسی و مستند سازی آثار باستانی شهرستان الشتر(داوود داوودی، ۱۳۸۵) در محوطه تپه گل زرد۲، تپه قبرستان کردآباد سفلی، تپه چیا جی جو، تپه قبرستان پیری جد، تپه گون کاور، تپه رووا، تپه اولاد علی، تپه قبرستان قاسم، تپه چال، محوطه دره ماران، تپه پا چیاتبلیه، تپه پرچین کاو، ژیر ری، تپه سیل حق علی، محوطه کلوشل، تپه سرقرستان هرباخ، تپه

مرتضی یری، خرابه چورلانقوش، چاناخ بولاغ؛ گزارش بررسی باستان شناختی دهستان درود فرامان شهرستان کرمانشاه (عباس رضایی نیا، ۱۳۸۸) در محوطه های تپه سلیمانیه، سواخان، کل وس، ده کبود، زاغه، حاجی آباد، قبرستان شاه ملکی، رحیم آباد ۳، چیمان، قلعه کهنه، هفت چشمه، مرنگ پینه، کلگه، کلک، میرزا کوسه، گیج آب، دره حاجی، جاباغ، تپه بان قورستان، قبرستان قمشه، خزینه، زل کو؛ همچنین در بررسی های باستانشناسی صورت گرفته می توان به مقاله های "ساختار شناسی سفال جلینگی بر اساس مطالعات ارکئومتری - سمیه نوغانی، محمد امین امامی، ۱۳۹۰" و "مطالعه ترکیب سفال کلینکی دوره اشکانی منطقه همدان با استفاده از سه روش PIXE, XRF, XRD با هدف میزان تشابه و تمایز - یعقوب محمدی فر؛ احمد علی عرب، ۱۳۹۲" نیز اشاره کرد که به صورت تخصصی و به کمک آزمایشات دستگاهی انجام گرفته اند. با توجه به انتخاب حوزه ی پراکنش مناسب در مقاله پیش رو، و استفاده از آزمایشات دستگاهی کارآمد مانند XRF و XRD و آزمایش آنالیز حرارتی افتراقی که در بررسی های گذشته کمتر از آن استفاده شده می توان این تحقیق را مکمل تحقیقات پیشین و پاسخ گوی برخی سوالات باستانشناختی در خصوص سفال کلینکی در حوزه ی زاگرس مرکزی به شمار آورد.

- مواد و روش ها

معرفی نمونه های مورد مطالعه

قلعه یعقوب آباد، ده کهنه، تپه گردی سیاحومه کهنه، محوطه دشتی گلی، محوطه آینان، کانی دروی، تپه گردی میرزال، نمشیر کهنه، توه رشی؛ گزارش فصل اول باستانشناسی شهرستان طارم علیا (ارض ... نجفی) در محوطه های گورقلعه، بالا کول سر، بیوک یال؛ بررسی و شناسایی باستانشناختی خدابنده (محمد ابراهیم زارعی و سید محمد سید یزدی) در محوطه های تپه قره قاتلوخ، آدی غیبی، کلوک تپه، اسران لی تپه، ملا یعقوب، تپه قربان؛ در گزارش فصل اول بررسی و شناسایی باستان شناسی حوزه آبریز ابهر رود (ابوالفضل عالی، ۱۳۸۳) محوطه های کافر قلعه، مزار دره سی، آق بولاغ، اردوبازار؛ گزارش فصل دوم بررسی و شناسایی باستان شناسی حوزه آبریز ابهر رود (ابوالفضل عالی، ۱۳۸۵) در محوطه های کوه سنگر، گوللر تپه سی، نصیر آباد، کت تپه سی، تپه علی آباد ۱، غریب علی تپه، قلا، کت یری، نور تپه، محمد قلی کریز، دوز داشه، فرخ چنار؛ گزارش فصل اول بررسی و شناسایی باستان شناسی شهرستان خدابنده (فرزاد مافی) در محوطه های قلعه یری، کول یری، بانو کرده سی، تپه امام کهریز، تپه نمک بولاغی؛ گزارش فصل اول بررسی و شناسایی باستان شناسی شهرستان ایجرود (علی اصغر میرفتاح) در محوطه های نخوزر، تاس تپه ۱ و ۲، کاروانسرا، تپه تات باغی، تپه کچل مورجالیخ، تپه سها، هاچا، قره لان، جمجمه، آریال، چولرخی، گلابر، کومز، سروان، قنبرلک، گرل؛ بررسی و شناسایی باستان شناختی فاز ۳ شهرستان زنجان (حسین علیزاده) در محوطه های جنگ یری،

(شکل ۳) این منابع در حال حاضر برای تولید سفال در این منطقه نیز استفاده می شود. نمونه های خاک رس جمع آوری شده در این محوطه با نام های HM1 و HM2 معرفی شده اند. در مورد حفزه های خاک رس HM1 نمونه ها در عمق های مختلف جمع آوری گردید و باتوجه به عمق به دست آمده نام گذاری شد: (HM1-50)، (HM1-130)، (HM1-140)، در حالی که نمونه ها با کد HM2 همگی در عمق ۱۸۰ سانتی متری جمع آوری گردید.

روش آزمایش:

تجزیه پراش اشعه ایکس نمونه سفال ها و نمونه های گل رس توسط دستگاه PHILIPS مدل PW1800 شرکت کانسازان بینالود صورت گرفت. شرایط عملیاتی عبارت بودند از: تابش $CuK\alpha$ (1.5406 Å)، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت، فیلتر Ni، جریان ۴۰ میلی آمپر، 20 از ۵ تا ۶۵ درجه، با سرعت ۲ درجه بر دقیقه. آزمایش های صورت گرفته بر روی نمونه های خاک رس در شرایط خشتی انجام شد. برای این منظور، مقدار ۲ گرم از نمونه ها پودر گردید و در یک کوره دما به صورت یکنواخت در هر مرحله (۲۰۰ درجه سانتیگراد) افزایش یافت تا به دمای ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد رسانده شود. (نرخ گرمایش ۱۵۰ درجه سانتیگراد / ساعت). پس از رسیدن به ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد، به مدت ۸ ساعت این دما برای نمونه ها ثابت نگه داشته شد.

تعداد ۲۰ تکه سفال کلینکی که دارای انحنای کمتر و فاقد آلودگی های سطحی و ناهمواری بود از شهرهای دیواندره، سنندج، بیجار، قروه، مریوان و سقز جهت آزمایش های مورد نظر، انتخاب گردید. بافت سفال محکم و محل شکستگی تکه سفال ها صاف و هموار و دارای خط های مستقیم است. مغز خمیره به رنگ خاکستری و خاکستری تیره است که به طرف سطح رنگ آن به نارنجی، خاکستری قهوه ای یا قهوه ای تغییر می یابد و بدنه حالت ساندویچی پیدا می کند. در برخی ظروف ظریف، رنگ بدنه یکنواخت است. رنگ بدنه به رنگ های مختلف نارنجی تا قهوه ای خاکستری یا قهوه ای است. به طور کلی لبه ها دارای اثر چرخش یا اثر صیقل با چوب می باشند که شیارهای آن قابل مشاهده است. در این آزمایش ۴ نمونه مربوط به شهرستان بیجار (BI-22/BI-10/BI-18/BI-09)، ۳ نمونه از شهرستان دیواندره (DI-12/DI-16/DI-11)، ۱ نمونه از شهرستان سنندج (SA-13/SA-02/SA-17/SA-15/SA-02)، ۲ نمونه از شهرستان قروه (GH-08/GH-03)، ۱ نمونه از شهرستان مریوان (MA-06/MA-05/MA-30/MA-02)، و ۳ نمونه از شهرستان سقز (SAG-09/SAG-03/SAG-04) انتخاب شد. (شکل ۱) در طی آماده سازی جهت آنالیز داده ها، نمونه ها با آب مقطر تمیز، سپس خشک و نیز به ابعاد حدود دو در دو سانتیمتر برش داده شد. (شکل ۲) در طی بررسی های میدانی از روستای هشمیز در منطقه زاوود سنندج، دو رخنمون خاک رس یافت شد؛

۲۰ نمونه موجود با در نظر گرفتن میانگین متوسط و انحراف معیار در نتایج حاصل است؛ این نتایج شامل کوارتز ۳۵٫۴٪ (۲٫۹٪)؛ پتاسیم-فلدسپات ۲۰٫۴٪ (۲٫۶٪)؛ پلاژیوکلاز ۲۰٫۱٪ (۲٫۵٪)؛ متاکاولینیت ۱۲٫۷٪ (۱٫۹٪). ترکیب کیفی شامل حدود ۶ درصد بیوتیت، ۲ درصد گوتیت و مقادیر جزئی روتیل و آپاتیت بود. تنها نمونه SA-15 با محتوای پایین تر از کوارتز (حدود ۲۱٪) و محتوای بالایی از پلاژیوکلاز (۳۲٪) و بیوتیت (حدود ۱۱٪) مشخص شد. متاکاولینیت به عنوان یکی از مولفه‌های کیفی انتخاب شد، زیرا کاولینیت در هیچ یک از نمونه‌های تحقیقاتی وجود نداشت. عناصر کیفی آپاتیت و روتیل نیز بسیار کم بود به طوری که با پراش اشعه ایکس قابل شناسایی نبود. عدم وجود هماتیت و مگنتیت در الگوهای XRD از دانه‌های قهوه ای و سیاه رنگ می تواند با مقدار کمتر از حد تشخیص XRD توضیح داده شود. هماتیت یکی از اصلی ترین مواد رنگ دهنده در سفال سازی است و تنها ۱ تا ۱٫۵ درصد از هماتیت کافی است تا سفال‌ها را به رنگ قرمز دریاورد. (Kumar, Palanivel & 2011:195-208) در این بررسی مشخص گردید که نمونه سفال‌های مورد آزمایش از یک گروه کانی شناسی مشابه تشکیل شده‌اند.

تجزیه و تحلیل حرارتی

از تجزیه و تحلیل حرارتی در ۲۰ نمونه سفال کلینکی، نتایج تقریباً مشابهی به دست آمد. این

تجزیه و تحلیل‌های حرارتی بر روی نمونه سفال‌ها و نمونه رسها توسط دستگاه Netzsch در مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران که با استفاده از Al, Zn, Bi, Sn, In به عنوان مواد استاندارد کالیبره شده است، انجام گردید. نمونه‌ها در بوت‌ه Al_2O_3 قرار گرفتند و اندازه گیری‌ها از ۲۰ درجه سانتیگراد الی ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد با سرعت گرمایش ۱۵ درجه سانتیگراد در دقیقه انجام شد. تجزیه و تحلیل شیمیایی سفال‌ها و نمونه‌ی گل رسها به شیوه XRF بدین صورت انجام شد؛ که ۱ گرم از نمونه‌ها به صورت پودر با ۶ گرم از Merck Spectromelt A14 (مخلوط لیتیوم تتربورات و La_2O_3) مخلوط گردید و در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به مدت ۱۵ دقیقه ذوب شد. پس از خنک شدن دیسک‌های شیشه ای همگن تجزیه و تحلیل شد. دستگاه مورد استفاده برای تجزیه و تحلیل PHILIPS مدل PW1480 از شرکت کانساران بینالود و زمان اندازه گیری ۲۰ تا ۴۰ دقیقه بود.

-بحث و نتیجه گیری

تجزیه و تحلیل پراش اشعه ایکس (سفال‌های کلینکی):

ترکیب کانی شناسی سفال‌ها در (جدول ۱) ارائه شده است. کانی‌های مشاهده شده عبارت بودند از کوارتز، میکا (بیوتیت)، فلدسپار پتاسیم (میکرو کلین) و پلاژیوکلاز (عمدتاً آلبیت). نتایج تجزیه و تحلیل نیمه کمی (جدول ۲) یک گروه مشابه از سفال‌ها را نشان داد که شامل ۱۹ نمونه مشابه از

متاکاولینیت مربوط می شود، حضور این واکنش نشان داد که کائولینیت در خاک وجود داشته، اما در طی حرارت دهی با تشکیل متاکائولینیت تخریب شده است.

ترکیب شیمیایی

ترکیب شیمیایی سفال‌ها در (جدول ۳) ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد که این سفال‌ها از یک گروه مواد مشابه تشکیل شده‌اند و درصد جرمی آنها با این مقادیر مشخص می گردد: (%wt): Fe_2O_3 2.8-، Al_2O_3 14-16، SiO_2 69-73، Na_2O ، CaO 3، 46-1، MgO 0.6-1.2، 4.0، 1.5-2.1، K_2O 3.3-5.4 و TiO_2 0.4-0.7. تنها تجزیه‌ی یک نمونه از این گروه نتایج مشابهی با سایر نمونه سفال‌ها نداشت: قطعه سفال SA-15 که حاوی مقدار کمی SiO_2 (61.00%wt) و به ویژه مقدار زیادی Fe_2O_3 (7.41%wt)، CaO (3.46%wt) و TiO_2 (1.50%wt) بود. نمودارهای نقطه ای $SiO_2-Fe_2O_3$ ، $CaO-MgO$ و Na_2O-TiO_2 همگن بودن مواد تشکیل دهنده در نمونه سفال‌های مورد تجزیه و تحلیل از منطقه‌ی هشمیز را نشان می‌دهد (شکل ۵). همگن بودن قطعه سفال‌های مورد بررسی نشان می‌دهد که همه آنها احتمالاً از یک نوع گل رس ساخته شده‌اند. تنها تجزیه‌ی نمونه SA-15 گروه دیگری از مواد خام تشکیل دهنده سفال را نشان داد. مقدار P_2O_5 در تمامی نمونه‌ها بسیار پایین بود؛ فقط در نمونه ZAM 16-00 مقدار

نتایج با توجه به وجود یا عدم وجود پیک گرماده بین دمای ۲۵۰-۴۵۰ درجه سانتیگراد، دو رفتار حرارتی یا دو گروه حرارتی در سفال‌ها را، نشان داد. ترموگرافی دو نمونه سفال که در (شکل ۴) ارائه شده است وجود این دو گروه حرارتی که بر اساس وجود موادآلی به وجود آمده را، توضیح می‌دهد. اکثر نمونه‌ها پیک گرماده را نشان نمی‌دهند؛ مانند نمونه‌های SA-15، DI-16 و SA-02. تنها حضور پیک گرماده بین ۲۵۰ تا ۵۰۰ درجه سانتی گراد را می توان با احتراق مواد آلی موجود در این نمونه‌ها تفسیر کرد. واکنش گرماده مشاهده شده در محدوده ۲۰۰-۶۵۰ درجه سانتیگراد به احتراق مواد آلی نسبت داده می شود؛ زمان حرارت دهی در اتمسفر کاهش، کربن موجود در تمپر سفال‌ها به طور کامل سوخته نمی شود و به ذرات کربنیک تبدیل می گردد. تصور می شود همانطور که در گذشته نیز معمول بوده است جهت افزایش پلاستیسیته گل رس مواد آلی ریز به آن اضافه می‌کرده‌اند. (Moropoulou & Bakolas, 1995: 743-53) جدای از این واکنش متفاوت در محدوده ۲۵۰-۴۵۰ درجه سانتی گراد (DTA)، این دو گروه حرارتی ویژگی مشابهی را ارائه می دهند. منحنی حرارتی تمام نمونه‌ها نشان دهنده یک پیک گرماگیر کوچک است که از حدود ۵۷۳ درجه سانتیگراد شروع شده و تصور می شود این پیک مربوط به تغییر دگرشکلی کوارتز باشد. پیک گرماده گسترده‌ای که در حدود ۸۵۰ درجه سانتیگراد آغاز شد، به تغییر

بدین شکل صورت گرفت: از بین رفتن گروه‌های هیدروکسیل بین دمای ۳۵۰-۵۰۰ درجه سانتی‌گراد و تبدیل به ترکیبی آمورفی به نام متاکائولینیت. کانی بیوتیت در دمای ۸۰۰ درجه سانتی‌گراد همچنان وجود داشت و در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز ناپدید شد. (Grimshaw- 1971:727) بین دمای ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد رو به زوال نهادن این کانی مشاهده شد. کانی‌های کوارتز و پلاژیوکلاز با توجه به اینکه در درجه حرارت بالا نیز مقاوم هستند در تمام آزمایش‌های صورت گرفته، مشاهده شدند. میکروکلین (فلدسپات پتاسیم) در دمای ۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد نیز مشاهده شد-پیکها بسیار ضعیف بود- (2θ ۲۶-۲۵ درجه سانتی‌گراد). رو به زوال نهادن کانی میکروکلین در دمای ۹۰۰ درجه سانتی‌گراد آغاز شد و در دمای بین ۱۰۰۰-۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، ناپدید شد. کانی مولایت بین دمای ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد پدیدار شد. در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، پیک کانی مولایت در ۱۶°، ۲۶,۵° و ۲۷° 2θ بسیار شدید بود. این مشاهدات نشان داد که مقدار مولایت با افزایش دما نیز افزایش می‌یابد. کریستوبالیت در دمای ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد شروع به ظاهر شدن کرد، اما پیک آن بسیار ضعیف بود. شکل یابی این کانی در دمای ۱۰۵۰ درجه سانتی‌گراد آغاز شد و در دمای ۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد، به اوج خود رسید. در این آزمایش وجود اکسیدهای آهن (هماتیت و مگنتیت) آشکار نگردید.

(0.44%wt) وجود داشت. این نتیجه بدان معنی است که در نمونه‌ی ذکر شده فاز غنی از فسفر وجود ندارد. (Gualtieri & Fabbri & Olander-2013:41), (& Adalsleinn Lemoine & Picon-1982:101-12) همچنین کم بودن عنصر فسفر می‌تواند بدین معنا باشد که قطعه سفال‌ها به اندازه‌ی کافی در خاک مدفون نبوده اند که فسفر را از استخوان‌های احتمالی خاک شده در اطراف خود جذب کنند. مقدار LOI (تقلیل وزن حرارتی) بسیار پایین بود و در محدوده (0.9-2.4 %wt) قرار گرفت. لازم به ذکر است، این مقادیر نشان دهنده‌ی دمای پخت بالای نمونه سفال‌ها و مقادیر کم و ناچیز مواد فرار همچون کربنات‌ها است و به ترکیبات خاک رس تشکیل دهنده مربوط نمی‌گردد.

خاک رس

تحلیل و بررسی آزمایش پراش اشعه ایکس: نتایج آنالیز XRD از دو منطقه‌ای که نمونه‌ی خاک رسها برداشته شد (HM1 و HM2) فازهای مشابه‌ای را مشخص ساخت که شامل: کوارتز، میکروکلین، اولیگوکلازا و کائولینیت بود. آزمایش‌های حرارتی بر روی این نمونه‌ها در محدوده ۲۰۰-۱۲۰۰ درجه سانتی‌گراد تحت شرایط اکسیداسیون نتایج مشابهی را نشان داد. بنابراین در شکل ۶ تنها الگوهای پراش اشعه‌ی ایکس از نمونه‌ی HM 1-130 ارائه شده است. بر اساس این الگوها، فاز کائولینیت در زیر دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد قابل شناسایی است. تغییر فاز کائولینیت

درجه سانتیگراد شروع می شود، تبدیل متاکائولینیت به گاما آلومینا یا مولایت است. (Moon & Kim & Lee-1999:82) عدم وجود پیک گرماده در منحنی توزین حرارتی بین دمای ۲۵۰-۳۰۰ درجه سانتیگراد، نشان داد که این نمونه‌ها، فاقد مواد آلی است. بنابراین، فقدان این پیک در منحنی‌های توزین حرارتی نشان می‌دهد که مواد آلی در طول پروسه‌ی تولید به خمیره-ی سفال اضافه گردیده. البته، این نتیجه گیری زمانی معنا می پذیرد که فرض شود این نمونه سفال‌ها از مواد بوم آور و محلی این منطقه تولید شده باشند.

تجزیه و تحلیل شیمیایی (کیفی)

ترکیب شیمیایی مواد خام یافت شده از منطقه‌ی هشمیز در جدول ۴ ارائه شده است. نتایج آزمایش‌های صورت گرفته نشان داد که نمونه خاک رس‌های HM2 در مقدار سیلیس (SiO_2) غنی تر از نمونه‌های HM1 است؛ این در حالی است که مقدار اکسید آلومینیوم و آهن در نمونه خاک رس HM1 بالاتر بود. مقادیر اکسیدهای قلیایی در دو محل مورد آزمایش یکسان، اما مقدار اکسید تیتانیوم در نمونه خاک رس HM1 بالاتر بود. مقدار کمی اکسید منگنز و فسفر در محوطه‌های مورد آزمایش مشخص گردید. با توجه به مقدار بالای اکسید آلومینیوم در نمونه‌های HM1، افت حرارتی (LOI) بیشتری مشاهده گردید، این امر نشان می‌دهد که نمونه‌های

این پدیده را می توان با غلظت کمتر از 1.5-2 wt% که توسط دستگاه XRD تشخیص داده شد تفسیر کرد.

تجزیه و تحلیل حرارتی: منحنی (آنالیز توزین حرارتی) DTA / TG از نمونه رس‌های موجود نتایج مشابهی را نشان داد؛ بنابراین، تنها آنالیز نمونه رس HM 1-130 سانتی متر در شکل ۷ ارائه شده است. شروع پیک واکنش گرماگیر بین دمای ۲۰۰ درجه سانتیگراد بود که با از دست دادن آب هیدروسکوپی در خاک رس همراه شد. (Nodari & Maritan-2006:31 & Paama & Milano & Mazzoli) (Perämäki-2000:349-57) پیک واکنش گرماگیر در منحنی DTA از حدود ۴۵۰ درجه سانتیگراد همراه با از دست دادن جرم ۲,۴۵٪ مشخص گردید؛ این پدیده را با هیدروکسیل شدن کائولینیت و تبدیل آن به متاکائولینیت می توان مربوط دانست. این نتایج با آنالیز پراش اشعه ایکس در گل‌های پخته شده نیز یکسان بود. یک اثر حرارتی ضعیف در دمای ۵۷۳ درجه سانتیگراد مشاهده شد، که مربوط به فاز دگرشکلی کوارتز است. پیک گرماگیر گسترده‌ای از حدود ۶۲۰ درجه سانتیگراد شروع شد که با کاهش 0.43% وزن همراه بود؛ این فرایند نیز با تجزیه کربنات و به صورت عمده در کلسیت صورت می گیرد. (Gualtieri & Fabbri-2014:34 & Shoval & Cultrone-2001:621-34) (Sebastian & Rodriguez-Navarro & Cazalla) پیک واکنش گرماده که در حدود ۸۵۰

اکسید آهن، منیزیم، کلسیم و سدیم در این سفال، منشاء متفاوتی از این نمونه را نشان می‌دهد. جدول ۵ همچنین نشان می‌دهد که ترکیب شیمیایی نمونه خاک رس‌های HM2 از ترکیب شیمیایی متفاوتی برخوردار است، هرچند که دارای همان مواد معدنی نمونه خاک رس‌های HM1 است. برای تولید سفال‌های مرغوب از این نمونه خاک رس، تصفیه آن لازم است تا درصد کوارتز را کاهش داده و درصد کائولینیت را افزایش دهیم. از لحاظ نظری در چنین صورتی، سفال‌های کلینکی را می‌توان از نمونه رس HM2 نیز تولید کرد.

برآورد شرایط پخت

حضور یا عدم حضور ترکیب مشخص کانی شناسی در سفال‌ها اغلب برای برآورد دمای پخت استفاده می‌شود. (Alp & Kara & İssi-2011:37) رفتار این مواد معدنی در دمای متفاوت با توجه به ماهیت خاک رس و فضای پخت نیز متغیر است. فازهای کانی شناختی در تمام سفال‌های مورد مطالعه، کوارتز، فلدسپات پتاسیم، میکا (بیوتیت) و پلاژیوکلاز بود. مواد معدنی موجود در نمونه‌های خاک رس کوارتز، کائولینیت، بیوتیت، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز تشخیص داده شد. کوارتز، فلدسپات پتاسیم و پلاژیوکلاز حتی در دماهای بالا نیز پایدار هستند، بر این اساس برای برآورد دمای پخت نمی‌توان از آنها استفاده کرد. (Freudiger-Bonzon:2005) بر اساس الگوهای به دست آمده از آنالیز XRD در نمونه خاک رس‌های موجود تخریب کائولینیت بین دمای

این محوطه دارای مواد معدنی بیشتری نسبت به محوطه‌ی HM2 است. تغییرات مشاهده شده در خاک رس‌های HM1 با توجه به برداشت نمونه از اعماق مختلف خاک (۵۰، ۱۳۰ و ۱۴۰ سانتی متر) محدود بوده که این موضوع به دلیل فرایندهای ژئوشیمیایی در بستر خاک رس قابل تفسیر است.

جدول ۴ - ترکیب شیمیایی نمونه خاک رس‌های موجود بر اساس درصد وزنی.

منشا سفال‌های موجود

مقایسه بین داده‌های شیمیایی نمونه سفال‌ها و خاک رس موجود در جدول ۵ ارائه شده است. نتایج حاصل نشان داد که میانگین ترکیب شیمیایی گروه سفال‌ها بسیار نزدیک با نمونه خاک رس - های HM1 است. این در حالی است که نمونه‌های این خاک رس در عمق ۱۳۰ و ۱۴۰ سانتی متری جمع آوری شده. بر طبق اظهارات سفال‌گران محلی هشتمیز، خاک رسی که در این عمق از زمین قرار دارد برای سفالگری نیز بسیار مناسب تر است. این خاک رس، که هنوز هم در امر سفالگری این منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرد احتمالاً مواد خامی را تشکیل می‌دهد که برای تولید سفال‌های کلینکی موجود استفاده شده است؛ بر این اساس می‌توان نتیجه گرفت مواد اولیه در تولید این سفال‌ها بوم آور است.

بر اساس مطالعات صورت گرفته نمونه سفال SA-15 از مواد بوم آور این منطقه ساخته نشده است؛ محتوای پایین اکسید سیلیکون و مقادیر بیشتری از

۹۰۰ درجه سانتیگراد و کمی بالاتر از این بوده است.

نتیجه گیری

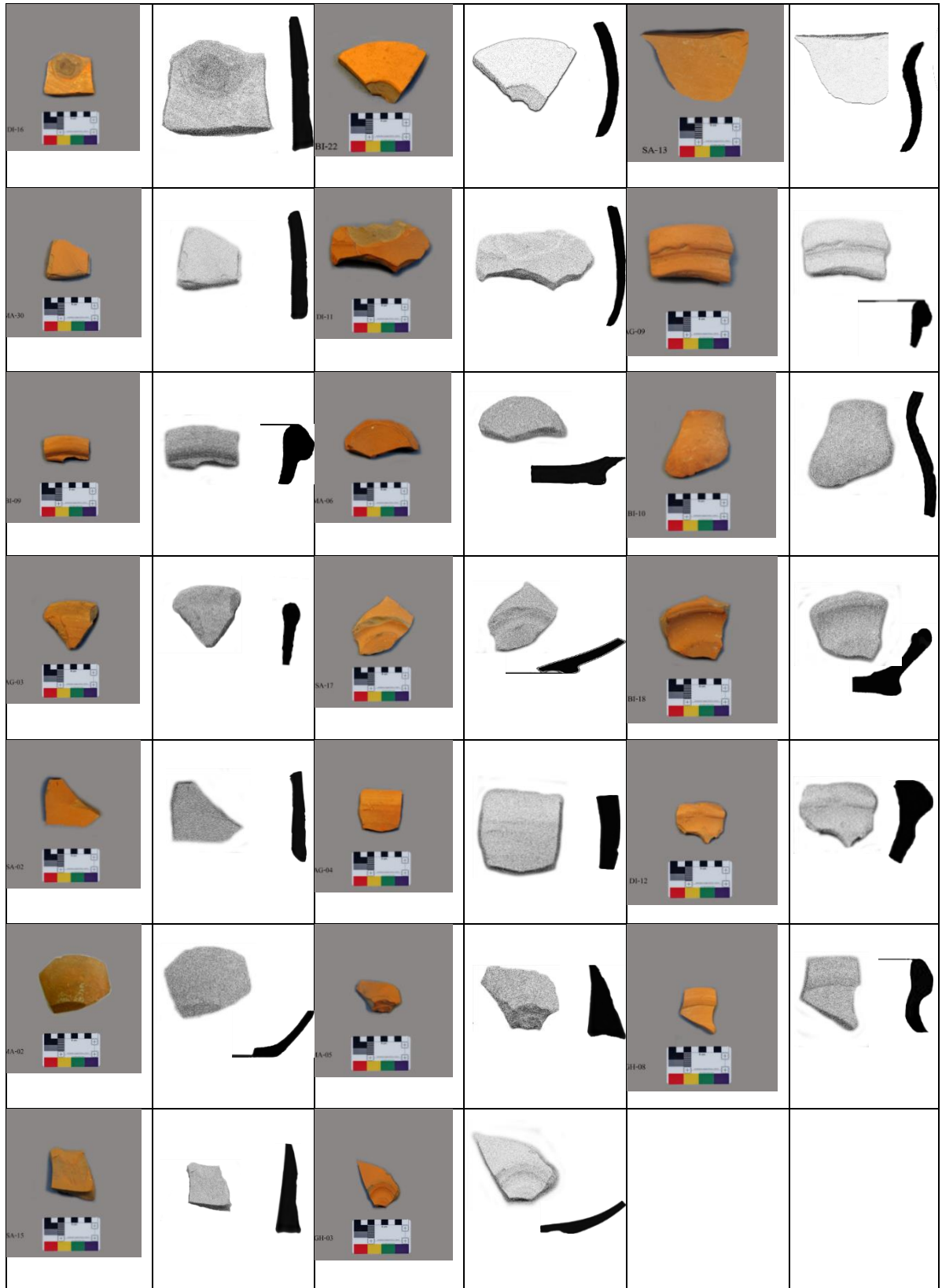
از بررسی و تحلیل‌های صورت گرفته در این تحقیق به این نتیجه می‌رسیم، که نمونه سفال‌های کلینکی انتخاب شده از منطقه کردستان از مواد بوم آور تشکیل شده‌اند. در این بررسی تنها آنالیز شیمیایی یک نمونه از باقی نمونه‌ها متفاوت بود. مقایسه بین خاک رس‌های موجود و سفال‌ها نشان داد که ترکیبات شیمیایی آنها نیز بسیار به هم نزدیک است. مطالعه‌ی رفتار حرارتی سفال‌ها نشان داد که احتمالاً سفالگران برای بهبود کیفیت خاک رس‌های محلی، مواد آلی را در خمیره نیز اضافه می‌کرده‌اند. برآورد دمای پخت سفال‌ها براساس حضور و یا عدم حضور برخی از مجموعه‌های معدنی خاص در نمونه خاک رس‌های موجود بود. با توجه به حضور بیوتیت و عدم وجود کائولینیت در تمام نمونه‌ها، محدوده‌ی دمای پخت در فضای اکسید بین ۹۰۰-۱۰۰۰ درجه سانتی‌گراد تخمین زده می‌شود.

منابع

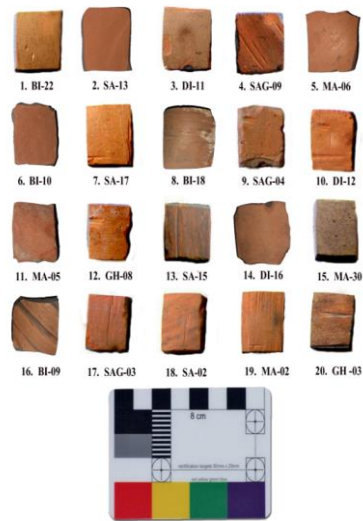
۱. نیکنامی، کمال‌الدین و دیگران، (۱۳۸۵) تحلیل باستان‌شناختی استقرارهای اشکانی در زاگرس مرکزی. مجله دانشکده ادبیات و علوم

۵۰۰-۶۰۰ درجه سانتی‌گراد صورت گرفت. این محدوده‌ی دما برای خاک رس‌های موجود در شرایط پخت احیا است. همان‌طور که کائولینیت در نمونه خاک رس‌های محلی حضور داشت، عدم وجود آن در سفال‌ها تنها می‌توانست با دمای پخت بالاتر از ۵۰۰-۵۵۰ درجه سانتیگراد توجیه گردد. (Wagner & Murad-1998:337-56) در دمای بالاتر از ۶۰۰-۶۵۰ درجه سانتیگراد ساختار بلوری مواد خراب شده و فرم متاکاولینیت ظاهر می‌گردد. (Ionescu-2007:29-35 & Horga Rădulescu & Ghergari) الگوهای آنالیز XRD از نمونه خاک رس‌های موجود نشان داد که تجزیه بیوتیت در دمای کمتر از ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در محیط احیا حاصل می‌گردد. (شکل ۵). میکا در خاک رس غنی از سیلیکات بین دمای ۹۰۰ الی ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد در محیط احیا کاهش می‌یابد و در دمای حدود ۷۰۰ تا ۷۵۰ درجه سانتیگراد در خاک رس‌های غنی از سیلیکات در طی اتمسفر کاهش می‌یابد. (Maniatis-1983:773-81 & Kostikas & Simopoulos Perdikatsis) با توجه به حضور بیوتیت در الگوهای آنالیز XRD تمامی نمونه سفال‌ها، می‌توان فرض کرد که نمونه‌های موجود در دمای زیر ۱۰۰۰ درجه سانتیگراد مورد پخت قرار گرفته‌اند. طبق نتایج DTA / TG، و پیک گرماده موجود در محدوده‌ی ۸۵۰-۱۰۰۰ درجه سانتیگراد به این نتیجه می‌رسیم که دمای پخت نمونه‌ها در حدود

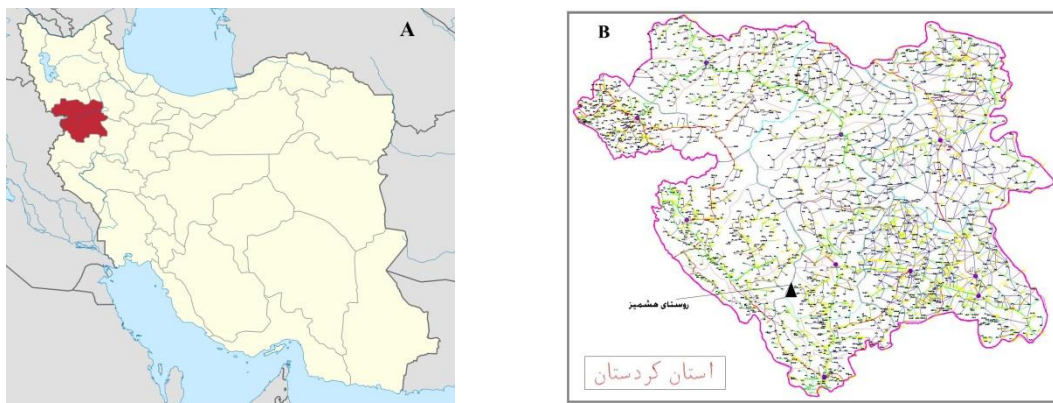
- Ceramic Society. 2014;34(7):1899-911.
9. Drebuschak V, Mylnikova L, Drebuschak T, Boldyrev V. The investigation of ancient pottery: Application of thermal analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2005;82(3):617-26.
 10. Cultrone G, Rodriguez-Navarro C, Sebastian E, Cazalla O, De La Torre MJ. Carbonate and silicate phase reactions during ceramic firing. *European Journal of Mineralogy*. 2001;13(3):621-34.
 11. Lee S, Kim YJ, Moon HS. Phase transformation sequence from kaolinite to mullite investigated by an energy-filtering transmission electron microscope. *Journal of the American Ceramic Society*. 1999;82(10):2841-8.
 12. İssi A, Kara A, Alp AO. An investigation of Hellenistic period pottery production technology from Harabebezikan/Turkey. *Ceramics International*. 2011;37(7):2575-82.
 13. Freudiger-Bonzon J. Archaeometrical study (petrography, mineralogy and chemistry) of Neolithic ceramics from Arbon Bleiche 3 (Canton of Thurgau, Switzerland): Université de Fribourg; 2005.
 14. Murad E, Wagner U. Clays and clay minerals: the firing process. *Hyperfine Interactions*. 1998;117(1):337-56.
 15. Ionescu C, Ghergari L, Horga M, Rădulescu G. Early Medieval ceramics from the Viile Tecii archaeological site (Romania): an optical and XRD study. *Studia UBB Geologia*. 2007;52(2):29-35.
 16. Maniatis Y, Simopoulos A, Kostikas A, Perdikatsis V. Effect of reducing atmosphere on minerals and iron oxides developed in fired clays: the role of Ca. *Journal of the American Ceramic Society*. 1983;66(11):773-81.
- انسانی دانشگاه تهران، دوره ۵۷. شماره ۲-۱۸۰
تهران
۲. هرمان، جورجینا، تجدید حیات هنر و تمدن در ایران باستان، ترجمه مهرداد وحدتی، انتشارات نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۷۴.
1. Palanivel R, Kumar UR. Thermal and spectroscopic analysis of ancient potteries. *Romanian Journal of Physics*. 2011;56(1-2):195-208.
 2. Moropoulou A, Bakolas A, Bisbikou K. Thermal analysis as a method of characterizing ancient ceramic technologies. *Thermochimica acta*. 1995;269:743-53.
 3. Fabbri B, Gualtieri S, Adalssteinn M, Olander T. Reasons of phosphorus pollution in archaeological pottery and its consequences: a reassessment. *Dev Archaeol Res M Adalssteinn T Olander (Eds), Nov Sci Publ, New York*. 2013;41.
 4. Lemoine C, Picon M. La fixation du phosphore par les céramiques lors de leur enfouissement et ses incidences analytiques. *ArchéoSciences, revue d'Archéométrie*. 1982;6(1):101-12.
 5. Grimshaw R. Reactions at high temperatures. *The Chemistry and Physics of Clays, Techbooks, India*. 1971;727.
 6. Maritan L, Nodari L, Mazzoli C, Milano A, Russo U. Influence of firing conditions on ceramic products: experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*. 2006;31(1-2):1-15.
 7. Paama L, Pitkänen I, Perämäki P. Analysis of archaeological samples and local clays using ICP-AES, TG-DTG and FTIR techniques. *Talanta*. 2000;51(2):349-57.
 8. Fabbri B, Gualtieri S, Shoval S. The presence of calcite in archeological ceramics. *Journal of the European*



شکل (۱) نمونه سفال‌های کلینکی به دست آمده از منطقه (نگارندگان)



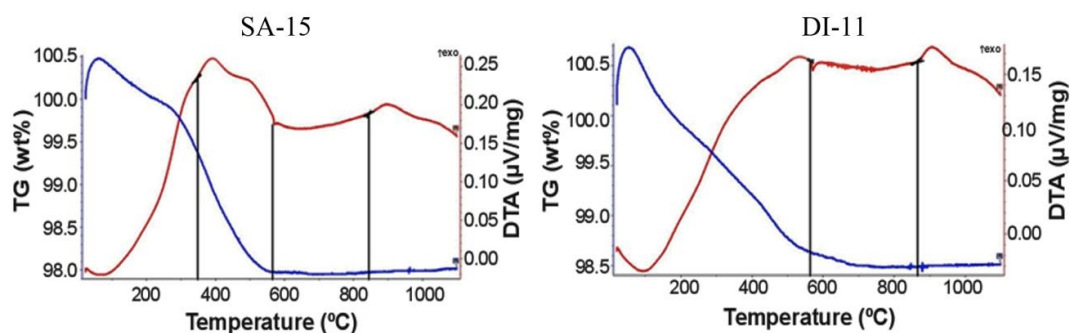
شکل ۲) نمونه سفال‌های کلینکی بعد از شستشو و برش (نگارندگان)



شکل ۳. A) نقشه موقعیت جغرافیایی استان کردستان در ایران (B) قرارگیری محوطه هشمیز در نقشه کردستان

(جدول ۱): ترکیب کانی شناسی سفال‌ها

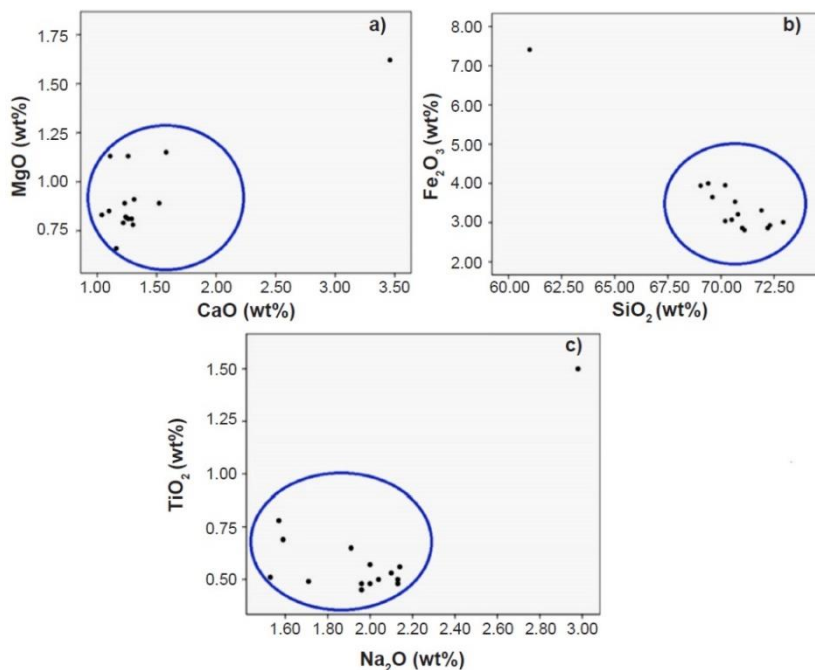
Sample	Quartz	K-feldspar	Plagioclase	Biotite	Metakaolinite	Goethite	Rutile	Apatite	Σ
BI-22	29.2	27.3	22.8	8.1	8.4	2.2	0.6	0.3	98.9
SA-13	40.3	19.0	16.5	5.2	14.4	1.7	0.7	0.3	98.0
DI-11	36.4	20.0	17.0	6.0	15.2	2.3	0.8	0.3	98.0
SAG-09	33.1	33.3	22.7	6.5	11.2	1.7	0.5	0.3	98.2
MA-06	34.2	18.5	20.5	8.3	13.0	2.2	0.7	0.3	97.7
BI-10	33.7	20.3	21.4	8.1	11.9	2.2	0.6	0.6	98.8
SA-17	36.9	20.8	21.0	6.0	11.5	1.6	0.5	0.3	98.5
BI-18	41.2	16.5	17.0	5.0	15.4	2.0	0.7	0.2	98.0
SAG-04	32.6	18.7	22.5	6.5	15.0	2.3	0.5	0.3	98.4
DI-12	37.4	24.4	16.5	5.9	11.0	2.1	0.5	0.4	98.2
MA-05	37.8	18.0	21.0	5.6	13.6	1.8	0.5	0.1	98.3
GH-08	34.0	20.7	22.8	6.5	12.5	1.4	0.5	0.4	98.2
SA-15	21.0	15.0	32.0	11.5	10.3	1.8	1.5	1.1	97.2
DI-16	34.0	19.0	22.0	6.0	14.1	1.8	0.5	0.2	97.6
MA-30	36.8	20.9	20.9	5.9	11.7	1.6	0.5	0.3	98.5
BI-09	37.3	22.5	17.1	6.0	13.0	1.4	0.7	0.2	98.2
SA-02	35.5	20.3	20.0	6.0	13.4	2.1	0.6	0.3	98.2
SAG-03	35.0	12.4	20.5	8.1	11.2	1.8	0.6	0.4	98.0
MA-02	37.7	20.3	18.3	7.0	12.1	2.1	0.5	0.2	98.2
GH-03	36.6	22.1	18.4	6.7	11.4	1.7	0.6	0.5	98.0



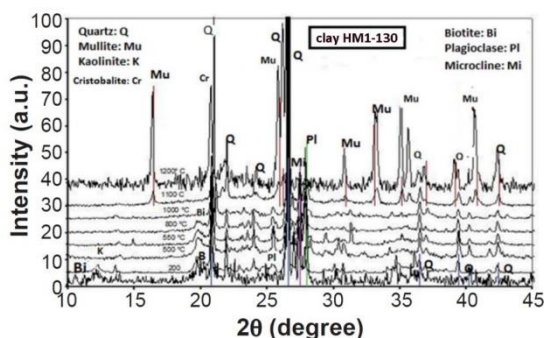
شکل ۴: منحنی‌های DTA/TG برای سفال‌های: (الف) گروه حرارتی ۱ (نمونه SA-15). و (ب) گروه حرارتی ۲ (نمونه DI-11).

جدول ۳ - ترکیب شیمیایی نمونه سفالها بر اساس درصد وزنی.

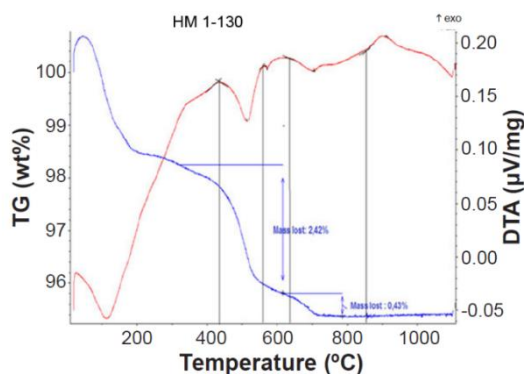
Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Σ
BI-22	69.04	15.00	3.94	0.03	1.13	1.11	2.14	5.44	0.56	0.13	0.99	99.51
SA-13	70.24	15.32	2.98	0.02	1.41	1.13	2.21	4.43	0.49	0.04	1.62	99.89
DI-11	70.66	15.18	3.53	0.10	0.81	1.26	1.57	4.02	0.78	0.11	1.91	99.93
SAG-09	70.55	15.20	3.07	0.03	0.91	1.31	2.13	4.44	0.50	0.11	1.63	99.83
MA-06	69.40	15.10	4.00	0.04	1.15	1.58	1.91	3.96	0.65	0.13	1.70	99.62
BI-10	70.20	15.00	3.95	0.04	1.13	1.26	2.00	4.30	0.57	0.24	1.25	99.94
SA-17	72.20	14.60	2.86	0.02	0.82	1.24	1.96	4.14	0.45	0.12	1.47	99.88
BI-18	72.92	14.54	3.01	0.08	0.66	1.16	1.59	3.30	0.69	0.06	1.92	99.93
SAG-04	69.60	16.20	3.65	0.05	0.89	1.23	2.10	3.84	0.53	0.13	1.79	100.01
DI-12	71.90	13.90	3.31	0.03	0.83	1.04	1.53	4.73	0.51	0.04	2.00	99.93
MA-05	72.30	15.00	2.93	0.02	0.78	1.30	1.96	3.62	0.48	0.16	1.43	99.86
GH-08	71.00	15.50	2.86	0.02	0.89	1.52	2.13	4.16	0.48	0.44	1.37	100.09
SA-15	61.00	16.10	7.41	0.02	1.62	3.46	2.98	3.71	1.50	0.11	1.45	99.69
DI-16	70.20	15.70	3.04	0.03	0.81	1.29	2.04	3.82	0.50	0.17	2.38	99.92
MA-30	70.80	15.60	2.95	0.02	0.94	1.26	2.01	4.24	0.55	0.24	1.30	99.84
BI-09	73.24	15.00	3.95	0.04	0.13	1.26	2.00	4.65	0.57	0.15	1.25	99.94
SA-02	69.94	15.53	2.98	0.03	1.11	1.34	1.86	4.44	0.46	0.36	1.23	99.28
SAG-03	71.22	15.14	3.02	0.04	0.87	1.44	1.91	4.27	0.49	0.17	1.42	99.99
MA-02	70.11	14.98	3.65	0.03	0.92	1.13	1.94	3.98	0.54	0.13	1.71	99.12
GH -03	69.93	15.00	2.89	0.05	0.73	1.54	1.89	4.56	0.53	0.36	1.99	99.47



شکل ۵: نمودار همبستگی شیمیایی اکسیدها به همراه درصد وزنی
(a) CaO/MgO, (b) SiO₂/Fe₂O₃, (c) Na₂O/TiO₂.



شکل ۶: الگوهای پراش اشعه ایکس از نمونه خاک رس HM 1-130cm در دماهای مختلف (از دمای اتاق تا ۱۲۰۰ سانتیگراد)



شکل ۷: منحنی DTA / TG (آنالیز توزین حرارتی) از نمونه خاک رس HM 1-130

جدول ۵ - مقایسه ترکیب شیمیایی نمونه خاک رس‌ها و سفال‌های موجود.

Sample	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	Σ
Average ceramics	72.24	15.34	3.33	0.04	0.90	1.28	1.96	4.23	0.55	0.13	100.00
SA-15	62.09	16.39	7.54	1.65	3.52	3.03	3.78	1.53	0.45	0.02	100.00
HM1-50	74.31	13.94	2.44	0.08	0.59	2.93	1.62	3.35	0.69	0.05	100.00
HM1-130	73.61	15.49	2.83	0.08	0.71	1.53	1.72	3.23	0.75	0.05	100.00
HM1-140	70.62	16.53	4.56	0.12	1.11	1.15	1.55	3.29	1.01	0.06	100.00
HM2-180	76.79	11.38	1.68	0.06	0.41	1.36	1.42	2.92	0.47	0.04	99.93

Clay	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	P ₂ O ₅	LOI	Σ
1. HM1-50	70.38	13.20	2.31	0.08	0.56	2.78	1.53	3.17	0.65	0.05	5.24	99.95
2. HM1-130	70.72	14.88	2.72	0.08	0.68	1.47	1.65	3.10	0.72	0.05	3.86	99.93
3. HM1-140	67.01	15.69	4.33	0.11	1.05	1.09	1.47	3.12	0.96	0.06	5.04	99.93
4. HM2-180	76.79	11.38	1.68	0.06	0.41	1.36	1.42	2.92	1.68	0.04	3.40	99.93