



زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره‌ی پی‌جویی گزو، جنوب شرق طبس

مجید حافظ دربانی*، محمدحسن کریم‌پور^۱، آزاده ملک‌زاده شفارودی^۱، علیرضا مظلومی بجنستانی^۲

۱- گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۲- گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور واحد مشهد

(دریافت مقاله: ۹۰/۷/۱۸، نسخه نهایی: ۹۰/۹/۲۲)

چکیده: گستره‌ی پی‌جویی گزو، در فاصله‌ی ۶۵ کیلومتری جنوب شرق شهر طبس و در بخش جنوبی رشته‌کوه شتری قرار گرفته است. نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق (کرتاسه فوقانی؟) حدواسط با ترکیب مونزونیتی تا دیوریتی به داخل سنگ‌های کربناتی سازند شتری به سن تریاس، عامل کانی‌سازی مس در منطقه‌اند. زون‌های دگرسان شناسایی شده در توده‌ها نفوذی عبارتند از: کوارتز- سرسیت± پیریت (مهمترین)، سیلیسی- سرسیتی، پروپلیتیک، سیلیسی- پروپلیتیک و سیلیسی‌شدن شدید است. دگرسانی کوارتز- سرسیت± پیریت، واحد کربناتی در اطراف توده‌ها تحت‌تأثیر دگرسانی سیلیسی قرار گرفته و در بعضی نقاط اسکارنی شده است. کانی‌سازی بیشتر به شکل‌های داربستی و افشان و کمتر برش گرمایی دیده می‌شود. رگچه‌ها عبارتند از: کوارتز، پیریت، کوارتز- پیریت، کوارتز- کربنات- سولفید، کربنات- سولفید، و رگچه‌های سولفیدی اکسید‌شده. تراکم رگچه‌های حاوی کانی‌های سولفیدی در بعضی نقاط، به بیش از ۴۰ رگچه در مترمربع نیز می‌رسد. زون گوسان گسترده‌ای در نتیجه‌ی اکسایش کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است. دامنه‌ی تغییرات عناصر در رسوب‌های رودخانه‌ای به صورت زیر است: مس ۳۶ تا ۱۲۰۰ گرم در تن، سرب ۳۶ تا ۱۲۵ گرم در تن و روی ۶۲ تا ۷۳۸ گرم در تن. همچنین دامنه‌ی تغییرات عناصر در نمونه‌های خرده سنگی منطقه گزو به صورت زیر است: مس ۱۰۰ تا ۲۰۰۰۰ گرم در تن، سرب ۱۰ تا ۴۰۰ گرم در تن و روی ۵۰ تا ۳۰۰۰ گرم در تن. بیشترین میزان مس و روی در دگرسانی‌های کوارتز- سرسیت±پیریت و سیلیسی‌شدن شدید دیده می‌شود. شواهد نشان می‌دهد که کانی‌سازی منطقه احتمالاً از نوع مس پورفیری و اسکارن وابسته به آن است.

واژه‌های کلیدی: گزو؛ مس پورفیری؛ کوارتز- سرسیت± پیریت؛ کانی‌سازی داربستی؛ بلوک طبس.

مقدمه

قاسمی و همکاران [۷]، بلوک طبس را بخشی از یک قلمروی ساختاری می‌دانند که در کناره‌ها و بستر خود به وسیله‌ی گسل‌هایی از پی‌سنگ بریده شده، به گونه‌ای که در پالتوزویک و مزوزویک دنباله‌ی چینه‌شناسی متفاوتی از نواحی مجاور داشته است و از پایان مزوزویک به سبب عملکرد تنش‌های زمین‌ساختی همگرا در راستای بیش‌تر شرقی - غربی، با خروج زمین‌ها و فراخاست کوه‌ها به خشکی تبدیل شده است. گسل ناپیند از شرق و گسل کل‌مرد - کوهبنان

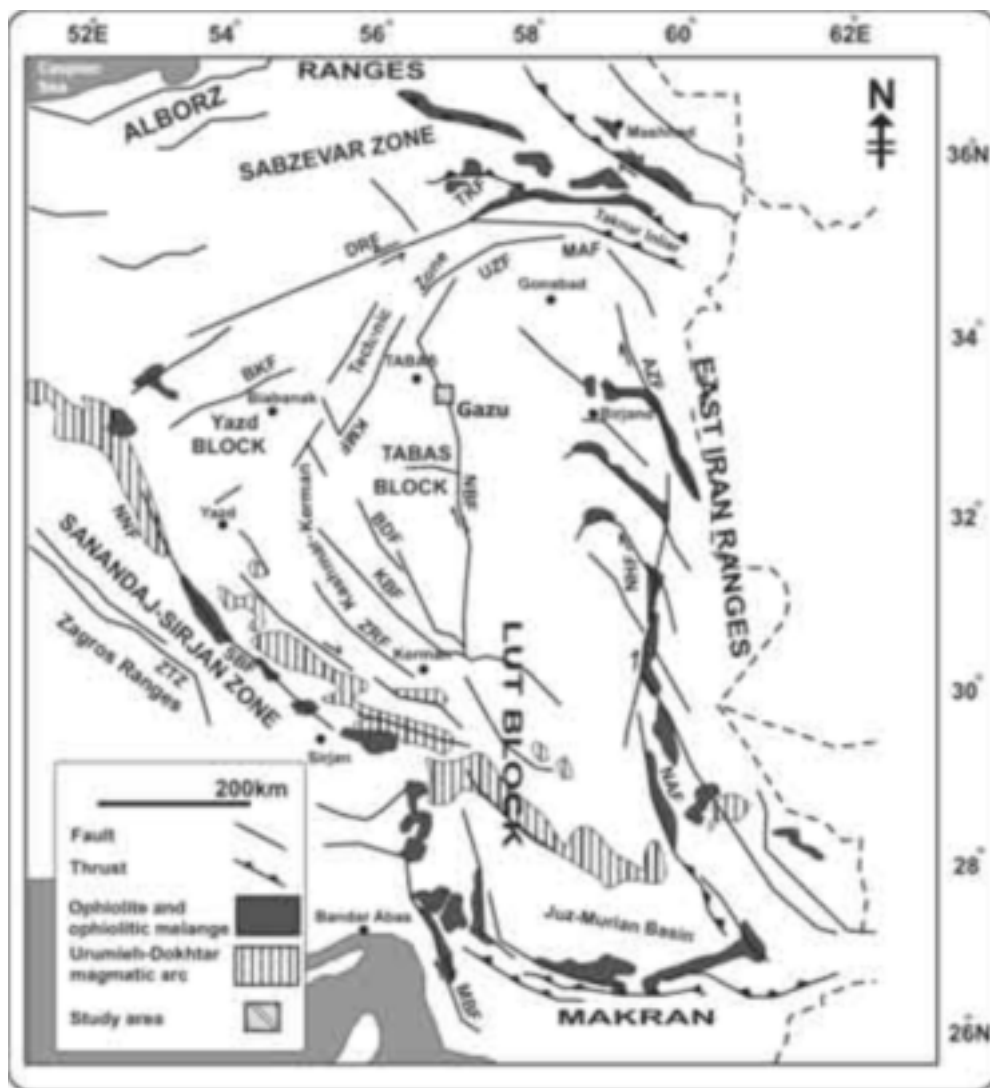
منطقه‌ی پی‌جوئی گزو در ۱۵ کیلومتری جنوب‌غربی شهر دیهوک، ۶۵ کیلومتری جنوب‌شرق شهر طبس و در ۱/۵ کیلومتری روستای گزو واقع شده است. منطقه‌ی مورد بحث به وسعت حدود ۱ کیلومترمربع، در عرض جغرافیایی ۳۶۷۴۶۰۰ و ۳۶۷۵۴۰۰ شمالی و طول جغرافیایی ۵۳۶۰۰۰ و ۵۳۷۰۰۰ شرقی، در یال جنوبی کوه‌های شتری قرار داشته و در بلوک طبس قرار می‌گیرد (شکل ۱).

روی و مس در سنگ‌های پرمین تریاس و ژوراسیک البرز در بلوک طبس، نیز عمومیت دارد که تأییدی بر هم‌سانی میان این دو ناحیه است [۸].

شرق ایران به واسطه‌ی رویداد فرورانش در زمان‌های گذشته و به دنبال آن وجود حجم عظیم ماگماتیسم، پتانسیل بسیار مناسبی برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف به خصوص کانسارهای مس پورفیری دارد. شواهدی از این نوع کانی‌سازی در نقاط مختلف شرق ایران نیز معرفی شده‌اند (مانند ماهرآباد [۹]، رحیمی [۱۰]، چاه‌شلغمی [۱۱]، ده‌سلم [۱۲] و غیره).

از غرب این بلوک را محدود کرده‌اند. این باور وجود دارد که سیمای ریخت‌شناسی - زمین‌ساختی کنونی این بلوک در گرو تجدید فعالیت ساختارهای گسلی و چین‌خوردگی کهن در چرخه‌ی زمین‌ساختی آلیپی است.

بلوک طبس از جمله مناطقی است که روند تکاملی پالئوزویک آن با مناطق مجاور هم‌خوانی و هم‌آهنگی ندارد. تکاپوهای آتشفشانی مافیک و حدواسط، هر چند ناچیز، از ویژگی‌های پالئوزویک بلوک طبس است و از این نظر می‌توان بلوک طبس را با کوه‌های البرز مقایسه کرد. کانی‌سازی سرب،

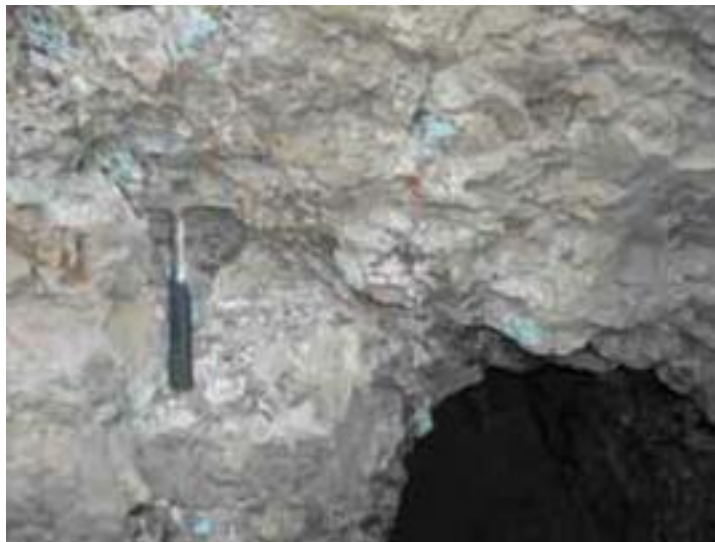


شکل ۱ نقشه‌ی تقسیمات ساختاری مرکز و شرق ایران و موقعیت منطقه‌ی مورد بررسی بر روی آن (برگرفته از [۵،۱] با تغییرات پس از [۶]).
 = MAF = گسل میناب، = NAF = گسل نصرت آباد، = NBF = گسل نایبند، = NHF = گسل نهبندان، = NNF = گسل ناین، = SBF = گسل شهربابک، = TKF = گسل تکنار، = UZF = گسل ازبک کوه، = ZRF = گسل زرنند، = ZTZ = زون تراستی زاگرس.

معدن‌کاری قدیمی و نیز زون‌گوسان گسترده است که در منطقه دیده می‌شود (شکل ۲ و ۳). با توجه به همه‌ی این شواهد، تاکنون نقشه‌ی زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی دقیقی از منطقه تهیه نشده و نوع کانی‌سازی مبهم است. هدف از این کار پژوهشی تهیه‌ی نقشه دقیق زمین‌شناسی منطقه با مقیاس مناسب با تاکید ویژه بر جدایش توده‌های نفوذی عقیم و بارور، بررسی‌های دگرسانی و منطقه‌بندی آن‌ها، کانی‌سازی-های مختلف موجود در ناحیه، بررسی‌های ژئوشیمیایی و وابستگی آن با دگرسانی و کانی‌سازی و سرانجام تعیین مدل درست کانی‌سازی است.

توده‌ی نفوذی گزو تقریباً در مرز بلوک لوت و طبس قرار گرفته است. ترکیان [۷]، توده‌ی گرانیتوئیدی گزو را به سن کرتاسه فوقانی (?)، به‌عنوان دومین توده‌ی بلوک لوت، پس از توده‌ی نفوذی سرخ‌کوه (ژوراسیک)، معرفی کرده است، که به داخل بخشی از سنگ آهک‌های سازند شتری و نیز بخشی از ماسه‌سنگ‌ها و شیل‌های سازند شمشک نفوذ کرده است و عامل کانی‌سازی مس در منطقه است [۱۳]. لازم به یاد آوری است که توده‌های نفوذی گزو در بلوک طبس قرار دارند و ارتباطی با بلوک لوت ندارند.

از جمله دلایل اهمیت این منطقه، نفوذ توده‌های نیمه‌عمیق به درون سنگ‌های کربناتی، مشاهده‌ی کانی‌سازی مس، آثار



شکل ۲ حضور مالاکیت وسیع در سطح تونل‌های قدیمی.



شکل ۳ زون گوسان وسیع در گستره‌ی پی‌جویی گزو.

روش بررسی

بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده در این ناحیه شامل مراحل زیر اند:

الف) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ در گستره ۱ کیلومتر مربع، ب) تعیین تراکم رگچه‌ها، توزیع اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسایش سولفیدها و مقدار توزیع کانی‌سازی ثانویه مالاکیت در سطح، پ) برداشت نمونه‌های سنگی (بیش از ۷۰ نمونه) به منظور بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی، ت) بررسی سنگ‌شناختی، دگرسانی و کانی‌سازی در ۶۰ مقطع نازک و ۲۰ مقطع نازک صیقلی و بلوک صیقلی، ث) برداشت ۲۰ نمونه خرده‌سنگی و ۱۰ نمونه رسوب رودخانه‌ای، به منظور بررسی‌های ژئوشیمیایی از سطح و آنالیز آن‌ها به روش AAS برای سه عنصر Cu, Pb و Zn در آزمایشگاه ژئوشیمی دانشگاه فردوسی - مشهد، ج) اندازه‌گیری پذیرفتاری مغناطیسی در واحدهای نیمه عمیق و چ) تفسیر نتایج.

زمین‌شناسی و سنگ نگاری

گستره پی‌جویی گزو از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در گوشه‌ی جنوب غربی برگه‌ی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه [۱۴] قرار می‌گیرد. همچنین این ناحیه در نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ چپ‌روک نیز واقع شده که هنوز تهیه نشده است. بنابر نقشه‌ی بشرویه، بخش بزرگ منطقه شامل سنگ‌های کربناتی سازند شتری به سن تریاس و نیز شیل و ماسه سنگ‌های سازند شمشک به سن ژوراسیک است، که گدازه‌های داسیتی و آذرآواری به سن پالئوژن در منطقه گزو به صورت مجزا از بخش‌های شرقی مشاهده می‌شوند. در بررسی‌های بعدی توسط [۱۳] و بررسی‌های انجام شده در این طرح نشان داد که واحدهایی که در منطقه‌ی گزو سنگ آتشفشانی معرفی شده‌اند، توده‌های نفودی نیمه عمیق هستند.

باتوجه به بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی منطقه به چهار دسته قابل تفکیک‌اند (شکل ۴):

۱) مجموعه سنگ‌های کربناتی سازند شتری به سن تریاس: این مجموعه شامل سنگ‌آهک، کلسی‌مادستون و دولومیت با سن تریاس است. سنگ آهک بزرگترین مجموعه سنگی منطقه را تشکیل می‌دهد که در بیشتر قسمت‌ها تحت تاثیر توده‌های نفودی، کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی اولیه آن‌ها تغییر کرده است و همین عامل نامگذاری دقیق این سنگ‌ها را با مشکل مواجه می‌کند. سنگ‌های دولومیت و کلسی‌مادستون در

قسمت‌های کوچکی از منطقه رخنمون دارند (شکل ۴).

۲) توده‌های نیمه عمیق: این واحدهای نفودی به سن کرتاسه (۴)، که اغلب دگرسانی شدیدی روی آن‌ها عمل کرده را می‌توان به ۸ واحد سنگی تقسیم کرد که عبارتند از: پیروکسن دیوریت پورفیری، پیروکسن هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، هورنبلند مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت - پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری و مونزونیت پورفیری (شکل ۴).

مونزونیت پورفیری وسیع‌ترین واحد آذرین در منطقه محسوب می‌شود (شکل ۴). بافت این سنگ پورفیری است. از مجموع فنوکریست‌ها تقریباً ۴۰ درصد مربوط به فلدسپات‌های شدیداً دگرسان و ۵ درصد باقی مانده مربوط به بقیه کانی‌هاست. زیرکان، مسکویت و آپاتیت کانی‌های فرعی این واحد سنگی هستند و مقدار کانی‌های کدر به حدود ۳-۴ درصد می‌رسد. کوارتز کانی ثانویه در این واحد سنگی است.

پیروکسن دیوریت پورفیری گستره‌ی نسبتاً گسترده‌ای را به خود اختصاص می‌دهد (شکل ۴). بافت آن‌ها پورفیری است. فنوکریست‌ها شامل ۳۰-۲۵ درصد پلاژیوکلاز، ۱۵-۱۰ درصد پیروکسن (اغلب دیوپسید) و ۲-۱ درصد فلدسپات قلیایی است. زمینه به شدت دگرسان شده است. میزان کانی کدر در این واحد به حدود ۵ درصد می‌رسد که به صورت پراکنده در زمینه دیده می‌شوند. کانی‌های فرعی شامل کوارتز، سرسیت و اپیدوت هستند.

هورنبلند مونزونیت پورفیری در دو بخش غرب و جنوب-شرقی منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۴). فنوکریست‌ها در بافت پورفیری این واحد، شامل ۴۵-۴۰ درصد فلدسپات (که کاملاً سرسیتی شده‌اند) و ۵-۳ درصد هورنبلند است. در این واحد-سنگی حدود ۵ درصد کانی کدر دیده می‌شود که اغلب بی-شکل‌اند. کوارتز و سرسیت کانی‌های ثانویه این مجموعه هستند.

هورنبلند مونزودیوریت پورفیری واحد نیمه عمیق با بافت پورفیری است که در دو بخش شمالی و غربی منطقه قابل دیدن است (شکل ۴). فنوکریست‌ها شامل ۳۵-۳۰ درصد پلاژیوکلاز، ۱۵-۱۰ درصد هورنبلند و ۲-۱ درصد فلدسپات قلیایی از کانی‌های فرعی می‌توان به آپاتیت اشاره کرد. حدود ۳-۴ درصد کانی‌سازی پیریت در این واحد سنگی مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه عبارتند از کلریت، اپیدوت، سرسیت و کوارتز.

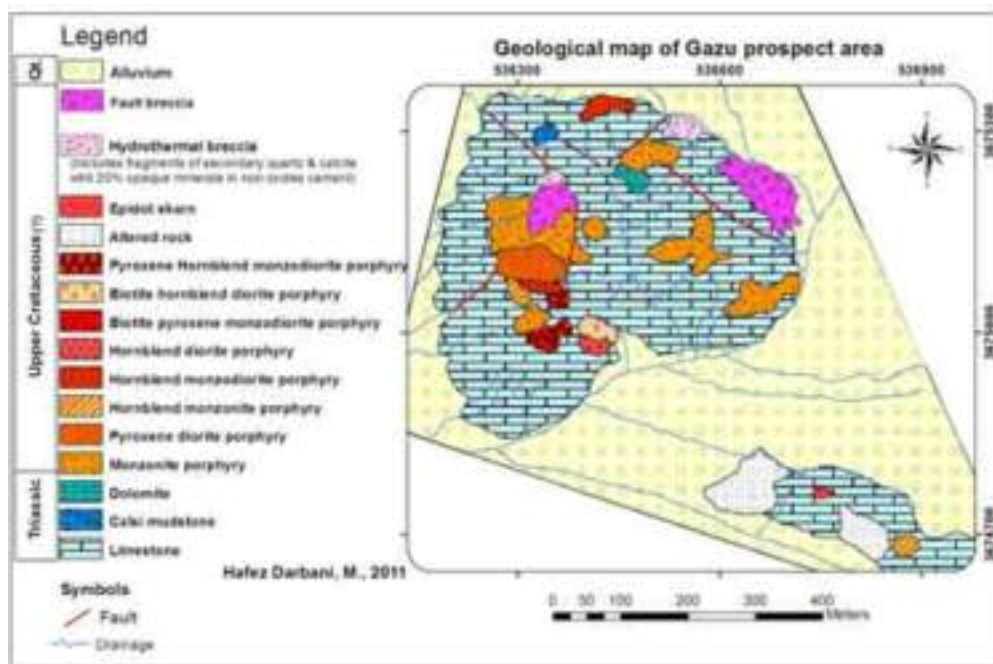
پلاژیوکلازها به سرسیت است که در دیگر واحدها دیده نمی‌شود. بافت این سنگ نیز پورفیری است. ۲۵-۲۰ درصد پلاژیوکلاز، ۱۵-۱۰ درصد هورنبلند و ۲-۱ درصد بیوتیت، مجموعه فنوکریست‌ها را شکل می‌دهد. کانی کدر در این واحد سنگی ۷-۵ درصد است که اغلب شکل‌دارند. آپاتیت و زیرکان کانی‌های فرعی و کلریت و اپیدوت، کانی‌های ثانویه این مجموعه هستند.

پیروکسن هورنبلند مونزودیوریت پورفیری در بخش کوچکی از جنوب غربی منطقه رخنمون دارد (شکل ۴). ۲۵-۲۰ درصد پلاژیوکلاز، ۷-۵ درصد فلدسپات قلیایی، ۱۲-۱۰ درصد هورنبلند و ۵-۳ درصد پیروکسن، مجموعه فنوکریست‌ها در بافت پورفیری این سنگ را تشکیل می‌دهد. زمینه‌ی سنگ اغلب از کوارتز و کانی‌های فنوکریست تشکیل شده است. آپاتیت و زیرکان کانی‌های فرعی و کوارتز، سرسیت و کلریت مهم‌ترین کانی‌های ثانویه در این واحد سنگی هستند. کانی‌سازی قابل توجهی در این واحد سنگی دیده نمی‌شود. مقدار پذیرفتاری مغناطیسی در واحدهای نیمه عمیق نادگرسان از $SI \times 10^{-5}$ تا $SI \times 10^{-5} \times 1683$ متغیر است. ایشی‌هارا [۱۵]، مقدار پذیرفتاری مغناطیسی گرانیتهای سری مگنتیت را بیش از $SI \times 10^{-5}$ می‌داند. بنابراین همه این سنگ‌ها به گرانیتهای سری مگنتیت وابسته‌اند، و از نوع اکسید کننده هستند (شکل ۵).

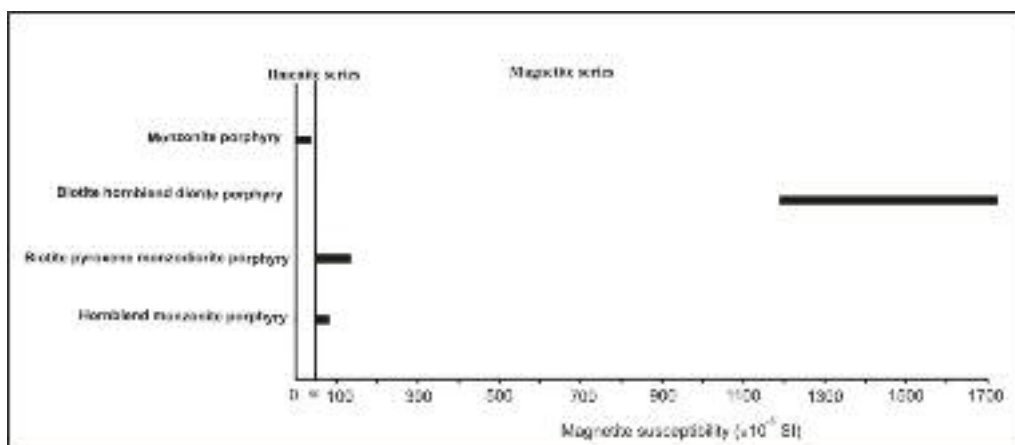
هورنبلند دیوریت پورفیری واحد سنگی با پهنای کمتر از دو واحد قبلی است که تقریباً در بخش‌های میانی منطقه مشاهده می‌شود (شکل ۴). فنوکریست‌ها در بافت پورفیری این واحد - سنگی شامل، ۵۵-۵۰ درصد پلاژیوکلاز، ۲۵-۲۰ درصد هورنبلند و حدود ۵ درصد فلدسپات قلیایی است. پلاژیوکلاز علاوه بر فنوکریست، در زمینه‌ی سنگ نیز قابل مشاهده است. حدود ۵-۴ درصد کانی کدر، که اغلب شکل‌دارند، در این توده مشاهده می‌شود. از کوارتز به عنوان کانی ثانویه در این سنگ می‌توان نام برد.

بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت پورفیری تنها در بخش کوچکی از غرب منطقه قابل رویت است (شکل ۴). فنوکریست‌ها، حدود ۴۵ درصد بافت پورفیری این سنگ را تشکیل می‌دهند که از این مقدار، ۲۵-۲۰ درصد پلاژیوکلاز، ۱۵-۱۰ درصد پیروکسن (اغلب دیوپسید)، ۲-۱ درصد فلدسپات قلیایی و ۲-۱ درصد بیوتیت است. درصد کانی‌های کدر در این واحد سنگی به ۵ درصد می‌رسد که تقریباً نیمی از آن‌ها شکل‌دارند. آپاتیت کانی فرعی این مجموعه است. سرسیت، کلریت، اپیدوت و کوارتز مجموعه کانی‌های ثانویه هستند. از نکات قابل توجه در این سنگ وجود رگچه‌های اپیدوت-کوارتز است.

بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری در بخش شمالی واحد هورنبلند دیوریت پورفیری قرار داشته و پهنایی مشابه این واحد دارد (شکل ۴). نکته مهم در مورد این واحد سنگی، عدم تبدیل



شکل ۴ نقشه‌ی زمین‌شناسی گستره‌ی پی‌جویی گزو.



شکل ۵ پذیرفتاری مغناطیسی نمونه‌های سنگی در منطقه‌ی گزو.

ی زمین‌شناسی شاهد همخوانی خوب این دگرسان با توده‌های نفوذی هستیم. واحدهای مونزونیت پورفیری و هورنبلند مونزونیت پورفیری، واحدهایی هستند که تحت تاثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. مقدار حداکثر کوارتز تا ۴۵-۴۰ درصد، حداکثر سرسیت تا ۴۵-۴۰ درصد و پیریت تا ۵-۴ درصد این دگرسان را به خود اختصاص می‌دهد. پیریت در اغلب نمونه‌ها به گوتیت و مقدار کمتر هماتیت تبدیل شده است. مقدار سرسیتی‌شدن فلدسپات‌ها بین ۹۰-۱۰۰ درصد است. یک آلتراسیون آرژیلیک برون زا در اثر اکسایش سولفیدهای این زون و به پیروی از آن اسیدی شدن محلول، روی کوارتز-سرسیت ± پیریت دگرسان قرار گرفته و میزان کانی‌های رسی از ۱۰ تا ۵۰ درصد تغییر می‌کند.

سیلیسی- سرسیتی متوسط، در بخش کوچکی از جنوب منطقه دیده می‌شود و عموماً مونزونیت پورفیری تحت تاثیر این دگرسان قرار گرفته است (شکل ۶). مقدار سیلیسی‌شدن سنگ حداکثر تا ۴۵-۴۰ درصد و مقدار سرسیت حاصل از فلدسپات حداکثر تا ۴۰-۳۵ درصد از کل سنگ را تشکیل می‌دهد. فلدسپات‌ها بین ۲۰-۹۰ درصد به سرسیت تبدیل شده‌اند.

دگرسانی سیلیسی، گسترده‌ترین دگرسانی منطقه محسوب می‌شود که به سه زیر مجموعه: شدید، متوسط و ضعیف تقسیم می‌شود (شکل ۶). این دگرسانی تقریباً کل آهک‌های سازندشتری و توده‌های نیمه عمیق منطقه را تحت تاثیر قرار داده است. درصد سیلیسی‌شدن از حداکثر ۱۰ درصد در سیلیسی ضعیف تا ۷۵-۷۰ درصد در سیلیسی شدید تغییر می‌کند. کانی‌های ثانویه شامل کلریت، کربنات و سرسیت به صورت جزئی در این زون دیده می‌شوند.

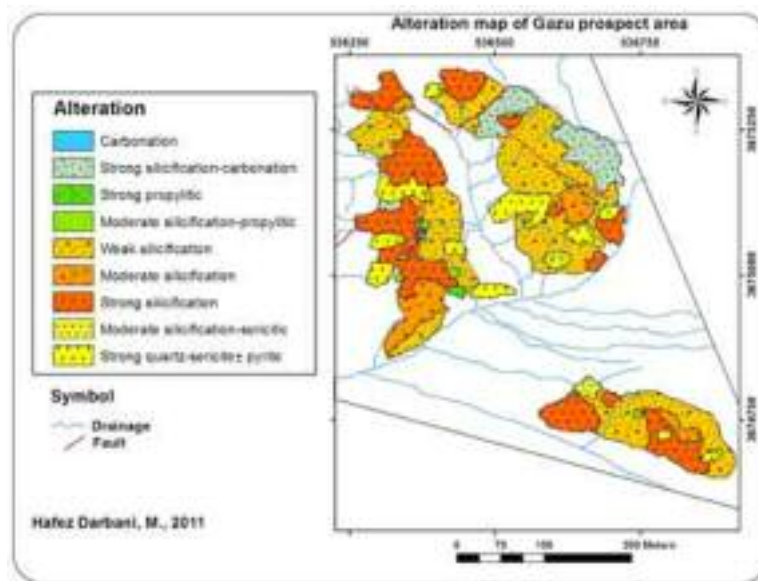
۳) برش گرمایی: این ترکیب با وسعت کم در دو بخش از بخش‌های شمالی منطقه دیده می‌شود (شکل ۴). در هر دو بخش میزان قطعات نسبت به سیمان بالاتر بوده و به حدود ۷۵-۸۰ درصد می‌رسد. ترکیب قطعات شامل ۲۵-۲۰ درصد کلسیت، ۴۵-۴۰ درصد کوارتز ثانویه، ۱۵-۱۰ درصد کانی کدر و حدود ۵ درصد کوارتز اولیه است. سیمان بیشتر شامل اکسیدهای آهن است، که در نتیجه اکسایش کانی‌های سولفیدی تشکیل شده است.

۴) اپیدوت اسکارن: این واحد رخنمون کوچکی در جنوب شرقی منطقه دارد (شکل ۴). وجود کانی‌های متنوع، از جمله اپیدوت و سیلیکات‌های آبدار، ویژگی اصلی اپیدوت اسکارن در منطقه است.

دگرسانی

تنوع دگرسانی نسبتاً گسترده‌ای در گستره‌ی پی جویی گزو وجود دارد که هم توده‌های نفوذی (شامل مونزونیت پورفیری، پیروکسن دیوریت پورفیری، هورنبلند مونزونیت پورفیری، بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت هورنبلند دیوریت پورفیری و هورنبلند دیوریت پورفیری) و نیز واحدهای کربناتی را تحت تاثیر قرار داده است (شکل ۶). بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی ۷ نوع دگرسانی در گستره پی‌جویی گزو تفکیک شدند که عبارتند از: ۱) زون کوارتز-سرسیت ± پیریت، ۲) زون سیلیسی- سرسیتی، ۳) زون سیلیسی، ۴) زون پروپلیتیک - سیلیسی، ۵) زون پروپلیتیک، ۶) زون سیلیسی- کربناتی و ۷) زون کربناتی (شکل ۶).

کوارتز- سرسیت ± پیریت، از نظر گسترش، دومین دگرسان مهم در منطقه محسوب می‌شود (شکل ۶). در مقایسه با نقشه-



شکل ۶ نقشه دگرسانی گستره‌ی پی‌جویی گزو.

کانی‌سازی

بررسی‌های صحرایی - آزمایشگاهی نشان می‌دهد که کانی‌سازی از نظر زمان تشکیل شامل دو مرحله اولیه و ثانویه است. کانی‌سازی اولیه به‌صورت داربستی، افشان و برش گرمایی دیده می‌شود و شامل پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت است. کانی‌سازی داربستی و افشان بیشتر در زون کوارتز - سرسیت ± پیریت و زون سیلیسی و مقدار کمی در زون پروپلیتیک - سیلیسی دیده می‌شود. واحدهای مونزونیت پورفیری و کربنات‌های مجاور آن، اصلی‌ترین واحدهایی هستند که کانی‌سازی در آن‌ها رخ داده است.

کانی‌سازی داربستی با رگچه‌هایی به ضخامت حداکثر ۲۰ میلیمتر دیده می‌شود. این رگچه‌های سولفیدی با تراکم متغیر (از ۵ تا ۴۰ رگچه در متر مربع)، در سطح زمین به روشنی قابل مشاهده‌اند. بیش‌ترین تراکم رگچه در کربنات‌های مجاور واحدهای نیمه عمیق و کمترین تراکم در کربنات‌های دور از واحدهای نیمه عمیق مشاهده می‌شود (شکل ۷). در زون‌های کوارتز - سرسیت ± پیریت و سیلیسی‌شدن که مهم‌ترین زون‌های کانی‌سازی در منطقه محسوب می‌شوند، ۵ نوع رگچه مشاهده می‌شود که عبارتند از: (۱) کوارتز، (۲) پیریت، (۳) کوارتز - پیریت، (۴) کربنات - سولفید و (۵) کوارتز - کربنات - سولفید.

ضخامت رگچه‌های کوارتز از ۰/۵ تا ۱/۲ میلیمتر تغییر می‌کند. در بعضی نمونه‌ها رگچه‌های کوارتز بافت شانه‌ای را از

پروپلیتیک - سیلیسی متوسط، دگرسانی با گسترش محدود است (شکل ۶). کلریت و اپیدوت کانی‌های اصلی این دگرسان محسوب می‌شوند. مقدار سیلیسی‌شدن سنگ حدود ۵۵-۵۰ درصد و سهم پروپلیتیک ۱۵-۱۰ درصد است. فلدسپات‌ها تا ۲۰ درصد تبدیل به اپیدوت و مقدار کمی سرسیت شده‌اند. پیروکسن و هورنبلند موجود در سنگ به ترتیب به کلریت و کلریت - اپیدوت تبدیل شده‌اند که حدود ۵۰ درصد از حجم اولیه آنها را در بر می‌گیرد.

پروپلیتیک شدید، جزء دگرسان‌های محدود منطقه محسوب می‌شود (شکل ۶). در حدود ۱۵-۱۰ درصد پلاژیوکلازها به اپیدوت و ۸۵-۸۰ درصد آمفیبول‌ها به کلریت تبدیل شده‌اند. کربنات و سرسیت، کانی‌های فرعی این دگرسانند.

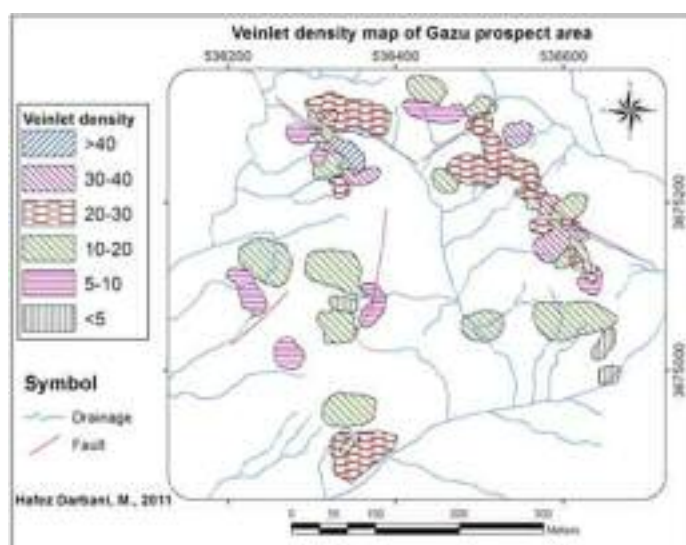
دگرسان سیلیسی - کربناتی، در بخش‌های گستره‌ای از شمال و شمال شرق گستره‌ی مورد بررسی، قابل مشاهده است (شکل ۶). واحدهای مونزونیت پورفیری و کربنات‌های منطقه، تحت‌تاثیر کربناتی‌شدن قرار گرفته که به صورت پرکننده‌ی فضای خالی و رگچه‌های کربناتی دیده می‌شود. سیلیسی‌شدن سنگ در قالب زمینه و رگچه‌های سیلیسی نیز، به ۴۰ درصد می‌رسد.

دگرسان کربناتی، به‌عنوان کوچکترین زون دگرسانی، در بخش غربی منطقه دیده می‌شود و از رگه‌های کلسیتی تشکیل شده است که مقدارشان به ۲۵-۲۰ درصد می‌رسد (شکل ۶).

متغیر است. بیش از ۹۰ درصد رگچه کربنات - سولفید را کربنات تشکیل می‌دهد و تقریباً تمام سولفیدها به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند.

کانی‌سازی پراکنده با دانه‌های شکل‌دار، نیمه‌شکل‌دار و بی-شکل پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت به اندازه ۰/۱ تا ۲ میلیمتر مشخص می‌شود (شکل ۹ و ۱۰). کانی‌سازی پراکنده که اغلب در زون‌های کوارتز- سرسیت ± پیریت، سیلیسی‌شدن و به مقدار کمتر در زون‌های پروپلیتیک و سیلیسی- کربناتی مشاهده می‌شود، اصلی‌ترین نوع کانی‌سازی در منطقه است. کانی‌سازی سولفیدی در زون کوارتز- سرسیت ± پیریت، ۲-۳ درصد و در بعضی موارد به ۶ درصد می‌رسد. این مقدار در زون سیلیسی افزایش یافته و به ۳-۴ نیز می‌رسد.

خود نشان می‌دهند. رگچه‌های پیریتی اغلب هم‌زمان یا پس از رگچه‌های کوارتز شکل گرفته‌اند (شکل ۸). ضخامت آن‌ها بین ۰/۲ تا ۱/۲ میلیمتر است که در بعضی موارد تا ۵۰ میلیمتر نیز افزایش می‌یابد. بیش از ۹۰ درصد پیریت به گوتیت و هماتیت تبدیل شده است. حدود ۹۰ درصد، رگچه‌های کوارتز- پیریت را کوارتز تشکیل می‌دهد. در بیشتر موارد هم‌رشدی بین کوارتز و پیریت دیده می‌شود و در بعضی نمونه‌ها پیریت‌ها در میان رگچه وجود دارند که حالتی از بافت پرکننده‌ی فضای خالی را تداعی می‌کنند. حداکثر ضخامت آن‌ها ۳ میلیمتر و به طور متوسط ۱ میلیمتر است. اغلب دانه‌های پیریت شکل‌دار بوده و به گوتیت و هماتیت تبدیل شده‌اند. فراوانی رگچه‌های کربنات- سولفید و کوارتز- کربنات- سولفید نسبت به ۳ نوع قبلی کمتر است. ضخامت این رگچه‌ها بین ۰/۲-۲ میلی‌متر



شکل ۷ نقشه تراکم رگچه‌ی گستره‌ی پی‌جویی گزو.



شکل ۹ تبدیل پیریت به گوتیت در گستره پی‌جویی گزو.



شکل ۸ کانی‌سازی به صورت داربستی.

مانند هماتیت، گوتیت و ژاروسیت تبدیل شده‌اند. اکسایش بسیار شدید در سطح منطقه رخ داده و زون گوسان با درصد بالای اکسید آهن، که باعث رنگ تیره مجموعه‌ی کربناتی شده است که، در گستره‌ی گسترده‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۳). این نشان‌دهنده وجود حجم گستره‌ی کانی‌های سولفیدی در ناحیه بوده و تاییدی بر گستردگی کانی‌سازی است. ترکیان و لطفی [۱۶]، ضخامت زون اکسیدی منطقه را در حدود ۱۰ متر برآورد کرده‌اند که به صورت محلی بیش‌تر هم می‌شود. کلاهک شسته شده ترکیبی است با بافت‌های متفاوت و علاوه بر گوتیت و هماتیت، با مقداری مالاکیت، کریزوکولا، پارآتاکامیت، آزوریت و کمی کوپریت نیز دیده می‌شود [۱۶].

شکل (۱۱)، دنباله‌ی پاراژنز و رابطه‌ی زمانی کانی‌های فلزی درون‌زا و حاصل از دگرسانی و نیز کانی‌های ثانویه را نشان می‌دهد. تشکیل کوارتز در تمام طول کانی‌سازی اولیه (پراکنده و رگچه‌ای) ادامه داشته است. پیریت کمی بعد و هم‌زمان با کوارتز تشکیل شده است و بیش‌ترین مقدار آن در دگرسانی کوارتز-سرسیت ± پیریت و سیلیسی شدن شدید مشاهده می‌شود. کالکوپریت دومین کانی سولفیدی است که تشکیل آن هم‌زمان با پیریت بوده و فقط به صورت پراکنده دیده می‌شود. مقدار کربنات در زون‌های دگرسانی جوان‌تر افزایش می‌یابد و در زون کربناتی به حداکثر مقدار خود می‌رسد.



شکل ۱۰ حضور کالکوپریت به صورت پراکنده (در حال تبدیل شدن به گوتیت).

نوع دیگر کانی‌سازی در برش‌های گرمایی بوده که در بخش‌هایی از شمال منطقه رخ‌نمون دارند (شکل ۴). میزان قطعات نسبت به سیمان بالاتر بوده و به حدود ۸۰-۷۵ درصد می‌رسد. قطعات شامل: کلسیت، کوارتز ثانویه، کانی کدر و کوارتز اولیه است. مقدار کانی‌سازی سولفیدی به صورت پراکنده و در سیمان، به حدود ۱۵ درصد می‌رسد که بیشتر به گوتیت و هماتیت تبدیل شده‌اند. دو مرحله کانی‌سازی در برش گرمایی دیده می‌شود: (۱) مرحله‌ی قبل از برشی شدن که کانی‌سازی در قطعات وجود دارد و (۲) مرحله دیگر هنگام برشی شدن است که کانی‌سازی از محلول کانه‌دار سیلیسی ایجاد شده است. بیش از ۹۰ درصد این کانی‌ها به اکسیدهای آهن ثانویه

Minerals	Hypogene		Hydrothermal breccia		Oxidation zone
	Disseminated	Stockwork	Before brecciation	In brecciation	
Pyrite					
Chalcopyrite					
Quartz					
Sericite					
Epidote					
Chlorite					
Carbonate					
Clay minerals					
Goethite					
Hematite					
Malachite					
Covellite					
Turquoise					

شکل ۱۱ دنباله‌ی پاراژنز کانی‌های فلزی درون‌زا، دگرسان شده و ثانویه در گستره‌ی پی‌جویی گزو.

نقطه‌ی قبلی، به میزان ۱۲۵ ppm و کمترین مقدار آن در آبراهه‌های جنوبی منطقه به میزان ۳۶ ppm است (شکل ۱۳ ب).

روی: بیشترین مقدار روی نیز باز هم در همان آبراهه‌ی شرقی گستره‌ی مورد بررسی به میزان ۷۳۸ ppm و کمترین مقدار آن در آبراهه‌ی شمالی منطقه به میزان ۶۲ ppm است (شکل ۱۳ پ).

میان عناصر سرب و روی تا حدی همبستگی مثبت وجود دارد، ولی در مورد عنصر مس، جز در نقطه‌ای که بالاترین میزان این سه عنصر مشاهده می‌شود، این همبستگی با دو عنصر سرب و روی دیده نمی‌شود. آبراهه‌هایی که از درون گستره ریشه می‌گیرند، به ویژه از واحدهای مونزونیت پورفیری و بیوتیت پیروکسن مونزودیوریت پورفیری و نیز دگرسانی‌های سیلیسی، سیلیسی-کربناتی و کوارتز-سرسیت ± پیریت، دارای نابهنجاری بالاتری نسبت به آبراهه‌های با خاستگاه خارجی هستند.

ژئوشیمی خرده‌سنگی

از آنجا که میزان کانی‌سازی در زون‌های کوارتز-سرسیت ± پیریت و سیلیسی شدید تا متوسط بیش از دیگر زون‌هاست، از مجموع نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده، ۱۷ نمونه به این دو زون وابسته است. هم‌چنین به دلیل شدت دگرسانی، تراکم رگچه‌ها و مقدار اکسیدهای آهن ثانویه حاصل از اکسایش سولفیدها، ۱۸ نمونه از مجموع ۲۰ نمونه خرده‌سنگی از توده‌های شمالی و ۲ نمونه (CH-17 و CH-18) از توده‌ی کوچک جنوبی برداشت شده‌اند.

کانی‌سازی ثانویه منطقه عبارتند از ملاکیت، کریزوکولا، فیروزه، کوولیت، ژاروسیت، هماتیت و گوتیت. به دلیل اکسایش شدید منطقه و از بین رفتن کانی‌های سولفیدی، نقشه‌ی توزیع اکسید آهن منطقه که گویای حضور سولفیدهاست، ترسیم شده است (شکل ۱۲). مقدار اکسیدهای آهن از کمتر از ۲ تا بیش از ۱۴ درصد متغیر است (شکل ۱۲). تقریباً در تمام ناحیه‌ی مورد بررسی، یک کپ سیلیسی ضخیمی با مقدار اکسید آهن بالا در بخش فوقانی توده‌های نیمه‌عمیق دیده می‌شود. بالاترین مقدار اکسید آهن، روی واحدهای مونزونیت پورفیری و برش گسلی در بخش‌هایی از شمال و شمال غربی منطقه مشاهده می‌شود. پراکندگی ملاکیت نیز در شکل (۱۲) نشان داده شده‌است.

ژئوشیمی

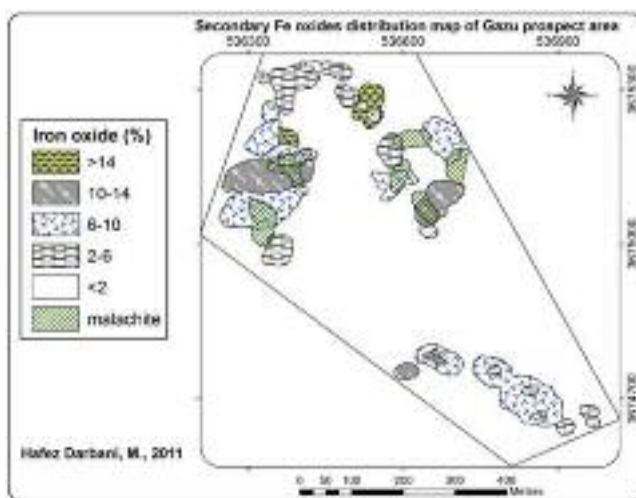
طی پیمایش‌های صحرایی در منطقه ۲۰ نمونه از مکان‌هایی که دارای اکسیدهای آهن ثانویه، بیش‌ترین دگرسانی و کانی‌سازی بوده‌اند، به روش خرده‌سنگی برداشت شدند.

آنالیز ژئوشیمی این نمونه‌ها به روش جذب اتمی (AAS) برای عناصر Cu، Zn و Pb روی نمونه‌های خرده‌سنگی و نمونه‌های رسوب رودخانه‌ای در دانشگاه فردوسی مشهد انجام گرفت.

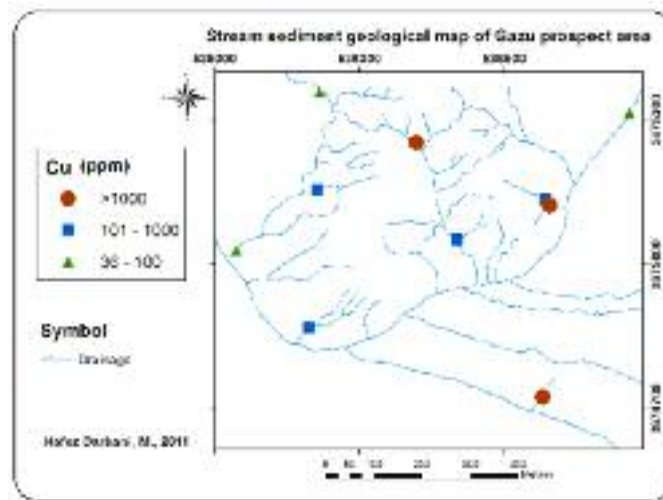
ژئوشیمی رسوبات آبراهه‌ای

مس: بیشترین مقدار این عنصر در آبراهه‌ی شرقی گستره‌ی مورد بررسی به میزان ۱۲۰۰ ppm و کمترین مقدار آن در آبراهه‌ی شمال شرق منطقه به میزان ۳۶ ppm است (شکل ۱۳ الف).

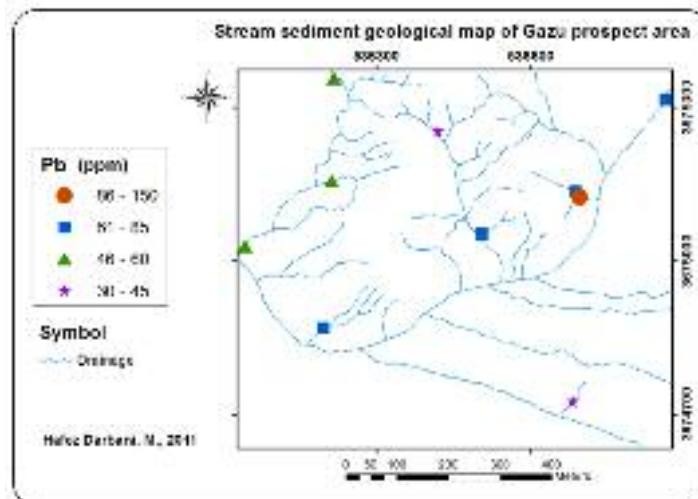
سرب: بیشترین میزان سرب نیز در آبراهه‌ی شرقی و در همان



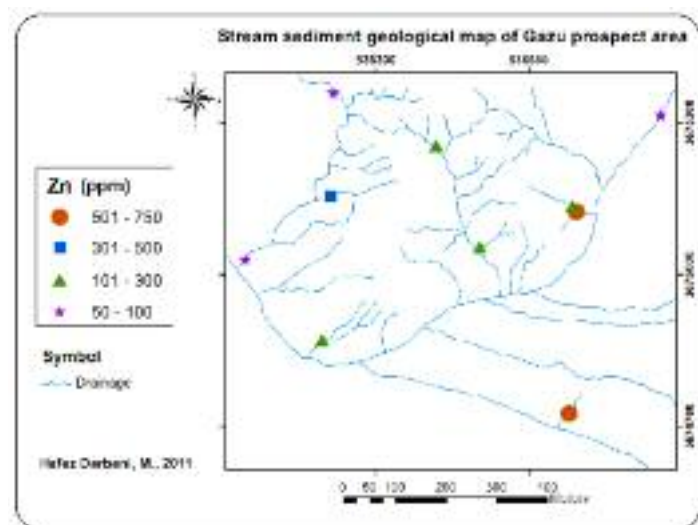
شکل ۱۲ نقشه‌ی توزیع اکسیدهای آهن ثانویه و ملاکیت در سطح گستره‌ی پی‌جویی گزو.



شکل ۱۳ الف- نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌های عنصر مس، گستره‌ی پی‌جویی گزو.



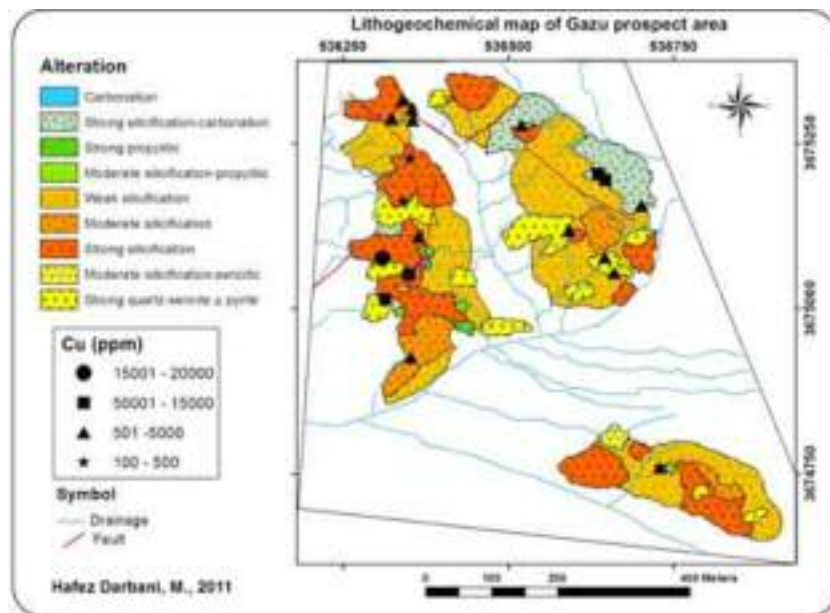
شکل ۱۳ ب نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌های عنصر سرب، گستره‌ی پی‌جویی گزو.



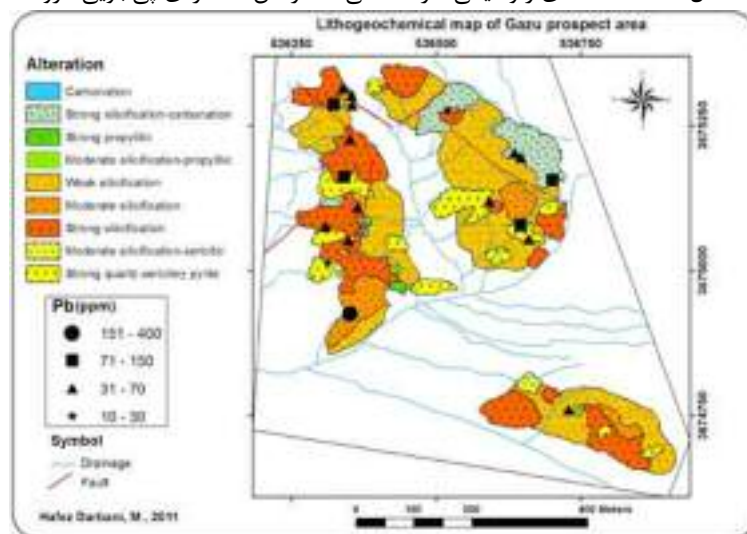
شکل ۱۳ پ نقشه‌ی ژئوشیمی رسوب‌های آبراهه‌های عنصر روی، گستره‌ی پی‌جویی گزو.

روی: این عنصر از ۳۹ تا ۳۰۰۰ گرم در تن متغیر است. بیش-ترین مقدار آن همراه با مونزونیت پورفیری و با دگرسانی کوارتز-سرسیت \pm پیریت دیده می‌شود (شکل ۱۴ پ). میزان عناصر مس و روی تقریباً رابطه‌ی مستقیمی از خود نشان می‌دهند و بالاترین مقدار هر دو عنصر در زون‌های کوارتز-سرسیت \pm پیریت، سیلیسی و سیلیسی-کربناتی دیده می‌شوند (شکل ۱۴ الف و ۱۴ پ). اما بین عناصر مس و سرب و نیز روی و سرب نمی‌توان رابطه‌ی خاصی تعریف کرد، اگرچه مقادیر بالای سرب نیز در دگرسانی‌های مشابه مس و روی دیده می‌شود (شکل ۱۴ ب).

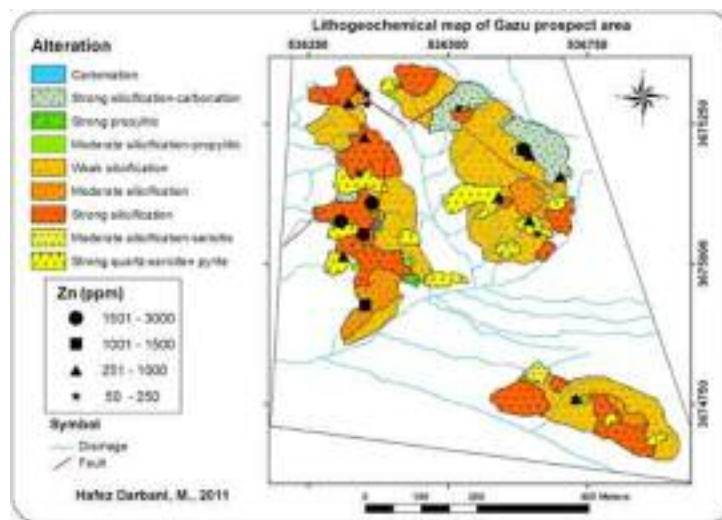
مس: این عنصر از ۱۰۰ ppm تا ۱۹۷۰۰ متغیر است. بیشترین مقدار آن در بخش غربی این گستره و در واحد پیروکسن دیوریت پورفیری و با دگرسانی کوارتز-سرسیت \pm پیریت دیده می‌شود. این عنصر بیش‌تر در قالب کانی مالاکیت و مقدار کمتری کالکوپیریت و کولیت است (شکل ۱۴ الف). سرب: بیش‌ترین میزان این عنصر در بخش جنوب غربی گستره‌ی پی جویی و به میزان ۳۲۴ ppm و کمترین آن در بخش شمال منطقه به میزان ۱۷ ppm است. بیش‌ترین مقدار این عنصر همراه با واحد کربناتی و با دگرسانی سیلیسی متوسط دیده می‌شود (شکل ۱۴ ب).



شکل ۱۴ الف- نقشه‌ی ژئوشیمی خردسنگی عنصر مس، گستره‌ی پی جویی گزو.



شکل ۱۴ ب- نقشه‌ی ژئوشیمی خردسنگی عنصر سرب، گستره‌ی پی جویی گزو.



شکل ۱۴ پ- نقشه‌ی ژئوشیمی خردسنگی عنصر روی، گستره‌ی پی‌جویی گزو.

برداشت

کانی‌سازی در گستره‌ی پی‌جویی گزو وابسته به رشته‌ای از توده‌های نیمه عمیق (کرتاسه فوقانی؟) حدواسط با ترکیب مونزونیتی تا دیوریتی است که به درون آهک‌های سازند شتری به سن تریاس نفوذ کرده‌اند. این توده‌ها به شدت دگرسان شده و بالاترین بی‌هنجاری ژئوشیمیایی در آن‌ها دیده می‌شود. زون‌های دگرسان شامل: کوارتز- سرسیت± پیریت، سیلیسی- سرسیتی، پروپلیتیک، سیلیسی- پروپلیتیک و سیلیسی است. دگرسانی کوارتز- سرسیت± پیریت، به‌عنوان مهم‌ترین دگرسانی در توده‌های نیمه‌عمیق منطقه محسوب می‌شود. واحد کربناتی در اطراف توده‌ها تحت‌تأثیر دگرسانی سیلیسی قرار گرفته و در بعضی نقاط اسکارنی شده است. میزان پذیرفتاری توده‌های نادگرسان از $SI \times 10^{-5}$ تا $SI \times 10^{-5}$ است. بنابراین توده‌های نیمه‌عمیق منطقه به سری مگنتیت وابسته و از نوع اکسند هستند. کانی‌سازی بیشتر به شکل‌های داربستی و افشان و کمتر برش گرمایی دیده می‌شود. در برخی نقاط از گستره‌ی گزو تا بیش از ۴۰ رگچه در یک متر مربع دیده می‌شود. رگچه‌ها عبارتند از: کوارتز، پیریت، کوارتز- پیریت، کوارتز- کربنات- سولفید، کربنات- سولفید، و رگچه‌های سولفیدی اکسید شده. زون گوسان وسیعی در نتیجه‌ی اکسید شدن کانی‌های سولفیدی شامل پیریت و کالکوپیریت، هم در توده‌های نفوذی و هم در واحدهای کربناتی دیده می‌شود و درصد اکسید آهن ثانویه در برخی بخش‌ها تا ۱۵ درصد نیز می‌رسد. مقدار مس در سطح زمین، بین ۱۰۰ تا ۲۰۰۰۰ گرم در تن تغییر می‌کند، هرچند بخش زیادی از مس شسته شده و

به عیار واقعی آن در بخش‌های عمیق می‌توان پی‌برد. تمامی این شواهد نشان می‌دهد که در گستره‌ی پی‌جویی گزو دگرسانی و کانی‌سازی‌هایی از نوع مس پورفیری و اسکارن وابسته به آن رخ داده است. ظاهر شدن زون کوارتز- سرسیت± پیریت در سطح زمین نشان می‌دهد که سنگ‌های میزبان دستخوش فرسایش شدیدی شده‌اند. همبستگی نسبتاً مثبتی بین تراکم رگچه‌ها و مقدار مس در منطقه وجود دارد.

سیستم‌های مس پورفیری با حجم زیادی از سنگ‌های دگرسان ($100 > 10 \text{ Km}^3$) بر روی داربست‌های پورفیری تعریف می‌شود که ممکن است شامل اسکارن، جانشین کربناتی، سنگ میزبان رسوبی، نهشته‌های ورا گرمایی با سولفید بالا و متوسط و نیز کانی‌سازی فلزات گران‌بها باشند [۱۷]. سیستم‌های مس پورفیری در تمام دوران‌های زمین‌شناسی از آرکئن تا عهد حاضر حضور داشته‌اند، هرچند فراوانی آن‌ها در سنوزوئیک و مزوزوئیک بسیار بیش‌تر است [۱۸]. کانسارهای مس پورفیری همراه با سنگ‌های مونزونیتی، دیوریتی و گرانودیوریتی آهکی- قلیایی یافت می‌شوند. عیار متوسط مس در نهشته‌های مس پورفیری درون زاد $1.5\% - 0.5\%$ و مولیبدن $0.04 - 0.01\%$ است [۱۷]. کانی‌های ثانویه ممکن است در زون‌های غنی شده‌ی برون‌زا در نهشته‌های مس پورفیری در اثر هوازدگی سولفیدهای اولیه گسترش یابند [۱۹]. جایی که کربنات‌ها (آهک و دولومیت)، میزبان نهشته‌های مس پورفیری هستند (مانند گزو)، اسکارن منیزیم‌دار یا کلسیم‌دار در نزدیکی نفوذی‌های پورفیری تشکیل می‌شود، در حالی که مرمر دورتر از اسکارن شکل می‌گیرد [۱۷]. ارتباط بین سیستم‌های مس

[۱۰] خسروی م.، "مطالعات پترولوژیکی، آلتراسیون، کانی سازی هاله ژئوشیمیایی در منطقه رحیمی (شمال غرب فردوس)" پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۶۵ صفحه (۱۳۸۵).

[۱۱] کریم پور م.ج.، "زون های آلتراسیون کوارتز حفره دار و کوارتز- آلونیت (سولفید زیاد) بخش فوقانی سیستم مس پورفیری منطقه چاه شلغمی، جنوب بیرجند"، سیزدهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۴) ص ۷-۱۱.

[۱۲] ضیایی م.، عابدی آ.، "کانی سازی مس پورفیری در کمرند متالوژنی حاشیه کویر لوت"، یازدهمین کنفرانس بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه یزد (۱۳۸۲) ص ۵۷-۵۹.

[13] Tarkian M., Lotfi M., Baumann A., "Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposits in the Central Lut, east Iran", geodynamic project (geo traverse) in Iran-Report No:51 (1983) 357-383 .

[۱۴] اشتوکلین ج.، نبوی م.ج.، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بشرویه"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۴۸).

[15] Ishihara S., "The granitoid series and mineralization", Economic Geology, 75th Anniv 1 (1981) 458-484.

[16] Tarkian M., Lotfi M., "Copper deposits connected with non-ophiolitic volcanic rock series in central Lut", DFG and Hamburg university (1979).

[17] Sillitoe R. H., "Porphyry copper systems", Economic geology 105 (2010) 3-41.

[18] Singer D. A., Berger V. I., Moring B. C., "Porphyry copper deposits of the world: Database and grade and tonnage models", U.S. Geological Survey Open-File Report (2008) 2008-1155.

[19] Sinclair W. D., "Porphyry deposits", Geological Association of Canada, Mineral deposits division, Special Publication No:5 (2007) 223-243.

[20] Einaudi M. T., Meinert L. D., Newberry R. J., "Skarn deposits", Economic geology 75 (1981) 317-391.

[21] Einaudi M. T., "Description of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America, in Titley", S R., ed., Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America, Tucson, University of Arizona Press (1982) 139-183.

پورفیری با محیط اسکارن به دقت توسط [۲۱،۲۰] بررسی شده است.

با توجه به همهی پی جویی های صحرایی و بررسی های آزمایشگاهی، گسترهی پی جویی گزو یک ذخیره ی مس پورفیری و اسکارن وابسته به آن است. میزان مولیبدن و طلا باید به طور دقیق آنالیز شود تا بتوان نوع مس پورفیری منطقه را تعیین کرد.

مراجع

[1] Berberian M., "Active faulting and tectonics of Iran, in Gupta", American Geophysical Union Geodynamic Series 3 (1981) 33-69.

[2] Jackson J., Mckenzie D., "Active tectonics of the Alpine-Hymalayan belt between western Turkey and Pakistan", Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society 77 (1984) 185-264.

[3] Lindenberg H. G., Groler K., Jacobshagen V., Ibbeken H., "Post-paleozoic stratigraphy, structure and orogenetic evolution of the Southern Sabzevar zone and the Taknar Block", Neues Jahrbuch fur Geologie und Palaontologie, Abhh and Lungen 168 (1984) 287-326.

[4] Haghypour A., Aghanabati A., "Geological map of Iran (2nd edition)", Tehran, Geological Survey of Iran, Scale 1:250000 (1989).

[5] Alavi M., "Tectonic map of the Middle East", Geological Survey of Iran, Scale 1:5000000 (1991).

[6] Ramezani J., Tucker R. D., "The Saghand region, Central Iran: U-Pb geochronology, Petrogenesis and implications for Gondwana tectonics", American Jurnal of Science 303 (2003) 622-665.

[۷] قاسمی م.، قرشی م.، نواب پور پ.، فریدی م.، حق پور ن.، رضائیان م.، "بررسی زمین ساخت و لرزه زمین ساخت بلوک طیس"، (۱۳۸۱) (۴).

[۸] آقاباتای ع.، "زمین شناسی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۸۳) ۵۸۶ صفحه.

[۹] ملک زاده شفارودی آ.، "زمین شناسی، کانی سازی، آلتراسیون، ژئوشیمی، تفسیر داده های ژئوفیزیکی، میکرو ترمومتري، مطالعات ایزوتوپی و تعیین منشا کانی سازی مناطق اکتشافی ماهرآباد و خویک، استان خراسان جنوبی"، رساله دکتری (PHD)، زمین شناسی اقتصادی دانشگاه فردوسی مشهد (۱۳۸۸) ۶۰۰ صفحه.