

شناخت ویژگی‌های کانی‌سازی مس در منطقه حاج‌علی‌بیگ کندی شیورداغ اهر بر پایه مطالعات میانبارهای سیال

بهزاد حاج‌علیو^۱، زهرا کریم‌زاده^۲ و مهران اداوی^۳

^۱دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، واحد تبریز، تبریز، ایران
^۲کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران
^۳استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۶/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۲/۱۰

چکیده

در این پژوهش سعی شده است با به کارگیری نتایج مطالعات دماسنجی میانبارهای سیال رگه‌های سیلیسی، ویژگی‌های پهنه کانی‌سازی مس شمال روستای حاج‌علی‌بیگ کندی اهر تعیین شود. مهم‌ترین واحد سنگی منطقه، شامل سنگ‌های آذرین درونی الیگوسن با ترکیب مونزونیت تا کوارتز مونزونیت است. سری ماگمایی به وجود آورنده این سنگ‌ها از نوع کالک‌آلکان بوده و مربوط به محیط زمین‌ساختی پس از کوهزایی و گرانیتهای پس از برخورد است. کانی‌سازی در منطقه، توسط گسل‌ها کنترل شده و به‌صورت رگه‌ای با روند چیره SW-NE است. کانی‌سازی فلزی محدوده در ارتباط با توده نفوذی شیور و توده نفوذی جوان‌تر از آن ایجاد شده است. بر پایه مطالعات کانه‌نگاری مشخص شد که کانی‌های فلزی شامل کالکوپریت و پیریت و کانی‌های ثانویه شامل کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، بورنیت و اکسیدهای آهن است. بر پایه مطالعات میانبارهای سیال میزان شوری میانبارهای سیال از ۵ تا بیش از ۵۰ درصد وزنی معادل NaCl و دمای همگن‌شدگی بیشتر میانبارهای سیال میان ۲۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد و بالاتر از آن است. با بررسی نمودارهای مربوط، داده‌های میانبارهای سیال در دو محدوده مربوط به سامانه پورفیری و اپی‌ترمال قرار گرفتند. رخداد پدیده جوشش در سیال‌های کانه‌ساز از ویژگی‌های مهم کانی‌سازی مس در این منطقه است. این پژوهش نشان می‌دهد که شکل کانی‌سازی در منطقه شمال روستای حاج‌علی‌بیگ کندی به‌صورت رگه‌ای است و می‌تواند مربوط به کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع کاردیلاری باشد که بیشتر در بخش‌های بالایی سامانه‌های پورفیری قرار دارند. بنابراین احتمال پیدایش کانی‌سازی مس پورفیری در بخش‌های زیرین این منطق دور از انتظار نیست.

کلیدواژه‌ها: اهر، حاج‌علی‌بیگ کندی، مس، رگه‌های سیلیسی، میانبارهای سیال، کانی‌سازی.

***نویسنده مسئول:** زهرا کریم‌زاده

E-mail: Karimzadeh_z719@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

منطقه مورد مطالعه به وسعت ۵ کیلومتر مربع در استان آذربایجان شرقی، در فاصله ۲۳ کیلومتری شمال شهرستان اهر و در ۳۴° ۳۹' ۳۸" طول خاوری و ۴۶° ۵۸' ۷۳" عرض شمالی در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان، درون سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری انوسن و توده نفوذی الیگوسن جای گرفته است (مهرپرتو و همکاران، ۱۳۷۱). راه‌های دسترسی به محدوده در شکل ۱ آورده شده است. این منطقه از دید تقسیم‌بندی ساختاری زمین‌شناسی (نبوی، ۱۳۵۵) در پهنه البرز باختری- آذربایجان قرار گرفته و در تقسیم‌بندی آق‌آبانی (۱۳۸۵) جزو پهنه ایران مرکزی است. باتولیت شیورداغ با ترکیب سنگ‌شناسی گرانیته، گرانودیوریتی و مونزوگرانیته مناطق مرتفع این منطقه را تشکیل می‌دهد. به‌طور کلی در محدوده مورد مطالعه یک سامانه کانی‌زایی رگه‌ای دیده می‌شود. شکل‌گیری این رگه‌ها احتمالاً در اثر اعمال نیروهای زمین‌ساختی منطقه، شکستگی‌ها و درزه‌های توده نفوذی منطقه بوده و در ادامه با نفوذ سیال‌های کانی‌دار درون این درز و شکاف‌ها، توده نفوذی به شدت دگرسان شده و کانی‌زایی در امتداد شکستگی‌ها ایجاد شده است. هدف اصلی پژوهش حاضر این است که با انجام مطالعات دماسنجی میانبارهای سیال رگه‌های سیلیسی، ویژگی‌های کانی‌سازی مس در منطقه حاج‌علی‌بیگ کندی شیورداغ مشخص و احتمال وجود کانی‌سازی مس پورفیری در این ناحیه بررسی شود.

۲- زمین‌شناسی

محدوده مورد مطالعه با قرار داشتن در کمربند فعالیت‌های ماگمایی ناحیه آذربایجان از دید سنگ‌شناسی، بیشتر شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی است و سنگ‌های رسوبی در منطقه گسترش کمی دارند (مهرپرتو و همکاران، ۱۳۷۱). این محدوده بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ ورزقان است (شکل ۲) که

سنگ‌شناسی چیره را توده نفوذی شیورداغ و توده نفوذی جوان‌تر از آن تشکیل می‌دهد. بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته واحدهای سنگی منطقه شامل واحدهای آذرین با ترکیب مونزونیت تا کوارتز مونزونیت است که بیشتر میزبان رگه‌های کانی‌سازی است.

با توجه به مطالعات میکروسکوپی، توده نفوذی عموماً سنگی دانه‌درشت، صورتی رنگ و با بافت گرانولار است. کانی‌های اصلی سازنده این واحد شامل پلاژیوکلاز، فلدسپار قلیایی و کوارتز (شکل ۳) و کانی‌های ثانویه شامل کلسیت، کلریت، سریسیت است. از کانی‌های فرعی می‌توان به بیوتیت، آمفیبول، آپاتیت، اسفن و کانی کدر اشاره کرد. پلاژیوکلاز به‌صورت شکل‌دار و بی‌شکل که گاهی دگرسانی سریسیتی دارد و به کلریت تبدیل شده است دیده می‌شود (شکل ۳). این کانی دارای ادخال‌هایی از کانی‌های فرعی اسفن، آپاتیت و زیرکن است. فلدسپار قلیایی به‌صورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل با اندازه متغیر، ۴۰٪ حجمی سنگ را در بر می‌گیرد و به دلیل تجزیه سطح آن کمتر به‌صورت سالم دیده می‌شود (شکل ۳).

۳- مطالعات کانی‌سازی

۳-۱. سامانه رگه‌ای کانی‌دار محدوده

از دید کانی‌سازی، ناحیه آذربایجان یکی از نواحی شناخته شده فلزآیی ایران بوده و بیشتر دارای مس پورفیری و طلا نوع اپی‌ترمال است که از جمله می‌توان به کانسارهای مس پورفیری سونگون، علی‌جواد، مسجد داغی و کانسارهای رگه‌ای شرف‌آباد، زگلگ، نقدوز و خونیزود اشاره کرد. کانی‌زایی مس و طلا در این مناطق همانند بیشتر مناطق ایران با فعالیت ماگمایی ترشیری همراه است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۱). کانی‌سازی فلزی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با

(حاج‌علیلو و خاکزاد، ۱۳۸۱). میانبارهای سیال به مجموع فضاهای ایجاد شده در بلورها و محتوای درونی آنها گفته می‌شود و از جمله نشانه‌های بی‌همتایی هستند که با توجه به تغییر نکردن در میلیون‌ها سال به دلیل به دام افتادن در یک فضای محدود می‌توانند اطلاعات فراوانی در زمینه منشأ ذخایر و ویژگی‌های شیمیایی و فیزیکی محیط تشکیل آنها در اختیار ما قرار دهند (حاج‌علیلو، ۱۳۸۶).

به منظور مطالعات دماسنجی میانبارهای سیال، ۱۴ مقطع دوبر صیقل نازک از رگه‌های سیلیسی درون توده نفوذی گرانودیوریتی و مونزوگرانیته کمی دگرسان شده شیورداغ در شمال روستای حاج‌علی‌بیگ‌کندی تهیه شد و اندازه‌گیری متغیرهای دمایی میانبارهای سیال در آزمایشگاه زمین‌شناسی میکروسکوپی دانشگاه پیام نور تبریز صورت گرفت. در این آزمایشگاه متغیرهای دمایی به کمک استیج مدل THMS600 گرم کننده و منجمد کننده لینکام که روی میکروسکوپ المپوس BX60 نصب شده است، صورت گرفت؛ برای تنظیم دستگاه از استانداردهای نیترات سدیم با نقطه ذوب 308°C و تتراکلرید کربن با نقطه ذوب $22/99^{\circ}\text{C}$ - استفاده شد.

۴-۱. سنگ‌نگاری میانبارهای سیال منطقه مطالعاتی

در مطالعات سنگ‌نگاری، مشخصات نوری میانبارهای سیال همچون شکل و اندازه، شناسایی و رده‌بندی ژنتیکی (شامل انواع میانبارهای اولیه، ثانویه و شبه ثانویه)، نسبت حجمی سیال به گاز (L/V)، شناسایی نوع کانی‌های دختر (با توجه به شکل بلوری و دمای همگن‌شدگی) و حضور پدیده‌های تغییر ثانویه میانبارهای سیال پس از به دام افتادن مانند نشت و کشیدگی بررسی شد. به‌طور کلی از دید شکل ظاهری، میانبارهای سیال در این نمونه‌ها را می‌توان بر پایه متغیرهای (Shepherd et al., 1985) و به ترتیب فراوانی به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

- میانبارهای سیال با شکل بلوری منفی
- شکل‌های کروی
- شکل‌های کشیده و باریک
- میانبارهای سیال دارای شکل نامنظم

همه موارد بالا (به‌ویژه ۱ و ۳) به فراوانی در بیشتر نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری، رده‌بندی ژنتیکی میانبارهای سیال از دید زمان به دام افتادن با چگونگی زایش به انواع اولیه و ثانویه و شبه ثانویه انجام شد که هر سه نوع آنها در نمونه‌ها دیده شده است. اندازه میانبارهای سیال مطالعه شده در بلورهای موجود متفاوت است و از ۶ میکرون تا ۱۵ میکرون می‌رسد. میانبارهای سیال اولیه بزرگ‌تر و میانبارهای شبه ثانویه و ثانویه در بیشتر موارد کوچک هستند. این میانبارها با عدسی شی ۱۰۰X - ۵۰X - ۱۰X و عدسی‌های چمشی ۱۵X و ۱۰X مطالعه شدند. در نمونه‌های مطالعه شده با عدسی ۱۰۰X مقیاس خطی معادل ۱۴ میکرون و با عدسی شی ۵۰X مقیاس خطی معادل ۲۸ میکرون است. نمونه‌برداری از رگه‌های سیلیسی شفاف صورت گرفت که پس از بررسی، سبب تفکیک ۵ نوع میانبار سیال به شرح زیر شد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲):

– **نوع A:** میانبار سیال سه‌فازی (L + V + S) با پرشدگی تقریباً ۷۰ تا ۸۰٪، شوری بالا که دارای چگالی $1/25 - 1/05 \text{ gr/cm}^3$ است. بیشترین فراوانی دمایی در این میانبارها در محدوده میان ۳۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد و بیشترین فراوانی شوری میان ۴۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل NaCl است (شکل ۷).

– **نوع B:** میانبار سیال دوفازی غنی از مایع (L + V) با پرشدگی تقریباً ۷۰ تا ۸۵٪، شوری متوسط با چگالی $0/96 - 0/5 \text{ gr/cm}^3$ است که بیشترین حجم میانبار سیال را فاز مایع دربر می‌گیرد. دمای همگن‌شدگی برای این نوع میان ۱۹۰ تا ۳۸۰ درجه سانتی‌گراد ثبت شد و بیشترین میزان شوری میان ۵ تا ۱۰ درصد وزنی معادل NaCl است (شکل ۸).

– **نوع C:** میانبار سیال دوفازی غنی از گاز (V + L) که حباب گاز دارای بیشترین حجم بوده و بیش از ۷۵ درصد فضای میانبار را اشغال کرده است. امکان اندازه‌گیری

توده نفوذی شیورداغ و توده نفوذی جوان‌تر از آن رخ داده است (حاج‌علیلو، ۱۳۹۱). در کنار جاده دسترسی به این محدوده که به‌صورت یک ترانشه بزرگ است، بخشی از یک پهنه دگرسانی قطع شده و یک سامانه کانی‌زایی رگه‌ای به عرض تقریبی ۱۵۰ متر دیده می‌شود. این بخش از محدوده به عنوان شاهدهی برای یک کانی‌زایی رگه‌ای به نسبت وسیع در این منطقه است و در بررسی‌های انجام شده در راستای این رگه‌ها، در فواصل بیشتری نیز آثاری از رگه‌های کانی‌دار دیده شد (شکل ۴).

بیشتر رگه‌های کانی‌دار سیلیسی هستند و با ستبراهای متفاوت از چند میلی‌متر تا ۳۰ سانتی‌متر نیز دیده می‌شوند. کانی‌زایی رگه‌های سیلیسی بیشتر به‌صورت کالکوپیریت است. امتداد کلی رگه‌ها NE-SW است که در میان آنها رگه‌هایی با امتداد N-S نیز وجود دارد (حاج‌علیلو، ۱۳۹۱). با بررسی وضعیت کانی‌زایی این رگه‌ها، دیده می‌شود که با حرکت به سوی باختر منطقه، بر ستبرای رگه‌ها افزوده شده و کانی‌زایی نیز بیشتر می‌شود. در این منطقه ۲ ترانشه دستی برای بررسی‌های بیشتر روی رگه‌ها حفر و عملیات ژئوفیزیک به روش IP و RS نیز انجام شده است. این برداشت‌ها به منظور تعیین موقعیت و گسترش کانی‌سازی سولفیدی در ژرفا انجام شد.

۳-۲. کانه‌نگاری

برای شناسایی کانی‌های فلزی موجود در رگه‌های سیلیسی حاج‌علی‌بیگ‌کندی، ۱۲ نمونه صیقلی تهیه و مطالعه شده است. در بیشتر مقاطع صیقلی تهیه شده از منطقه مورد مطالعه کانی‌های پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، مگنتیت و لیمونیت دیده شده است. کانی کالکوپیریت در بیشتر مقاطع وجود داشته و می‌توان گفت که کانی سولفیدی اصلی در این منطقه است (کریم‌زاده، ۱۳۹۲). کالکوپیریت هم به‌صورت دانه‌های کوچک پراکنده و هم لکه‌های بزرگ به‌صورت خودشکل و مرتبط با رگه‌های کوارتز و بیشتر در مقاطع همراه کانی‌های ثانویه همچون کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت که شکستگی‌های موجود در سطح کالکوپیریت را دربر گرفته‌اند دیده می‌شود (شکل‌های ۵-الف و ۶-ب). در بیشتر نمونه‌ها اکسیدهای آهن مانند لیمونیت و کانی‌های سولفیدی ثانویه همچون کوولیت، کالکوسیت و دیژنیت جانشین کالکوپیریت شده‌اند. بافت جانشینی، بافت چیره این منطقه است که نشان‌دهنده فرایندهای برونزاد است. همچنین در برخی نمونه‌های دستی آثار مالاکیت نیز دیده شده است که فرایندهای برونزاد را تأیید می‌کند. فاز اکسیدی دارای کانی‌های مگنتیت، لیمونیت و گوتیت است. در رگه‌های سیلیسی حاج‌علی‌بیگ‌کندی مقدار مگنتیت و هماتیت خیلی جزئی است. لیمونیت بیشتر به رنگ زرد و دارای گسترش چشمگیری است که در مقاطع میکروسکوپی در پیرامون کالکوپیریت و مالاکیت به‌صورت رگه‌ای گسترش دارد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲).

پیریت با حفظ شکل بلوری خود و یا به‌صورت پرکننده رگه‌ها در نمونه‌ها دیده می‌شود و پس از کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی سولفیدی رایج در منطقه است. کالکوسیت در مقاطع صیقلی به‌صورت بی‌شکل درون شکستگی‌ها و فضاهای خالی قرار گرفته و شکل رگه‌ای به خود گرفته است. کالکوسیت و کوولیت در پیرامون برخی از دانه‌های کالکوپیریت در حال جانشینی هستند (شکل‌های ۵-الف و ۶-ب). از فازهای کربناتی می‌توان به مالاکیت و آزوریت اشاره کرد که در اثر دگرسانی برونزاد در بالای سطح ایستابی آب بر اثر انحلال کانی‌های مس توسط آب‌های فرورو به وجود آمده‌اند. در مقاطع صیقلی این کانی‌ها به همراه لیمونیت و گوتیت دیده می‌شوند.

۴- مطالعات میانبارهای سیال

کانسارها و بسیاری از پدیده‌های زمین‌شناسی در دما و فشار بسیار بالا، در ژرفاهای کم و یا زیاد، یا در شرایط اتمسفری حاکم بر سطح زمین تشکیل می‌شوند. آگاهی از دما و فشار موجود در زمان تشکیل از نقطه نظر اهداف اکتشافی، منشأ کانسارها و دیگر اهداف مطالعاتی بسیار با اهمیت است و بی‌شک ضروری به نظر می‌رسد

– **شوری نسبی:** در طول سرمایش محدوده دماهای ذوب پایانی در دامنه ۲۰- تا ۳- به دست آمده است؛ از مقادیر ثبت شده دمای ذوب پایانی، میزان شوری میانبرهای سیال طبق نمودارها و مطالعات رایج محاسبه شده‌اند (Bodnar, 1994). بالاترین شوری‌ها در محدوده ۴۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل کلرورسدیم در میانبرهای سیال حالت‌دار به دست آمد که بیشتر آنها با انحلال پایانی فاز حالت در میانبرها صورت گرفت. همه میانبرهای بدون فاز نوزاد نمک شوری پایینی در محدوده ۴ تا ۲۰ درصد وزنی معادل کلرورسدیم نشان دادند. در کل حضور رایج فاز نوزاد حالت در میانبرهای سیال مطالعه شده، نشانگر بالا بودن غلظت Na و Cl در سیال‌های ماگمایی- گرمایی تحول یافته در این سامانه کانه‌زاست. همچنان که در نمودارهای تجمعی (شکل ۱۲) دیده می‌شود، دو جمعیت مجزا از شوری در دامنه NaCl wt.% ۲۰-۱ و ۵۵-۳۰ wt.% NaCl در میانبرهای سیال مطالعه شده دیده می‌شود که مربوط به انواع میانبرهای با شوری بالا (دارای فاز نوزاد حالت) و میانبر سیال با شوری کم (بدون حالت) هستند. این وضعیت به خوبی شرایط جوشش را در سیال‌های کانه‌ساز منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲). فازهای کدر (هماتیت به رنگ سرخ- قهوه‌ای، احتمالاً پیریت و یا کالکوپیریت) حتی در دماهای بالاتر نیز حل نمی‌شوند که این شرایط (عدم انحلال در دماهای بالاتر از ۸۰۰ درجه سانتی گراد) از کانسارهای همانند نوع ماگمایی- گرمایی به‌ویژه ذخایر مس- طلا- مولیبدن پورفیری به فراوانی گزارش شده است (Bodnar, 1995; Ulrich et al., 2001).

– **دمای همگن‌شدگی:** دماهای همگن‌شدگی میانبرهای سیال مطالعه شده در سامانه‌های رگه‌ای منطقه در نمودارهای تجمعی دارای پراکندگی گسترده‌ای است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). بالاترین دماهای همگن‌شدگی در مجموعه میانبرهای سیال دارای فاز نوزاد حالت (۳۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی گراد) دیده می‌شود که بیشتر با انحلال فاز نمک نوزاد به مایع همگن می‌شوند (شکل- ۱۳). انحلال حالت در دماهایی بالاتر از همگن‌شدگی فاز بخار نشانگر به دام افتادن در فشارهای زیاد است (Bodnar, 1994; Cline & Bodnar, 1994). البته همگن‌شدگی با انحلال پایانی حالت به علت از دست رفتن H₂O و یا کاهش حجم میانبر پس از به دام افتادن سیال نیز تفسیر شده است (ذاکر، ۱۳۹۲). همچنین بالاترین دماهای همگن‌شدگی در میانبرهای غنی از مایع در محدوده دمایی ۲۶۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی گراد است (شکل ۱۴).

در شکل ۱۵ داده‌های میانبرهای سیال منطقه مورد مطالعه روی نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی که محدوده‌های تیپیک نوع پورفیری، اسکارن و اپی‌ترمال در آن قرار دارند (Wilkinson, 2001) نشان داده شده است (شکل ۱۵). همچنان که دیده می‌شود محدوده‌های دمای همگن‌شدگی پایانی میانبرهای سیال و شوری آنها تا حدودی در دامنه مقادیر تیپیک میانبرهای سیال ذخایر پورفیری قرار گرفته است و در مراحل پایانی تحول سیال‌های ماگمایی- گرمایی روند مشخصی به سوی محدوده‌های دما- شوری پایین‌تر حاصل از سرد شدن و آمیختگی با آب‌های سرد خارجی دیده می‌شود. در این نمودار تغییرات شوری میانبرهای سیال اشباع از حالت در برابر دمای همگن‌شدگی پایانی، روندی خطی از کاهش شوری با نسبتی ثابت به وجود آورده‌اند؛ این ویژگی ضمن ثابت کردن شرایط جوشش در طی کانی‌سازی می‌تواند مربوط به کانی‌سازی‌های رگه‌ای حواشی سامانه‌های مس پورفیری نیز باشد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲).

– **چگالی میانبرهای سیال مطالعه شده:** چگالی میانبرهای سیال مطالعه شده با بیشترین فراوانی، برای سه‌فازی‌ها در دامنه ۱/۲ gr/cm³ تا ۰/۹ و برای دوفازی‌های غنی از مایع در دامنه ۰/۷ تا ۰/۹۳ قرار دارند (شکل ۱۶). این مقادیر شباه کاملی با مقادیر گزارش شده از بسیاری ذخایر مهم مس- مولیبدن پورفیری دنیا دارند. دامنه چگالی میانبرهای سیال شورایی گزارش شده از کانسارهای پورفیری معمولاً بیشتر از ۱ g/cm³ است و گاه تا ۱/۳ g/cm³ نیز می‌رسد (Rodder, 1971). میانبرهای دوفازی با شوری متوسط

درجه ذوب آخرین بلور یخ به دلیل اشغال زیاد فاز گازی امکان‌پذیر نبود و تنها دمای همگن‌شدگی به فاز گازی در آنها ثبت شد که میان ۳۴۰ تا ۵۶۰ درجه سانتی گراد برای است (شکل ۹).

– **نوع D:** میانبر سیال تک‌فاز گاز (V) که تماماً توسط گاز کم‌چگال پر شده است. فراوانی این نوع میانبرهای سیال در نمونه‌های مطالعه شده می‌تواند بیانگر رخداد جوشش در این نمونه‌ها باشد (شکل ۱۰).

– **نوع E:** میانبر سیال تک‌فاز مایع (L) که فراوانی آنها نسبت به دیگر میانبرها کمتر است.

فازهای جامد دیده شده در نمونه‌ها بیشتر حالت و به‌صورت جزئی سیلوت، انیدریت و همتایت (رنگ سرخ- قهوه‌ای) و گاه احتمالاً پیریت و یا کالکوپیریت (۹) به تعداد کمتر است (شکل ۱۱).

برای مطالعات ریزدماسنجی از همه انواع میانبرهای سیال به‌جز انواع دارای اثرات کشیدگی و نشست و نیز میانبرهای سیال تک‌فازی گاز و تک‌فازی مایع استفاده شده است.

۴-۲. بررسی نتایج مطالعات ریزدماسنجی میانبرهای سیال

– **مطالعات سرمایش- گرمایش:** با اندازه‌گیری تغییرات درجه انجماد می‌توان میزان شوری و چگالی را در میانبرهای سیال دوفازی اندازه‌گیری کرد. در نمونه‌های مطالعه شده برای تعیین میزان شوری، عمل انجماد میانبرهای دوفازی (L+V) تا دماهای نزدیک به ۱۰۰- درجه سانتی گراد انجام شد. با گرم کردن میانبر سیال، ذوب تدریجی یخ ادامه می‌یابد تا سرانجام آخرین بلور یخ ناپدید شود، آخرین دمای ثبت شده در طی ذوب یخ را دمای ذوب (Tm) می‌نامند. با استفاده از Tm می‌توان به میزان شوری سیال پی‌برد (Roedder, 1984; Shepherd et al., 1985). مطالعات گرمایش در انواع مختلفی از میانبرهای سیال موجود در مقاطع و محاسبات در مجموع برای ۲۲۰ میانبر سیال انجام شد.

در میانبرهای سیال دوفازی غنی از گاز به دلیل مشکلات شناسایی تغییرات فازی در هنگام سرمایش (درجه پرشدگی کم)، دمای ذوب پایانی به دست نیامد. در این نوع میانبرهای سیال تنها روی آنها عمل گرمایش صورت گرفت و محدوده دمایی ۳۰۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی گراد ثبت شد. در نمونه‌های دارای فاز نمک (L+V+S) دو نقطه دمایی ثبت شده که یکی مربوط به دمای انحلال نمک (TS) و دیگری دمای همگن‌شدگی فاز بخار سیال (TH) است. این نوع میانبرهای سیال از دید تقدم و تأخر انحلال فاز نمک در زمان گرمایش نسبت به همگن‌شدگی فاز بخار و سیال به دو گروه تقسیم شدند:

۱) انواع میانبرهای سیال سه‌فازی که انحلال فاز نمک مقدم بر همگن‌شدگی پایانی به مایع با ناپدید شدن حباب بخار رخ می‌داد (TH(L-V) < TS(NaCl)).

۲) انواع میانبرهای سیال با شوری بالا که همگن‌شدگی پایانی آنها به مایع پس از ناپدید شدن حباب بخار و با انحلال فاز نمک صورت می‌گرفت (TS(NaCl) > TH(L-V)).

فاز نوزاد نمک موجود در همه نمودارها از نوع حالت است که از شکل ظاهر و دمای همگن‌شدگی قابل تشخیص است. به‌طور تجربی دمای همگن‌شدگی برای سیلوت تقریباً زیر ۲۰۰ و برای انیدریت در دماهای بالای ۵۵۰ درجه سانتی گراد به ثبت رسیده است. در میانبرهای دارای فاز نوزاد نمک، از دمای انحلال حالت برای محاسبه میزان شوری (Nash, 1976) استفاده شده است. در بیشتر موارد، دمای انحلال نمک‌ها در میانبرهای سیال بیشتر از ۴۵۰ درجه سانتی گراد، به عبارتی معادل با شوری بیشتر از NaCl wt.% ۵۰/۰۸ بود و تا این دما نیز بلورهای حالت تغییرات کمی به‌صورت گرد شدن لبه‌ها از خود نشان می‌دادند. این موضوع نشان می‌دهد که دمای انحلال آنها ممکن است به بالای ۵۵۰ درجه سانتی گراد و حتی بالاتر از این دما نیز برسد.

نمک به ترتیب به دو گروه $T_S > T_H$ و $T_S < T_H$ تقسیم شدند. بر پایه شکل ۱۸ بالاترین فشار لیتواستاتیک به دست آمده برای میانبرهای چندفازی با $T_S > T_H$ ، 1410 bar (معادل ژرفای $4/65$ کیلومتر) و برای میانبرهای سیال دیگر حدود 940 bar (معادل ژرفای $3/10$ کیلومتر) است. با جانمایی (پلات) داده‌ها روی نمودار فازی (شکل ۱۸) و بر پایه اختلاف دمای میان ناپدید شدن حباب گاز و انحلال پایانی هالیت، فشار نسبی سامانه مشخص می‌شود. اگر اختلاف دمای T_S و T_H کم باشد (همانند نقطه ۲: NO)، میانبر سیال ممکن است در هر شرایطی از فشار (در این مورد بالاتر 1000 bar) به دام افتاده باشد. در صورتی که اگر دمای انحلال هالیت به میزان قابل توجهی بیشتر از دمای ناپدید شدن حباب گاز باشد (مانند نقطه ۳: NO)، میانبر سیال نمی‌تواند در شرایط فشار کم به دام افتاده باشد. همچنین با جانمایی داده‌های با شوری 39 ، 42 و 45 نیز روی نمودار با منحنی‌های لیکوئیدوس هالیت و ایزوکورهای مرتبط (Bodnar, 1994; Cline & Bodnar, 1994) که برای شوری‌های زیر 45 درصد وزنی معادل کلرورسدیم رسم شد، فشار 550 bar و 1400 bar به دست آمد که معادل ژرفای $1/56$ و $4/62$ کیلومتر برای تشکیل میانبر است. شواهد تجربی نشان داده‌اند که تفکیک شدن کلر میان سیال‌های آبدار و مذاب همزیست، تابعی از فشار سامانه است (Shinohara et al., 1989) و با افزایش فشار، مقادیر بیشتری از کلر به درون فاز آبدار وارد می‌شود.

NO.1:TH1: 240°C , $TS_1 = 419^\circ\text{C}$, Salinity = 49.33 wt % NaCl ;

$P_{\text{Min}} = 1370 \text{ bars} \rightarrow \text{Depth} = 4.52 \text{ Km}$

No.2 :TH2: 331.8°C , $TS = 404.8^\circ\text{C}$, Salinity = 47.71 wt % NaCl ;

$P_{\text{Min}} = 950 \text{ bars} \rightarrow \text{Depth} = 3.13 \text{ Km}$

NO.3: TH3: 310°C , $TS = 462.8^\circ\text{C}$, Salinity = 54.61 wt % NaCl ;

$P_{\text{Min}} = 1410 \text{ bars} \rightarrow \text{Depth} = 4.65 \text{ Km}$

به نظر می‌رسد در رگه‌های سیلیسی منطقه، با جدایش سیال در یک سامانه بسته، افزایش تدریجی فشار ($1/37$ تا $1/42$) و شوری (wt% NaCl) 40 تا 50 رخ داده که در اثر افزایش بیش از حد فشار درونی سیال با برشی شدن انفجاری در سقف توده و در سنگ‌های بالایی آن بوده است. کاهش شدید فشار، جدایش بیشتر فاز سیال را به همراه داشته که در پایان سبب نهشته شدن مواد محلول آن در شکستگی‌ها و تشکیل کوارتز و کالکوپیریت در فضای برشی شده است. ثبت فشارهای بیش از $1/05 \text{ Kbar}$ نشان‌دهنده افزایش فشار شدن سامانه و حاکمیت شرایط لیتواستاتیک در طی بخشی از مراحل تکوین سامانه، و ثبت فشارهای کمتر توسط میانبرهای سیال در نمونه‌ها نشان‌دهنده نوسان‌های فشار و برقراری فشار هیدرواستاتیک در مراحل دیگری از روند تحولی سامانه سیال‌های ماگمایی - گرمایی است. عموماً جدایش سریع سیال‌های مذاب در حال تبلور طی برقراری شرایط فشار هیدرواستاتیک سبب رسوب مواد جدا شده از ماگما در شکستگی‌ها و بسته شدن دوباره این فضاهای باز می‌شود که با افزایش فشار تا سطح فشار لیتواستاتیک دنبال می‌شود. همچنین می‌توان گفت در نمونه‌های مورد مطالعه، شرایط برقراری فشار هیدرواستاتیک طولانی بوده است؛ زیرا میانبرهای سیال شورایی با شوری بالا و با $TS > TH$ که حاصل تفکیک کلر از مذاب به درون فاز سیال در فشارهای بالا هستند، فراوانند.

— **خاستگاه میانبرهای سیال مطالعه شده:** برای مشخص کردن خاستگاه میانبرهای سیال موجود از نمودار تغییرات شوری در برابر درجه همگن‌شدگی استفاده شد (Wilkinson, 2001). در این نمودار مشخص شد که میانبرهای سیال سه‌فازی با شوری بالا (میان 40 تا 45 درصد وزنی معادل کلرور سدیم) دارای خاستگاه ماگمایی و میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع با شوری میان 5 تا 10 در صد وزنی معادل کلرور سدیم، دارای خاستگاه جوی و شورابه‌ای هستند (شکل ۱۹).

در ذخایر نوع پورفیری بیشتر چگالی‌هایی در دامنه $0/7$ تا $0/9$ دارند. چگالی سیال‌ها، به ویژه تفاوت چگالی میان سیال‌های با چگالی بالا و کم، نقش تعیین‌کننده‌ای در چرخش سیال‌های گرمایی داشته و دلیل پیدایش متداول سیال‌های چگال‌تر را در نزدیکی توده‌های نفوذی مولد آنها روشن می‌کند (Nash & Theodor, 1971). همچنین در میانبرهای سیال با چگالی پایین، دما عامل اصلی تعیین‌کننده چگالی سیال‌هاست (Nash, 1976). در نمودار تغییرات چگالی در برابر دمای همگن‌شدگی در بیشتر نمونه‌ها روندی از افزایش چگالی (بیشتر $0/7 \text{ gr/cm}^3$ تا $0/93 \text{ gr/cm}^3$) با کاهش دما (320 تا 180 درجه سانتی‌گراد) دیده می‌شود.

— **بررسی تغییرات دما - شوری:** شوری و دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال در رگه‌های حاج‌علی‌بیگ‌کندی پراکندگی گسترده‌ای را در نمودارهای تغییرات شوری در برابر TH نشان می‌دهند؛ در این نمودار دست کم دو جمعیت مختلف از میانبرها را می‌توان شناسایی کرد (شکل ۱۷)؛ میانبرهای سیال با دمای همگن‌شدگی بالا و شوری بالا و میانبرهای سیال با دمای همگن‌شدگی بالا و شوری کم. به‌طور کلی میانبرهای سیال با شوری بالا و دارای فازهای نوزاد هالیت و کدر همزیست با انواع میانبرهای کم‌چگال غنی از بخار که در بیشتر نمونه‌های مورد مطالعه دیده می‌شوند، به عنوان محصول جدایش فازی در میدان مایع + بخار از مسیر تحول سیال‌های ماگمایی - گرمایی سامانه‌های تپیک مرتبط با نفوذی به‌ویژه ذخایر پورفیری در نظر گرفته می‌شوند. رخداد جوشش معمولاً سبب تولید گروهی از میانبرهای سیال با شوری بالا و میانبرهای غنی از بخار با شوری کم که در دماهای مشابه همگن می‌شوند، در کنار هم شده است (ذاکر، ۱۳۹۲).

منشأ میانبرهای سیال دارای نمک موضوع مباحث فراوانی در دهه گذشته بوده است؛ زیرا منشأ آنها نقش مهمی در شناخت تاریخچه تحول و شرایط به دام افتادن سیال‌های کانه‌ساز دارد (Roedder & Bodnar, 1980; Roedder, 1984; Cline & Bodnar, 1991; Wilkinson, 2001). همچنان که (Roedder (1984) یادآور شده است که سیال‌های با شوری بالا ممکن است یا در اثر آمیختگی ناپذیری در یک سامانه آبدار با شوری پایین تشکیل یابند و یا به‌صورت مستقیم از یک مذاب در حال تبلور جدا شوند که رخداد هر یک به چگالی میانبر سیال و در واقع به شرایط دما - فشار زمان به دام افتادن سیال بستگی دارد. همچنان که گفته شد انواع مختلفی از میانبرهای سیال غنی از بخار، غنی از مایع و میانبرهای هالیت‌دار و تک‌فاز گاز از نمونه‌های پهنه کانه‌زایی منطقه حاج‌علی‌بیگ‌کندی یافت شده‌اند.

چنین مجموعه‌هایی از سیال‌های در ذخایر پورفیری و رگه‌ای مس رایج هستند و به عنوان نشانه‌هایی از تشکیل سیال‌های فوق‌شور در اثر رخداد جوشش در نظر گرفته می‌شوند. چگونگی همگن‌شدگی میانبرهای سیال هالیت‌دار که در برخی موارد با انحلال پایانی هالیت و گاهی با ناپدید شدن فاز بخار رخ می‌دهد، نشان‌دهنده به دام افتادن این سیال‌ها در میدان‌های پایداری مایع بدون بخار و دارای بخار است که از نظریه جوشش حمایت می‌کند (Roedder & Bodnar, 1980; Bodnar, 1994).

در نمودار مقادیر شوری میانبرهای سیال سه‌فازی و دوفازی غنی از مایع در برابر دمای همگن‌شدگی به مایع (شکل ۱۷) همبستگی بسیار ضعیف در میانبرهای دوفازی غنی از مایع مورد مطالعه دیده می‌شود که مشخصه بسیاری از سامانه‌های کانی‌سازی مرتبط با توده‌های نفوذی تزریق شده از مراکز متعدد است (Meinert et al., 1997; Zhang et al., 2007).

— **بررسی تغییرات شوری:** چگونگی رفتار همگن‌شدگی میانبرهای سیال شورایی از این نظر که نشان‌دهنده میدان‌های متفاوت فشار و دمای به دام افتادن سیال‌های ماگمایی - گرمایی است اهمیت دارد. برای بررسی بیشتر شرایط دما - فشار به دام افتادن، میانبرهای سیال شورایی مورد مطالعه بر پایه چگونگی همگن‌شدگی پایانی به مایع با انحلال فاز نوزاد نمک و یا ناپدید شدن حباب گاز در دمایی بالاتر از انحلال

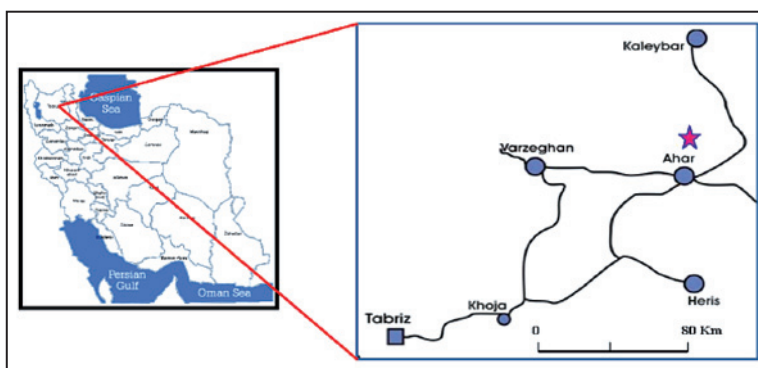
۵- نتیجه گیری

دید می شود. در این نمودار تغییرات شوری میانبارهای سیال اشباع از حالت در برابر دمای همگن شدگی پایانی، روندی خطی از کاهش شوری با نسبتی ثابت به وجود آورده اند که در بیشتر سامانه های کانی ساز که سیال های کانه ساز آنها دچار جوشش شده اند، چنین نسبت های ثابتی از شوری گزارش شده است. همچنین چگالی میانبارهای سیال مطالعه شده با بیشترین فراوانی برای سه فازی ها در دامنه $1/2 \text{ g/cm}^3$ تا $0/9 \text{ g/cm}^3$ و برای دوفازی های غنی از مایع در دامنه $0/7 \text{ g/cm}^3$ تا $0/93 \text{ g/cm}^3$ قرار دارند. این مقادیر همانندی زیادی با مقادیر گزارش شده از بسیاری ذخایر مهم رگه ای کردیلرایی مرتبط با ذخایر مس پورفیری دنیا دارند. از مجموع شواهد به دست آمده از مطالعات میانبارهای سیال رگه های سیلیسی شمال روستای حاج علی بیگ کندی شیورداغ اهر چنین بر می آید که ضمن چیره بودن پدیده جوشش در سیال های کانه دار در زمان کانی سازی، تشکیل مس در این منطقه در ارتباط با رگه های سیلیسی مشابه نوع کردیلرایی که در بخش های بالایی سامانه پورفیری مس دیده می شوند، است.

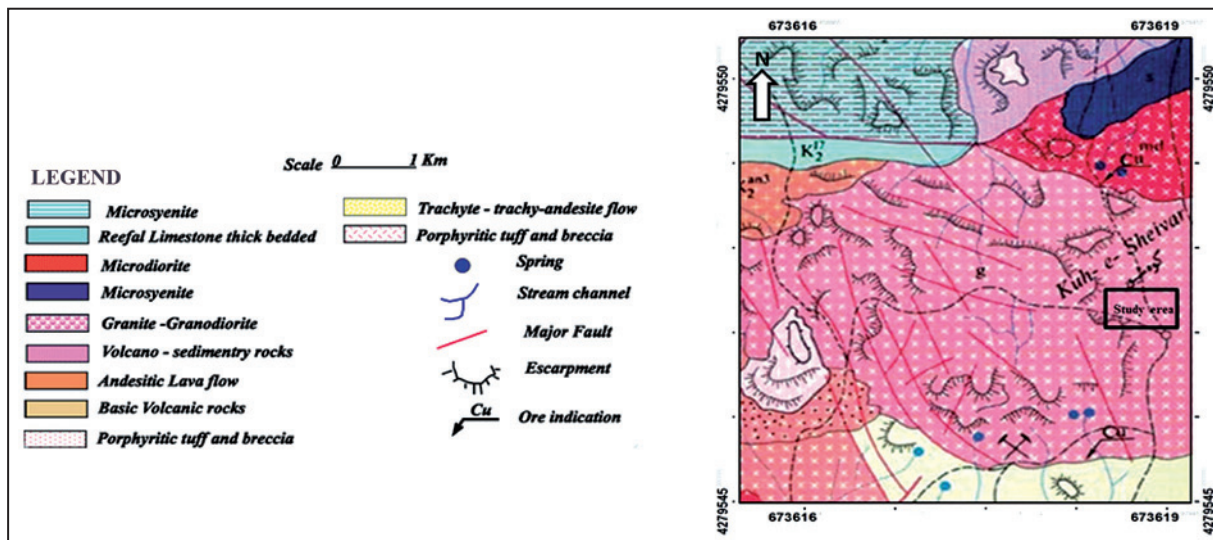
سپاسگزاری

از شرکت تولیدی و صنعتی مهر اصل که شرایط لازم برای عملیات صحرایی این پژوهش را فراهم آوردند، سپاسگزاری می شود.

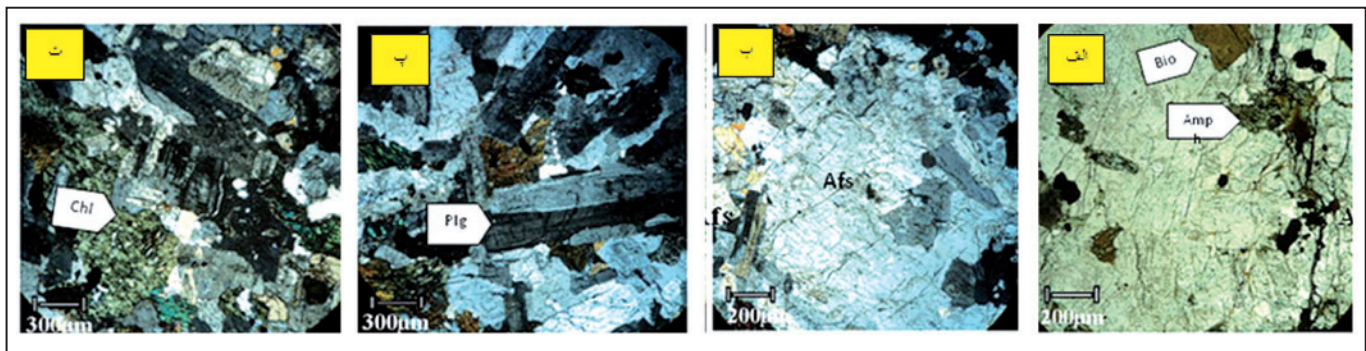
مجموع مطالعات صورت گرفته نشان از آن دارد که منطقه جنوب شیور دارای پتانسیل لازم برای کانی سازی مس، از نوع رگه ای گرمابی و مس پورفیری است. سری ماگمایی به وجود آورنده این سنگ ها از نوع کالک آلکان هستند و در محیط زمین ساختی مربوط به پس از کوهزایی و گرانیتهای پس از برخورد تشکیل شده اند. با توجه به مطالعات کانه نگاری، کانی های درونزاد تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه شامل کانه های مگنتیت، پیریت و کالکوپریت و کانی های ثانویه حاصل از پدیده دگرسانی برونزاد نیز شامل کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، مالاکیت، آزوریت، همتایت و لیمونیت است. کانی سازی فلزی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با توده نفوذی شیورداغ و توده های جوان تر از آن رخ داده است. عوامل ساختمانی مانند گسل ها و شکستگی ها، در جایگیری توده نفوذی و ایجاد کانی سازی رگه ای در منطقه نقش بسیار مهمی داشته اند. با جانمایی داده های میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه روی نمودار شوری- دمای همگن شدگی که محدوده های ذخایر پورفیری، اسکارن و اپی ترمال در آن مشخص شده اند، محدوده های دمای همگن شدگی پایانی میانبارهای سیال شوری آنها در دامنه مقادیر میانبارهای سیال ذخایر رگه ای کردیلرایی مرتبط با ذخایر پورفیری قرار می گیرند و در مراحل پایانی تحول سیال های ماگمایی- گرمابی روند مشخصی به سوی محدوده های دما- شوری پایین تر حاصل از سرد شدن و آمیختگی با آب های سرد خارجی و شرایط جوشش سیال های کانه دار



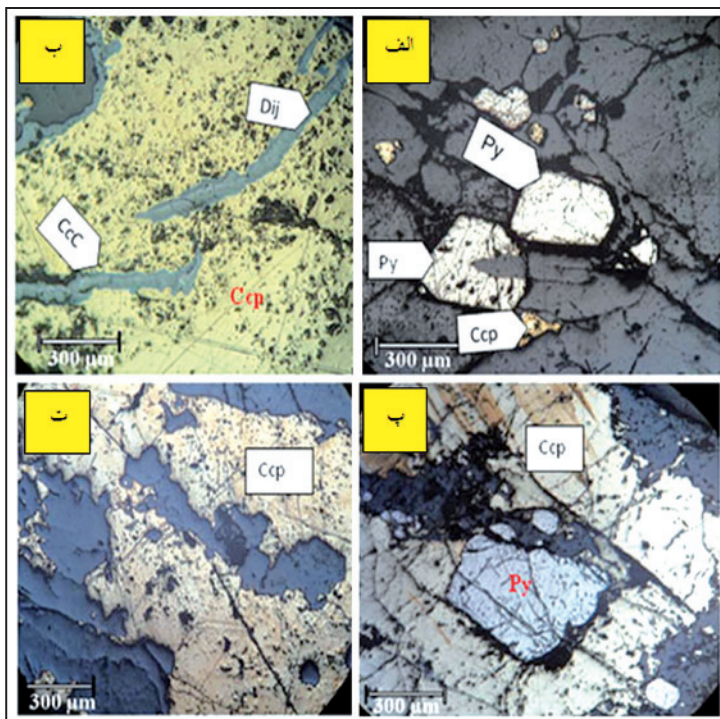
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه.



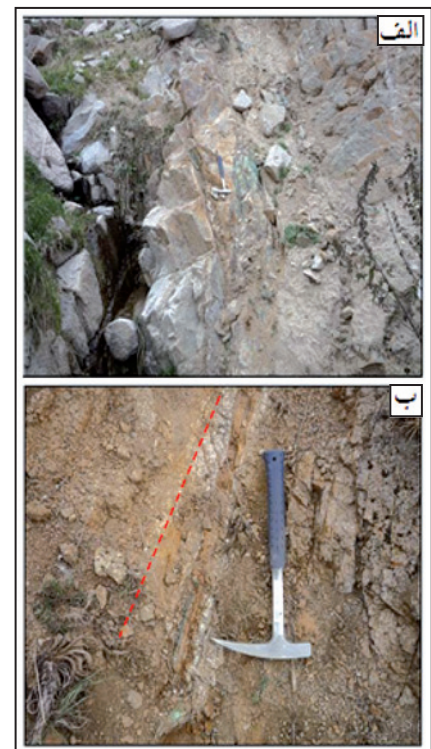
شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رزقان.



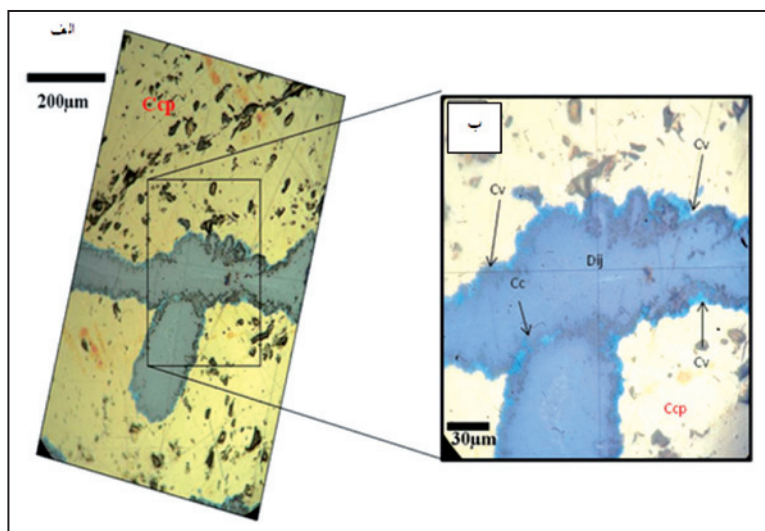
شکل ۳- الف) بلور درشت فلدسپار قلیایی به همراه بیوتیت و آمفیبول (PPL)؛ ب) بلور فلدسپار قلیایی (XPL)؛ پ) بلورهای درشت پلاژیو کلاز (XPL)؛ ت) کلریت ثانویه به همراه پلاژیو کلاز (XPL).



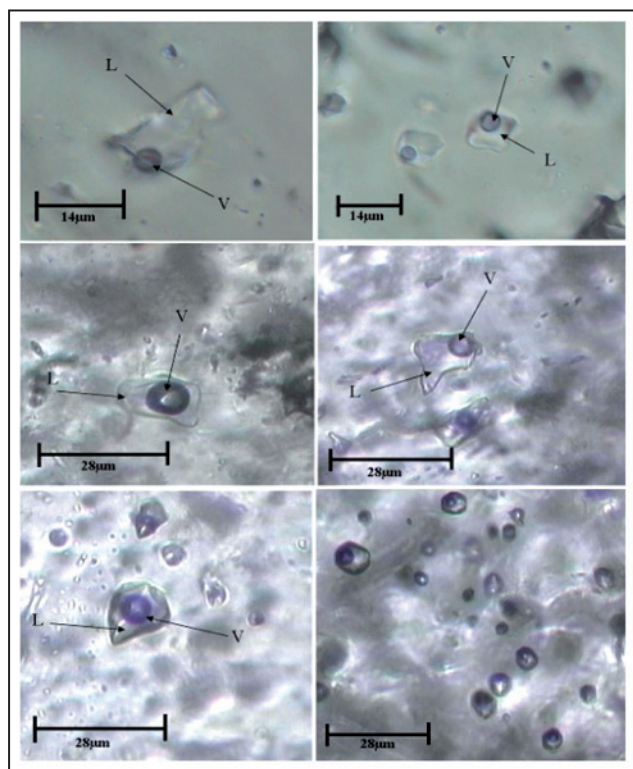
شکل ۵- الف) تصویری از بلورهای درشت و شکل دار پیریت؛ ب) تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت و دیزنیت در امتداد شکستگی‌ها؛ پ) جانشینی کالکوپیریت در امتداد شکستگی‌های پیریت؛ ت) تشکیل کالکوپیریت به صورت رگه‌ای.



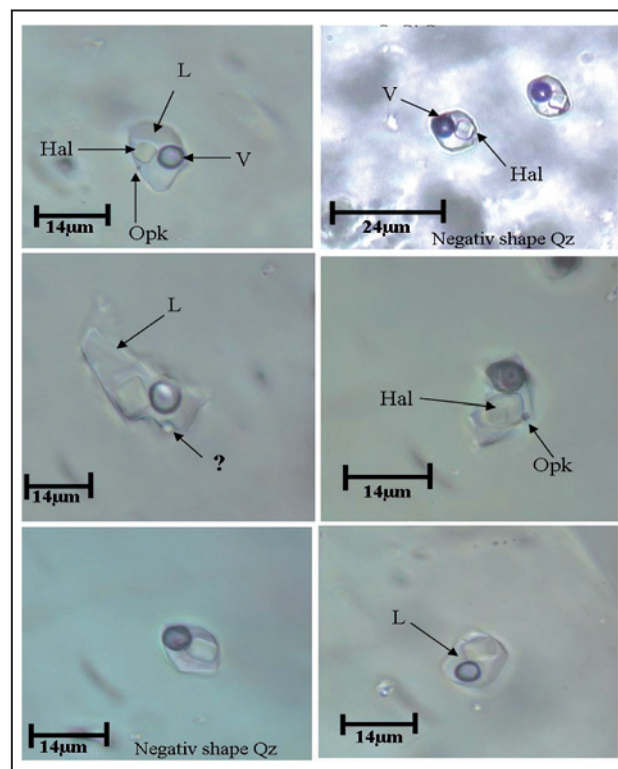
شکل ۴- رگه‌های سیلیسی کانی‌سازی شده با کالکوپیریت و مالاکیت و با امتداد N-S.



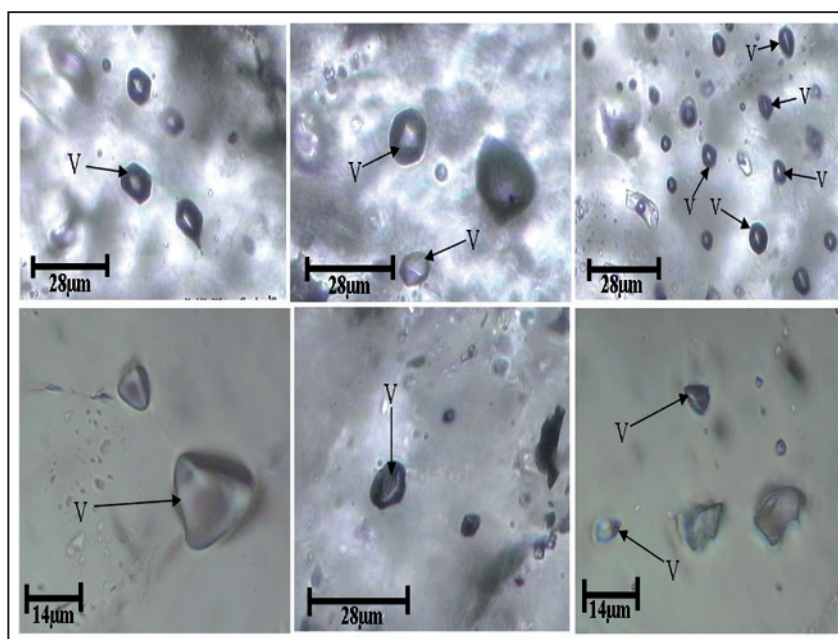
شکل ۶- الف) تصویری از بلور درشت کالکوپیریت که در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه است (PPL)؛ ب) تصویر بزرگنمایی شده شکل الف که کانی‌های ثانویه آن به خوبی مشخص است (PPL).



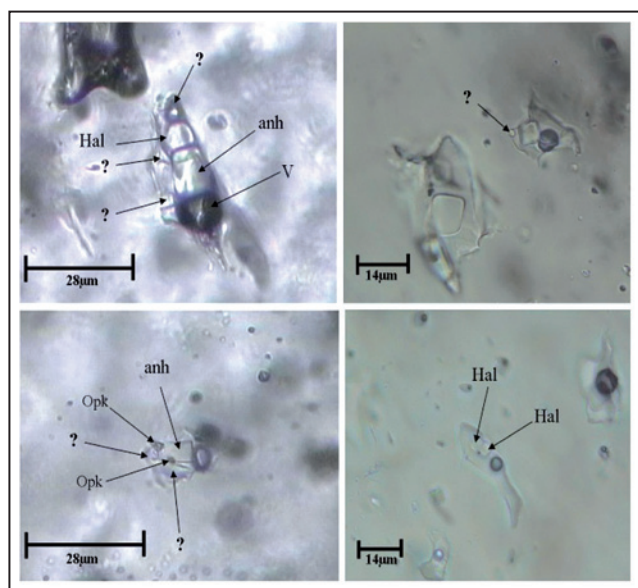
شکل ۸- انواع مختلف میانبارهای سیال مطالعه شده دوفازی مایع- گاز (L+V).



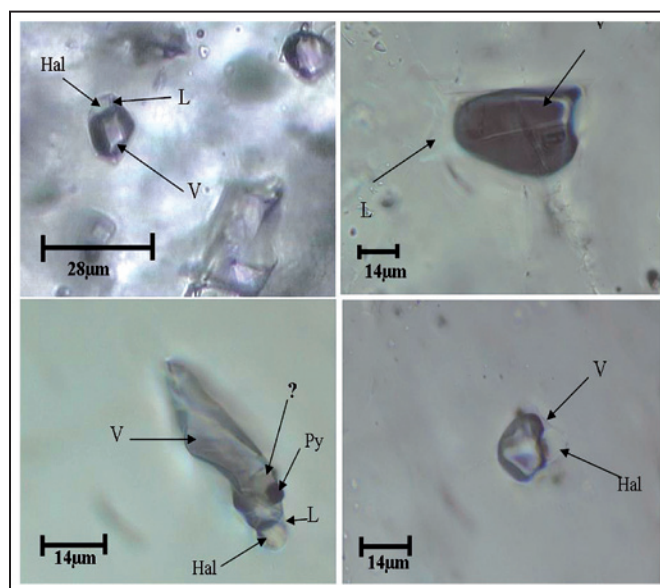
شکل ۹- انواع مختلف میانبارهای سیال مطالعه شده سه فازی مایع- گاز- جامد (L+V+S).



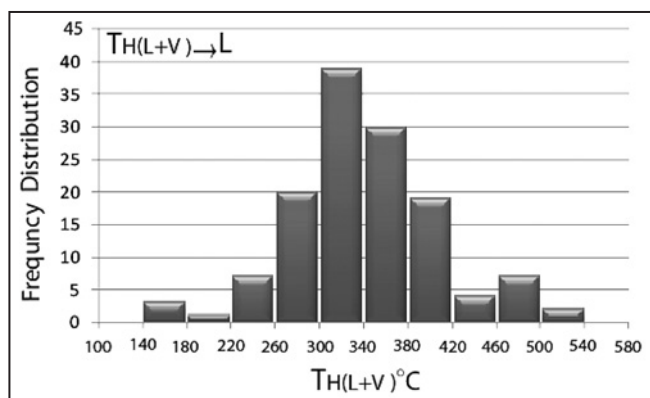
شکل ۱۰- انواع مختلف میانبارهای سیال بررسی شده دوفازی گاز- مایع (V+L).



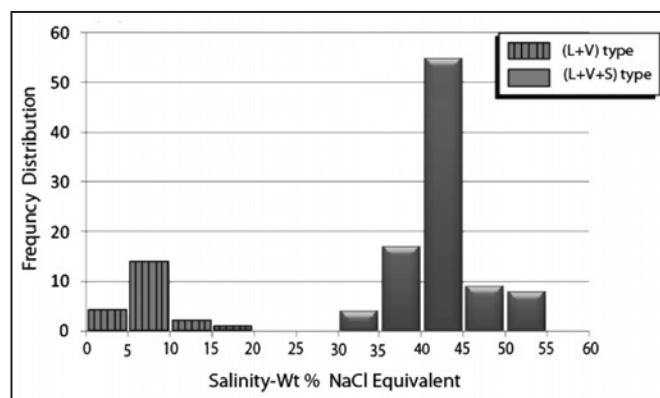
شکل ۱۱- انواع مختلف میانبارهای سیال با فازهای جامد شناسایی شده و مبهم.



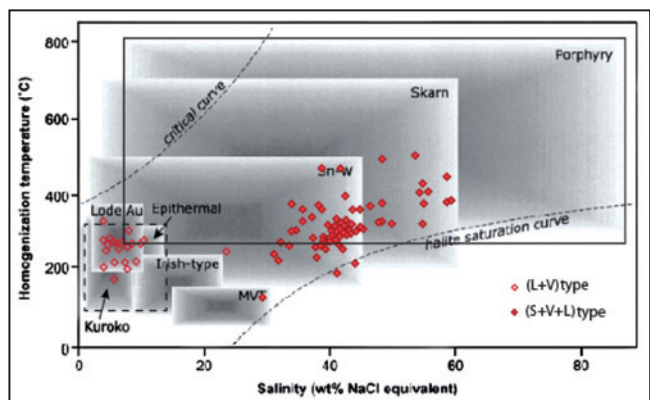
شکل ۱۰- انواع مختلف میانبارهای سیال تک‌فازی گازی.



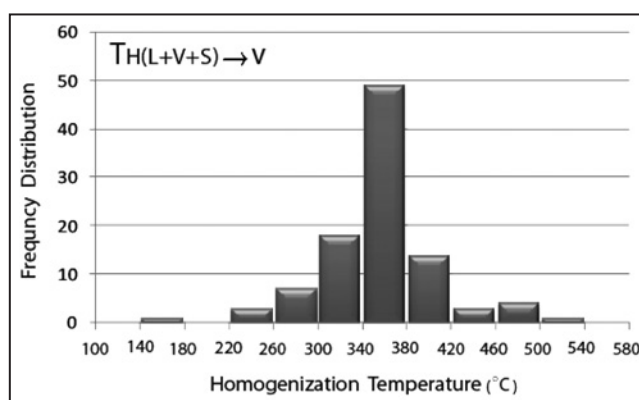
شکل ۱۳- نمودار فراوانی تجمعی دمای همگن‌شدگی میانبار سیال سه‌فازی در محدوده مورد مطالعه. $^{\circ}\text{C TS}(\text{NaCl}) = <\text{TH}(\text{L}+\text{V}) > > \text{TH}(\text{L}+\text{V})$



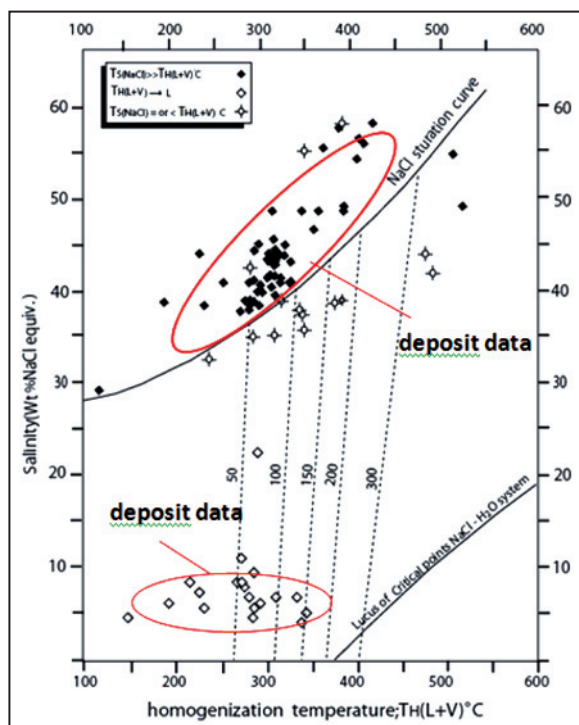
شکل ۱۲- نمودار فراوانی تجمعی شوری به تفکیک نوع میانبار سیال در منطقه.



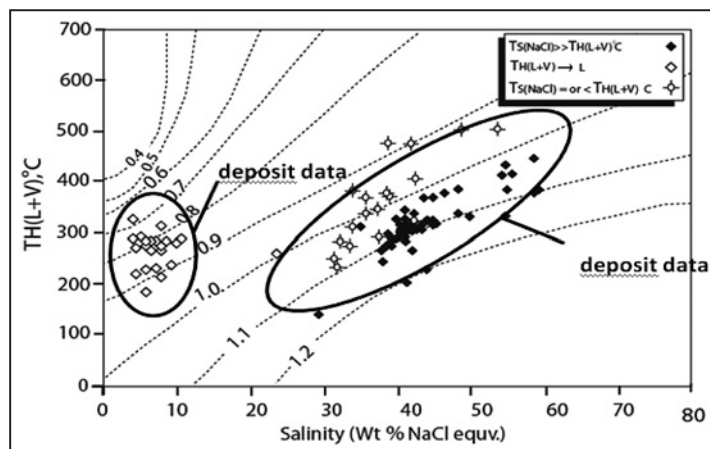
شکل ۱۵- محل قرارگیری میانبارهای سیال نمونه‌های حاج‌علی‌بیگ‌کندی در نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001 با تغییر)؛ محدوده خط چین مربوط به کانسارهای پورفیری و محدوده مشخص شده با خط مماس مربوط به کانسارهای اپی ترمال است.



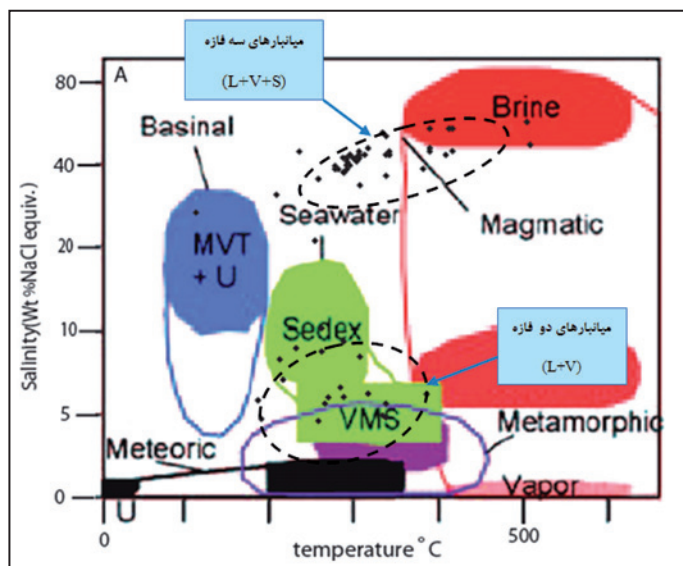
شکل ۱۴- نمودار فراوانی تجمعی دمای همگن‌شدگی میانبارسیال دوفازی (L+V) در محدوده مورد مطالعه.



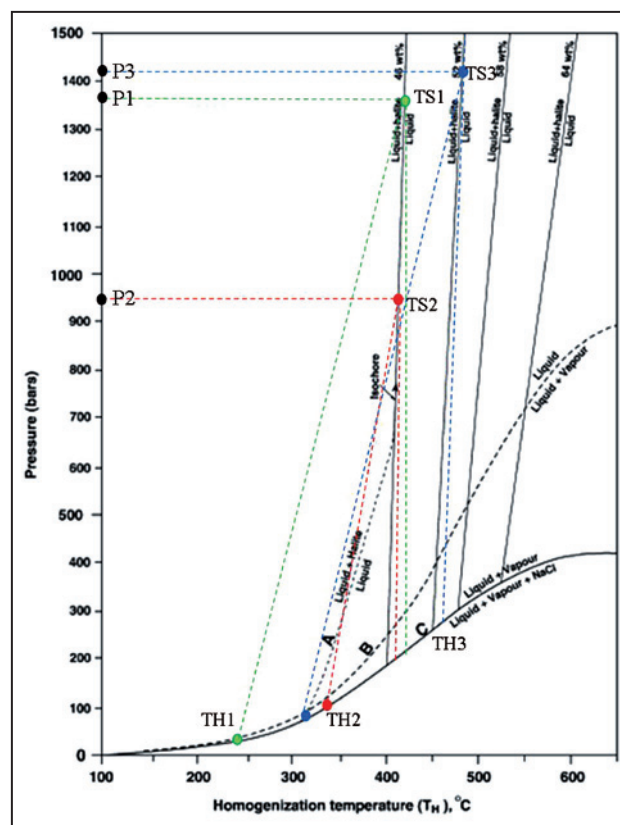
شکل ۱۷- نمودار نمایش تغییرات شوری در برابر دمای همگن‌شدگی $TH_{(L+V)}$ برای میانبرهای سیال منطقه مطالعه شده، روی نموداری با منحنی‌های اشباع شدن حالت و منحنی بحرانی (Ahmad & Rose, 1980) و خطوط کنتوری (مقطع) فشار بخار سیال برای سامانه $H_2O-NaCl$ در دما و شوری معین (Roedder, 1984). میانبرهای سیالی که بالای منحنی اشباع قرار گرفته‌اند با انحلال پایانی حالت همگن می‌شوند ($TS_{(NaCl)} > TH_{(L+V)}$) و میانبرهای سیال حالت‌دار (شوری بیش از ۳۰٪ وزنی معادل کلرور سدیم) زیر منحنی اشباع با ناپدید شدن حباب بخار در مایع همگن می‌شوند.



شکل ۱۶- نمودار تغییرات چگالی در برابر دما و شوری که چگالی محلول‌های $NaCl$ اشباع از بخار (برحسب gr/cm^3) (Wilkinson, 2001).



شکل ۱۹- نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری میانبرهای سیال برای تعیین خاستگاه میانبرهای سیال مطالعه شده.



شکل ۱۸- برآورد کمترین فشار لیتواستاتیک زمان به دام افتادن بر پایه دمای همگن‌شدگی پایانی و شوری میانبرهای سیال شورایی رگه کانی‌سازی شده حاج‌علی‌بیگ‌کندی با استفاده از نمودار شوری-فشار (موقعیت منحنی‌های لیکویدوس حالت و ایزوکورهای مرتبط از Cline & Bodnar, 1994; Bodnar, 1994); (جانمایی داده‌ها از میانبرهای سیال سه‌فازی شماره ۱، ۲ و ۳).

کتابنگاری

- آقاباتی، س.ع.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی ایران، تهران؛ سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- حاج‌علیلو، ب. و خاکزاد، ا.، ۱۳۸۱- بررسی کانی‌سازی‌های مس بولاغی و رشت‌آباد بر اساس مطالعات سیالات درگیر، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سال هشتم، شماره ۲۳۰، ص ۹ تا ۱۴.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۸۶- ژئوترموتری میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۲۰ ص.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۹۱- گزارش عملیات پایانی اکتشافی محدوده جنوب انجرد، شرکت تولیدی مهران.
- ذاکر، ل.، ۱۳۹۲- مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، سیالات درگیر، ژئوشیمی و ژنز کانسار قره‌چیلر- باتولیت گرانیتوئیدی شاجهان (شمال باختر ایران)، رساله دکترای زمین‌شناسی اقتصادی، ۲۸۵ ص.
- کریم‌زاده، ز.، ۱۳۹۲- بررسی زمین‌شناسی اقتصادی رگه‌های سیلیسی منطقه حاج‌علی‌بیگ‌کندی جنوب شیورداغ اهر با تاکید بر مطالعات میانبارهای سیال، پایان‌نامه کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر.
- مقصودی، ع.، یزدی، م.، مهرپرتو، م. و وثوقی عابدینی، م.، ۱۳۹۱- بررسی‌های ژئوشیمی و مطالعه میانبارهای سیال طلای ایی ترمال سولفیدی شدن پایین در محدوده میرکوه علی‌میرزا، سراب، شمال باختر ایران، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، شماره ۸۵، ص ۹ تا ۱۴.
- مهرپرتو، م.، امینی‌فضل، آ. و رادفر، ج.، ۱۳۷۱- نقشه زمین‌شناسی ورزقان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- نبوی، م. ح.، ۱۳۵۵- دیاسچای بر زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۰۹ ص.

References

- Ahmad, S. N. & Rose, A. W., 1980- Fluid inclusions in porphyry and skarn ore at Santa Rita, New Mexico. *Economic Geology* 75, 229-250.
- Bodnar, R. J., 1994- Synthetic fluid inclusions: XII. Experimental determination of the halite liquidus and isochores for a 40 wt.% H₂O-NaCl solution. *Geochim. Cosmochim. Acta* 58, 1053-1063.
- Bodnar, R. J., 1995- Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metal in porphyry copper deposits. In: Thompson, J.F.H.(Ed.), *Magmas, Fluids, and Ore Deposits*.
- Cline, J. S. & Bodnar, R. J., 1991- Can economic porphyry copper mineralization be generated by a typical calc-alkaline melt. *J. Geophys. Res.* 96, 8113- 8126.
- Cline, J. S. & Bodnar, R. J., 1994- Direct evolution of brine from a crystallizing silicic melt at the Questa, New Mexico, molybdenum deposit. *Economic Geology* 89, 1780-1802.
- Meinert, L. D., Hefton, K. K., Mayes, D. & Tasiran, I., 1997- Geology, zonation and fluid evolution of the Big Gossan Cu-Au skarn deposit, Ertzberg district, Irian Jaya. *Economic Geology* 92, 509- 533.
- Nash, J. T. & Theodor, T. G., 1971- Ore fluids in the porphyry copper deposit at Copper Canyon, Nevada, *Economic Geology* 66, 385-399.
- Nash, T. J., 1976- Fluid inclusion petrology—data from porphyry copper deposits and applications to exploration. *U.S. Geol. Survey Prof. Paper* 907-D (16 pp).
- Roedder, E. & Bodnar, R. J., 1980- Geologic pressure determination from fluid inclusion studies. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 8, 263-301.
- Roedder, E., 1971- Fluid inclusion studies on the porphyry-type ore deposits at Bingham, Utah, Butte, Montana, and Climax, Colorado. *Econ. Geol.* 66, 98-120.
- Roedder, E., 1984- Fluid Inclusions. In: Ribbe, P.H. (Ed.), *Reviews in Mineralogy*, vol. 12. 636 pp.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H. M., 1985- A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies. Blackie and Son, Glasgow, 239 pp.
- Shinohara, H., Iiyama, J. T. & Matsuo, S., 1989- Partition of chlorine compounds between silicate melt and hydrothermal solutions: I. Partition of NaCl-KCl. *Geochim. Cosmochim.*
- Ulrich, T., Gunther, D. & Heinrich, C. A., 2001- The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, based on LA-ICP-MS analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbrera, Argentina. *Economic Geology* 96, 1743-1774.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits. *Lithos* 55, 229-272.
- Zhang, D., Xu, G., Zhang, W. & Golding, S. D., 2007- High salinity fluid inclusions in the Yinshan polymetallic deposit from the Le-De metallogenic belt in Jiangxi Province, China: Their origin and implications for ore genesis. *Ore Geology Reviews* 31, 247-260.

The Recognition of Copper Mineralization on the Basis of Fluid Inclusions Studies in Haj Alibay Kandy Area, Sheivar Dag, Ahar

B. Hajalilou ¹, Z. Karimzadeh ^{2*} & M. Advai ³

¹Associate Professon, Department of Geology, Tabriz Branch, Payame Noor University, Tabriz, Iran

²M.Sc., Department of Geology, Islamic Azad University, Ahar Branch, Ahar, Iran

³Assistant Professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Ahar Branch, Ahar, Iran

Received: 2014 September 20

Accepted: 2015 March 01

Abstract

The properties and situation of copper mineralization in the Haj Alibay Kandi area determined by quartz vein fluid inclusion and geophysical explorations in this study. The most important rock units include Oligocene intrusive rocks with monzonite and quartzmonzonite compositions. These rocks belong to calc-alkaline series and post orogenic and post collision regimes. The mineralization in this area was controlled by faults with NE-SW direction. These mineralizations are related to the Sheivar-Dagh and younger intrusives. Chalcopyrite, pyrite, chalcocite, digenite, covelite, malachite, bornite and iron oxides were determined by mineralogical studies. On the basis of geophysical explorations, the chargeability anomaly at the depth of 40 to 50 meters is related to the concentration of sulphide minerals. This anomaly is conforms with faulting system in the area. The salinity of ore bearing fluid is from 5 to 50 wt% of NaCl and the homogenization temperature is 200 to 240°C and higher, on the basis of fluid inclusions studies. Fluid inclusions data are conformable with porphyry and epithermal copper deposits. This study shows that the boiling of ore fluids occurred at the mineralization stage. The shape of copper mineralization is vein and veinlets in this area and similar to cordilleran vein type deposit which can be observed at the top of porphyry copper deposits. Therefore, the formation of porphyry copper deposit at the deep levels of this area is expected.

Keywords: Ahar, Haj Ali bay Kandy, Copper, Silicified veins, Fluid inclusions, Mineralization.

For Persian Version see pages 167 to 176

*Corresponding author: Z. Karimzadeh ; E-mail: Karimzadeh_z719@yahoo.com