

بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانی‌سازی منطقه اکتشافی کودکان ۲، جنوب بیرجند، شرق بلوک لوت

سمیه سمیعی و صدیقه زیرجانی‌زاده*

گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد، گناباد، ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۲۹، پذیرش: ۱۳۹۷/۰۴/۱۲

چکیده

منطقه کودکان ۲ در ۱۸۰ کیلومتری جنوب بیرجند استان خراسان جنوبی واقع شده است. زمین‌شناسی منطقه شامل واحدهای آذرین ترشیری از جمله سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت و بازالت)، توده‌های نفوذی با ترکیب گرانودیوریت، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با ترکیب دیوریت پورفیری و نهشته‌های آذرآواری است. سنگ میزبان کانی‌سازی واحد آذرآواری است. در برخی نقاط کانی‌سازی در همبندی واحدهای آگلومرای و آندزیتی رخنمون دارد. کانی‌سازی در این منطقه دارای روند NE-SW و شیب NE ۷۵-۶۰ بوده و اغلب توسط عوامل ساختاری کنترل می‌شود. سه مجموعه رگه در این منطقه شناسایی شده است. مجموعه رگه سیلیسی حاوی کانی‌سازی مس \pm سرب \pm روی اهمیت بیشتری دارند. کانی‌شناسی این مجموعه رگه شامل کوارتز، اسپیکولاریت، کالکوپیریت و گالن است. عیار مس بین ۷۵ تا ۹۹۲۸ گرم در تن، عیار سرب از ۷ تا بیش از ۳۰۰۰۰ گرم در تن و عیار روی بین ۲۵ و ۱۰۹۲۸۵ گرم در تن متغیر است. بر اساس شواهد زمین‌شناسی و کانی‌سازی به‌دست آمده از محدوده اکتشافی، کانی‌سازی منطقه کودکان ۲ در ادامه کانی‌سازی رگه‌ای قلعه‌زری بوده و از نوع کانسارهای طلا \pm مس اکسید آهنی IOCG است.

واژه‌های کلیدی: کانی‌سازی، کنترل‌کننده ساختاری، نوع طلا \pm مس اکسید آهنی (IOCG)، منطقه کودکان ۲

مقدمه

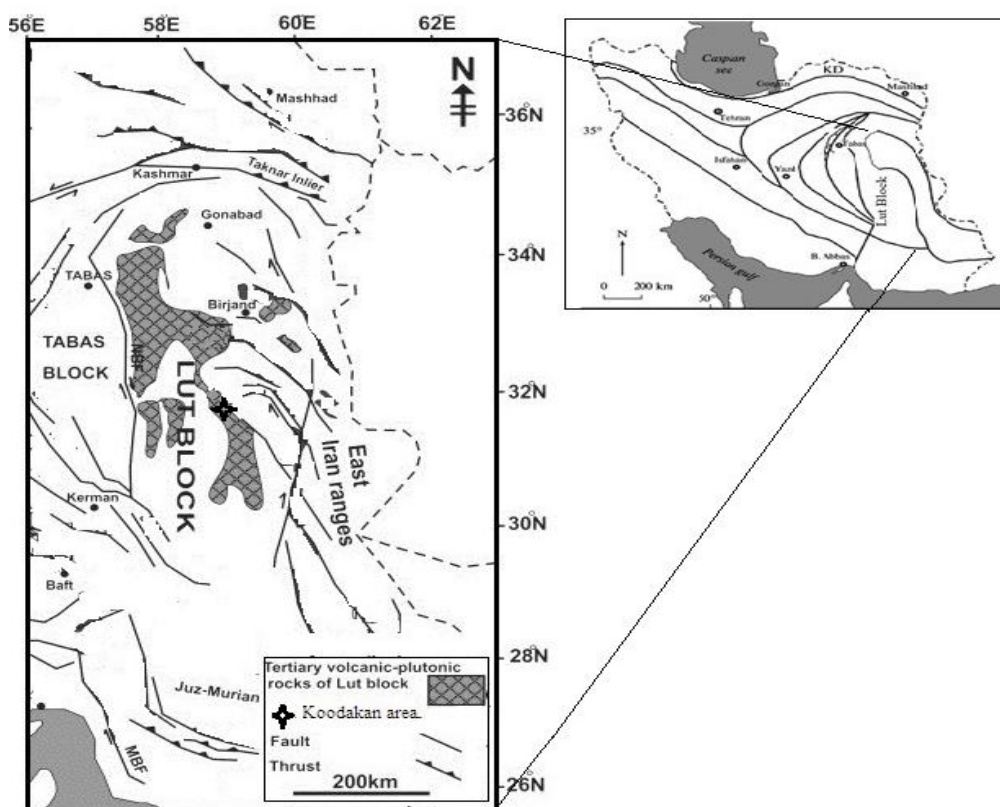
لوت با درازایی حدود ۹۰۰ کیلومتر، خاوری‌ترین بخش خردقاره ایران مرکزی است. مرز خاوری آن با گسل نهبندان و حوضه فلیشی خاور ایران و مرز باختری آن با گسل نایبند و بلوک طبس مشخص می‌شود. مرز شمالی این بلوک گسل درونه و مرز جنوبی آن با فرونشست جازموریان بسته می‌شود (Stocklin and Nabavi, 1973). از ویژگی‌های منحصربه‌فرد بلوک لوت، ماگماتیسیم گسترده آن به‌ویژه در بخش‌های شمالی است که از ژوراسیک آغاز شده و طی ترشیری به اوج خود رسیده است؛ به طوری که سنگ‌های آتشفشانی - نفوذی

محدوده معدنی کودکان ۲ واقع در ۱۸۰ کیلومتری جنوب بیرجند، در استان خراسان جنوبی و در شرق پهنه ساختاری بلوک لوت واقع شده است. این منطقه در گستره‌ای بین طول‌های $31^{\circ} 47' 30''$ تا $53^{\circ} 54' 30''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $31^{\circ} 47' 30''$ تا $53^{\circ} 54' 30''$ شمالی و ۴ کیلومتری شمال روستای قلعه‌زری واقع شده است. چنان‌که ذکر شد، این محدوده اکتشافی در بلوک لوت قرار دارد؛ لذا ویژگی‌های زمین‌شناسی آن از ویژگی‌های کلی بلوک لوت پیروی می‌کند (شکل ۱). بلوک

(2005).

در این معدن، کانی‌سازی به صورت رگه‌ای است و از سیستم گسلی منطقه پیروی می‌کند. دگرسانی پروپلیتیک بیشترین گسترش را دارد و مجموعه کانی‌های کلریت و اپیدوت نسبتاً فراوان هستند. دگرسانی سیلیسی در محدوده رگه‌های کانی‌سازی دیده می‌شود (Karimpour, 2005). در منطقه مورد بررسی که ادامه کانی‌سازی رخ داده در معدن قلعه‌زری است، آثار زیادی از رگه‌های کوارتز همراه با کانی‌سازی دیده می‌شود. بر اساس بررسی‌های صحرایی انجام‌شده در این منطقه، کانی‌سازی اغلب به صورت سامانه‌های رگه‌ای کوارتز حاوی سولفید همراه با مالاکیت، هماتیت و لیمونیت است که اغلب از ساختارهای گسلی پیروی می‌کنند. پژوهش حاضر با هدف تهیه نقشه زمین‌شناسی با تمرکز ویژه بر کانی‌سازی رگه‌ای و تعیین ارتباط آنها با واحدهای زمین‌شناسی انجام شده است.

ترشیری، به ویژه ائوسن با ضخامت حدود ۲۰۰۰ متر، نیمی از بلوک لوت را می‌پوشاند (Aghanabati, 2004; Bolourian, 2010). با توجه به حجم عظیم فعالیت‌های ماگمایی و شرایط زمین‌ساختی خاصی که در زمان‌های مختلف در بلوک لوت برقرار بوده است، ذخایر متنوعی از کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی در آن رخ داده است. تاکنون کانی‌سازی‌های متعددی از مس، طلا، سرب، روی، آنتیموان، جیوه و همچنین ذخایر غیرفلزی در بلوک لوت کشف شده است (Dimevar, 1995; Karimpour, 2005; Karimpour et al., 2005; Karimpour et al., 2007; Karimpour et al., 2012; Karimpour et al., 2011; Abdi and Karimpour, 2012). از این میان، تنها معدن قلعه‌زری در حال بهره‌برداری است و بقیه مناطق به صورت منطقه اکتشافی هستند. کانسار مس - طلا - نقره غنی از اسپیکیولاریت قلعه‌زری دارای سنگ میزبان اغلب آندزیتی و آندزیت بازالت‌های ترشیری و تا حدی شیل - ماسه‌سنگ ژوراسیک است (Karimpour, 2004).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی و زمین‌شناسی محدوده اکتشافی کودکان ۲ (Tarkian et al., 1983)

Fig. 1. Geographical and geological setting of the Koodakan 2 prospecting area (Tarkian et al., 1983)

زمین‌شناسی

منطقه اکتشافی کودکان ۲ بر روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کودکان واقع شده است (Bolourian, 2010). عمده واحدهای سنگی شناسایی شده در گستره محدوده کودکان ۲ از نوع آذرین بوده و از نظر سنی متعلق به پالئوسن تا ائوسن (Bolourian, 2010) هستند. این واحدها شامل انواع توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری است. قدیمی‌ترین واحد که گستردگی نسبتاً زیاد در جنوب منطقه دارد، واحدهای آگلومرایی و توف است که کانی‌سازی درون این واحدها سنگی، یا در همبری این واحد با سنگ‌های آتشفشانی رخ داده است. بر اساس بررسی‌های امرایی و نیرومند (Omaraei and Niroumand, 2014) سنگ‌های منطقه مورد بررسی از نوع کلسیمی قلیایی و مت‌آلومینوس بوده و الگوی ماگماتیسیم مرتبط با کمان حاشیه قاره‌ای را نشان می‌دهند. بر اساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی، واحدهای سنگی منطقه مورد بررسی را می‌توان از قدیم به جدید به ۴ بخش زیر تقسیم کرد (شکل ۲): (۱) واحدهای آذرآواری (آگلومرای و توف آندزیتی) اغلب در بخش‌های جنوبی، مرکزی و شمالی منطقه دیده می‌شوند (شکل ۲). این واحدها دارای حدود ۲۰ درصد فنوکریست شامل پلاژیوکلاز، فلدسپات پتاسیم، کوارتز و بیوتیت است و قطعات سنگی در آنها از جنس آندزیت است.

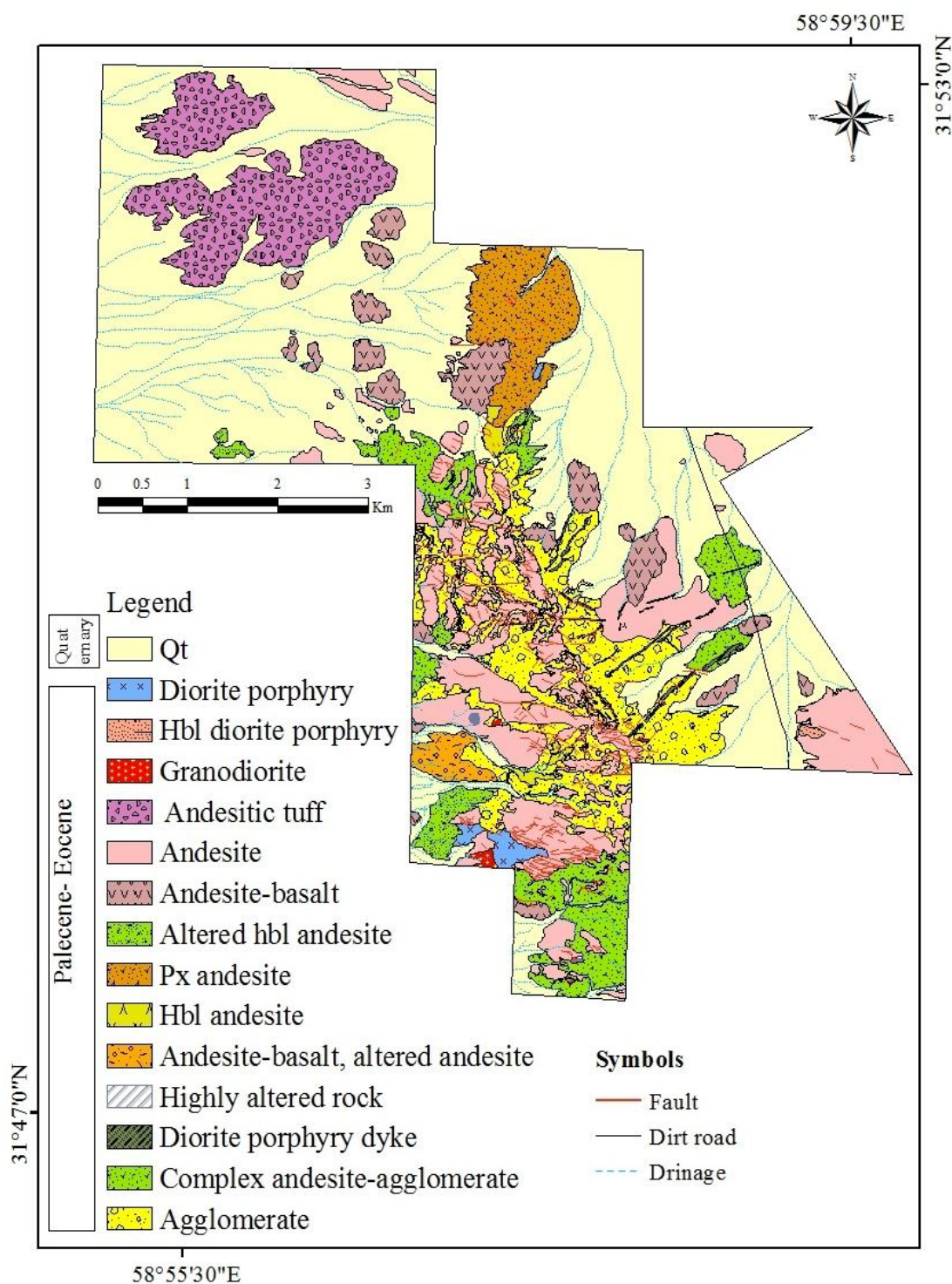
(۲) سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، آندزیت-بازالت) بیشترین رخنمون را در منطقه داراست و اغلب دگرسانی پروپلیتیک و کربناتی با شدت‌های مختلف از خود نشان می‌دهند. بر اساس کلویور و همکاران (Kluyver et al., 1978)، سن آندزیت‌ها $5 \pm 40/5$ میلیون سال تعیین شده است. بر اساس مشخصات صحرایی و میکروسکوپی (ترکیب سنگی، فراوانی و نوع فنوکریست، زمینه، نوع و میزان کانی‌های مافیک) به واحدهای آندزیت، هورنبلند آندزیت، آندزیت بازالت و پیروکسن آندزیت قابل تفکیک است (شکل ۳-A و B). فنوکریست‌ها در واحدهای آندزیتی شامل ۱۵ درصد پلاژیوکلاز (در اندازه ۰/۲ تا

تا ۱ میلی‌متر، نوع آندزین)، بیش از ۵ درصد فلدسپات پتاسیم (با اندازه متوسط ۰/۲ میلی‌متر)، ۷ تا ۱۰ آمفیبول (با اندازه متوسط ۰/۲ میلی‌متر) و بیش از ۵ درصد کانی اوپک است. زمینه سنگ متشکل از میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و بلورهای هورنبلند است. کانی‌های ثانویه نیز شامل کربنات، سریسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن ثانویه است که با مقادیر متفاوتی در نقاط مختلف دیده می‌شود. طی عملکرد دگرسانی پروپلیتیک در این واحدها، بیش از ۱۰ درصد حجمی بلورهای پلاژیوکلاز به کلریت و اپیدوت دگرسان شده‌اند. فنوکریست‌ها در واحد آندزیت-بازالت شامل ۲۵ درصد پلاژیوکلاز (با اندازه متوسط ۰/۲ میلی‌متر)، کمتر از ۳ درصد کوارتز (در اندازه ۰/۱ میلی‌متر)، حدود ۵ تا ۷ درصد پیروکسن (در اندازه ۰/۲ میلی‌متر)، ۲ تا ۳ درصد آمفیبول (با اندازه متوسط ۰/۲ میلی‌متر) و ۳ تا ۵ درصد کانی اوپک است. زمینه با میکروولیت‌های پلاژیوکلاز پر شده است. پلاژیوکلازها تا حدود ۲۰ درصد به سریسیت و اپیدوت دگرسان شده‌اند.

(۳) واحد نفوذی گرانودیوریتی (شکل ۳-C) که رخنمون کوچکی در بخش شرقی و مرکزی منطقه دارد. این واحد دارای بافت هیپیدیمورف گرانولار متشکل از ۵۵ تا ۶۰ درصد پلاژیوکلاز در اندازه ۱ تا ۱/۵ میلی‌متر، حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد فلدسپات پتاسیم در اندازه ۰/۵ میلی‌متر، بیش از ۱۵ تا ۲۰ درصد کوارتز در اندازه ۰/۲ تا ۰/۴ میلی‌متر است. فلدسپات‌ها تا حدود ۱۰ درصد به کانی رسی و سریسیت دگرسان شده‌اند.

(۴) توده‌های نیمه‌عمیق با ترکیب شیمیایی حدواسط، اغلب به صورت استوک‌های کوچک و بزرگ و دایک در سنگ‌های آتشفشانی شرق منطقه نفوذ کرده‌اند (شکل ۴). این توده‌ها از نظر ترکیب سنگ‌شناسی دارای طیفی از هورنبلند دیوریت پورفیری و دیوریت پورفیری هستند (شکل ۳-D). این واحدها دارای بافت پورفیری هستند. فنوکریست‌ها شامل بیش از ۲۰ درصد پلاژیوکلاز، حدود ۱ درصد کوارتز، ۳ تا ۵ درصد آمفیبول و ۲ تا ۳ درصد پیروکسن، بیش از ۵ درصد کانی اوپک

در زمینه‌ای میکروگرانولار متشکل از همین کانی‌هاست. بیش از ۱۰ درصد حجمی پلاژیوکلازها به اپیدوت و سریسیت دگرسان شده‌اند.



شکل ۲. نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ منطقه اکتشافی کودکان ۲

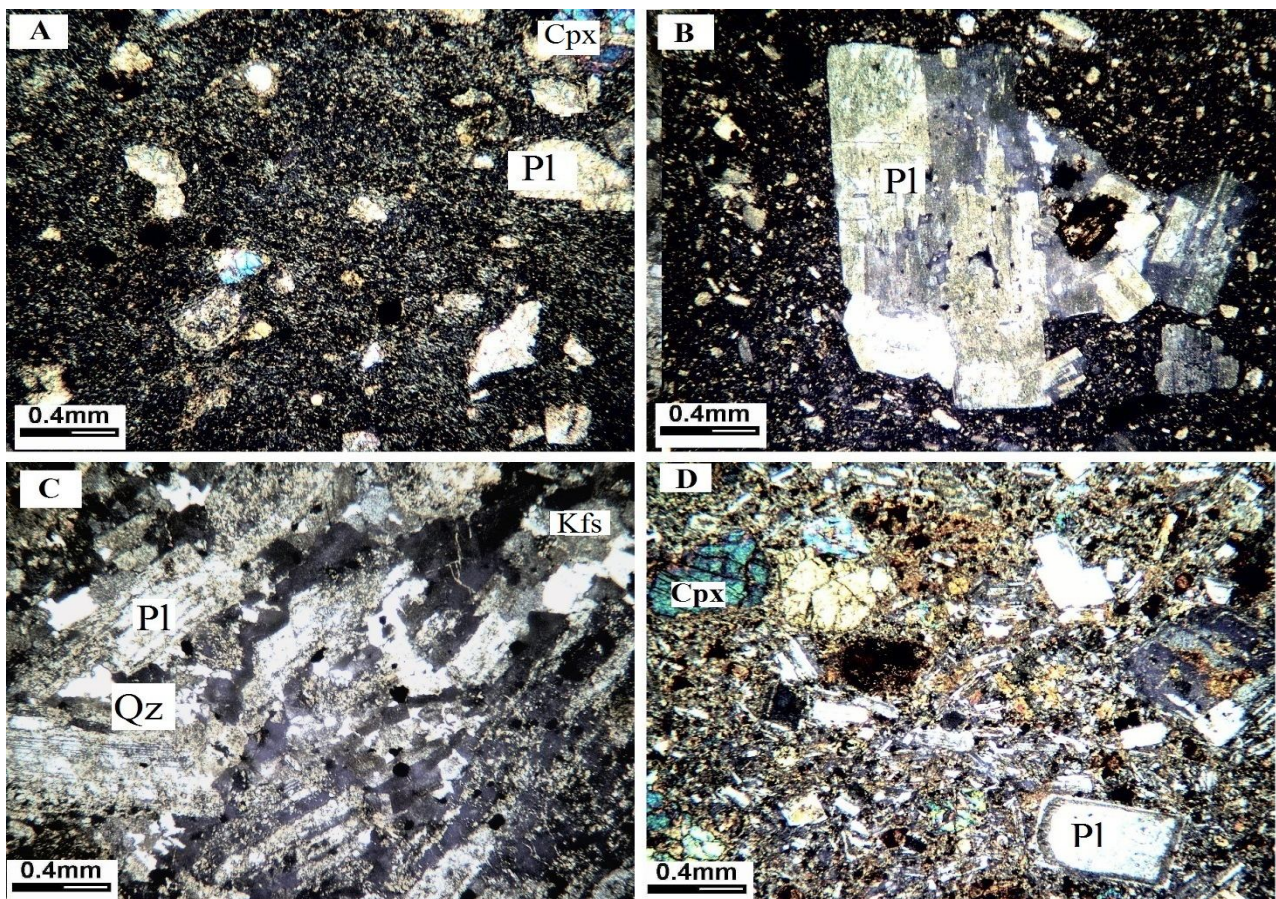
Fig. 2. Geological map of Koodakan 2 area in 1:5000 scale

روش مطالعه

برای بررسی، شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی به نمونه‌برداری همراه با مشخص کردن محل نمونه‌برداری‌ها با GPS اقدام شد و تعداد ۴۸ مقطع نازک از رخنمون‌های سطحی واحدهای مختلف زمین‌شناسی در گروه زمین‌شناسی دانشگاه فردوسی مشهد تهیه شد. برای انجام بررسی‌های کانی‌شناسی کانسنگ، بافت و ساخت و توالی همیافت کانی‌ها و کانه‌ها از محل رگه‌های کانه‌دار نمونه‌برداری شد و تعداد ۷ مقطع صیقلی تهیه شد.

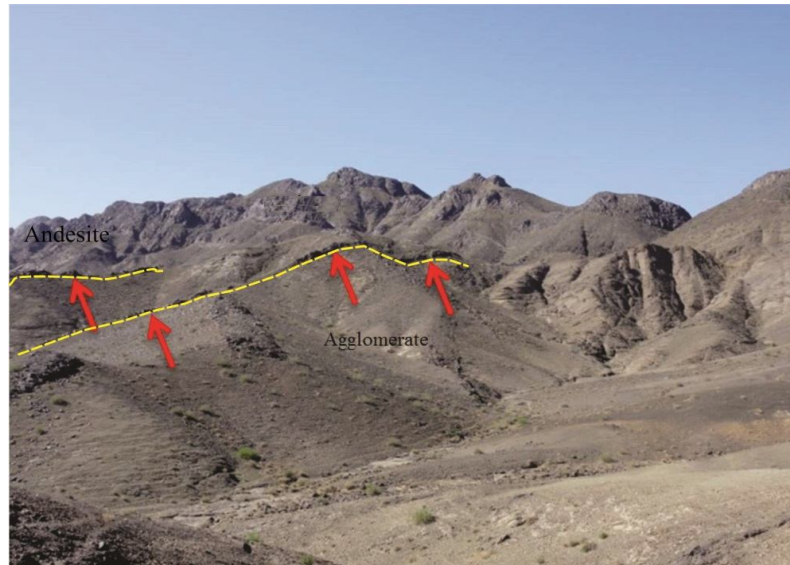
گسل‌ها از جمله شیب و امتداد آنها برداشت شدند و نمودار گل‌سرخ‌ی از آنها تهیه شد و علاوه بر این، نقشه ساختاری منطقه مورد بررسی همراه با واحدهای زمین‌شناسی در یک نقشه واحد با مقیاس ۵:۵۰۰۰ رسم شد.

نمونه‌برداری ژئوشیمی بر روی سنگ‌کل به روش خرده‌سنگی از محل رگه‌های کانی‌سازی و آنالیز ۱۰ نمونه به روش ICP-MS ۳۶ عنصری در محل شرکت زرازا انجام شد و در نهایت نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۵۰۰۰ از محدوده مورد نظر و نقشه کانی‌سازی و ژئوشیمیایی در همان محدوده با مقیاس ۱:۵۰۰۰ تهیه شد.



شکل ۳. تصویر میکروسکوپی از A: واحد آندزیت-بازالت، B: واحد آندزیتی، C: واحد گرانودیوریتی، D: واحد دیوریت پورفیری (تمام تصاویر در نور XPL) در منطقه کودکان ۲. Cpx: کلینوپیروکسن، Kfs: آلکالی فلدسپار، Pl: پلاژیوکلاز و Qz: کوارتز. علائم اختصاری بر اساس ویتنی و اوانز (Whitney and Evans, 2010)

Fig. 3. Microscope image of A: Andesite- basalt, B: Andesite, C: Granodiorite unit, and D: diorite porphyry unit of Koodakan 2 area (all images are in XPL). Cpx: clinopyroxen, Kfs: alkali feldspar, Pl: plagioclase, Qz: quartz. Abbreviations after Whitney and Evans (2010)



شکل ۴. رخنمون‌های دایک دیوریت پورفیری (خط‌چین) در منطقه کودکان ۲ درون واحدهای آگلومرای نفوذ کرده‌اند (دید به‌سمت غرب)

Fig. 4. Outcrops of diorite porphyry dikes intruded in agglomerate units in Koodakan 2 area (looking west)

کانی‌سازی و دگرسانی در محدوده کودکان ۲

کانی‌سازی در منطقه کودکان ۲ به‌صورت رگه‌ای بوده و دارای عامل کنترل‌کننده ساختاری است. عرض رگه‌ها از کمتر از ۵ سانتی‌متر تا ۳ متر تغییر می‌کند. کانی‌زایی رگه‌ای در سنگ میزبان آگلومرای و یا در همبندی بین آگلومرا و آندزیت رخ داده است و کانی‌سازی درون واحد آندزیتی مشاهده‌نشده؛ لذا برای پی‌جویی، تمرکز بیشتر بر روی واحد پیروکلاستیک صورت گرفت.

حداقل سه مجموعه رگه‌های حاوی کانی‌سازی در منطقه شناسایی شده است (شکل ۵):

۱) مجموعه اول حاوی کانی‌سازی مس + سرب ± روی است (شکل ۵) است. این نوع از رگه‌ها اغلب در سطح، هوازده و دگرسان شده‌اند؛ به‌طوری‌که غالب کالکوپیریت به مالاکیت و پیریت به اکسیدهای آهن از جمله لیمونیت تبدیل شده‌اند. بر اساس مشاهدات صحرایی، این مجموعه رگه‌ها بر روی نقشه کانی‌سازی تهیه‌شده از منطقه کودکان ۲، در سه زیرگروه قابل تفکیک هستند: گروه اول رگه‌های کوارتز-گالن + اکسید آهنی، گروه دوم رگه‌های کوارتز-مالاکیت-اکسید آهن و گروه سوم رگه‌های کوارتز-اسپیکولاریت-کالکوپیریت-

گالن - پیریت.

ضخامت این رگه‌ها از چند میلی‌متر تا بیش از یک متر متغیر است (شکل ۶). روند اکثر این رگه‌ها شمال‌غرب-جنوب‌شرق است. این مجموعه خود دارای چندین فاز کانی‌سازی است. به‌دلیل اهمیت این مجموعه، توالی همیافت بر اساس روابط صحرایی و بررسی مقاطع میکروسکوپی ترسیم شد (شکل ۷) و شامل مراحل زیر است:

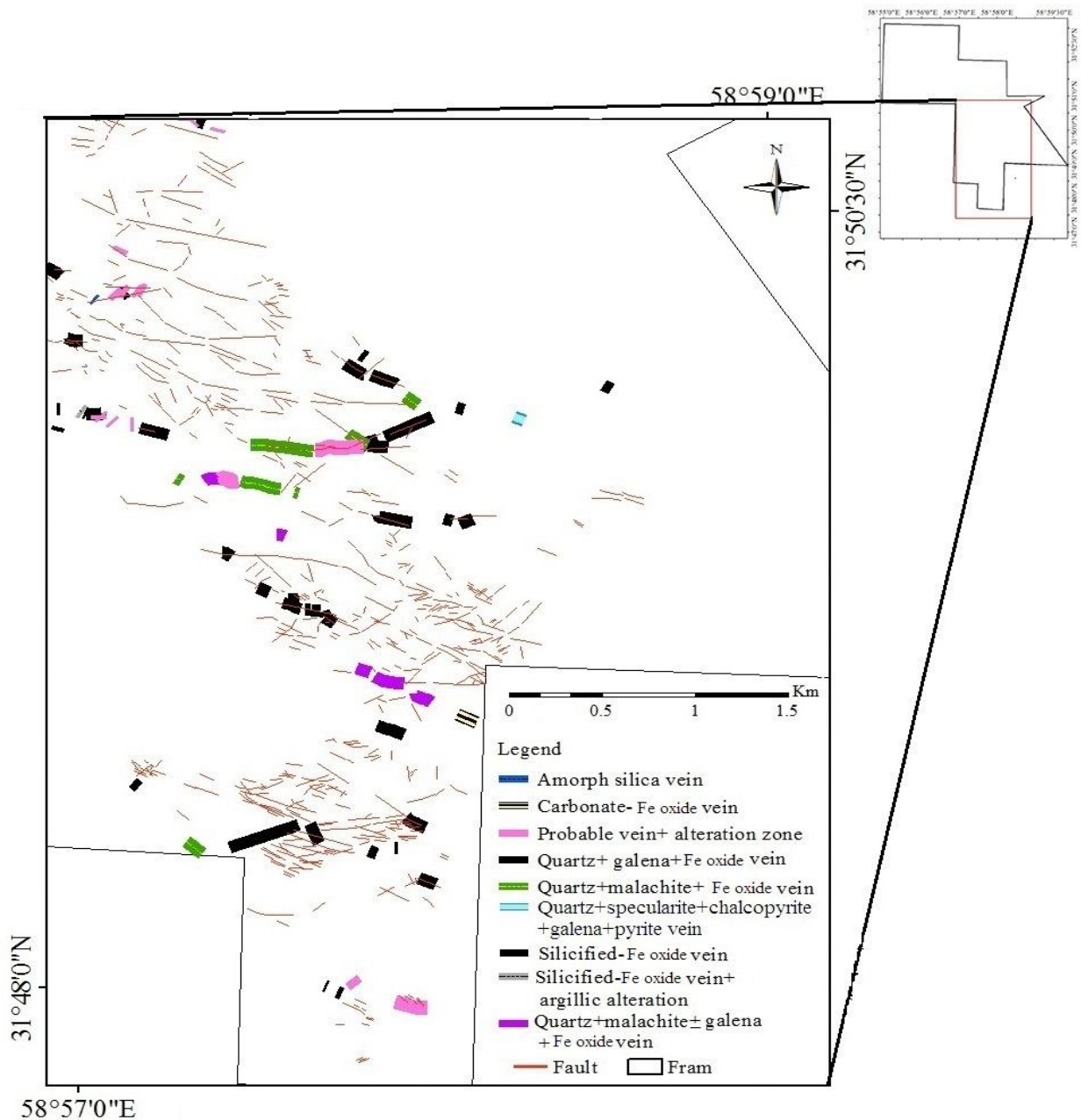
در مرحله اول کانی‌سازی، اسپیکولاریت (هماتیت) اولین کانی است که شکل گرفته و پس از آن کوارتز تشکیل شده است. بلورهای کوارتز شکل‌دار تا بی‌شکل هستند و اندازه آنها به ۵ سانتی‌متر می‌رسد.

مرحله دوم شامل کانی‌های کوارتز + کالکوپیریت ± گالن ± پیریت است. بلورهای گالن اغلب شکل‌دار و بلورهای کوارتز شفاف و بدون شکل است. بیشترین فراوانی کالکوپیریت در این مرحله دیده می‌شود. کالکوپیریت اغلب به‌طور کامل یا بخشی توسط کوولیت و کالکوسیت جایگزین شده است (شکل ۸- A). سایر کانه‌های سولفیدی اولیه موجود در مقاطع مورد بررسی گالن (شکل ۸- B) و مقدار جزئی پیریت هستند.

مرحله سوم مربوط به هوازده‌گی و دگرسانی کانی‌های اولیه به

رگه‌هاست که به صورت بلورهای خودشکل اغلب دارای اندازه متوسط بین ۱ تا ۱۰ سانتی‌متر است. اغلب کانی‌های سولفیدی در سطح اکسیدشده و توسط کانی‌های ثانویه حاصل از هوازدگی و اکسیداسیون مانند گوتیت و مالاکیت جانشین شده‌اند (به ترتیب شکل C-۸ و D).

اکسیدهای آهن ثانویه (لیمونیت و گوتیت)، آزوریت، مالاکیت، کالکوسیت و کوولیت است (شکل‌های A-۹ و D و C-۸ و B). بررسی‌های آزمایشگاهی و شواهد صحرایی بیانگر آن است که کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی اولیه و سولفیدی است و اندازه بلورهای آن بین ۰/۲ تا ۴ میلی‌متر و مقدار آن کمتر از ۰/۵ تا ۳ درصد متغیر است. کوارتز رایج‌ترین تشکیل‌دهنده در تمام



شکل ۵. نقشه کانی‌سازی و پراکنندگی سطحی رگه‌های کانه‌دار در منطقه کودکان ۲

Fig. 5. Mineralization map and surface distribution of mineralized veins in Koodakan 2 area



شکل ۶. رخنمون سطحی رگه کوارتز + اسپکیولاریت + کالکوپیریت ± گالن ± پیریت در محدوده اکتشافی کودکان ۲ (دید به سمت جنوب شرق)

Fig. 6. The surface outcrop of the quartz + specularite + chalcopyrite ± galena ± pyrite vein in Koodakan2 prospecting area (looking southeast)

Mineral	Hypogene	Supergene
Specularite	██████████	
Chalcopyrite	██████████	
Pyrite	-----	
Sphalerite		██████████
Galena		██████████
Covellite		██████████
Goethite		██████████
Malachite, azorite		██████████
Quartz	██████████	

شکل ۷. توالی همیافت برای مجموعه رگه‌های حاوی کانی‌سازی مس + سرب ± روی در رگه‌های نوع اول در منطقه کودکان ۲

Fig. 7. Paragenetic sequence for the Cu, Pb and Zn ore minerals in type-1 veins of Koodakan 2 area

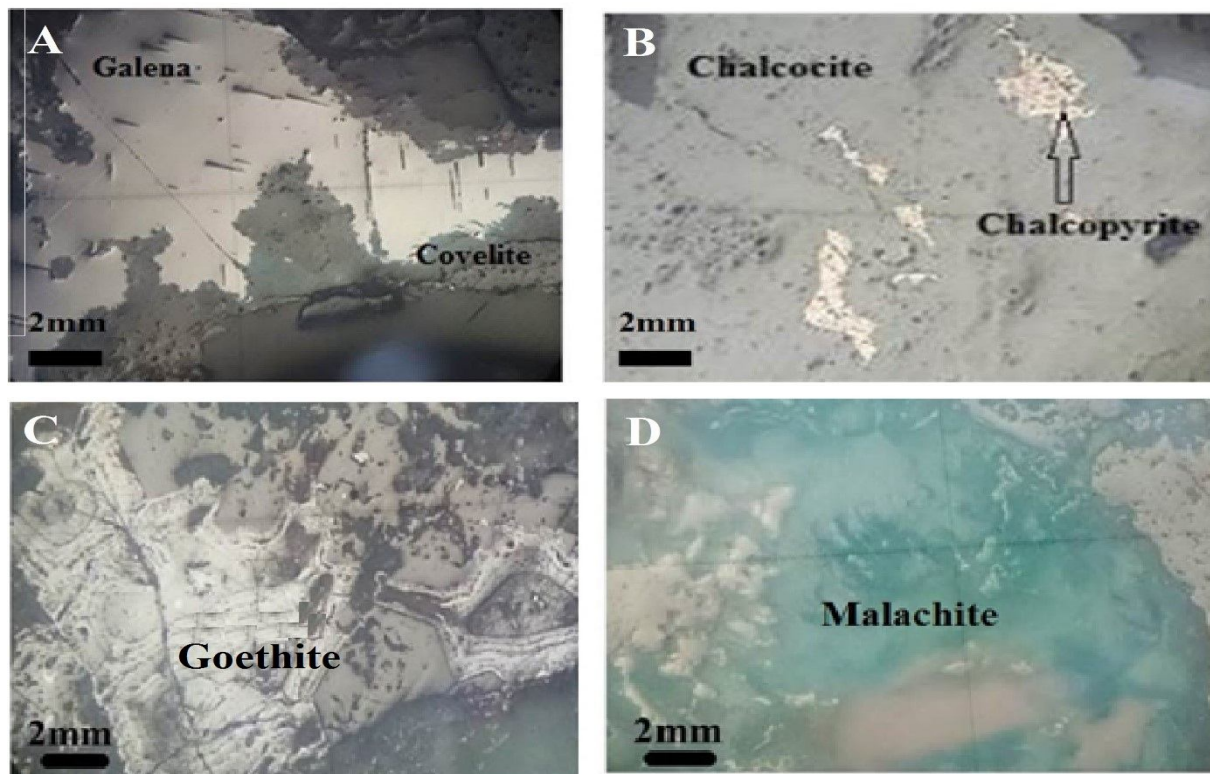
شرقی - غربی، شمال شرق - جنوب غربی و یا شمالی - جنوبی نشان می‌دهند و این نوع از رگه‌ها بیشتر در بخش‌های شمالی منطقه دیده می‌شود. این نسل رگه‌ها به دلیل ضخامت کم در نقشه کانی‌سازی آورده نشده‌اند و تنها یک رگه در بخش شرقی نقشه نشان داده شده است.

دگرسانی پروپلیتیک در منطقه بیشترین گسترش را داشته و بر واحدهای آتشفشانی منطبق است. در این نوع دگرسانی، اپیدوت از دگرسانی هورنبلند، پیروکسن و اغلب پلاژیوکلازها به وجود آمده است. کلریت از دگرسانی کانی‌های مافیک تشکیل شده است. سیلیسی شدن با گسترش خیلی کمتر و به صورت پراکنده

(۲) مجموعه دوم اغلب به صورت رگه‌های کوارتز + اکسید آهن (لیمونیت) تشکیل شده است و بر روی نقشه کانی‌سازی (شکل ۵) بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع نازک به سه زیرگروه رگه سیلیسی آمورف، رگه سیلیسی - اکسید آهنی و رگه سیلیسی - اکسید آهنی + دگرسانی آرژلیک قابل تفکیک است. ضخامت این رگه‌ها از چند میلی‌متر تا ۱ متر تغییر می‌کند. (۳) مجموعه سوم شامل رگه‌های تأخیری کربناته - اکسید آهن بدون کانی‌سازی است که دارای ضخامت‌های متغیر بین چند میلی‌متر تا چند سانتی‌متر است. روند عمومی این رگه‌ها شمال غرب - جنوب شرق است که بعضی از آنها روندهای

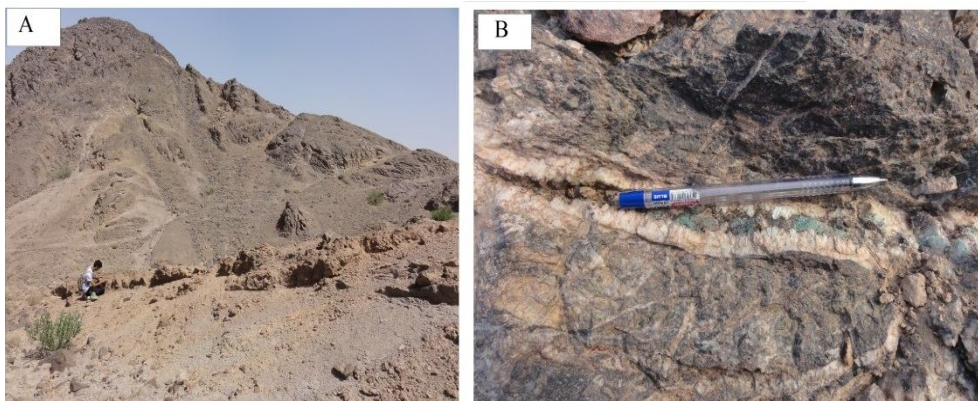
به‌عنوان کانی‌سازی احتمالی + زون دگرسانی ارائه شده است. به‌نظر می‌رسد، این دگرسانی در ارتباط با نسل متفاوتی از کانی‌سازی است.

در متن واحدهای آتشفشانی دیده می‌شود. دگرسانی آرژلیک در حاشیه تعدادی از رگه‌ها رخ داده است و گسترش خطی دارد. تعیین نوع این رگه امکان‌پذیر نبوده و در نقشه کانی‌سازی



شکل ۸. کانی‌سازی در رگه‌های منطقه کودکان ۲. تصاویر میکروسکوپی از A: کالکوپیریت در حال تبدیل شدن به کانی کالکوسیت، B: کانی گالن در حال جانمایی با سرزیت، C: کانی گوتیت و D: کانی مالاکیت

Fig. 8. Mineralization in veins of Koodakan 2 area. Microscopic images of A: Chalcopyrite replaced by chalcocite, B: Galena replaced by chalcocite, C: Malachite, and D: Goethite



شکل ۹. شواهد صحرایی از هوازدگی و دگرسانی کانی‌های اولیه به A: اکسیدهای آهن ثانویه (لیمونیت) و B: مالاکیت در منطقه کودکان ۲

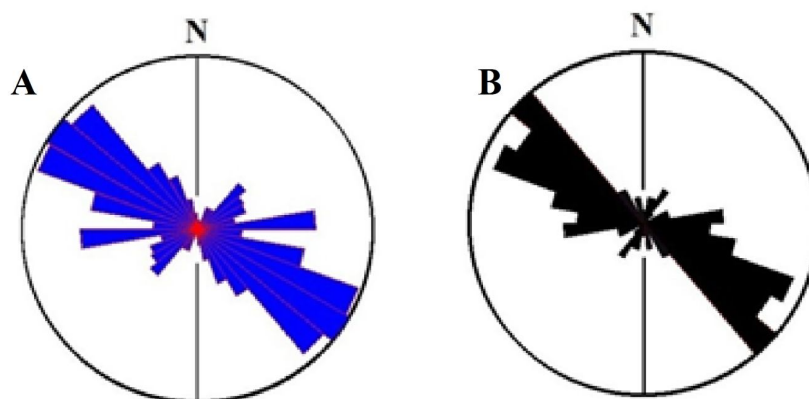
Fig. 9. Field observation of weathering and alteration of hypogene minerals to A: Secondary Fe oxide (limonite), and B: Malachite in Koodakan 2 area

اصلی، شمال‌غرب- جنوب شرق بوده و شیب این گسل‌ها NE ۶۰-۷۵ است که در واقع هم امتداد با گسل‌های اصلی در منطقه قلعه‌زری است. علاوه بر گسل‌های اصلی، گسل‌های دیگری نیز با روند شمال شرق- جنوب غرب و شرقی- غربی برداشت شد (شکل ۱۰- A). با توجه به اینکه کانی‌سازی در این منطقه از نوع رگه‌ای است و سیالات کانه‌دار، کانی‌سازی خود را در شکستگی‌ها برجای گذاشته‌اند، در نتیجه روند کانی‌سازی منطبق بر روند گسل‌هاست. مقایسه نمودارهای گل سرخی تهیه شده از روند گسل‌های برداشت شده و رگه‌های کانی‌سازی، نشان‌دهنده انطباق بالای بین روند رگه‌ها و گسل‌های اصلی است (شکل ۱۰- B)؛ در حالی که گسل‌های فرعی از نظر کانی‌سازی اهمیت کمتری دارند.

زمین‌ساخت منطقه مورد بررسی و ارتباط آن با کانی‌سازی

ویژگی‌های کلی ساختاری منطقه کودکان ۲ از ویژگی‌های ایالت ساختاری لوت پیروی می‌کند. خطیب (Khatib, 1999) با بررسی سطحی و عمقی بر روی انواع شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزه‌ها) که شاخص‌ترین عناصر ساختاری در منطقه قلعه‌زری است، شکستگی‌ها را به سه گروه تقسیم کرد: الف: گسل‌هایی که دارای روند شمال‌غرب- جنوب شرق هستند، ب: گسل‌هایی که دارای روند شمال شرق- جنوب غرب هستند و ج: گسل‌هایی که دارای روند تقریباً شرقی- غربی هستند و گسل فرعی محسوب می‌شوند.

در منطقه کودکان نیز روند و شیب تعدادی از گسل‌ها برداشت شد. بر اساس برداشت‌های انجام شده، روند گسل‌های



شکل ۱۰. نمودار گل سرخی نشان‌دهنده روند کلی A: گسل‌ها و B: رگه‌های برداشت شده از منطقه کودکان ۲

Fig. 10. Rose diagram representing the overall strike of the A: veins and, B: faults in Koodakan 2 area

بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی (جدول ۲ و شکل ۱۱- A)، بالاترین عیار مس مربوط به رگه‌هایی با ترکیب کانی‌شناسی کوارتز + مالاکیت + اکسید آهن و کوارتز + مالاکیت ± گالن + اکسید آهن است؛ در حالی که پایین‌ترین عیار مس مربوط به رگه‌های دارای دگرسانی سیلیسی بدون کانی‌سازی است (شکل ۱۲- A). مقادیر عنصر سرب از ۷ گرم در تن تا بیش از ۳ درصد متغیر است (شکل ۱۱- B). بیشترین میزان این عنصر مشابه عنصر مس در رگه‌های نوع اول است. سنگ میزبان این رگه‌ها واحد

ژئوشیمی اکتشافی

بر اساس مشاهدات صحرایی و بررسی‌های کانه‌نگاری و برای بررسی تغییرات عیاری عناصر، تعداد ده نمونه از رگه‌های کانی‌سازی (جدول ۱) به روش خردسنگی برداشت شد و مورد آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه زرازا قرار گرفت. حد تشخیص هریک از عناصر در جدول ۲ آمده است. نتایج تجزیه ۱۰ نمونه خردسنگی در جدول ۲ و شکل‌های ۱۱- A، B و C ارائه شده است. مقدار عنصر مس از ۷۵ تا ۹۹۲۸ گرم در تن متغیر است.

آگلومرای است (شکل ۱۲-B). مقدار عنصر روی بین ۲۵ و ۱۰۹۲۸۵ گرم در تن متغیر است (شکل ۱۱-C). انطباق این عنصر با رگه‌های نوع اول با ترکیب کانی‌شناسی کوارتز+ مالاکیت+ اکسید آهن و کوارتز+ مالاکیت ± گالن+ اکسید آهن دیده می‌شود (شکل ۱۲-C)؛ ولی در بررسی‌های مینرالوگرافی، کانی حاوی روی دیده‌نشده. مقدار عنصر آرسنیک از ۵ تا ۴۲۴ گرم در تن تغییر می‌کند. بیشترین مقادیر آرسنیک در رگه‌های نوع اول حاوی کانی‌سازی با سنگ میزبان آگلومرای دیده می‌شود. دگرسانی منطبق بر این کانی‌سازی شامل دگرسانی‌های سیلیسی و پروپیلیتیک است.

جدول ۱. نمونه‌های انتخاب‌شده از رگه‌ها برای آنالیز شیمیایی به روش ICP-MS در منطقه کودکان ۲

Table 1. Selected samples from the veins for the analysis by ICP-MS method of Koodakan 2 area

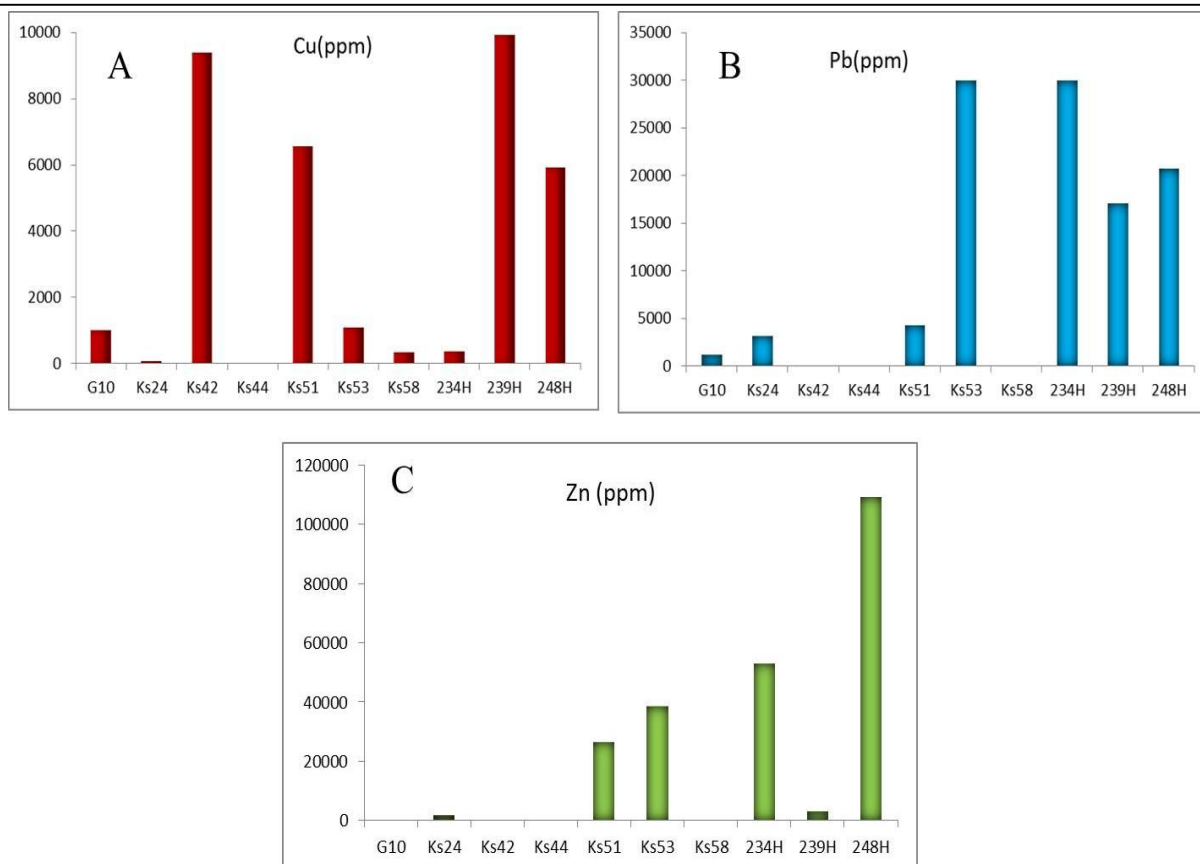
S.No	X (UTM)	Y(UTM)	Vein type	Vein No.
G-10	685642	3523821	Quartz+malachite±galena +Fe oxide vein	1
Ks-24	686050	3523453	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	1
Ks-42	682318	3528862	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	1
Ks-44	681859	3528703	Silicified-Fe oxide vein	2
Ks-51	686135	3221681	Quartz+malachite±galena +Fe oxide vein	1
Ks-53	685724	3522122	Quartz+ specularite+chalcopyrite+galena+pyrite vein	1
Ks-58	685899	3523591	Silicified-Fe oxide vein	2
234-H	685829	3523199	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	1
239-H	685253	3522954	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	1
248-H	685482	3522635	Quartz+malachite±galena +Fe oxide vein	1

جدول ۲. نتایج داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌های برداشت‌شده از انواع رگه‌های مختلف در منطقه کودکان ۲ (میزان همه عناصر به جز آهن بر حسب ppm ارائه شده است)

Table 2. Result of geochemical data from samples collected from different vein types of Koodakan 2 area (the content of all elements are given by ppm except for Fe).

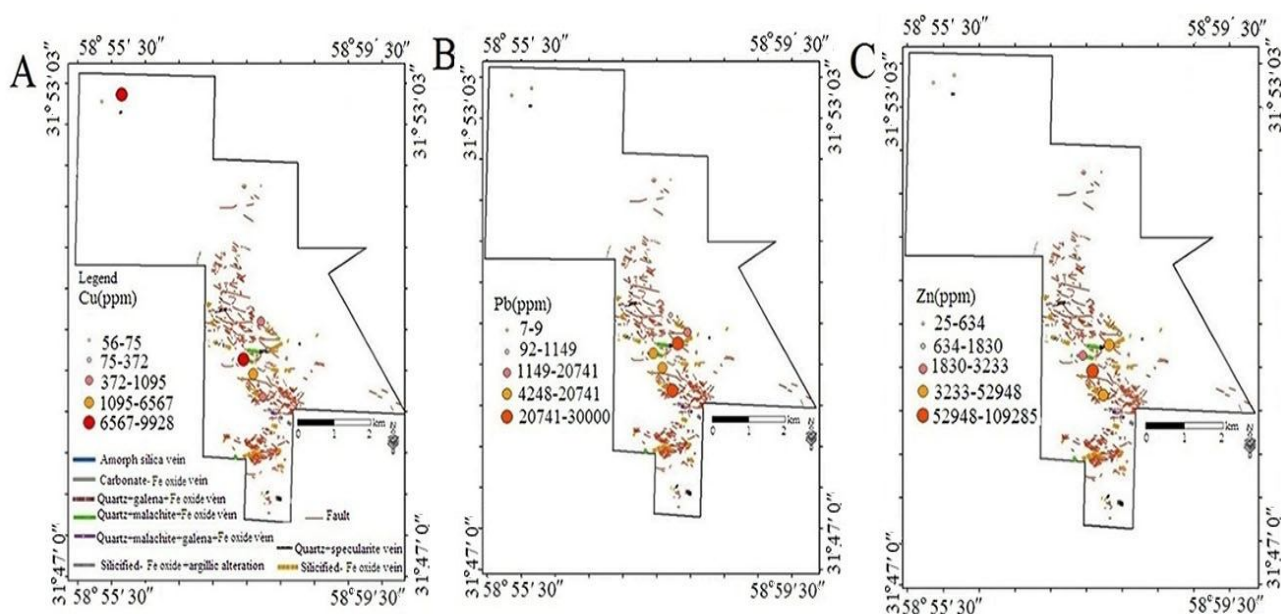
S.NO	X	Y	Cu	Zn	Pb	As	Sb	Ag	Fe (%)	Cd	Mo
D.L			1	1	1	0.5	0.5	0.1	1	0.1	0.5
G10	3523821	685642	1014	634	1149	59	36.2	1.4	2.37	0.7	2.77
Ks24	3523453	686050	75	1830	3128	57	76	0.6	4.57	22.2	8.1
Ks42	3528862	682318	9386	105	10	214	0.95	110	2.07	0.9	0.79
Ks44	3528703	681859	56	25	7	9.4	1.58	1.9	5.57	0.2	0.77
Ks51	3221681	686135	6567	26549	4248	19	1.87	6.7	2.55	19.3	14.7
Ks53	3522122	685724	1095	38809	>3%	9.9	26	26	0.93	16.6	3.22
Ks58	3523591	685899	336	150	92	60	46	3.9	2.93	0.9	6.7
234H	3523199	685829	372	52948	>3%	5.8	49	54	3.40	74.4	2.23
239H	3522954	685253	9928	3233	17034	54	173	0.6	4.36	11.2	71.1
248H	3522635	685482	5928	1092	20741	424	1559	37	2.99	26.4	387.5

D.L.: Detection limit



شکل ۱۱. مقادیر عناصر A: مس، B: سرب و C: روی در انواع رگه‌های کانه‌دار در منطقه کودکان ۲

Fig. 11. Content of A: Cu, B: Pb and C: Zn from different vein types of Koodakan 2 area



شکل ۱۲. نقشه پراکندگی عناصر مس، A: سرب، B: روی و C: در منطقه کودکان ۲

Fig. 12. Distribution map of A: Cu, B: Pb, C: Zn elements in the Koodakan 2 area

نتیجه‌گیری

بر اساس نتایج به‌دست آمده از این پژوهش، سنگ‌های آتشفشانی دارای طیفی از آندزیت تا بازالت هستند. دگرسانی پروپلیتیک (کلریت و اپیدوت) در این واحدها دیده می‌شود. توده‌های نفوذی عمیق و نیمه‌عمیق و دایک‌ها در محدوده مورد بررسی شناسایی شدند. ترکیب این توده‌ها به ترتیب در محدوده گرانودیوریت و دیوریت پورفیری است. بر اساس شواهد صحرایی، دایک‌ها جوان‌تر از سایر واحدهای سنگی هستند و مرتبط با کانی‌سازی نیستند. کانی‌سازی رگه‌ای درون آگلومرا و یا در همبری بین واحدهای آگلومرای و آندزیتی دیده می‌شود. مقایسه روند کانی‌سازی با امتدادهای گسلی در منطقه معدنی، انطباق این روندها را نشان می‌دهد. در محدوده اکتشافی کودکان ۲، حداقل دو مجموعه رگه‌های حاوی کانی‌سازی شناسایی شده است:

مجموعه اول شامل رگه‌های کوارتز + اسپیکولاریت + کالکوپیریت ± گالن ± پیریت است. روند اغلب این رگه‌ها شمال‌غرب - جنوب‌شرق است.

مجموعه دوم شامل رگه‌های کوارتز + اکسید آهن است.

علاوه بر این، تعدادی رگه‌های تأخیری کربناته بدون کانی‌سازی نیز در منطقه رخنمون دارند. نتایج داده‌های ژئوشیمیایی از رگه‌های کانی‌سازی نشان‌دهنده عیارهای قابل توجهی برای عناصر مس به مقدار ۷۵ تا ۹۹۲۸ گرم در تن با میانگین ۳۴۷۵/۷ گرم در تن، سرب (۷ گرم در تن تا بیش از ۳ درصد با مقدار میانگین ۱۰۶۴۰/۹ گرم در تن و روی (۲۵ تا ۱۰۹۲۸۵ گرم در تن) با میانگین ۲۳۳۵۶/۸ گرم در تن است. کانی‌سازی در محدوده کودکان ۲، در واقع ادامه کانی‌سازی در محدوده معدنی قلعه‌زری است و از ویژگی‌های مشابه آن پیروی کرده است. کریم‌پور (Karimpour, 2005) کانسار قلعه‌زری را به‌عنوان دسته‌ای از کانسارهای نوع IOCG معرفی کرده است. کانسارهای IOCG ذخایر سولفیدی با منشأ هیدروترمالی هستند و انواع کانی‌سازی برشی، رگه و رگچه‌ای، افشان و توده‌ای در آنها دیده می‌شود. این کانسارها اغلب پلی‌متال هستند و در

ارتباط با گرانیتوئیدهای گروه A و I بوده و اغلب دارای عوامل کنترل‌کننده ساختاری هستند (Hitzman et al., 1992; Barton et al., 2000; Corriveau, 2007; Groves et al., 2010; Karimpour et al., 2012). این کانسارها از نظر زمین‌ساختی در حوضه‌های کششی پشت کمربند زون فرورانش حاشیه قاره‌ای، ریفت‌های درون قاره، نقاط داغ داخل قاره و حوضه‌های کششی پس از برخورد تشکیل می‌شوند (Hitzman, 2000). بر اساس پژوهش امرایی و نیرومند (Omaraei and Niroumand, 2014) سنگ‌های منطقه کودکان ۲ از نوع کلسیمی قلیایی و متآلومینوس بوده و از لحاظ موقعیت زمین‌ساختی، الگوی ماگماتیسیم در ارتباط با کمان حاشیه قاره‌ای را نشان می‌دهند. میزان طلا بین ۸۴۰۲ ppb تا ۱۳۹۱۹ ppb است. دمای تشکیل کانه‌زایی در محدوده مورد بررسی ۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۰/۲ تا ۹/۱۷ درصد وزنی معادل نمک طعام تعیین شده است. ویژگی‌های محدوده معدنی کودکان ۲ از جمله عیار بالای مس - طلا، حضور کانی اسپیکولاریت (که نشان‌دهنده شرایط اکسیدان سیال کانه‌ساز است)، محتوای کم پیریت، کانی‌سازی رگه‌ای، انطباق بر زون‌های ساختاری، دمای تشکیل متوسط تا بالا (۱۰۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) و شوری متوسط تا پایین (۰/۲ تا ۹/۱۷ درصد وزنی معادل نمک طعام) نشانه تشابه نزدیک این کانسار با کانسارهای نوع IOCG و اپی‌ترمال است (جدول ۳). البته تأیید نهایی این ادعا نیاز به بررسی‌های مفصل‌تری دارد.

بر اساس پیمایش‌های صحرایی (ضخامت رگه و کانی‌سازی مشاهده‌شده) و داده‌های محدود ژئوشیمیایی، تعداد ۱۰ نقطه مناسب برای حفاری پیشنهاد می‌شود. موقعیت رگه‌های مناسب برای حفاری‌های اکتشافی در جدول ۴ آمده است. علاوه بر این، بخش‌هایی به‌صورت دگرسانی آرژلیک - اکسید آهن در سطح رخنمون دارد که قطعاً به‌عنوان نقاط مناسب برای حفر ترانشه پیشنهاد می‌شوند. به‌علت نبود اکتشافات عمقی در منطقه کودکان ۲، بررسی‌ها سطحی بوده و ادامه اکتشاف در این منطقه پتانسیل‌دار پیشنهاد می‌شود.

جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های مختلف منطقه اکتشافی کودکان ۲ با انواع ذخایر اپی‌ترمال (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Hedenquist et al., 2004; Gemell, 2004) و کانی‌سازی نوع طلا \pm مس اکسیدآهنی (IOCG) (Vidla et al., 1990; Hitzman et al., 1992; Barton et al., 2000; Marschik et al., 2000; Marschik and Fontboté, 2001; Corriveau, 2007; Groves et al., 2010; Karimpour et al., 2012) و معدن قلعه‌زری (Karimpour, 2005; Karimpour et al., 2005)

Table 3. Comparison of different characteristics in Koodakan 2 prospect area with different types of epithermal deposits (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Hedenquist et al., 2004; Gemell, 2004) and Iron oxide copper gold deposit type (IOCG) (Vidla et al., 1990; Hitzman et al., 1992; Barton et al., 2000; Marschik et al., 2000; Marschik and Fontboté, 2001; Corriveau, 2007; Groves et al., 2010; Karimpour et al., 2012) and Qhaleh-Zari mine (Karimpour, 2005; Karimpour et al., 2005)

Type of mineralization	Koodakan 2 area	Qhaleh-Zari	IOCG	Low sulfidation	Intermediate sulfidation	High sulfidation
Characteristic	Oxidized magma (Calc alkaline)	oxidized (calc alkaline) magma	In Au-cu Fe oxides high oxidation (calc alkaline) magma In Au-Te-Pb-Zn-Cu with alkaline magma	Sub-alkaline Alkaline	Oxidized magma (calc alkaline)	oxidized magma Reduced magma
Tectonic setting	Continental volcanic arcs	Continental volcanic arcs	In Au-cu Fe oxides with high oxidation magma (calc alkaline) accompanied with island arcs and in alkaline magmas along with deeper part of mantle	Continental volcanic arcs and Island arc	Island arc	Continental volcanic arcs
Host rock	In contact between agglomerate and andesite units	Andesite-Basalt and Shale	Diorite- gabbro diorite	Basalt to rhyolite Alkali basalt-trachyte	Andesite-Rhyolite	Andesite-Rhyolite
Alteration	Chlorite-epidote	Chlorite-epidote	Silicified-potassic- chlorite-sericite-carbonate	Illite- sericite-adularia	Sericitic	Alunite-silicified-propylitic-illite

ادامه جدول ۳. مقایسه ویژگی‌های مختلف منطقه اکتشافی کودکان ۲ با انواع ذخایر اپی‌ترمال (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Hedenquist et al., 2004; Gemmeil, 2004) و کانی‌سازی نوع طلا \pm مس اکسیدآهنی (IOCG) (Vidla et al., 1990; Hitzman et al., 1992; Barton et al., 2000; Marschik et al., 2000; Marschik and Fontboté, 2001; Corriveau, 2007; Groves et al., 2010; Karimpour et al., 2012) و معدن قلعه‌زری (Karimpour, 2005; Karimpour et al., 2005)

Table 3 (Continued). Comparison of different characteristics in Koodakan 2 prospect area with different types of epithermal deposits (Sillitoe and Hedenquist, 2003; Hedenquist et al., 2004; Gemmeil, 2004) and Iron oxide copper gold deposit type (IOCG) (Vidla et al., 1990; Hitzman et al., 1992; Barton et al., 2000; Marschik et al., 2000; Marschik and Fontboté, 2001; Corriveau, 2007; Groves et al., 2010; Karimpour et al., 2012) and Qhaleh-Zari mine (Karimpour, 2005; Karimpour et al., 2005)

Sulfide minerals	Specularite, chalcopyrite, galena, pyrite	Specularite, pyrite, chalcopyrite, sphalerite galena, sulfosalt	Specularite, chalcopyrite, magnetite, pyrite	Arsenopyrite, pyrrhotite, sphalerite galena, tetrahedrite, tennantite, chalcopyrite	Sphalerite, galena, tetrahedrite, tennantite, chalcopyrite	Enargite, famantite, Acanthite, stibnite
Basic metals	Cu, Au	Cu, Au, Ag	Au,Cu	Au \pm Ag	Au, Ag, Zn, Pb, Cu	Au, Ag, Cu, As, Sb,
Accessory metals	Zn, Pb	Zn, Pb,Fe, Bi	Zn, Pb, Mo,Ag \pm REE	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	Mo, As, Sb	Zn, Pb,Bi, W, Mo,Sn, Hg
Fluid's temperature (°C)	100-300	250-375	200-400	150-300	200-300	200-300
Salinity (equivalent Wt.% Na Cl)	0.2-9.17	1-5.5	1-15	3-10 <2	0-23	24

جدول ۴. نقاط پیشنهادی مناسب برای حفاری‌های اکتشافی در منطقه کودکان ۲

Table 4. Suggested locations for borehole drilling of Koodakan 2 area

Vein No.	X (UTM)	Y (UTM)	Vein type	Direction	Dip	Width (m)	Azimuth
1	686120	3521696	Quartz+malachite \pm galena +fe oxide vein	N70W	85 NE	0.5-1	290
2	686946	3523552	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	N85W	65-85NE	1-2	275
3	685008	3522958.9	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	N45W	50NE	0.2-0.5	315
4	685482	3522634	Quartz+malachite \pm galena + Fe oxide vein	E-W	90	1.5	90
5	685869	3523171	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	N85W	70 NE	5	265
6	685462	3523160	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	E-W	80N	0.4-0.5	90
7	684511	3523774	Silicified- Fe oxide vein	N80W	80 NE	0.4-0.5	260
8	684575	3523343	Silicified- Fe oxide vein	N75W	65-80NE	0.5	255
9	686378	3521539	Quartz+specularite vein	N80W	85-90NE	0.5-1	260
10	685253	3522954	Quartz+malachite+ Fe oxide vein	N75W	70-90 NE	1	255

قدردانی

همکاری‌های شرکت میناکان در حمایت مادی و معنوی از این فعالیت پژوهشی اعلام می‌دارند.

بدین‌وسیله نویسندگان، مراتب قدردانی خود را نسبت به

References

- Abdi, M. and Karimpour, M.H., 2012. Geology, alteration, mineralization, petrogenesis, geochronology, geochemistry and airborne geophysics of Kuh Shah prospecting area, SW Birjand. *Journal of Economic Geology*, 4(1): 77–107. (in Persian with English abstract)
- Aghanabati, A., 2004. *Geology of Iran*. Geological Survey of Iran, Tehran. 586 pp.
- Barton, M.D., Johnson, D.A. and Zurcher, L., 2000. Phanerozoic iron- Oxide (REE –Cu- Au-U) system in Southwestern North American and their origins. *Geological Society of Nevada Symposium 2000*, University of Arizona, Arizona, United State.
- Bolourian, Gh., 2010. Descriptions of the geological map of 1: 100000 Koodakan. Geological Survey and Mineral Exploration of Iran.
- Corriveau, L., 2007. Iron oxide copper-gold (\pm Ag Nb \pm P \pm REE \pm U) deposits: a Canadian perspective, In: W.D., Goodfellow, (Editor), *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Method*. Geological Survey of Canada, Quebec, pp. 256–278.
- Dimevar, M., 1995. *Geology, mineralogy, geochemistry and genesis of Qaleh Zari Copper Deposit, Birjand*. M.Sc. thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, 133 pp.
- Gemmell, J.B., 2004. Low-and intermediate-sulfidation epithermal deposits, Centre for Ore Deposit Research. 24th Au Workshop University of Tasmania, Tasmania, Australia.
- Groves, D.I., Bierlein, F.P., Meinert, L.D. and Hitzman, N.W., 2010. Definition of iron oxide-copper-gold (IOCG) deposits and proposed associated ore types and their distribution through earth history. *Economic Geology*, 105(3): 641–654.
- Hedenquist, J.W., Sillitoe, R.H. and Arribas, A., 2004. Characteristics of and exploration for high-sulfidation epithermal gold-copper deposit, Centre for Ore Deposit Research. 24th Au Workshop. University of Tasmania, Tasmania, Australia.
- Hitzman, M.W., 2000. Iron oxides Cu-Au Deposits :What, Where, When and Why. In: T. Michael, (Editor), *Hydrothermal Iron oxide copper-gold and related deposits: A Global perspective*. Australian mineral foundation, Adelaide, pp. 9–25.
- Hitzman, M.W., Oreskes, N. and Einaudi, M.T., 1992. Geological characteristics and tectonic setting of Proterozoic iron oxides (Cu- U- Au-REE) deposits. *Precambrian Research*, 58(1–4): 241–287.
- Karimpour, M.H., 2004. Iron oxides Cu-Au deposit and examples of Iran. The 9th conference of the Geological Society of Iran. Tarbiat Moallem University of Tehran, Tehran, Iran. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., 2005. Comparison of QalehZari Cu-Au-Ag deposit with other Iron Oxides Cu-Au (IOCG-Type) deposits and new classification. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 13(1): 165–184. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., Large, R.R, Razmara, M. and Pattrick R.A.D., 2005. Bi- sulfosat mineral series and their paragenetic associations in specularite- rich Cu- Ag- Au deposits, Qaleh-Zari mine, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 13(2): 417–432.
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Esfandiarpour, A. and Mohammadnezhad, H., 2012. Neyshabour turquoise mine: the first Iron Oxide Cu-Au-U-LREE (IOCG) mineralized system in Iran. *Journal of Economic Geology*, 3(2): 193–216. (in Persian with English abstract)
- Karimpour, M.H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Hidarian, M.R. and Askari, A., 2007. Mineralization, alteration and geochemistry of Hired tin gold prospecting area, South Khorasan province. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 15(1): 67–90. (in Persian with English abstract)

- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekzadeh, A., 2011. Review of age Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lute Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1): 19–54.
- Karimpour, M.H., Zaw, Kh. and Huston, D.L., 2005. S-C-O Isotopes, Fluid Inclusion Microthermometry, and the Genesis of Ore Bearing Fluids at Qaleh-Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag Mine, Iran. *Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran*, 16(2): 153–168.
- Khatib, M.H., 1999. Relation between shear deformations of veins in Qualeh-Zari mine, Conference of the Eastern Mineral Resources of Eastern Iran. Birjand University of Technology, Birjand, Iran. (in Persian with English abstract)
- Kluyver, H.M., Griffiths, R.J., Tirrul, R., Chance, P.N. and Meixner, H.M., 1978. Exploratory text of the Lakar Kuh Quadrangle 1:250000. Geological Survey of Iran.
- Marschik, R. and Fontboté, L., 2001. The Candelaria- Punta del Cobre iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) deposits. *Economic Geology*, 96(8): 1799–1826.
- Marschik, R., Leveille, R.A. and Martin, W., 2000. La Candelaria and the Punta del Cobre district, Chile, Early Cretaceous iron oxide Cu-Au (-Zn-Ag) mineralization. In: T. Michael (Editor), *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits, a global perspective*. Australian Mineral Foundation, Adelaide, pp.163–175.
- Omaraei, S. Niroumand, Sh., 2014. Geochemistry, mineralogy, alteration and fluid inclusion studies in copper gold vein system Koodakan prospecting area, South Khorasan province. *Journal of Advanced Applied Geology*, 19(6): 34–47. (in Persian with English abstract)
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W., 2003. Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. In: S.F. Simmons and I. Graham (Editors), *Volcanic, geothermal and ore forming processes: Rulers and witnesses of processes within the Earth*. Society of Economic Geologists, Special Publication 10, Littleton, pp. 315–343.
- Stocklin, J. and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.
- Tarkian, M., Lotfi, M. and Bauman, A., 1983. Tectonic, magmatism and the formation of mineral deposit in central Lut, East of Iran. Geological Survey of Iran, Tehran, Report 51, 26 pp.
- Whitney, D.L. and Evans, B.W., 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist*, 95(1): 185–187.
- Vidal, C.E., Injoque-Espinoza, J., Sidder, G.B. and Mukasa, S.B., 1990. Amphibolitic Cu-Fe skarn deposits in the central coast of Peru. *Economic Geology*, 85(5): 1447–1461.



Geology, mineralogy and geochemistry of Koodakan 2 prospecting area, South of Birjand, East of Lut Block

Somayeh Samiee and Sedigheh Zirjanizadeh*

Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

Submitted: July 20, 2017

Accepted: July 03, 2018

Keywords: *mineralization, structural control, Iron oxide copper gold deposit types (IOCG), Koodakan 2's*

Introduction

The study area is located in 180 kilometers at the South of the city of Birjand and at 4 kilometers North of the Qhaleh-Zari mine, within the Central Lut Block. According to Stocklin and Nabavi (1973), the Lut Block (Eastern Iran) extends over 900 km in a north-south trend and is 200 km wide in an East-West direction. It is confined by the Nayband fault and the Tabas Block on the west, Nehbandan Fault in the east, Doruneh Fault in the north, and the Jaz- Morian Basin in the south.

The sixty- five percent of the exposed rocks within the Lut Block consist of volcanic and plutonic rocks (Karimpour et al., 2011). The extensive magmatism of the area has resulted from the west-dipping subduction of the Lut Block zone (Karimpour et. al., 2005). The Koodakan area is located in the north of the Qhaleh-Zari mine, and in fact, it is comprised of the continuation of Qhaleh-Zari mineralization type. In the study area, rock units include Tertiary volcanic, intrusive, subvolcanic, and pyroclastic rocks.

Analytical techniques

The samples were collected from the study area focusing on the vein mineralization for preparing geology, mineralization and geochemistry maps. In addition, the dip and direction of the faults were measured for preparing structural map.

Ten samples were analyzed for thirty six elements using Inductively- Coupled Plasma-Mass spectrometry (ICP-MS) in the Zar- Azma Laboratory, Mashhad, Iran.

Results

Petrographically, the rocks in the area consist of granodiorite, dioritic dikes, andesite and andesite-basalt. The volcanic rocks have extended throughout the study area and are mainly affected by various intensities of propylitic and/or carbonate alterations. The volcanic rocks are mainly andesitic in composition. Based on field observations and microscopic evidence, volcanic rocks can be subdivided into andesite, hornblende andesite, andesite- basalt and pyroxene andesite. Diorite porphyritic dikes swarms are the youngest units in the area, and are not related to mineralization.

Propylitic alteration comprises dominant alteration in the Koodakan 2 area and is characterized by epidote, chlorite and calcite mineral assemblages. Argillic alteration is locally present within the surface outcrops. Silicification is mainly cropped out in both adjacent to mineralized veins, and to a lesser amount, as pervasive silica.

Mineralization is mainly controlled by a system of faults and joints. Three trends of faults are identified in the area including the a) NW-SE. b) NE-SW. c) E-W. The NE-SW trending mineralized veins represent a northeast dip ranging from 60- 70, and a width between 5 cm to 3 meters. In most cases, mineralization is hosted by pyroclastic units (especially agglomerate) or in the contact between agglomerate and andesitic rocks.

At least three styles of veins were identified in the area. These are 1) quartz+ specularite+ chalcopyrite ± galena ± pyrite veins. The

*Corresponding authors Email: s.zirjanizadeh@gonabad.ac.ir

thickness of these veins varies from 2 cm to >1 m. The type 1 displays a dominant NW-SE strike. Quartz comprises of the most common mineral assemblage within the three types of veins forming euhedral to subhedral crystals with 1-10 cm long. Sulfide mineral dominantly includes chalcopyrite which is weathered to chalcocite at margins- together with galena, and pyrite. 2) quartz+ Fe oxides (limonite) veins range in thickness between 20 cm-1 m, and their ore mineral contents are not as important as types. 3) The NW-SE trending late carbonate veins mainly occurred in northern parts of the study area. These veins do not contain any ore minerals.

Based on lithochemical studies, the concentration of Cu in mineralized veins ranges from 75-9928 ppm. The highest grade of Cu is related to quartz + malachite ± Fe oxide veins, and the lowest grade is related to silicified- Fe oxide veins. The geochemical abundances of Pb are similar to that of Cu and mainly vary from 7ppm to >3%. Highest concentrations of Zn are consistent with type 1 veins, and range from 25-109285 ppm. Arsenic represents a widespread distribution of halos in the studied veins and its content varies between 5 and 424 ppm. Based on

geology, mineralization, and geochemistry data, mineralization of the Koodakan 2 area is comparable with the veins in the Qaleh- Zari deposit and can be classified as IOCG deposit type. Detailed studies including the fluid inclusion, electron microprobe, and stable isotopic investigations can be further applied to examine the type of mineralization in the Koodakan 2 area.

References

- Karimpour, M.H., Large, R.R, Razmara, M. and Patrick R.A.D., 2005. Bi- sulfosalt mineral series and their paragenetic associations in specularite- rich Cu- Ag- Au deposits, Qaleh-Zari mine, Iran. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy*, 13(2): 417–432.
- Karimpour, M.H., Stern, C.R., Farmer, L., Saadat, S. and Malekzadeh, A., 2011. Review of age Rb-Sr geochemistry and petrogenesis of Jurassic to Quaternary igneous rocks in Lute Block, Eastern Iran. *Geopersia*, 1(1): 19–54.
- Stocklin, J. and Nabavi, M.H., 1973. Tectonic map of Iran. Geological Survey of Iran.