

بررسی‌های دورسنجی، زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی در گستره اکتشافی مس چاه‌راسته، جنوب غرب سربیشه، خراسان جنوبی

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

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

۲- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۷/۳۰، نسخه نهایی: ۱۴۰۳/۱۰/۱۵)

چکیده: گستره اکتشافی چاه‌راسته، در فاصله تقریبی ۲۵ کیلومتری جنوب‌غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی و در مرکز ایالت زمین‌ساختی قطعه لوت قرار دارد. سنگ‌شناسی منطقه شامل واحدهای آتشفشانی چون آندزیت، آندزیت-بازالت و بازالت، توده‌های فرامافیک چون هارزبورگیت، سرپانتینیت، لرزولیت، پریدوتیت و ورلیت، توده‌های نفوذی مانند کوارتز مونزودیوریت و واحدهای رسوبی و کواترنر است. پی‌جویی اولیه در این منطقه با پردازش داده‌های ماهواره‌ای آستر و لندست به روش‌های نسبت نواری و ترکیب رنگی تصاویر و کمترین مربع‌های وایزش شده برای مشخص کردن پهنه‌های احتمالی دگرسانی انجام شد و هاله‌های دگرسانی مختلف شامل آغشتگی‌های ثانویه به اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کلریت و سریسیت بارزسازی شدند. دو نوع کانی‌سازی در گستره اکتشافی چاه‌راسته شناسایی گردید. نوع اول کانی‌سازی عنصر مس به‌شکل افشان، رگه‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. مجموعه کانیاپی درون‌زاد شامل هماتیت، پیریت و کالکوپیریت است. همچنین کانی‌های ثانویه کالکوزیت، مالاکیت و گوتیت دیده می‌شوند. نوع کانی‌سازی به-شکل افشان، رگه‌ای و رگچه‌ای، گسترش محدود دگرسانی‌ها پیرامون کانی‌سازی و نیز ارتباط آن‌ها با سنگ‌شناسی و کنترل ساختاری، نشانگر حضور یک کانسار مس رگه‌ای نوع فراگرمایی است. نوع دوم کانی‌سازی کرومیت بوده که در منطقه بدلیل همراهی با واحدهای سنگی فرامافیک به احتمال بسیار از نوع آلپی است.

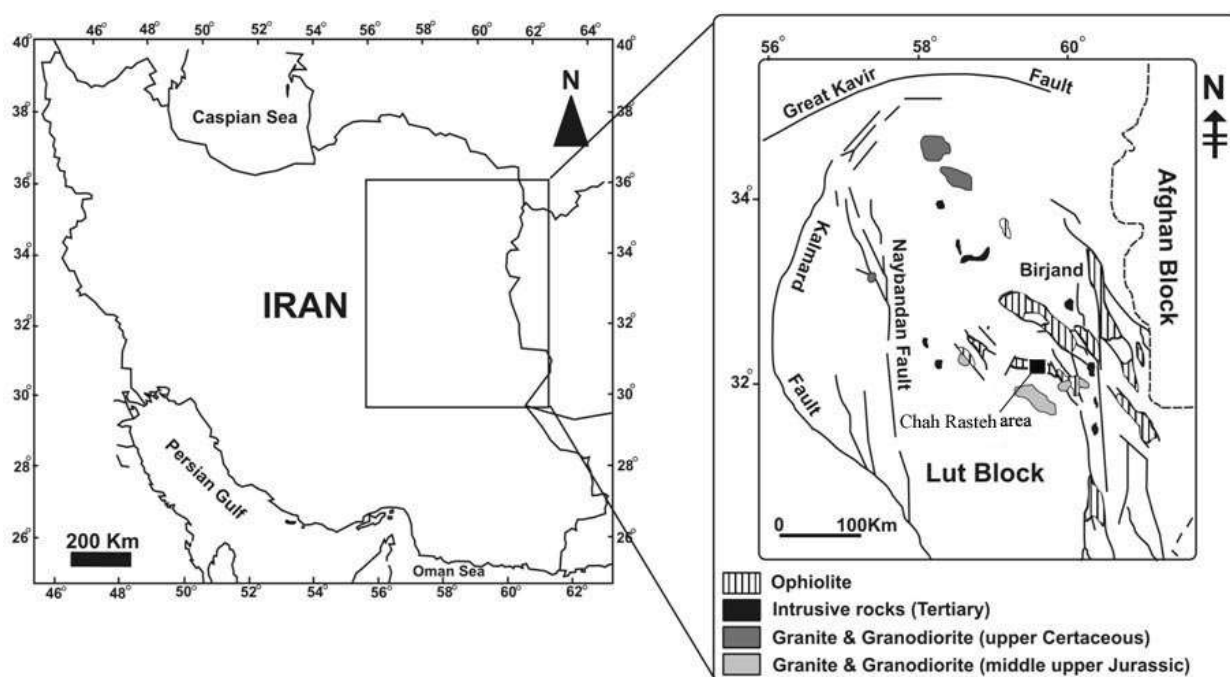
واژه‌های کلیدی: دورسنجی؛ زمین‌شناسی؛ دگرسانی؛ فراگرمایی؛ چاه‌راسته؛ سربیشه؛ قطعه لوت.

مقدمه

اوج خود رسیده است، به‌طوری که حدود ۷۵ درصد سنگ‌های این قطعه واحدهای آتشفشانی و نفوذی هستند [۲]. وجود موقعیت‌های زمین‌ساختی متنوع در گذشته و همچنین حجم بالای فعالیت‌های ماگمایی با ویژگی‌های زمین‌شیمیایی متفاوت، این قطعه را به یک منطقه با امکان بالای تشکیل کانی‌سازی‌های مختلف فلزی و غیرفلزی تبدیل کرده است [۳]. در این قطعه، کانی‌سازی‌های متعددی گزارش شده است که از مهم‌ترین آنها می‌توان به کانسارهای مس-طلا با خاستگاه پورفیری در ماهرآباد و خوپیگ [۴]، طلاهای فراگرمایی سولفید

گستره اکتشافی چاه‌راسته در شرق ایران و در ۲۵ کیلومتری جنوب‌غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی واقع است. این منطقه در گستره 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 تقسیم‌های ساختاری، این منطقه در بخش مرکزی قطعه لوت واقع است [۱]. از ویژگی‌های بی-مانند قطعه لوت، فعالیت‌های ماگمایی آن است که از ژوراسیک میانی، با نفوذ باتولیت شاه‌کوه نه‌بندان آغاز و در ترشیاری به

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۹۱۵۳۶۲۴۹۸۴، پست الکترونیکی: roholamiri@gmail.com



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی گستره اکتشافی چاهراسته در شرق ایران و قطعه لوت. تصویر پایه برگرفته از مرجع [۱۳] است.

۱:۱۰۰۰۰۰ سهل‌آباد، این مجموعه سنگی وابسته به دوران مزوزوئیک است [۱۲]. سنگ‌های این واحد شامل فرامافیک‌ها و مافیک‌ها همراه با دایک‌های صفحه‌ای، رادیولاریت و سنگ آهک‌های گودابه‌ای هستند. این واحد دستخوش دگرسانی شده و با تجزیه و تخریب بافت سنگ، کانی‌الیوین تبدیل به سرپانتین شده است. غالب‌ترین سیمای چینه‌شناسی در منطقه مورد بررسی واحد فیلیش است. واحد فیلیشی در منطقه مورد بررسی از دیدگاه سنگ‌شناسی از تناوب شیل و ماسه سنگ با میان‌لایه‌هایی از سنگ آهک فسیل‌دار (نومولیت) و مارن تشکیل شده است و منطقه گسترده‌ای را زیر پوشش دارد، به طوری که بیش از ۷۰ درصد منطقه را در نیمه جنوبی و مرکز آن شامل می‌شود. سن تعیین شده برای این سازند کرتاسه پایانی تا پالئوسن است [۱۲]. بررسی‌های این پژوهش نشان داد که واحدهای آتشفشانی و نفوذی نیز در منطقه برونزد دارند. برپایه بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده، واحدهای سنگی در گستره پی‌جویی چاهراسته را می‌توان به چهار بخش توده‌های فرامافیک، توده‌های نفوذی حادواست، واحدهای آتشفشانی و واحدهای رسوبی تقسیم کرد. واحدهای آتشفشانی شامل رخنمون‌های آندزیت، آندزیت بازالت و بازالت هستند که بر اساس بررسی‌های سنگ‌نگاری شناسایی شده‌اند و از بین

بالای کوه‌شاه [۵]، چاه شلغمی [۶] و بالازرد [۷]، کانی‌سازی مس پورفیری و اسکارن در دهسلم [۸]، و همچنین کانسارهای فراگرمایی چندفلزی مس-روی در ماهور [۹، ۱۰] اشاره کرد. وجود کنده‌کاری‌های استخراجی متعدد و سرباره‌های ذوب در گستره اکتشافی نشان دهنده قدمت معدنکاری در این منطقه است. درباره تاریخ معدنکاری در این منطقه اطلاعات دقیقی در دست نیست، اما با توجه به شیوه معدنکاری به نظر می‌رسد که بیشتر آن شدادی بوده و بخش کمتری نیز در سده گذشته انجام شده باشد. از کارهای علمی و پی‌جویی‌هایی اصولی در این ناحیه، می‌توان به تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند [۱۱] و نقشه‌های زمین‌شناسی و زمین‌شیمی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل‌آباد [۱۲] و همچنین اجرای طرح پی‌جویی-های جنوب خراسان در سال ۱۳۸۱ توسط سازمان زمین‌شناسی و پی‌جویی‌های معدنی کشور اشاره نمود. در این پژوهش، داده‌های زمین‌شناسی با تاکید ویژه بر شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی، دگرسانی، کانی‌سازی، زمین‌شیمی و تحلیل سامانه کانی‌سازی در منطقه به دست آمده است.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

در گستره اکتشافی چاهراسته، قدیمی‌ترین سنگ‌ها با نام آمیزه رنگین شناخته می‌شوند. براساس نقشه زمین‌شناسی

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

روش بررسی

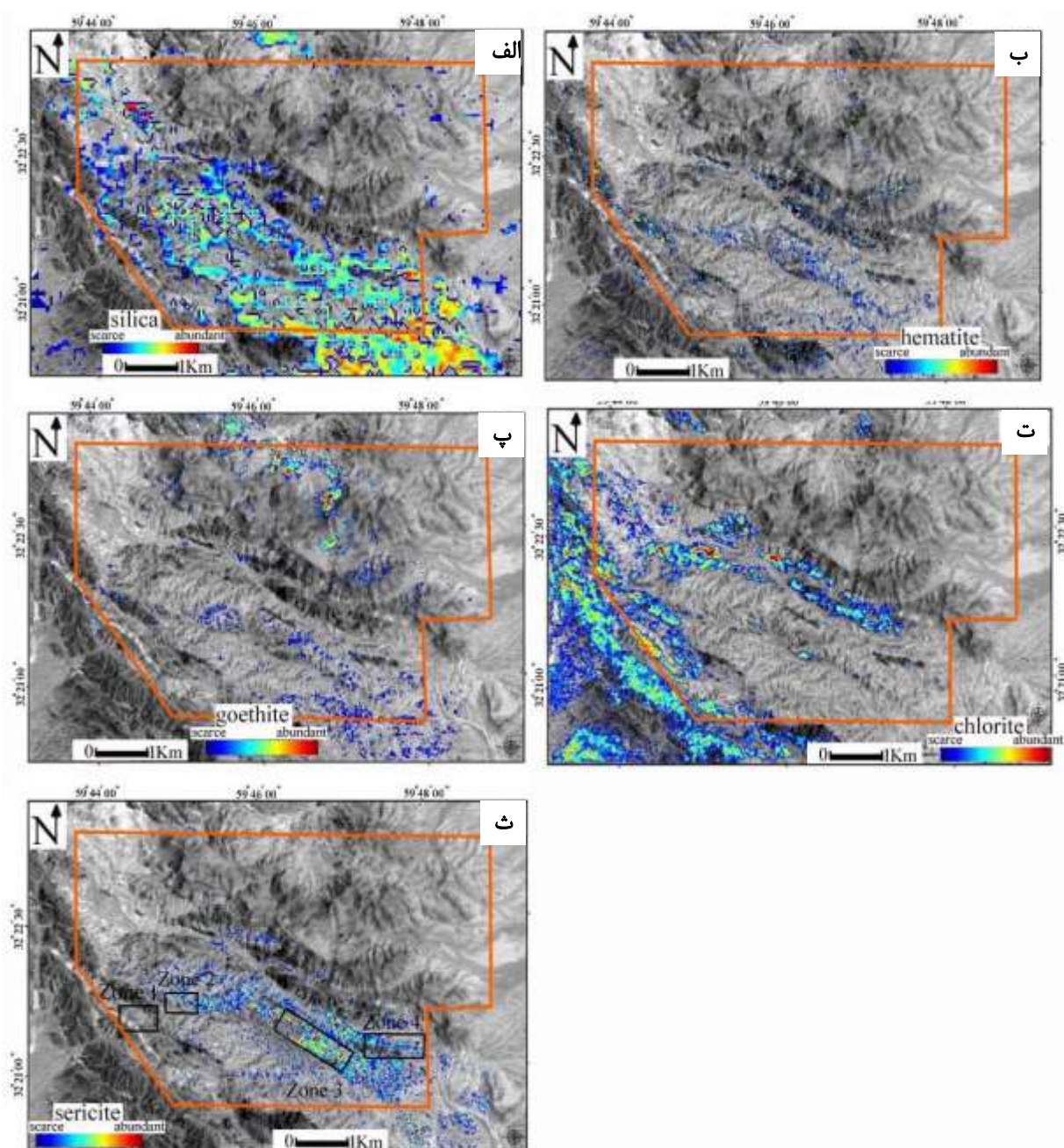
این پژوهش بر پایه بازدیدهای صحرایی، نمونه‌برداری از واحدهای سنگی و بررسی‌های آزمایشگاهی انجام شده است. مراحل اصلی پژوهش شامل پردازش تصاویر ماهواره‌ای، بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی هستند. برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از تصاویر ETM+ و ASTER به منظور تفکیک پهنه‌های دگرسانی و بررسی شدت و پراکندگی آنها استفاده شد. این پردازش‌ها با نرم‌افزار ENVI 4.3 انجام شد. در بخش بررسی‌های صحرایی، واحدهای سنگی، برخوردگاه واحدها و ساختارهای زمین ساختی در منطقه شناسایی گردید. همچنین بیش از ۵۰ نمونه از واحدهای سنگی برای بررسی‌های سنگ‌شناسی، دگرسانی و کانی‌سازی برداشت شد. افزون بر این، ۲۵ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی تهیه و بررسی شد و نقشه زمین‌شناسی منطقه با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰ تهیه گردید. در بخش بررسی‌های آزمایشگاهی، یک نمونه خرده‌سنگی از کرومیت برداشت و به روش طیف‌سنجی فتورسانس پرتوی ایکس (XRF) تجزیه شد. همچنین ۱۳ نمونه سنگی از عرض پهنه‌های کانی‌سازی از محل حفاری‌های قدیمی برداشت، آماده‌سازی و برای تجزیه عنصر مس به روش جذب اتمی به آزمایشگاه بلور آمیتیس شرق ارسال شد. برای بررسی کانی‌سازی طلا، پنج نمونه سنگی از عرض پهنه‌های کانی‌سازی از محل حفاری‌های قدیمی برداشت و به روش عیارسنجی گرمایی در شرکت زرآرما تجزیه شد. در این روش، تجزیه طلا با استفاده از مواد کمک ذوب شامل اکسید سرب، بوراکس و سودا اش، طی فرایندهای گداختی، قالدکاری (Cupellation) و انحلال اسیدی انجام شد. اندازه‌گیری عیار طلا نیز با طیف‌سنج نشر نوری پلاسمای جفت شده القایی (ICP-OES) انجام شد.

بحث

بررسی‌های دورسنجی

بررسی‌های دورسنجی و به‌کارگیری داده‌های ماهواره‌ای برای بارزسازی پهنه‌های دگرسانی، در دهه‌های گذشته بسیار مورد توجه قرار گرفته است [۱۴]. برای بررسی کانی‌سازی و تعیین

مناطق احتمالی مستعد کانی‌سازی در منطقه، از داده‌های ماهواره‌ای ASTER و ETM استفاده شد. داده‌های پوششی انتخاب شده از بایگانی، شامل سه منظر از داده‌های سنجنده ASTER و دو منظر از داده‌های ETM است. برای پردازش این تصاویر از روش‌های نسبت نواری و ترکیب رنگی تصاویر و کمترین مربع‌های واسنجی شده برای مشخص کردن پهنه‌های احتمالی دگرسانی، استفاده شد. کانی‌های بارزسازی شده از نتایج این بررسی‌ها شامل هماتیت، سیلیس، گوتیت، سربیسیت و کلریت هستند. شدت و گسترش پراکندگی این کانی‌ها منجر به شناسایی و تفکیک دگرسانی‌های مختلف شده است (شکل ۲). دگرسانی سیلیسی‌شدن بصورت گسترده در منطقه اکتشافی دیده می‌شود (شکل ۲ الف)، اما بخش اصلی سیلیس بارزسازی شده روی آمیزه‌های رنگی قرار می‌گیرد که از نظر کانی‌سازی اهمیت ویژه‌ای ندارد. در این پژوهش، نخست فراوانی و توزیع اکسیدهای آهن در منطقه مورد بررسی به صورت جامع نقشه‌برداری شد و سپس به دو گروه اصلی 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، بخش وسیع‌تری را پوشش می‌دهند و بیشتر در بخش‌های نقشه‌برداری شده روی سنگ‌های بازالتی قرار دارند (شکل ۲ پ). تفسیر این کانی‌ها در ارتباط با امکان کانی‌سازی احتمالی با دشواری‌هایی همراه است. از سوی دیگر، کلریت در کنار آمفیبول، اپیدوت، سربانتین و تالک، به عنوان مهم‌ترین کانی‌های شاخص محیط‌های فرامافیک شناخته می‌شوند. نقشه‌های فراوانی این کانی‌ها بر اساس رفتار طیفی مشخصه آنها از داده‌های سنجنده استر استخراج شد که در شکل ۲ ت ارائه گردیده است. در منطقه مورد بررسی، کلریتی‌شدن به عنوان گسترده‌ترین نوع دگرسانی شناسایی شده است که بیشتر روی سنگ‌های فرامافیک رخ داده، اگرچه گسترش این کانی در سایر واحدهای سنگی نیز دیده 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 سامانه‌های گرمایی نداشته باشد.



شکل ۲ الف) موقعیت و فراوانی سیلیس سنگ، استخراج شده از داده‌های استر، ب) موقعیت و فراوانی کانی هماتیت، پ) موقعیت و فراوانی گوتیت استخراج شده از داده‌های ETM، ت) موقعیت و فراوانی کلریتی شدن (کانی‌های $Mg - OH$) استخراج شده از داده‌های استر و ج) موقعیت و فراوانی دگرسانی سربستی استخراج شده از داده‌های استر همراه با پهنه‌های کانی‌سازی در گستره اکتشافی چاه‌راسته.

نواحی استخراج شده در این گستره به عنوان دگرسانی سربستی، در بخش‌های میانی که بر توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت و پهنه کانی‌سازی واقع هستند، همخوانی دارد. از این رو، احتمال وجود ارتباط زایشی میان آنها و دگرسانی‌های گرمابی وجود دارد.

دگرسانی سربستی ناشی از تخریب فلدسپات‌ها، به همراه تشکیل کانی ایلیت دیده می‌شود. بر اساس داده‌های استر، این کانی و سایر میکاهای سفید (چون موسکویت، فنزیت، پاراگونیت و اسمکتیت دارای آلومینیوم) به صورت یک گروه واحد قابل تفکیک و نقشه‌برداری هستند. نقشه توزیع فراوانی این دگرسانی در شکل ۲ ث نمایش داده شده است. بسیاری از

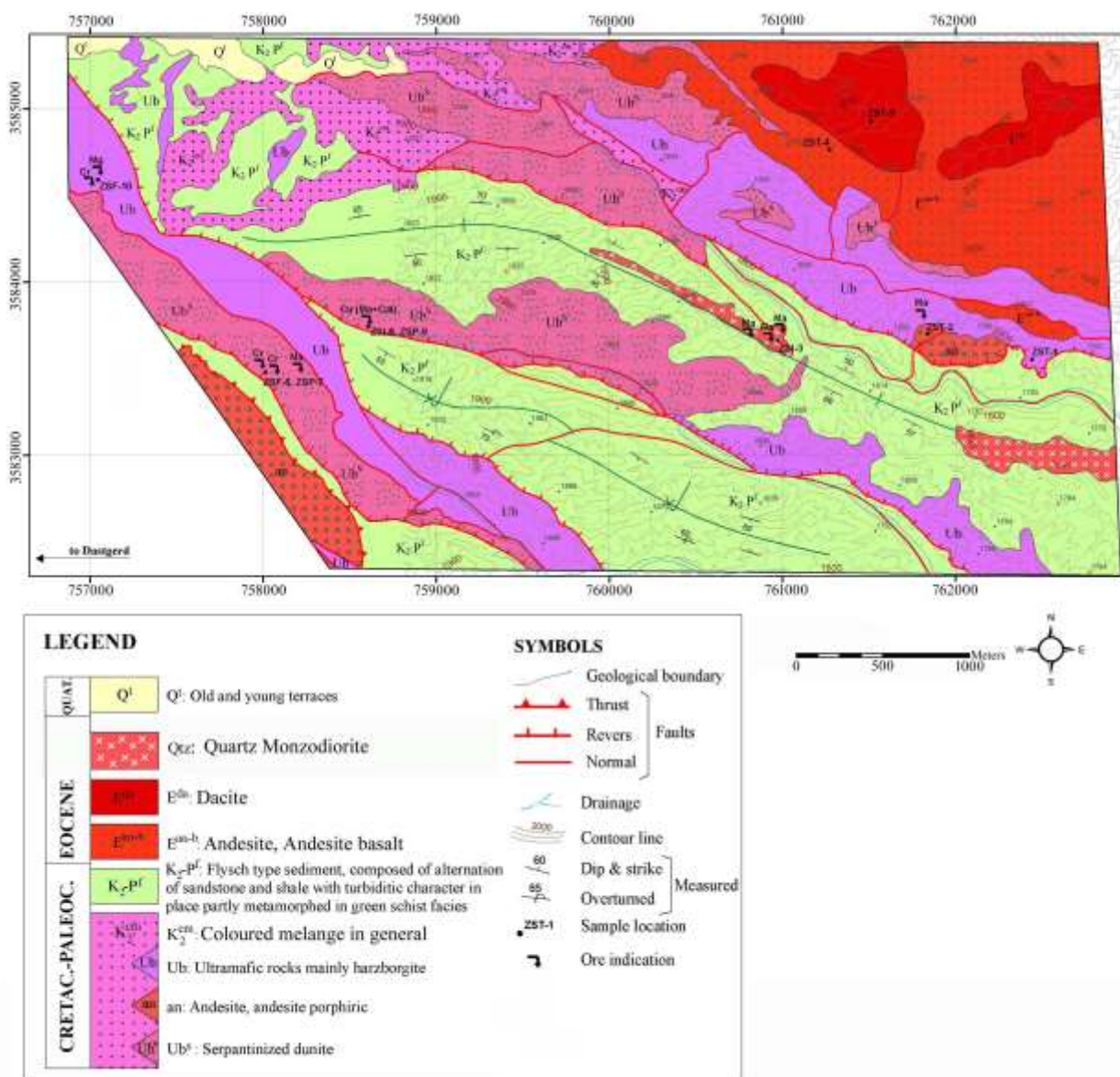
ورلیت در بررسی‌های میکروسکوپی به دلیل فراوانی دانه‌های الیوین هم اندازه، شناسایی می‌شود (شکل ۴ ت). فضای بین بلورهای الیوین با انبوهه‌های بی‌شکل و دانه‌های کلینوپیروکسن بین‌منفذی به طور محلی پر شده است. بلورهای الیوین اغلب به شدت سرپانتینیته شده و با رگچه و لکه‌های اکسید آهن ثانویه جانشین شده‌اند. همچنین بلورهای کلینوپیروکسن نیز به صورت کم و بیش سرپانتینیته شده و به صورت محلی با کانی‌های کربنات جانشین شده‌اند. کربنات در قالب رگه‌ها در زمینه و همچنین درون حفره‌ها دیده می‌شود (شکل ۴ ت).

زمین‌شناسی منطقه

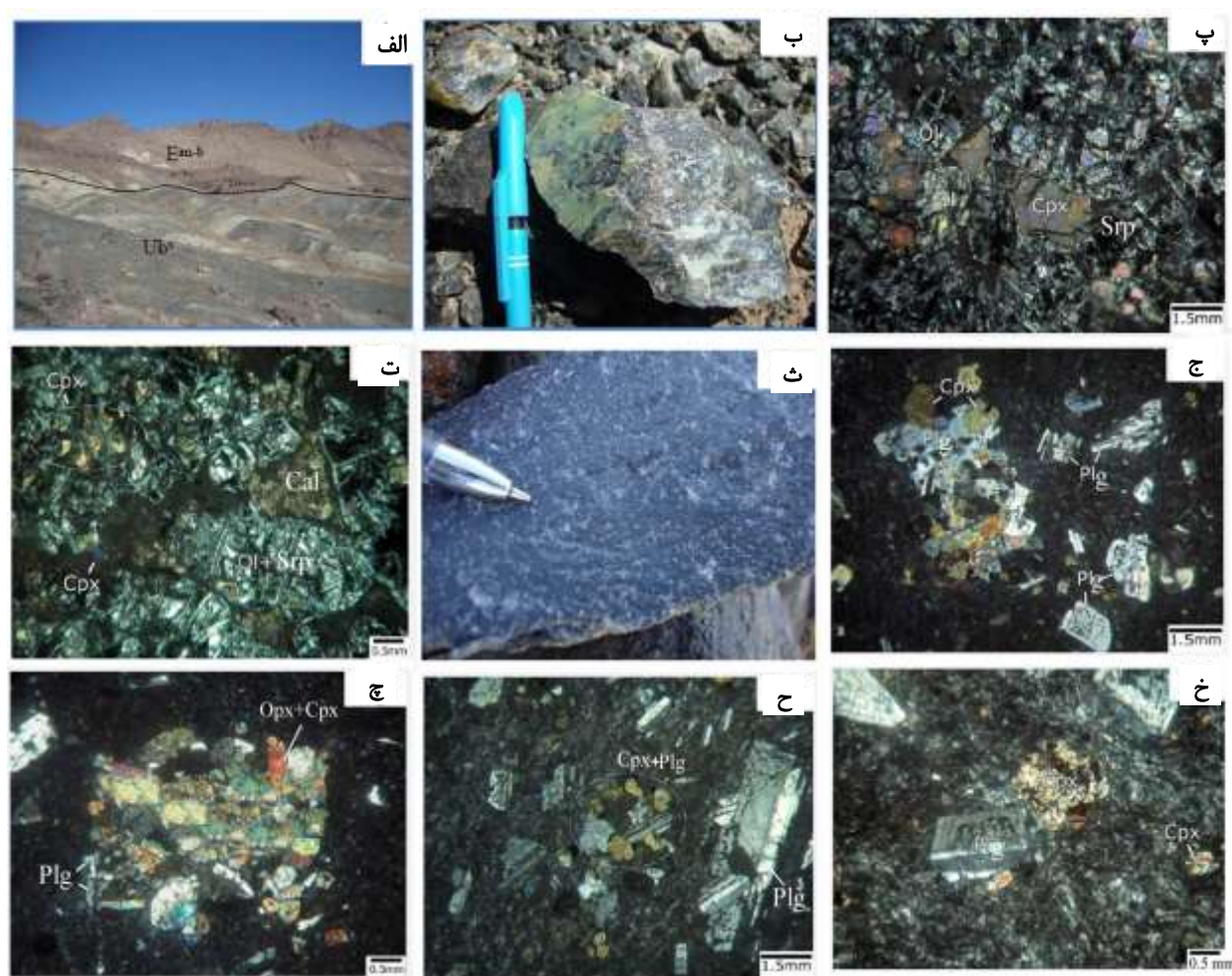
براساس بررسی‌های صحرایی و سنگ‌نگاری، واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و توده‌های نیمه‌عمیق واحدهای تشکیل دهنده منطقه مورد بررسی هستند (شکل ۳).

توده‌های فرامافیک

در منطقه مورد بررسی، توده‌های فرامافیک شامل هارزبورگیت، سرپانتینیت، لرزولیت، پریدوتیت و ورلیت دیده می‌شوند (شکل‌های ۴ الف و ب). ترکیب کانی‌شناسی غالب این توده‌ها شامل کانی‌هایی چون الیوین، پیروکسن، سرپانتین و کانی‌های فرعی مانند آمفیبول، کرومیت و منیزیت است. واحد سنگی



شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی گستره اکتشافی چاه راسته برگرفته از مرجع [۱۵] با کمی تغییر.



شکل ۴ الف) نمایی کلی از رخنمون واحد فرامافیک و واحد آندزیت-بازالت (دید به سمت شمال شرق)، ب) نمایی از نمونه دستی واحد سنگی فرامافیک، پ) تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی ورلایت، ت) رگچه و انبوهه‌های کربنات ثانویه (کلسیت) در زمینه و فضاها 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 انباشت درشت بلورهای کلینوپیروکسن، ارتوپیروکسن و پلاژیوکلاز درون خمیره ریزبلور در واحد سنگی آندزیت بازالت، ح) تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی آندزیت با انبوهه‌های گلومروپورفیری کانی‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن و خ) تصویر میکروسکوپی از واحد سنگی آندزیت، درشت‌بلور پلاژیوکلاز با منطقه‌بندی مشخص در کنار بلورهای ریز تا درشت‌بلور کلینوپیروکسن. تصاویر میکروسکوپی همه در نور قطبیده متقاطع (XPL) ثبت شده‌اند. Ol: الیون، Opx: اورتوپیروکسن، Cpx: کلینوپیروکسن، Srp: سرپانتین، Plg: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت [۱۶].

واحدهای آتشفشانی

واحد آندزیت - بازالت: این واحد در شمال و شمال غرب برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل‌آباد، بخش‌هایی با گسترش قابل توجه را پوشش می‌دهد. بخش‌هایی از رخنمون‌های این واحد در منطقه مورد بررسی، دارای ریختار به نسبت ناهموار هستند و به شکل صخره‌های به نسبت بلند، بالاترین ارتفاع‌های منطقه را تشکیل می‌دهند. در نمونه‌های دستی، این سنگ‌ها بافت پورفیری را نشان می‌دهند، به‌طوری‌که بلورهای پلاژیوکلاز به‌صورت درشت بلور به‌خوبی قابل تشخیص هستند (شکل ۴ ث).

در مقطع نازک، بافت این سنگ‌ها به نوعی پورفیری و گلومروپورفیری است که با انبوهه‌هایی از کانی‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن در یک خمیره ریزسنگی-جریانی مشخص می‌شود (شکل‌های ۴ ج و چ). درشت بلورهای پلاژیوکلاز اغلب خوردگی و بافت غربالی مشخصی را نشان می‌دهد (شکل ۴ ج). مقدار درشت بلورها در این واحد بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است که شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز و ۱۰ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن است. زمینه سنگ بیشتر از کانی‌های پلاژیوکلاز تشکیل شده است و همچنین،

درصد فلدسپارقلیایی، ۵-۸ درصد هورنبلند تبدیل شده به کلریت، ۵-۷ درصد کوارتز و حدود ۱۰-۲۰ درصد نیز کانی‌های تیره، رگچه‌های سیلیس و کربنات است (شکل‌های ۵ الف و ب). دگرسانی سیلیسی و کربناتی بصورت رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود. همچنین، بلورهای فلدسپار به‌صورت ضعیف توسط کانی‌های رسی جانشین شده‌اند.

واحدهای رسوبی

واحدهای رسوبی موجود در این منطقه، که با نام 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 گسترده‌ای را پوشش می‌دهند، به‌طوری‌که بیش از ۷۰ درصد از منطقه اکتشافی را در نیمه جنوبی و مرکز آن شامل می‌شوند (شکل ۳).

کانی‌سازی و زمین‌شیمی

براساس نتایج زمین‌شناسی، دورسنجی، دگرسانی و پی‌جویی‌های میدانی، چهار پهنه دربردارنده کانی‌سازی مشخص گردید (شکل ۲ ث). پهنه نخست مربوط به کانی‌سازی کرومیت در سنگ‌های افیولیتی است، در حالی که سایر پهنه‌ها به کانی‌سازی مس در سنگ‌های آتشفشانی بیشتر آندزیتی و توده‌های نفوذی کوارتز مونزودیوریت مربوط هستند.

کانی‌سازی کرومیت

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

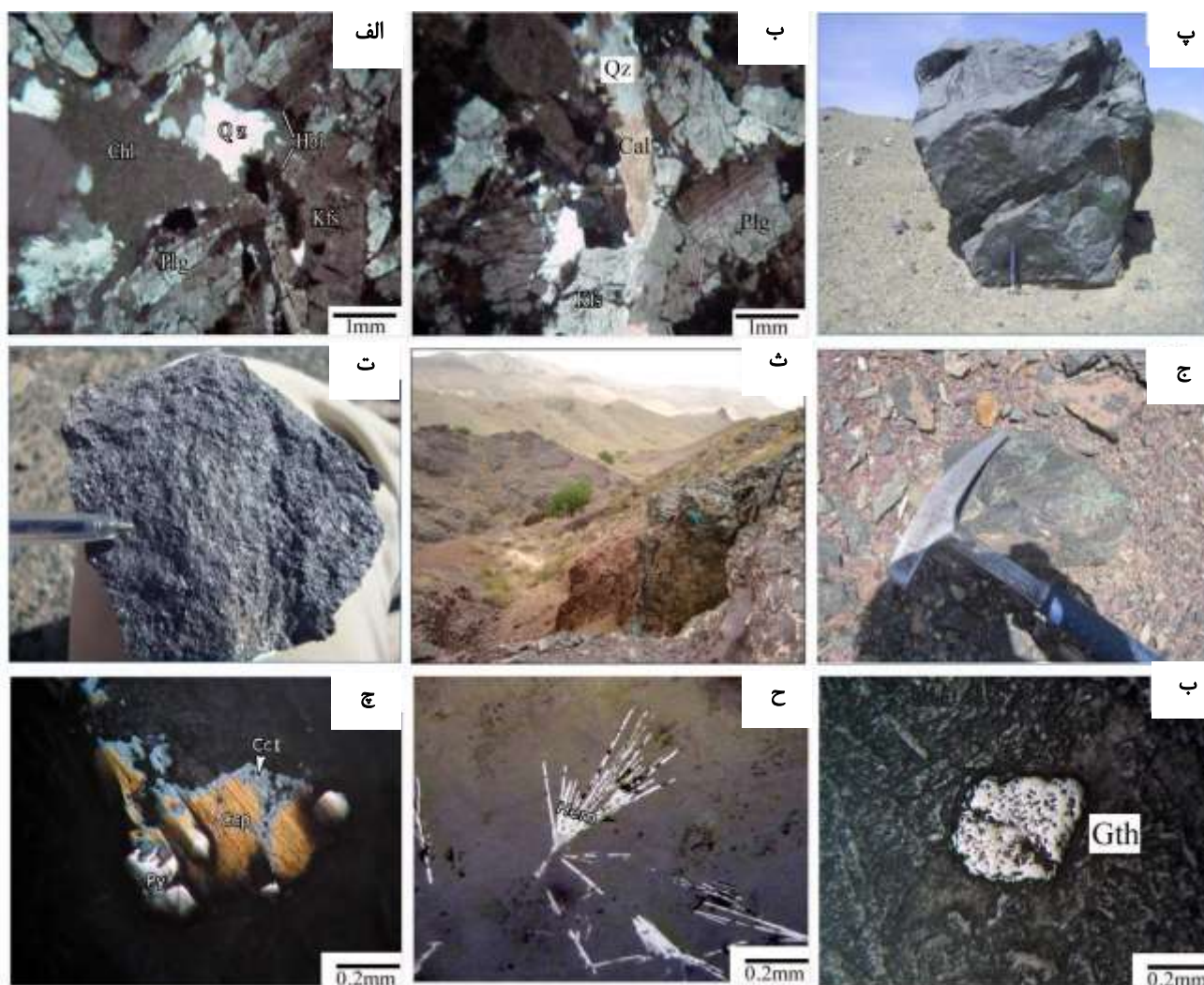
کانی کلینوپیروکسن به‌صورت دانه‌های ریز و همچنین کانی‌های کدر در زمینه دیده می‌شوند.

واحد آندزیت پورفیری: این واحد در شمال شرق منطقه رخنمون دارد و با لایه‌بندی‌هایی با ضخامت کم تا متوسط با سطوح هوازده به رنگ سبز روشن تا خاکستری تیره مشخص می‌شود (شکل ۳). در بررسی‌های سنگ‌نگاری، بافت اصلی این واحد پورفیری با زمینه ریزسنگی جریان‌ی و بافت فرعی آن گلوپورپورفیری است (شکل‌های ۴ ح و خ). در بررسی‌های میکروسکوپی، این واحد با نام پیروکسن آندزیت پورفیری مشخص شده است و کانی‌های اصلی آن شامل پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن به همراه کانی‌های فرعی چون کوارتز، اکتینولیت و اکسیدهای آهن هستند.

درشت بلورها در این واحد ۳۰ تا ۴۰ درصد زمینه را تشکیل می‌دهند و بخش عمده آن‌ها کانی پلاژیوکلاز است که اغلب از لبه دچار خوردگی شده و بافت غربالی در لبه‌های آن گسترش یافته‌اند. درشت بلورهای بعدی شامل کانی‌های کلینوپیروکسن هستند که فراوانی آن‌ها حدود ۵ درصد است. زمینه سنگ بیشتر از کانی‌های پلاژیوکلاز و کمتر از کانی‌های دگرسانی ثانویه چون کانی‌های رسی، کوارتز، اکسیدهای آهن و اکتینولیت تشکیل یافته است.

واحد نفوذی

این واحد در دو نقطه، در مرکز و شرق منطقه اکتشافی رخنمون دارد. از آنجا که این واحد، واحدهای کرتاسه پسین را قطع می‌کند، سن آن به بعد از کرتاسه پسین، معادل پالئوسن و اتوسن برآورد می‌شود و همخوانی خوبی با کانی‌سازی دارد (شکل ۳). این سنگ آذرین نفوذی در مقطع نازک، به‌عنوان کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت شناسایی می‌شود. واحد کوارتز مونزودیوریت دارای بافت دانه‌ای بوده که در آن فراوانی نسبی کانی پلاژیوکلاز آشکارا بیشتر از کانی فلدسپار پتاسیمی (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 دیده می‌شوند. از نظر فراوانی کانی‌ها، این واحد شامل ۳۵-۴۰ درصد پلاژیوکلاز، ۲۰-۳۰



شکل ۵ الف) تصویر میکروسکوپی از واحد کوارتز مونزودیوریت (XPL)، ب) رگچه کوارتز و کلسیت در واحد کوارتز مونزودیوریت (XPL) (پ) نمایی از توده کرومیت بصورت نابرجا در منطقه (دید عکس به سمت شمال)، ت) نمایی از نمونه دستی و سطح تازه کرومیت، ث) نمایی از رخنمون کانی-سازی 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 لبه. (XPL)، ح) بلورهای هماتیت اولیه (اسپیکولاریت) به شکل بادبزنی (XPL) و خ) گوتیت که از جایگزینی پیریت ایجاد شده است (XPL). Qtz: کوارتز، Hbl: هورنبلند، Chl: کلریت، Kfs: فلدسپار پتاسیوم، Plg: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت، Cct: کالکوزیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت [۱۶].

جدول ۱ نتیجه تجزیه نمونه کرومیت به روش XRF.

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	۶۱۲	۲۲٫۲۹	۱٫۶۹	۳۸٫۹۶	۱۲٫۰۱	۰٫۰۶	۱۶٫۱۴	۰٫۱۷	۰٫۰۳	۰٫۰۱	۰٫۱۹	۰٫۲	۲٫۲

کانی‌سازی‌های مس

فراپازیک به صورت رگه و رگچه در درزها و شکستگی‌ها و همچنین در همبری این سنگ‌ها با واحدهای آتشفشانی چون واحد آندزیت-بازالت و توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت رخ داده

کانی‌سازی مس در سه پهنه ۲، ۳ و ۴ دیده می‌شود (شکل ۲ ث). در این گستره، کانی‌سازی مس در سنگ‌های زیر واحد

به‌صورت دسته‌جاری در آغاز، به‌دلیل بالا بودن گریزندگی اکسیژن از سیال‌ها جدا شده‌اند (شکل ۵ ح). در ادامه این زیرمرحله، کانی‌های سولفیدی 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 لبه و در طول شکستگی‌ها، جانشین کالکوپیریت شده است (شکل ۵ چ). اثر هوازدگی در رخنمون‌های سطحی بین کانه‌ها و محیط پیرامون، منجر به تبدیل کانی‌های اولیه به کانی‌های ثانویه چون مالاکیت و گوتیت شده است. توالی همبرزادی کانه‌ها و کانی‌های باطله در منطقه مورد بررسی در جدول ۲ نشان داده شده است.

در سه پهنه کانی‌سازی مس، کنده‌کاری‌های به نسبت بزرگ و قدیمی دیده می‌شود. حفاری‌های قدیمی در پهنه‌های گسلی که واحدهای فرابازی را قطع می‌کنند، انجام شده است. موقعیت کارهای قدیمی و نتایج تجزیه عنصر مس در جدول ۳ ارائه شده است. از نظر زمین‌شیمی، غلظت عنصر مس از حدود ۰/۳ تا ۲/۳ درصد متغیر است. همچنین غلظت عنصر طلا در پنج نمونه تجزیه شده، از ۵ تا ۳۴۶ میلی‌گرم در تن است.

است (شکل‌های ۵ ث و ج). این کانی‌سازی به‌طور عمده به شکل رگه‌ای و رگچه‌ای دیده می‌شود. براساس شواهد میدانی، بررسی‌های آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره‌ای پردازش‌شده، دگرسانی‌های سیلیسی و آرژیلیکی عمده‌ترین نوع دگرسانی لبه رگه‌ها شناسایی شده‌اند و ضخامت آنها از چند سانتی‌متر تا یک متر متغیر است. به دلیل اثر شدید فرآیندهای هوازدگی بر کانی‌سازی اولیه، کانی‌سازی‌های ثانویه سولفیدی و کربناتی در این منطقه گسترش وسیعی دارند. با توجه به مجموعه کانی‌شناسی دیده شده، کانی‌سازی عمده در سطح شامل مالاکیت، آزوریت، اکسیدهای آهن (هماتیت و گوتیت) و به مقدار کمتری کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوپیریت و کالکوزیت است (شکل‌های ۵ چ، ح، خ). این کانی‌سازی به‌صورت شکافه پرکن و در برخی قسمت‌ها به‌صورت پراکنده در متن سنگ و درون سنگ‌های آتشفشانی (بیشتر 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 درونزایی به دو زیرمرحله آغازین و پایانی تقسیم می‌گردد. هماتیت‌های تیغه‌ای

جدول ۲ توالی همبرزادی در منطقه چاه‌راسته.

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

جدول ۳ داده‌های مربوط به نمونه‌های برداشت شده از کارهای قدیمی.

ردیف	نمونه	مختصات و محل برداشت			میزان مس	میزان طلا
		محل برداشت	X	Y	ppm	pbb
۱	S1	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۳۰۴	۳۵۸۲۹۰۹	۸۸۲۱	۱۲۹
۲	S2	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۲۷۲	۳۵۸۲۹۳۰	۵۵۹۲	۱۴
۳	S3	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۲۳۰	۳۵۸۲۹۳۶	۱۱۷۶۳	
۴	S4	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۹۶	۳۵۸۲۹۳۵	۱۶۱۰۲	۵
۵	S5	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۶۴	۳۵۸۲۹۵۹	۳۰۱۱	
۶	S6	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۴۲	۳۵۸۲۹۷۹	۲۲۶۰۵	
۷	S7	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۰۵	۳۵۸۳۰۰۹	۷۴۲۲	۱۶
۸	S8	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۰۶۲	۳۵۸۳۰۶۰	۱۵۷۵۶	
۹	S9	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۴۷	۳۵۸۳۰۱۴	۱۲۴۰۹	
۱۰	S10	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۹۷	۳۵۸۳۰۱۸	۲۳۱۱۱	
۱۱	S11	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۶۳	۳۵۸۲۹۴۷	۲۲۴۰۴	۳۴۶
۱۲	S12	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۱۵۸	۳۵۸۳۰۸۷	۲۰۶۱۲	
۱۳	S13	کنده کاری قدیمی	۷۶۲۲۱۱	۳۵۳۱۰۰	۱۳۵۰۶	

برداشت

پردازش داده‌های ماهواره‌ای ASTER و ETM نشان‌دهنده وجود پهنه‌های دگرسانی متنوعی چون سیلیسی، اکسیدهای آهن، کلریتی و سریسیتی با گسترش محدود در منطقه اکتشافی چاه‌راسته است. از این پهنه‌ها، دگرسانی سریسیتی در مرکز گستره اکتشافی همخوانی خوبی با رخنمون واحد نفوذی کوارتز مونزودیوریت و کانی‌سازی دارد. با بررسی‌های میدانی و میکروسکوپی، واحدهای سنگی در گستره مورد بررسی شامل سنگ‌های فرامافیک، سنگ‌های آتشفشانی، توده‌های نفوذی و سنگ‌های رسوبی شناسایی شده‌اند. در پهنه‌های ۲، ۳ و ۴ که دربردارنده کانی‌سازی مس هستند، کانی‌های فلزی شامل هماتیت، پیریت و کالکوپیریت به‌صورت پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای در متن میزبان آتشفشانی و توده‌های نفوذی دیده می‌شوند. کانی‌های ثانویه شامل کالکوزیت، مالاکیت، گوتیت و سایر اکسید و هیدروکسیدهای آهن‌دار هستند. کانی غیرفلزی

اصلی همراه با کانی‌سازی، کوارتز با بافت شانه‌ای است که به احتمال بسیار به‌طور همزمان با کانی‌سازی توسط محلول‌های گرمابی ته‌نشین شده است. در محیط‌های گرمابی، ته‌نشست کانه از سیال به‌دلیل واکنش سیال با سنگ دیواره و جوشش سیال کانه‌دار انجام می‌شود [۱۷]. در گستره اکتشافی چاه‌راسته، به‌دلیل وجود هاله دگرسانی پیرامون رگه‌ها و رگچه‌ها، به‌نظر می‌رسد که واکنش سیال با سنگ دیواره عامل ته‌نشست کانه‌ها بوده است. کانی‌سازی رگه‌ای می‌تواند نشانگر کانی‌سازی گسترده پورفیری در ارتباط با توده‌های نفوذی در منطقه باشد [۱۸]، اما با توجه به گسترش محدود پهنه‌های دگرسانی در منطقه اکتشافی چاه‌راسته، وجود یک سامانه بزرگ کانی‌سازی چون کانی‌سازی پورفیری بعید به‌نظر می‌رسد. با توجه به شکل کانی‌سازی به‌صورت پراکنده، رگچه‌ای و رگه‌ای، و همچنین دگرسانی همراه پهنه کانی‌سازی و همسایگی با توده نفوذی، به‌نظر

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

می‌رسد که کانه‌زایی در منطقه چاه‌راسته در اثر عبور سیال‌های گرمابی با خاستگاه احتمالی ماگمایی درون سامانه گسلی ایجاد شده است.

در پهنه کانی‌سازی شماره ۱، امکان پی‌جویی کانی‌سازی کرومیت بسیار وجود دارد. به باور نیکولاس (۱۹۸۹)، کانسارهای کرومیت نوع آلپی در همراهی با سنگ‌های فرامافیک که در پوسته اقیانوسی شکل گرفته‌اند، دیده می‌شوند [۱۹]. اگرچه خاستگاه کرومیت‌های آلپی و ترکیب شیمیایی آن‌ها از موضوعات مورد بحث در زمین‌شناسی است [۲۰]، اما به نظر می‌رسد که کانی‌سازی کرومیت در این منطقه به دلیل همراهی با واحدهای سنگی فرامافیک از نوع آلپی باشد.

در گستره اکتشافی چاه‌راسته، به علت وجود کانی‌سازی‌های رگه‌ای، آثار کنده‌کاری‌های قدیمی و ناهنجاری‌های زمین شیمیایی، امکان کانی‌سازی عنصر مس در پهنه‌های ۲، ۳ و ۴ و همچنین کانی‌سازی کرومیت در پهنه ۱ بسیار وجود دارد. از این رو، ادامه پی‌جویی‌ها در این منطقه ضروری است.

قدردانی

نویسندگان از سازمان صنعت، معدن و تجارت خراسان جنوبی، به ویژه جناب آقای مهندس حجت ایمان طلب معاون امور معادن و صنایع معدنی آن سازمان بدلیل دراختیار گذاشتن اطلاعات بررسی‌های پیشین تشکر می‌نمایند.

مراجع

- [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., 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,

- 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>.
- 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] Eftekhari 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*