



کاربردهای روش میکروسکوپ الکترونی روبشی در مطالعه‌ی کانسنگ آهن باباعلی و گلالی، باختر همدان

قدرت الله رستمی پایدار^{۱*}، ممد لطفی^۲، مجید قادری^۳، منصور وثوق عابدینی^۴ و آزاده امیری^۵

(۱) گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران

(۲) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

(۳) گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس

(۴) گروه زمین‌شناسی، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

(۵) گروه جغرافیا، دانشگاه آزاد اسلامی اهواز

* عهده‌دار مکاتبات

چکیده

کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در باختر همدان و در زون ساختمانی سنندج- سیرجان قرار دارند. تعداد ۵۷ نقطه‌ی آنالیز، انجام شده بر روی کانسنگ آهن منیبتی این دو کانسار به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی، در راستای شناخت بهتر ترکیب کانی‌شناسی و کریستال- شیمی کانسنگ نتایج جالب توجهی را در بر داشته است. در این راستا با بررسی میزان تمرکز برخی از عناصر کمیاب نظیر وانادیم، کبالت، نیکل، مس، کروم، تیتان، طلا و عناصر گروه پلاتین و برخی ناخالصی‌های سولفور و فسفر در کانسنگ مشخص شد که تنها بخشی از پیریت‌های اولیه دارای تمرکزهای جالب توجهی از عنصر پلاتین هستند. به نظر می‌رسد سایر نسل‌های پیریت و منیبتیت از نظر عناصر کمیاب مذکور تهی شده‌اند. سیالات هیدروترمال تاخیری که باعث کانی‌سازی پیریت در گانگ کلسیت- کوارتز می‌شوند، از نظر طلا نیز با اهمیت بوده و کانی پیریت به‌عنوان حامل خوبی برای عنصر طلا عمل کرده است. شناسایی مقادیر قابل توجهی از کانی فلوگوپیت و الگوی تمرکز عناصر کمیاب در کانسنگ آهن گلالی، نظریه‌ی اسکارن نوع منیزیم ولکانوژن را قوت داده است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌شناسی، کریستال- شیمی، عناصر کمیاب، عناصر گروه پلاتین، پیریت

Applications of SEM-EDAX method in study of Baba-Ali & Galali iron ore, west of Hamedan

Gh. Rostami Paydar^{1*}, M. Lotfi², M. Ghaderi³, M. Vossoughi-Abedini⁴ & A. Amiri⁵

1) Department of Geology, Islamic Azad University, Science & Research Branch, Tehran, I. R. Iran

2) Department of Geology, Islamic Azad University, North Tehran Branch, Tehran, I. R. Iran

3) Department of Economic Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, I. R. Iran

4) Faculty of Earth Science, Shahid Beheshti University, Tehran, I. R. Iran

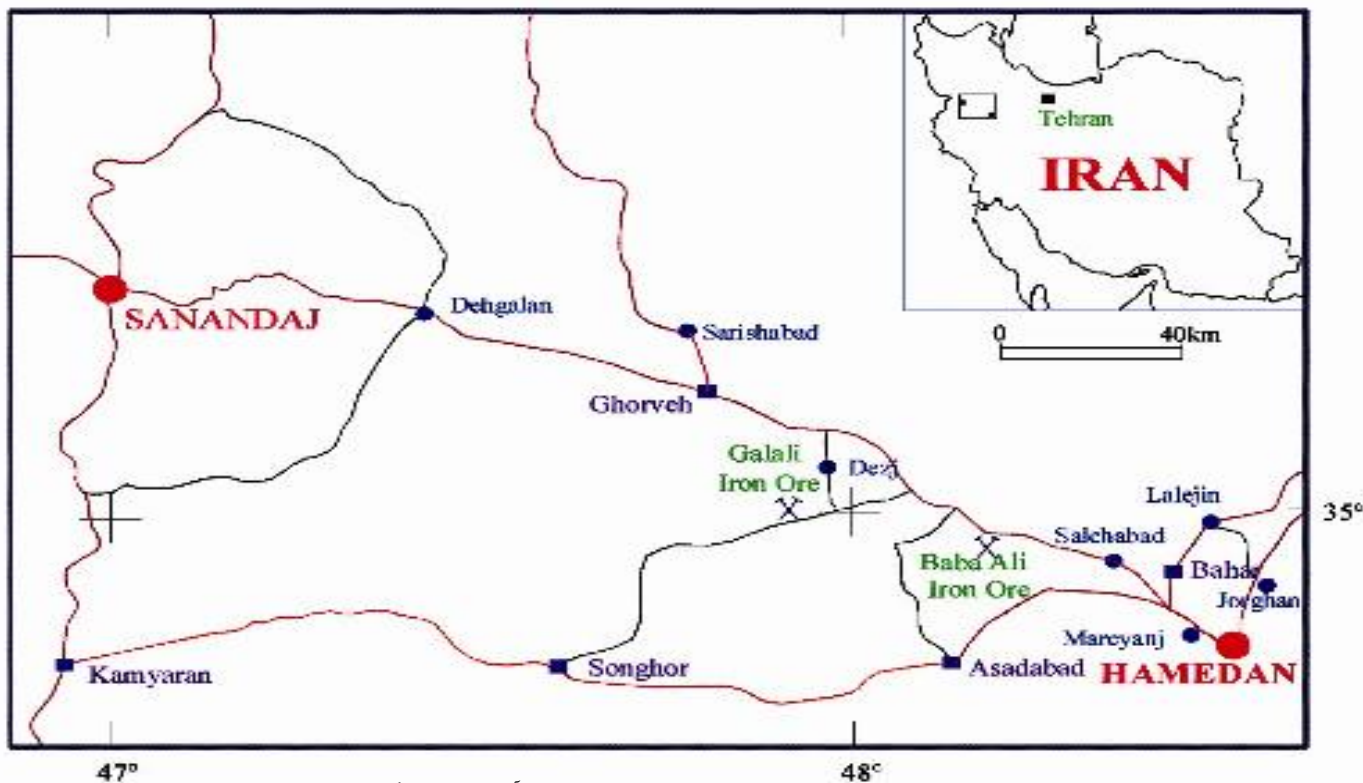
5) Department of Geography, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, I. R. Iran

*Correspondence Author

Abstract

Baba-Ali and Galali iron deposits are located west of Hamadan, within the Sanandaj-Sirjan geo-structural zone. Mineralogy and crystal-chemistry of the ore bodies using 57 analyses on the magnetite iron ore by SEM-EDAX method lead to some interesting results. Detecting the concentration of some trace elements such as V, Co, Ni, Cu, Cr, Ti, Au, PGE (Platinum Group Elements) and some impurities of S and P in the ore bodies indicates that only primary pyrites have concentrations of Pt. Other generations of pyrite and magnetite are depleted in these trace elements. The late stage of hydrothermal fluids that leads to mineralization of pyrite in calcite-quartz veins is important for Au mineralization and therefore pyrite is the best carrier for Au. Detection of abundant phlogopite crystals and trace element concentration patterns in the Galali iron ore has strengthened the acceptance of volcanogenic magnesium skarn type hypothesis.

Key words: mineralogy, crystal-chemistry, trace elements, Platinum Group Elements, pyrite



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

۱- مقدمه

به‌طور کلی شناخت هرچه بیشتر کانسنگ ماده معدنی و مشخص شدن تاریخچه‌ی ژنتیک آن، علاوه بر طراحی بهینه‌ی شبکه‌ی استخراجی و جلوگیری از اتلاف سرمایه، در بالاتر بردن ارزش افزوده‌ی محصولات فرآوری شده‌ی معدنی نیز نقش به‌سزایی دارد. کانسارهای آهن باباعلی و گلالی در بخش باختر و شمال باختری همدان و در شمال باختری پهنه‌ی ساختاری سنندج- سیرجان واقع شده‌اند. موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به دو کانسار آهن باباعلی و گلالی در تصویر ۱ نشان داده شده است. ویژگی زمین‌شناسی و نوع ماده معدنی، ارتباط بین سنگ درونگیر و کانسنگ آهن و نهایتاً نحوه‌ی کانی‌سازی آهن در این دو محدوده توسط شرکت مهندسی مشاور زریابان اکتشاف (۱۳۷۹) و رستمی پایدار (رستمی پایدار، ۱۳۸۸) به‌طور مفصل و جامع مورد بحث قرار گرفته است. این پژوهش که برای اولین بار بر روی کانسنگ آهن منیبتی دو کانسار انجام شده، ضمن بررسی دقیق مینرالوژی فازهای مجهول در مطالعات مینرالوگرافی، درجه‌ی خلوص (Purity) و نیز ناخالصی کانی‌های جداسازی شده، جهت مطالعات ایزوتوپی آتی مورد توجه قرار گرفتند. در نهایت مقادیر عناصر کمیاب خاص در شبکه‌ی کانی‌های کانسنگ آهن تعیین شدند. آنالیزهای مذکور توسط یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با قابلیت آنالیز توسط طیف اشعه ایکس (SEM-EDAX: Scanning Electron Microscope-Electron

(Dispersive, X-ray Analysis) انجام گرفتند. در این راستا تعداد ۱۷ نمونه کانسنگ آهن از کانسارهای باباعلی و گلالی آماده‌سازی و با این روش مطالعه شدند. در این مقاله ضمن اشاره به کاربردهای دستگاه، به مهمترین نتایج به‌دست آمده از این پژوهش پرداخته می‌شود.

۲- نگاهی به تاریخچه‌ی مطالعات اکتشافی و زمین‌شناسی

محدوده‌ی کانسارهای آهن باباعلی و گلالی

در سال‌های گذشته عملیات اکتشافی در مراحل مختلف بر روی این دو کانسار انجام شده است (گزارش شرکت مهندسی مشاور زریابان اکتشاف ۱۳۷۹). در حال حاضر شرکت تأمین مواد اولیه فولاد صبا نور به‌عنوان بهره‌بردار، از دو کانسار آهن باباعلی و گلالی فعالیت دارد. آخرین فعالیت‌های اکتشافی انجام شده بر روی این دو کانسار آهن توسط شرکت مهندسی مشاور زریابان اکتشاف و شرکت مهندسی حفاری و اکتشاف مواد معدنی انجام شده است. هم‌اکنون نیز استخراج از کانسارهای باباعلی و گلالی به روش روباز و پلکانی در حال انجام است.

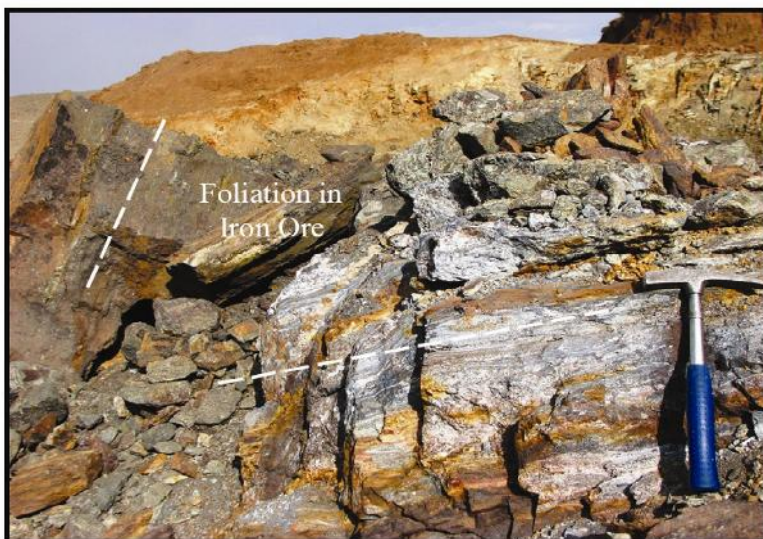
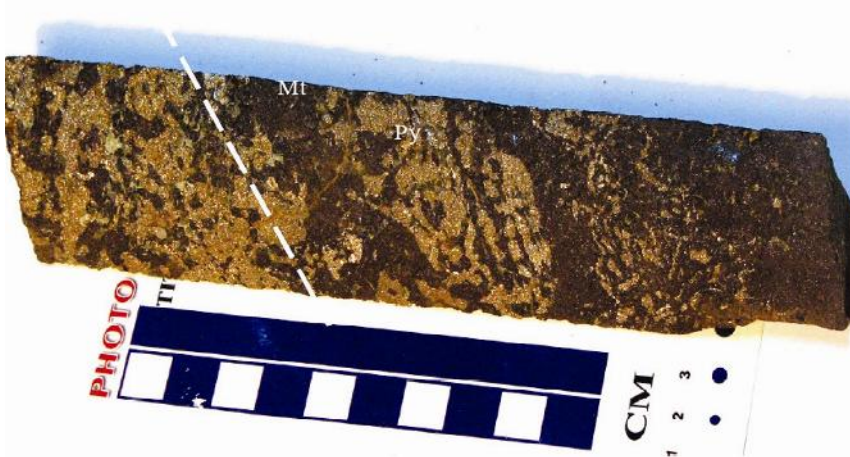
کانی‌سازی آهن در دو منطقه باباعلی و گلالی در بین سنگ‌های ولکانیک- رسوبی سری سنقر با سن پرموتریاس انجام شده است. ترکیب سنگ‌شناسی این سری در منطقه، شامل سنگ‌های آتشفشانی اسیدی تا حد واسط دگرگون شده، بیشتر به‌صورت گدازه و توف

زمین‌ساختی باعث دگرشکلی و گاه دگرگونی منطقه و کانسنگ آهن شده است. سایر واحدهای سنگ-چینه‌ای رخنمون‌دار در منطقه به ترتیب شامل فیلیت‌های همدان (لیاس)، سکانس کربناته-آواری پرفسیل الیگومیوسن و نهشته‌های جوان کواترنر هستند. و کانی‌های مس از قبیل کالکوپیریت، ملاکیت و آزوریت نیز به همراه منیتیت حضور دارند. توسعه‌ی فولیاسیون و بافت نواری شکل منیتیت و پیریت و دیگر کانی‌های کانسنگ حکایت از تحمل حداقل یک فاز دگرگونی ناحیه‌ای توسط کانسنگ آهن دارد.

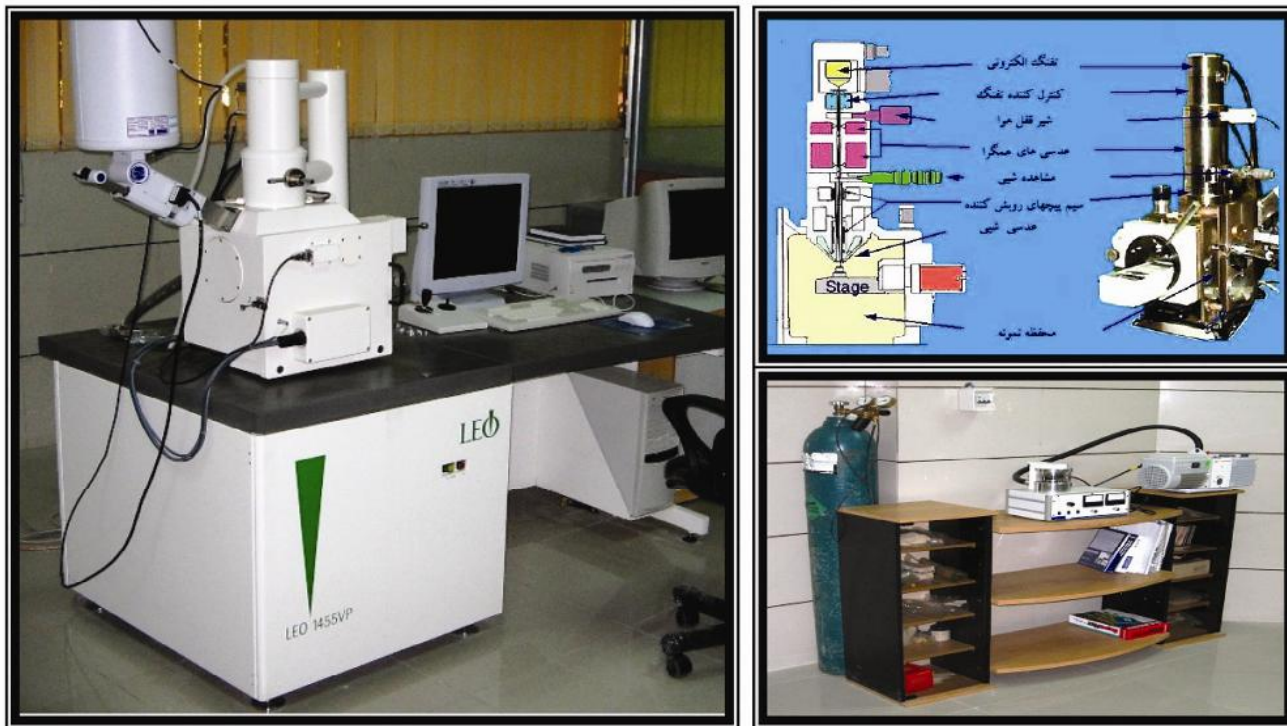
۳- کاربردهای میکروسکوپ الکترونی (روشی-EDAX) (Scanning Electron Microscope مورد استفاده در این پژوهش

در راستای بررسی ویژگی‌های مواد معدنی، امروزه روش‌های

ریولیتی، همراه با میان لایه‌های کربناتی و گاه رسوبات ماسه‌سنگ توفی دگرگون شده است. جایگیری توده‌های نفوذی و ساب و لکانیک با ترکیب گابرو-دیوریت، کوارتز مونوزودیوریت، گرانودیوریت، سینیت، سینوگرانیت و گرانیت در این توالی سنگی در حین فعالیت‌های مطالعات ژئومتری، ساخت و بافت انجام شده در مقیاس رخنمون، نمونه‌ی دستی و میکروسکوپی بر روی کانسنگ آهن باباعلی و گلالی بیانگر این مطلب است که توالی پاراژنزی و کانی‌زایی در کانسار شامل کانی‌سازی منیتیت و نسل‌هایی از پیروتیت و پیریت به صورت فاز اولیه و همزمان با سنگ اولیه است. پس از آن در فازهای بعدی کانی‌های سولفیدی چون پیریت و کالکوپیریت و کانی‌های اکسیدی و کربناتی ناشی از هوازدگی آن‌ها در فضاهای خالی سنگ میزبان و در بین گانگ و منیتیت کانی‌سازی انجام شده است. کانی‌های سولفوری نظیر پیریت و پیروتیت نسبت به منیتیت تاخیری هستند (رستمی پایدار، ۱۳۸۸). کانه‌ی غالب در این کانسار منیتیت است، ولی کانه‌های هماتیت، پیریت



تصویر ۲- نماهایی از کانسنگ و کانی‌های کانسار آهن باباعلی



تصویر ۳- نمایی از دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل Leo 1455 VP (با قابلیت آنالیز توسط طیف اشعه ایکس) همراه با ساختار داخلی، اصول و سیستم آماده سازی نمونه (Ag-Coating) مورد استفاده در این پژوهش را نشان می‌دهند.

ابزارهای پژوهشی در زمینه‌های مواد معدنی و کانی‌ها، متالورژی، علوم زیستی، پزشکی، دندانپزشکی، علوم گیاهی و جانوری، فیزیک و نانوتکنولوژی است (Hobart et al. 1988, Connor et al. 2003). در این پژوهش با عنایت به قابلیت‌های مناسب این دستگاه علاوه بر تهیه تصاویر الکترونی‌های بازتابی (Back-Scattered Electron Image) مواردی از کانی‌ها و فازهای مجهول تحت آنالیز عنصری خاص قرار گرفته و در مواردی آنالیز نقشه‌ای (Map image) (analysis) از فازهای کانیایی انجام شده است (تصویر ۷). در این نوع آنالیز پراکندگی و میزان عناصر مورد نظر هم به صورت مجزا و تفکیک شده و هم بر روی تصویر محدوده‌ی مورد آنالیز با رنگ‌های مشخصی پیاده شده است. حد تشخیص (Detection Limit) دستگاه، ۰/۰۲ درصد وزنی در محدوده‌ی مورد آنالیز است.

برخی از کاربردهای این میکروسکوپ در مطالعه‌ی نمونه‌های زمین‌شناسی و سنگ‌های دگرشکل شده در مقالات محققینی چون لوید و هال (Lloyd & Hall 1981) و پشی‌یر و ترو (Passchier & Trouw 2005) نشان داده شده است. آنالیزهای کمی این دستگاه در مورد برخی از کانی‌های غیرفلزی و فلزی در مقاله‌ای از چاپمن و همکاران (Champness et al. 1982) منتشر شده است.

میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی (SEM) مورد استفاده در این پژوهش با دارا بودن ۳ نوع آشکارساز الکترونی‌های ثانویه

دستگاهی متنوعی مورد استفاده قرار می‌گیرند. میکروسکوپ‌های الکترونی از سال ۱۹۵۰ به‌طور وسیعی در مطالعه‌ی نمونه‌ها و ریزساختارهای مختلف از جمله نمونه‌های زمین‌شناسی و معدنی به‌کار گرفته می‌شوند و امروزه انواع چند منظوره‌ی آن به‌سرعت در حال توسعه هستند (Hobart et al. 1988, Brian & Witherspoon 2006). طراحی و پیشرفت میکروسکوپ‌های الکترونی بر دو مبنای علمی کشف و پایه‌گذاری شده است که شامل فرضیه‌ی موجی بودن ذرات در سال ۱۹۲۴ و امکان تمرکز الکترون‌ها در میدان‌های مغناطیسی و الکتریکی در سال ۱۹۲۶ است. بررسی آرایش اتمی کانی‌های کانسنگ به‌همراه آنالیز موضعی و انتخابی آن، اطلاعات ارزشمندی را در راستای درک کامل خواص و رفتار آن در مراحل مختلف طراحی و بهینه‌سازی استخراج و پیش‌بینی خواص آن فراهم می‌کند (Zheng 2006, Goldstein & Newbury 2003, Reed 1996).

میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش سیستم چند کاره‌ای است که قادر به کار در حالت‌های خلاء بالا و پایین برای تصویربرداری و تجزیه‌ی کیفی و کمی با استفاده از طیف اشعه $x-X$ (ray) جهت آزمون‌های حساس می‌باشد (تصویر ۳). دستگاه مذکور ساخت کشور آلمان در سال ۲۰۰۰ میلادی است. بخش طیف اشعه ایکس دستگاه نامبرده، ساخت آکسفورد انگلستان است و دارای بزرگنمایی تا ۳۰۰۰۰۰ برابر می‌باشد. این دستگاه یکی از کاربردی‌ترین

مغناطیسی (Magnetic separator) نمونه در چندین مرحله پر عیار شده است. نهایتاً نمونه‌های آماده‌سازی شده جهت حصول اطمینان از میزان خلوص (Purity) آن توسط دستگاه میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی مورد کنترل و بررسی قرار می‌گیرد و آنالیزهای فراوانی از بخش‌های مختلف هر نمونه انجام می‌شود. این فرایند در مورد تمامی نمونه‌های ارسالی به آزمایشگاه تحقیقات ایزوتوپی دانشگاه کوینز کانادا انجام شده است.

برای مشاهده، تصویربرداری و آنالیز بهینه از نمونه‌های کانی پیریت و منیتیت پودر شده و در راستای به حداقل رساندن چسبندگی آن‌ها، می‌بایست آن‌ها را در حمام التراسونیک قرار داد، تا در زمان تصویربرداری دانه‌ها تفکیک شده باشند. بعد از خارج کردن نمونه‌ها می‌بایست نمونه‌ها را بر روی فوم آلومینیم ریخت تا خشک شوند. نمونه‌ها می‌بایست در محلی قرار داد تا از هرگونه آلودگی و گرد و خاک بر روی سطح نمونه جلوگیری شود. در آخرین مرحله آماده‌سازی و قبل از مطالعه‌ی نمونه‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی، تمامی نمونه‌ها توسط یک لایه‌ی نازک از عنصر نقره (Ag-Coated) پوشش داده می‌شوند (تصویر ۳). لذا در آنالیزهای انجام شده مقادیر نقره در آنالیز نمونه‌ها همواره حذف می‌شود. علت هادی کردن نمونه‌ها به این دلیل است که نمونه‌های عایق پرتوهای الکترونی که به سمت آن‌ها برخورد می‌کنند را جذب کرده و میزان بازتاب را کاهش می‌دهند و لذا تصویری که از نمونه گرفته می‌شود وضوح کمی دارد. لازم به ذکر است که تصویر در میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی توسط الکترون‌های ثانویه و بازایافت شده ایجاد می‌شود و الکترون‌های اضافی توسط ازت به زمین منتقل می‌شوند.

۵- مشخصات و نتیجه‌ی مطالعه‌ی نمونه‌ها با سیستم

میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی

در این پژوهش تعداد ۱۷ نمونه شامل ۱۱ نمونه کانی جداسازی شده‌ی منیتیت و پیریت همراه با ۵ مقطع صیقلی و یک نمونه تک کانی جداسازی شده از کانسنگ دو کانسار آهن باباعلی و گلالی مورد مطالعه قرار گرفتند (رستمی پایدار، ۱۳۸۸). در محدوده‌ی کانسارهای آهن باباعلی و گلالی ۲ توده‌ی آهن دارای برونزد قابل توجهی هستند که با توده‌های آهن باباعلی ۱ و ۲ و نیز توده‌های آهن گلالی ۱ و ۲ مشخص می‌شوند (جدول ۱). در نهایت تعداد ۵۷ نقطه از کانسنگ دو کانسار به روش میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی مورد مطالعه و آنالیز واقع شدند. حتی الامکان سعی شده است تا از محدوده‌های مورد آنالیز تصویربرداری انجام گیرد. در این بخش با توصیف تعداد ۱۱

(Secondary Electrons)، الکترون‌های بازایافتی (Backscattered electrons) و طیف اشعه‌ی ایکس (X-Ray)، به لحاظ کاربردی قادر است اطلاعات ذیل را در مورد نمونه‌های مورد بررسی در اختیار بگذارد:

الکترون‌های ثانویه را دریافت می‌کند، ویژگی مورفولوژی نظیر شکل، اندازه، نظم ذرات سازنده‌ی سطح کانی و بافت کانی‌های کانسنگ و همچنین ارتباط مستقیم میان این ویژگی‌ها و خواص سختی و بازتاب‌پذیری کانی را شامل می‌شود. این نوع اطلاعات می‌تواند در فاز کانه‌آرایی کانسنگ موثر واقع گردد.

اطلاعات کریستالوگرافی: با استفاده از آشکارسازی که الکترون‌های بازایافت شده را دریافت می‌کند، می‌توان ترکیب و ترتیب قرارگرفتن اتم‌ها در کانی‌های کانسنگ و میزان نظم آن‌ها را مشخص کرد.

ترکیب کریستال-شیمی: آشکارسازی که اشعه‌ی ایکس گسیل‌شده را دریافت می‌کند، تعیین شیمی کانی‌های موجود در کانسنگ آهن، بررسی شبکه‌ی کانی‌ها و عناصر درگیر در آن و مقادیر نسبی آن‌ها که در ادامه به صورت‌های مختلف نقشه‌ی آنالیز عنصری، گراف‌های پیک فراوانی عناصر و مقادیر عددی عناصر تشکیل دهنده‌ی کانی‌های کانسنگ گزارش شده است.

۴- آماده‌سازی نمونه‌ها

یکی از مزیت‌های مهم مطالعه‌ی نمونه‌های کانسنگ آهن توسط این دستگاه، تهیه‌ی سریع نمونه و امکان مشاهده‌ی نمونه‌های بزرگ بدون نیاز به تهیه‌ی برش‌های نازک است. نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش به دو صورت از کانسنگ آهن باباعلی و گلالی تهیه شده‌اند. بخش اول نمونه‌ها شامل مقاطع صیقلی است که مشخصات مینرالوگرافی آن‌ها مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در بخش‌هایی از این نمونه‌ها کانی‌های پیریت و منیتیت و نیز یک‌سری فازهای فلزی مجهول، مشخص و علامت‌گذاری شده‌اند تا در این مرحله روی آن‌ها مطالعات دقیق‌تری انجام گیرد. بخش دوم نمونه‌های مورد مطالعه شامل کریستال‌های جداسازی شده‌ی پیریت و منیتیت از کانسنگ است که جهت مطالعه‌ی آتی ایزوتوپی‌های پایدار در نظر گرفته شده‌اند. با عنایت به این‌که درجه‌ی خلوص فاز سولفیدی و اکسیدی جداسازی شده، جهت مطالعات ایزوتوپی از اهمیت خاصی برخوردارند و نتایج آنالیزهای ایزوتوپی به‌دقت در آماده‌سازی نمونه‌ها وابستگی زیادی نشان می‌دهند، لذا به این منظور نمونه‌های کانسنگ انتخاب شده، در ابتدا خرد شده و این کار تا رسیدن به درجه‌ی آزادی فاز سولفیدی ادامه پیدا می‌کند. سپس با استفاده از مایعات سنگین و جداکننده‌ی

این نمونه حاکی از آن است که ترکیب میکای مذکور از نوع فلوگوپیت (میکای آهن و منیزیم Fe-Mg) دار است. این یافته در تصویر ۶ در جدول آنالیز عنصری و در پیک‌های آنالیز با مقدار درصد وزنی بالای عنصر منیزیم (Mg) برابر با ۷/۵۶ درصد وزنی به اثبات رسید. این موضوع بیانگر این واقعیت است که محلول‌های مسئول کانه‌سازی آهن در کانسار آهن گلالی از نظر عنصر منیزیم غنی بوده‌اند و شناسایی این ترکیب پاراژنزی می‌تواند به رده‌بندی کانسار آهن گلالی و نسبت دادن ویژگی‌های شاخص این کانسار در برابر تیپ‌های معروف جهانی کمک شایانی نماید (رستمی پایدار ۱۳۸۷). ماینرت (1993 Meinert)، انواع کانی‌سازی‌های نوع اسکارن آهن (منیزیم اسکارن-کلسیم اسکارن) را بیان کرده است. لازم به ذکر است که در مطالعات قبلی انجام شده توسط زمانیان در سال ۲۰۰۷، کانسار آهن گلالی به‌عنوان تیپ اسکارن نوع کلسیم-منیزیم معرفی شده است (Zamanian 2007).

نکته دیگری که در تصویر ۵ مشخص می‌باشد آنکلوزیون‌هایی با حاشیه‌ی ظاهراً سوخته و تاریک است. نتایج آنالیزهای انجام شده گویای این واقعیت است که ترکیب شیمی این آنکلوزیون‌ها نیز کاملاً با ترکیب زمینه‌ی فلوگوپیت منطبق بوده و پدیده‌ی مذکور احتمالاً ناشی از بر جای ماندن بخش‌هایی از یک سطح کریستالی میکا بر روی سطح مجاور در حین جدایش فیزیکی کانی دارد و این اختلاف تراز توپوگرافی، در سطح کریستال‌های فلوگوپیت باعث ظاهر تاریک‌تر این بخش نسبت به قطعات بر جای مانده و کانی زمینه دارد.

۵-۲- نمونه‌ی شماره‌ی 86- Ga- 58

این نمونه از مغزه‌های حفاری کانسار آهن گلالی برداشت شد. کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی اصلی این نمونه کلسیت-کوارتز-پیریت هستند که در واقع بخشی از گانگ کانسار آهن گلالی یا باطله‌ی ماده معدنی را تشکیل می‌دهند که به‌صورت رگه‌ها و رگچه‌های با ضخامت‌های مختلف در مغزه‌های حفاری شده مشاهده می‌گردند. جهت بررسی دقیق‌تر فازهای کانیایی این نوع رگه‌ها مطالعه با دستگاه میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی بر روی یک نمونه از این تیپ رگه‌ها انجام شد. در مقطع صیقلی، کانی پیریت به‌صورت کریستال‌های درشت و اتومورف در گانگ کربنات-کوارتز با فراوانی بیشتر فاز کربناته دیده می‌شود. بررسی کریستال شیمی پیریت و آنالیز عنصری این کانی از جمله هدف‌های اصلی مطالعه بوده است که نتایج بسیار جالبی را نیز در برداشته است. تعداد ۶ آنالیز بر روی بخش‌های مختلف این نمونه انجام گرفت. در تصویر ۷ آنالیز نقشه‌ای (Map analysis) انجام شده به تفکیک فراوانی عناصر موجود در کانی سولفیدی پیریت و گانگ کربناتی-سیلیسی منجر شد. عنصر طلا (Au) با فراوانی ۲/۰۸ درصد وزنی در فاز سولفیدی پیریت تمرکز

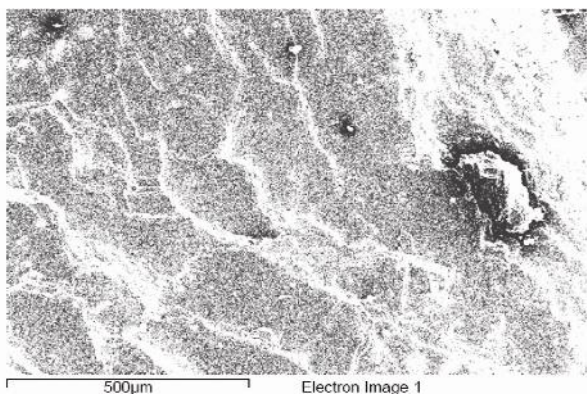
نمونه‌ی انتخابی، به برخی از نتایج مهم به‌دست آمده از این مطالعه اشاره می‌شود (جدول ۱)، لذا جهت اطلاعات بیشتر به پژوهش انجام شده توسط رستمی پایدار (رستمی پایدار، ۱۳۸۸) رجوع گردد.

جدول ۱- مشخصات تعدادی از نمونه‌های کانسنگ آهن گلالی و باباعلی که برای مطالعه با دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نظر گرفته شده‌اند.

شماره‌ی نمونه	محل نمونه‌برداری	توصیف نمونه
86-Ga-Mis	کانسنگ آهن گلالی ۱	کریستال‌های فلوگوپیت زون اسکارن
86- Ga- 58	کانسنگ آهن گلالی ۱	رگه‌های کوارتز-کلسیت محتوی کریستال‌های پیریت
86- Ha- 74	کانسنگ آهن باباعلی ۲	کانسنگ آهن همراه با کانی‌های گانگ
86-Ha-P1	کانسنگ آهن باباعلی ۱	کریستال‌های پیریت جداسازی شده از کانسنگ آهن
86-Ha-M3	کانسنگ آهن باباعلی ۱	کریستال‌های منیتیت جداسازی شده از مغزه‌های حفاری‌شده‌ی کانسنگ آهن
86-Ha-P5	کانسنگ آهن باباعلی ۲	کریستال‌های پیریت جداسازی شده از مغزه‌های حفاری‌شده‌ی کانسنگ آهن
86-Ha-M7	کانسنگ آهن باباعلی ۱	کریستال‌های منیتیت جداسازی شده از کانسنگ آهن
86-Ga-M9	کانسنگ آهن گلالی ۱	کریستال‌های منیتیت جداسازی شده از کانسنگ آهن
86-Ga-M11	کانسنگ آهن گلالی ۱	کریستال‌های منیتیت جداسازی شده از مغزه‌های حفاری‌شده‌ی کانسنگ آهن
86-Ga-P11	کانسنگ آهن گلالی ۱	کریستال‌های پیریت جداسازی شده از مغزه‌های حفاری‌شده‌ی کانسنگ آهن
86-Ga-P20	کانسنگ آهن گلالی ۱	کریستال‌های پیریت جداسازی شده از کانسنگ آهن

۵-۱- نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ga- Mis

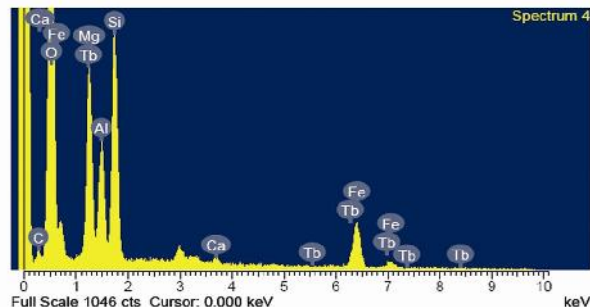
در کانسنگ آهن گلالی از آلتراسیون کانی‌های زون هیپوزن اولیته یعنی منیتیت و پیریت، کانی‌های ثانوی آهن از قبیل هماتیت، لیمونیت و گوتیت تشکیل شده است. ضمن بررسی ساخت و بافت ماده‌ی معدنی در کانسار آهن گلالی و مطالعه‌ی نمونه‌های دستی و مغزه‌های حفاری کانسنگ آهن گلالی به مقدار قابل توجهی میکای به‌رنگ سبز تیره متمایل به قهوه‌ای به‌صورت همراه و پاراژنز با کانه‌ی منیتیت شناسایی شد (تصویر ۴). جهت مشخص نمودن ترکیب دقیق کانی‌شناسی آن در کانسنگ آهن گلالی این نمونه پس از جداسازی مورد آنالیز قرار گرفت. تعداد ۵ بار آنالیز بر روی بخش‌های مختلف



Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 2.980 keV
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Tb TbF3 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
O K	55.40	57.66	76.19	O2C
Mg K	7.58	5.19	0.00	
Al K	3.89	2.40	0.00	
Si K	7.48	4.44	0.00	
Ca K	0.20	0.08	0.00	
Fe K	4.66	1.39	0.00	
Tb L	0.00	0.00	0.00	
C	20.79	28.83		
Totals	100.00			



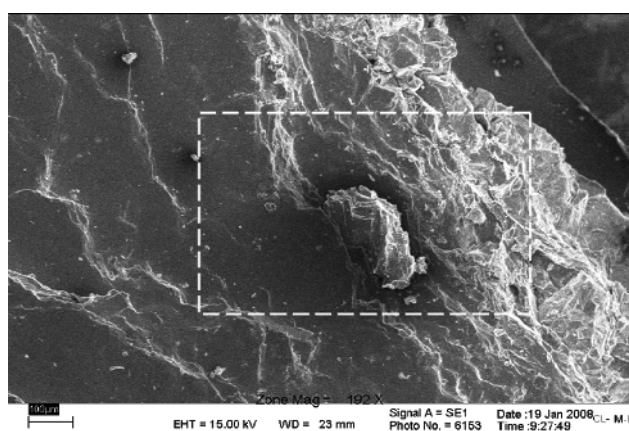
تصویر ۶- نتایج آنالیز در نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ga-Mis، با توجه به نتایج بدست آمده کانی میکای نوع فلوگوپیت (میکای با مقادیر آهن و منیزیم بالا) شناسایی شد.

۵-۴- نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ha-M3

این نمونه از کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای منیتیت از کانسنگ آهن منیتیتی باباعلی جداسازی شد. آنالیز کامل انجام شده بر روی نمونه در تصویر ۱۰ نشان داده شده است. بخش غالب نمونه‌ی مورد نظر از دو عنصر آهن و اکسیژن تشکیل شده است. مقدار کمی کلس و ونه از نظر عناصر کمیاب نیکل، کبالت، وانادیم، تیتانیم، کروم (Ni, Co, V, Ti, Cr) و ناخالصی‌های مزاحم گوگرد و فسفر (P, S) نیز مورد بررسی قرار گرفت و ملاحظه گردید که این عناصر در فاز منیتیت تهی شده‌اند (تصویر ۱۰).



تصویر ۴- نمونه‌ی دستی از کانسنگ آهن گلالی که در آن فنوکریستال‌های میکای سبز تیره در زمینه کانسنگ منیتیتی مشاهده می‌شوند.

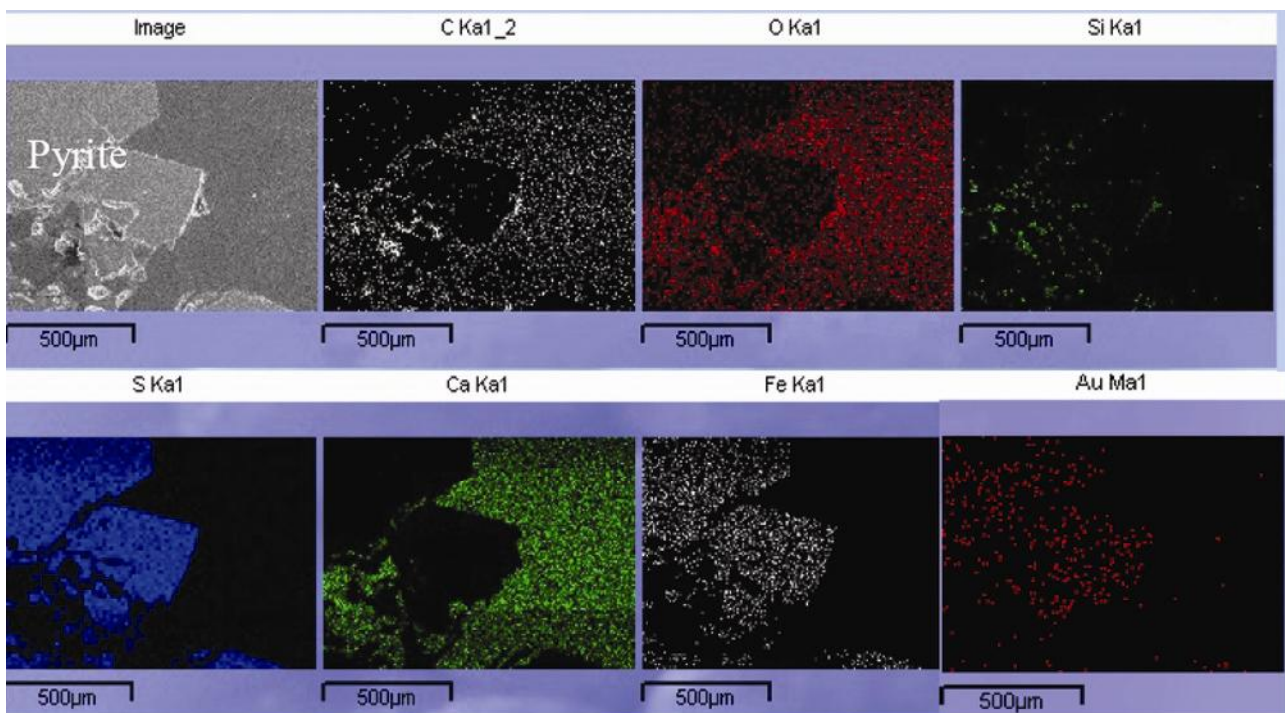


تصویر ۵- تصویر پس تابش الکترونی (Back-scattered electron image) کریستال‌های میکا در کانسنگ آهن منیتیتی گلالی

یافته است. این یافته در آنالیز کامل انجام شده بر روی این نمونه در تصویر ۷ و ۸ نیز به خوبی مشخص و تایید می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کانی سولفیدی پیریت به عنوان حامل خوبی برای عنصر طلا در سیالات هیدروترمال تاخیری کانه‌ساز در کانسار آهن گلالی عمل کرده است. لذا بررسی‌های بیشتر این نوع رگه‌های کوارتز- کربناتی در کانسار آهن گلالی پیشنهاد می‌گردد. مشابه این نوع از کانی‌سازی طلا همراه با پیریت در دنیا کاملاً شناخته شده است (Pirajno 1992). در این مطالعه علاوه بر طلا همراهی عنصر آنتیموان (Sb) نیز در تعدادی از آنالیزهای انجام گرفته شناسایی گردید.

۵-۳- نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ha-P1

این نمونه از جداسازی فاز پیریت کانسنگ آهن باباعلی یک تهیه شد. نتایج آنالیزهای انجام شده حاکی از آن است که نمونه‌ی جداسازی شده از درجه‌ی خلوص بالایی برخوردار است (تصویر ۹). نکته‌ی جالب توجه در این نمونه حضور و تمرکز عنصر پلاتین (Pt) از ۷/۲۸ تا ۱۰/۴۲ درصد وزنی در کانی پیریت است (تصویر ۹). حضور عنصر پلاتین در ۵ بار آنالیز دیگر انجام شده بر روی نمونه تایید گردید.



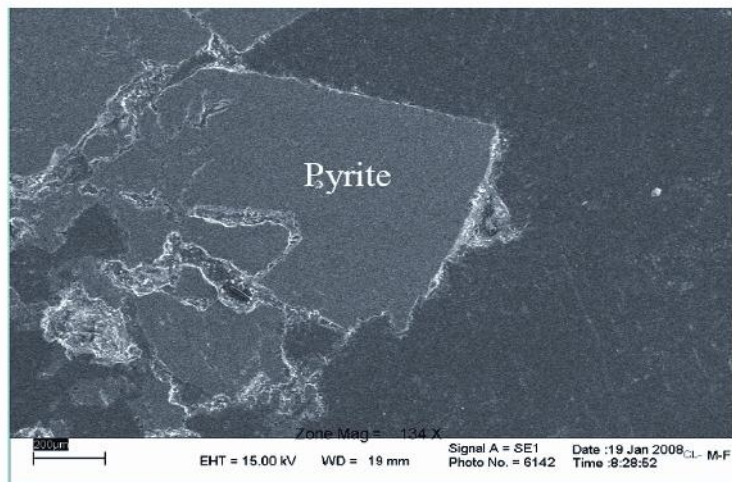
تصویر ۷- تصاویر آنالیز نقشه‌ای (map analysis) انجام شده به تفکیک فراوانی عناصر موجود در کانی سولفیدی پیریت و کانگ کربناتی- سیلیسی در نمونه‌ی شماره‌ی 86- Ga- 58، عنصر طلا (Au) با فراوانی قابل توجهی در فاز سولفیدی پیریت تمرکز یافته است.

Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 5.432 keV

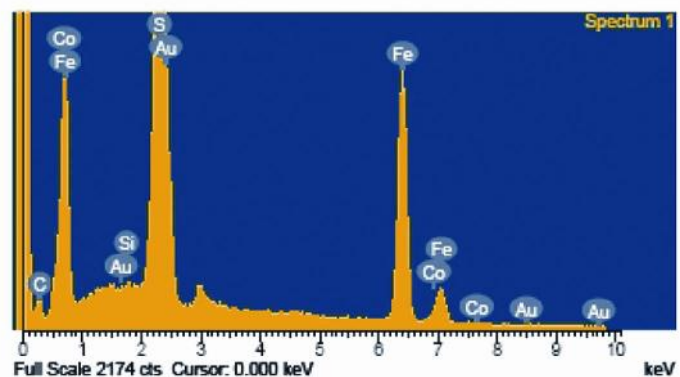
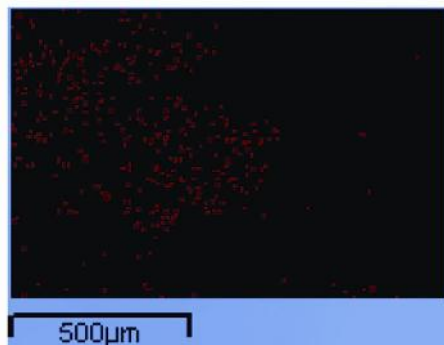
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
Si K	0.18	0.25	0.00	
S K	63.40	75.80	0.00	
Fe K	33.46	22.97	0.00	
Co K	0.88	0.57	0.00	
Au M	2.08	0.40	0.00	
C	0.00	0.00		
Totals	100.00			



Au Ma1



Sample no. 86-Ga-58

تصویر ۸- تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی در نمونه‌ی شماره 86-Ga-58، وجود پیک مشخص عنصر طلا (Au:2.08 weight %) با فراوانی قابل توجهی در فاز سولفیدی پیریت اثبات شده است.

Spectrum processing :
No peaks omitted

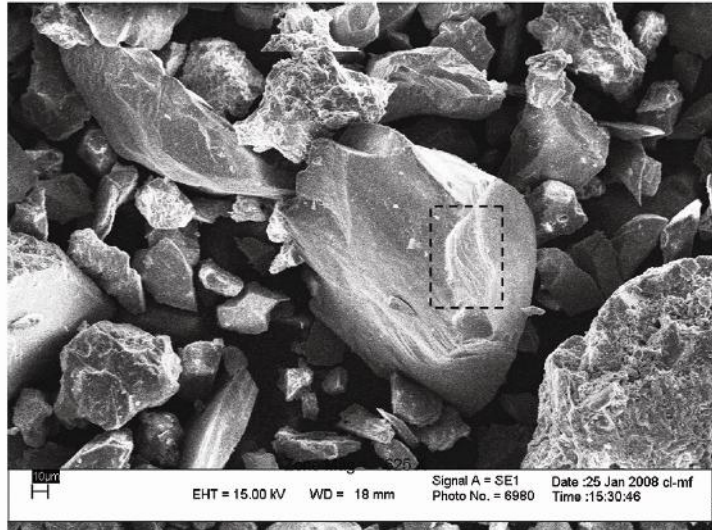
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :

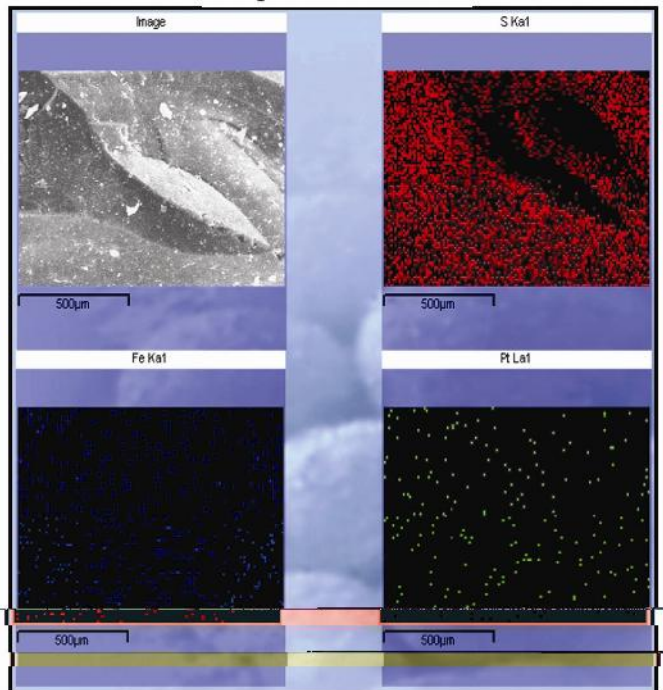
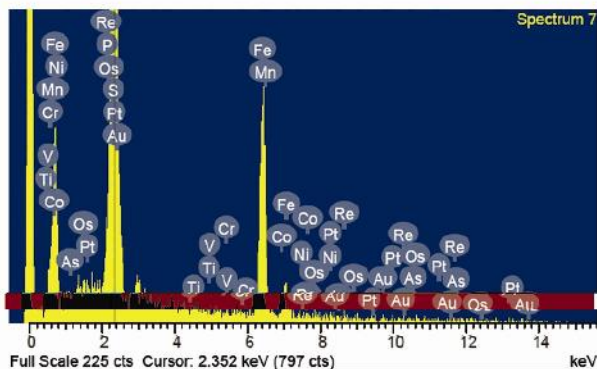
P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM
V V 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM
As InAs 1-Jun-1999 12:00 AM
Re Re 1-Jun-1999 12:00 AM
Os Not defined 1-Jun-1999 12:00 AM
Pt Pt 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
P K	0.00	0.00	0.00	
S K	60.76	75.66	0.00	
Ti K	0.00	0.00	0.00	
V K	0.00	0.00	0.00	
Cr K	0.00	0.00	0.00	
Mn K	0.00	0.00	0.00	
Fe K	31.96	22.85	0.00	
Co K	0.00	0.00	0.00	
Ni K	0.00	0.00	0.00	
As L	0.00	0.00	0.00	
Re M	0.00	0.00	0.00	
Os M	0.00	0.00	0.00	
Pt M	7.28	1.49	0.00	
Au M	0.00	0.00	0.00	
C	0.00	0.00		
Totals	100.00			



Sample no: 86- Ha- P1



تصویر ۹- فاز پیریت جداسازی شدهی کانسنگ آهن باباعلی، آنالیز دقیق تر پیریتها در نمونه، حاکی از تمرکز عنصر پلاتین به صورت پراکنده در شبکهی این کانی است که هم در آنالیزهای کمی و هم در آنالیز نقشه ای این تمرکز را نشان داده است.

عنصر پلاتین نقش مهمی داشته است که این موضوع در تعدادی از نمونه های دیگر نیز قبلاً مورد بررسی قرار گرفته و تأیید شده است.

۵-۴- نمونهی شمارهی 86-Ga-M9

این نمونه از کریستالهای با درجهی خلوص نسبتاً بالای منیتیت از کانسنگ آهن گلالی جداسازی شد. همانطور که در تصویر ۱۲ مشاهده می گردد بخش غالب نمونهی مورد نظر از دو عنصر آهن و اکسیژن تشکیل شده است. مقداری کمی کانی کلسیت (CaCO_3) نیز

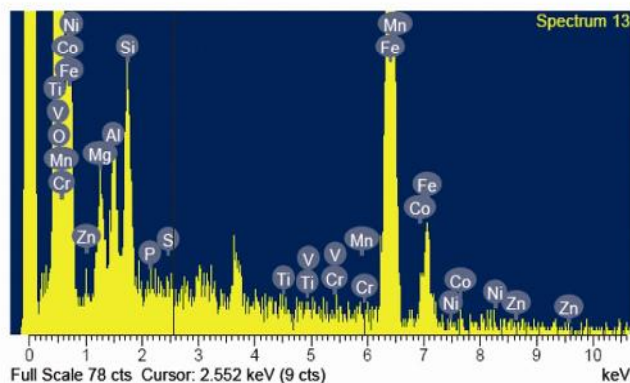
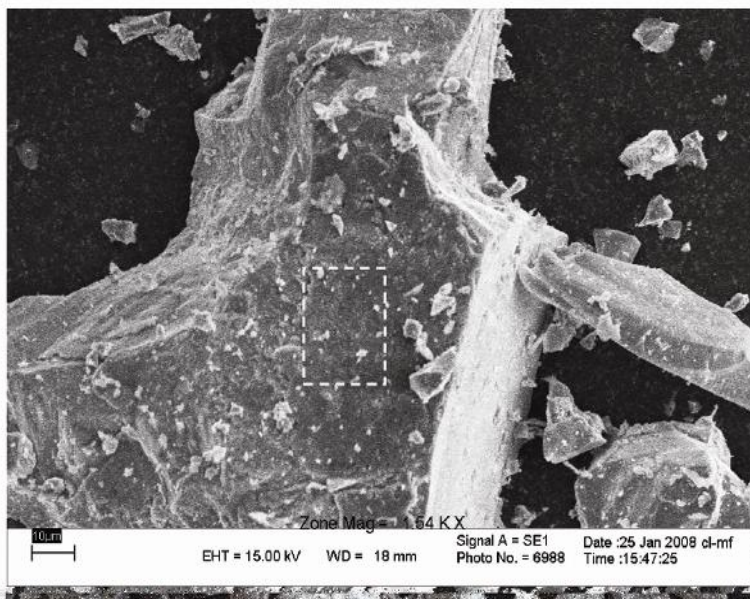
۵-۵- نمونهی شمارهی 86-Ha-P5

این نمونه از کریستالهای با درجهی خلوص بالای پیریت از کانسنگ آهن باباعلی جداسازی شد. آنالیز کامل انجام شده در تصویر ۱۱ نشان داده شده است. بیش از ۹۲ درصد وزنی نمونهی مورد نظر از دو عنصر آهن و سولفور تشکیل شده است. نکته جالب توجه دیگر در این نمونه حضور عنصر پلاتین (Pt) در شبکهی کانی پیریت است. شواهد نشان می دهند که فاز سولفیدی پیریت اولیّه در حمل و تمرکز

Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 3.679 keV
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM
V V 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
O K	46.00	56.19	63.26	O2C
Mg K	2.34	1.88	0.00	
Al K	2.01	1.46	0.00	
Si K	3.02	2.40	0.00	
P K	0.00	0.00	0.00	
S K	0.00	0.00	0.00	
Ti K	0.00	0.00	0.00	
V K	0.00	0.00	0.00	
Cr K	0.00	0.00	0.00	
Mn K	0.00	0.00	0.00	
Fe K	29.37	10.28	0.00	
Co K	0.00	0.00	0.00	
Ni K	0.00	0.00	0.00	
Zn K	0.00	0.00	0.00	
C	17.27	28.09		
Totals	100.00			



Sample no: 86- Ha- M3

تصویر ۱۰- کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای منیتیت و آنالیز کامل انجام شده بر روی نمونه

نیکل، کبالت، وانادیم، تیتانیم، کروم، فسفر، گوگرد، مس و عناصر گروه پلاتین (Ni, Co, V, Ti, Cr, P, S, Cu, PGE (Platinum Group Elements)) نیز مورد بررسی قرار گرفتند و مشاهده گردید که این عناصر در منیتیت تمرکز ندارند.

۹-۵- نمونه‌ی شماره 86-Ga-P20

این نمونه از کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بسیار بالای پیریت از کانسنگ آهن گلالی آماده شد (تصویر ۱۵). بیش از ۹۹ درصد وزنی نمونه‌ی مورد نظر از دو عنصر آهن و سولفور تشکیل شده است. تعداد ۴ آنالیز انجام شده بر روی این نمونه مقدار ۷/۷ تا ۹/۳ درصد وزنی عنصر پلاتین در ترکیب ساختمانی و شبکه‌ی کانی پیریت را نشان می‌دهد، لذا به جرات می‌توان اظهار داشت که برخی از نسل‌های پیریت (نسل پیریت اولیّه) در کانسارهای آهن باباعلی و گلالی دارای محتوای قابل توجهی از عنصر پلاتین است و می‌تواند شاهده‌ی بر منشا احتمالی ماگمایی و نسل اولیّه‌ی این نوع پیریت باشد. سایر نسل‌های پیریت، ناشی از دگرگونی، دگرسانی و فعالیت‌های هیدروترمال

در زمینه وجود دارد. تعداد ۴ بار آنالیز کامل و درخواستی بر روی نمونه از نظر عناصر کمیاب مورد نظر و ناخالصی‌های مضر کانسنگ در این نمونه انجام شد، ولی این عناصر در منیتیت تمرکز نداشته و تهی شده‌اند.

۷-۵- نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ga-P11

این نمونه شامل کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای پیریت از کانسنگ آهن گلالی جداسازی شد. همان‌طوری‌که در تصویر ۱۳ مشاهده می‌شود بیش از ۹۲ درصد وزنی نمونه مورد نظر از دو عنصر آهن و سولفور تشکیل شده و عنصر پلاتین به مقدار ۷/۷۷ درصد وزنی در شبکه‌ی کانی پیریت وجود دارد.

۸-۵- نمونه‌ی شماره‌ی 86-Ga-M11

این نمونه از جداسازی کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای منیتیت از کانسنگ آهن گلالی آماده‌سازی شده است (تصویر ۱۴). بخش غالب نمونه‌ی مورد نظر از دو عنصر آهن و اکسیژن تشکیل شده است. مقداری کمی کلسیت نیز در زمینه وجود دارد. این نمونه از نظر عناصر

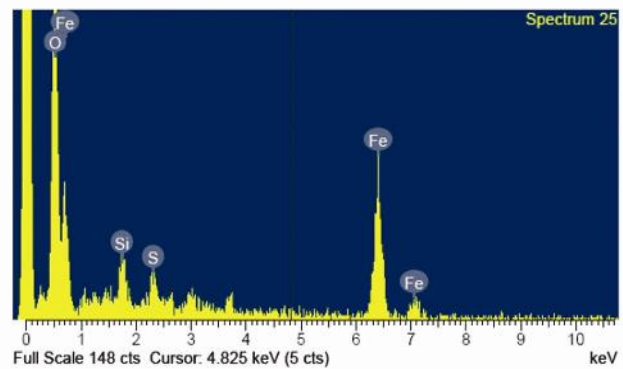
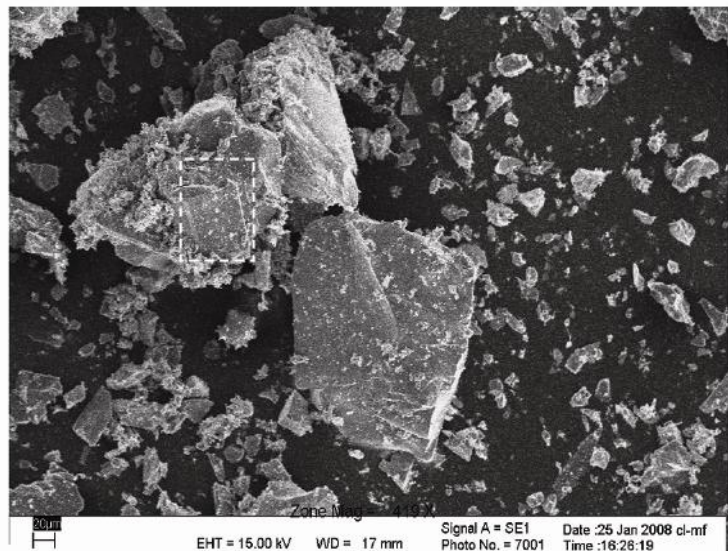
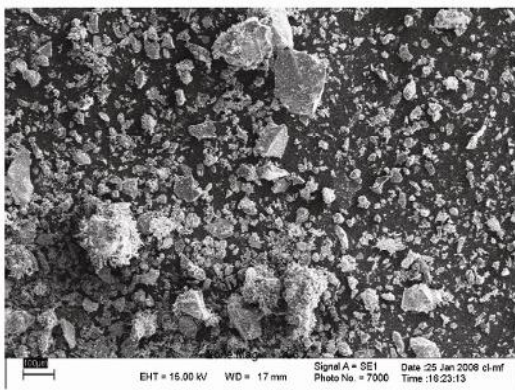
Spectrum processing :
Peak possibly omitted : 3.705 keV

Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
O K	56.38	61.34	77.54	O2C
Si K	2.19	1.36	0.00	
S K	1.34	0.73	0.00	
Fe K	18.93	5.90	0.00	
C	21.16	30.67		
Totals	100.00			

Sample no: 86- Ga- M9



تصویر ۱۲- این نمونه از کریستال‌های با درجه‌ی خلوص نسبتاً بالای منیتیت تشکیل شده است. آنالیز کامل انجام شده بر روی نمونه، همراه با تصاویر کریستال‌های آنالیز شده، نشان داده شده است.

مطالعات قبلی انجام شده توسط زمانیان، این کانسار به‌عنوان اسکارن نوع کلسیم- منیزیم معرفی شده بود. از نتایج جالب توجه دیگر در این مطالعه، شناسایی طلا در ترکیب و شبکه‌ی کانی پیریت در تعدادی از نمونه‌ها است، که نشان می‌دهد سیالات هیدروترمال تاخیری که دارای کانی‌سازی پیریت می‌باشند از نظر طلا نیز مقدار قابل توجه دارند و کانی پیریت به‌عنوان حامل خوبی برای عنصر طلا عمل کرده است. از طرفی دیگر حضور آنتیموان نیز در این نمونه‌ها به لحاظ ژنتیک با طلا همبستگی نشان می‌دهد. این نوع همبستگی در ذخایر هیدروترمال طلا به‌ویژه در انواع کانی‌سازی نوع اپی‌ترمال طلا کاملاً شناخته شده است. این شواهد مینرالوژی و کریستال شیمی حاکی از عملکرد یک فاز هیدروترمال تاخیری پس از کانی‌سازی آهن در کانسار است. این مسئله لزوم توجه و مطالعه‌ی بیشتری را در مورد فازهای گانگ کوارتز و کلسیت، به‌ویژه در کانسار آهن گلالی خاطر نشان نموده و حضور طلا به‌صورت آزاد را در گانگ کوارتز- کربناتی محتمل می‌نماید.

هدف دوم از این مطالعه بررسی حضور برخی از عناصر کمیاب نظیر طلا، نیکل، کبالت، وانادیم، تیتانیم، کروم، مس و عناصر گروه پلاتین و ناخالصی‌های فسفر و گوگرد در ترکیب کانی‌های منیتیت و پیریت در کانسنگ آهن باباعلی و گلالی است. میزان تمرکز برخی از این عناصر در کانسنگ به‌منظور شناخت منشاء و ماهیت فلزات کانسار ساز نقش مهمی دارند. نتایج نشان می‌دهند تنها بخشی از پیریت‌های هیپوژن و اوئیه دارای تمرکزهای جالب توجهی از عنصر پلاتین می‌باشند. به‌نظر می‌رسد سایر نسل‌های پیریت و منیتیت از این عناصر تهی شده‌اند.

بررسی ترکیب کانی‌شناسی و کریستال - شیمی تعدادی از فازهای مجهول در کانسنگ آهن نیز مد نظر بوده که این مطالعه نقش مهمی در شناسایی آن‌ها دارد. از جمله‌ی این موارد می‌توان به شناسایی کانی فلوگوپیت در زون اسکارن گلالی اشاره نمود که باعث تقویت نظریه‌ی اسکارن منیزیمی در این کانسار گردید. لازم به ذکر است که در

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 2

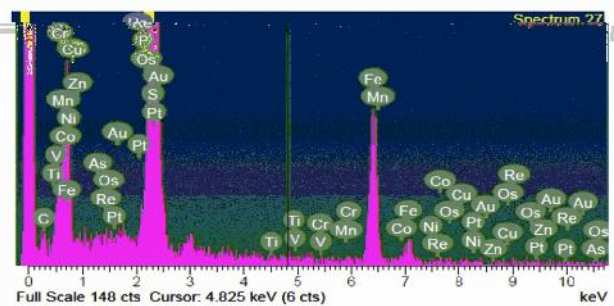
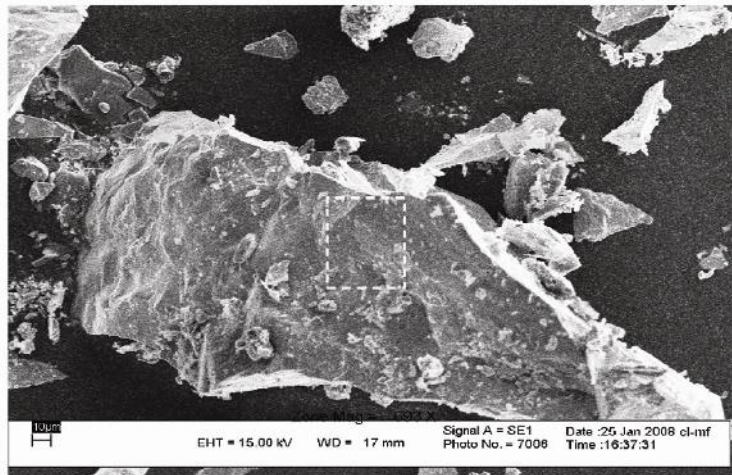
Standard :

P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM
V V 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM
As InAs 1-Jun-1999 12:00 AM
Re Re 1-Jun-1999 12:00 AM
Os Not defined 1-Jun-1999 12:00 AM
Pt Pt 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
P K	0.00	0.00	0.00	
S K	60.12	75.31	0.00	
Ti K	0.00	0.00	0.00	
V K	0.00	0.00	0.00	
Cr K	0.00	0.00	0.00	
Mn K	0.00	0.00	0.00	
Fe K	32.11	23.09	0.00	
Co K	0.00	0.00	0.00	
Ni K	0.00	0.00	0.00	
Cu K	0.00	0.00	0.00	
Zn K	0.00	0.00	0.00	
As L	0.00	0.00	0.00	
Re M	0.00	0.00	0.00	
Os M	0.00	0.00	0.00	
Pt M	7.77	1.60	0.00	
Au M	0.00	0.00	0.00	
C	0.00	0.00		
Totals	100.00			

Sample no: 86- Ga- P11



تصویر ۱۳- کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای پیریت و آنالیز کامل انجام شده بر روی آن، فاز غالب سولفید آهن به صورت کانی پیریت است که تمرکز عنصر پلاتین (Pt) در آن مشاهده می‌شود.

Spectrum processing :

Peak possibly omitted : 3.680 keV

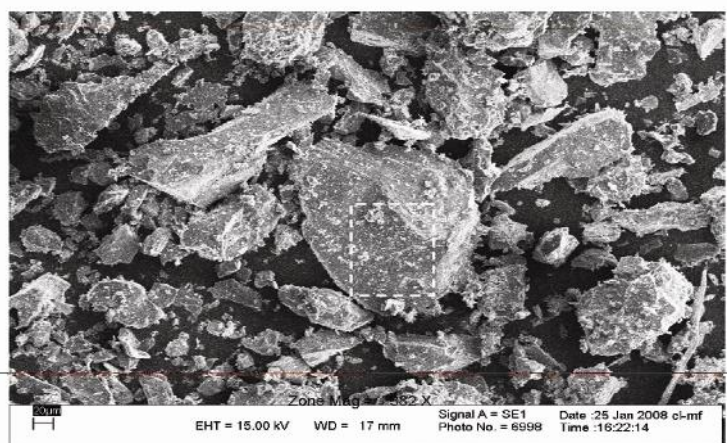
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 4

Standard :

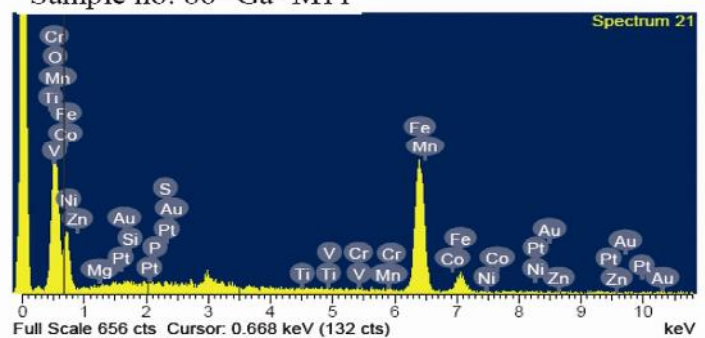
O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Mg MgO 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM
V V 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM
Pt Pt 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
O K	38.76	54.20	53.31	O2C
Mg K	0.00	0.00	0.00	
Si K	0.00	0.00	0.00	
P K	0.00	0.00	0.00	
S K	0.00	0.00	0.00	
Ti K	0.00	0.00	0.00	
V K	0.00	0.00	0.00	
Cr K	0.00	0.00	0.00	
Mn K	0.00	0.00	0.00	
Fe K	46.69	18.70	0.00	
Co K	0.00	0.00	0.00	
Ni K	0.00	0.00	0.00	
Zn K	0.00	0.00	0.00	
Pt M	0.00	0.00	0.00	
Au M	0.00	0.00	0.00	
C	14.55	27.10		
Totals	100.00			



Sample no: 86- Ga- M11



تصویر ۱۴ - آنالیز کامل انجام شده بر روی کریستال‌های خالص جداسازی شده‌ی منیتیت از کانسنگ آهن گلالی

Spectrum processing :
No peaks omitted

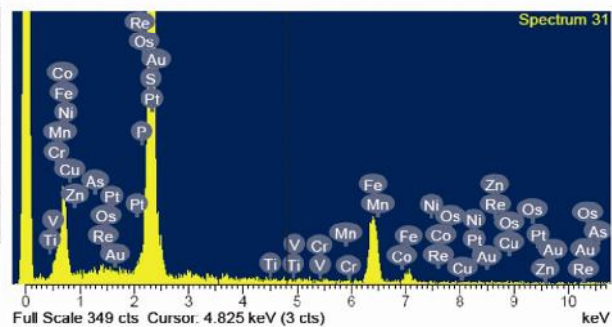
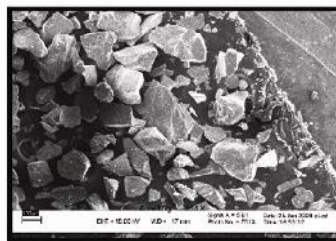
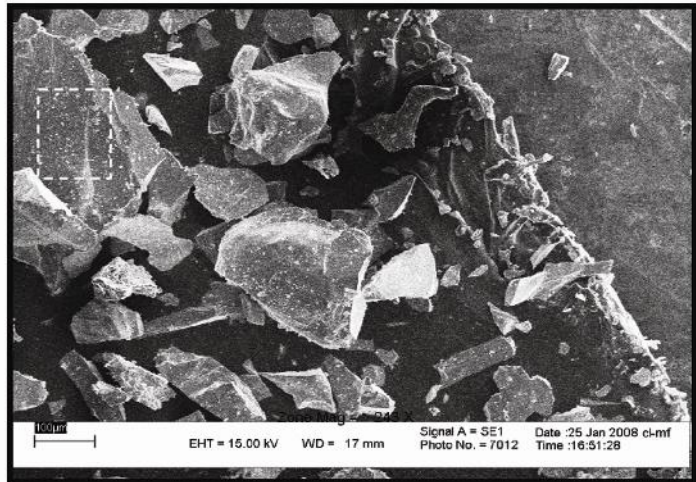
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :

P GaP 1-Jun-1999 12:00 AM
S FeS2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ti Ti 1-Jun-1999 12:00 AM
V V 1-Jun-1999 12:00 AM
Cr Cr 1-Jun-1999 12:00 AM
Mn Mn 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Co Co 1-Jun-1999 12:00 AM
Ni Ni 1-Jun-1999 12:00 AM
Cu Cu 1-Jun-1999 12:00 AM
Zn Zn 1-Jun-1999 12:00 AM
As InAs 1-Jun-1999 12:00 AM
Re Re 1-Jun-1999 12:00 AM
Os Not defined 1-Jun-1999 12:00 AM
Pt Pt 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

P K	0.00	0.00	0.00
S K	60.85	75.90	0.00
Ti K	0.00	0.00	0.00
V K	0.00	0.00	0.00
Cr K	0.00	0.00	0.00
Mn K	0.00	0.00	0.00
Fe K	31.44	22.52	0.00
Co K	0.00	0.00	0.00
Ni K	0.00	0.00	0.00
Cu K	0.00	0.00	0.00
Zn K	0.00	0.00	0.00
As L	0.00	0.00	0.00
Re M	0.00	0.00	0.00
Os M	0.00	0.00	0.00
Pt M	7.70	1.58	0.00
Au M	0.00	0.00	0.00
C	0.00	0.00	
Totals	100.00		



Sample no: 86- Ga- P20

تصویر ۱۵- این نمونه نیز از کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بسیار بالای پیریت تشکیل شده است. این آنالیز نیز نشانگر محتوای ۷/۷ درصد عنصر پلاتین در ترکیب ساختمانی و شبکه‌ی پیریت است.

Spectrum processing :
No peaks omitted

Sample no: 86- Ha- M7

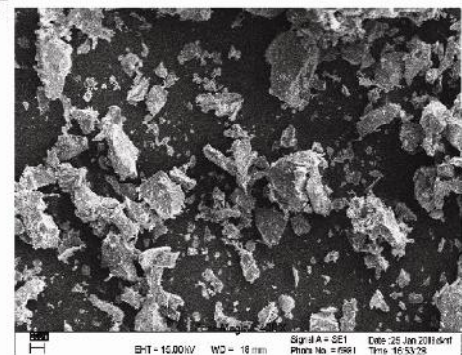
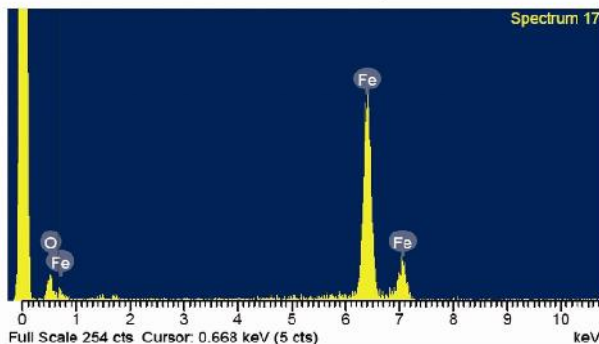
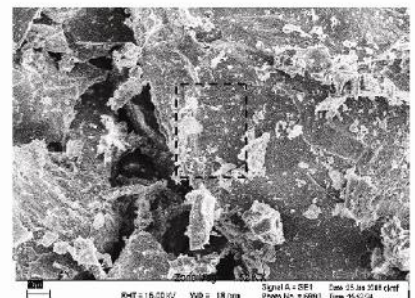
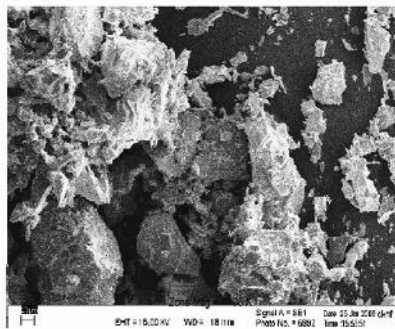
Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 2

Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

O K	9.18	23.66	12.63	O2C
Fe K	87.37	64.51	0.00	
C	3.45	11.83		
Totals	100.00			



تصویر ۱۶- آنالیز کلی انجام شده کریستال‌های با درجه‌ی خلوص بالای منیتیت، بیش از ۹۹ درصد وزنی نمونه‌ی مورد نظر از دو عنصر آهن و اکسیژن تشکیل شده است.

Spectrum processing :
No peaks omitted

Processing option : Carbon by stoichiometry (Normalised)
Number of iterations = 5

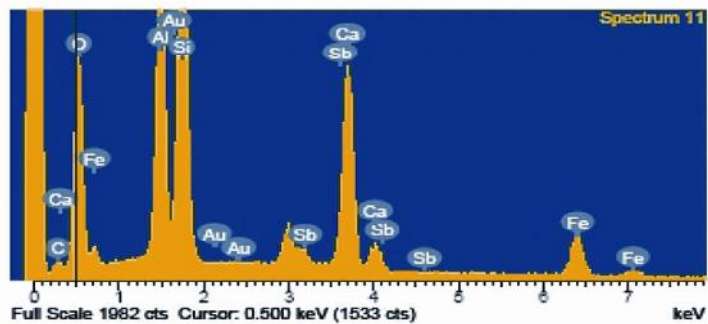
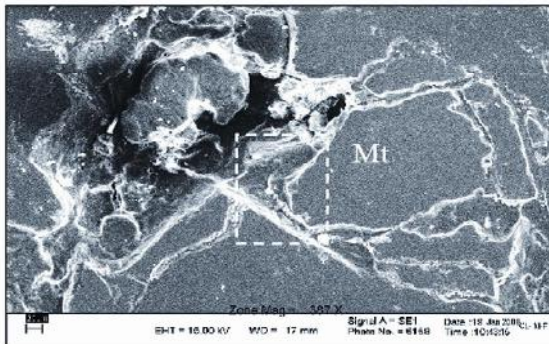
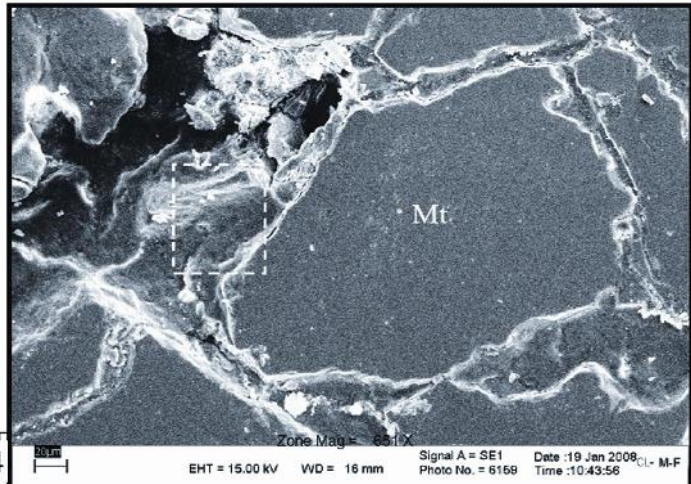
Standard :

O SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Al Al2O3 1-Jun-1999 12:00 AM
Si SiO2 1-Jun-1999 12:00 AM
Ca Wollastonite 1-Jun-1999 12:00 AM
Fe Fe 1-Jun-1999 12:00 AM
Sb Sb 1-Jun-1999 12:00 AM
Au Au 1-Jun-1999 12:00 AM

Elem... Weight% Atomic% Compd% Formula

Elem...	Weight%	Atomic%	Compd%	Formula
O K	44.97	52.23	61.85	O2C
Al K	9.16	6.31	0.00	
Si K	14.11	9.34	0.00	
Ca K	9.33	4.33	0.00	
Fe K	4.63	1.54	0.00	
Sb L	0.93	0.14	0.00	
Au M	0.00	0.00	0.00	
C	16.88	26.12		
Totals	100.00			

Sample no: 86- Ha- 74



تصویر ۱۷- آنالیز انجام شده فاز غالب تشکیل دهنده‌ی گانگ (محدوده‌ی خط چین) را در کانسنگ آهن باباعلی کانی سیلیکاته آهن دار همراه با کانی کلسیت نشان می‌دهد. بلورهای اتومورف در تصویر، نمونه‌ی کانی منییت (Mt) است.

Champness, P. E., Cliff, G., & Lorimer, G. W., 1982, "Quantitative analytical electron microscopy of metals and minerals", *J. Microsc.*, Vol. 108: 231-49.

Connor, D. J. O., Sexton, B. A. & Smart, R. C., 2003, "Surface analysis methods in materials science", *Springer Verlag*, 212p.

Goldstein, J. & Newbury, D. E., 2003, "Scanning electron microscopy and X-Ray microanalysis", *Third Edition, Plenum Press*, 358p.

Willard, Hobart, H., Lynne L., Metcalf, J. A., Dean, Frank A. Settle, Jr., 1988 "Instrumental Methods of Analysis", 7th Ed., Wadsworth Publ. Company, Belmont, CA, USA, , 895 pp., ISBN 0-534-08142-8.

Lloyd, G. E. & Hall, M. G., 1981, "Application of scanning electron microscopy to the study of deformed rocks", *Tectonophysics*, Vol. 78: 687-698.

Meinert, L. D., 1993, "Skarns and Skarn Deposits", In: *Ore deposit models Volume II: Geoscience Canada, reprint series 6: 117-134.*

Passchier, C. W. & Trouw, R. A. J., 2005, "Microtectonics, special techniques, scanning electron microscope", *Springer Verlag*, 288p.

Pirajno, F., 1992, "Hydrothermal mineral deposits", *Springer Verlag*, 709p.

تشکر و قدردانی

این مقاله بخشی از رساله‌ی دکتری نگارنده قدرت الله رستمی پایدار است که در دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران به انجام رسیده است. نویسندگان مراتب سپاس خود را از حوزه‌ی معاونت پژوهشی این دانشگاه و همچنین از جناب آقای دکتر خسرو تهرانی، مدیریت محترم گروه زمین‌شناسی ابراز می‌دارند.

مراجع

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

شرکت مهندسین مشاور زریابان اکتشاف، ۱۳۷۹، "طرح اجمالی اکتشاف سنگ آهن شمال غرب ایران"، گزارش داخلی شرکت فولاد صبا نور، شماره‌ی ۲: ۱۸۸ص.

Brian, J. C. & Witherspoon, K. C., 2006, "Advancing EDS analysis in the SEM with in-situ quantitative XRF", *5th International Microscopy Congress, Japan*, 128p.

Reed, S. J. B., 1996, "Electron microprobe analysis and scanning electron microscopy in geology", *Cambridge Univ. Press*. 201p.

Zamanian, H., 2007, "Geology of the Gelali iron mineralization related to the south Ghorveh batholith, western Iran", *J. Earth Sci., Vol. 1(1)*: 47-65.

Zheng, J. G., 2006, "Electron microscopy: TEM and SEM", *In: Materials Science & Engineering congress, EPIC/NUANCE Center, USA*. 243p..