

## مطالعات ژئوشیمیایی و کانی شناختی کانسار سرب و روی گوشفیل ایرانکوه، اصفهان

فریمه آیتی<sup>۱</sup>، هنگامه دهقانی<sup>۲</sup>، احمدرضا مختاری\*<sup>۳</sup>، سید حسین مجتهدزاده<sup>۴</sup>

۱- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه پیام نور، ج.ا.ایران

۲- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

۴- استادیار، دانشکده مهندسی معدن و متالورژی، دانشگاه یزد

(دریافت اسفند ۹۲، پذیرش آذر ۹۳)

### چکیده

کانسار سرب و روی ایرانکوه در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب غرب اصفهان و در زون ساختاری سنندج - سیرجان واقع شده است. سنگ‌های در برگیرنده کانسار عمدتاً سنگ‌های کربناتی کرتاسه و شیل ژوراسیک است. کانه زایی که عمدتاً در نهشته‌های کربناته صورت پذیرفته شامل اسفالریت، گالن و پیریت است. اسفالریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی است که به‌طور یکنواخت در ماتریکس غنی از پیریت و گالن پراکنده است. پیریت در اغلب مراحل کانه زایی به صورت هم‌رشدی با اسفالریت وجود دارد. کالکوپیریت به صورت اکسولوشن در جهت کلیواژهای اسفالریت قابل مشاهده است. ظاهراً گالن زودتر از اسفالریت ته نشین شده که این امر می‌تواند به دلیل تحرک کمتر عنصر سرب در مقایسه با روی در محلول‌های گرمایی باشد. این پژوهش بر تشخیص عناصر ردیاب و پارائزهای عنصری در کانسار گوشفیل و شناسایی کانی‌های منشأ این عناصر تمرکز یافته است. بر اساس مقایسه نتایج آنالیزهای ICP انجام‌شده در سنگ شیل و دولومیت نهشته معدنی گوشفیل و عناصر موجود در شیل و دولومیت جهانی و شیل و دولومیت زمینه، بهترین عناصر ردیاب را می‌توان  $Ag, Sb, Cd, Cr, Zn, Pb$  معرفی نمود. با توجه به آنالیز الکترومیکروپروب منشأ عناصر ردیاب مشخص شده، کانی‌های اسفالریت، گالن و پیریت است.

### کلمات کلیدی

ایرانکوه، عناصر ردیاب، ژئوشیمی، گوشفیل، سرب و روی

## ۱- مقدمه

کانسار سرب و روی ایرانکوه به عنوان یکی از مهم‌ترین ذخایر سرب و روی ایران در امتداد رشته‌کوه ایرانکوه و در فاصله ۲۵ کیلومتری جنوب غرب اصفهان و در زون ساختاری سنندج سیرجان واقع شده است. مطالعات متعددی در منطقه ایرانکوه انجام شده است از جمله قاسمی تودشکچویی که به بررسی زمین‌شناسی و ژئوشیمی کانسار سرب و روی کلاه دروازه - گودزدان - خانه گرگی پرداخته است [۶]. عناصر سنگین و اثرات زیست‌محیطی آن و نیز منشأ فلزات و سیالات کانه ساز منطقه نیز بررسی و مشخص شده که منشأ محلول‌های گرمایی تشکیل‌دهنده کانسار، شورابه‌های حوضه‌ای هستند که در امتداد گسل‌ها به سمت بالا صعود کرده‌اند [۳] [۲]. گزارش نقشه زمین‌شناسی معدنی گستره گوشفیل - تپه سرخ نیز تهیه شده است [۱]. یکی از عوامل مؤثر در تعیین کلیدهای اکتشافی کانسارها، تعیین پاراژنهای عنصری همراه با کانی‌های اقتصادی در کانسار است. با تعیین ترکیب شیمیایی دقیق عناصر موجود در کانی‌های کانساری که به صورت اینکلوزیون در آن‌ها وجود دارند می‌توان عناصر ردیاب ژئوشیمیایی را به‌طور مستند برای محدوده اکتشافی تعیین کرد. در تعدادی از مطالعات که بر روی معادن سرب و روی با میزبان کربناته انجام شد مهم‌ترین ردیاب‌ها Zn، Pb و Tl معرفی گردیدند. پارادیس و همکاران [۱۱] در مطالعات خود مهم‌ترین عناصر همراه این کانسارها را عناصر Cu, Fe, Sb, As, Bi, Ag, Tl, Cd, Mn معرفی نمود. Xiaو همکاران [۱۲] یکی از مهم‌ترین ردیاب‌ها را Tl و مهم‌ترین عناصر همراه را Mo, Ni, Zn, Pb, Tl, As, Sb, Hg, Au, Cd, Al, Ca, Mg, Fe, K, Na, Mn, Cu, Ag, Sr, Ba, F معرفی می‌کند. هدف از این پژوهش تعیین عناصر پاراژنزی و به دست آوردن اطلاعات واقعی و مستند از ردیاب‌های ژئوشیمیایی در کانی‌های ذخیره گوشفیل به عنوان یکی از ذخایر با اهمیت در محدوده ایرانکوه است. این نتایج می‌تواند در تقسیم‌بندی زون‌های مختلف کانی سازی بر اساس اطلاعات ژئوشیمیایی مفید باشد و با به دست آوردن این اطلاعات می‌توان گام مهمی در ردیابی و اکتشاف کانسارهای سرب و روی برداشت.

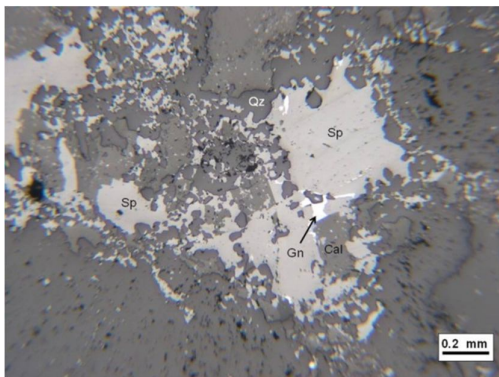
## ۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه معدنی ایرانکوه در امتداد رشته‌کوه ایرانکوه و در فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان در محدوده طول‌های جغرافیایی  $51^{\circ}45'$  و  $51^{\circ}31'$  و عرض‌های جغرافیایی  $32^{\circ}37'$  و  $32^{\circ}28'$  قرار دارد. امتداد کلی این رشته‌کوه غرب-شمال غرب و شرق-جنوب شرق است و طولی در حدود ۲۵ کیلومتر و عرضی حدود ۳ کیلومتر را دارا است. قدیمی‌ترین سنگ‌های رشته‌کوه ایرانکوه مربوط به ژوراسیک زیرین است که تنها در گسل شمالی در گردنه آنبیل در شمال غرب منطقه و محدوده معدن گوشفیل قابل مشاهده است. سنگ‌های ژوراسیک متشکل از سنگ‌های خاکستری تیره سیلت استون و ماسه‌سنگ است. واحدهای سنگ‌شناسی اصلی منطقه، آهک دولومیتی به همراه میزان ناچیزی از شیل و مارن (کرتاسه) بوده که به‌طور دگر شیب بر روی سنگ‌های ژوراسیک زیرین قرار گرفته‌اند (شکل ۱). ضخامت کل این سنگ‌ها بیش از ۸۰۰ متر است. سنگ‌های گرانودیوریتی کلاه قاضی که در ۳۰ کیلومتری جنوب شرقی منطقه مورد مطالعه قرار دارد در شیل‌های ژوراسیک نفوذ نموده، اما هیچ مدرکی مبنی بر نفوذ آن در کربنات‌های کرتاسه در منطقه دیده نمی‌شود [۱۳]. این ناحیه شدیداً تحت تأثیر فرآیندهای تکتونیکی قرار گرفته و طی فازهای مختلف کوهزایی آلپین تشکیل شده است. در هر دو یال این رشته‌کوه نهشته‌های کانسار سرب و روی وجود دارد که عمده‌ترین آن‌ها در یال شمالی، نهشته‌های گوشفیل، تپه سرخ و گردنه و در یال جنوبی کانسارهای کلاه دروازه، گودزدان و خانه گرگی است [۵].

## ۳- روش انجام پژوهش

هدف این پژوهش به دست آوردن اطلاعاتی از ردیاب‌های ژئوشیمیایی در محدوده کانسار گوشفیل واقع در یال شمالی ایرانکوه است. بدین منظور از افق ۱۵۲۰m تونل غربی گوشفیل سه نمونه از کمر بالا، کمر پایین و ماده معدنی به روش کلوخه‌ای برداشت شد. پس از نمونه‌برداری، از نمونه‌های انتخابی، مقاطع نازک و صیقلی تهیه و مورد مطالعه میکروسکوپی قرار گرفت. سپس جهت مطالعات ژئوشیمیایی آنالیز XRD و ICP-OES در آزمایشگاه زرآزما

قسمت‌ها رشد متداخل و نیز جاننشینی اسفالریت با کانی‌های کربناته دیده می‌شود و کوارتز نیمه شکل‌دار نیز آن‌ها را همراهی می‌کند (شکل ۲). گالن به مقدار کم و اغلب همراه با اسفالریت دیده می‌شود. پیریت در نمونه از نوع فرامبوئیدال (تجمعی مدور از ذرات بسیار ریز پیریت) در متن سنگ پراکنده است ولی بعضاً بلورهای شکل‌دار بزرگ پیریت نیز قابل مشاهده است که معمولاً به صورت مجزا از کانی‌سازی گالن و اسفالریت تشکیل شده است. نسبت اسفالریت به گالن در این نمونه بیش از ۲۵ به یک است.

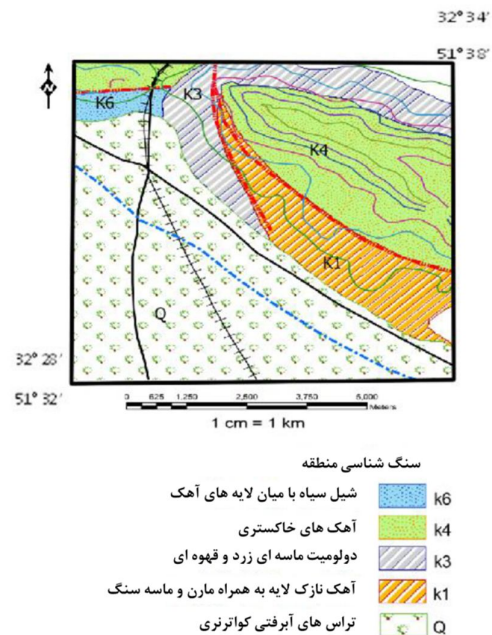


شکل ۲: رشد متداخل و جاننشینی اسفالریت با کانی‌های کربناته به همراه کوارتز نیمه شکل‌دار

#### ۴-۲- نمونه کانی‌سازی در معدن گوشفیل

این نمونه از منطقه کانی‌سازی پرعیار گرفته شده است و عمدتاً حاوی کانی‌های فلزی است. کانه‌های اصلی قابل تشخیص در نمونه شامل اسفالریت، گالن و پیریت هستند. اسفالریت‌ها به شکل تجمعات نسبتاً هم بعد و بی‌شکل قابل مشاهده است که اغلب حاوی بلورهای ریز و شکل‌دار پیریت است و به صورت پراکنده در متن سنگ دیواره و یا پرکردگی رگچه‌ها دیده می‌شود. از جمله مشخصات اسفالریت وجود کالکوپیریت با پدیده اکسولوشن در فرم سری شده در جهت کلیواژهای اسفالریت مشاهده می‌شود (شکل ۳). رشد متداخل گالن و اسفالریت مخصوصاً در قسمت رگچه‌ها نیز به چشم می‌خورد که به همراه کانی‌های گانگ و پیریت تشکیل شده‌اند (شکل ۴ و ۵). بلورهای بی‌شکل و بعضاً بیضی مانند به ابعاد کمتر از ۲۰ میکرون (گاه تا ۱۰۰ میکرون) در داخل گالن به چشم می‌خورد و با توجه به خصوصیات نوری آن‌ها به احتمال

آنالیزهای الکترومیکروپروپ در مرکز تحقیقات پیشرفته فرآوری کرج انجام شدند.



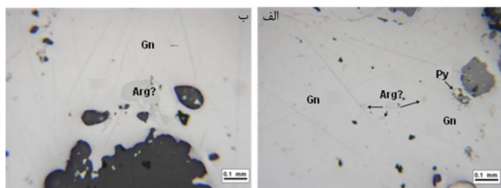
شکل ۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه ایرانکوه [۳] و [۱]

#### ۴-کانه نگاری

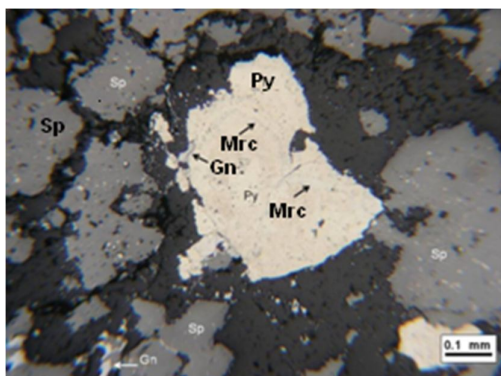
از لحاظ کانی‌شناسی، کانی‌های سولفیدی منطقه عمدتاً شامل اسفالریت، گالن و پیریت است. اسفالریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی است که به‌طور یکنواخت در ماتریکس غنی از پیریت و گالن پراکنده است. این کانی جانشین پیریت شده و گاه آثاری از پیریت در آن مشهود است. پیریت یکی از کانی‌های فراوانی است که اغلب به صورت هم‌رشدی با اسفالریت وجود دارد و به صورت محدود به اکسیدهای آهن تبدیل شده است. گالن نیز به همراه پیریت و اسفالریت قابل مشاهده است و ظاهراً زودتر از اسفالریت ته نشین شده است. این امر احتمالاً می‌تواند به دلیل تحرک کمتر عنصر سرب در مقایسه با روی در محلول‌های گرمایی باشد [۲].

#### ۴-۱- نمونه کمر پایین معدن گوشفیل

این نمونه از سنگ آهک متوسط تا ریزدانه (میکرایتی) برداشت شده است. کانی فلزی قابل مشاهده در این نمونه اسفالریت بوده که عمدتاً در متن سنگ پراکنده است و یا به صورت رگچه‌های ظریف مشاهده می‌شود. در برخی



شکل ۶: الف) آرژانتیت به صورت اکسولوشن و به ابعاد کمتر از ۲۰ میکرون داخل گالن ب) آرژانتیت با ابعاد ۱۰۰ میکرون



شکل ۷: همراهی مارکاسیت و پیریت در اثر تبدیل شدن مارکاسیت به پیریت

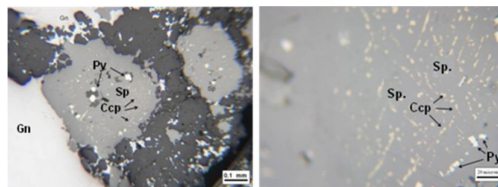
#### ۴-۳- نمونه کمر بالای معدن گوشفیل

این نمونه از شیل‌های منطقه برداشت گردید. کانی‌های فلزی موجود عمدتاً پیریت و گاه اسفالریت است. پیریت‌ها به دو شکل فرامبوئیدال و قطعات شکل دار مجزا در مقطع دیده می‌شوند. ابعاد این کانی عمدتاً کمتر از ۲۰ میکرون است. اسفالریت‌ها نیز اغلب به صورت بلورهای منفرد یا تجمع چند بلور با ابعاد کمتر از ۲۵ میکرون مشاهده می‌شوند. با توجه به حضور کانی‌های پیریت و اسفالریت به صورت ذرات پراکنده در سنگ و عدم حضور رگچه‌های حاوی این کانی‌ها، احتمالاً این دو کانی به صورت همزاد با سنگ تشکیل گردیده‌اند.

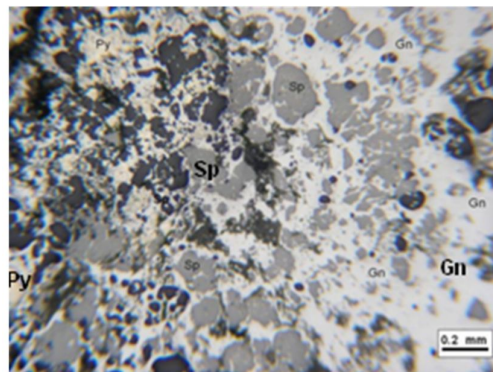
#### ۵- بررسی‌های ژئوشیمیایی و مطالعه عناصر ردیاب

دو تیپ مختلف کانی‌سازی در شمال رشته‌کوه ایرانکوه مشاهده می‌شود. نوع نخست به کانی‌سازی نوع گوشفیل منسوب است. کانی‌سازی روی و سرب در معدن گوشفیل به صورت مشخصی بین کنتاکت گسله دو واحد شیل ژوراسیک و واحد کربناته کرتاسه قرار دارد و در افق‌های مربوط به پیت روباز به سمت دشت شیب دارد. تیپ

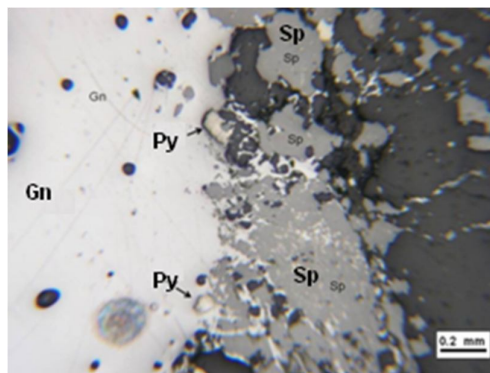
زیاد کانی آرژانتیت ( $Ag_2S$ ) است (شکل ۶). نسبت گالن به اسفالریت در این نمونه حدود ۳ به ۲ است. از دیگر کانی‌های تشکیل‌دهنده نمونه‌های کانی ساز معدن گوشفیل پیریت است که به صورت قطعات بسیار ریز پراکنده در متن سنگ یا بلورهای شکل‌دار موجود در کانی اسفالریت و یا تجمع کانی‌های نسبتاً شکل‌دار به چشم می‌خورد. همراهی مارکاسیت با پیریت‌های نسبتاً درشت‌دانه (گاه تا ۳۰٪ سطح) و گاه جانشینی پیریت‌ها توسط گالن به چشم می‌خورد (شکل ۷).



شکل ۸: اسفالریت حاوی بلورهای ریز و شکل‌دار پیریت و ادخال کالکوپیریت در اسفالریت در پدیده اکسولوشن با فرم سری شده



شکل ۹: اسفالریت و گالن به صورت پر کردگی رگچه‌ها



شکل ۱۰: رشد متداخل گالن و اسفالریت در رگچه‌ها همراه گانگ و پیریت

کانی‌سازی نوع دوم بنام کانی‌سازی تپه سرخ خوانده می‌شود. در محل معدن تپه سرخ، زون پر عیار کانی‌سازی در سطح گسله‌ای وجود دارد که در بین واحد کربناته محصور است. در واقع کانی‌سازی در ایرانکوه دو تیپ دره می‌سی‌سی‌پی و سدکس و یا آمیزه‌ای از این دو است. هر یک از این زون‌ها درعین حال که از خیلی جهات به هم شباهت دارند به نظر می‌رسد حداقل در بخش‌هایی دارای ژنز متفاوتی باشند.

#### ۶- بحث

در منطقه مورد مطالعه، کانه زایی عمدتاً در سنگ آهک دولومیتی کرتاسه صورت گرفته و شیل‌های منطقه که غنی از فلز هستند، به عنوان سنگ منشأ احتمالی کانه زایی در نظر گرفته شده‌اند [۱]. کانه زایی در هر دو یال شمالی و جنوبی رشته کوه ایرانکوه رخ داده است. به دلیل تکتونیزه بودن منطقه، سنگ‌های رسوبی دربرگیرنده مواد معدنی به هم ریخته و گسل‌ها در تمرکز ماده معدنی نقش مهمی ایفا کرده‌اند. بین دولومیتی شدن و کانه زایی فلزات پایه همبستگی زیادی وجود دارد. ذخیره از نوع کارستی و تیپ احتمالی زایش آن تیپ دره می‌سی‌سی‌پی است [۴]. کانسارهای نوع دره می‌سی‌سی‌پی گروهی از کانسارهای سرب و روی با سنگ میزبان کربناته هستند که اغلب ارتباط نزدیکی با گسلش دارند و از نوع اپی ژنتیک هستند [۸]. کانسنگ‌های این ذخیره معدنی از کانه‌های اسمیت زونیت، سروزیت، اسفالریت، گالن و کانی‌های گانگ

دولومیت، کلسیت، باریت، همیمورفیت، مالاکیت، مارکاسیت و پیریت تشکیل شده است [۱]. پدیده آبشویی و هوازدگی شیل‌های منشأ کانه‌زایی، سنگ آهک دولومیتی میزبان کانه زایی و گانگ‌ها، در طول زمان احتمالاً باعث رها شدن فلزاتی خواهد شد که در کانه‌زایی تیپ دره می‌سی‌سی‌پی یافت می‌شوند از جمله این فلزات می‌توان به نقره، آنتیموان، کادمیوم، آرسنیک، سرب و روی اشاره کرد [۲]. جهت انجام مطالعات در منطقه مورد بررسی، از آنالیزهای متعددی چون XRD, ICP و میکروپروب استفاده شد. نتایج آنالیزهای XRD به صورت منسجم در جدول ۱ ارائه شده‌اند. همان‌گونه که از نتایج بر می‌آید، کانی‌های اصلی اکثراً شامل گالن، اسفالریت به همراه کوارتز و دولومیت و فازهای فرعی شامل ایلیت، مسکویت، کلریت، کلسیت و پیریت است. مونت موریلونیت و کائولینیت نیز به ترتیب در نتایج آنالیز نمونه‌های دولومیتی و شیلی معدن گوشفیل مشاهده گردید (جدول ۱). با توجه به آب و هوای خشک و نیمه‌خشک منطقه بعید به نظر می‌رسد کانی‌های رسی همچون ایلیت، کلریت، کائولینیت در اثر هوازدگی ایجاد شده باشند و احتمالاً تخریبی بوده و در رسوبات قبلی تشکیل شده و به صورت آواری حمل شده‌اند. عدم حضور مونت موریلونیت به میزان زیاد، می‌تواند به علت تأثیر فشردگی لایه‌های فوقانی بر سنگ‌ها و خروج آب بین ذرات و تبدیل به ایلیت و کائولینیت باشد که این فرآیند می‌تواند مسبب ایجاد فشار در لایه‌های زیرین شود و به حرکت فلزات به سمت سطح کمک نماید [۳].

جدول ۱: نتایج آنالیز XRD از نمونه‌های معدن گوشفیل

Sample No.	Description	rock type	major	minor	trace
G-FW-Bs7	پا دیواره	دولومیت	کوارتز-دولومیت	گالن-اسفالریت-مونوموریلونیت	-----
G-O-Bs8	سنگ معدن	سنگ معدن سرب و روی	گالن-کوارتز	اسفالریت-دولومیت-پیریت	-----
G-HW-Bs9	فرا دیواره	شیل	کوارتز-مسکویت-ایلیت	آلبیت-دولومیت	کائولینیت-روتیل
G-HW-D-Bs10	فرا دیواره (نمونه تکراری)	شیل	کوارتز-مسکویت-ایلیت	آلبیت-کائولینیت-هماتیت-ارتوکلاز	دولومیت

دولومیت جهانی و شیل و دولومیت زمینه)، می‌توان عناصری را که در منطقه غنی‌شدگی و یا تهی‌شدگی از خود نشان می‌دهند مشخص کرد و سپس با استفاده از

نتایج آنالیز ICP در جدول ۲ ارائه شده است. با مقایسه مقادیر عناصر موردنظر با مقادیر این عناصر در سنگ‌هایی استاندارد و مشابه با سنگ‌های معدن (همچون شیل و

نتایج آنالیز EPMA (جدول ۳) کانی‌ها و عواملی که در واقع عامل این غنی‌شدگی یا تهی‌شدگی هستند را مشخص نمود. به این ترتیب می‌توان عنصر یا عناصر و همچنین احتمالاً کانی‌های ردیاب را تعیین کرد. در ابتدا از نمودارهای میله‌ای شکل (دیگرام‌های ۸ و ۹) استفاده گردید. در این نمودارها، میزان درصد عناصر موجود در نمونه سنگ‌های مورد بررسی و مقادیر این عناصر در نمونه‌های شیل و دولومیت جهانی [۱۰] و نیز نسبت به شیل و دولومیت زمینه (نمونه‌های مربوط به اطراف توده معدنی در کانسار گوشفیل) مقایسه و آورده شده است. شکل ۸ متعلق به شیل، سنگ فرا دیواره معدن گوشفیل است. همان‌طور که از نمودارها مشخص است عناصر Ag،

Bi, Cu, Cd, Pb, Sb, Ti, V, Zn نسبت به مقادیر این عناصر در متوسط شیل جهانی و عناصر Be و Ba نسبت به سنگ شیل زمینه غنی‌شدگی نشان می‌دهند و این موضوع در خصوص نقره، سرب و آنتیموان مشخص تر است و عناصر Sr, Be, Ba, Co, Cr, Li, Mn, Mo, Ni, Sn در سنگ فرا دیواره نسبت به شیل جهانی و شیل زمینه (به غیر از Ba, Be) از خود تهی‌شدگی نشان می‌دهند و به‌طور مشخص این کاهش در مورد Sr و Mn واضح تر است. درصد عناصر موجود در نمونه سنگ فرو دیواره معدن گوشفیل (دولومیت) با مقادیر آن‌ها در دولومیت جهانی و دولومیت زمینه مقایسه گردید (شکل ۹).

جدول ۲: نتایج آنالیز ICP از نمونه‌های کانسار گوشفیل - معدن ایرانکوه

Element	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cu
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	۰/۱	۱۰۰	۰/۵	۵	۰/۲	۰/۲	۱۰۰	۰/۱	۱	۱	۱	۱
G-Fw	۱۰/۶	۵۵۹۹	۲/۹	۲۱۲	۰/۴	۰/۳۹	۳۶۷۹۸	۷۶	۷	۶	۱۷۸	۱۰۰
G-O	۲۵۴	۳۷۹۱	۲۳۰	۲۱۱	۰/۵	۰/۴۱	۳۲۱۵	۱۶/۳	۵	۱۲۹	۱۳۶	۴۱۲۷
G-HW	۰/۵۹	۸۴۹۱۸	۱۳/۶	۳۹۴	۲/۲	۰/۳۹	۵۵۹۰	۰/۲۵	۸۹	۱۵	۷۶	۵۴
G-HW-D	۱/۴	۸۲۷۰۲	۷/۳	۳۶۹	۲/۳	۰/۳۹	۵۵۹۷	۰/۲۴	۸۶	۱۵	۸۷	۳۹
G-Sh.B.G	۰/۳۰>	۱۰/۳	---	۳۳۲	۱/۹۰	---	۵/۸۱	۰/۵۶	۵۳/۷	۱۸/۱	۱۰/۲	۳۳/۸
G-Dol.B.G	۱	۰/۱۳	۲/۵	۱۰۰	۱	---	۲/۱۸	۰/۱	۰/۵>	۴	۱۰	۱۵

Element	Fe	K	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni	P	Pb	S
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	۱۰۰	۱۰۰	۱	۱	۱۰۰	۵	۰/۵	۱۰۰	۱	۱۰	۱	۵۰
G-Fw	۱۰۴۸۱	۲۴۲۳	۴	۱۲	۱۶۳۹۳	۷۲۵	۱/۳۱	۵۰۴	۱۲	۶۹	۱۰۵۱۶	۳۱۵۸۱
G-O	۱۴۰۰۳	۱۵۷۲	۳	۱۵	۲۸۰۹	۵۵	۱/۵	۴۳۴	۳۳۱	۷۸	۱۴۰۲۴۱	۹۱۹۹۱
G-HW	۷۹۷۸	۳۳۶۲۸	۴۸	۳۷	۶۱۹۸	۱۶۲	۱/۴۸	۲۰۶۹	۳۴	۶۱۳	۷۵۹	۲۶۹۱
G-HW-D	۷۶۷۲	۳۱۷۲۳	۴۷	۳۹	۵۹۳۷	۱۵۵	۱/۳۸	۲۱۳۱	۳۴	۶۱۳	۵۵۸	۲۳۰۹
G-Sh.B.G	۵۲/۵	۲/۴۱	۲/۸۴	۶۲/۹	۱/۴۴	۶/۱۷	---	۰/۹۹	۳۸/۷	۶۳۰	۱۸/۱	---
G-Dol.B.G	۲/۶۵	۰/۰۵	۱۰>	۳۰	۶/۴۵	۱۱۰۰	۱	۰/۰۲	۱۲	۷۲/۶	۸	---

Element	Sb	Sc	Sn	Sr	Th	Ti	U	V	Y	Yb	Zn	Zr
Unit	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Detection Limit	۰/۵	۰/۵	۰/۵	۲	۰/۵	۱۰	۰/۵	۱	۰/۵	۰/۲	۱	۵
G-Fw	۶۹/۴	۱	۳/۱	۳	۴/۵	۳۱۷	۱/۳	۱۳	۲	۰/۴	۴۷۹۱۷	۱۱
G-O	۳۴۸۹	۰/۹	۳	۲>	۲/۵	۲۰۵	۱/۳	۱۰	۱	۰/۳	۱۱۵۰۱	۹
G-HW	۱۶	۱۸	۳/۲	۵	۱۳/۶	۵۵۵۱	۱/۸	۱۴۴	۱۸	۲/۵	۱۲۳	۱۳۸
G-HW-D	۹/۷	۱۷/۶	۳/۲	۵	۱۳/۶	۵۲۸۴	۱/۸	۱۴۳	۱۶	۲/۲	۱۰۹	۱۱۸
G-Sh.B.G	---	۱۷/۴۰	---	۲۱۴	۲۵/۸	۴۴۷۳	۵/۵۴	۱۲۱	۲۸	۳/۲۷	۱۰۶	۱۵۹
G-Dol.B.G	---	۰/۳	۴	۵۰۰	۸/۵۹	۴۰۰	۱۵	۶/۶۵	۱/۳۶	۰/۶۸	۲۵	۲۰

DL: دولومیت، G: گوشفیل، FW: کمرباین، O: کانه، HW: کمر بالا، Sh: شیل، B.G: نمونه‌های زمینه (دورتر از محل کانه زایی)

و این موضوع در خصوص نقره، کادمیوم، کبالت، کروم، سرب و روی واضح تر است. عناصر Sr و Mn نیز در سنگ فرا دیواره نسبت به هر دو مقیاس (کربنات زمینه و جهانی) از خود تهی‌شدگی نشان می‌دهند و این کاهش در

مجدداً عناصر Ag, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Pb, Zn

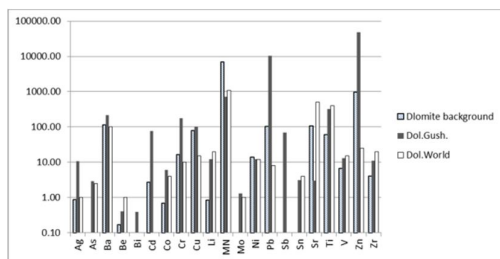
نسبت به مقادیر این عناصر در سنگ‌های دولومیت زمینه معدن گوشفیل و نیز نسبت به مقادیر این عناصر در سنگ‌های کربناته پوخته زمین، غنی‌شدگی نشان می‌دهند

معرفی نمود. در بین این عناصر، ظاهراً Ag و نیز Sb با توجه به میزان بالای آن‌ها نسبت به نمونه‌های جهانی، عنصری مهم و شاخص هستند.

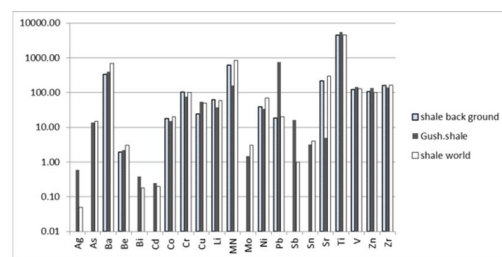
خصوص Sr مشخص تر است. با توجه به نتایج آنالیز ICP بررسی‌های انجام شده در معدن گوشفیل در سنگ شیل می‌توان بهترین عناصر ردیاب را Ag، Sb، Pb (شکل ۸) و در سنگ فرو دیواره دولومیتی Ag، Cd، Pb و Zn (شکل ۹) را

جدول ۳: نتایج آنالیز مایکروپروب از کانه‌های موجود در معدن گوشفیل (مقادیر به درصد وزنی است)

		Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cu	F	Fe	Ga	Ge	Hg	In
گوشفیل کمر پایین دولومیت	Py-FW-G-1	.	.	۰/۰۵	.	.	.	.	.	.	۴۶/۴۷	۰/۵	.	.	.
	Py-FW-G-2	.	.	۰/۰۴	.	.	۰/۰۱	.	۰/۵	۰/۱	۴۷/۰۲	۰/۳۸	.	۰/۰۲	.
	Py-FW-G-3	۰/۰۲	.	۰/۰۸	.	.	.	.	۰/۰۲	.	۴۶/۱۹	.	.	۰/۰۱	.
	Py-FW-G-4	.	.	۰/۰۳	.	.	.	۰/۰۳	.	.	۴۶/۸۷	.	.	.	.
	Sph-FW-G-1	۰/۰۷	.	.	۰/۰۹	.	۰/۰۱	۰/۰۹	.	.	۰/۳۲	.	.	.	۰/۰۲
	Sph-FW-G-2	.	۰/۰۱	.	۰/۰۷	.	۰/۰۱	۰/۰۹	.	.	۰/۳۷	.	.	.	.
	Sph-FW-G-3	۰/۰۳	.	۰/۰۱	.	.	۰/۰۲	۰/۰۴	.	۰/۳	۰/۲۲	.	.	۰/۰۱	۰/۰۳
	Sph-FW-G-1	.	۰/۰۲	.	۰/۲۶	.	۰/۰۳	۰/۰۵	.	.	۰/۱۲	.	.	.	.
	Sph-FW-G-2	۰/۰۱	۰/۰۱	.	۰/۳۸	.	۰/۰۱	۰/۰۵	.	.	۰/۱	.	.	.	۰/۰۳
	Gn-FW-G-1	.	.	۰/۰۵	.	.	۰/۱۷	.	.	۰/۱۲	۰/۷۹	۰/۰۳	.	.	۰/۰۱
	Gn-FW-G-2	.	۰/۰۱	.	۰/۰۳	.	۰/۰۴	۰/۰۵	.	.	۰/۶۴	.	.	.	.
	Gn-FW-G-3	.	۰/۰۲	.	.	۰/۱۶	۰/۱۷	۰/۱۴	.	۰/۰۲	۰/۶۷	۰/۲۱	.	.	.
	Gn-FW-G-1	.	.	۰/۰۲	.	.	۰/۰۶	۰/۰۸	.	.	۰/۰۲	.	.	.	.
	Gn-FW-G-2	.	۰/۰۱	.	.	.	۰/۰۳	.	.	۰/۰۳	۰/۰۳	۱/۰۷	.	.	.
	Dol-FW-G-1	.	۰/۰۲	.	۰/۰۲	.	۲۶/۱۶	۰/۰۳	.	۰/۳۱	۰/۲۸	۰/۴۷	.	۰/۰۴	۰/۰۳
	Dol-FW-G-2	.	۰/۰۳	.	.	۱/۰۳	۲۵/۲۸	۰/۰۱	۰/۰۱	.	۱/۶۸	.	۰/۹۹	۰/۰۵	.
گوشفیل کانی‌سازی	Py-O-G-1	.	۰/۰۱	۰/۱۸	.	.	۰/۰۱	.	.	.	۴۵/۵۸	.	.	.	.
	Sph-O-G1	.	.	.	۰/۰۹	۰/۲	.	.	۰/۰۶	۱/۹۶	.	.	.	.	.
	Sph-O-G2	.	۰/۰۲	.	۰/۱۱	۰/۱۴	۰/۰۱	.	۰/۵۷	.	۱/۵۲	.	.	۰/۰۶	۰/۰۳
	Gn-O-G1	.	۰/۰۱	.	.	۰/۲۳	.	۰/۱۵	.	.	.	.	۰/۰۲	.	.
	Gn-O-G2	.	.	.	.	۰/۱۸	.	۰/۱۱	.	.	.	.	۰/۰۱	.	.
گوشفیل کمر بالا شیل	Py-Sh-HW-G-1	.	۰/۳۷	۰/۲۶	۰/۰۳	.	.	.	.	.	۴۶/۹۴	.	.	.	.
	Py-Sh-HW-G-2	.	۰/۰۸	۰/۲	۰/۰۲	.	.	.	۰/۸۴	۰/۰۲	۴۷/۲۱	۰/۱۴	.	.	.
	Sph-Sh-HW-G-1	۰/۰۱	.	.	.	.	۰/۳۳	.	۰/۴۸	۰/۱	۲/۳۱	۰/۰۶	.	.	.
	Sph-Sh-HW-G-2	.	.	.	.	.	.	.	۰/۲۵	۰/۰۵	۱/۳۳	.	.	.	.
	Dol-Sh-HW-G-1	.	۰/۰۲	.	۰/۰۱	.	۲۳/۹۲	.	.	۰/۰۱	۳/۶۳	.	.	.	.
	Dol-Sh-HW-G-2	.	۰/۰۳	.	.	.	۲۳/۷۹	.	.	۰/۰۳	۳/۴۶	.	.	.	.
	Dol-Sh-HW-G-3	.	۰/۰۴	.	۰/۰۲	۰/۰۲	۱۷/۵۸	.	.	۰/۰۱	۳/۶۹	.	.	.	.
	Dol-Sh-HW-G-4	.	۰/۰۳	.	۰/۰۱	.	۲۳/۵۳	.	.	۰/۰۶	۳/۴۵	۰/۰۲	.	۰/۰۱	.



شکل ۹: مقایسه درصد عناصر موجود در نمونه سنگ فرو دیواره معدن گوشفیل با مقادیر آن‌ها در دولومیت جهانی و دولومیت زمینه



شکل ۸: مقایسه درصد عناصر موجود در نمونه سنگ فرا دیواره معدن گوشفیل با مقادیر آن‌ها در شیل جهانی و شیل زمینه

نتایج آنالیز مایکروپروب مربوط به کانی‌های مختلف موجود در نمونه‌های معدن گوشفیل مشخص گردید که در سنگ فرا دیواره شیل، نقره در اسفالریت، سرب در اسفالریت و نیز در دولومیت‌های همراه با شیل‌های منطقه، مس و گالیوم در پیریت و اسفالریت، آرسنیک در پیریت و منگنز در اسفالریت متمرکز شده‌اند. همچنین در سنگ فرو دیواره دولومیت، نقره در اسفالریت و پیریت، کادمیوم در گالن، اسفالریت، پیریت و دولومیت، روی در گالن، آرسنیک و مس در پیریت، گالیوم در پیریت و گالن، آنتیموان در گالن و قلع در پیریت و گالن تمرکز دارد.

با مطالعه مقاطع و تعیین کانی‌های اصلی، فرعی و کمیاب در هر مقطع کانی‌های مناسب جهت آنالیز انتخاب گردیدند. عناصر Ag - Al - As - Au - Ba - Ca - Cd - Cu - F - Fe - Ga - Ge - Hg - In - K - Mg - Mn - Na - Ni - Pb - S - Sb - Sn - Sr - Te - W - Zn جهت آنالیز با الکترومایکروپروب انتخاب شدند و از آنجاکه کانی‌های فلزی موجود شامل گالن، اسفالریت و پیریت و کانی‌های اصلی سنگ دیواره شیل و دولومیت (سنگ‌های کربناته) است، به همین دلیل آنالیز عناصر مذکور، در این کانی‌ها انجام شد (جدول ۳). با بررسی و مقایسه مقادیر عناصر ردیاب تعیین شده در آنالیز ICP و سایر عناصر با

ادامه جدول ۳: نتایج آنالیز مایکروپروب از کانه‌های موجود در معدن گوشفیل (مقادیر به درصد وزنی است)

		Pb	S	Sb	Sn	Sr	Te	W	Zn	K	Mg	Mn	Na	Ni
گوشفیل کمر پایین دولومیت	Py-FW-G-1	.	۵۳/۰۷	.	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۳۸	۰/۱۲	.	۰/۰۱	.	۰/۰۱	۰/۰۷	.
	Py-FW-G-2	.	۵۲/۱۴	.	.	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱	.	.	.	.	۰/۰۴	.
	Py-FW-G-3	.	۵۴/۳۴	.	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۰۸	.	.	.	.	.	۰/۰۶	۰/۰۱
	Py-FW-G-4	.	۵۴/۱۸	.	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۴۸	۰/۱۲	.	.	.	.	۰/۰۲	.
	Sph-FW-G-1	.	۳۱/۹۲	.	.	.	۰/۱۵	.	۶۲/۸۲	۰/۰۱	۰/۰۲	.	۳/۶۳	.
	Sph-FW-G-2	.	۳۲/۷۸	.	۰/۰۲	.	۰/۵۵	.	۶۱/۶۶	۰/۰۱	.	.	۳/۵۱	۰/۰۱
	Sph-FW-G-3	.	۳۲/۸۱	.	.	۰/۰۱	۰/۲۳	.	۶۳/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	.	۳/۹	.
	Sph-FW-G-1	.	۳۲/۳۳	.	.	.	۰/۸۶	.	۶۲/۷۴	.	۰/۰۱	.	۳/۴۶	۰/۰۲
	Sph-FW-G-2	.	۳۲/۴۳	.	۰/۰۳	۰/۰۲	۱/۰۸	۰/۰۲	۶۴/۱۷	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۲/۴۴	.
	Gn-FW-G-1	۸۵	۱۱/۵۵	.	.	.	۰/۰۷	۰/۱۱	.	۰/۰۲	.	.	۰/۱۲	.
	Gn-FW-G-2	۸۵/۵۴	۱۱/۹۲	.	۰/۰۲	.	۰/۰۶	.	.	.	.	.	۰/۲۱	.
	Gn-FW-G-3	۸۶/۳۹	۱۱/۱۹	.	.	.	۰/۷۲	.	.	۰/۰۴	.	.	۰/۵	.
	Gn-FW-G-1	۸۷/۷۷	۱۰/۳۴	۰/۰۱	.	.	۰/۰۵	.	۱/۹۱	.	.	.	۰/۰۹	.
	Gn-FW-G-2	۸۸/۳۲	۱۰/۵۱	۰/۰۴	.	.	۰/۷۶	.	.	.	.	.	۰/۰۱	.
Dol-FW-G-1	.	۰/۰۲	.	.	۰/۰۳	.	.	.	۰/۰۲	۱۳/۰۸	۰/۱۱	۰/۰۶	.	
Dol-FW-G-2	۰/۱۲	.	.	.	۰/۰۲	۰/۳۹	.	.	.	۱۳/۷۵	۰/۴۲	۰/۰۲	.	
گوشفیل کانی سازی	Py-O-G-1	.	۵۳/۳۵	۰/۰۱	.	.	—	.	۰/۰۵	.	.	.	۰/۰۳	.
	Sph-O-G1	.	۳۲/۱۴	.	.	.	—	.	۶۲/۶۷	.	۰/۰۳	.	۲/۳۴	.
	Sph-O-G2	.	۳۲/۷۸	۰/۰۱	۰/۰۳	.	—	.	۶۲/۱۳	۰/۰۱	۰/۰۲	.	۲/۸۷	.
	Gn-O-G1	۸۷/۳۳	۱۱/۸۳	۰/۰۷	.	.	—	.	۰/۰۳	۰/۰۱	.	.	۰/۰۱	.
	Gn-O-G2	۸۷/۲۱	۱۲/۰۲	۰/۰۶	.	.	—	.	۰/۰۳	.	.	.	۰/۰۳	.
گوشفیل کمر بالا شیل	Py-Sh-HW-G-1	.	۵۲/۲۴	۰/۰۹	.	.	.	.	۰/۱	۰/۰۶	.	۵۲/۲۴	۰/۰۹	.
	Py-Sh-HW-G-2	.	۵۱/۹۶	۰/۰۵	.	.	۰/۰۸	.	۰/۰۷	.	.	۵۱/۹۵	۰/۰۵	.
	Sph-Sh-HW-G-1	۰/۰۱	۳۳/۲۴	۰/۰۴	۶۱/۸۵	.	۰/۳۳	۰/۰۱	۰/۶۷	.	۰/۰۱	۳۳/۲۴	۰/۰۴	۶۱/۸۵
	Sph-Sh-HW-G-2	.	۳۳/۲۴	.	۶۲/۵۴	.	.	۰/۰۱	۰/۳	۰/۰۹	.	۳۳/۲۴	.	۶۲/۵۴
	Dol-Sh-HW-G-1	۰/۰۱	۰/۰۱	.	۰/۰۳	۰/۰۲	۹/۰۲	۰/۳۷	۰/۰۳	.	۰/۰۱	۰/۰۱	.	۰/۰۳
	Dol-Sh-HW-G-2	۰/۰۱	۰/۰۳	.	۰/۰۷	.	۹/۹۴	۰/۴۶	۰/۰۴	.	۰/۰۱	۰/۰۳	.	۰/۰۷
	Dol-Sh-HW-G-3	.	.	۰/۰۴	.	۰/۰۳	۹/۱۸	۰/۲۵	۰/۵۶	.	.	.	۰/۰۴	.
	Dol-Sh-HW-G-4	.	۰/۵۱	۰/۴۸	.	۰/۰۴	۱۰/۹۸	۰/۳۵	۰/۱۲	.	.	۰/۵۱	۰/۴۸	.

عناصر مورد آنالیز در مناطق تحت اکتشاف تمامی عناصر نمی‌توانند محدوده کانی زایی را به صورت دقیق معرفی نماید. دلایل متعددی از جمله جابجایی موقعیت عناصر، به ویژه در محیط سوپرژن از عوامل مهم در ایجاد خطا در مکان‌یابی کانسار است. تعیین شاخص‌های اکتشافی و

## ۷- نتیجه گیری

در این پژوهش سعی گردید عناصر ردیاب ژئوشیمیایی مناطق مورد بررسی به عنوان کلیدی برای اکتشاف نهشته‌های پنهان در دیگر مناطق تعیین گردد. در بین



مشخص نمودن سیگنال‌های ژئوشیمیایی نیاز به بررسی‌های مقدماتی در هر منطقه دارد. بدین منظور فرا دیواره، فرو دیواره و ماده معدنی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی‌ها به شرح زیر است:

۱- کانی‌های سولفیدی منطقه عمدتاً شامل اسفالریت، گالن و پیریت است. اسفالریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی است که گاه جانشین پیریت شده است. پیریت یکی از کانی‌های فراوان در اغلب مراحل کانه زایی است و اغلب به صورت هم‌رشدی با اسفالریت وجود دارد. گالن که ظاهراً زودتر از اسفالریت ته نشین شده نیز به همراه پیریت و اسفالریت قابل مشاهده است.

۲- همان‌گونه که از نتایج آنالیزهای XRD بر می‌آید، فازهای اصلی اکثراً شامل گالن، اسفالریت به همراه کوارتز و دولومیت و فازهای فرعی شامل ایلیت، مسکویت، کلریت، کلسیت، پیریت است. مونت موریلونیت و کائولینیت در نتایج آنالیز نمونه‌های دولومیتی و شییلی معدن گوشفیل مشاهده گردید. عدم حضور مونت موریلونیت به میزان زیاد می‌تواند به علت تأثیر فشردگی لایه‌های فوقانی بر سنگ‌ها و خروج آب بین ذرات و تبدیل به ایلیت و کائولینیت باشد.

۳- بر اساس آنالیزهای ICP انجام‌شده در سنگ شیل معدن گوشفیل، بهترین عناصر ردیاب  $Pb$ ،  $Sb$ ،  $Ag$  و  $Zn$ ،  $Cd$  و  $Ag$  هستند.

۴- بر اساس آنالیزهای الکترومایکروپروب مشخص گردید که عناصر ردیاب مشخص شده توسط آنالیز ICP در نهشته معدنی گوشفیل در کانی‌های اسفالریت، گالن و پیریت متمرکز شده‌اند و این کانی‌ها به عنوان منشأ این عناصر معرفی می‌گردند. به همین دلیل با توجه به همراهی عناصر ذکر شده، با ماده معدنی استفاده از این شاخص‌ها می‌تواند موقعیت کانی زایی را دقیق‌تر از دیگر عناصر مشخص نماید.

## ۸- مراجع

[۱] اسماعیلی، عباس؛ ربانی، مهدی؛ (۱۳۹۰)؛ گزارش نقشه زمین‌شناسی معدنی گستره گوشفیل - تپه سرخ، شرکت معدنی باما.

[۲] تیموری، فرزانه؛ پاکزاد، حمیدرضا؛ باقری، هاشم؛ شاهنوشی، علیرضا؛ (۱۳۸۹)؛ "بررسی عناصر سنگین در رسوبات آواری معدن ایرانکوه و اثرات زیست محیطی آن". چهارمین همایش

تخصصی محیط زیست، تهران.

[۳] تیموری، فرزانه؛ پاکزاد، حمیدرضا؛ باقری، هاشم؛ (۱۳۹۰)؛ "بررسی منشأ فلزات و سیالات کانه سازسرب و روی ایرانکوه"، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، جلد ۴۴، شماره ۲۷، ص ۸۳-۱۰۲.

[۴] داودی فرد، مزده؛ فرقانی، تهرانی، گیتی؛ اسماعیلی، حسن؛ (۱۳۹۰)؛ "توزیع عناصر سرب، روی، آنتیموان، کادمیوم و آرسنیک در منطقه معدنی ایرانکوه"، سی امین گردهمایی علوم زمین، تهران.

[۵] عابدینی، مرتضی؛ (۱۳۸۲)؛ تخمین ذخیره و مرزبندی بهینه، بلوک‌های کانسنگ و باطله در معدن تپه سرخ به روش‌های زمین آماری، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران.

[۶] قاسمی تودشکچویی، علی؛ (۱۳۷۴)؛ بررسی زمین‌شناسی، آنالیز رخساره و ژئوشیمی کانسار سرب و روی کلاه دروازه - گودزندان - خانه گرگی در دامنه جنوبی ایرانکوه (جنوب غربی اصفهان)، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران، ایران.

[۷] قربانی، منصور؛ (۱۳۸۱)؛ دیباچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران؛ انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور؛ تهران.

[۸] سیمونز، وارطان؛ (۱۳۸۵)؛ ژئوشیمی کانسارهای رسوبی؛ انتشارات دانشگاه تهران؛ تهران.

[9] Kretz, R.; 1983; "Symbols for rock forming minerals"; American Mineralogist, Vol.68, pp.277-279.

[10] Levinson, A. A.; 1974; Introduction to Exploration Geochemistry, Applied Publishing Ltd. Wilmette.

[11] Paradis, S., and Nelson, J.L.; 2007; "Metallogeny of the Robb Lake carbonate-hosted zinc-leaddistrict, northeastern British Columbia", in: Goodfellow W.D. (eds.), Mineral Deposits of Canada, Vol.5, pp. 633-654.

[12] Xiao, T., Yang, F., Li, Sh., Zheng, B. and Ning, Z. ;2012;"Thallium pollution in China: A geo-environmental perspective"; Science of the Total Environment, Vol. 421, pp.51-58.

[13] Zahedi, M.; 1976; Explanatory Text of the Esfahan Quadrangle Map 1:250000, Geological Survey of Iran.