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

روح اله میری بیدختی (\*، صدیقه زیرجانی زاده ۲ ، امیرمهدوی<sup>۳</sup>

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

۳ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

شماره تماس: ۹۱۵۳۶۲۴۹۸۴

پست الكترونيك: roholamiri@gmail.com

تاريخ تنظيم: ۱۴۰۳/۴/۲۲

چکیدہ:

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 کواترنر میباشد. پیجویی اولیه در این منطقه با پردازش دادههای ماهواره ای 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 هدروکسیدهای آهن، کلریت و سریسیت بارزسازی شدند. دو نوع کانی سازی در محدوده اکتشافی چاهراسته شناسایی گردید. نوع اول کانی سازی عنصر مس به شکل افشان، رگهای و رگچه ای مشاهده می شود. مجموعه کانیایی هیپوژن شامل هماتیت، پیریت و کالکوپیریت رگههای، گسترش محدود دگرسانی ها در محدوده اکتشافی چاهراسته شناسایی گردید. نوع اول کانی سازی میباشد. همچنین کانیهای ثانویه شامل کالکوزیت، مالاکیت و گوتیت دیده می شود. نوع کانی سازی به میران ماه در گرهای و رگههای، گسترش محدود دگرسانی ها کانیسازی و نیز ارتباط آنها با سنگشناسایی و کنترل ساخاری و رگههای، گسترش محدود دگرسانی ها در اطراف کانی سازی و نیز ارتباط آنها با سنگشناسی و کنترل ساخاری، نشانهی واحدهای سنگی اولترامافیک احتمالا از نوع آلی میباشد.

**واژگان كليدى**: دورسنجى، زمين شناسى، آلتراسيون، اپى ترمال، چاەراستە، سربيشە، بلوك لوت

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

## Roohollah Miri Beydokhti<sup>1</sup>\*; Sedigheh Zirjanizadeh<sup>2</sup>; Amir Mahdavi<sup>3</sup>

<sup>1,2</sup> Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Gonabad, Gonabad, Iran

<sup>3</sup> 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 chalcopyrite. 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 جنوب غرب سربیشه در استان خراسان جنوبی واقع شده است. این محدوده اکتشافی در گسترهای بین طولهای "56'43'59 تا "36'47'59 شرقی و عرضهای جغرافیایی"46'20'32 تا "22'23°32 شمالي قرار دارد (شكل۱). از منظر تقسيمات ساختاري، اين منطقه در بخش مركزي بلوك لوت واقع شده است [1]. یکی از خصوصیات منحصربهفرد بلوک لوت، فعالیتهای ماگماتیسمی آن است که از ژوراسیک میانی، با نفوذ باتولیت شاه کوه نهبندان آغاز و در ترشیاری به اوج خود رسیده است. به گونهای که حدود ۷۵ درصد سنگهای این بلوک شامل واحدهای آتشفشانی و نفوذی است [7]. 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 خوپیک [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 [۹و۱۰] اشاره کرد. وجود کنده کاری های استخراجی متعدد و سرباره های 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 زمین شناسی ۱۱:۲۵۰۰۰ بیرجند [۱۱] و نقشههای زمینشناسی و ژئوشیمی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهل آباد [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 آمیزهٔ رنگین شناخته میشوند. براساس نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سهلآباد، این مجموعه سنگی به دوران مزوزوئیک تعلق دارد [17]. 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 الیوین تبدیل به سرپانتین شده است. غالبترین سیمای چینه شتاسی در منطقه مورد بررسی واحد فیلیش میباشند. واحد فلیشی 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 [1۲]. 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 قابلتوجهی بر منطقه داشتهاند.

## روش مطالعه

این پژوهش بر پایه مشاهدات صحرایی، نمونه برداری از واحدهای سنگی و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده است. مراحل اصلی روش تحقیق شامل پردازش تصاویر ماهوارهای، مطالعات صحرایی و آنالیزهای آزمایشگاهی می، بشد. برای پردازش تصاویر ماهوارهای، از تصاویر +ETM و ASTER به منظور تفکیک زون های دگرسانی و بررسی شدت و پراکندگی آنها استفاده شد. این پردازش ها 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 بررسی های سنگشناسی، دگرسانی و کانی سازی برداشت شد. علاوه بر این، ۲۵ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه شد و نقشه زمین شناسی، دگرسانی و کانی سازی برداشت شد. علاوه بر این، ۲۵ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی خرده سنگی از کرومیت برداشت و به روش TXR آنالیز شد همچنین ۳۱ نمونه سنگی از عرض زون های کانی سازی از محل حفریات قدیمی برداشت، آماده سازی برای تجزیه عنصر مس به روش جذب اتمی در آزمایشگاهی، یک نمونه ارسال شد. برای بررسی کانی سازی طلا، پنج نمونه سنگی از عرض زون های کانی سازی از روش Siga کانی سازی از موراکس و سودا اش، طی فرایندهای ذوب (رای تجزیه عنصر مس به روش جذب اتمی در آزمایشگاه بلور آمیتیس شرق بوراکس و سودا اش، طی فرایندهای ذوب (Fusion)، کوپلاسیون (Cupellation) و انجلال اسیدی انجام شد. اندازه گیری عبار طلا نیز توسط دستگاه دوب (Icsion)، کوپلاسیون (Cupellation) و انجلال اسیدی انجام شد. اندازه گیری

بحث

## مطالعات دورسنجى

مطالعات دورسنجی و به کارگیری 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 داده های ETM است. برای پردازش این تصاویر از روشهای نسبت باندی و ترکیب رنگی تصاویر و کمترین مربعات رگرسیون شده برای مشخص کردن زونهای احتمالی دگرسانی، استفاده شده است. کانیهای بارزسازی شده از نتایج این بررسیها شامل هماتیت، سیلیس، گوتیت، سریسیت و کلریت میباشد. شدت و گسترش پراکندگی این کانیها منجر به شناسایی و تفکیک دگرسانیهای مختلف شده است (شکل۲). دگرسانی سیلیسی شدن بصورت گسترده در محدوده اکتشافی مشاهده می شود (شکل ۲ الف)، لیکن بخش اصلی سیلیس بارزسازی شده، بر روی امیزههای رنگی قرار می گیرد 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 قرمزرنگ شامل هماتیت که با مقادیر جزئی کلریت یا آمفیبول همراه است (شکل ۲ ب) و کانیهای آهندار زردرنگ شامل گوتیت (لیمونیت) که همراه با کانیهای رسی به عنوان کانیهای فرعی حضور دارند، تقسیم گردید. کانیهای آهندار زردرنگ (گوتیت یا لیمونیت) از نظر فراوانی و گسترش، محدوده وسیعتری را پوشش میدهند و عمدتاً در بخشهای نقشهبرداریشده بر روی سنگهای بازالتی قرار گرفتهاند (شکل ۲ پ). تفسیر این کانی ها در ارتباط با پتانسیل کانی سازی احتمالی با دشواری هایی همراه است. از سوی دیگر، کلریت در کنار آمفیبول، اپیدوت، سرپانتین و تالک، به عنوان مهمترین کانی های شاخص محیط های اولترامافیک شناخته می شوند. نقشه های فراوانی این کانیها بر اساس رفتار طیفی مشخصهشان از دادههای سنجنده ASTER استخراج شده و در شکل ۳ ت ارائه گرديده است. در منطقه مورد مطالعه، كلريتىشدن به عنوان وسيعترين نوع دگرسانى شناسايي شده است كه عمدتاً بر روى سنگهای اولترامافیک رخ داده است، اگرچه گسترش این کانی در سایر واحدهای سنگی نیز مشاهده شده است. با این حال، در برخی بخشها، کانیهای نقشهبرداریشده ممکن است مربوط به متن سنگ باشند و لزوماً ارتباط مستقیمی با فراًیند کلریتیشدن ناشی از فعالیت سیستمهای گرمابی نداشته باشد.

دگرسانی سریسیتی ناشی از تخریب فلدسپاتها، به همراه تشکیل کانی ایلیت دیده می شود. با استفاده از دادههای ASTER این کانی و سایر میکاهای سفید (نظیر موسکویت، فنژیت، 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 سریسیتی، در بخشهای میانی که بر روی توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت و زون کانی سازی واقع شدهاند، مطابقت دارد. بنابراین، احتمال وجود ارتباط زایشی میان آنها و دگرسانیهای گرمابی 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 Mg – OH) 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 هاي اولترامافيك

در منطقه مورد مطالعه، تودههای اولترامافیک شامل هارزبورگیت، سرپانتینیت، لرزولیت، پریدوتیت و ورلیت مشاهده میشوند (شکل 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 ورلیت در بررسیهای میکروسکوپی به خاطر وجود و فراوانی دانههای الیوین هم بعد، شناسایی میشود (شکل ۴ پ). فضای بین بلورهای الیوین به وسیله تجمعات بیشکل و دانههای کلینوپیروکسن بین منفذی به طور محلی پر شده است. بلورهای الیوین معمولاً به شدت سرپانتینیتی شده و توسط رگچه و لکههای اکسید آهن ثانویه جانشین شده است. ضمن این که بلورهای کلینوپیروکسن نیز به صورت کم و بیش سرپانتینیتی شده و به صورت محلی با کانیهای کربنات جانشین شده است. کربنات در قالب رگهها در زمینه و همچنین درون حفرات مشاهده میشود (شکل

ب-واحدهای آتشفشانے

واحد آندزيت – بازالت

این واحد در شمال و شمال غرب برگه ۱۰۰۰۰۰ سهل آباد، وسعتهای قابل توجهی را تحت پوشش قرار میدهد. بخشهایی از رخنمونهای این واحد که در محدوده مورد بررسی قرار گرفتهاند، دارای مورفولوژی نسبتاً ناهموار هستند و به شکل صخرههای نسبتاً بلند، بالاترین ارتفاعات منطقه را تشکیل میدهند. در نمونههای هستی، این سنگها بافت پورفیری را نشان می دهند به طوری که بلورهای پلاژیوکلاز به عنوان فنو کریست به خوبی قابل تشخیص هستند (شکل ۴ ث). در مقطع نازک، بافت این سنگها دارای نوعی پورفیری و گلومروپورفیری است که با تجمعاتی از کاتیهای پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن در یک خمیره میکرولیتی – بریانی مشخص میشود (شکل ۴ ج و چ). درشت بلورهای پلاژیوکلاز اغلب خوردگی و بافت غربالی مشخصی را نشان میدهد (شکل ۵ ج). درصد فنو کریست در این واحد بین ۳۰ تا ۴۰ درصد است که شامل ۲۰ تا ۲۵ درصد پلاژیوکلاز و ۱۰ تا ۱۵ درصد کلینوپیروکسن و ارتوپیروکسن میباشد. زمینه سنگ عمدتاً از کانیهای پلاژیوکلاز تشکیل شده و به علاوه، کانی کلینوپیروکسن به صورت دانههای ریز و همچنین کانیهای کدر در

واحد آندزيت پورفيري

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 فضاهای 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 [18] اقتباس شده است (Ol: الیوین، Opx: اورتوپیروکسن، Cpx: کلینوپیروکسن، Srp: سرپانتین، Plg: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت).

#### ج- واحد نفوذي

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 می کند، سن آن به بعد از کرتاسه بالایی، معادل پالئوسن و ائوسن تخمین زده می شود و انطباق خوبی با کانی سازی دارد (شکل ۳). این سنگ آذرین پلوتونیک در مقطع نازک، بهعنوان کوارتز مونزودیوریت تا مونزونیت شناسایی می شود. واحد کوارتز مونزودیوریت دارای بافت گرانولار است که در آن فراوانی نسبی کانی پلاژیوکلاز به وضوح بر جسته تر از کانی فلد سپار پتاسیک (ارتوکلاز) است. کوارتز اولیه به مقدار کم و به صورت پراکنده در فضای بین بلورهای فلد سپار یافت می شود. در این مقطع، رگچه های متعدد کوارتز و کلریت مشاهده می شود. از نظر درصد فراوانی کانی ها، این واحد شامل ۴۰–۳۵ درصد پلاژیوکلاز، ۳۰–۲۰ درصد آلکالی فلد سپار، ۸–۵ درصد هورنبلند که به کلریت تبدیل شده، ۲–۵ درصد کوارتز و حدود ۲۰–۱۰ درصد نیز شامل کانی های تیره، رگچه های سیلیس و کربنات است (شکل ۵ الف و ب). دگرسانی سیلیسی و کربناتی بصورت رگه-رگچهای مشاهده می شود. همچنین، بلورهای فلد سپار به صورت ضعیف توسط کانی های رسی

# د-واحدهای رسوبی

واحدهای رسوبی موجود در این محدوده، که بهعنوان واحد فیلیشی شناخته می شوند، شامل تناوبی از شیل و ماسه سنگ هستند که با میان لایه هایی از سنگ آهک فسیل دار (نومولیت) و مارن همراه هستند. این واحدها منطقه وسیعی را پوشش می دهند، به طوری که بیش از ۷۰ درصد از محدوده اکتشافی را در نیمه جنوبی و مرکز آن به خود اختصاص داده اند (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: پلاژیوکلز، Cal: کلسیت: Cct: کالکوزیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Hem: هماتیت، Gth: گوتیت). با تلفیق اطلاعات بهدست آمده از زمین شناسی، 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 زون ها به کانیسازی مس در سنگهای ولکانیکی عمدتاً آندزیتی و تودههای نفوذی کوارتز مونزودیوریت مرتبط هستند.

الف- کانیسازی کرومیت

کانی سازی و زمین شیمی

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- نتيجه آناليز XRF نمونه كروميت

Element	SiO2	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	$Cr_2O_3$	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	$P_2O_5$	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI
Unit	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
	6.10		1 50	20.05	10.01	0.0.6	1.1.1.1	0.45	0.00	0.01	0.10	0.0	
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

کانی سازی مس در سه زون ۲، ۳ و ۴ مشاهده می شود (شکل ۲ ث). در این محدوده، کانی سازی مس در سنگهای زیر واحد اولترابازیک به صورت رگه و رگچه در درزها و شکستگی ها و همچنین در همبری این سنگ ها با واحدهای ولکانیکی مانند واحد آندزیت-بازالت و توده نفوذی کوارتز مونزودیوریت رخ داده است (شکل ۵ ث و ج). این کانی سازی به طور عمده به شکل رگه ای و رگچه ای مشاهده می شود. بر اساس شواهد میدانی، مطالعات آزمایشگاهی و تصاویر ماهواره ای پرداز ششده، دگرسانی سیلیسی و آرژیلیکی به عنوان عمده ترین نوع دگرسانی حاشیه رگه ها شناخته می شود و ضخامت آنها از چند سانتی متر تا یک متر متغیر است. به دلیل تأثیر شدید فرآینده ای هوازدگی بر کانی سازی اولیه، کانی سازی ثانویه سولفیدی و کربناته در این منطقه گسترش وسیعی یافته است. با توجه به مجموعه کانیشناسی مشاهدهشده، کانیسازی عمده در سطح شامل مالاکیت، 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 دستهجارویی 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 کالکوپیریت و پیریت به همراه کوارتز تشکیل میشوند (شکل ۵ چ). در 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 مالاکیت و گوتیت شده است. توالی پاراژنتیکی کانهها و پیرامون، منجر به تبدیل کانیهای اولیه به کانیهای ثانویه نظیر مالاکیت و گوتیت شده است. توالی پاراژنتیکی کانهها و کانهرای ماطله در منطقه مورد مطالیه در جدول ۲ نشان داده شک

Mineral	Early stage	Late stage	Oxidation zon
Quartz			
Chalcopyrite	-		
Pyrite			
Chalcocite			1
Malachite			
Hematite			
Goethite			1

جدول ۲- توالی پاراژنزی در منطقه چاهراسته.

در سه زون کانیسازی 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.

.بي	نمونه	رداشت	میزان مس	میزان طلا		
رە	شماره	محل برداشت	X	Y	ppm	pbb
١	<b>S</b> 1	کندہ کاری قدیمی	762304	3582909	8821	129
٢	S2	کندہ کاری قدیمی	762272	3582930	5592	14
٣	S3	کندہ کاری قدیمی	762230	3582936	11763	
۴	S4	کندہ کاری قدیمی	762198	3582935	16102	5
۵	S5	کندہ کاری قدیمی	762164	3582959	3011	
۶	S6	کندہ کاری قدیمی	762142	3582979	22605	
٧	<b>S</b> 7	کندہ کاری ق <i>د</i> یمی	762105	3583009	7422	16
X	<b>S</b> 8	كنده كارى قديمي	762062	3583060	15756	
٩	<b>S</b> 9	کندہ کاری قدیمی	762147	3583014	12409	
١.	S10	کندہ کاری قدیمی	762197	3583018	23111	
11	S11	کندہ کاری قدیمی	762163	3582947	22404	346
17	S12	کندہ کاری قدیمی	762158	3583087	20612	
17	S13	کندہ کاری قدیمی	762211	3583100	13506	

جدول۳- لیست و نتیجه نمونه های برداشت شده ازکارهای قدیمی

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 می شوند. کانیهای ثانویه شامل کالکوزیت، مالاکیت، گوتیت و سایر اکسید و هیدروکسیدهای آهندار می باشند. کانی غیرفلزی اصلی همراه با کانیسازی، کوارتز با بافت شانهای است که احتمالاً به طور همزمان با کانیسازی توسط محلولهای گرمابی ته شین

در محیطهای هیدروترمالی، تهنشست کانه از سیال بهدلیل واکنش سیال با سنگ دیواره و جوشش سیال کانهدار انجام میشود [۱۷]. در محدوده اکتشافی چاهراسته، بهدلیل وجود هاله دگرسانی در اطراف رگهها و رگچهها، بهنظر 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 بهنظر میرسد. با توجه به فرم کانیسازی بهشکل پراکنده، رگچهای و رگهای، و همچنین دگرسانی همراه زون کانیسازی و همجواری با توده نفوذی، بهنظر میرسد کانهزایی در محدوده چاهراسته در اثر عبور سیالات گرمابی با منشاء احتمالا ماگمایی درون سیستم گسلی ایجاد شده

در زون کانی سازی شماره ۱، پتانسیل بالای اکتشافی برای کانی سازی کرومیت وجود دارد. نیکولاس (۱۹۸۹) معتقد است که کانسارهای کرومیت نوع آلپی در همراهی با سنگهای اولترامافیک که در پوسته اقیانوسی شکل گرفتهاند، مشاهده می شوند [۱۹]. اگرچه خاستگاه کرومیت های آلپی و ترکیب شیمیایی آن ها یکی از موضوعات مورد بحث در زمین شناسی است [۲۰]، اما بهنظر می رسد کانی سازی کرومیت در این محدوده به دلیل همراهی با واحدهای سنگی اولترامافیک از نوع آلپی باشد. در محدوده اکتشافی چاهراسته، بهعلت وجود کانیسازیهای رگهای، آثار کنده کاریهای قدیمی و ناهنجاریهای زمین شیمیایی، 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

منابع

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.

[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. <u>https://doi.org/10.1016/j.jseaes.2004.09.003</u>

[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. <u>http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html</u>

[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. <u>https://doi.org/10.1007/s00531-013-0959-4</u>

[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. <u>http://ijcm.ir/article-1-1652-fa.html</u>

[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. <u>http://ijcm.ir/article-1-227-fa.html</u>

[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. <u>https://sid.ir/paper/31990/en</u>

[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. <u>https://doi.org/10.2138/am.2010.3371</u>

[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. <u>https://doi.org/10.1007/s00410-008-0285-1</u>