

بررسی ژئوشیمی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی در کانسار سرب و روی گورت، منطقه کلاردشت (البرز مرکزی)

جواد پسند معصومی^۱، علیرضا گنجی^۲، محمدرضا انصاری^۳، محمد مدرس نیا^۴

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، عضو باشگاه پژوهشگران جوان، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس jp.masoumi@gmail.com

۲- دانشیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد لاهیجان

۳- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس

۴- مربی، گروه علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد رشت

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۶/۱۵ تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۱/۱۶

چکیده

کانی زایی سولفیدی فلزات پایه در شکل گالن و اسفالریت با مقادیر کمتری از پیریت، درون سازند مبارک و الیکا در منطقه مورد مطالعه رخ داده است. از نظر شیمیایی تمام فازهای کانساری ترکیبی همگن دارند. کانه زایی از روند عمومی گسل ها در منطقه پیروی کرده و بافت غالب در کانسنگ ها، بافت رگه ای و پرکننده فضای خالی می باشد. از لحاظ ژنتیکی، کانسار مورد مطالعه اپی ژنتیک است. براساس عوارض صحرایی، بررسی های کانی شناسی و مطالعات ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی (REE)، نتیجه می شود که، منشأ فلزات کانسار ساز در کانی سازی سولفیدی سرب و روی در منطقه کلاردشت، سنگ های کربناته میزبان کانی سازی (پالئوزوئیک بالایی تا تریاس زیرین) در کانسار است و از لحاظ ارتباط ژنتیکی بین کانی سازی سرب و روی در این کانسار با توده کوارتز مونزونیتی- مونزودیوریتی اکاپل (به سن ائوسن بالایی- پالئوسن زیرین) که در مجاورت کانسارهای سرب و روی مورد مطالعه واقع شده است، توده نفوذی اکاپل نقش منبع حرارتی لازم جهت گرم نمودن سیالات کانسار ساز را ایفا می کند. با توجه به آنومالی های منفی Eu در نمونه های کانسنگ و سنگ میزبان، به نظر می رسد منشأ سیالات گرمایی کانسار ساز در منطقه مورد مطالعه، آب های سطحی و پر اکسیژن جوی (متئوریک) بوده که در اثر مجاورت توده نفوذی اکاپل گرم و پس از چرخش درون واحدهای میزبان کربناته غنی از فلزات پایه، این عناصر را در خود حل و پس از انتقال درون درز و شکاف ها و شکستگی های گسلی سنگ میزبان ته نشست داده است.

واژگان کلیدی: کانی زایی سولفیدی، اپی ژنتیک، REE، اکاپل، کانسار گورت

مقدمه

و روی در این منطقه در کانسار گورت قابل مشاهده است. در گذشته تحقیقات زمین شناسی توسط افراد مختلفی بر روی منطقه انجام پذیرفته است، ولی اغلب مطالعات انجام شده در قالب بررسی های ناحیه ای بوده است. در تازه ترین تحقیق انجام شده

منطقه مورد مطالعه، در ۴۰ کیلومتری جنوب شهر چالوس نزدیک شهر کلاردشت (شکل ۱) و بین عرض های جغرافیایی، ۳۶°، ۲۳' - ۳۶°، ۲۷' شمالی و طول های جغرافیایی، ۵۱°، ۰۰' - ۵۱°، ۱۰' شرقی واقع شده است. بیشترین میزان کانی سازی سرب

(Zanchi and et al., 2006) مطالعات تکتونیکی زون البرز مرکزی را انجام دادند [18]. تمرکز تحقیق حاضر بر روی ژئوشیمی عناصر کمیاب و عناصر نادر خاکی با هدف بررسی نحوه تشکیل کانسار سرب و روی گورت در منطقه کلاردشت می باشد.

(Axen and et al., 2001) به روش $Ar^{40} - Ar^{39}, U - Pb$ سن توده های نفوذی منطقه را در حدود 54 ± 4 تا 56 ± 3 میلیون سال به دست آوردند [3]. (Guest and et al., 2006) زمین شناسی زون البرز مرکزی و غربی را مورد بررسی قرار دادند [10]. همچنین



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه کلاردشت و کانسار گورت [۶]

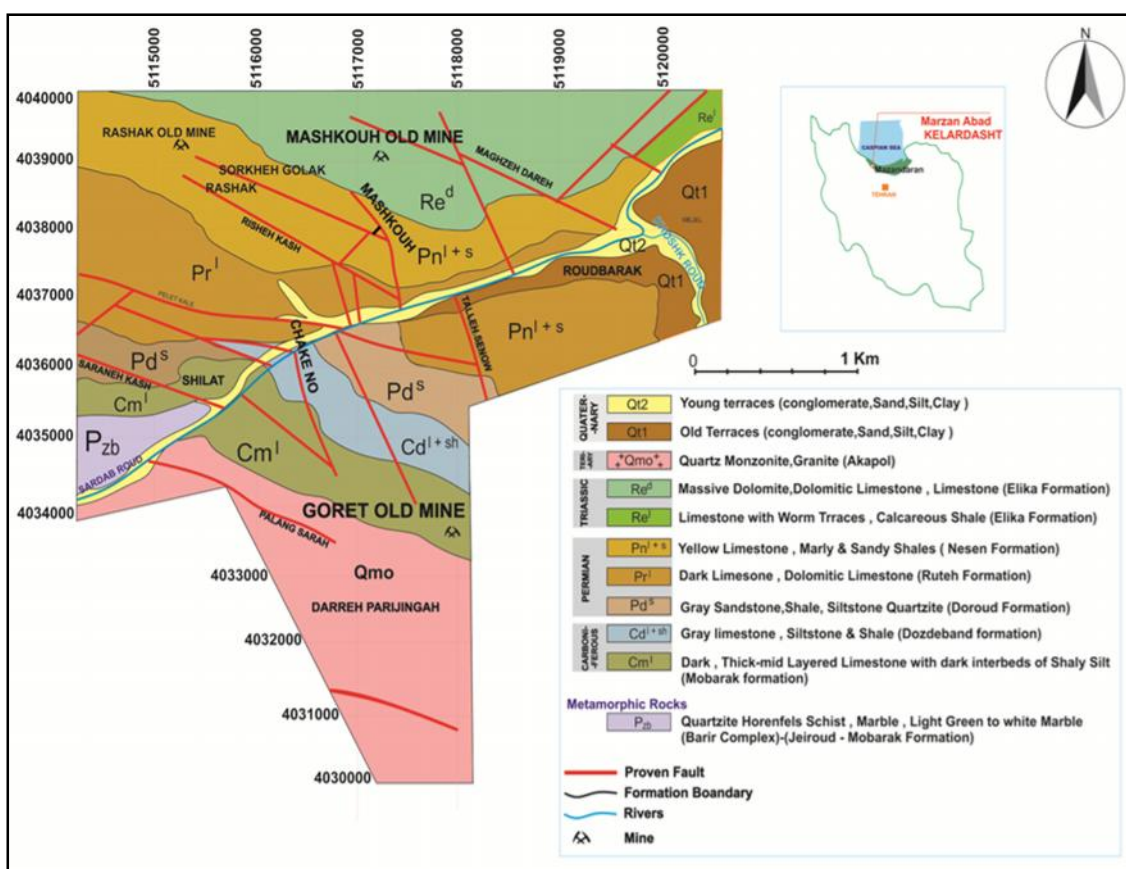
روش مطالعه

در مجموع حدود ۶۰ نمونه سنگی از رگه های کانی سازی، سنگ میزبان، دایک و سیل، توده نفوذی گوسن ها و زون های دگرسانی اطراف کانسار به روش غیر سیستماتیک اخذ گردید. از نمونه های برداشت شده در حدود ۵۴ مقطع نازک و صیقلی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفتند. تعداد ۴ نمونه از ماده معدنی، سنگ میزبان و گوسن جهت تجزیه XRD در آزمایشگاه شرکت طیف کانساران بینالود مشهد مورد بررسی قرار گرفت. پس از انجام مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۶ نمونه جهت آنالیز طیف سنجی جرمی نشری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) انتخاب شده و به آزمایشگاه Acme کشور کانادا ارسال گردید.

بحث

زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از زون البرز مرکزی است [۶]. در نگاه کلی، منطقه مورد مطالعه، از یک تاقدیس با امتداد محوری غرب- شمال غرب، شرق- جنوب شرق، با میل محوری به سمت شرق و جنوب شرق درست شده که واحدهای سنگی سازندهای روته نسن و دولومیت های سازند الیکا یال شمالی این تاقدیس را تشکیل می دهند. توده نفوذی کوارتز مونزونیتی- مونزودیوریتی اکاپل در یال جنوبی این تاقدیس و نزدیک به محور آن نفوذ کرده است (شکل ۲).



شکل ۲- نقشه زمین شناسی منطقه مورد مطالعه (مقیاس تقریبی: ۱:۲۰۰۰۰)، [۶].

- **توده کوارتز مونزونیتی - مونزودیوریتی اکاپل:** فعالیت ماگمایی در منطقه شامل نفوذ یک توده نیمه عمیق مرکب کوارتز مونزونیتی تا مونزودیوریتی به علاوه یک سری دایک و سیل دیوریتی قطع کننده واحدهای رسوبی پالئوزوئیک بالایی موجود در منطقه می باشد. توده آذرین مذکور در جنوب غرب محدوده مورد مطالعه و پنج کیلومتری شمال شرق علم کوه واقع شده که در یال جنوبی تاقدیس جنوب غرب منطقه رودبارک نفوذ کرده است [۳]. توده آذرین مزبور رسوبات پالئوزوئیک بالایی را قطع نموده و موجب دگرگونی آن ها در منطقه شده است که بنابر نظر (Kartieh, 1971)، سن ترشیری را دارد. (Axen and et al., 2001)، با استفاده از روش بیوتیت و آلکالی فلدسپار سن این توده را در حدود 54 ± 3 تا 56 ± 3 میلیون سال (پالئوسن بالایی تا ائوسن زیرین) به دست آوردند [۳].

کانسار سرب و روی مورد مطالعه

رخداد کانی سازی سرب و روی شامل کانی های اصلی گالن و اسفالریت با مقدار کمتر پیریت، عموماً در ارتباط با لایه های کربناته سازند مبارک و سازند الیکا می باشد. کانی سازی به صورت رگه ای و شکافه پر کن درون شکستگی ها و فضاها برشی شده قابل مشاهده می باشد (شکل ۳- الف). در مجاورت رگه های کانی سازی، زون خرد شده و گسلی که همراه با کانی های ثانویه اکسید- هیدروکسیدهای آهن می باشد قابل مشاهده است. این زون معمولاً به رنگ قرمز، زرد تا قهوه ای در دهانه تونل ها و اطراف رگه های کانی سازی

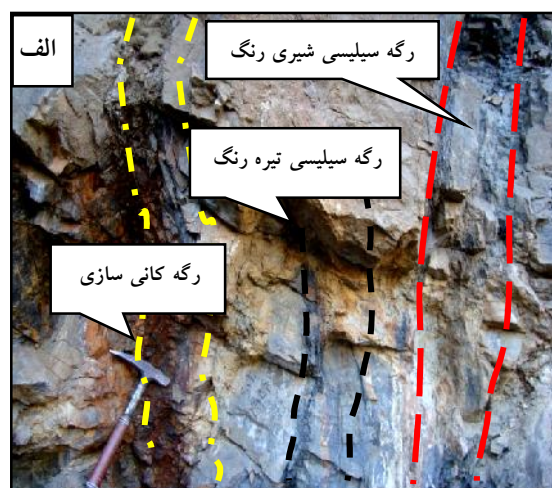
واحدهای سنگی دربرگیرنده کانسارهای سرب و روی در منطقه از نوع رسوبی است و عبارتند از سازندهای مبارک (کربنیفر زیرین) و الیکا (تریاس زیرین). در ادامه هر یک از این واحدهای سنگی تشریح می گردند.

- **سازند مبارک:** این واحد سنگ چینه ای که در هسته تاقدیس محدوده مورد مطالعه جای دارد، دارای همبری جنوبی با کوارتز مونزونیت توده اکاپل می باشد (شکل ۲) که در مجاورت با این توده دچار دگرگونی گردیده و حاوی کانی های دگرگونی از جمله گرونا می باشد. درون لایه هایی از جنس ماسه سنگ به ضخامت تقریبی ۲ متر و افق هایی اندک از گدازه های آندزیتی و آهک خاکستری تیره با بین لایه های نازک شیل های بیتومینه و سیلتی دارای فسیل های کرینوئید و براکیوپودا در این واحد سنگی قابل مشاهده است. کانه زایی سرب و روی در کانسار گورت، درون واحد سنگی آهک خاکستری شیلی تا سیلتی این سازند رخ داده است (شکل ۳- الف).

- **سازند الیکا:** در محدوده مورد مطالعه از شمال تا شمال غرب بخش بالایی سازند الیکا با لیتولوژی دولومیت توده ای تا آهک دولومیتی زرد تا خاکستری با ضخامت زیاد و لایه بندی ضخیم در حدود ۱۰۰ متر دیده می شود. آهک مزبور دارای سطح هوازده کرم تا زرد رنگ و سطح تازه خاکستری تیره تا سیاه است (شکل ۳- ب). مختصات این لایه ها 70°NW , 45°N می باشد که شدیداً تجدید تبلور یافته است.

و روی در منطقه مورد مطالعه، از روند اصلی گسل‌ها در منطقه تبعیت می‌کند کانی‌سازی سرب و روی در کانسار مورد مطالعه به شکل رگه‌ای و پرکننده فضای خالی بوده که روند عمومی رگه‌های کانی‌سازی از امتداد تقاطع گسل‌ها در کانسار پیروی می‌کند که مهمترین عامل ایجاد فضاهاى خالی را می‌توان حرکات تکتونیکی ناشی از فعالیت گسل‌های منطقه دانست. بیشترین میزان کانی‌سازی سرب و روی در کانسار گورت در تقاطع گسل اصلی گورت با امتداد تقریبی شمال غربی- جنوب شرقی و گسل قطع‌کننده آن با مشخصات $N30^{\circ}E, 83^{\circ}W$ صورت پذیرفته است.

سرب و روی کاملاً مشخص می‌باشد (شکل ۳-ب) که در بیشتر موارد می‌تواند به عنوان یک راهنمای اکتشافی در کانسار مورد استفاده قرار گیرد. گالن و اسفالریت به شکل رگه‌های نازک با ضخامت حدود ۳۰ سانتی‌متر درون واحدهای کربناته و دولومیتی رخ داده‌اند. پدیده سیلیسی شدن و دولومیتی شدن در این سنگ‌ها کاملاً مشخص بوده به طوری که بلورهای درشت دولومیت با سطح تماس صاف تا خمیده که فضاهاى خالی بین آنها توسط کانی‌های کوارتز و اکسید-هیدروکسیدهای آهن پر شده است به وضوح قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۳-الف). به طور کلی فرآیند کانی‌سازی سرب



شکل ۳-الف) تفکیک رگه کانی‌سازی و رگه‌های سیلیسی (سازند مبارک) در کانسار گورت

ب) زون گسلی و خرد شده و آغشته به اکسید-هیدروکسید آهن (سازند الیکا) در دهانه یکی از تونل‌ها در کانسار گورت

کانی‌شناسی کانسنگ

بلورهای گالن اغلب از حاشیه و در امتداد سطوح رخ و شکستگی، طی یک فرآیند جانشینی ثانویه به کانی‌های سروزیت ($PbCO_3$) و پلاتنریت (PbO_2) تبدیل شده‌اند. همچنین برخی بلورهای گالن از حاشیه تبدیل شدگی به کانی کوولیت (CuS) را نشان می‌دهند (اشکال ۴-الف، ۴-ه).

گالن: کانی اصلی و اولیه سولفیدی در کانسار است که به صورت درشت بلور و خودشکل تا نیمه شکل دار با بافت پرکننده فضای خالی درون درز و شکاف‌ها و به صورت ریز بلور با بافت دانه‌ای پراکنده در سنگ میزبان دیده می‌شوند (اشکال ۴-الف، ۴-ج).

با توجه به اینکه میانگین فراوانی Pb (بر حسب ppm) در سنگ های کربناتی لیتوسفر برابر ۹ است [۲] و مقدار فراوانی آن در سنگ های کربناته میزبان در کانسار مورد مطالعه برابر ۴۵ می باشد غنی شدگی ۵ برابر سنگ میزبان از این عنصر را نشان می دهد. همچنین میانگین فراوانی Zn در سنگ های کربناتی لیتوسفر برابر ۲۰ است [۲] در صورتی که میزان این عنصر در سنگ های میزبان کربناته در کانسار مورد مطالعه، برابر ۱۱۱ می باشد که غنی شدگی ۵ برابر سنگ میزبان از این عنصر را نشان می دهد. میانگین فراوانی Cu در سنگ های کربناتی لیتوسفر برابر ۴ است [۲] در حالی که مقدار فراوانی Cu در سنگ های میزبان کربناته در کانسار مورد مطالعه برابر ۱۲/۳ ppm می باشد که غنی شدگی ۳ برابر سنگ میزبان از این عنصر را نشان می دهد. میانگین فراوانی Pb (بر حسب ppm) در سنگ های گرانیتی لیتوسفر برابر ۱۹ است [۲] در حالی که مقدار فراوانی Pb در سنگ های گرانیتی توده اکاپل در مجاورت کانسار مورد مطالعه برابر ۱/۴ می باشد که یک تھی شدگی از این عنصر را نشان می دهد. میانگین فراوانی Zn در سنگ های گرانیتی لیتوسفر برابر ۳۹ است [۲] در حالی که مقدار فراوانی Zn در سنگ های گرانیتی توده اکاپل در مجاورت کانسار مورد مطالعه برابر ۴۱ می باشد که غنی شدگی قابل توجهی را نشان نمی دهد.

تغییر جهت و خمیدگی رخ های گالن که نشان دهندۀ تأثیر عوامل تکتونیکی بر روی کانسار هستند به وضوح قابل تشخیص می باشند. از نظر توالی زمانی گالن پس از اسفالریت و پیریت شکل گرفته است.

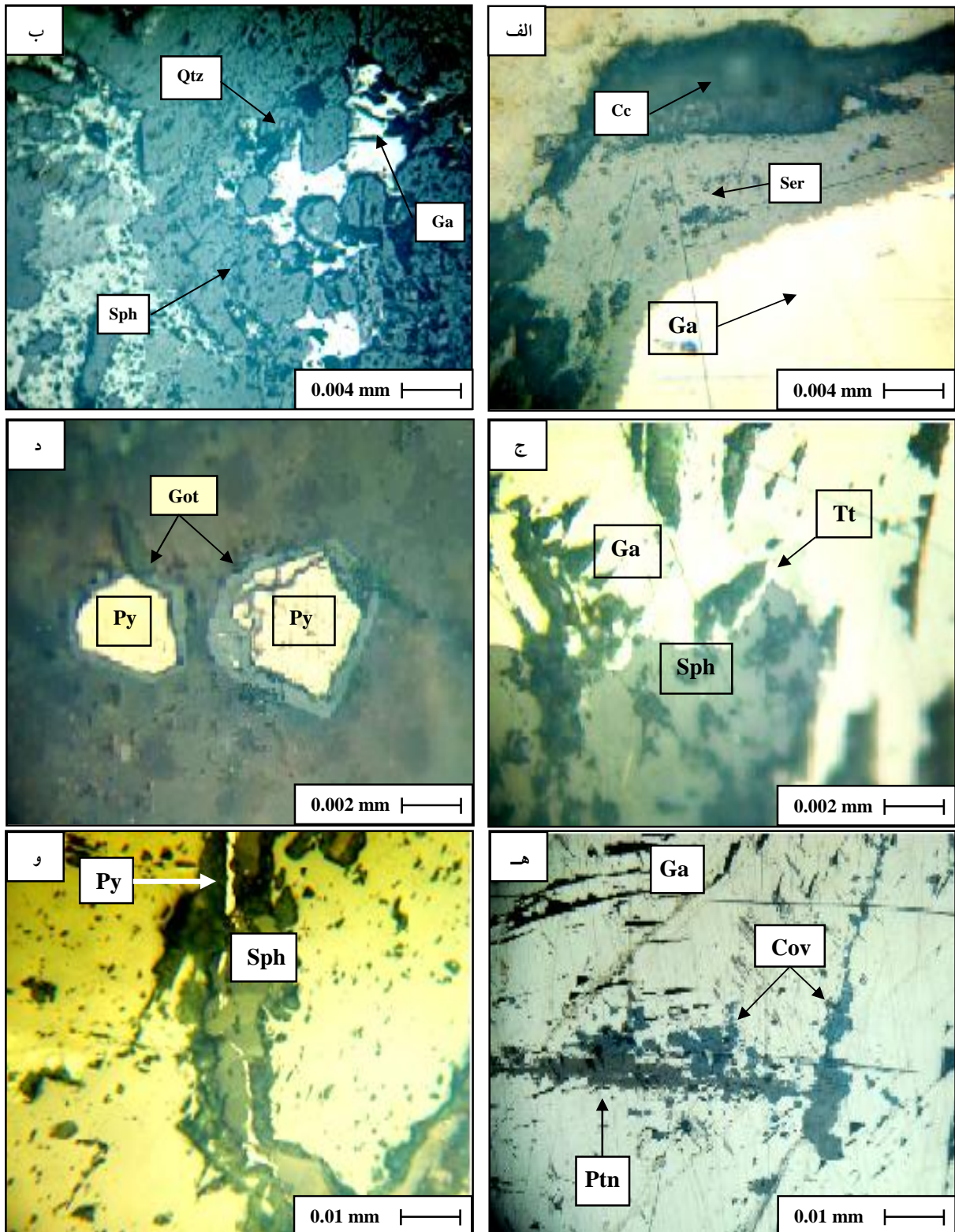
اسفالریت: اسفالریت به عنوان کانی اصلی و اولیه سولفیدی و به میزان کمتر نسبت به گالن و به شکل ادخال های بی شکل تا نیمه شکل دار درون بلورهای گالن و یا با بافت پر کننده فضای خالی مشاهده می گردد (اشکال ۴- ب ، ۴- ج). از نظر زمان تشکیل اسفالریت نسبت به گالن تقدم دارد.

پیریت: پیریت به صورت کانی اولیه در کانسار خود شکل تا نیمه شکل دار و در اندازه های مختلف با بافت پر کننده فضای خالی و یا پراکنده در سنگ میزبان وجود دارد (اشکال ۴- د ، ۴- و). بلورهای پیریت غالباً اکسید شده و به کانی های ثانویه اکسید- هیدروکسیدی آهن (از جمله گوئیتیت هماتیت و لیمونیت) تبدیل شده است (شکل ۴- د). وجود بقایای بلورهای پیریت اولیه در بخش های گوسن نشان می دهد که منشأ اصلی این بخش ها در کانسارهای مورد مطالعه، می باشد. غالباً بلورهای پیریت در محل هایی مشاهده می گردند که سنگ میزبان کربناته دچار تبلور مجدد شده است.

بررسی های ژئوشیمیایی

بررسی ژئوشیمی عناصر کمیاب

بررسی غلظت عناصر فلزی کانسارساز در سنگ های کربناتی میزبان کانی سازی و سنگ های گرانیتی توده نفوذی اکاپل در منطقه مورد مطالعه، نشان می دهد



شکل ۴- الف) بلور گالن که از حاشیه به سروزیت که با حالت قشرگونه به کلسیت تبدیل شده است. (ب) گالن و اسفالریت با بافت پرکننده فضای خالی درون بلورهای کوارتز رشد یافته. (ج) ادخال های تتراندریت و اسفالریت درون بلور گالن (ppl). (د) تبدیل پیریت از حاشیه به کانی ثانویه گوئتیت (ppl). (ه) جانشینی کانی پلاتنریت و کولیت در امتداد رخ و سطوح شکستگی در بلور گالن (ppl). (و) پیریت با بافت رگه ای و پرکننده فضای خالی درون شکاف کانی اسفالریت. (ppl).

به طوریکه اگر نسبت فوق کمتر از ۰/۶ باشد نشان دهنده تشکیل کانی در دمای بالاست و مقادیر بیشتر این نسبت نشان دهنده تشکیل در دمای پایین است [15]. مالاخوف (۱۹۶۸)، کانه های سولفوبیسمو تینید را خاص تیپ کانسارهای دما بالا و سولفوآنتیموانید را خاص تیپ های دما پایین دانسته است. نسبت Sb/Bi در نمونه گالن (G5, G2) که به روش جدایش کانیایی خالص سازی شده است محاسبه گردید و به ترتیب برابر با ۱۲۰۲ و ۲۳۶۵ شد که این مقدار نشان دهنده تشکیل گالن کانسار مورد مطالعه در دمای پایین است.

فراوانی عنصر Ag در نمونه های کانی سازی شده (G5, G2) بالاست و به ترتیب برابر ۵۵/۹ و ۱۰۰ می باشد. از آنجایی که بالا بودن میزان نقره در یک کانسار سرب و روی می تواند، بیانگر وجود نقره در سولفیدها و سولفوسالت هایی چون گالن و تتراهدريت باشد [12]، و با توجه به عدم مشاهده کانه نقره خالص در نمونه ها، بالا بودن میزان این عنصر در کانسار مورد مطالعه، می تواند در ارتباط با حضور کانی های سولفوسالت نقره دار نظیر تتراهدريت و یا وجود نقره در شبکه کانه گالن و اکسیدهای موجود در کانسار مورد مطالعه باشد.

بررسی ژئوشیمی عناصر نادر خاکی (REEs)

داده های تجزیه عناصر نادر خاکی در نمونه های مورد مطالعه، نسبت به کندريت (Boynnton, 1984) به هنجار شدند و برای تعبیر و تفسیر رفتار عناصر نادر خاکی در نمونه های مختلف، مقادیر $Eu/Eu^* \text{ TotREE}$ Tb/Ca Tb/La Y/Ho La/Ho La/Yb La/Sm Eu/Yb و Ce/Yb محاسبه گردید (جدول ۱).

همچنین میانگین فراوانی Cu در سنگ های گرانیتی لیتوسفر برابر ۱۰ است [۲] در حالی که مقدار فراوانی Cu در سنگ های گرانیتی توده اکاپل در مجاورت کانسار مورد مطالعه برابر ۴/۱ می باشد که یک تهی شدگی از این عنصر را نشان می دهد. بنابراین با توجه به اینکه سنگ میزبان کربناته در کانسار مورد مطالعه نسبت به غلظت عناصر Pb, Zn, Cu غنی شدگی نشان داده و گرانیت های توده نفوذی اکاپل نسبت به این عناصر تهی شدگی نشان می دهند لذا چنین به نظر می رسد که منشأ عناصر کانسار ساز و فلزات پایه در کانسار مورد مطالعه، سنگ های میزبان کربناته باشند و نه توده نفوذی اکاپل. غلظت عناصر As, Ag, Hg, Cd, Sb, Zr در نمونه های کانی سازی کانسار نسبت به فراوانی آنها در نمونه های سنگ میزبان و دربرگیرنده، دایک و توده نفوذی اکاپل غنی شدگی نشان داده و عناصر Ba, Li, V در نمونه های کانی سازی کانسار نسبت به سایر نمونه ها، تهی شدگی نشان می دهند. غلظت عناصر Sb و Hg در دایک ها ماگمایی منطقه نسبت سایر نمونه ها مورد آنالیز، تهی شدگی و عنصر Li در دایک ها غنی شدگی نشان می دهد. همان طور که گفته شد کانی های سولفیدی همچون گالن به ندرت خالص بوده و معمولاً مقادیر متفاوتی از عناصر فرعی و کمیاب دارند. جایگزینی این عناصر به عوامل فیزیکی و شیمیایی چون pH ، دما، فشار و غیره بستگی دارد. با تعیین نسبت های عناصر کمیاب می توان تا حدودی شرایط حاکم بر محیط را در حین تشکیل کانسار ارزیابی نمود. نسبت Sb/Bi به طور خالص برای گالن بکار برده می شود. این نسبت در گالن نشان دهنده دما و فشار تشکیل کانی است.

دایک های منطقه با توده نفوذی اکاپل قرابت دارند. میانگین تغییرات نسبت Eu/Yb در نمونه های کانی سازی برابر $0/43$ ، در نمونه های سنگ میزبان و در برگیرنده برابر $0/62$ ، در دایک دیوریتی برابر $2/87$ و مقدار این نسبت در نمونه توده نفوذی اکاپل برابر $1/50$ است. بنابراین الگوی تغییرات نسبت $MREE/HREE$ در نمونه های کانی سازی شده کانسار از الگوی تغییرات این نسبت در سنگ میزبان تبعیت کرده و با یکدیگر قرابت و شباهت نشان می دهند. همچنین نسبت Eu/Eu^* در نمونه های آنالیز شده از منطقه مورد مطالعه، کمتر از ۱ بوده که یک بی هنجاری منفی Eu را نشان می دهد و با توجه به این که بی هنجاری منفی Eu نسبت به کندریت نرمال شده نشان دهنده حضور فاز سیال گرمایی می باشد [7] و [13]، لذا می توان حضور یک فاز سیال گرمایی را در تشکیل کانسار مورد مطالعه در نظر گرفت. مطابق شکل ۵، با توجه به دیاگرام $Tb/Ca-Tb/La$ [16] پراکندگی نمونه های اخذ شده از رگه های کانی سازی شده و سنگ های کربناته میزبان آنها در مرز محدوده پگماتی و گرمایی واقع گردیده است. همه نمونه های کانی سازی شده در یک روند واحد از نسبت Tb/La واقع شده اما تغییرات زیادی را در نسبت Tb/Ca نشان می دهند. این روند عمودی از نمونه های کانی سازی شده در این دیاگرام، معمولاً نشان دهنده واکنش سیال گرمایی با سنگ های کربناته می باشد [16]. همچنین مقادیر پایین نسبت Tb/La در رگه های کانی سازی شده (حدود $0/02$)، نشان می دهد که کانه های کانساری در مراحل اولیه از سیال گرمایی ته نشین شده اند و به عبارت دیگر، آنها محصول مرحله اولیه تبلور از سیال گرمایی می باشند [16].

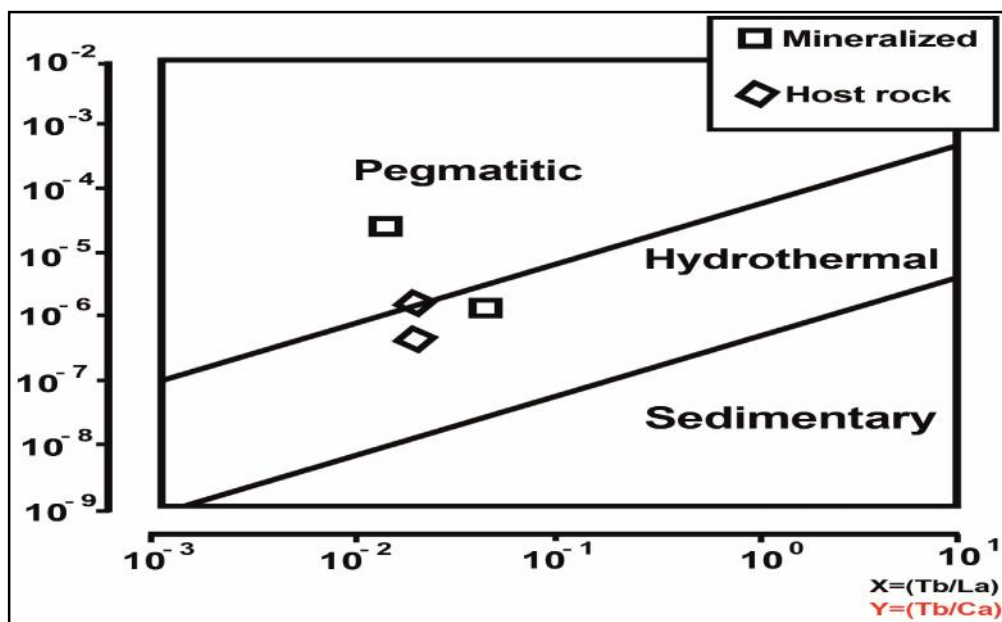
بررسی الگوی تغییرات عناصر نادر خاکی (REE) و تغییرات نسبت های $LREE/MREE$ $LREE/HREE$ و $MREE/HREE$ در نمونه های آنالیز شده از منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که میانگین تغییرات نسبت های La/Yb و Ce/Yb در نمونه های کانی سازی شده ($G5$ و $G2$) به ترتیب برابر $22/64$ و $9/98$ ، در نمونه های سنگ میزبان و در برگیرنده ($G4, G9$) به ترتیب برابر $24/97$ و $9/65$ ، در نمونه دایک منطقه ($G11$) به ترتیب برابر $292/5$ و $109/55$ و در نمونه توده نفوذی اکاپل (AK) به ترتیب برابر $133/25$ و $51/7$ است. با مقایسه این نسبت ها مشاهده می گردد که تغییرات نسبت $LREE/HREE$ در نمونه های کانی سازی شده از کانسار مورد مطالعه شباهت و قرابت بسیار نزدیکی با سنگ های میزبان کانه سازی در کانسار دارند و با دایک ها و سنگ های توده نفوذی اکاپل هیچ گونه شباهتی را نشان نمی دهند. همچنین افزایش نسبت $LREE/HREE$ در نمونه های آنالیز شده می تواند ناشی از تأثیر سیالات گرمایی- ماگمایی غنی از کلر و فلئوئورداری باشد که سبب شستشو و حمل آنها گشته اند [9]. میانگین تغییرات نسبت های La/Sm و La/Ho در نمونه های کانی سازی شده به ترتیب برابر 4 و $35/86$ ، در نمونه های سنگ میزبان به ترتیب برابر $3/25$ و $30/84$ در نمونه دایک دیوریتی به ترتیب برابر $7/93$ و 260 و در نمونه توده نفوذی اکاپل به ترتیب برابر $8/78$ و $199/06$ است. با مقایسه تغییرات این نسبت ها با یکدیگر مشخص است که تغییرات $LREE/MREE$ در نمونه های کانی سازی شده در کانسار مورد مطالعه نیز شباهت و قرابت بسیار نزدیکی با سنگ های میزبان کانی سازی دارند و تغییرات این نسبت ها در

فصلنامه علمی پژوهشی زمین شناسی محیط زیست / سال ششم، شماره ۱۹، تابستان ۱۳۹۱

جدول ۱- میزان عناصر کانسار ساز اصلی، کمیاب و نادر خاکی (بر حسب ppm) در کانسنگ مینرالیزه و واحدهای سنگی

منطقه، بر اساس تجزیه ICP و محاسبه نسبت ها و پارامترهای محاسباتی مربوط به REE ها.

عناصر	AK توده نفوذی اکاپل	G ₁₁ دایک دیورتی	G ₉ سنگ آهک میزبان	G ₅ کانسنگ	G ₄ سنگ آهک میزبان	G ₂ کانسنگ
Ba	۱۰۶۹	۱۸۳/۶	۱۷۹	۸۸/۵	۱۰/۱	۲۴۵
Cu	۲۸/۸	۶۷۵	۱۲/۳	۷۹۸/۲	۵/۹۷	۸۲/۱
Ca	-	۱۰۸۰۰	-	۷۳۷۰۰	۳۵۴۷۰۰	۱۱۰۰۰
Li	-	۱۸/۴	-	۰/۲	۰/۱	-
Pb	۱۴/۱	۳۱/۱۶	۴۵	۱۹۵۲۲/۹	۳۷۲/۲۴	۱۰۰۰۰
Zn	۵۸	۴۹/۳	۱۱۱	۹۷۶۳	۴۹۸/۹	۱۰۰۰۰
As	۲/۱	۲/۵	۵۴/۲	۴۶۲/۸	۴۸/۸	۱۰۰۰۰
Sb	۰/۱	۱/۴۷	۳/۶	۴۹۶/۶	۳/۸۵	۶۰/۱
Bi	۰/۱	۰/۰۵	۰/۱	۰/۲۱	۰/۰۲	۰/۰۵
Ni	۳۰/۱	۲۰/۶	۳۴/۹	۱۲	۰/۱	۳۶/۴
Nb	۳۹/۶	۰/۲۶	۲۵/۸	۰/۰۴	۰/۰۴	۴۷/۵
Ag	۰/۱	۰/۳۵	۰/۵	۱۰۰	۱/۳۹	۵۵/۹
Hg	۰/۰۳	۰/۰۰۸	۰/۰۱	۰/۱۱۸	۰/۰۴۱	۰/۳۲
Cd	۰/۱	۰/۱۲	۱	۵۰/۰۷	۵/۰۵	۷۶/۹
Rb	۱۲۳/۷	۴۱/۷	۶۹/۷	۰/۶	۰/۳	۱۸۹/۲
Sr	۸۲۴/۵	۸۴/۵	۱۱۷۰	۱۲۸/۸	۸۵۲/۴	۱۷۸/۴
Th	۲۶/۶	۱۳/۷	۹/۲	۰/۳	۰/۳	۱۶/۵
V	۷۰	۵۳	۱۴۷	۱۰	۳	۱۸۰
La	۶۳/۷	۲۶	۲۶/۱	۳/۴	۳/۲	۴۱/۱
Ce	۱۱۰/۶	۴۶/۸	۵۳/۴	۷/۲	۵/۹	۱۰۶/۵
Pr	۱۰/۵۱	۴/۷۱	۶/۸۱	۰/۹۴	۰/۶۷	۱۱/۴۹
Nd	۳۴/۰۱	۱۴/۹۳	۳۰/۱	۴/۲۳	۲/۹۳	۴۱/۸
Sm	۴/۵۶	۲/۰۶	۴/۹۶	۱/۱۹	۰/۶	۵/۴۷
Eu	۱/۲۴	۰/۴۶	۱/۰۴	۰/۲۱	۰/۱۳	۱/۰۹
Gd	۳/۶۶	۱/۵۳	۴/۸۳	۱/۱	۰/۵۸	۴/۲۶
Tb	۰/۴۲	۰/۱۶	۰/۷۱	۰/۱۶	۰/۱	۰/۶۳
Dy	۱/۹۳	۰/۷۸	۴/۳۲	۱/۱۵	۰/۵۲	۳/۸۵
Ho	۰/۳۲	۰/۱	۰/۸۱	۰/۲۱	۰/۱۱	۰/۷۴
Er	۰/۸۵	۰/۲۶	۲/۲۸	۰/۶۲	۰/۳۲	۲/۲۵
Tm	۰/۱	۰/۰۳	۰/۳۴	۰/۰۷	۰/۰۵	۰/۳۸
Yb	۰/۸۳	۰/۱۶	۲/۲۴	۰/۵۳	۰/۲۷	۲/۳۳
Lu	۰/۱۲	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۳۳
Y	۹/۶	۲/۹۴	۲۲/۴	۶/۱	۳/۸۶	۱۹/۱
TotREE	۲۳۲/۸۵	۹۸	۱۳۸/۲۴	۲۱/۰۹	۱۵/۴۲	۲۳۵/۲۲
Eu/Eu*	۰/۸۹	۰/۷۵	۰/۶۴	۰/۵۵	۰/۶۶	۰/۶۶
La/Sm	۸/۷۸	۷/۹۳	۳/۳۱	۱/۷۹	۳/۳۵	۶/۲۲
La/Ho	۱۹۹/۰۶	۲۶۰	۳۲/۲۲	۱۶/۱۹	۲۹/۰۹	۵۵/۵۴
Tb/La	۰/۰۹	۰/۰۶	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۱
Tb/Ca	-	۰/۰۰۰۱	-	۰/۰۰۰۰۲	۰/۰۰۰۰۰۳	۰/۰۰۰۰۰۶
La/Yb	۵۱/۷	۱۰۹/۵۵	۷/۸۵	۴/۳۲	۷/۹۹	۱۵/۶۵
Eu/Yb	۱/۵۰	۲/۸۷	۰/۴۶	۰/۴۰	۰/۴۸	۰/۴۶
Ce/Yb	۱۳۳/۲۵	۲۹۲/۵	۲۳/۸۳	۱۳/۵۸	۲۱/۸۵	۴۵/۷۰

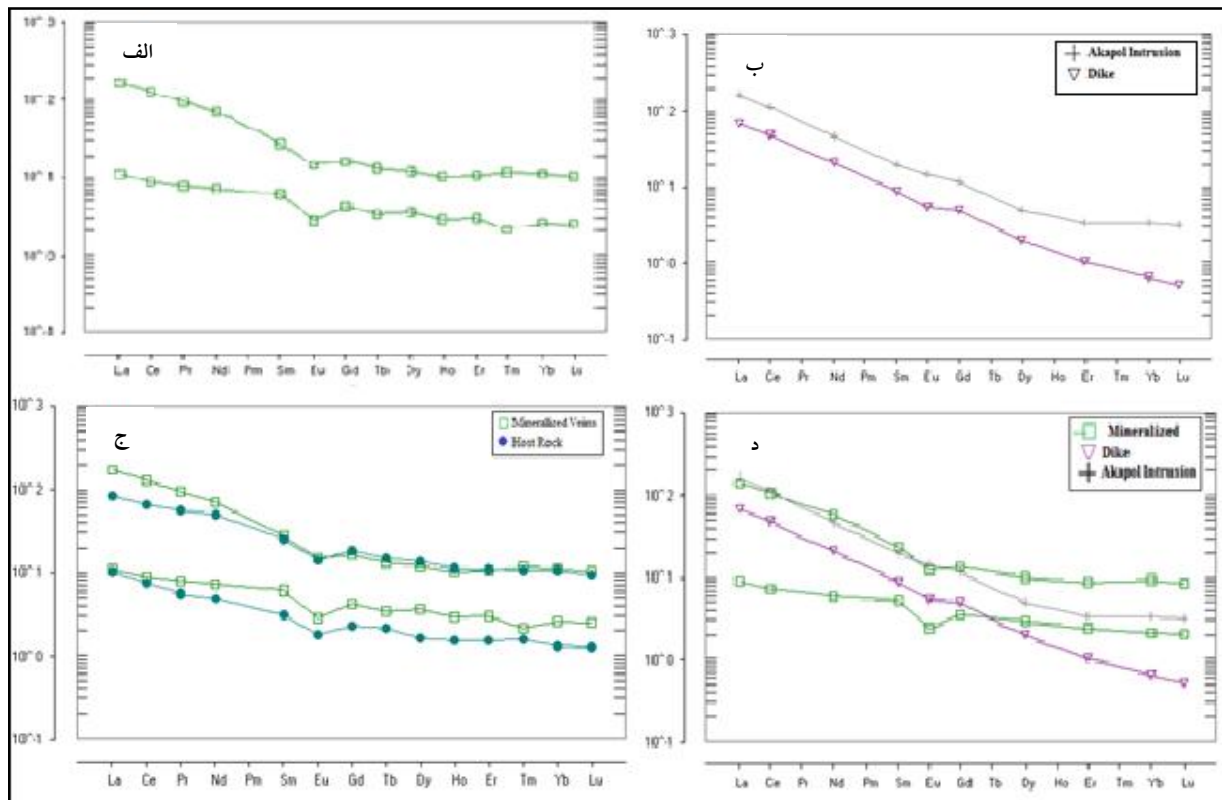


شکل ۵- نمودار $Tb/Ca-Tb/La$ برای نمونه های کانی سازی شده و سنگ میزبان در کانسار مورد مطالعه

مقایسه آرایه توزیع عناصر نادر خاکی در نمونه های مورد مطالعه

می کند و رفتار ژئوشیمیایی مشابه ای را از خود نشان می دهند. بنابراین منشأ عناصر کانسارساز را می توان سنگ های میزبان کربناته در نظر گرفت. در شکل ۶- د، آرایه توزیع REE ها در کانسنگ با آرایه توزیع این عناصر در نمونه دایک دیوریتی و نمونه کوارتز مونزونیتی از توده نفوذی اکاپل مقایسه گردیده است. همان طور که پیداست آرایه توزیع REE ها در یک نمونه کانسنگ (G5) هیچ گونه شباهت و قرابتی با آرایه توزیع نمونه دایک و توده نفوذی اکاپل نداشته و از رفتار ژئوشیمیایی آنها پیروی نمی کند. ولی در نمونه کانسنگ دیگر (G2) قرابت آنها به یکدیگر زیاد است. بنابراین نبایست نقش ماگماتیسم ترشیری و توده نفوذی اکاپل را در تشکیل کانسار مورد مطالعه حداقل در تأمین سیالات گرمابی کانسارساز از نظر دور داشت.

با توجه به شکل ۶- الف، آرایه تغییرات REE ها در نمونه های کانی سازی شده، غنی شدگی از این عناصر را نشان می دهند. عنصر Eu در این آرایه ها دارای آنومالی منفی شاخصی است. در شکل ۶- ب آرایه توزیع REE ها در یک نمونه دایک دیوریتی و یک سنگ کوارتز مونزونیتی از توده نفوذی اکاپل مقایسه شده است که شباهت و قرابت بسیار نزدیکی با یکدیگر نشان می دهند. به بیان دیگر رفتار ژئوشیمیایی REE ها در دایک های منطقه از رفتار این عناصر در توده نفوذی اکاپل پیروی می کند لذا می توان منشأ دایک های منطقه را، در ارتباط با ماگماتیسم ترشیری و توده نفوذی اکاپل دانست. در شکل ۶- ج، آرایه توزیع REE ها در کانسنگ با سنگ های میزبان کانی سازی در کانسار مقایسه شده است که آرایه توزیع در کانسنگ از آرایه توزیع سنگ میزبان تبعیت



شکل ۶- الف) آرایه توزیع REE ها در نمونه های کانسنگ ب) مقایسه آرایه توزیع REE ها در نمونه دایک دیوریتی با نمونه توده نفوذی اکاپل ج) مقایسه آرایه توزیع REE ها در نمونه های کانسنگ با سنگ میزبان د) مقایسه آرایه توزیع REE ها در نمونه های کانسنگ با دایک و توده نفوذی اکاپل

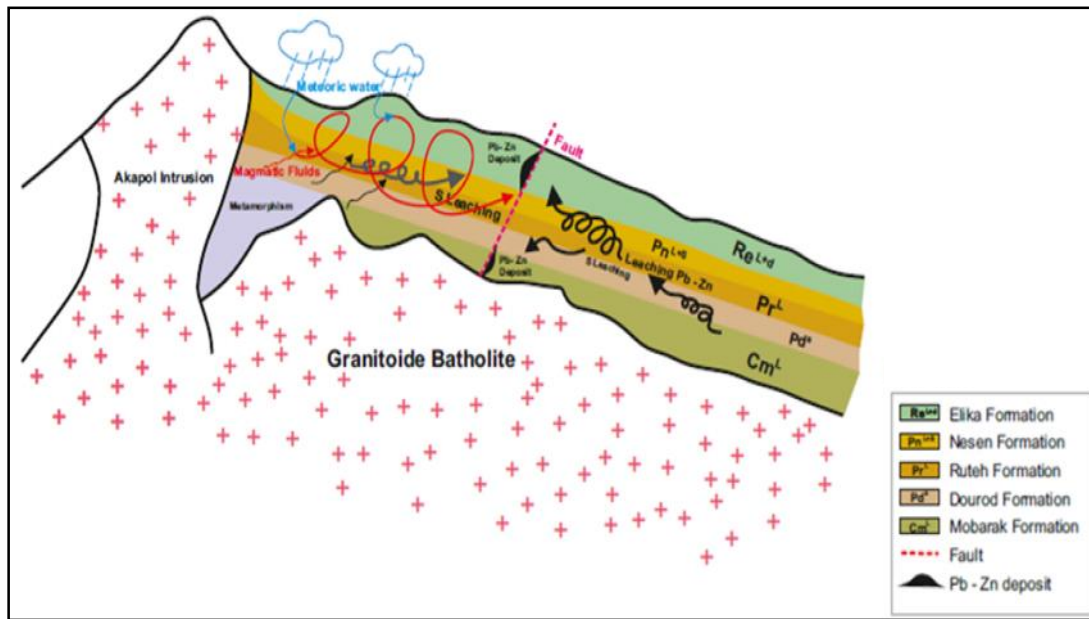
نتیجه گیری

مهمترین کانی های ثانویه سرب می باشند. علاوه بر آنها، فرآیند های برون زاد باعث تشکیل کانی های ثانویه از جمله: کولیت، کالکوسیت و اکسید هیدروکسید های آهن نیز شده است. بر پایه مطالعات ژئوشیمیایی مشخص گردید که میزان فراوانی فلزات پایه Pb و Zn و Cu در سنگ های میزبان کربناته نسبت به کلارک آنها در سنگ های کربناته لیتوسفر غنی شدگی بالایی را نشان می دهد به طوری که، میزان این غنی شدگی برای فلزات Pb و Zn ۵ برابر و برای Cu تا ۳ برابر کلارک آن است. وجود میزان بالای Pb در سنگ میزبان می تواند نتیجه فعالیت های ماگماتیسم و دگرگونی و همچنین رخدادهای کوهزایی در زمان

کانه زایی سرب و روی در کانسار گورت به شکل رگه ای بوده که روند عمومی آن ها از امتداد گسل ها و محل تقاطع آنها پیروی می کند. کانی سازی در کانسار مورد مطالعه، در سنگ های آهکی و آهک شیلی سازند مبارک (به سن کربنیفر) شکل گرفته است. به طور کلی فرآیند کانی سازی در این کانسار از روند اصلی گسل ها در منطقه تبعیت می کند. کانی شناسی کانسار ساده بوده و شامل گالن اسفالریت و پیریت به عنوان کانی های سولفیدی اصلی و اولیه می باشد. همچنین کانی تتراهدردیت به عنوان کانی فرعی و کمیاب اولیه به صورت ادخال درون گالن حضور دارد. سروزیت و پلاتنریت

مورد مطالعه، دارای بی‌هنجاری منفی بوده که نشان دهنده فوگاسیته بالای گاز اکسیژن در سیال گرمایی می‌باشد که این امر می‌تواند نشان دهنده منشأ آب‌های جوی با میزان اکسیژن بالا برای سیالات گرمایی کانه ساز در کانسارهای منطقه می‌باشد. البته همان طور که گفته شد نقش سیالات گرمایی ماگمایی ناشی از توده نفوذی اکاپل را نباید از نظر دور داشت. با توجه به نتایج فوق چنین به نظر می‌رسد که آب‌های سطحی با فوگاسیته بالای گاز اکسیژن (بی‌هنجاری‌های منفی Eu)، در برخورد با آب‌های ماگمایی ناشی از توده نفوذی اکاپل، گرم شده و در اثر حرکت و چرخش این سیالات گرم درون واحد‌های کربناته تقریباً غنی از فلزات کانساری، این فلزات را در خود حل کرده و به شکل کمپلکس‌های فلزی محلول انتقال می‌دهد. سپس به دلیل برخورد این سیالات اسیدی غنی از فلزات با سنگ‌های میزبان کربناته، pH سیالات افزایش و فوگاسیته گاز اکسیژن آنها کاهش یافته و در نهایت، تغییر شرایط Eh-pH سیالات باعث ته‌نشست فلزات کانساری، به صورت اپی ژنتیک درون درزه و شکاف‌ها و شگستگی‌های گسلی سنگ میزبان می‌گردد (شکل ۷).

تشکیل واحد‌های رسوبی در منطقه باشد [16]. همچنین غلظت این فلزات پایه در سنگ‌های گرانیتی و کوارتز مونوزونیتی توده نفوذی اکاپل نسبت به کلارک آنها در لیتوسفر، تهی‌شدگی نشان می‌دهند. همچنین با مقایسه تغییرات نسبت‌های عنصری MREE/HREE و LREE/MREE در نمونه‌های کانی‌سازی شده، سنگ میزبان کربناته دایک و توده اکاپل مشاهده گردید که تغییرات این نسبت‌ها در نمونه‌های کانی‌سازی شده، شباهت و قرابت بسیار زیادی را با تغییرات این نسبت‌ها در سنگ میزبان کانی‌سازی در کانسار مورد مطالعه نشان می‌دهد ولی با دایک و سنگ‌های توده نفوذی اکاپل شباهت و قرابتی ندارد. با توجه به مقایسه آرایه توزیع REE‌ها در نمونه‌های آنالیز شده، آرایه REE‌ها در نمونه‌های کانی‌سازی شده شباهت و قرابت بسیار نزدیکی با سنگ میزبان کربناته از خود نشان می‌دهند ولی از آرایه REE دایک‌های منطقه و آرایه توده نفوذی اکاپل تبعیت نمی‌کنند. همچنین تغییرات REE‌های دایک‌ها در کانسار مورد مطالعه قرابت و شباهت بسیار زیادی با توده نفوذی اکاپل دارد که گویای این مطلب است که دایک‌های دیوریتی منطقه از توده نفوذی اکاپل منشأ گرفته و سنی معادل یا کمتر از ماگماتیسم ترشیری دارند. بنابراین مهمترین منبع و منشأ فلزات کانسار ساز در نهشته سرب و روی گورت، سنگ‌های میزبان کربناته (پالئوزوئیک بالایی) می‌باشند. همچنین نقش ماگماتیسم ترشیری و توده نفوذی اکاپل را در تشکیل کانسار مورد مطالعه می‌توان به عنوان منبع حرارتی در تأمین سیالات گرمایی دانست. همچنین عنصر Eu در آرایه توزیع REE نمونه‌های کانی‌سازی شده و سنگ میزبان در کانسار



شکل ۷- مدل شماتیک ژنتیکی کانی سازی Pb-Zn در کانسار مورد مطالعه

تشکر و قدردانی

۳- سجادی نسب، م.، (۱۳۸۹)، پترولوژی و ژئوشیمی توده های نفوذی منطقه اکاپل کلاردشت (البرز مرکزی)، رساله دکتری رشته پترولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات ۲۱۵ صفحه.

۴- سیمونز، و.، (۱۳۸۵)، ژئوشیمی کانسار های رسوبی انتشارات دانشگاه تبریز، چاپ اول، ۳۳۷ ص.

۵- شهاب پور، ج.، (۱۳۸۰)، زمین شناسی اقتصادی، انتشارات دانشگاه باهنر کرمان، چاپ اول، ۵۴۳ صفحه.

۶- شرکت مهندسیین مشاور کاوشگران، (۱۳۷۹)، گزارش پی جویی و اکتشافات ژئوشیمیایی در سه محدوده کلاردشت الیت و دونا، سازمان صنایع و معادن مازندران، ۴۸۵ ص.

۷- رولینسون، ه.آ.، (۱۳۸۴)، ترجمه فرید مر، کاربرد داده های زمین شناسی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، چاپ اول، ۴۵۲ ص.

8- Ahrens, L., (1953), The use of ionization potentials. Anion affinity and geochemistry, Geochim. et cosmochim. Acta., vol.4, pp. 1-29.

9- Gramaccioli, CM., Diella, V., Demartin, F., (1999), The role of fluoride complexes in REE geochemistry and the importance of 4f electrons: some complexes in minerals, Euro. J. Min 11:6, pp.983-992

10. Guest, B., Axen, G., (2006), Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz

این تحقیق در راستای طرح پژوهشی با عنوان "بررسی ژئوشیمی و پتروژنز کانسارهای سرب و روی منطقه کلاردشت با استفاده از عناصر کمیاب و ایزوتوپ های رادیوژنیک" که در باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس مصوب گردیده، انجام گرفته است لذا شایسته است که از ریاست، معاونت پژوهش و فناوری ریاست باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد چالوس کمال تشکر و قدردانی را نمایم.

منابع

۱- جزی، م.ع.، شهاب پور، ج.، (۱۳۸۹)، بررسی خصوصیات کانی شناسی، ساختی، بافتی، و ژئوشیمیایی معدن سرب نخلک- اصفهان، مجله زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد، شماره ۲، ص ۱۳۱ تا ۱۵۱.

۲- حسنی پاک، ع.، (۱۳۸۱)، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی انتشارات دانشگاه تهران، چاپ چهارم، ۶۱۵ ص.

Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation, *Geosphere.*, vol.2, pp 35-52.

11- Guilbert, J.M., (1997), and Park Jr. C.F. *The Geology of Ore Deposits*, Freeman and Company, New York, 985 p.

12- Kikawada, Y., Ossaka, T., Oi, T., Honda, T., (2001), Experimental studies on the mobility of lanthanides accompanying alteration of andesite by acidic hot spring water, *Chemical Geology.*, vol.176, pp. 137-149.

13- Klehn, C., Hurlbut, C.S., (1993), *Manual of Mineralogy*, John Wiley & Sons, 681 p.

14- Lottermoser, B.G., 1992, Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes, *Ore Geology Reviews.*, vol.7, pp.25-41

15- Lovering, T.G., Heyl, A.V., (1974), Jasperoid as a guide to mineralization in the Taylor mining district and vicinity near Ely, Nevada, *Economic Geology.*, vol.69, pp 46-58.

16- Malakhov, A.A., (1968), Bismuth and antimony in galenas as indicators of some conditions of ore formation, *Geochemistry International*, vol.7, pp. 1055-1068.

17- Shunda, Y., 2008, Characteristics of rare-earth elements (REE), strontium and neodymium isotopes in hydrothermal fluorites from the Bailashui tin deposit in the Furong ore field, southern Hunan Province, China, *chin.j.Geochem.*, vol.27, pp. 342-350.

18- Zanchi, A., Berra, F., (2006), Inversion tectonics in central Alborz, Iran, *Journal of Structural Geology*, vol.28, pp. 2023-2037.

