



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره پی‌جویی شکسته‌سبز شمال‌غرب بیرجند

مریم جاویدی‌مقدم^{۱*}، محمدحسن کریم‌پور^۲، آزاده ملک‌زاده شفارودی^۲، محمدرضا حیدریان شهری^۲

۱. گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. گروه پژوهشی اکتشافات ذخایر معدنی شرق ایران، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت مقاله: ۹۲/۲/۲۹، نسخه نهایی: ۹۲/۶/۲۰)

چکیده: منطقه‌ی شکسته‌سبز در شرق ایران و در ۹۶ کیلومتری شمال‌غرب بیرجند واقع شده است. پی‌جویی اولیه در این منطقه به یاری پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر به روش نقشه‌بردار زاویه‌ی طیفی، دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژیلیک و سرسیتیک را نشان داد که با مشاهدات صحرایی تایید شدند. این گستره شامل برونزدهایی از آتشفشان‌های پالئوسن-ائوسن بوده که واحدهای نیمه‌عمیق با ترکیب حدواسط در آنها نفوذ کرده‌اند. دگرسانی‌های اصلی عبارتند از پروپلیتیک، آرژیلیک و سیلیسی-کربناته. کانی‌سازی به شکل-های رگه‌ای (مرکز و غرب منطقه)، رگچه‌ای و پراکنده (شرق و غرب منطقه) دیده می‌شود. رگه‌ها دارای راستای شمال‌غربی- جنوب-شرقی تا شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شیب ۸۵ تا ۹۰ درجه دیده می‌شوند. به دلیل تاثیر زیاد فرآیندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی گسترش گسترده‌ای داشته و مالاکیت، آزوریت، کالکوزیت، کوولیت، هماتیت و گوتیت تشکیل شده‌اند. بقایای کانی‌های اولیه پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت نیز دیده می‌شوند. کانی‌های باطله عبارتند از کلسیت، کوارتز و باریت. حداکثر مقدار پراکندگی مس و روی در رسوب‌های آبراه‌های در مناطقی است که در بالادست آن کانی‌سازی رگه‌ای و منطقه‌های دگرسانی پروپلیتیک، آرژیلیک- سرسیتیک و سیلیسی وجود دارند. گستره‌ی تغییرات عناصر در نمونه‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ در رگه‌ها به صورت زیر است: مس ۲/۴-۰/۶ درصد، مولیبدن ۲۲۹۰-۷۷ گرم در تن، روی ۲۹۹۰-۲۳ گرم در تن، سرب ۷۵۴-۲۴ گرم در تن، و نقره ۸-۱/۴ گرم در تن. بیشترین میزان عناصر در نمونه‌های ژئوشیمیایی بر مبنای سنگ در محل کانی‌سازی رگچه‌ای و پراکنده در واحدهای آندزیتی برای مس، ۴۵۰ گرم در تن، روی ۱۶۲ گرم در تن، سرب ۳۰۹ گرم در تن، مولیبدن ۷۷ گرم در تن است. با توجه به نوع دگرسانی‌ها، بی‌هنجاری عناصر مس، روی، نقره و مولیبدن و ارتباط کانی‌سازی با سیستم شکستگی‌ها می‌توان کانسار شکسته‌سبز را در رده‌ی کانسارهای ورا گرمای نوع رگه‌ای قرار داد.

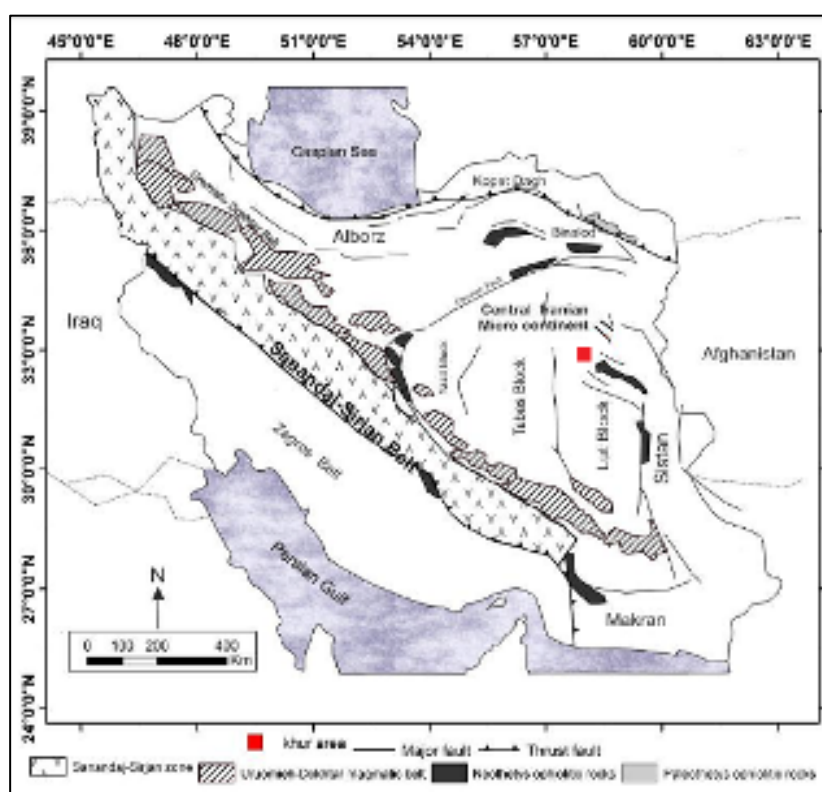
واژه‌های کلیدی: بلوک لوت؛ کانی‌سازی رگه‌ای؛ دگرسانی؛ ژئوشیمی؛ شکسته‌سبز.

مقدمه

شده است.

این کانسار از نظر تقسیمات ساختمانی در شمال بلوک لوت واقع شده است (شکل ۱) [۱-۳]. بلوک لوت با درازای حدود ۹۰۰ کیلومتر به صورت شمالی- جنوبی و عرض حدود ۲۰۰ کیلومتر، شرقی‌ترین بخش خردقاره‌ی ایران مرکزی است [۴].

منطقه‌ی پی‌جویی شکسته‌سبز در شرق ایران و در گستره‌ای بین طول‌های "۵۸°۲۱'۷" تا "۵۸°۲۳'۴" شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۳°۱'۴" تا "۳۳°۴'۲۵" شمالی و در فاصله‌ی ۹۶ کیلومتری شمال‌غرب بیرجند در استان خراسان جنوبی واقع



شکل ۱ موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی در بلوک لوت [۱-۳].

به عقیده‌ی کریم پور و همکاران [۱۴] وجود کانی‌سازی‌های مس پورفیری در زمان‌های مختلف و نیز توده‌های سری ایلمنیت همچون شاهکوه و توده‌های نیمه‌عمیق منطقه هیرد با سن‌های متفاوت، نشان‌دهنده‌ی منطقه‌ی فرورانش و مرحله‌ی برخورد در بلوک لوت است. بنابراین ارتباط دادن تمام کانی‌سازی‌های شرق ایران به شرایط کششی منطقه کاملاً اشتباه است. فاصله زمانی بین ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال قبل (ائوسن میانی تا اوایل الیگوسن)، مهم‌ترین پنجره‌ی زمانی کانی‌سازی در شرق ایران و بلوک لوت، به ویژه گستره‌ی استان خراسان جنوبی است [۱۵]. انواع کانی‌سازی مس - طلا پورفیری، طلای وابسته به توده‌های نفوذی احیایی، طلای وراگرمای با سولفید بالا، اسکارن آهن، رگه‌های Pb-Zn-Sb و IOCG شناسایی شده‌اند. لذا گرانیئوئیدهای تشکیل شده در گستره‌ی زمانی ۳۳ تا ۴۲ میلیون سال که در بلوک لوت و شمال آن قرار دارند، برای این مجموعه کانی‌سازی پیشنهاد می‌شوند [۱۵].

گستره‌ی شکسته سبز در ۱۱ کیلومتری شمال روستای خور قرار گرفته است. شمال خور به دلیل حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع سرب، روی و مس (شورک) و مس (حوض‌دغ،

مرز شمالی این بلوک گسل درونه، مرز شرقی گسل نهبدان، مرز غربی گسل نایبند و بلوک طیس و مرز جنوبی آن فروافتادگی جازموریان است [۵]. مهم‌ترین ویژگی لوت که آن را از دیگر بخش‌های خرد قاره‌ی ایران مرکزی جدا می‌کند، وجود حجم عظیم ماگماتیسیم ترشیاری، به ویژه سنگ‌های آتشفشانی است که با داشتن ضخامتی در حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند. وجود فعالیت‌های ماگمایی گسترده با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت در نقاط مختلف، باعث شده تا بلوک لوت پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل انواع کانی‌سازی‌های فلزی و غیر فلزی داشته باشد. نظریه‌های زمین‌ساختی مختلفی در مورد چگونگی شکل‌گیری بلوک لوت وجود دارند. بیشتر آن‌ها وجود یک چرخه‌ی کامل کوهزایی شامل ریفتی شدن، تشکیل اقیانوس کوچک بین بلوک لوت و افغان، فرورانش پوسته‌ی اقیانوسی، بسته شدن اقیانوس و برخورد لوت و افغان را مطرح کرده‌اند [۶-۱۱] و کانسارهای شرق ایران را وابسته به آن‌ها می‌دانند. برخی دیگر نیز مسئله فرورانش را رد کرده و تشکیل کانی‌سازی را به وجود شرایط کششی نسبت داده‌اند [۱۲، ۱۳].

بررسی بیش از ۸۰ مقطع نازک، ۲۰ مقطع نازک صیقلی و ۱۰ بلوک صیقلی به‌منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی؛ پ) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی رقومی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰؛ ت) بررسی و تفسیر داده‌های ژئوشیمیایی رسوب‌های آبراه‌ای و بررسی‌های ژئوشیمیایی بر پایه‌ی نمونه‌های خرده‌سنگی حاصل از برداشت-های سازمان صنایع و معادن به روش ICP MS که در آزمایشگاه ALS-CHEMX کانادا انجام شده است [۲۲].

بررسی‌های دورسنجی

بررسی‌های دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای آشکارسازی منطقه‌های دگرسانی، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته‌اند. پیشرفت‌های حاصل شده در بررسی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای به همراه سرعت بالا، کارایی و ارزان بودن این روش‌ها، متخصصان پی‌جویی ذخایر را در جهت کاربرد روز افزون و گسترش روش‌های پردازش تصاویر در پی‌جویی انواع مختلف کانساری حرکت می‌دهد [۲۳، ۲۴]. در این بررسی از داده‌های سنجنده ASTER با شماره‌ی 1b-331-030801 که در تاریخ 2001/06/18 تصویر برداری شده، استفاده شد. به‌منظور جدایش دگرسانی از روش نقشه‌بردار زاویه‌ی طیفی (Spectral Angel Mapper) استفاده شد. این روش نوعی منطقه‌بندی هدایت (Supervised Classification) شده است که از مقایسه‌ی طیف تصاویر و طیف استاندارد یا کتابخانه‌ی طیفی استفاده می‌کند [۲۵-۲۷]. از روش SAM برای کانی‌های دیکیت، ایلیت، کائولینیت، پیروفیلیت، مونتموریونیت، لیمونیت، ژاروسیت، گوتیت، کلریت، ژئوزیت و اپیدوت استفاده شد و زاویه بهینه برای هر کانی با توجه به مشاهدات صحرایی به دست آمد (جدول ۱). شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و جدایش دگرسانی‌های زیر شده‌اند (شکل ۴-۲).

مهرخش، رشیدی و غار کفتری) [۱۶] حائز اهمیت است. ملک-زاده و کریم‌پور [۱۷] با پردازش‌های ماهواره‌ای به روش SAM در گستره‌ی شمال خور، این منطقه را برای کانی‌سازی مس پورفیری و وراگرماهای وابسته مناسب دانسته‌اند. همچنین حضور کانی‌سازی‌هایی مانند کانسار مس-طلای پورفیری ماهرآباد و خوپیک [۱۸]، کانی‌سازی نوعی طلای وراگرما سولفید بالای کوه‌شاه [۱۹] و کانی‌سازی طلای وراگرمای خونیک [۲۰] در بخش جنوب‌شرقی این ناحیه می‌توانند به‌عنوان مهمترین کلیدهای پی‌جویی، ارتباط این مناطق را با کانی‌سازی‌های مس پورفیری و وراگرماهای وابسته نشان دهند. وجود حفاری‌های قدیمی فراوان در این منطقه نشانده‌ی حجم وسیع فعالیت‌های معدنکاری قدیمی در این منطقه بوده و بر اهمیت اقتصادی منطقه می‌افزاید. تاکنون پروژه‌های پی‌جویی مقدماتی، نیمه تفصیلی و تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان وابسته به سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی، به وسیله‌ی شرکت پارس‌کانی و شرکت ایتوک انجام شده است. منطقه‌ی شکسته سبز نیز بخشی از این پروژه پی‌جویی بوده است [۲۱، ۲۲]. شرکت ایتوک اطلاعاتی درباره‌ی زمین‌شناسی، ژئوشیمی و لاگ‌های حفاری از منطقه ارائه کرده است. هدف از این کار پژوهشی، تهیه نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با تاکید ویژه بر شناسایی و جدایش توده‌های نفوذی از سنگ‌های آتشفشانی، بررسی دگرسانی‌ها و منطقه‌بندی آن‌ها، بررسی انواع مختلف کانی‌سازی و ویژگی‌های آن‌ها و تهیه نقشه‌ی توزیع اکسیدهای آهن ثانویه و بررسی‌های ژئوشیمیایی در منطقه‌ی مورد بررسی است.

روش بررسی

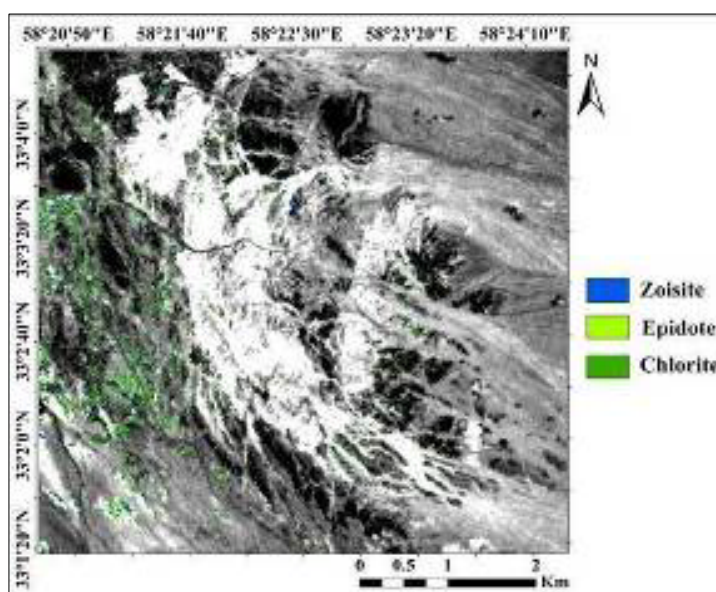
الف) پردازش تصاویر ماهواره‌ای ASTER به‌منظور جدایش زون‌های دگرسانی و شدت و پراکندگی آن‌ها به یاری نرم‌افزار ENVI 4.2 به روش نقشه‌بردار زاویه‌ی طیفی؛ ب) تهیه و

جدول ۱ زاویه طیفی بهینه برای کانی‌های موجود در منطقه که در مشاهدات صحرایی مشاهده شده است.

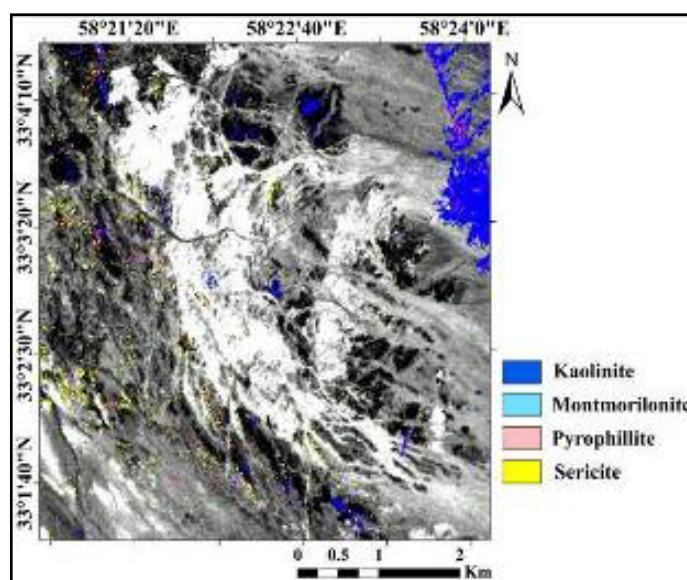
کانی‌های دگرسانی	Kaolinite	Montmorillonite	Illite	Pyrophyllite	Dikite
زاویه طیفی بهینه	۰/۳۲	۰/۲۲	۰/۳۴۲	۰/۲۲	۰/۳۵۲
Chlorite	Epidote	Zoisite	Jarosite	Gypsum	Limonite
۰/۵۱	۰/۲۸	۰/۰۸۵	۰/۲۸	۰/۳۴۰	۰/۶۲

سرسیت به دست آمده از پردازش تصاویر آستر به عنوان شاخص زون آرژلیک، نشان می‌دهد که این دگرسانی در بخش‌های شمال شرقی تا جنوب غربی رخ داده است (شکل ۳) و گسترش نسبتاً کمتری نسبت به منطقه پروپلیتیک دارد. همچنین مقایسه‌ی کانی‌های گوتیت، ژیپس، ژاروسیت و لیمونیت به عنوان کانی‌های ثانویه نماینده‌ی زون گوسان نشان می‌دهد که این زون در بخش‌های غربی و مرکز گستره گسترش یافته است (شکل ۴).

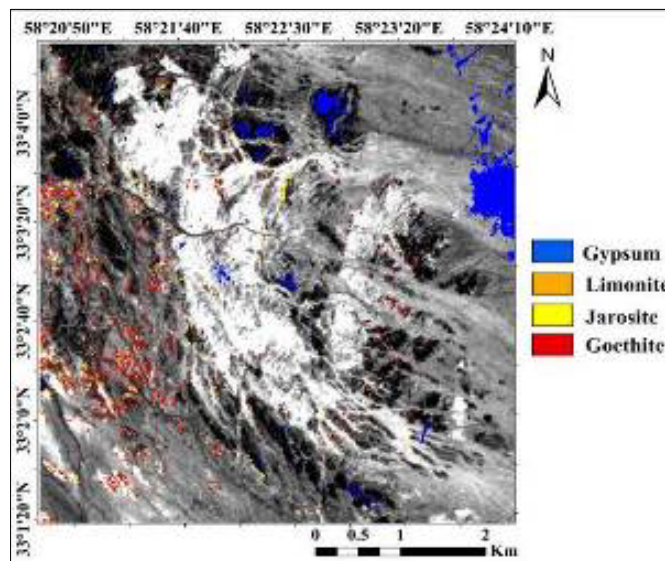
مقایسه کانی‌های کلریت، اپیدوت و زئوزیت به دست آمده از پردازش تصاویر آستر به عنوان شاخص منطقه‌ی پروپلیتیک، نشان می‌دهد که کلریت در این گستره گسترش فراوانی داشته و بررسی‌های صحرایی نیز آن را تایید می‌کنند. دگرسانی پروپلیتیک که گسترش نسبتاً زیادی دارد، در بخش غرب و جنوب غربی تصویر گسترش بیشتری یافته است. در بخش شرقی منطقه نیز با گسترش کمتر مشاهده می‌شود (شکل ۲). مقایسه‌ی کانی‌های کائولینیت، مونتموریونیت، پیروفیلیت،



شکل ۲ تصاویر ماهواره‌ای آستر، که دگرسانی پروپلیتیک بر روی آن بارزسازی شده است.



شکل ۳ تصاویر ماهواره‌ای آستر، که دگرسانی آرژلیک بر روی آن بارزسازی شده است.



شکل ۴ تصاویر ماهواره‌ای آستر، کانی‌های لیمونیت، ژیپس، گوتیت و ژاروسیت بر روی آن بارزسازی شده است.

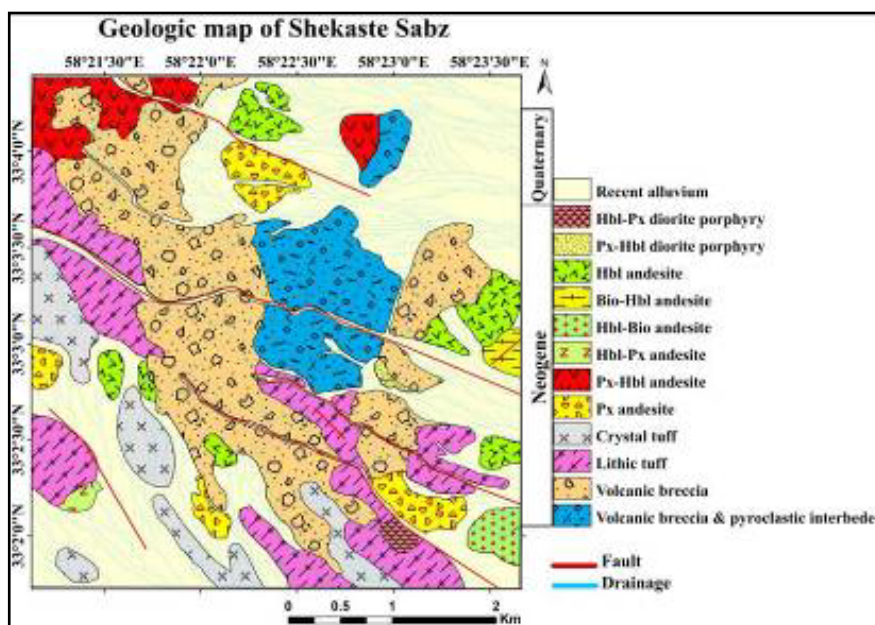
زمین‌شناسی

گستره‌ی پی جویی شکسته‌سبز از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه‌ی جنوب‌شرقی برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سارغنج قرار گرفته است [۱۶]. بنابر این نقشه، بخش بزرگ منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک است. با تاکید بر گستره‌ی اصلی کانی‌سازی و دگرسانی، نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شد (شکل ۵). براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای زمین‌شناسی شناسایی شده در گستره‌ی پی جویی شکسته سبز را می‌توان به ۳ بخش تقسیم کرد (شکل ۵): ۱- سنگ‌های آتشفشانی و پیروکلاستیک پالئوسن- ائوسن ۲- توده‌های نیمه‌عمیق که برای اولین بار شناسایی شدند و در سنگ‌های آتشفشانی نفوذ کرده‌اند. ۳- تراس‌های آبرفتی متعدد، رسوب‌های مخروط افکنه‌ای، دشت سیلابی و رسوب‌های رودخانه‌های این زمان. - هورنبلند آندزیت بیشترین گسترش را نسبت به دیگر واحدهای آتشفشانی در منطقه دارد (شکل ۵). واحد هورنبلند بیوتیت آندزیت در جنوب شرق و واحد بیوتیت هورنبلند آندزیت در شرق منطقه بیرون زدگی کمی دارند (شکل ۵). بافت این واحدها پورفیری و گلومروپورفیری با زمینه‌ی ریز بلورین تا شیشه است. فنوکریست‌های تشکیل‌دهنده‌ی سنگ شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت است. در این واحدها، پلاژیوکلازها در بعضی نقاط به کانی‌های اپیدوت و رسی دگرسان شده‌اند.

- واحد پیروکسن آندزیت در شمال و جنوب، واحد پیروکسن هورنبلند آندزیت در شمال منطقه و هورنبلند پیروکسن آندزیت در جنوب‌غربی منطقه گسترش یافته‌اند (شکل ۵). علاوه بر حضور بافت ویتروفیری، بافت‌های ارتوفیری و گلومروپورفیری در این واحدها مشاهده می‌شوند. در بافت ارتوفیری بلورهای پلاژیوکلاز به صورت مستطیل‌های کوتاه، ضخیم و فاقد سمت‌گیری دیده می‌شوند. فنوکریست‌های تشکیل‌دهنده سنگ عبارتند از پلاژیوکلاز و پیروکسن. در این واحدها، پلاژیوکلازها در بعضی نقاط به کانی‌های رسی و کربناته دگرسان شده‌اند، که در برخی قسمت‌ها این تبدیل‌شدگی به صورت کامل بوده است.

- کریستال توف در بخش‌های جنوبی منطقه گسترش یافته است (شکل ۵). در صحرا به رنگ زرد تا قهوه‌ای دیده می‌شود. این واحد بیشتر حاوی بلورهای پلاژیوکلاز و هورنبلند و به مقدار خیلی کم حاوی خرده‌سنگ است.

- برش آتشفشانی: این واحد شامل قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی با زمینه‌ای با ترکیب داسیتی بوده و بیشترین گسترش را در منطقه دارد (شکل ۵). قطعات سنگی آن در حد پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت و لاتیت هستند. حفره‌ها با کوارتز با بافت ریز بلور پرکننده فضای خالی است. رگه -رگچه‌های سیلیسی و سلیسی-کربناتی در زمینه‌ی این واحد مشاهده می‌شوند. زمینه به شدت سیلیسی و کربناتی شده است.



شکل ۵ نقشه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی شکسته سبز.

دگرسانی

دگرسانی در منطقه گسترش زیادی داشته و تمام واحدهای آتشفشانی، نفوذی و آذرآواری را تحت تاثیر قرار داده است. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی ۳ نوع دگرسانی اصلی در سطح شناسایی شده‌اند که عبارتند از: ۱- پروپلیتیک ۲- آرژیلیک ۳- سیلیسی-کربناتی. این ۳ نوع دگرسانی براساس فراوانی کانی‌های حاصل از دگرسانی به ۷ زیر زون تفکیک شده‌اند. که عبارتند از: ۱- منطقه‌ی پروپلیتیک ۲- منطقه‌ی پروپلیتیک-آرژیلیک ۳- منطقه‌ی آرژیلیک-کربناته-پروپلیتیک ۴- آرژیلیک ۵- منطقه‌ی آرژیلیک-سرسیت ۶- منطقه‌ی آرژیلیک-سرسیت-کربناتی ۷- منطقه‌ی سیلیسی-کربناتی (شکل ۶).

- دگرسانی پروپلیتیک در بخش‌های شرقی و شمالی منطقه رخنمون دارد (شکل ۶). در صحرا به رنگ سبز تیره دیده می‌شود. واحدهای هورنبلند آندزیت، بیوتیت هورنبلند آندزیت و آگلومرا تحت تاثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. مهم‌ترین کانی‌های این دگرسانی عبارتند از کلریت، اپیدوت و زئولیت و گاه همراه با کانی‌های رسی و سرسیت است. مقدار این کانی‌ها در نقاط مختلف متفاوت است. مقدار اپیدوت از ۱ تا ۱۰ درصد و کلریت از ۱۰ تا ۱۵ درصد تغییر می‌کند. اغلب این کانی‌ها حاصل دگرسان شدن کانی‌های آهن و منیزیم‌دار و پلاژیوکلازها

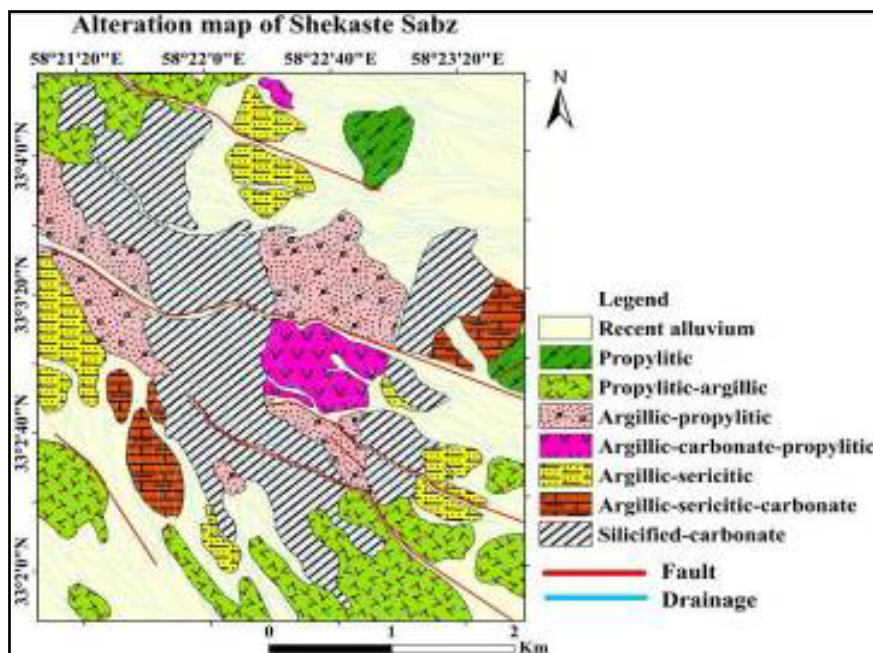
- برش‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های بین لایه‌ای: قسمت - برش‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های بین لایه‌ای: بخش مرکزی نقشه را پوشانده است، که شامل واحد برش‌های آتشفشانی و واحد آذرآواری هستند که به صورت بین لایه‌ای قرار گرفته‌اند (شکل ۵). واحد آذرآواری شامل قطعات کمی گردشده تا گرد شده آندزیتی است که به وسیله خاکسترهای آندزیتی به هم جوش خورده‌اند.

- لیتیک توف در بخش مرکزی گستره‌ی مورد بررسی بیرون زدگی داشته و در صحرا به رنگ تیره دیده می‌شود (شکل ۵). قطعات سنگی این واحد در حد آندزیت، تراکی آندزیت و داسیت‌اند. زئولیت‌ها (۳-۵ درصد) به شکل ثانویه فضای بین درز و شکستگی‌ها را پر کرده‌اند.

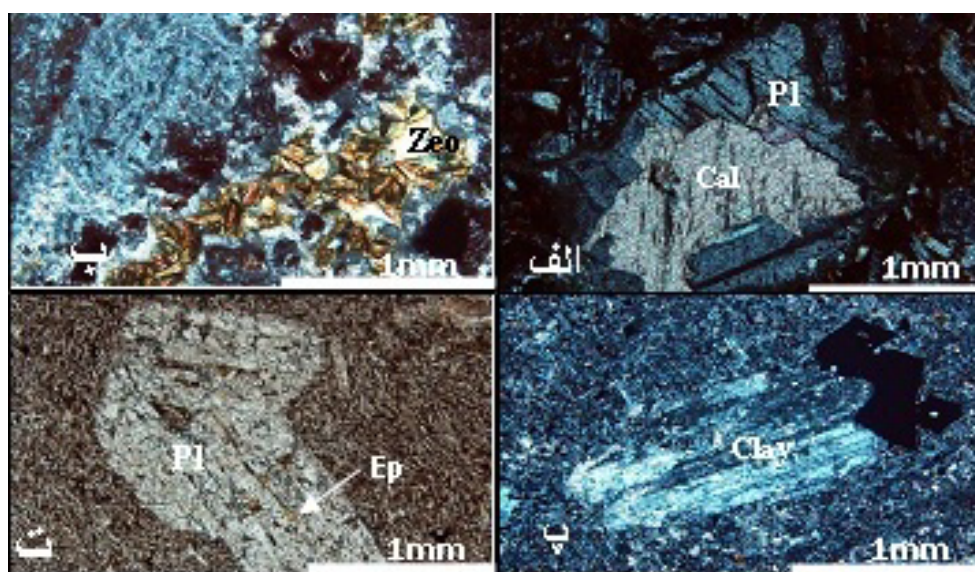
- هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری در جنوب شرقی و هورنبلند دیوریت پورفیری در شرق منطقه با گسترش خیلی کم بیرون زدگی دارند (شکل ۵). این واحدها بافت پورفیری داشته و فنوکریست‌های آن از پلاژیوکلاز، هورنبلند و پیروکسن تشکیل شده‌اند. زمینه‌ی سنگ نیز شامل کانی‌های فنوکریست است. پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی و در برخی موارد به سرسیت تبدیل شده‌اند. هورنبلندها به مقدار کم به صورت کلریت و کانی‌های کدر دیده شده‌اند.

میزان کمتر در شمال منطقه گسترش داشته (شکل ۶) و بیشتر واحدهای لیتیک توف، توف بلوری، هورنبلند پیروکسن آندزیت و هورنبلند پیروکسن دیوریت پورفیری را تحت تاثیر قرار داده است. کانی‌های پلاژیوکلاز به صورت بخشی به اپیدوت (۵ تا ۷ درصد) و کربنات (۳ درصد)، کانی‌های پلاژیوکلاز نیز به کانی‌های رسی (۵ تا ۱۲ درصد) دگرسان شده‌اند.

هستند. در پلاژیوکلازها علاوه بر تبدیل شدن آن‌ها به دانه‌های ریز اپیدوت در راستای ماکل، تبدیل شدن آن‌ها را به کلسیت (کمتر از ۲ درصد) شاهد هستیم (شکل ۷. الف). حفره‌های سنگ اغلب با کلریت، کلسیت و زئولیت پر شده‌اند (شکل ۷. ب).
- دگرسانی پروپلیتیک- آرژیلیک در بخش‌های جنوبی و به



شکل ۶ نقشه ی دگرسانی منطقه ی شکسته سبز.



شکل ۷ الف) تبدیل پلاژیوکلاز به کلسیت در نور XPL (ب) حفرات پر شده با زئولیت در نور XPL (پ) تبدیل پلاژیوکلاز به کانی رسی در نور PPL (ت) تبدیل پلاژیوکلاز به اپیدوت در نور PPL، (Ep): اپیدوت، Cal: کلسیت، Pl: پلاژیوکلاز، Zeo: زئولیت، Clay: کانی رسی).

منطقه را در بر گرفته و گسترش نسبتاً زیادی در منطقه دارد (شکل ۶). زمینه سنگ ۳-۵ درصد سیلیسی شده است. کلسیت گاه تا بیش از ۱۰ درصد در این زون دیده می شود.

کانی سازی

در منطقه ی شکسته سبز، کانی سازی به شکل های رگه ای، رگچه ای و پراکنده دیده می شود. کانی های سولفیدی و اکسیدی که در سطح دیده می شوند شامل پیریت، مگنتیت و به مقدار خیلی کم از کالکوپیریت تشکیل شده است. کانی های ثانویه به صورت کالکوسیت، کولیت، هماتیت، گوتیت، مالاکیت و آزوریت دیده می شوند.

- کانی سازی رگه ای: بیشتر در بخش مرکزی و غرب منطقه دیده شده اند. راستای رگه ها بیشتر شمال غربی - جنوب شرقی تا شمال شرقی - جنوب غربی با شیب ۸۵ درجه تا قائم و عرض حداکثر یک متر وجود دارند. بنا بر شواهد صحرایی، دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی بیشترین دگرسانی حاشیه ی رگه ها بوده و ضخامت آن ها از چند سانتیمتر تا یک متر متغیر است. رگه ها بیشتر در واحدهای آذرآواری و به میزان کمتر در واحدهای آتشفشانی تشکیل شده اند. تمامی این رگه ها در راستای زون - های گسلی و شکستگی ها تشکیل شده اند. کانی زایی بیشتر به - صورت رگه های سیلیسی - سولفیدی صورت گرفته است. رگه ها شامل: ۱- کلسیت - مالاکیت - اکسیدهای آهن - کوارتز کریپتو کریستالین، ۲- کلسیت - مالاکیت، ۳- مالاکیت - کالکوسیت - سیلیس - اکسیدهای منگنز، ۴- کلسیت - مالاکیت - کوارتز کریپتو کریستالین، ۵- باریت - مالاکیت - اکسیدهای آهن و ۶- هماتیت - مگنتیت - پیریت - سیلیس - مالاکیت دیده می شوند.

- کانی سازی رگچه ای: در بخش های جنوب غربی و شرق منطقه و بیشتر در واحدهای آتشفشانی دیده می شود. از نظر ترکیب، کانی شناسی شامل رگچه های کوارتز - اکسیدهای آهن، سیلیس - اکسیدهای آهن - مالاکیت، کلسیت - اکسید آهن، کلسیت - سیلیس و سیلیس - کالکوسیت - هماتیت - اکسیدهای آهن دیده شده اند. ولی بیشترین رگچه ها کلسیتی و فاقد کانی سازی هستند. رگچه ها دارای عرض های متفاوت از بیش از ۱۰ سانتی متر تا رگچه هایی مویی را نشان می دهند و رگچه - هایی با عرض ۳ تا ۴ میلیمتر فراوانی بیشتری دارند

- کانی سازی پراکنده در بخش شرق و جنوب غربی منطقه گسترش یافته است. کانی زایی به صورت کالکوپیریت، پیریت، کولیت و مگنتیت در متن سنگ به صورت افشان مشاهده

- دگرسانی آرژیلیک - سرسیتیک: این واحد گسترش خیلی کم در شمال و جنوب منطقه داشته (شکل ۶) و واحدهای بلور توف، پیروکسن آندزیت و هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. پلاژیوکلازهای موجود در قطعات سنگی، به شدت دگرسان شده و اغلب به رس و کمتر به سرسیت تبدیل شده اند. - دگرسانی آرژیلیک - پروپلیتیک گسترش نسبتاً زیادی در بخش های شرق و غرب منطقه دارد (شکل ۶). واحدهای آگلومرا، لیتیک توف و هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. پلاژیوکلازهای موجود در قطعات سنگی، دگرسان شده و اغلب به رس (۱۰-۱۵ درصد) (شکل ۷، ج) و به طور بخشی به اپیدوت (۳ تا ۵ درصد) و کلسیت (کمتر از ۲ درصد) دگرسان شده اند. اغلب کانی های فرومنیزین کلریتی (۲ تا ۵ درصد) شده اند.

- دگرسانی آرژیلیک - کربنات پروپلیتیک در بخش های مرکزی و شمال منطقه رخنمون خیلی کم داشته (شکل ۶) و در صحرا به رنگ خاکستری دیده می شود. این دگرسانی واحدهای آگلومرا و هورنبلند آندزیت را تحت تاثیر قرار داده است. در پلاژیوکلازها علاوه بر تبدیل شدن آن ها به کانی های رسی (۵-۱۲ درصد)، تبدیل شدن آن ها را به کلسیت (تا ۷ درصد) شاهد هستیم. هورنبلندها تا حدودی کلریتی (کمتر از ۵ درصد) شده اند. همچنین در بعضی قسمت ها پلاژیوکلازها در راستای ماکل به اپیدوت (۲ تا ۵ درصد) تبدیل شده اند (شکل ۷، د). دگرسانی آرژیلیک - سرسیت در شمال و غرب منطقه گسترش یافته (شکل ۶) و بیشتر واحدهای لیتیک توف، بلور توف، پیروکسن آندزیت و پیروکسن هورنبلند دیوریت پورفیری را تحت تاثیر قرار داده است. پلاژیوکلازهای موجود در قطعات سنگی، دگرسان شده و اغلب به رس و به میزان کمتر به سرسیت (کمتر از ۸ درصد) تبدیل شده اند.

- دگرسانی آرژیلیک - سرسیتیک - کربنات در بخش شرق و جنوب غرب منطقه گسترش خیلی کم دارد (شکل ۶). واحدهای بیوتیت هورنبلند آندزیت، هورنبلند آندزیت و بلور توف را تحت تاثیر قرار داده و در صحرا به رنگ خاکستری دیده می شود. میزان کانی های رسی تا ۱۰ درصد و سرسیت کمتر از ۵ درصد متغییر است. زمینه سنگ نیز به شدت کربناتی شده است.

- دگرسانی سیلیسی - کربنات واحد برش آتشفشانی را تحت تاثیر قرار داده است. بیشتر بخش های شرقی و تا حدودی مرکز

به تمرکز غیرعادی عناصری است که با کانی‌سازی در ارتباطند. توزیع آماری عناصر اصلی در طبیعت عادی است. در شرایطی که سنگ‌ها تحت تأثیر دگرسانی و کانسازسازی قرار گیرند، این توزیع از حالت عادی خارج شده و به شکل غیرعادی درمی‌آید [۲۹].

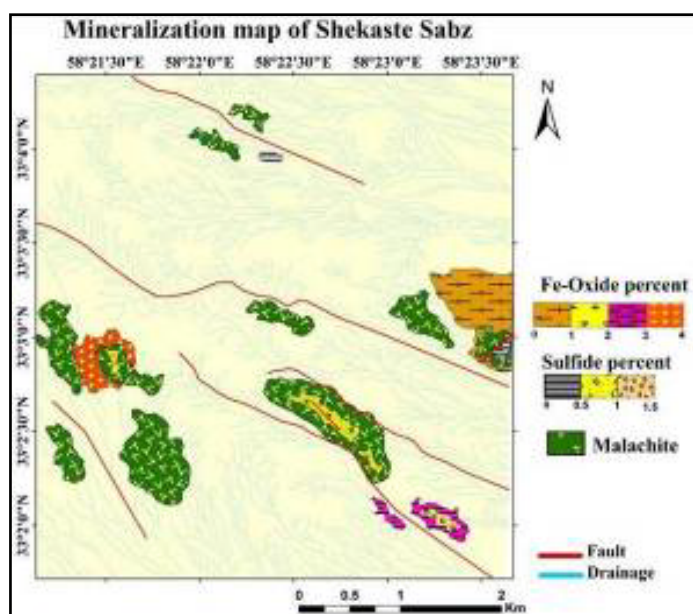
پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بر پایه‌ی رسوب‌های آبراه‌های

بررسی‌های پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه بر پایه‌ی رسوب‌های آبراه‌های روی ۶۵ نمونه از سوی سازمان صنایع و معادن خراسان جنوبی انجام شده‌اند [۲۲]. بررسی نمونه‌های ژئوشیمی آبراه‌های برداشت شده برای طلا به روش جذب اتمی (AAS) در سازمان صنایع و معادن و برای بقیه نمونه‌ها به روش ICP-MS در آزمایشگاه ALS-CHEM-X کانادا بوده است [۲۲]. نتایج بررسی‌های ژئوشیمیایی آبراه‌های نشان می‌دهد که بیشترین مقدار مس، ۱۱۱/۵ گرم در تن است (شکل ۹- الف). بی‌هنجاری چشمگیر مس در شرق منطقه وابسته به آبراه‌های ریشه گرفته از واحدهای لیتیک توف و هورنبلند آندزیت و در ارتباط با دگرسانی پروپلیتیک، آرژلیک-سرستیک و سیلیسی و کانی‌سازی رگه‌ای است. در حالی که بی‌هنجاری شمال منطقه به آبراه‌های ریشه گرفته از واحدهای پیروکسن-هورنبلند آندزیت و برش آتشفشانی و در ارتباط با دگرسانی آرژلیک-سرستیک و سیلیسی-کربناتی و کانی‌سازی پراکنده مس است.

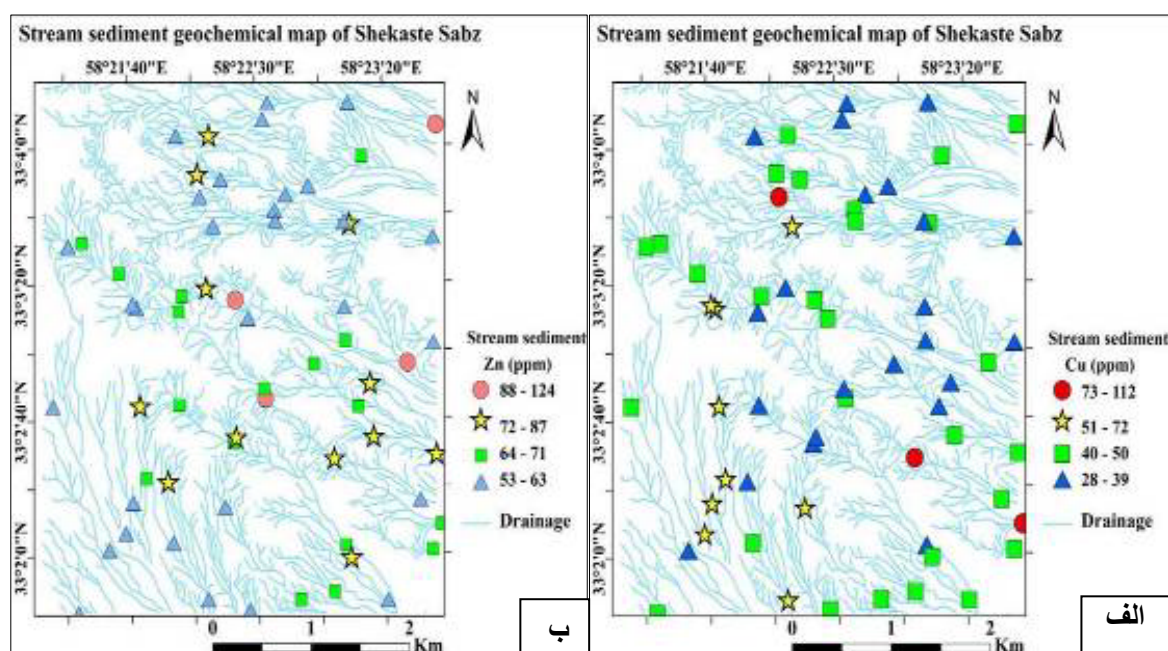
می‌شود و بیشترین میزان کانی‌سازی پراکنده در واحدهای هورنبلند آندزیت و بیوتیت هورنبلند آندزیت دیده می‌شود. در بخش‌های شمالی منطقه در واحدهای آذرآواری غالب‌های پیریت به خوبی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده‌اند. پیریت اغلب به هماتیت تبدیل شده و در اکثر مواقع فقط غالب پیریت باقی مانده است. به دلیل تأثیر شدید فرایندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و اکسیدی در منطقه گسترش وسیعی یافته است. با توجه به تفاوت کانی‌شناسی پدید آمده، کانه‌زایی مهم در سطح شامل مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به میزان کمتر کانی‌های سولفیدی کولیت، کالکوزیت و پیریت هستند (شکل ۸). بیشترین گستردگی مالاکیت و اکسیدهای آهن در شرق، جنوب‌غربی، مرکز و شمال منطقه دیده می‌شود. کانی‌سازی اغلب در راستای زون‌های گسلی و شکستگی‌ها تشکیل شده است (شکل ۸). وجود سیستم آبراه‌های گسترده در منطقه نقش مهمی در گسترش زون اکسیده داشته است. همچنین وجود دگرسانی کربناتی و رگچه‌های کلسیتی در تشکیل مالاکیت به صورت گسترده در منطقه موثر بوده است.

ژئوشیمی

روش‌های ژئوشیمیایی، نقش مهمی در تعریف بی‌هنجاری‌های وابسته به کانسارهای دارای بیرون زدگی و فاقد بیرون زدگی دارند [۲۸]. یکی از اهداف پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی، دستیابی



شکل ۸. نقشه‌ی کانی‌سازی منطقه‌ی شکسته‌سبز



شکل ۹ پراکندگی عناصر مس و روی در رسوب‌های آبراه‌های منطقه‌ی شکسته سبز به ترتیب الف و ب.

به‌منظور شرایط محل، نمونه‌برداری‌های ژئوشیمی نقشه دگرسانی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از قسمت مرکزی تهیه شد (شکل‌های ۱۰ تا ۱۳-ب). نمونه‌برداری در بخش مرکزی از رگه‌هایی با ترکیب کوارتز کریپتوکریستالین، هماتیت، ملاکیت و با مقادیر کمتر کالکوسیت و کولیت انجام شد. هر ۱۷ نمونه برداشت شده از محل رگه‌ها در بخش مرکزی میزان تغییرات مس ۲/۴-۰/۶ درصد، روی ۲۹۹۰-۲۳ گرم در تن، سرب ۷۵۴-۲۴ گرم در تن، نقره ۸-۱/۴ گرم در تن (شکل ۱۰-۱۳-ب)، مولیبدن ۲۲۹۰-۷۷ گرم در تن و طلا تا ۲۴ میلی‌گرم در تن بوده‌اند.

در نمونه‌های خرده‌سنگی بررسی شده وابسته به کانی‌سازی پراکنده، میزان فراوانی مس از ۳۱ تا ۴۵۰ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۰). بیشترین بی‌هنجاری‌های مس در شرق منطقه به واحد بیوتیت هورنبلند آندزیت با دگرسانی پروپلیتیک وابسته است. کانی‌سازی در این واحد به‌صورت پراکنده دیده می‌شود. در جنوب‌غربی منطقه بیشترین بی‌هنجاری مس مربوط به واحد هورنبلند آندزیت با دگرسانی آرژلیک-سرسیتیک-کربناتی بود که کانی‌سازی در این واحد به صورت پراکنده دیده می‌شود. میزان فراوانی روی از ۳۸ تا ۱۳۳ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱-الف). بیشترین بی-

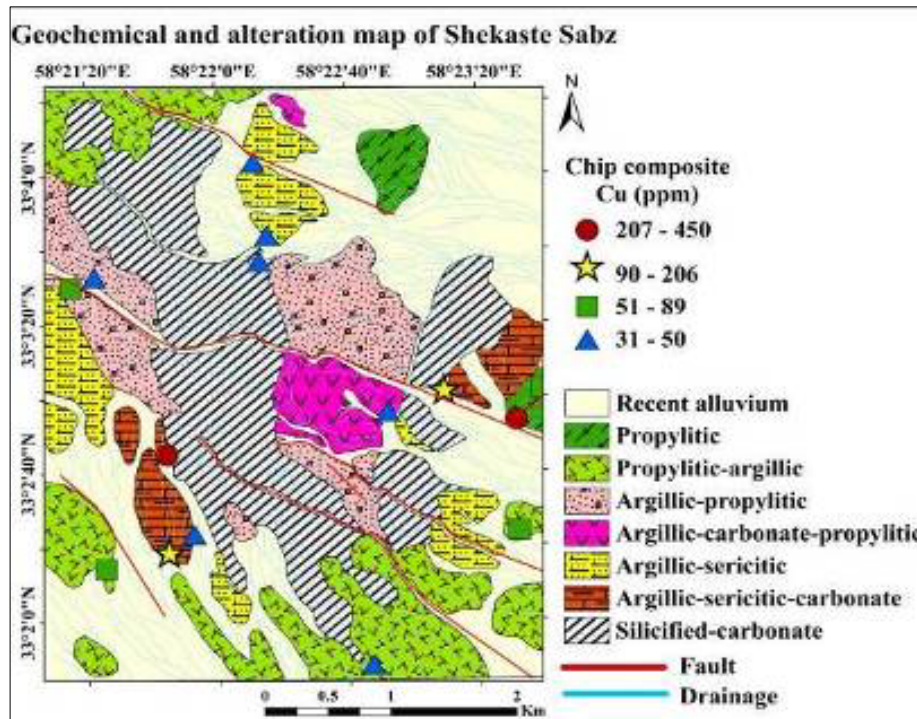
بیشترین مقدار روی، ۱۲۴ گرم در تن است (شکل ۹-ب). بیشترین مقدار روی در بخش مرکزی وابسته به آبراهه‌های ریشه گرفته از واحدهای لیتیک توف، هورنبلند آندزیت و بیشتر در ارتباط با دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژلیک-سرسیتیک و سیلیسی و در شرق منطقه وابسته به آبراهه‌های برخاسته از واحدهای لیتیک توف، هورنبلند آندزیت و پیروکسن آندزیت و بیشتر در ارتباط با دگرسانی‌های آرژلیک-پروپلیتیک و سیلیسی است. نتایج بررسی‌ها سرب، نقره، آرسنیک، طلا و آنتیمون بی‌هنجاری قابل توجهی را نشان نمی‌دهد.

پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی بر اساس سنگ

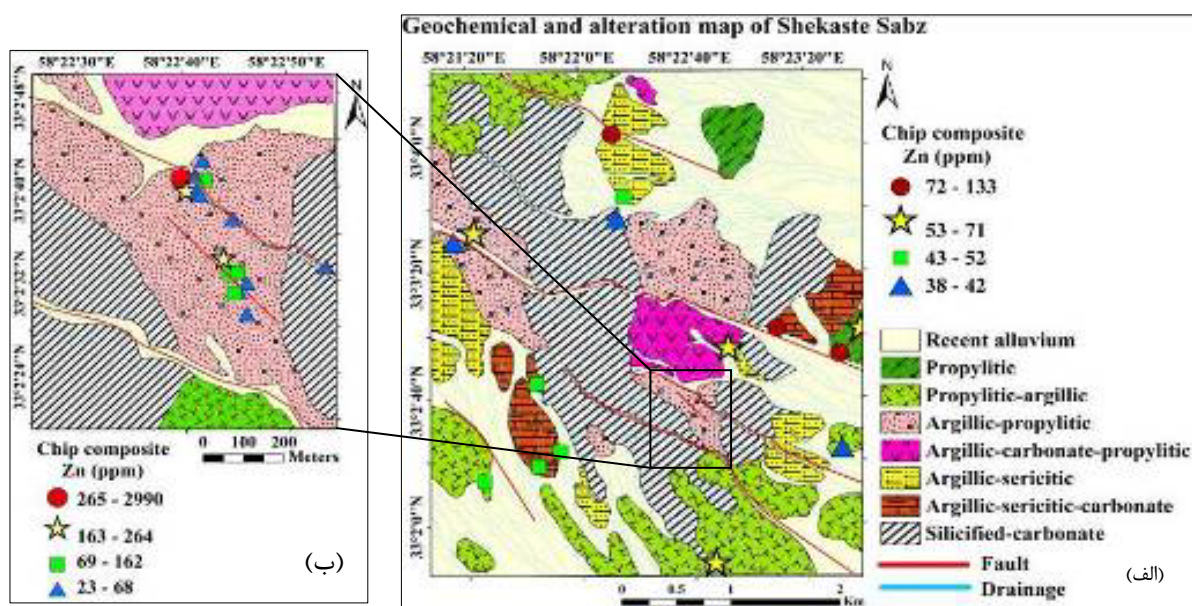
در بررسی‌های ژئوشیمیایی بر اساس سنگ، داده‌های حاصل از بررسی ۳۲ نمونه که توسط سازمان صنایع و معادن انجام گرفته است، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت [۲۲]. برداشت این نمونه‌ها از زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی و به روش خرد-سنگی صورت گرفت. بررسی نمونه‌های ژئوشیمی بر مبنای سنگ برداشت شده در آزمایشگاه ALS-CHEMX کانادا به روش ICP-MS بوده است [۲۲]. ۱۷ نمونه از محل مربوط به رگه‌هایی که در بخش مرکزی منطقه قرار گرفته و ۱۵ نمونه دیگر از زون‌های دگرسانی و کانی‌سازی برداشت شده‌اند.

تن متغیر است (شکل ۱۲. الف). بیشترین بی‌هنجاری سرب به واحد بیوتیت هورنبلند آندزیت با دگرسانی پروپلیتیک و کانی-سازی پراکنده وابسته است. نتایج بررسی‌های نقره (شکل ۱۳. الف) و آرسنیک بی‌هنجاری قابل توجهی را نشان نمی‌دهد.

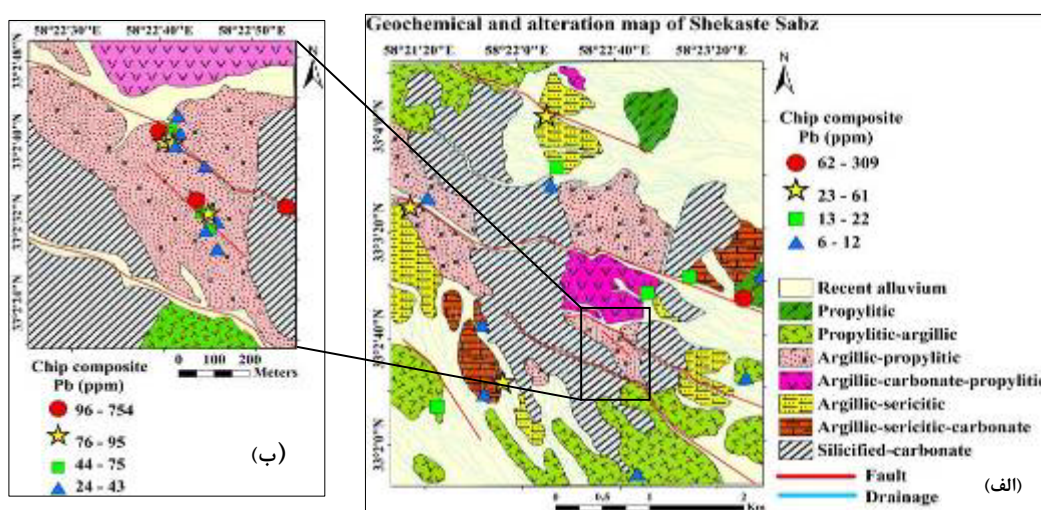
هنجاری روی در شرق منطقه و مربوط به واحد بیوتیت هورنبلند آندزیت با دگرسانی پروپلیتیک و در شمال منطقه با واحد پیروکسن آندزیت با دگرسانی آرژیلیک-سرسیتیک وابسته است. بی‌هنجاری‌های روی کانی‌سازی پراکنده در این واحدها همخوانی دارد. میزان فراوانی سرب از ۶ تا ۳۰۹ گرم در



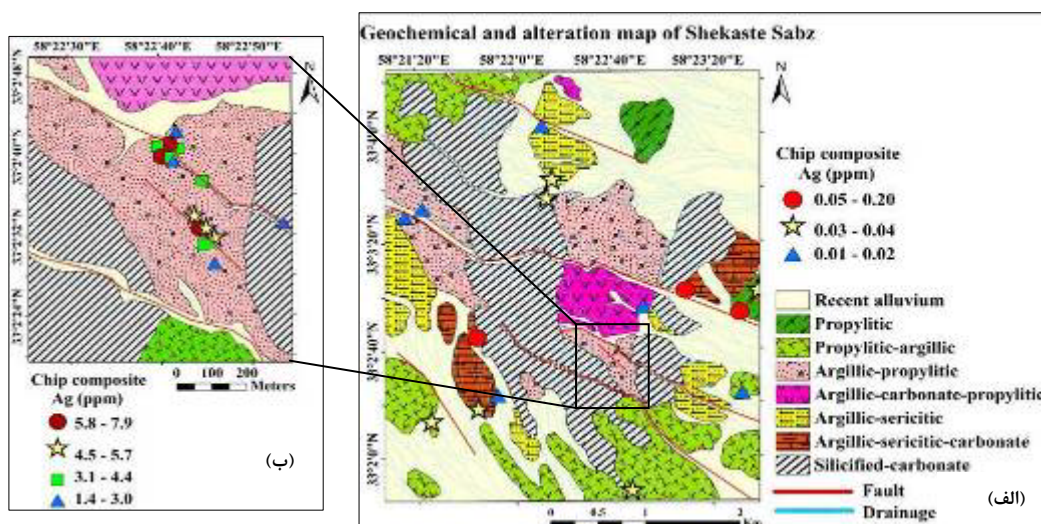
شکل ۱۰ پراکندگی عنصر مس در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در منطقه‌ی شکسته سبز



شکل ۱۱ پراکندگی عنصر روی در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در منطقه‌ی شکسته سبز.



شکل ۱۲ پراکندگی عنصر سرب در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در منطقه‌ی شکسته سبز.



شکل ۱۳ پراکندگی عنصر نقره در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در منطقه‌ی شکسته سبز.

برداشت

کانی‌سازی رگه‌ای و رگچه‌ای بیشتر در واحدهای آذرآواری شکل گرفته است که دگرسانی غالب آن‌ها آرژیلیک است. راستای رگه‌ها بیشتر شمال غربی- جنوب شرقی تا شمال شرقی- جنوب غربی است که از سیستم شکستگی‌های منطقه شمال خور پیروی می‌کند. رگه‌ها بیشتر سیلیسی- سولفیدی هستند و کانی‌های سولفیدی در سطح به شدت اکسید شده‌اند. کانی‌سازی پراکنده بیشتر در واحدهای آندزیتی دیده می‌شود که تحت تاثیر دگرسانی آرژیلیک- سرسیتیک و به مقدار کمتر پروپلیتیک قرار گرفته‌اند. توده‌های نفوذی منطقه دگرسانی ضعیفی دارند. نبود کانی‌سازی و بی‌هنجاری‌های ژئوشیمیایی

قابل توجه در این توده‌ها، نشان می‌دهد که این توده‌ها در کانی‌سازی منطقه نقشی ندارند. برای بررسی خاستگاه کانی‌سازی در این منطقه نیاز به بررسی‌های گسترده‌تر در گستره‌ی شمال خور است. بر اساس نتایج ژئوشیمیایی آبراهه‌ای، کانی‌سازی پراکنده و رگه‌ها همبستگی خوبی بین بی‌هنجاری‌های مس با روی و نقره و به میزان کمتر با سرب دیده می‌شود و میزان طلا قابل توجه نیست. با توجه به وجود سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری، نوع دگرسانی‌ها، بی‌هنجاری عناصر مس، روی، مولیبدن و نقره، حضور کانی‌سازی به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و پراکنده و ارتباط کانی‌سازی‌ها با سیستم شکستگی-ها می‌توان کانسار شکسته سبز را در رده‌ی کانسارهای وراگرما

ضمیمه گزارش شماره ۳۳ ف، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۵۲).

[۱۰] شهاب‌پور ج.، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۰) ۵۴۳ ص.

[11] Berberian M., Jackson J.A., Qorashi M., Khatib M.M., Priestley K., Talebian M., Ghafuri-Ashtiani, M., "The 1997 may 10 Zirkuh (Qaenat) earthquake (Mw 7.2): faulting along the Sistan suture zone of eastern Iran", Geophys. J. Int 136 (1999) 671-694.

[12] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the central Lut, east Iran", Ministry of mines and metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51 (1983) 357-383.

[۱۳] سامانی ب.، اشتری ش.، "تکوین زمین‌شناسی ناحیه سیستان و بلوچستان"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۴، سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۷۱).

[۱۴] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، مظاهری س.ا.، حیدریان شهری م.ح.، "ماگماتیسم و انواع کانی‌سازی مس، طلا، قلع و تنگستن در بلوک لوت"، مجموعه مقالات پانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۶) ۶۰۴-۵۹۸.

[۱۵] کریم‌پور م.ح.، ملک‌زاده شفارودی آ.، فارمر ل.، استرن چ.، "پروژنر گرانیتوئیدها، سن سنجی زیرکن به روش U-Pb ژئوشیمی ایزوتوپ‌های Sr-Nd و رخداد مهم کانی‌سازی ترشیری در بلوک لوت، شرق ایران"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی ایران (۱۳۹۱) ۱-۲۷.

[۱۶] لطفی محمد.، "نقشه زمین‌شناسی سارغنج، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی (۱۹۹۵).

[17] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour, M.H., "Hydrothermal alteration mapping in northern Khur, Iran, using ASTER image processing: a new insight to the type of copper mineralization in the area", Acta geologica sinica (2013), In press.

[۱۸] ملک‌زاده شفارودی آزاده.، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، میکروترمومتری، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشأ کانی‌سازی مناطق ماهرآباد و خوپیچ، استان خراسان جنوبی"، پایان‌نامه دکتری (۱۳۸۸).

نوع رگه‌ای قرار داد. با توجه به رخداد فرورانش روی داده بین بلوک لوت و افغان و ماگماتیسم گسترده‌ای که شمال بلوک لوت را تحت تاثیر قرار داده است، حضور کانی‌سازی‌های پورفیری و وراگرماهای وابسته در شمال بلوک لوت دور از انتظار نیست. در منطقه‌ی شمال خور، به‌دلیل حضور کانی‌سازی‌های رگه‌ای از نوع سرب، روی و مس (شورک) و مس (حوض دغ، مهرخش، رشیدی و غار کفتری)، زون‌های دگرسانی گسترده که طی پردازش‌های ماهواره‌ای آشکارسازی شده و حضور کانی‌سازی‌هایی مانند کانسار مس-طلای پورفیری ماهرآباد و خوپیچ، کانی‌سازی طلای خونیک و کانی‌سازی نوع طلای وراگرما سولفید بالای کوه‌شاه در بخش جنوب‌شرق این ناحیه می‌تواند نشانه‌هایی بر ارتباط کانی‌سازی وراگرما شکسته‌سبز با یک سیستم مس پورفیری در عمق باشد.

مراجع

- [1] Ruttner A., Stöcklin J., "Geological map of Iran, scale 1:1,000,000", Geological Survey of Iran (1967).
- [2] Berberian M., King G. C. P., "Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran", Canadian Journal of Earth Sciences (1981) 18: 210-265.
- [3] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East, scale 1:2,900,000", Geological Survey of Iran (1991).
- [4] Jung D., Keller J., Khorasani R., Marcks Chr., Baumann A., Horn P., "Petrology of the Tertiary magmatic activity the northern Lut area, east of Iran", Ministry of Mines and Metals, GSI, geodynamic project (geotraverse) in Iran, No. 51 (1983) 285-336.
- [۵] آقابیاتی س.ع.، "زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۸۳) ۵۸۶ ص.
- [۶] امامی م.ح.، "ماگماتیسم در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، (۱۳۷۹) شماره ۷۱، ۶۲۲ ص.
- [7] Camp V.E., Griffis R.J., "Character, genesis and tectonic setting of igneous rocks in Sistan Suture Zone", Lithos 15 (1982) 221-239
- [8] Tirrul R., Bell I.R., Griffis R.J. Camp V.E., "The Sistan Suture Zone of eastern Iran", Geol. Soc. Amer. Bull (1983) 134-150.
- [۹] افتخارنژاد ج.، "مطلبی چند درباره تشکیل حوضه رسوبی فلش در شرق ایران و توجیه آن با تئوری تکتونیک صفحه‌ای"،

- [۱۹] عبدی م.، کریم پور م.ح.، نجفی ع.، "زمین شناسی، آلتراسیون و پتانسیل کانه زایی در منطقه کوه شاه، خراسان جنوبی"، نخستین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی (۱۳۸۹).
- [۲۰] سمیعی سمیه، کریم پور م.ح.، قادری مجید، حیدریان شهری م.ح.، "زمین شناسی، دگرسانی و پتانسیل کانه زایی در منطقه خونیک، جنوب بیرجند"، دومین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان (۱۳۹۰).
- [۲۱] اکتشاف نیمه تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان، "شرکت پارس کانی و شرکت تحقیق و گسترش صنایع معدنی"، (۱۳۸۶)، ۲۰۵ ص.
- [۲۲] جمیع علی رضا، "پروژه اکتشاف تفصیلی مواد معدنی در شهرستان سرایان"، سازمان صنایع و معادن استان خراسان جنوبی (۱۳۸۷)، ۲۰۴ ص.
- [۲۳] Pérez D.J., Crósta A.P., Souza Filho C.R., Marín G. "Mineral mapping exploration using hyperspectral AVIRIS data in Los Menucos area, Río Negro province (67°51'W- 40°53'S), Argentina", (2000) 99-672.
- [۲۴] معصومی ف.، رنجبر ح.، "مقایسه بین داده های تصحیح شده سنجنده ASTER با روشهای نرمالیزه شده، میانگین بازتاب داخلی نسبی و لگاریتم باقیمانده جهت نقشه برداری از کانی های مناطق دگرسان شده"، سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران (۱۳۸۷) ۳۱۵-۳۱۲.
- [25] Zhonghai He., Binbin He., Cui ying, "Hydrothermal alteration mapping using Aster data in east Kunlun mountain, China", (2010).
- [26] ENVI User's Guide, "ENVI User's Guide V. 4.0" Research Systems, Inc, (2003) 1084p.
- [27] Kruse F. A., Lefkoff A. B., Boardman J. W., Heidebrecht K. B., Shapiro A. T., Barloon J. P., and Goetz A. F. H., "The spectral image processing system (SIPS) – Interactive", (1993).
- [28] Robert F., Brommecker R., Bourne B.T., Dobak P.J., McEwan, C.J., "Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration", Ore Deposits and Exploration Technology (2007) Paper 48, 691-711.
- [29] Rose A.W., Burt D.M., "Hydrothermal alteration in Barnes, H.L., ed", Geochemistry of hydrothermal ore deposits, New York, USA, John Wiley and Sons (1979) 173-235.