

معرفی باستان‌شناختی کارگاه‌های صنعتی کهن ذوب فلز زیرکوه خراسان جنوبی با تکیه بر مطالعات پتروگرافی و XRF

حسن هاشمی زرج‌آباد^۱، مریم قاسم‌نژاد^۲، رحمت عباس‌نژاد^۱، محمد فرجامی^۳

چکیده

فلزکاری کهن، چرخه‌ای است که با معدن‌کاوی و استخراج کانی آغاز شده و با گداختن سنگ‌های معدنی و استخراج فلزات از آن‌ها تا مرحله تولید کالا و سپس توزیع آن ادامه می‌یابد. هریک از فعالیت‌های این چرخه، شواهدی باستان‌شناختی را برجای نهاده‌اند که با شناسایی و مطالعه آن‌ها می‌توان به درک توانمندی فلزکاری منطقه و در نهایت توانایی ساکنان آن در بهره‌برداری از امکانات و قابلیت‌های زیست‌بومی، چون منابع آبی، پوشش گیاهی و کان‌سارها دست‌یافت. تجمع معادن غنی از انواع فلزات در منطقه خراسان و پیشینه‌ی درخشان این منطقه در تولید آثار فلزی از دوران پیش از تاریخ تا دوران اسلامی سبب شد تا متون و منابع کهن همواره بر پویایی فلزکاری در شرق ایران تأکید کنند. استان خراسان جنوبی نیز که پهنه وسیعی از شرق ایران را در بر دارد، از دیرباز به دلیل ویژگی‌های زمین‌شناختی از جمله مناطق مهم در زمینه معادن و فلزات بوده است که توانمندی بالایی را در زمینه مطالعات معدن‌کاری و فلزگری کهن دارد. در پژوهش حاضر پنج محوطه‌ی ذوب فلز در منطقه‌ی زیرکوه (واقع در شمال شرقی استان خراسان جنوبی) که به روش بررسی‌های پیمایشی باستان‌شناسی از سوی نگارندگان یافت شده، معرفی می‌شوند؛ همچنین این پژوهش به مطالعه و مقایسه ترکیبات شیمیایی سرباره‌های یافت شده در محوطه‌های شهرستان زیرکوه از طریق آزمایش XRF نیز می‌پردازد. نتایج این آزمایش مشخص کرد که اکسیدهای سیلیسیوم، کلسیم، آلومینیوم، منگنز، آهن و پتاسیم اجزای اصلی تشکیل‌دهنده سرباره‌های این محوطه‌ها هستند و بر خلاف تصور مردم بومی منطقه که این محوطه‌ها را کوره ذوب آهن می‌خواندند، فلز اصلی استحصالی در این کوره‌ها مس بوده است.

واژه‌های کلیدی: ذوب فلز کهن، زیرکوه، خراسان جنوبی، XRF، پتروگرافی.

ارجاع: هاشمی ح. قاسم‌نژاد م. عباس‌نژاد ر. فرجامی م. ۱۳۹۸. معرفی باستان‌شناختی کارگاه‌های صنعتی کهن ذوب فلز زیرکوه خراسان جنوبی با تکیه بر مطالعات پتروگرافی و XRF. نشریه جستارهای باستان‌شناسی ایران پیش از اسلام. ۴(۱): ۴۱-۵۲.

۱- دانشیار گروه باستان‌شناسی، دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران.

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد باستان‌شناسی، دانشکده هنر، دانشگاه بیرجند، بیرجند.

۳- دانشجوی دکتری باستان‌شناسی، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه تهران.

* نویسنده مسئول: h.hashemi@umz.ac.ir

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۱۱

مقدمه

دنیای باستان از عصر سنگ و عصر برنز و آهن به جامعه‌ی مدرن و پیشرفته‌ی امروز گذر کرد جامعه‌ای که برای بقا وابسته به فلزات و آلیاژهاست. دست‌یابی و عمل‌آوری فلزات مختلف در فرایندهای فرهنگی و فناوری بشر اهمیت بسیار زیادی داشته است. در قرن شانزدهم، ذوب فلز دنیای کهن به اندازه‌ی یک علم تکامل‌یافته بود که توسعه‌ی آن انقلاب صنعتی را پیش‌بینی می‌کرد (Maldonado et al., 2005 : 111). از پرسش‌هایی که همیشه فکر باستان‌شناسان را به خود مشغول کرده است، شناسایی منبع و منشأ فلزات استفاده‌شده در جوامع کهن، عناصر تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها و فناوری ساخت فلزات در آن جوامع است. آشکار است که بشر تنها در سرزمینی می‌توانست به سودمندی فلز پی ببرد که در آن فلزات و کانی‌های آن‌ها وجود داشته باشند. باستان‌سنجی شاخه‌ای از علوم باستان‌شناسی است که در آن با به کارگیری دانش مربوط به علوم مختلف طبیعی و روش‌های مهندسی به درک و حل بهتر مسایل باستان‌شناسی می‌پردازند. آزمایش، مطالعه و شناسایی مواد معدنی باستانی همواره یکی از موارد مورد بحث در باستان‌سنجی است. مطالعات و پژوهش‌های باستان‌شناختی انجام‌گرفته در منطقه جغرافیایی استان خراسان جنوبی در قالب بررسی‌های میدانی و داده‌های به دست آمده از آن‌ها بیانگر غنای منطقه در زمینه فلزگری و معدن‌کاوی کهن است. به این منظور پژوهش حاضر با هدف شناسایی آثار و محوطه‌های باستانی منطقه جغرافیایی زیرکوه انجام گرفت. در این منطقه در حین بررسی‌های میدانی که با روش بررسی پیمایشی فشرده انجام گرفت پنج محوطه تاریخی کشف گردید که این پژوهش به معرفی و ارائه نتایج مطالعات کانی‌نگاری و آنالیز XRF صورت‌گرفته روی سرباره‌های محوطه‌های یافت شده، می‌پردازد تا به جواب این سوال اساسی دست یابد که: منشأیابی کانی‌ها چگونه است و روش‌های ذوب و استحصال چگونه بوده است؟

پیشینه‌ی مطالعات فلزگری و معدن‌کاری کهن در خراسان جنوبی

در خصوص مطالعات آرکئومتالورژی در منطقه خراسان جنوبی می‌توان به طرح پژوهشی با عنوان «بررسی سیستماتیک بخش شوسف نهبندان» اشاره کرد که به سرپرستی دکتر حسن هاشمی زرج آباد و به سفارش اداره کل میراث فرهنگی، گردشگری و صنایع دستی خراسان جنوبی انجام گرفته است. در این بررسی محوطه‌های فلزگری کهن در شهرستان نهبندان شناسایی شد که اطلاعات این محوطه‌ها در قالب مقاله‌ای با عنوان «بررسی معادن کهن در خراسان جنوبی (مطالعه موردی: نویافته‌های مراکز کهن ذوب فلز شوسف نهبندان)» در فصلنامه علمی ترویجی مطالعات فرهنگی-اجتماعی خراسان در سال ۱۳۹۱ و به قلم دکتر حسن هاشمی و عابد تقوی چاپ و منتشر شده است. این مقاله صرفاً به معرفی محوطه‌های یافت‌شده می‌پردازد. این طرح پژوهشی آغازگر بسیاری از پژوهش‌ها در این زمینه در خراسان جنوبی شد؛ همچون پایان‌نامه‌ای که در ادامه این طرح و در سال ۱۳۹۳ تحت عنوان «بررسی باستان‌شناسی محوطه‌های ذوب فلز بخش شوسف نهبندان از منظر فلزکاری و معدن‌کاوی کهن با تأکید بر روش XRF و پتروگرافی» در دانشگاه بیرجند از سوی طیبه بیگی هرچگانی نوشته شد. در این پایان‌نامه سرباره‌های محوطه‌های شهرستان نهبندان مطالعه‌ی آزمایشگاهی شدند. در ادامه پژوهش‌های آرکئومتالورژی که در شهرستان سربیشه صورت پذیرفت و حاصل آن منجر به ارائه مقالات ارزنده‌ای در زمینه فلزگری کهن این منطقه شد، می‌توان به مقاله «پژوهش‌های آرکئومتالورژی و فلزکاری کهن در خراسان جنوبی (با تکیه بر بررسی‌های باستان‌شناسی و آزمایش-های پتروگرافی)» از سوی خانم بیگی اشاره کرد که در مقاله‌ی مذکور شواهد معدن‌کاری کهن در محوطه‌ی مسگران شهرستان سربیشه و دهستان عربخانه مطالعه شدند. این مقاله در دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران در سال ۱۳۹۴ ارائه گردید. مقاله‌ی «بررسی‌های باستان‌شناسی ذوب فلز در شرق ایران با مطالعه موردی محوطه مسگران، یکی از قدیمی‌ترین محوطه‌های ذوب فلز در خراسان جنوبی» نیز نتایج مطالعات پتروگرافی و XRF سرباره‌های محوطه مسگران را مطالعه، بررسی و تحلیل کرده است این مقاله نیز در سال ۲۰۱۵ انتشار یافت.

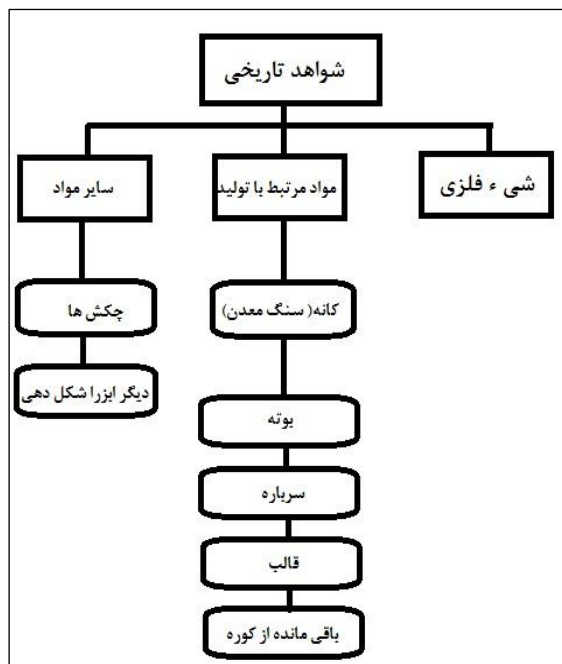
تاریخچه فلزات

دنیای باستان از عصر سنگ و عصر برنز و آهن به جامعه‌ی مدرن و پیشرفته امروزی گذر کرد جامعه‌ای که برای بقا وابسته به فلزات و آلیاژهاست و فراوری و دستیابی به فلزات مختلف در فرایندهای فرهنگی و فناوری بشر اهمیت بسیار زیادی داشته است به طوری که همین موضوع مبنای تقسیم‌بندی دوران‌های باستانی پیش از تاریخ قرار گرفته است. پیش از آن بشر، لوازم و اختراعات جنگی را از استخوان، شاخ، چوب و سنگ می‌ساخت. فلزات در طی قرن‌ها نقش مهمی در جوامع بازی می‌کردند و استفاده از آن‌ها غالباً بر دوره‌های مختلف تمدن و تاریخ بشر تأثیرگذار بوده است، اگر چه نوع و درجه این تأثیر متفاوت است. در قرن شانزدهم، دانش ذوب فلز دنیای کهن به اندازه‌ای تکامل یافت که توسعه آن انقلاب صنعتی را پیش‌بینی می‌کرد (Maldonado et al., 2005: 111). آشکار است که بشر تنها در سرزمینی می‌توانست به سودمندی فلز پی ببرد که در آن فلزات و کانی‌های آن‌ها وجود داشته باشد. فلات ایران نیز به دلیل محوریت جغرافیایی در قاره آسیا، وجود سرشار کانی‌های فلزات مختلف در آن و نیز وجود فرهنگ‌های پیشرفته پیش از تاریخ می‌توانست به عنوان کانون اصلی در زمینه فلزگری کهن قاره آسیا در نظر گرفته شود. ایرانی‌ها از دیرباز با روش‌های متفاوتی قادر به استخراج و ذوب فلزات بوده‌اند و به‌کارگیری امروزی فلزات، نتیجه تلاش طولانی و گسترده‌ای است که هزاران سال پیش آغاز شده است.

فرایندهای متالورژی دو جنبه اصلی را شامل می‌شود که عبارتند از: تولید اولیه فلزات از خود سنگ معدن و سپس تولید قطعات از فلزات موجود (Rehren, 2013: 4466). پیشرفت و گسترش متالورژی در ایران برای سالیان دراز موضوعی بسیار قابل توجه برای باستان‌شناسان و دانشمندان در سراسر جهان بوده است و فلات ایران و فرهنگ‌های مستقر در آن با اتکا به مدارک باستان‌شناختی، یکی از نخستین مناطق و جوامعی بود که به فناوری ذوب و استخراج فلز دست یافت (اکبرزاده، ۱۳۹۱: ۷) دلیل این مسأله نیز یافته‌های باستانی قابل ملاحظه و طیف گسترده‌ای از فن‌آوری‌های مربوط به آن (نظیر مس خالص در هزاره هفتم پیش از میلاد و ذوب مس در اواخر هزاره ششم قبل از میلاد) در ایران بوده است (Thornton et al., 2007: 315). در حقیقت، تاریخ غنی فلات ایران و

بقایای گسترده و متنوع فلزگری در نقاط مختلف ایران منبع مهمی برای مطالعات باستان‌شناسی و فلزگری کهن به خصوص در چند دهه گذشته بوده است (Oudbashi et al., 2014: 99).

آرکئومتالورژی زمینه‌ای از پژوهش‌های باستان‌شناسی با هدف به دست آوردن اطلاعات درباره متالورژی دوران باستان است (مرتضوی، ۱۳۹۳: ۲۰۹) اهمیت شکل‌گیری و تحول دانش متالورژی در دنیای باستان که به فلزگری کهن مشهور است به حدی است که در قرن‌های ۱۹ و ۲۰ میلادی بر تقسیم‌بندی دوره‌های فرهنگی پیش از تاریخ تأثیر گذاشته است و همواره از مهم‌ترین مسایل در خصوص مطالعات پیش از تاریخ بوده است (Radivojevic et al., 2010: 2775)؛ زیرا به دلیل استفاده در مسایل مربوط به آیین‌ها، ساخت ابزارها، سلاح‌ها و سایر ساخت و سازها موجب پدید آمدن جوامع پیچیده در بسیاری از نقاط جهان به خصوص آسیا در عصر باستان شده است (Linduff and Mei, 2008: 1).



شکل ۱- نمودار شواهد باستان‌شناختی مربوط به فرآیندهای متالورژی (مرتضوی، ۱۳۹۳: ۲۱۰)

مراکز ذوب فلز در شهرستان زیرکوه

در بررسی پیمایشی انجام‌گرفته در شهرستان زیرکوه پنج محوطه‌ی باستانی ذوب فلز شناسایی شد که در ادامه موقعیت و ویژگی‌های این پنج محوطه بررسی خواهد شد.

۱- مرکز ذوب فلز تگ کوره

طول و عرض جغرافیایی (UTM): ۷۵۷۷۰۳ / ۳۷۵۰۲۸۱ S ۴۰

این محوطه در استان خراسان جنوبی، شهرستان زیرکوه، بخش شاسکوه، دهستان بهناباد و روستای بندآخوند واقع شده است ارتفاع آن از سطح دریا ۱۸۷۷ متر است. عوارض مجاور آن شامل کوه، رودخانه و دشت است و نوع اثر یک کوره خدماتی است. نزدیک‌ترین منبع آبی آن رودخانه فصلی تگ ریزآب است. به دلیل آبرفتی بودن خاک محدوده‌ی اثر، خاک مخلوطی از شن و قلوه سنگ است. این کوره در یک دره نسبتاً وسیع محاط در رشته‌کوه

شاسکوه قرار گرفته است. پوشش گیاهی آن درختچه‌های زیروگ، گیاهی به نام پُتند و پرچم و بوته‌های ترخ (درمنه) و سپند به صورت نسبتاً تنک، پوشش گیاهی پیرامون کوره را تشکیل می‌دهد. غار و قبرستان پهلوان به فاصله‌ی یک کیلومتری جنوب غرب این کوره قرار دارد. کوره به صورت کامل تخریب شده و تنها آثار سطحی کوره به صورت قطعات پراکنده سرباره مشهود است. کاربری این اثر خدماتی است. این اثر خارج از محدوده روستایی واقع شده است و به لحاظ گاه‌نگاری این بنا متعلق به دوره‌ی میانی اسلامی است.



شکل ۲- نمای کلی از کوره‌ی تگ کوره (دید از غرب) (منبع نگارندگان)

۲- مرکز ذوب فلز تنگل دوازده امام

طول و عرض جغرافیایی (UTM): ۷۶۹۷۲۲ / ۳۷۲۹۸۳۷ S ۴۰

این محوطه در استان خراسان جنوبی، شهرستان زیرکوه، بخش شاسکوه، دهستان شاسکوه، روستای نوده واقع شده است. ارتفاع آن از سطح دریا ۳۰۴۸ متر است. منابع آبی این محوطه؛ یعنی رودخانه فصلی دره دوازده امام و میرشاه، در حاشیه این محوطه است. خاک پیرامون اثر را خاک شنی با بستری صخره‌ای تشکیل داده است. چهار

جهت اثر را کوه و رودخانه در بر گرفته است. درختچه‌های بنه، زیروگ و بوته‌ی ترخ (درمنه) پوشش گیاهی پیرامون این کوره را تشکیل می‌دهد. کوره به طور کامل تخریب شده و هیچ نشانه‌ای از بنای کوره در محل دیده نمی‌شود، تنها آثار خانه‌های کارگران این کوره‌ها در بخش شمالی مشخص است. کاربری این اثر خدماتی است. این اثر خارج از محدوده روستایی واقع شده است و به لحاظ گاه‌نگاری، متعلق به دوره میانه‌ی اسلامی است.



شکل ۳- سرباره‌های کوره‌ی آهن تگ دوازده امام (دید از غرب) (منبع: نگارندگان)



شکل ۴- بقایای معماری مسکونی، ضلع شمالی محوطه کوره‌ی آهن تگ دوازده امام (منبع: نگارندگان)

۳- مرکز ذوب فلز چاه گنده
طول و عرض جغرافیایی (UTM): کوره ذوب آهن چاه گنده بالا ۷۵۵۶۰۳ / ۳۷۴۶۴۶۹ S ۴۰
کوره ذوب آهن چاه گنده پایین ۷۵۵۸۰۹ / ۳۷۴۷۰۳۸ S ۴۰

این محوطه در استان خراسان جنوبی، شهرستان زیرکوه، بخش شاسکوه، دهستان بهناباد و روستای بندآخوند واقع شده است. ارتفاع محوطه از سطح دریا ۲۰۳۱ متر است در محل علاوه بر سرباره تکه سفال‌هایی مربوط به دوره سلجوقی یافت شد و با توجه به قطعات سفالی یافت‌شده، قدمت این کوره‌ها به دوره سلجوقی برمی‌گردد. خمیره سفال‌های یافت‌شده در این محوطه به رنگ نخودی و قرمز است که با نقوش هندسی و خطوط موازی تزیین شده‌اند. این سفال‌ها دست‌ساز، با پخت عالی و با کیفیت متوسط تولید شده و برخی از قطعات سفالی با لعاب گلی رقیق و

غلیظ تزیین شده‌اند. کوره‌های ذوب چاه گنده در انتهای شمال غربی رشته کوه شاسکوه در یک دشت میانکوهی واقع شده است. این کوره‌ها در راستای شمالی و جنوبی امتداد دارند و مسیلی که از وسط این کوره‌ها عبور کرده، قسمتی از دیواره آن‌ها را که در ساخت آن‌ها از سنگ و خشت استفاده شده، تخریب کرده است. این خشت‌ها با ابعاد ۲۵×۲۵ سانتی‌متر است که در بعضی قسمت‌ها شواهدی از بنای کوره که به صورت مدور است، قابل رویت است. یکی از دلایل فراوانی کوره‌های ذوب در این منطقه وجود منابع سوخت فراوان بوده است. به فاصله‌ی ۵۰۰ متری شمال کوره چاه گنده‌ی بالا، کوره چاه گنده پایین دقیقاً در مسیر رودخانه‌ی فصلی قرار گرفته است. این کوره امروزه در یک محله دامداری قرار دارد. تمامی بخش‌های این کوره از بین رفته و تنها پی بنا به جا مانده است.



شکل ۵- سرباره‌های کوره‌ی ذوب آهن بالای چاه گنده بالا (دید از شمال) (منبع: نگارندگان)

است. بوته‌های ترخ (درمنه) و سپند پوشش گیاهی پیرامون کوره را تشکیل می‌دهند. به فاصله‌ی پنج کیلومتری شمال اثر، کوره فیرک پایین واقع شده است. کوره به‌طور کامل تخریب شده و فقط آثار سطحی آن دیده می‌شود. کاربری این اثر خدماتی است. این اثر خارج از محدوده روستایی واقع شده است. عبور جاده از وسط کوره موجب ویرانی اثر شده است. این اثر به احتمال زیاد مربوط به قرون متأخر اسلامی است. کوره فیرک بالا اثری است که در میانه دره و در حاشیه‌ی یک رودخانه فصلی به فاصله‌ی ۱۰ کیلومتری جنوب شرقی روستای سیندر قرار گرفته است.

۴- مرکز ذوب فلز فیرک بالا

طول و عرض جغرافیایی (UTM): ۷۳۵۹۹۴ / ۳۷۲۷۱۶۶
۴۰ S

این محوطه در استان خراسان جنوبی، شهرستان زیرکوه، بخش زهان، دهستان افین و روستای سیندر واقع شده است. ارتفاع محوطه از سطح دریا ۱۶۳۸ متر است. طول محوطه ۲۵ متر و عرض آن ۲۰ متر و مساحت آن ۵۰۰ مترمربع است. جاده خاکی سیندر - قلعه دختر از وسط کوره عبور می‌کند. مالکیت این اثر عمومی است. منبع آب این اثر رودخانه‌ای است که در حاشیه‌ی غربی کوره در جریان است. خاک محدوده اثر، خاک شنی، آهکی با بستر صخره‌ای است. چهار جهت اثر را کوه و دره احاطه کرده



شکل ۶- سرباره کوره‌ی ذوب مس فیرک بالا (دید از شمال) (منبع: نگارندگان)

پوشش گیاهی پیرامون کوره را تشکیل می‌دهد. به فاصله-۵ ی پنج کیلومتری جنوب اثر، کوره‌ی فیرک بالا واقع شده است. کوره به‌طور کامل تخریب شده و فقط آثار سطحی آن مشاهده می‌شود. کاربری این اثر خدماتی است. این اثر خارج از محدوده روستایی واقع شده است. به دلیل نزولات جوی، بخش‌های بیرونی بنا فرسوده و بخش‌های داخلی اثر نیز تخریب شده است. این اثر به احتمال زیاد مربوط به قرون متأخر اسلامی است. کوره‌ی فیرک پایین، اثری است که در میانه‌ی یک دره و در حاشیه‌ی یک رودخانه فصلی به فاصله‌ی پنج کیلومتری جنوب شرقی روستای سیندر قرار گرفته است.

۵- مرکز ذوب فلز فیرک پایین

طول و عرض جغرافیایی (UTM): ۳۷۲۸۰۰۲ / ۷۳۴۱۰۲
۴۰ S

این محوطه در استان خراسان جنوبی، شهرستان زیرکوه، بخش زهان، دهستان افین و روستای سیندر واقع شده است. ارتفاع محوطه از سطح دریا ۱۸۰۷ متر است. طول محوطه ۵۰ متر، عرض آن ۴۰ متر و مساحت آن ۲۰۰۰ متر مربع است. جاده خاکی سیندر - قلعه دختر به فاصله ۳۰ متری شرق کوره قرار دارد. مالکیت این اثر عمومی است. منبع آب این اثر رودخانه فصلی است که در حاشیه-ی شرقی و شمالی کوره قرار دارد. خاک محدوده اثر، شنی، آهکی و بستر صخره‌ای است. چهار جهت اثر را کوه و دره احاطه کرده است. بوته‌های ترخ (درمنه) و سپند



شکل ۷- کوره‌ی ذوب مس فیرک پایین (دید از شرق) (منبع: نگارندگان)

آزمایش XRF

تجزیه و تحلیل اشیای فلزی با طیف سنج فلورانس اشعه ایکس (X-ray fluorescence spectrometry) یا به‌طور خلاصه XRF یک روش شیمی تجزیه دستگاهی برای تعیین ترکیبات شیمیایی مواد است. این مواد می‌توانند به صورت جامد، مایع و یا پودر باشند (Brouwer, 2010: 8). در سال‌های اخیر کاربرد روش XRF به‌طور چشم‌گیری در باستان‌شناسی افزایش یافته؛ زیرا غیر مخرب است و در مقایسه با سایر روش‌های تجزیه هزینه کمتری دارد (Rehren, 2014 Orfanou and) و با میزان خیلی کمی از نمونه قابل انجام است. در این روش پیش از انجام هر کاری باید نمونه‌ها آماده‌سازی شوند. مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها در شکل ۸ نشان داده شده است:

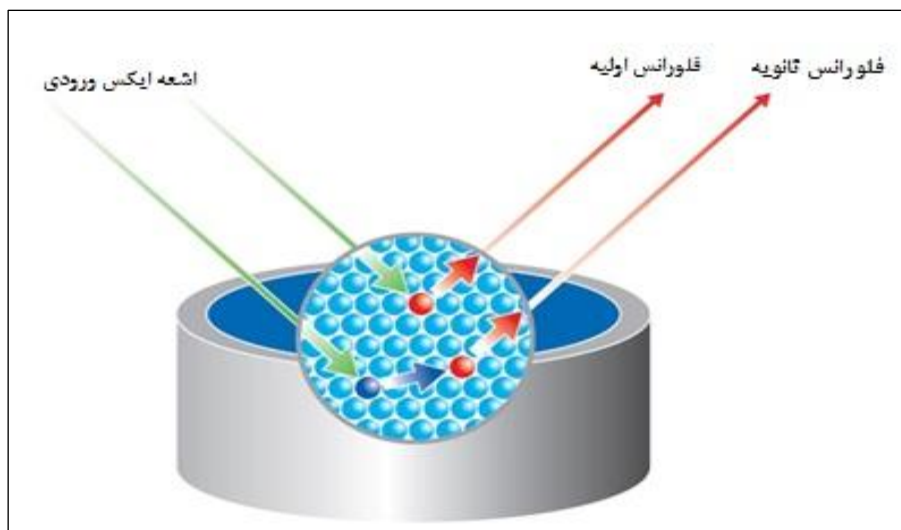


شکل ۸- نمودار مراحل آماده‌سازی نمونه‌ها برای آزمایش

(Valkovic, 1983: 15) XRF

ثانویه، عنصر یا عناصر موجود در نمونه مجهول را شناسایی می‌کند (Brouwer, 2010: 14).

در این روش، مطابق شکل ۲ پرتو ایکس به نمونه مجهول می‌تابد و در اثر برانگیختن اتم‌ها موجب پدید آمدن پرتو ایکس مشخصه ثانویه (فلورسانس ثانویه) می‌شود، سپس دستگاه با اندازه‌گیری طول موج یا انرژی پرتو ایکس



شکل ۹- فلورسانس‌های اولیه و ثانویه بازتابش شده از نمونه (Brouwer, 2010: 16)

برای شناسایی دقیق ترکیب شیمیایی این سرباره‌ها و در نتیجه شناسایی نوع فلز مورد استحصال در منطقه، این نمونه‌ها تحت مطالعات آزمایشگاهی XRF قرار گرفتند.

نتایج آزمایش XRF روی سرباره‌ها

ترکیبات اصلی شیمیایی سرباره‌ها چه آهنی و چه فلزی نظیر سرباره‌های ذوب مس و سرب شامل، FeO ، CaO و SiO_2 است. این در حالی است که در برخی از سرباره‌ها، آهن به صورت Fe_2O_3 نیز ظاهر می‌گردد. ترکیبات متغیر در سرباره‌ها شامل MnO ، MgO ، Al_2O_3 ، P_2O_5 و آلکالی اکسیدهاست.

در جدول ۱ نتایج آنالیز XRF سرباره‌های مطالعه‌شده، ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود سازنده‌های اصلی این سرباره‌ها (حدود ۹۵ تا ۹۸ درصد وزنی) غالباً اکسیدهای سیلیسیوم، آلومینیوم، آهن، کلسیم، پتاسیم، منگنز و منیزیم هستند و مابقی ترکیب آن‌ها را عناصر واسطه فلزی و گوگرد تشکیل می‌دهد (جدول ۲).

نمونه‌برداری و آماده‌سازی سرباره‌های مورد مطالعه برای انجام آزمایش XRF

با توجه به حجم انبوه داده‌ها (سرباره‌ها) در پنج محوطه ذوب فلز، از هر محوطه با روش نمونه‌گیری تصادفی ساده، یک نمونه انتخاب شد و از کل محوطه‌ها تعداد پنج نمونه انتخاب و به آزمایشگاه ارسال شد. سعی شد تا نمونه‌های متفاوت برای بررسی انتخاب گردند. در ابتدا نمونه‌ها عکس‌برداری و برای آنالیز XRF ارسال شدند. در آزمایشگاه XRF آزمایشگاه حسگر مواد صبا، نمونه‌ها بعد از آن که خرد و پودر شدند با دستگاه XRF مدل فیلیپس pw1404 تحت طیف‌سنجی قرار گرفتند. سرباره‌های مطالعه‌شده متعلق به بخش‌های زهان، شاسکوه و دهستان‌های افین، بهناباد و شاسکوه شهرستان زیرکوه بودند. ظاهر این سرباره‌ها در نگاه اول بیانگر به کارگیری دو نوع مختلف فناوری فلزکاری در ساخت آن‌هاست که شامل فناوری فراوری مس و آهن می‌شود.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر اصلی سرباره‌های مطالعه‌شده (برحسب درصد وزنی)

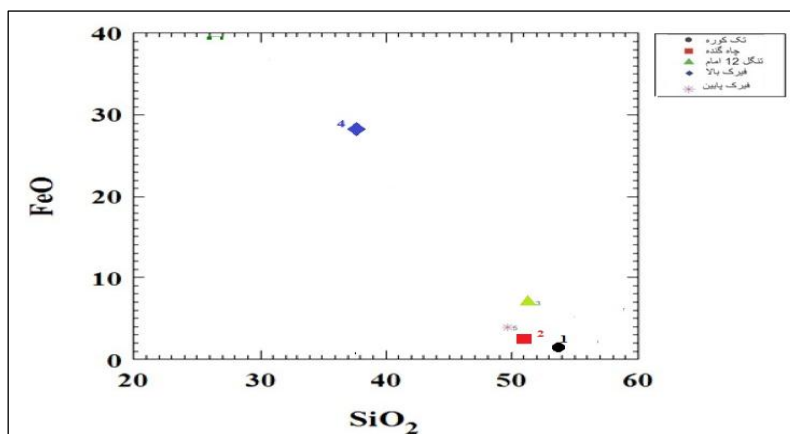
sample	Name	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	H ₂ O	Sum
1	تک کوره	53.85	0.362	6.348	1.560	6.665	2.423	21.967	0.259	2.393	0.022	0.9	96.754
2	چاه کنده	51.05	0.526	10.275	2.476	8.194	2.552	15.236	0.317	6.791	0.022	0.0	97.439
3	تنگل ۱۲ امام	51.91	0.0512	8.778	7.551	4.869	2.882	12.941	0.272	6.35	0.038	2.1	97.742
4	فیرک بالا	37.86	0.272	5.554	28.530	0.307	2.136	20.084	0.400	0.365	0.098	0.0	95.613
5	فیرک پایین	49.86	0.0273	4.006	8.155	4.928	2.465	20.535	0.522	4.945	0.090	2.62	98.153

جدول ۲- نتایج حاصل از تجزیه شیمیایی عناصر جزئی سرباره‌های مطالعه‌شده (برحسب ppm)

sample	Name	S	Ba	Zn	Mo	As	Cu	Pb	CuO	ZnO	Co	Zr	Ni
1	تک کوره	880	572	28	26	0	168	117	0	0	10	424	18
2	چاه کنده	314	790	17	24	6	237	117	0	0	19	374	10
3	تنگل ۱۲ امام	236	1326	23	27	0	13	121	0	0	23	305	22
4	فیرک بالا	0	41	0	47.00	0.00	0.00	114.00	2.01	1.57	104.0	73.0	47
5	فیرک پایین	762	1246	13	26.00	1.00	136.0	117.00	0	0	37.0	337.	19

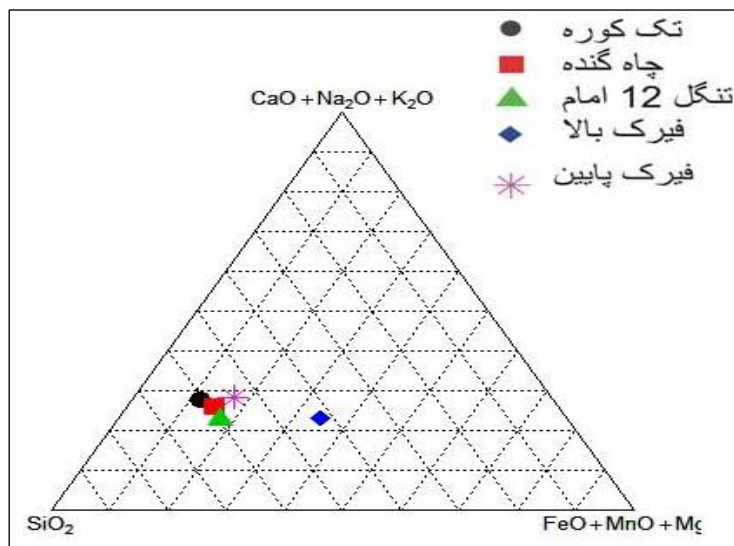
سنگ اولیه را تا حدی بیان کند به طوری که سنگ اولیه عمدتاً از فلدسپات‌ها به خصوص آلکالی فلدسپات‌ها تشکیل شده است. این افزایش تا حدی در نمونه تنگل ۱۲ امام نیز مشاهده می‌شود ولی تفاوت آن با نمونه‌های چاه کنده در آن است که آنالیز نمونه مربوط به تنگل ۱۲ امام افزایش میزان اکسید آهن نشان می‌دهد.

نمونه‌های تک کوره و چاه کنده مقدار SiO₂ بیشتری دارند، در عین حال میزان اکسید آهن آن‌ها کمتر است این خود نشان‌دهنده آن است که سنگ اولیه این نمونه‌ها نسبت به سایر نمونه‌ها ماهیت اسیدی‌تر داشته است (گروه سنگ‌های حد واسط در نمودار اشتريکایزن). همان‌طور که در جدول یک مشاهده می‌شود نمونه چاه کنده مقادیر اکسید آلومینیم، اکسید پتاسیم و اکسید سدیم بیشتری دارد. این افزایش در اکسیدهای مذکور می‌تواند ماهیت

شکل ۱۰- نمودار مقادیر SiO₂ و FeO در سرباره‌های روستاهای باستانی مطالعه شده

منشأ متفاوتی داشته است در حالی که سایر نمونه‌ها تا حدی مشابه یکدیگر هستند.

در شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که نمونه مربوط به روستای فیرک بالا از سایر نمونه‌ها کاملاً جداسافت و ماهیت کاملاً متفاوتی دارد (اکسید آهن بیشتر سیلیس کمتر) و احتمالاً



شکل ۱۱- نمودار سه‌تایی از اکسیدهای SiO_2 و $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ، $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{MnO}$

- شناسایی نوع سنگ‌های مادر حاوی کانه فلزی
- تعیین ترکیب سرباره‌ها
- تعیین ماده معدنی استحصال شده
- تعیین درجه حرارت ذوب سرباره
نمونه‌های مورد نظر در پژوهشکده حفاظت و مرمت آثار تاریخی فرهنگی تهران مطالعه پتروگرافی شدند ابتدا مقطع نازک - صیقلی تهیه گردید و با میکروسکوپ پلاریزان مدل James Swift مطالعه شد. بزرگ‌نمایی به کار رفته در این مطالعه 4X و 10X و 40X است.
با توجه به مطالعه میکروسکوپی نمونه‌های سرباره نتایج زیر به دست آمد:

در تمامی نمونه‌های مطالعه‌شده کانه‌ی استحصال مس است که به احتمال زیاد استحصال مس به روش احیا بوده و با تشکیل فاز سولفیدی (پیریت) در نمونه‌ها رخ داده است. دمای این فرایند (روش احیا) بین ۷۵۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

همان‌طور که در شکل ۱۱ به عنوان نمونه مشاهده می‌شود در سرباره‌ها کانی اصلی تشکیل شده، پیروکسن است. این کانی دو فاز متفاوت را نشان می‌دهد. فاز اول مربوط به پیروکسن‌های دم چلچله‌ای (دم جارویی) است که در مراحل اولیه ذوب تشکیل شده است. بلورهای آن کاملاً

در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود که به استثنای نمونه ۴ (سرباره فیرک بالا) سایر نمونه‌ها اکسید سیلیسیوم بالایی داشتند و مقدار $\text{FeO}+\text{MgO}+\text{MnO}$ و $\text{CaO}+\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ آن‌ها تا حدودی مشابه است این خود می‌تواند دو دلیل داشته باشد: (۱) کانی‌های مافیک تشکیل شده در نمونه‌ها، عمدتاً ترکیبی از اکسیدهای کلسیم و آهن دارند (مانند انواع پیروکسن‌های کلسیم‌دار) و احتمالاً الیوین در فازهای این نمونه‌ها تشکیل نشده است. در سرباره‌های غنی از CaO و MgO ، SiO_2 پیروکسن‌هایی با آهن و کلسیم بالا نظیر هیپرستن و هیدنبرژیت تشکیل می‌شوند.

(۲) دلیل دوم می‌تواند به خاطر استفاده از کمک ذوب‌های حاوی اکسیدهای پتاسیم، سدیم و کمی کلسیم باشد که می‌تواند موجب برهم خوردن تعادل در نمودارهای سه‌تایی و تفسیر اشتباه این نمودارها شود.

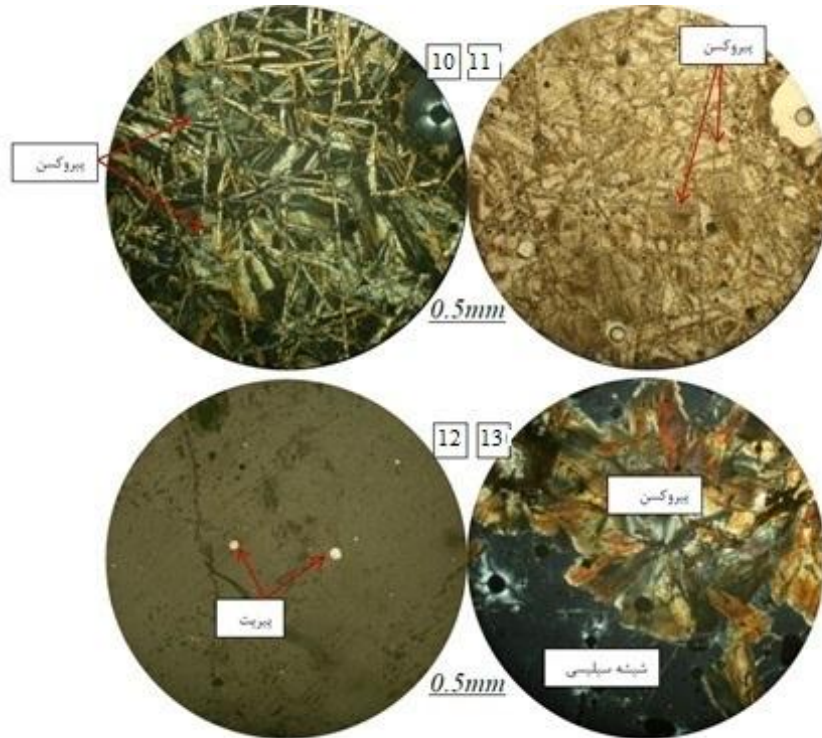
قابل ذکر است که مقدار اکسید کلسیم در اکثر نمونه‌ها از حد معمول بیشتر است که این خود می‌تواند مبین استفاده از کمک ذوب در ریخته‌گری قطعات مربوط به سرباره‌ها باشد.

مطالعات پتروگرافی سرباره‌ها

آزمایش پتروگرافی با اهداف زیر انجام شد:

فاز شیشه‌ای قرار دارد که زمینه اصلی سرباره را تشکیل داده است. تشکیل فاز شیشه‌ای به دلیل سرد شدگی سریع نمونه است.

رشد یافته هستند و فاز دوم مربوط به پیروکسن‌های تیغه-ای هستند که به صورت سوزنی و کشیده‌اند و در اطراف پیروکسن‌های دم چلچله‌ای تشکیل شده و آن را احاطه کرده‌است. در حد فاصل کانی پیروکسن و دیگر کانی‌ها،



شکل ۱۲- نمونه ۱۰) شکل میکروسکوپی، نور XPL، بزرگ‌نمایی 4X. تمام نمونه از کانی پیروکسن به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای تشکیل شده است، هم‌چنین نسل دوم پیروکسن که به فرم تیغه‌ای است، در کنار پیروکسن‌های نسل اول دیده می‌شود. (نمونه ۱۱) شکل میکروسکوپی، نور PPL، بزرگ‌نمایی 4X. در نور پلاریزه است. در این شکل دو نسل پیروکسن کاملاً مشخص است. (نمونه ۱۲) شکل میکروسکوپی، نور انعکاسی، بزرگ‌نمایی 4X، بقایای کانی پیریت (سولفید آهن) که به صورت قطره‌های ریز در زمینه دیده می‌شود. (نمونه ۱۳) شکل میکروسکوپی، نور انعکاسی، بزرگ‌نمایی 4X، در این نمونه کانی پیروکسن به فرم شعاعی و پر مانند دیده می‌شود.

به جز یک مورد (محوطه‌ی تنگل دوازده امام) بقایای معماری یافت نشده است و احتمال می‌رود این بقایای معماری مربوط به محل سکونت کارکنان کوره باشد. در واقع این مناطق نشان‌دهنده آمادگی فرهنگی انسان و شرایط مساعد محیط از جهت دارا بودن سنگ‌های معدنی مطلوب و منابع سوخت مناسب و فراوان هستند. این بررسی به عنوان یک مطالعه مقدماتی روی شواهد و بقایای فلزکاری یافت شده در محوطه‌های شهرستان زیرکوه است و می‌تواند تصویری کلی از فلزکاری و ذوب و استحصال فلز در این منطقه را ارائه دهد؛ لذا شناخت کامل این فرآیند، نیاز به بررسی‌های باستان‌شناسی، کانی‌شناسی و فلزکاری

نتیجه‌گیری

ایران پیشینه‌ی کهنی در خصوص کشف و استفاده از فلزات دارد. در این میان منطقه‌ی خراسان جنوبی نیز به لحاظ داشتن معادن و محوطه‌های ذوب فلز کهن اهمیت ویژه‌ای- در خصوص این مطالعات- دارد که تا به امروز کمتر بدان توجه شده است. مراکزی که در مقاله‌ی حاضر معرفی شدند، نمونه‌ای از کارگاه‌های ذوب فلز خراسان جنوبی در شهرستان زیرکوه بود. با توجه به پوشش گیاهی یافت شده در این محوطه‌ها می‌توان گفت کارکنان کوره از همین گیاهان برای تأمین سوخت کوره استفاده می‌کردند. این محوطه‌ها به شدت تخریب شده‌اند و در تمامی آن‌ها

بیانگر این است که اکسیژن‌رسانی به کوره‌ها و عملیات ذوب به‌خوبی صورت گرفته است. در تمامی نمونه‌های مطالعه‌شده کانه‌ی استحصال مس است که به احتمال زیاد استحصال مس به روش احیا بوده و با تشکیل فاز سولفیدی (پیریت) در نمونه‌ها رخ داده است. دمای این فرایند (روش احیا) بین ۷۵۰-۹۵۰ درجه سانتی‌گراد است.

باستانی کامل‌تر و پیشرفته‌تری روی شواهد شناسایی شده در این منطقه دارد. تجزیه شیمیایی پنج نمونه از سرباره‌های محوطه‌های مطالعه شده به روش XRF، نشان می‌دهد که اکسیدهای سیلیسیوم، آلومینیوم، آهن و کلسیم از فراوان‌ترین عناصر هستند. وجود مگنتیت (اکسید آهن) در سرباره‌ها نشان می‌دهد فوگاسیته (فشار) اکسیژن (High FO2) در حین عملیات ذوب بالا بوده است و این مطلب

منابع

۱. اکبرزاده، داریوش، ۱۳۹۱، آثار زرین و سیمین ایران زمین، نشر پایزنه، تهران.
۲. بیگی هرچگانی، طیبه، ۱۳۹۳، بررسی باستان‌شناسی محوطه‌های ذوب فلز بخش شوسف نهبندان از منظر فلزکاری و معدن-کاوی کهن با تأکید بر روش XRF و پتروگرافی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، گروه باستان‌شناسی، دانشگاه بیرجند، استاد راهنما: دکتر حسن هاشمی زرج‌آباد، صفحه ۱۸۴.
۳. بیگی هرچگانی، طیبه، هاشمی زرج‌آباد، حسن، قربانی، حمیدرضا، بارانی، حسین، ۱۳۹۴، پژوهش‌های آرکئومتالورژی و معدن‌کاری کهن در خراسان جنوبی (با تکیه بر بررسی‌های باستان‌شناسی و آزمایش‌های پتروگرافی)، دومین همایش ملی باستان‌شناسی ایران، دانشگاه بیرجند.
۴. مرتضوی، محمد ۱۳۹۳، ردیابی فناوری ساخت در ریزساختارهای آثار فلزی تاریخی، برگزیده مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی.
۵. هاشمی زرج‌آباد، حسن، تقوی، عابد، ۱۳۹۱، پژوهش‌های باستان‌شناسی معادن کهن در خراسان جنوبی مطالعه موردی نویافته‌های مراکز کهن ذوب فلز شوسف نهبندان، مطالعات فرهنگی خراسان، (۲۵): ۱۴۵ - ۱۷۰.
6. Brouwer, Peter, 2010, Theory of XRF, PAN alytical B.V., Netherlands.
7. Hashemi zarj abad, Hasan, Zareie, Ali, Beige Harchegani, Taiebe, Farjami, Mohammad, 2015, Archaeological Investigation of Metal Smelting in Eastern Iran Case Study: Mesgaran Area, One of the Most Ancient Metal Smelting Plants in South Khorasan, International Journal of Review in Life Sciences 5(8):1092-1104.
8. Linduff, M., Katheryn, Mei, Jianjun, 2008, Metallurgy in Ancient Eastern Asia: How is it studied? Where is the field headed? Modeling early metallurgy: old and new world perspectives SAA: Vancouver.
9. Maldonado, E., Blanca, Rehren, Thilo, R. Howell, Paul, 2005, Archaeological Copper Smelting at Itziparätzico, Michoacan, Mexico, Materials Research Society.
10. Orfanou, Vana, Rehren, Thilo, 2014, a (not so) dangerous method: pXRF vs. EPMA-WDS analyses of copper-based artifacts, Archaeological and Anthropological sciences.
11. Oudbashi, O., Emami, M., Ahmadi, H., Davami, P., 2014, Ancient metalworking and copper extraction in haft tappeh site in Khozestan, Second millennium BC. Journal of Metallurgy and Material/Engineering, 25th year, (2): 99-112.
12. Radivojevic, Miljana, Rehren, Thilo, Pernicka, Ernst, Sljivar, Dusan, Brauns, Michael, Bori, Dusan, 2010, on the origins of extractive metallurgy: new evidence from Europe, Journal of Archaeological Science, (37): 2775-2787.
13. Rehren, Thilo, 2013, Metallurgy, Greece and Rome, The encyclopedia of ancient history, Blackwell Publishing Ltd, 4466-4469.
14. Thornton, Christopher P., Rehren, Thilo, 2007, Report on the first Iranian prehistoric slag workshop. Persian studies journal, (45): 315-318.
15. Valkovic, V., 1983, Sample preparation techniques in trace element analysis by X-Ray emission spectroscopy, IAEA-TECDOC-300, International Atomic Energy Agency, Vienna.