فصلنامه زمین‌شناسی کاربردی
سال ۷ (۱۳۹۰)، شماره ۲: ۱۰۶-۹۵
www.appliedgeology.ir
دانشگاه آزاد اسلامی
واحد زاهدان

مطالعه دگرسانی و بررسی ارتباط ژنتیکی میان طلا و سایر عناصر در سنگ‌های آتشفشانی منطقه خونی، شمال شرق انارک

نسیم حیدریان دهکردی*[1] و ایرج رساء[2]

۱) پژوهشکده علوم پایه کاربردی جهاد دانشگاهی، n_heydarian563@yahoo.com

۲) گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

*) عهده‌دار مکاتبات

تاریخ دریافت: ۹۰/۲/۱۸ ؛ تاریخ دریافت اصلاح شده: ۹۰/۶/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۰/۶/۲۵ ؛ قابل دسترس در تارنما: ۹۰/۶/۳۰

چکیده

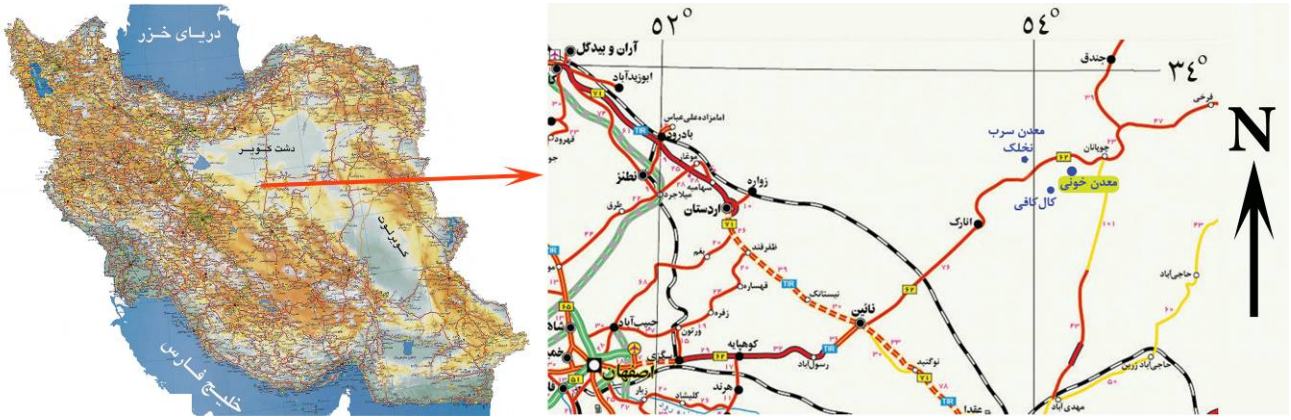
در منطقه خونی، تزریق توده‌های نفوذی و در پی آن صعود سیالات تأخیری سیلیسی باعث دگرسانی در بعضی از سنگ‌ها شده است. مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و نتایج ایکس آر دی (XRD) نمونه‌ها، نشان‌دهنده‌ی وجود دگرسانی آرژیلی، لیسونیتی، تشکیل تالک و سرپانتین و همچنین آلونیتی شدن در منطقه است. نکته مهم و قابل توجه در مورد دگرسانی‌های منطقه، آن است که علی‌رغم تفاوت جنس دایک‌های موجود در نزدیکی کانه‌زایی‌های رگه‌ای اکسیدی، دگرسانی‌های مشابهی بر روی آن‌ها رخ داده است و این می‌تواند به واحد بودن سیال عامل کانه‌زایی ارتباط داشته باشد. بر اساس بررسی‌های کانه‌شناسی، زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی، کانی‌سازی‌های منطقه‌ی خونی به دو گروه عمده تقسیم شدند. نخست کانی‌سازی کاظمی که سولفیدی بوده و به واسطه داشتن عناصر پایه دارای اهمیت است و شواهد از دمای کم جایگزینی حکایت دارد. دوم کانی‌سازی‌های شمالی و زون‌های کانی‌سازی چشمه خونی، که اکسیدی بوده و عیار عناصر پایه در آن‌ها به شدت اندک می‌باشد. آنالیز لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های برداشتی از رگه‌ها و زون‌های دگرسانی، نشان‌دهنده‌ی آن است که کانی‌زایی‌های طلا در منطقه خونی دارای میزبان آتش‌فشانی می‌باشند. روابط همبستگی داده‌های لیتوژئوشیمیایی در سنگ‌های آتشفشانی (Volcanics) شرق منطقه نشان‌دهنده آن است که به جز طلا عیار هیچ یک از عناصر دیگر در رگه‌های کانی‌سازی چشمه خونی در حد اقتصادی نمی‌رسد، اما وجود تغییرات معنی‌دار و افزایش و کاهش هماهنگ عیار برخی عناصر در مقایسه با تغییرات عیاری طلا می‌تواند بر ارتباط ژنتیکی آن‌ها دلالت داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: منطقه خونی، دگرسانی، کانی‌زایی اکسیدی طلا، سنگ‌های آتش‌فشانی.

۱- مقدّمه

منطقه خونی، بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کبودان است که در ۵۰ کیلومتری شمال شرق انارک (استان اصفهان) و در منطقه ایران مرکزی واقع گردیده است (تصویر ۱). بر اساس نظر رومانکو و همکاران (Romanko et al. 1981) محدوده‌ی مورد مطالعه، بخشی از زیر زون خور- انارک (ایران مرکزی) است. منطقه خونی در طول جغرافیایی '۵۴°۲۳- '۵۴°۱۳ شرقی و عرض جغرافیایی '۳۳°۳۷- '۳۳°۲۷ شمالی قرار گرفته است.

منطقه مورد مطالعه پیش از این توسط یانکوونکو و همکاران (Yankovenko et al. 1981)، ادیب (Adib 1972)، باباخانی و همکاران (۱۳۷۶)، امینی (۱۳۷۹)، نظام‌پور و رساء (۱۳۸۴)، مورد مطالعه قرار گرفته است.



تصویر ۱- راه دسترسی به منطقه خونی در ناحیه انارک

این مطالعات به‌طور عمده بر ارزیابی پتانسیل‌های معدنی منطقه معطوف بوده است. به‌طور کلی در محدوده‌ی خونی، تزریق توده‌های نفوذی و در پی آن صعود سیالات سیلیسی، موجب رخداد دگرسانی‌های مختلفی از انواع سوپرژن (Supergen) و هیپوژن (Hypogen) شده است.

نکته مهم و قابل توجه در مورد این دگرسانی‌ها آن است که علی‌رغم تفاوت جنس دایک‌های موجود در نزدیکی کانه‌زایی‌های رگه‌ای اکسیدی، دگرسانی‌های مشابهی بر روی آن‌ها رخ داده است و این می‌تواند به واحد بودن سیال عامل کانه‌زایی ارتباط داشته باشد.

۲- زمین‌شناسی منطقه خونی

منطقه مورد مطالعه از نظر ساختاری، بخشی از پهنه ایران مرکزی محسوب می‌شود (Stöcklin 1977 و افتخارنژاد ۱۳۵۹). رومانکو و همکاران (Romanko 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.

به‌عقیده‌ی 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 کال‌کافی است. محدوده‌ی مورد مطالعه 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 دربرمی‌گیرد. رخنمون‌های سنگی بخش شرقی منطقه که موضوع اصلی این مقاله می‌باشند، از واحدهای آتش‌فشانی و آذرآواری ائوسن (کانی‌سازی چشمه خونی-Kh3) با ترکیب غالب حدواسط (آندزیت- تراکی‌آندزیت) تشکیل شده‌اند (تصویر ۲).

این واحد سنگی، توسط نفوذی‌ها و دایک‌های با ترکیب غالب مونزونیتی قطع شده‌اند. همچنین در انتهای شمال‌غربی نقشه، آهک‌های کرتاسه که به‌صورت دگرشیب بر روی واحدهای قدیمی‌تر قرار گرفته‌اند، رخنمون دارند. قسمت‌های کم ارتفاع و پست نیز توسط پادگانه‌های آبرفتی قدیمی، رسوبات پهنه‌ی دشت‌ها و آبرفت‌های جوان و رودخانه‌ای پوشیده شده‌اند.

۳- روش مطالعه

در این تحقیق پس از بررسی سه کانی‌سازی شاخص، ۱۲۰ نمونه برداشت شد. پس از مطالعات پتروگرافی و مینرالوگرافی نمونه‌های برداشتی از سه کانی‌سازی کاظمی، کانی‌سازی‌های شمالی و کانی‌سازی چشمه خونی، ۳۰ نمونه جهت مطالعات ایکس آر دی (XRD) و ایکس آر اف (XRF) در آزمایشگاه زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی آنالیز شدند. همچنین با توجه به این‌که موضوع اصلی این تحقیق بررسی سنگ‌های آتشفشانی منطقه (کانی‌سازی چشمه خونی) بود، بنابراین تعداد ۳٤ نمونه از کانی‌سازی چشمه خونی جهت مطالعات میکروسکوپی برداشت گردید.

در ادامه نمونه‌ها جهت مطالعات (Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry, ICP-MS)، به آزمایشگاه آلس چمکس (ALS Chemex) کانادا ارسال شدند.

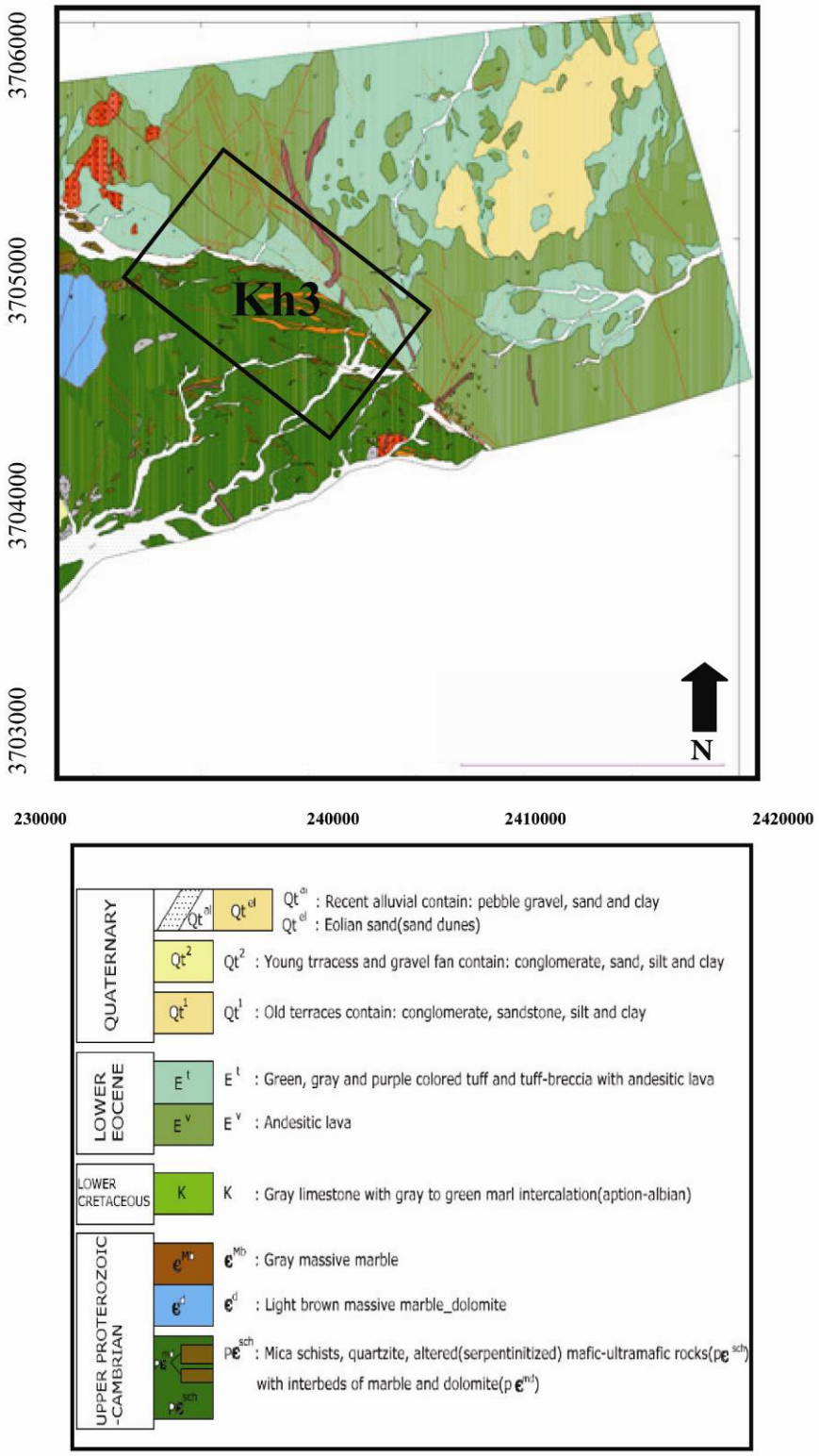
در این پژوهش، سعی بر آن شد تا ضمن توصیف مختصر زمین‌شناسی و پتروگرافی منطقه معدنی خونی بر اساس شواهد موجود، انواع دگرسانی و کانی‌سازی‌های منطقه را بررسی و با استفاده از نتایج

آنالیز لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های مربوط به زون‌های دگرسانی و سنگ‌های آتش‌فشانی منطقه خونی، وضعیت کانی‌سازی طلا و همچنین ارتباط ژنتیکی آن با سایر عناصر موجود در منطقه را بررسی نمود.

۴- بحث

۴-۱- رخداد کانی‌سازی کاظمی (Kh1)

کانی‌سازی کاظمی (تونل شماره ۱) به لحاظ وسعت بزرگ‌ترین کار



تصویر ۲- بخشی از نقشه ۱:۵۰۰۰ منطقه خونی، واحدهای آتش‌فشانی ائوسن کانی‌سازی چشمه خونی (Kh3) بر روی نقشه قابل مشاهده می‌باشند (نظام‌پور ۱۳۸٤).

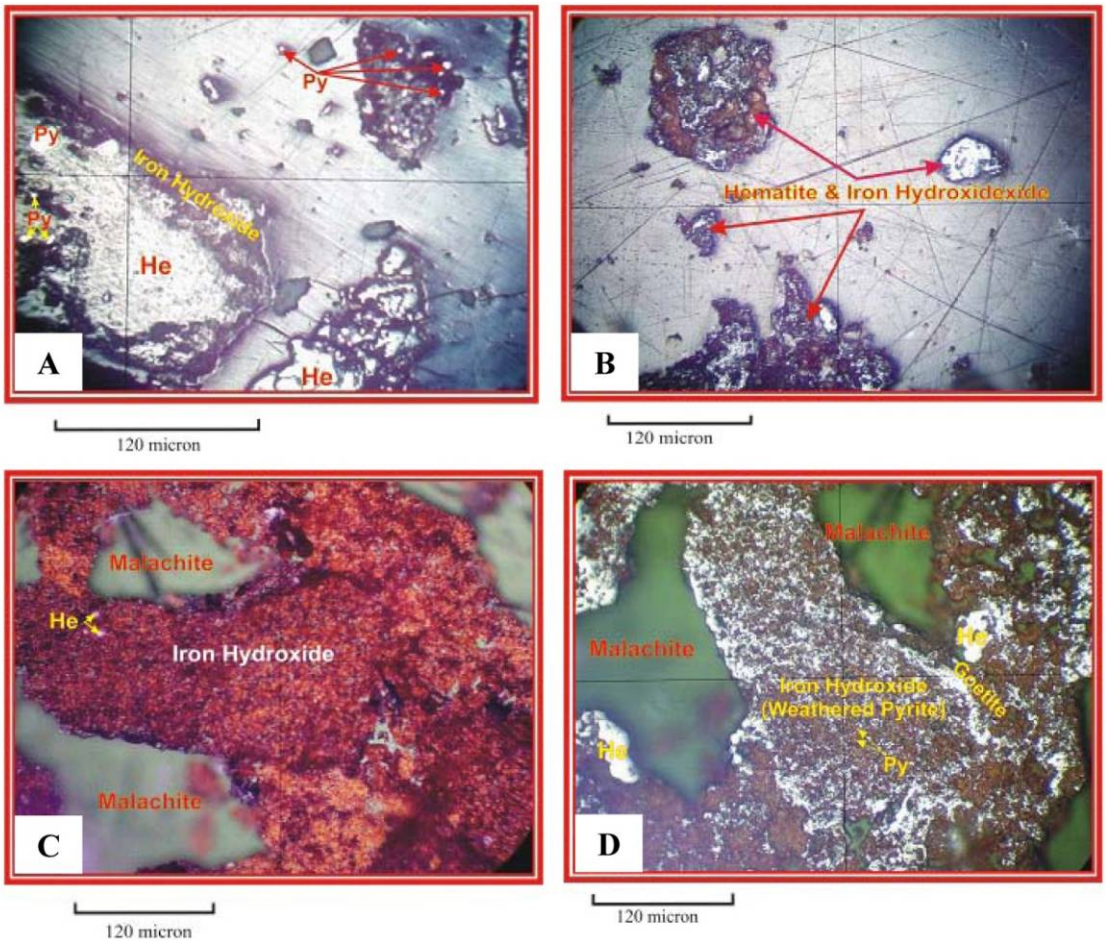
در منطقه خونی محسوب می‌گردد که بر اساس مدارک از اواسط قرن ۱۹ میلادی مورد بهره‌برداری بوده است ادیب (Adib 1972) در رساله دکترای خود، که موضوع اصلی آن مطالعه کانی‌شناسی تونل کاظمی است، گالن، پیریت و کالکوپیریت را جزو مهم‌ترین کانه‌های اولیه عنوان نمود. به عقیده‌ی وی کالکوپیریت در کنار پیریت کانه‌های اصلی حاوی طلا هستند. ادیب حدود ۳۰ کانه‌ی ثانویه در تونل کاظمی تشخیص داد که برخی از آن‌ها برای اولین‌بار در جهان ثبت شده‌اند. خونیت، کرومنیوم، پلومانگیت و کانی مجهول، کانی‌هایی هستند که برای اولین‌بار توسط ادیب معرفی شدند.ادیب در مطالعات خود، مقادیر بالایی از طلا را در رگه‌های تونل کاظمی که تنها محدوده‌ی مطالعاتی وی در این منطقه بوده است محاسبه نمود (متوسط عیار طلا در کارگاه‌های انتهایی تونل کاظمی ppm ۲۰). باید اشاره کرد که این مقادیر هیچ‌گاه تکرار و مورد تأیید قرار نگرفتند. میزبان اصلی کانی‌سازی در این تونل، دولومیت‌های قهوه‌ای با سن پروتروزوئیک هستند (نظام‌پور ۱۳۸٤). این تونل دارای سه رگه‌ی کانه‌دار بوده که روندعمومی آن‌ها N65W است و هم‌خوانی مناسبی با گسل‌های موجود در این تونل دارند. میزبان کانه‌سازی در این رگه‌ها از نوع دولومیت‌های نخودی بوده که تاحدودی تبلور مجدد یافته‌اند. رگه‌های این تونل آن‌چنان تحت‌تأثیر فرایندهای سطحی و هوازدگی قرار گرفته‌اند که امکان تهیه مقاطع صیقلی از آن‌ها به‌سادگی میسر نیست، بنابراین با تزریق رزین چند مقطع از آن‌ها تهیه شد. مطالعه این مقاطع نشان داد که کانه‌های اصلی قابل رؤیت در مقاطع صیقلی تونل کاظمی، لیمونیت و هیدروکسیدهای دیگر آهن، همچون گوتیت است (تصویر۳). 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 (تصویر ۳). نتایج آنالیز شیمیایی نمونه‌های برداشتی از رگه‌های تونل کاظمی، نشان‌دهنده‌ی ارزشمندی عناصر پایه در این تونل است. این نمونه‌ها به روش شیاری- لب‌پری برداشت و با روش ICP-MS آنالیز شدند (نظام‌پور ۱۳۸٤).

۴-۲ رخداد کانی‌سازی شمالی (Kh2)

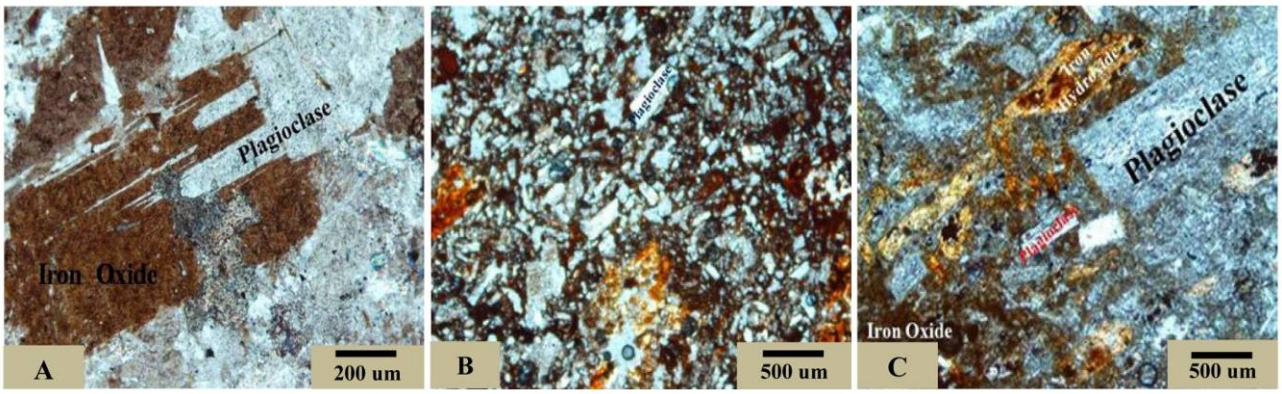
این کانی‌سازی شامل رگه‌های معدنی و مناطق کانی‌سازی با میزبان کربناتی پروتروزوئیک بالایی است. این رگه‌هادر تونل‌های ۲ تا ٦ و همچنین چند رگه‌ی کوچک‌تر که در بخش‌های شمال‌شرقی و شمال‌غربی خونی رخنمون یافته، شناسایی و مطالعه شده‌اند. عیار مجموع عناصر مس، سرب و روی در تونل‌های ٤ و ٥، کمتر از ٥ درصد می‌باشد (حیدریان دهکردی ۱۳۸۸). عیار مولیبدن در این بخش با عیار آن در کانی‌زایی کاظمی، چندان تفاوتی ندارد. بالا بودن مقدار آهن (تصویر٤) در رگه‌های شمالی، از تفاوت‌های ژئوشیمیایی محسوس آن‌ها با کاظمی است، این موضوع در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است. کانه‌ی اصلی در این رگه‌ها، الیژیست و مگنتیت است، گوتیت و سایر کانی‌های ثانویه آهن‌دار نیز، در این رگه‌ها تقریباً به مقدار ناچیزی قابل مشاهده می‌باشند. براساس نمودارهای پولسن و همکاران (Poulsen et al. 2000) ترکیب رگه‌های کانی‌سازی کاظمی مشابه کانسارهای فلزات پایه بوده و رگه‌های کانی‌سازی شمالی در گروه کانسارهای پورفیری یا اسکارنی قرار دارند. هرچند قبول این مسئله تا حدودی با توجه به خصوصیات لیتولوژیکی میزبان و نحوه رخداد کانی‌سازی مشکل است؛ اما با توجه به گزارش اسکارن و اسکارنوئید در پایین دست این رگه‌ها توسط نظام‌پور و رساء (۱۳۸٤)، قابل تأمل است. این روند کانی‌سازی‌ها در امتداد شاخه‌های شمالی ساختار حلقوی کال‌کافی- خونی که توسط نظام‌پور و رساء (Nezampour & Rassa 2005) معرفی گردیده، می‌باشد. علی‌رغم کلیه‌ی تفاوت‌ها، میزبان رگه‌های (Kh2) با رگه‌های (Kh1) چندان تفاوتی نداشته و از دولومیت‌های نسبتاً متبلور تشکیل شده است. بررسی کانی‌شناسی میکروسکوپی، حضور الیژیست، هماتیت و به‌مقدار کمتر مگنتیت را در رگه‌ها به عنوان کانی اصلی تأیید می‌نماید.

۴-۳- رخداد کانی‌سازی چشمه خونی (KH3)

کانی‌سازی چشمه خونی در بخش شرقی منطقه مورد مطالعه شامل یک‌سری مناطق رگچه‌ای و پراکندگی سریسیتی- آرژیلیتی با میزبان سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن می‌باشد، که اولین‌بار توسط (نظام‌پور و رساء ۱۳۸٤) معرفی گردیده‌اند. این کانی‌سازی یکی از مهم‌ترین مناطق امیدبخش در منطقه خونی محسوب می‌گردد. ماده معدنی به صورت رگه‌ای و کانی‌های اصلی آن مگنتیت، هماتیت و به مقدار جزئی گوتیت می‌باشند. واحد آتش‌فشانی کانی‌سازی چشمه خونی تیره رنگ بوده و جلای ورنی دارد. بخش گدازه‌ای با ضخامت قابل توجه و مورفولوژی صخره‌ساز، بلندترین ارتفاعات محدوده شرق منطقه خونی (به طرف چاه خونی) را نشان می‌دهد. واحدهای ائوسن، تحت‌تأثیر تزریق توده‌های نفوذی و سیالات گرمابی، متحمل دگرسانی‌های آرژیلیتی، سریسیتی و کائولینیتی، به رنگ‌های سفید تا آجری و نخودی شده‌اند که اغلب توسط درزه‌های آغشته به هیدروکسیدهای آهن، همراهی می‌شوند. بخش شرقی منطقه مورد مطالعه، زون‌های رگچه‌ای و پراکندگی سریسیتی- آرژیلیتی با میزبان سنگ‌های آتش‌فشانی ائوسن قابل مشاهده است. مطالعات پتروگرافی نمونه‌های برداشتی از واحد آتش‌فشانی شرق منطقه خونی (آندزیت و تراکی آندزیت) نشان‌دهنده بالا بودن آغشتگی اکسید آهن در نمونه‌های این واحد است.



تصویر ۳- مقاطع صیقلی تهیه شده از 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، اکسیدهای آهن و به مقدار جزئی مالاکیت مشاهده می‌شود (نور پلاریزه متقاطع)، D- در این مقطع هماتیت (He)، گوتیت، پیریت (Py) و به مقدار جزئی مالاکیت قابل مشاهده می‌باشد (نور پلاریزه متقاطع).



تصویر٤- تصاویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از کانی‌سازی شمالی، حضور اکسید و هیدرواکسیدهای آهن در مقاطع این کانی‌سازی به‌خوبی قابل مشاهده است (ppl)، بیشتر مقاطع این کانی‌سازی، آغشتگی اکسید و هیدرواکسیدهای آهن را نشان می‌دهند.

همچنین در برخی مقاطع، اکسیدهای آهن به صورت ادخال درون پلاژیوکلازها قابل مشاهده می‌باشند (تصویر۵- A,B). پلاژیوکلاز در برخی نمونه‌ها به صورت فنوکریست و میکروفنوکریست و در برخی از نمونه‌ها در سه‌بعد، میکروفنوکریست تا میکرولیتی قابل مشاهده است. در تعداد زیادی از نمونه‌ها پلاژیوکلازها آرژیلیتی شده و به کانی رسی تبدیل شده‌اند. در چند مقطع پلاژیوکلاز تری‌کلینیک نیز دیده می‌شود. همچنین هماتیتی شدن و آرژیلیتی‌شدن نیز در این نمونه قابل مشاهده است. پلاژیوکلازها اغلب به کانی‌های رسی آلتره شده‌اند،

همچنین درصد آهن و کانی‌های فلزی در مقطع نسبتاً بالا می‌باشد زمینه در بیشتر نمونه‌ها کلریتی شده است (تصویر ۵-C). کانی‌های مافیک در این واحد اغلب آمفیبول و پیروکسن (تصویر ۵-E,D) و کانی‌های فرعی کلریت و به مقدار جزیی آپاتیت و بیوتیت می‌باشند. میله‌های آپاتیت، با ابعاد کوچک و بزرگ در برخی مقاطع به‌خوبی قابل مشاهده می‌باشند (این آپاتیت‌ها منشاء ماگمایی دارند)، (تصویر ۵-F). درصد کانی مافیک آمفیبول در نمونه‌های منطقه بالا است، البته آمفیبول از بین رفته و قالب آن توسط کلسیت جانشین شده است. در این نمونه‌ها، قالب‌های آمفیبول اغلب به شکل لوزی و بلورهای کشیده‌ی شش‌ضلعی قابل مشاهده هستند. درصد ترک و شکستگی در مقطع بالا بوده و شکستگی‌ها توسط کلسیت پر شده‌اند، همچنین زمینه کاملاً کلریتی شده است (تصویر ۵-H,G). کانی ثانویه در این مقطع کلریت است. آنالیز عنصری نمونه‌های برداشتی از این زون‌ها و رگه‌های کانی‌سازی چشمه خونی نیز کانه‌سازی صرفاً طلا را مورد تأیید قرار می‌دهد (Heydarian et al. 2010).

این کانی‌سازی اکسیدی بوده و صرفاً به جهت وجود طلا اهمیت داشته و فاقد مقادیر ارزشمند از سایر عناصر می‌باشد. بررسی مینرالوگرافی کانی‌سازی چشمه خونی نتیجه‌ای مشابه با کانی‌سازی شمالی دارد، به عبارتی مگنتیت کانه‌ی اصلی در این کانی‌سازی است و آثاری از کانه‌های عناصر پایه، در آن دیده نمی‌شود.با این حال طلا، در تعدادی از نمونه‌ها قابل مشاهده است. به‌نظر می‌رسد کربنات کانی غیراپاک و به‌عبارتی دیگر گانگ اصلی همراه کانی‌سازی بوده و همراهی طلا با این رگه‌ها نیز در مقاطع مطالعه شده مشخص است (تصویر ٦).

۵- دگرسانی در منطقه خونی

کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی را که تحت‌تأثیر سیالات ماگمایی و یا گرمابی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود، دگرسانی گویند. دگرسانی؛ ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. عوامل مؤثر بر انواع دگرسانی عبارتند از: ترکیب شیمیایی محلول گرمابی یا ماگمایی، دما، عمق، شرایط fO_2, pH, fS_2 و Eh محلول، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ میزبان و دیواره. گسترش و شدت دگرسانی به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمابی یا ماگمایی، میزان ساختمان‌های اولیه یا ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد. به‌طور کلی دگرسانی در کانسارهای رگه‌ای محدود به رگه‌ها است (شهاب‌پور ۱۳۸۰). در منطقه خونی، تزریق توده‌های نفوذی و در پی آن صعود سیالات تأخیری سیلیسی، باعث دگرسانی در بعضی از سنگ‌ها شده است. مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و نتایج پراش اشعه‌ی ایکس نمونه‌ها نشان‌دهنده‌ی دگرسانی‌هایی از جمله گرسانی آرژیلی، لیسونیتی و تشکیل تالک و سرپانتین در منطقه است.

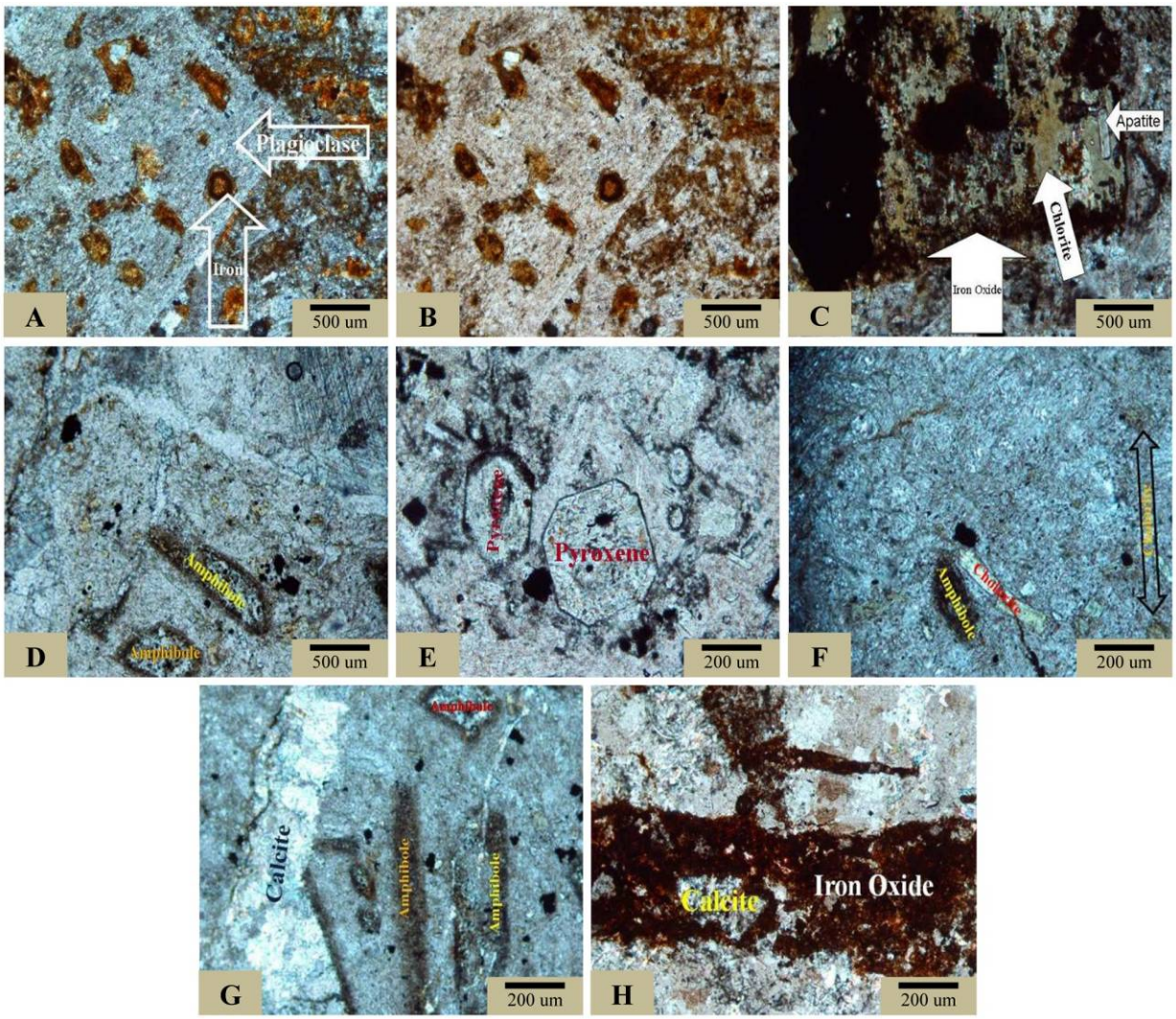
۵-۱- دگرسانی آرژیلیک

دگرسانی آرژیلیک با حضور کانی‌های رسی مشخص می‌شود. ضمن تشکیل این نوع دگرسانی در شرایط اسیدی، تمامی کاتیون‌های قلیایی به‌طور کامل یا به‌طور وسیعی از سنگ بیرون کشیده می‌شوند. چنان‌چه مقادیر محدودی پتاسیم، کلسیم و منیزیم در سنگ باقی بماند صرف تشکیل مونت‌موریلونیت، ایلیت، هیدرومیکا و کلریت می‌شود. این کانی‌ها همراه با کائولینیت یا بدون کائولینیت به دگرسانی رسی حدواسط موسوم است. در برخی شرایط، هجوم سیالات اسیدی باعث تشکیل کائولینیت- دیکیت و در برخی موارد نیز سبب تشکیل پیروفیلیت خواهد شد. در صورتی که این فازها همراه با دیاسپور، کوارتز یا سیلیکای آمورف، آندالوزیت یا ندرتاً کرندوم باشند، دگرسانی رسی پیشرفته را خواهیم داشت. پیریت کانی سولفیدی اصلی که با دگرسانی رسی یافت البته کالکوپیریت و گاهی بورنیت نیز ممکن است با این دگرسانی یافت شوند. آرسنیک به صورت انارژیت و تتراهدریت همراه با این نوع دگرسانی یافت می‌شود (Guilbert & Park 1996). دگرسانی آرژیلیک در بیشتر نمونه‌های برداشتی از کانی‌سازی چشمه خونی قابل مشاهده است. این نوع دگرسانی به رنگ‌های سفید، آجری تا قهوه‌ای روشن در حواشی دایک‌های مونزونیتی و در اطراف درز و شکستگی‌های واحد آتش‌فشانی ـ آذرآواری ائوسن نمود بیشتری دارد. به نظر می‌رسد که حواشی دایک‌ها، به عنوان نقاط ضعفی، برای صعود سیالات گرمابی نقش داشته‌اند.این سیالات در مسیر خود، حواشی دایک‌ها را دگرسان نموده و آن‌ها را به رنگ قرمز ـ صورتی تا آجری درآورده‌اند. علاوه بر آن، واکنش این سیالات با سنگ‌های کربناتی، مرمریتی و دولومیتی منجر به تغییررنگ، تبلور مجدد و تشکیل برخی از کانی‌های رسی شده است. نتایج مطالعات ایکس‌آردی (XRD) دو نمونه متعلق به بخش‌های دگرسان شده‌ی دایک مونزونیتی (Kh-H1) و (Kh-H2) نیز نتایج این نوع آنالیز برای نمونه‌ای که از دولومیت دگرسان شده در همبری با حاشیه‌ی دایک برداشت شده (Kh-H3) به صورت زیر می‌باشد:

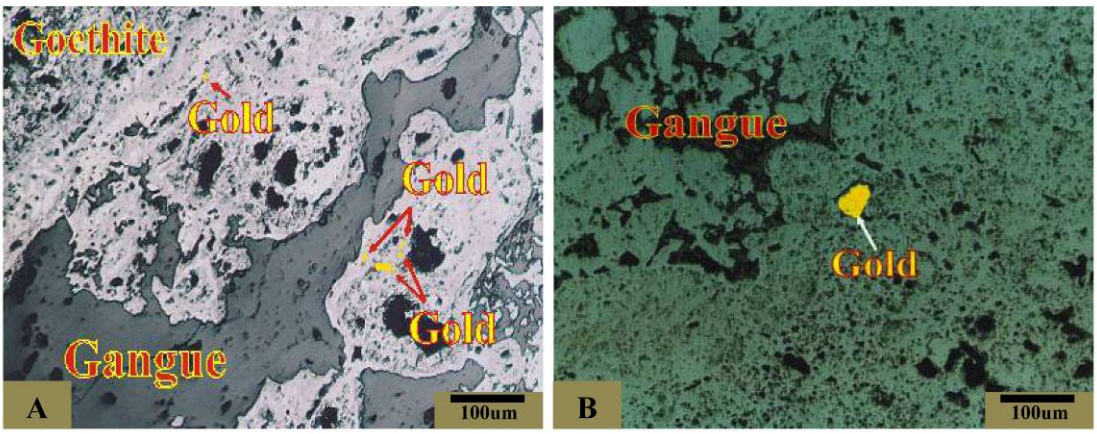
Kh-H1: Kaolinite + Quartz + Calcite + Dolomite + Hematite + Rutile + Bohemite + Gypsum

Kh-H2: Dolomite + Quartz + Calcite + Kaolinite + Montmorillonite

Kh-H3: Kaolinite + Quartz + Calcite + Chlorite + Illite + Hematite + Feldspar



تصویر ۵- مقاطع تهیه شده از واحد آتشفشانی کانی‌سازی چشمه خونی. A- تصویر میکروسکوپی ادخال اکسیدهای آهن درون پلاژیوکلاز (ppl)، B- تصویر میکروسکوپی ادخال اکسیدهای آهن درون پلاژیوکلاز (xpl)، C- در این مقطع زمینه در اکثر بخش‌ها کلریتی شده است و قالب‌های آمفیبول نیز به خوبی قابل مشاهده می‌باشد (ppl)، D وE- تصویر میکروسکوپی از کانی‌های مافیک آمفیبول و پیروکسن در مقاطع کانی‌سازی چشمه خونی (ppl)، F- تصویرمیکروسکوپی از کانی‌های فرعی آپاتیت و کلریت در مقاطع کانی‌سازی چشمه خونی (ppl)، Gو H- درصد ترک و شکستگی در این نمونه‌ها بالا است و اغلب شکستگی‌ها توسط کلسیت پر شده‌اند. در این مقاطع زمینه کاملاً کلریتی شده است و قالب بلورهای کشیده آمفیبول نیز قابل مشاهده می‌باشند (ppl).



تصویر ٦- A، B- تصویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از کانی‌سازی چشمه خونی، در این مقاطع چندین ذره طلا با بافت و شکل مختلف قابل مشاهده است، کانی باطله در این مقاطع از گروه کربنات‌ها هستند (xpl)، مقیاس مقاطع (100um).

دگرسانی آرژیلیتی، در قسمت‌هایی از واحدهای آتش‌فشانی ــ آذرآواری ائوسن نیز مشاهده شده است. نتیجه‌ی آنالیز XRD برای نمونه‌ای (Kh-H4) که از یک رخنمون دگرسان شده نخودی ـ آجری رنگ برداشت شده است به صورت زیر است:

Kh-H4: Albite + Quartz + Orthoclase + Montmorillonite + Muscovite + Illite

به‌طور کلی این گروه، عناصر شاخص دگرسانی آرژیلیک بوده و با توجه به شواهد صحرایی و ارتباط پدیده‌های مورد نمونه‌برداری با شکستگی‌ها و شواهد حرکت سیالات گرمابی، می‌توان ایجاد آن را به یقین، متأثر از پدیده‌های گرمابی دانست. مقاطع تهیه شده از این بخش نشان‌دهنده‌ی آن است که پلاژیوکلازها به شدت دگرسان شده و به کانی رسی تبدیل شده‌اند (تصویر۷).

۵-۲- دگرسانی لیستونیتی

افق‌های مرمری ـ دولومیتی موجود در واحد شیستی پرکامبرین منطقه مورد مطالعه که تحت‌تأثیر محلول‌های هیدروترمال غنی از سیلیس قرار گرفته‌اند، به سنگی با ترکیب مشابه با لیستونیت تحول یافته‌اند. همچنین در نزدیکی چاه خونی (واقع در کانی‌سازی چشمه خونی) نیز لیسونیتی شدن نمونه‌ها قابل مشاهده است. بررسی مقاطع نازک نمونه‌های برداشت‌شده Kh-H5، ماهیت لیستونیتی این سنگ‌ها را نشان می‌دهد. این کانی‌شناسی به‌صورت زیر است:

Kh-H5: Dolomite + Quartz + Chlorite + Kaolinite + Hematite + magnetite + Feldspar

۵-۳- دگرسانی تالک (سرپانتین)

بخش‌های وسیعی از واحدهای متاولکانیک بازیک و یا مافیک واحد شیستی پرکامبرین، به تالک و سرپانتین دگرسان شده و به رنگ‌های سبز روشن تا سفید قابل مشاهده می‌باشند. همچنین این دگرسانی در غرب چاه خونی نیز قابل مشاهده است. مطالعه XRD بر روی دو نمونه Kh-H6 و Kh-H7 از رخنمون‌های سفید رنگ مشکوک به تالک، حضور این کانی را در نمونه‌ها نشان داد.

Kh-H6: Talk + Kaolinite + Quartz + Dolomite + Chlorite + Illite + Feldspar

Kh-H7: Talk + Tremolite, sodian + Clinochlore IIb + Quartz + Calcite

۵-۴- سایر دگرسانی‌ها

برپایه‌ی مطالعات صحرایی و همچنین تحقیقات رساء و نظام‌پور (۱۳۸۵) و یانکوونکو (Yankovenko et al. 1981)، دگرسانی‌های دیگری نیز در منطقه مشاهده و گزارش شده است. اسکارنی شدن یکی از این نوع دگرسانی‌ها است که در شمال کوه خونی و در همبری زبانه‌های نفوذی با کربنات‌های پرکامبرین ایجاد شده است. کانی‌شناسی این نوع دگرسانی بر اساس تجزیه با روش XRD برای نمونه Kh-H8 به صورت زیر است.

Kh-H8 : Calcite + Grossular + Vesuvianite + Pyroxene + Montmorillonite + Kaolinite + Quartz

آلونیتی شدن نیز در بخش‌های غربی منطقه مشاهده و حضور آن در مطالعات کانی‌شناسی دو نمونه Kh-H9 و Kh-H10 به روش XRD به صورت زیر تأیید شد.

Kh-H9: Halloysite + Natroallunite + Quartz

Kh-H10: Quartz + Alunite + Calcite + Kaolinite + Muscovite + Sanidine + Dolomite

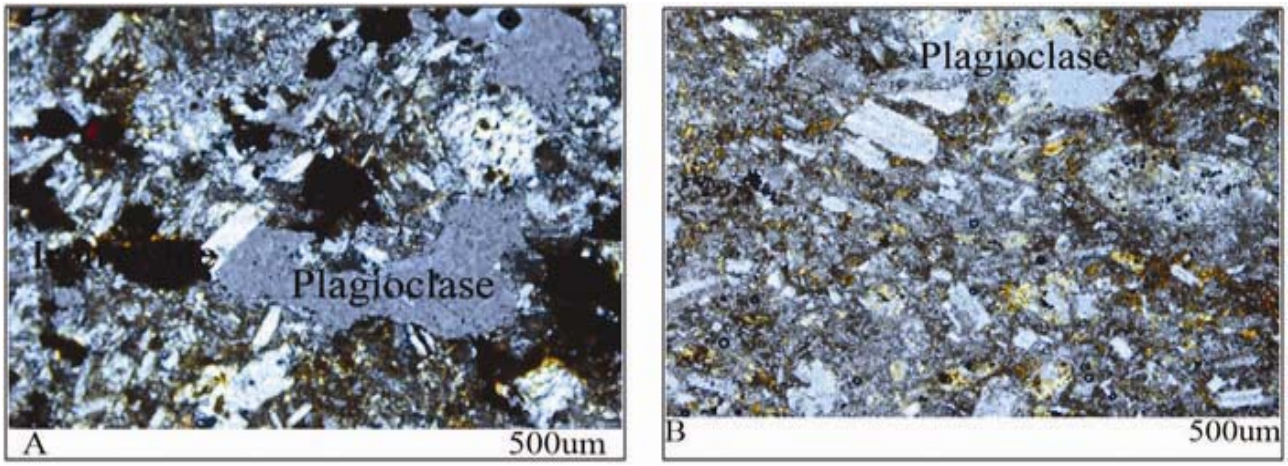
توده‌های نفوذی و آتش‌فشانی موجود در منطقه به طور ضعیفی متحمل دگرسانی شده‌اند. بر اساس مشاهدات صحرایی، پروپیلیتی شدن به‌ویژه از نوع کلریتی شدن، شایع‌ترین نوع دگرسانی رخ داده در این واحدها است. مطالعات کانی‌شناسی نظام‌پور (۱۳۸٤) نیز آن را تأیید می‌کند. گروه کانی‌های زیر نتیجه‌ی تجزیه‌ی یکی از این نمونه‌ها (Kh-H11) است.

Kh-H11: Quartz + Chlorite + Calcite + Muscovite + Albite

آخرین و درعین‌حال جالب‌ترین نوع دگرسانی قابل تشخیص در منطقه، وجود و تشخیص دولومیت‌های زین اسبی یا باروک می‌باشد. این نوع دولومیت‌ها به عقیده‌ی فلوگل (Flügel 2004)، در اثر عملکرد شورابه‌های حوضه‌ای و در دماهای کمتر از ۱٦۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد شده‌اند.

۶- آنالیز لیتوژئوشیمیایی طلا و سایر عناصر و بررسی ارتباط ژنتیکی آن‌ها با یکدیگر

نمونه‌ها برای آنالیزهای لیتوژئوشیمیایی، از رگه‌ها و زون‌های طلادار و سنگ‌های آتشفشانی کانی‌سازی چشمه خونی (شرق منطقه) برداشت شدند. با توجه به آن‌که هدف اصلی تعیین میزان دقیق طلا و عناصر همراه بود، بنابراین وزن نمونه‌ها ٤ تا ٦ کیلوگرم در نظر گرفته شد. برای آنالیز نمونه‌ها به روش ICP-MS، نمونه‌ها پس از جمع‌آوری و شماره‌گذاری در کیسه‌های پلاستیکی مقاوم قرار داده شده و به آزمایشگاه ALS Chemex کانادا ارسال شدند. آنالیز لیتوژئوشیمیایی ۳٤ نمونه مورد مطالعه (جدول ۱)، نشان داد که کانی‌زایی‌های طلا در منطقه خونی دارای میزبان آتش‌فشانی هستند. نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و دارای رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی شرق منطقه و در نزدیکی با همبری شیست‌ها، عیارهای قابل توجهی از طلا را نشان داد (حیدریان دهکردی ۱۳۸۸).



تصویر ۷- تصاویر میکروسکوپی مقاطع تهیه شده از کانی‌سازی چشمه خونی- در این مقاطع پلاژیوکلاز به کانی رسی تبدیل شده است. همچنین در این مقاطع درصد اکسیدآهن بسیار بالا می‌باشد، در مقطع B نیز زمینه کاملاً کلریتی شده است (ppl).

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

UNITS	Au ppb	Cu ppm	Fe ppm	Al ppm	Mg ppm	Mn ppm	Mo ppm	Tl 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		
Kh-H19	11	34.2	46900	81100	7090	499		
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		

مطالعات صورت گرفته در منطقه خونی و نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی شرق منطقه نشان داد که طلا در همبری شیست‌های چشمه‌خونی بیشترین عیار را داشته و با دور شدن از این همبری، به طرف شرق عیار طلا کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی که وسعت قابل توجهی را در شرق منطقه دارند، گزینه‌ای مناسب جهت ادامه مطالعات مدنظر باشند. مقدار مس در همبری شیست‌های منطقه نسبت به بخش‌های درونی کاهش یافت. با در نظر گرفتن این موضوع که رخنمون‌های اصلی منطقه را سنگ‌های آتش‌فشانی حدواسط می‌پوشانند، عیارهای مس حتی از حد زمینه این سنگ‌ها نیز کمتر است و نمی‌توان به کانی‌سازی در آن چندان امید داشت. از مهم‌ترین کانی‌های آهن در این منطقه هماتیت، مگنتیت و به مقدار جزئی گوتیت را می‌توان نام برد. اما عیار آهن در این منطقه نسبت به کلارک جهانی پایین است و به لحاظ اقتصادی چندان حائز اهمیت نمی‌باشد. همچنین بخش‌های با آهن بالاتر با نمونه‌های پر عیار طلا هم‌خوانی ندارد، بنابراین عدم همراهی این عنصر با طلا بهتر مشخص می‌شود. سنگ‌های آتش‌فشانی شرق منطقه خونی از نظر وجود سرب به لحاظ اقتصادی چندان اهمیت ندارند. بر خلاف آهن و مس، نمونه‌های پر عیارتر سرب با طلا همراهی می‌شوند، بنابراین احتمال ارتباط ژنتیکی این عناصر، علی‌رغم عدم ارزشمندی سرب، وجود دارد. این منطقه از نظر وجود روی به لحاظ اقتصادی اهمیت چندانی ندارد، هر چند که عیار حتی نزدیک به ۳۰۰ 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 است. منطقه‌ی مورد مطالعه از نظر نقره بسیار فقیر است. نمونه‌های پر عیار نقره دقیقاً با شکستگی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی منطقه همراهی می‌شوند، همچنین محل نمونه‌های پر عیار طلا با نقره تطابق معنی‌داری ندارند. عیارهای گوگرد هرچند در مقادیر بیشینه، اندکی قابل تأمل است، اما نمی‌تواند چندان حایز اهمیت باشد، زیرا اصولاً منابع اقتصادی این عنصر خود بیش از ۵۰ درصد گوگرد دارند و به‌علاوه در کانی‌سازی‌های پلی‌متال و فلزی همراه با گوگرد عیار این عنصر به چند درصد می‌رسد. این موضوع با عدم رؤیت کانی‌سازی سولفیدی به همراه کانی‌سازی طلا مطابقت داشته و احتمال کانی‌سازی همراه با فاز اکسیدی را قوت می‌بخشد. عیار آرسنیک در حد زمینه سنگ‌های آتش‌فشانی حدواسط است که بخش عمده منطقه را پوشانیده است.

هرچند این عنصر نیز همانند نقره تا حدودی در نواحی تکتونیزه افزایش عیار نشان داد، اما کمی عیار باعث می‌شود ارزش مطالعاتی این عنصر بسیار کم‌رنگ باشد. با توجه به نتایج حاصل در سنگ‌های آتش‌فشانی منطقه، طلا برخلاف سایر عناصر، نه‌تنها در مقیاس اکتشافی، بلکه به لحاظ اقتصادی نیز دارای عیارهای ارزشمندی است.

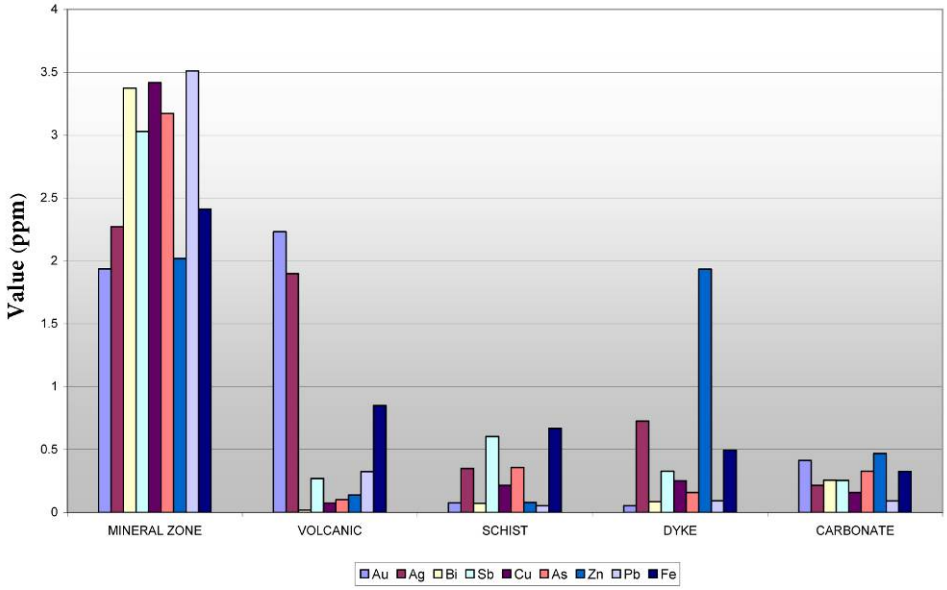
۷- بررسی روابط همبستگی داده‌های لیتوژئوشیمیایی

به‌طور کلی روش‌های چندمتغیره، امکان آنالیز آماری هم‌زمان چندین متغیر را فراهم می‌کنند. در ژئوشیمی اکتشافی می‌توان تغییرپذیری هم‌زمان چندین عنصر (متغیر) را برای کشف دقیق‌تر آنومالی‌های احتمالی مورد بررسی قرار داد. نکته‌ای که در آمار چند متغیره باید به آن توجه شود، تعداد نمونه‌های جامعه مورد مطالعه است. معمولاً روش‌های چند متغیره، نیازمند تعداد زیادی نمونه هستند. برای داشتن معیاری از همبستگی دو متغیر، بدون وابستگی به واحد اندازه‌گیری داده‌ها، پارامتر آماری به نام ضریب همبستگی تعریف می‌شود. در محاسبه‌ی ضریب همبستگی نیز مانند بسیاری از پارامترهای آماری فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. در شرایطی که این فرض برقرار نباشد، برای محاسبه‌ی ضریب همبستگی می‌توان از روش‌های ناپارامتری که به توزیع داده‌ها حساس نمی‌باشند استفاده نمود. در این پژوهش، ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن محاسبه شده است. با توجه به این موضوع که کانی‌سازی بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی و زون مینرالیزه صورت گرفته است برای بررسی کانی‌سازی در آن‌ها، ضرایب همبستگی عناصر مرتبط با کانی‌سازی در این دو جامعه بررسی گردید. برای مقایسه شدت غنی‌شدگی هر یک از عناصر در جوامع سنگی مختلف مقدار نسبت میانگین هر عنصر در هر جامعه به میانگین کل آن عنصر در منطقه اکتشافی محاسبه شد (تصویر ۱۰).

بر اساس این نمودار، کانی‌سازی طلا در دو جامعه زون مینرالیزه و سنگ‌های آتشفشانی دارای اهمیت است. به‌عبارتی می‌توان گفت که کانی‌سازی عنصر طلا در زون مینرالیزه و سنگ‌های آتشفشانی صورت گرفته و میانگین عیار نمونه‌ها در این دو جامعه به عیار حد کانی‌سازی کانساری نزدیک است. با توجه به همبستگی عناصر مختلف به‌ویژه عنصر طلا و عناصر ردیاب آن، این نتیجه حاصل می‌گردد که کانی‌سازی طلا در سنگ‌های آتشفشانی با کانی‌سازی این عنصر در زون مینرالیزه متفاوت است زیرا عناصر ردیاب طلا در سنگ‌های آتشفشانی با این عنصر همبستگی بسیار ضعیفی دارند.

علی‌رغم آن‌که به‌جز طلا عیار هیچ‌یک از عناصر دیگر در رگه‌های کانی‌سازی چشمه خونی در حد اقتصادی نمی‌رسد اما وجود تغییرات معنی‌دار و به‌عبارتی افزایش و کاهش هماهنگ عیار برخی عناصر در مقایسه با تغییرات عیاری طلا می‌تواند بر ارتباط ژنتیکی آن‌ها دلالت داشته باشد. نتایج حاصل از ضریب همبستگی رتبه‌ای اسپیرمن میان طلا

و سایر عناصر، نشان‌دهنده‌ی آن است که طلا صرفاً با عناصر Mn, Mo, Ba, W, Rb, Tl همبستگی نسبتاً بالایی دارد. همچنین بر اساس نتایج می‌توان گفت که طلا از نظر زایشی با عناصر Mo,Ba,W در ارتباط است. زیرا به‌غیر از چند مورد خاص الگوی تغییرات عیاری این عناصر در مقابل عناصر دیگر بسیار مشابه است که نشان از ارتباط آن‌ها با یکدیگر دارد.



تصویر ۱۰- مقایسه مقدار میانگین عناصر مرتبط با کانی‌سازی در جوامع مختلف

۸- نتیجه‌گیری

به‌طور کلی تزریق توده‌های نفوذی و در پی آن صعود سیالات سیلیس‌دار در محدوده‌ی خونی، موجب رخداد دگرسانی در بعضی از سنگ‌ها شده است. با توجه به مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس، دگرسانی آرژیلی، لیسونیتی و تشکیل تالک و سرپانتین، عمده‌ترین انواع دگرسانی در محدوده‌ی مورد مطالعه می‌باشند. آنالیزهای لیتوژئوشیمیایی نمونه‌های برداشتی از رگه‌ها و زون‌های طلادار کانی‌سازی چشمه خونی، نشان‌دهنده آن است که کانی‌زایی‌های طلا در منطقه خونی دارای میزبان آتش‌فشانی است. مطالعه نمونه‌های برداشتی از زون‌های دگرسانی و رگچه‌های موجود در سنگ‌های آتش‌فشانی شرق منطقه و در نزدیکی با همبری شیست‌ها، عیارهای قابل‌توجهی از طلا را نشان داد که با دورشدن از این همبری‌ها به طرف شرق عیار طلا کاهش یافت. بنابراین به نظر می‌رسد سنگ‌های آتش‌فشانی چشمه خونی که وسعت قابل توجهی را در شرق منطقه‌ی خونی دارند، گزینه‌ی مناسب جهت ادامه‌ی مطالعات مدنظر باشند. با توجه به نتایج حاصل در منطقه‌ی خونی، تنها طلا در مقیاس اکتشافی و به لحاظ اقتصادی دارای عیارهای ارزشمندی است. علی‌رغم آن‌که به جز طلا عیار هیچ یک از عناصر دیگر در رگه‌های کانی‌سازی چشمه خونی در حد اقتصادی نمی‌رسد اما وجود تغییرات معنی‌دار و به عبارتی افزایش و کاهش هماهنگ عیار برخی عناصر در مقایسه با تغییرات عیاری طلا می‌تواند بر ارتباط ژنتیکی آن‌ها دلالت داشته باشد.

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*.

باباخانی، ع.، رادفر، ج. و مجیدی، ج.، ۱۳۷۶، "بررسی‌های دورسنجی در محدوده کوه خونی _ کوه کال‌کافی"، *شرکت ملی صنایع مس ایران*، ۳۶ ص.

حیدریان دهکردی، ن.، رساء، ا. و مقدسی، ج.، ۱۳۸۹، "بررسی رخدادهای کانی‌سازی در منطقه خونی، شمال شرق انارک"، *چهاردهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران و بیست و هشتمین گردهمایی علوم زمین، دانشگاه ارومیه*.

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 پیام نور مرکز تهران*، ۱۸۳ ص.

حیدریان دهکردی، ن.، مقدسی، ج. و رساء، ۱۳۸۸، "بررسی عیار طلا، سرب، روی و مس در تونل‌های معدن خونی، شمال شرق انارک"، *سومین کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه یزد*.

شهاب پور، ج.، ۱۳۸۰، "زمین‌شناسی اقتصادی"، *دانشگاه باهنر کرمان، ۵۳۰ ص.*

نظام‌پور، ه.، ۱۳۸٤، "ژئوشیمی و دورسنجی و سنگ‌شناسی جهت تعیین خاستگاه کانه‌زایی‌ها در منطقه خونی نایین"، *پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده علوم‌زمین دانشگاه شهید بهشتی.*

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

Flügel E., 2004, "Microfacies of carbonate rocks analysis, interpretation and application", *Springer-Verlag, New York, 976 pp.*

Guilbert, J. M. & Park, Jr. C. F., 1996, "The geology of ore deposits", *Freaman and Company, New York, 985 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).*

Nezampour, H. & Rassa, I. 2005, "Using remote sensing technology for the determination of mineralization zones in the Kal-e-Kafi porphyritic deposit, Anarak, Iran", *Mineral Deposite Research: 40th Meeting the Global Challenge, China.*

Romanko, E., Kokorin, Y., Krivyakin, B., Susov, M., Morozov, L. & Sharkovski, M., 1984, "Outline of metallogeny of Anarak area (Central Iran)", *Geological Survey of Iran, Report Techno Export/No. 21.*

Stöcklin, J., 1977, "Structural correlation of the Alpine ranges between Iran and central Asia", *Memoire hors serie de la Societe Geologique, Vol. 8: 333-353.*

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