

پترولوژی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه اکتشافی سرسفیدال (کاشمر، خراسان رضوی)

محمدحسن کریم‌پور

گروه زمین‌شناسی - دانشگاه فردوسی مشهد

پست الکترونیکی: mhkarimpour@yahoo.com

چکیده

منطقه سرسفیدال جزئی از کمربند آتشفشانی - نفوذی است که در شمال گسل درونه قرار دارد. فعالیت‌های ماگمایی ترشیر در این منطقه باعث تشکیل انواع توف‌های اسیدی - حد واسط و گدازه‌های آندزینی شده است. بر اساس فسیل‌های موجود در سنگ‌های آهکی که به صورت میان لایه با توف‌ها قرار دارند، سنی معادل ائوسن پائینی تا میانی برای سنگ‌های آتشفشانی تعیین شده است. دو مجموعه توده نفوذی در منطقه رخنمون دارند: (۱) تراندجمیت (آلکالی گرانیت غنی از سدیم) و (۲) کوارتز مونزونیت. محلول‌های ماگمایی مرتبط با توده‌های تراندجمیتی (محلول غنی از سدیم) نقش اصلی در تشکیل زون‌های آلتراسیون آلبیتی، سیلیسی و آرژیلیک داشته‌اند. این زون‌ها بسیار وسیع هستند و از سطح به عمق به ترتیب شامل زون سیلیسی در بالا، زون آرژیلیک در زیر و زون آلبیتی در پائین‌ترین قسمت است. تراندجمیت سرسفیدال در محدوده گرانیت‌های غنی از آلومینیم ترسیم شده و میزان سدیم آن‌ها نسبتاً زیاد است. با استفاده از نمودار نسبت Rb/Sr و اندیس رنگ مشخص شد توده‌های تراندجمیت سرسفیدال با وجود بالا بودن اندیس رنگ در این سنگ‌ها، نسبت Rb/Sr آن‌ها پایین است، لذا این توده‌ها برای کانی‌سازی قلع و مولیبدن پتانسیل ندارند. توده‌های کوارتز مونزونیت در محدوده سیستم‌های مس - طلا پورفیری ترسیم شده‌اند. بزرگ‌ترین ناهنجاری طلا در منطقه سرسفیدال به همراه کانی‌زایی مس در سنگ‌های مونزونیت و کوارتز مونزونیت پورفیری دیده می‌شود. وجود ناهنجاری طلا و مس در منطقه سرسفیدال، وجود کانی‌زایی مس به صورت رگه‌ای در مجاورت منطقه سرسفیدال و همراهی آن با یک زون آرژیلیک وسیع در منطقه اوج پلنگ - بهاریه، شواهدی هستند که احتمال حضور یک سیستم مس پورفیری را در جنوب غرب منطقه سرسفیدال مطرح می‌کند.

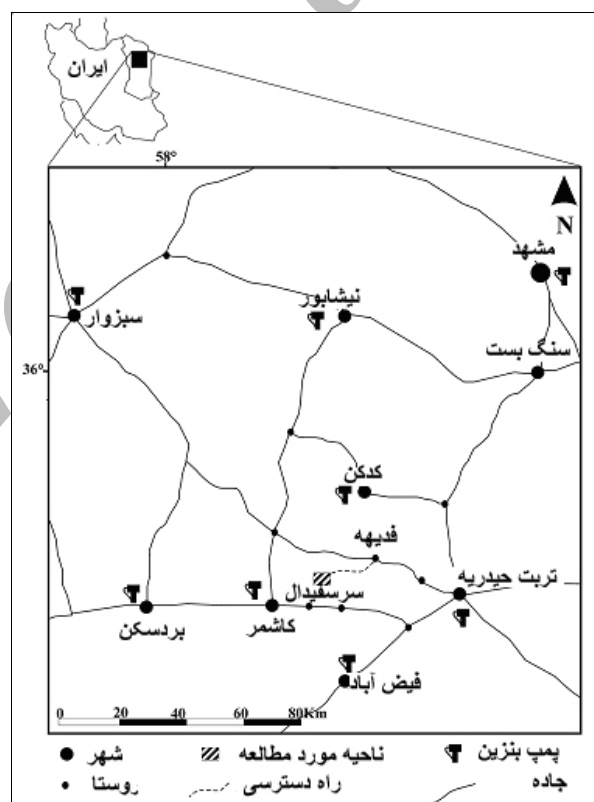
واژه‌های کلیدی: سرسفیدال، تراندجمیت، مس پورفیری، کاشمر و ایران

مقدمه

قرار دارد. فعالیت‌های ماگمایی ترشیر در این منطقه باعث تشکیل توف‌ها، گدازه‌های آندزینی و توده‌های نفوذی گرانیتی-گرانودیوریتی شده است [۱]. مهم‌ترین واحدهای سنگی منطقه سرسفیدال عبارتند از: ریوداسیت، لانتیت، تراکیت و توف و سنگ‌های نفوذی شامل آلکالی گرافیک گرانیت، سینوگرانیت، تراندجمیت، مونزونیت و کوارتز مونزونیت است. محلول‌های ماگمایی مرتبط با توده‌های نفوذی نقش اصلی در تشکیل زون‌های آلتراسیون داشته است [۲].

منطقه سرسفیدال در موقعیت جغرافیایی $40^{\circ} 41' 58''$ تا $40^{\circ} 45' 58''$ شرقی و $35^{\circ} 20' 40''$ تا $35^{\circ} 19' 40''$ شمالی قرار دارد. این منطقه در ۲۱۸ کیلومتری جنوب غربی مشهد واقع شده است (شکل ۱). راه دسترسی به منطقه، جاده آسفالتی مشهد- تربت حیدریه- فدیبه به طول ۱۹۶ کیلومتر است. از روستای فدیبه یک جاده دسترسی به طول ۲۲ کیلومتر به منطقه سرسفیدال احداث گردیده است. این منطقه محدوده اکتشافی شرکت طلای زرمهر می‌باشد.

منطقه سرسفیدال جزئی از کمربند آتشفشانی- نفوذی است که در شمال گسل درونه



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه سرسفیدال [۴]

W (۳۰۰۰) در بخش زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد.

۵. تجزیه نمونه‌های (ژئوشیمیایی) سنگ و رسوبات رودخانه‌ای برای عناصر Ni, Bi, Sb, Mo, Cu, Pb, As, Hg, Zn با استفاده از روش دستگاهی (Aqua ICP-AR (Regia و Au با دستگاه جذب اتمی توسط شرکت امک^۱ در کشور ایرلند.

زمین‌شناسی کمر بند آتشفشانی - نفوذی شمال گسل درونه

بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فیض آباد، در محدوده بین دو گسل تکنار و درونه فعالیت آتشفشانی ترشیر با توف‌های خاکستری تیره و گاه ایگنمبریتی شروع می‌گردد و با گدازه‌های سیاه‌رنگ با ترکیب آندزیتی همراهی می‌شوند. روی این واحد، ضخامت زیادی از توف‌های سفیدرنگ؛ برش‌های آتشفشانی، توف‌های خاکستری رنگ و ایگنمبریت و توف لاپیلی قرار می‌گیرد. علاوه بر مجموعه سنگ‌های پیروکلاستیکی، گدازه‌های آندزیتی نیز رخنمون دارند. این گدازه‌ها دارای بافت پورفیری و حاوی بلورهای پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل با ترکیب حدواسط است که گاهی به کلریت، سرسیت و اپیدوت آتزه شده‌اند. بلور پیروکسن در اکثر موارد در این سنگ‌ها شدیداً اپیدوتی و کلریتی شده‌اند. زمینه این سنگ‌ها از بلورهای کوچک فلدسپار که سرسیتی شده‌اند تشکیل شده است. در پائین‌ترین قسمت این سنگ‌ها،

مرز شمالی این کمر بند شرقی - غربی را گسل تکنار (که یک گسل راستگرد می‌باشد) مشخص می‌کند. سنگ‌های حاشیه شمالی این گسل، هارزبورگیت، دیاباز، سرپانتینت به همراه آهک پلاژیک و رادیولاریت و آهک‌های کریستالین می‌باشند. فسیل‌های موجود در رادیولاریت‌های این منطقه، سن کامپاین را برای این سنگ مشخص می‌کند. مرز جنوبی این کمر بند، گسل امتداد لغز درونه است. در حاشیه جنوبی این گسل رسوبات نئوژن و کواترنر گسترش دارد. این گسل از کاشمر به سمت شرق از نوع راستگرد و از کاشمر به سمت غرب از نوع امتداد لغز چپگرد می‌باشد. اثر فعالیت‌های جدید این گسل را می‌توان در نهشته‌های جوان منطقه مشاهده کرد.

روش مطالعه

- تهیه نقشه زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی (مقیاس ۱:۱۰۰۰۰).
- برداشت نمونه برای مطالعات پتروگرافی و پترولوژی.
- نمونه‌برداری برای اکتشافات ژئوشیمیایی (نمونه‌های سنگی و رسوبات رودخانه‌ای).
- تجزیه توده‌های نفوذی برای اکسیدهای اصلی و عناصر V, Cr Co, Zn, Rb, Sr, Y, Zr با استفاده از روش دستگاه XRF (ساخت فلیپس مدل X, Unique II مجهز به ۴ کریستال تجزیه کننده و امکان تجزیه عناصر اصلی و فرعی با ماکزیمم توان

سنگ‌های آتشفشانی اواخر نئوژن و اوایل کواترنر در شمال غربی تربت حیدریه بین بایگ و نامق (بیشتر شمال شرق تا شمال غرب روستای فدیهه) دیده می‌شوند. این فعالیت آتشفشانی با برجا نهادن ضخامتی از لاهار شروع و ناحیه نسبتاً وسیعی را اشغال می‌کند. در ادامه این فعالیت‌ها مقادیر قابل ملاحظه‌ای گدازه‌های بازالتی سیاه رنگ روی آن‌ها جریان پیدا می‌کند.

زمین‌شناسی منطقه سرسفیدال

منطقه سرسفیدال دارای واحدهای سنگی متنوعی است که بر اساس نتایج این تحقیق، واحدهای سنگی را می‌توان به ۵ دسته تقسیم کرد که عبارتند از: ۱- توف‌ها، ۲- سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق، ۳- سنگ‌های نفوذی، ۴- سنگ‌های حاصل از فرآیند آلتراسیون و ۵- دایک.

۱- توف‌ها: قسمت‌های غربی و شمال غربی منطقه سرسفیدال از توف‌ها پوشیده شده است (شکل ۲). این توف‌ها دارای ترکیب اسیدی هستند و با رنگ سبز روشن از سنگ‌های اطراف مشخص می‌شوند. در این توف‌ها لایه‌بندی مشاهده نمی‌شود. اندازه ذرات آن غالباً کم‌تر از ۲ میلی‌متر است و در بعضی قسمت‌ها نیز ذرات بزرگ‌تری در آن دیده می‌شود و می‌توان این قسمت‌ها را لاپیلی توف نامید. این بخش از منطقه سرسفیدال دارای توپوگرافی تندی است و دره‌های عمیق با شیب‌های تند در این قسمت دیده می‌شود.

لایه توفی حاوی فسیل، Nummulites. cf perforatus مشاهده می‌شود که سنی برابر ائوسن میانی را برای این قسمت مشخص می‌نماید. لایه‌های آهکی که ندرتاً در داخل این سنگ‌ها دیده می‌شود محتوی میکروفسیل‌های Numulites cf globules, Discocyliina sp, Operculina sp, Rotalia sp, Amphistegina sp, Ditrupa sp, Miliolhda, Nummulites sp, است که سنی معادل ائوسن پائینی تا میانی دارند.

آخرین محصول فعالیت‌های آتشفشانی مربوط به این زمان پیروکسن آندزیت و آلکالی بازالت و تراکی آندزیت‌های شمال آبادی خوشدره در شرق ناحیه می‌باشد. بافت این سنگ‌ها پورفیری و گلمروپورفیری است و دارای بلورهای پلاژیوکلاز بازی و پیروکسن و اولیوین هستند زمینه این سنگ‌ها میکروولیتی متشکل از پلاژیوکلاز و فلدسپار آلکالن است.

ماگماتسیم بعد از ائوسن با نفوذ گرانودیوریت به داخل سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری پالئوژن در شمال و مرکز ناحیه فیض‌آباد مشخص می‌شود. بزرگ‌ترین توده نفوذی در مرکز ناحیه، در شمال گسل درونه رخنمون دارد. علاوه بر این توده‌های کوچکتری نیز در شصت دره کوه کرگز و شمال آبادی تنورچه رسوبات پالئوژن را قطع نموده‌اند. درکوه کمرمرد و سرسفیدال، حاشیه شمالی توده گرانودیوریتی دارای ترکیب گرانییتی است این سنگ‌ها به طور کلی درشت بلور با بافت پورفیری و یا دانه‌ای هستند و از پلاژیوکلاز، فلدسپارهای پتاسیک، آمفیبول و کوارتز تشکیل شده‌اند.

تا ۱ میلی متر تغییر می کند. مقدار کوارتز در زمینه سنگ به ۱۰ درصد می رسد. اندازه بلورهای زمینه غالباً کوچک تر از ۰/۰۵ میلی متر می باشد. کانی مات نیز به میزان ۱ تا ۳ درصد در این سنگها مشاهده می شود. آلتراسیون این سنگ شدیدتر از بقیه سنگهای نفوذی نیمه عمق منطقه است. آلتراسیون غالب این سنگ نیز پروپلیتی می باشد. در اثر این آلتراسیون بخشی از بلورهای پلاژیوکلاز به اپیدوت دگرسان شده است به طوری که در مقاطع این سنگ غالباً ۵ تا ۱۰ درصد اپیدوت مشاهده می شود. همچنین در اثر این آلتراسیون مقداری بلورهای آمفیبول به کلریت و کانی اپک تبدیل شده اند به طوری که ۲ تا ۳ درصد کلریت نیز غالباً در این سنگ دیده می شود.

هورنبلند مونزودوریت پورفیری: رخنمون این سنگ در شمال زون سیلیسی شرقی قرار دارد و کوچکترین رخنمون سنگهای نفوذی نیمه عمیق منطقه محسوب می شود (شکل ۲). به علت کوچک بودن فنوکریستهای این سنگ بافت پورفیری آن در نمونه دستی به خوبی مشخص نیست. رنگ این سنگ تیره است و به راحتی از بقیه سنگها متمایز می شود. این سنگ دارای بافت پورفیری است و میزان فنوکریست آن به ۷۰ درصد می رسد. ۶۵ درصد فنوکریستها پلاژیوکلاز می باشند، ۱۰ تا ۱۵ درصد آنها بلورهای آمفیبول هستند و بقیه فنوکریستها بلورهای آلکالی فلدسپار می باشند. اندازه بلورهای فنوکریست از ۰/۱ تا ۰/۶ میلی متر تغییر می کند و بلورهای زمینه کوچکتر از ۰/۱ میلی متر می باشند.

۲- سنگهای نفوذی نیمه عمیق: این سنگها بخش وسیعی از منطقه سرسفیدال را پوشانده اند. بر اساس مطالعات پتروگرافی و مشخصه های ظاهری، این سنگها به سه دسته تفکیک شده اند.

هورنبلند مونزونیت پورفیری: این سنگ در قسمت های میانی منطقه مشاهده می شود (شکل ۲). رخنمون این سنگ از سایر سنگهای نفوذی نیمه عمیق منطقه بیشتر است. بافت این سنگ پورفیری است و ۳۵ تا ۴۰ درصد فنوکریست دارد. تقریباً نیمی از فنوکریستها آلکالی فلدسپار و نیمی دیگر پلاژیوکلاز می باشند و اندازه آنها از ۰/۱ تا ۰/۹ میلی متر تغییر می کند. کوارتز به میزان ۵ درصد در زمینه سنگ دیده می شود. اندازه بلورهای زمینه سنگ غالباً کمتر از ۰/۰۵ میلی متر است. سایر کانی های این سنگ آمفیبول به میزان ۲ تا ۵ درصد و کانی مات (اپک) به میزان ۱-۳ درصد می باشد. آلتراسیون غالب این سنگ پروپلیتیک است، آمفیبولها به کلریت و بخشی از پلاژیوکلازها به اپیدوت آلتره شده اند. در مجموع ۱ تا ۲ درصد کلریت و ۳ تا ۴ درصد اپیدوت در این سنگها مشاهده می شود.

هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری: رخنمون این سنگ در شرق منطقه دیده می شود (شکل ۲). این سنگ با بافت پورفیری و رنگ روشن از بقیه سنگ متمایز می شود. این سنگ دارای بافت پورفیری است و میزان فنوکریست آن به ۵۰ درصد می رسد. ۶۰ درصد فنوکریستها پلاژیوکلاز، ۳۵ درصد آن آلکالی فلدسپار و ۵ درصد فنوکریستها آمفیبول می باشند. اندازه بلورهای فنوکریست از ۰/۱

در داخل بعضی از بلورهای آلکالی فلدسپار تشکیل شده است.

آلکالی گرانوفیریک گرانیت: در چند محل این واحد سنگی در منطقه سرسفیدال رخنمون دارد. بزرگ‌ترین آن‌ها در قسمت جنوب غربی و شمال منطقه قرار دارند و توده‌های کوچک‌تری نیز در مرکز و شمال شرق منطقه رخنمون دارند (شکل ۲). آلکالی گرانیت جنوب غرب منطقه دارای شکستگی‌هایی است که توسط سیلیس پر شده‌اند و این ویژگی در سایر توده‌های آلکالی گرانیت منطقه مشاهده نمی‌شود. آلکالی گرانیت‌های منطقه سرسفیدال دارای بافت گرانولار می‌باشند و از دو کانی کوارتز و آلکالی فلدسپار تشکیل شده‌اند. رنگ آنها سفید و گاهی صورتی می‌باشد. مطالعات همبری این سنگ‌ها با سنگ‌های ساب و لکانیک نشان می‌دهد که آلکالی گرانیت‌ها جوانتر می‌باشند. بافت اصلی این سنگ گرانولار است و بافت دوم آن گرانوفیریک می‌باشد. اندازه بلورهای آن به طور متوسط ۰/۵ میلی‌متر است و از ۵۵ درصد آلکالی فلدسپار و ۴۵ درصد کوارتز تشکیل شده است. گاهی در بعضی مقاطع یک یا دو بلور آمفیبول و یا کانی اپک دیده می‌شود. آلتراسیون این سنگ کم است و به سرسیتی شدن جزئی سطح آلکالی فلدسپارها محدود می‌شود.

۴- سنگ‌های حاصل از فرآیند آلتراسیون

فرآیند آلتراسیون (در منطقه سرسفیدال) باعث سیلیسی شدن و رسی (آرژیلی) شدن بخش‌های وسیعی از سنگ‌های منطقه شده است. در شکل ۲ این بخش‌ها

میزان کانی مات این سنگ نیز حدود ۴ درصد است. آلتراسیون این سنگ از دیگر سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق منطقه کمتر است. در اثر آلتراسیون پروپلیتیک حدود ۱ تا ۲ درصد اپیدوت از دگرسانی پلاژیوکلازها حاصل شده است و حدود ۱ درصد کلریت نیز در این سنگ دیده می‌شود که از آلتراسیون آمفیبول‌ها حاصل شده است.

۳- سنگ‌های نفوذی: سنگ‌های نفوذی منطقه شامل آلکالی گرانوفیریک گرانیت، هورنبلند گرانوفیریک گرانیت و هورنبلند کوارتز مونزونیت پورفیری می‌باشند.

هورنبلند گرانوفیریک گرانیت: این سنگ قسمت جنوب و جنوب شرق منطقه را پوشانده است (شکل ۲). بافت این سنگ گرانولار و گرانوفیریک است و حاوی کانی‌های فلدسپار، کوارتز و هورنبلند می‌باشد. این قسمت از منطقه سرسفیدال دارای توپوگرافی خشن است و در آن قله‌های بلند و دره‌های عمیق دیده می‌شود. بلورهای مختلف این سنگ اندازه‌های متفاوت دارند و اندازه آن‌ها از ۰/۵ تا ۱/۵ میلی‌متر تغییر می‌کند. کانی‌های این سنگ شامل کوارتز ۳۵ درصد، پلاژیوکلاز ۳۵ درصد، آلکالی فلدسپار ۲۰ درصد، آمفیبول ۸ درصد و کانی مات ۱ تا ۲ درصد می‌باشد. آلتراسیون غالب این سنگ پروپلیتیک است که در اثر آن پلاژیوکلازها به میزان ۴ تا ۵ درصد به اپیدوت تبدیل شده‌اند، آمفیبول‌ها نیز به میزان ۲ تا ۳ درصد به کلریت تبدیل شده‌اند. سرسیتی شدن آلکالی فلدسپارها نیز در این سنگ مشاهده می‌شود به طوری که ۲ تا ۳ درصد سرسیت

می‌شود. شکل ۲ موقعیت زون آلبیتی شمال شرق را نسبت به دیگر زون‌های آلتراسیون و نیز نسبت به سنگ آکالی گرانیت نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌گردد زون آلبیتی در بالای آکالی گرانیت و در زیر زون آرژیلیک قرار دارد.

کانی دومورتیریت $Al_7(BO_3)(SiO_4)3O_3$ در منطقه سرسفیدال در زون‌های آلتراسیون توسط مظلومی [۳] شناسایی شد. این کانی نسبتاً نادر است و در سایر نقاط دنیا در زون‌های آلتراسیون گزارش شده است [۴]. براساس زون آلبیتی و کانی دومورتیریت محلول ماگمایی غنی از سدیم و B بوده است.

پترولوژی آکالی گرانیت‌ها و توده‌های نیمه عمیق

به منظور بررسی خصوصیات پترولوژیکی توده‌های گرانیتی و سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق منطقه سرسفیدال از چند محل نمونه برداری انجام گرفت. عناصر اصلی و فرعی این سنگ‌ها با دستگاه XRF گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد با روش ذوب و پودر پرس شده (عناصر اصلی در شرایط ذوب و عناصر فرعی در پودر پرس شده) اندازه‌گیری شدند. در جدول ۱ نتایج تجزیه گزارش شده است.

با استفاده از نمودار بارکر [۵] توده‌های نفوذی نام‌گذاری شدند (شکل ۳). توده‌های گرانیتی به دلیل بالا بودن میزان آلبیت در محدوده تراندجیمیت

با نام‌های زون آرژیلیک، زون آلبیتی و زون سیلیسی مشخص شده‌اند.

زون آرژیلیک: زون‌های آرژیلیک در زیر و اطراف زون‌های سیلیسی قرار دارند (شکل ۲). سنگ‌های آرژیلیک با رنگ سفید و سختی پائین به راحتی مشخص می‌شوند (شکل ۲). در قسمت‌هایی که میزان کوارتز در سنگ‌های آرژیلیکی بالا است سنگ‌های سختی بالاتری دارند و رنگ آنها نیز متمایل خاکستری می‌شود.

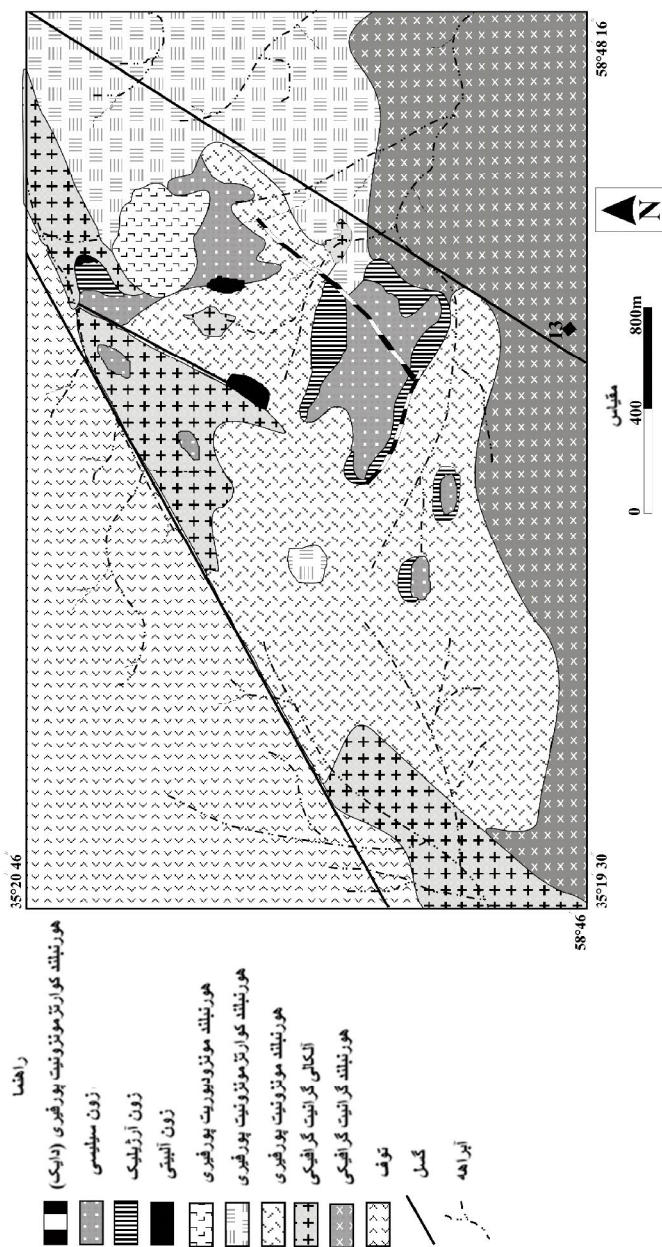
زون سیلیسی: دو زون سیلیسی بزرگ در قسمت مرکزی و شرقی و چند زون سیلیسی کوچک در قسمت‌های شمالی و مرکزی وجود دارد (شکل ۲).

زون‌های سیلیسی در قسمت‌های بالایی ارتفاعات منطقه دیده می‌شوند. زون‌های سیلیسی شمال شرق و شمال منطقه دارای رنگ قرمز است که این نشانه حضور اکسید آهن در سیلیس این بخش می‌باشد. سیلیس در سایر قسمت‌ها دارای رنگ سفید می‌باشد و میزان اکسید آهن و سایر ناخالصی‌های آن ناچیز است.

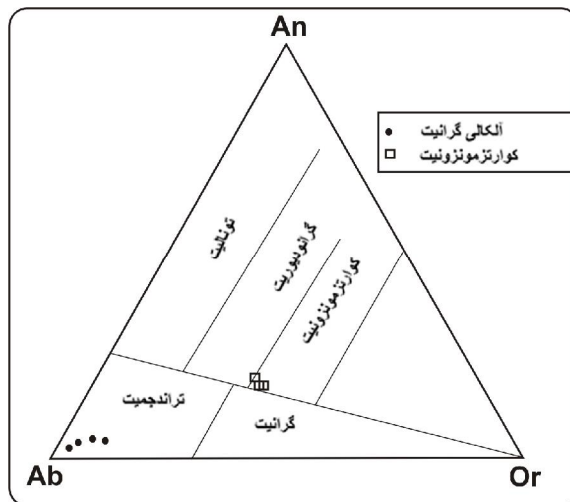
زون آلبیتی: تاکنون سه زون آلبیتی در منطقه سرسفیدال شناسایی شده است که از این میان دو زون در شرق و غرب توده آکالی گرانیت مرکزی واقع‌اند و زون دیگر در مجاورت توده آکالی گرانیت شمال شرق منطقه قرار دارد (شکل ۲). زون آلبیتی که در شرق این توده قرار دارد مستقیماً در زیر زون سیلیسی قرار دارد و همراهی زون آلبیت غربی با سایر زون‌های آلتراسیون نیاز به بررسی بیشتری دارد. زون آلبیتی شمال شرق با زون آرژیلیک همراهی

که موجب تشکیل زون‌های آلتراسیون سیلیسی، آرژیلیک و آلبیتی شده است. گروه دوم دارای ترکیب مونزونیتی هستند و موجب کانی‌سازی Cu-Au در منطقه شده‌اند.

و توده‌های نفوذی نیمه عمیق، گروه دوم در محدوده کوارتز مونزونیت تا گرانودیوریت ترسیم شده‌اند (شکل ۳). براین اساس در منطقه سرسفیدال حداقل دو مجموعه توده نفوذی رخنمون دارند. گروه اول شامل گرانیت‌های غنی از سدیم (تراندجمیت) است



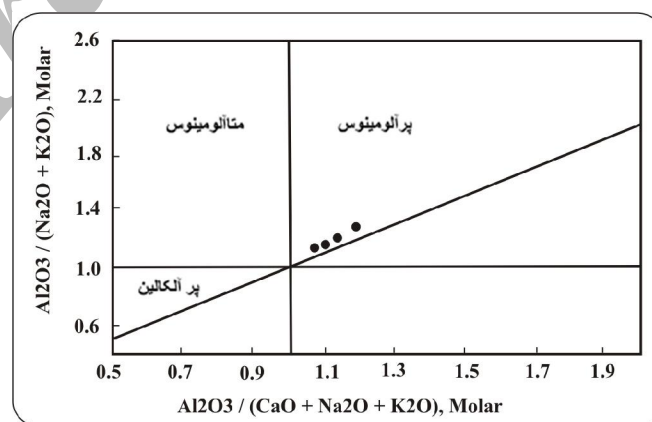
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه سرسفیدال (مطلومی، ۱۳۸۰) با تصحیحات [۶]



شکل ۳- توده‌های گرانیتی در محدوده تراندجمیت و توده‌ای نیمه عمیق در محدوده کوارتز مونوزونیت تا گرانودیوریت ترسیم شده‌اند [۵].

میزان اکسید آلومینیم، میزان اکسید سیلیسیم نمونه‌ها کاهش می‌یابد. براساس نسبت مولی اکسید آلومینیم به مجموع اکسیدهای سدیم، پتاسیم و کلسیم (اندیس شاند)، در گرانیت‌های سرسفیدال، اندیس شاند از ۱/۰۷ در نمونه SF-1 تا ۱/۲۵ در نمونه SF-14 تغییر می‌کند. به این ترتیب این گرانیت‌ها در محدوده گرانیت‌های فوق آلومینیم قرار می‌گیرند (شکل ۴).

میزان SiO_2 توده‌های گرانیتی نسبتاً زیاد است و بین ۷۵ تا ۷۹ درصد تغییر می‌کند (جدول ۱). میزان Na_2O این توده‌ها نیز نسبتاً زیاد و بین ۴/۵ تا ۷/۵ درصد متغیر است (جدول ۱). اکسید آلومینیم از ۱۲/۸۲ درصد در نمونه SF-4 تا ۱۴/۶ درصد در نمونه SF-1 تغییر می‌کند. با بررسی تغییرات اکسید آلومینیم و سیلیسیم مشاهده می‌شود که با افزایش



شکل ۴- نمودار تفکیک گرانیت‌های فوق آلومینیم، متآلومینیم و فوق آکالین گرانیت‌های منطقه سرسفیدال در محدوده فوق آلومینیم قرار می‌گیرند.

جدول ۱- نتایج آنالیز شیمیایی گرانیت‌های منطقه سرفیدال (SF) و مونزونیت‌ها (SFM) و کانی‌های نرماتیو این

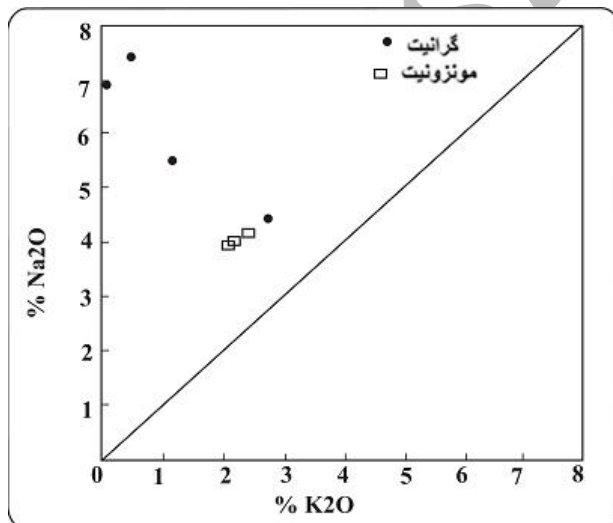
سنگ‌ها (کوارتز = Qtz، آلبیت = Ab، اورتوز = Or، آنورتیت = An، کروندم = Co، ایلمینیت = Ilm،

هیپرستن = Hy، مگنتیت = Mt)

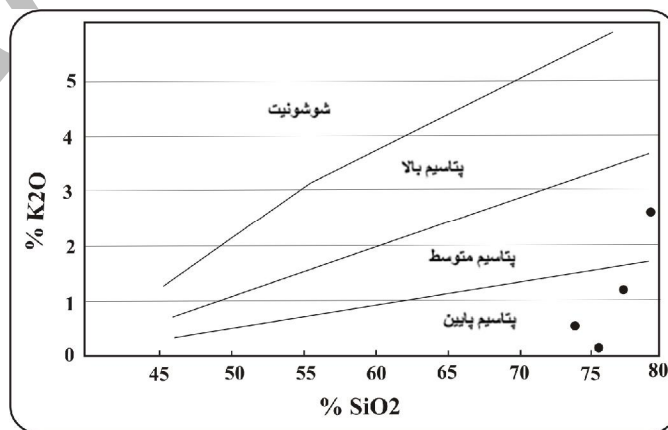
SF-1	SF-4	SF-7	SF-14	SFM-6	SFM-10	SFM-11	درصد اکسیدها
۷۴/۵۰	۷۹/۲۷	۷۵/۶۰	۷۷/۴۴	۶۵/۹۴	۶۴/۲	۶۷/۱	SiO ₂
۰/۲۵	۰/۱۱	۰/۱۵	۰/۱۹	۰/۳۶	۰/۳۳	۰/۲۳	TiO ₂
۱۴/۶۰	۱۲/۸۲	۱۳/۵۰	۱۳/۸۴	۱۶/۱۱	۱۷/۲	۱۶/۸	Al ₂ O ₃
۰/۵۶	۰/۴۲	۰/۵۳	۰/۶۱	۳/۶۴	۳/۷۸	۳/۵۶	(FeO) _t
۰/۰۵	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۳	۰/۱۶	۱/۸	۰/۱۶	MnO
۰/۱۷	۰/۰۲	۰/۲۵	۰/۴۲	۱/۲۳	۱/۳۵	۱/۳	MgO
۰/۳۵	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۳۳	۲/۳۱	۲/۴۵	۲/۳۴	CaO
۷/۵۰	۴/۴۴	۶/۹۵	۵/۶۱	۴/۱۷	۴/۳	۴/۲	Na ₂ O
۰/۵۶	۲/۵۹	۰/۰۲	۱/۱۴	۲/۲۳	۲/۵	۲/۴	K ₂ O
۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۹	۰/۰۲	۰/۰۱	P ₂ O ₅
۰/۷۶	۱/۱۷	۱/۷۹	۰/۷۹	۱/۵۶	۱/۴۵	۱/۵۵	L.O.I
							عناصر فرعی (ppm)
۹/۹۶	۴/۳۱	۱۲/۸۶	۱۳/۰۰	۶۰/۱	۵۶/۲	۶۵/۱	V
۴/۳۱	۴/۷۲	۵/۱۷	۴/۷۴	۱۰/۳۶	۱۱	۱۲	Co
۲۲/۲۱	۱۹/۸۲	۲۹/۱۹	۴۱/۵۲	۹۴۶/۱	۳۴۵	۲۳۴	Zn
۴۲/۶۰	۱۳۱/۶۹	۴۰/۹۱	۷۳/۷۳	۹۵	۱۱۲	۱۲۳	Rb
۱۲۵/۴۴	۵۴/۰۲	۹۵/۲۶	۱۲۷/۹۵	۴۲۳	۳۴۵	۳۲۳	Sr
۱۳/۰۷	۷۹/۸۰	۶۲/۶۲	۶۲/۲۰	۲۹	۲۳	۲۲	Y
۲۷۵/۵۱	۱۵۰/۲۲	۲۱۸/۸۷	۲۱۷/۴۱	۱۵۷	۱۳۴	۱۳۲	Zr
							نورم کانی‌ها
۲۷/۸۱	۴۳/۰۹	۳۷/۱۴	۳۹/۱۴	۲۵/۱	۲۱/۲۷	۲۵/۴	Qtz
۳/۳۱	۱۵/۳۱	۰/۱۲	۶/۷۴	۱۳/۱۶	۱۴/۳	۱۴/۱۷	Or
۶۳/۴۶	۳۷/۵۷	۵۸/۸۱	۴۷/۴۷	۳۵/۲۵	۳۶/۳۵	۳۵/۵	Ab
۱/۵۴	۰/۹۶	۱/۲۷	۱/۵۷	۱۱/۳۶	۱۲/۱۵	۱۱/۵۴	An
۱/۰۹	۲/۳۶	۱/۵۸	۲/۸۰	۲/۶۷	۲/۹۷	۳/۷	Co
۰/۱۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۶۸	۰/۶۳	۰/۴۴	Ilm
۰/۴۲	۰/۰۵	۰/۶۲	۱/۰۵	۵/۱۱	۵/۴۱	۵/۵۳	Hy
۰/۶۲	۰/۴۷	۰/۵۹	۰/۱۶	۲/۳۲	۲/۴۵	۲/۲۷	Mt

سرسفیدال نشان داده شده است. یک نمونه در محدوده پتاسیم متوسط و سه نمونه دیگر در محدوده پتاسیم پایین قرار می‌گیرند. میزان CaO در ترندجیت‌های سرسفیدال پایین است و از ۰/۲۲ درصد تا ۰/۳۵ درصد تغییر می‌کند. میزان پتاسیم فلدسپات محاسبه شده به روش نرم در ترندجیت‌ها بین ۳/۳۱ تا ۱۵/۳ درصد تغییر می‌کند (جدول ۱).

میزان Na_2O در ترندجیت‌های سرسفیدال از ۴/۴۴ درصد در نمونه SF-4 تا ۷/۵ درصد در نمونه SF-1 تغییر می‌کند و میانگین Na_2O در نمونه‌های ترندجیت‌های این منطقه ۵/۵۱ درصد است. میزان آلپیت در ترندجیت‌های سرسفیدال بین ۳۷/۵۷ تا ۶۳/۴۶ درصد تغییر می‌کند (جدول ۱). میزان تغییرات K_2O از ۰/۰۲ درصد در نمونه SF-4 تا ۱/۱۴ درصد در نمونه SF-14 می‌باشد (شکل ۵). در شکل ۶ تغییرات K_2O در نمونه‌های ترندجیت‌های



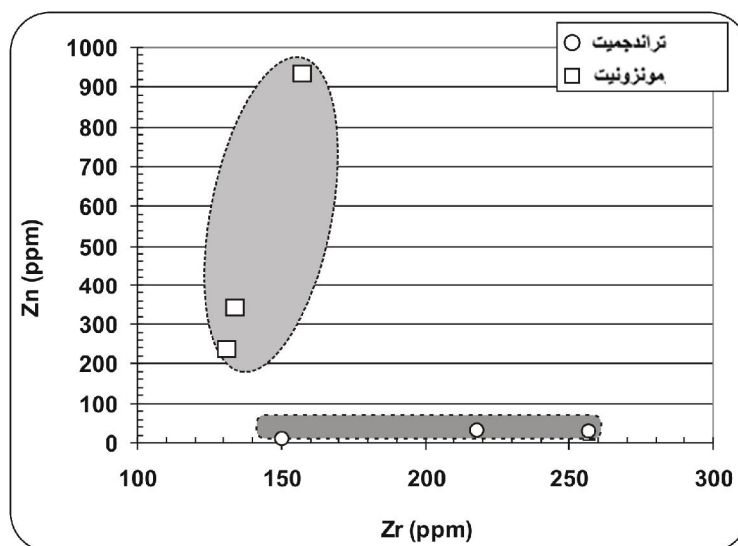
شکل ۵- نمایش تغییرات اکسید پتاسیم و اکسید سدیم در ترندجیت‌ها و مونزونیت‌های سرسفیدال



شکل ۶- نمایش تغییرات اکسید پتاسیم در ترندجیت‌های سرسفیدال

کم‌ترین Zr را دارند. در مبحث ژئوشیمی این موضوع بیشتر مورد بحث و بررسی قرار خواهد گرفت.

میزان فراوانی Zr و Zn در نمونه‌های سنگی ترندجمیت و مونزونیت در نمودار (شکل ۷) ترسیم شده است. مونزونیت‌ها بیش‌ترین میزان Zn و



شکل ۷- نمایش تغییرات Zn, Zr در ترندجمیت‌های سرسفیدال

انتخاب شد) و برای آنالیز به شرکت امک در کشور ایرلند فرستاده شد.

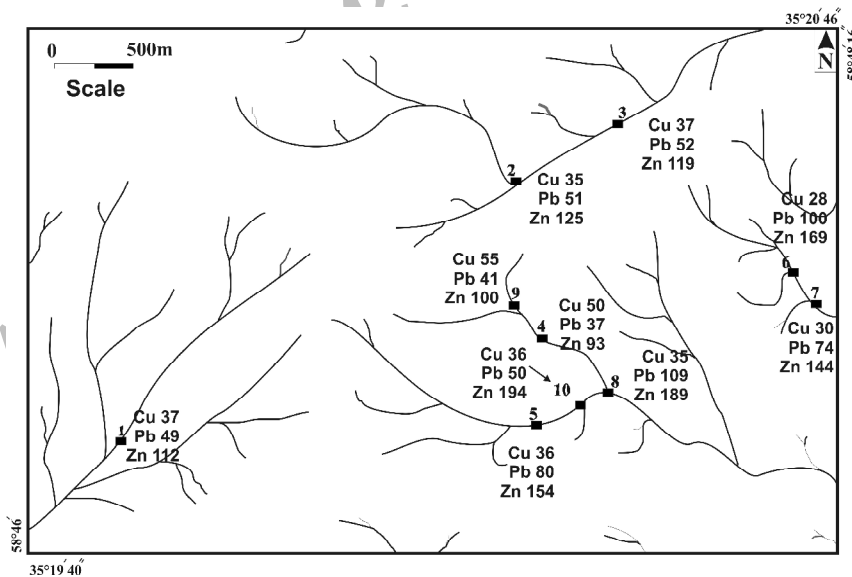
نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای با استفاده از روش ICP-AR (Aqua Regia) تجزیه شدند. نتایج آنالیز نمونه‌های رودخانه‌ای منطقه در جدول ۲ آورده شده است. میزان فراوانی عناصر S, Mo, Sb, Bi و Ag در رسوبات رودخانه در حد عادی است (جدول ۲). عناصر Cu, Zn, Pb, Mn و Fe ناهنجاری نشان می‌دهند (جدول ۲). عنصر روی در تمامی نمونه‌ها بیش‌ترین میزان را نشان می‌دهد. مقدار این عنصر از ۹۳ تا ۱۹۴ ppm تغییر می‌کند. بیش‌ترین مقدار روی مربوط به نمونه‌های ۵، ۶، ۸ و ۱۰ است که از رودخانه‌های مرکز و شرق منطقه برداشت شده است (شکل ۸).

اکتشافات ژئوشیمیایی

رسوبات رودخانه‌ای: بعد از تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، آلتراسیون و کانی‌سازی به منظور شناسایی و ارزیابی ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی از رسوبات رودخانه‌ای و رخنمون‌های سنگی نمونه‌برداری شد. براساس اطلاعات حاصل از زون‌های آلتراسیون و زون‌های کانی‌سازی با استفاده از نقشه توپوگرافی آبراهه‌های مناسب برای برداشت رسوبات رودخانه‌ای انتخاب شدند (شکل ۸). از رسوبات هر آبراهه (در ایستگاه خاص) یک نمونه با وزن بیش از ۵ کیلوگرم برداشت شد. اندازه ذرات رسوبات برداشت شده کم‌تر از ماسه بود. رسوبات رودخانه‌ای توسط الک ۸۰ مش جدا شده (۸۰-)

جدول ۲- نتایج تجزیه نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای

۱۰	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	
<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	Ag
۹	۱۳	۱۲	۱۳	۶	۱۰	۱۰	۱۲	۱۰	۱۱	As
<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	Bi
۳۶	۵۵	۳۵	۳۰	۲۸	۳۶	۵۰	۳۷	۳۵	۳۷	Cu
۱۴۶۹	۷۳۹	۱۴۰۲	۱۳۰۶	۱۵۷۸	۱۲۱۵	۶۸۰	۱۲۲۲	۱۳۶۸	۹۰۳	Mn
۲	۴	۳	<۱	<۱	۲	۳	۲	۳	۲	Mo
۹۵	۴۱	۱۰۹	۷۴	۱۰۰	۸۰	۳۷	۵۲	۵۱	۴۹	Pb
۱۹۴	۱۰۰	۱۸۹	۱۴۴	۱۶۹	۱۵۴	۹۳	۱۱۹	۱۲۵	۱۱۲	Zn
<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	<۰/۵	Sb
۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۱	۰/۰۴	%S
۳	۲/۶۱	۳/۰۷	۳/۴۵	۳/۵۵	۳	۲/۶۲	۳/۲۱	۳/۳	۲/۹۱	%Fe



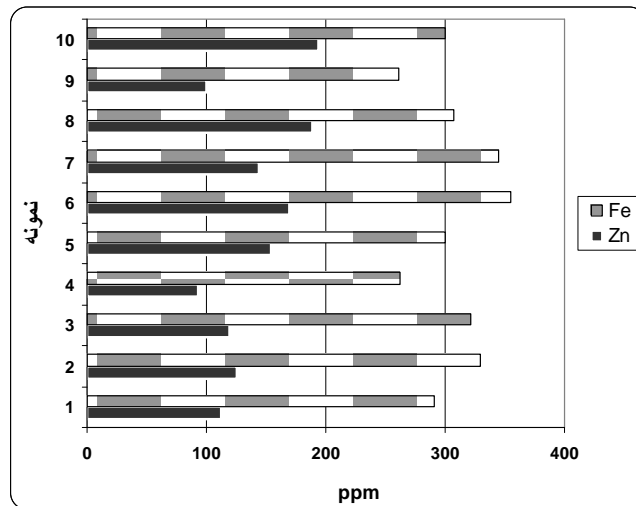
شکل ۸- ژئوشیمی عناصر Cu و Zn، Pb در نمونه‌های رسوبات رودخانه‌ای سرسیدال [۶]

که به ترتیب از شرق و مرکز منطقه برداشت شده‌اند (شکل ۸). با توجه به نتایج آنالیز و موقعیت نمونه‌ها،

میزان سرب از ۳۷ تا ۱۰۹ ppm تغییر می‌کند و بیشترین میزان آن مربوط به نمونه‌های ۶ و ۸ است

۴ و ۹ در قسمت مرکزی منطقه مشخص شده است (شکل ۸). روی و آهن همبستگی خوبی دارند (شکل ۹). میزان ناهنجاری روی و آهن از مس و سرب بیشتر است.

بیشترین میزان سرب و روی در رودخانه‌های شرقی و مرکزی منطقه مشاهده می‌شود. میزان تغییرات عنصر مس در نمونه‌های رودخانه‌ای منطقه از ۲۸ تا ۵۵ ppm می‌باشد. بیشترین میزان مس در نمونه‌های



شکل ۹- مقایسه میزان تغییرات Fe و Zn در رسوبات رودخانه‌ای (میزان $\times 100$ Fe)

دستگاهی ICP-AR مشابه رسوبات رودخانه‌ای تجزیه شده‌اند. نتایج این دو آنالیز در جدول ۴ آورده شده است.

مقدار طلا در نمونه‌های سنگی از کمتر از ۲ppb تا ۳۹۴۲ ppb تغییر می‌کند (جدول ۴). از مجموع ۴۰ نمونه، در ۱۲ نمونه میزان طلا بالاتر از ۱۰ ppb است (شکل ۱۰). بالاترین میزان طلا در نمونه ۱۷ به مقدار ۳۹۴۲ ppb مشخص شده است. این نمونه از جنوب زون سیلیسی مرکزی برداشت شده است، در این قسمت کانی‌زایی مس به همراه سیلیس در منطقه‌ای به وسعت ۱۰ متر مربع دیده می‌شود. میزان طلا در نمونه ۱۱ ppb، ۳۹۳۳ ppb است. این نمونه از رگچه‌های سیلیسی در آلکالی گرانیات جنوب غرب منطقه برداشت شده است.

ژئوشیمی نمونه‌های سنگی: ۴۰ نمونه از رخنمون‌های سنگی که کانی‌های فلزی در آن‌ها مشاهده می‌شود و نیز از نقاطی که از نظر زمین‌شناسی احتمال کانی‌زایی در آن‌ها وجود دارد (مانند رگه‌های سیلیسی و زون‌های آلتراسیون) برداشت شد (جدول ۳). نمونه‌برداری به روش قطعه سنگ بوده و هر نمونه وزنی معادل ۲ تا ۲/۵ کیلوگرم داشته است. شعاع پوشش هر نمونه از حدود ۴ تا ۱۲ متر مربع متغیر بوده است (تعداد، وزن و مناطق برداشت قطعه سنگ‌ها در هر محل انتخاب شده به گونه‌ای بوده که مجموع آن نمونه معرف آن منطقه باشد). نمونه‌های پس از خردایش و نرمایش (اندازه پودر در حد ۲۰۰ مش) برای انجام آنالیز به شرکت امک در کشور ایرلند فرستاده شد. در این شرکت Au توسط دستگاه جذب اتمی و سایر عناصر با استفاده از روش

جدول ۳- موقعیت و خصوصیات سنگ‌شناسی نمونه‌های سنگی

موقعیت	نوع نمونه	نمونه
58°48'7"-35°19'32"	زون آرژیلیک	۱
58°48'7"-35°19'32"	زون آرژیلیک	۲
58°48'7"-35°19'32"	زون آرژیلیک	۳
58°46'15"-35°19'22"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۴
58°46'16"-35°19'26"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۵
58°46'10"-35°19'23"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۶
58°46'51"-35°19'39"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۷
58°47'30"-35°19'26"	کانی‌زایی مس در سنگ مونزونیت پورفیری	۸
58°47'33"-35°19'22"	کانی‌زایی مس در سنگ مونزونیت پورفیری	۹
58°47'11"-35°19'42"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۱۰
58°46'26"-35°19'26"	رگچه‌های سیلیسی درون آکالی گرانیت جنوب غرب منطقه	۱۱
58°48'29"-35°19'57"	کانی‌زایی اسپیکولاریت در زون سیلیسی شمال شرق	۱۲
58°48'11"-35°19'5"	رگه سیلیسی در گرانیت	۱۳
58°47'57"-35°19'23"	کانی‌زایی مس در گرانیت	۱۴
58°47'46"-35°19'30"	کانی‌زایی مس در سنگ مونزونیت پورفیری	۱۵
58°47'41"-35°19'28"	کانی‌زایی مس در سنگ مونزونیت پورفیری	۱۶
58°47'39"-35°19'27"	کانی‌زایی مس در سنگ مونزونیت پورفیری	۱۷
58°48'22"-35°19'53"	سنگ سیلیسی شده	۱۸
58°48'26"-35°19'48"	کانی‌زایی درون سنگ‌های ساب و لکانیک به حالت داربستی	۱۹
58°47'50"-35°19'30"	زون شبه ژاسپروئید	۲۰
58°48'3"-35°19'32"	دایک	۲۱
58°48'50"-35°20'19"	کانی‌زایی اسپیکولاریت و کالکو پیریت همراه سیلیس	۲۲
58°47'50"-35°19'53"	زون‌های استوک ورک درون آکالی گرانیت	۲۳
58°47'53"-35°19'54"	زون‌های استوک ورک درون آکالی گرانیت	۲۴
58°47'43"-35°19'55"	زون‌های استوک ورک درون آکالی گرانیت	۲۵
58°47'50"-35°19'47"	زون شبه گوسان	۲۶
58°48'25"-35°20'6"	کانی‌زایی اسپیکولاریت داخل سیلیس	۲۷
58°47'29"-35°19'54"	رگه نازک اسپیکولاریت همراه کلریت	۲۸
58°47'44"-35°19'22"	کانی‌زایی اسپیکولاریت	۲۹
58°48'27"-35°20'10"	کانی‌زایی اسپیکولاریت	۳۰
58°48'20"-35°20'30"	زون شبه گوسان	۳۱
58°48'46"-35°20'30"	کانی‌زایی اسپیکولاریت و لیمونیت	۳۲
58°48'16"-35°20'2"	زون‌های استوک ورک درون آکالی گرانیت	۳۳
58°48'44"-35°20'18"	کانی‌زایی رگچه‌ای کوارتز و اسپیکولاریت در گرانیت	۳۴
58°48'11"-35°19'46"	سنگ سیلیسی شده	۳۵
58°48'17"-35°19'45"	زون آرژیلیک	۳۶
58°47'56"-35°19'56"	کانی‌زایی در آکالی گرانیت‌ها	۳۷
58°48'37"-35°19'41"	کانی‌زایی در آکالی گرانیت‌ها	۳۸
58°48'21"-35°19'45"	زون سیلیسی	۳۹
58°48'4"-35°19'38"	زون سیلیسی	۴۰

جدول ۴- نتایج آنالیز نمونه‌های سنگی سرسفیدال [۶]

Au	Hg	As	Zn	Pb	Cu	Ag	Mo	Fe	شماره
ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	Ppm	ppm	%	
۴	<۱	۱۷	۱۰	۶	۴	<۰/۵	۲	۰/۷۱	۱
<۲	<۱	۷۲	۱۵	<۳	۴	<۰/۵	۱۵	۱/۱۱	۲
<۲	<۱	<۵	۱۳	۴	۲	<۰/۵	<۱	۰/۷۳	۳
۳	<۱	۲۵	۱۵۶	۲۶۱	۱۷	۲/۹	۱	۰/۹۲	۴
۱۴۰	<۱	۳۶	۱۶	۱۷۸	۵۴	۵/۴	۷	۱/۰۲	۵
۵	<۱	<۵	۱۰	۴۰	۵	<۰/۵	۳۸	۲/۵۲	۶
۶	<۱	۷	۱۷	۱۶۲	۲۳	۰/۹	۲	۰/۶۳	۷
<۲	<۱	<۵	۸۱	۲۰	۱۹	<۰/۵	<۱	۳/۱۷	۸
۱۸	<۱	۷	۱۵۸	۷۰	۱۸۱۲۴	۲/۹	<۱	۵/۱۵	۹
۴۸	<۱	۱۶۴	۳۵۶	۱۸۲۵	۱۰۹	۱/۸	۲۹	۲/۵۱	۱۰
۳۹۳۳	<۱	۴۱	۱۱۷	۱۴۶	۶۱	۴	۴	۱/۹۶	۱۱
۱۴	<۱	۶	۱۴۵	۷۸	۲۹	۱/۸	۳۴	۱۱/۰۳	۱۲
۲۱۸	<۱	۱۹	۴۳۱	۱۰۹	۱۱	<۰/۵	۵	۴/۱۹	۱۳
۳۸	<۱	۲۰	۱۹۹	۱۲۸	۱۳۸۶۲	۲/۳	۲	۴/۷۲	۱۴
۳۹	<۱	۶	۱۸۱	۱۹۰	۳۱۹۴۹	۳/۳	۳	۶	۱۵
۴۲	<۱	۱۵۷	۳۸۳	۲۰۵۴	۳۷۴۹۰	۶/۳	۸	۲/۶۲	۱۶
۳۹۴۲	<۱	۱۴	۴۰	۹۴	۶۳۹۱۴	۴/۸	۱۰	۲/۷۱	۱۷
<۲	<۱	<۵	۵	۴	۱۲۶	<۰/۵	۳	۰/۳۸	۱۸
۳	<۱	۸	۱۱۹	۵۰	۷۲	۰/۷	۲۱	۲/۷	۱۹
<۲	<۱	<۵	۴	۴	۲۲	<۰/۵	<۱	۰/۱۷	۲۰
<۲	<۱	۵	۴۹	۹	۲۱	<۰/۵	<۱	۳/۷۱	۲۱
۲۰	<۱	۴۴	۴۰۲	۲۵۹	۱۷۱۳۵	۱/۳	۱۰۷	۷/۳۶	۲۲
<۲	<۱	<۵	۲۹	۱۹	۸۴	<۰/۵	۶۸	۱/۷۹	۲۳
۲	<۱	<۵	۹۱	۱۹	۱۲	<۰/۵	۲۵	۲/۹۳	۲۴
<۲	<۱	۷	۷۳	۱۱	۸	<۰/۵	۵	۲/۲۲	۲۵
<۲	<۱	<۵	۵	۱۷	۲۳	<۰/۵	۷	۱/۸۲	۲۶
۵	<۱	۵۱	۲۰۳	۱۱۷	۱۲۲۲	۰/۸	۵۷	۳/۶۸	۲۷
<۲	<۱	۲۰	۲۰۰۱	۵۰	۷۸	<۰/۵	۵۰	۴/۸۸	۲۸
۲	<۱	۱۷	۵۴	۱۶	۱۹	<۰/۵	۶	۱۰/۵۵	۲۹
۳	<۱	۲۰	۱۱۲	۱۲	۵۱	<۰/۵	۱۸	۱۶/۹۲	۳۰
۲	<۱	<۵	۱۹	۱۳	۴۹	<۰/۵	۱۰	۳/۳۹	۳۱
۱۱	<۱	۱۹۴	۱۵۷۳	۱۱۶	۳۲	<۰/۵	۳۴۴	۲۲/۵۲	۳۲
۹	<۱	۴۹	۲۰۲	۴۱	۱۴	۰/۵	۹	۱/۲۳	۳۳
<۲	<۱	<۵	۲۲	۱۲	۲۰۰	<۰/۵	<۱	۲/۱۱	۳۴
<۲	<۱	<۵	۶	۶	۱۹	<۰/۵	<۱	۰/۰۴	۳۵
<۲	<۱	<۵	۱۵	۴	۴۲	<۰/۵	<۱	۵/۳۳	۳۶
<۲	<۱	<۵	۶	۱۱	۵	<۰/۵	<۱	۰/۰۶	۳۷
<۲	<۱	<۵	۱۱۳	۳۸	۶	<۰/۵	۲	۰/۷۸	۳۸
<۲	<۱	<۵	۵	<۳	۶	<۰/۵	۲	۰/۲۱	۳۹
<۲	<۱	<۵	۹	۴	۷	<۰/۵	۱	۰/۰۵	۴۰

کانی‌زایی اسپیکولاریت و لیمونیت در درون آلکالی گرانیت‌های شمالی منطقه برداشت شده است (شکل ۱۰). در شکل ۱۱ میزان سرب و روی در نمونه‌های سنگی منطقه با هم مقایسه شده است.

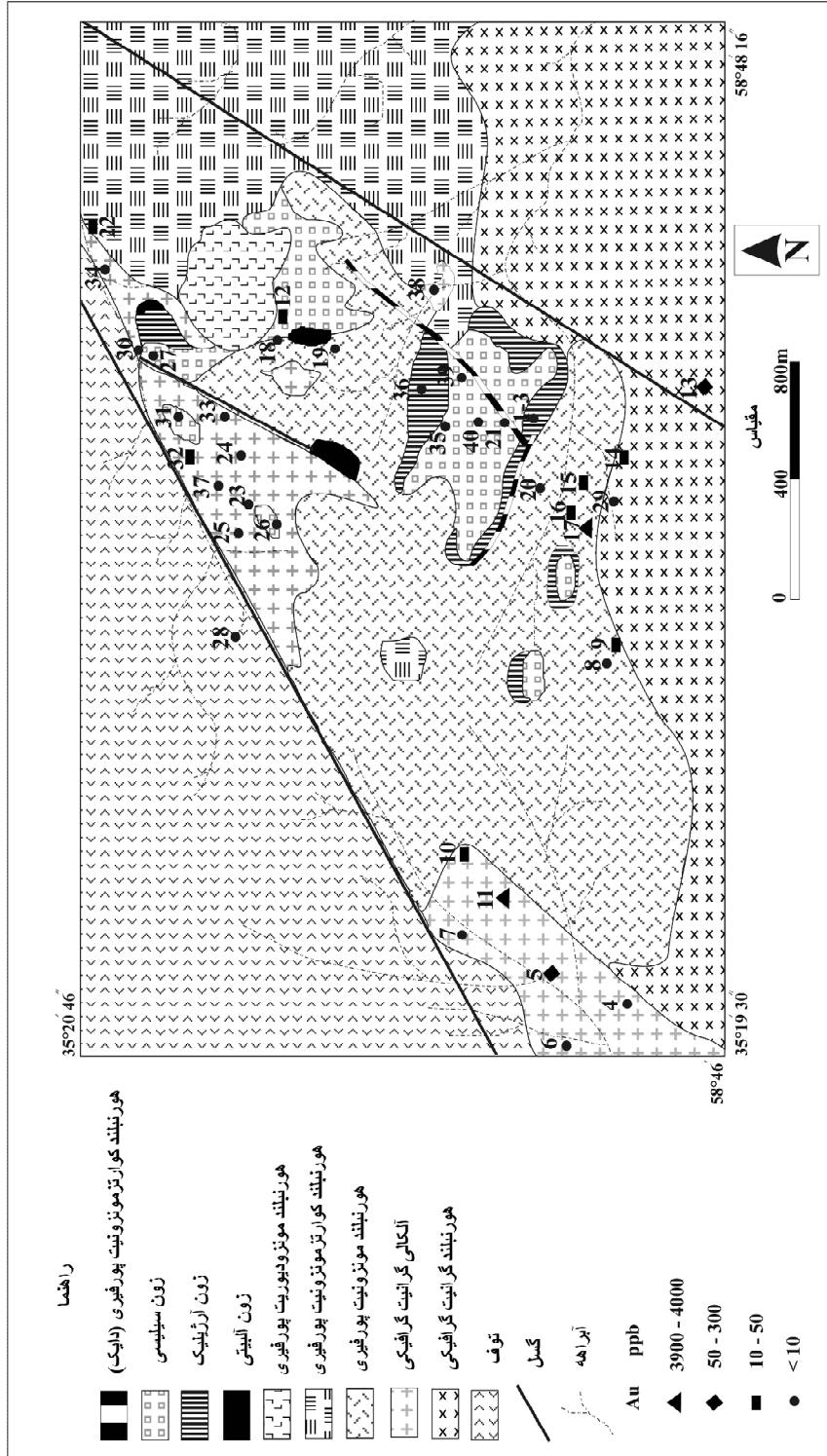
میزان آرسنیک در نمونه‌های با ناهنجاری مس، سرب و روی بین ۵۰ ppm تا ۱۹۰ ppm تغییر می‌کند (جدول ۴). میزان فراوانی جیوه در حد عادی است و اما میزان مولیبدن در نمونه‌های با ناهنجاری مس تا ۱۰۷ ppm می‌رسد (جدول ۴).

ژون‌های آلتراسیون آلبیتی، سیلیسی و آرژیلیک بسیار گسترده و مرتبط با توده‌های ترندج‌میت‌ها خواهد مناسبی هستند که منطقه مورد مطالعه می‌تواند برای کانی‌سازی‌های پورفیری پتانسیل داشته باشد، لذا این پتانسیل مورد ارزیابی قرار گرفت. کانسارهای قلع، مولیبدن و مس پورفیری دارای سنگ منشا مشخص هستند. سنگ منشا کانسارهای قلع پورفیری گرانیت‌های نوع S و نوعی از مولیبدن پورفیری همراه گرانیت‌های نوع I-S هستند. مس پورفیری و نوع دیگر مولیبدن پورفیری همراه توده‌های کوارتز موزونیت و کوارتز پوریت نوع (I) تشکیل می‌شوند. از آن جایی که دگرسانی باعث تغییرات کانی‌شناسی می‌شود، تعیین نام و نوع سنگ غالباً خالی از اشکال نیست، بنابراین مجموعه‌ای از عناصر اصلی، کمیاب و جزئی کانسارهای پورفیری مورد بررسی و مقایسه قرار می‌گیرند [۷ و ۸].

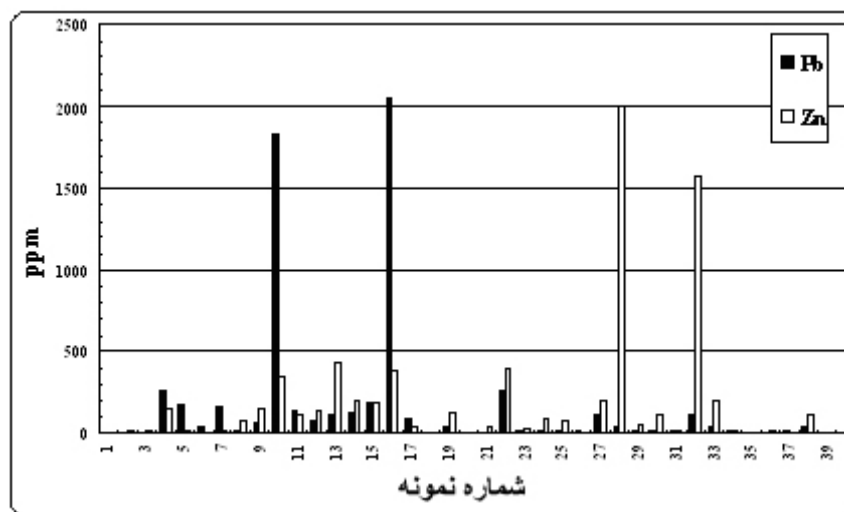
مقدار مس در نمونه‌های سنگی از ۲ تا ppm ۶۳۹۸۴ تغییر می‌کند جدول ۴. در ۱۶ نمونه میزان Cu بیشتر از ۵۰ ppm است. بیش‌ترین میزان مس مربوط به نمونه ۱۷ است که از کانی‌زایی مس به همراه سیلیس در سنگ‌های موزونیت پورفیری جنوب زون سیلیسی مرکزی برداشت شده است. میزان مس در نمونه‌های ۱۵ و ۱۶ به ترتیب ۳۱۹۴۹ ppm و ۱۸۱۲۴ ppm است. کانی‌زایی مس به همراه اسپیکولاریت در شمال شرق منطقه (نمونه ۲۲) دارای ppm ۱۷۱۳ مس می‌باشد.

مقدار سرب در نمونه‌های سنگی منطقه از ۳ تا ppm ۲۰۵۴ تغییر می‌کند (جدول ۴). بیش‌ترین میزان سرب مربوط به نمونه ۱۶ است که از کانی‌زایی مس در موزونیت پورفیری جنوب زون سیلیسی مرکزی برداشت شده است. دومین ناهنجاری بزرگ سرب در نمونه ۱۰ دیده می‌شود که از رگچه‌های سیلیسی درون آلکالی گرانیت جنوب غرب منطقه برداشت شده است. میزان سرب در این نمونه ۱۸۲۵ ppm است. نمونه ۴ نیز که از این قسمت برداشت شده است دارای ppm ۲۶۱ سرب می‌باشد. میزان سرب در نمونه ۲ که از کانی‌زایی کالکوپریت و اسپیکولاریت برداشت شده است حاوی ppm ۲۵۹ مس می‌باشد. سایر نمونه‌های منطقه کم‌تر از ppm ۲۰۰ سرب دارند (شکل ۱۱).

میزان روی در نمونه‌های سنگی از ۴ تا ppm ۲۰۰۱ تغییر می‌کند (جدول ۴). بیش‌ترین مقدار روی مربوط به نمونه ۲۸ است که از رگه نازک اسپیکولاریتی همراه کلریت در درون توف‌های شمال غرب منطقه برداشت شده است. دومین ناهنجاری بزرگ روی در نمونه ۳۲ به میزان ppm ۱۵۷۳ دیده می‌شود. این نمونه از



شکل ۱۰- محل نمونه برداری و میزان طلا در نمونه‌های سنگی سرفیدال [۶]



شکل ۱۱- تغییرات میزان سرب و روی در نمونه‌های سنگی سرسفیدال

بررسی پتانسیل توده‌های منطق سرسفیدال برای

کانی‌زایی قلع، مولیبدن و مس

نمی‌گیرند (شکل ۱۲). اگر چه بخشی از زون‌های آلتراسیون آلبیتی، سیلیسی و آرژیلیک در ارتباط توده‌های ترندجیمیت تشکیل شده‌اند، اما این توده‌ها برای کانی‌سازی قلع، تنگستن و مولیبدن پتانسیل ندارند.

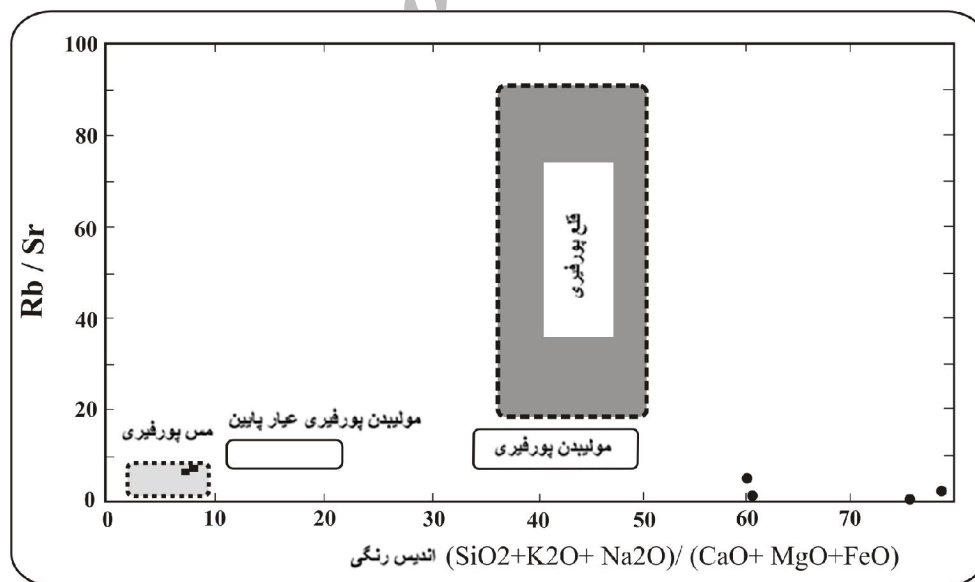
توده‌های کوارتز مونزونیتی در محدوده سیستم‌های مس-طلای پورفیری ترسیم شده‌اند (شکل ۱۲). این توده‌ها به سمت جنوب غرب منطقه مورد مطالعه گسترش نسبتاً زیادی دارند. براساس شواهد صحرایی کوارتز مونزونیت‌ها از توده‌های ترندجیمیت جوان‌تر هستند. ناهنجاری‌های طلا، مس، روی و سایر عناصر بیشتر در توده‌های کوارتز مونزونیتی قرار دارند. در بعضی نقاط در

از اندیس رنگ $(\text{SiO}_2 + \text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}) / (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{FeO})$ و نسبت Rb/Sr در مراحل اولیه اکتشاف جهت تشخیص نوع کانی‌سازی پورفیری می‌توان استفاده نمود [۷ و ۸]. همان طوری که قبلاً توضیح داده شد دو مجموعه توده نفوذی در سرسفیدال رخنمون دارند (۱) ترندجیمیت و (۲) کوارتز مونزونیت.

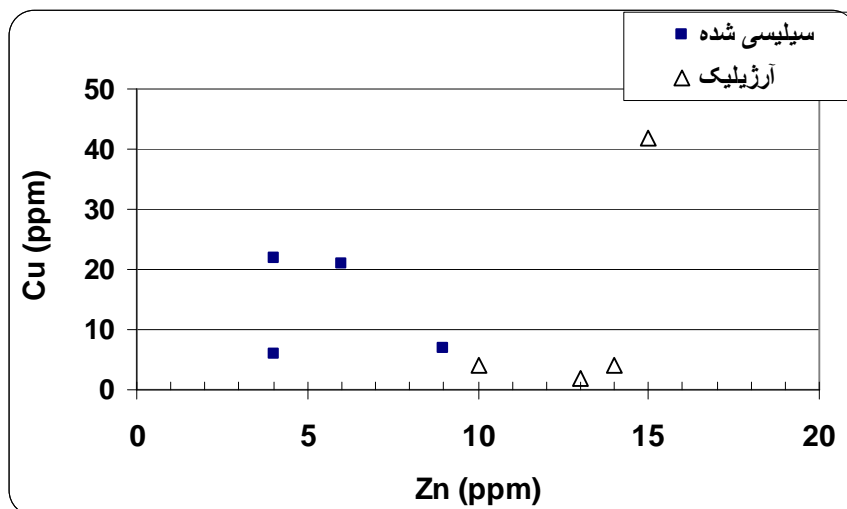
اندیس رنگ در ترندجیمیت‌های سرسفیدال بین $۵۹/۹۸$ تا $۱۳۰/۷۵$ تغییر می‌کند و نسبت Rb/Sr در همین توده‌ها حداقل $۰/۳۳$ و حداکثر $۵/۹۴$ است. ترندجیمیت‌های سرسفیدال دارای اندیس رنگ بالا و نسبت Rb/Sr پایین می‌باشند و در محدوده سنگ منشأ کانسارهای قلع، مولیبدن و مس پورفیری قرار

پروپیلیتیک و آرژیلیک - سرسپتیک است. این آلتراسیون در جهت جنوب غرب منطقه افزایش نشان می‌دهد. در فاصله ۴۰۰ متری (جنوب غرب) از منطقه مورد مطالعه در یک منطقه وسیعی (ابعاد 2×1 کیلومتر) زون‌های آلتراسیون آرژیلیک - سرسپتیک رخنمون دارند که برای خاک صنعتی بهره‌برداری می‌شوند (معادن اوج‌پلنک و بهاریه) (شکل ۱۵). کانی‌سازی مس در این منطقه به صورت رگه‌ای در داخل مونزونیت‌ها مشاهده می‌شود. رگه‌ها در گذشته برای مس بهره‌برداری می‌شده‌اند. منطقه اوج‌پلنگ - بهاریه (شکل ۱۵) برای کانی‌سازی نوع مس - طلای پورفیری پتانسیل دارد.

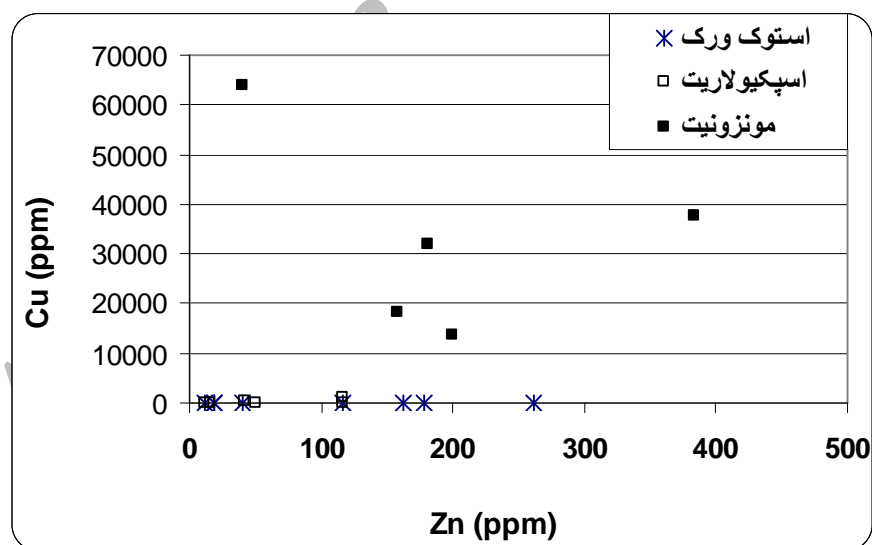
شکستگی‌های ترندجمیت کانی‌سازی مشاهده می‌شود. این کانی‌سازی از توده‌های ترندجمیت جوان‌تر است. میزان فراوانی Zn-Cu در زون‌های آلتراسیون سیلیسی و آرژیلیک (که تحت تأثیر محلول‌های ماگمایی مرتبط با ترندجمیت تشکیل شده‌اند) در شکل ۱۳ نمایش داده شده است. میزان مس کم‌تر از ۴۰ ppm و روی کم‌تر از ۱۵ ppm است. میزان فراوانی Zn-Cu در مونزونیت، رگچه‌های اسپیکولاریت و استوکورک مرتبط با مونزونیت‌ها در شکل ۱۴ نمایش داده شده است. میزان مس تا ۷٪ و روی تا ۴۰۰ ppm تغییر می‌کند. زون‌های آلتراسیون مرتبط با کوارتز مونزونیت‌ها در رخنمون‌های سطحی بیشتر



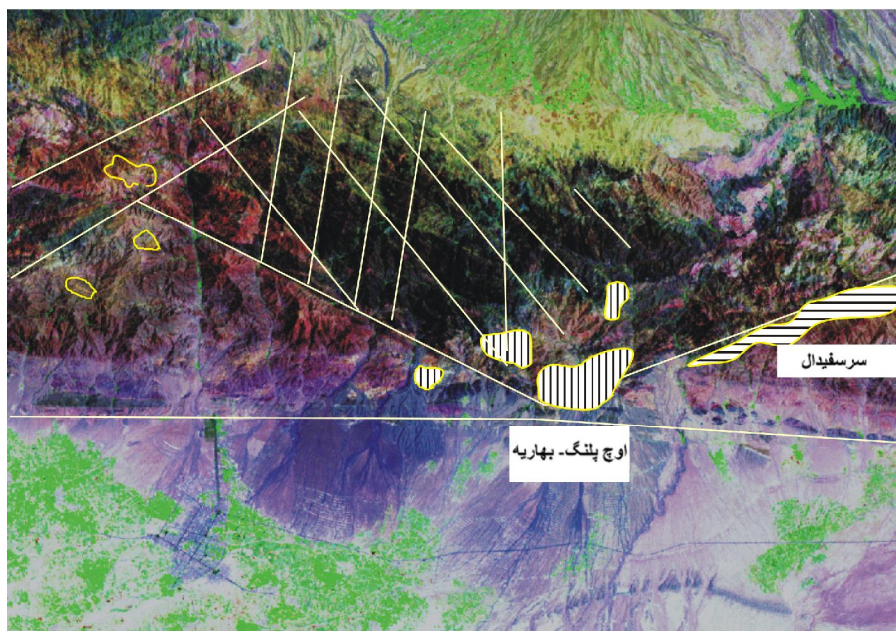
شکل ۱۲- نمایش موقعیت نمونه‌های ترندجمیت و کوارتز مونزونیت در نمودار اندیس رنگ و نسبت Rb/Sr [۷ و ۸]



شکل ۱۳- نمایش میزان فراوانی Cu-Zn در زون‌های آرژلیک و سیلیسی مرتبط با ترندجمیت



شکل ۱۴- نمایش میزان فراوانی Cu-Zn در مونزونیت، اسپیکولاریت و استوک ورک مرتبط با مونزونیت‌ها



شکل ۱۵- نمایش موقعیت محدوده سرسفیدال و اوج پلنگ- بهاریه در تصویر پردازش شده ماهواره لندست

نتیجه‌گیری

۲- در ژئوشیمی سنگ و رسوبات رودخانه‌ای ناهنجاری Sn, Mo, W و سایر عناصر ردیاب مشاهده نشد.

توده‌های کوارتز مونزونیتی در محدوده سیستم‌های مس- طلای پورفیری ترسیم شده‌اند. منطقه اوج- یلنگ- بهاریه براساس دلایل زیر برای کانی‌سازی نوع مس- طلای پورفیری پتانسیل دارد.

۱. توده‌های نیمه‌عمیق مونزونیت- کوارتز مونزونیت و با تنوع زیاد.

۲. شکل و ابعاد توده‌های مونزونیتی که در سطح رخنمون دارند تأییدی است که استوک‌های اصلی در عمق قرار دارند.

توده‌های نفوذی ترندجیمیت با توجه به بالا بون اندیس رنگ و شکل- گسترش زون‌های آلتراسیون آلبیتی، سیلیسی و آرژیلیک برای کانی‌سازی قلع، تنگستن و مولیبدن می‌تواند پتانسیل داشته باشد. اما براساس دلایل زیر محلول‌های ماگمایی مرتبط با ترندجیمیت‌ها حاوی Sn, Mo, W در حد نیاز برای کانی‌سازی نبوده است.

۱- نسبت Rb/Sr در ترندجیمیت کم‌تر از توده‌های نفوذی سنگ منشا کانسارهای Sn, Mo, W پورفیری است، بنابراین منشأ ماگما و در نتیجه ترکیب آن شرایط لازم برای این نوع کانی‌سازی را دارا نبوده است.

[4] Choose, O.K., Textural and spectroscopic studies on hydrothermal Dumortierite from an Al-rich clay deposit, southeastern Korea, Mineralogical Magazine 67 (2003), 799-8060.

[5] Barker, F., Trondjemite: definition, environment and hypotheses or origin. In Barker, F. (ed) Trondhjemites, dacites, and related rocks, New York: Elsevier, (1979), 1-12.

[۶] سراتدیبی فردوس، عباس، مطالعه کانی شناسی و ژئوشیمیایی توده‌های نفوذی و زون‌های آلتراسیون و بررسی مصارف صنعتی آن‌ها در منطقه سرسفیدال. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۳، صفحه ۱۰۷.

[۷] کریم‌پور، رضا، استفاده از Rb/Sr, Sm/Eu و Ce/Yb برای تشخیص بین گرانیتهای تیپ با کانی‌سازی قلع و بدون کانی‌سازی قلع، فصل‌نامه علوم زمین، سال هفتم، شماره ۲۹، پاییز و زمستان، صفحه ۱.

[8] Karimpour, M.H., and W. A., Bowes, Application of trace elements and isotopes for discriminating between porphyry Cu, Mo, and Sn deposits: Global Tec. and Metallogeny, 2, (1983), 3-15.

۳. شکل و گسترش زون‌های آلتراسیون آرژلیک، سرسیتیک و پروپیلیتیک متناسب با بخش فوقانی یک سیستم مس پورفیری است.

۴. کانی‌سازی مس در منطقه.

۵. ناهنجاری ژئوشیمیایی عناصر طلا، سرب، روی و مس.

۶. ترسیم شدن نمونه‌های سنگی در محدوده سیستم‌های پورفیری.

۷. موقعیت ساختمانی مناسب (محل تلاقی چند کسل مهم)

مراجع

- [۱] بهروزی، ارژنگ، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ فیض‌آباد، انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران، ۱۳۶۶.
- [۲] مظلومی، علیرضا، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۰۰۰۰ سرسفیدال شرکت طلای زرمهر، ۱۳۸۰.
- [۳] مظلومی، علیرضا، همام، مسعود، کریم‌پور، محمدحسن، گزارش وقوع کانی دومورتیریت از منطقه سرسفیدال کاشمر، استان خراسان رضوی. دوازدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۳۸۴، صفحات ۲۱۰-۲۵۱.