فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۷ (۱۳۹۰)، شماره ۱: ۲۸-۱۷
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

بررسی ژئوشیمی و پتانسیل اقتصادی رگه‌های معدنی کانی‌زایی‌های منطقه خونی انارک، به لحاظ حضور طلا

نسیم حیدریان دهکردی*[1] و ایرج رسا[2]

۱) پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی واحد شهیدبهشتی، n_heydarian563@yahoo.com
۲) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه شهید بهشتی
*) عهده‌دار مکاتبات

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۸ ؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۳/۱۶ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۳/۲۰ ؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۵/۲۵

چکیده

منطقه خونی در زون ایران مرکزی واقع شده است. قدیمی‌ترین سنگ‌های این منطقه شیست‌ها و فیلیت‌ها می‌باشند که دارای سن پروتروزوئیک هستند و۲۰٪ منطقه را پوشش می‌دهند. بر اساس بررسی‌های کانه‌شناسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌توان کانی‌سازی‌های منطقه‌ی خونی را به دو گروه عمده تقسیم کرد. نخست کانی‌سازی کاظمی که سولفیدی بوده و به واسطه داشتن عناصر پایه دارای اهمیت می‌باشد و شواهد از دمای کم جایگزینی حکایت دارد. دوم کانی‌سازی شمالی و زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی، که اکسیدی بوده و عیار عناصر پایه به شدت اندک می‌باشد. همچنین کانی‌سازی‌های گروه دوم صرفاً به جهت وجود طلا اهمیت داشته و فاقد مقادیر ارزشمند از سایر عناصر می‌باشند. آنالیز لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های برداشتی از رگه‌ها و زون‌های دگرسانی، نشان‌دهنده‌ی آن است که کانی‌زایی‌های اکسیدی طلا در منطقه خونی دارای میزبان آتش‌فشانی می‌باشند. بر اساس نتایج آنالیزهای لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های برداشتی از زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی، حداقل عیار طلا ۲ppb، حداکثر عیار آن ۴۸۱۰ppb و عیار متوسط طلا در این کانی‌سازی ۴۷۵/۷۰ppb محاسبه گردید.

واژه‌های کلیدی: **منطقه خونی، کانی‌سازی چشمه خونی، کانی‌زایی‌های اکسیدی طلا**، میزبان آتش‌فشانی.

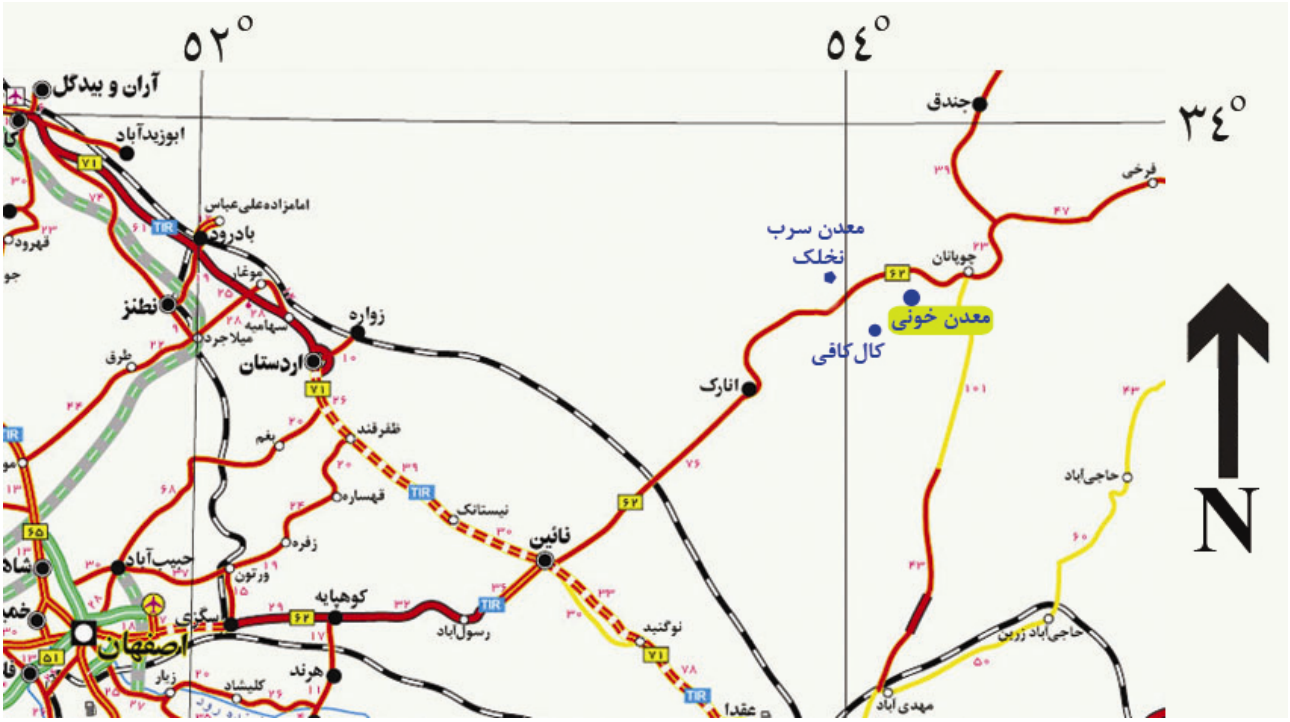
۱- مقدّمه

منطقه خونی در ۵۰ کیلومتری شمال شرقی انارک و در زون ایران مرکزی واقع شده است (تصویر ۱). منطقه‌ی فلززایی انارک در بخش میانی ایران مرکزی و در زیر منطقه دگرگونی انارک- خور قرار داد. این منطقه از شمال به گسل درونه، از جنوب باختری به زون افیولیتی نایین- زوار و از جنوب به فروافتادگی نایین- انارک محدود می‌شود. انارک با ویژگی‌های فلززایی، ماگماتیسم، دگرگونی و گسترش سنگ‌های پروتروزوییک فوقانی، یکی از جالب‌ترین مناطق زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود. یکی از مهم‌ترین معادن انارک، معدن خونی است، خونی را با نام طلا می‌شناسند. به طور کلی بر اساس بررسی‌های کانه‌شناسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی می‌توان کانی‌سازی‌های این منطقه را به دو گروه عمده تقسیم کرد. نخست کانی‌سازی کاظمی که سولفیدی بوده و به واسطه داشتن عناصر پایه دارای اهمیت می‌باشد و شواهد از دمای کم جایگزینی حکایت دارد. دوم کانی‌سازی‌های شمالی و زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی، که اکسیدی بوده و عیار عناصر پایه به شدت اندک می‌باشد. همچنین کانی‌سازی‌های گروه دوم به‌ویژه کانی‌سازی چشمه خونی، صرفاً به جهت وجود طلا اهمیت داشته و فاقد مقادیر ارزشمند از سایر عناصر می‌باشند. در این مقاله سعی بر آن است تا با استفاده از اطلاعات صحرایی، مطالعات پتروگرافی، مینرالوگرافی، دگرسانی و ژئوشیمی، ضمن تشریح کانی‌سازی‌های منطقه، پتانسیل معدنی و وضعیت طلا را در رگه‌های معدنی منطقه خونی مشخص نمود.

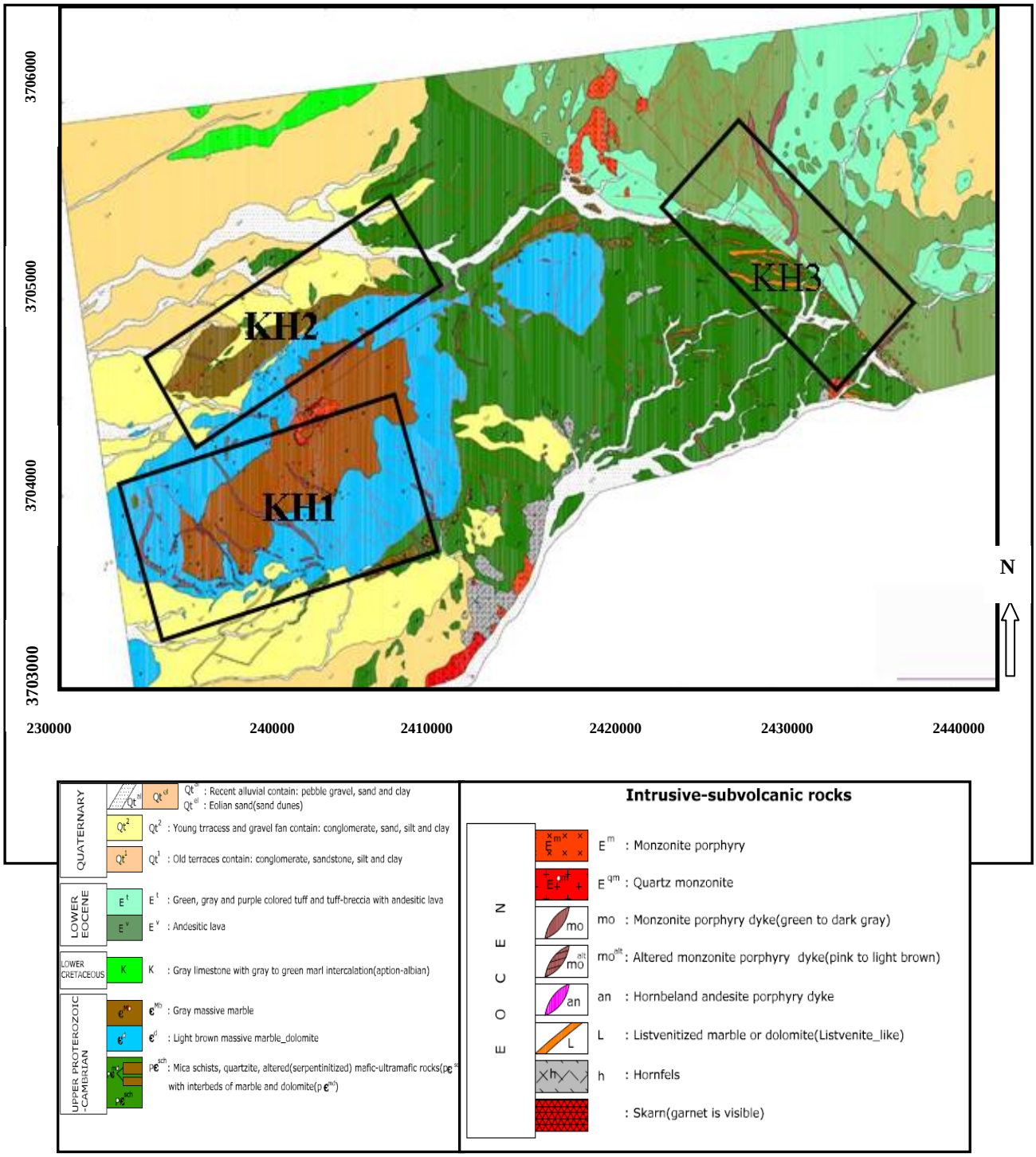
منطقه خونی، تاریخچه‌ی بسیار پیچیده‌ای داشته و عملکرد فرایندهای زمین‌ساختی و چرخه‌های آذرین، رسوبگذاری و فرسایش باعث تنوع و فراوانی چشم‌اندازها و پدیده‌های زمین‌شناسی آن شده است. منطقه مورد مطالعه در محدوده تقریبی طول‌های جغرافیایی '۲۳ °۵٤ - '۱۳ °۵٤ شرقی و عرض‌های جغرافیایی '۳۷ °۳۳ - '۲۷ °۳۳ شمالی قرار گرفته است. ادیب (Adib 1972)، یانکوونکو و همکاران (Yankovenko et al. 1981)، باباخانی (۱۳۷٦)، امینی (۱۳۷۹) و همچنین نظام‌پور و همکاران (۱۳۸٤) در این منطقه مطالعات کاملی انجام داده‌اند و سه رخداد کانی‌سازی مهم را معرفی نموده‌اند. کانی‌سازی کاظمی(KH1) در بخش غربی منطقه خونی(تصویر۲)، کانی‌سازی‌های شمالی (KH2) (تصویر۲) که شامل رگه‌های معدنی تونل‌های ۲ تا ٦ می‌باشد و زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی(KH3) که در شرق منطقه مورد مطالعه قرار دارند (تصویر ۲).

۲- زمین‌شناسی منطقه

منطقه مورد مطالعه بخشی از ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کبودان می‌باشد، این منطقه از نظر ساختاری بخشی از پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود (Stöcklin 1977 و افتخارنژاد ۱۳۵۹). رومانکو و همکاران (Rommanko et al. 1981) در مطالعات کاملی که در کل ناحیه انارک انجام داده‌اند، این منطقه را به عنوان بخشی از زیر زون خور- انارک که خود در زون ایران مرکزی قرار گرفته، جای می‌دهند. به عقیده‌ی این محققین وجه تمایز این منطقه نسبت به نواحی هم‌جوار، فعالیت‌های تکتونوماگمایی آلپین برروی پی‌سنگ چین‌خورده‌ی بایکالین است. منطقه خونی در حاشیه‌ی جنوب‌غربی یک فرازمین، با روند شرقی- غربی که بین دو منطقه فروزمین دشت نخلک و دشت چوپانان جای دارد، واقع شده است. این منطقه یک ساختمان گنبدی حاصل از نفوذ توده‌ی بزرگ بیضی شکل کال‌کافی است و در پی‌سنگ قدیمی پرکامبرین که با نام کمپلکس دگرگونی چاه‌گربه شناخته و معرفی شده، نفوذ کرده است. روند عمومی لایه‌های سنگی به پیروی از نفوذ این توده، دارای امتداد شمال شرقی- جنوب غربی و شیبی به سوی جنوب شرق است (در حاشیه جنوب و جنوب شرقی توده کال‌کافی). چینه‌شناسی محدوده‌ی مورد بررسی، از پرکامبرین تا کواترنر را دربر می‌گیرد. رخنمون‌های سنگی بخش غربی نقشه زمین‌شناسی منطقه (تصویر۲)، عمدتاً متشکل از واحدهای دگرگونی پرکامبرین و در بخش شرقی متشکل از واحدهای آتش‌فشانی و آذرآواری ائوسن با ترکیب غالب حدواسط (آندزیت- تراکی‌آندزیت) می‌باشند که توسط نفوذی‌ها و دایک‌های با ترکیب غالب مونزونیتی قطع شده‌اند. همچنین در منتهی‌الیه شمال‌غربی محدوده نقشه، آهک‌های کرتاسه که به صورت دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند، رخنمون دارند. قسمت‌های کم ارتفاع و پست نیز توسط تراس‌های آبرفتی قدیمی، رسوبات پهنه‌ی دشت‌ها و آبرفت‌های جوان و رودخانه‌ای پوشیده شده‌اند.



تصویر ۱- راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه



تصویر۲- نمایی از نقشه زمین‌شناسی منطقه خونی، واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه بر روی نقشه قابل مشاهده می باشند. بر روی نقشه کانی‌سازی‌های مهم منطقه خونی نمایش داده شده‌اند((KH1) : کانی‌سازی کاظمی، (KH2) : کانی‌سازی‌های شمالی و (KH3): کانی‌سازی چشمه خونی) (مقیاس نقشه۱:۵۰۰۰) (نظام پور، ۱۳۸٤).

۳- روش مطالعه

پس از بررسی و نمونه‌برداری صحرایی، تعداد ۱۲۰ نمونه از کانی‌سازی کاظمی و کانی‌سازی‌های شمالی و تعداد ۳٤ نمونه از کانی‌سازی چشمه خونی جهت مطالعات میکروسکوپی برداشت گردید. پس از مطالعات پتروگرافی و مینرالوگرافی، تعداد۳۰ نمونه جهت مطالعات ایکس آر دی (XRD) و ایکس آر اف (XRF) در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی آنالیز و ۳٤ نمونه جهت مطالعات (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry,

(ICP-MS)، به آزمایشگاه آلس چمکس (ALS Chemex) کانادا ارسال گردید.

۴- بحث

۴-۱- کانی‌سازی کاظمی (KH1)

تونل شماره ۱، که به تونل کاظمی معروف است، مهم‌ترین و بزرگ‌ترین تونل منطقه‌ی خونی می‌باشد. فعالیت‌های شدادی و همچنین معدن‌کاری حین جنگ جهانی دوم باعث استخراج بخش عمده ماده معدنی آن گردیده است. میزبان اصلی کانی‌سازی در این تونل، دولومیت‌های قهوه‌ای با سن پروتروزوئیک هستند (نظام‌پور ۱۳۸٤). بررسی‌ها نشان می‌دهد این تونل دارای سه رگه‌ی کانه‌دار بوده که روند عمومی آن‌ها N65W می‌باشد و هم‌خوانی مناسبی با گسل‌های موجود در این تونل دارند. علاوه بر این هم‌خوانی میان روند گسل‌ها و رگه‌های معدنی، مشاهده کانی‌سازی میان سطوح گسلش و یا درون برش گسلی، به‌عنوان شواهد محکمی از تأثیر پدیده‌های ساختاری بر جایگزینی این رگه‌ها حکایت می‌کند. رگه‌های موجود در این تونل روندی نامنظم دارند و دارای نازک‌شدگی و قطور شدگی موضعی می‌باشند (تصویر۳-A). نظام‌پور (۱۳۸٤) این اشکال را در رگه‌ها به ناصافی سطح گسل‌های ایجاد کننده آن‌ها مربوط می‌داند. با این حال وجود آثار انحلال و تبلور مجدد کلسیت‌های بلوری نشان می‌دهد، حداقل در مورد حفرات بزرگ، انحلال کربنات‌ها و کارستی شدن، عامل اصلی توسعه ثانویه‌ی این حفرات است. همچنین، میزبان کانه‌سازی در این رگه‌ها از نوع دولومیت‌های نخودی بوده که تاحدودی تبلور مجدد یافته‌اند. نکته‌ی مهم، عدم تشخیص کانی‌های مس‌دار به صورت گسترده در رگه‌های این تونل است و تنها در حاشیه‌ی رگه‌ها به مقدار ناچیزی می‌توان مالاکیت مشاهده نمود، همچنین وجود گسترده مواد آلی همراه رگه‌های معدنی این تونل نکته جالب توجه دیگر می‌باشد (تصویر۳-B).

رگه‌های تونل کاظمی آن‌چنان تحت تأثیر فرایندهای سطحی و هوازدگی قرار گرفته‌اند که امکان تهیه مقاطع صیقلی از آن‌ها به‌سادگی میسر نیست، لذا با تزریق رزین تعدادی مقطع از آن‌ها تهیه گردید(تصویر٤). کانه‌های اصلی قابل رؤیت در مقاطع صیقلی تونل کاظمی لیمونیت و دیگر هیدروکسیدهای آهن، همچون گوتیت می‌باشد (تصویر ٤).

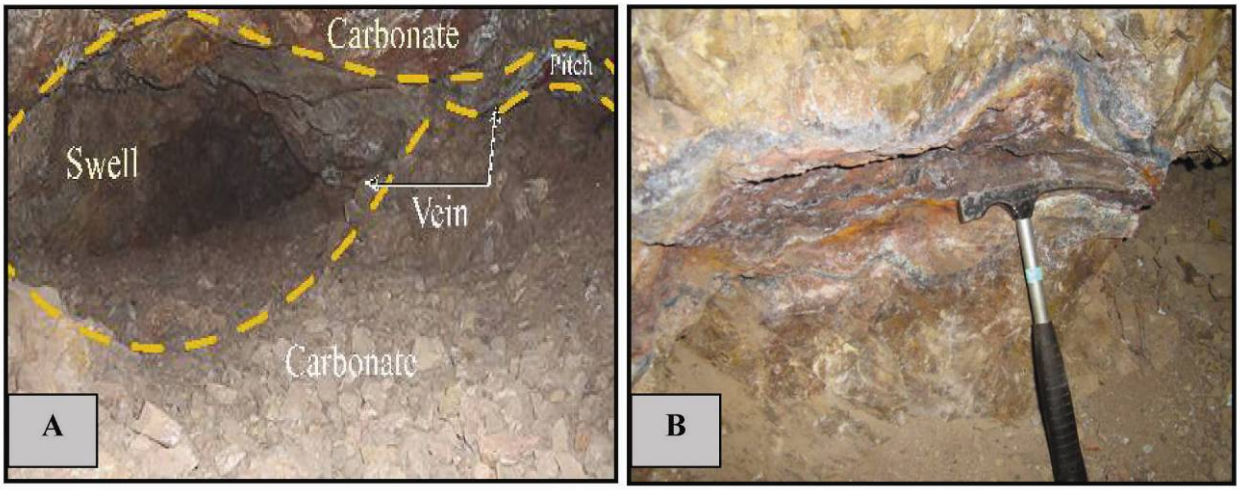
۴-۲- کانی‌سازی شمالی (KH2)

این کانی‌سازی شامل رگه‌های معدنی و مناطق کانی‌سازی با میزبان کربناتی پروتروزوئیک فوقانی می‌باشد. این رگه‌ها در تونل‌های ۲ تا ٦ و همچنین چند رگه‌ی کوچک‌تر که در بخش‌های شمال‌شرقی و شمال‌غربی خونی رخنمون یافته، شناسایی و مطالعه شده‌اند. وضعیت طلا در این کانی‌سازی نسبت به کانی‌سازی کاظمی، مناسب‌تر بوده و به‌طور متوسط از یک گرم در تن بیشتر است. از میان این پنج تونل تنها تونل‌های ۲ و ۳ از نظر وسعت معدن‌کاری قابل توجه می‌باشند و سایر تونل‌ها تنها پس از حفر چند متر به علت عدم حضور رگه‌های غنی و با ضخامت بالا رها گردیده‌اند. تونل شماره ۲ در ابتدای مسیر خود فاقد رگه‌های چندان قابل توجهی می‌باشد ولی در طبقه‌ی بالایی آن چند ساختار باقلایی مشاهده می‌شود که در امتداد رگه‌ها تشکیل یافته و مقداری از آن توسط مواد معدنی پر شده است (تصویر۵). بنابراین با توجه به وسعت اندک ماده معدنی، ادامه کار بر روی آن مقرون به صرفه نبوده و استخراج از آن‌ها ادامه نیافته است.

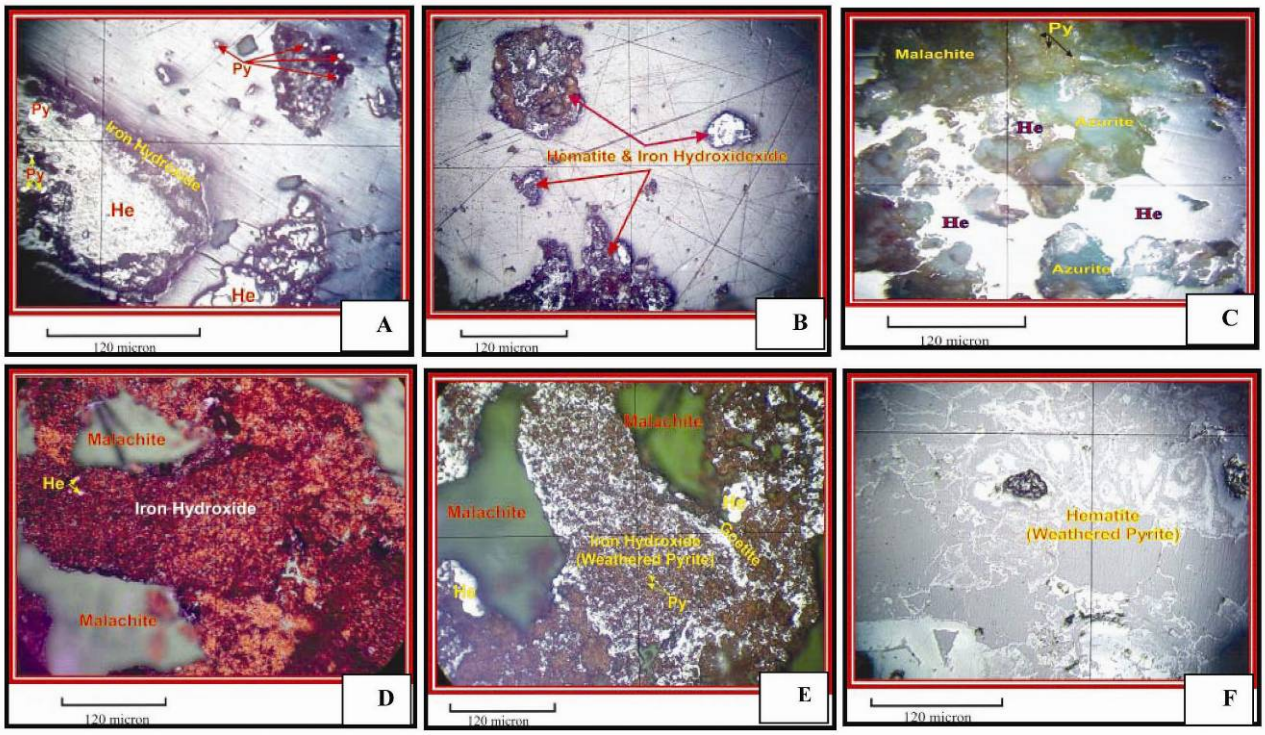
تونل ۳ به لحاظ میزان معدن‌کاری و حجم مواد معدنی درون آن در مقایسه با تونل ۲ دارای اهمیت بیشتری می‌باشد. تالارهای کارستی نسبتاً بزرگ درون این تونل، به مکان‌هایی مناسب جهت نهشت محتوای سیالات کانه‌دار تبدیل گردیده است. رگه‌های موجود در این تونل همانند تونل ۲ و بر خلاف تونل کاظمی دارای رنگ خاکستری تیره بوده و بسیار سنگین می‌باشند و کانی‌های عمده‌ی آن هماتیت و مگنتیت است. آثار حضور گوسان هم در نمونه‌های دستی و هم در مقاطع صیقلی تهیه شده از این رگه‌ها دیده می‌شود که نشان دهنده‌ی تأثیر آب‌های جوی و ایجاد تغییرات احتمالی در ترکیب عنصری اولیه می‌باشد. به‌طور کلی رگه‌های موجود در تونل‌های شش‌گانه نیز مانند مورفولوژی آن‌ها به دو بخش رگه‌های تونل کاظمی و رگه‌های سایر تونل‌ها قابل تقسیم می‌باشند.

۴-۳- کانی‌سازی چشمه خونی (KH3)

رخداد کانی‌سازی چشمه خونی (KH3) در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه (تصویر۲)، شامل یک‌سری مناطق رگچه‌ای و پراکندگی سریسیتی- آرژیلیتی با میزبان سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن می‌باشد. این کانی‌سازی اولین بار توسط نظام‌پور و همکاران (۱۳۸٤) معرفی گردیده است، این کانی‌سازی یکی از مهم‌ترین مناطق امیدبخش در منطقه خونی محسوب می‌گردد. بررسی مینرالوگرافی این کانی‌سازی نشان دهنده آن است که مگنتیت کانه‌ی اصلی در این کانی‌سازی می‌باشد و آثاری از کانی‌های عناصر پایه در آن دیده نمی‌شود. هماتیت در اغلب نمونه‌ها از تبدیل مگنتیت حاصل شده و گوتیت نیز حاصل تبدیل‌شدگی هماتیت است. در اکثر نمونه‌های کانی‌سازی چشمه خونی، هماتیت فراوانی بیشتری نسبت به مگنتیت دارد، هر چند این نسبت در مقاطع مختلف متفاوت است. در برخی از نمونه‌ها پیریت



تصویر۳ -A- نمایی از ساخت باقلایی در تونل کاظمی، B- نمایی از مواد آلی همراه رگه‌ها در تونل کاظمی



تصویر٤- تصاویر میکروسکپی از نمونه‌های مورد مطالعه در تونل کاظمی

A- در این مقطع بلورهای پیریت (Py) به همراه هماتیت (He) قابل مشاهده می‌باشند، این مقطع درصد پیریت بیشتری نسبت به سایر مقاطع تهیه شده از تونل کاظمی دارد (نور پلاریزه متقاطع)،

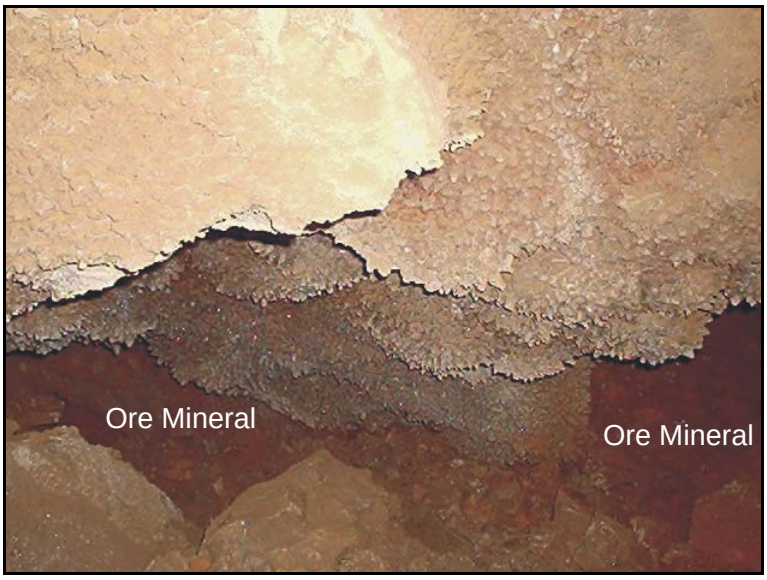
B- در این مقطع هماتیت (He) و به مقدار جزئی اکسیدهای آهن قابل مشاهده می‌باشد (نور پلاریزه متقاطع)،

C- در این مقطع هماتیت (He)، پیریت (Py) و به مقدار جزئی آزوریت و مالاکیت قابل مشاهده می‌باشد (نور پلاریزه متقاطع)،

D- در این مقطع هماتیت، اکسیدهای آهن و به مقدار جزئی مالاکیت مشاهده می‌شود (نور پلاریزه متقاطع)،

E- در این مقطع هماتیت (He)، گوتیت، پیریت (Py) و به مقدار جزئی مالاکیت قابل مشاهده می‌باشد (نور پلاریزه متقاطع)،

F- در این مقطع هماتیت (He) و پیریت‌های(Py) هوازده مشاهده می‌شوند (نور پلاریزه متقاطع).



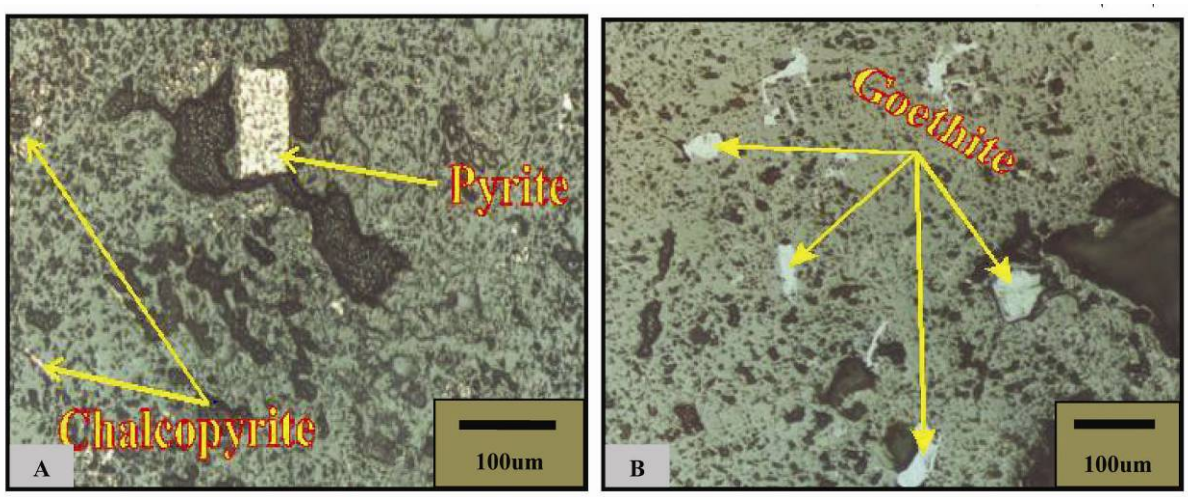
تصویر ۵- یک ساخت باقلایی (Swell) درون تونل۲، وسعت زیاد این ساخت باعث گردیده است تا مواد معدنی نتوانند تمام حجم آن را پرکنند

به صورت شکل‌دار و همراه با ریز درزه‌های پر شده توسط کالکوپیریت قابل مشاهده می‌باشد (تصویر٦-A). همچنین قطعات گوتیت ناشی از دگرسانی پیریت با بافت پراکنده نیز در این نمونه‌ها به وضوح قابل مشاهده است (تصویر٦-B). بافت اغلب نمونه‌های منطقه به صورت پرکننده فضای خالی است، در تعدادی از مقاطع رگه و رگچه‌های کانی‌سازی شده قابل مشاهده‌اند، که اکثر رگه‌ها توسط محلول‌های آهن‌دار پر شده است. پیریت در اکثر مقاطع صیقلی منطقه‌ی خونی، به صورت پراکنده دانه و اغلب نیمه‌شکل تا بی‌شکل دیده می‌شود. با این حال به وضوح در اکثر نمونه‌های برداشتی طلا به صورت آزاد دیده می‌شود و همراهی آن با کانی‌های آهن‌دار مشهود است (Heydarian 2010). به نظر می‌رسد کربنات کانی غیر اپاک و به عبارتی دیگر باطله اصلی همراه کانی‌سازی بوده و همراهی طلا با این رگه‌ها نیز در مقاطع مطالعه شده (تصویر۷- A و B) مشخص می‌باشد.

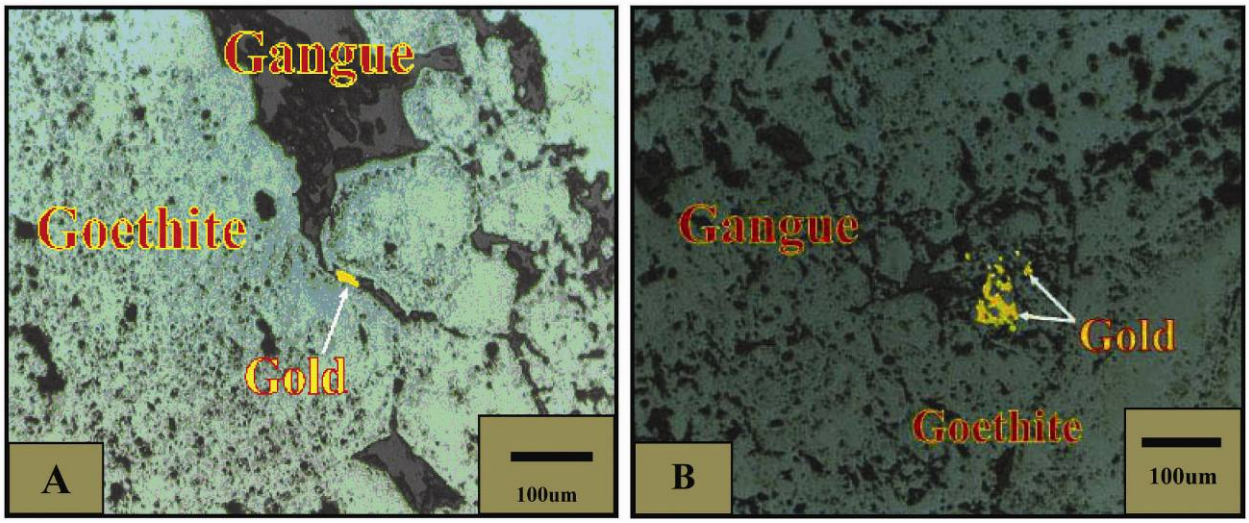
۵- پردازش داده‌های ژئوشیمیایی حاصل از آنالیز نمونه‌های تهیه شده از رگه‌های کانی سازی تونل‌های ۱ تا ۶ منطقه مورد مطالعه

تعداد ۸۰ نمونه از رگه‌های کانی‌سازی‌های منطقه مورد مطالعه، برداشت شد. نمونه‌گیری به صورت لب‌پری- کانالی (Channel Chip Sampling) انجام گرفت و سعی شد تا حتی المقدور بیش از ٤ کیلوگرم نمونه برداشت گردد. نمونه‌ها پس از برچسب گذاری و بسته‌بندی جهت آنالیز به آزمایشگاه آلس کانادا (ALS) ارسال شدند. نمونه‌های برداشتی از رگه‌های کانی‌سازی‌های منطقه مورد مطالعه، ابتدا گروه‌بندی شدند. نمونه‌های اخذ شده از میزبان و دگرسانی‌ها به ۵ دسته تقسیم شدند؛ (۱) دگرسانی یا تراوشاتی که دقیقاً در همبری بلافصل رگه قرار دارند، (۲) نمونه‌های سنگ میزبان با فاصله نزدیک، یعنی از همبری رگه تا ۲۰ سانتی‌متری آن‌ها، (۳) نمونه‌های سنگ میزبان با فاصله متوسط، یعنی از ۲۰ سانتی‌متری تا ۲ متری رگه‌ها، (٤) نمونه‌های سنگ میزبان با فاصله‌ی دور، یعنی از ۲ متری و فاصله‌های دورتر نسبت به رگه‌ها، هر چند برخی از آن‌ها در ارتباط با گسل‌هایی که احتمالاً عامل کانه‌زایی محسوب می‌گردد، می‌باشند و (۵) دایک‌های تشخیصی در نزدیکی دهانه‌ی تونل کاظمی که ۳ عدد می‌باشند. براساس روند و ارتباط فضایی رگه‌های درون تونل کاظمی، سه رگه از یکدیگر تفکیک گردیدند که عبارتند از رگه ۱ در نزدیکی دهانه و دستک‌های کوچک جنوب غربی تونل کاظمی، رگه ۲ که در کارگاه‌های استخراج سرب و کارهای روبروی آن قرار دارند و رگه‌ی ۳ که کارهای انتهای گالری اصلی و کارگاه‌های عمقی بخش شرقی تونل برای استخراج از آن حفر گردیده است. این سه رگه به همراه رگه‌های تونل۲، رگه‌های تونل ۳ و رگه‌های تونل ٤ و ۵ که به واسطه‌ی شباهت و ارتباطشان در این دو تونل با هم بررسی می‌شوند، مجموعاً ٦ گروه ایجاد می‌کنند که به شکل مستقل و مقایسه‌ای با یکدیگر بررسی می‌گردند.

تعیین روند تغییرات عیار عنصری در تونل کاظمی باعث گردید تا رگه‌های موجود در این تونل بر اساس موقعیت قرارگیری نسبت به گالری اصلی، به ۳ دسته تقسیم شوند که عبارتند از: سطوح بالاتر از گالری اصلی، رگه‌های موجود در گالری اصلی و یا با فاصله‌ی ارتفاعی کمی از آن و رگه‌های سطوح زیرین که در بخش‌های پایین‌تر از گالری اصلی قرار دارند. بعد از جایگزینی مقادیر سنسورد، پارامترهای آماری تک متغیره برای عناصر مهم کل نمونه‌های برداشتی از رگه‌ها محاسبه گردید.

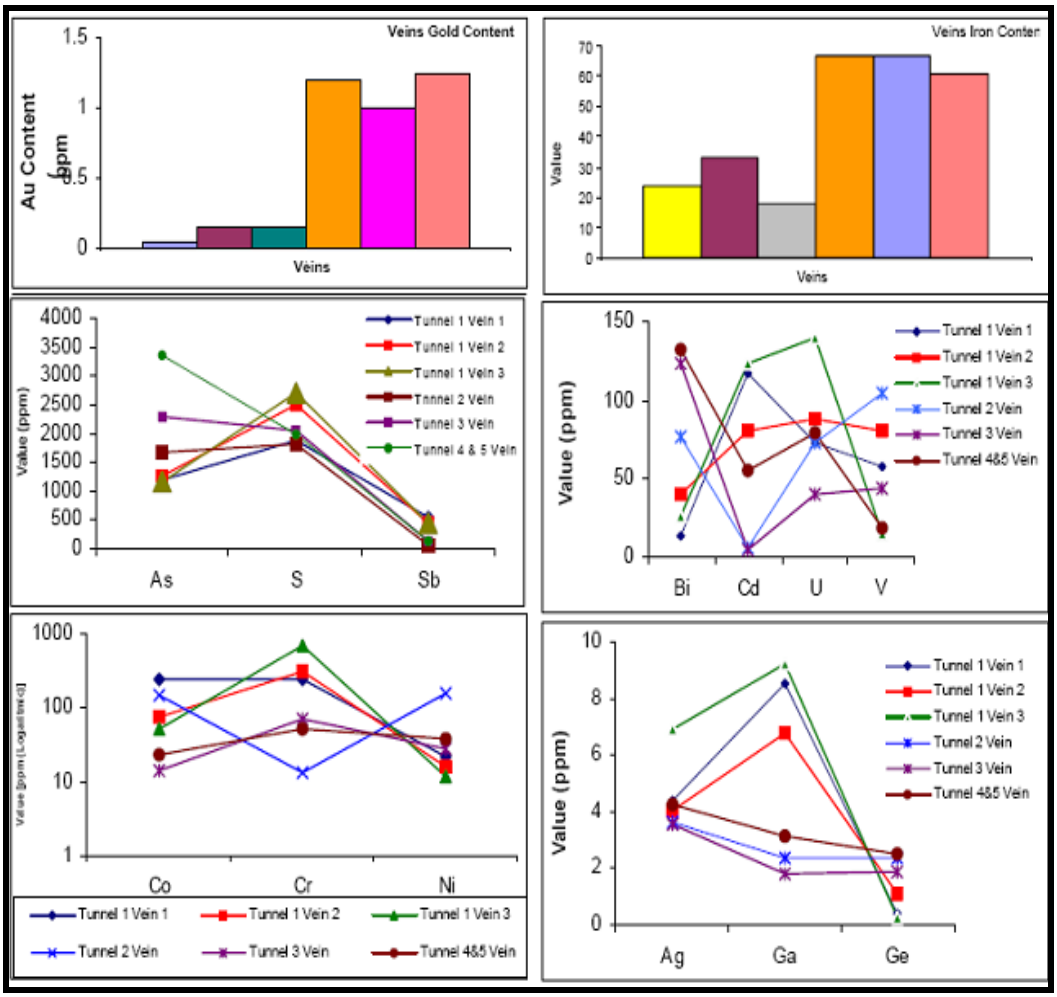


تصویر ٦- تصویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از کانی‌سازی چشمه خونی، A- پیریت شکل‌دار همراه با ریز درزه‌هایی که توسط کالکوپیریت پرشده است (xpl)، B- تصویر میکروسکوپی قطعات گوتیت ناشی از دگرسانی پیریت با بافت پراکنده (xpl).



تصویر۷- A و B- تصویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از کانی‌سازی چشمه خونی، در این مقاطع چندین ذره طلا با بافت و اشکال مختلف قابل مشاهده می‌باشد، همچنین کانی باطله در این مقاطع از گروه کربنات‌ها می‌باشد (xpl).

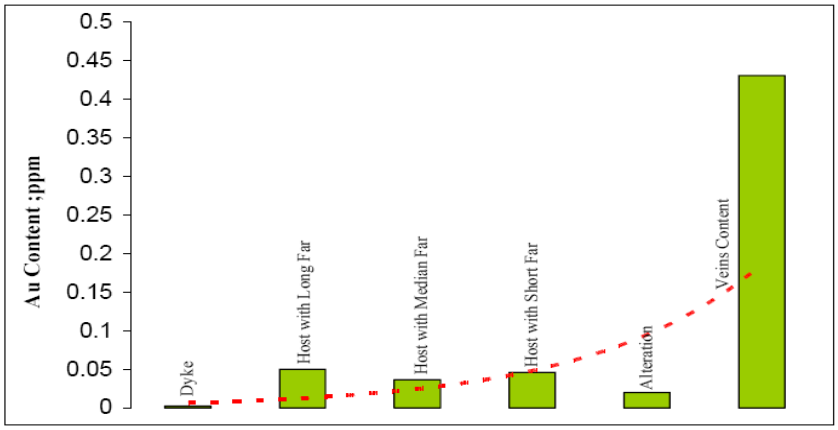
نمودارهای ستونی چند عنصر مهم‌تر در تصویر ۸ نمایش داده شده است. بر پایه‌ی این اطلاعات، رگه‌های مورد بررسی از عناصری مانند سرب، روی و مس غنی‌شدگی دارند. این در حالی است که طلا صرفاً در چند نمونه‌ی اخذ شده از رگه‌های تونل‌های ۲ و ۳ دارای مقادیر ارزشمندی بوده و مابقی آن‌ها اغلب حاوی ۰/۱ تا ۰/۲ گرم در تن طلا می‌باشند. این روند غنی شدگی برای عناصر پایه به عکس بوده و به عبارت دیگر رگه‌های تونل‌های ۲ و ۳ مقادیر کمتری از این عناصر را نسبت به تونل کاظمی در خود دارند. این موضوع در کنار تفاوت در مقدار عناصر دیگر (تصویر۸) می‌تواند نشان دهنده‌ی تفاوت زایشی آن‌ها باشد. از دیگرتفاوت‌های میان رگه‌ها، محتوای آهن آن‌ها می‌باشد؛ در حالی که حداکثر مقدار آهن رگه‌های تونل کاظمی حدود ۳۰٪ است، رگه‌های سایر تونل‌های مورد بررسی به طور میانگین بیش از ۷۰٪ آهن دارند. غنی شدگی عناصر فرعی در رگه‌های مورد بررسی بدین گونه قابل تشریح است که در کانه‌زایی‌های تونل کاظمی غنی شدگی عناصر گوگرد، آنتیموان، گالیم، نقره، کادمیم، اورانیوم، کبالت و کروم و فقیر شدگی آرسنیک، ژرمانیوم و بیسموت، در مقایسه با سایر رگه‌ها مشاهده می‌شود در حالی که نیکل و وانادیوم روند خاصی را از خود نشان نمی‌دهند. تغییرات مقدار عناصر در سنگ دیواره نیز با اعمال روش‌های آماری تک متغیره و رسم نمودار (تصویر۹) مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نکته مهم دیگر که باید به آن اشاره نمود فقیر بودن دایک‌های مونزونیتی موجود در تونل کاظمی که بعضاً توسط محققانی مانند ادیب (Adib 1972)، یانکوونکو و همکاران (Yankovenko et al. 1981)، باباخانی و همکاران (۱۳۷٦) به عنوان عامل کانه‌زایی شناخته می‌شدند، از عناصر کانسارساز رگه‌ها می‌باشد.

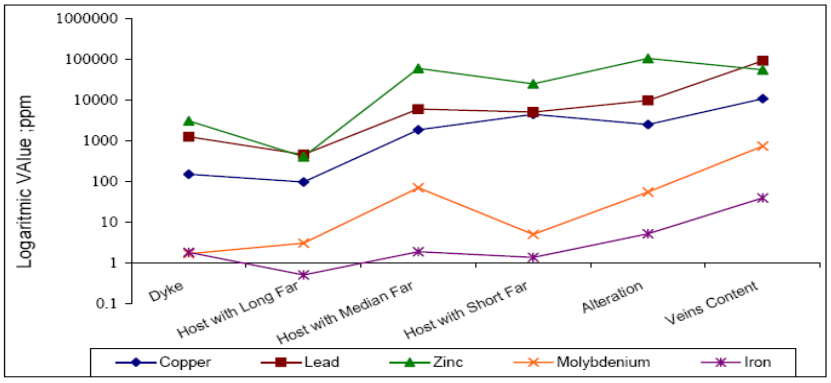


تصویر ۸- پراکندگی عناصر مختلف در رگه‌های کانی‌سازی تونل‌های منطقه خونی برای ۸۰ نمونه

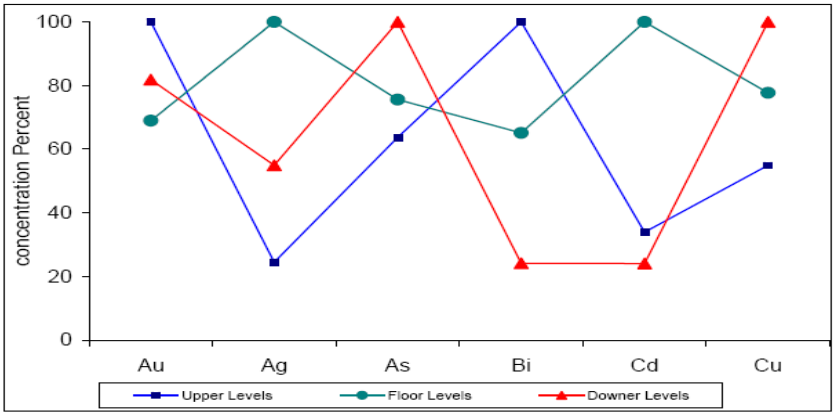
برای آنکه تأثیر آب‌های جوی بر روی رگه‌های تونل کاظمی مورد مطالعه قرار گیرد و احتمال تجمع و افزایش مقدار برخی عناصر در اعماق پیش‌بینی شود، اقدام به بررسی غنی‌شدگی رگه‌های مختلف این تونل گردید (تصویر ۱۰). بر این اساس مقدار سرب، آرسنیک و مس با افزایش عمق افزایش می‌یابد که با توجه به قدرت تحرک این عناصر قابل پیش‌بینی بود. تغییرات روی و نقره نیز در کل به این مجموعه شباهت دارد، هرچند سطوح میانی نسبت به بخش‌های تحتانی کمی غنی‌شدگی نشان می‌دهند. در مقابل این گروه، غنی‌شدگی عناصر مولیبدن، طلا و بیسموت در سطوح بالایی مشاهده گردید که بعضاً با اصول کلی حاکم بر مهاجرت عناصر در تضاد است. این وضعیت به عقیده‌ی نظام‌پور (۱۳۸٤) به دلیل عملکرد فازهای جدیدتر کانه‌زایی در منطقه است.

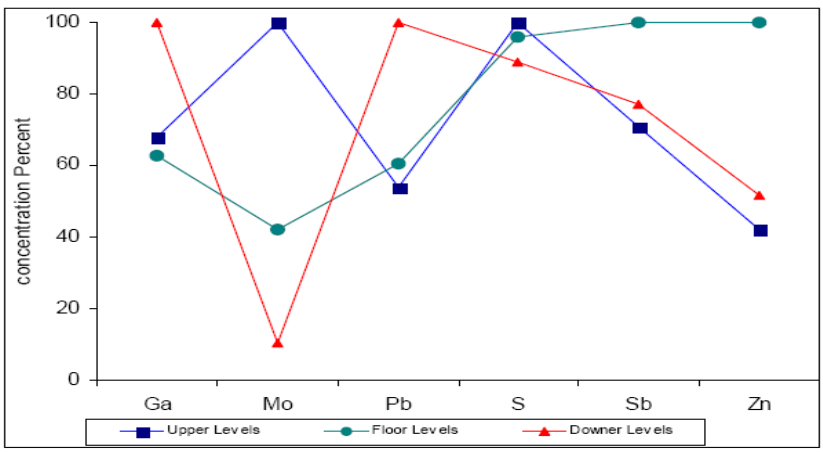
به‌طور کلی در تونل کاظمی، رگه‌های اول و سوم دارای مقادیر بیشتری روی نسبت به سرب بوده در حالی که در رگه دوم مقادیر سرب نسبت به روی بیشتر است. تونل شماره ۲ نیز دارای مقادیر روی بیشتری نسبت به سرب می‌باشد ولی تونل سوم سرب بیشتری دارد. روند تغییرات مجموع مقادیر عناصر پایه در تونل‌های ۲ و ۳ به سمت بالادست رگه‌ها افزایشی می‌باشد در حالی که در تونل کاظمی به دلیل شستشوی این عناصر، روند کاهشی است. تنها رگه شماره ۲ تونل کاظمی مقادیر نسبتاً بالایی مولیبدن (تا ۰/۳٦٪) دارد و سایر رگه‌ها فاقد مقادیر چندانی از آن می‌باشند. در سایر تونل‌ها به جز یک نمونه در تونل ۲ (حدود ۰/٤٪ مولیبدن)، سایر نمونه‌ها فاقد مقادیر ارزشمند از این عنصر هستند. نکته مهم روند کاهشی مقدار مولیبدن در تونل‌های ۲ و ۳ و روند افزایشی در تونل کاظمی به سمت بالا است که آن را می‌توان به تحرک کم این عنصر در محیط سوپرژن نسبت داد. گوگرد در تمام تونل‌ها دارای مقادیر کم و یکنواخت است هرچند مقادیر این عنصر در تونل کاظمی کمی پایین‌تر بوده که علت آن شستشوی این عنصر است. مقدار آرسنیک در تمامی تونل‌ها مشابه و مقدار آن به سمت پایین افزایش می‌یابد. در هیچ یک از نمونه‌ها تمرکز مهمی از نقره دیده نشد، اما روند عمومی افزایش آن در تونل کاظمی به سمت پایین و در سایر تونل‌ها به سمت بالا است که دلیل آن را نیز می‌توان به تحرک بالای این عنصر هم در محیط سوپرژن و هم در محیط اولیه نسبت داد. مقدار





تصویر۹- پراکندگی طلا (نمودار بالا) و سایر عناصر (نمودار پایین) در سنگ میزبان رگه‌ها





تصویر۱۰- نسبت پراکندگی عناصر در افق‌های مختلف تونل ۱

آنتیموان در تونل کاظمی بیشتر است و روند افزایشی آن عکس سایر تونل‌ها، به سمت بالا است. با توجه به مطالعات صورت گرفته در منطقه خونی و بر اساس نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی (آندزیت و تراکی آندزیت) کانی‌سازی چشمه خونی و در نزدیکی با همبری شیست‌ها، این منطقه عیارهای قابل توجهی از طلا را نشان می‌دهد. حداقل عیار طلا ۲ppb، حداکثر عیار آن ۴۸۱۰ ppb و عیار متوسط طلا در این کانی‌سازی ۴۷۵/۷۰ppb (جدول ۱) محاسبه گردید.

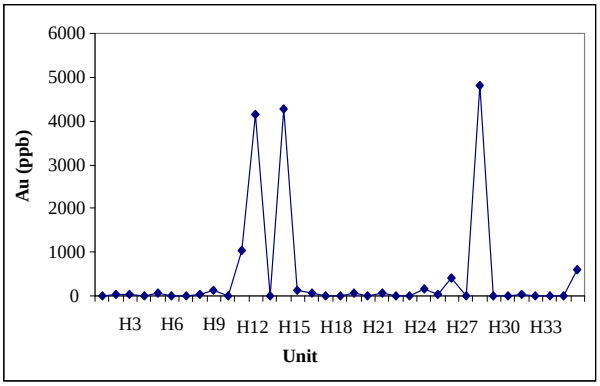
جدول ۱- نتایج آنالیزهای لیتوژئوشیمیایی، سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی نمونه‌ها به روش (ICP-MS) و در آزمایشگاه آلس کانادا (ALS) آنالیز گردیدند.

	Au	Cu	Fe	Al	Mg	Mn	Mo	Tl
UNITS	**ppb**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**	**ppm**
KH-H1	26	36.7	35300	72500	17300	1540	0.5	1.1
KH-H2	20	39.2	42300	76600	29500	2060	0.9	0.3
KH-H3	2	59.4	55600	78700	14800	923	4	1
KH-H4	66	41.6	44800	80500	27600	1280	2.5	0.8
KH-H5	12	29.6	35100	62800	18300	1150	0.9	0.7
KH-H6	8	94.8	57700	81400	20200	937	4	0.9
KH-H7	32	58.1	43900	73000	23400	1460	0.6	1.5
KH-H8	133	82.3	43700	73400	23900	2180	0.9	1.3
KH-H9	2	25.2	45500	75400	22600	1090	0.5	2.3
KH-H10	1040	69.3	52800	66800	9620	871	4.9	2.1
KH-H11	4150	34.3	48800	77600	3900	431	5.8	0.6
KH-H12	6	38.9	43200	71000	27300	1110	0.6	1.7
KH-H13	4280	38.3	54500	78200	22200	2120	2.4	1.9
KH-H14	124	43.6	45900	68700	8350	616	5.2	1.1
KH-H15	69	70.1	46900	77600	17800	1090	10.1	0.4
KH-H16	3	16.7	52900	81500	28700	1060	0.4	1.1
KH-H17	3	78.6	60500	84500	19200	642	2.2	1.2
KH-H18	48	48.1	58000	74000	14500	994	3.5	0.9
KH-H19	11	34.2	46900	81100	7090	499	5.4	2.5
KH-H20	76	81.5	48500	75100	28800	3430		
KH-H21	14	72.3	61700	79200	33300	1030		
KH-H22	5	49.4	35500	59900	8020	381		
KH-H23	157	65.9	9780	2350	16500	3130		
KH-H24	31	58.2	50800	76100	28600	1190		
KH-H25	413	37.5	47200	51000	13400	5290		
KH-H26	5	82.5	57100	86300	17900	990		
KH-H27	4810	47.8	64800	69800	16300	1620		
KH-H28	9	66.3	61200	83000	35400	1340		
KH-H29	3	33.6	32900	59500	12700	768		
KH-H30	16	75.8	58900	82300	19200	896		
KH-H31	5	84	70700	83600	17700	886		
KH-H32	3	84.3	72700	85400	23000	744		
KH-H33	4	64.6	58700	81300	20500	914		
KH-H34	588	45.1	44900	71400	14700	1450		

دگرسانی رخ داده برروی آندزیت‌ها و تراکی‌آندزیت‌های منطقه (براساس نتایج XRD دانشگاه شهید بهشتی) و برای مقاطع نازک، غالباً دارای کانی‌شناسی فلدسپات‌های سدیک و پتاسیک، کوارتز، مونتموریلونیت، سریسیت و آلونیت می‌باشد که رگه‌های اکسید آهنی به درون آن نفوذ نموده است. مطالعه نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی کانی‌سازی چشمه خونی (شرق منطقه) و در نزدیکی با کنتاکت شیست‌ها، عیارهای قابل توجهی (حداکثر عیار طلا ٤٨١٠ppb) از طلا را نشان داد که با دور شدن از این همبری‌ها به طرف شرق عیار طلا کاهش می‌یابد. بنابراین به نظر می‌رسد سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی که وسعت قابل توجهی را در شرق منطقه‌ی خونی دارند، به عنوان گزینه‌ی مناسب جهت ادامه‌ی مطالعات مدنظر باشند. ماده معدنی در کانی‌سازی چشمه خونی، به صورت رگه‌ای و کانی‌های اصلی آن مگنتیت، هماتیت و به مقدار جزئی گوتیت می‌باشند. به طور کلی کنتاکت شیست‌ها و سنگ‌های آتشفشانی کانی‌سازی چشمه خونی (آندزیت– تراکی‌آندزیت) گسلی می‌باشد.

همچنین بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت سیالات هیدروترمال کانی‌سازی چشمه خونی غالباً طلادار می‌باشند. با توجه به آن‌که شیست‌ها اغلب غیرقابل نفوذ هستند لذا، ضمن حرکت سیالات هیدروترمال مانند یک سد ژئوشیمیایی عمل نموده‌اند. رفتار شیست‌ها در برابر سیال، سبب تمرکز و تجمع طلای موجود در سیال شده است. در نتیجه طلا در همبری شیست‌های کانی‌سازی چشمه خونی، نسبت به سایر بخش‌های منطقه عیار بیشتری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج آنالیزهای لیتوژئوشیمیایی ٤٤ عنصری ٣٤ نمونه از سنگ‌های آتش‌فشانی (آندزیت– تراکی‌آندزیت) کانی‌سازی چشمه خونی (جدول ١) و طبق نمودار (تصویر ١١)، حداقل عیار طلا ٢ppb، حداکثر عیار آن ٤٨١٠ppb و عیار متوسط طلا در این کانی‌سازی ٤٧٥/٧٠ ppb محاسبه گردید. حداقل عیار مس در کانی‌سازی چشمه خونی ١٦/٧ppm، حداکثر عیار آن ٩٤/٨ ppm و عیار متوسط مس در این کانی‌سازی ٥٥/٥٢ ppm محاسبه گردید. نتایج حاصل از آنالیز سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی، نشان‌دهنده‌ی آن است که این منطقه از نظر وجود مس به لحاظ اقتصادی چندان حائز اهمیت نمی‌باشد. حداقل عیار آهن در این کانی‌سازی ٩٧٨٠ppm، حداکثر عیار آن ٧٢٧٠٠ ppm و عیار متوسط آهن در این کانی‌سازی ٤٩٦٩٦/٤٧ ppm محاسبه گردید. نتایج آنالیز سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی نشان‌دهنده‌ی آن است که مهم‌ترین کانی‌های آهن در کانی‌سازی چشمه خونی هماتیت، مگنتیت و به مقدار جزئی گوتیت است ولی عیار آهن در این منطقه نسبت به کلارک جهانی پایین می‌باشد و به لحاظ اقتصادی چندان حائز اهمیت نمی‌باشد. حداقل عیار سرب در این کانی‌سازی٩/٨ppm، حداکثر عیار آن ٢٠٠ ppm و عیار متوسط سرب در این کانی‌سازی ٤٣/٩٦ ppm محاسبه گردید. نتایج آنالیز سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی نشان‌دهنده‌ی آن است که کانی‌سازی چشمه خونی از نظر وجود سرب به لحاظ اقتصادی چندان حائز اهمیت نمی‌باشد. بر خلاف آهن و مس، نمونه‌های پر عیارتر سرب با طلا همراهی می‌شوند، لذا احتمال ارتباط ژنتیکی این عناصر، علی‌رغم عدم ارزشمندی سرب، وجود دارد. حداقل عیار روی در این کانی‌سازی ٤٥/٣ ppm، حداکثر عیار آن ٣٣٦ ppm و عیار متوسط روی در این کانی‌سازی ١٢٢/٣٨ ppm محاسبه گردید.

مقایسه نتایج آنالیز سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی، نشان‌دهنده‌ی آن است که منطقه‌ی چشمه خونی از نظر وجود روی به لحاظ اقتصادی چندان حائز اهمیت نمی‌باشد. هر چند که عیار حتی نزدیک به ٣٠٠ گرم در تن برای عنصر روی در سنگ‌های آتش‌فشانی چندان متعارف نیست و تفاوت زیادی با حد زمینه آن‌ها ندارد، اما تخمین عیاردهی بالاتر این عنصر در نزدیکی همبری شیست‌ها و انطباق این نمونه‌ها با نمونه‌های پر عیار طلا، ارزشمند و قابل تأمل است.



تصویر ١١- نمودار عیار طلا در نمونه‌های برداشتی از سنگ‌های آتش‌فشانی (آندزیت– تراکی‌آندزیت) کانی‌سازی چشمه خونی

حداکثر عیار نقره در کانی‌سازی چشمه خونی ٠/١٩ ppm و عیار متوسط، ٤/٣٨ ppm محاسبه گردید. مقایسه نتایج آنالیز سنگ‌های آتش‌فشانی کانی‌سازی چشمه خونی نشان‌دهنده آن است که نقره به لحاظ اقتصادی حائز اهمیت نمی‌باشد و این منطقه از نظر نقره بسیار فقیر می‌باشد.

٦- نتیجه گیری

به‌طور کلی بر اساس بررسی‌های کانه‌شناسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، می‌توان کانی‌سازی‌های منطقه خونی را به دو گروه عمده

تقسیم کرد. نخست کانی‌سازی کاظمی که سولفیدی بوده و به واسطه داشتن عناصر پایه دارای اهمیت می‌باشد و شواهد از دمای کم جایگزینی حکایت دارد. دوم کانی‌سازی شمالی و زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی که اکسیدی بوده و عیار عناصر پایه به شدت اندک می‌باشد. کانی‌سازی‌های گروه دوم صرفاً به جهت وجود طلا اهمیت داشته و فاقد مقادیر ارزشمند از سایر عناصر می‌باشند. بر اساس مطالعات انجام شده می‌توان گفت رگه‌های کانی‌سازی کاظمی و همچنین رگه‌های تونل‌های ۲ تا ٦ کانی‌سازی‌های شمالی، به علت عدم وجود مقادیر اقتصادی طلا، توجیه‌پذیر نیست. مطالعات صورت گرفته در منطقه‌ی خونی و بررسی نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی شرق منطقه خونی در نزدیکی با همبری شیست‌ها، نشان‌دهنده‌ی آن است که طلا عیارهای قابل توجهی را از خود نشان می‌دهد و با دور شدن از این همبری‌ها به طرف شرق عیار طلا کاهش می‌یابد.

بنابراین به نظر می‌رسد سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی که وسعت قابل توجهی را در شرق منطقه دارند، به عنوان گزینه‌ی مناسب جهت ادامه‌ی مطالعات مدنظر باشند. ماده معدنی در کانی‌سازی چشمه خونی، به صورت رگه‌ای و کانی‌های اصلی آن مگنتیت، هماتیت و به مقدار جزئی گوتیت می‌باشند، عیار عناصر پایه در این کانی‌سازی به شدت اندک می‌باشد و طلا در رگه‌های آن دیده می‌شود. به طور کلی کنتاکت شیست‌ها و سنگ‌های آتشفشانی کانی‌سازی چشمه خونی (آندزیت–تراکی‌آندزیت) گسلی می‌باشد. همچنین بر اساس مطالعات انجام شده در منطقه مورد مطالعه، می‌توان گفت سیالات هیدروترمال کانی‌سازی چشمه خونی غالباً طلادار می‌باشند. با توجه به آن‌که شیست‌ها اغلب غیرقابل نفوذ می‌باشند لذا ضمن حرکت سیالات هیدروترمال، مانند یک سد ژئوشیمیایی عمل نموده‌اند. رفتار شیست‌ها در برابر سیال، سبب تمرکز و تجمع طلای موجود در سیال شده است. در نتیجه طلا در همبری شیست‌های کانی‌سازی چشمه خونی، نسبت به سایر بخش‌های منطقه خونی عیار بیشتری را نشان می‌دهند.

مراجع

افتخارنژاد، ج.، ۱۳۵۹، "تفکیک بخش‌های مختلف ایران از نظر وضع ساختمانی در ارتباط با حوضه‌های رسوبی"، *نشریه انجمن نفت، شماره ۸۲: ۲۸-۱۹.*

امینی، ب. و سهیلی، م.، ۱۳۷۹،"مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافات طلا، مس و سایر عناصر فلزی در نواحی کال‌کافی- خونی"، *طرح اکتشاف سراسری ذخایر معدنی، ۱۱۵ ص.*

باباخانی، ع.، رادفر، ج. و مجیدی، ج.، ۱۳۷٦، "بررسی‌های دورسنجی در محدوده کوه خونی _ کوه کال کافی"، *شرکت ملی صنایع مس ایران، ۳٦ ص.*

حیدریان دهکردی، ن.، رساء، ا. و نظام‌پور، ه.، ۱۳۸۸، "کانه‌سازی کاظمی نوعی متفاوت از کانه‌زایی در منطقه خونی انارک"، *همایش ملی معدن و محیط زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میمه: ۱٦-۱۱.*

حیدریان دهکردی، ن.، مقدسی، ج. و رساء، ۱۳۸۸، "مطالعه زون‌های طلا دار در سنگ‌های ولکانیکی و کربناتی منطقه خونی، شمال شرق انارک"، *پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه پیام‌نور مرکز تهران، ۱۸۳ ص.*

نظام‌پور، ه.، رساء، ا. و لیاقت، س.، ۱۳۸٤، "راه کارهای اکتشافی کانسار پلی متال خونی بر اساس دگرسانی‌های همراه و کنترل‌های ساختاری"، *نهمین گردهمایی انجمن زمین‌شناسی ایران: ۱۰۹-۱۰۵.*

نظام‌پور، ه.، ۱۳۸٤، "ژئوشیمی و دورسنجی و سنگ‌شناسی جهت تعیین خاستگاه کانه‌زایی‌ها در منطقه خونی نایین"، *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهیدبهشتی، ۲٤۰ ص.*

Adib, D., 1972, "Mineralogische untersuchungen in der oxydations-zone der lagerstatte Tschah–Khuni, Anarak, Zentral Iran", *Inaugural- Dissertation, Heidelberg – Tehran, 194 pp.*

Heydarian Dehkordi N., Moghaddasi, J. & Rassa, I., 2010, "An investigation on Au mineralization in Khuni mining area, Anarak, Iran", *GOLDSCHMIDT International Conference, Knoxville Tennessee (U.S.A).*

Rommanko, E. et al., 1981, "Outline of Anarak of Metallogeny of Anarak Area (central Iran), Explanatory text to metallogenic map, 1:250000", *Geological Survey of Iran, Rep. TE/NO.18, 102 pp.*

Stöcklin, J., 1977, "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia. Anonymous. Live ala memorie de Albert F. de lapparent consacre aux Recherches geologiqes dans les Chines alpines de I Asie du sud-ouest". *SOC. Geol . Fr., Mem. Hors- Ser.,Vol. 8: 333-353.*

Yankovenko, V., Chinakov, I., Kokorin, Yu. & Krivyakin, B., 1981, "Report on detailed geological prospecting in Anarak Area (Kal-e Kafi-Khoni Locality)". *V/O << Technoexport >>, Rep. No.13, Moscow, 293 pp.*