مجله زمین شناسی اقتصادی
سال ۱۳۸۹، شماره ۲، (جلد ۳)
صفحه : ۱۶۷ تا۱۸۹

Journal of Economic Geology
2010- 2011, No. 2 (Vol. 3)
ISSN 2008-7306

زمین‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی محدوده جنوب ارغش (نیشابور)

زهرا کریمی سعیدآبادی، سیداحمد مظاهری، محمدحسن کریم‌پور

گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۲۰، نسخه نهایی : ۱۳۸۹/۴/۵

چکیده

منطقه ارغش در ۴۵ کیلومتری جنوب‌غرب نیشابور واقع شده است. واحدهای نیمه‌عمیق در منطقه شامل بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری می‌باشد. واحدهای آتشفشانی در منطقه شامل هورنبلند بیوتیت داسیت، بیوتیت هورنبلند داسیت، آندزیت و بازالت‌بالشی است. واحدهای درونی شامل هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزونیت، کوارتز مونزونیت، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت، بیوتیت گرانودیوریت، هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت کوارتز دیوریت و پیروکسن دلریت می‌باشد.

پنج نوع آلتراسیونی که در منطقه شناسایی شده شامل پتاسیک، پروپیلیتیک، کربناته، سیلیسی و سرسیتی است و براساس فراوانی کانیهای حاصل از دگرسانی به ۱۲ زون تفکیک شده است. کانی‌سازی اولیه از نوع کانی سولفیدی پیریت به‌صورت افشان با فراوانی ۳-۴٪ بوده و کانی‌سازی ثانویه شامل لیمونیت، هماتیت و ژاروسیت است. برای انجام مطالعات دقیق هاله‌های ژئوشیمیایی و مشخص کردن زون‌بندی ژئوشیمیایی عناصر، تعداد ۲۰ نمونه خرده‌سنگی و ۸ نمونه رسوب آبراهه برداشت شد. نمونه‌ها به روش طیف‌سنجی جذب اتمی (AAS) برای فراوانی عناصر (Cu, Zn, Pb, Ag and Sb) آنالیز شدند. در نمونه‌های رسوب رودخانه فراوانی مس 58-34 ppm، روی422-45 ppm، سرب42-28 ppm و نقره 2- 12 ppm می‌باشد، در حالی‌که در نمونه‌های خرده‌سنگی میزان مس1137-8 ppm، روی 411-13 ppm، سرب 97-15 ppm و نقره 32-3 ppm است.

واژه‌های کلیدی: *ارغش، مس پورفیری، پتاسیک، ایران مرکزی.*

مقدمه

منطقهٔ مطالعاتی در استان خراسان رضوی و در فاصله ۴۵ کیلومتری جنوب غرب شهرستان نیشابور در گستره‌ای بین طولهای جغرافیایی ″۵۶ ′۳۳ °۵۸ تا ″۰۰ ′۳۵ °۵۸ شرقی و عرضهای جغرافیایی ″۰۲ ′۵۱ °۳۵ تا ″۵۵ ′۵۱ °۳۵ شمالی قرار دارد. این منطقه از نظر تقسیمات ساختاری در زون ایران مرکزی قرار دارد و در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن واقع شده است. دسترسی به این منطقه از طریق جاده اصلی نیشابور به کاشمر و راههای فرعی منشعب شده از آن امکان‌پذیر است. مطالعات انجام شده پیشین شامل یک‌سری مطالعات در شرق منطقه مورد مطالعه در محدوده‌ای به وسعت ۲۵ کیلومترمربع تحت عنوان پروژه اکتشاف طلا توسط سازمان زمین‌شناسی می‌باشد ولی در منطقه مورد نظر تاکنون کار تحقیقاتی انجام نگرفته است.

امروزه ارتباط کانی‌سازی هیدروترمال نوع رگه‌ای با توده‌های نفوذی ثابت شده است و نمونه‌های فراوانی را از این مورد می‌توان نام برد.

همچنین در مناطقی از جهان و هم در ایران می‌توان کانی‌سازی اپی‌ترمال رگه‌ای را در مجاورت یک سیستم پورفیری مشاهده کرد. گاهی از این کانی‌سازی رگه‌ای به عنوان کلیدی برای کشف ذخایر پورفیری نام می‌برند [۱].

[۱] مسؤول مکاتبات : zks_karimi@yahoo.com

در کشور ما اغلب کانسارهای مس پورفیری شناخته‌شده در کمربند کوه‌زایی شاهند- بزمان (ارومیه-دختر) مربوط به سن سنوزوئیک اتفاق افتاده است. این کمربند به وسیله فرورانش صفحه عربی به زیر ایران مرکزی در طی کوه‌زایی آلپی تشکیل شده است [۲- ۵]. همچنین فرورانش و زون برخورد مربوط به پالئوسن تا الیگوسن، سبب فعالیتهای آذرین نفوذی و آتشفشانی آلکالن و کالک‌آلکالن شدید و گسترده گردیده است [۶]. محیطهای تکتونیکی فشارشی، پوسته‌های قاره‌ای ضخیم‌شده و فعالیتهای بالاآمدگی و فرسایش با تشکیل تعداد زیادی از این‌گونه کانسارها در ارتباط است [۷].

هدف از این پژوهش مطالعه سنگ‌شناسی، آلتراسیون، کانی‌سازی و ژئوشیمی جنوب روستای ارغش است. در این راستا داده‌های مناسبی تولید شدند از جمله: تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و آلتراسیون، کانی‌سازی، اکتشافات ژئوشیمیایی براساس رسوبات رودخانه‌ای و سنگ.

روش مطالعه

بررسیهای آزمایشگاهی و صحرایی انجام شده در منطقه شامل مراحل زیر است:

الف) پردازش داده‌های ماهواره استر به منظور شناسایی کانیهای حاصل از آلتراسیون، ب) تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۴ کیلومترمربع، پ) تهیه نقشه آلتراسیون و کانی‌سازی در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ در منطقه‌ای به وسعت ۴ کیلومترمربع، ت) برداشت حدود ۶۰ نمونه سنگی جهت مطالعات سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، ث) بررسی سنگ‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در ۵۰ مقطع نازک و ۵ مقطع نازک صیقلی، ج) برداشت ۸ نمونه رسوبات رودخانه‌ای جهت مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات رودخانه‌ای برای ۴ عنصر Cu, Zn, Pb, Ag، چ) برداشت، خردایش و نرمایش ۲۰ نمونه خرده‌سنگی جهت مطالعات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ.

زمین شناسی

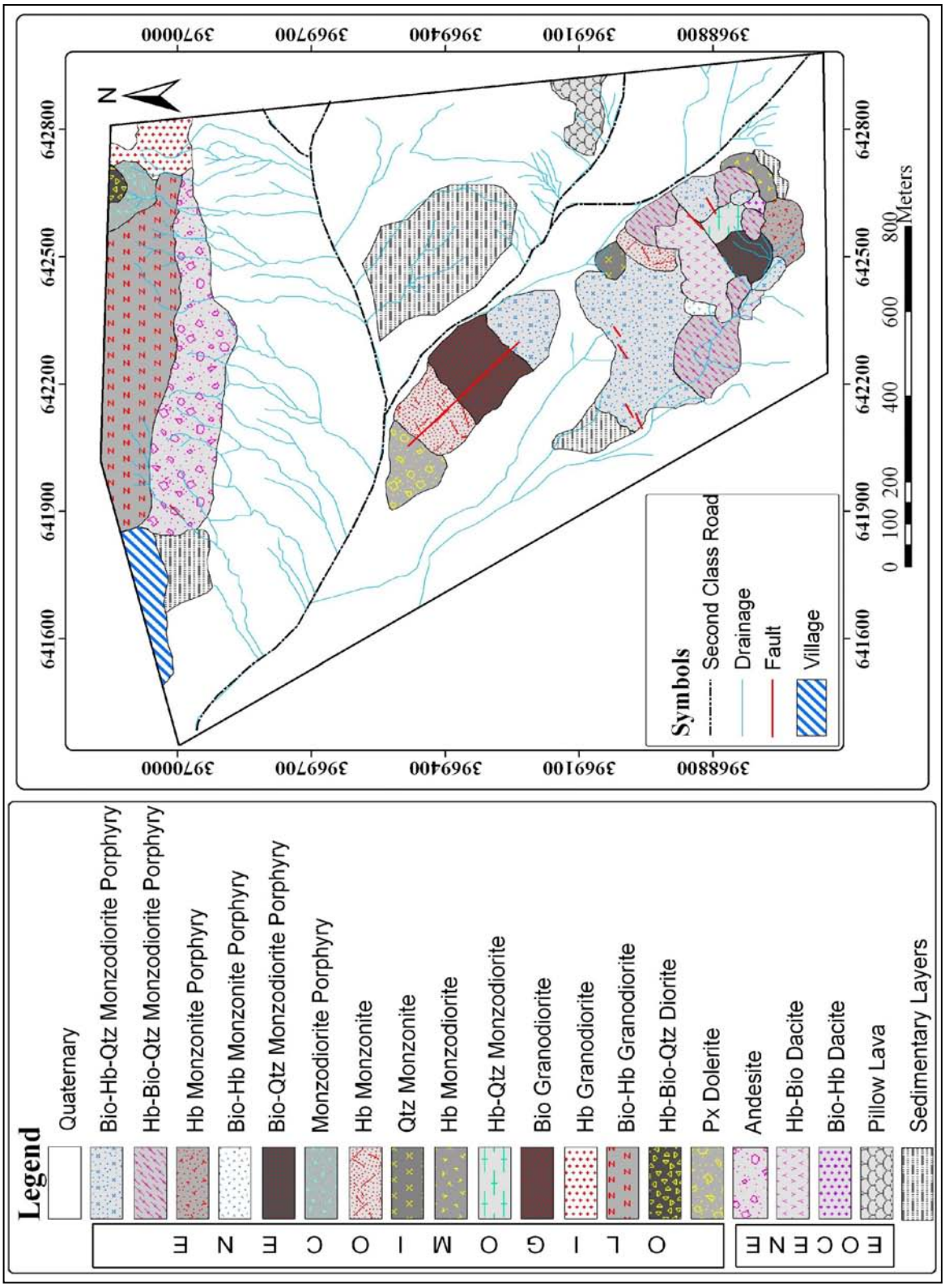
منطقه ارغش از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه شمال غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ کدکن قرار گرفته است. بنابراین نقشه کلیه واحدهای نفوذی تحت عنوان دیوریت و گرانیت معرفی شده‌اند. ولی بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی نشان داد که توده‌های نفوذی در منطقه بسیار متنوع هستند.

براساس بررسیهای صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی در گستره مورد مطالعه را می‌توان به سه دسته تقسیم کرد (شکل ۱):

۱- سنگهای رسوبی پیش از ائوسن که عمدتاً ماسه‌سنگ، آهک نومولیت‌دار و تراس‌های آبرفتی هستند،
۲- واحدهای آتشفشانی به سن ائوسن با ترکیب عمده آندزیتی و داسیتی،
۳- توده‌های نفوذی به سن الیگومیوسن که درون واحدهای فوق تزریق شده‌اند.

توده‌های نفوذی در گستره پی‌جویی عبارتند از: هورنبلند مونزودیوریت، هورنبلند مونزونیت، کوارتز مونزونیت، هورنبلند کوارتز مونزودیوریت، بیوتیت گرانودیوریت، هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت، بیوتیت کوارتز دیوریت و پیروکسن دلریت با بافت گرانولار و بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیتپورفیری، بیوتیت هورنبلند مونزونیت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری با بافت پورفیری. واحدهای آتشفشانی منطقه عبارتند از: هورنبلند بیوتیت داسیت، بیوتیت هورنبلند داسیت، آندزیت و بازالت بالشی.

هورنبلند مونزونیت در مرکز و بخش کوچکی از جنوب منطقه رخنمون دارد که دارای بافت گرانولار است کانیهای تشکیل‌دهنده این نوع سنگها شامل پلاژیوکلاز، آلکالی‌فلدسپات، هورنبلند و تا حدودی کوارتز می‌باشد. در این واحد در بعضی نقاط پلاژیوکلازها تا ۱۵٪ به سرسیت آلتره شده‌اند و بلورهای هورنبلند نیز به کربنات و کلریت و اپیدوت



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه.

آلتره شده‌اند که گاهی این تبدیل به صورت کامل بوده است. در برخی از نمونه‌ها در متن سنگ و بین بلورهای فلدسپات کلریت و کربنات به صورت پراکنده دیده می‌شود که از روی شکل کلریت‌ها در برخی مناطق، مشخص است که از دگرسانی هورنبلند تشکیل شده‌اند.

کوارتز مونزونیت در بخش کوچکی از جنوب منطقه رخنمون دارد. بافت این واحد گرانولار است. در این واحد کانیهای مهم عبارتند از: پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپات و کوارتز. در این واحد کوارتز به فراوانی یافت می‌شود ولی بلورهای کاملاً بدون شکلی، دارد.

در بین بلورها کلریت و کربنات قرار دارد ولی چون شکل مشخصی ندارند کانی اولیه آنها معین نیست. در این واحد محلولها بسیار شدید عمل کرده‌اند و باعث تبدیل اپک‌ها به هماتیت و لیمونیت شده‌اند.

هورنبلند کوارتز مونزودیوریت نیز در جنوب منطقه رخنمون دارد. در این واحد بافت گرانولار مشاهده می‌شود. کانیهای عمده موجود در این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز، هورنبلند، کوارتز و کمی آلکالی‌فلدسپات. در این واحد کلریت در بین بلورها قرار گرفته است که در برخی مناطق از روی شکل کلریت‌ها می‌توان به کانی اولیه تشکیل‌دهنده آنها پی برد. آلتراسیون سرسیت + کربناته + سیلیسی در این واحد دیده می‌شود. کانیهای اپک شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار با فراوانی حدود ۲- ۵٪ مشاهده می‌شوند.

هورنبلند مونزودیوریت در جنوب منطقه برون‌زد دارد. بافت این واحد گرانولار است. در این واحد سنگی پلاژیوکلاز بسیار فراوان است (با فراوانی حدود ۶۰٪) ولی آلکالی‌فلدسپات بسیار کم دیده می‌شود. اکثر بلورهای پلاژیوکلاز تا حدود ۱۰٪ به کربنات تبدیل شده‌اند. کلریت و اپک فضای بین بلورها را پر کرده است. این کانیهای اپک مگنتیت هستند چون در بعضی مناطق شکل کاملاً واضحی دارند و هم این‌که این نمونه‌ها پذیرفتاری بالایی را نشان می‌دهند. این کلریت‌ها احتمالاً از هورنبلند تشکیل شده‌اند ولی هیچ بقایایی از هورنبلند بر جای نمانده است. کربنات هم لزوماً درون پلاژیوکلاز نیست بلکه در متن سنگ به صورت پراکنده هم دیده می‌شود. کلریتها حدود ۱۰ تا ۱۵٪ نمونه را اشغال کرده‌اند. آلتراسیون غالب در این واحد پروپیلیتیک + کربناته است.

هورنبلند بیوتیت کوارتزدیوریت در بخش کوچکی از شمال شرق منطقه رخنمون دارد. بافت گرانولار در این واحد مشاهده می‌شود. کانیهای عمده در این واحد سنگی عبارتند از: پلاژیوکلاز، هورنبلند، بیوتیت، کوارتز و مقادیر بسیار کمی آلکالی‌فلدسپات. در این واحد آلتراسیون پتاسیک مشاهده می‌شود و بیوتیت‌های ثانویه به وفور در متن سنگ پراکنده‌اند. احتمالاً بخشی از بیوتیت‌های ثانویه از دگرسانی بیوتیت و بخشی از دگرسانی هورنبلند ایجاد شده‌اند.

بیوتیت گرانودیوریت در مرکز منطقه برون‌زد دارد. در این واحد بافت گرانولار مشاهده می‌شود. کانیهای عمده این واحد پلاژیوکلاز، بیوتیت، کوارتز و کمی آلکالی‌فلدسپات است. کانی فرعی آپاتیت و زیرکن در این واحد مشاهده می‌شود. در این واحد بیوتیت‌ها دو نسل را نشان می‌دهند به این صورت که این دو نوع بیوتیت از نظر سایز، رنگ، بی‌رفرنژانس و ترکیب با هم متفاوت هستند. آلتراسیونی که در این واحد مشاهده می‌شود سرسیتیک + پروپیلیتیک است.

هورنبلند گرانودیوریت در شمال شرق منطقه برون‌زد دارد. بافت این واحد گرانولار است. کانیهای عمده در این واحد به ترتیب فراوانی عبارتند از: پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند و کمی آلکالی-فلدسپات. آلتراسیونی که در این توده‌ها مشاهده می‌شود سرسیتیک + کربناته است. در این توده‌ها اکثر هورنبلندها در حال تبدیل به اکتینولیت هستند، چون کاملاً رشته رشته شده‌اند. در این واحدها رگه‌های کربناته نیز مشاهده می‌شوند.

بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت بیشترین رخنمون را در بین کلیه واحدهای نفوذی با بافت گرانولار دارا می‌باشد. رخنمون این واحد در شمال منطقه با امتداد شرقی- غربی است. این واحد بیشتر آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیتی را متحمل شده است. البته شدت آلتراسیون در این توده‌ها بسیار کم است.

پیروکسن دلریت در بخشی از مرکز منطقه مورد مطالعه رخنمون دارد. این واحد بر روی زمین رنگ خاکستری تیره دارد. در این واحد بیش از ۹۰٪ بلورها را پلاژیوکلازها تشکیل می‌دهد. ابعاد پلاژیوکلازها از ۰/۲- ۱/۴ میلی‌متر متغیر است. کربنات در متن سنگ نیز مشاهده می‌شود. کانی مافیکی که در این واحد مشهود است، پیروکسن می‌باشد که کاملاً شکل‌دار است و فراوانی آن در نمونه‌ها حدود ۵- ۷٪ می‌باشد. ابعاد پیروکسن‌ها حدود ۰/۸ میلی‌متر است. در این واحد آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات مشاهده می‌شود . گاه بلورهای پلاژیوکلاز کربناتی ولی بیشتر زوئزیتی شده‌اند به

طوری‌که در مجموعه آنها می‌توان اپیدوت را مشاهده کرد. هیچ‌گونه دگرسانی در بلورهای پیروکسن مشاهده نمی‌شود. کانیهای فلزی در این واحد به صورت پراکنده در مقاطع میکروسکپی مشاهده می‌شود که برخی از آنها کاملاً شکل مکعبی پیریت را دارا هستند.

بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری بیشترین گسترش را در میان کلیه واحدهای نفوذی با بافت پورفیری داراست و رخنمون این واحد در جنوب منطقه است. در نمونه دستی بافت پورفیری کاملاً مشهود است. فنوکریست‌های عمده در این واحد عبارتند از پلاژیوکلاز با فراوانی ۱۰- ۱۵٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۱۰- ۱۲٪، بیوتیت با فراوانی حدود ۵- ۷٪ و آلکالی‌فلدسپات با فراوانی حدود ۵- ۷٪. کانی فرعی عمده در این واحد، آپاتیت است که کاملا شکل‌دار می‌باشد. پیریت نیز به صورت کاملاً مکعبی در این سنگها مشاهده می‌شود. در زمینه این سنگها بلورهای کوارتز به صورت ریزبلور و کاملاً شکل‌دار به میزان حدود ۷-۱۰٪ حضور دارند. در زمینه این سنگها علاوه بر کوارتز، کلریت و فلدسپات ریزبلور نیز مشاهده می‌شود. این واحدها عمدتاً تحت‌تأثیر آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات قرار گرفته‌اند. عمده کانیهای ثانویه کلریت، سرسیت و کربنات هستند.

هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری به صورت پراکنده در بخشهای جنوبی منطقه مورد مطالعه برون‌زد دارد. در این واحد نیز مانند واحد پیشین بافت پورفیری کاملاً در نمونه دستی قابل مشاهده است. فنوکریست‌ها عبارتند از : پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۱۵- ۲۰٪ ، بیوتیت با فراوانی ۱۰-۱۲٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۵- ۷٪ و آلکالی فلدسپات با فراوانی حدود ۳- ۵٪. زمینه این سنگها حدود ۵۵- ۶۰٪ کل سنگ را شامل می‌شود. کانیهای عمده موجود در زمینه کوارتز، فلدسپات ریزبلور و کلریت است. عمده آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد، سرسیت + پروپیلیتیک + کربنات می‌باشد. اکسیدهای آهن به صورت رگه‌ای در این واحد به وفور مشاهده می‌شوند.

هورنبلند مونزونیت پورفیری در جنوبی‌ترین بخش منطقه مورد مطالعه واقع شده است. بافت این واحد پورفیری می‌باشد و زمینه نسبتاً ریزی از انواع فنوکریست‌ها در این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۷- ۹٪ می‌باشد. با فراوانی حدود ۵- ۶٪ و هورنبلند با فراوانی حدود ۲۰- ۲۵٪. زمینه این واحد حدود ۶۰- ۶۵٪ آن را تشکیل می‌دهد و عمدتاً از فلدسپات‌های دانه‌ریز و مقادیر کمی کوارتز تشکیل شده است. در این واحد رگچه‌های سیلیسی نیز در مقاطع میکروسکپی به چشم می‌خورد. کانی فرعی عمده و با ابعاد نسبتاً درشت در این واحد آپاتیت است که ابعاد حدود ۰/۲ میلی‌متر دارد. کانی آپاتیت در صورت فراوانی می‌تواند نشانگر غنی‌شدگی فسفات در مذاب سیلیکاته باشد [۸]. آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات است.

بیوتیت هورنبلند مونزویت پورفیری در بخش بسیار کوچکی از جنوب منطقه برون‌زد دارد. در نمونه دستی بافت واضح پورفیری با زمینه ریزبلور مشهود است. فنوکریستها در این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰- ۱۵٪، آلکالی-فلدسپات با فراوانی ۱۰- ۱۲٪، هورنبلند با فراوانی حدود ۱۰- ۱۵٪ و بیوتیت با فراوانی حدود ۳- ۵٪. در زمینه این سنگها فلدسپات ریزبلور و کوارتز به مقدار کم حضور دارند. کانیهای فرعی مشاهده شده در این نمونه‌ها اسفن و آپاتیت است. آلتراسیون عمده در این واحد پروپیلیتیک+ سرسیت+ کربنات می‌باشد.

بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری در بخشی از جنوب منطقه مشاهده می‌شود. در نمونه‌های دستی بافت پورفیری ضعیفی قابل رویت است ولی در نمونه‌های میکروسکپی این بافت کاملاً مشهود است. فنوکریستهای این واحد عبارتند از: پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۱۵- ۲۰٪ ، آلکالی‌فلدسپات با فراوانی حدود ۳- ۴٪ و بیوتیت با فراوانی حدود ۱۰- ۱۲٪ . کوارتز در زمینه سنگ به صورت کاملاً شکل‌دار مشاهده می‌شود. در زمینه سنگ علاوه بر کوارتز، فلدسپات‌های دانه‌ریز هم مشاهده می‌شوند. کانی فرعی شاخص در این واحد آپاتیت می‌باشد. این واحد عمدتاً تحت‌تأثیر آلتراسیون سرسیت+ پروپیلیتیک+ سیلیسی قرار گرفته است.

مونزودیوریت پورفیری در بخش کوچکی از شمال منطقه برون‌زد دارد. بافت پورفیری در این واحد مشهود است. زمینه این واحد نیز از پلاژیوکلازهای ریزبلور تشکیل شده است. اکسیدهای آهن در این واحد به شکل جهت‌داری در درزه‌ها مشاهده می‌شوند که علت این اشکال ایجاد شده، یکی به دلیل فشار که درزه‌ها را باز کرده است و یکی هم به علت جریان ماگما بوده است. کانی فلزی بی‌شکل نیز در این واحد مشاهده می‌شود که دلیل پذیرفتاری بالای این واحد به احتمال قوی

مگنتیت است. آلتراسیون قابل مشاهده در این واحد پروپیلیتیک + سرسیت + کربنات می‌باشد.

هورنبلند بیوتیت داسیت در بخشی از جنوب منطقه رخنمون دارد. بافت مشاهده‌شده در این واحد پورفیری با فنوکریست‌های درشت پلاژیوکلاز و زمینه کاملاً دانه‌ریز است. فنوکریست‌ها عبارتند از: پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰- ۱۲با فراوانی حدود ۸- ۱۰٪ و هورنبلند با فراوانی حدود ۴- ۶٪. زمینه در این واحد حدود ۶۰- ۶۵٪ را تشکیل می‌دهد. در زمینه عمدتاً کوارتز با بلورهای بسیار ریز مشاهده می‌شود. این واحد تحت تأثیر آلتراسیون سرسیت + پروپیلیتیک + آرژیلیک قرار گرفته‌است. هورنبلندها کاملاً اوپاسیته شده است که همین مطلب ولکانیک بودن این واحد را تأیید می‌نماید. از آنجایی‌که هورنبلندها چروکیده نشده‌اند و حاشیه سالمی دارند می‌توان پی‌برد که ماگما حرارت چندانی نداشته است و نشانگر اسیدی بودن ماگما می‌باشد.

بیوتیت هورنبلند داسیت در بخش بسیار کوچکی از جنوب منطقه رخنمون دارد. در نمونه‌های دستی کاملاً بافت پورفیری دیده می‌شود. زمینه در این واحد بسیار ریزبلور است. فنوکریست‌ها عبارتند از: پلاژیوکلاز با فراوانی حدود ۱۰- ۱۲٪، هورنبلند با فراوانی ۸- ۱۰٪ و بیوتیت با فراوانی ۵- ۶٪. در زمینه سنگ علاوه بر وجود کوارتز فراوان، کلریت هم مشاهده می‌شود. کانی فرعی عمده در این واحد آپاتیت می‌باشد. در این واحد آلتراسیون بسیار شدید سرسیت + پروپیلیتیک + کربنات مشهود است.

آندزیت بیشترین گسترش را در میان واحدهای ولکانیک خصوصاً در شمال منطقه مورد مطالعه برخوردار است. بافت بادامکی کاملاً در این واحد واضح می‌باشد. این آندزیت‌ها بیشتر از پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند. ابعاد حفرات از ۰/۳- ۱/۳ میلی‌متر متغیر است. رگچه‌های کربناته- سیلیسی در این واحد به وفور مشاهده می‌شود. ضخامت رگه‌ها از ۰/۲- ۰/۸ میلی-متر متغیر است. در زمینه این سنگها کربنات مشاهده می‌شود. پلاژیوکلازها عمدتاً کربناته و گاهی سیلیسی شده‌اند. حفرات موجود در این واحد توسط کربنات، کربنات و کلریت و کربنات و سیلیس پر شده‌اند.

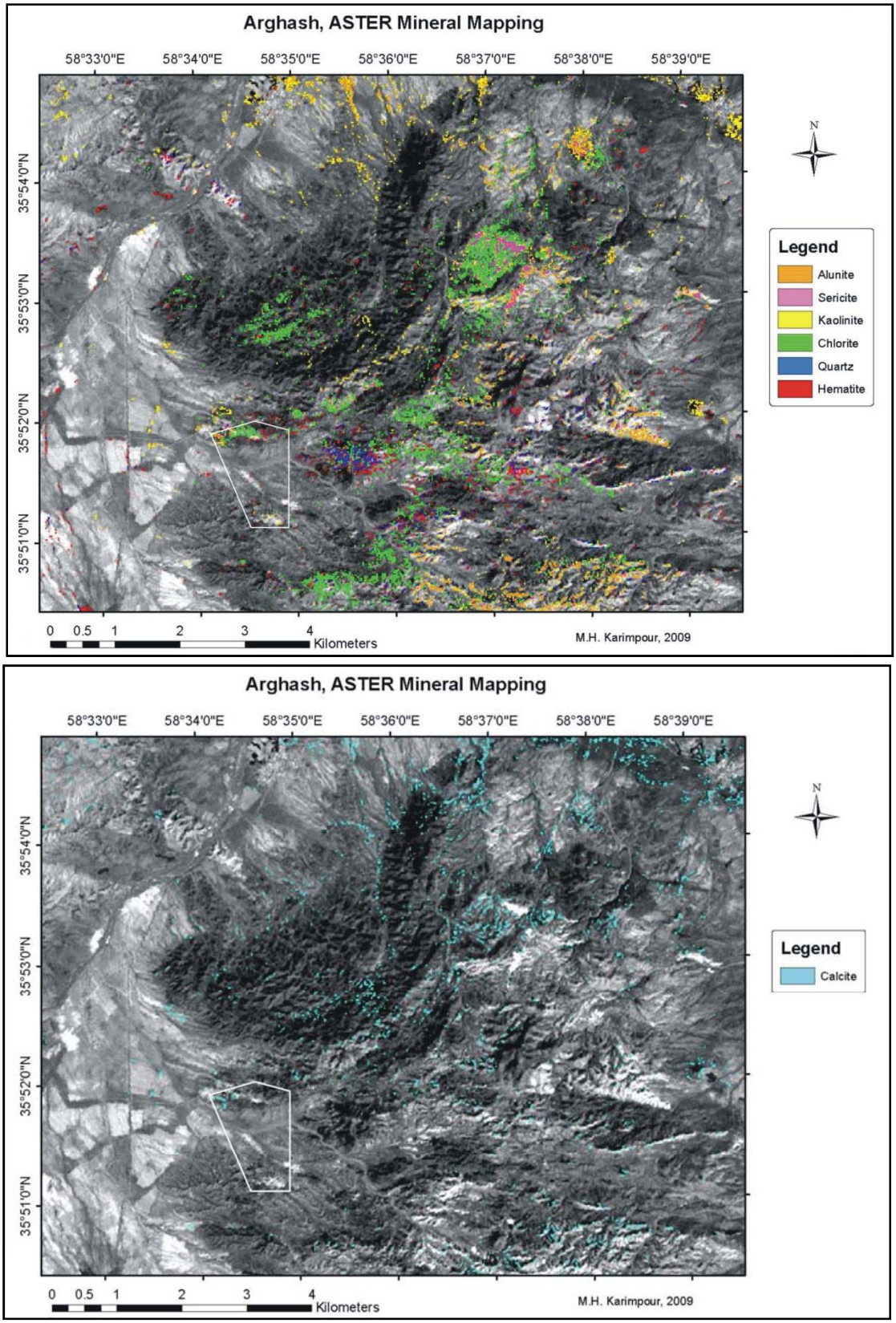
بازالت بالشی در بخش کوچکی از شرق منطقه مشاهده می‌شود که از نظر کانی‌شناسی مشابه آندزیت‌ها می‌باشد. در این واحد نیز بافت بادامکی مشاهده می‌شود. درون حفرات این سنگها سیلیس و کربنات دیده می‌شود.

دگرسانی

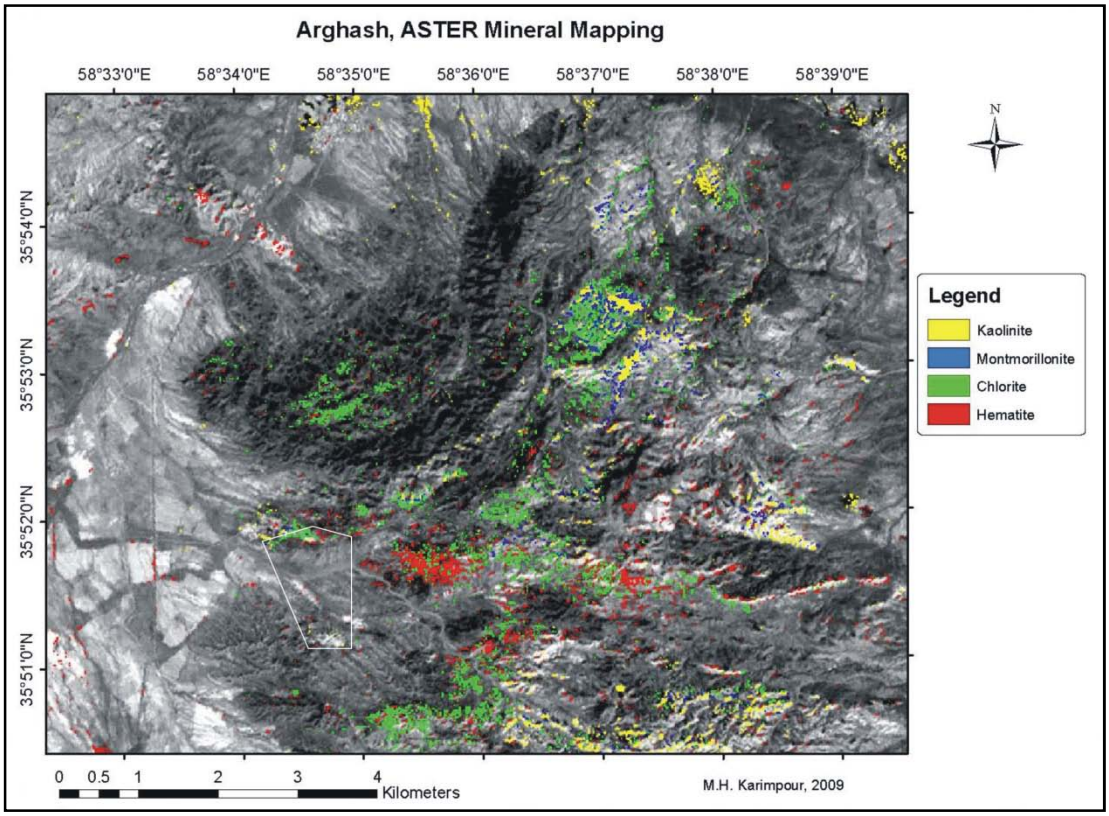
زونهای دگرسانی از لحاظ ژنتیکی ارتباط خاصی با زون‌های کانی‌سازی دارند.به طور کلی کانسارهای مس پورفیری دارای هاله‌های عظیمی از مجموعه‌های زون‌بندی آلتراسیون هستند که مربوط به بخش بالایی این سیستم‌ها در سطح می‌باشد [۹]. به هرحال، این قبیل هاله‌ها عموماً به وسیله پوششی از آلتراسیون احاطه می‌شوند که ممکن است شاخصهای محل دفن کانسار را با نفوذی‌ها و یا فرآیندهای سوپرژن بپوشانند [۱۰]. تصاویر پردازش شده منطقه ارغش در شکل‌های ۲و ۳ مشاهده می‌شوند.

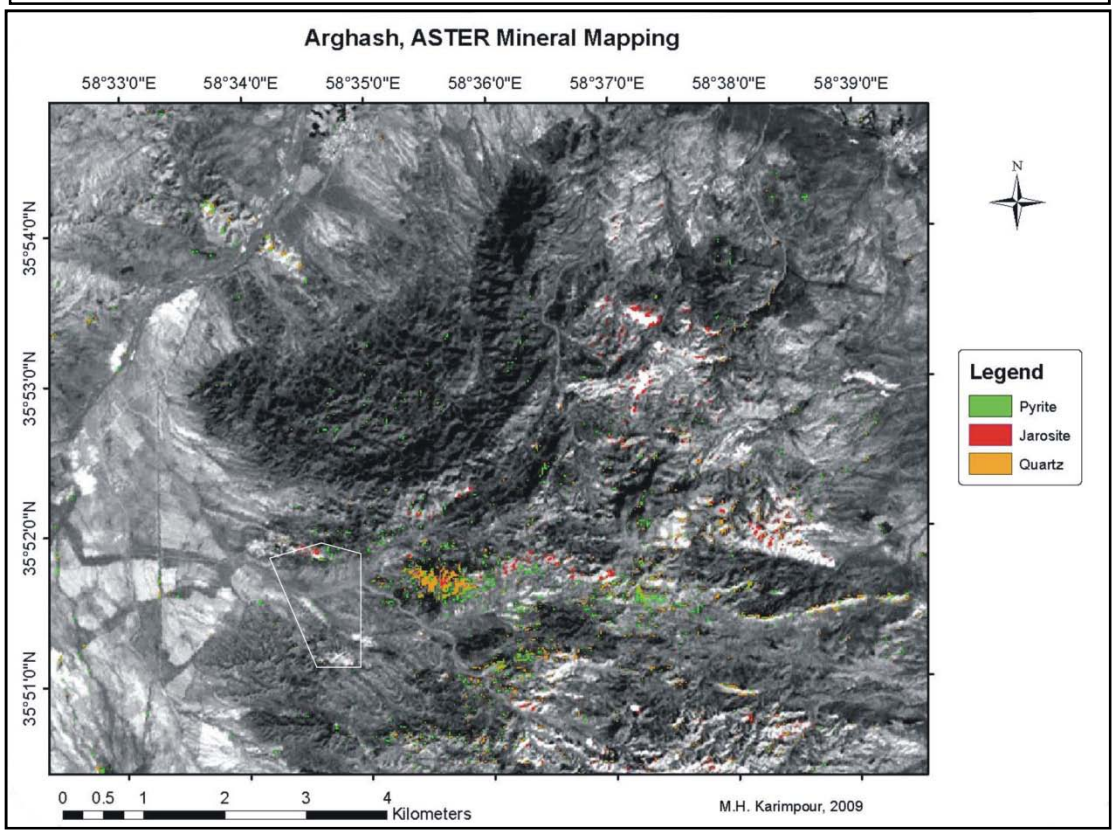
براساس مطالعات انجام شده ۵ نوع دگرسانی در گستره پی‌جویی تفکیک شده‌اند (شکل ۴) که عبارتند از: ۱) دگرسانی پتاسیک، ۲) دگرسانی پروپیلیتیک، ۳) دگرسانی سرسیتیک، ۴) دگرسانی کربناته، ۵) دگرسانی سیلیسی. که این ۵ نوع آلتراسیون براساس فراوانی کانیهای حاصل از دگرسانی به ۱۲ زون تفکیک شده‌اند که این زون‌ها عبارتند از : زون کلریتی، زون پروپیلیتیک + سرسیستیک + کربناتی، زون سرسیتیک + پروپیلیتیک + کربناتی، زون سرسیتیک + آرژیلیک + کربناتی، زون سرسیتیک + پروپیلیتیک+ سیلیسی، زون سرسیتیک + پروپیلیتیک، زون سرسیتیک + پروپیلیتیک+ آرژیلیک، زون کربناتی+ پروپیلیتیک، زون کربناتی+ سیلیسی، زون سیلیسی، زون سیلیسی+ سرسیت+ پروپیلیتیک و زون پتاسیک. انواع زون‌های دگرسانی به اختصار عبارتند از :

زون آلتراسیون کلریتی به صورت تقریباً فراگیر و گسترده در شمال و مرکز منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود و اغلب در ارتباط با توده‌های بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت در شمال و بیوتیت گرانودیوریت در مرکز منطقه می‌باشد. فراوانی کلریت در این زون در حدود ۱۰ تا ۱۲٪ است. کلریت گاهی به صورت پرکننده فضاهای خالی در متن سنگهای منطقه دیده می‌شود. در این زون آلتراسیونی تنها کانی شاخص دگرسانی کلریت است که از دگرسانی کانیهایی مانند بیوتیت و هورنبلند تشکیل شده است. کلریت در اکثر موارد غنی از منیزیم است.

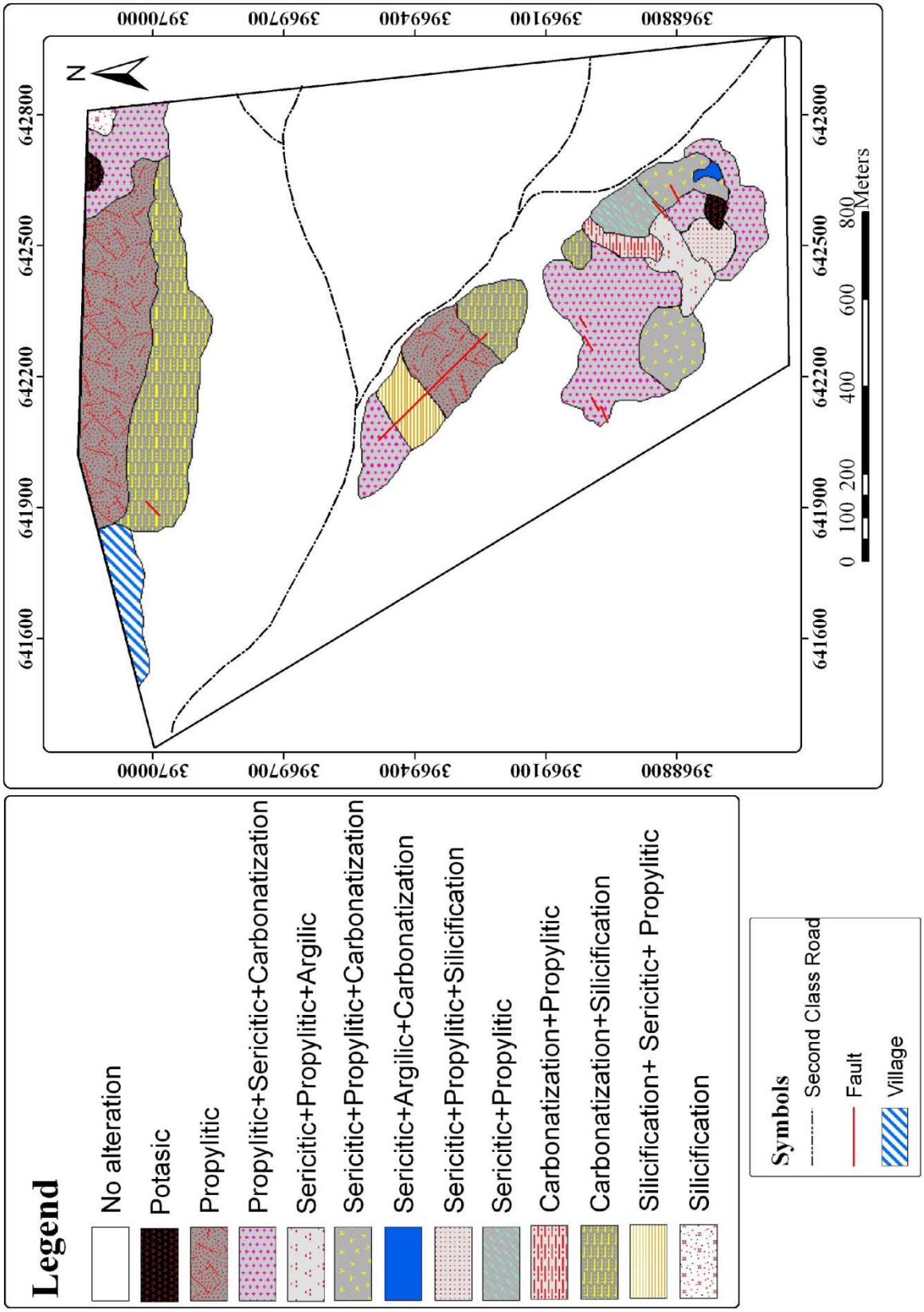


شکل ۲. تفکیک کانیهای حاصل از آلتراسیون کل منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره استر و موقعیت منطقه مورد مطالعه.





شکل۳. تفکیک کانیهای حاصل از آلتراسیون کل منطقه با استفاده از پردازش تصاویر ماهواره استر و موقعیت منطقه مورد مطالعه.



شکل ۴. نقشه آلتراسیون منطقه مورد مطالعه

زون آلتراسیون پروپیلیتیک + سرسیتیک+ کربناتی نیز در منطقه از گستردگی قابل توجهی برخوردار است به طوری‌که در شمال شرق (همراه با توده های هورنبلند گرانودیوریت)، مرکز (همراه با واحدهای پیروکسن دولریت) و جنوب (همراه با واحدهای بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری) منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود.کانیهای حاصل از آلتراسیون در این زون به ترتیب فراوانی عبارتند از: کلریت، کمی اپیدوت، سرسیت و کربنات.کلریت با رنگ سبز کاملاً مشخص و بی‌رفرنژانس سبز و قهوه‌ای از دگرسانی کانیهای فرومنیزین‌دار (هورنبلند و بیوتیت) از حاشیه به سمت مرکز بلور حاصل شده است.کلریت با فراوانی حدود ۵ تا ۱۰٪ در این سنگها حضور دارد. در این سنگها اپیدوت با فراوانی حدود ۱ تا ۳٪ مشاهده می‌شود.

در بعضی از نمونه‌ها هورنبلند کاملا به کانیهای اپک تبدیل شده است. اپیدوت در این زون آلتراسیونی بیشتر در واحد پیروکسن‌دولریت مشاهده می‌شود که در آن بلورهای پلاژیوکلاز زوئزیتی شده‌اند. سرسیت نیز در بسیاری از نمونه‌ها در این زون مشاهده می‌شود که بیشتر از دگرسانی پلاژیوکلازها و بیوتیت‌ها حاصل شده است. در این زون گاهی کربنات‌ها با بی‌رفرنژانس زرد طلایی در مرکز بلورهای پلاژیوکلاز و گاهی به صورت رگه-ای و بعضاً به صورت پراکنده در متن سنگ حضور دارند. فراوانی سرسیت در مقایسه با کربنات در این زون بیشتر است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + کربناتی بیشتر در جنوب منطقه و همراه با توده‌های هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون گاهی سرسیت و کلریت و گاهی سرسیت و کربنات و گاهی هر سه کانی با هم دیده می‌شوند. در بیشتر نمونه‌ها دگرسانی سرسیتیک بین ۵ تا ۲۰٪ است. در این زون بیوتیت‌ها نیز به طور کامل به سرسیت آلتره شده‌اند. لازم به ذکر است که از نظر زمانی این کربنات‌ها و کلریت‌ها نسبت به سرسیت جوانتر هستند و بعد از آنها در محلول فراوان شده و آلتراسیون ایجاد کرده‌اند.

زون آلتراسیون سرسیتیک + آرژیلیک + کربناته وسعت بسیار ناچیزی دارد به طوری‌که تنها در بخش محدودی از جنوب منطقه همراه با توده‌های بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون به همراه سرسیت کانیهای رسی نیز دیده می‌شوند که بیشتر از دگرسانی فلدسپات‌های آلکالی حاصل شده‌اند. لازم به ذکر است که در بیشتر نمونه‌ها، کانیهای رسی از محل شسته شده و تنها قالب فلدسپات آلکالی بر جای مانده است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + سیلیسی نیز در جنوب منطقه و همراه با توده‌های بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این زون گاهی به همراه سرسیت، کلریت و اپیدوت و سیلیس نیز دیده می‌شود. این سیلیسی شدن بیشتر در حاشیه پلاژیوکلازها مشاهده می‌شود.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک در بخش کوچکی از جنوب منطقه و به همراه توده‌های هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری دیده می‌شود. در این زون علاوه بر سرسیت حاصل از پلاژیوکلاز و بیوتیت، کلریت نیز دیده می‌شود که از دگرسانی بیوتیت و هورنبلند حاصل شده است.

زون آلتراسیون سرسیتیک + پروپیلیتیک + آرژیلیک نیز در جنوب منطقه همراه با واحد هورنبلند بیوتیت داسیت دیده می‌شود و علاوه بر سرسیت که به وفور موجود است، کلریت و کانیهای رسی نیز دیده می‌شوند. کانیهای رسی اکثراً از دگرسانی آلکالی فلدسپاتها ایجاد شده‌است.در بسیاری از موارد کانیهای رسی از نمونه‌ها شسته شده‌اند و تنها قالب بلور باقی مانده است.

زون آلتراسیون کربناتی+ پروپیلیتیک در بخشی از جنوب منطقه و همراه با واحد هورنبلند مونزونیت دیده می‌شود. در این زون گاهی کربنات به صورت رگه‌ای و گاهی از دگرسانی پلاژیوکلاز و گاهی نیز در متن سنگ به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. گاهی فراوانی کربنات در متن سنگ به حدود ۱۵٪ نیز می‌رسد. تبدیل‌شدگی کانیهای مافیک به کربنات نیز در این زون مشهود است. کانی کلریت حاصل آلتراسیون کانیهای فرومنیزین‌دار (هورنبلند و بیوتیت) نیز در منطقه دیده می‌شود زون آلتراسیون کربناتی + سیلیسی در مرکز منطقه همراه با واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری و در شمال منطقه همراه با واحد آندزیتی حفره‌دار دیده می‌شود. محلولهای حاوی بی‌کربنات در این زون به سنگها هجوم آورده و آن را دگرسان نموده‌اند. در این زون در برخی از نمونه‌ها به همراه کربنات، سیلیس نیز یا در زمینه سنگ و یا به صورت رگه‌ای دیده می‌شود. در واحد آندزیتی حفرات بیشتر توسط کربنات و بعضا توسط کربنات و کلریت یا کربنات و سیلیس پر شده‌اند. رگه‌های سیلیسی- کربناته در این زون به وفور

به چشم می‌خورند. در نمونه‌های آندزیتی بیشتر پلاژیوکلازها به کربنات دگرسان شده‌اند.

زون آلتراسیون پتاسیک در بخش بسیار کوچکی از شمال غرب و جنوب منطقه دیده می‌شود. در شمال غرب منطقه این نوع آلتراسیون در واحد هورنبلند بیوتیت کوارتز دیوریت دیده می‌شود در حالی‌که در جنوب منطقه همراه با واحد هورنبلند بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری مشاهده می‌شود. در این آلتراسیون کانی شاخص آلتراسیونی، بیوتیت ثانویه است. در این آلتراسیون مشاهده می‌شود که بیوتیت‌های اولیه و هورنبلند در حال تبدیل به بیوتیت‌های ثانویه هستند و برخی از بیوتیت‌های ثانویه نیز در حال تبدیل به کلریت هستند. در یکی از نمونه‌ها، بیوتیت‌های ثانویه به مقدار زیادی به صورت پراکنده در سنگ دیده می‌شود به طوری‌که دیگر هیچ نشانی از کانی اولیه وجود ندارد و بیوتیت‌های ثانویه نیز در حال تبدیل به کلریت هستند. در مواردی هم مشاهده می‌شودکه کانی اولیه کاملاً به مجموعه‌ای از بیوتیت‌های ثانویه و کانیهای اپک دگرسان شده است.

زون آلتراسیون سیلیسی در بخش کوچکی از شمال شرق منطقه مشاهده می‌شود. در این بخش سنگها کاملاً سیلیسی شده‌اند به طوری‌که نمی‌توان سنگ اولیه را مشخص کرد. در این زون کانی کلریت و اکسیدهای آهن (کانیهای اپک) فضای خالی بین ذرات سیلیس را پرکرده‌اند. این پدیده نشانگر این مطلب است که پس از فرآیند سیلیسی‌شدن، محلولهای غنی از آهن و منیزیم سنگهای این بخش را مورد هجوم قرار داده‌اند و باعث ایجاد کانیهای آهن و منیزیم‌دار (کلریت و کانیهای اپک) در فضاهای خالی بین قطعات سیلیس شده‌اند.

زون آلتراسیون سیلیسی + سرسیتیک + پروپیلیتیک در مرکز منطقه و همراه با توده‌های هورنبلند مونزونیتی دیده می‌شود. در این زون در حاشیه بلورهای پلاژیوکلاز می‌توان سیلیسی شدن را مشاهده کرد. در برخی قسمتها سیلیس در متن سنگها و به صورت رگه‌ای نیز حضور دارد. در این زون سرسیتی شدن پلاژیوکلاز و بیوتیت نیز مشاهده می‌شود. همچنین همراه با سیلیسی شدن سنگ، کلریتی شدن کانیهای فرومنیزین‌دار هم به میزان محدودی مشاهده می‌شود.

کانی‌سازی

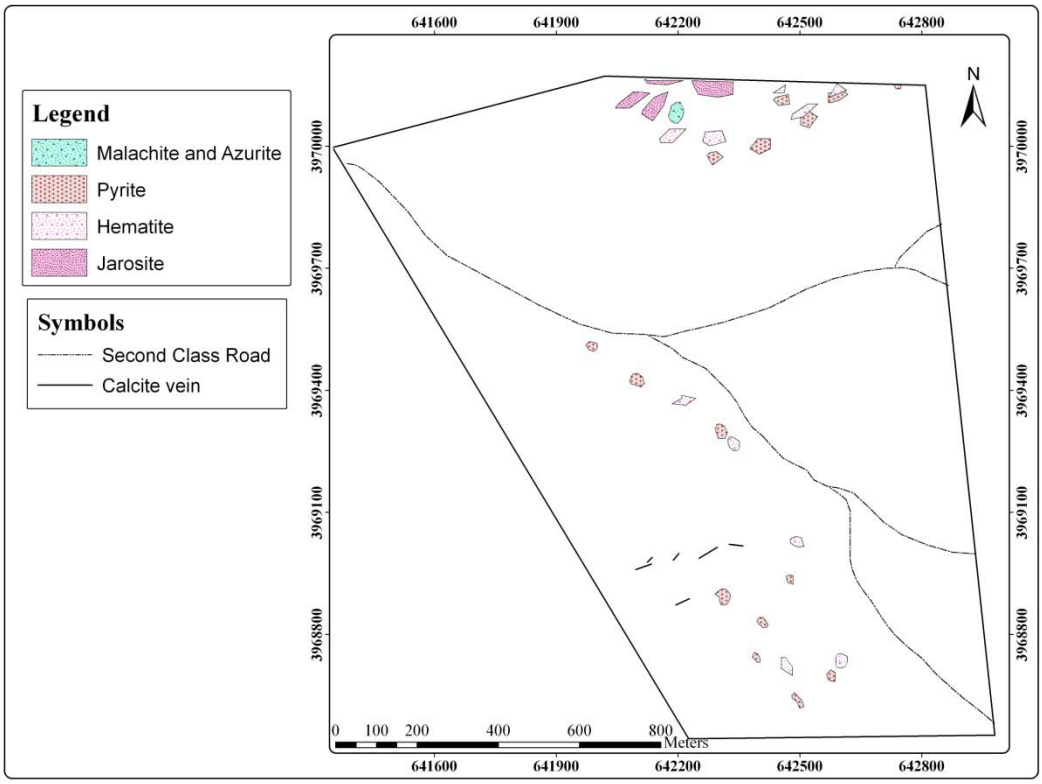
قبل از این‌که در مورد کانی‌سازی در منطقه مورد پی‌جویی بحث شود لازم به ذکر است که در شرق منطقه مورد مطالعه ۵ اندیس طلا و یک اندیس آنتیموان شناسایی شده است. در ۵ کیلومتری شمال شرق منطقه نیز معدن طلای هیدروترمالی ارغش واقع شده است. در شرق منطقه نیز معدن کائولن حاصل از آلتراسیون شدید آرژیلیک وجود دارد. در کل در شمال غرب ورقه کدکن به دلیل وجود درز و شکافهای متعدد و تزریق توده‌های نفوذی، زمینه برای تشکیل انواع ذخایر فلزی و غیر فلزی فراهم شده است.

در منطقه مورد پی‌جویی کانی‌سازی به دو نوع اولیه و ثانویه مشاهده می‌شود.کانی‌سازی اولیه به صورت بلورهای پراکنده پیریت با حداکثر اندازه حدود ۵ میلی‌متر در سطح مشاهده می‌شود که تا حدود ۹۰٪ به اکسیدهای آهن ثانویه مانند هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است.

مقادیر پیریت در شمال منطقه در زون آلتراسیون کلریتی بیشتر از سایر مناطق است. پیریت می‌تواند در محدوده وسیعی از تغییرات FO_2 و FS_2 حضور داشته باشد بنابراین نمی‌توان از این کانی جهت تعیین محدوده خاصی از فوگاسیته گوگرد و اکسیژن استفاده کرد [۱۱]. در منطقه مورد مطالعه این کانی به صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار و بیشتر به صورت منفرد دیده می‌شود. به طور یقین منشأ این پیریت‌های شکل‌دار سیال هیدروترمالی است. در منطقه مورد مطالعه فراوانی دانه‌های پیریت با ابعاد آن نسبت معکوس دارد یعنی در مناطقی که فراوانی دانه‌های پیریت زیاد است، ابعاد بلورها کوچک است و بالعکس.

کانی‌سازی اولیه دیگری که در غرب منطقه مشاهده می‌شود رگه‌های کلسیتی می‌باشند (شکل ۵) که عمدتاً روند شمال شرق- جنوب غرب دارند و ضخامت آنها از ۰/۵ تا ۱/۵ متر متغیر است.

کانی‌سازی ثانویه در منطقه عمدتاً شامل اکسیدهای ثانویه آهن و کربناتهای مس است. هماتیت، لیمونیت و گوتیت در برخی مناطق به وفور مشاهده می‌شود که حاکی از کانی‌سازی سولفیدی در عمق می‌باشد. کانی‌سازی مس نیز به صورت کربناتهای مس (آزوریت و مالاکیت) در شمال منطقه در زون آلتراسیون کلریتی مشاهده می‌شود. یکی از کانیهایی که حاصل فرآیندهای سوپرژن در منطقه است ژاروسیت می‌باشد. این کانی تنها در حضور آب تشکیل می‌شود [۱۲] و تحت شرایط کاملاً اسیدی با pH بین ۲ و ۳ و دمای کمتر از

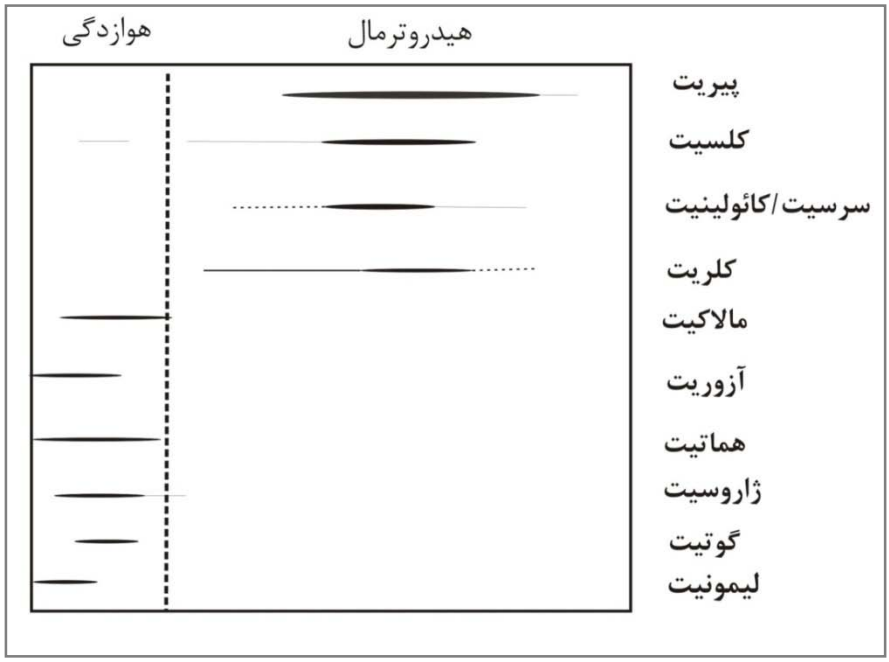


شکل ۵. نقشه کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه

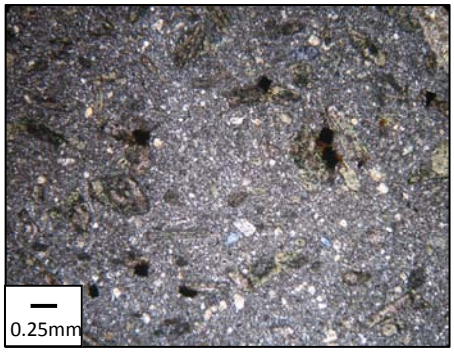
۱۵۰ درجه سانتی‌گراد. این کانی در محیطهای اسیدی غنی از سولفات که از اکسیداسیون سولفیدها به ویژه پیریت حاصل آمده، تشکیل می‌شوند.این کانی به آسانی دگرسان شده و به لیمونیت تبدیل می‌شود. کانی ژاروسیت در محدوده نسبتاً کوچکی پایدار است.

توالی پاراژنزی در منطقه

توالی پاراژنزی را می‌توان به دو گروه کانیهای اولیه و اکسیدان تقسیم نمود (شکل۶). پیریت تنها کانی فلزی بوده و بیشترین گسترش را در مرحله کانی‌سازی اولیه دارد (شکل ۷) و تنها کانی سولفیدی تشکیل‌شده در این مرحله است.کمی قبل از پایان یافتن مرحله کانی‌سازی اولیه، کانیهای فلزی تشکیل شده تحت تأثیر عوامل اکسیداسیون قرار گرفته و در نتیجه کانیهای اکسیدان را به‌وجود می‌آورند که در این زون از اکسیداسیون کانیهای سولفیدی حاصل شده هماتیت است. لیمونیت و ژاروسیت نیز به صورت خاکهای زرد و نارنجی رنگ در سطح رخنمون داشته و در ارتباط با مرحله اکسیداسیون می‌باشند.



شکل ۶. توالی پاراژنزی کانیهای اولیه و ثانویه منطقه.



شکل ۷. نمونه ای از پیریت به صورت پراکنده در متن سنگ

ژئوشیمی

یکی از اهداف اکتشاف ژئوشیمیایی دست‌یابی به تمرکز غیرعادی عناصری است که در ارتباط با کانی‌سازی باشند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگها تحت تأثیر دگرسانی و کانسارسازی قرار گرفته باشند، این توزیع از حالت عادی خارج گشته و به شکل غیرعادی در می‌آید [۱۳]. در منطقه مطالعاتی اکتشافات ژئوشیمیایی بر اساس سنگ و رسوبات رودخانه‌ای انجام شد.

اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای رسوبات رودخانه‌ای

برای توزیع بهینه نمونه‌ها و طراحی اولیه نقاط نمونه‌برداری، ابتدا نقشهٔ آب‌راهه‌های ناحیه با توجه به تصاویر ماهواره‌ای Google Earth با وضوح بالا ترسیم گردید. سپس سعی شد محلهای مستعد نمونه‌برداری با توجه به موقعیت انشعابات اصلی و فرعی آب‌راهه‌ها و سرشاخه‌های آب‌راهه درست در محلی که چند آب‌راهه به هم می‌پیوندند، صورت پذیرد.

نکات مهمی که در حین نمونه‌برداری رعایت شده عبارتند از:

۱) ابتدا قشر رویی آب‌راهه به عمق ۲۰ سانتی‌متر برداشته شد و سپس نمونه‌برداری ازسطح زیرین انجام شد، ۲) نمونه‌ها در

محل با الک معمولی الک شدند تا نمونه‌های خرده‌سنگی از رسوبات مورد نظر جدا شوند، ۳) حدود ۳-۴ کیلوگرم از نمونه‌های الک شده با اندازه ماسه برداشت گردید، ۴) رسوبات در کیسه‌های پلاستیکی تمیز ریخته شد تا از ورود هرگونه آلودگی به درون آنها جلوگیری شود، ۵) در پایان نمونه‌ها به دقت شماره‌گذاری شد و محل دقیق نمونه‌برداری توسط GPS یادداشت شد. از منطقه مورد پی‌جویی جمعاً ۸ نمونه رسوب رودخانه‌ای با رعایت موارد مذکور برداشت شد.

کلیه نمونه‌ها برای ۴ عنصر Cu, Zn, Ag, Pb به روش اسپکتروفتومتری جذب اتمی (AAS) مورد آنالیزقرار گرفتند. نتایج حاصل از آنالیز جذب اتمی نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای در جدول ۱ آمده است.

مس در رسوبات رودخانه‌ای: حد زمینه برای عنصر مس در رسوبات رودخانه‌ای کانسارهای مس پورفیری معمولاً بیش از ۱ تا ۱/۵ درصد وزنی است. با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی صورت گرفته در منطقه مورد مطالعه که بخشی از کمربند ولکانیک- پلوتونیک سبزوار است، دامنه تغییرات این عنصر در رسوبات رودخانه‌ای از ۳۴ppm در نمونه شماره ۵ تا ۵۸ppm در نمونه شماره ۲ متغیر است (شکل ۸). بیشترین میزان Cu در مربوط به نمونه ۲ در جنوب غرب منطقه و در شرق منطقه است که حاکی از یک آنومالی بزرگتر در بالادست آب‌راهه مورد نظر است. عمده آنومالی‌های مس در رسوبات رودخانه‌ای منطقه مربوط به آب‌راهه‌های منشأ گرفته از واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری می‌باشد. بسته به اینکه آب‌راهه از چه مسیری حرکت کرده و از چه سنگهایی منشأ گرفته، میزان فراوانی عنصر مس در آن متفاوت است.

روی در رسوبات رودخانه‌ای: مقادیر روی در کانسارهای مس پورفیری بیش از ۲۵۰ppm تا ۳۰۰ppm است. بر اساس تجزیه‌های شیمیایی انجام شده میزان عنصر روی در رسوبات آب‌راهه‌ای منطقه مورد مطالعه بین ۴۴ppm در نمونه ۱ تا ۴۲۲ppm در نمونه ۲ متغیر است (شکل ۹). که بیشترین میزان عنصر روی در جنوب غرب و شرق منطقه است.

بیشترین میزان روی در جنوب غرب منطقه منشأ گرفته از آب-راهه‌هایی است که در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلند- کوارتز دیوریت پورفیری و آلتراسیون پروپیلیتیک- سرسیتیک و در شرق منطقه در ارتباط با واحد هورنبلند بیوتیت مونزودیوریت است.

سرب در رسوبات رودخانه‌ای : بر اساس نتایج حاصل از آنالیز جذب اتمی در منطقه مورد مطالعه مشاهده شد که میزان سرب در این منطقه بین ۲۸ppm در نمونه ۱ و ۴۲ppm در نمونه ۷ در نمونه متغیر است که نمی‌توان آن را آنومالی به حساب آورد زیرا مقادیر آن بسیار کم است (شکل ۱۰). کمترین میزان سرب در جنوب شرق منطقه و بیشترین مقدار آن در شمال منطقه مورد مطالعه است. کمترین میزان سرب در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری و بیشترین میزان آن در ارتباط با واحد آندزیت حفره‌دار است.

نقره در رسوبات رودخانه‌ای : نتایج آنالیزها نشان می‌دهند که مقادیر این عنصر در حد زمینه است و آنومالی خاصی در منطقه مورد مطالعه نشان نمی‌دهد. بیشترین میزان این عنصر در منطقه مورد مطالعه ۱۲ppm در نمونه ۱ است و کمترین میزان آن حدود ppm ۲ می‌باشد (شکل ۱۱).

همبستگی عناصر در رسوبات رودخانه‌ای

مس و روی : بر اساس نمودار رسم شده برای دو عنصر مس و روی مشاهده می‌شود که همبستگی مثبتی بین این دو عنصر وجود دارد، یعنی با افزایش میزان مس به مقادیر روی نیز افزوده می شود و بالعکس (شکل ۱۲).

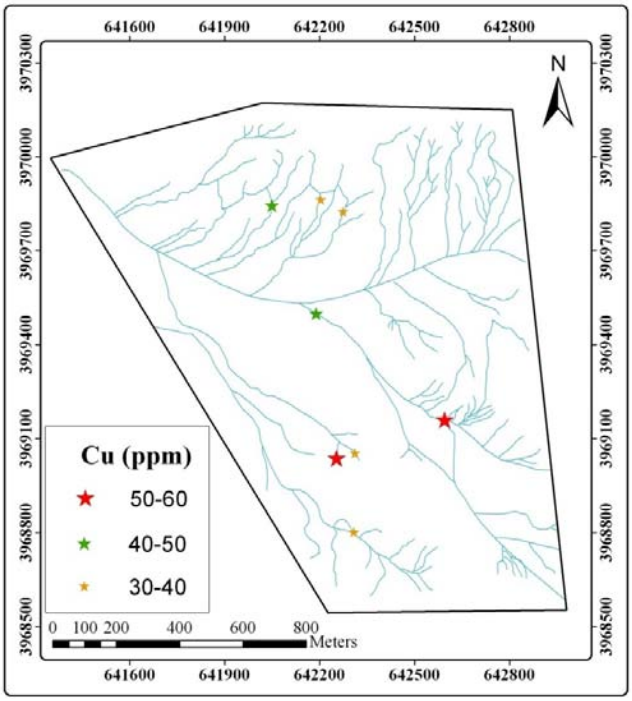
سرب و روی : همان‌طوری که در نمودار دیده می‌شود میزان روی در نمونه ۲ بیشترین آنومالی را نشان می‌دهد و این در حالی است که در کل، سرب روند عادی را نشان می‌دهد (شکل ۱۳).

اکتشافات ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ

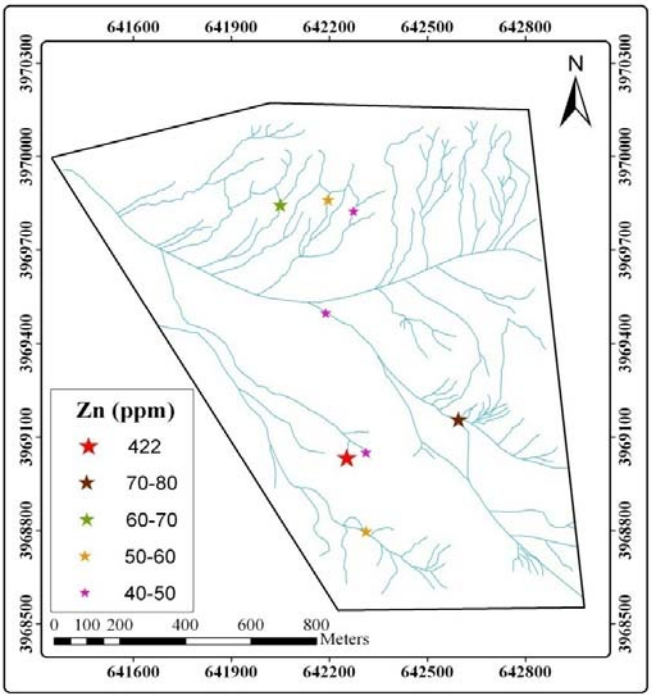
به منظور بررسی هاله اولیه در منطقه مورد مطالعه نمونه‌برداری از رخنمونهای سنگی که بیشترین آلتراسیون و کانی‌سازی در آنها مشاهده می‌شد با در نظرگرفتن وضعیت منطقه از نظر زون‌بندی، نوع و شدت دگرسانی و کانی‌سازی انجام شد. نمونه‌برداری در منطقه به روش خرده‌سنگی (chip composite) انجام پذیرفت که یک روش نمونه‌برداری ژئوشیمیایی است و بر اساس آن برداشت تکه‌های کوچک سنگی در حد چند سانتی‌متر و هر تکه حدود ۵۰ گرم و در یک محدوده خاص و با شعاع معین است، انجام می‌شود. ابعاد سطحی که از آن نمونه‌برداری خرده‌سنگی انجام می‌دهیم تابع شعاع زون کانی‌سازی می‌باشد.

جدول ۱. میزان عناصر مس، روی، سرب و نقره در نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای منطقه مورد مطالعه

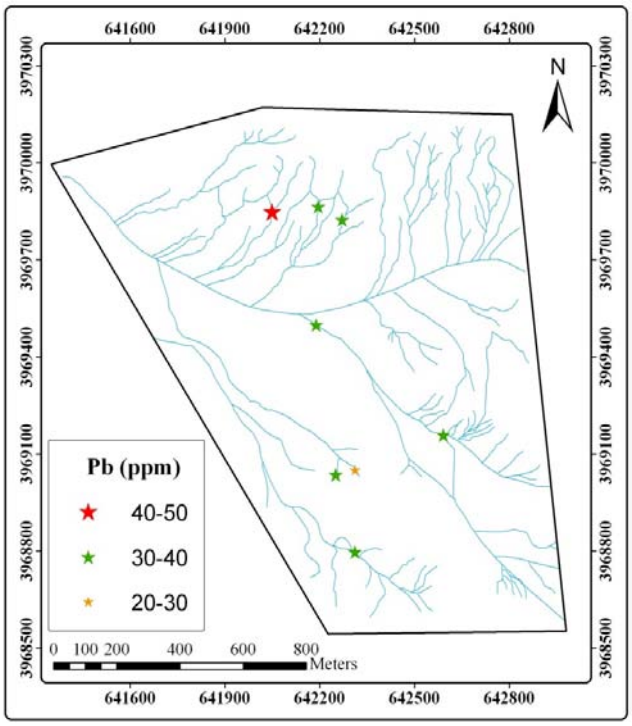
شماره	کد نمونه	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)
۱	S-1	۴۰	۴۵	۲۸	۱۲
۲	S-2	۵۸	۴۲۲	۳۴	۸
۳	S-3	۳۸	۵۴	۳۴	۲
۴	S-4	۴۳	۴۸	۳۱	۲
۵	S-5	۳۴	۴۹	۳۹	۲
۶	S-6	۳۵	۵۱	۳۲	۲
۷	S-7	۴۸	۶۲	۴۲	۳
۸	S-8	۵۰	۷۲	۳۳	۲



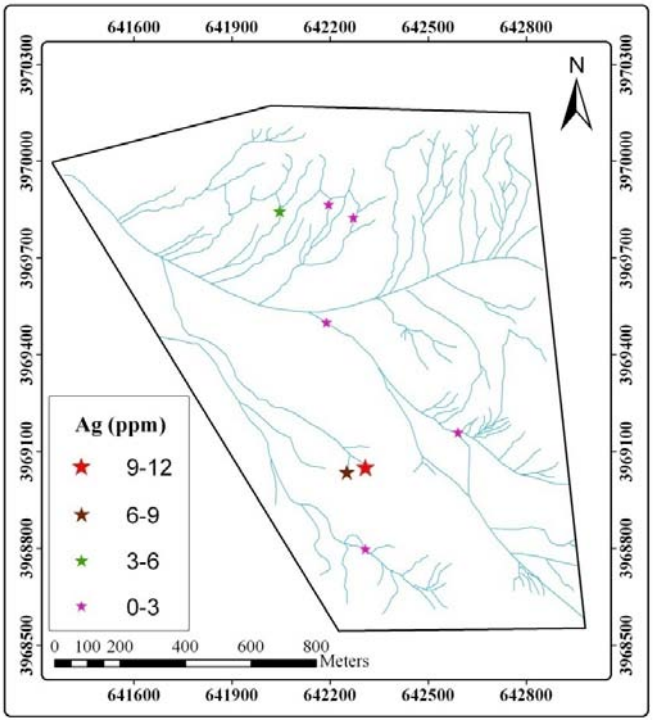
شکل ۸. توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس نسبت به موقعیت آب‌راهه‌ها



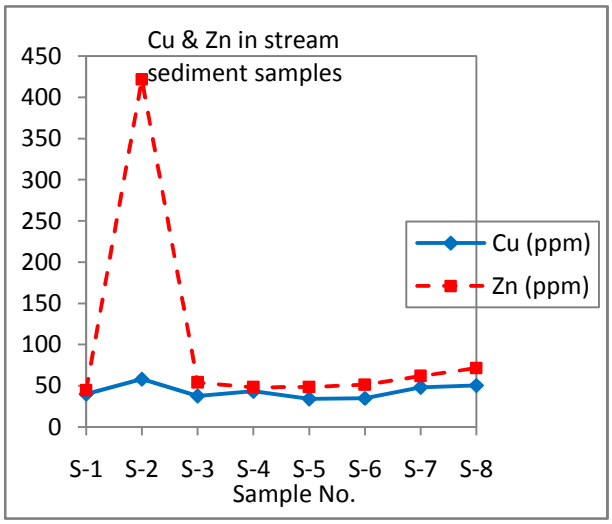
شکل ۹. توزیع ژئوشیمیایی عنصر روی نسبت به موقعیت آب‌راهه‌ها



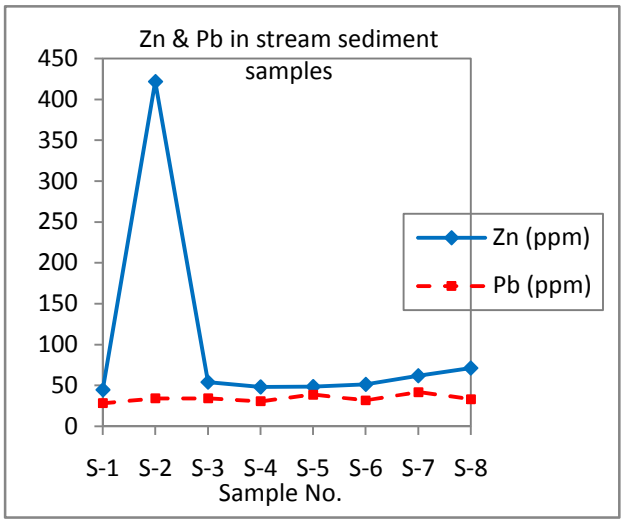
شکل ۱۰. توزیع ژئوشیمیایی عنصر سرب نسبت به موقعیت آب‌راهه‌ها



شکل۱۱. توزیع ژئوشیمیایی عنصر نقره نسبت به موقعیت آب‌راهه‌ها



شکل ۱۲. نمودار ارتباط بین مقادیر مس و روی در رسوبات آب‌راهه‌ای.



شکل ۱۳. نمودار ارتباط بین مقادیر روی و سرب در رسوبات آب‌راهه‌ای.

چون نتایج ژئوشیمیایی باید معرف مکان و منطقه برداشت نمونه باشد، ضرورت دارد در هنگام انتخاب و برداشت خرده-سنگ‌ها، موضوع توزیع یکسان و پوشش یکنواخت را مد نظر قرار داد و از برداشت خرده‌سنگ‌هایی که عمدتاً شامل بخشهای کانی‌سازی می‌باشد، پرهیز نمود. وزن هر نمونه برای نمونه‌های سطحی ۲ تا ۳ کیلوگرم می‌باشد. در مجموع در مطقه ۲۰ نمونه خرده سنگی برداشت گردید. کلیه نمونه‌های خرده‌سنگی پس از مراحل محلول‌سازی مورد آنالیز جذب اتمی قرار گرفتند که نتایج حاصله در جدول ۲ ارائه شده است.

مس در نمونه‌های خرده‌سنگی : در نمونه‌های خرده‌سنگی آنالیز شده میزان فراوانی مس از ۸ppm در نمونه ۱ تا ۱۱۳۷ppm در نمونه ۱۹ متغیر است که تقریباً نیمی از نمونه‌ها آنومالی نشان می‌دهند. واحد سنگی مربوط به بیشترین آنومالی‌ها در حد هورنبلند مونزونیت پورفیری می‌باشد و این واحد سنگی آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که فراوانی عنصر مس در آلتراسیون پتاسیک و پروپیلیتیک بیشتر است. نقشه توزیع ژئوشیمیایی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۴ نشان داده شده است.

روی در نمونه‌های خرده‌سنگی : بر اساس نتایج به‌دست آمده مشاهده شد که مقادیر روی نیز همانند مس مقادیر بالایی را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. مقادیر عنصر روی بین حدود ۱۳ppm در نمونه ۱ و ۴۱۱ppm در نمونه ۱۹ متغیر است. واحد سنگی مربوط به بیشترین مقادیر روی در حد هورنبلند مونزونیت پورفیری می‌باشد و این واحدهای سنگی آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده‌اند. فراوانی عنصر روی در آلتراسیون پروپیلیتیک بیشتر است. نقشه توزیع ژئوشیمیایی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی: مقادیر سرب در نمونه‌های سنگی از حدود ۱۵ppm در نمونه ۱۲ تا ۹۷ppm در نمونه ۷ متغیر است. در کل نمونه‌ها ۸ نمونه آنومالی بیشتر از ۵۰ppm را نشان می‌دهند. ماکزیمم مقادیر سرب در منطقه در ارتباط با واحدهای هورنبلند مونزونیت پورفیری است که آلتراسیون پروپیلیتیک- کربناتی را متحمل شده‌اند. نقشه توزیع ژئوشیمیایی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۶ نشان داده شده است.

نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی: مقادیر عنصر نقره از حدود ۲ppm در نمونه ۱۶ تا ۳۲ppm در نمونه ۱۲ در تغییر است. در کل نمونه‌ها ۳ نمونه آنومالی بالای ۲۰ppm را نشان می‌دهند. مقادیر بالای عنصر نقره در ارتباط با واحدهای بیوتیت هورنبلند مونزودیوریت پورفیری می‌باشد که آلتراسیون پروپیلیتیک- سرسیتی را متحمل شده‌اند. نقشه توزیع ژئوشیمیایی این عنصر بر روی نقشه آلتراسیون در شکل ۱۷ نشان داده شده است.

همبستگی عناصر در نمونه‌های خرده‌سنگی

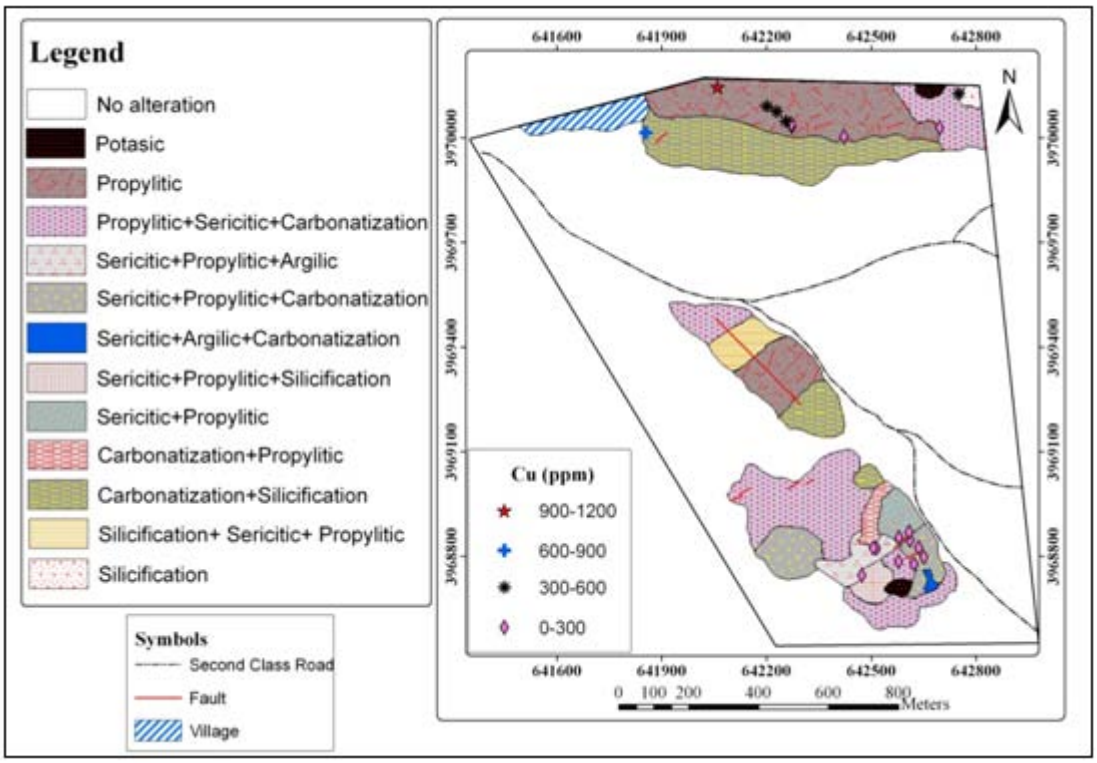
مس و روی : میزان مس در نمونه‌های سنگی به مراتب از میزان روی بیشتر بوده ولی در کل این دو عنصر با یکدیگر همبستگی مثبتی را نشان می‌دهند. روند تغییرات مس در نمونه‌های سنگی منطقه بیشتر از روی است. مقادیر آنومالی عناصر مس و روی عمدتاً در ارتباط با واحد هورنبلند مونزونیت پورفیری بوده و ارتباط خاصی با دگرسانی پروپیلیتیک و پتاسیک در منطقه دارد (شکل ۱۸).

مس- روی- سرب : همان طور که در بالا مشاهده گردید، همبستگی مثبتی بین مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی منطقه وجود دارد ولی این دو عنصر رابطه چندانی با سرب در منطقه ندارند و مقادیر سرب تقریباً روند ثابتی را نشان می‌دهد (شکل ۱۹).

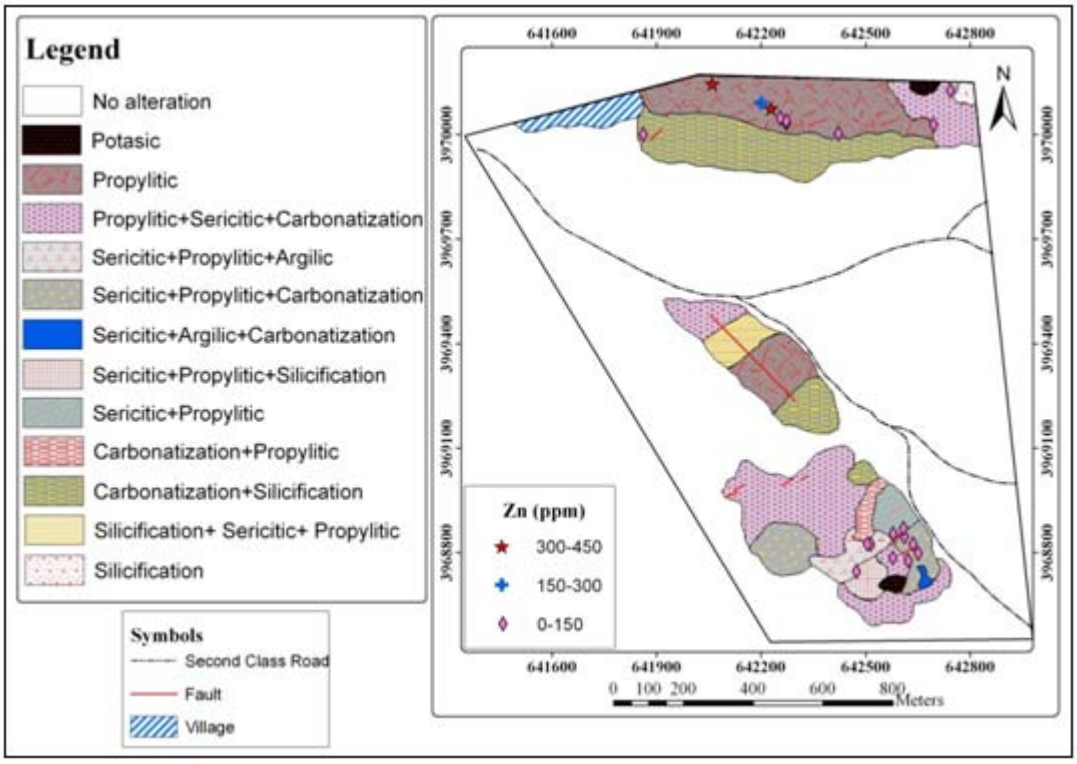
سرب و نقره : در کل مقادیر سرب در منطقه بیشتر از مقادیر نقره می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها با افزایش مقدار سرب، میزان نقره هم زیاد می‌شود ولی در برخی نمونه‌ها این رابطه معکوس است. در کل همبستگی چندانی بین مقادیر این دو عنصر وجود ندارد(شکل ۲۰).

جدول ۲. میزان عناصر مس، روی، سرب و نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی منطقه مورد مطالعه.

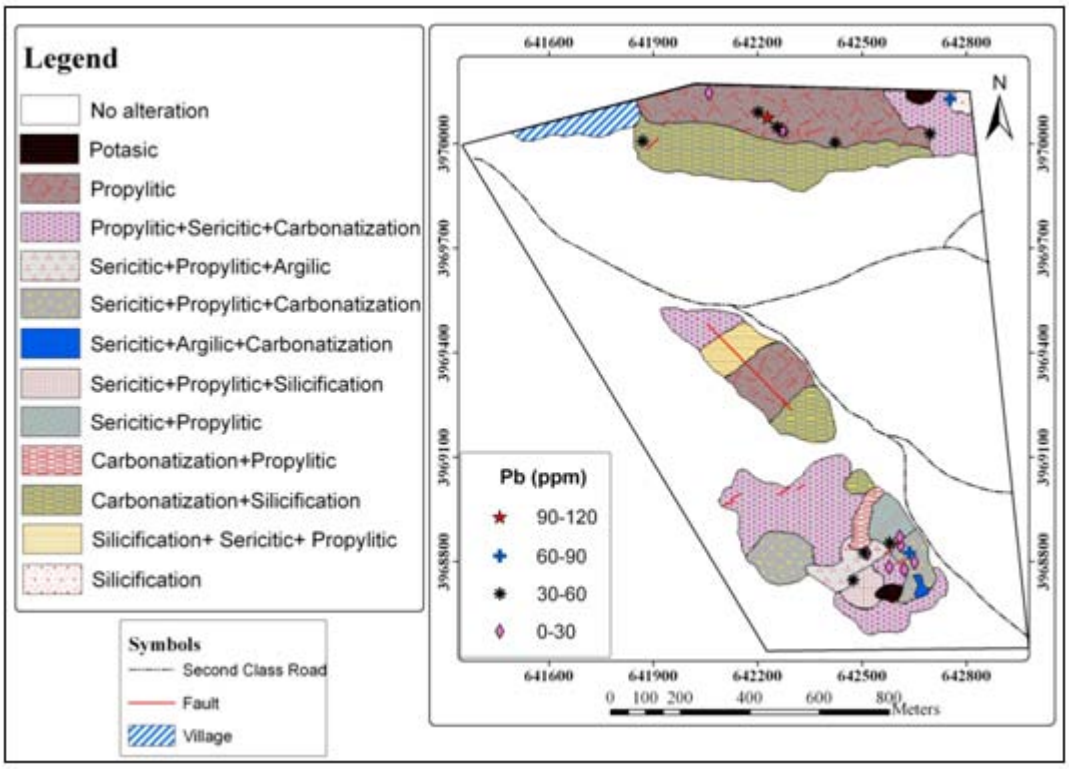
شماره	کد نمونه	Cu (ppm)	Zn (ppm)	Pb (ppm)	Ag (ppm)
۱	Ch-1	۸	۱۳	۵۸	۱۴
۲	Ch-2	۲۱	۳۹	۴۱	۷
۳	Ch-3	۲۴	۵۲	۴۱	۳
۴	Ch-4	۵۹۱	۵۸	۶۰	۳۹
۵	Ch-5	۸۶	۴۴	۴۱	۲۷
۶	Ch-6	۴۱۹	۱۵۶	۵۴	۳
۷	Ch-7	۵۰۷	۳۰۱	۹۷	۹
۸	Ch-8	۵۰	۲۹	۵۳	۲۱
۹	Ch-9	۹۶	۱۰۳	۵۳	۱۹
۱۰	Ch-10	۲۹	۶۷	۶۵	۱۳
۱۱	Ch-11	۲۹	۵۳	۲۳	۲
۱۲	Ch-12	۳۰	۳۹	۱۵	۳۲
۱۳	Ch-13	۱۴۵	۵۱	۲۵	۳
۱۴	Ch-14	۴۲	۴۸	۲۳	۴
۱۵	Ch-15	۴۸	۶۲	۲۶	۱۴
۱۶	Ch-16	۲۴	۳۹	۱۹	۲
۱۷	Ch-17	۲۶۹	۲۸	۲۳	۳
۱۸	Ch-18	۳۷۶	۳۴	۴۱	۴
۱۹	Ch-19	۱۱۳۸	۴۱۱	۲۵	۲۶
۲۰	Ch-20	۷۸۴	۱۰۴	۴۴	۵



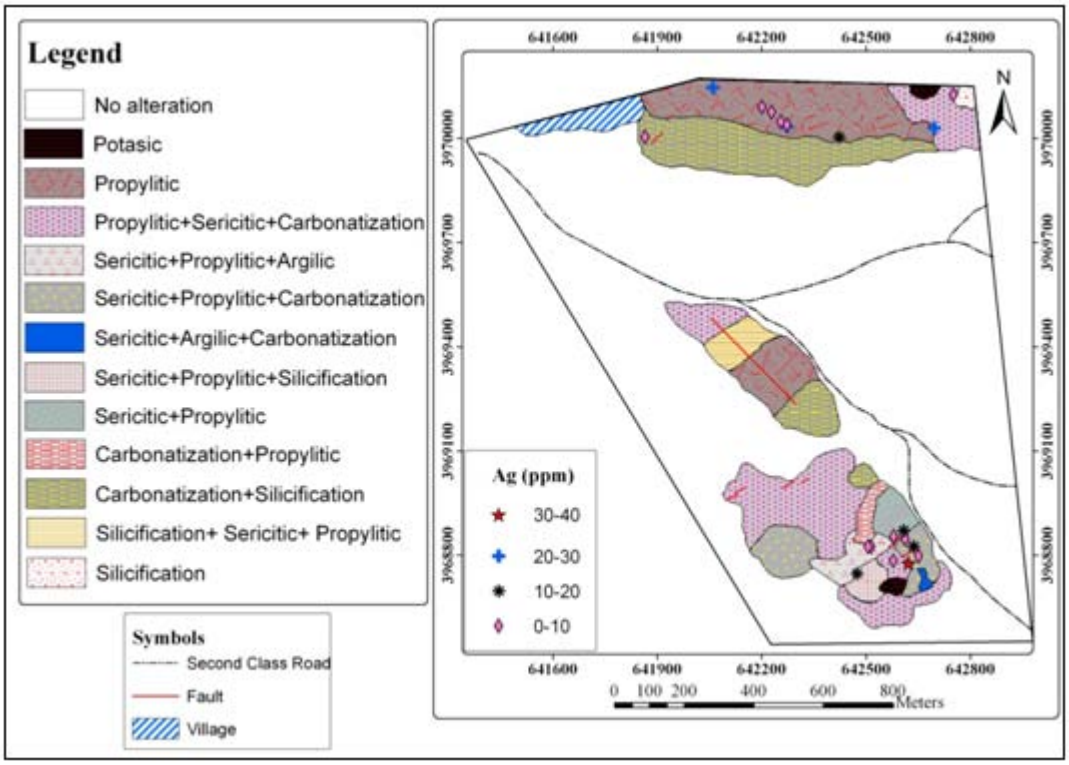
شکل ۱۴. توزیع ژئوشیمیایی عنصر مس در نمونه‌های خرده‌سنگی.



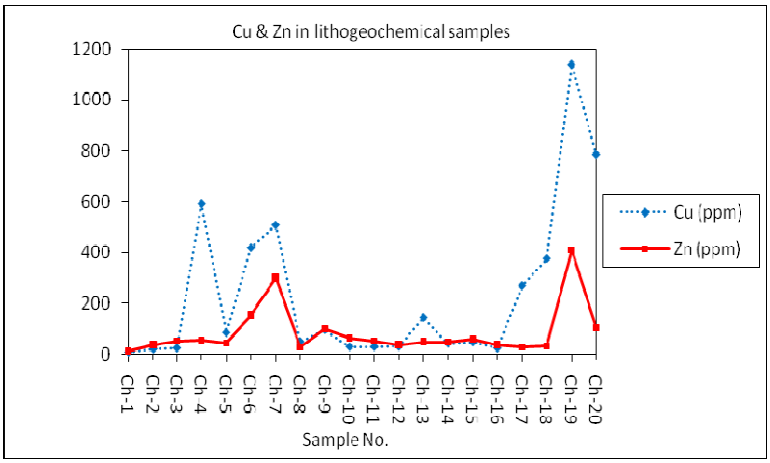
شکل ۱۵. توزیع ژئوشیمیایی عنصر روی در نمونه‌های خرده‌سنگی.



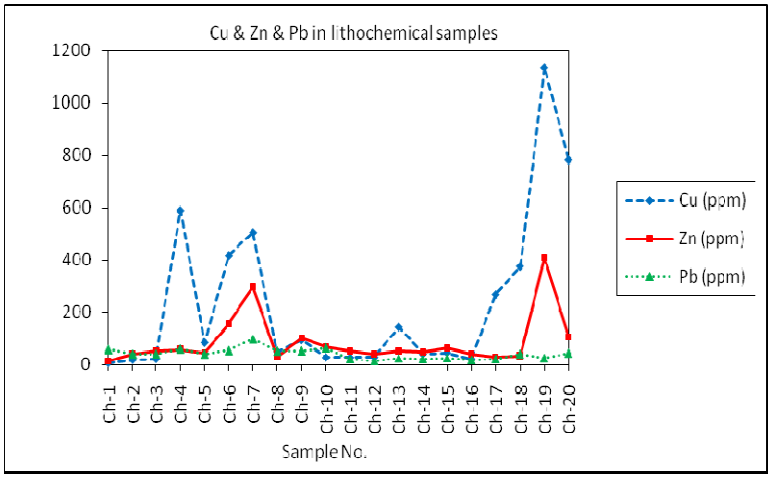
شکل ۱۶. توزیع ژئوشیمیایی عنصر سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی.



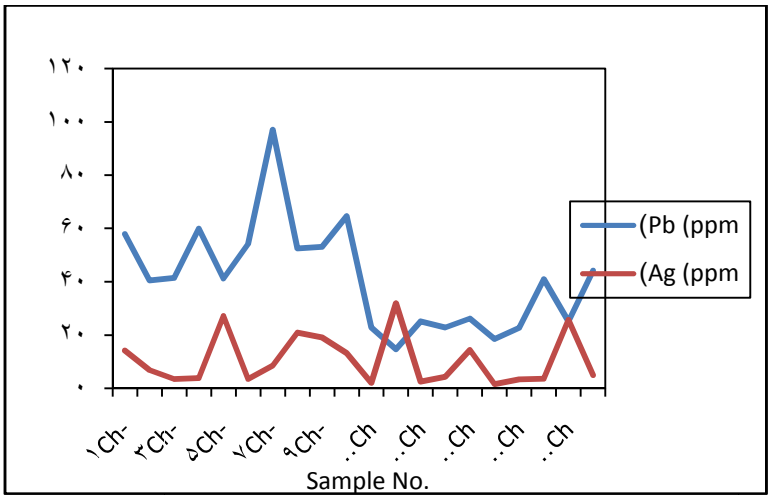
شکل ۱۷. توزیع ژئوشیمیایی عنصر نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی.



شکل ۱۸. نمودار ارتباط بین مقادیر مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی.



شکل ۱۹. نمودار ارتباط بین عناصر مس، روی و سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی.



شکل ۲۰. نمودار ارتباط بین عناصر سرب و نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی.

برداشت

منطقه ولکانیک- پلوتونیک ارغش واقع در جنوب غرب نیشابور از سنگهای آذرین نفوذی و آتشفشانی تشکیل شده است. واحدهای نفوذی غالباً به شکل استوک در منطقه مشاهده می‌شوند. واحدهای ولکانیکی در منطقه از واحدهای نفوذی قدیمی‌تر هستند به طوری‌که سن واحدهای نفوذی الیگومیوسن است. طیف ترکیبی سنگهای آتشفشانی از بازالت وپیروکسن آندزیت تا داسیت متغیر است.

سنگهای نفوذی در منطقه مورد مطالعه از گسترش زیادی به خصوص در جنوب آن برخوردار هستند. از میان کلیه واحدهای نفوذی واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز مونزودیوریت پورفیری بیشترین گسترش را در منطقه داراست. بافت مشاهده شده در توده های نفوذی گرانولار و پورفیری می باشد.

بر اساس پردازش تصاویر ماهواره‌ای و شواهد صحرایی دگرسانی شدیدی در منطقه مشاهده می‌شود. دگرسانیهای متنوع پتاسیک، پروپیلیتیک، سرسیتیک، کربناته، سیلیسی در منطقه مشاهده می‌شوند. عملکرد دگرسانی در منطقه وسیع و شدید بوده و باعث توزیع مجدد و تحرک عناصری چون Na^{+}, K^{+}, Ca^{2+} و Mg^{2+} شده و از طرف دیگر موجب اضافه‌شدن بعضی از عناصر به سنگها شده است.

دگرسانی پتاسیک در دو بخش کوچک در شمال و جنوب منطقه مشاهده می‌شود. در این نمونه‌ها بیوتیت‌های ثانویه کاملاً مشهود هستند. این بیوتیت‌های ثانویه بیشتر از بیوتیت‌ها و بعضاً از هورنبلند ایجاد شده‌اند. برخی از بیوتیت‌های ثانویه در حال تبدیل به کلریت است.

از آنجائی‌که زون پتاسیک در دو بخش در سطح زمین رخنمون یافته است می‌توان استنباط کرد که در این دو بخش یکی عامل گسلها باعث بالا آمدن این منطقه شده است و دیگری عامل فرسایش در این بخش شدید عمل کرده است و در مجموع این دو عامل باعث رخنمون یافتن زون پتاسیک در سطح شده است.

محلولهای موثر در فرآیند آلتراسیون را می‌توان به دو دسته محلولهای مرتبط با کانی‌سازی و محلولهای غیرمرتبط با کانی‌سازی تقسیم‌بندی کرد. این محلولها به ترتیب مسؤول ایجاد آلتراسیون‌های سرسیتی- پروپیلیتیک و سیلیسی- کربناته هستند.

فرآیند کانی‌سازی به دو صورت اولیه و ثانویه در منطقه مشاهده می‌شود. کانی‌سازی اولیه به صورت پراکنده در متن سنگهای حدواسط مشاهده می‌شود و عمدتاً پیریت است. کانی-سازی ثانویه بیشتر به صورت اکسیدهای آهن می‌باشند. بیشترین میزان آنومالی مس در نمونه‌های مربوط به رسوبات آب‌راهه‌ای در حد ۵۸ ppm و در ارتباط با جنوب غرب و شرق منطقه است. این در حالی است که بیشترین میزان آنومالی این عنصر در نمونه‌های خرده‌سنگی در حدود ۱۱۳۷ ppm و مربوط به بخش شمالی منطقه است. عمده آنومالی‌های مس در رسوبات رودخانه‌ای مربوط به آب‌راهه‌های منشا گرفته از واحد بیوتیت هورنبلند کوارتز دیوریت پورفیری می‌باشد.

عناصر مس و روی در نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای و نمونه‌های خرده‌سنگی همبستگی مثبت بالایی را نشان می‌دهند. به طور کلی مقادیر مربوط به آنومالی این عناصر در نمونه‌های خرده-سنگی به مراتب بیشتر از نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای است.

آنومالی عناصر مس و روی در نمونه‌های خرده‌سنگی ارتباط مستقیمی با دگرسانی پروپیلیتیک در منطقه داشته و همراه با واحد بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت مشاهده می‌شوند.

آنومالی سرب در بخش شمالی منطقه مشاهده می‌شود و در ارتباط با واحد بیوتیت هورنبلند گرانودیوریت می‌باشد.

از آنجائی‌که یک معدن کائولن (با ژنز دگرسانی و دارای منشا گرمابی) در شرق منطقه مورد مطالعه وجود دارد می‌توان استنباط کرد که زون آرژیلیک سیستم در شرق منطقه واقع شده است.

ارتباط منطقه مورد مطالعه با زون فرورانش حاشیه قاره و همچنین وجود زون‌های دگرسانی متنوع و آنومالی‌های ژئوشیمیایی عناصر مرتبط، این منطقه را از دیدگاه اکتشافات مس پورفیری حائز اهمیت نموده است.

منابع

[۱] کریم‌پور، م.، "*ویژگی‌های پترولوژیکی و کانه‌زایی در گرانیتوئیدهای فردوس*"، چهاردهمین همایش بلور و کانی (۱۳۸۵).

[2] Berberian, M., King, G. C., "*Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*", Canadian Journal of Earth Sciences 18, (1981) 210-265.

[3] Hezarkhani, A.,"*Hydrothermal evolutions at the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran*": evidence from fluid inclusions, Journal of Asian Earth Sciences, England 28,(2006a) 408-422.

[4] Hezarkhani, A., "*Alteration/mineralization and controls of chalcopyrite dissolution/deposition in the Raigan porphyry system, Bam-Kerman, Iran"*, Journal of International Geology Review, USA 48, (2006b) 561-572.

[5] Hezarkhani, A., "*Petrography of intrusive rocks within the sungun porphyry copper deposit, Azarbaijan, Iran*", Journal of Asian Earth Sciences, England 73,(2006c) 326-340.

[6] Etminan, H, "*Fluid inclusion studies of the porphyry copper ore bodies at Sar-Cheshmeh, Darreh Zar and Mieduk (Kerman region, southeastern Iran) and porphyry copper discoveries at Sar-Cheshmeh, Gozan, and Kighal, Azarbaijan region (northwestern Iran)*". International Association, Genesis of ore deposits Fifth Symposium, Snowbird, Utah, Abstract, No. 88, (1978).

[7] Cooke et al. "*Giant Porphyry Deposits: Characteristics, Distribution, and Tectonic Controls*", Economic Geology.(2005) 801-818.

[۸] عطاپور، م. ح.، *"بررسی ویژگیهای ژئوشیمیایی و پترولوژیکی توده‌های نفوذی گرانیتوئیدی ایران"*، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، (۱۳۷۷) ۸۱، ۲۱.

[9] Lowell, J. D., and Guilbert, J. M., *" Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits*": Economic Geology, v. 65, (1970) 373-408.

[10] Kirkham, R. V., "*Intermineral intrusions and their bearing on the origin of porphyry copper and molybdenum deposits*": Economic Geology, v. 66, (1971) 1244-1246.

[۱۱] کریم‌پو، م. ح.، سعادت، س.، *"زمین‌شناسی اقتصادی کاربری"*، ویرایش جدید، نشر مشهد، (۱۳۸۱) ۱۸۰- ۱۹۵.

[12] Rothestein, Y., "*Spectroscopy of Jarosite minarals*", mount Haloke college, PHD thesis, (2006).

[13] Rose, A. W., and Burt, D. M., "*Hydrothermal alteration in Barnes, H. L., ed., Geochestry of hydrothermal ore deposite*", 3rd edition: New York, USA, Jone wiley and sons, (1979) 173- 235.