

مطالعات دورسنجی، زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در محدوده اکتشافی مس چاه‌راسته، جنوب غرب سربیشه، خراسان جنوبی

روح اله میری بیدختی^{۱*}، صدیقه زیرجانی زاده^۲، امیرمهدوی^۳

۱ و ۲ استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد

۳ استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

شماره تماس: ۰۹۱۵۳۶۲۴۹۸۴

پست الکترونیک: roholamiri@gmail.com

تاریخ تنظیم: ۱۴۰۳/۴/۲۲

چکیده:

محدوده اکتشافی چاه‌راسته، در فاصله تقریبی ۲۵ کیلومتری جنوب‌غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی و در مرکز ایالت زمین ساختی بلوک لوت قرار دارد. سنگ‌شناختی منطقه شامل واحدهای آتشفشانی نظیر آندزیت، آندزیت-بازالت و بازالت، توده‌های اولترامافیک نظیر هارزبورگیت، سرپانتینیت، لرزولیت، پریدوتیت و ورلیت، توده‌های نفوذی نظیر کوارتز مونزودیوریت و واحدهای رسوبی و کواترن می‌باشد. پی‌جویی اولیه در این منطقه با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر و لندست به روش‌های نسبت باندی و ترکیب رنگی تصاویر و کمترین مربعات رگرسیون شده برای مشخص کردن زون‌های احتمالی دگرسانی صورت گرفت و هاله‌های دگرسانی مختلف شامل آغشتگی‌های ثانویه به اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کلریت و سربسیت بارزسازی شدند. دو نوع کانی‌سازی در محدوده اکتشافی چاه‌راسته شناسایی گردید. نوع اول کانی‌سازی عنصر مس به‌شکل افشان، رگه‌ای و رگچه‌ای مشاهده می‌شود. مجموعه کانیایی هیپوزن شامل هماتیت، پیریت و کالکوپیریت می‌باشد. همچنین کانی‌های ثانویه شامل کالکوزیت، مالاکیت و گوتیت دیده می‌شود. نوع کانی‌سازی به‌شکل افشان، رگه‌ای و رگچه‌ای، گسترش محدود دگرسانی‌ها در اطراف کانی‌سازی و نیز ارتباط آن‌ها با سنگ‌شناسی و کنترل ساختاری، نشانه‌ی حضور یک کانسار مس رگه‌ای نوع اپی ترمال است. نوع دوم کانی‌سازی کرومیت است که در محدوده بدلیل همراهی با واحدهای سنگی اولترامافیک احتمالا از نوع آلپی می‌باشد.

واژگان کلیدی: دورسنجی، زمین‌شناسی، آلتراسیون، اپی ترمال، چاه‌راسته، سربیشه، بلوک لوت

Remote sensing, geology, alteration and mineralization studies in Chah Rasteh copper prospecting area, southwest of Sarbisheh, South Khorasan province

Roohollah Miri Beydokhti ^{1*}; Sedigheh Zirjanizadeh²; Amir Mahdavi³

^{1,2} Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

³ Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

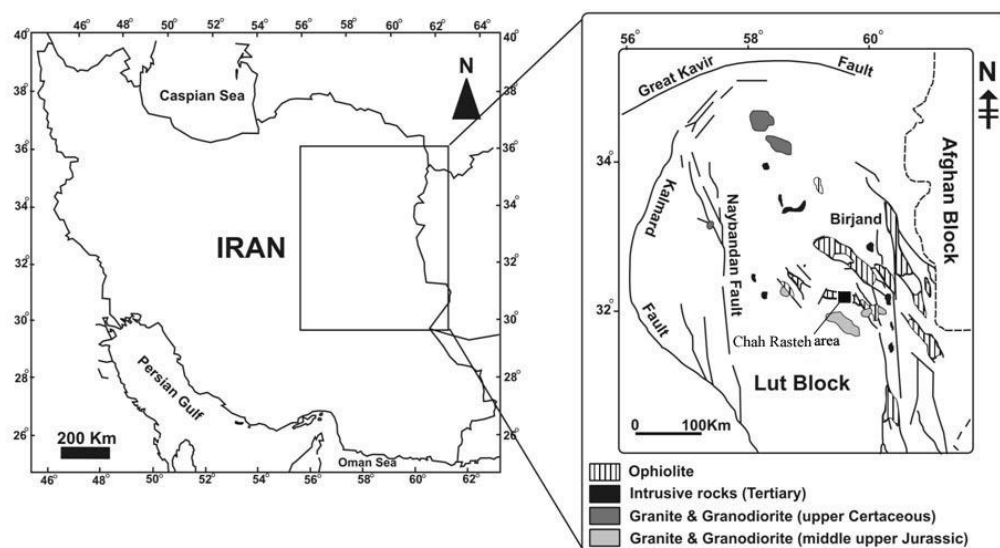
Email: roholamiri@gmail.com

Abstract

The Chah Rasteh exploration area is located approximately 25 kilometers southwest of Sarbisheh in South Khorasan Province, and lies within the central part of the Lut Block tectonic zone. The regional geology comprises volcanic units such as andesite, andesite-basalt, and basalt; ultramafic bodies including harzburgite, serpentinite, lherzolite, peridotite, and wehrlite; intrusive bodies such as quartz monzodiorite; and sedimentary and Quaternary units. Preliminary prospecting in the area, was done by processing Aster and Landsat satellite data using the methods of band ratio and color combination of images and least squares regression to determine possible alteration zones and different alteration auras including secondary stains. They were characterized as iron oxides and hydroxides, chlorite and sericite. Two types of mineralization were identified in the Chah Rasteh exploration area. The first type is copper mineralization, observed as disseminated, vein, and veinlet occurrences. The hypogene mineral assemblage includes hematite, pyrite, and chalcopryrite. Secondary minerals include chalcocite, malachite, and goethite. The disseminated, vein, and veinlet style of mineralization, the limited extent of alteration surrounding the mineralization, and its relationship to lithology and structural control, indicate an epithermal vein-type copper deposit. The second type of mineralization is chromite, which, due to its association with ultramafic rock units in the area, is likely of Alpine type.

Keywords: Remote Sensing, geology, alteration, epithermal, Chah Rasteh, Sarbisheh, Lut Block

محدوده اکتشافی چاه‌راسته در شرق ایران و در ۲۵ کیلومتری جنوب‌غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این محدوده اکتشافی در گستره‌ای بین طول‌های $59^{\circ}43'56''$ تا $59^{\circ}47'36''$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $32^{\circ}20'46''$ تا $32^{\circ}22'33''$ شمالی قرار دارد (شکل ۱). از منظر تقسیمات ساختاری، این منطقه در بخش مرکزی بلوک لوت واقع شده است [۱]. یکی از خصوصیات منحصربه‌فرد بلوک لوت، فعالیت‌های ماگماتیسمی آن است که از ژوراسیک میانی، با نفوذ باتولیت شاه‌کوه نهبندان آغاز و در ترشیاری به اوج خود رسیده است. به‌گونه‌ای که حدود ۷۵ درصد سنگ‌های این بلوک شامل واحدهای آتشفشانی و نفوذی است [۲]. وجود موقعیت‌های تکتونیکی متنوع در گذشته و همچنین حجم عظیم ماگماتیسم با ویژگی‌های ژئوشیمیایی متفاوت، این بلوک را به یک منطقه با پتانسیل بالا برای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی تبدیل کرده است [۳]. در این بلوک، کانی‌سازی‌های متعددی گزارش شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کانسارهای مس-طلا با منشاء پورفیری در ماهرآباد و خویک [۴]، طلاهای اپی‌ترمال سولفید بالای کوه‌شاه [۵]، چاه شلغمی [۶] و بالازرد [۷]، کانی‌سازی مس پورفیری و اسکارن در دهسلم [۸]، و همچنین کانسارهای اپی‌ترمال چندفلزی مس-روی در ماهور [۹ و ۱۰] اشاره کرد. وجود کنده‌کاری‌های استخراجی متعدد و سرباره‌های ذوب در محدوده اکتشافی، حاکی از قدمت معدنکاری در این منطقه می‌باشد. هرچند درباره تاریخ معدنکاری در این محدوده اطلاعات دقیقی در دست نیست، اما با توجه به شیوه معدنکاری به نظر می‌رسد بخش اعظم آن شدادی بوده و بخش کمتری نیز در سده اخیر انجام شده باشد. درخصوص کارهای علمی و اکتشافات سیستماتیک در این ناحیه، می‌توان به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند [۱۱] و نقشه‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل‌آباد [۱۲] و همچنین اجرای طرح اکتشافات جنوب خراسان در سال ۱۳۸۱ توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور اشاره نمود. هدف از این پژوهش تولید داده‌های زمین‌شناسی با تاکید ویژه بر شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی، دگرسانی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی و تحلیل سیستم کانی‌سازی در منطقه است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی چاهراسته در شرق ایران و بلوک لوت. تصویر پایه از [۱۳]

زمین شناسی ناحیه‌ای

در محدوده اکتشافی چاهراسته قدیمیترین سنگ‌ها با عنوان آمیزه رنگین شناخته می‌شوند. براساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل آباد، این مجموعه سنگی به دوران مزوزوئیک تعلق دارد [۱۲]. سنگ‌های این واحد شامل اولترامافیک‌ها و مافیک‌ها همراه با دایک‌های صفحه‌ای، رادیولاریت و سنگ آهک‌های پلاژیک هستند. این واحد تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته و با تجزیه و تخریب بافت سنگ، کانی البوین تبدیل به سرپانتین شده است. غالبترین سیمای چینه شناسی در منطقه مورد بررسی واحد فیلیش می‌باشند. واحد فیلیشی در محدوده مورد مطالعه از دیدگاه سنگ شناسی از تناوب شیل و ماسه سنگ با میان لایه‌هایی از سنگ آهک فسیل دار (نومولیت) و مارن همراه هستند و منطقه وسیعی را زیر پوشش دارند به گونه‌ایکه بیش از ۷۰ درصد محدوده را در نیمه جنوبی و مرکز آن به خود اختصاص داده است. سن تعیین شده برای این سازند کرتاسه پایانی تا پالئوسن می باشد [۱۲]. مطالعات این تحقیق نشان داد که واحدهای آتشفشانی و نفوذی نیز در منطقه برونزد دارد. برپایه مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای سنگی در گستره پی جویی چاهراسته را می‌توان به چهار بخش توده‌های اولترامافیک، توده‌های نفوذی حدواسط، واحدهای آتشفشانی و واحدهای رسوبی تقسیم کرد. واحدهای آتشفشانی شامل رخنمون‌های آندزیت، آندزیت بازالت و بازالت هستند که بر اساس مطالعات پتروگرافی شناسایی شده‌اند و از بین آن‌ها، واحد

آندزیت بازالت بیشترین گسترش را دارد. به نظر می‌رسد که پس از پالئوسن، چین‌خوردگی و گسلش، تأثیرات قابل توجهی بر منطقه داشته‌اند.

روش مطالعه

این پژوهش بر پایه مشاهدات صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است. مراحل اصلی روش تحقیق شامل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، مطالعات صحرایی و آنالیزهای آزمایشگاهی می‌باشد. برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر ETM+ و ASTER به منظور تفکیک زون‌های دگرسانی و بررسی شدت و پراکندگی آنها استفاده شد. این پردازش‌ها با استفاده از نرم‌افزار ENVI 4.3 انجام گرفت. در بخش مطالعات صحرایی، شناسایی واحدهای سنگی، کنتاکت واحدها و ساختارهای تکتونیکی در منطقه صورت پذیرفت. همچنین بیش از ۵۰ نمونه از واحدهای سنگی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی برداشت شد. علاوه بر این، ۲۵ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه شد و نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه گردید. در بخش آنالیزهای آزمایشگاهی، یک نمونه خرده‌سنگی از کرومیت برداشت و به روش XRF آنالیز شد. همچنین ۱۳ نمونه سنگی از عرض زون‌های کانی‌سازی از محل حفريات قدیمی برداشت، آماده‌سازی و برای تجزیه عنصر مس به روش جذب اتمی در آزمایشگاه بلور آمیتیس شرق ارسال شد. برای بررسی کانی‌سازی طلا، پنج نمونه سنگی از عرض زون‌های کانی‌سازی از محل حفريات قدیمی برداشت و به روش Fire-assay در شرکت زرآزما تجزیه شد. در این روش، تجزیه طلا با استفاده از مواد کمک ذوب شامل اکسید سرب، بوراکس و سودا اش، طی فرایندهای ذوب (Fusion)، کوپلاسیون (Cupellation) و انحلال اسیدی انجام شد. اندازه‌گیری عیار طلا نیز توسط دستگاه ICP-OES صورت گرفت.

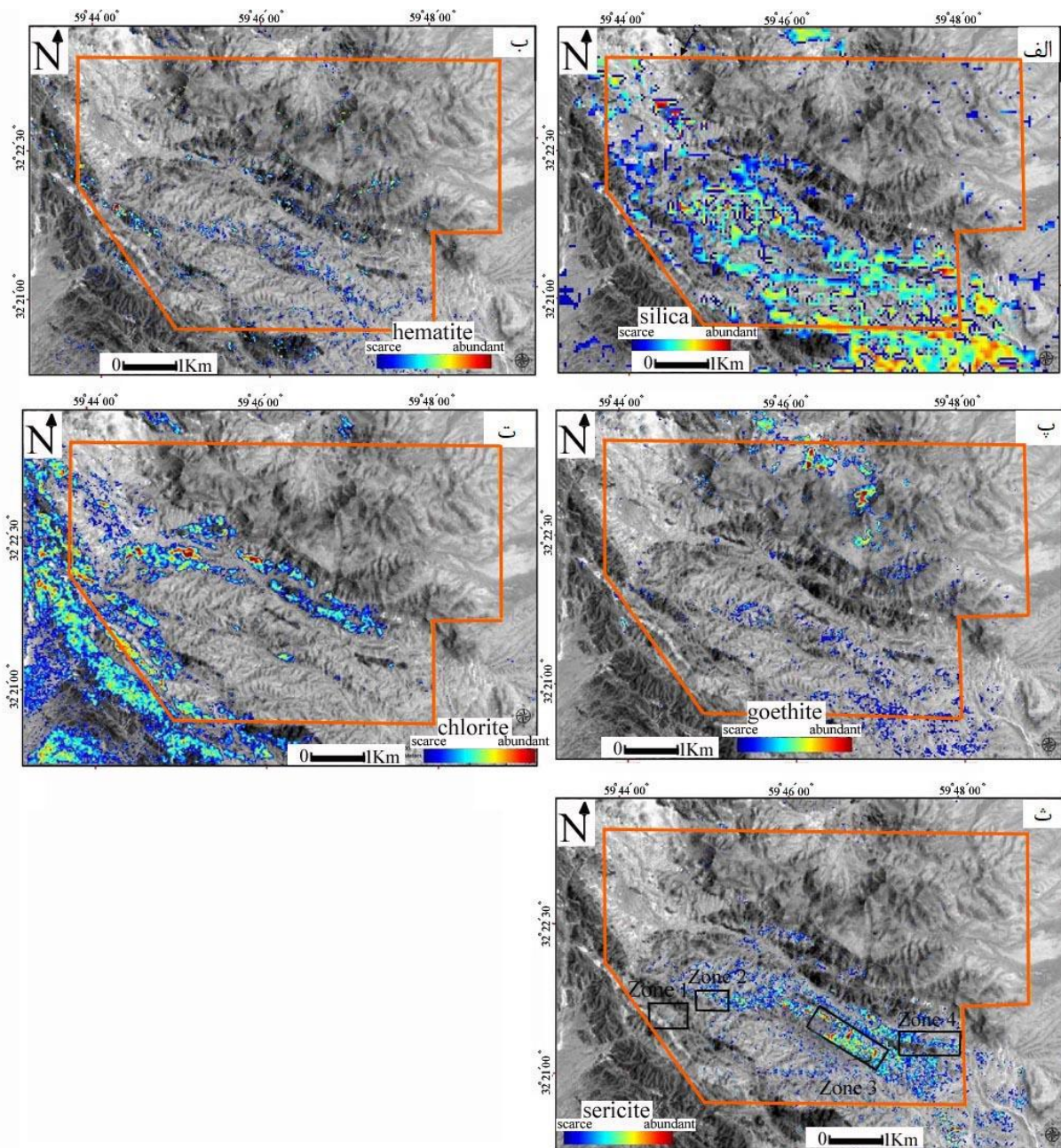
بحث

مطالعات دورسنجی

مطالعات دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای بارزسازی زون‌های آلتراسیونی، در دهه‌های اخیر مورد توجه خاصی قرار گرفته است [۱۴]. برای مطالعه کانی‌سازی و تعیین مناطق احتمالی مستعد کانی‌سازی در محدوده، داده‌های ماهواره‌ای ASTER و ETM انتخاب شدند. داده‌های پوششی انتخاب شده از آرشیو، شامل سه منظر از داده‌های سنجنده ASTER و دو منظر از داده‌های ETM است. برای پردازش این تصاویر از روش‌های نسبت بانندی و ترکیب رنگی تصاویر و کمترین مربعات

رگرسین شده برای مشخص کردن زون‌های احتمالی دگرسانی، استفاده شده است. کانی‌های بارزسازی شده از نتایج این بررسی‌ها شامل هماتیت، سیلیس، گوتیت، سربیسیت و کلریت می‌باشد. شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های مختلف شده است (شکل ۲). دگرسانی سیلیسی‌شدن بصورت گسترده در محدوده اکتشافی مشاهده می‌شود (شکل ۲ الف)، لیکن بخش اصلی سیلیس بارزسازی شده، بر روی آمیزه‌های رنگی قرار می‌گیرد که از لحاظ کانی‌سازی اهمیت ویژه‌ای ندارد. در این مطالعه، ابتدا فراوانی و توزیع اکسیدهای آهن در منطقه مورد بررسی به صورت جامع نقشه‌برداری شد و سپس به دو گروه اصلی شامل کانی‌های آهن‌دار قرمز رنگ شامل هماتیت که با مقادیر جزئی کلریت یا آمفیبول همراه است (شکل ۲ ب) و کانی‌های آهن‌دار زرد رنگ شامل گوتیت (لیمونیت) که همراه با کانی‌های رسی به عنوان کانی‌های فرعی حضور دارند، تقسیم گردید. کانی‌های آهن‌دار زرد رنگ (گوتیت یا لیمونیت) از نظر فراوانی و گسترش، محدوده وسیع‌تری را پوشش می‌دهند و عمدتاً در بخش‌های نقشه‌برداری شده بر روی سنگ‌های بازالتی قرار گرفته‌اند (شکل ۲ پ). تفسیر این کانی‌ها در ارتباط با پتانسیل کانی‌سازی احتمالی با دشواری‌هایی همراه است. از سوی دیگر، کلریت در کنار آمفیبول، اپیدوت، سرپانتین و تالک، به عنوان مهم‌ترین کانی‌های شاخص محیط‌های اولترامافیک شناخته می‌شوند. نقشه‌های فراوانی این کانی‌ها بر اساس رفتار طیفی مشخصه‌شان از داده‌های سنجنده ASTER استخراج شده و در شکل ۳ ت ارائه گردیده است. در منطقه مورد مطالعه، کلریتی‌شدن به عنوان وسیع‌ترین نوع دگرسانی شناسایی شده است که عمدتاً بر روی سنگ‌های اولترامافیک رخ داده است، اگرچه گسترش این کانی در سایر واحدهای سنگی نیز مشاهده شده است. با این حال، در برخی بخش‌ها، کانی‌های نقشه‌برداری شده ممکن است مربوط به متن سنگ باشند و لزوماً ارتباط مستقیمی با فرآیند کلریتی‌شدن ناشی از فعالیت سیستم‌های گرمایی نداشته باشد.

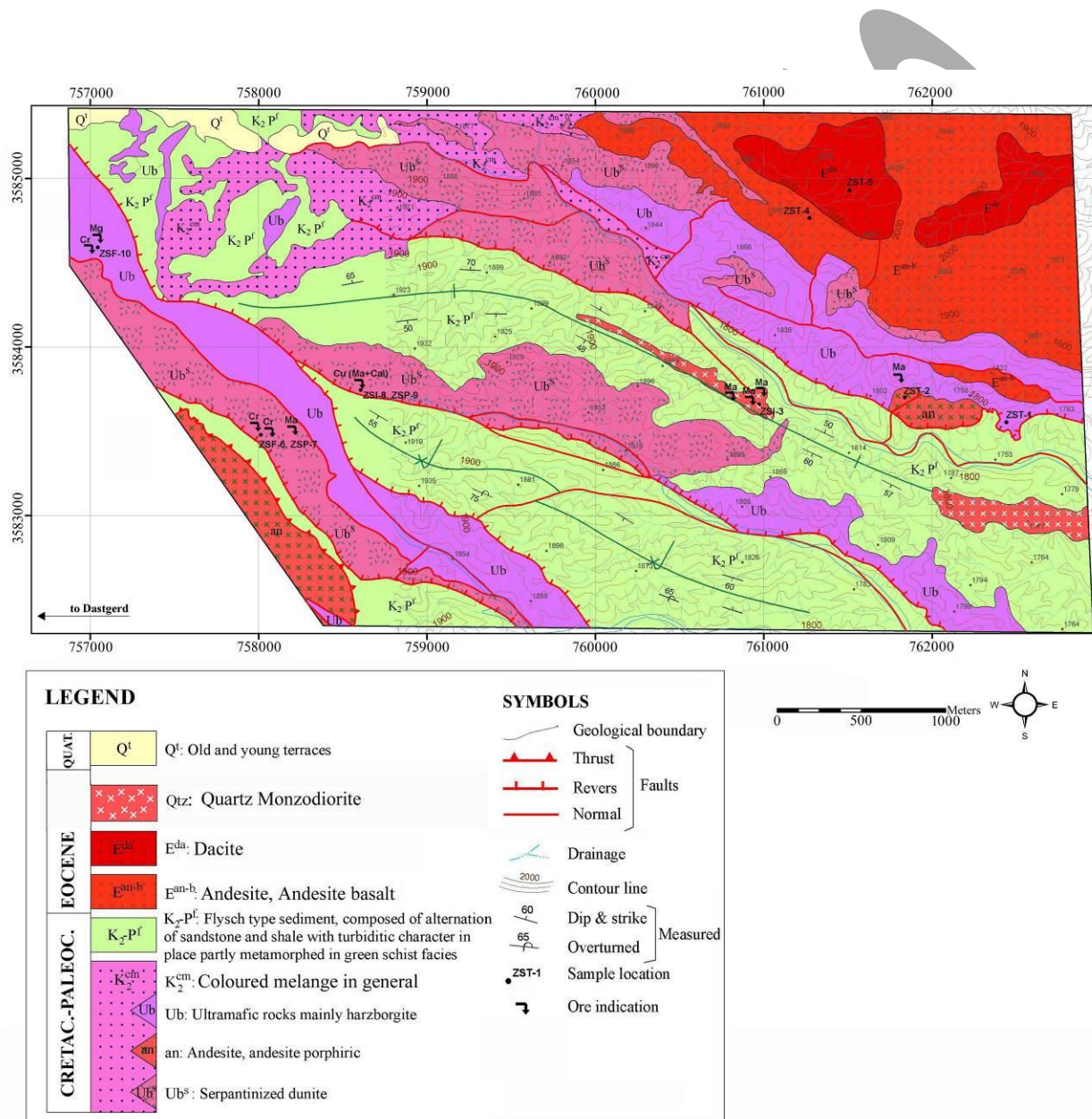
دگرسانی سربیسیتی ناشی از تخریب فلدسپات‌ها، به همراه تشکیل کانی ایلیت دیده می‌شود. با استفاده از داده‌های ASTER این کانی و سایر میکاهای سفید (نظیر موسکویت، فنریت، پاراگونیت و اسمکتیت حاوی آلومینیوم) به صورت یک گروه واحد قابل تفکیک و نقشه‌برداری هستند. نقشه توزیع فراوانی این دگرسانی در شکل ۲ ث به نمایش درآمده است. بسیاری از نواحی استخراج شده در این محدوده به عنوان دگرسانی سربیسیتی، در بخش‌های میانی که بر روی توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت و زون کانی‌سازی واقع شده‌اند، مطابقت دارد. بنابراین، احتمال وجود ارتباط زایشی میان آنها و دگرسانی‌های گرمایی وجود دارد.



شکل ۲- الف-موقعیت و فراوانی سیلیس محتوی سنگ، استخراج شده از داده های ASTER ب-موقعیت و فراوانی کانی هماتیت و پ- موقعیت و فراوانی گوتیت استخراج شده از داده های ETM ت- موقعیت و فراوانی کلریتی شدن (کانی های OH - Mg) استخراج شده از داده های ASTER ث- موقعیت و فراوانی دگرسانی سریسیتی استخراج شده از داده های ASTER همراه با زون های کانی سازی در محدوده اکتشافی چاهراسته

زمین شناسی محدوده چاه راسته

براساس مطالعات صحرایی و پتروگرافی، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و توده‌های نیمه‌عمیق واحدهای تشکیل دهنده محدوده مورد مطالعه هستند (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه زمین شناسی محدوده اکتشافی چاه راسته. نقشه پایه از [۱۵] با اندکی تغییر

الف-توده های اولترامافیک

در منطقه مورد مطالعه، توده های اولترامافیک شامل هارزبورگیت، سرپانتینیت، لرزولیت، پریدوتیت و ورلیت مشاهده می شوند (شکل ۴ الف و ب). ترکیب کانی شناسی غالب این توده ها شامل کانی هایی چون الیوین، پیروکسن، سرپانتین و کانی های فرعی مانند آمفیبول، کرومیت و منیزیت است. واحد سنگی ورلیت در بررسی های میکروسکوپی به خاطر وجود و فراوانی دانه های الیوین هم بعد، شناسایی می شود (شکل ۴ پ). فضای بین بلورهای الیوین به وسیله تجمعات بی شکل و دانه های کلینوپیروکسن بین منفذی به طور محلی پر شده است. بلورهای الیوین معمولاً به شدت سرپانتینیتی شده و توسط رگچه و لکه های اکسید آهن ثانویه جانشین شده است. ضمن این که بلورهای کلینوپیروکسن نیز به صورت کم و بیش سرپانتینیتی شده و به صورت محلی با کانی های کربنات جانشین شده اند. کربنات در قالب رگه ها در زمینه و همچنین درون حفرات مشاهده می شود (شکل ۴ ت).

ب-واحدهای آتشفشانی

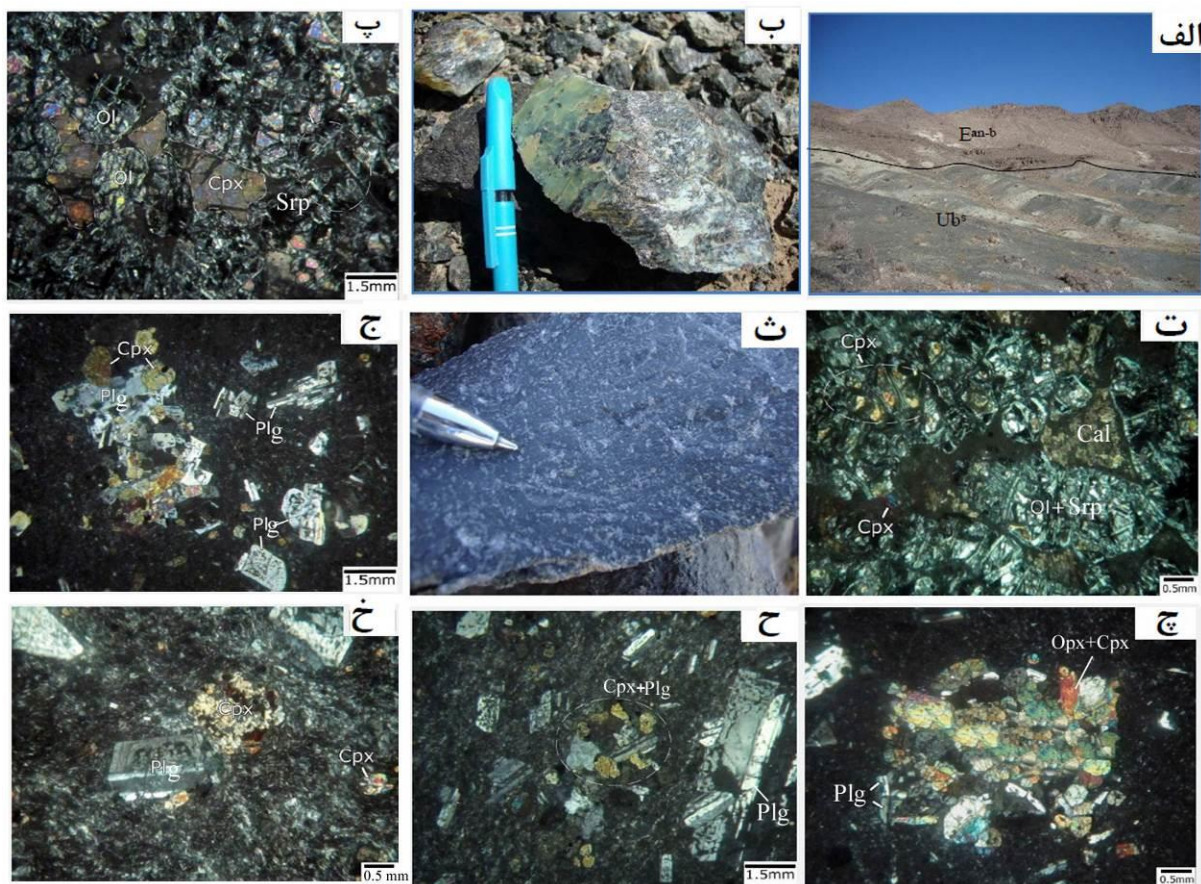
واحد آندزیت - بازالت

این واحد در شمال و شمال غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل آباد، وسعت های قابل توجهی را تحت پوشش قرار می دهد. بخش هایی از رخنمون های این واحد که در محدوده مورد بررسی قرار گرفته اند، دارای مورفولوژی نسبتاً ناهموار هستند و به شکل صخره های نسبتاً بلند، بالاترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می دهند. در نمونه های دستی، این سنگ ها بافت پورفیری را نشان می دهند به طوری که بلورهای پلاژیوکلاز به عنوان فنوکریست به خوبی قابل تشخیص هستند (شکل ۴ ث). در مقطع نازک، بافت این سنگ ها دارای نوعی پورفیری و گلوپورپورفیری است که با تجمعاتی از کانی های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن در یک خمیره میکرولیتی-جریانی مشخص می شود (شکل ۴ ج و چ). درشت بلورهای پلاژیوکلاز اغلب خوردگی و بافت غربالی مشخصی را نشان می دهد (شکل ۵ ج). درصد فنوکریست در این واحد بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است که شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز و ۱۰ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن می باشد. زمینه سنگ عمدتاً از کانی های پلاژیوکلاز تشکیل شده و به علاوه، کانی کلینوپیروکسن به صورت دانه های ریز و همچنین کانی های کدر در زمینه قابل مشاهده است.

واحد آندزیت پورفیری

این واحد در شمال شرق محدوده رخنمون دارد و به وسیله لایه‌بندی‌هایی با ضخامت نازک تا متوسط با سطوح هوازده به رنگ سبز روشن تا خاکستری تیره مشخص می‌شود (شکل ۳). در مطالعات سنگ‌نگاری، بافت اصلی این واحد پورفیری با زمینه میکرولیتی جریانی و بافت فرعی آن گلومروپورفیری است (شکل ۴ ح و خ). در مطالعات میکروسکوپی، نام این واحد به‌عنوان پیروکسن آندزیت پورفیری مشخص شده و کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن به همراه کانی‌های فرعی مانند کوارتز، اکتینولیت و اکسیدهای آهن هستند.

درصد فنوکریست نسبت به زمینه در این واحد بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است و بخش عمده فنوکریست‌ها کانی پلاژیوکلاز است که اغلب از حاشیه دچار خوردگی شده و بافت غربالی در حاشیه‌های آن توسعه یافته است. فنوکریست‌های بعدی شامل کانی‌های کلینوپیروکسن هستند که فراوانی آن‌ها در حدود ۵ درصد است. زمینه سنگ عمدتاً از کانی‌های پلاژیوکلاز تشکیل شده و مقدار کمتری از کانی‌های دگرسانی ثانویه نظیر کانی‌های رسی، کوارتز، اکسیدهای آهن و اکتینولیت تشکیل یافته است.



شکل ۴- الف- نمایی کلی از رخنمون واحد اولترامافیک و واحد آندزیت-بازالت (دید به سمت شمال شرق) ب- نمایی از نمونه دستی واحد سنگی اولترامافیک پ- تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی ورلیت ت- رگچه و تجمعات کربنات ثانویه (کلسیت) در زمینه و فضاهاى خالی ث- نمایی از نمونه دستی و سطح تازه واحد سنگی آندزیت بازالت ج- تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی آندزیت بازالت چ- تصویر میکروسکوپی از تجمع درشت بلورهای فنوکریست کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن و پلاژیوکلاز درون خمیره ریزبلور در واحد سنگی آندزیت بازالت ح- تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی آندزیت با تجمعات گلومروپورفیریتیک کانی‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن خ- تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی آندزیت، فنوکریست پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی مشخص در کنار بلورهای ریز تا درشت فنوکریست کلینوپیروکسن. تصاویر میکروسکوپی همه در نور پلاریزه متقاطع (XPL)

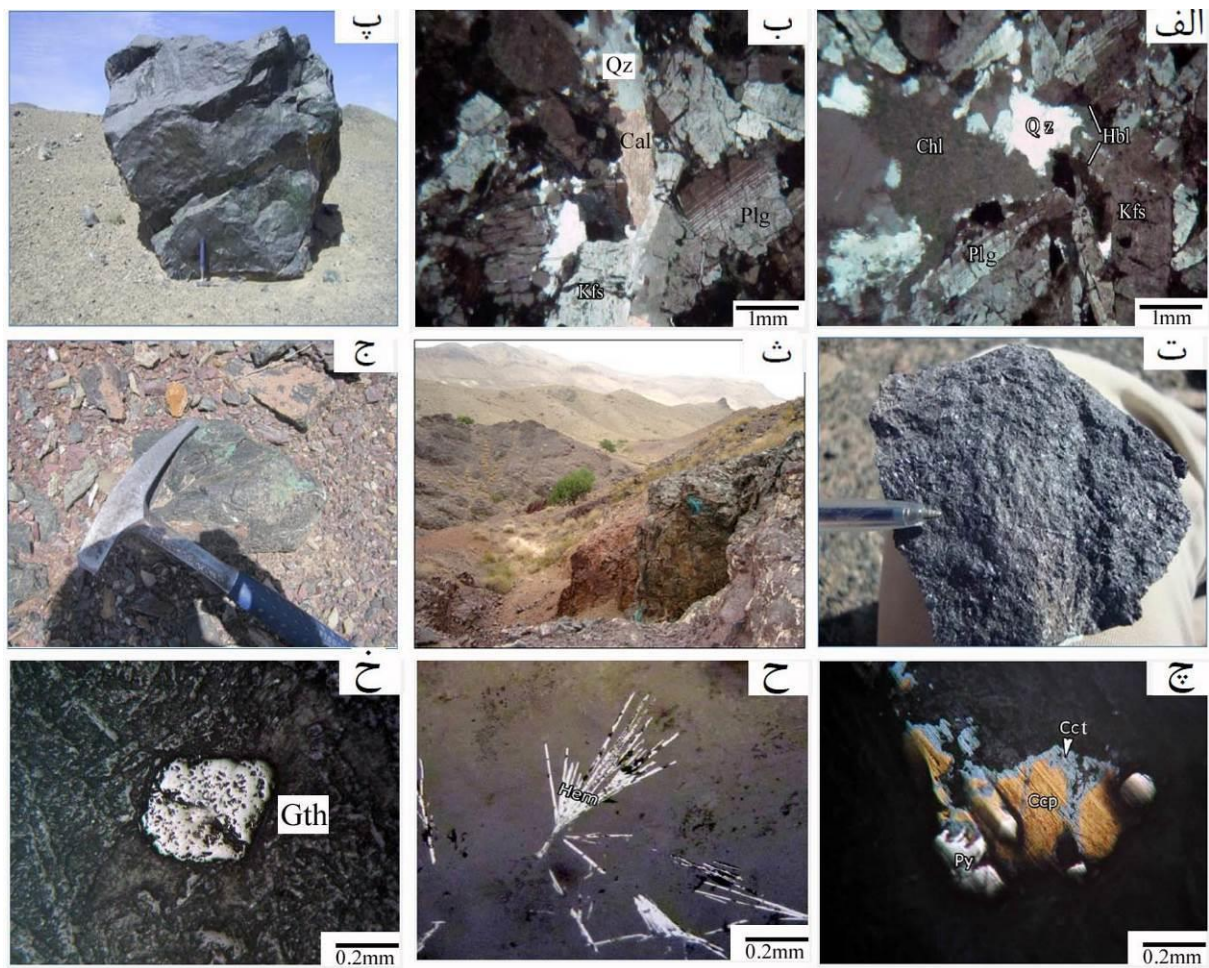
*علائم اختصاری از [۱۶] اقتباس شده است (Ol: الیون، Opx: ارتوپیروکسن، Cpx: کلینوپیروکسن، Srp: سربانتین، Plg: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت).

ج- واحد نفوذی

این واحد در دو نقطه، در مرکز و شرق محدوده اکتشافی رخنمون یافته است. با توجه به اینکه این واحد، واحدهای کرتاسه بالایی را قطع می‌کند، سن آن به بعد از کرتاسه بالایی، معادل پالتوسن و اثوسن تخمین زده می‌شود و انطباق خوبی با کانی‌سازی دارد (شکل ۳). این سنگ آذرین پلوتونیک در مقطع نازک، به‌عنوان کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت شناسایی می‌شود. واحد کوارتز مونزودیوریت دارای بافت گرانولار است که در آن فراوانی نسبی کانی پلاژیوکلاز به‌وضوح برجسته‌تر از کانی فلدسپار پتاسیک (ارتوکلاز) است. کوارتز اولیه به مقدار کم و به‌صورت پراکنده در فضای بین بلورهای فلدسپار یافت می‌شود. در این مقطع، رگچه‌های متعدد کوارتز و کلریت مشاهده می‌شود. از نظر درصد فراوانی کانی‌ها، این واحد شامل ۳۵-۴۰ درصد پلاژیوکلاز، ۲۰-۳۰ درصد آلکالی فلدسپار، ۵-۸ درصد هورنبلند که به کلریت تبدیل شده، ۵-۷ درصد کوارتز و حدود ۱۰-۲۰ درصد نیز شامل کانی‌های تیره، رگچه‌های سیلیس و کربنات است (شکل ۵ الف و ب). دگرسانی سیلیسی و کربناتی بصورت رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. همچنین، بلورهای فلدسپار به‌صورت ضعیف توسط کانی‌های رسی جانشین شده‌اند.

د- واحدهای رسوبی

واحدهای رسوبی موجود در این محدوده، که به‌عنوان واحد فیلیشی شناخته می‌شوند، شامل تناوبی از شیل و ماسه‌سنگ هستند که با میان لایه‌هایی از سنگ آهک فسیل دار (نومولیت) و مارن همراه هستند. این واحدها منطقه وسیعی را پوشش می‌دهند، به‌طوری‌که بیش از ۷۰ درصد از محدوده اکتشافی را در نیمه جنوبی و مرکز آن به خود اختصاص داده‌اند (شکل ۳).



شکل ۵- الف- تصویر میکروسکوپی از واحد کوارتز مونزودیوریت تصویر نور پلاریزه متقاطع (XPL) ب- رگچه کوارتز و کلسیت در واحد کوارتز مونزودیوریت تصویر نور پلاریزه متقاطع (XPL) پ- نمایی از توده کرومیت بصورت نابرجا در محدوده (دید عکس به سمت شمال) ت- نمایی از نمونه دستی و سطح تازه کرومیت (ث) نمایی از رخنمون کانی‌سازی مس به همراه آثار معدنکاری قدیمی (دید عکس به سمت شرق) ج- نمایی نزدیک از واحد کوارتز مونزودیوریت و کانی‌سازی مس به شکل مالاکیت در آن چ- کانی پیریت و کالکوپیریت و تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت از حاشیه. تصویر در نور XPL ح- بلورهای هماتیت اولیه (اسپیکولاریت) به شکل بادبزنی. تصویر در نور XPL خ- گوتیت که از جایگزینی پیریت ایجاد شده است. تصویر در نور XPL

*علائم اختصاری از [۱۶] اقتباس شده است (Qz: کوارتز، Hbl: هورنبلند، Chl: کلریت، Kfs: فلدسپار پتاسیوم، Plg: پلاژیوکلاز،

Cal: کلسیت، Cct: کالکوزیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت).

کانی‌سازی و زمین‌شیمی

با تلفیق اطلاعات به‌دست‌آمده از زمین‌شناسی، دورسنجی، دگرسانی و پی‌جویی‌های میدانی، چهار زون حاوی کانی‌سازی مشخص گردید (شکل ۲ ث). زون اول به کانی‌سازی کرومیت در سنگ‌های افیولیتی اختصاص دارد، در حالی که سایر زون‌ها به کانی‌سازی مس در سنگ‌های ولکانیکی عمدتاً آندزیتی و توده‌های نفوذی کوارتز مونزودیوریت مرتبط هستند.

الف- کانی‌سازی کرومیت

رخنمون کانی‌سازی کرومیت در محدوده مورد مطالعه، در جنوب غربی محدوده (زون ۱) واقع شده است. عدسی‌های کرومیتی با ابعاد مختلف در زمینه پریدوتیت-سرپانتینی و با روند تقریبی شرقی-غربی قرار دارند (شکل ۵ پ و ت). فرسایش و خردشدگی‌های بعدی منجر به از هم پاشیدگی این عدسی‌ها شده و واریزه‌هایی با ابعاد مختلف از آنها جدا گردیده است. با توجه به ویژگی‌های سنگ‌شناسی و خاستگاهی سنگ‌های میزبان، احتمال وجود ذخایر بیشتر در اعماق عمیق‌تر دور از انتظار نیست. براساس آنالیز شیمیایی یک نمونه، درصد اکسید کروم حدود ۳۹ درصد می‌باشد (جدول ۱).

جدول ۱- نتیجه آنالیز XRF نمونه کرومیت

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	MgO	MnO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	SO ₃	TiO ₂	LOI
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
ZSF-6	6.12	22.29	1.69	38.96	12.01	0.06	16.14	0.17	0.03	0.01	0.19	0.2	2.2

ب- کانی‌سازی‌های مس

کانی‌سازی مس در سه زون ۲، ۳ و ۴ مشاهده می‌شود (شکل ۲ ث). در این محدوده، کانی‌سازی مس در سنگ‌های زیر واحد اولترابازیک به‌صورت رگه و رگچه در درزها و شکستگی‌ها و همچنین در همبری این سنگ‌ها با واحدهای ولکانیکی مانند واحد آندزیت-بازالت و توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت رخ داده است (شکل ۵ ث و ج). این کانی‌سازی به‌طور عمده به شکل رگه‌ای و رگچه‌ای مشاهده می‌شود. براساس شواهد میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده، دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی به‌عنوان عمده‌ترین نوع دگرسانی حاشیه رگه‌ها شناخته می‌شود و ضخامت آنها از چند سانتی‌متر تا یک متر متغیر است. به دلیل تأثیر شدید فرایندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی ثانویه سولفیدی و کربناته در این منطقه

گسترش وسیعی یافته است. با توجه به مجموعه کانی‌شناسی مشاهده‌شده، کانی‌سازی عمده در سطح شامل ملاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به میزان کمتری کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوپیریت و کالکوزیت است (شکل ۵ چ، ح و خ). این کانی‌سازی به‌صورت شکافه پرکن و در برخی قسمت‌ها به‌صورت پراکنده در متن سنگ و درون سنگ‌های ولکانیکی (عمدتاً آندزیت-بازالت) وجود دارد. در اثر فرآیند گسلش، فضای مناسبی برای حرکت محلول‌های عمقی به سمت بالا فراهم می‌شود. پس از به‌وجود آمدن این فضا، کانی‌سازی در مرحله هیپوژن به دو زیرمرحله ابتدایی و انتهایی تقسیم می‌گردد. هماتیت‌های تیغه‌ای به‌صورت دسته‌جاری در آغاز، به‌دلیل بالا بودن فوگاسیته اکسیژن از سیال‌ها جدا شده‌اند (شکل ۵ ح). در ادامه این زیرمرحله، کانی‌های سولفیدی شامل کالکوپیریت و پیریت به همراه کوارتز تشکیل می‌شوند (شکل ۵ چ). پس از کانه‌زایی اولیه، کانی‌سازی سولفیدی برونزاد شامل کالکوزیت رخ داده است، که به‌صورت جانشینی از حاشیه و در طول شکستگی‌ها، جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۵ چ). تأثیر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی بین کانه‌ها و محیط پیرامون، منجر به تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه نظیر ملاکیت و گوتیت شده است. توالی پاراژنتیکی کانه‌ها و کانی‌های باطله در منطقه مورد مطالعه در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲- توالی پاراژنتی در منطقه چاه‌راسته.

Mineral	Early stage	Late stage	Oxidation zone
Quartz			
Chalcopyrite			
Pyrite			
Chalcocite			
Malachite			
Hematite			
Goethite			

در سه زون کانی سازی مس، کنده کاری های نسبتاً بزرگ و قدیمی مشاهده می شود. حفاری های قدیمی در زون های گسلی که واحدهای اولترابازیکی را قطع می کنند، انجام شده است. موقعیت کارهای قدیمی و نتایج آنالیز عنصر مس در جدول ۳ ارائه شده است. از نظر زمین شیمی، غلظت عنصر مس از حدود ۰/۳ تا حداکثر ۲/۳ درصد متغیر می باشد. همچنین غلظت عنصر طلا در پنج نمونه آنالیز شده، از ۵ تا حداکثر ۳۴۶ میلی گرم در تن متغیر می باشد.

جدول ۳- لیست و نتیجه نمونه های برداشت شده از کارهای قدیمی

ردیف	شماره نمونه	مختصات و محل برداشت			میزان مس	میزان طلا
		محل برداشت	X	Y	ppm	pbb
۱	S1	کنده کاری قدیمی	762304	3582909	8821	129
۲	S2	کنده کاری قدیمی	762272	3582930	5592	14
۳	S3	کنده کاری قدیمی	762230	3582936	11763	
۴	S4	کنده کاری قدیمی	762198	3582935	16102	5
۵	S5	کنده کاری قدیمی	762164	3582959	3011	
۶	S6	کنده کاری قدیمی	762142	3582979	22605	
۷	S7	کنده کاری قدیمی	762105	3583009	7422	16
۸	S8	کنده کاری قدیمی	762062	3583060	15756	
۹	S9	کنده کاری قدیمی	762147	3583014	12409	
۱۰	S10	کنده کاری قدیمی	762197	3583018	23111	
۱۱	S11	کنده کاری قدیمی	762163	3582947	22404	346
۱۲	S12	کنده کاری قدیمی	762158	3583087	20612	
۱۳	S13	کنده کاری قدیمی	762211	3583100	13506	

پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER و ETM نشان‌دهنده وجود زون‌های دگرسانی متنوعی نظیر سیلیسی، اکسیدهای آهن، کلریتی و سریسیتی با گسترش محدود در محدوده اکتشافی چاهراسته است. از این زون‌ها، دگرسانی سریسیتی در مرکز محدوده اکتشافی هماهنگی خوبی با رخنمون واحد نفوذی کوارتز مونزودیوریت و کانی‌سازی دارد. با انجام بررسی‌های میدانی و میکروسکوپی، واحدهای سنگی در محدوده مورد مطالعه شامل سنگ‌های اولترامافیک، سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی و سنگ‌های رسوبی شناسایی شده‌اند. در زون‌های ۲، ۳ و ۴ که حاوی کانی‌سازی مس هستند، کانی‌های فلزی شامل هماتیت، پیریت و کالکوپیریت به صورت پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای در متن میزبان ولکانیکی و توده‌های نفوذی مشاهده می‌شوند. کانی‌های ثانویه شامل کالکوزیت، مالاکیت، گوتیت و سایر اکسید و هیدروکسیدهای آهن دار می‌باشند. کانی غیرفلزی اصلی همراه با کانی‌سازی، کوارتز با بافت شانه‌ای است که احتمالاً به‌طور همزمان با کانی‌سازی توسط محلول‌های گرمایی ته‌نشین شده است.

در محیط‌های هیدروترمالی، ته‌نشست کانه از سیال به دلیل واکنش سیال با سنگ دیواره و جوشش سیال کانه‌دار انجام می‌شود [۱۷]. در محدوده اکتشافی چاهراسته، به دلیل وجود هاله دگرسانی در اطراف رگه‌ها و رگچه‌ها، به نظر می‌رسد که واکنش سیال با سنگ دیواره عامل ته‌نشست کانه‌ها بوده است. اگرچه کانی‌سازی رگه‌ای می‌تواند نشانه‌ای از کانی‌سازی وسیع پورفیری مرتبط با توده‌های نفوذی در منطقه باشد [۱۸]، اما با توجه به گسترش محدود زون‌های دگرسانی در محدوده اکتشاف چاهراسته، وجود یک سیستم بزرگ کانی‌سازی نظیر کانی‌سازی پورفیری بعید به نظر می‌رسد. با توجه به فرم کانی‌سازی به شکل پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای، و همچنین دگرسانی همراه زون کانی‌سازی و همجواری با توده نفوذی، به نظر می‌رسد کانه‌زایی در محدوده چاهراسته در اثر عبور سیالات گرمایی با منشاء احتمالاً ماگمایی درون سیستم گسلی ایجاد شده است.

در زون کانی‌سازی شماره ۱، پتانسیل بالای اکتشافی برای کانی‌سازی کرومیت وجود دارد. نیکولاس (۱۹۸۹) معتقد است که کانسارهای کرومیت نوع آلپی در همراهی با سنگ‌های اولترامافیک که در پوسته اقیانوسی شکل گرفته‌اند، مشاهده می‌شوند [۱۹]. اگرچه خاستگاه کرومیت‌های آلپی و ترکیب شیمیایی آن‌ها یکی از موضوعات مورد بحث در زمین‌شناسی است [۲۰]، اما به نظر می‌رسد کانی‌سازی کرومیت در این محدوده به دلیل همراهی با واحدهای سنگی اولترامافیک از نوع آلپی باشد.

در محدوده اکتشافی چاه‌راسته، به‌علت وجود کانی‌سازی‌های رگه‌ای، آثار کنده‌کاری‌های قدیمی و ناهنجاری‌های زمین‌شیمیایی، پتانسیل بالایی برای کانی‌سازی عنصر مس در زون‌های ۲، ۳ و ۴ و همچنین کانی‌سازی کرومیت در زون ۱ وجود دارد. بنابراین، ادامه اکتشافات در این محدوده ضروری است.

قدردانی

نویسندگان مقاله از سازمان صنعت، معدن و تجارت خراسان جنوبی، بخصوص جناب آقای مهندس حجت ایمان طلب معاون امور معادن و صنایع معدنی آن سازمان بدلیل دراختیار گذاشتن اطلاعات قبلی تشکر می نمایند.

منابع

- [1]Aghanabati, S. A., "Geology of Iran (in Persian)", Geological Survey of Iran, Tehran, (2004), 586 pp.
- [2]Esmaeily, D., Nedelec, A., Valizadeh, M.V., Moore, F. and Cotton, J., "Petrology of the Jurassic Shah-kuh granite (eastern Iran), with reference to tin mineralization", *Journal of Asian Earth Sciences*, 25(6), (2005), 961–980. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.003>
- [3]Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Stern, C. R., Farmer, L., "Petrogenesis of Granitoids, U-Pb zircon geochronology, Sr-Nd isotopic characteristics, and important occurrence of Tertiary mineralization within the Lut Block, eastern Iran (in Persian)", *Journal of Economic Geology* 4(1), (2012), 1–27. <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13391>
- [4]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 (in Persian)", Unpublished PhD Thesis, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran, (2009), 536 pp.
- [5]Abdi, M., Karimpour, M. H., "Geology, alteration, mineralization, petrogenesis, geochronology, geochemistry, and airborne geophysics of Kuh Shah prospecting area, SW Birjand (in Persian)", *Journal of Economic Geology* 4(1), (2012), 77–107. <https://doi.org/10.22067/econg.v4i1.13394>
- [6]Arjmandzadeh, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., Santos, J. F., Medina, J., Homam, S. M., "Sr-Nd isotope geochemistry and petrogenesis of the Chah-Shaljami granitoids (Lut Block, Eastern Iran)", *Journal of Asian Earth Sciences* 41(3), (2011), 283–296. <https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2011.02.014>

- [7]Miri Beydokhti, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., "Studies of remote sensing, geology, alteration, mineralization, and geochemistry of Balazard copper-gold prospecting area, west of Nehbandan (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 22(3), (2014), 459–470. <http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html>
- [8]Arjmandzadeh, R., Santos, J. F., "Sr-Nd isotope geochemistry and tectonomagmatic setting of the Dehsalm Cu-Mo porphyry mineralizing intrusive from Lut Block, eastern Iran", *International Journal of Earth Sciences* 103, (2014), 123–140. <https://doi.org/10.1007/s00531-013-0959-4>
- [9]Almasi, A., Miri Beydokhti, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., "An approach to the genesis of Mahoor copper deposit, southwest of Nehbandan, based on mineralogy, fluid inclusions, and sulfur isotopes studies (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 29(3), (2021), 619–636. <http://ijcm.ir/article-1-1652-fa.html>
- [10]Miri Beydokhti, R., Karimpour, M. H., Mazaheri, S. A., "Studies of remote sensing, geology, alteration, mineralization, and geochemistry of Balazard copper-gold prospecting area, west of Nehbandan (in Persian)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 22(3), (2014), 459–470. <http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html>
- [11]Eftekhar Nezhad, J., Stocklin, J., "Geological map of Birjand, scale 1:250000", Geological Survey of Iran, (1999).
- [12]Nazari, H., Salamati, R., "Geological map of Sahlabad, scale 1:100000", Geological Survey of Iran, (1999).
- [13]Malekzadeh Shafaroudi, A., Haidarian Shahri, M. R., Karimpour, M. H., "Mineralization and geophysical exploration by IP/RS and ground magnetic survey in MA-I and surrounding area, Maherabad porphyry Cu-Au prospect area, east of Iran", *Journal of Economic Geology* 1(1), (2010), 1–17. <https://doi.org/10.22067/econg.v1i1.3678>
- [14]Abbaszadeh, M., Hezarkhani, A., "Hydrothermal alteration mapping using ASTER images in the Rabor area, Kerman", *Geosciences* 20(78), (2011), 123–128. <https://sid.ir/paper/31990/en>
- [15]Saebfar, V., "Final report of copper exploration in Chah Rasteh copper prospecting area", (1393), 1–245.
- [16]Whitney, D. L., Evans, B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95(1), (2010), 277–279. <https://doi.org/10.2138/am.2010.3371>
- [17]Hedenquist, J. W., Arribas, A., Gonzalez-Urien, E., "Exploration for epithermal gold deposits", (2000).
- [18]Sillitoe, R. H., "Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery", *SEG Reviews* 13, (2000), 315–345.

[19]Nicolas, A., "Structure of Ophiolites and Dynamics of Oceanic Lithosphere", Kluwer, Dordrecht, (1989), 367 pp.

[20]Rollinson, H., "The geochemistry of mantle chromitites from the northern part of the Oman ophiolite: Inferred parental melt compositions", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 156, (2008), 273–288. <https://doi.org/10.1007/s00410-008-0285-1>

مجله دانش زمین