زمین شناسی، کانی شناسی و مطالعه سیالات در گیر در رگههای پلی متال محدوده اکتشافی کلاته کلوخ گناباد، شرق ایران (بلوک لوت) روح اله میری بیدختی<sup>۱</sup>\*، صدیقه زیرجانی زاده ۲ ، امیرمهدوی ۳ ، و۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، مجتمع آموزش عالی گناباد ۳ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۳ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند ۲ استادیار گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند

محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در ۲۵ کیلومتری شمال غرب گناباد، در شمال بلوک لوت و شرق ایران، قرار دارد. واحدهای سنگی اصلی این منطقه شامل سنگهای آذرین خروجی با ترکیب آندزیت و تراکی آندزیت، واحدهای نفوذی نیمه عمیق با ترکیب مونزونیت تا مونزودیوریت و واحدهای آذرآواری است. دگرسانی در منطقه شامل سیلیسی، پروپیلیتیک و آرژیلیک است. کانیسازی به صورت رگهای در داخل واحدهای آذرآواری رخ داده است. کانیهای اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و کانیهای ثاویه شامل کالکوزیت، سروزیت، کولیت، کریزوکلا، مالاکیت، آزوریت و گوتیت هستند که بیشتر درون واحدهای آذرآواری و در امتداد گسلها و شکستگیهای منطقه تشکیل شدهاند. دماسنجی بر روی میانبارهای سیال اولیه همزاد با کانیسازی بر روی کانی کوارتز، نشان داد که دمای همگنشدن سیالات درگیر در این منطقه بین ۲۱۰ تا ۳۹۴ و بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتیگراد است. دمای میاشد. نتایج حاصل از مطالعه سیالات درگیر در این منطقه بین ۲۱۰ تا ۳۹۴ و بطور میانگین ۹۰۶ درجه سانتیگراد است. دمای میاشد. نتایج حاصل از مطالعه سیالات درگیر دن این میده شوری بین ۲۸۰ تا ۱۵/۲ و بطور میانگین ۵۰۶ درجه مانتیگراه است. میاشد. نتایج حاصل از مطالعه سیالات در گیر نشان میدهد سیالات گرمابی از منابع عمیق تر و ماگمایی منشأ گرفته و پس از اختلاط با آبهای جوی و جوشش، باعث نهشت موادمدنی و تشکیل کانسار به شکل رگههای گرمابی شده اند. براساس ویژگیها و سی الگوی دگرسانی، کانه زایی و میانه ی منشأ گرفته و پس از پروفیری دارد.

**لغات کلیدی**: زمین شناسی، کانی شناسی، سیالات در گیر، رگههای پلی متال، کلاته کلوخ، بلوک لوت

# Geology, Mineralogy, and Fluid Inclusion Study of Polymetallic Veins in the Kalateh Klukh prospecting Area, Gonabad, Eastern Iran (Lut Block)

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

1.2 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 Kalateh Klukh prospecting area, is located 25 kilometers northwest of Gonabad, in northern Lut Block, eastern Iran. The main lithological units in this area consist of extrusive igneous rocks with andesitic to trachyandesitic compositions, subvolcanic rocks with monzonitic to monzodioritic compositions, and pyroclastic rocks. Alteration in the area includes silicification, propylitic, and argillic alteration. Mineralization is vein-type and occurs primarily within the pyroclastic units. . Hypogene mineralogical complex includes pyrite, chalcopyrite, sphalerite, and galena, while secondary minerals such as chalcocite, cerussite, covellite, chrysocolla, malachite, azurite, and goethite are mostly formed along regional faults and fractures within the pyroclastic units. Thermometry on primary fluid inclusions coeval with mineralization, hosted in quartz, revealed homogenization temperatures ranging from 210°C to 394°C, with an average of 306°C. The final ice-melting temperatures in fluid inclusions indicate salinity levels between 4.8 and 13.5 wt.% NaCl equivalent, with an average salinity of 9.5 wt.% NaCl. Results from the fluid inclusion studies suggest that hydrothermal fluids originated from deeper magmatic sources and, after mixing with meteoric water and experiencing boiling, led to the precipitation of minerals and the formation of hydrothermal vein-type deposits. Based on alteration characteristics, mineralization patterns, and fluid inclusion data, the Kalateh Klukh mineralized zone bears a close resemblance to vein-type copper deposits associated with porphyry copper systems.

Keywords: geology, mineralogy, fluid inclusions, polymetallic veins, Kalateh Klukh, Lut block

کانسارهای ماگمایی-گرمابی منبع اصلی عناصر مس، تنگستن، قلع، مولیبدن و طلا هستند [۱]. این کانسارها از یک رشته فرآیندهای پیچیده زمینشناسی به وجود میآیند که با تولید ماگماهای سیلیکاته آبدار آغاز میشود، سپس تبلور آنها، جداسازی سیالات ماگمایی غنی از مواد فرار و در نهایت، تهنشینی کانه در رگهها یا کانسارهای جانشینی را به دنبال دارد [۲].

محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در شرق ایران و ۲۵ کیلومتری شمال غرب گناباد، ۲ کیلومتری شرق روستای کلاته کلوخ، در استان خراسان رضوی و بین طول "۳۰ '۵۳ '۵۳ تا "۳۰ '۵۸ تا "۵۰ شرقی و عرض "۳۰ '۲۸ "۳۰ تا "۳۰ '۳۹ شمالی قرار دارد. این محدوده اکتشافی بهلحاظ تقسیم بندی ایالتهای زمین ساختاری ایران، در بخش های شمالی ایالت زمین شناسی بلوک لوت قرار دارد [۳] (شکل ۱). ویژگیهای زمین شناسی بلوک لوت شامل وجود گسترده واحدهای آتشفشانی و نفوذی، ساختارهای پیچیده تکتونیکی و سیستم های حرارتی می باشد که شرایط مناسبی برای تشکیل ذخایر معدنی اپی ترمال و پورفیری فراهم کردهاند و پژوه شگران زیادی به معرفی انواع کانی سازی ها در سرتاسر این بلوک پرداختهاند[۱۰–۴]. ناحیه شمالی بلوک لوت که این محدوده اکتشافی درآن جای گرفته، میرزبان شمار زیادی از رگههای چندفلاری هم داری این کانسارها می توان به رگههای چندفلزی نیان بجستان [۱۱]، نوذی ائوسن و در پهندهای گسلی تشکیل شدهاند. از مهمترین این کانسارها می توان به رگههای چندفلزی نیان بجستان [۱۷]، رگههای روی و سرب کجه فردوس [۱۲]، رگههای چندفلزی شوراب فردوس [۱۳] و رگههای پلیمتال محدوده اکتشافی گناباد [۱۴] اشاره کرد.

از بررسی های انجام شده پیشین در منطقه می توان به پژوهشهای تهیه نقشههای زمینشناسی ۲۵۰۰۰۰ و ۱۰:۱۰۰۰۰ گناباد [۱۵ و ۱۶] و زیرجانیزاده ۱۳۹۴، در قالب پایان نامه دوره دکتری اشاره کرد که در آن به بررسیهای سنگشناسی، زمینشیمی، کانیسازی و منشأ سنگهای منطقه شمالغرب گناباد می پردازد و منطقه اکتشافی کلاته کلوخ نیز در محدوده مورد مطالعه واقع شده است [۱۷]. فعالیت معدنی صورت گرفته در این محدوده در غالب یکسری اکتشافات سطحی نظیر حفر ترانشه و احداث پیشکار قابل مشاهده است. آخرین پژوهش صورت گرفته در این محدوده اکتشافی، تهیه نقشههای زمینشناسی، دگرسانی با مقیاس نوع رگهای معرفی شده است. آخرین پژوهش صورت گرفته در این محدوده اکتشافی، تهیه نقشههای زمینشناسی، دگرسانی با مقیاس نوع رگهای معرفی شده است که درون واحدهای آتشفشانی با روند غالب شمالغرب–جنوب شرق رخ داده است [۱۸]. با توجه به اهمیت اقتصادی و علمی این منطقه، هدف این پژوهش بررسی زمینشناسی، کانیشناسی و مطالعات سیلات درگیر در کانی کوارتز می میشد. این بررسی می تواند به شناخت بهتر فرآیندهای تشکیل ذخیره معدنی و ارزیابی پتانسیل اقتصادی منطقه منجر شود و دانش



شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در نقشه تکتونیک ایران.

زمین شناسی

محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در قسمت شمالی بلوک لوت و در شرق ایران قرار گرفته است. واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه شامل سنگهای آذرین خروجی، سنگهای آذرین نیمه عمیق و واحدهای سنگی آذرآواری بوده و بطور کلی میتوان آنها را به دو بخش واحدهای آتشفشانی و آذرآواری و تودههای نفوذی نیمهعمیق تقسیم کرد [۱۸] (شکل ۲). تمامی این واحدها تحت تاثیر دگرسانی قرار گرفته اند و دگرسانی در این محدوده، گسترهای بیش از ۴ کیلومترمربع را می پوشاند عمده زونهای دگرسانی پروپلیتیک، سیلیسی و آرژیلیک باشد.

واحدهای آتشفشانی و آذرآواری: این واحدها گسترش و رخنمون سطحی زیادی در منطقه دارند و شامل واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا)، ریولیت، تراکیآندزیت و تراکیت میباشد (شکل۲). رخنمون ریولیتها در شمال غرب منطقه مورد مطالعه دیده میشود (شکل ۲). ریولیتهای شمال غرب حالت جریانی، لایهای و در بعضی قسمتها حالت قلوهای شکل دارند. تراکیآندزیتها در مرکز منطقه و به شکل تپهماهور رخنمون دارند. رخنمونهای کوچکی از واحد تراکیت در غرب منطقه وجود داشته که در صحرا به رنگ بنفش دیده می شود، مشخصه این واحد وجود بافت تراکیتی آن است.

تودههای نیمهعمیق: تودههای نفوذی و نیمهعمیق رخنمون یافته در منطقه بصورت استوک در قسمتهای مختلف رخنمون داشته و شامل واحدهای بیوتیت گرانودیوریت پورفیری، مونزودیوریت پورفیری، بیوتیت مونزونیت پورفیری و بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری می باشد. رخنمون واحد بیوتیت گرانودیوریت پورفیری با راستای شمالی- جنوبی در شمال محدوده اکتشافی کلاته کلوخ دیده می شود (شکل۲). این واحد شدیداً دگرسان شده و رگچههای اپیدوت در نمونه دستی قابل مشاهده است. بیوتیت مونزونیت پورفیری تقریباً در مرکز منطقه کانی سازی مس کلاته کلوخ، رخنمون دارد (شکل۲). رخنمونهای کوچکی از بیوتیت کوارتز مونزودیوریت پورفیری در شمال منطقه و به شکل استوک وجود دارد (شکل۲).

براساس مطالعات زیرجانیزاده و میری ۱۴۰۳، دگرسانی در محدوده اکتشافی کلاته کلوخ، منطبق بر سنگهای آتشفشانی و تودههای نفوذی نیمه عمیق دیده میشود. این زونهای دگرسانی شامل سیلیسی شدن و پروپیلیتیک است. کانیسازی در این محدوده به صورت رگهای و برش هیدروترمال مشاهده میشود [۸۸]. مهمترین بخش کانیسازی در منطقه کلاته کلوخ، کانیسازی رگهای است که در سنگ میزبان آذرآواری رخ داده است، این رگهها در شکل ۲ نمایش داده شده است.



### روش مطالعه

جهت مطالعات کانه نگاری، تعداد ۲۰ مقطع صیقلی و ناز ک صیقلی از کانسنگ و باطله همراه با آن تهیه گردید و برای مطالعات سیالات درگیر ۱۰ نمونه از نمونه های فوق که همزمانی تشکیل کوارتز با کانیسازی (کانی های سولفیدی) محرز گردید، انتخاب شد. از نمونه های انتخابی ۱۰ مقطع ناز ک دوبر صیقل با ضخامت حدود ۲۵۰ میکرون تهیه گردید. محرز گردید، انتخاب شد. از نمونه های انتخابی ۱۰ مقطع ناز ک دوبر صیقل با ضخامت حدود ۲۵۰ میکرون تهیه گردید. گردید. مطالعات های دو قرف که همزمانی تشکیل کوارتز با کانیسازی (کانی های سولفیدی) محرز گردید، انتخاب شد. از نمونه های انتخابی ۱۰ مقطع ناز ک دوبر صیقل با ضخامت حدود ۲۵۰ میکرون تهیه گردید. معالعه پتروگرافی سیالات درگیر با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان مدل المپیوس در مجتمع آموزش عالی گردید. مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر با سیالات مطالعه همزمان سیالات درگیر و کانی های تیره درون آنها را دارد، گردید. محاری نور عبوری و انعکاسی بوده و قابلیت مطالعه همزمان سیالات درگیر و کانی های تیره درون آنها را دارد، تورت گرفت. پس از آن اندازه گیری های ریز دماسنجی میانبارهای سیال درون بلورهای کوارتز براساس مشاهده تعییرات فازی درون میاز می کوارت را دارد، عنی و کانی همای تیره درون آنها را دارد، علیم حورت گرفت. پس از آن اندازه گیری های ریز دماسنجی میانبارهای سیال درون بلورهای کوارتز براساس مشاهده تعییرات فازی درون میانبار طی سرد کردن و گرم کردن در دانشگاه تربیت مدرس تهران، انجام شد. اندازه گیری پارامترهای دمایی به کمک دستگاه ریز حرارتسنج THMS600 با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ پارامترهای دمایی به کمک دستگاه ریز حرارتسنج CEIS

Axioplan2, imaging نصب شده است، صورت گرفته است. محاسبه شوری در میانبارهای دو فازی در سامانه است. محاسبه شوری در میانبارهای دو فازی در سامانه NaCl- H2O (HOKIEFLINCS-H2O-NaCl) با ستفاده از نرم افزار (NaCl) NaCl) مشخصات میان بارهای سیال در دمای اتاق با استفاده از معیارهای [۲۰] و [۲۱] ثبت شده است. همچنین نسبتهای فاز بخار به سیال (V/L)، با استفاده از جدول استاندارد پیشنهادی [۲۱] ارزیابی شده است.

### بحث و بررسی

### کانی شناسی

کانهزایی در محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در طول گسلها، درزهها و شکستگیها و به میزبانی واحدهای سنگی آذرآواری به صورت رگه- رگچهای و با ضخامت کمتر از ۱۰ سانتیمتر تا بیش از ۱ متر با روند شمال غرب-جنوب شرق و با شیب ۷۵ تا نزدیک به ۹۰درجه به سمت شمال شرق رخ داده است (شکل ۳ الف و ب).

غیر از رگدهای حاوی کانی سازی، رگده ای سیلیسی و رگ ده ای کلسیت فاقد کانی سازی نیز در منطقه مشاهده می شود (شکل ۳ پ و ت). کانی های اصلی باطله همراه با کانی سازی کوارتز و کلسیت است. کوارتزه ای همراه با کانی سازی نسل های مختلفی دارند. اولین نسل کواتزه ای محدوده کوارتزه ای همزاد با کانی سازی هستند که برای مطالعات سیالات درگیر مورد استفاده قرار گرفتند و کوارتزه ای شیری رنگ نسل بعدی که کانی سازی محدودی دارند (شکل ۳ ث). آخرین کوارتزه ای منطقه نیز کوارتزه ای بنفش (آمیتیست) می باشند که فضای خالی مرکز رگه ها را پر نموده است و فاقد کانی سازی هستند (شکل ۳ ج). از بافت های مهم کوارتزه ای منطقه بافت شانه ای و کوارتز حفره ای می ا باشد (شکل ۳ چ و ح).





شکل ۳ الف-نمایی از رگه کانهدار که در زون گسلی شکل گرفته است (دید عکس به سمت جنوب شرق) بنمایی از رگچههای کانهدار که در آن کانیهای مالاکیت و آزوریت مشاهده میشود پ- نمایی از رگه سیلیسی فاقد کانیسازی (دید عکس به سمت شمال غرب) ت-نمایی از رگه کلسیت فاقد کانیسازی ث-کوار تزهای شیری رنگ با کانیسازی محدود ج-کوار تز بنفش فاقد کانیسازی چ-بافت شانهای و شکافه پرکن کوار تز دستی

در محدوده کلاته کلوخ کانهزایی به دو شکل اولیه و ثانویه مشاهده میشود. کانههای اولیه تشکیل دهنده کانسنگ براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات کانهنگاری مقاطع صیقلی، شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و کانههای ثانویه شامل مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا، کوولیت، سروزیت، گوتیت و سایر اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن است که به معرفی آنها می پردازیم.

کالکوپیریت(CuFeS2): یکی از کانه های فلزی اصلی در محدوده کلاته کلوخ، کالکوپیریت است. کالکوپیریت در بخشهای سطحی که درحال حاضر در معرض دسترسی قرار دارد به فراوانی از حاشیه به کانیهای ثانویه نظیر کوولیت، مالاکیت و گوتیت تبدیل شده است و تنها آثاری از کالکوپیریت در بخشهای مرکزی گوتیت باقی مانده است (شکل ۴ الف). کوولیت به شکل رگچههای کوچک درون تودههای گوتیت دیده می شود. قطعات مالاکیت نیز به شکل پراکنده درون گوتیت حضور دارند (شکل ۴ ب). گوتیت با بافت کلوفرم عمدتاً در حاشیه کالکوپیریت دیده میشود. گوتیت به شکل بلورهای پراکنده وجهدار نیز در سنگ حضور داشته که آثار پیریت درون برخی از بلورهای گوتیت نشانه منشأ اولیه پیریت برای بلورهای وجهدار گوتیت است. گوتیت در این محدوده اکتشافی دارای دو منشأ، کانیهای پیریت و کالکوپیریت است (شکل ۴ الف-ت).

گالن(PbS): در برخی رگههای محدوده اکتشافی کلاته کلوخ، گالن کانی فلزی اصلی مقطع را تشکیل میدهد و به شکل قطعات درشت تودهای در سنگ جایگزین شده است. ابعاد قطعات گالن به ۸-۷ میلیمتر میرسد. گالن گاهی به شکل رگچههای کوچک با ابعاد ۱ میلیمتر نیز دیده میشود. گالن از حاشیه به سروزیت تبدیل شده است (شکل ۴ ث). علاوه بر سروزیت در حاشیه گالن کانی کوولیت به رنگ آبی جایگزین شده است. کوولیت در مرز بین گالن و سروسیت قرار دارد. این کانی همچنین به شکل رگچهای به درون گالن نفوذ کرده است. کوولیت کانی ثانویه بوده که در اطراف گالن، در اثر جانشینی مس به جای سرب تشکیل شده است [۲۲]. در بخشهایی از کانسنگ رگچه و قطعاتی از سروسیت-کوولیت دیده میشود و آثارکانی اولیه گالن از بین رفته است. کانیهای ثانویه مس نظیر مالاکیت نیز به شکل قطعات با ابعاد حدود ۱ میلیمتر در کانسنگ مشاهده میشود (شکل ۴ ج).

پیریت(FeS2): کانی پیریت فراوانترین کانی فلزی در رگههای کانهدار است و به اشکال قطعات درشت تودهای، پراکنده و رگچهای مشاهده میشود (شکل۴ چ). در برخی مقاطع به مقدار جزئی گالن بصورت ادخال (با ابعاد حدود ۱۰۰ میکرون) درون پیریت دیده شد (شکل۴ ح).

مالاکیت (Cu2CO3(OH)2): این کانی به شکل قطعات پرکننده حفرات و همچنین به شکل رگچهای در مقاطع صیقلی و در نمونههای سطحی بصورت گسترده مشاهده میشود (شکل۴ خ).



شکل ۴ تصاویر میکرو سکوپی (نور انعکا سی) کانهها و کانیهای موجود در محدوده معدنی الف- کانی کالکوپیریت و تبدیل آن به کوولیت و اکسیدهای آهن (xpl) ب-قطعات مالاکیت پ-گوتیت وجهدار که منشأ اولیه آن پیریت است (xpl) ت-کانی پیریت که از حاشیه به اکسید های آهن تبدیل شده است(ppl) ث-گالن و در حا شیه آن کوولیت و سرو سیت. کوولیت در حا شیه گالن و همچنین به شکل رگچهای به درون گالن نفوذ کرده است (xpl) ج-مالاکیت به شکل پراکنده و در کنار آن رگچه گالن-کوولیت (xpl) چ-بلورهای پیریت بسورت پراکنده (xpl) ح-ادخال نسبتاً ریز گالن درون پیریت (xpl) خ-قطعه نسبتاً در شت مالاکیت (xpl). علائم اختصاری از [۳۲] اقتباس شده ۱ ست (Gth؛ گوتیت، Mlc؛ مالاکیت، Cv؛ کوولیت، Cp؛ کالکوپیریت، Py؛ پیریت، Gn؛ گالن، Cer؛ سروزیت).

سیالات در گیر

پتروگرافی سیالات درگیر

سیالات درگیر را با پارامترهای ظاهری نظیر اندازه، شکل، رنگ، شاخص انکساری و بخصوص با تنوع و تعداد فازهای موجود در دمای اتاق توصیف میکنند[۲۴].

طبقهبندیهای مختلفی برا ساس تعداد فازهای تشکیل شده در سیالات درگیر یا نسبتهای مختلف جامدات، مایعات و بخار موجود در آنها توسط افراد مختلف ارائه شده است. غالباً این طبقهبندیها براساس تعداد فازها در دمای اتاق انجام می شود. برای

پذیرفتن این طبقهبندیها باید در نظر داشت که یک تداوم و تسلسل ترکیبی برای سیالات زمین شنا سی وجود دارد و به علت وجود تقسیمبندیهای نسبتاً دلخواه، در 50 در صد آنها همپو شانیهایی بین انواع سیالات درگیر مختلف وجود خواهد دا شت [۲۵].

براساس مطالعات پتروگرافی سیالاتدرگیر در کانی کوارتز مرتبط با کانی سازی، سیالات درگیر در سه گروه دو فازی مایع-گاز (LV) (غنی از فاز مایع)، چند فازی مایع-گاز- جامد(LVS) و تک فازی گاز(V) مشاهده گردید (شکل ۵). ابعاد این سیال بین ۵ تا ۱۵ میکرون و در اشکال کشیده ، بیضی و بینظم دیده می شوند.



شکل ۵ سیالاتدرگیر در محدوده اکتشافی کلاته کلوخ در کانی کوارتز (در دمای اتاق و نور PPL) الف- فراوانی سیالات درگیر با دو فاز مایع و گاز و با اشکال مختلف ب-سیالدرگیر با دو فاز مایع و گاز به شکل میلهای پ- سیالدرگیر با دو فاز مایع و گاز به شکل نامنظم ت- سیالدرگیرتک فازی گاز ث-سیالدرگیر با سه فاز مایع، گاز و جامد ج- انواع سیالاتدرگیر در یک نمونه شامل سیال گاز، گاز مایع و مایع گاز

میکروترمومتری سیالات در گیر

اندازه گیری های ریزدماسنجی برای ۲۳ میانبار سیال دو فازی مایع-گاز (LV) (غنی از فاز مایع) و ۵ سیال چند فازی مایع-گاز- جامد (LVS)، انجام شد (جدول ۱).

دماسنجی در همه سیالات درگیر به روش گرم کردن و تعیین دقیق درجه حرارت همگنشدن (Th) صورت گرفته است. در نتیجه حداقل دمای تشکیل کانی کوارتز همراه با کانیهای سولفیدی در رگه و رگچهها بدست می آید. برای بدست آمدن دمای واقعی تشکیل، فشار ستون چینهای که در آن زمان برروی کانیسازی قرار داشته است لازم می باشد و می بیست بر روی دمای همگنشدن بدست آمده، تصحیح فشار صورت گیرد. باتوجه به جایگیری سیستمهای اپی ترمال در اعماق کم که بیشتر همراه با فشار هیدروستاتیک هستند، تاثیر فشار ستون چینهای که در آن زمان برروی کانیسازی قرار داشته است لازم می باشد و می بیست بر روی دمای همگنشدن می بدست آمده، تصحیح فشار صورت گیرد. باتوجه به جایگیری سیستمهای اپی ترمال در اعماق کم که بیشتر همراه با فشار هیدروستاتیک هستند، تاثیر فشار بر روی سیالات در گیر واقع در این محیطهای کانیسازی نیز بسیار ناچیز است [۲۶]. تجمع انواع مختلف سیالات در گیر با نسبتهای مختلف فاز بخار به مایع نشانگر پدیده جوشش می باشد [۲۷]. دماهای همگنشدن سیالات در گیر محدوده اکتشافی در گیر با نسبتهای مختلف فاز بخار به مایع نشانگر پدیده جوشش می باشد [۲۷]. دماهای همگنشدن سیالات در گیر معدوده اکتشافی در گیر با نسبتهای مختلف فاز بخار به مایع نشانگر پدیده جوشش می باشد [۲۷]. دماهای همگنشدن سیالات در گیر محدوده اکتر محدود اکتشافی در گیر با نسبتهای مختلف فاز بخار به مایع نشانگر پدیده جوشش می باشد [۲۷]. دماهای همگنشدن سیالات در گیر محدوده کالات در گیر معدوده کالات در گیر سه فازی محاسبه شده است (حدول ۱ و شکل ۶). برای تعیین شوری سیالات در گیر محدوده کلاته کلوخ پس از انجماد کامل در گیر سه فازی محاسبه شده است (حدول ۱ و شکل ۶). برای تعیین شوری سیالات در گیر محدوده کلاته کلوخ پس از انجماد کامل در گیر سه فازی محاسبه شده است (حدول ۱ و شکل ولین قطره مایع روی آ) نوع املاح موجود در سیال در گیر و فاز در می می مکردن می می در مایع (وی آ) موری بی زمان کردن مود و در مای و می می در مای و و تره کردن مجدد آن با بدست آوردن در ی و تره می مورد مایع (وی آ) می مانور مای و و آ) مر مردوز و گرم می می در مای و ترم می می مرد و قری و ترم می می می می آ) ما ت در مدون مای و ترم می مورد مای و ترم می می در آ معنین دمایی که در این جدول مشاهده می شود دمای اوله (C) می می می می می می می می و مر یو نیخ (C) مار در می نون و بر قازی و سیالات

| دانسيته            | شورى       | میانگین دمای همگن | دمای ذوب یخ   | دمای یوتکتیک      | نوع ميانبار | تعداد سيال | کانی میزبان |
|--------------------|------------|-------------------|---------------|-------------------|-------------|------------|-------------|
| gr/cm <sup>3</sup> | (wt.%NaCl) | شدن ۳۵ Th         | $T_m \circ C$ | T <sub>fm</sub> ℃ |             | درگیر      |             |
|                    |            |                   |               |                   |             |            |             |
| 0.81               | 9.45       | 306               | -6.5          | -51.4             | L-V         | 73         | كوارتز      |
| 0.92               | 26.2       | 353               | -8.92         | -55.3             | V-L-S       | 5          | كوارتز      |

جدول ۱ نتایج مربوط به مطالعه سیالات درگیر در محدوده کلاته کلوخ

لازم بذکر است که شوری و دانسیته از روی اطلاعات بدست آمده در نرم افزار HOKIEFLINCS و بر طبق فرمول[۲۸] محاسبه شده است. شکل ۶ الف و ب، به ترتیب هیستوگرام فراوانی شوری سیالات درگیر و دمای همگنشدن که در نرم افزار SPSS18 ترسیم شده است به تفکیک نشان میدهد.



شکل۶ الف– هیستوگرام درصد شوری در مقابل فراوانی سیالات درگیر ب– هیستوگرام دمای همگن شدن در مقابل فراوانی سیالات درگیر

با استفاده از درصد شوری و دمای همگنشدن سیالات در گیر، موقعیت نمونه ا در نمودار شوری-درجه حرارت همگنشدن آورده شده است (شکل ۷ الف). این نمودار محل قرار گیری سیال های مربوط به کانسار های گرمابی نظیر پورفیری و اپی ترمال مشخص شده است [۲۹]. موقعیت قرار گیری نمونه های کلاته کلوخ عمدتاً در محدوده اپی ترمال و محدوده مشتر ک سیستم های اپی ترمال پورفیری می باشد (شکل ۷ الف). برای تعیین خاستگاه سیالات کانه ساز موجود در میان بارهای سیال، براساس نتایج به دست آمده، میان بارهای سیال در محدوده با خاستگاه سیالات ماگمایی قرار می گیرند (شکل ۷ ب). موقعیت نمونه ها در داده های میکروتر مومتری محدوده کلاته کلوخ با روندی مشخص در محدوده ای با شوری و دمای متوسط قرار گرفته اند. که این وضعیت بیانگر کاهش شوری و حرارت سیالات در گیر دراثر اختلاط بین یک سیال با شوری کم/دما کم با یک سیال با شوری بالا دمای بالا و یا حاصل جوشش سیال، تفسیر کرد.



شــکل ۷ الف-موقعیت دادههای میکروترمومتری محدوده کلاته کلوخ در نمودار شــوری-درجهحرارت همگنشــدن. نمودار با اندکی تغییر از [۲۹] ب-دمای همگن شدن کل در مقابل نمودار شوری معادل که منعکس کننده روند اختلاط سیالات درگیر در اپی ترمال کلاته کلوخ است[۳۰]، [۳۱] و [۳۳] .

#### • برداشت

کانی سازی در محدوده اکتشافی کلاته کلوخ، درجایگاه تکتونیکی زون فرورانش حاشیه فعال قاره در ارتباط با واحدهای آتشفشانی و تودههای نفوذی نیمه عمیق و دگرسانی های مرتبط با آنها شکل گرفته است [۳۳]. واحدهای ولکانیکی منطقه، دارای ترکیب اسیدی (ریولیت) و حدواسط (تراکیت و تراکیآندژیت) بوده که تودههای نفوذی عمدتاً حدواسط با ترکیب مونزونیت، مونزودیوریت و -گرانودیوریت پورفیری در آن نفوذ کرده، و موجب دگرسانی و کانی سازی شدهاند. کانی سازی سولفیدی و اکسیدهای آهن بصورت رگهای مشاهده می شوند. مطالعات کانی شناسی حضور کانی های پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت را نشان می دهد که به شکل اولیه از سیالات کانه ساز تشکیل شدهاند، از دیگر کانی های پیریت، کالکوپیریت، گالن و اسفالریت را نشان می دهد که به شکل کریزوکولا، سروزیت و اکسیدهای آهن که در اثر فرایند سوپرژن تشکیل شدند، اشاره کرد. حضور، گسترش و شدت میزان اکسیدهای آهن پراکنده (تا ۵۱ درصد) حاکی از قرارگیری زونهای سولفیدی با عیار بالا در معرض هوازدگی و اسیدشویی می باشد. حضور (۳۴].

با عنایت به دمای تشکیل رگههای کوارتزی در محدوده کلاته کلوخ که براساس مطالعه سیالات درگیر بطور میانگین ۳۰۶ درجه سانتی گراد بدست آمده است، بنظر می سد کمپلکس حمل کننده مس در این محدوده بدلیل کاهش درجه حرارت در اثر اختلاط با آبهای جوی فرورو (شکل ۷-الف) و کاهش فشار بدلیل ورود سیال گرمابی به زونهای گسلی و وقوع فرآیند جوشش نهشته شده است.

کانیسازی در این رگهها بنا به دلایل زیر از نوع رگهای چندفلزی اپیترمال و احتمالا در ارتباط با یک سیستم مس پورفیری میباشد:

۱-تودههای نیمهعمیق حدواسط پورفیری و توده های آتشفشانی مرتبط با کانیسازی در محدوده مشاهده میشوند.

۲-کانیسازی به صورت رگهای در سنگهای میزبان قرار دارند. رگهها معمولاً به شکل خطوط یا شکافهایی در سنگها هستند که از مواد معدنی پر شدهاند.

۳-مجموعه کانی هیپوژن که شامل پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت و گالن و بافتهای پرکننده فضای خالی و جانشینی دیده میشود.

۴- دما و شوری نسبتاً بالای سیالات در گیر. دماهای همگن شدن سیالات در گیر کلاته کلوخ بین ۲۱۰ تا ۳۹۴ و بطور میانگین ۳۰۶ در درجه سانتی گراد و مقدار شوری بین ۴/۸ تا ۱۳/۵ و بطور میانگین ۹/۵ درصد، معادل درصد وزنی NaCl محاسبه شده است که در محدوده ذخایر اپی ترمال قرار می گیرد (شکل ۷).

ذخایر رگهای اپیترمال و ذخایر پورفیری از یک سیستم گرمابی مشترک منشأ می گیرند و به دلیل تفاوت در شرایط فشار و دما، در عمقهای مختلفی از زمین شکل می گیرند [۳۵]. کانیسازی رگهای همراه با زونهای گسترده دگرسانی که با تیپ رگهای همخوانی ندارد و نمایانگر فعالیت وسیع سیالات گرمابی در منطقه بوده و شرایط را برای کانیسازی از نوع پورفیری مناسب ساخته است. بنابراین کانیسازی رگهای می تواند نشانهای از کانیسازی وسیع پورفیری مرتبط با تودههای نفوذی در منطقه باشد چرا که درحال حاضر ارتباط مکانی و زمانی بین ذخایر رگهای اپی ترمال و ذخایر مس – طلا پورفیری در مناطق مختلف جهان، به اثبات رسیده است [۳۵]. زونهای گستره دگرسانی آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی و کانیسازی رگهای، مشخص می سازد که سطح فرسایش فعلی، درحقیقت بخش سیستم رگهای اپی ترمال و احتمالا بخش بالایی یک سیستم پورفیری می باشد که لازم است مطالعات اکتشافی ادامه پیدا کند (شکل ۸).



شکل ۸ دیاگرام شماتیک از سیستم مس پورفیری، و ارتباط آن با رگههای اپیترمال چند فلزی، اقتباس از [۳۶]

[1] Kesler S. E., "Mineral Resources", Economics and the Environment (Macmillan, New York (1994).

[2] Kesler, S.E., 'Mineral supply and demand into the 21st century. In proceedings for a workshop on deposit modeling, mineral resource assessment, and their role in sustainable development'', US Geological Survey circular 1294 (2007) 55-62.

[3] Aghanabati S. A., "Geology of Iran (in Persian)", Geological Survey of Iran, Tehran, (2004), 586pp. [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] 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". Int. Journal of Earth Sciences 103, (2014), 123–140.

https://link.springer.com/article/10.1007/s00531-013-0959-4

[8] 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

[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] Javidi Moghaddam M., Karimpour M. H., Ebrahimi Nasrabadi K., Haidarian Shahri M. R., Malekzadeh Shafaroudi A., "Mineralogy, Geochemistry, Fluid Inclusion and Oxygen Isotope Investigations of Epithermal Cu  $\pm$  Ag Veins of the Khur Area, Lut Block, Eastern Iran", Acta Geologica Sinica 92(3), (2018), 1139-1156.

### https://doi.org/10.1111/1755-6724.13596

[11] Hadizadeh, H., Calagari, A., Nezafati, N., Mollaei, H., "Geology, Petrography, Alteration, and Mineralization in Neian Polymetallic (Pb-Zn-Cu-Au-Ag) Deposit, Bejestan, Northwest of Lut Block, East of Iran", Scientific Quarterly Journal of Geosciences, 24(94), (2015), 315-329. https://doi.org/10.22071/gsj.2015.42950

[12] Zirjanizadeh S, Miri bedokhti R., "Geology, mineralogy and fluid inclusion studies of the Kajah deposit, northwest of Ferdows, South Khorasan", 32 (2), (2024), 275-286.

## http://ijcm.ir/article-1-1861-fa.html

[13] Mehrabi B., Tale Fazel E., "The role of magmatic and meteoric water mixing in mineralization of Shurab polymetal ore deposit South of Ferdows: isotope geochemistry and microthermometry evidences", 19 (1), 2011, 121-130.

http://ijcm.ir/article-1-472-fa.html

[14] Hajimirzajan, H., Karimpour, M. H., Malekzadeh Shafaroudi, A., Haidarian Shahri, M. R., Hamooni, S. J., "Compilation of geology, mineralization, geochemistry and geophysical study of IP/RS and ground magnetic survey at Roudgaz area, southeast of Gonabad, Khorasan Razavi province", Journal of Economic Geology, 5(1), (2013), 117-136.

doi: 10.22067/econg.v5i1.22916

[15] Alavi Naini M., "Geological map of Gonabad, scale 1:250000", Geological survey of Iran (1963).[16] Ghaemi, F., Shahrivar, H., "Geological Map of Gonabad, scale 1:100000", geological survey of Iran, (2004).

[17] Zirjanizadeh S., "Mineralogy, geochemistry and petrogenesis igneous rocks in the northwest of Gonabad (in Persian)", Unpublished PhD Thesis, Ferdowsi university of Mashhad, Mashhad, Iran, (2015), 259pp.

[18] Zirjanizadeh S., Miri Beydokhti R., "Geological, alteration, mineralogy and geochemical studies of the Copper deposit in the Kalatehno prospect area, northwest of Gonabad (Khorasan Razavi province)", Journal of Economic Geology, 16(3), (2024), 1-22.

doi: 10.22067/econg.2024.1118

[19] Steele-MacInnis, M., Lecumberri-Sanchez, P. and Bodnar, R.J., "HOKIEFLINCS-H2O-NACL: A Microsoft Excel spreadsheet for interpreting microthermometric data from fluid inclusions based on the PVTX properties of H2O– NaCl" Computer in Geosciences, 49, (2012), 334–337. http://dx.doi.org/10.1016/j.cageo.2012.01.022

[20] Lecumberri-Sanchez P., Steel-MacInnis M., Bodnar R.J., "A numerical model to estimate trapping conditions of fluid inclusions that homogenize by halite disappearance", Geochimica et Cosmochimica Acta, 92, (2012), 14–22.

https://doi.org/10.1016/j.gca.2012.05.044

[21] Shepherd, T. J., Rankin, A. H., M Alderton, D. H., "A practical guide to fluid inclusion studies", New York, Blackie, (1985), p.p. 239.

[22] Bao Z., Tom Al., Couillard M.,, Poirier G., Bain G., Shrimpton H. K., Finfrock Y.Z., Lanzirotti A., Paktunc D., Saurette E., Hu Y., Ptacek C.G, Blowes D.W, 2021, A cross scale investigation of galena oxidation and controls on mobilization of lead in mine waste rock, Journal of Hazardous Materials412(15), 125130.

https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.125130

[23] 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

[24] Alfons M., Ulrich F., "Fluid inclusion petrography", Lithos, 55 (2001), 27-47. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00037-2

[25] Sheppherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie and Son, (1985), 239.

[26] Ruggieri G., Lattoazi P., Luxoro S., Dessi R., Benvenuti M., Tunelli G., "Geology, mineralogy, and fluid inclusion data of the Furtei high-sulfidation gold deposit, Sardinia, Italy" Economic Geology, 92 (1997) 1–19.

https://doi.org/10.2113/gsecongeo.92.1.1

[27] Kouhestani H., Mokhtari M. A. A., Qin K., Xianan Zhang, "Genesis of the Abbasabad epithermal base metal deposit, NW Iran: Evidences from ore geology, fluid inclusion and O–S isotopes", Ore Geology Reviews, 126, (2020), 103752.

https://doi.org/10.1016/j.oregeorev.2020.103752

[28] Brown P. E., Lamb W. M., "P-V-T properties of fluids in the system H2O-CO2-NaCl: New graphical presentations and implications for fluid inclusion studies", Geochemical Acta, 53 (1989) 1209-1221.

https://doi.org/10.1016/0016-7037(89)90057-4

[29] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", Lithos 55 (2001) 229-272. https://doi.org/10.1016/S0024-4937(00)00047-5

[30] Hedenquist, J.W., Arribas, A., "Evolution of an intrusion-centered hydrothermal system: far southeast Lepanto porphyry and epithermal Cu–Au deposits, Philippines", Econ. Geol. 93, (1998) 373–404.

https://doi.org/10.2113/gsecongeo.93.4.373

[31] Lattanzi, P., "Applications of fluid inclusions in the study and exploration of mineral deposits", Eur. J. Mineral. 3, (1991) 689–697.

https://doi.org/10.1016/0375-6742(91)90068-6

[32] Naden, J., Killias, S.P., Darbyshire, D.P.F., "Active geothermal system with entrained seawater as modern analogs for transitional volcanic-hosted massive sulfide and continental magmatohydrothermal mineralization: the example of Milos Island, Greece", Geology 33, (2005) 541–544. https://doi.org/10.1130/G21307.1

[33] Zirjanizadeh, S., Karimpour, M. H., Ebrahimi Nasrabadi, K., & Santos, J. F., "Petrography, Geochemistry and Petrogenesis of Volcanic Rocks, NW Ghonabad, Iran", Journal of Economic Geology, 8(1), (2016), 265-282.

doi: 10.22067/econg.v8i1.48865

[34] Sillitoe R. H, Hedenquist J. W., "Linkages between Volcanotectonic Settings, Ore-Fluid Compositions, and Epithermal Precious Metal Deposit", Society of Economic Geologists 13 (2005) 1-29.

https://doi.org/10.5382/SP.10.16

[35] Sillitoe, R. H., "Porphyry copper systems", Economic geology, 105(1), (2010) 3-41. https://doi.org/10.2113/gsecongeo.105.1.3

[36] Cooke D.R., Hollings P., Walshe J.L., "Giant porphyry deposits: characteristics, distribution, and tectonic controls", Economic Geology 100 (2005) 801–818.

https://doi.org/10.2113/gsecongeo.100.5.801