یافتههای جدید کانهنگاری و شیمیبلور مگنتیت و پیریت در کانسارهای آهن باباعلی و گلالی، باختر همدان، ایران

قدرتاله رستمی پایدارا*، محمد لطفی۲، مجید قادری۲، آزاده امیریاو منصور وثوقی عابدینی۴ ^۱ گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز، اهواز، ایران ^۲ گروه زمینشناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، تهران، ایران ^۲ گروه زمینشناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران ^۱ گروه زمینشناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۶/۲۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۰۲/۱۵

چکیدہ

کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در باختر همدان و در میان توالی آتشفشانی-رسوبی سری سنقر در زون زمین شناسی- ساختاری سنندج- سیرجان قرار دارند. بررسیهای کانهنگاری و تجزیههای SEM-EDAX بر روی کانسنگ آهن مگنتیتی این دو کانسار در راستای شناخت بهتر ترکیب کانی شناسی و شیمی بلور کانسنگ، نتایج جالب توجهی را نشان داده است. با بررسی میزان تمرکز برخی از عناصر کمیاب مانند وانادیم، کبالت، نیکل، مس، کروم، تیتان، طلا، عناصر گروه پلاتین و برخی ناخالصیهای سولفور و فسفر در کانسنگ، مشخص شد تنها بخشی از پیریت اولیه دارای تمرکزهای جالب توجهی از عنصر پلاتین است. بهنظر می رسد دیگر نسل های پیریت و مگنتیت از نظر عناصر کمیاب یادشده تهی شدهاند. سیالات گرمابی تأخیری که باعث کانی سازی پیریت در باطله (گانگ) کلسیت- کوارتز با اهمیت بوده و در واقع، کانی پیریت به عنوان حامل خوبی برای طلا عمل نموده است. شناسایی مقادیر قابل توجهی از فلو گوپیت و الگوی تمرکز عناصر کمیاب در کانسنگ آهن گلالی، نظریه اسکارن نوع منیزیم آتشفشان(دار اقوت داده است.

کلیدواژهها: کانهنگاری، شیمی بلور، میکروسکوپ الکترونی روبشی، کانسنگ آهن، باباعلی، گلالی

E_mail: rostamigsi2006@gmail.com

1- مقدمه

* **نویسندہ مسئول:** قدرت اله رستمی پایدار

کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در بخش شمال باختری همدان و در زون زمین شناسی- ساختاری سنندج- سیرجان واقع شدهاند (شکل ۱). کانی سازی آهن در این دو کانسار در میان یک توالی آتشفشانی- رسوبی به سن پرموتریاس بهنام سری سنقر (نامگذاری غیر رسمی، Barud, 1975) انجام شده است. این توالی سنگ چینهای خود تحت تأثیر فعالیتهای زمینساختی و نفوذ تودههای آذرین، دچار دگرگونی و دگرشکلی شده است (محجل، ۱۳۸۶ و رستمی پایدار، ۱۳۸۸). ویژگیهای زمین شناسی محدوده کانیسازی، ارتباط بین سنگ درونگیر و کانسنگ آهن و نیز چگونگی کانی سازی آهن در این دو محدوده، در پژوهش رستمی پایدار(۱۳۸۸) و گزارش شرکت مهندسین مشاور زریابان اکتشاف (۱۳۷۹) بهطور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. برخی از ویژگیهای کانیشناسی و ژئوشیمیایی زون اسکارن باباعلی نیز بررسی شده است (Zamanian, 2007). با توجه به این که شناخت هرچه بیشتر کانسنگ در امر فرآوری مواد معدنی و نیز در مشخص شدن روند ژنتیک و الگوی اکتشافی آن نقش بسزایی دارد، در این پژوهش، کانسنگ آهن مگنتیتی دو کانسار باباعلی و گلالی از نگاه کانهنگاری و شیمی بلور مورد توجه خاص قرار گرفته و سعی شده است افزون بر بررسی دقیق کانیشناسی فازهای اصلی کانسنگ آهن، به الگوی تمرکز عناصر کمیاب در شبکه کانیهای کانسنگ آهن در این دو کانسار پرداخته شود. در این راستا، بر روی ۵۶ مقطع صیقلی تهیه شده از کانسنگ دو کانسار آهن، مطالعه کانهنگاری انجام گرفته است. ۱۰ نمونه نیز به روش XRD کانیشناسی شده است. بر روی۱۷ نمونه کانسنگ آهن، ۵۷ نقطه با روش SEM-EDAX (Scanning Electron Microscope-Electron Disperssive X-ray Analysis) تجزيه شیمی بلور انجام شده و بر روی ۴ نمونه نیز در آزمایشگاه ALS-Chemex کانادا، به روش Inductively coupled plasma-Mass Spectrometer) ICP-MS) تجزيه ترکیب شیمی انجام شده است. در این مقاله، بارزترین ویژگیهای کانیشناسی و www.SID.ir

شیمیبلور کانیهای مگنتیت و پیریت دو کانسار مورد توجه قرار گرفته است.

۲- روش مطالعه

در این پژوهش، ابتدا ۵۶ مقطع صیقلی از کانسنگ آهن کانسارهای باباعلی و گلالی تهیه شد و با استفاده از میکروسکوپ کانهنگاری در نور انعکاسی، ویژگیهای کانی شناسی و بافت ماده معدنی در ارتباط با گانگ، بهدقت مورد مطالعه قرار گرفت. سپس بخشهایی از کانسنگ آهن، پس از آمادهسازی با روشهای SEM-EDAX و ICP-MS تجزیه شد. میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش، سیستم چندکارهای است که قادر به کار در حالتهای خلاء بالا و پایین، برای تصویربرداری و تجزیه کیفی و کمی X-ray برای آزمونهای حساس است. دستگاه SEM-EDAX مدل Leo 1455 VP بوده و مجهز به سیستم آمادهسازی و پوشش نمونه (coating) است. بخش طیف پرتو ایکس دستگاه نامبرده دارای بزرگنمایی تا ۳۰۰۰۰۰ برابر است. این دستگاه یکی از کاربردیترین ابزارهای پژوهشی در زمینههای علوم مواد، متالورژی، علوم زیستی، پزشکی، دندانپزشکی، علوم گیاهی و جانوری، فیزیک و فناوری نانو است (Hobart & Willard, 1998). مهمترین اصول و کاربردهای روش SEM-EDAX در علوم مختلف توسط پژوهشگرانی مانند Reed (1996). Goldstein & Newbury (2003). Passchier & Trouw (2005) و (Zheng (2006) مورد بحث قرار گرفته است. از فواید این میکروسکوپ، تهیه سریع نمونه و امکان مشاهده نمونههای بزرگ بدون نیاز به تهیه برش های نازک است. در این پژوهش، با توجه به توان مناسب این دستگاه، افزون بر تهیه تصاویر الکترونهای بازیافتی Back-Scattered Electron Image، مواردی از کانیها و فازهای مجهول، تحت تجزیه عنصری خاص قرار گرفته و در مواردی، تجزیه نقشهای (map image analysis) از فازهای کانیایی انجام شده است. در این نوع تجزیه،

یافتههای جدید کانهنگاری و شیمیبلور مگنتیت و پیریت در کانسار های آهن باباعلی و گلالی، باختر ...

پراکندگی و میزان عناصر مورد نظر، هم بهصورت مجزا و تفکیک شده و هم بر روی تصویر محدوده مورد تجزیه با رنگهای مشخصی پیاده شده است. برخی از کاربردهای این میکروسکوپ در مطالعه نمونههای زمین شناسی و سنگهای دگر شکل شده در (Lloyd & Hall (1981) و Passchier & Trouw (2005) نشان داده شده است.

تجزیههای کمی این دستگاه در مورد برخی از کانیهای غیرفلزی و فلزی نیز در (SEM) منتشر شده است. میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) به لحاظ کاربردی قادر است اطلاعات ریخت شناختی، توپو گرافی، بلور شناسی و شیمی بلور را در مورد نمونه های مورد بررسی در اختیار بگذارد. تعیین عناصر و ترکیبات موجود در نمونه و مقادیر نسبی آنها توسط این دستگاه امکان پذیر است که به صورتهای مختلف چون نقشه تجزیه عنصری، نمودارهای فراوانی عناصر و مقادیر عددی یا کمی عناصر تشکیل دهنده نمونه مورد نظر گزارش می شود. لازم به یادآوری است که این تنوع در روشهای تجزیه و نمایش نتایج آن با دستگاه SEM-EDAX می تواند در امر شناخت کانسنگ و ویژ گیهای مختلف شیمی بلور آن بسیار ارزشمند باشد و در مواردی با بررسی دقیق ارتباط بین فازهای کانیایی در گیر در کانسنگ و نیز گانگ، به بهینه سازی روشهای کانه آرایی منجر می شود.

3- آمادهسازی نمونهها

نمونههای مورد مطالعه در این پژوهش به دو صورت از کانسنگ آهن آمادهسازی شد. از تعدادی از نمونهها، مقاطع صیقلی تهیه شد و ویژگیهای کانهنگاری آنها بهدقت مورد مطالعه قرار گرفت. در بخشهایی از این نمونهها، کانیهای پیریت و مگنتیت و نیز یک سری فازهای فلزی مجهول، مشخص و علامت گذاری شده بود تا بر روی آنها بررسیهای دقیقتری انجام گیرد. بخش دوم نمونههای مورد مطالعه، شامل بلورهای جداسازی شده پیریت و مگنتیت از کانسنگ آهن باباعلی و گلالی است. با توجه به این که درجه خلوص فاز سولفیدی و سیلیکاتی جداسازی شده برای بررسیهای ایزوتوپی، از اهمیت خاصی برخوردار است و نتایج تجزیههای ایزوتوپی به میزان دقت در آمادهسازی نمونهها وابستگی زیادی نشان میدهد، بنابراین در آزمایشگاه کانهآرایی سازمان زمینشناسی کشور، بر روی نمونههای کانسنگ انتخابی، ابتدا عملیات خردایش انجام شد و این کار تا رسیدن به درجه آزادی فاز سولفیدی ادامه پیدا کرد. سپس با استفاده از مایعات سنگین و جداکننده مغناطیسی (magnetic separator)، هر نمونه در چندین مرحله پرعیار شد. در نهایت نمونههای آمادهسازی شده به منظور حصول اطمینان از میزان خلوص (purity)، با دستگاه SEM مورد کنترل و بررسی قرار گرفت و بخشهایی از هر نمونه تجزیه شد. لازم به یادآوری است که در مرحله آمادهسازی، به منظور هادی کردن، نمونهها ابتدا با یک لايه نازك نقره پوشش داده شد، بنابراين مقادير نقره در نتايج تجزيه حذف شده است.

۴- کانیسازی آهن در کانسارهای باباعلی و گلالی

کانی سازی آهن در دو کانسار باباعلی و گلالی در میان سنگهای آتشفشانی-رسوبی سری سنقر به سن پرموتریاس رخ داده است. ترکیب سنگشناسی این سری شامل سنگهای آتشفشانی اسیدی تا حدواسط دگرگون شده، بیشتر بهصورت گدازه و توف ریولیتی، همراه با میانلایههای کربناتی و گاه رسوبات ماسه سنگ توفی دگرگون شده است. بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی های سنگنگاری انجام شده، جایگیری تودههای نفوذی و نیمه آتشفشانی با ترکیب گابرودیوریت، کوارتز مونزودیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی سنگی در حین فعالیت های زمین ساختی، باعث دگر شکلی و گاه دگرگونی منطقه و کانسنگ آهن شده است. دیگر واحدهای سنگ چینهای رخنموندار در منطقه

بهتر تیب شامل فیلیت های همدان (لیاس)، توالی کربناتی – آواری پر فسیل الیگومیوسن و نهشتههای کواترنر است (اشراقی، ۱۳۸۰). مشاهدات صحرایی، بررسی های ژئومتری، ساخت و بافت انجام شده در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی بر روی کانسنگ آهن باباعلی و گلالی همگی بیانگر این مطلب است که توالی همبودی (پاراژنزی) و کانیزایی در هر دو کانسار، شامل کانیسازی مگنتیت و نسل اولیه پیرو تیت و پیریت همزمان با سنگ درونگیر است. پس از آن در فازهای ثانوی، مگنتیت همراه با کانی های سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت و کانی های اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی آنها در فضاهای خالی سنگ میزبان و در بین ماده معدنی، کانی های سولفوری مانند پیریت و پیروتیت نسبت به مگنتیت، تأخیری باطله و مگنتیت، کانی های سولفوری مانند پیریت و پیروتیت نسبت به مگنتیت، تأخیری ۲). توسعه برگوار گی و بافت نواری شکل مگنتیت و پیریت و دیگر کانی های کانسنگ ۲). توسعه برگوار گی و بافت نواری شکل مگنتیت و پیریت و دیگر کانی های کانسنگ آهن باباعلی حکایت از عملکرد دست کم یک فاز دگر گونی ناحیهای بر روی کانسنگ

۵- بررسی کانه مگنتیت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی

در کانسنگ آهن باباعلی، کانه مگنتیت بهصورت بلورهای نیمه شکل دار، شکل دار و بی شکل و نیز بهصورت پیوسته و موزاییکی دیده می شود. گاه بلورهای مگنتیت با پیریت و کالکوپیریت همر شدی نشان می دهند. ابعاد بلورهای مگنتیت، بیشتر بین ۳۰۰–۳۰۰ میکرون است، اما بلورهای ریزتر و در شت تر از آن نیز دیده می شود.

بلورهای مکنتیت در بخشهایی تحت فرایند دگرسانی سوپرژن قرار گرفته و در جهات سطوح بلورشناسی در حال دگرسانی و تبدیل به کانی هماتیت هستند (پدیده مارتیتیشدن، شکل ۴). بافت کانیسازی فلزی بهصورت رگچهای، دانهپراکنده، تودهای و پرکننده فضاهای خالی است. میانبار (انکلوزیون) دانهریزی از پیریت در متن بلورهای مکنتیت وجود دارد.

از جمله بافتهای جالب توجه، بافتهای اولیه دانهپراکنده و لامینهای مگنتیت و هماتیت در تناوب با لامینههای کربناتی است (شکل ۳). همچنین نوعی بافت نواری شکل (banded tex.) بویژه در بخش های پرعیار کانسار باباعلی دیده می شود. مشاهدات در مقیاس های رخنمون، نمونه دستی و میکروسکوپی نشان می دهد این نوع بافت افزون بر دگر گونی ناحیهای کانسنگ، همراه با سنگ درونگیر، تشکیل و توسعه پیدا کرده است، بدین تر تیب که دگر شکلی های ایجاد شده در سنگ درونگیر و کانسنگ آهن، بویژه در پهنههای برشی شکل پذیر، شباهت و انطباق خوبی نشان می دهند (رستمی پایدار، ۱۳۸۸).

در کانسار آهن گلالی نیز کانه مگتیت به عنوان کانی فلزی چیره بهصورت بلورهای با اشکال نیمه شکلدار، شکلدار و گاهی بی شکل دیده می شود. ابعاد میکرون، فراوانی بیشتری نشان می دهند. اجتماع این بلورها، گاه تجمعات در شت با ابعاد میلی متر تا سانتی متر را ایجاد می نماید که با چشم غیر مسلح به راحتی قابل جدایش است. بافت کانی سازی فلزی مگنتیت بیشتر به صورت توده ای است، ولی بافت های لکه ای، افشان و شکافه پر کن نیز دیده می شوند. این کانی از حواشی و اطراف و نقاط ضعف در شبکه بلورین، به هماتیت (مارتیت) د گرسان شده است، به طوری که الگوهای خاص در سطوح رخ (کلیواژ) هشت وجهی (اکتائدری) مگنتیت تشکیل شده و بی نظمی آن نشانه فرایند مارتیتی شده است. کانه مگنتیت در برخی از مقاطع مطلعه شده، دچار شکستگی های ظریفی شده است که به نظر می رسد حاصل عملکرد

فرایندهای زمین ساختی است و در برخی بخش ها، جابه جایی قطعات بلور مگنتیت نیز صورت گرفته است. در داخل حفرات ایجاد شده، دگر سانی بسیار ضعیفی روی این کانی صورت گرفته و به اکسیدهای آبدار ثانویه تبدیل شده است. فراوانی این کانی در مقاطع مطالعه شده مربوط به کانسنگ گلالی به ۸۰–۵۰ درصد نیز می رسد. کانه مگنتیت اولیه بوده و کانههای هماتیت، لیمونیت و گوتیت، سوپرژن و ناشی از دگرسانی است.

6- شیمیبلور مگنتیت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی

به مظور بررسی شیمی بلور به روش SEM-EDAX، کانه مگنتیت در نمونه های جداسازی شده از دو کانسار آهن باباعلی و گلالی از نظر عناصر کمیاب مانند،Ni بداسازی شده از دو کانسار آهن باباعلی و گلالی از نظر عناصر کمیاب مانند،Ni (شکلهای ۷ و ۸). برای مطالعه دقیق تر شیمی بلور کانسنگ مگنتیت باباعلی و گلالی، ۴ نمونه پرعیار شده از کانه مگنتیت با روش ICP-MS نیز تجزیه شده که نتایج آن در جدول ۱ آمده است (شکلهای ۵ و ۶). در مورد چگونگی و توزیع عناصر کمیاب و خاکی کمیاب در کانسنگ آهن، پژوهش های قابل توجهی در ایران و جهان انجام شده است، ولی بررسی ها در مورد توزیع این عناصر در فاز مگنتیت کانسنگ آهن، انگشت شمار بوده و بیشتر آنها نیز بر روی انواع کانی سازی ماگمایی مگنتیت – آپاتیت انجام شده است. نتایج این بررسی ها، الگوهای مشخصی را در ار تباط با انواع مدل های ژنز و شکل گیری مواد معدنی ارائه داده است. بر این اساس، دو دسته کانسنگ آهن نوع کایرونا (با وابستگی به آتشفشانیها) و کانسنگ آهن در ارتباط با فرایندهای دوتریک و توده های نفوذی رده بندی شده است (تجاه باست).

بهطور كلي، الكوي خاكهاي كمياب (Rare Earth Elements:(REE آپاتيت در این کانسارهای آهن، نشان از تمایل آنها به ماگماهای قلیایی و نیمه قلیایی و محیطهای کافتی دارد. ذوب بخشی سنگهای ژرف پوستهای به عنوان منشأ احتمالی این کانیسازی آهن در مقیاس بزرگ تلقی شده و ماگمازایی در کافتهای درونقارهای همراه با زیرراندگی پوستههای قدیمی، باعث توسعه کانیسازی آهن شده است. در کانسنگ آپاتیتی کایرونا، مقدار REE∑ بین ۲۰۰۰ ppm تا ۷۰۰۰ ، نسبت تفریق LREE/HREE ضعیف تا متوسط و بیهنجاری منفی Eu گزارش شده است. نکته دیگر این که در هر دو نوع کانسنگ غنی و فقیر از فسفر کایرونا، الگوى REE مشابه است كه اين نشان از هممنشأ بودن آنها دارد (& Frietsch Perdahl, 1995). کانیسازی آهن حوضه بافق در ایران مرکزی نیز به عنوان نوع کایرونا ردهبندی شده است (Torab & Lehmann, 2007). در مورد مگنتیتهای کانسنگ آهن باباعلی و گلالی، همان گونه که در شکل ۵ مشخص شده است، الگوی خاکهای کمیاب سبک (LREE) نسبت به خاکهای کمیاب سنگین (HREE) در کانسنگ آهن مگنتیتی غنیشدگی نشان میدهند. این ویژگی در سنگهای در برگیرنده ماده معدنی نیز صادق است و به احتمال، میتواند ناشی از ذوب بخشی کم مواد گوشتهای، ذوب محدود گوشته غنی شده و یا محصول فرایند نهایی تبلور بخشی در ماگماتیسم منطقه باشد.

بررسی ترکیب کانیشناسی و شیمی بلور کانسنگ آهن مگنتیتی گلالی توسط روش SEM-EDAX منجر به شناسایی کانی فلو گوپیت در زون اسکارن گلالی شده است. با توجه به ویژ گیهای زمین ساختی، جایگاه زمین شناسی، کانی شناسی و نوع ماده معدنی، پاراژنز اسکارن و سنگ درونگیر ماده معدنی، رده بندی جامعی از انواع کانسارهای اسکارن ارائه شده است (Meinert, 1993). شواهد کانی شناسی و حضور فراوان کانی فلو گوپیت، همراه با مگنتیت گلالی باعث تقویت نظریه اسکارن منیزیمی با منشأ اولیه آتشفشانی – رسوبی در مورد این کانسار شده است.

۷- بررسی کانه پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی

بر مبنای مطالعه بافتی در مقیاس نمونه دستی و کانهنگاری در کانسنگ آهن باباعلی، ۳ نسل پیریت از نظر دانهبندی و بافت تفکیک شد:

نسل اول پیریت بهصورت دانه ریز و فاقد شکل هندسی مشخص در بسیاری از مقاطع صیقلی مطالعه شده دیده می شود و گاهی به تنهایی، درصد قابل توجهی از سطح مقطع را به خود اختصاص می دهد. ابعاد بلورها بین ۲۰-۵ میکرون است. بیشتر این بلورها از حاشیه و اطراف دگرسان شده و به اکسید و هیدرو کسیدهای ثانویه آهن تبدیل شده اند. پیریت به صورت بافت باقیمانده و دانه ریز در داخل اکسیدهای ثانویه قرار گرفته است.

نسل دوم پیریت بهصورت بلورهای شکلدار و نیمه شکلدار با ابعاد ۳۰۰–۳۰ میکرون دیده میشود. گاه اجتماع بلورهای پیریت، لکههای درشتی با ابعاد میلیمتر تا سانتیمتر را ایجاد نموده است (شکل ۹).

نسل سوم پیریت بهصورت بلورهای درشت و با شکل هندسی نامشخص در فضاهای خالی سنگ میزبان جای گرفته است. اندازه بلورها بین ۵۰۰–۱۰ میکرون متغیر بوده و سطح آنها حفرهدار و توخالی (مجوف) است (شکل ۹). در برخی حفرات، میانبارهای کوچکی از کانههای پیروتیت و کالکوپیریت حضور دارند. گاهی بلورهای کوچک پیریت تا حدود ۲۰ میکرون به صورت شکل دار ظاهر شده و به احتمال از نوع پیریت نوریخت (Neoformed pyrite) هستند. از جمله بافتهای جالب توجه پیریت در کانسنگ آهن باباعلی، بافت لامینهای یا نواری شکل آن در تناوب با لامینههای مگنتیت است. بررسی ارتباط بین کانسنگ و سنگ دربر گیرنده در مقیاسهای مختلف رخنمون، نمونه دستی و میکروسکوپی نشان میدهد این نوع بافت همراه با دگر گونی ناحیهای، تشکیل و گسترش پیدا کرده است.

پیریت در کانسنگ گلالی نیز بهصورت بلورهای به طور کامل شکل دار تا نیمه شکل دار و با ابعاد ۱۰۰–۳۰ میکرون است که گاه اندازه در شت بلور آنها به ابعاد حدود ۶۰۰ میکرون نیز می رسد و گاهی نیز اجتماع بلورهای پیریت به صورت تجمعات با ابعاد میلی متر تا سانتی متر ایجاد کرده است. این کانی در بیشتر موارد به شکل رگچهای و درگیر با مگنتیت است (شکل ۹). پیریت بیشتر همراه با پیروتیت بوده و در حفرات و فضاهای مناسب، مگنتیت را پر کرده است. بافتهای دانه پراکنده، لامینه ای، لایه ای و شکافه پر کن از پیریت در سنگ درونگیر و کانسنگ آهن دیده می شود. بافتهای شکافه پر کن از پیریت در سنگ درونگیر و کانسنگ آهن دیده می شود. بافتهای شکافه پر کن در بخشهای مختلف این کانسار چیره است و با چشم می شود. بافتهای شکافه پر کن در بخشهای مختلف این کانسار چیره است و با چشم نیر مسلح نیز قابل مشاهده است (شکل ۹). در شکل ۹، نوعی بافت زونه در پیریت دیده می شود که در آن، دست کم سه فاز کانی سازی را می توان تفکیک نمود. در بین این مراحل نیز یک زمان آرامش نسبی بدون کانی سازی (وقفه در کانی سازی) قابل دیدن است. این نوع پیریت برای بررسی های بعدی، در صورت امکان با SEM و میکرو پروب انتخاب شده است تا تغییرات و روند این فازهای کانی سازی با دقت بیشتری مورد بررسی قرار گیرد. بر مبنای مشاهدات بافتی، کانی سازی پیریت تابع فضاهای خالی سنگ میزبان بوده و اغلب پس از کانی پیروتیت رخ داده است.

۸- شیمیبلور پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی

کانه پیریت در نمونههای جداسازی شده از دو کانسار آهن باباعلی و گلالی در تجزیههای انجامشده با روش SEM-EDAX از نظر عناصر کمیاب مانند،Ni, Cu, Co, نتج یههای انجامشده با روش SEM-EDAX از نظر عناصر کمیاب مانندادی از این نمونهها، حضور عنصر پلاتین (Pt) در شبکه پیریت است. تجزیه دقیق تر پیریت حاکی از تمرکز عنصر پلاتین از ۵/۴۵ تا ۱۰/۴۲ درصد وزنی به صورت پراکنده در شبکه این کانی است (شکلهای ۱۰، ۱۱ و ۱۲). شواهد نشان می دهد که فاز سولفیدی پیریت اولیه، در حمل و تمرکز عنصر پلاتین نقش مهمی داشته است. این موضوع ۱۳۳ یافتههای جدید کانهنگاری و شیمیبلور مگنتیت و پیریت در کانسار های آهن باباعلی و گلالی، باختر ...

المان الم

در نمونه های متعددی مورد بررسی قرار گرفته و مشخص شده است، لذا به جرأت می توان بیان داشت که نسل اولیه پیریت در کانسارهای آهن باباعلی و گلالی، دارای عنصر پلاتین است، لذا این موضوع می تواند شاهدی بر منشأ احتمالی ماگمایی و نسل اولیه این نوع پیریت باشد. دیگر نسل های پیریت ناشی از دگر گونی، دگرسانی و فعالیت های گرمابی تأخیری در این کانسارها به شمار می رود که از نظر عناصر کمیاب مورد نظر تهی شده است. نکته دیگر این که پیریت گرمابی تأخیری، حامل عنصر طلا (Au) است که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته است.

بخشی از باطله (گانگ) کانسار آهن گلالی به صورت رگه و رگچههای کلسیت- کوارتز- پیریت است که با ستبراهای مختلف در مغزههای حفاری شده دیده میشود. به منظور بررسی دقیقتر فازهای کانیایی، این نوع رگهها و بویژه نسلهای مختلف پیریت در کانسار، مطالعه شیمیبلور پیریت و تجزیه عنصری این کانی با دستگاه SEM بر روی یک نمونه از این نوع رگهها انتخاب شد. کانی پیریت این نمونه بهصورت بلورهای درشت و خودشکل در باطله کربنات- کوارتز با فراوانی بیشتر فاز کربناتی است که پیش تر مقاطع صیقلی آن تهیه و مورد مطالعه قرار گرفته است و نتایج بسیار جالبی را نیز در بر داشته است. ۶ بار تجزیه بر روی بخشهای مختلف این نمونه انجام شد. در شکل ۱۳ تجزیه نقشهای (Map analysis) انجام شده، به تفکیک، فراوانی عناصر موجود در کانی سولفیدی پیریت و باطله کربناتی-سیلیسی را نشان داده است. همان طوری که دیده می شود عنصر طلا با فراوانی متوسط ۲/۰۸ درصد وزنی در فاز سولفیدی پیریت تمرکز یافته است. این یافته در تجزیه کامل انجام شده بر روی این نمونه در شکل ۱۴ نیز به خوبی مشخص و تأیید شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که کانه سولفیدی پیریت، به عنوان حامل خوبی برای عنصر طلا در سیال های گرمابی تأخیری کانهساز در کانسار آهن گلالی عملکرد داشته است. بنابراین بررسیهای بیشتر این نوع رگههای کوارتز- کربناتی در کانسار آهن گلالی پیشنهاد میشود. مشابه این نوع از کانیسازی طلا همراه با پیریت در دنیا به طور کامل شناخته شده است (Pirajno, 1992). در این مطالعه، افزون بر طلا همراهی عنصر آنتیموان (Sb) نیز در تعدادی از تجزیهها دیده شد.

۹- نتیجهگیری

بر اساس مشاهدات صحرایی، بررسیهای کانهنگاری و تجزیههای انجام شده در این پژوهش که برای نخستین بار با روش SEM-EDAX بر روی کانسنگ آهن کانسارهای باباعلی و گلالی انجام شده است، میتوان نتایج زیر را به اختصار مطرح نمود:

- بررسی حضور برخی از عناصر کمیاب مانندNi, Cu, Co, V, Ti, Cr, PGE, Au و ناخالصیهای P و S در ترکیب کانیهای مگنتیت و پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی نشان میدهد تنها پیریت هیپوژن و نسل اولیه، دارای تمرکز جالب توجهی از عنصر پلاتین (Pt) است. دیگر نسلهای پیریت و مگنتیت از نظر این عناصر، تهی شدهاند.

- شناسایی طلا (Au) در ترکیب و شبکه کانی پیریت از جمله نتایج جالب توجه دیگر در این مطالعه است. شواهد بهدست آمده از این مطالعه، نشاندهنده این مطلب است که سیالات گرمابی تأخیری که دارای کانیسازی پیریت است، از نظر طلا نیز قابل توجه بوده و کانی پیریت، به عنوان حامل خوبی برای عنصر طلا عمل کرده و حضور طلا بهصورت آزاد در باطله کوارتز - کربناتی را امکان پذیر نموده است.

– نتایج این مطالعه، نشان از درجه خلوص بالای بیشتر نمونههای آمادهسازی شده به منظور بررسیهای ایزوتوپی دارد. تعداد محدودی از نمونهها نیز دارای ناخالصیهای کوارتز و کلسیت هستند که تمهیدات لازم در مورد بالا بردن عیار www.SID

اين نمونهها اتخاذ شد.

– بررسی ترکیب کانیشناسی و شیمیبلور تعدادی از فازهای مجهول در کانسنگ آهن گلالی نیز به شناسایی کانی فلوگوپیت در زون اسکارن منجر شده است که باعث تقویت نظریه اسکارن مگنتیتی با منشأ اولیه آتشفشانی– رسوبی در مورد این کانسار شده است.

- بهطور کلی الگوی خاکهای کمیاب سبک (LREE) نسبت به خاکهای کمیاب سنگین (HREE)، هم در کانسنگ آهن مگنتیتی و هم در سنگهای دربرگیرنده ماده معدنی، غنیشدگی نشان میدهند که میتواند محصول ذوب بخشی کم مواد گوشتهای، ذوب محدود گوشته غنیشده و یا محصول فرایند نهایی تبلور بخشی در ماگماتیسم منطقه باشد.

- بررسیهای ژئومتری و ساخت و بافت انجام شده در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی بر روی کانسنگ آهن باباعلی و گلالی، بیانگر این مطلب است که توالی پاراژنزی و کانیزایی در کانسار، شامل کانیسازی مگنتیت و نسل اولیه پیروتیت و پیریت، بهصورت همزمان با سنگ درونگیر و با سری آتشفشانی- رسوبی است. پس از آن در فازهای ثانوی، کانههای سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت و کانیهای اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی آنها در فضاهای خالی سنگ میزبان، باطله و مگنتیت کانیسازی داشته است. کانههای سولفوری مانند پیریت و پیروتیت نسبت به مگنتیت، تأخیری هستند.

بررسی و ارزیابی احتمال کانیسازی با ارزش اقتصادی پلاتین در فازهای مگنتیت و پیریت هر دو کانسار بویژه در نسلهای اولیه پیشنهاد می شود. محدوده کانسار آهن گلالی و بویژه فازهای باطله کوارتز و کلسیت همراه با کانسنگ آهن که دارای کانیسازی پیریت است، از نظر احتمال کانیسازی با ارزش اقتصادی طلا به طور جامع تر مطالعه شود. همچنین ویژگی ایزو توپی این نسل از پیریت و تفاوت آن با دیگر نسلها مورد پژوهش و مقایسه قرار گیرد.

سپاسگزاری

در این پژوهش همکاری صمیمانه خانمها صحت و زنوزی از سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور شایسته تقدیر است. همچنین از مسئولان محترم سازمان زمینشناسی و اکتشافات معدنی کشور که تسهیلات لازم برای این پژوهش را مهیا نمودهاند، تشکر و قدردانی میشود.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه و کانسارهای آهن باباعلی و گلالی





جدول ۱- نتایج تجزیه شیمی عناصر اصلی، کمیاب و خاکی کمیاب در مگنتیت پرعیار شده باباعلی (Ha) و گلالی (Ga)

Sample.No	Location	SiO ₂ %	Al ₂ O ₃ %	Fe ₂ O ₃ %	CaO%	MgO%	Na ₂ 0%	K ₂ O%	TiO ₂ %	MnO%	P ₂ O ₅ %	BaO%	L.O.I	total
LOR		0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
86-Ha-P1	Baba-Ali	7.66	0.95	85.1	4.28	0.93	0.08	0.05	0.08	0.04	0.1	0.07	0.3	99.6
86-Ha-P3	Baba-Ali	4.06	0.93	89.3	4.63	0.99	0.08	0.06	0.06	0.04	0.13	0.01	-0.89	99.4
86-Ga-P8	Galali	2.8	1.7	92.4	0.52	2.11	0.02	0.29	0.08	0.06	0.06	0.01	-0.47	99.6
86-Ga-P9	Galali	11.8	2.37	77.9	4.42	3.87	0.03	0.43	0.19	0.11	0.04	0.01	-1.67	99.5
ppm		Ag	Ba	Ce	Со	Cr	Cs	Cu	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf
LOR		1	0.5	0.5	0.5	10	0.01	5	0.05	0.03	0.03	0.1	0.05	0.2
86-Ha-P1	Baba-Ali	1	324	9.7	26.3	10	0.22	288	0.4	0.28	0.19	3.3	0.53	0.6
86-Ha-P3	Baba-Ali	1	8	12	1.5	10	0.18	258	0.28	0.19	0.11	3.3	0.45	0.2
86-Ga-P8	Galali	1	34.6	0.8	13.6	10	0.83	106	0.09	0.07	0.03	4.2	0.12	0.2
86-Ga-P9	Galali	1	39.2	6.2	14.3	10	1.25	18	0.51	0.32	0.06	4.3	0.57	1
ppm		Но	La	Lu	Мо	Nb	Nd	Ni	Pb	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr
LOR		0.01	0.5	0.01	2	0.2	0.1	5	5	0.03	0.2	0.03	1	0.1
86-Ha-P1	Baba-Ali	0.07	7.6	0.05	2	0.2	2.8	5	27	0.88	0.9	0.53	2	40.1
86-Ha-P3	Baba-Ali	0.05	7.7	0.03	2	0.2	3.3	5	5	1.1	0.9	0.42	1	15.4
86-Ga-P8	Galali	0.02	2.4	0.01	2	0.2	0.3	5	5	0.08	33	0.03	1	4.7
86-Ga-P9	Galali	0.11	4.3	0.05	2	0.7	2.4	5	5	0.67	39.5	0.47	1	43
ppm		Та	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	
LOR		0.1	0.01	0.05	0.5	0.01	0.05	5	1	0.5	0.03	5	2	
86-Ha-P1	Baba-Ali	0.1	0.07	1.45	0.5	0.04	0.47	8	1	2	0.21	48	27	
86-Ha-P3	Baba-Ali	0.1	0.07	0.83	0.5	0.02	0.3	6	1	1.7	0.18	33	10	
86-Ga-P8	Galali	0.1	0.02	0.55	0.5	0.01	0.35	8	3	0.5	0.07	110	12	
86-Ga-P9	Galali	0.1	0.12	1.15	0.5	0.05	0.59	16	3	3	0.29	85	38	



شکل ۲- اشکال مختلف کانیسازی آهن در کانسارهای باباعلی و گلالی: کانه چیره در این دو کانسار، مگنتیت است، ولی کانههای پیریت، پیروتیت، هماتیت، و کانیهای مس از قبیل کالکوپیریت، مالاکیت و آزوریت نیز به همراه آن حضور دارند. بافت نواری پیریت و مگنتیت در راستای برگذوارگی (فولیاسیون) ترجیحی کانسنگ (خط چین) دیده میشود.





شکل ۳- نمونه دستی و نمای میکروسکوپی از تناوب لامینههای کربناتی دگر گونشده و کانیسازی مگنتیت و هماتيت



شکل ۴- نماهای مختلفی از ارتباط کانیسازی مگنتیت و پیریت: مگنتیت فاز اولیه کانیسازی است.



شکل ۵- نمودار الگوی پراکندگی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب و نمودار عنکبوتی بهنجار شده با کندریت در کانسنگ آهن باباعلی (سرخ رنگ) و گلالی (آبی تیره) را نشان میدهد. الگوی خاکهای کمیاب سبک (LREE) نسبت به خاکهای کمیاب سنگین (HREE) در کانسنگ آهن مگنتیتی ، غنی شدگی نشان میدهند. www.SID.jr



شکل ۶- میزان تمرکز عناصر Cu, Co, V, Ti در کانسنگ آهن باباعلی (سرخ رنگ) و گلالى (آبى تيرە).

قدرتاله رستمي پايدار و همكاران





شکل ۷ – بلورهای مگنتیت که از کانسنگ آهن باباعلی جداسازی شده است. ۶ تجزیه از بخشهای مختلف این نمونه انجام شد. همانطوری که دیده میشود، بیش از ۹۶ درصد وزنی نمونه مورد نظر از دو عنصر Fe و O تشکیل شده است که نشان از درجه بالای خلوص کانه مگنتیت دارد.

Spectrue Peak por	n processin sably omits	ų: ed:3.671	i keV		
Process Number	ing option : of derations	Calbon b	y stoichion	oetry (Normalised)	ite porte a.
Standart O Sici Mg Mg A A2X Si SiC P GaP S Fe3S Ti Ti V V 1 Cr Cr Min Mi Fe Fe Co Co Ni Ni Zn Zn	1 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3	009 12:00 1990 12:0 1999 12:0 1999 12:00 1999 12:00 12:00 Ab 12:00 A 12:00 A 9 12:00 A 19 12:00 A 19 12:00 A 19 12:00 A 19 12:00 A	ANI D ANI AAAI AAAI AAAI AAAI AAAI AAAI AAAI		
Elem.	Weighths A	Vomic% C	tomp#% i	Formula	
OK AIK SIK PK SK VK CIK K	48.00 2.34 2.01 3.02 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	56 19 1.88 1.46 2.10 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00	63,26 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.	020	BIT + 15 DDW WD + 16 mm Bins 16 + 600 First 35 Arr 200 Hort
CoK	0.00	0.00	0.00		3
Zn K C Tofais	0.00 17.27 100.00	0.00 28.09	0.00		
San	ple no:	86- H	a- M3		Ed Son Day Concesting and the second second

شکل ۸- بلورهای با درجه خلوص (purity) بالای مگنتیت از کانسنگ آهن باباعلی جداسازی شده است. بخش چیره نمونه مورد نظر از دو عنصر Fe و O تشکیل شده است. مقداری کلسیت نیز در زمینه وجود دارد. این نمونه از نظر عناصر Ni, Co, V, Ti, Cr, P, S نیز مورد بررسی قرار گرفته است و همان گونه که دیده می شود این عناصر در فاز مگنتیت تهی شدهاند.

یافتههای جدید کانهنگاری و شیمی بلور مگنتیت و پیریت در کانسار های آهن باباعلی و گلالی، باختر ...



شکل ۹ – نماهای مختلفی از نحوه کانی سازی پیریت همراه با مگنتیت. a) کانه پیریت با چندین نسل کانی سازی در کنار مگنتیت و پیرو تیت تشکیل شده است. وجود بافت زونه در پیریت، وقفههای مابین تبلور چندفازی پیریت را نشان می دهد. بدیهی است اولین فاز در مرکز و به سمت حاشیه، فازهای کانیایی جدید را شاهد هستیم. de c) پیریت خود شکل (اتومورف) در کنار مگنتیت و پیرو تیت، ابتدا فاز مگنتیت سپس پیریت و در نهایت، پیروتیت فضاهای بین کانی را پر نموده است. d) رشد پیریت در شکستگیها و فضاهای خالی ایجاد شده در کانه پیروتیت را نشان داده است.



شکل ۱۰- فاز پیریت جداسازی شده کانسنگ آهن باباعلی که از درجه خلوص بالایی برخوردار است. همانطوریکه دیده میشود بیش از ۹۲ درصد وزنی نمونه مورد نظر از دو عنصر Fe و S تشکیل شده است. تمرکز عنصر پلاتین با ۷/۲۸ درصد وزنی بهصورت پراکنده در شبکه پیریت نشان داده شده است که هم در تجزیههای کمی و هم در تجزیه نقشهای مشخص شده است.

قدرتاله رستمي پايدار و همكاران





شکل ۱۲- بلورهای با درجه خلوص بالای پیریت از کانسنگ آهن گلالی. این تجزیه نیز نشانگر محتوای ۷/۷ % درصد عنصر پلاتین در ترکیب ساختمانی و شبکه پیریت است. بیش از ۹۲ درصد وزنی نمونه مورد نظر از دو عنصر Fe و S تشکیل شده است. ۴ تجزیه انجام شده بر روی این نمونه، مقدار ۷/۷ تا ۹/۳% درصد وزنی عنصر پلاتین در ترکیب ساختمانی و شبکه کانی پیریت را نشان داده است.

شکل ۱۱- بلور با درجه خلوص بالای پیریت از کانسنگ آهن گلالی جداسازی شده است. همان گونه که دیده می شود بیش از ۹۲ درصد وزنی نمونه مورد نظر از دو عنصر Fe و S تشکیل شده است. نکته جالب توجه دیگر در این نمونه نیز حضور عنصر پلاتین (Pt) به مقدار ۷/۷۷ % وزنی در شبکه کانی پیریت است.



شکل ۱۳- تجزیه نقشهای به تفکیک فراوانی عناصر در فاز سولفیدی پیریت و باطله کربناتی. طلا در شبکه پیریت با فراوانی قابل توجهی حضور دارد.

یافتههای جدید کانهنگاری و شیمیبلور مگنتیت و پیریت در کانسار های آهن باباعلی و گلالی، باختر ...





شکل ۱۴- تصاویر تجزیه کامل انجام شده توسط دستگاه SEM-EDAX. همانطوری که دیده می شود وجود پیک مشخص عنصر طلا (% Au: 2.08 weight) در فاز سولفیدی پیریت مشخص شده است.

کتابنگاری

اشراقی، ص.، ۱۳۸۰- نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰ تو یسر کان، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

رستمی پایدار، ق.، ۱۳۸۸– زمینشناسی، ژئوشیمی و خاستگاه کانیسازی آهن در کانسارهای باباعلی و گلالی با نگرشی بر مطالعات ایزوتوپی، رساله دوره دکتری گروه زمینشناسی اقتصادی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران.

شركت مهندسين مشاور زريابان اكتشاف، ١٣٧٩- طرح اجمالي اكتشاف سنگ آهن شمال غرب ايران. گزارش داخلي شركت فولاد صبانور.

محجل، م. و ایزدی کیان، ل.، ۱۳۸۶- چین خوردگی های چندمر حلهای و سازو کار تشکیل آنها در تکتونیت های موجود در ساختار گنبدی منطقه آلمابولاق، باختر همدان، فصلنامه علوم زمین، شماره ۶۶ صفحه ۱۱۶ تا ۱۳۳۲.

References

Barud, J., 1975- Geological map of the Kermanshah Quadrangle, 1:250000, Published by Geological Survey of Iran, Tehran, Iran.

- Champness, P. E., Cliff, G. and Lorimer, G. W., 1982- Quantitative analytical electron microscopy of metals and minerals. J. Microsc., 108, 231-49.
- Frietsch, R. and Perdahl, J. A., 1995- Rare earth elements in apatite and magnetite in Kiruna-type iron ores and some other iron ore types, Ore Geology Reviews, v. 9, p. 489-510.
- Goldstein, J. and Newbury, D. E., 2003- Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis, Third Edition, Plenum Press, 358p.
- Hall, M.G., Lloyd, G.E., 1981- The SEM examination of geological samples with a semiconductor back-scattered electron detector, Am. Mineral, v. 66, p. 362-368.

Hobart, H. and Willard, H., 1998- Instrumental methods of analysis. Wadsworth Inc., Seventh edition.

- Lloyd, G. E. and Hall, M. G., 1981- Application of scanning electron microscopy to the study of deformed rocks. Tectonophysics, v. 78, p. 687-698.
- Meinert, L. D., 1993- Skarns and skarn deposits, in Ore deposit models, Volume II: Geoscience Canada, reprint series 6, p. 117-134.

Passchier, C. W. and Trouw, R.A.J., 2005- Microtectonics, special techniques, Scanning Electron Microscope, Springer, 288p.

- Pirajno, F., 1992- Hydrothermal mineral deposits, Springer-Verlag, 709p.
- Reed, S. J. B., 1996- Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology, Cambridge Univ Press., 201p.
- Torab, F. M. and Lehmann, B., 2007- Magnetite-apatite deposits of the Bafq district, Central Iran: apatite geochemistry and monazite geochronology, Mineralogical Magazine, v. 71, no. 3, p. 347-363.
- Zamanian, H., Yousefi, B. and Alavi, S. A., 2007- Mineralogical and geochemical skarn zoning across the Baba-Ali deposit, western Iran, Geoscience Scientific Quarterly Journal, vol. 16, No. 62, p. 194-203.
- Zheng, J. G., 2006- Electron microscopy: TEM and SEM, in Materials Science & Engineering Congress, EPIC/NUANCE Center, USA.