

سنگ نگاری، ژئوشیمی و کانی زایی سرب در منطقه هزارآباد (آشتیان)

علی رضا حدادپور^۱، راضیه محمدی^۲، هادی گلزار^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران Alireza_haddadpour@yahoo.com

۲- استادیار، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم پایه، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد آشتیان

۳- کارشناس ارشد، شرکت مجتمع نگین معادن احیاء سپاهان، اصفهان، ایران

تاریخ تصویب: ۱۳۹۱/۶/۱۱

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۰/۱۰/۲۷

چکیده

کانسار سرب هزارآباد در ۵ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان آشتیان در استان مرکزی قرار گرفته است و از نظر تقسیمات زمین ساختی ایران، در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر قرار گرفته است. واحدهای سنگی موجود در منطقه شامل آهک پلاژیک لیتیک توف سبز، لیتیک توف خاکستری روشن تا متمایل به سبز همراه سنگ آهک ماسه‌ای، مارن قرمز تا سبز کم رنگ، کنگلومرا سنگ آهک، کریستال لیتیک توف خاکستری تیره، گدازه‌های آندزیتی و مارن سبز، گل‌سنگ، شیل و سنگ آهک می‌باشد. سنگ میزبان کانی سازی توف ها و آندزیت های ائوسن هستند. مشاهدات صحرایی و سنگ نگاری و کانه شناسی نشانه داد که کانه زایی در منطقه غالباً از نوع پرکننده شکستگی ها و فضاهای خالی است. علاوه بر آن، کانه زایی گاهی به صورت برش و افشان در متن سنگ نیز دیده می شود که گسترش کمتری دارند. کانه زایی در محدوده کانسار در امتداد گسل ها صورت گرفته است به طوری که چهار رگه کانه دار با روند خاوری- باختری را می توان مشخص کرد. گسل های کنترل کننده کانه زایی خود به وسیله گسل هایی با روند شمال شرقی- جنوب غربی که در امتداد آبراهه ها وجود دارند جایجا شده اند. به لحاظ کانی شناسی، کانه اصلی منطقه گالن، سروزیت و اسفالریت است که در محل گسل ها با باریت قابل مشاهده است. در این پژوهش علاوه بر مطالعات صحرایی، پتروگرافی، به منظور مطالعات ژئوشیمیائی ۴۰ نمونه سنگی از محل رگه ها، ترانشه ها و تونل حفاری و سنگ میزبان برداشت شد. این نمونه ها به روش ICP-MS برای عناصری مثل Pb, Zn, Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Mo, Ni تجزیه شدند. پردازش داده های ژئوشیمیائی آنومالی قوی برای Pb, Zn و آنومالی قابل توجه برای عناصر Cu, Ag, As, Mo نشان می دهد. براساس نتایج تجزیه ها متوسط غلظت Pb حدود ۳۴۵۲۵ ppm متوسط غلظت Zn حدود ۶۱۰۸ ppm می باشد. مقادیر ناهنجاری Mo نیز در بعضی از نمونه‌ها بالا است و بیشینه مقدار آن در یکی از نمونه‌ها تا ۱۱۸۲ گرم در تن است. نمودارهای همبستگی نشان می دهد که بین عناصر Pb و Ag و عناصر Ag و As همبستگی قوی وجود دارد که نشان دهنده آن است که گالن کانی میزبان این عناصر می باشد.

واژگان کلیدی: ژئوشیمی، کانی سازی، سرب و روی، آشتیان، ایران مرکزی

مقدمه

محدوده مورد مطالعه در ۵ کیلومتری جنوب خاوری شهرستان آشتیان و در استان مرکزی (۸۵ کیلومتری اراک) قرار گرفته است (شکل ۱). کانسار هزارآباد در گذشته برای دستیابی به سرب مورد بهره برداری قرار

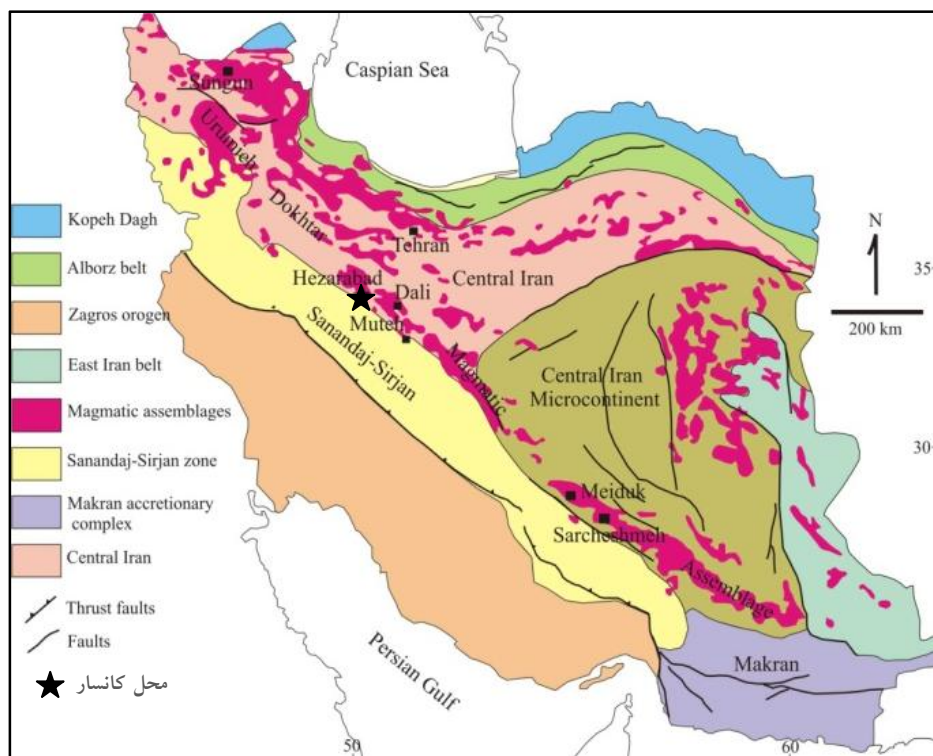
و آهک‌های اوولیتیک همراه با اکسید آهن می باشد. نهشته‌های ائوسن شامل سنگ‌های رسوبی آذرآواری و جریان های گدازه است.

در منطقه تفرش رسوب‌های سازند قرمز پایینی با کنگلومرای قاعده ای به طور ناهمساز بر روی واحدهای رسوبی- آتش فشانی ائوسن نشسته شده است. واحد عمومی سازند قم محسوب گشته و در بخش‌های شمالی و مرکزی محدوده برونزد دارد. در بخش شمالی نقشه گنبد داسیتی- ریوداسیتی سنگ‌های کربناتی سازند قم را بریده است. نهشته‌های سازند قرمز بالایی دو رخساره چینه شناسی متفاوت نشان می‌دهند. بخش عمده از رسوب‌های آواری و رسوب‌های کولابی و یا آواری دانه ریز شامل رسوبات رسی، مارنی، تبخیری همراه با ماسه‌سنگ [13]. این واحد شامل گنبد‌ها، دایک‌ها و گدازه‌های داسیتی- ریوداسیتی است که به رنگ خاکستری روشن و یا صورتی رنگ نمایان بوده و رسوب‌های آواری متمایل به قرمز رنگ سازند قرمز پایین، سنگ‌های آهکی و ماسه سنگی سازند قم و سنگ‌های آتش فشانی میوسن پایین- میانی را بریده است، سن آن‌ها به احتمال میوسن بالایی- پلیوسن می‌باشد. نهشته‌های کواترنری را عمدتاً آهک، ماسه و رسوبات سخت نشده، ریگ، ماسه و قلوه سنگ تشکیل می دهند [8].

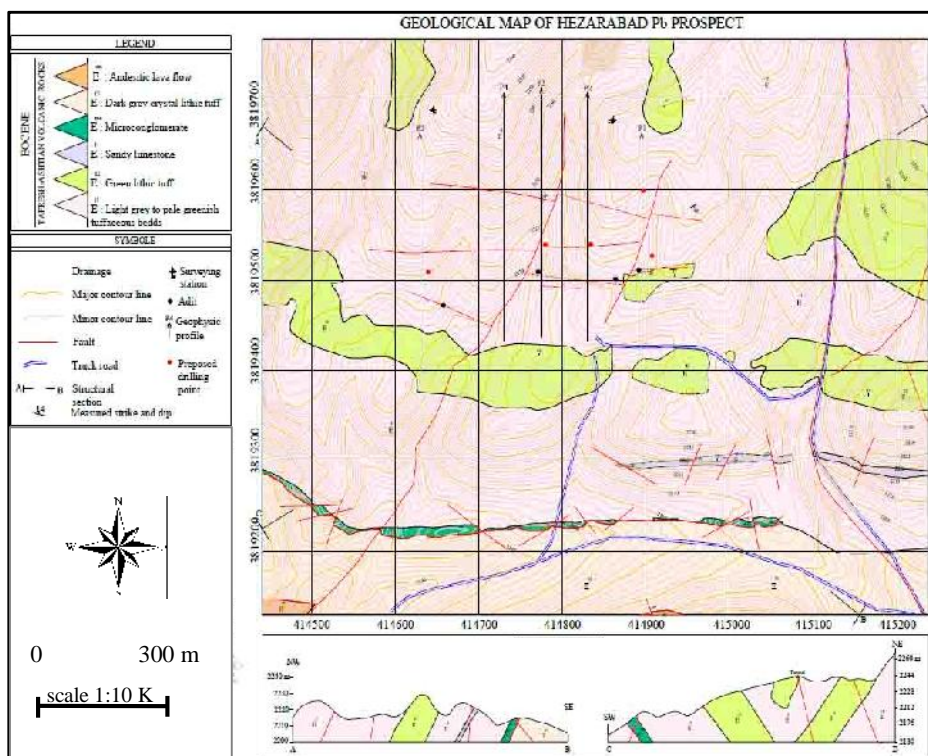
می گرفت در حالی که این کانسار می‌تواند برای کانه‌زایی عناصر دیگری مانند Mo, Zn, Ag, Au مورد توجه قرار گیرد. به منظور مطالعه کانی سازی سرب و روی و عناصر همراه دیگر در سنگ‌های آذرین و رسوبی این منطقه پژوهش حاضر انجام شد. در مقاله حاضر نتایج مطالعات کانی زایی سنگ شناسی و ژئوشیمی ارائه می شود.

زمین شناسی عمومی

منطقه مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ تفرش را تشکیل می دهد [۱]. این منطقه در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر قرار گرفته است. بر مبنای نقشه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ سازمان زمین شناسی کشور در منطقه مورد مطالعه واحدهای سنگی رسوبی و آذرین مختلفی به شرح زیر رخنمون دارند [۶]. نهشته‌های متعلق به تریاس در منطقه مورد مطالعه شامل سنگ آهک، سنگ آهک اوولیتی خاکستری، شیل و شیل ماسه ای است. نهشته‌های شیلی و ماسه‌سنگی ژوراسیک زیرین به علت کمبود فسیل در بخش پایین آن از سازند نای بند به خوبی قابل جدایش نیست. این رسوبات حاوی عدسی‌های کنگلومرایی و عدسی‌های نازک از زغال سنگ هستند. شیل در آن‌ها فزونی نسبی دارد. بر اثر فاز کوهزایی کیمرین پسین و سپس فرسایش بلندی‌ها، رسوبات آواری قرمز رنگ در پی کرتاسه ته نشست شده که به طور ناهمساز و دگرشیب بر روی سازندهای قدیمی‌تر جای گرفته است. در بخش‌های بالاتر کرتاسه شرایط رسوبگذاری دریایی حاکم بوده است. در نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ منطقه مورد مطالعه (شکل ۲)، نهشته‌های کرتاسه در منطقه مورد مطالعه شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ، آهک دولومیت



شکل ۱- نقشه پهنه های ساختاری ایران همراه با مجموعه های ماگمایی

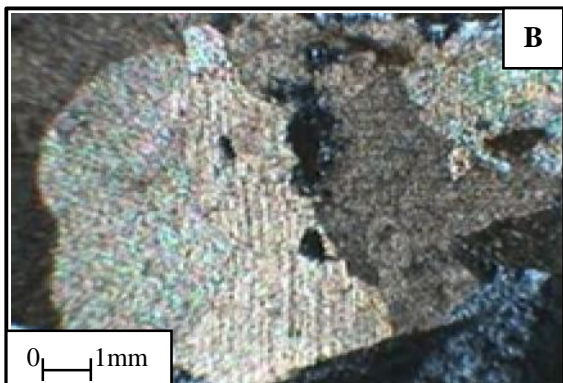
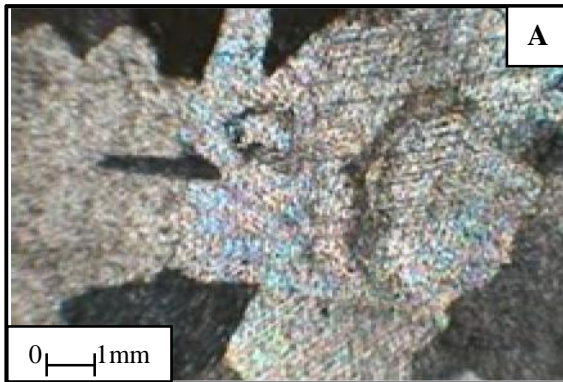


شکل ۲- نقشه زمین شناسی کانسار سرب هزارآباد [۶]

سنگ نگاری

از نظر سنگ شناسی، سنگ های منطقه مورد مطالعه شامل سنگ آهک، توف سبز، مارن قرمز تا سبز کم رنگ، کنگلومرا، گدازه آندزیتی، مادستون و شیل می باشند.

سنگ آهک ها رخنمون نسبتاً کوچکی را در شمال خاور محدوده کانسار (به صورت آهک پلاژیک) و رخنمون های پراکنده دیگری را در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه تشکیل می دهند (شکل ۳- A و B). در مطالعات میکروسکوپی، بافت موزائیکی قطعات کلسیتی در مقاطع نازک مشخص بوده و کلسیت با رخ لوز وجهی کاملاً قابل شناسایی است (شکل ۴- A و B).

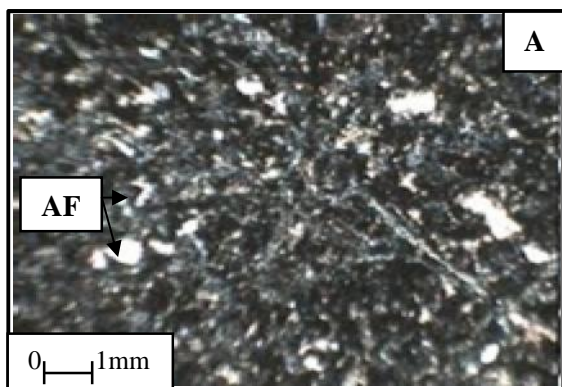


شکل ۴- A و B: تصاویر میکروسکوپی از نمونه سنگ های آهکی در منطقه مورد مطالعه - رخ های لوز وجهی و ماکل شاخص کلسیت در تصاویر مشخص می باشند. نور پلاریزه متقاطع XPL.

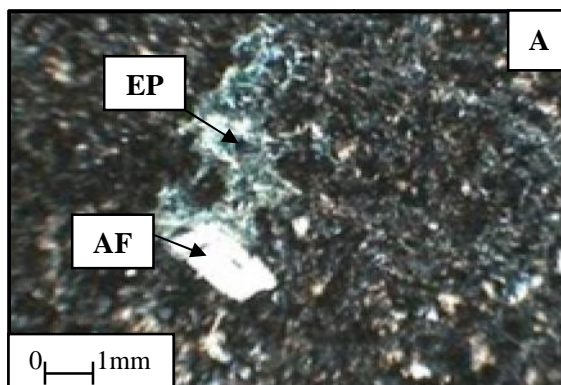
در منطقه مورد مطالعه، توف های سبز و خاکستری نیز رخنمون فراوانی یافته اند. توف سبز در مرکز محدوده کانسار رخنمون دارد، به طوری که به راحتی در بعضی قسمت ها قابل تفکیک است. اما در بعضی قسمت های دیگر به صورت میان لایه با توف های خاکستری روشن قرار دارد که قابل تفکیک نیست. توف ها از نوع اسیدی با ترکیبی در حد ریولیت تا ریوداسیت هستند. این توف ها در مقاطع میکروسکوپی بسیار ریزدانه بوده و دگرسانی اپیدوتی شدن را نیز تحمل نموده اند (شکل ۵- A و B). واحد کریستال لیتیک توف خاکستری نیز رخنمون بسیار فرسوده و کم ارتفاعی را با روند تقریبی شمال باختری- جنوب خاوری بین لایلی توف و گدازه آندزیتی تشکیل می دهد. دارای



شکل ۳- A و B: تصاویری از بخش آهکی منطقه مورد مطالعه را نشان می دهد. A: نمایی از توده آهک توفی در شمال شرقی منطقه مورد مطالعه، (دید به شمال غرب)، B: نمای نزدیک قطعه ای از سنگ آهک هوازده نشده در منطقه مورد مطالعه.



مرزی گسله با گدازه‌های آندزیتی است. در مقاطع میکروسکوپی این توف‌ها، بلورهای فلدسپار به عنوان درشت بلور در یک بافت پورفیریک گاه با خمیره شیشه‌ای حضور دارند (شکل ۶- A و B).



شکل ۶- A و B: تصاویری از کریستال لیتیک توف موجود در منطقه مورد مطالعه. A: تصویر میکروسکوپی که بلورهای فلدسپات در آن مشخص می‌باشند. نور پلاریزه متقاطع XPL. B: تصویری از نمونه دستی کریستال لیتیک توف برداشت شده در منطقه مورد مطالعه.

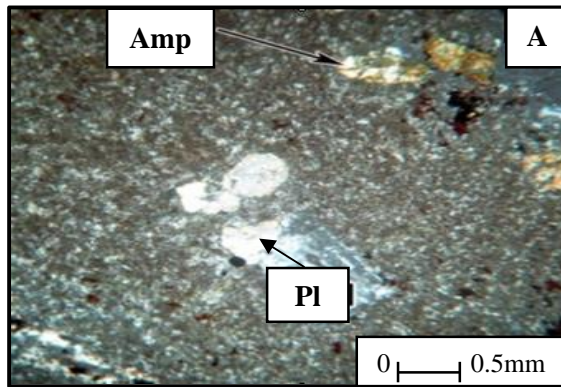
شکل ۵- A و B: تصاویری از توف سبز موجود در منطقه مورد مطالعه. A: تصویر میکروسکوپی بافت پورفیریک با خمیره شیشه‌ای در نور پلاریزه متقاطع XPL. B: تصویری از قطعات خرد شده توف سبز بر روی توده که هوازدگی کاملاً بر روی آنها اثر نموده است.

گدازه‌های آندزیتی رخنمون نسبتاً کشیده‌ای را در جنوب محدوده کانسار بر روی واحد توف خاکستری تیره تشکیل می‌دهد. رنگ آن خاکستری متمایل به سبز کم‌رنگ است و در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت پورفیریتیک می‌باشند و بلورهای پلاژیوکلاز به روشنی در خمیره‌ای ریزدانه دیده می‌شوند. این سنگ‌ها بخشی از تاقدیسی هستند که در منطقه وجود دارد. گسلش باعث جابجایی‌های زیادی در این واحد شده است (شکل ۷- A و B).

گرفته است هر دوی این گسل‌ها روند شمال باختر- جنوب خاور دارند. گسل ایندس زیرزون ساوه را از زیر زون تفرش جدا می‌کند و گسلی از نوع راندگی و راست گرد است. گسل آشتیان کمر بند ارومیه- دختر را از کمر بند سنندج- سیرجان جدا می‌کند و گسلی راندگی با مولفه راست‌الغز راست گرد است. در اثر فعالیت این دو گسل، گسل‌های درجه دو و سه فراوانی در حد فاصل آن‌ها و نیز در محدوده کانسار تشکیل شدند که موجب جابجایی واحدهای سنگی شده‌اند (شکل ۸).



شکل ۸- نمایی از جابجایی گسل در منطقه مورد مطالعه، دو گسل امتداد لغز با مولفه راست‌گرد. (دید به سوی شمال غرب) بر اساس نمودار گل سرخی رسم شده از این گسل‌ها دو روند چیره شمال خاور- جنوب باختر و تقریباً خاوری- باختری دیده می‌شود (شکل ۹). بیشتر آبراه‌ها در محدوده کانسار در امتداد گسل‌ها تشکیل شده‌اند. آثار لغزش‌های گسلی در همبری و نیز در داخل واحدها به وفور دیده می‌شود. بیشتر این گسل‌ها از نوع نرمال و با مولفه شیب‌لغز هستند. وجود سنگ‌های آتش فشانی سنوزوئیک با میان لایه‌هایی از سنگ آهک با ستبرای ۳۰۰۰ متر در منطقه تفرش- آشتیان نشان‌دهنده فرونشست حوضه در اثر فازهای کششی در زمان ماگماتیسم است [۶]. به عقیده وردل وجود کمپلکس‌های هسته دگرگونه ائوسن در مناطقی



شکل ۷- A: تصویر میکروسکوپی از مقطع نازک نمونه آندزیتی که بلورهای پلاژیوکلاز و آمفیبول در آن مشخص می‌باشند. نور پلاریزه متقاطع XPL، B: نمای نزدیکی از توده آندزیتی در منطقه مورد مطالعه

مارن منطقه مورد مطالعه به رنگ‌های قرمز و سبز رخنمون دارند. مارن نسبتاً قرمز با سن ائوسن رخنمون بسیار کم ارتفاعی را در شمال خاور محدوده کانسار تشکیل می‌دهد که در داخل آن فسیل‌های نومولیت فراوانی دیده می‌شود. از نظر سنگ شناسی شامل قطعات متنوعی از سنگ آهک و توف در زمینه‌ای روشن از توف خاکستری، توف سبز و کربنات است. در متن زمینه، فسیل‌های نومولیت به طور فراوان دیده می‌شود.

زمین شناسی ساختمانی

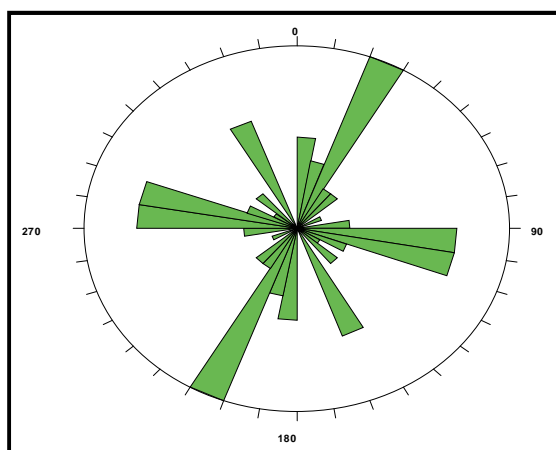
کانسار هزارآباد از نظر ساختاری بین دو گسل تفرش (تلخاب) در جنوب و گسل ایندس در شمال قرار

گذشته با حفر چهار عدد چاه و تونل در این ناحیه انجام می شده است. کانه زایی گالن به همراه باریت به طور ضعیف در سطح در بخشی از گسل با روند خاوری- باختری که در امتداد آن استخراج نیز صورت گرفته است، دیده می شود (شکل ۱۱). در دو گسل دیگری که به صورت موازی با گسل اصلی کانه زایی قرار گرفته اند (شکل ۱۲ و ۱۳) به صورت ناپیوسته می توان کانه زایی گالن را به همراه باریت مشاهده کرد. کانه زایی موجود در این دو ناحیه به رگه های کوچک با پهنای بیشینه حدود ۱۰ سانتی متر محدود می شود. دو گسل با روند شمالی- جنوبی باعث جابجایی کانه زایی در این زون ها شده است. گرچه کانه زایی در سطح چندان گسترش ندارد، اما احتمال دارد در عمق ضخامت رگه ها بیشتر گردد همچنان که کانه زایی در رگه های A و B نیز دارای عمق بیش تری دارد (شکل ۱۱).



شکل ۱۰- کانه زایی گالن همراه با باریت در امتداد یک شکستگی در دیواره تونل حفر شده

مانند ساغند، موه، بیارجمند و ناحیه زنجان- تکاب نشان دهنده فاز کششی در زمان ائوسن در مناطق مختلف ایران است [14]. از این رو، بیشتر گسل های کوچک موجود در مناطق ماگمایی سنوزوئیک در ایران از نوع گسل های کششی هستند که این امر در مورد منطقه تفرش- آشتیان نیز صادق است. فعالیت های آتش فشانی عموماً در چهار مجموعه ماگمایی، شامل ارومیه- دختر، البرز و باختر و خاور ایران صورت گرفته است، بیشترین حجم فعالیت های آتش فشانی در زمان ائوسن اتفاق افتاده است [13].



شکل ۹- نمودار گل سرخی مربوط به گسل های فرعی و شکستگی های موجود در محدوده کانسار [۶]

کانه زایی

گالن، کانه سولفیدی اصلی سرب است که به همراه باریت در امتداد چهار گسل موازی هم تشکیل شده است (شکل ۱۰). علاوه بر گالن می توان اسفالریت را نیز در داخل تونل ها مشاهده کرد. این کانی گرچه در بررسی های کانه نگاری مشاهده نشده است، اما آنالیز به خوبی معرف وجود کانه زایی Zn در محدوده کانسار می باشد. گالن به صورت بخشی به سروریت دگرسان شده است که در آنالیز XRD به خوبی دیده می شود. گسل های جنوبی (رگه های A و B)، میزبان اصلی کانه زایی می باشند (شکل ۱۱) و معدن کاری در



شکل ۱۳- کانه‌زایی گالن به همراه باریت و کلسیت در دو شکستگی عمود بر هم در توف سبز در داخل یکی از تونل‌ها



شکل ۱۱- کانه‌زایی گالن همراه با باریت در دیواره ترانشه حفر شده

دگرسانی

پدیده دگرسانی که در قسمت‌های مختلف پوسته زمین زیاد انجام می‌گیرد سهم مهمی در تشکیل اسکارن‌ها و کانسارهای گرمابی دارد [۵]. کانه‌زایی فلزی در محیط‌های ماگمایی معمولاً با دگرسانی همراه است. دگرسانی در محدوده کانسار هزارآباد را می‌توان به دو گروه دگرسانی هیپوژن و سوپرژن تقسیم کرد. دگرسانی هیپوژن که وابسته به کانه‌زایی است، در حاشیه رگه‌ها دیده می‌شود. از این رو این نوع دگرسانی چون در کنترل گسل‌ها می‌باشد، گسترش چندانی ندارد. دگرسانی فوق‌تغییرات محسوسی را در رنگ، بافت و کانی‌شناسی سنگ دیواره ایجاد کرده است. کانی‌های آرژلیک و کانی‌های کربناتی (احتمالاً کلسیت) به همراه دگرسانی سیلیسی در حاشیه رگه دیده می‌شود که به وسیله سیال کانه‌دار و همزمان با تشکیل رگه به وجود آمده‌اند (شکل ۱۵- A و B). وجود سروزیت در تمام نمونه‌ها نشان‌دهنده تاثیر دگرسانی سوپرژن بر روی کانه‌زایی است. دگرسانی پروپلیتیک، گسترده‌ترین دگرسانی در محدوده کانسار است. شواهد صحرایی و گستردگی آن می‌تواند نشان‌گر تشکیل آن در مرحله بعد از کانه‌زایی باشد (شکل ۱۵- A و B)، هر چند احتمال دارد بخشی از آن

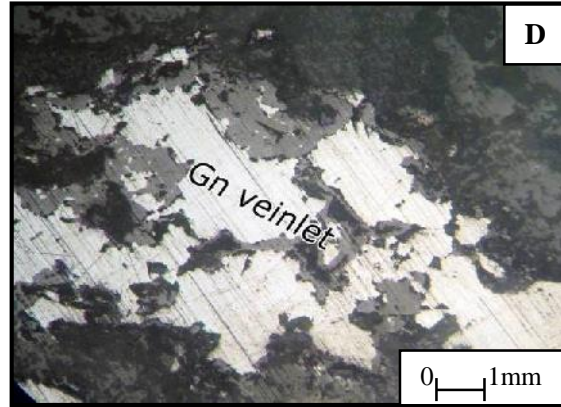
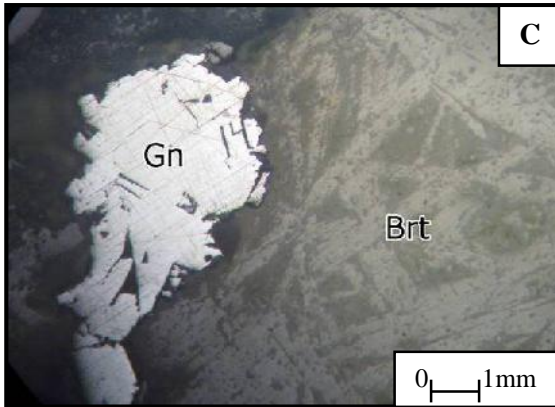
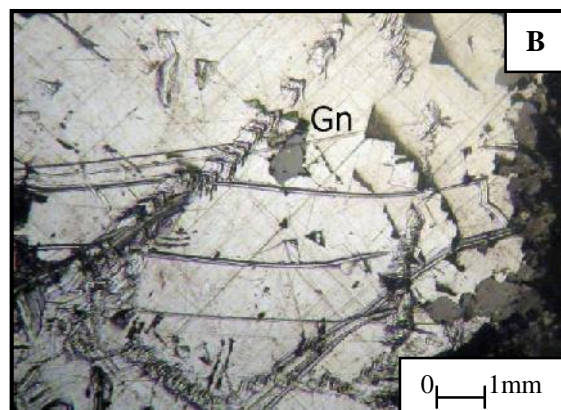
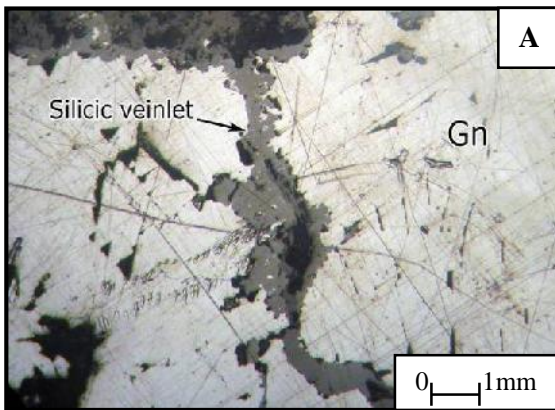
در داخل تونل‌های حفر شده نیز می‌توان سطوح گسلی را به صورت موازی با امتداد تونل یا به صورت مایل یا عمود با امتداد اصلی تونل مشاهده کرد. کانه‌زایی غالباً از نوع پرکننده شکستگی‌ها و فضا‌های خالی است، که این ویژگی حتی در نمونه‌های دستی حاوی کانه‌زایی نیز دیده می‌شود. مطالعه مقاطع صیقلی نمونه‌های برداشت شده حاکی از آن است که کانی فلزی گالن به صورت رگه‌ای و افشان در نمونه‌ها قابل مشاهده می‌باشند (شکل ۱۴). در بعضی قسمت‌ها کانسنگ ماهیت برشی دارد. علاوه بر آن کانه‌زایی گاهی به صورت افشان در متن سنگ نیز دیده می‌شود. کانه‌زایی افشان گسترش بسیار کمی دارد و به نظر می‌رسد به طور کلی این نوع کانه‌زایی نیز در کنترل گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشد.



شکل ۱۲- کانه‌زایی گالن در سطح شکستگی در توف سبز

آهن شده است [۴]، بخشی از دگرسانی آرژیلیک نیز می‌تواند در نتیجه فرآیندهای سوپرژن و در اثر آب‌های اسیدی فرورو (حاصل از اکسیداسیون سولفیدها) ایجاد شده باشد که مثال آن دگرسانی‌های آرژیلیک موجود در حاشیه باختری محدوده کانسار (خارج از محدوده) می‌باشد [۶].

در مجاورت رگه در ارتباط با کانه‌زایی باشد. در طی دگرسانی پروپلیتیک، کانی‌های مافیک سنگ به کلریت و بعضی از کانی‌های فلسیک سنگ به کانی‌های کربناتی تبدیل شده‌اند. دگرسانی سوپرژن بر روی تمام دگرسانی‌های اولیه و نیز کانه‌زایی تاثیر گذاشته است به طوری که باعث تبدیل بخشی از کانی گالن به سرروزیت و نیز تشکیل اکسیدها و هیدروکسیدهای



شکل ۱۴- تصاویری از مقاطع صیقلی نمونه‌های حاوی گالن در میکروسکوپ پلاریزان انعکاسی، A: قطع شدگی گالن توسط رگچه‌های غیرفلزی (احتمالاً سیلیسی) ثانویه، B: تمرکزهای درشت گالن در متن سنگ با رخ مشخص، C: رگچه گالن در یک زمینه متشکل از بلورهای باریت، D: رخداد گالن به شکل رگچه‌ای و به همراه مواد غیرفلزی در زمینه



شکل ۱۵- A و B: شواهد صحرایی دگرسانی مرتبط با کانی سازی گالن در سنگ های حاوی کانه فلزی در دیواره های تونل های حفر شده در کانسار منطقه مورد مطالعه

بررسی های ژئوشیمیایی

به منظور بررسی وضعیت پیوستگی ماده معدنی و گسترش آن در عمق تعدادی ترانشه، چاهک، تونل و چاه در منطقه کانسار از قبل حفر شده است و به منظور مطالعه آنها اقدام به پاک سازی و انجام برداشت های زمین شناسی از آن ها و نمونه برداری های لازم از مناطق کانی سازی شده است. بر روی رگه ها در مجموع ۴ ترانشه با حجم تقریبی ۱۰۰ متر مکعب حفر گردیده است، که در کل حدود ۴۰ نمونه از ترانشه ها، تونل ها و دیپوی ماده معدنی برداشت شده و به منظور تجزیه و عیارسنجی عنصر سرب و عناصر همراه آن به آزمایشگاه زرآزما فرستاده شده و به روش ICP - MS مورد آنالیز قرار گرفته است (جدول ۱). بسیاری از بررسی های آماری فرض نرمال بودن داده ها را یدک می کشند. حضور یک توزیع غیر نرمال انجام پردازش های آماری را با اشکال مواجه می کند و نتایج درست و قابل قبولی را بدست نمی دهد [۲]. معیارهای متفاوتی برای تعیین نرمال بودن داده ها وجود دارد. پردازش های ژئوشیمیایی بر روی داده های حاصله از تجزیه نمونه ها با این فرض ها انجام گرفته است. از جمله روش های آماری که در این تحقیق مورد استفاده قرار

گرفته است، می توان به تعیین ضریب همبستگی به روش پیرسن و اسپیرمن (دو متغیره)، آنالیز خوشه ای (چند متغیره) و نمودار تغییرات فراوانی اشاره نمود. همان طوری که از جداول ۲ و ۳ مشخص است، همبستگی های بالایی بین عناصر معدنی وجود دارد که با رنگ آبی نشان داده شده است. لازم به ذکر است در جدول ۲، همبستگی عناصر به روش پیرسون بیشترین ضریب همبستگی مربوط به عناصر Zn - Cd و در جدول ۳ همبستگی عناصر به روش اسپیرمن بیشترین ضریب همبستگی مربوط به عناصر Cu - Ag می باشند. آنالیز خوشه ای (چند متغیره) یک روش تجزیه و تحلیل داده های ژئوشیمیایی بیشتر به منظور طبقه بندی عناصر مورد بررسی در گروه ها و یا زیر گروه ها است، به نحوی که همبستگی بین عناصر در هر گروه و یا یک گروه با گروه دیگر حداکثر شود طرز عمل، بدین گونه است که متغیرها (عناصر مختلف و یا ...) را از روی ضریب همبستگی بین آن ها با رعایت سلسله مراتب به شکل دندوگرام (یا دیاگرام درختی شکل) مشخص می کنیم [۷]. در انتخاب هر شاخه، یک عنصر خاص (اگر تجزیه و تحلیل نوع R مورد نظر باشد) و یا یک

خوشه سوم شامل عناصر (Zn, Pb, As, Ag, Cd) می باشند که نشان دهنده میزبانی گالن و اسفالریت برای آن ها می باشد. همانگونه که در نمودار های مربوط به شکل ۱۷ مشخص می باشد همبستگی عناصر مس، آرسنیک و نقره و تا حدودی نیکل در منطقه مورد مطالعه قابل توجه است. بالا بودن بعضی عناصر مانند Mo, As و Ag می تواند نشان دهنده وجود کانه زایی عناصر دیگری مانند Au نیز باشد که در مرحله بعدی مطالعات کانسار باید مورد توجه قرار گیرد.

نمونه خاص (اگر تجزیه و تحلیل نوع Q مورد نظر باشد) قرار می گیرد. این شاخه به وسیله بازوهای به یکدیگر متصل شده و سرانجام تشکیل دندوگرام را می دهد (شکل ۱۶). مطابق با این نمودار متغیرها در سه گروه اصلی با درجه همبستگی نسبتاً خوب قرار می گیرند. خوشه اول شامل عناصر (Ni, Co, Cr) می باشند که نشان دهنده تاثیر سنگ میزبان آندزیتی می باشد. خوشه دوم شامل عناصر (Cu, Mo, As, Cd) می باشند که نشان دهنده نقش گالن، اسفالریت و کالکوپیریت به عنوان کانی میزبان می باشد.

جدول ۱- نتایج حاصل از تجزیه نمونه های برداشت شده از محل کانسار هزار آباد

Location	Sample No.	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Eastern tunnel	HA-01	6.31	34.2	2.4	4	7	29	1.1	6	21304	425
	HA-02	38.06	152.2	5.5	3	7	70	14.1	4	47352	1546
	HA-03	76.3	470.6	32.1	13	7	219	9.6	9	46479	2268
	HA-04	6.14	28.5	22.9	7	7	27	5.1	7	32611	2535
	HA-05	192.9	891.9	79.7	3	8	359	9.5	6	46567	14306
	HA-06	112.2	583.1	96.6	4	9	204	1.38	7	48569	8442
	HA-07	104.1	479.2	502.9	10	9	195	16.7	10	47906	51865
	HA-08	70.3	344	36.7	17	7	99	1.32	10	46510	3405
	HA-09	6.99	48.2	14.9	26	8	78	0.92	40	23651	1529
	HA-10	64	300.8	12.1	16	7	161	5.5	22	50175	601
	HA-11	11.18	56.5	9.7	12	8	69	0.86	20	20926	829
	HA-12	90.8	464.8	17.2	13	6	164	4.2	21	48941	1917
	HA-13	45.9	150.6	22.2	7	8	96	1.33	19	53570	2347
	HA-14	61.6	173	7.4	17	7	129	1.33	22	52347	574
	HA-15	52.4	102.7	18.3	13	7	85	8	19	53289	962
	HA-16	33.6	95.1	13.5	7	8	75	1.23	14	53481	781
	HA-17	37.29	224.1	17.9	5	6	135	1.01	12	52026	562
	HA-18	62.7	272.2	17	14	6	150	1.18	18	49230	795
	HA-19	70.6	310.9	14.9	7	6	160	4.8	10	53759	578
	HA-20	15.2	96.8	7.6	6	8	104	1.09	15	46007	1144
Western tunnel	HA-21	1.12	33.7	5.35	8	7	53	4.3	11	2474	506
	HA-22	0.25	83.4	3.11	11	7	19	1.31	5	8389	321
	HA-23	79.3	399	3.61	6	7	426	62.6	1	54016	35
	HA-24	40.5	193.4	2.82	29	7	277	459.6	10	52057	93
	HA-25	7.85	23.3	0.88	3	7	38	110	2	30579	77
	HA-26	3.2	526.4	6.26	22	28	75	579.5	19	23595	2020
	HA-27	2.26	99.1	1.73	7	14	35	1182	12	11927	887
	HA-28	32.5	77.5	2.67	2	9	85	55.4	7	52230	1359
	HA-29	0.63	18.5	1.48	6	10	29	7.8	10	3660	450
	HA-30	0.9	32.8	3.42	5	7	25	331.2	4	2973	308
	HA-31	0.81	35.3	1.33	5	9	45	63.2	4	2640	275
	HA-32	0.7	33.8	1.21	14	9	31	13.5	9	3107	388
TR-1	HA-33	1.8	33.6	4.8	6	7	17	117.7	4	5616	687
TR-2	HA-34	1.7	27.8	18.3	5	9	25	24.4	5	12200	403
	HA-35	0.2	46.7	14.7	4	6	18	142.4	1	5408	269
TR-3	HA-36	6.2	32.9	55.8	5	7	36	1.3	9	21407	5116
	HA-37	51.9	244	426.7	6	8	167	1.32	11	48521	65951
TR-4	HA-38	42.4	199.1	293.8	6	6	146	1.25	9	49287	55758
	HA-39	26.2	98.7	103.8	5	6	59	9.3	4	46777	6629
MOS.	HA-40	101	651.5	145	3	7	178	4.6	4	49439	5391

جدول ۲- نتایج حاصل از پردازش ضریب همبستگی عناصر به روش پیرسون

پردازش ضریب همبستگی به روش پیرسون										
	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn
Ag	1	0.888	0.360	-0.030	-0.182	0.811	-0.246	0.013	0.681	0.289
As	0.888	1	0.323	0.067	0.188	0.757	-0.035	0.000	0.519	0.245
Cd	0.360	0.323	1	-0.128	-0.047	0.265	-0.152	-0.076	0.283	0.950
Co	-0.030	0.067	-0.128	1	0.264	0.141	0.188	0.668	0.090	-0.122
Cr	-0.182	0.188	-0.047	0.264	1	-0.119	0.570	0.172	-0.213	-0.032
Cu	0.811	0.757	0.265	0.141	-0.119	1	-0.098	-0.005	0.645	0.248
Mo	-0.246	-0.035	-0.152	0.188	0.570	-0.098	1	-0.017	-0.262	-0.123
Ni	0.013	0.000	-0.076	0.668	0.172	-0.005	-0.017	1	0.201	-0.050
Pb	0.681	0.519	0.283	0.090	-0.213	0.645	-0.262	0.201	1	0.252
Zn	0.289	0.245	0.950	-0.122	-0.032	0.248	-0.123	-0.050	0.252	1

عناصر با ضریب همبستگی بالا

جدول ۳- نتایج حاصل از پردازش ضریب همبستگی عناصر به روش اسپیرمن

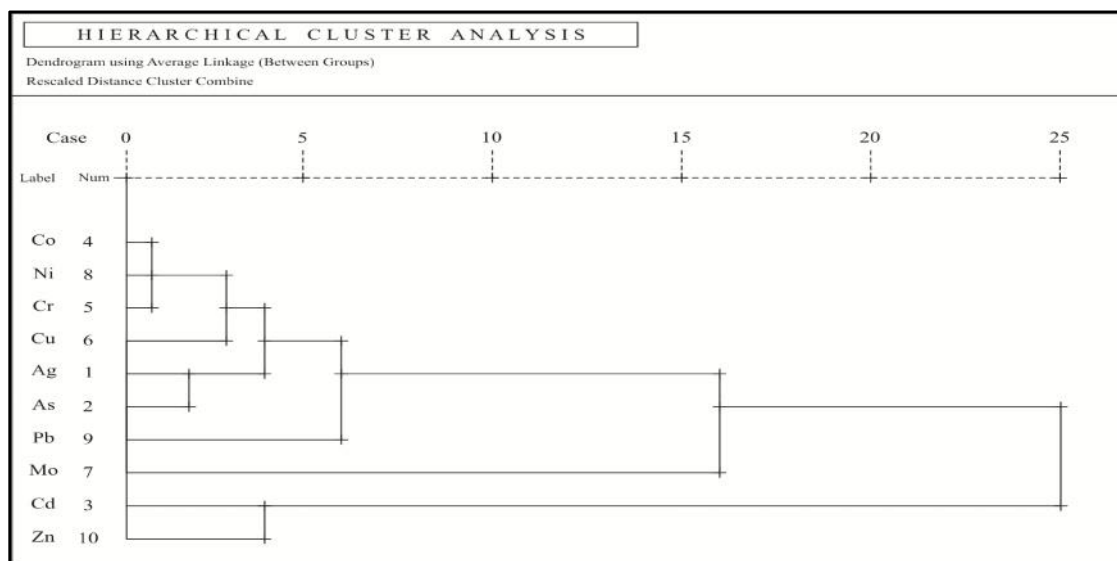
پردازش ضریب همبستگی به روش اسپیرمن										
	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn
Ag	1	0.840	0.590	0.082	-0.206	0.906	-0.206	0.226	0.775	0.518
As	0.840	1	0.514	0.067	-0.110	0.857	-0.073	0.239	0.608	0.495
Cd	0.590	0.514	1	-0.020	-0.229	0.467	-0.361	0.134	0.383	0.799
Co	0.082	0.067	-0.020	1	0.008	0.182	-0.154	0.709	0.102	-0.029
Cr	-0.206	-0.110	-0.229	0.008	1	-0.101	0.222	0.134	-0.276	0.082
Cu	0.906	0.857	0.467	0.182	-0.101	1	-0.163	0.296	0.725	0.403
Mo	-0.206	-0.073	-0.361	-0.154	0.222	-0.163	1	-0.476	-0.218	-0.298
Ni	0.226	0.239	0.134	0.709	0.134	0.296	-0.476	1	0.295	0.230
Pb	0.775	0.608	0.383	0.102	-0.276	0.725	-0.218	0.295	1	0.270
Zn	0.518	0.495	0.799	-0.029	0.082	0.403	-0.298	0.230	0.270	1

عناصر با ضریب همبستگی بالا

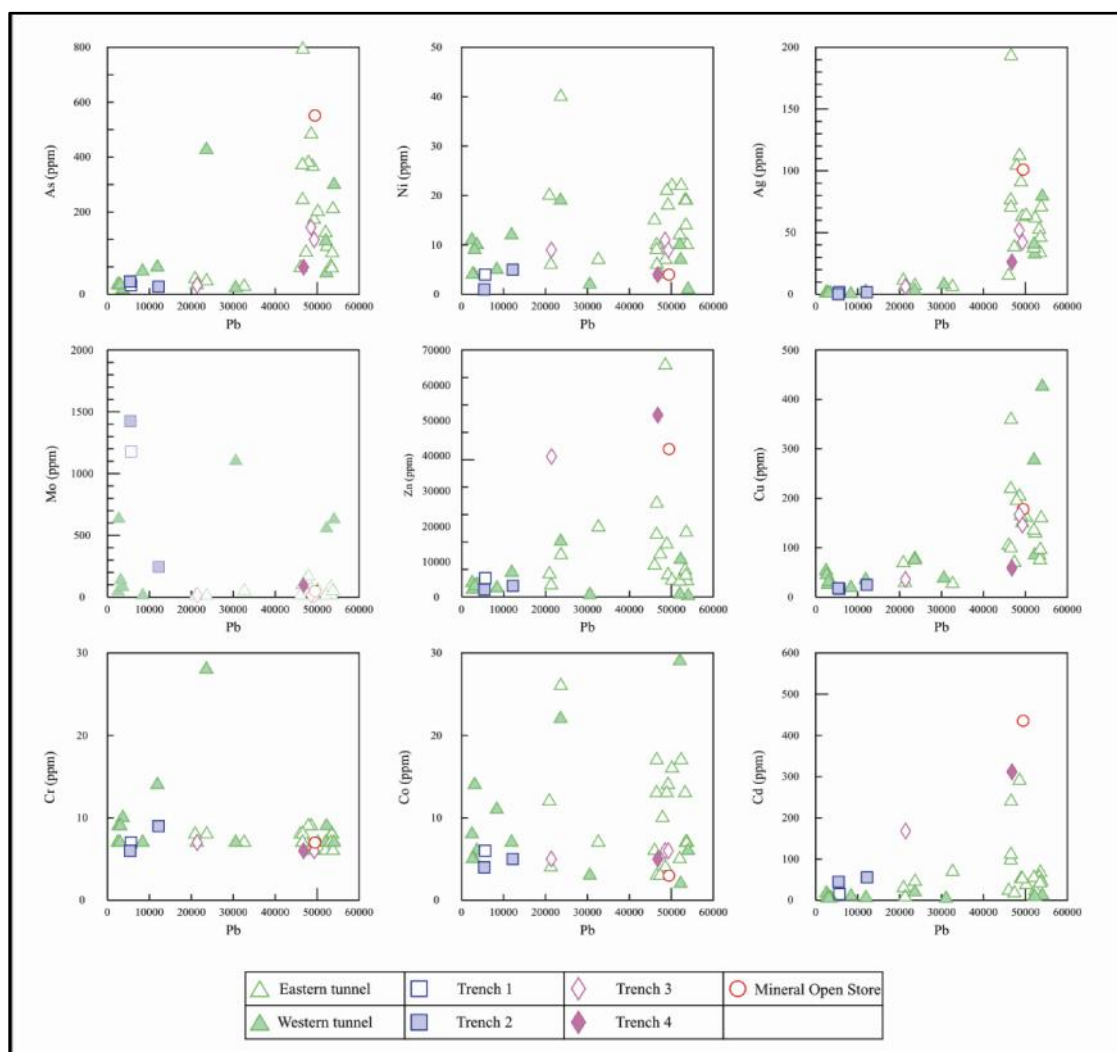
محاسبه میانگین و ضریب غنی شدگی

گیری شده در محاسبه میانگین این داده ها به این امر توجه شده است (جدول ۴). همان طور که در جدول شماره ۴ ملاحظه می شود بالاترین ضرایب غنی شدگی به عناصر Ag, As, Cd و Pb تعلق دارد که از نظر آنومالی برای اکتشافات تفصیلی بسیار قابل توجه می باشد.

مجموع تمام مقادیر یک متغیر تقسیم بر تعداد آن ها میانگین داده ها را می سازد که به آن میانگین حسابی نیز می گویند. این معیار متداول ترین معیار برای نشان دادن تمرکز در متغیرهای عددی است. البته باید به این نکته اشاره شود که بسیاری از مجموعه داده های زمین شیمیایی حاوی داده های پرت اند، یعنی داده هایی منفرد و کاملاً بیرون از گستره دیگر داده های اندازه -



شکل ۱۶- تجزیه نمونه های کانسار هزارآباد به روش خوشه ای



شکل ۱۷- نمودارهای حاصل از تغییرات فراوانی عناصر مختلف نسبت به سرب به عنوان عنصر اصلی تشکیل دهنده کانی گالن در منطقه

جدول ۴- ضریب غنی شدگی عناصر تجزیه شده در کانسار سرب هزار آباد

Zn	Pb	Ni	Mo	Cu	Cr	Co	Cd	As	Ag	
۶۱۰۸/۳۵	۳۴۵۲۵/۰۵	۱۰/۸۰	۸۱/۵۷۰۸	۱۰۹/۸۰	۸/۰۸	۹/۰۵	۵۱/۲۰۷۸	۲۰۴/۲۴۷۵	۳۸/۹۹۹۷	میانگین
۷۰	۱۳	۷۵	۱/۵	۵۵	۱۰۰	۲۵	۰/۲	۱/۸	۰/۰۷	کلارک
۸۷/۲	۲۶۵۵/۷	۰/۱۴	۵۴/۳	۱/۹	۰/۰۸	۰/۳۶	۲۵۴/۰۳	۱۱۳/۴	۵۵۷/۱	غنی شدگی

نتیجه گیری

مورد توجه بوده است، در حالی که این کانسار می تواند برای کانه‌زایی عناصر دیگری مانند **Ag, Au, Mo, Zn** مورد توجه قرار گیرد. به ویژه آن که توده باتولیت بزرگی با درازای حدود ۱۸ کیلومتر و پهنای حدود ۴ تا ۶ کیلومتر و به سن احتمالی اولیگوسن در فاصله هوایی حدود ۲۰ کیلومتری شمال محدوده کانسار وجود دارد. توده یاد شده از جنس دیوریت کوارتزدیوریت، تونالیت و میکرودیوریت است که سنگ‌های آتش فشانی و آذرآواری (آندزیت و توف) ائوسن را قطع کرده است. احتمال دارد که زبان‌هایی از توده در نزدیکی محدوده کانسار وجود داشته باشد و کانه‌زایی در ارتباط با این توده‌ها باشد.

- شواهد صحرایی، سنگ نگاری، نوع کانه‌زایی و ژئوشیمیایی چون شواهد کانی سازی رگه ای دگرسانی همراه با کانی سازی در دمای پایین همراهی با شکستگی ها و گسل ها نشان می دهد که کانسار هزارآباد احتمالاً از نوع اپی ترمال است. برای اظهار نظر دقیق نیاز به مطالعات ایزوتوپی و آنکلیزیم سیال وجود دارد که باید در مطالعات بعدی بدان توجه شود.

- کانسار هزارآباد در داخل سنگ‌های توف - آندزیتی به سن ائوسن قرار گرفته است. کانه‌زایی در کنترل گسل های محلی منطقه مورد مطالعه است و در امتداد چهار گسل با روند خاوری- باختری دیده می‌شود. کانه‌زایی به صورت رگه ناپیوسته و نیز رگچه‌های پرکننده شکستگی دیده می‌شود. در گذشته تعدادی ترانشه بر روی این کانه‌زایی‌ها حفر شده است که به دلیل کوچک بودن رگه‌ها رها شده است. احتمال دارد این رگه‌ها در عمق بیش تر گسترده تر شوند و عیار کانه در آن ها نیز بیش تر گردد. این مهم نیازمند حفر ترانشه، چاهک و نیز حفاری‌های عمیق تر می‌باشد. در مطالعات مینرالوگرافی، کانی‌های گالن، سروزیت باریت، کالکوپیریت و کولیت دیده می‌شود. - بررسی های ژئوشیمیایی نشان می دهد که با لاترین ضرایب غنی شدگی به عناصر **Pb, Ag, As, Cd** تعلق دارد که از نظر آنومالی برای اکتشافات تفصیلی بسیار قابل توجه می باشد. همچنین بالابودن غلظت بعضی عناصر مانند **As, Mo, Ag** می‌تواند نشان‌دهنده وجود کانه‌زایی عناصر دیگری مانند **Au** نیز باشد که در مرحله بعدی مطالعات کانسار باید مورد توجه قرار گیرد.

- کانسار هزارآباد در گذشته برای دستیابی به سرب

Physical and Chemical Nature of Ore-Forming Solution: Economic Geology, vol. 83, pp.1619 – 1641.

12-Simmons,S.F.,S.E.G.,(1991), Hydrologic Implications of Alteration and Fluid Inclusion Studies in the Fresno District, Mexico: Evidence for a Brine Reservoir and a Descending Water Table during the Formation of Hydrothermal Ag – Pb – Zn Orebodies: Economic Geology, vol.86, pp. 1579 – 1601.

13-Stöcklin, J., (1968), Structural history and tectonics of Iran: a review: American Association of Petroleum Geologists Bulletin, vol. 52, pp. 1229-1258.

14-Verdel, C., (2008), Cenozoic geology of Iran: an integrated study of extensional tectonics and related volcanism. Ph.D Thesis, California Institute of Technology, California, 253 p.

تشکر و قدر دانی

از مسئولان و کارشناسان محترم شرکت مهندسی کانی فراوران تهران و همچنین از جناب آقای علی اکبر سپاسی آهویی، مدیر اجرایی پروژه اکتشاف کانسار سرب هزارآباد به دلیل ارائه تسهیلات و امکانات لازم برای انجام این پروژه تشکر و قدردانی می شود.

منابع

۱- امینی، ب.، امینی، م. ر.، (۱۳۷۸)، گزارش و نقشه زمین شناسی تفرش، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۲- حسنی پاک، ع.ا.، (۱۳۸۳)، اصول اکتشافات ژئوشیمیایی انتشارات دانشگاه تهران، ۶۱۵ ص.

۳- رولینسون، هاک، (۱۳۸۴)، ترجمه کریم زاده ثمرین، کاربرد داده های زمین شیمیایی، انتشارات دانشگاه تبریز ۴۵۲ ص.

۴- راب، لورنس، (۱۳۸۷)، ترجمه رشیدنژاد عمران و دیگران. مقدمه ای بر فرآیندهای کانه ساز انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۷۲ ص.

۵- عرفانی، ح.، (۱۳۷۴)، زمین شناسی اقتصادی کانسارها ۱ انتشارات دانشگاه تهران، ۳۱۷ ص.

۶- پروژه اکتشاف کانسار هزارآباد، آشتیان - استان مرکزی (گزارش مرحله اول)، گزارش شرکت مهندسی کانی فراوران تهران، (۱۳۸۸)، ۱۲۳ ص.

۷- یزدی، م.، (۱۳۸۱)، روش های مرسوم در اکتشافات ژئوشیمیایی، انتشارات دانشگاه شهید بهشتی، ۲۷۰ ص.

8-Alavi, M.,(1991), Tectonic map of the Middle East (scale 1:5,000,000): Geological Survey of Iran.

9-Berberian, M., and King., G.C.P.,(1981) Towards a pale geography and tectonic evolution of Iran: Canadian Journal of Earth Sciences, vol. 18, pp 210-265.

10-McQuarrie, N., Stock, J.M., Verdel, C., and Wernicke, B.P.,(2003), Cenozoic evolution of Neotethys and implications for the causes of plate motions: Geophysical Research Letter vol. 30,.

11-Simmons,S.F.,Gemmell,J.B.,Sawkins,F.,S.E.G., (1988),The Santo Silver – Lead – Zinc Vein, Fresno District, Zacatecas, Mexico: Part II.

