



برگزیده مقالات اولین و دومین همایش ملی

کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

به کوشش: مهدی رازانی و بهرام آجورلو

۱۳۹۱-۱۳۹۲

برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی
کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و
مرمت میراث فرهنگی

دانشگاه هنر اسلامی تبریز
(۲۵ و ۲۶ اردیبهشت ۱۳۹۲-۱۳۹۱)

به کوشش
مهدی رازانی و بهرام آجورلو



دانشگاه هنر اسلامی تبریز

۱۳۹۳

سرشناسه	: همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (نخستین: ۱۳۹۱: تبریز)
عنوان و نام پدیدآور	: برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی.../ به کوشش مهدی رازانی، بهرام آجورلو.
مشخصات نشر	: تبریز: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، ۱۳۹۳.
مشخصات ظاهری	: ۴۱۵ ص: مصور (رنگی)، جدول، نمودار: ۲۲×۲۹ س.م.
شابک	: 978-600-93946-8-5
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
موضوع	: باستان‌سنجی -- ایران -- کنگره‌ها
موضوع	: آثار فرهنگی -- ایران -- نگهداری و مرمت -- کنگره‌ها
شناسه افزوده	: آجورلو، بهرام، ۱۳۵۴ - گردآورنده
شناسه افزوده	: رازانی، مهدی، ۱۳۶۳ - گردآورنده
شناسه افزوده	: همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی (دومین: ۱۳۹۲: تبریز)
رده بندی کنگره	: ۸۱۳۹۳۵/۷۵/۷CC
رده بندی دیویی	: ۹۳۰/۱۰۲۸
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۷۵۶۵۵۲



برگزیده‌ی مقالات اولین و دومین همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی
در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
۱۳۹۱-۱۳۹۲

مهدی رازانی و بهرام آجورلو (به ویرایش)

ناشر: دانشگاه هنر اسلامی تبریز، نشر الکترونیک
نوبت چاپ اول: ۱۳۹۳
تعداد صفحه و قطع: - وزیری

امور فنی و نظارت بر آماده سازی: مؤسسه فرهنگی میراث مهر آفرین
(با همکاری: سحر احمد خان بیگی، نگار کاظمی پور و سمیرا جعفری)

تبریز، خیابان آزادی، میدان حکیم نظامی، صندوق پستی، ۴۵۶۷-۵۱۳۸
کد پستی: ۵۱۶۴۷۳۶۹۳۱؛ تلفن: ۰۴۱)۳۵۴۱۹۹۷۰
research@tabriziau.ac.ir

فهرست مندرجات

پیشگفتار

بیانیه‌ی تبریز

بخش اول: برگزیده‌ی مقالات باستان‌سنجی

- ۱-۱۶ نشر القائی اشعه‌ی ایکس القائی پروتن (PIXE)
روشی غیرتخریبی برای تجزیه و تحلیل مواد در باستان‌سنجی
مسعود باقرزاده کثیری
- ۱۷-۳۵ منشاء یابی اُپسیدین‌های یافته‌شده از کاوش تپه بوینو خدا آفرین آذربایجان
به‌روش PIXE
سمیه نوری، کمال‌الدین نیکنامی، بهرام آجورلو، محمد علیزاده سولا
- ۳۷-۵۷ فرآیند گذار از عصر مفرغ به عصر آهن بر اساس مطالعات آزمایشگاهی
سفال‌های تپه سگزآباد دشت قزوین
حسن طلایی، احمد علی یاری
- ۵۹-۸۷ تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) در بررسی‌های
آرکئومتالورژی معادن باستانی محدوده‌ی جیان و فریادان در استان فارس
سید محمد امین امامی، بامشاد یغمایی
- ۸۹-۱۰۵ مطالعات اولیه زمین‌باستان‌شناسی بر روی مواد و مصالح خاکی
(موضوع موردی: بررسی مواد و مصالح به کار رفته در کهن‌دژ و ارگ تاریخی توس)
معین اسلامی
- ۱۰۷-۱۳۲ جعل و تقلب در آثار باستانی و هنرهای تجسمی
(مفاهیم، گونه‌شناسی، سرنوشت قانونی و روش‌های بررسی)
مهدی رازانی، بهناز نصیرزاده
- ۱۳۳-۱۴۹ گاه‌شناسی درختی و اصول آن در مطالعه‌ی آثار تاریخی
محسن محمدی آچالویی، محمد معین دلداز

بخش دوم برگزیده‌ی مقالات حفاظت و مرمت میراث فرهنگی

- ۱۶۴-۱۵۱ مروری بر کاربرد روش‌های الکتروشیمیایی در حفاظت و مرمت آثار تاریخی فلزی
حمیدرضا بخشنده فرد
- ۱۹۸-۱۶۵ مروری بر روش‌های آنالیز بست در نقاشی
امیرحسین کریمی، غلامرضا وطنخواه
- ۲۲۹-۲۰۹ ردیابی فناوری ساخت در ریزساختارهای آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی
- ۲۴۸-۲۳۱ بررسی و امکان‌سنجی استفاده از عسل میمند فارس به‌عنوان بازدارنده‌ی طبیعی خوردگی در حفاظت اشیاء برنزی تاریخی
وحید پورزرقان
- ۲۶۷-۲۴۹ لزوم به کارگیری مطالعات مکانیسم تخریب در معماری صخره‌کند روستای کندوان
مهدی رازانی، سیدمحمد امین امامی، علیرضا باغبانان، خوزه دلگادو رودریگوئز
- ۲۸۴-۲۶۹ ارزیابی روش‌های استحکام‌بخشی جهت بهبود مشخصات مقاومتی سنگ‌های آهکی لوماشل
احسان محمدی، علیرضا باغبانان، فرشاد رضانی‌فر، حمید هاشم‌الحسینی، مهدی رازانی
- ۳۰۷-۲۸۵ نقدی بر روش‌های حفاظت و مرمت تزئینات در مسجد مظفریه تبریز
سعید مهریار، مهدی رازانی
- ۳۳۳-۳۰۹ مطالعه و بررسی فنی لایه‌های دیوارنگاره‌ی سقف گنبد بقعه‌ی سیدرکن الدین یزد
یاسر حمزوی، رسول وطن‌دوست
- ۳۵۹-۳۳۵ مطالعات فن و آسیب‌شناسی یک نمونه تاپستری از مجموعه‌ی تاپستری‌های کاخ موزه‌ی نیاوران
مینا ناظر، محمد مرتضایی
- ۳۷۶-۳۶۱ مروری بر فنون و روش‌های طلاکاری آثار فلزی تاریخی
محمد مرتضوی، محمدعلی گل‌عذار، احمد صالحی کاخکی

تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) در بررسی‌های آرکئومتالورژی بر معادن باستانی محدوده جیان و فریادان در استان فارس

دکتر سید محمد امین امامی^{۱*}، بامشاد یغمایی^۲

۱. دانشیار دانشگاه هنر اصفهان

۲. کارشناس ارشد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی
(مکاتبات: emami@chemie.uni-siegen.de)

چکیده

در این نوشتار به نتایج بررسی‌های جدیدی که در آن از توانمندی‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی^۱ و داده‌های سنجش از دور^۲ - به عنوان ابزاری کمک کننده - جهت اکتشاف معادن باستانی و پتانسیل‌های معدنکاری باستانی در حوزه جنوبی ایران، ناحیه‌ی فارس استفاده شده است، پرداخته می‌شود. بر این اساس بیشتر توجه معطوف به نهشته‌های سولفیدی مس ناحیه جیان با پاراژنز Cu - Au - As و آهن در ناحیه فریادان با پاراژنز Fe - Mn می‌گردد. در این راستا از تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک مکانی^۳ بالا به منظور کاوش بصری پدیده‌ها، از مدل رقومی ارتفاع^۴ (DEM) جهت تحلیل و تفسیر ریخت‌شناسی ساختارهای سطحی و پستی و بلندی زمین، GIS به عنوان یک سامانه‌ی اطلاعاتی مکان مبنای به عنوان ابزاری برای ذخیره‌سازی، ویرایش، تحلیل اطلاعات و ترسیم نقشه‌ها و همچنین از دیگر نرم‌افزارهایی همانند ER- و ArcGIS 9.2 DAS 8.7 استفاده شده است.

معدن مس جیان و معدن آهن فریادان در ۱۲۰ کیلومتری شمال تخت جمشید و جلگه مرودشت قرار گرفته‌اند. محل‌های قرارگیری این معادن و همچنین پراکندگی سرباره‌های ذوب موجود، وجود یک ارتباط صنعتی بین نواحی معدنی و اماکن تاریخی مهم در این ناحیه از دوره هخامنشی (۳۳۰-۵۵۰ ق.م.) را نشان می‌دهد. فراوانی آثار فلزی به سبک‌ها، اشکال و کاربری‌های متفاوت در تخت جمشید، پاسارگاد و نواحی دیگر در استان فارس دلیلی بر استفاده از فلزات و آشنایی با تکنولوژی ذوب آنان بوده است. مطالعه بافت میکروسکوپی سرباره‌ها و خصوصیات شیمیایی

آنان همچنین تکنیک حفر چاه‌ها و تونل‌های استخراجی توجه بر آن دارد که این نواحی در یک دوره طولانی و مشخصی از زمان، منطقه‌ای استراتژیک و با گستردگی زیاد از لحاظ صنعتی بوده است. این مقاله برگردان تکمیل شده مقاله زیر است. در این مقاله خصوصیات سرباره‌های مکشوفه مورد بحث قرار نگرفته بود که در این نوشتار به رشته تحریر در آمده است.

کلید واژه: معدن‌کاری باستانی، GIS، ژئوآرکئولوژی، آرکئومتالورژی، هخامنشی، فارس، ایران

۱- مقدمه

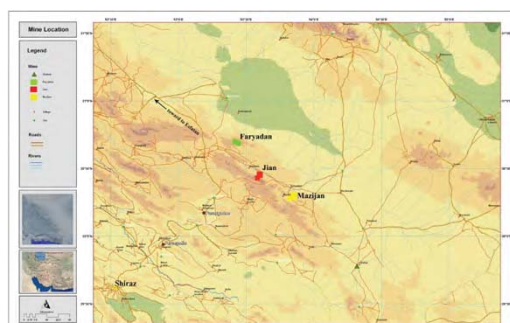
از زمان‌های بسیار طولانی تمدن‌های با سابقه کهن همچون چین، ایران، بین‌النهرین، مصر، یونان و آمریکای جنوبی، نه تنها فقط به واسطه اثرات و شاهکارهای چشمگیر و بدیع، بلکه به دلیل تکنیک‌های به کار رفته توسط این اقوام جهت استفاده از مواد خام و یا چگونگی استفاده و کنترل طبیعت اطراف توجه متخصصین علوم طبیعی و باستان‌شناسان را به خود جلب کرده است. مکان‌هایی از قبیل قصرها، معابد، پرستشگاه‌ها و معماری‌های مرتبط با سنت دفن که جهت انجام سنت‌ها، آئین‌ها و مراسم گوناگون شکل گرفته‌اند، همگی نشان پیشرفت دانش مهندسی و تکنولوژی پیشرفته به کار برده شده در دوران قدیم است. استفاده کردن از کانی‌ها و مواد خام اولین قدم در راستای پیشرفت تکنولوژی و کشف تکنیک‌های جدید بود.

وضعیت زمین‌شناسی و زمین ریخت‌شناسی^۶ موجود بر روی زمین و ارتباط تأثیرات شاخص‌های زمین‌شناسی بر روی مناطق مورد مطالعه و محیط پیرامون مناطق استقرار، صنعتی و معدنی موضوع علم ژئوآرکئولوژی است. در رابطه با مطالعه بر روی تاریخ تکنولوژی قدیم بایستی ذکر شود که علم مورد نیاز جهت شناخت، نوع کاربری و طبقه‌بندی مواد مورد استفاده در صنعت به اندازه‌ی روش‌های استخراج، استحصال و حمل و نقل مواد به منطقه مورد استفاده، مهم بوده است و این مهم همواره ذهن صنعتگر را به خود مشغول می‌ساخته است. اکتشاف مواد خام و معدنی و سپس حفاری و استخراج کانه‌های معدنی و فراوری آنان در دوران پیش از تاریخ حقیقتاً کیفیت بالای یک تمدن در حال پیشرفت را به اثبات می‌رسانده است.

در میان بناهای تاریخی ایران، تخت جمشید و پاسارگاد در دشت مرو دشت، در استان شیراز، گویای هنر پیشرفته و تکنولوژی بالای مهندسین هخامنشی است. این منطقه هم

به دلیل محل پارسه (منطقه اطراف تخت جمشید امروزه) پایتخت سلسله‌ی هخامنشیان و همچنین به دلیل کثرت شواهد و اثرات استخراج و معدنکاری در جلگه مرو دشت مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است. (Calmeyer 1990) با توجه به مطالعات انجام شده، این سوال همچنان باقی است که آیا استحصال مواد در منطقه‌ای شهری صورت گرفته، یا استقرارهای بر پایه فعالیت‌های صنعتی نیز در این ناحیه وجود داشته است.

ذخایر معدنی جیان و فریادان در ۵۵ کیلومتری جنوب ابرکوه در شمالی‌ترین قسمت استان فارس قرار گرفته‌اند (تصویر ۱). این محدوده از لحاظ زمین‌شناسی به کمر بند کوهزایی شهرضا - آباده همبست تعلق دارد. اهمیت زمین‌شناسی این منطقه به دلیل کیفیت بالای ذخایر رسی این ناحیه است که توسط رسوبات از نوع شیل متعلق به دوران دونین و لایه‌های ماسه سنگ پوشیده شده‌اند. (Hooshmandzadeh, & Soheili 1990) اصلی‌ترین پارائزهای این منطقه عبارتند از: کائولینت^۷، ایلیت^۸، کوارتز^۹ و کلریت^{۱۰} است. پارائزهای ثانوی در منطقه شامل آنورتوکلاز^{۱۱}، آلبیت^{۱۲}، گوتیت^{۱۳}، پاراگونیت^{۱۴} و ژپس^{۱۵} است. این زون و محدوده کانی‌سازی وابسته به آن بخشی از زون دگرگونی سنج - سیرجان است. پارائزهای موجود از رخنمون‌های معدنی، سولفیدی و رسی توسط اکتشاف جدید بر اساس مدل‌های اکتشافی و نوع ژنز رخنمون‌های کانی‌های فلزی مربوطه روی زمین معرفی شده است. (Harvey & Murray 1997)



تصویر ۱. نقشه ژئومورفولوژی منطقه به همراه محل قرارگیری منطق معدنی در منطقه مورد مطالعه

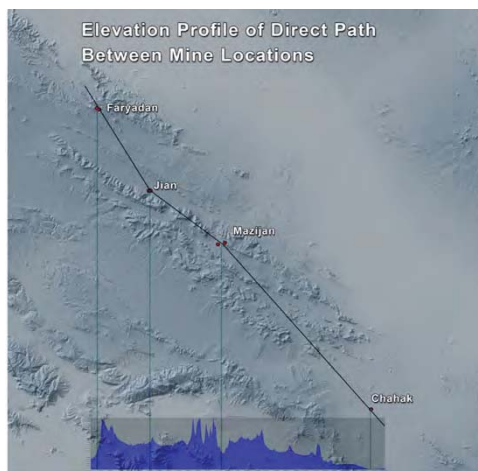
خصوصیات زمین‌شناسی استان فارس همچنین بیانگر این مهم است که ذخایر فلزی متفاوتی با پارائزهای فلزی متفاوت می‌توانند در این ناحیه تشکیل گردند. برای این منظور، چندین ناحیه که امکان وجود رخنمون معدنی وجود داشت، توسط متدهای

(۶۲) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

سنجش از دور مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت. در این راستا علاوه بر استفاده از ابزارهایی مثل GIS و داده‌های سنجش از دور، مطالعات سنگ‌شناسی و پترولوژی نیز لازم بود تا بتوان علاوه بر شناسایی اماکن، روش‌ها و تکنیک‌های مورد استفاده در گذشته را نیز مورد مطالعه قرار داد. مطالعات بر پایه داده‌های آرکئومنتالورژیک بر روی سنگ معدن، تفاله‌ها یا سرباره‌های ذوب و دیگر یافته‌های حین عملیات اکتشافی باستان‌شناسی مثل سفال و بقایای ساختار کوره‌ها می‌توانند اطلاعاتی در مورد منشأیابی ماده خامی که جهت استحصال و ساخت این مواد به کار می‌رفته است، در اختیار بگذارد.

۲- زمین‌شناسی و کانی‌شناسی منطقه مورد مطالعه

همانطور که اشاره شد، روند تشکیلات کوهزایی در منطقه فریادان و جیان اساساً به کمربند کوهزایی شیراز-آبادیه همبست تعلق دارد. این کمربند از تورفتگی‌های گاوخونی در شرق تا تنش‌های ایجاد شده در محدوده یزدخواست در غرب به وسیله‌ی بعضی سیستم‌های گسله‌ای ایجاد می‌گردد (تصویر ۲).



تصویر ۲. نقشه توپوگرافی منطقه مورد برداشت با محل قرارگیری معادن بر اساس ارتفاع نسبی بین مناطق مورد مطالعه و برداشت

ساختمان تشکیلات زمین‌شناسی منطقه بر اساس جنس سنگ‌های منطقه از رسوب‌های مزوئیک و پالوزوئیک ساخته شده است (Hooshmandzadeh & Soheili 1990) کانی‌های سولفیدی در این منطقه در داخل لایه‌های بالایی رسوبات دونین و تشکیلات ماسه‌سنگی تشکیل

شده‌اند. بر این اساس ترکیب لیتولوژیکی سنگ‌ها در لایه‌های بالایی رسوبات دونین عبارتست از؛ سنگ آهک، مارل، (سنگ آهک و خاک رس) و لایه‌های شیلی. توالی سازندهای چینه‌شناسی در این تشکیلات از قدیم به جدید به شرح ذیل است :

۱- یک لایه نسبتاً نازک به رنگ خاکستری تا خاکستری تیره از سنگ آهک رسی، با لایه‌های نازک به رنگ سبز تا خاکستری از شیل‌های دونین. ضخامت کلی این لایه‌ها حدود ۵۰ متر است. Agzogiral و Ammonite از فسیل‌های شاخص منطقه (Bariand et al. 1965).

۲- تشکیلات لایه‌ای سنگ آهک به رنگ خاکستری روشن تا قهوه‌ای با رخنمونی به ضخامت حدود ۲۰ متر.

۳- یک لایه از سنگ آهک رسی به رنگ خاکستری تا تیره با ضخامتی در حدود ۴۰ متر.

۴- سنگ آهک خاکستری با ترکیبات آهنی در قسمت‌های بالایی با ضخامت حدود ۴۰ متر. فسیل‌های پیدا شده در سازند سروک شامل گونه‌های زیر می‌باشند:

Tertularia Spine, Miliolid sp., Agthamina sp., Echinoids sp., Ostra oda sp., Rotalia sp., Valvulammina sp., Clyndropollara sp., Vidalina sp., Nezzazata sp., Pseudolituonella sp., Fawenina sp.

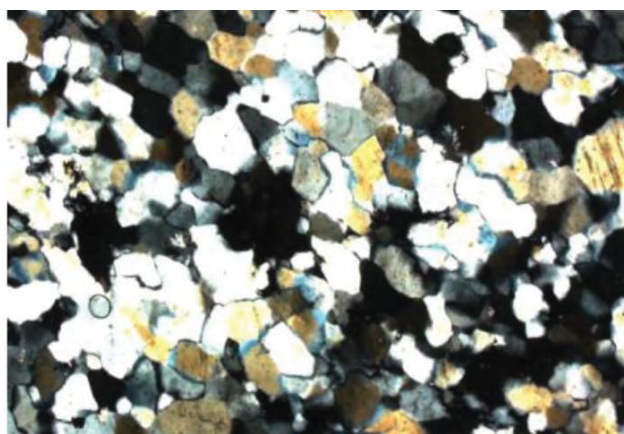
تمامی این فسیل‌ها متعلق به دوره آلبین- سنومانین هستند که ثابت می‌کند سازند سروک در دوره سنومانین ایجاد شده است. در این ناحیه در زیر سازند سروک سازند کژدمی رخنمون دارد (Bariand et al. 1965). تشکیلات زمین‌شناسی تأثیرگذار بر منطقه یک روند دگرگونی - رسوبی داشته که تشکیلات رسوبی از نظر ساختاری درونزاد بوده و از لحاظ ژنتیکی به گروه سنگ‌های رسوبی به وجود آمده ناشی از فرسایش توسط آب‌های جاری تعلق دارند. براساس نمودارهای سنگ‌شناسی و از نقطه نظر شیمیایی این گروه از رسوبات Allochemical نامیده می‌شوند یعنی رسوباتی که با جابه‌جایی دوباره رسوب کرده‌اند. (Okrusch & Matthes 2005) در لایه‌های جوان‌تر ذرات کوچک چسبیده از کوارتز و فلدسپار^{۱۶} مشاهده شده‌اند که رنگ روشن به مقطع عرضی می‌دهند. در لایه‌های قدیمی می‌توان پوشش‌های متشکل از Chert Coating را مشاهده کرد که رنگ سیاه یا قرمز تیره به صخره داده است. وجود بافت Chert نشان می‌دهد که اکسیداسیون شیمیایی بسیار سریعی در این ناحیه اتفاق افتاده است. تغییرات رنگ در نتیجه تغییرات در ترکیب شیمیایی بوده که خود در اثر تغییرات درصد وزنی CaCO_3 (کلسیت) نسبت به CaMg

(۶۴) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

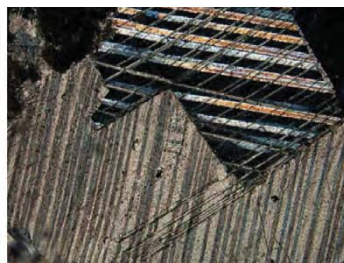
CO_3 (دولومیت) است. تجزیه و تحلیل‌های سنگ‌شناسی حاکی از آن است که کلسیت (سنگ آهک) ایجاد شده در اثر تبلور مجدد در رگه‌هایی که دارای آب‌های اسیدی بودند تشکیل می‌گردد:

براساس تحلیل‌های پترولوژیکی بر روی مقاطع نازک نمونه‌ها، ساختار این سنگ‌ها یک ساختار متخلخل، و ترکیب کانی‌شناسی آن شامل کوارتز، کلسیت و درصد اندکی کربنات منیزیم (مگنیزیت)^{۱۷} است

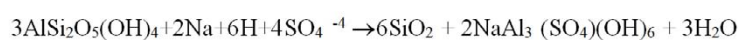
(Mcgreevy et al. 2000). فازهای^{۱۸}پاک یا $\text{CaCO}_3 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{H}_2\text{CO}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$ دیده می‌شوند که بر اساس مواد متصویره کربناته در منطقه جیان و فریادان، این فازهای پاک احتمالاً آهن یا برخی ترکیبات کربناته فلزی هستند. کوارتز بر اساس ساختار خاص شبکه کریستالی یک انهدام موجی را به نمایش گذاشته است (تصویر ۳). کلسیت نیز با ساختار تریگونال و رخ‌های موازی در این نمونه‌ها دیده می‌شود (تصویر ۴). تخلخل در نمونه‌ها و وجود کانی‌های با درجه حرارت پایداری متفاوت بیانگر این است که هوازدگی شیمیایی قوی در این ناحیه اتفاق افتاده است (Davidson et al. 2002). تشکیل آلبیت و ارتوکلاز با یکدیگر و همنشینی آنان با کانی‌های رسی همچنین اشاره دارد به درجه هوازدگی شیمیایی بسیار بالا که در منطقه مشاهده می‌شود. آب‌های زیرزمینی حاوی سولفات و کانی‌های حاوی درصد بالای آلومینیم و سدیم، فرآیند دیاژنز زیر را تکمیل می‌کنند (Davidson et al. 2002).



تصویر ۳. کوارتز با ساختار شاخص خاموشی آندالوز از منطقه کانی‌سازی فریادان. X10-2pol-no filter



تصویر ۴. کلسیت با بلورهای تری‌گونال و رخ مشخص با ضریب شکست مضاعف نور بالا از منطقه کانی‌سازی فریادان .
X10-2pol-no filter



حضور Natroalunit به فعل و انفعالات بین عامل‌های سولفیدی در منطقه‌ی اکسیداسیون کمک می‌کند. آهن در بسیاری موارد به‌صورت ساختار اسپینل و از نوع مگنتیت^{۱۸} آشکار می‌شود که نوعی آهن با درصد اکسیژن بالا به‌حساب می‌آید. آهن همچنین می‌تواند با ساختار گوتیت و به‌صورت کربناته با ساختار سیدریت^{۱۹} بر زمین مشاهده شود. سرباره‌های مکشوفه از ناحیه فریادان دارای مقدار زیادی آهن در بافت خود هستند. این آهن دارای دو منشأ است که بسته به تشکیلات موجود در منطقه یا سنگ آهن رسوبی و یا سنگ آهن دگرگونی است. آهن رسوبی در منطقه آب‌های زیرزمینی اسیدی با پاراژنز مشخص لیمونیت، هماتیت و مگنتیت به‌وجود می‌آید (تصویر ۵ گروه I و تصویر ۶). از دیگر پاراژن‌های آهن در ساختار کربناته آن بر روی سطح زمین با پاراژنز سیدریت - کلسیت (تصویر ۵ گروه II، تصویر ۷) است. آلومینیوم از کانی‌های رسی مهمی مانند ایلیت و کائولینت تأمین می‌گردد. حضور کلریت به عنوان یک کانی مهم عمده در سنگ‌ها و در سرباره‌ها ممکن است اشاره به نسبی بودن مقدار بالای سنگ‌های مافیک و یا سنگ‌هایی با اسیدیته متوسط دارد. این بخش از سازندهای به جا مانده تشکیل‌دهنده متعلق به قسمت دگرگونی منطقه است. به‌طور کلی کانی‌سازی آهن در این مناطق در آلتراسیون‌های متفاوتی انجام گرفته که عبارتند از:

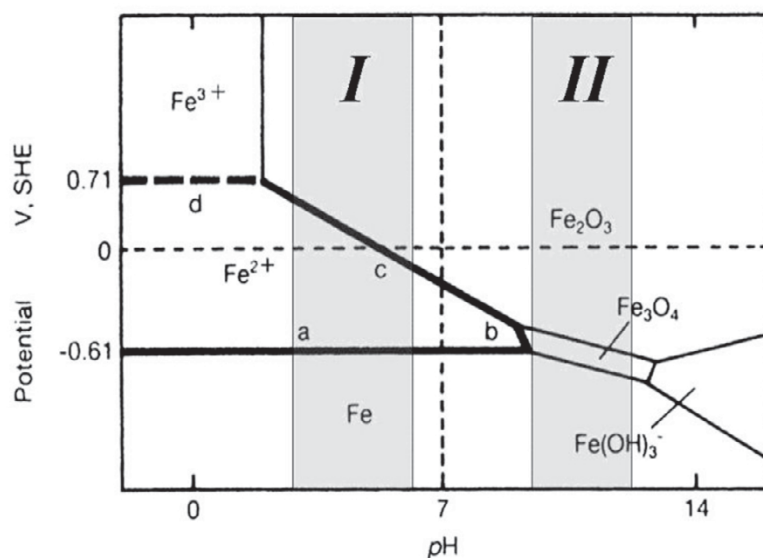
کانی‌سازی تحت تأثیر فعالیت‌های ماگماتیک؛

۱. به‌صورت رگه‌های بسیار نازک در تمامی سنگ‌های بازیک عمیق مانند دیوریت، دیاباز، گابرو و بازالت.

۲. به‌صورت ذخایر معدنی تیتانومگنتیت حاصل از تفریق ماگمای بازیک. در بسیاری موارد همراه با پاراژن‌های کانی‌های دیگر همانند ایلمنیت، اسپینل و الیون.

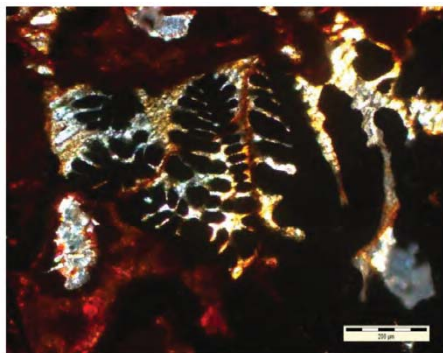
کانی‌سازی پست ماگماتیک؛

۱. به صورت رگه‌های مگنتیت‌دار در ارتباط با تشکیلات ولکانیکی (بدون هماتیت و آپاتیت).
 ۲. رگه‌های مگنتیت در آهک به صورت ذخایر اسکارنی. در حالت عمومی در حال همبستگی و پاراژنز با سیلیکات‌های کلسیم‌دار همانند گارنت، ولاستونیت و هدنبرژیت و برخی سولفیدهای مختلف فلزی (شبه به آنچه در معدن فریادان دیده می‌شود). به طور کلی موارد ۱ و ۲ هر دو در اثر شرایط متامورفیکی به وجود آمده‌اند. شرایط پایداری کانی مگنتیت و پاراژنهای مهم همراه در تصویر ۸ معرفی می‌گردند. در منطقه فریادان ساختارهای کوره مانند دیده نشده و اثرات صرفاً شامل دیواره‌ها و تونل‌های عظیم معدنکاری و پراکنده‌گی سرباره است. زون کانی‌ساز فریادان احتمالاً در سمت شرق خود را به زون کانی‌ساز کان گوهر متصل می‌سازد که این زون نیز از مناطق قدیمی استخراج آهن در منطقه است. شبکه تونل‌های معدنی در ناحیه فریادان متشکل از یک‌سری تونل‌های عمقی در جهات مختلف و در امتداد رگه است. دهنه اصلی معدن دارای مساحتی حدوداً ۱۱۲ متر مربع را شامل می‌شود. این دهانه بعد با شیب تقریبی ۸۰ الی ۹۰ درجه با وضعیت بسیار صعب العبوری به سمت داخل باز شده و سپس در قسمت انتهایی تونل خود را به سه شبکه تونل یا کارگاه استخراجی متصل می‌نماید.

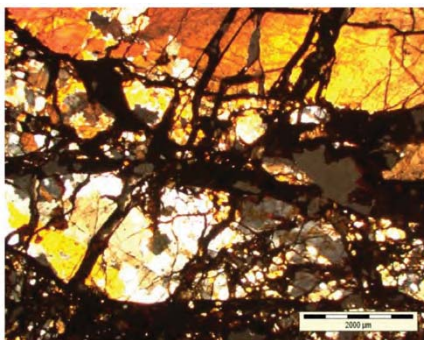


تصویر ۵. دیاگرام تعادلی آهن بر حسب pH بر اساس West, 1985

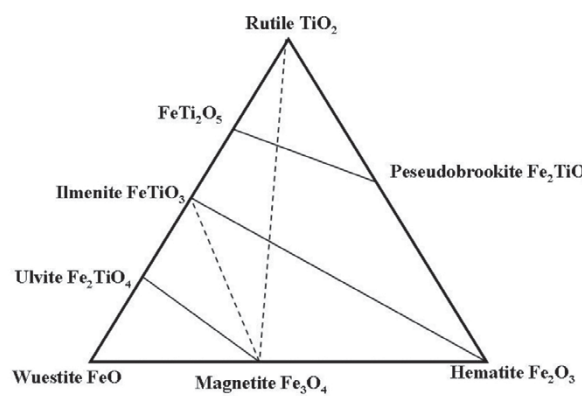
تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) ... (۶۷)



تصویر ۶. پاراژنز مگنتیت - هماتیت - لیمونیت تحت شرایط مافیکی در سنگ‌های اشباع از کوارتز



تصویر ۷. کربنات آهن به عنوان شاخصه هیدروترمال در زمینه کوارتز و چرت

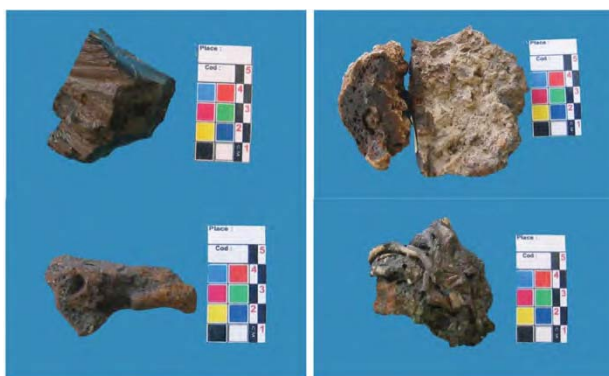


تصویر ۸. پاراژنز آهن در سیستم FeO-Fe₂O₃-TiO₂

بر خلاف معادن ناحیه جیان که به علت سستی سنگ در برگیرنده از دیواره‌های صیقلی برخوردار نبودند، در ناحیه جیان دیواره‌های کارگاه‌های استخراجی همگی صیقلی بوده و در

چند ناحیه اثرات کار شدادی نیز دیده می‌شوند. این اثرات اغلب به‌صورت ضربات پتک‌های احتمالاً سنگی به‌وجود آمده‌اند. نکته دیگر در ساختار اصلی و عمومی تونل‌های معدنی در فریادان وجود قسمت‌هایی حفر شده به‌صورت ساختارهای دو طبقه در داخل تونل‌های معدنی دیده می‌شود، این ساختارها را به دو جهت می‌توان تفسیر کرد. (۱) حفاریات در امتداد رگه که این امر در اکثر نقاط به چشم می‌خورد. (۲) حفاری و استخراج در دو برهه زمانی متفاوت. این بدین معنا است که فعالیت‌های معدنی قطع شده و سپس ادامه داده شده‌اند.

در ناحیه فریادان پراکندگی سرباره‌های ذوب در کنار معدن به چشم نمی‌خورد، بلکه این قطعات در فاصله این سنگ‌ها قریب به ۵۰۰ متر در جهت جنوب شرقی بر روی یک تپه قرار گرفته‌اند (تصویر ۹). اثراتی از ساختارهای کوره مانند بر روی این تپه به چشم نمی‌خورد و تنها پراکندگی خرده سنگ‌ها و سرباره‌ها شاهی بر حضور فعالیت‌های معدنی است. نکته قابل توجه در رابطه با سیستم استخراجی این معدن این است که طرز استخراج ماده معدنی در طبقه اول دلیل بر وجود برخی شباهت‌ها در زمینه استخراج طلا در این معدن می‌نماید. این شباهت‌ها ناشی از طریقه استخراج و استحصال ماده معدنی است که در مقام مقایسه با معادن طلای شدادی بسیار مشابه عمل شده است. در منطقه فریادان اثری از استقرارهای جوامع انسانی دیده نشده است (حتی به‌طور استقرارهای کوچ نشینی). گزارش‌هایی شفاهی نیز در دست است که بیان‌کننده وجود یک منطقه معدنی دیگر در نزدیکی این معدن است که به معدن کان گوهر مشهور است. نمونه‌های جمع‌آوری شده به‌صورت سنگ و سرباره از ناحیه فریادان در زیر آورده شده است سرباره‌ها در این ناحیه از تخلخل بسیار کمی برخوردارند و بشیرتر از نوع سرباره‌های حجیم و با وزن حجمی نسبتاً زیاد هستند.



تصویر ۹. نمونه سرباره‌های ذوب فلز آهن ، مکشوفه از منطقه فریادان

۲- کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور در باستان‌شناسی

در گذشته‌های نه چندان دور بخش اعظمی از داده‌های باستان‌شناسی بر روی نقشه‌ها اشکال و جداولی بودند که به کمک دست، ثبت و ترسیم می‌شدند. مسلماً دقت و کیفیت تجزیه و تحلیل در چنین نقشه‌هایی نمی‌توانست چندان بر اساس تجزیه و تحلیل‌های آماری انجام شود. با کمی نمودن نقشه‌ها در سال‌های ۱۹۶۰، انقلابی در باستان‌شناسی پدید آمد که پدیده‌ها و عوارض را با دقت و وسواس بسیار بیشتری نسبت به قبل بررسی می‌کرد. بنابراین فضا به منزله بومی شناخته شد که آثار فعالیت‌های هر زمان بر آن ترسیم می‌شود. مردمانی که در سرزمین خویش به حالت پایدار با محیط خود می‌زیستند در یک تعادل با محیط اطراف خود بودند و می‌توان نتیجه گرفت که تغییر فرهنگ‌ها نتیجه تغییر در عواملی بود که این تعادل را برهم می‌زد. پس از آن تحولاتی در چگونگی تهیه و ثبت داده‌ها و نیز کشف روابط فضایی داده‌ها پدید آمد که موجب تغییرات اساسی در تفسیرهای باستان‌شناسی شد و موجب شد این آگاهی شد آثاری که از گذشته به جای مانده است حاصل مجموعه‌ای از روابط فضایی است و تحت این عقیده بود که شیوه‌های جدید تحلیل‌های مکانی به وجود آمد. در اواخر دهه هفتاد میلادی، با ازدیاد داده‌های مکانی در پژوهش‌های باستان‌شناسی از یک سو و نیاز به اطلاعات فراگیرتر از سوی دیگر ضرورت انسجام‌بخشی به داده‌هایی که برای منظور خاص تولید می‌گردیدند و کاربردهای متفاوتی داشتند، احساس شد. این موضوع موجب شد تا دو ابزار قدرتمند شامل: سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و داده‌های سنجش از دور به حوزه باستان‌شناسی وارد شود.

۲-۱- سامانه اطلاعات جغرافیایی

سامانه‌ای است که برای دریافت، ذخیره سازی، کنترل، ادغام، پردازش، تحلیل و نمایش داده‌های مکانی به کار می‌رود. این سامانه معمولاً مستلزم یک پایگاه داده کامپیوتری زمین مرجع و یک نرم افزار متناسب با نوع کاربرد است. GIS در یک توصیف کلی سامانه‌ای است که امکانات زیر را تأمین می‌نماید: - ابزار ذخیره سازی، به هنگام سازی، مدیریت و تبدیل یا سازماندهی مجدد داده‌ها

- ابزار تحلیل، شبیه سازی و ترکیب داده‌ها

- ارائه امکان بازیابی مؤثر داده‌ها در فرآیند پرسش‌های پیچیده.

- تجسم و ترسیم پدیده‌های مکانی در قالب جدول، نمودار، نقشه‌ها و عکس و تصویر

اطلاعات حاصل از تحلیل‌های GIS بر روی پراکندگی ساختارهای شناخته شده به‌منظور ایجاد مدل‌های پیشگو کننده و در نتیجه کشف ساختارهای مدفون و ناشناخته باستان‌شناسی که با پیمایش ساده و سطحی قابل شناسایی نیستند، نزدیک به دو دهه است که استفاده می‌شود (Kvamme, 2005). این مدل‌ها می‌تواند بیانگر یک الگوی عمومی و توصیف کمی از یک منطقه باستانی باشند که ما را به درک روابط بین ویژگی‌های جغرافیایی منطقه مورد کاوش و اثرات باستانی رهنمون سازد.

۲-۲- داده‌های سنجش از دور

بررسی یک پدیده، بدون تماس با آن، سنجش از دور و یا دور کاوی نامیده می‌شود. ثبت اطلاعات طیفی و مکانی پدیده‌ها در محدوده‌های بسیار وسیع و حتی قاره‌ای و جهانی، ذخیره سازی اطلاعات در باندهای مجزای تصویری که بسیاری از آنها فراتر از محدوده بصری است، قالب دیجیتالی و سازگار با ابزارهای رایانه‌ای، به هنگام بودن آنها همگی از خصوصیات مهمی هستند که بیش از پیش باستان‌شناسان را به استفاده از این داده‌ها ترغیب می‌کند. تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی گرمایی، الکتریکی و داده‌های مغناطیس‌سنجی، تصاویر رادار و نمونه‌های بسیار دیگر همگی از منابع مرسوم و رایج داده‌های سنجش از دور است. امروزه کاربردهای این داده در باستان‌شناسی، از تحلیل‌های بصری گرفته تا محاسبات پیچیده ریاضی و آماری بر کسی پوشیده نیست. در باستان‌شناسی داده‌های سنجش از دور در دو سطح مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرند: سطح اول مربوط به استفاده از داده‌های بزرگ مقیاس مانند تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی و مواردی مانند آن است. سطح دوم مربوط به کاربرد داده‌های کوچک مقیاس و جزئی‌تر مانند داده‌های مغناطیس‌سنجی در یک محوطه و یا داده‌های لیزر اسکن از یک کتیبه یا بنا می‌شود. سطح اول بیشتر مربوط به مطالعات بقایای حجیم، وسیع و در عین حال سطحی مانند یک شهر و یا گستره باستانی است، و سطح دوم مربوط به پدیده‌های کوچک و در بسیاری موارد زیر سطحی و محدود می‌شود مانند کشف اشیاء فلزی به‌وسیله‌ی آشکارسازهای فلزی. در هر دو صورت کاربردهای این داده‌ها را به‌طور خلاصه می‌توان چنین عنوان کرد:

- تفسیر و تحلیل بصری از اطلاعات

- تحلیل‌های پیچیده رایانه‌ای در طبقه بندی و مطالعات طیفی داده‌ها

- استفاده در مدل‌های مکانی

- تجسم و ترسیم پدیده‌ها

شایان ذکر است کاربرد داده‌های سنجش از دور خصوصاً تصاویر ماهواره‌ای در کنار استفاده از توانمندی‌های GIS و استفاده از ابزارهای مانند GPS ۲۰ در کنار کاوش‌های میدانی دقیق‌ترین، سریع‌ترین و در عین حال کم هزینه‌ترین روش بررسی در مطالعات باستان‌شناسی محسوب می‌شود.

۳- کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و داده‌های سنجش از دور در منطقه فریادان و جیان

در این پژوهش دو قابلیت اصلی GIS مورد استفاده قرار گرفته است:

۱. ذخیره، ویرایش و طبقه‌بندی داده‌ها و ۲. تجسم و ترسیم کردن اطلاعات.

اطلاعات جمع‌آوری شده در این بررسی به سه دسته اطلاعات محیطی، طیفی و باستان‌شناسی تقسیم می‌شود. اطلاعات محیطی شامل کلیه لایه‌هایی است که در یک بستر جغرافیایی موجود هستند و شامل لایه‌های توپوگرافی، راه‌ها، رودخانه‌ها و منابع آب، محل‌های مسکونی و همچنین مدل رقومی ارتفاع در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و لایه‌های اقلیم، خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، قابلیت اراضی، دما، بارش، تبخیر و تعرق، کاربری اراضی، قابلیت اراضی و زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ است.

تصاویر ماهواره‌ای هم اطلاعات طیفی این بررسی را تشکیل می‌دهند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای بر گرفته از دو منبع متفاوت استفاده شد: (۱) تصاویر سنجنده ETM+ از ماهواره لندست ۴۱ ۷ برداشت شده در سال ۲۰۰۲ میلادی و (۲) تصاویر کویک‌برد ۲۲ مربوط به سال ۲۰۰۶ میلادی. که هر کدام از آنها کاربرد خاص خود را دارند. تصاویر لندست به دلیل قیمت ارزان‌تر و همچنین قابلیت دسترسی بیشتر امکان استفاده در محدوده‌های بزرگ جغرافیایی را دارند. این تصاویر همچنین به دلیل دارا بودن باندهایی تصویری بیشتر از گروه دوم برای مطالعات طیفی مناسب هستند. در این پژوهش از این تصاویر به عنوان ابزاری مؤثر در بررسی موقعیت نسبی مناطق مورد بررسی نسبت به یکدیگر، بررسی الگوی کلی زمین ریخت‌شناسی حوزه کاوش و همچنین پوشاننده DEM به منظور بررسی سه بعدی منطقه در رایانه استفاده گردید. در ضمن این تصاویر در پژوهش‌های بعدی در این منطقه در تحلیل طیفی و استفاده در مدل پیشگوکننده کاربردهای بیشتری

خواهند داشت.

تصاویر کوچک‌برد بسیار گران‌تر هستند و دسترسی به آنها نیز دشوارتر است. اما وضوح مکانی بسیار خوبی دارند (کمتر از یک متر) و به همین دلیل از آنها در محدوده‌های کوچک‌تر در تفسیرهای بصری از عوارض سطحی و تحلیل توپوگرافی معادن، دهانه تونل‌ها و کانال‌های باستانی، یافتن ناهمگونی‌های سطحی مانند سازه‌ها، تأسیسات صنعتی و یا محل انباشتگی سرباره‌های ذوب فلزی و همچنین پوشاننده DEM در برخی محدوده‌ها استفاده شد. در نهایت اطلاعات باستان‌شناسی نیز شامل موقعیت‌های ثبت شده از معادن بررسی شده (شفت معدن، گذرگاه‌ها و ...) به وسیله GPS است. ابزار مورد استفاده در این بخش GPS GARMIN مدل GPSMAP76S است. نرم افزارهای مورد استفاده در این پژوهش شامل موارد زیر هستند:

- نرم افزارهای ER Mapper 6.2 و Idrisi 3.2 و ERDAS 8.7 برای پردازش‌های شبکه‌ای^{۲۳}، ساخت DEM و تصحیح تصاویر ماهواره‌ای.
- نرم افزارهای ArcGIS9.2 و Arc View 3.2a برای ویرایش داده‌های برداری^{۲۴}، ورود داده‌ها از GPS، ساخت پایگاه اطلاعاتی، انجام برخی تحلیل‌ها و تهیه و ترسیم نقشه‌ها.
- نرم افزار AutoCAD map 2000i برای ترسیم برش عرضی از تونل‌ها
- و نرم افزار Microsoft Office EXCEL 2003 برای ویرایش اطلاعات جدولی

۴- پتانسیل‌های معدن‌کاری کهن در ذخایر مناطق فریادان و جیان

اولین وظیفه پس از ایجاد یک شبکه اطلاعاتی تعریف ابعاد آن است. ساده‌ترین روش، ایجاد یک چندضلعی از منطقه است که فضای بزرگ‌تر از مرزهای سایت مورد مطالعه را معین می‌کند (تصویر ۱۰ الف و ب). با کامل شدن این محدوده فایل چندضلعی ترسیم شده به شبکه اطلاعات اولیه وارد شده که شامل یک‌دسته اطلاعات فضایی و همچنین مختصات نقاط تعریف شده خواهد بود. خصوصیات خاص موجود در منطقه مورد مطالعه از جمله اطلاعات ورودی به شبکه داده‌ها است که ارتباط محیط پیرامون را در خود ذخیره کرده‌است. اطلاعات برداری نیز شامل مختصات نقاط تشکیل دهنده چندضلعی و جهت اضلاع چندضلعی محاسبه شده بوده که در شبکه جمع‌آوری گردیده است.

تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) ... (۷۳)



تصویر ۱۰ الف. چندضلعی ترسیم شده از منطقه معدنی فریادان همراه با مناطق ذوب و چاه‌های استخراجی

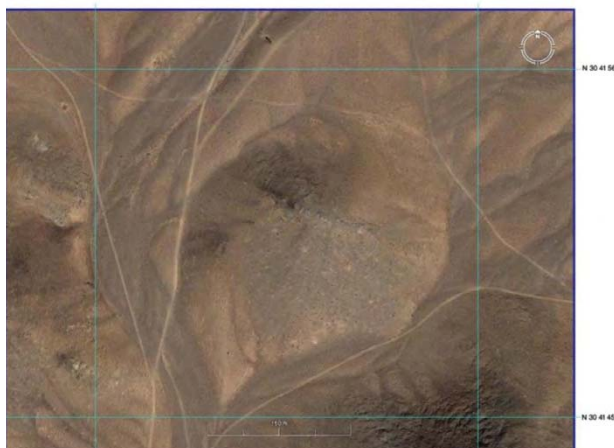


تصویر ۱۰ ب. ترسیم سه بعدی عمود بر چهارضلعی تصویر ۸ الف و مشخص کردن محدوده پراکندگی سرباره‌ها و دهنه‌های معدنی

در ناحیه مدنی فریادان چند ضلعی‌ها بر روی نواحی که دهنه‌های معدنی و سرباره‌ها متمرکز شده اند، ترسیم شده است (تصاویر ۱۱ و ۱۲). از اهداف این روش ترسیم دقیق توپوگرافی مناطق معدنی در حوزه مشخص با رسم چندضلعی است. مزیت دیگر استفاده از شبکه داده‌های جغرافیایی ایجاد یک حوزه مشخص مطالعاتی است. این حوزه اطلاعاتی

(۷۴) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

با توجه به ارزش‌های معتبر جغرافیایی برای ترسیم جدول ویژگی‌های خاص منطقه و وجود احتمالی ساختارهای استقرار در محل ترسیم می‌گردد. اولین قدم برای ایجاد شبکه اطلاعاتی در منطقه معدنی فریادان جمع‌آوری داده‌ها است؛ بنابراین داده‌های زیر در قالب لایه‌های اطلاعاتی ثبت شده است. یکی از مهم‌ترین داده‌ها در پایگاه اطلاعاتی نقاط استقرارهای تاریخی در کنار معادن باستانی هستند که برای فرآیندهای تحلیلی استفاده شده‌اند.



تصویر ۱۱. تونل‌های معدنی موجود بر روی زمین و بقایای یک ساختار استقرار در جنوب شرق چاه‌ها که با برداشت سطحی بر روی زمین مشخص نبود.



تصویر ۱۲. منطقه پراکندگی سرباره‌ها عمود بر چندضلعی مبنای ترسیم شده

۴-۱- ساختار تونل‌های معدنی در فریادان

سایت معدن در فریادان شامل یک تونل عمودی و عمیق حدود ۱۴ متر در امتداد لایه معدنی است. در انتهای این چاه اصلی تونل‌های زیادی وجود دارد که در جهات مختلف حفر شده و همچنین در امتداد رگه معدنی پیش رفته‌اند (تصویر ۱۳). با توجه به نوع برش دیوارهای معدنی و تونل‌ها، دو روش از شیوه‌های استخراج از معادن وجود دارد. روش اول که قدیمی‌تر از روش دیگر است شامل برش و حفر دیوارها به صورت گرد و کاملاً صیقلی بوده (تصویر ۱۴)، نظیر استخراج از معادن مس و شنوه در قم و طلا در یونان-Weisger (ber et al. 1988). این تونل‌ها عمیق نیستند و به طور افقی و در امتداد رگه، ماده معدنی را تعقیب نموده‌اند. کانی‌سازی اکسید آهن و کربنات به عنوان یک ساختار مشخص روی دیوارها نمایان است.

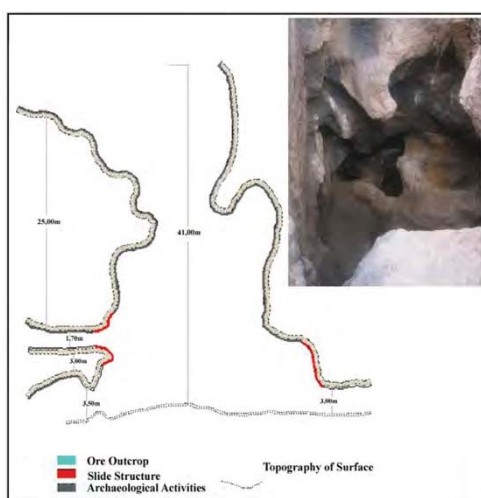
بر طبق مطالعات (Cravero et al. 2001)، تفسیر رد عناصر کم‌یاب و مطالعات ژئوشیمی سرنخی جهت تعیین منشأ رسوبات و نوع دگرگونی فراهم می‌کند. تقریباً تمام نمونه‌های فریادان غنی از ایتریوم، زیرکونیوم و نیوبیوم، توریم، اورانیوم هستند ولی طلا در این منطقه گزارش نشده است. این عناصر همچنین با کانی‌های سنگین که به فرسایش مقاوم‌ترند در ارتباط هستند. غلظت این عناصر در سنگ‌های فلسیک بیشتر از سنگ‌های مافیک بوده است. غنی‌سازی طلا در سنگ‌های فلسیک (روشن) می‌تواند تنها در محدوده‌های پایین‌تر از آب‌های زیرزمینی بین منطقه کاهش و اکسیداسیون رخ دهد (Okrusch & Matthes 2005). معدن فریادان تا محدوده‌ی اکسیداسیون حفر شده است و به عمق بیشتر نرسیده است.

در نوع دیگر معدن‌کاری در این تونل‌ها، دیوارهای معدنی روند مستقیم نداشته و به تصویر مربع است و برش گرد مشاهده نمی‌گردد. در این تونل‌ها روند حفر تونل به صورت دو طبقه و با جهت‌گیری مشابه انجام شده است (تصویر ۱۵). در برخی از موارد بعضی از علائم روی دیوار وجود دارد، اما آنها بسیار نادرند و نمی‌تواند یک استدلال برای اصطکاک دیوار باشد. بر اساس تصویر دیواره‌ها و تونل‌ها در قسمت فوقانی نمی‌تواند تعلق این نوع ساختار را به زمان ماقبل تاریخ نسبت داد (تصویر ۱۶). بر اساس فعالیت‌های معدن‌کاری با توجه به شواهد باستان‌شناسی و بقایای ذوب و استحصال فلزات، فعالیت‌های معدن‌کاری به دوره ی ساسانیان و اوایل دوره اسلامی بر می‌گردد. در این مورد با توجه به طول زیاد تونل‌ها و سقف بلند (۱۲۰ متر) آنان بایستی عنوان کرد که استخراج از معادن طی یک

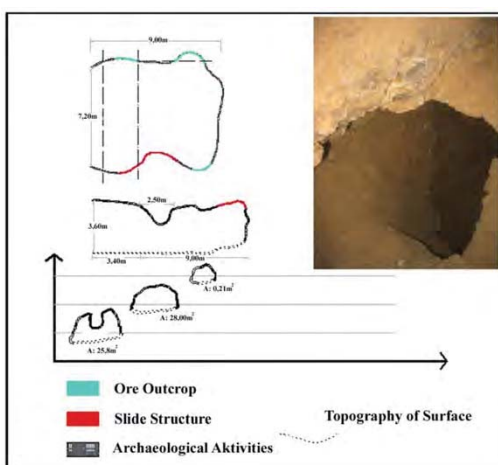
(۷۶) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

روند طولانی مدت انجام شده است.

جدول ۱- مختصات جغرافیایی نقاط مورد بررسی در منطقه باستانی معدن فریادان			
محل	ارتفاع (m)	درجه	طول جغرافیایی
چاه اصلی معدن فریادان	۲۶۱۴	۳۰° ۴۲' ۷,۳۳" N	۵۳° ۲۵' ۲۱,۴۳" E
تپه فریادان	۲۶۴۴	۳۰° ۴۱' ۵۶,۶۳" N	۵۳° ۲۵' ۵۰,۶۳" E
منطقه تجمع سرباره	۲۶۲۹	۳۰° ۴۱' ۵۱" N	۵۳° ۲۵' ۴۶,۵۳" E

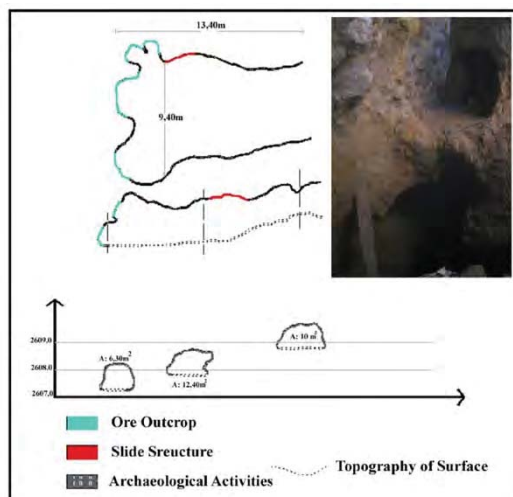


تصویر ۱۳. پروفیل عرضی چاه اصلی معدن آهن فریادان به همراه شبکه تونل‌های قدیمی در انتهای معبر

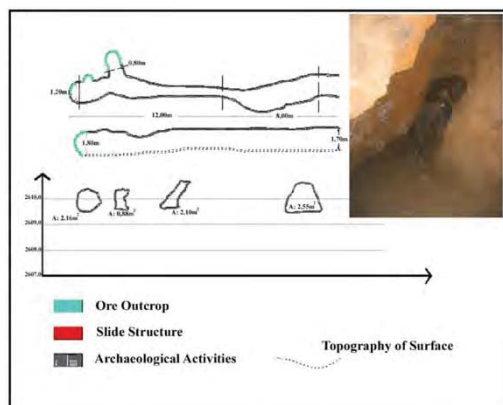


تصویر ۱۴. قدیمی‌ترین قسمت از دهانه اصلی چاه بر اساس صیقل‌بودن دیواره‌ها و باقی‌مانده اثرات حفاری بر روی جداره دیواره‌ها

تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) ... (۷۷)



تصویر ۱۵. تونل‌های چند طبقه حاکی از چند مرحله‌ای بودن عمر معدن در داخل چاه اصلی فریادان. این چاه در برهه نامشخصی از زمان متروک شده و سپس مجدداً فعال گشته است. احتمال استخراج طلا نیز بر حسب نوع حفاری می‌رود که مطالعات جامع‌تری را در این رابطه می‌طلبد.



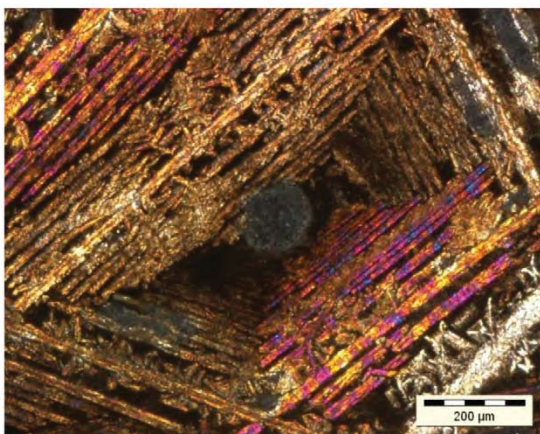
تصویر ۱۶. پروفیل تونل جدید در طبقه دوم، سمت چپ چاهک اصلی با عمق ۲۰ متر. تونل‌های طبقه دوم موازی با تونل‌های طبقه زیرین است. علت باریک بودن تونل‌های طبقه دوم نسبت به بقیه قسمت‌ها احتمال ریزش ایجاد فضای بزرگ با توجه به خالی بودن فضای زیرین است.

۴-۲- آرکئومتالورژی و بررسی میکروسکوپی سرباره‌های ذوب فریادان

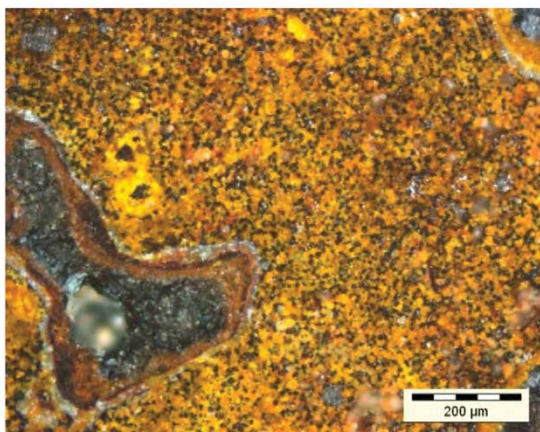
مشاهدات میکروسکوپی سرباره‌های فریادان نشان می‌دهد که این سرباره‌ها می‌توانند به عنوان سرباره‌های فایالیتی^{۲۵} طبقه‌بندی شوند. فازهایی چون مگنتیت در این بافت (فایالیتی) مشاهده نمی‌شود و فایالیت‌ها ساختار منشوری بلندی دارند (تصویر ۱۷). چنین

(۷۸) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

ساختاری در نتیجه‌ی سرد شدن سریع یک مذاب به‌وجود می‌آید. درجه حرارت مذاب در چنین فرآیندی می‌تواند حدود 1200°C باشد (Kronz 1997) همچنین در نتیجه اکسیداسیون بسیار سریع هیچ فاز ی با ترکیب شیمیایی نزدیک به مگنتیت یا اسپینل به‌وجود نیامده است. استخراج آهن از سنگ آهن فریادان تنها تحت روند احیاء مستقیم صورت گرفته است (Osann 1971) $\text{C} + \text{FeO} \Rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$. همچنین پروسه‌ی ذوب در منطقه فریادان تحت CO_2 بالا انجام شده است. این روند با توجه به جدایش و بازنشست کربن روی لیمونیت در سرباره‌ها مشاهده شده است (تصویر ۱۸).



تصویر ۱۷. سرباره‌های با ترکیب فایالیتی و با بافت اسفینکس نمایانگر درجه حرارت بالا و درصد آهن بالا در فرایند ذوب هستند



تصویر ۱۸. جدایش و رسوب‌گذاری کربن بر روی هماتیت.

۳-۴- ساختار تونل‌های معدنی منطقه‌ی جیان

منطقه‌ی معدنی جیان در ۲۵ کیلومتری جنوب شرقی فریادان قرار گرفته است. کانسار منطقه معدنی در جیان عمدتاً از ترکیبات سولفیدی تشکیل شده است. مواد معدنی موجود در این کانسار از نقطه نظر منشأ و نوع ذخیره مکانیسم اکتشاف با هم متفاوتند. به عنوان مثال، محدوده دگرگونی معادن باستانی، تحت تأثیر سنگ‌های آذرین اسیدی یا حد واسط قرار گرفته که این تشکیلات زمین‌شناسی در بر گیرنده ذخایر مس، آهن، طلا و بعضی از ذخایر غیر فلزی نظیر گرونا، گرافیت، سیلیس و همچنین شامل عناصر کمیاب نظیر روی و سرب قرار گرفته بوده است. چنین رخنمون‌هایی نمایانگر پوسته‌ی اقیانوسی بوده که معمولاً شامل ذخایری همچون کرومیت، کبالت، جیوه، عناصر گروه پلاتین، منیزیم و تالک است.

کانی فلزی اصلی که در منطقه جیان رخنمون دارد مس است. کانسار باستانی مس در جیان به فرآیند کوهزایی زاگرس متعلق است و به عنوان کانی‌سازی هیدروترمال در جنوب ایران طبقه بندی می‌شود. ساختار متفاوت فرسایش یافته از کوه‌های زاگرس تیغه‌های موازی به ساختار کوه‌ها داده است.

نحوه لایه‌های رسوبی و همچنین تکتونیک طبقات سنگ‌ها منجر به تشکیل نفت خام شده و به همین علت منطقه زاگرس مکان مهمی برای ساختارهای نفت خیز خلیج فارس است. سنگ معدنی اقتصادی در این تشکیلات کالکوسیت^{۲۶} و کالکوپریت^{۲۷} است که از دوران باستان نیز مورد توجه بوده و استحصال شده است. نمونه‌های مطالعاتی جیان حاکی از محتوای بالاتری از مس نسبت به فریادان است. تصویر ۱۷ از محور جنوب غربی محدوده جیان- فریادان است که شامل محدوده مهمی از فعالیت‌های باستانی و معدنی در منطقه جیان است. لایه‌ی ضخیم از مواد معدنی مانند ملاکیت^{۲۸}، آزوریت^{۲۹} و کالکوسیت در طی فرآیند دگرگونی در یک شرایط آب و هوایی گرم و مرطوب، روی هم انباشته شده‌اند. این منطقه دو سال پیش مورد بهره‌داری قرار گرفته است، اما در حال حاضر فعالیت‌های استخراج از معادن متوقف شده است. پراکندگی تجمع سرباره روی زمین نمی‌تواند بیانگر یک طبقه‌بندی علاست، چرا که مناطق حاوی سرباره، در طول فعالیت‌های تکنولوژیکی اخیر تجمع پیدا کرده و پراکنده شده‌اند و برخی نیز به‌دلایل محیطی روی هم انباشته شده است. تونل‌های باستانی موجود بر روی زمین به مرور در طول فعالیت‌های دو سال

(۸۰) همایش ملی کاربرد تحلیل‌های علمی در باستان‌سنجی و مرمت میراث فرهنگی

گذشته تخریب شده‌اند (تصویر ۱۹). ارتباط کانال‌های آبی با فعالیت‌های استخراج از معادن در حال حاضر قابل تحلیل نیست. از آنجایی که مس یک رخنمون خوب روی زمین دارد، استخراج معادن اکثراً به صورت عمود بر سنگ معدن انجام شده است. با توجه به این نکته که حفاری مس بر اساس رخنمون واضح این ماده بر روی سطح زمین همواره در امتداد رگه معدنی انجام می‌شده است، روش حفاری در جیان سیستم پیشرفته‌تری را نشان می‌دهد و به همین دلیل فعالیت‌های معدنی در این منطقه را نمی‌توان زیاد قدیمی دانست این تونل‌های نسبتاً افقی معمولاً بیشتر از ۲۰ متر عمق ندارند (تصاویر ۲۰ و ۲۱).

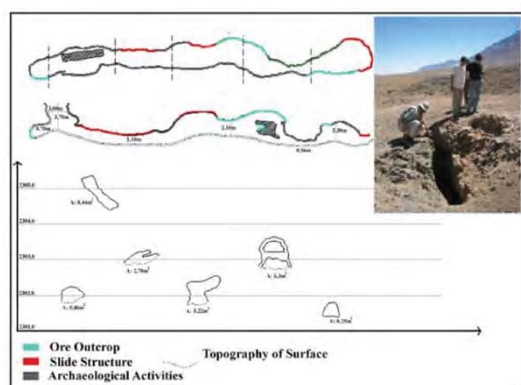
مختصات محل سربراه‌ها و تونل‌ها و ارتفاع آنها در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲- مختصات جغرافیایی نقاط مورد بررسی در منطقه باستانی معدن فریادان			
محل	ارتفاع (m)	درجه	طول جغرافیایی
تونل A	۲۳۰۱	۳۰° ۲۷' ۴۵'' N	۵۳° ۳۵' ۴۱'' E
تونل B	۲۲۲۹	۳۰° ۲۷' ۴۴'' N	۵۳° ۳۵' ۴۰'' E
منطقه تجمع سربراه	۲۳۰۳	۳۰° ۲۷' ۵۳'' N	۵۳° ۳۵' ۴۵'' E
قنات	۲۳۰۸	۳۰° ۲۷' ۱۷'' N	۵۳° ۳۵' ۴۳'' E
قنات	۲۳۰۵	۳۰° ۲۷' ۱۹'' N	۵۳° ۳۵' ۴۴'' E
قنات	۲۳۰۳	۳۰° ۲۷' ۲۱'' N	۵۳° ۳۵' ۴۴'' E
قنات	۲۳۰۲	۳۰° ۲۷' ۲۲'' N	۵۳° ۳۵' ۴۵'' E
قنات	۲۳۰۱	۳۰° ۲۷' ۲۴'' N	۵۳° ۳۵' ۴۵'' E

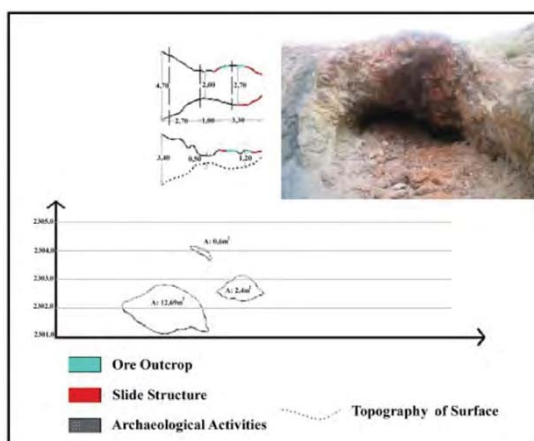


تصویر ۱۹. تصویر GIS از منطقه معدنی جیان و محل چاه‌های معدنی به همراه موقعیت فعالیت‌های جدید معدنی. محل قرارگیری سربراه‌ها در محل قدیمی و اصلی آن نیست بلکه توسط فعالیت‌های جدید انباشته شده است.

تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) ... (۸۱)



تصویر ۲۰. تصویر تونل B در جیان به‌عنوان قدیمی‌ترین تونل. این تونل تا عمق ۳ متری ادامه داشته و ۲۵ متر طول افقی دارد.

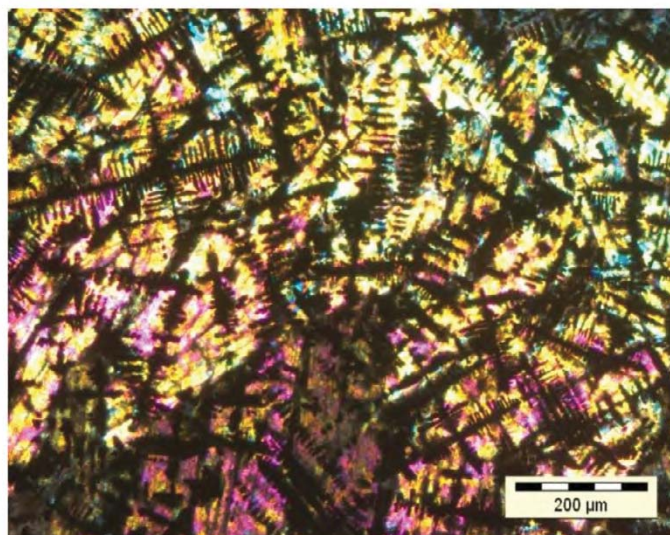


تصویر ۲۱. تصویر تونل A در منطقه جیان به طول ۵ متر

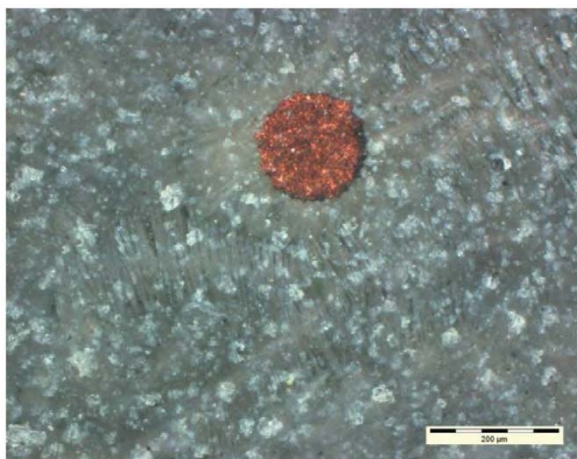
۳-۴- بررسی میکروسکوپی سرباره‌های جیان

در منطقه جیان چندین رگه‌ی معدنی با ساختارهای (پاراژنز) متفاوت از سنگ‌های معدنی مختلف ثبت شده است که دو نوع عمده پاراژنز را نشان می‌دهد؛ یکی توالی کانی‌سازی کالکوسیت و کالکوپریت که شامل ۲۰-۶ مس و مقدار کمی روی و سرب بوده، و دیگری عمدتاً شامل ترکیبات آهن و منگنز است. در منطقه جیان حجم فعالیت‌های ذوب و اثرات روش‌های گوناگون استحصال فلزات از مناطق پایین کوه‌ها به سمت دشت افزایش می‌یابد. این موارد همچنین مطابق با تغییرات قابل ملاحظه‌ای در فن آوری ذوب بر اساس تنوع در ترکیب شیمیایی سرباره‌های یافته شده است. سرباره‌ها به‌واسطه کاهش

پیوسته مقدار آهن دسته‌بندی می‌شوند و این در حالی است که نسبت سه جزو اصلی دیگر ترکیبات یعنی SiO_2 , Al_2O_3 , CaO تا حد زیادی ثابت است. این تفاوت در ترکیب، در درجه ی اول بر اساس استفاده از روش‌های مختلف استخراج به‌خصوص در سایت‌های احتمالاً جوان‌تر در دشت کویر و فقط تا حدی به دلیل تکامل برخی از تکنیک‌های استحصال قابل مشاهده است. سرباره‌های ذوب منطقه جیان در مقایسه با منطقه فریادان از آهن نسبتاً کمتری برخوردار است. این مورد را می‌توان به‌واسطه وجود بلورهای ووستیت (FeO) که به‌صورت دو بعدی رشد بلوری داشته‌اند نمایان است (تصویر ۲۲) که در اثر آهسته سرد شدن و همچنین در اثر روند اکسیداسیون بالا تشکیل می‌گردد (Osann 1971). وجود فازهای سازنده بافت سرباره‌ها ازجمله فاکتورهای سیر تحول تکنولوژی ذوب و استحصال در این ناحیه است. تکامل قدمت تکنولوژی ذوب در یک منطقه از سرباره‌های قدیمی با بافت کاملاً فیالییتی به سمت تکنیک جدیدتر با سرباره‌های فیالیت-کلینو پیروکسین‌ها گسترش می‌یابد. سرباره‌های شامل یک توالی کاملی از مراحل ذوب ترکیبات سولفیدی (تصویر ۲۳) بوده که محصولات ذوب عمدتاً در درجه حرارت بالا تشکیل شده و شامل بورنیت، سولفیدهای آهن و همچنین قطرات فلزی مس و آهن است.



تصویر ۲۲. رشد دو بعدی کریستال‌های ووستیت بر روی پیروکسن که نشان از سرد شدن کند مذاب دارد.



تصویر ۲۳. مس طبیعی به صورت یک قطره در ماتریکس شیشه‌ای سرباره که نشانگر واکنش استحصال مس به صورت احیاء است.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

از اواخر دهه ۱۹۷۰ طبقه‌بندی و مستندنگاری داده‌های باستان‌شناسی سیر تحولی خود را از ترسیم‌های دستی به روش‌های کامپیوتری ارتقاء داد. چنین مسیری در دانش باستان‌شناسی همچنین جایگاه خود را در طبقه‌بندی داده‌ها و تحلیل و نمایش فضایی و سه بعدی داده‌ها آشکار کرد. در این میان قابلیت‌های GIS جهت طبقه‌بندی و رسم داده‌ها و تجزیه و تحلیل آن جایگاه خود را به‌خوبی آشکار ساخته است. ایجاد تصاویر از پهنه‌های وسیع جغرافیایی و تحلیل چشم‌اندازها در یک محیط سه‌بعدی یکی از روش‌های موجود در GIS برای کشف پدیده‌های جدید است که به‌عنوان اولین گام در یک مطالعه باستان‌شناسی می‌تواند موفق و سودمند باشد. اما آنچه از داده‌های موجود قابل استحصال است بسیار فراتر از تحلیل بصری است. بررسی همبستگی متغیرها، بررسی ویژگی‌های طیفی پدیده‌ها، استفاده از مدل‌های آمار و احتمال و همچنین استفاده از نرم‌افزارهای پیشرفته‌تر همگی نقشی بسزا در استفاده هر چه بیشتر از داده‌ها و در نتیجه حصول نتایج بهتر و اطمینان بخش‌تر دارند که ما را در کشف عناصر و روابط دنیای گذشته یاری می‌کنند.

طبقه‌بندی و مستندنگاری اسناد و منابع باستان‌شناسی به نحو سیستماتیک، بویژه در یک محدوده‌ی بزرگ، بخش مهمی از تحقیقات و کاوش‌های باستان‌شناسی بر اساس استفاده از قابلیت‌های GIS و داده‌های سنجش از دور است. کاربرد GIS موجب کاهش هزینه و زمان و در عین حال بازده بیشتر مطالعات باستان‌شناسی خواهد شد. ذخیره

سازی و طبقه‌بندی اطلاعات دسترسی آسان به داده‌ها و انعطاف‌پذیری در پردازش و نمایش داده‌ها بر اساس اطلاعات موجود در پایگاه اطلاعاتی ما را به سمت ایجاد یک نقشه با جزئیات کامل هدایت می‌کند. در نتیجه، می‌توان با استفاده بیشتر از منابع موجود (با لایه‌های موجود و تصاویر ماهواره ای) خصوصیات باستانی متنوعی را ثبت و ضبط کرد و به مقایسه و طبقه‌بندی عوارض و پدیده‌های گوناگون پرداخت. همچنین با استفاده از ابزارهای برداشت اطلاعات و نرم‌افزارهای موجود در GIS می‌توان یک الگوی مناسب برای نشان دادن تمامی جزئیات یک سایت باستانی ارائه کرد.

در این پژوهش پتانسیل‌های معدن‌کاری و ذوب باستانی در منطقه فریادان و جیان با توجه به قابلیت داده‌ها و نرم‌افزارهای موجود برای کاوش‌های اولیه، تفسیر و مورد تحلیل بصری و شناسایی قرار گرفت. در این راستا پس از اکتشاف محدوده‌های مهم باستانی ترسیم و همچنین جزئیات داده‌ها با دقت برداشت شده است. این تحقیق نشان داد استفاده همزمان از ابزارهای ثبت اطلاعات مانند GPS، تصاویر ماهواره‌ای و کاربرد GIS می‌تواند تا حدود زیادی به کشف و ضبط اطلاعات مفید باستان‌شناسی کمک کند. همچنین در گام‌های بعدی می‌توان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS سامانه و یا مدلی برای اکتشاف معادن باستانی ایجاد کرد که فراتر از تفسیرهای بصری به کشف ساختارها و پدیده‌های مدفون در یک چشم انداز بپردازد. مطالعات سنجش از دور به‌واسطه اکتشافات منطقه‌ای و بازدید صحرایی به‌صورت سنجش از نزدیک تکمیل می‌شود. مطالعه برروی محصولات ذوب و استحصال فلزات (سرباره‌ها) و مطالعات ساختاری و پترولوژیک برروی آنان با هدف شناسایی تکنیک در سایت فلزگری باستانی فریادان و جیان و بر اساس مقایسه تجارب به‌دست آمده با مناطق دیگر بیانگر این مهم هستند که معادن فوق در چند برهه زمانی مشغول به فعالیت بوده‌اند. شروع این فعالیت‌ها با شناخت آهن شروع شده و احتمالاً فعالیت این سایت‌ها تا اوایل صدر اسلام ادامه داشته است. مطالعات و تکنولوژی پیشرفته حفاری و ذوب فلز در این نواحی از جمله دلایلی هستند که تاریخ‌گذاری منطقه را به اوایل صدر اسلام می‌رساند. مطالعه برروی سرباره‌های ذوب از مهم‌ترین و اصلی‌ترین شاخص‌ها جهت شناسایی تکنولوژی استحصال و ذوب در یک ناحیه بوده و از جمله متدهایی هستند که جهت انجام پژوهش‌های سیستماتیک بسیار مورد توجه قرار می‌گیرند.

پی‌نوشت‌ها

1. Geographic Information System (GIS)
2. Remote Sensing
3. Spatial Resolution

تحلیل داده‌های سنجش از راه دور (ژئوماتیک) ... (۸۵)

4. Digital Elevation Model
5. Geodatabase System
6. Geomorphology
7. Kaolinite
8. Illite
9. Quartz
10. Chlorite
11. Anorthoclase
12. Albite
13. Goethite
14. Paragonite
15. Gypsum

۱۶- آلومینو سیلیکات‌های سدیم و پتاسیم

17. Magnesite $MgCO_3$
18. Magnetite Fe_3O_4
19. Siderite $FeCO_3$
20. Global Positioning System
21. Landsat
22. Quickbird
23. Raster
24. Vector
25. Fayalite (Fe_2SiO_4)
26. Chalcocite Cu_2S
27. Chalcopyrite $CuFeS_2$
28. Malachite $Cu_2(OH)_2(CO_3)$
29. Azorithe $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$

منابع

Antoine Guisan, A., Spehn, E., Körner, Ch., (2007), `Biological Databases. A tool for Understanding Mountain Biodiversity`, Mountain Research and Development, vol. 27, No 1, February.

Begemann F., Schmitt-strecker, S., In Präparation, (2006), `Materialanalysen, Untersuchungen zur Herkunft der Rohstoffe`. In: Die Metallindustrie Mesopotamiens von den Anfängen bis zum 2. Jahrtausend v. Chr. (eds.) H. Hauptmann & E. Pernicka, Orient-Archäologie, Rahden/Westfalen.

Briuer, F. L., (1988), `Geographic information systems and automated archaeological information: Investments and dividends for archaeological resource management`, Paper presented at the 53rd annual Society for

American Archaeology meeting, Phoenix.

Butzer, K. W., (1982), `Archaeology as Human Ecology: Methode and Theory for a Contextual Approach`, Cambridge. Cambridge University Press.

Calmeyer, P., (1990), `Madjdabad. Zur Datierung von Steinbruch-Arbeiten um Persepolis`, AMI, Band 23, pp. 185-191

Davidson, D.A., Lewin, J., (1980), `Erosion in Greece during the First and Second Millennia B.C.`, Timescale in Geomorphology. Pp 143-58. New York. John Wiley & Sons.

Dewey J.F., Pitman W., Ryan W., Bonin J., (1973), `Plate Tectonics and the Evolution of the Alpine system`, Geol. Soc. Am. Bull., 84:3137-3180.

Dickin A.P., (1997), `Radiogenic Isotope Geology`, Cambridge University Press.

Duff, P. M. D., (1996), `Principle of physical geology`, 4.Edition, Educational Low-Priced books scheme Founded by the British Government.

Dvorakowska, A., (1983), `Quarries in Ancient Greece`, Biblioteca Antiqua XVI

Emami, M. A. & Yaghmaei, B., (2009), Remote sensing methods for investigation and recognition of the ancient mining activities (case study on Cu-Fe-Mn mineralization in western part of central iranian zone). Metalla , issue 15, vol. 1, pp.3-20.

Klaus P., (2000), `Das Global Positioning System (GPS) – Neue Perspektiven für das forstliche Arbeitszeitstudium?`, Forsttechnische Informationen. Fachzeitung für Waldarbeit und Forsttechnik

Kraft, J. C.; Kayan, I., Erol, O., (1980), `Geomorphologic Reconstructions in the Environs and Ancient Troy`. Science. 209:776-82.

Kronz, A., (1997), `Phasenbeziehungen und Kristallisationsmechanismen in fayalitischen Schmelzsystemen – Untersuchungen an Eisen- und Buntmetallschlacken`, Dissertation, Mainz, 273 S.

Kvamme, K. L., (2005), ` Integrating multidimensional geophysical data`, Archaeological Prospection, vol. 13, issue 1, pp. 57-72

Lamb, H. H., (1982), `Climate, History and the Modern World`. New York:Methuen.

Matthes, S., (2000), `Mineralogie`, 6.Auflage, Springer-Verlag.

McGreevy, J.P., Warke, P.A., Smith, B.J., (2000), `Controls on stone temperatures and the benefits of interdisciplinary exchange`, Volume 39, Number 2, Article 6, pp. 259-274

Michael, R., Joerg, S. R., (2005), `Geowissenschaften und Denkmalpflege Bauwerkskartierung, Natursteinverwitterung, Konservierungsstrategien`, Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften, Siegfried, Auras.

Osann, B., (1971), `Rennverfahren und Anfänge der Roheisenerzeugung – Zur Metallurgie und Wärmetechnik der alten Eisengewinnung`, Verein Deutscher Eisenhüttenleute. Fachausschussbericht 9.001. Düsseldorf

Rapp, G. Jr., (1975), `The Archaeological Field Staff: The Geologist`. Journal of Field Archaeology. 2:229-237.

Schmidt, E., (1957), `Persepolis III, Contents of the Treasury and other Discoveries`, The University of Chicago press Chicago. Illinois

Stölner, Th., (2003), `Mining and Economy-A Discussion of Spatial Organisations and Structures of Early Raw Material Expedition`, Der Anschnitt, Beiheft 16, pp. 415-446

Vita-Finzi, C., Higgs E.S., (1970), `Prehistoric Economy in the Mount Carmel Area of Palestine: Site Catchment Analysis`, In Proceedings of the Prehistoric Society, edited by J. Coles. Vol. XXXVI, December 1970:1-37.

Weisgerber, G., Wagner, G., Gialoglou, G., (1988), `Der antike Goldbergbau auf dem Gipfel des Klisidi bei Kinyra`, Ebd, 154-172

West, J.M., (1985), `Basic corrosion and oxidation`, second edition. Ellis Horwood, New York.

Yaghmaei, B., (2004), `Analysis and modeling ancient site of Kor river basin by remote sensing and GIS`. M. Sc. Thesis. Tarbiat Modares University, Tehran-Iran. (Unpublished)

[صفحه سفید]