



بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی، بافت و زمین‌شیمی در منطقه پی‌جویی طلای قوچی، شرق بجستان، قطعه لوت

علی‌اکبر اکبری^۱، آزاده ملکزاده شفارودی^{۲*}، محمد حسن کریم‌پور^۲

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

۲- گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی اکتشاف ذخایر معدنی شرق ایران، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۱۰/۴، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۱۲/۲۱)

چکیده: منطقه قوچی بخشی از پهنه آتشفشانی-نفوذی در قطعه لوت بوده و در شرق شهر بجستان در استان خراسان رضوی واقع است. زمین‌شناسی منطقه شامل واحدهای سنگی دگرگونی (اسلیت و ماسه‌سنگ دگرگون شده) به سن ژوراسیک، سنگ‌های رسوبی کرتاسه پیشین (آهک، ماسه‌سنگ و کنگلومرا) و واحد آذرین نیمه عمیق (پیروکسن دیوریت پورفیری) به سن کرتاسه پسین است. کانی‌سازی در راستای گسل‌هایی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و شرقی- غربی در سنگ میزبان احیایی پیروکسن دیوریت پورفیری (کرتاسه پسین) رخ داده است. کانی‌های اولیه شامل پیریت، اسفالریت، گالن، پیروتیت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت، کلسیت، کوارتز و به مقدار کمتر کلریت هستند. کانی‌سازی همراه با ساخت و بافت‌های رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی، پراکنده، جان‌شینی و ناآمیختگی دیده می‌شود. دگرسانی‌های عمده شامل پروپیلیتی- سرسیتی- کربنات- سیلیسی و کربنات- سیلیسی ± کلریت هستند. بیشترین بی‌هنجاری‌های زمین‌شیمی برای طلا ۲۶۳۹ میلی‌گرم در تن، آرسنیک ۱۱۰۶۵ گرم در تن، سرب ۴۵۴۰۰ گرم در تن، روی ۱۹۴۰۰ گرم در تن، نقره ۱۲ گرم در تن و مس ۷۲۵ گرم در تن است. بر پایه بررسی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی، بافت و زمین‌شیمی، منطقه قوچی را می‌توان به احتمال بسیار در رده کانسارهای طلای وابسته به توده‌های نفوذی احیایی (RIRGS) در نظر گرفت.

واژه‌های کلیدی: دگرسانی؛ کانی‌سازی؛ زمین‌شیمی؛ طلا؛ قوچی؛ قطعه لوت

مقدمه

برخورد در ژوراسیک و فروورانش قطعه افغان به زیر لوت در ترشیری)، دارای حجم بالای فعالیت ماگمایی با ویژگی‌های زمین‌شیمیایی متفاوت بوده که در برخی موارد امکان تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف را فراهم آورده است [۴]. کریم‌پور و همکاران [۴] گستره سنی ائوسن میانی تا الیگوسن پیشین را به عنوان دوره فلزایی قطعه لوت معرفی کرده‌اند و آن را وابسته به فروورانش قطعه افغان به زیر لوت و تشکیل حجم بالای ماگمایی در ارتباط با کانی‌زایی در منطقه می‌دانند. مناطق پی‌جویی مس پورفیری ماهرآباد و خوپیک [۵]، ده‌سلم [۶]، ماهر

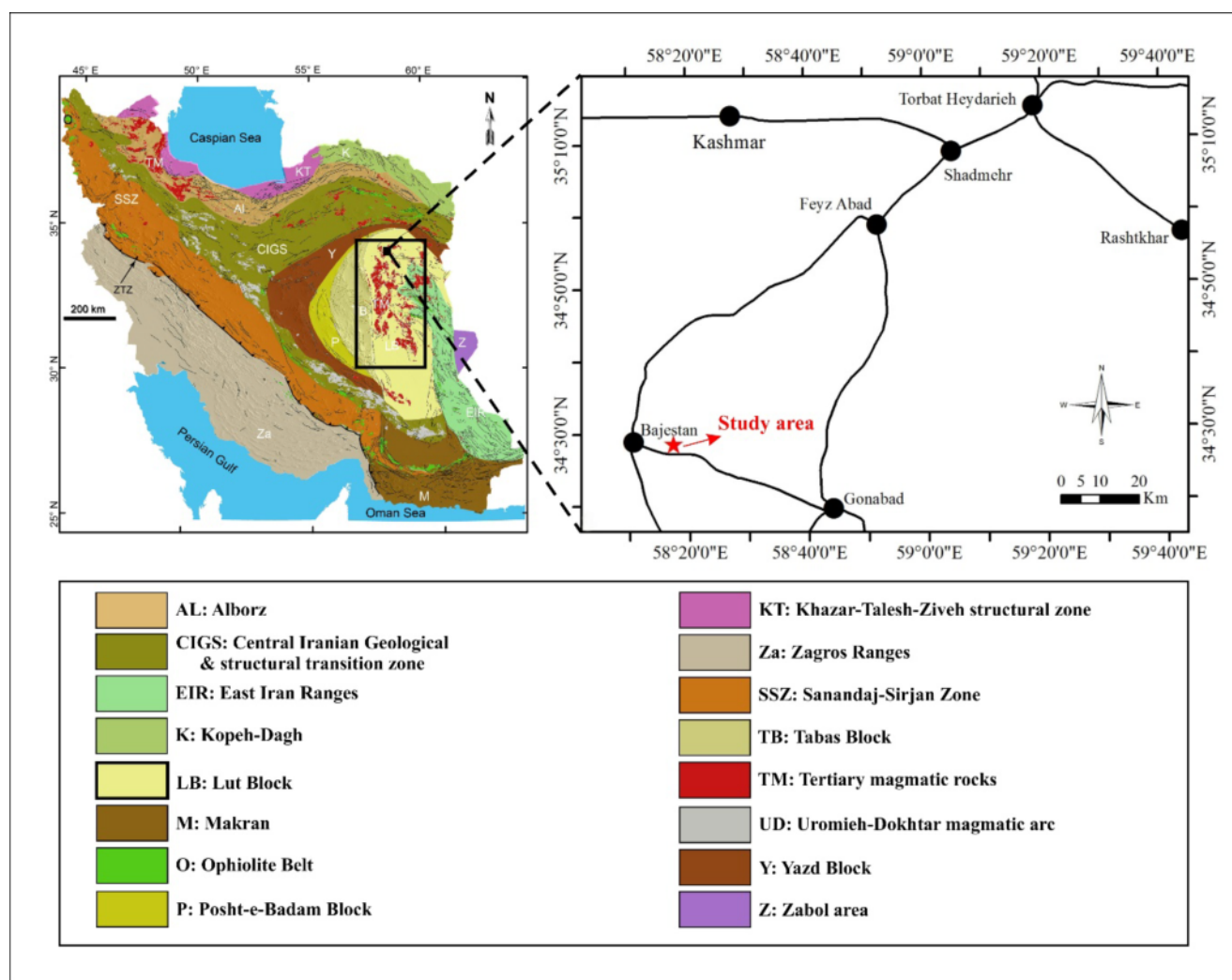
رخداد معدنی قوچی در ۱۲ کیلومتری شرق بجستان و در شمال شرق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰ فردوس [۱] بین طول‌های جغرافیایی $37^{\circ} 17' 58''$ تا $16^{\circ} 18' 58''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ} 29' 25''$ تا $29^{\circ} 34' 34''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). این منطقه از نظر تقسیمات رسوبی- ساختاری [۳، ۲] در شمال غرب قطعه لوت واقع است (شکل ۱).

قطعه لوت به دلیل داشتن موقعیت‌های زمین‌ساختی مختلف در زمان‌های گذشته (مانند پدیده

تعیین گردیده است.

فعالیت‌های انجام شده در این پژوهش شامل بازدیدهای صحرایی و نمونه‌برداری، بررسی‌های آزمایشگاهی و تجزیه نمونه‌ها بوده است. در بخش صحرایی، همه ویژگی‌های ساختی، بافتی و چگونگی ارتباط پدیده‌ها بررسی گردید. بیش از ۱۰۰ نمونه از واحدهای سنگی و کانی‌سازی برداشت شد. در مجموع، تعداد ۷۳ مقطع نازک، ۲۳ مقطع نازک صیقلی و ۱۲ مقطع قطعه صیقلی از واحدهای سنگی و رگه‌های کانی-سازی (از سطح رخنمون‌ها و ترانشه‌ها) به‌منظور بررسی-های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی تهیه گردید. نقشه زمین‌شناسی-دگرسانی با مقیاس ۱:۲۰۰۰ از منطقه مورد بررسی با نرم افزار ArcGIS تهیه شد.

[۷]، مس، سرب و روی نوع رگه‌ای نهشته‌های شوراب [۸]، خور [۹]، حوض‌رئیس [۱۰]، سه‌چنگی [۱۱]، مس-طلای نوع اکسید آهن-مس-طلا (IOCG) قلعه زری [۱۲] و طلا-قلع وابسته به توده‌های نفوذی احیایی در منطقه پی جویی هیرد [۱۳]، را می‌توان از جمله کانی-سازی‌های این قطعه نام برد. پی جویی تفصیلی در منطقه پی جویی توسط شرکت کان کاوان آداک انجام شده است [۱۴]. البته با وجود بررسی‌های اکتشافی در این منطقه، تاکنون هیچ پژوهش دقیق علمی در قالب مقاله و پایان نامه پیرامون منطقه صورت نگرفته است. در این پژوهش، واحدهای سنگی، کانی‌شناسی و بافت ماده معدنی، دگرسانی و زمین شیمی اکتشافی و شناسایی شده و سرانجام نوع کانی‌سازی در منطقه اکتشافی کوچی



شکل ۱ موقعیت زمین‌شناسی در پهنه ساختاری و راه‌های دسترسی به منطقه مورد بررسی در شرق بجنستان.

روش بررسی

همچنین ۵ نمونه از رگه کانه‌دار همراه با سنگ در برگیرنده (دگرسان شده)، برای بررسی‌های کانی‌شناسی و دگرسانی به روش پراش پرتوی ایکس (XRD) در آزمایشگاه زرآزمایش تجزیه شد (جدول ۱). سرانجام برای تفسیر بهتر نوع کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی از داده‌های زمین شیمیایی ۲۰ نمونه خرده‌سنگی (از محل ترانشه‌ها) [۱۴] به دست آمده از برداشت‌های شرکت کان کاوان آداک به روش طیف‌سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی (ICP-MS) استفاده گردید. تجزیه نمونه‌ها در آزمایشگاه زرآزمایش و مرکز زمین‌شناسی منطقه شمال شرق کشور انجام شد.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

رخداد معدنی قوچی از نظر موقعیت جغرافیایی در شرق بجستان و در بخش شمال شرقی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فردوس [۱] واقع است. براساس بررسی‌های زمین‌شناسی انجام شده [۱۵]، گرانیتوئیدهای ناحیه بجستان بیشتر دارای ترکیب موزوگرانیت، گرانیت، سینوگرانیت و دیوریت هستند. همچنین باتوجه به پایین بودن مقادیر پذیرفتاری مغناطیسی، بالا بودن شاخص اشباع آلومینیوم و نسبت اولیه $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} (> 0.710)$ ، سنگ‌های نفوذی از نظر ماهیت ماگمایی از سری ایلمینیت و از نوع گرانیتوئیدهای نوع S هستند. خاستگاه این ماگماها پوسته قاره‌ای بالایی وابسته به پهنه برخورد قاره است. این گرانیتوئیدها براساس سن‌سنجی بر پایه کانی زیرکن به روش U-Pb، سنی بین 1 ± 79 تا 1 ± 76 میلیون سال دارند و مربوط به کرتاسه پسین (کامپانین) هستند [۱۵]. گرانیتوئیدهای بجستان باتوجه به بالا بودن مقادیر $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ، متفاوت از سایر بخش‌های قطعه لوت در نظر گرفته می‌شوند. تصور بر این است که به احتمال بسیار ناحیه بجستان پس از برخورد در زمان کرتاسه پسین به قطعه لوت پیوسته است [۱۵]. دایک‌های فلسیک و دیابازیک با روند شمال غربی-جنوب شرقی (NW-SE)

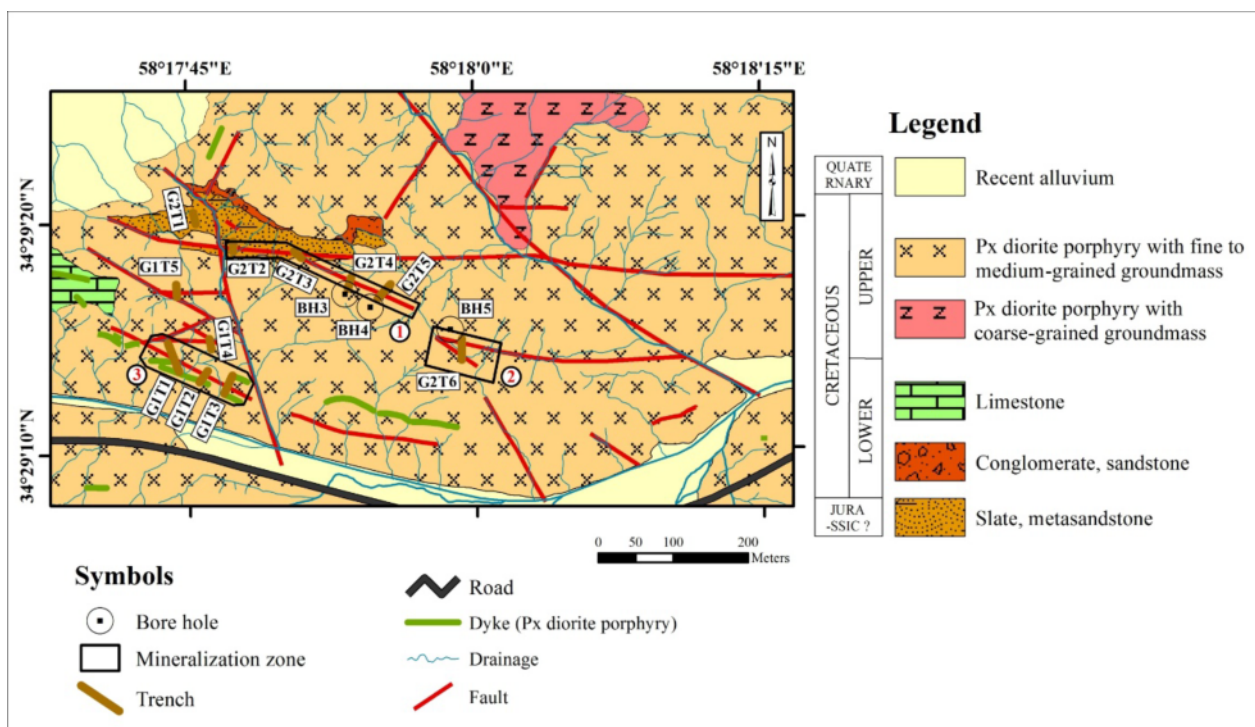
و دایک‌های دیابازی شمال شرقی-جنوب غربی (NE-SW) به درون سنگ‌های گرانیتوئیدی نفوذ کرده‌اند. رگه‌های تورمالین با ضخامت‌های مختلف در منطقه به ویژه در بخش جنوبی منطقه مورد بررسی فراوان هستند. اسکارن‌ها در تماس با نواحی گسلی و توده‌های نفوذی دیده می‌شوند. همچنین سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و موزوگرانیت الیگوسن در این منطقه شناخته شده‌اند [۱۶].

زمین‌شناسی منطقه مورد بررسی

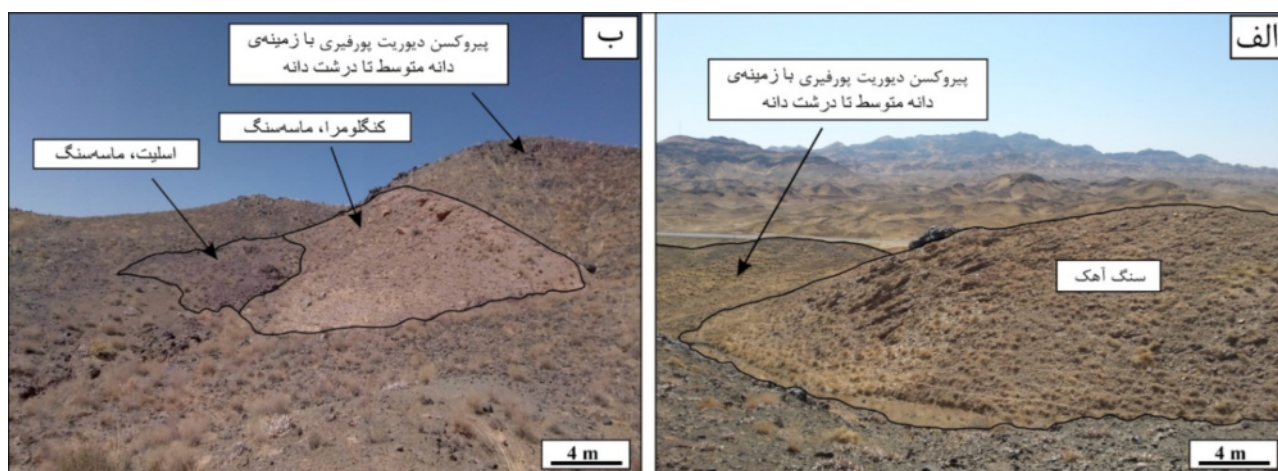
براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده بر منطقه قوچی، واحدهای سنگی رخنمون یافته در این منطقه شامل واحدهای دگرگونی (اسلیت و ماسه‌سنگ دگرگون شده) با سن نامشخص، واحدهای رسوبی (کنگلومرا- ماسه‌سنگ و آهک) با سن کرتاسه پیشین [۱]، واحدهای آذرین نیمه‌عمیق (پیروکسن دیوریت پورفیری) و دایک‌های (پیروکسن دیوریت پورفیری) با سن کرتاسه پسین [۱۵] هستند (شکل ۲). واحدهای اسلیت و ماسه‌سنگ دگرگون شده با گسترش کم در غرب منطقه مورد بررسی رخنمون دارند. به دلیل پدیده دگرگونی، سن‌سنجی بر پایه فسیل‌شناسی امکان پذیر نیست، اما با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و چینه‌ای، شاید بتوان این توالی دگرگون شده را به سازند شمشک (ژوراسیک) نسبت داد [۱۷]. واحد کنگلومرا- ماسه‌سنگ با گسترش کم در شمال غرب منطقه رخنمون دارد. اندازه قطعه‌ها اغلب از چند میلی‌متر تا ۶۰ سانتی‌متر است که گرد شدگی متوسط تا خوب و جورشدگی ضعیف را نشان می‌دهند. قطعه‌ها از جنس کوارتز آرنایت و آهک با سیمان میکرایتی هستند. بخش ماسه‌سنگی بیشتر از کوارتز، ارتوکلاز و مقادیر کمتری چرت و مسکوویت با سیمان کربناتی همراه با اکسید آهن تشکیل شده است. واحد آهکی در غرب منطقه رخنمون دارد و از ریز بلورهای کلسیت (کوچکتر از ۰/۲ میلی‌متر) با زمینه میکرایتی تشکیل شده است (شکل ۳).

جدول ۱ کانی‌های تشکیل دهنده کانی‌سازی- دگرسانی در منطقه قوچی که به روش XRD شناسایی شده‌اند.

شماره نمونه	کانی‌ها
G1T1	کوارتز، مسکویت- ایلیت، ژاروسیت، گوتیت
G2T3	کوارتز، مسکویت- ایلیت، کلسیت، کلریت، گوتیت
G2T5	کوارتز، ژاروسیت، همی مورفیت
G2T6	کوارتز، گوتیت، ژاروسیت، هماتیت، کانولینیت
GAB	کوارتز، کلسیت، هماتیت، کلریت



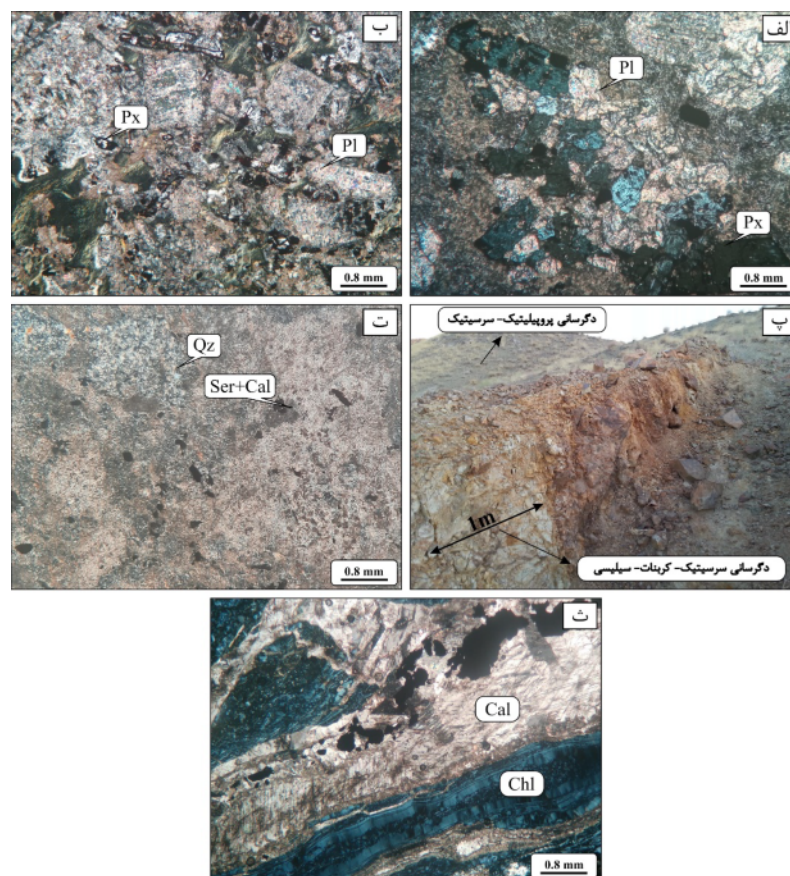
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی- کانی‌سازی منطقه پی جویی قوچی (سن واحدهای رسوبی منطقه براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ فردوس [۱] و واحدهای نیمه عمیق براساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰ شرق بجنستان [۱۵]).



شکل ۳ تصاویر صحرایی از واحدهای زمین‌شناسی منطقه پی جویی قوچی، (الف) واحدهای پیروکسن دیوریت پورفیری و سنگ آهک (دید به سمت جنوب شرق) (ب) رخمون واحدهای پیروکسن دیوریت پورفیری، کنگلومرا-ماسه‌سنگ و اسلیت- ماسه‌سنگ.

واحد پیروکسن دیوریت پورفیری درشت بلور بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد و سنگ میزبان اصلی کانی‌سازی است (شکل‌های ۲ و ۳). این واحد دارای بافت پورفیری و گلومرو پورفیری با زمینه ریزسنگی است. این واحد براساس زمینه به دو بخش (۱) زمینه دانه متوسط تا ریزدانه که بخش عمده منطقه را در برمی‌گیرد و (۲) زمینه دانه درشت تا دانه متوسط که در بخش شمال منطقه رخنمون دارد تقسیم می‌شود. درشت بلورهای تشکیل دهنده این واحد درشت بلورهای شکل-دار تا نیمه-شکل‌دار پلاژیوکلاز (الیگوکلاز تا آندزین) با فراوانی ۲۰ تا ۲۵ درصد (اندازه ۰/۱ تا ۳ میلی‌متر) و ۱۰ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن (اوژیت) با اندازه ۰/۱ تا ۲/۵ میلی‌متر هستند. در این واحد، پلاژیوکلازها تا ۸۰ درصد سرسیتی شده‌اند. بلورهای پیروکسن نیز به طور کامل

کلریتی شده‌اند (شکل‌های ۴ الف و ب). دایک‌های پیروکسن دیوریت پورفیری با روندهای شمال غربی - جنوب شرقی و شرقی - غربی بیشتر در جنوب غرب و غرب منطقه گسترش یافته‌اند. این دایک‌ها بافت پورفیری دارند و از درشت بلورهای پلاژیوکلاز، پیروکسن و زمینه ریزسنگی تشکیل شده‌اند. درشت بلورها شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (الیگوکلاز تا آندزین) با اندازه ۰/۲ تا ۱/۵ میلی‌متر و ۱۰ تا ۱۵ درصد پیروکسن (اوژیت و هیدنبرژیت) با اندازه ۰/۲ تا ۵ میلی‌متر هستند. در این واحد، پلاژیوکلازها از لبه و مرکز (۱۰ تا ۵۰ درصد) و گاهی به طور کامل سرسیتی شده‌اند. پیروکسن‌ها نیز به کلریت (به طور کامل) و گاهی به کلسیت (۱۰ تا ۳۰ درصد) دگرسان شده‌اند (شکل ۲).



شکل ۴ تصاویر میکروسکوپی و صحرایی از منطقه پی جویی قوچی: الف) واحد پیروکسن دیوریت پورفیری با زمینه دانه متوسط تا ریزدانه، ب) واحد پیروکسن دیوریت پورفیری با زمینه دانه متوسط تا دانه درشت، پ) رگه کانی‌سازی با دگرسانی لبه‌ای و ناحیه‌ای (دید به سمت جنوب شرق)، ت) دگرسانی سرسیتیک-کربنات-سیلیسی در نور قطبیده متقاطع (Xpl)، ث) دگرسانی کربنات، سیلیسی ± کلریت در نور (Pl) = پلاژیوکلاز، Px = پیروکسن، Cal = کلسیت، Qz = کوارتز، Chl = کلریت، Ser = سرسیت [۱۸].

دگرسانی

سه نوع دگرسانی اصلی پروپلیتیک- سرسیتیک، سرسیتیک- کربنات- سیلیسی و کربنات- سیلیسی± کلریت، در منطقه اکتشافی قوچی شناسایی شدند. دگرسانی پروپلیتیک- سرسیتیک بیشترین گسترش را در منطقه مورد بررسی دارد و واحدهای پیروکسن دیوریت پورفیری و پیروکسن آندزیت دستخوش آن شده‌اند. این دگرسانی در صحرا به رنگ سبز دیده می‌شود. در این دگرسانی، پلاژیوکلازها اغلب به سرسیت (۱۰ تا ۸۰ درصد و گاهی به طور کامل) تبدیل شده‌اند. پیروکسن‌ها نیز اغلب به کلریت (تا ۸۰ درصد و گاهی به طور کامل)، کلسیت (۵ تا ۷ درصد) و کانی اوپک (۱ تا ۳ درصد) دگرسان شده‌اند (شکل ۴ ت).

دگرسانی سرسیتیک- کربنات- سیلیسی دارای روند تقریباً خطی در لبه رگه کانی‌سازی بوده و واحد پیروکسن دیوریت پورفیری دستخوش آن شده داده است. در این دگرسانی، پلاژیوکلازها اغلب به سرسیت و کلسیت و کمتر به کانی‌های رسی (جدول ۱) دگرسان شده‌اند. مقدار سرسیت ۲۰ تا ۲۵ درصد، کلسیت ۲۰ درصد و کانی‌های رسی ۵ تا ۵ درصد در کل حجم سنگ است. کلسیت و کوارتز نیز به صورت رگچه همراه با کلریت و کانی‌های سولفیدی در این پهنه دگرسانی دیده می‌شوند. همچنین زمینه سنگ سیلیسی شده است (شکل‌های ۴ ت و ث).

دگرسانی کربنات- سیلیسی± کلریت بر واحد پیروکسن دیوریت پورفیری اثر گذاشته و همراه با کانی سازی است. در این دگرسانی، کلسیت، کوارتز و کلریت بیشتر در رگچه‌ها همراه با کانی‌های سولفیدی دیده شد. ضخامت این رگچه‌ها از ۱ میلی‌متر تا ۵ سانتی‌متر متغیر است. کوارتز در این دگرسانی در برخی نمونه‌ها در لبه یا مرکز رگچه و بصورت کالسردونی دیده می‌شود. کلسیت نیز بصورت ریز بلور و درشت بلور در رگچه‌ها حضور دارد. اندازه کلسیت در این رگچه‌ها ۰/۵ تا ۶ میلی‌متر است (شکل ۴ ج).

کانی‌سازی

کانی‌سازی در منطقه‌ی مورد بررسی کنترل ساختاری دارد و در قالب ۳ رگه اصلی در سنگ میزبان پیروکسن

دیوریت پورفیری شکل گرفته است (شکل ۵ الف). طول رگه‌ها ۶۰ تا ۲۰۰ متر و عرض آن‌ها ۱ تا ۲ متر است. راستای این رگه‌ها شمال غربی- جنوب شرقی و شرقی- غربی با شیب ۵۵ تا ۷۰ درجه به سمت شمال شرق و جنوب غرب است. کانی‌سازی در رگه‌ها شامل پیریت، گالن، اسفالریت، پروتیت، آرسنوپیریت، کالکوپیریت همراه با کانی‌های باطله کلسیت، کوارتز و کلریت است. ورود سیال‌های کانه‌دار در فضای خالی گسل‌ها و شکستگی‌ها باعث دگرسانی سنگ میزبان و کانی‌سازی با بافت‌های رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی و پراکنده شده است (شکل‌های ۵ ب و پ).

بر اساس نوع دگرسانی‌ها و روابط قطع شدگی در رگه و رگچه‌ها، توالی همبرزایی کانی‌های فلزی و غیرفلزی در ارتباط با محلول کانه‌دار در منطقه مورد بررسی رسم شد (شکل ۶).

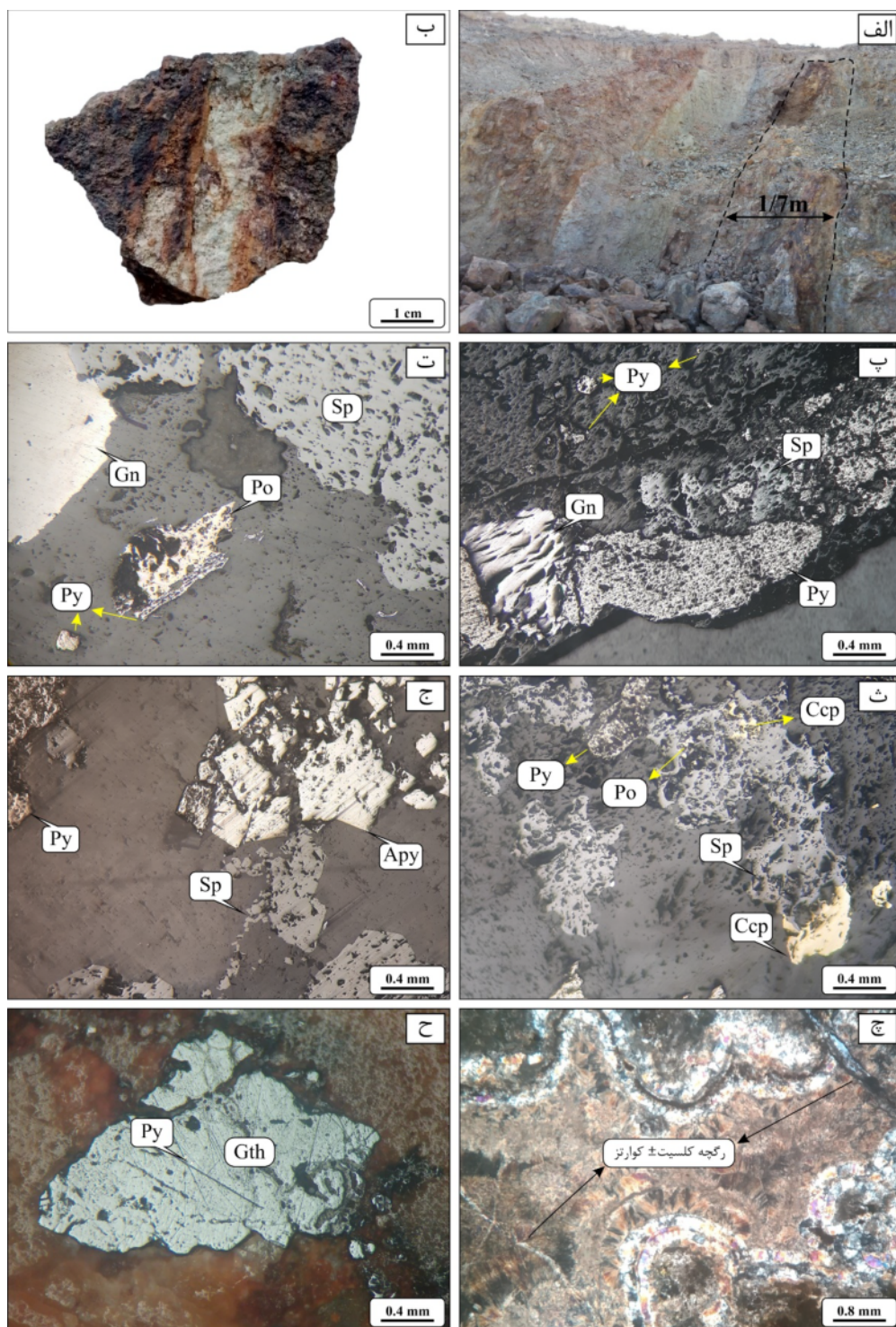
کانه‌نگاری درون‌زاد

پیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی اولیه است که بیشتر در رگه- رگچه (۲ تا ۲۰ درصد در برخی از رگچه‌ها) و کمتر (۱ درصد) بصورت افشان دیده می‌شود. این کانی به صورت شکل دار تا نیمه‌شکل دار و با اندازه ۰/۲ تا ۴ میلی‌متر دیده می‌شود. این کانی در اثر اکسایش در سطح اغلب به گوتیت تبدیل شده است.

گالن از نظر فراوانی دومین کانی سولفیدی اولیه (۵ تا ۷ درصد) با اندازه از چند ده میکرون تا ۸ میلی‌متر است (شکل ۵- ت). این کانی در رگچه‌ها اغلب بی‌شکل است و فرایند جانشینی در آن دیده نمی‌شود. گالن بیشتر همراه اسفالریت دیده می‌شود.

اسفالریت بصورت نیمه شکل دار و با اندازه ۰/۲ تا ۳ میلی‌متر دیده می‌شود. این کانی در رگه و رگچه‌ها بیشتر بصورت منفرد و کمتر با بافت ناآمیختگی با کانی کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل ۵- ث).

پروتیت بصورت بی‌شکل و با اندازه ۰/۲ تا ۰/۶ میلی‌متر (فراوانی کمتر از ۲ درصد) در رگچه‌های کلسیت- کوارتز- پیریت- گالن- اسفالریت- پروتیت± آرسنوپیریت± کالکوپیریت شناسایی شد (شکل ۵- ت).



شکل ۵ تصاویر صحرایی و میکروسکوپی مربوط به کانی‌سازی در منطقه پی جویی قوچی: الف) رگه کانه‌دار ۱ با راستای شمال غرب- جنوب شرق در سنگ میزبان پیروکسن دیوریت پورفیری (دید به سمت شمال شرق)، ب) نمونه دستی پیروکسن دیوریت پورفیری با بافت رگچه‌ای، پ) کانی‌سازی با بافت رگه- رگچه و پراکنده، ت) کانی‌سازی پیریت، گالن، اسفالریت، پیروتیت، کانی‌سازی پیریت، اسفالریت، پیروتیت، کالکوپیریت (بافت ناآمیختگی کانی‌های اسفالریت و کالکوپیریت)، ج) کانی‌های پیریت- اسفالریت و آرسنوپیریت، چ) رگچه کلسیت ± کوارتز بدون کانی‌سازی، ح) تبدیل پیریت به گوتیت از لبه Py = پیریت، Gn = گالن، Sp = اسفالریت، Po = پیروتیت، Apy = آرسنوپیریت، Ccp = کالکوپیریت، Gth = گوتیت [۱۸].

Minerals	Hypogene	Oxidized zone
Pyrite	██████████	
Arsenopyrite	██████████	
Pyrrhotite	██████████	
Chalcopyrite	██████████	
Sphalerite	██████████	
Galena	██████████	
Calcite	██████████	
Quartz	██████████	
Chlorite	██████████	
Sericite	██████████	
Hemimorphite		██████████
Malachite		██████████
Gypsum		██████████
Bassanite		██████████
Jarosite		██████████
Hematite		██████████
Goethite		██████████
Limonite		██████████

شکل ۶ توالی همبرزایی منطقه پی جویی فوجی.

کوارتز دومین کانی باطله همراه باکانی‌سازی است که اغلب همراه با کلسیت دیده می‌شود. این کانی بصورت شیری رنگ و خودشکل با اندازه چند ده میکرون تا ۰/۷ میلی‌متر تشکیل شده‌است (شکل ۵-ج).

کلریت اغلب همراه با کلسیت و کوارتز در لبه و مرکز رگچه‌های دارای کانی‌سازی دیده می‌شود. فراوانی این کانی در برخی از رگچه‌ها به ۳۰ درصد حجمی رگچه می‌رسد (شکل ۴-ج).

کانه‌نگاری برون زاد

کانی‌های برون‌زاد شامل مالاکیت، گوتیت، هماتیت، ژاروسیت، همی مورفیت و اکسیدهای منگنز هستند (جدول ۱). کانی‌های گوتیت و هماتیت از اکسایش کانی پیریت و به مقدار کمتر کالکوپیریت و پیروتیت ایجاد شده‌اند. در برخی از نمونه‌ها، پیریت تا ۸۰ درصد و گاهی

آرسنوپیریت بیشتر بصورت شکل‌دار (لوزی شکل و مثلثی) و با اندازه ۰/۰۲ تا ۰/۶ میلی‌متر شناسایی گردید. این کانی با فراوانی کمتر از ۱ درصد بیشتر در رگچه‌های کلسیت-پیریت-گالن-اسفالریت-پیروتیت $\pm$ آرسنوپیریت دیده می‌شود (شکل ۵-ج).

کالکوپیریت بصورت بی‌شکل با اندازه ۰/۰۲ تا ۰/۴ میلی‌متر بیشتر بصورت منفرد و در برخی از رگچه‌ها همراه با اسفالریت بصورت بافت ناآمیختگی دیده می‌شود. فراوانی این کانی کمتر از یک درصد است (شکل ۵-ث).

کلسیت مهمترین کانی باطله همراه با کانی‌سازی است. این کانی شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار و در قالب رگه-رگچه با اندازه یک میلی‌متر تا پنج سانتی‌متر دیده می‌شود (شکل ۵-چ).

به طور کامل به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۵- ح). همچنین مقدار گوتیت نسبت به هماتیت و ژاروسیت در درز و شکاف‌ها و سطح سنگ بیشتر است. کانی اسفالریت به همی‌مورفیت (براساس داده‌های XRD، با فراوانی کمتر از یک درصد) تبدیل شده است (جدول ۱).

ساخت و بافت

کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی در قالب ساخت و بافت‌های رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی ثانویه، ناآمیختگی و به مقدار کمتر به صورت پراکنده دیده می‌شود. در ادامه ساخت و بافت‌ها توصیف می‌شوند. رگچه‌ای: ساخت و بافت رگچه‌ای مهم‌ترین و فراوان‌ترین حالت کانی‌سازی در منطقه مورد بررسی است. ضخامت رگچه‌ها از ۰/۱ میلی‌متر تا کمتر از ۵ سانتیمتر متغیر است. این رگچه‌ها با گسترش خطی در پهنه‌های گسلی و با تراکم تا ۱۰ رگچه در متر نیز دیده می‌شوند. براساس ترکیب کانی‌شناسی اولیه و ثانویه، تعداد ۳ نوع رگچه در منطقه مورد بررسی قابل مشاهده‌اند که عبارتند از (۱) کلسیت، کوارتز، پیریت، گالن، اسفالریت، پیروتیت ± آرسنوپیریت ± کالکوپیریت، (۲) کلسیت، کوارتز، پیریت ± کالکوپیریت، و (۳) کلسیت ± کوارتز در این، بین رگچه کلسیت، کوارتز، پیریت، گالن، اسفالریت، پیروتیت ± آرسنوپیریت ± کالکوپیریت فراوان‌ترین رگچه است. براساس روابط قطع شدگی رگچه‌ها، رگچه کلسیت، کوارتز، پیریت، گالن، اسفالریت، پیروتیت ± آرسنوپیریت ± کالکوپیریت قدیمی‌ترین بوده که با رگچه کلسیت، کوارتز، پیریت ± کالکوپیریت قطع شده است. همچنین رگچه کلسیت ± کوارتز جوانترین محسوب می‌شود (شکل‌های ۵- ب و پ).

پرکننده فضای خالی: بافت پرکننده فضای خالی از بافت‌های موجود در منطقه مورد بررسی است. این بافت در کنسارهایی که کنترل ساختاری دارند بسیار معمول است و بیشتر با تقارن کانی‌ها در دو سمت رگچه مشخص می‌شود. در منطقه مورد بررسی، این بافت به صورت رگچه متقارن شامل کانی‌سازی پیریت، کلسیت، گالن، اسفالریت، پیروتیت ± آرسنوپیریت ± کالکوپیریت در لبه و کوارتز یا کلسیت در مرکز شکل گرفته‌است (شکل ۵- ج).

جانشینی ثانویه: این بافت برآمده از تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه است. مهم‌ترین کانی این بافت گوتیت بوده که بیشتر به صورت جانشینی از تبدیل پیریت و به مقدار کمتر از کالکوپیریت شکل گرفته است. پیریت در رگچه‌ها تا ۹۰ درصد و گاهی به طور کامل از لبه به مرکز به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۵- ح).

ناآمیختگی: در این بافت، بعضی از ترکیب‌های دوتایی با شعاع و بار یونی ویژه، در زمان تبلور به دلیل بالا بودن جنبش مولکولی و متغیر بودن اندازه شبکه قادر به شرکت در ساختار یک کانی هستند. البته، پس از تبلور به دلیل تثبیت اندازه شبکه طی سرد شدن و ایجاد ترکیبی که شعاع و بار یونی آن با شبکه متبلور اختلاف دارد، از شبکه اصلی خارج می‌شوند، این پدیده را ناآمیختگی می‌گویند. براساس بررسی‌های ساخت و بافت در منطقه دو کانی نماینده این بافت اسفالریت و کالکوپیریت هستند که کانی اصلی اسفالریت بوده و کانی که از شبکه خارج شده کالکوپیریت است (شکل ۵- ث).

پراکنده: کانی نماینده این بافت پیریت است، که با مقادیر ۱-۲ درصد بصورت پراکنده در لبه رگه‌های کان-دار با سنگ میزبان پیروکسن دیوریت پورفیری دیده می‌شود. این کانی در نمونه دستی با چشم غیر مسلح قابل مشاهده است، و در زیر میکروسکوپ بصورت شکل-دار و نیمه شکل‌دار دیده می‌شود (شکل ۵- پ).

زمین شیمی

بر اساس نتایج زمین شیمیایی [۱۴]، مقادیر اندازه‌گیری شده در نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده در سطح برای سرب از ۱۸ تا ۴۵۴۰۰ گرم در تن، روی ۸۲ تا ۱۹۴۰۰ گرم در تن، طلا از ۲ تا ۲۶۳۹ میلی گرم در تن، مس از ۸ تا ۷۲۵/۵ گرم در تن، نقره از ۱ تا ۱۲ گرم در تن، کادمیوم ۱ تا ۵۰ گرم در تن و آرسنیک ۲ تا ۱۱۰۶۵ گرم در تن است (جدول ۲). ماده معدنی اصلی سرب، روی، طلا، کادمیوم و آرسنیک است، نقره را به عنوان محصول فرعی می‌توان در نظر گرفت.

بیشترین مقدار سرب، روی، طلا، مس، نقره، کادمیوم و آرسنیک در مرکز منطقه و منطبق بر رگه شماره ۱ (ترانشه G2T5) در واحد پیروکسن دیوریت پورفیری (با دگرسانی لبه‌ای سرسیتیک-کربنات-سیلیسی) است

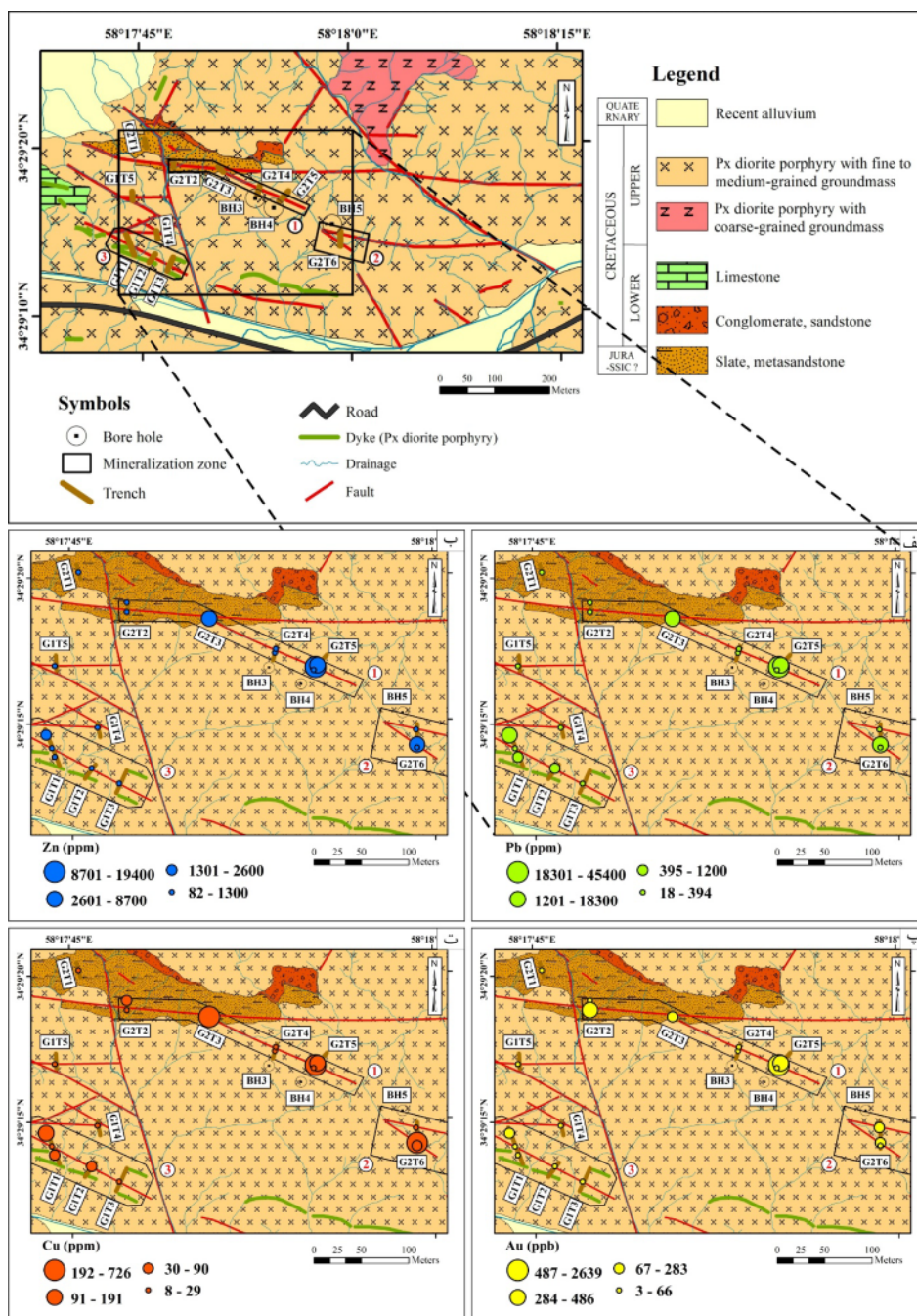
(شکل ۷). بیشترین مقدار سرب مربوط به کانی گالن و بیشترین مقدار روی مربوط به کانی‌های اولیه (اسفالریت) و ثانویه (همی‌مورفیت) روی در رگه‌هاست. همچنین بیشترین مقدار مس مربوط به حضور کانی‌های اولیه کالکوپیریت و ثانویه مالاکیت است. بیشترین مقدار آرسنیک مربوط به کانی آرسنوپیریت است. طلا به صورت آزاد دیده نشده است و به احتمال بسیار در قالب کانی‌های سولفیدی حضور دارد.

با استفاده از ضریب پیرسون [۱۹]، ارتباط و همبستگی میان عناصر مختلف بررسی شد، که مقادیر همبستگی عناصر در جدول ۳ آورده شده‌است. بر این اساس، بیشترین میزان همبستگی را سرب با روی (۰/۹۲۷)، کادمیم با روی (۰/۹۰۱)، نقره با سرب (۰/۸۶۲) و طلا با مس (۰/۸۳۹) دارد. همچنین مس همبستگی پسین با روی (۰/۹۶۲) نشان می‌دهد (جدول ۳).

کانی گالن افزون بر سازنده‌های اصلی خود (Pb و S)، می‌تواند عناصر دیگری چون نقره، بیسموت، آنتیموان، آرسنیک، روی، کادمیوم، سلنیوم و مس را به صورت جزئی در ساختار خود جای دهد [۲۰]. نقره با سرب همبستگی مثبت بالا (۰/۸۶۲+) نشان می‌دهد (جدول ۳) که می‌تواند نشان دهنده حضور نقره در ساختار کانی گالن باشد. کادمیوم همبستگی مثبت بالا (۰/۹۰۱) با روی دارد (جدول ۳). از آن جا که این عنصر اغلب در اسفالریت جانشین می‌شود، می‌توان گفت که کادمیوم در ساختار آن حضور دارد. همچنین براساس نتایج ناهنجاری عناصر [۱۴]، طلا و آرسنیک در ترانسه پی جویی G2T5 به ترتیب دارای مقادیر ۲ تا ۲۶۳۹ میلی‌گرم در تن و ۲/۴۰ تا ۱۱۰۶۵/۳۰ گرم در تن هستند، و افزایش مقادیر ناهنجاری آنها با هم ارتباط دارد.

جدول ۲ نتایج تجزیه نمونه‌های خرده‌سنگی برداشت شده از سطح در منطقه قوچی.

ترانسه	X	Y	Au (ppb)	Ag (ppm)	Cd (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)
G1T1-S1	۲۹°۳۴'۱۴٫۶۲"	۵۸°۱۷'۴۳٫۸۵"	۲۳۵	۴٫۲	۱۰٫۴	۱۹۰٫۶	۶۹۰۰	۲۶۰۰
G1T1-S2	۲۹°۳۴'۱۴٫۱۶"	۱۷°۵۸'۴۴٫۰۸"	۲۲	۱	۰٫۰۵	۲۵٫۲	۲۷۲	۱۲۰
G1T1-S3	۲۹°۳۴'۱۳٫۸۷"	۱۷°۵۸'۴۴٫۱۹"	۴۴	۲	۱٫۸	۸۹٫۶	۱۲۰۰	۱۳۰۰
G1T2	۲۹°۳۴'۱۳٫۴۶"	۱۷°۵۸'۴۵٫۷۲"	۲۱	۱٫۶	۱٫۶	۶۵٫۸	۶۷۵٫۳	۷۲۹٫۹
G1T3	۲۹°۳۴'۱۲٫۹۳"	۱۷°۵۸'۴۶٫۸۴"	۶۶	۱٫۸	۰٫۰۵	۲۳٫۲	۵۶	۲۸۴٫۱
G1T4	۲۹°۳۴'۱۴٫۸۶"	۱۷°۵۸'۴۵٫۹۷"	۲۴	۳٫۶	۰٫۰۵	۲۹	۸۹٫۴	۲۳۹٫۴
G1T5	۲۹°۳۴'۱۶٫۹۹"	۱۷°۵۸'۴۴٫۲۴"	۳۶	۱٫۶	۱٫۴	۲۱٫۴	۱۷۰٫۲	۳۶۴٫۸
G2T1	۲۹°۳۴'۲۰٫۱۹"	۱۷°۵۸'۴۵٫۲۷"	۲۵	۰٫۰۵	۰٫۰۵	۱۲٫۴	۲۶٫۲	۹۵٫۸
G2T2-S1	۲۹°۳۴'۱۹٫۱۳"	۱۷°۵۸'۴۷٫۲۵"	۲۵	۰٫۰۵	۱٫۴	۵۱٫۴	۳۷۸٫۲	۵۷۳٫۲
G2T2-S2	۲۹°۳۴'۱۸٫۸۰"	۱۷°۵۸'۴۷٫۲۵"	۴۵۷	۱	۰٫۰۵	۲۸٫۸	۱۸	۸۲
G2T3	۲۹°۳۴'۱۸٫۵۴"	۱۷°۵۸'۵۰٫۶۶"	۲۸۳	۶٫۴	۳۵٫۴	۳۸۱٫۵	۸۰۰۰	۵۷۰۰
G2T4-S1	۲۹°۳۴'۱۷٫۳۴"	۱۷°۵۸'۵۳٫۳۴"	۶	۱٫۶	۰٫۰۵	۸	۵۴٫۲	۸۶٫۲
G2T4-S2	۲۹°۳۴'۱۷٫۴۷"	۱۷°۵۸'۵۳٫۳۸"	۷	۲٫۸	۰٫۰۵	۱۳٫۶	۸۵٫۶	۱۱۰٫۴
G2T5-S1	۲۹°۳۴'۱۶٫۸۴"	۱۷°۵۸'۵۵٫۰۲"	۲۶۳۹	۱۲٫۶	۵۰٫۳۸	۷۲۵٫۵	۴۵۴۰۰	۱۹۴۰۰
G2T5-S2	۲۹°۳۴'۱۶٫۹۰"	۱۷°۵۸'۵۵٫۱۰"	۴۸۶	۶٫۴	۱۹٫۲	۱۷۷٫۸	۶۲۰۰	۷۴۰۰
G2T5-S3	۲۹°۳۴'۱۶٫۷۴"	۱۷°۵۸'۵۴٫۹۴"	۲٫۵	۱٫۴	۲٫۶	۲۱٫۸	۳۹۴	۹۱۲٫۱
G2T6-S1	۲۹°۳۴'۱۴٫۶۵"	۱۷°۵۸'۵۹٫۱۴"	۱۳۷	۱٫۸	۰٫۰۵	۲۱	۷۱٫۲	۲۲۱٫۷
G2T6-S2	۲۹°۳۴'۱۴٫۲۰"	۱۷°۵۸'۵۹٫۱۷"	۸	۱٫۴	۰٫۰۵	۱۹٫۸	۴۷٫۸	۳۰۸٫۲
G2T6-S3	۲۹°۳۴'۱۴٫۱۳"	۱۷°۵۸'۵۹٫۱۷"	۲۷۳	۳٫۲	۸٫۲	۴۱۰٫۹	۱۸۳۰۰	۸۷۰۰
G2T6-S4	۲۹°۳۴'۱۴٫۰۳"	۱۷°۵۸'۵۹٫۱۷"	۳۷	۳	۰٫۰۵	۴۳٫۶	۱۲۷٫۲	۸۴۳٫۴



شکل ۷ نقشه‌های زمین‌شیمی تغییرات عناصر سرب، روی، طلا، مس در منطقه پی جویی قوچی

جدول ۳ ضریب همبستگی مربوط به هر جفت عنصر در کانی‌سازی منطقه قوچی (+++ همبستگی مثبت بالا، ++ همبستگی مثبت متوسط، + همبستگی مثبت ضعیف، - همبستگی منفی ضعیف، -- همبستگی منفی متوسط، --- همبستگی منفی منفی بالا).

	Au	Ag	Cd	Cu	Pb	Zn
Au	۱	+++	+++	+++	+++	+++
Ag	۰.۸۶۱**	۱	+++	+++	+++	+++
Cd	۰.۸۳۵**	۰.۹۲۸**	۱	+++	+++	+++
Cu	۰.۸۳۹**	۰.۸۷۴**	۰.۹۱۶**	۱	+++	+++
Pb	۰.۹۳۴**	۰.۸۶۲**	۰.۸۵۱**	۰.۹۵۲**	۱	+++
Zn	۰.۹۰۶**	۰.۹۰۶**	۰.۹۰۱**	۰.۹۶۲**	۰.۹۷۲**	۱

مدل کانی‌سازی

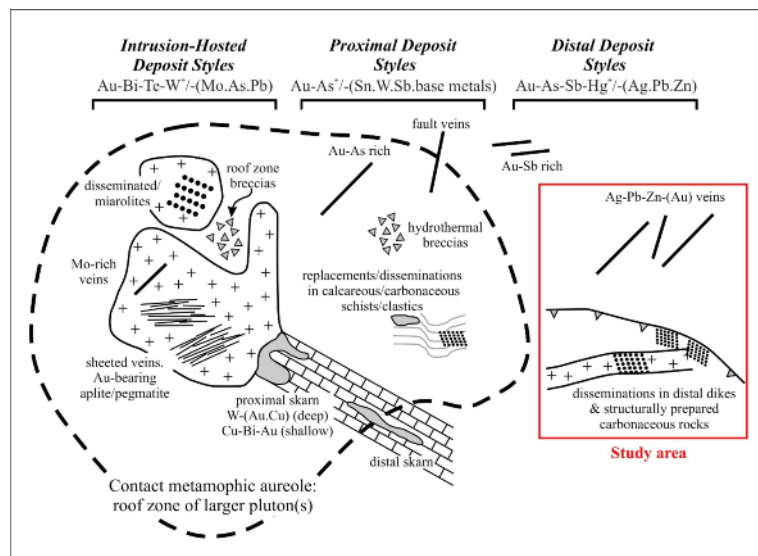
رخداد معدنی قوچی شباهت بسیاری به کانسارهای طلای وابسته به توده‌های نفوذی احيایی (RIRGS) دارد. جایگاه زمین ساختی این کانسارها اغلب مرزهای همگرا، حوضه جلوکمان و پشت کمان یا پهنه‌های برخورد قاره‌ای است [۲۱]. این سامانه‌ها همراه با نفوذی‌های نیمه قلیایی متآلومین حدواسط تا اسیدی احيایی (گرانیت تا گرانودیوریت) که نزدیک مرز بین سری‌های ایلمنیت و مگنتیت هستند دیده می‌شوند [۲۲]. در این سامانه‌ها، سنگ میزبان کانی‌سازی طلا را توده‌های نفوذی تشکیل می‌دهند و از نوع ماگمایی- گرمایی هستند. عناصر آن شامل بیسموت، قلع تنگستن، آرسنیک، مولیبدن، تلوریم، آنتیموان و کمی فلزهای پایه هستند [۲۳]. مقدار کانی سولفیدی رگه‌ها کم و اغلب کمتر از ۵ درصد است [۲۵، ۲۴]. کانی‌های آن احيایی و شامل آرسنوپیریت، پیروتیت، پیریت هستند و مگنتیت و هماتیت وجود ندارد. این سامانه‌ها هاله دگرسانی گسترده ندارند و دگرسانی همراه کانی‌سازی است. دگرسانی‌ها شامل پهنه‌های فلدسپاتیک، سرسیتی، کربناتی، سیلیسی، گریزن، سیلیکات، تورمالین و آرژلیک پیشرفته است [۲۲]. کانی‌سازی به صورت رگچه‌های صفحه‌ای، برش‌های گرمایی، رگه‌های کوارتز صفحه‌ای، گریزن یا افشان دیده می‌شوند [۲۶].

هارت و همکاران [۲۷] این کانسارها را بر اساس فاصله کانی‌سازی از توده نفوذی به سه بخش تقسیم کرده‌اند: ۱) کانی‌سازی درون توده‌ی نفوذی (Intrusion-hosted) که شامل Au-Mo±W±Bi±Sn±Te±As±Mo±W است. ۲) کانی‌سازی در کنار توده‌ی نفوذی (Proximal) که شامل اسکارن Cu-Bi±Au±W و W±Cu±Au است. ۳) کانی‌سازی دور از توده‌ی نفوذی (Distal) شامل Au-As-Sb±Hg(Ag-Pb-Zn).

براساس مدل کانی‌سازی پیشنهادی برخی پژوهشگران [۲۸، ۲۷]، شکل و حالت کانی‌سازی و ناهنجاری زمین شیمی در رگه‌ها در سه بخش همراه یا درون توده‌ی نفوذی، کنار توده‌ی نفوذی و بخش لبه‌ای که با فاصله از توده‌ی نفوذی قرار دارد از هم متفاوت هستند. بر این اساس، در بخش درونی یا همراه توده‌ی نفوذی کانی‌سازی به شکل توده‌ای، برشی، رگه‌های غنی

از مولیبدن و رگه‌های صفحه‌ای طلا دار دیده می‌شود. شکل و حالت کانی‌سازی در بخش‌های کنار توده‌ی نفوذی به دو بخش اسکارن کنارتی و اسکارن لبه‌ای تقسیم می‌شود. در بخش اسکارن مجاورتی که مربوط به مرز برخوردگاه توده‌ی نفوذی با واحد آهکی بوده کانی‌سازی در بخش‌های کم‌عمق از نوع Cu-Bi±Au و در بخش‌های عمیق از نوع W±Cu±Au است. همچنین در بخش اسکارن لبه‌ای، شکل و حالت کانی‌سازی به صورت جانیشینی، افشان، برش گرمایی و رگه‌های غنی از طلا و آرسنیک دیده می‌شود. در بخش لبه‌ای که با فاصله دورتر نسبت به توده‌های نفوذی قرار دارد، کانی‌سازی به صورت افشان در دایک‌ها، رگه‌های Ag-(Au) و رگه‌های غنی از طلا و استیبنیت است (شکل ۸).

با توجه به بررسی‌های انجام شده، توده‌های نفوذی بجستان ماهیت پرآلومین دارند و از گرانیت‌های نوع S (سری ایلمنیت یا احيایی) محسوب می‌شوند. بیشتر این توده‌ها وابسته به پهنه برخورد قاره هستند [۱۵]. بنابراین توده‌های نفوذی منطقه مورد بررسی نیز ماهیت احيایی دارند. با توجه به شواهد موجود در منطقه مورد بررسی شامل ۱) مجموعه فلزی با ماهیت احيایی چون پیروتیت، آرسنوپیریت و پیریت، ۲) کانی‌سازی به صورت رگه-رگچه، پرکننده فضای خالی، پراکنده و با کنترل ساختاری، ۳) کانی‌سازی طلا همراه با آرسنیک بالا، سرب، روی و نقره و ۴) دگرسانی لبه‌ای (سرسیتیک- کربنات- سیلیسی) و ناحیه‌ای (پروپلیتیک- سرسیتیک- کربناتی- سیلیسی و آرژلیک)، که همخوانی زیادی با این سامانه‌ها دارد، به احتمال بسیار کانی‌سازی منطقه از نوع طلای وابسته به توده‌های نفوذی احيایی است. با توجه به کنترل ساختاری کانی‌سازی، و نبود کانی‌سازی در همه جای توده دیوریتی میزبان، نبود رگه‌های کوارتز صفحه-ای و ناهنجاری بالای Pb و Zn، کانی‌سازی شبیه بخش لبه‌ای است. بنابراین از آنجا که رگه‌های کانه‌دار توده‌ی نفوذی پیروکسن دیوریت پورفیری را قطع می‌کند و آثار کانه‌زایی تنها در ارتباط با گسل‌ها دیده می‌شود، خاستگاه رگه‌های کانه‌دار نمی‌تواند توده‌ی نفوذی نامبرده باشد و به احتمال بسیار توده‌ی دیگری در عمق تامین کننده سیال‌های کانه‌دار است.



شکل ۸. طرحواره مدل زمین‌شناسی و پی جویی برای کانسارهای (RIRGS) که تغییرات شکل، حالت کانی‌سازی و ناهنجاری زمین شیمیایی در بخش‌های همراه توده‌ی نفوذی، کنار و لبه توده را نشان می‌دهد [۲۸،۲۷]. ویژگی‌های منطقه مورد بررسی با مستطیل قرمز رنگ بر روی تصویر مشخص شده است.

برداشت

بخش عملیات صحرایی ما را یاری نمودند صمیمانه سپاسگزاریم.

مراجع

- [1] Pourlatifi A., "Geological map of Ferdows", Scale 1:100,000, Geological Survey of Iran (2003).
- [2] Aghanabati S. A., "Geology of Iran", Geological Survey of Iran, Tehran (2004) 586p.
- [3] Aghanabati S. A., "Major sedimentary and structural units of Iran (map)". Journal of Geosciences 7 (1998) 29-30.
- [4] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Stern C. R., Farmer L., "Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristic, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran (in Persian)", Journal of Economic Geology 4 (2012) 1-27.
- [5] Malekzadeh Shafaroudi A., "Geology, Mineralization, Alteration, Geochemistry, Microthermometry, Radiogenic Isotopes, Petrogenesis of Intrusive Rocks and Determination of Source of Mineralization in Maherabad and Khopik Prospect Area, South Khorasan Province", Unpublished PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran (2009) 536p.
- [6] Arjmandzadeh R., Santos J. F., "Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusives from Lut Block, eastern Iran. Int", Journal of Earth Sciences 103 (2014) 123-140.

در منطقه قوچی، کانی‌سازی بصورت رگه‌ای در راستای گسل‌هایی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و شرقی- غربی در سنگ میزبان پیروکسن دیوریت پورفیری (کرتاسه پسین) رخ داده است. با توجه به شواهدی همچون ماهیت احیایی توده‌های نفوذی، نوع کانه‌ها با ماهیت احیایی، بافت، نوع دگرسانی‌ها و گسترش آنها، کانی‌سازی در منطقه قوچی همخوانی زیادی با کانسارهای طلای وابسته به توده‌های نفوذی احیایی (RIRGS) دارد. با توجه به کنترل ساختاری کانی‌سازی و ناهنجاری بالای سرب و روی، به احتمال بسیار بخش لبه‌ای سامانه است. با توجه به گسترش توده‌های نفوذی احیایی در مناطقی از قطعه لوت (چون بجستان و هیرد)، شناسایی هر چه بیشتر کانی‌سازی در منطقه قوچی از نظر چگونگی تشکیل، خاستگاه محلول کانه‌دار، سنگ میزبان و ساختارهای زمین‌شناسی، گام مثبتی برای پی جویی بهتر این نوع ذخایر در قطعه لوت است.

قدردانی

این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه فردوسی مشهد در ارتباط با طرح شماره ۳/۵۱۸۰۶ مورخ ۱۳۹۸/۱۱/۲۱ انجام شده است. از جناب آقای تقی‌زادگان ریاست دفتر فنی کان کاوان آداک که اطلاعات منطقه را در اختیارمان قرار دادند و جناب آقای مهندس حامد امینی که در

of alteration zones and lineation in east of Bajestan using SPOT, ASTER, ETM+ and Geophysics data". Iranian Journal of Geosciences 24 (2015) 253-262 (In Persian with English abstract).

[17] Ashoori A. R., Karimpour M. H., Saadat S., "Geological map of Bajestan", Scale 1:100,000, Geological Survey of Iran (2008).

[18] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals". American Mineralogist 95 (2010) 185-187.

[19] Rollinson H., "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation", Longman Scientific & Technical, Essex, UK (1993) 352p.

[20] Vanhook H. J., "The ternary system $Ag_2S-Bi_2S_3-PbS$ ", Economic Geology 55 (1960) 759-788.

[21] Thompson J. F. H., Newberry R. J., "Gold deposits related to reduced granitic intrusions, in: Hagemann, S.G., Brown, P.E. (eds), Gold in 2000", Rev. Econ. Geol 13 (2000) 377-400.

[22] Lang J. R., Baker T., "Intrusion-related gold systems: the present level of understanding", Mineralum Deposita 36 (2001) 477-489.

[23] Thompson J. F. H., Sillitoe R. H., Baker T., Lang J. R., "Mortensen J. K., Intrusion-related gold deposits associated with tungsten-tin provinces". Miner Deposita 34 (1999) 323-334.

[24] Hart C., McCoy D., Goldfarb R. J., Smith M. T., Roberts P., Hulstein R., Bakke A. A., Bundtzen T. K., "Geology, exploration and discovery in the Tintina gold province, Alaska and Yukon. Integrated Methods for Mineral Discoveries", Global Exploration in 2002. Soc. Econ. Geo 9 (2002) 241-274.

[25] Groves D., Goldfarb R., Santosh M., "The conjunction of factors that lead to formation of giant gold provinces and deposits in non-arc settings", Geosci. Front, 7 (2016) 303-314.

[26] Newberry R. J., McCoy D. T., Brew D. A., "Plutonic-hosted gold ores in Alaska: igneous versus metamorphic origins", Resour Geol Spec Issue 18 (1995) 57-100.

[27] Hart C. J. R., Baker T., Burke M., "New exploration concepts for country-rock-hosted, intrusion-related gold systems: Tintina gold belt in Yukon. In: Tucker TL, Smith MT (eds) The Tintina gold belt: Concepts, exploration and discoveries", British Columbia and Yukon Chamber of Mines Special 2 (2000) 145-172.

[28] Lang J.R., Baker T., Hart C.J.R., Mortensen J.K., "An exploration model for intrusion-related gold systems". Society of Economic Geology Newsletter, 40 (2000) 6-15.

[7] Miri Beydokhti R., Karimpour M. H., Mazaheri S. A., Santos J. F., Klötzli U., "U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd geochemistry, petrogenesis and tectonic setting of Mahoor granitoid rocks (Lut Block, Eastern Iran)", Asian Earth Sciences 111 (2015) 192-205.

[8] Mehrabi B., Tale Fazel E., Nokhbatolfoghahaie A., "The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences (in Persian)", Iranian journal of mineralogy and crystallography 19 (2011) 121-130.

[9] Javidi Moghaddam M., Karimpour M. H., Ebrahimi Nasrabadi K., Haidarian Shahri M. R., Malekzadeh Shafaroudi A., "Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu $\pm$ Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran", Acta Geologica Sinica 92 (2018) 1139-1156.

[10] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M. H., "Geology, Mineralization and fluid inclusion studies in Howz-e-Raise lead-zinc-copper deposit, Eastern Iran (in Persian)", Journal of Advanced Applied Geology 91 (2013) 1-14.

[11] Malekzadeh Shafaroudi A., Karimpour M. H., "Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead-zinc (-copper) deposit, Eastern Iran", Journal of African Earth Sciences 107 (2015) 1-14.

[12] Karimpour, M.H., "Comparison of Qaleh Zari Cu-Au-Ag deposit with other iron oxides Cu-Au (IOCG-type) deposits and new classification", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 13 (2005) 165-184 (In Persian with English abstract).

[13] Karimpour M. H., Malekzadeh Shafaroudi A., Heydarian M. R., Askari A., "Mineralization, alteration and geochemistry of Hired gold-tin prospecting area, South Khorasan province". Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy, 15 (1) (2007) 67-90.

[14] Jafari M., "Final report of polymetal, Kalateh Gok area of Bajestan", Industry, Mining and Trade Organization of Khorasan Razavi Province (2014) 137p.

[15] Ahmadirouhani R., Karimpour M.H., Rahimmi B., Malekzadeh Shafaroudi A., Klotzli U., Santos, J.F., 2017. "Petrology, geochronology, geochemistry and petrogenesis of Bajestan granitoids, North of "Ferdows, Khorasan Razvi Province". Journal of Economic Geology 8 (2) 525-552 (In Persian with English abstract).

[16] Ahmadirouhani R., Karimpour M.H., Rahimmi B., Malekzadeh Shafaroudi, A., "Enhance