



کاربردهای روش میکروسکوپ الکترونی روبشی در مطالعه کانسار فلوریت منطقه زنگیان؛ شهرستان سوادکوه؛ استان مازندران

مریم فرج‌اللهی^۱، ایرج رساء^۲، محمدرضا جعفری^۳

۱- کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

* عهده دار مکاتبات: Maryam.Farajollahi@gmail.com، Maryam_Farajollahi@yahoo.com

Maryam_Farajollahi@hotmail.com

۲- دانشیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران

۳- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، تهران، ایران

چکیده

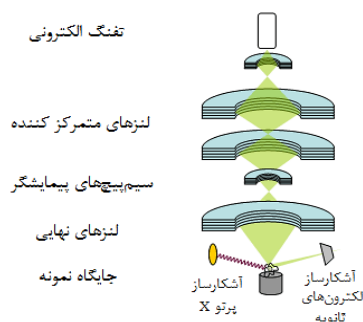
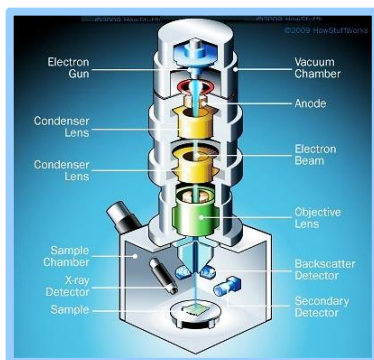
کانسار فلوریت زنگیان در جنوب غرب شهرستان سوادکوه واقع شده است. تعداد ۵ نقطه‌ی آنالیز، انجام شده بر روی کانسار فلوریت به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی، در راستای شناخت بهتر ترکیب کانی‌شناسی و کریستال - شیمی کانسار نتایج جالب توجهی را در برداشته است. در این راستا با مطالعه مقاطع دوبرصیقل با روش میکروسکوپ الکترونی روبشی کانی‌های کربناته از جمله کلسیت و دولومیت به عنوان سنگ میزبان، فلوریت به عنوان ماده معدنی، مقادیر اندک کوارتز ریزدانه و بی‌شکل با شکستگی‌های نامنظم که ثانویه بوده به عنوان کانی همراه وجود دارند که در واقع جزو کانی‌های اصلی در منطقه محسوب می‌شوند؛ کانی‌های باریت، گالن، اکسید و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، لیمونیت، مگنتیت، پیریت، گوتیت به عنوان کانی فرعی و کانی مسکویت به صورت نشانه در این مقاطع مشاهده شدند؛ اکسید و هیدروکسیدهای آهن ثانویه هستند و حالت درهم دارند؛ در اکسیدهای آهن حالت زونینگ هم داریم؛ پیریت Rhomboid هم دیده شد؛ غالباً کانی‌ها به صورت رگه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و بافت‌برشی دیده می‌شوند. همچنین نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که میزان تمرکز عناصر Hg، As، Sn، Zn، Ni، Co، Th، U، Pt، Ag، Au، Ge، Ga در پیک‌های آنالیز با مقدار خیلی ناچیز (کمتر از ppm در حد ppb) می‌باشد.

واژگان کلیدی: کانسار فلوریت، کانی‌شناسی، کریستال - شیمی، مقاطع دوبرصیقل، میکروسکوپ الکترونی روبشی، زنگیان

۱- مقدمه

امروزه روشهای مختلفی جهت شناسایی و آنالیز مواد وجود دارد که یکی از معروفترین آنها، روشهای میکروسکوپی می باشد. با استفاده از روشهای میکروسکوپی، تصاویر با بزرگنمایی بالا به دست می آید تا بتوان جزئیات آن را با دقت مطالعه نمود. قدرت تفکیک (Resolution) تصاویر میکروسکوپی با توجه به نوع پرتوی مورد استفاده مشخص می شود؛ به عنوان مثال، با استفاده از میکروسکوپهای نوری، قدرت تفکیکی در حدود ۱ میکرومتر یا حتی ۲۰۰ نانومتر و با استفاده از میکروسکوپ الکترونی (SEM، AFM، TEM، SPM، LM، Eye) با وضوح بالا در حدود ۱ نانومتر تا چند آنگستروم قابل دسترس است.

میکروسکوپ الکترونی روبشی که به آن Scanning Electron Microscope یا به اختصار SEM گویند، یکی از انواع بسیار معروف میکروسکوپهای الکترونی است که علاوه بر تهیه تصاویر بزرگنمایی شده، در صورتی که به تجهیزات اضافی مجهز شود می تواند برای آنالیز شیمیایی و دیگر بررسی ها نیز به کار گرفته شود. مبنای عملکرد این میکروسکوپ، برهم کنش پرتوی الکترونی با ماده است که نشر الکترونها و فوتونها از ماده را به همراه دارد از جمله مهمترین این پرتوها که برای بررسی ماده استفاده می شوند، الکترونهای ثانویه (برای بررسی مورفولوژی و توپوگرافی) و الکترونهای برگشتی (با هدف بررسی توزیع فازی) می باشند. پرتوهای ساطع شده از این برهم کنش می تواند جهت بررسی ها مورد استفاده قرار گیرد. همانند دیگر میکروسکوپهای الکترونی، به دلیل استفاده از پرتوی الکترونی حد تفکیک بسیار بالایی قابل دستیابی است. این میکروسکوپ قابلیت عکسبرداری از سطوح با بزرگنمایی ۱۰ تا ۵۰۰۰۰ برابر با قدرت تفکیکی کمتر از ۱ تا ۲۰ نانومتر (بسته به نوع نمونه) را دارد. عمق میدان (Depth Of Field) بزرگ یکی از مزایای میکروسکوپ الکترونی روبشی می باشد؛ در یک بزرگنمایی ثابت، عمق میدان یک SEM بیش از ۱۰۰ برابر عمق میدان میکروسکوپ نوری می باشد. بزرگنمایی (Magnification) در میکروسکوپهای نوری، لنزها در مسیر پرتوهای عبور یافته یا منعکس شده از سطح نمونه قرار گرفته و با تغییر زاویه و سمت پرتو و به دنبال آن تغییر محل تقاطع پرتوها، منجر به بزرگنمایی می شوند ولی در رابطه با مکانیزم بزرگنمایی در SEM لنزها تنها مشخصات پرتوی الکترونی اولیه را تنظیم می کنند و بر مشخصات پرتوهای ساطع شده از نمونه تأثیری ندارند. برای کار با SEM به محیط خلأ نیاز است؛ به همین دلیل پس از قرار دادن نمونه در محفظه، اتمسفر داخل ستون میکروسکوپ به کمک پمپهای موجود به خلأ مناسب می رسد؛ وقتی که خلأ مورد نیاز حاصل شد، پرتوی الکترونی تولید و توسط لنزهای الکترومغناطیسی باریک و روی نمونه متمرکز می شود؛ در حقیقت پرتوی الکترونی بر روی نمونه روبش (Scan) می شود تا از نقاط مختلف آن اطلاعات به دست آید؛ در نتیجه برخورد پرتوی الکترونی با نمونه، سیگنالهای مناسب تولید می شوند که توسط آشکارسازها دریافت و در نهایت به تصویر یا دیگر اطلاعات مورد نظر تبدیل می شوند. با توجه به این خلاصه عملکرد، در می یابیم که یک میکروسکوپ الکترونی روبشی از اجزای زیر تشکیل یافته است: تغنگ الکترونی، لنزهای الکترومغناطیسی، سیستم روبشگر، آشکارسازها (سیستم جمع آوری و تقویت سیگنال)، سیستم نمایش تصویر، سیستم خلأ. شکل ۱ اجزای یک میکروسکوپ الکترونی روبشی را نشان می دهد:



شکل ۱: طرح کلی یک میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM)

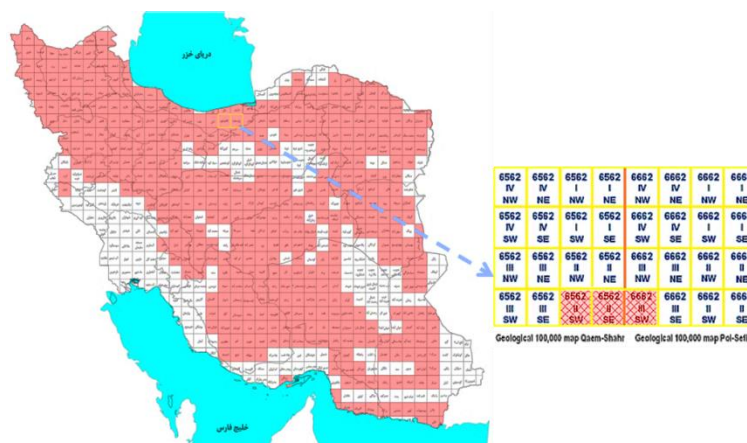
به طور کلی شناخت هر چه بیشتر ماده معدنی و مشخص شدن تاریخچه ژنتیک آن، علاوه بر طراحی بهینه شبکه استخراجی و جلوگیری از اتلاف سرمایه، در بالاتر بردن ارزش افزوده محصولات فرآوری شده معدنی نیز نقش بسزایی دارد. در راستای بررسی ویژگی های مواد معدنی، امروزه روشهای دستگاهی متنوعی مورد استفاده قرار می گیرند. بررسی آرایش اتمی کانی ها به همراه آنالیز موضعی و انتخابی آن اطلاعات ارزشمندی را در راستای درک خواص و رفتار آن در مراحل مختلف طراحی و بهینه سازی استخراج و پیش بینی خواص آن فراهم می کند. این پژوهش که برای اولین بار بر روی کانسار فلوریت دار منطقه زنگیان انجام شده، ضمن بررسی دقیق منیرالوژی فازهای مجهول در مطالعات منیرالوگرافی، درجه خلوص (Purity) و نیز ناخالصی کانی های جداسازی شده، مورد توجه قرار گرفتند. در نهایت مقادیر عناصر کمیاب خاص و ... در شبکه کانی های کانسار فلوریت تعیین شدند. آنالیزهای مذکور توسط یک دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی با قابلیت آنالیز توسط طیف اشعه ایکس انجام گرفتند.

۲- زمین شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از چهارگوش ورقه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قائمشهر و برگه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساری می باشد و مختصات جغرافیایی منطقه اکتشافی به مساحت ۵ کیلومتر مربع به شکل یک چهارضلعی به نام ABCD است:

جدول ۱: مختصات جغرافیایی چهارگوش منطقه مورد مطالعه

رئوس محدوده اکتشافی	مختصات به UTM (زون ۳۹)		مختصات جغرافیایی	
	X	Y	عرض شمالی	طول شرقی
A	666500	3998000	36 ° 6`	52 ° 50`
B	681500	3998000	36 ° 6`	53 ° 00`
C	681500	3991000	36 ° 2`	53 ° 00`
D	666500	3991000	36 ° 2`	52 ° 50`



نقشه ۱: جانمایی موقعیت منطقه اکتشافی بر روی راهنمای نقشه های یکصد هزارم کشور



منطقه مورد مطالعه منطقه‌ای مرتفع و ییلاقی است که متأسفانه به لحاظ ارتفاعی و پوشش گیاهی و اقلیم برای انجام عملیات نمونه برداری و برداشت‌های زمین‌شناسی و بررسی‌های دقیق، گاه‌ها خطرناک می‌باشد که با این حال بایستی به لحاظ امکان وجود منابع اقتصادی فلوریت مورد بررسی قرار گیرد؛ با توجه به قرارگیری کانسار زنگیان در یکی از سه کمربند بزرگ جهان، نمی‌توان نسبت به ارتباط و تشابهات بین این کانسارها (با در نظر گرفتن تفاوت‌های موجود) بی‌تفاوت بود و قرارگیری این کانسارها در کنار هم و تشکیل کمربند و تشابه با دیگر کانسارها را تصادفی دانست و این مورد وجود این فرضیه را قوت می‌بخشد که با کمربند فلوریت زایی در درون سازند الیکا در این منطقه روبه‌رو هستیم، بلکه می‌توان فرآیندهای گسترده مثل اگزاسیون‌های قبل یا همزمان یا بعد از ولکانیسم، همزمان با نهشت شدن الیکا را مسئول تشکیل و فرآیندهای منطقه‌ای مثل شرایط خاص تکتونیکی و مهاجرت‌های بعدی سیال را مسئول بوجود آمدن تغییرات بعدی دانست؛ منطقه معدنی زنگیان به لحاظ تقسیمات زمین‌شناسی در شرق البرز مرکزی واقع شده است.

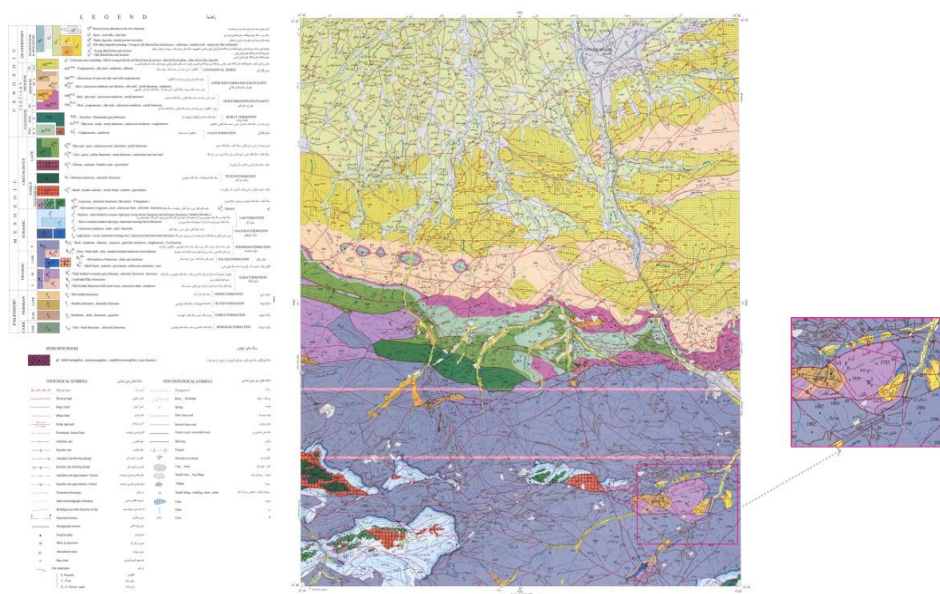


تصویر ۱: دورنمایی از روستای زنگیان

نوع توپوگرافی محدوده مورد مطالعه کوهستانی با دره‌های عمیق و پرشیب می‌باشد که هر چه از جنوب به شمال محدوده پیمایش شود، واحدهای سنگی جوانتر مشاهده می‌شود و کمینه ارتفاع در ناحیه مربوط به کنار رودخانه تالار با ارتفاع ۹۰۵ متر، و بیشینه ارتفاع آن ۱۴۶۱ متر از سطح دریا در منطقه معدنی مربوط با محیط جنگل می‌باشد. سنگ‌های موجود در غرب منطقه بیشتر دولومیتی از سازند الیکا و کمتر تخریبی از سازند پالند و به سوی شرق و در ناحیه لیند بیشتر از نوع سنگ‌های وابسته به پرمین آغازین و کهن‌تر از تریاس می‌باشد که روی آن توسط همان دولومیت‌های الیکا پوشیده می‌گردد. در جنوب لیند و در هسته تاقدیس رسوبات دورود دیده می‌شود و روی آن توسط رسوبات دولومیتی - آهکی روتنه دنبال و سپس با نازک لایه‌های آهک وابسته به سازند نسن خاتمه می‌پذیرد. در سیستم تریاس عموماً با سنگ‌های دولومیتی با ساختار لایه‌ای و توده‌ای مواجه می‌باشیم که به سوی افراز بالاتر به انباشت‌های تریاس - ژوراسیک و نهایتاً رسوبات عهد حاضر خاتمه می‌پذیرد. جنس سنگ‌های منطقه بیشتر دولومیتی و آهکی، آهک ماسه‌ای، ماسه سنگ، شیل، سیلت، مارن همراه با دگرسانی‌های لیمونیتی و گاه‌ها هماتیتی، کربناتی، سیلیسی و کائولینیتی می‌باشد؛ در مورد ارتباط کانی‌سازی با ماگماتیسم باید گفت که هیچ توده قابل مشاهده مناسبی که بتوان کانسار مربوط را به آن نسبت داد در سطح و نزدیکی‌های منطقه دیده نمی‌شود. ژئومورفولوژی منطقه اکتشافی و اطراف آن بیشتر تحت تأثیر مورفوتکتونیک ناشی از عملکرد گسل بزرگ راندگی شمال البرز با شیب به سمت جنوب است؛ دره‌ها و آبراهه‌ها، سازند شیل و ماسه سنگی شمشک و سنگ آهک‌های الیکا را بریده است؛ روند افزایش بلندا، از شمال به جنوب است و اختلاف ارتفاع زیادی دیده می‌شود و در برخی نقاط، الگوی کوه - دره در چند نوبت تکرار شده است؛ راندگی‌ها و گسل‌های مهم، به همراه زیرساخت قطعه‌قطعه و بلوکی، هم‌آهنگ با میزان پایداری سازندها در برابر فرسایش و نیز ویژگی‌های ساختاری مربوطه، ریخت‌شناسی کنونی منطقه را پی‌ریخته‌اند؛ بدین سان، ریخت‌شناسی آشکارا از روند ساخت‌های چین‌ها و گسل‌ها با راستای



تقریبی شرقی- غربی پیروی می‌نماید. دو گسله بزرگ با سازوکار راندگی به نام گسله لیند و زنگیان کانی سازی را کنترل و موجب باردار نمودن برخی مناطق گردیده است؛ خاستگاه فلوریت اگر چه رسوبی و به بخش‌های بالایی الیکا و در حوالی همبری با سازند پالند مشاهده شده ولی در منطقه جایگیری آن ناشی از تنش‌های تکتونیکی بوده و به گونه‌ای غنی شدگی و کانی سازی کانساری در مناطق پرتنش و گسلیده از سازند الیکا مورد مطالعه قرار گرفته است؛ کانی سازی مورد بررسی از نتایج بدست آمده عموماً در پایین دست گسله لیند و بالادست گسله زنگیان در وسعتی به مساحت ۲۴ کیلومتر مربع مطرح می‌باشد که عمدتاً شامل فلوریت و بعضاً خیلی ناچیز مس و ... بدست آمده از شواهد صحرایی و نتایج آزمایشگاهی است؛ کانی سازی انجام شده در یک پهنه برشی حاصل شده است؛ آنچه مسلم است جایگیری ماده معدنی با مرزی شارپ درون شکستگی‌ها و درزه‌ها و تشکیل ماده معدنی رگه‌ای و همچنین وجود بافت‌های تکتونیکی حکایت از وقوع حداقل دو نسل تکتونیکی (یکی قبل و دیگری بعد از کانی سازی) در این کانسار دارد؛ منشأ فلوریت‌های سازند الیکا در محدوده زنگیان، احتمالاً به صورت سین ژنتیک- اپی ژنتیک می‌باشد؛ ریخت ماده معدنی بسته به تحرکات تکتونیکی و تنش‌های حاصل آنها عدسی شکل است؛ میزان ذخیره زمین شناسی به دست آمده از این مطالعات چیزی حدود ۱۵۰۰۰ تن ماده معدنی با عیار میانگین ۳۴/۵۶ درصد برآورد می‌گردد و چنانچه حفاریات افزونتر در راستای پله‌های بالاتر صورت پذیرد، این ذخیره با افزایش همراه خواهد بود.



نقشه ۲: نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ قائم شهر و موقعیت محدوده مورد بررسی (کادر صورتی رنگ) بر روی آن
(نقشه پایه برگرفته از سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور)

۳- نوع میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش

میکروسکوپ الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش سیستم چند کاره‌ای است که قادر به کار در حالت‌های خلأ بالا و پایین برای تصویربرداری و تجزیه کیفی و کمی با استفاده از طیف اشعه ایکس (X-Ray) جهت آزمون‌های حساس می‌باشد. مدل دستگاه LEO 1400 ساخت شرکت LEO در کشور انگلستان است که به تازگی به شرکت ZIESS آلمان منتقل شده است و دارای بزرگنمایی تا ۳۰۰/۰۰۰ برابر می‌باشد. در این پژوهش با عنایت به قابلیت‌های مناسب این دستگاه علاوه بر تهیه تصاویر الکترونیکی باز یافتی مواردی از کانی‌ها و فازهای مجهول تحت آنالیز عنصری خاص قرار گرفته و در مواردی آنالیز نقشه‌ای (Map Image Analysis) از

فازهای کنیایی انجام شده است؛ در این نوع آنالیز پراکندگی و میزان عناصر مورد نظر هم به صورت مجزا و تفکیک شده و هم بر روی تصویر محدوده مورد آنالیز با رنگ‌های مشخصی پیاده شده است. حد تشخیص (Detection Limit) دستگاه ۰/۰۲ درصد وزنی در محدوده مورد آنالیز است. میکروسکوپ‌های الکترونی روبشی مورد استفاده در این پژوهش ۳ نوع آشکارساز الکترون‌های ثانویه (Secondary Electrons)، الکترون‌های باز یافتی (Backscattered Electrons) و طیف اشعه ایکس را دارا می‌باشد.



تصویر ۲: نمایی از دستگاه کندوپاش میکروسکوپ الکترونی روبشی مدل 1400LEO مورد استفاده در این پژوهش

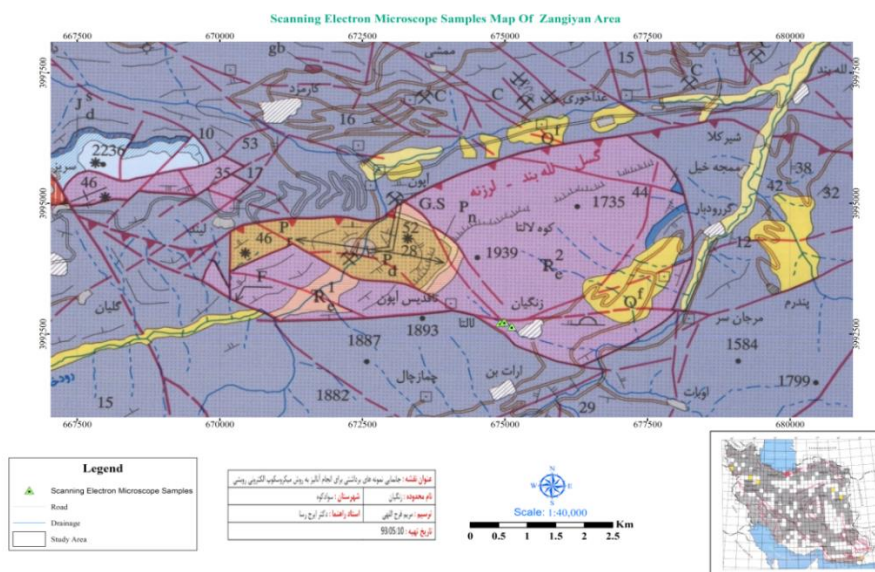
تعیین شیمی کانی‌های موجود در کانسار فلوریت زنگیان، بررسی شبکه کانی‌ها و عناصر درگیر در آن و مقادیر نسبی آنها در ادامه به صورت‌های مختلف نقشه آنالیز عنصری، گراف‌های پیک فراوانی عناصر و مقادیر عددی عناصر تشکیل دهنده کانی‌های کانسار گزارش شده است.

۴- شرح آماده‌سازی نمونه‌های برداشت شده از کانسار فلوریت منطقه زنگیان

یکی از مزیت‌های مهم مطالعه نمونه‌های کانسار فلوریت توسط این دستگاه تهیه سریع نمونه است. در این راستا نمونه‌برداری از محدوده مورد مطالعه، در طی دو مرحله در بهار و تابستان ۱۳۹۲ به تعداد ۵ نمونه انجام گرفت، همچنین موقعیت جغرافیایی محل نمونه‌برداری در دستگاه GPS ثبت گردید و کلیه نمونه‌ها شماره‌گذاری شد؛ این نمونه‌ها پس از آماده‌سازی جهت انجام تصویربرداری و آنالیز با میکروسکوپ الکترونی روبشی به مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران ارسال شد (جدول ۲ و نقشه ۳).

جدول ۲: مختصات جغرافیایی چهار گوش منطقه مورد مطالعه

ردیف	کد نمونه	مختصات (UTM)		ارتفاع (M)
		Y	X	
1	Z1EM	3992649	675118	—
2	Z2EM	3992708	674912	1372 M
3	Z3EM	3992642	675117	1297 M
4	Z4EM	3992727	674973	1359 M
5	Z5EM	3992727	674989	1354 M



نقشه ۳: جابجایی نقاط نمونه‌های برداشتی برای انجام آنالیز به روش میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ قانمشهر

سپس از نمونه‌های مورد مطالعه در این پژوهش مقاطع دوبرصیقل تهیه کردند؛ مشخصات مینرالوگرافی آنها مورد مطالعه قرار گرفت و در بخش‌هایی از این نمونه‌ها یکسری فازهای کانیاپی مشخص و علامت‌گذاری شد تا در این مرحله روی آنها مطالعات دقیق‌تری انجام گیرد؛ مقاطع ابتدا با مواد شوینده در آب گرم مقطر تمیز می‌شوند؛ اتانول یا اتر برای شستشوی سطح نمونه به کار می‌روند و با پارچه ظریف آغشته به الکل یا استون نیز می‌توان سطح نمونه را پاک کرد؛ باید از دست زدن به سطح نمونه اجتناب کرد؛ نمونه‌ها را می‌بایست در محلی قرار داد تا از هرگونه آلودگی و گرد و خاک بر روی سطح نمونه جلوگیری شود؛ نمونه‌های آماده شده برای مطالعه با میکروسکوپ الکترونی روبشی، روی یک پایه آلومینیومی با ضخامت ۱ سانتی‌متر نصب می‌شوند؛ گاهی پایه‌های گرافیتی به کار می‌روند تا زمینه پرتو ایکس به حداقل رسانده شود؛ نمونه به پایه چسبانده می‌شود و برای ایجاد رسانایی اندود (Caat) می‌گردد؛ در آخرین مرحله آماده‌سازی و قبل از مطالعه نمونه‌ها توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی، تمامی نمونه‌ها توسط یک لایه نازک از عنصر کربن (C-Coated) پوشش داده می‌شوند؛ این کار توسط دستگاه (BAL-TEC/SCD 050 Suptter Coater) انجام شد. بسیاری از نمونه‌های زمین‌شناختی، به دلیل عایق بودن در برابر جریان الکتریسیته، نیازمند یک اندود رسانا (Conductive Coating) هستند تا از باردار شدن آنها تحت بمباران الکترونی (تجمع بار الکتریکی) و نیز افزایش دما جلوگیری کند؛ عنصر ارجح برای اندود کردن کربن است، زیرا حداقل تأثیرگذاری را بر طیف پرتو ایکس دارد؛ روش متداول اندود کردن با کربن این است که نمونه را همراه با منبع تبخیر کربن (شامل میله‌های کربنی به قطر ۳ تا ۶ میلی‌متر) در حجرة خلأ قرار می‌دهند؛ جریان ۱۰۰ آمپری در طی چند ثانیه از میله‌ها عبور کرده و موجب تبخیر کربن می‌شود؛ ذرات کربن آزاد شده، سطح نمونه را می‌پوشانند و آن را اندود می‌کنند؛ از آنجایی که اتم‌های کربن تبخیر شده در خط مستقیم سیر می‌کنند، این روش اندود کردن تنها برای نمونه‌های صاف و هموار مناسب است و برای نمونه‌های دارای سطح ناهموار، نمونه در حین اندود کردن چرخانده می‌شود؛ ضخامت بهینه اندود کربن بر روی نمونه حدود ۲۰ نانومتر است.



تصویر ۳: شمایی از دستگاه کندوپاش جهت پوشش دهی نمونه‌ی SEM

لذا در آنالیزهای انجام شده مقادیر کربن 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 بازیافت شده ایجاد می‌شود و الکترون‌های اضافی توسط ازت به زمین منتقل می‌شوند.

۵- مشخصات و نتیجه مطالعه نمونه‌ها با سیستم میکروسکوپ الکترونی روبشی

حال به توصیف تعداد ۵ نمونه انتخابی می‌پردازیم و به برخی از نتایج مهم به دست آمده از این مطالعه اشاره می‌کنیم.

۵-۱ نمونه‌ی Z1EM

این نمونه به مختصات X: 675118 ، Y: 3992649 از شمال محدوده اکتشافی واقع در بخش ۲ سازند الیکا برداشت شد که می‌توان گفت این مکان مغز کانه‌زایی فلوریت است زیرا در نمونه‌های دستی (ماکروسکوپی) کانی فلوریت درشت بلور به وفور به چشم می‌خورد.



تصویر ۵: نمونه‌ی دستی از مغز کانه‌زایی فلوریت درشت بلور به میزبانی سنگ دولومیت

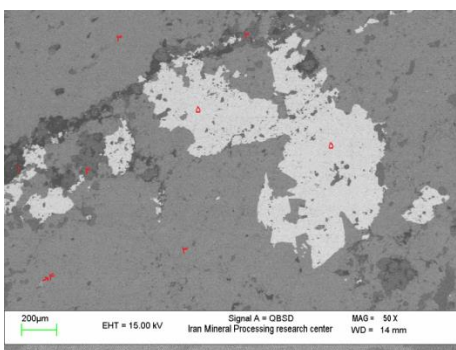


تصویر ۴: نمایی از کانی فلوریت به میزبانی سنگ دولومیت

بررسی اولیه نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری - انعکاسی انجام پذیرفت و کانی‌های خاص و ناحیه‌های مورد نظر توسط قلم با رسم دایره مشخص شد و دوایر شماره گذاری گردید. کانی‌های کربناته از جمله کلیست و دولومیت در مقطع مشاهده شد؛ کلسیت در اینجا تبلور مجدد یافته و حتی به صورت رگه‌ای هم تشکیل شده، همچنین تحت تأثیر تکتونیک کمی چین خورده است؛ دیگر کانی‌های مشاهده شده شامل کوارتز، موسکویت، فلوریت و باریت است. در سطح مقطع به وفور حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. سپس این مقطع مورد آنالیز قرار گرفت؛ تصاویر کلاً در میکروسکوپ الکترونی روبشی سیاه و سفید است. هر چه کانی چگالی‌تر باشد، به تن روشن‌تر دیده می‌شود.

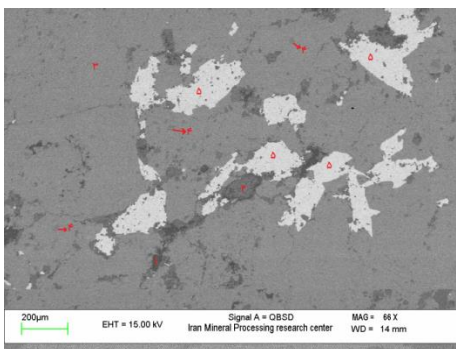
^(۱) تن خاکستری خیلی خیلی تیره، شیشه لام است. ^(۲) تن خاکستری خیلی تیره، کانی کوارتز (SiO₂) است؛ SEM عنصر O و Si را

شناسایی می‌کند. ^(۳) تن خاکستری تیره که به وفور در زمینه مقطع دیده می‌شود کانی فلوریت (CaF₂) است؛ نکته قابل ذکر این است که SEM عنصر F را در اینجا شناسایی نمی‌کند و فقط عنصر Ca را نشان می‌دهد. ^(۴) تن خاکستری متوسط کانی دولومیت (CaMg (CO₃)₂) است. ^(۵) تن خاکستری روشن کانی باریت (BaSO₄) است؛ همانطور که می‌بینیم هر چه کانی چگالی‌تر باشد به رنگ روشنتر دیده می‌شود مانند کانی باریت که بسیار چگال است و به رنگ خاکستری خیلی روشن دیده می‌شود. در بعضی جاها عنصر C مشاهده می‌شود که مشکوک است و ما در آنالیزها مقادیر کربن را حذف می‌کنیم، زیرا برای رسانایی سطح نمونه، از کوت کربن استفاده شد. تعداد سه آنالیز بر روی بخشهای مختلف این نمونه در بزرگنمایی‌های ۵۰x، ۶۶x، ۱۵۰x انجام گرفت.

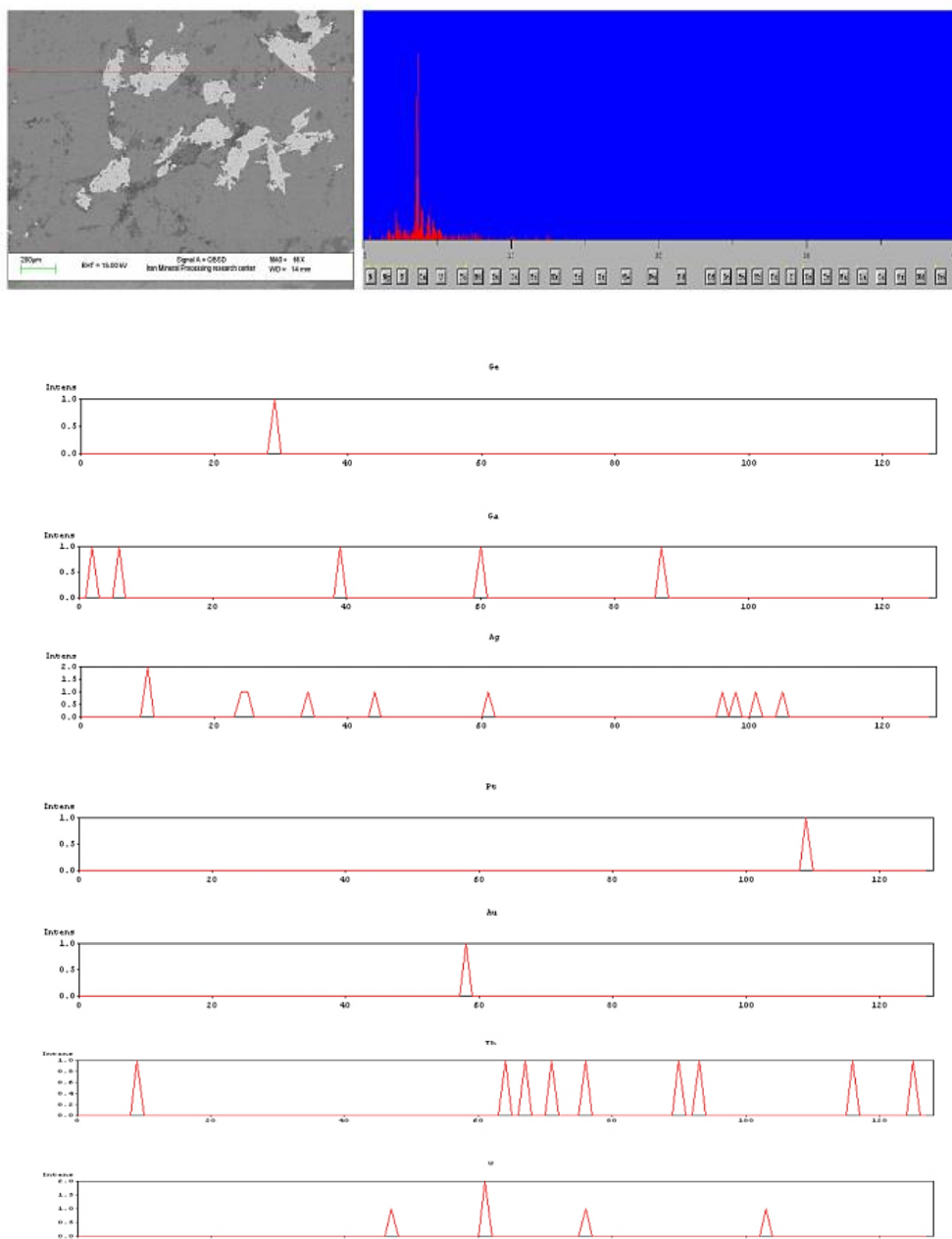


شکل ۲: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی ZIEM با بزرگنمایی 50x

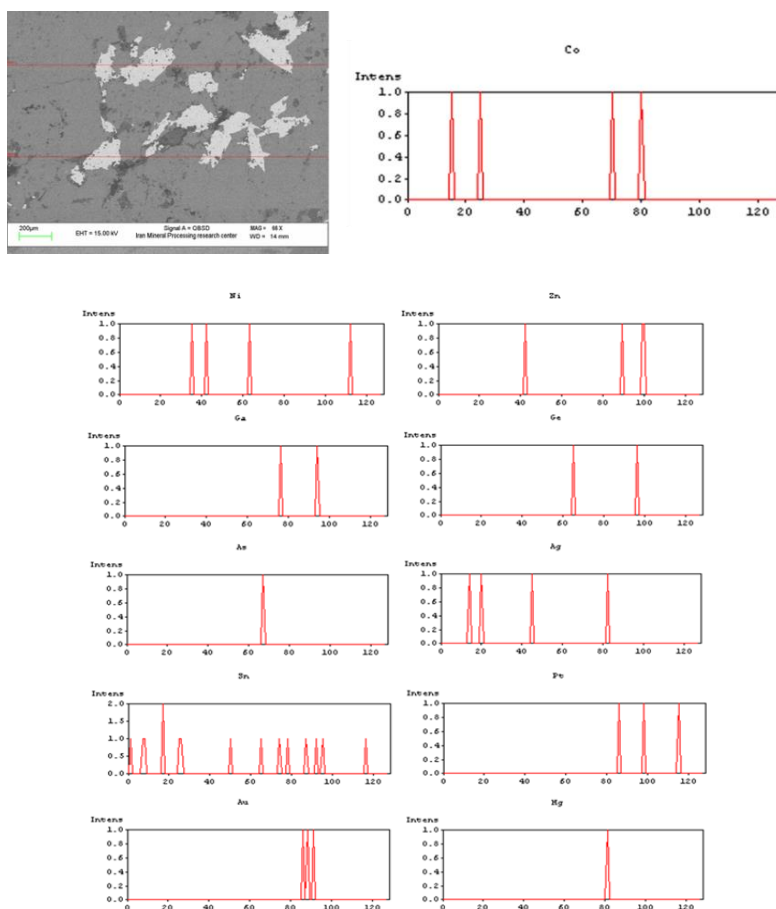
در بزرگنمایی ۶۶x نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر جزئی Ga، Ge، Au، Ag، Pt، U، Th در پیک‌های آنالیز با مقدار خیلی ناچیز (کمتر از ppm در حد ppb) مشاهده شد؛ Au، Ag، Pt جزو فلزات گرانبها هستند؛ Ge و Ga جزو عناصر کمیاب پراکنده در کانیهای سولفیدی می‌باشند.



شکل ۳: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی ZIEM با بزرگنمایی 66x

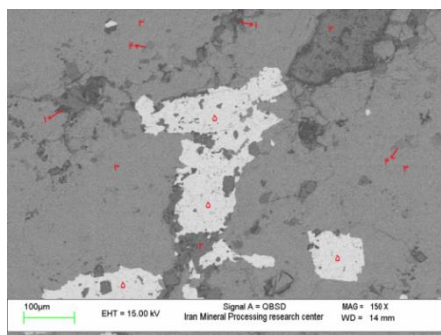


شکل ۴: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی ZIEM با بزرگنمایی 66x در Line1

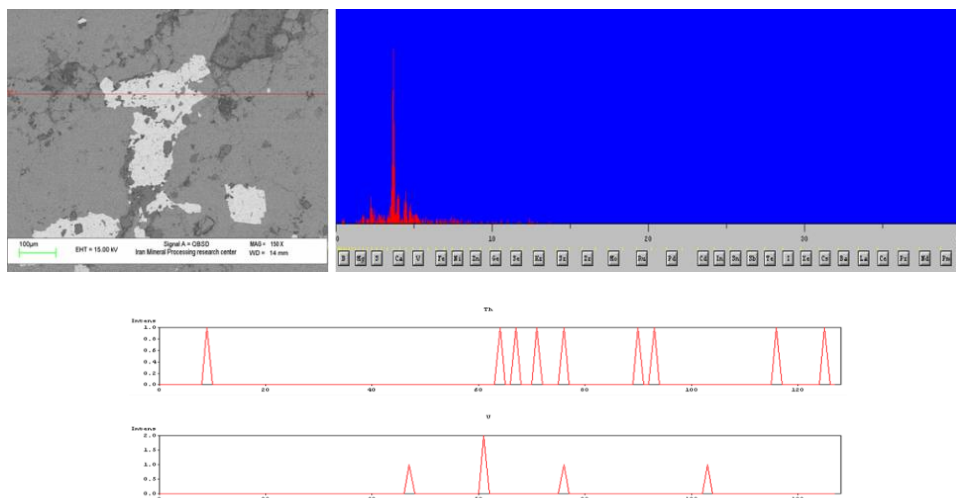


شکل ۵: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z1EM با بزرگنمایی 66x در Line2

در بزرگنمایی ۱۵۰x نتایج آنالیز شده نشان می‌دهد که عناصر جزئی Ga، Ge، Au، Ag، Pt، Co، Ni، Zn، Sn، As، Hg در پیک‌های آنالیز با مقدار خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد.



شکل ۶: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z1EM با بزرگنمایی 150x



شکل ۷: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z1EM با بزرگنمایی 150x در Line1

۵-۲ نمونه‌ی Z2EM

این نمونه به مختصات X : 674912 ، Y : 3992708 ، Z : 1372 m از شمال محدودهٔ اکتشافی واقع در بخش ۲ سازند الیکا از ترانشه چهارم برداشت شد.



تصویر ۷: نمونه‌ی دستی کانی فلوریت به میزبانی سنگ دولومیت



تصویر ۶: نمایی از محل برداشت نمونه Z2EM در منطقه معدنی

زنگیان

بررسی اولیهٔ نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری - انعکاسی انجام پذیرفت و کانی‌های خاص و ناحیه‌های مورد بررسی توسط قلم با رسم دایره مشخص شد و دوایر شماره‌گذاری گردید. کانی‌های کربناته، کوارتز، فلوریت، باریت، گالن، اکسید و هیدروکسیدهای آهن از کانی‌های مشاهده شده در این مقطع‌اند. در سطح مقطع به وفور حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. سپس این مقطع مورد آنالیز قرار گرفت.

(۱) تن خاکستری خیلی خیلی تیره که حالت گل مانند دارد و می‌تواند خاکهای رسی باشد. (۲) تن خاکستری خیلی خیلی تیره، کانی کوارتز (SiO₂) است و حالت تیغه‌ای دارد؛ SEM عنصر O و Si را شناسایی می‌کند. (۳) تن خاکستری تیره که به وفور در زمینه مقطع دیده می‌شود کانی فلوریت (CaF₂) است؛ نکته قابل ذکر این است که SEM عنصر F را در اینجا شناسایی نمی‌کند و فقط عنصر Ca را نشان می‌دهد. (۴) تن خاکستری متوسط اکسید و هیدروکسیدهای آهن است مانند کانی هماتیت (Fe₂O₃)، مگنتیت (Fe₃O₂)، گوتیت FeO(OH)، پیریت (FeS₂) که SEM عناصر Fe، O، S را شناسایی می‌کند؛ اکسید و هیدروکسیدهای آهن ثانویه هستند یعنی

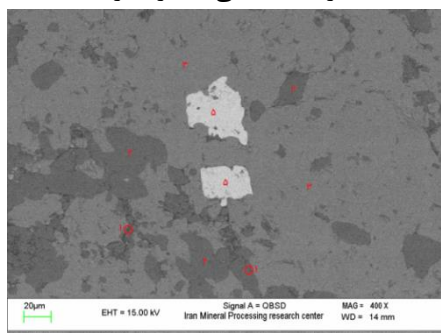


از محیطی دیگر وارد شده‌اند و حالت توهم توهم (درهم) دارند؛ در اکسیدهای آهن حالت زونینگ هم داریم یعنی دارند تبدیل می‌شوند؛ حالت زونینگ تغییرات منظم و تدریجی در ترکیب شیمیایی یک کانی و یا تغییر نوع کاتیون رنگی است که موجب تشکیل آن می‌شود، در واقع زونینگ به دلیل تفاوت در ترکیب شیمیایی دو کانی به دورنگ دیده می‌شود. ^(۵) تن خاکستری روشن کانی باریت (BaSO_4) است؛ SEM عنصر Ba، S و O را شناسایی می‌کند. ^(۶) تن خاکستری خیلی روشن کانی گالن (PbS) است؛ SEM عناصر S، Pb را شناسایی می‌کند.

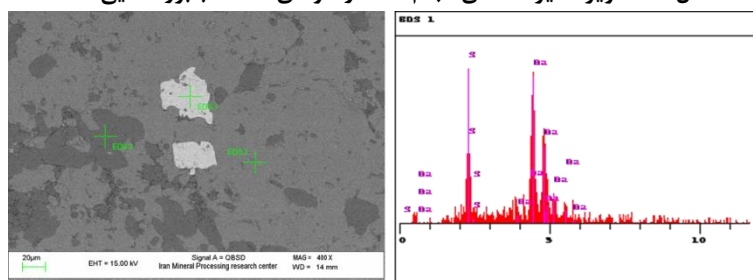
* عنصر وانادیوم (V) مشاهده می‌شود که می‌تواند مربوط به کانی وانادینیت $\text{Pb}_5(\text{VO}_4)_3\text{Cl}$ باشد؛ این کانی با آپاتیت هم ساختار است؛ AsO_4 و PO_4 می‌تواند به مقدار کم جانشین VO_4 شوند و نیز اندکی Cu، Zn، Ca جانشین Pb می‌شود؛ وانادینیت یک کانی ثانویه کمیاب است که در بخش اکسیده رگه‌های سرب با دیگر کانی‌های ثانویه سرب یافت می‌شود.

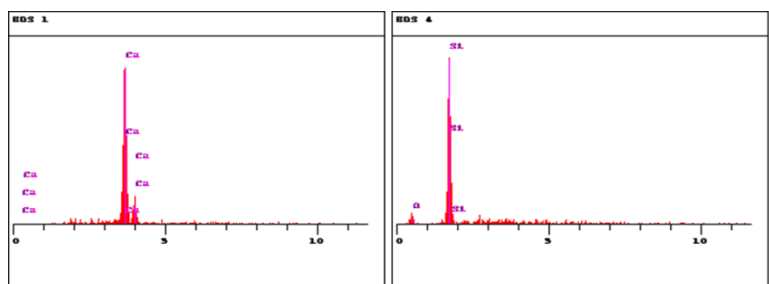
* ما یک سری پیریت داریم به نام پیریت Rhomboid که یک حالت ریزدانه‌ای نسبت به هم دارند که اینها در حقیقت باکتری‌های بی‌هوازی هستند که تبدیل به پیریت شدند در محیط احیایی؛ این گونه پیریت‌ها مخصوص مناطق حرارت پایین یعنی اپی‌ترمال هستند؛ گاهی هم پیریت در مجاورت هوا قرار می‌گیرد هوازد می‌شود و تبدیل به هیدروکسیدهای آهن یعنی گوتیت می‌شود. تعداد سه آنالیز بر روی بخشهای مختلف این نمونه در بزرگنمایی‌های $400\times$ ، $500\times$ ، $1000\times$ انجام گرفت.

در بزرگنمایی $400\times$ نتایج آنالیز انجام شده بر روی نمودار EDS نشان داده شد که عناصر Ca، Si، O، S، Ba در پیک‌های آنالیز مشاهده شد؛ آنالیز Ba، S، O نشان دهنده کانی باریت است؛ عناصر Si، O نشان دهنده کانی کوارتز است؛ عنصر Ca نشان دهنده کانی فلوریت است زیرا همانطور که بیان شده SEM قادر به شناسایی عنصر F در اینجا نیست.



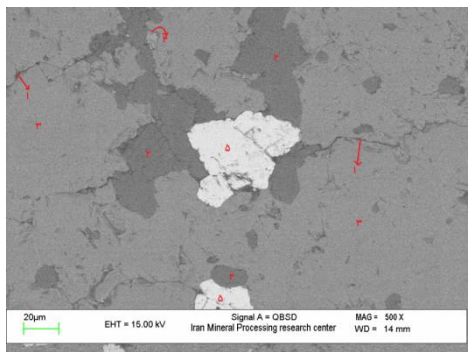
شکل ۸: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی ZEM با بزرگنمایی 400x



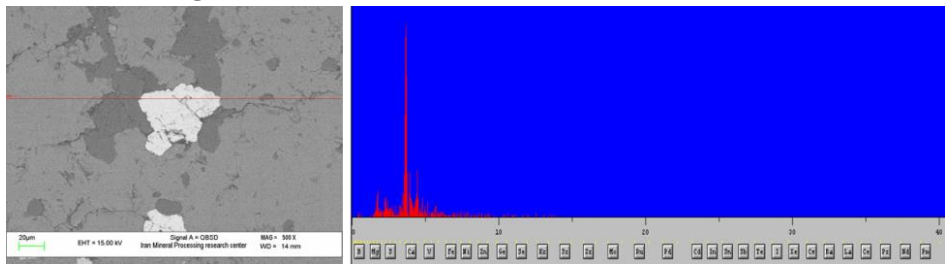


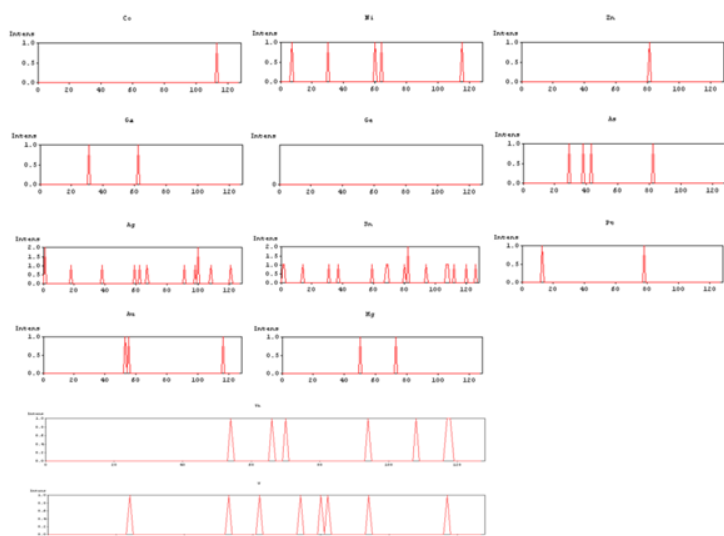
شکل ۹: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z2EM با بزرگنمایی 400x

در بزرگنمایی ۵۰۰x نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر Ga، Ge، Hg، As، Au، Ag، Ni، Co، Pt، Sn، Zn، U، Th در پیک‌های آنالیز با مقدار خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد.



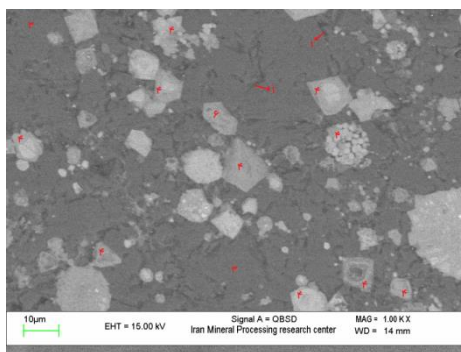
شکل ۱۰: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z2EM با بزرگنمایی 500x



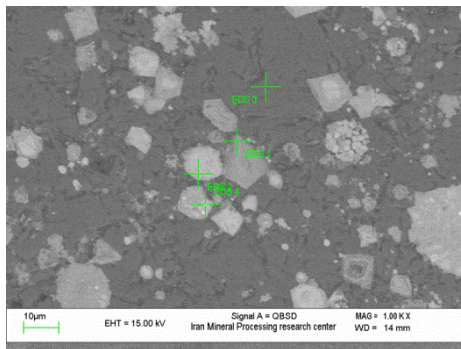


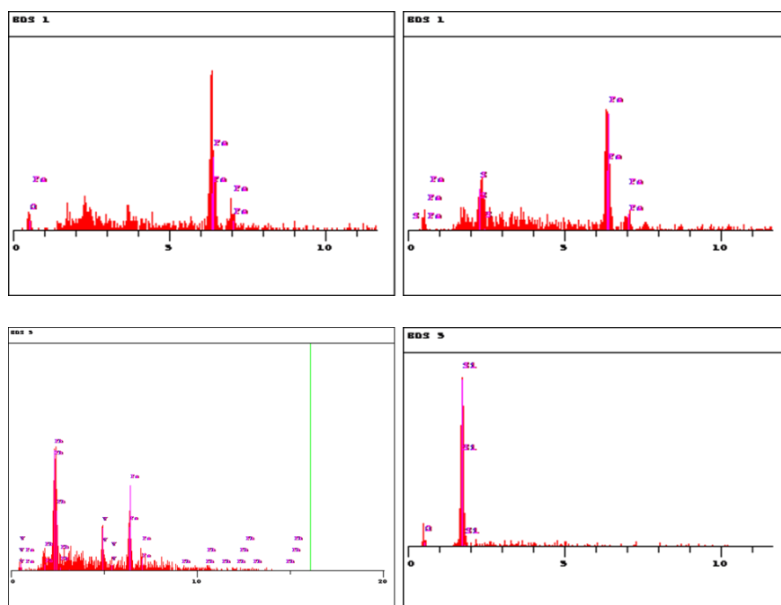
شکل ۱۱ : تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z2EM با بزرگنمایی 500x در Line1

در بزرگنمایی ۱,۰۰ kx نتایج آنالیز انجام شده بر روی نمودار EDS نشان داده شد که عناصر Fe، O، S، V، Pb در پیک‌های آنالیز مشاهده شد؛ عناصر Fe، O نشان دهندهٔ کانی هماتیت و مگنتیت است؛ عناصر S، Fe نشان دهندهٔ کانی پیریت است؛ عناصر S، Pb نشان دهندهٔ کانی گالن است.



شکل ۱۲ : تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z2EM با بزرگنمایی 1.00kx





شکل ۱۳: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z2EM با بزرگنمایی 1.00kx

۳-۶ نمونه‌ی Z3EM

این نمونه به مختصات Z:1297 m, Y:3992642, X:675117 از شمال محدوده اکتشافی واقع در بخش ۲ سازند الیکا از ترانسه یکم برداشت شد.



تصویر ۸: نمونه برشی و آلتزه شده دارای فلوریت ریز دانه

بررسی اولیه نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری - انعکاسی انجام پذیرفت و کانی‌های خاص و ناحیه‌های مورد بررسی توسط قلم با رسم دایره مشخص شد و دایره شماره گذاری گردید. کانی‌های کربناته از جمله کلیست و دولومیت، فلوریت، باریت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، مگنتیت، پیریت، گوتیت از کانی‌های مشاهده شده در این مقطع اند. در سطح مقطع به وفور حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. سپس این مقطع مورد آنالیز قرار گرفت.

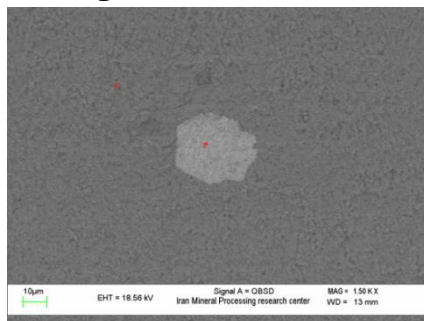
^(۱) تن خاکستری خیلی خیلی تیره، شیشه لام است. ^(۲) تن خاکستری خیلی تیره که به وفور در زمینه مقطع دیده می‌شود کانی فلوریت (CaF₂) است؛ نکته قابل ذکر این است که SEM عنصر F را در اینجا شناسایی نمی‌کند و فقط عنصر Ca را نشان می‌دهد. ^(۳) تن خاکستری متوسط کانی دولومیت (CaMg (CO₃)₂) است. ^(۴) تن خاکستری متوسط اکسید و هیدروکسیدهای آهن است مانند کانی هماتیت (Fe₂O₃)، مگنتیت (Fe₃O₂)، گوتیت (FeO(OH))، پیریت (FeS₂) که به وفور در این مقطع مشاهده می‌شود؛

SEM عناصر S، O، Fe را شناسایی می‌کند؛ اکسید و هیدروکسیدهای آهن ثانویه هستند یعنی از محیطی دیگر وارد شده‌اند و حالت درهم دارند؛ در اکسیدهای آهن حالت زونینگ هم داریم. ^(۵) تن خاکستری روشن کانی باریت (BaSO₄) است؛ SEM عنصر Ba، S و O را شناسایی می‌کند.

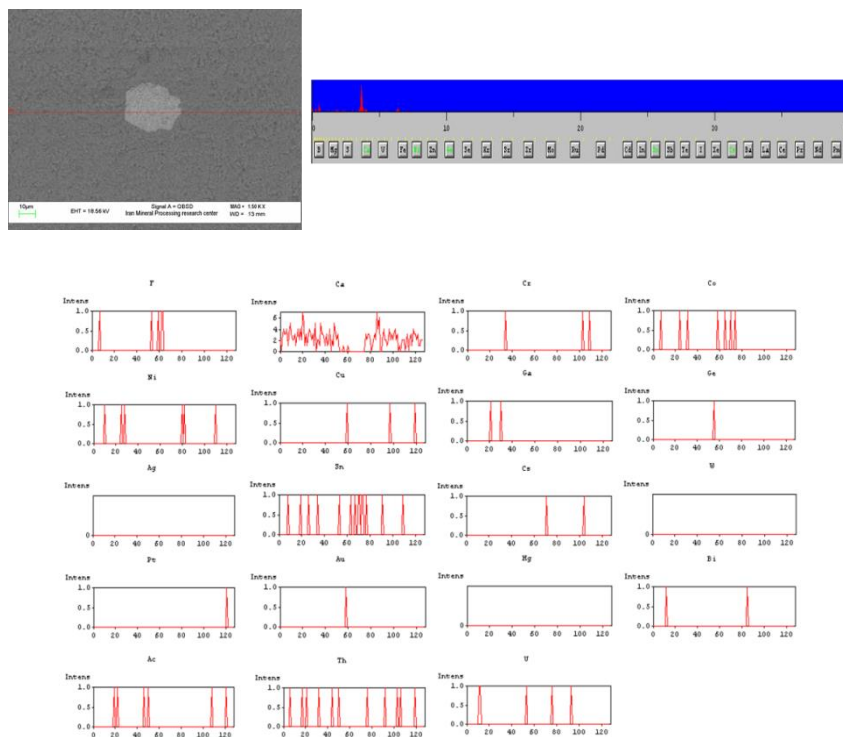
* در اینجا پیریت داریم به نام پیریت Rhomboid هم دیده شد؛ همچنین پیریت هوازه هم داریم که دارد تبدیل به هیدروکسیدهای آهن یعنی گوتیت می‌شود.

تعداد دو آنالیز بر روی بخشهای مختلف این نمونه در بزرگنمایی‌های 1.50kx، 3.00kx انجام گرفت.

در بزرگنمایی ۱،۵۰kx نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر Hg، V، Co، Cs، Sn، Cu، Ca، Ac، Pt، Ag، Au، Ni، F، در Bi، W، Th، Cr، Ga، Ge که پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد؛ سپس با توجه به نمودار EDS دریافتیم که عناصر Fe و O در پیک‌های آنالیز مشاهده شد که این عناصر نشان دهنده کانی هماتیت، مگنتیت، گوتیت است.

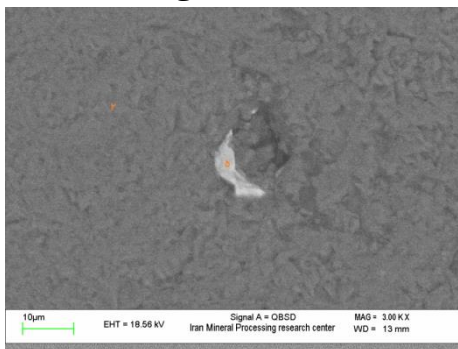


شکل ۱۴: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z3EM با بزرگنمایی 1.50kx

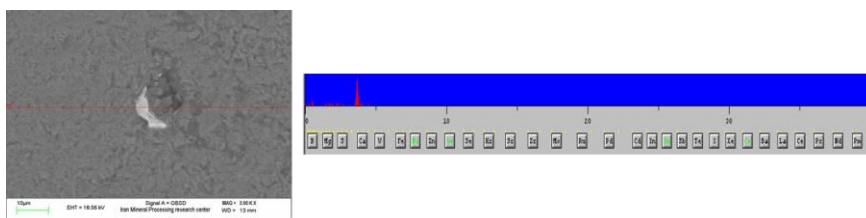
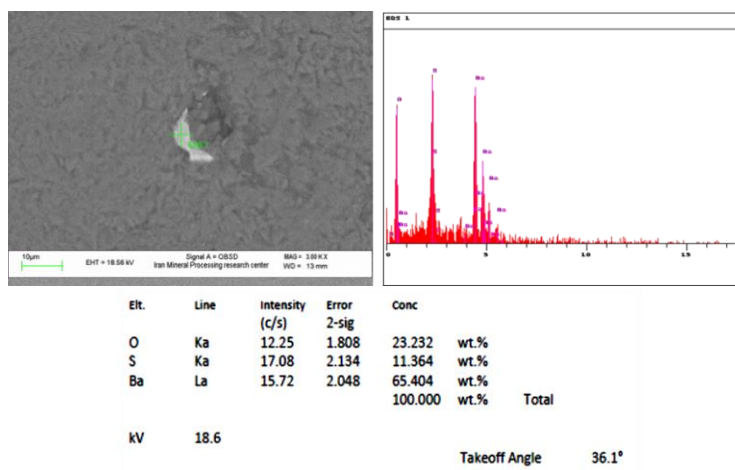


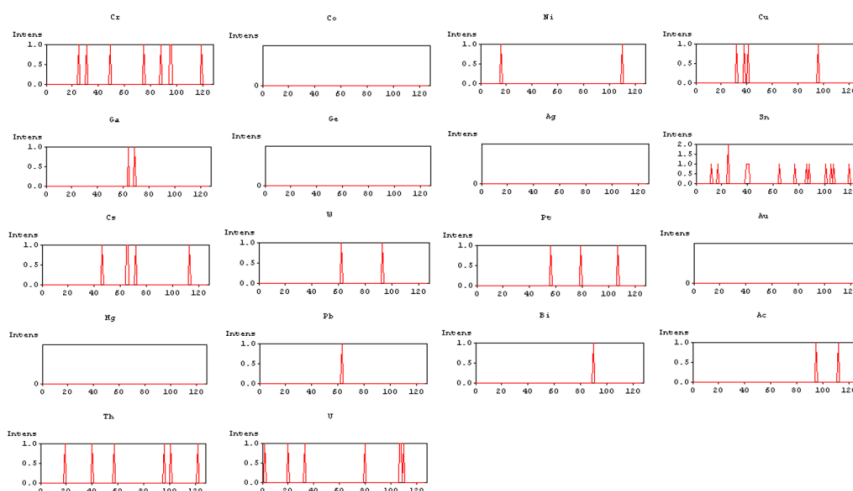
شکل ۱۵ : تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z3EM با بزرگنمایی 1.50kx

در بزرگنمایی ۳,۰۰kx نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر Pt,Ag,Ni,U,Pb,W,Co,Th,Hg,Cs,Ge,Ga,Cr,Ac,Au,Sn,Cu,Bi در پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد؛ سپس در نمودار EDS دیدیم که عناصر Ba, S و O در پیک‌های آنالیز مشاهده می‌شود که این عناصر نشان دهنده کانی باریت است.



شکل ۱۶ : تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z3EM با بزرگنمایی 3.00kx





شکل ۱۷: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z3EM با بزرگنمایی 3.00kx

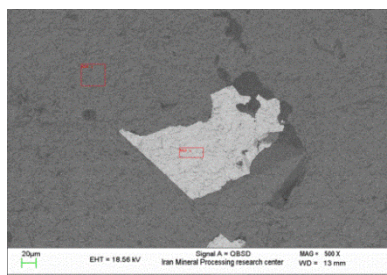
۴-۶ نمونه‌ی Z4EM

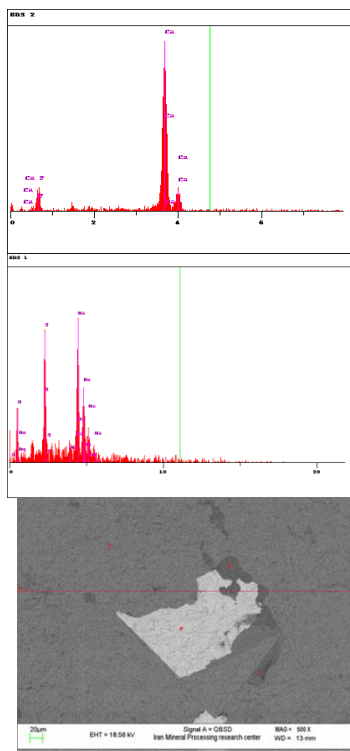
این نمونه به مختصات $Z: 1359 \text{ m}, Y: 3992727, X: 674973$ از شمال محدوده اکتشافی واقع در بخش ۲ سازند الیکا از ترانسه سوم برداشت شد. بررسی اولیه نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری - انعکاسی انجام پذیرفت و کانی‌های خاص و ناحیه‌های مورد بررسی توسط قلم با رسم دایره مشخص شد و دوایر شماره گذاری گردید. کانی‌های فلوریت، باریت از کانی‌های مشاهده شده در این مقطع اند. در سطح مقطع به وفور حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. سپس این مقطع مورد آنالیز قرار گرفت.

(۱) تن خاکستری خیلی خیلی تیره، شیشه لام است. (۲) تن خاکستری خیلی تیره، کانی کوارتز (SiO_2) است و حالت تیغه‌ای دارد؛ SEM عنصر O و Si را شناسایی می‌کند؛ پیک‌های عنصر Si خیلی ناچیز است. (۳) تن خاکستری تیره که به وفور در زمینه مقطع دیده می‌شود کانی فلوریت (CaF_2) است؛ نکته قابل ذکر این است که SEM عنصر F و Ca را نشان می‌دهد. (۴) تن خاکستری روشن کانی باریت (BaSO_4) است که بسیار زیاد این مقطع باریت دارد؛ SEM عنصر Ba، S و O را شناسایی می‌کند؛ همراه کانی باریت عنصر Al هم به مقدار خیلی ناچیز مشاهده می‌شود و این به این دلیل است که عناصر می‌توانند جایگزین یکدیگر شوند.

تعداد یک آنالیز بر روی بخشهای مختلف این نمونه در بزرگنمایی‌های 500x انجام گرفت.

نتایج آنالیز انجام شده در دو line بررسی شد؛ نتایج آنالیز در line 1 حاکی از آن است که عناصر $\text{Cs}, \text{Sn}, \text{Cu}, \text{Ac}, \text{Pt}, \text{Ag}, \text{Au}, \text{Ni}$ ، در W، Th، Cr، Ga، Ge، Hg، U، Co در پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد؛ سپس با توجه به نمودار EDS دریافتیم که عناصر $\text{Ca}, \text{S}, \text{Ba}, \text{O}, \text{F}$ در پیک‌های آنالیز وجود دارد که عناصر $\text{O}, \text{S}, \text{Ba}$ نشان دهنده کانی باریت است؛ عناصر F, Ca نشان دهنده کانی فلوریت است.



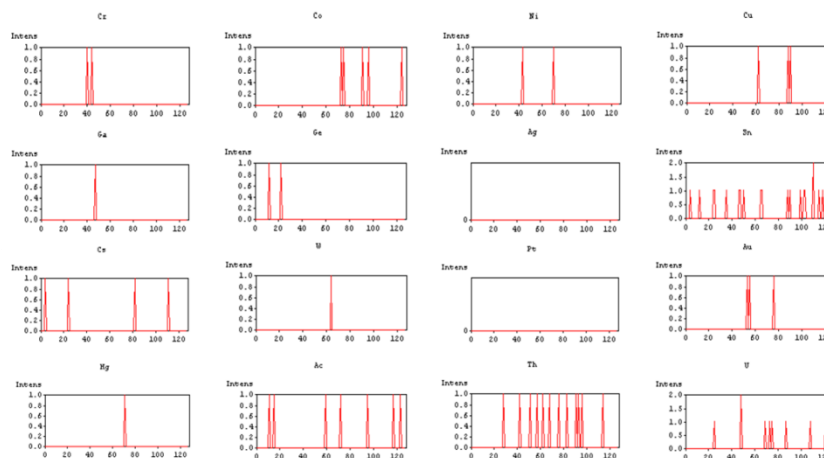


Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
F	Ka	7.21	1.386	30.118	wt.%
Ca	Ka	67.10	4.230	63.218	wt.%
Ba	La	0.96	0.505	6.664	wt.%
				100.000	wt.% Total

kV 18.6
 Takeoff Angle 36.1°

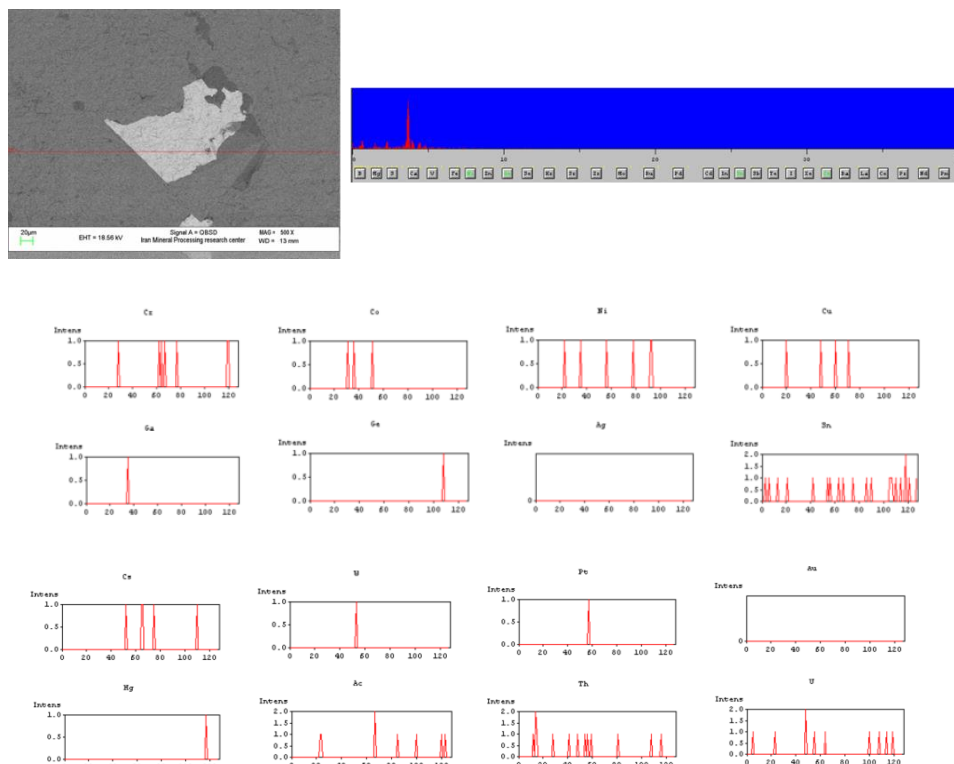
Elt.	Line	Intensity (c/s)	Error 2-sig	Conc	
O	Ka	6.77	1.343	15.141	wt.%
S	Ka	16.65	2.107	12.705	wt.%
Ba	La	15.42	2.028	72.154	wt.%
				100.000	wt.% Total

kV 18.6
 Takeoff Angle 36.1°



شکل ۱۸ : تصویر آنالیز نقشه‌ای به همراه تصاویر آنالیز کامل انجام شده در line1 و جدول آنالیز عنصری توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z4EM با بزرگنمایی 500x

نتایج آنالیز در line2 نشان می‌دهد که عناصر Ni، Au، Ag، Pt، Ac، Cu، Sn، Cs، Co، U، Hg، Ge، Ga، Cr، Th، W در پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد.



شکل ۱۹: تصویر آنالیز نقشه‌ای به همراه تصاویر آنالیز کامل انجام شده در line2 و جدول آنالیز عنصری توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z4EM با بزرگنمایی 500x

۵-۶ نمونه‌ی Z5EM

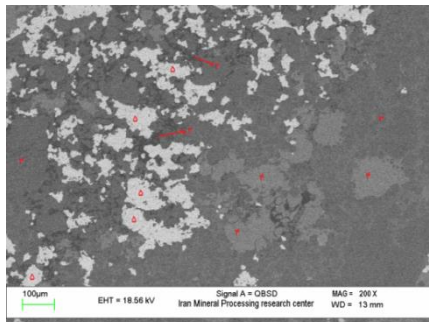
این نمونه به مختصات $Z: 1354 \text{ m}$, $Y: 3992727$, $X: 674989$ از شمال محدوده اکتشافی واقع در بخش ۲ سازند الیکا از ترانسه دوم برداشت شد. بررسی اولیه نمونه به وسیله میکروسکوپ نوری - انعکاسی انجام پذیرفت و کانی‌های خاص و ناحیه‌های مورد بررسی توسط قلم با رسم دایره مشخص شد و دوایر شماره گذاری گردید. کانی کلسیت درز و شکاف‌ها را پر کرده است و دولومیتی شدن در برخی قسمت‌ها مشاهده می‌شود؛ فلوریت، باریت از دیگر کانی‌های دیده شده در این مقطع می‌باشند؛ همچنین اکسید و هیدروکسید آهن مانند لیمونیت، گوتیت، هماتیت و مگنتیت نیز مشاهده گردید که نشان دهنده فرسایش و هوازدگی است. در سطح مقطع حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. سپس این مقطع مورد آنالیز قرار گرفت.

(۱) تن خاکستری خیلی خیلی تیره، شیشه لام است. (۲) تن خاکستری خیلی تیره که به صورت رگچه دیده می‌شود کانی فلوریت (CaF_2) است؛ SEM عنصر F و Ca را نشان می‌دهد. (۳) تن خاکستری متوسط کانی دولومیت $(\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2)$ است که زمینه مقطع کاملاً دولومیت می‌باشد؛ SEM قادر به شناسایی عنصر Ca، Mg، O، C می‌باشد. (۴) تن خاکستری متوسط اکسید و هیدروکسید آهن است مانند کانی هماتیت (Fe_2O_3) ، مگنتیت (Fe_3O_2) ، گوتیت $(\text{FeO}(\text{OH}))$ ، لیمونیت $[(\text{FeO})(\text{OH}).\text{nH}_2\text{O}]$ که به وفور در این مقطع مشاهده می‌شود؛ SEM عناصر S، O، Fe را شناسایی می‌کند؛ اکسید و هیدروکسیدهای آهن ثانویه هستند یعنی از محیطی دیگر وارد شده‌اند و حالت درهم دارند؛ در اکسیدهای آهن حالت زونینگ هم داریم. (۵) تن خاکستری روشن کانی باریت (BaSO_4) است که به صورت اتفاقی وارد شده است (به صورت تفاله در آن وسط افتاده است)؛ SEM عنصر Ba، S و O را شناسایی می‌کند.

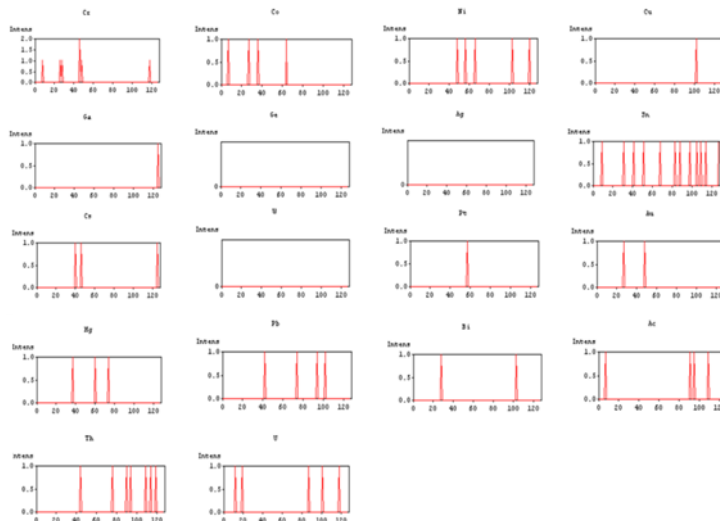
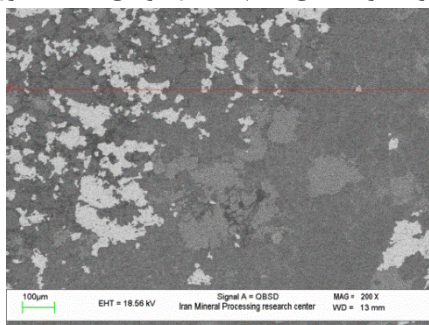
تعداد دو آنالیز بر روی بخشهای مختلف این نمونه در بزرگنمایی‌های 200x، 500x انجام گرفت.

در بزرگنمایی‌های 200x نتایج آنالیز انجام شده در دو line بررسی شد؛ نتایج آنالیز در line1 حاکی از آن است که عناصر Ag، Au، Ni،

Bi، Pb، W، Th، Cr، Ga، Ge، Hg، U، Co، Cs، Sn، Cu، Ac، Pt در پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد.

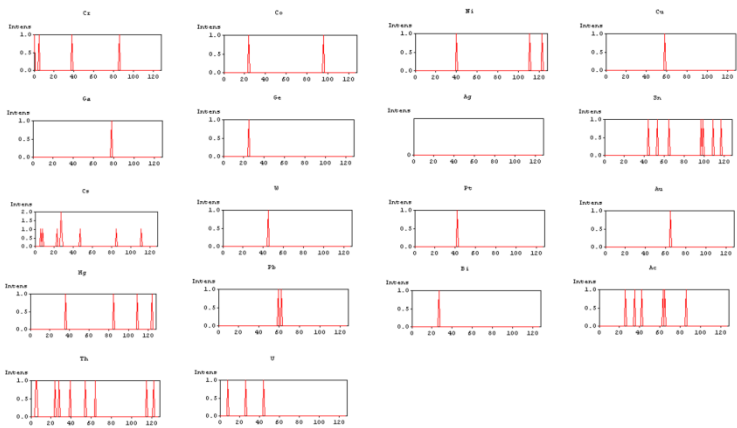
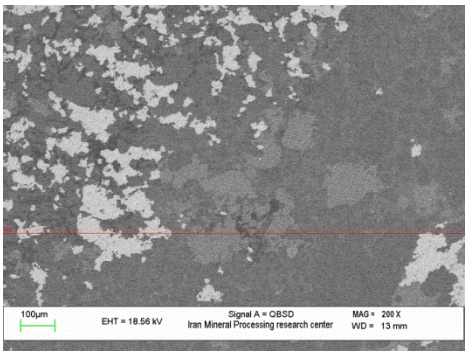


شکل ۲۰: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی Z5EM با بزرگنمایی 200x



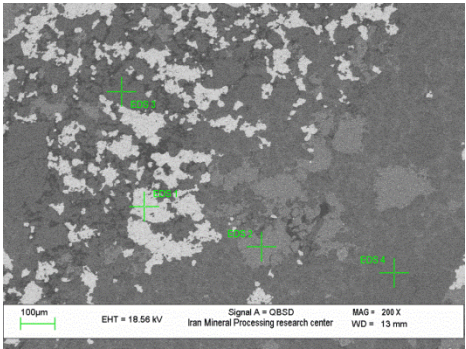
شکل ۲۱: تصویر آنالیز کامل انجام شده در line1 توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z5EM با بزرگنمایی 200x

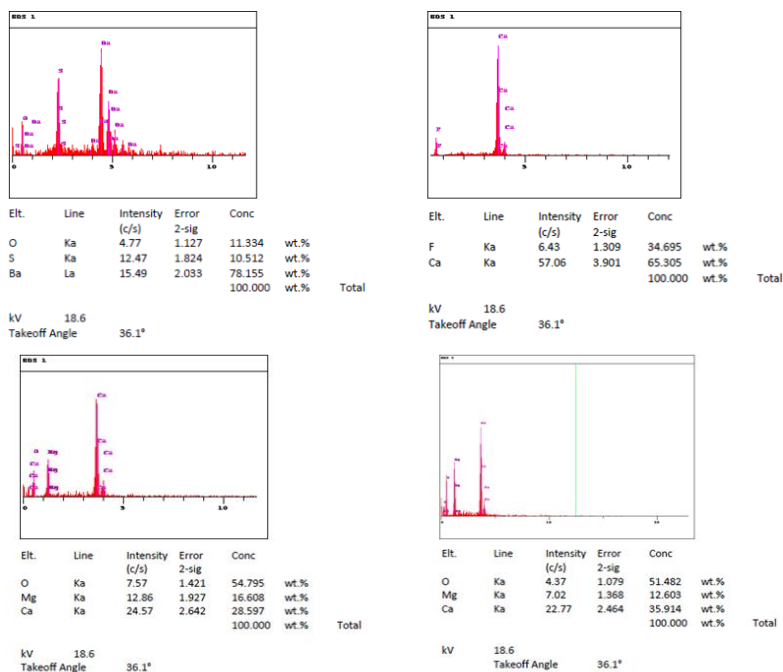
نتایج آنالیز در line2 حاکی از آن است که عناصر Bi، Pb، W، Th، Cr، Ga، Ge، Hg، U، Co، Cs، Sn، Cu، Ac، Pt، Ag، Au، Ni در پیک‌های آنالیز با مقادیر خیلی ناچیز در حد ppb مشاهده شد.



شکل ۲۲: تصویر آنالیز کامل انجام شده در line2 توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی ZSEM با بزرگنمایی 200x

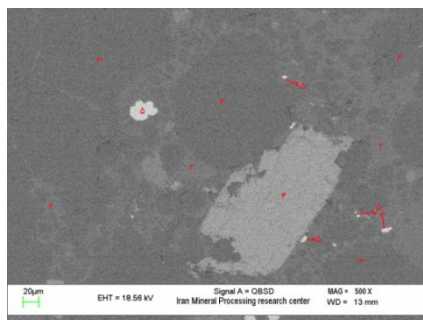
سپس در نمودار EDS مشاهده شد که عناصر O، S، Ba، Ca، F، Mg، C در پیک‌های آنالیز وجود دارد؛ عناصر S، Ba، O نشان دهندهٔ کانی باریت است؛ عناصر Ca، F نشان دهندهٔ کانی فلوریت است؛ عناصر Ca، Mg، O، C نشان دهندهٔ کانی دولومیت است.



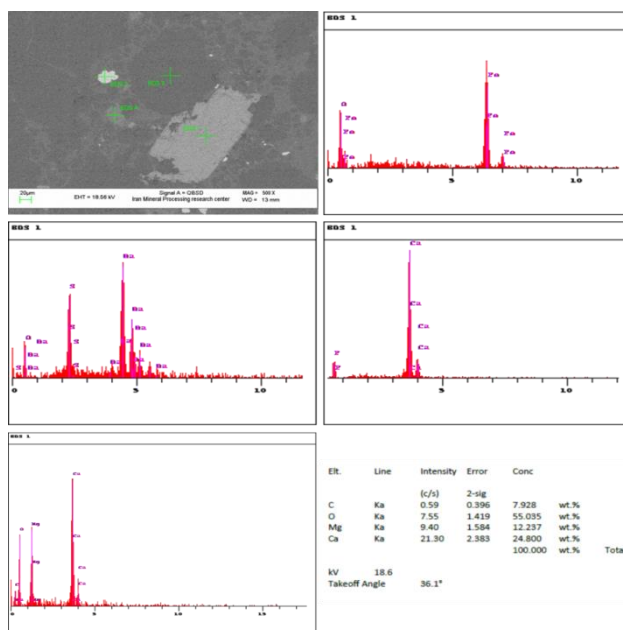


شکل ۲۳: پیک‌های مشاهده‌شده در نمودار EDS در نمونه‌ی ZSEM با بزرگنمایی ۲۰۰x

در بزرگنمایی ۵۰۰x نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر Fe، O، Ba، S، Ca، Mg، C، F در پیک‌های آنالیز وجود دارد همانطوری که در نمودار EDS هم مشخص است؛ عناصر Fe و O نشان دهندهٔ کانی هماتیت، مگنتیت، گوتیت، لیمونیت است؛ عناصر U، S، Ba نشان دهندهٔ کانی باریت است؛ عناصر Ca، Mg، C، O نشان دهندهٔ کانی دولومیت است؛ عناصر F، Ca نشان دهندهٔ کانی فلوریت است.



شکل ۲۴: تصویر آنالیز نقشه‌ای انجام شده در نمونه‌ی ZSEM با بزرگنمایی ۵۰۰x



شکل ۲۵: تصاویر آنالیز کامل انجام شده توسط دستگاه میکروسکوپ الکترونی روبشی در نمونه‌ی Z5EM با بزرگنمایی 500x

۶- نتیجه‌گیری

بر اساس مطالعات انجام شده در این مقاله که برای نخستین بار با روش میکروسکوپ الکترونی روبشی بر روی نمونه‌های حاوی کانی فلوریت در منطقه زنگیان انجام شد، می‌توان نتایج زیر را به اختصار مطرح نمود: کانی‌های کربناته از جمله کلیست و دولومیت، کوارتز، موسکویت، فلوریت، باریت، گالن، اکسید و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، لیمونیت، مگنتیت، پیریت، گوتیت از کانی‌های مشاهده شده در این مقاطع اند؛ در سطح مقاطع به وفور حباب چسب و فضای خالی هم مشاهده می‌شود. اکسید و هیدروکسیدهای آهن ثانویه هستند یعنی از محیطی دیگر وارد شده‌اند و حالت توهم توهم دارند؛ در اکسیدهای آهن حالت زونینگ هم داریم یعنی دارند تبدیل می‌شوند. پیریت Rhomboid هم دیده شد که یک حالت ریزدانه‌ای نسبت به هم دارند که اینها در حقیقت باکتری‌های بی‌هوازی هستند که تبدیل به پیریت شدند در محیط احیایی؛ این گونه پیریت‌ها مخصوص مناطق حرارت پایین یعنی اپی‌ترمال هستند. نتایج آنالیز انجام شده حاکی از آن است که عناصر C, Mg, Bi, W, Cr, Cs, Cu, Ac, F, Pb, V, Fe, Ca, Si, O, S, Ba, Hg, As, Sn, Zn, Ni, Co, Th, U, Pt, Ag, Au, Ge, Ga مشاهده می‌شوند. نتایج آنالیز با مقدار خیلی ناچیز (کمتر از ppm در حد ppb) مشاهده شد. یکی از مهمترین اهداف این مطالعه بررسی وضعیت خلوص تعدادی از نمونه‌ها است که از ترانسه‌ها برداشت شده بودند و نتایج این مطالعه نشان از درجه خلوص تقریباً بالای اغلب این نمونه‌ها بود؛ البته این نمونه‌ها دارای ناخالصی‌های کوارتز، کلسیت، دولومیت و ... می‌باشند. هدف دوم از این مطالعه بررسی حضور برخی از عناصر مانند طلا، نقره، نیکل، کبالت، وانادیوم، کروم، مس، ژرمانیوم، گالیم و ... حتی به مقدار بسیار ناچیز در کانسار فلوریت زنگیان است؛ میزان تمرکز برخی از این عناصر به منظور شناخت منشأ و ماهیت عناصر کانسار ساز نقش مهمی دارند.

منابع و مراجع

مقدسی، ج؛ مینرالوگرافی (کانه نگاری)؛ انتشارات دانشگاه پیام نور
ملک قاسمی، ف؛ اصول مینرالوگرافی؛ انتشارات دانشگاه تبریز



روح‌الهی، ا- میران بیگی، ع- مصطفوی، م؛ تجزیه مواد معدنی روشها و کاربردها؛ جلد اول؛ انتشارات رنگارنگ
میرنژاد، ح- لنکرانی، م؛ روشهای تجزیه دستگاهی در علوم زمین؛ انتشارات دانشگاه تهران

- Brian . J. C. & Witherspoon , K. C. , 2006 , "Advancing EDS analysis in the SEM with in - situ quantitative XRF" , 5th International Microscopy Congress , Japan , 128p
- Chamness , 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
- 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
- Gabriel , B.L , SEM : A User's Manual for Material Science , ASM , 1985
- Reimer , L , Scanning Electron Microscopy , Springer - Verlag , 1998
- Joseph Goldstein et al . "Scanning Electron Microscopy and X-Ray Microanalysis"
- David C. Joy. "Low Voltage Scanning Electron Microscopy" , Hitachi Instrument News , July 1989