

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

بهزاد حاج‌علی‌لو<sup>۱</sup>، زهرا کریم‌زاده<sup>۲\*</sup> و مهران اداوی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup> دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه پیام نور، واحد تبریز، تبریز، ایران  
<sup>۲</sup> کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهر، اهر، ایران  
<sup>۳</sup> استادیار، 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 به صورت 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، کولیت، 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 به صورت رگه‌ای است و می‌تواند مربوط به کانی‌سازی‌های رگه‌ای نوع کاردیلرایی 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 "۳۳° ۳۹' ۳۸" طول خاوری و "۷۳° ۵۸' ۴۶" 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 ساختمانی 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 مونزوگرانیتهی 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.

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 به صورت شکل دار 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 به صورت بلورهای نیمه‌شکل دار تا بی‌شکل با اندازه متغیر، ۴۰٪ حجمی سنگ را در بر می‌گیرد و به دلیل تجزیه سطح آن کمتر به صورت سالم دیده می‌شود (شکل ۳).

## ۳- مطالعات کانی‌سازی

### ۳-۱. سامانه رگه‌ای کانی‌دار محدوده

از دید کانی‌سازی، ناحیه آذربایجان یکی از نواحی شناخته شده فلززایی ایران بوده و بیشتر دارای مس پورفیری و طلائی نوع اپی‌ترمال است که از جمله می‌توان به کانسارهای مس پورفیری سونگون، علی‌جواد، مسجد داغی و کانسارهای رگه‌ای شرف‌آباد، زگلیگ، نقدوز و خوینرود 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

## 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

(حاج‌علیلو و خاکزاد، ۱۳۸۱). میانبرهای 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 داماسنجی میانبرهای 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 میانبرهای سیال در آزمایشگاه زمین‌شناسی میکروسکوپی دانشگاه پیام نور تبریز صورت گرفت. در این آزمایشگاه متغیرهای دمایی به کمک استیج مدل THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده لینکام که روی میکروسکوپ المپوس BX60 نصب شده است، صورت گرفت؛ برای تنظیم دستگاه از استانداردهای نیرتات سدیم با نقطه ذوب  $308^{\circ}\text{C}$  + و تتراکلرید کربن با نقطه ذوب  $22/99^{\circ}\text{C}$  - استفاده شد.

#### ۴-۱. سنگ‌نگاری میانبرهای سیال منطقه مطالعاتی

در مطالعات سنگ‌نگاری، مشخصات نوری میانبرهای سیال همچون شکل و اندازه، شناسایی و رده‌بندی ژنتیکی (شامل انواع میانبرهای 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 میانبرهای سیال پس از به دام افتادن مانند نشت و کشیدگی بررسی شد. به‌طور کلی از دید شکل ظاهری، میانبرهای سیال در این نمونه‌ها را می‌توان بر پایه متغیرهای Shepherd et al. (1985) و به ترتیب فراوانی به‌صورت زیر تقسیم‌بندی کرد:

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

همه موارد بالا (به‌ویژه ۱ و ۳) به فراوانی در بیشتر نمونه‌ها مشاهده می‌شوند. بر پایه مطالعات سنگ‌نگاری، رده‌بندی ژنتیکی میانبرهای 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 میانبرهای سیال مطالعه شده در بلورهای موجود متفاوت است و از ۶ میکرون تا ۱۵ میکرون می‌رسد. میانبرهای سیال اولیه بزرگ‌تر و میانبرهای شبه ثانویه و ثانویه در بیشتر موارد کوچک هستند. این میانبرها با عدسی شی ۱۰۰X - 50X - 10X و عدسی‌های چمشی 15X و 10X مطالعه شدند. در نمونه‌های مطالعه شده با عدسی 100X مقیاس خطی معادل ۱۴ میکرون و با عدسی شی 50X مقیاس خطی معادل ۲۸ میکرون است. نمونه‌برداری از رگه‌های سیلیسی شفاف صورت گرفت که پس از بررسی، سبب تفکیک ۵ نوع میانبر سیال به شرح زیر شد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲):

– **نوع A:** میانبر 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 میانبرها 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:** میانبر سیال دوفازی غنی از مایع (L + V) با پرشدگی تقریباً ۷۰ تا ۸۵٪، شوری متوسط با چگالی  $0/5 - 0/96 \text{ gr/cm}^3$  است که بیشترین حجم میانبر 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:** میانبر سیال دوفازی غنی از گاز (V + L) که حباب‌دار است و بیشترین حجم بوده و بیش از ۷۵ درصد فضای میانبر 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 ترائشه 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 به‌عنوان 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 سببراهای 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 سببرای رگه‌ها افزوده شده و کانی‌زایی نیز بیشتر می‌شود. در این منطقه ۲ ترائشه 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، کولیت، 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، کولیت و دیژنیت که شکستگی‌های موجود در سطح کالکوپیریت را دربر گرفته‌اند دیده می‌شود (شکل‌های ۵-الف و ت و ۶-ب). در بیشتر نمونه‌ها اکسیدهای آهن مانند لیمونیت و کانی‌های سولفیدی ثانویه همچون کولیت، 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 پراکنده 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 کولیت در پیرامون برخی از دانه‌های کالکوپیریت در حال جانشینی هستند (شکل‌های ۵-الف و پ).

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 میانبرهای 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 سرمایه‌ش محدوده دماهای ذوب پایانی در دامنه ۲۰- تا ۳- به دست آمده است؛ از مقادیر ثبت شده دمای ذوب پایانی، میزان شوری میانبارهای سیال طبق نمودارها و مطالعات رایج محاسبه شده‌اند (Bodnar, 1994). بالاترین شوری‌ها در محدوده ۴۰ تا ۴۵ درصد وزنی معادل کلرورسدیم در میانبارهای سیال‌هالیت‌دار به دست آمد که بیشتر آنها با انحلال پایانی فاز هالیت در میانبارها صورت گرفت. همه میانبارهای بدون فاز نوزاد نمک شوری پایینی در محدوده ۴ تا ۲۰ درصد وزنی معادل کلرورسدیم نشان دادند. در کل حضور رایج فاز نوزاد هالیت در میانبارهای 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 میانبارهای سیال مطالعه شده دیده می‌شود که مربوط به انواع میانبارهای با شوری بالا (دارای فاز نوزاد هالیت) و میانبار سیال با شوری کم (بدون هالیت) 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 سانتی‌گراد) 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 میانبارهای سیال مطالعه شده در سامانه‌های رگه‌ای منطقه در نمودارهای تجمعی دارای پراکندگی گسترده‌ای است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). بالاترین دماهای همگن‌شدگی در مجموعه میانبارهای سیال دارای فاز نوزاد هالیت (۳۰۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد) دیده می‌شود که بیشتر با انحلال فاز نمک نوزاد به مایع همگن می‌شوند (شکل- ۱۳). انحلال هالیت 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 هالیت به علت از دست رفتن H<sub>2</sub>O و یا کاهش حجم میانبار پس از به دام افتادن سیال نیز تفسیر شده است (ذاکر، ۱۳۹۲). همچنین بالاترین دماهای همگن‌شدگی در میانبارهای غنی از مایع در محدوده دمایی ۲۶۰ تا ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۱۴).

در شکل ۱۵ داده‌های میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه روی نمودار شوری- دمای همگن‌شدگی که محدوده‌های تیبیک 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 میانبارهای سیال و شوری آنها تا حدودی در دامنه مقادیر تیبیک میانبارهای 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 میانبارهای سیال اشباع از هالیت 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 کانی‌سازی های رگه‌ای حواشی سامانه‌های مس پورفیری نیز باشد (کریم‌زاده، ۱۳۹۲).

– **چگالی میانبارهای سیال مطالعه شده:** چگالی میانبارهای سیال مطالعه شده با بیشترین فراوانی، برای سه‌فازی‌ها در دامنه ۱/۲ gr/cm<sup>3</sup> تا ۰/۹ و برای دوفازی‌های غنی از مایع در دامنه ۰/۷ تا ۰/۹۳ قرار دارند (شکل ۱۶). این مقادیر تشابه کاملی با مقادیر گزارش شده از بسیاری ذخایر مهم مس- مولیبدن پورفیری دنیا دارند. دامنه چگالی میانبارهای سیال شورایی گزارش شده از کانسارهای پورفیری معمولاً بیشتر از ۱ g/cm<sup>3</sup> است و گاه تا ۱/۳ g/cm<sup>3</sup> نیز می‌رسد (Rodder, 1971). میانبارهای 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 سانتی‌گراد برای است (شکل ۹).

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

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

فازهای جامد دیده شده در نمونه‌ها بیشتر هالیت و به صورت جزئی سیلیت، 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 میانبارهای سیال به‌جز انواع دارای اثرات کشیدگی و نشست و نیز میانبارهای سیال تک‌فازی گاز و تک‌فازی مایع استفاده شده است.

#### ۴-۲. بررسی نتایج مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال

– **مطالعات سرمایش- گرمایش:** با اندازه‌گیری تغییرات درجه انجماد می‌توان میزان شوری و چگالی را در میانبارهای سیال دوفازی اندازه‌گیری کرد. در نمونه‌های مطالعه شده برای تعیین میزان شوری، عمل انجماد میانبارهای دوفازی (L+V) تادمهای نزدیک به ۱۰۰- درجه سانتی‌گراد انجام شد. با گرم کردن میانبار 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 میانبارهای سیال موجود در مقاطع و محاسبات در مجموع برای ۲۲۰ میانبار سیال انجام شد.

در میانبارهای 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 میانبارهای سیال تنها روی آنها عمل گرمایش صورت گرفت و محدوده دمایی ۳۰۰ تا ۵۴۰ درجه سانتی‌گراد 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 میانبارهای 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 میانبارهای سیال سه‌فازی که انحلال فاز نمک مقدم بر همگن‌شدگی پایانی به مایع با ناپدید شدن حباب بخار رخ می‌داد (TS(NaCl) < TH(L-V)).  
 ۲) انواع میانبارهای 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 هالیت است که از شکل ظاهر و دمای همگن‌شدگی قابل تشخیص است. به‌طور تجربی دمای همگن‌شدگی برای سیلیت تقریباً زیر ۲۰۰ و برای انیدریت در دماهای بالای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد به ثبت رسیده است. در میانبارهای دارای فاز نوزاد نمک، از دمای انحلال هالیت برای محاسبه میزان شوری (Nash, 1976) استفاده شده است. در بیشتر موارد، دمای انحلال نمک‌ها در میانبارهای سیال بیشتر از ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد، به عبارتی معادل با شوری بیشتر از NaCl wt.% ۵۰/۰۸ بود و تا این دما نیز بلورهای هالیت تغییرات کمی به‌صورت گرد شدن لبه‌ها از خود نشان می‌دادند. این موضوع نشان می‌دهد که دمای انحلال آنها ممکن است به بالای ۵۵۰ درجه سانتی‌گراد 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  $T_S > T_H$ ،  $1410 \text{ bar}$  (معادل ژرفای  $4/65$  کیلومتر) و برای میانبرهای سیال دیگر حدود  $940 \text{ bar}$  (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 2: NO)، میانبر سیال ممکن است در هر شرایطی از فشار (در این مورد بالاتر  $1000 \text{ bar}$ ) 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 3: NO)، میانبر سیال نمی‌تواند در شرایط فشار کم به دام افتاده باشد. همچنین با جانمایی داده‌های با شوری  $42$ ،  $39$  و  $45$  نیز روی نمودار با منحنی‌های لیکوییدوس هالیت و ایزوکورهای مرتبط (Bodnar, 1994; Cline & Bodnar, 1994) که برای شوری‌های زیر  $45$  درصد وزنی معادل کلرورسدیم رسم شد، فشار  $550 \text{ bar}$  و  $1400 \text{ bar}$  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 آبگین و مذاب همزیست، تابعی از فشار سامانه است (Shinohara et al., 1989) و با افزایش فشار، مقادیر بیشتری از کلر به درون فاز آبگین وارد می‌شود.

NO.1: TH1:  $240^\circ\text{C}$ , TS1=  $419^\circ\text{C}$ , Salinity= 49.33 wt % NaCl ;

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

No.2 : TH2:  $331.8^\circ\text{C}$ , 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:  $310^\circ\text{C}$ , 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 تیپیک 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 آبگین 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

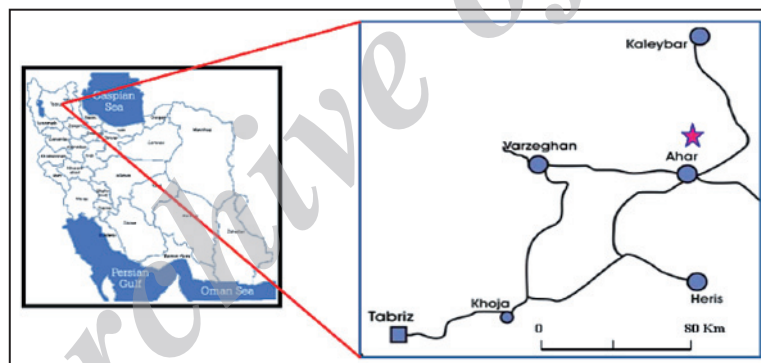
## ۵- نتیجه گیری

دیده می‌شود. در این نمودار تغییرات شوری میانبارهای سیال اشباع از حالت در برابر دمای همگن‌شدگی پایانی، روندی خطی از کاهش شوری با نسبتی ثابت به وجود آورده‌اند که در بیشتر سامانه‌های کانی‌ساز که سیال‌های کانه‌ساز آنها دچار جوشش شده‌اند، چنین نسبت‌های ثابتی از شوری گزارش شده است. همچنین چگالی میانبارهای سیال مطالعه شده با بیشترین فراوانی برای سه‌فازی‌ها در دامنه  $1/2 \text{ g/cm}^3$  تا  $0/9 \text{ g/cm}^3$  و برای دوفازی‌های 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 رگه‌ای کردیلرایی مرتبط با ذخایر مس پورفیری دنیا دارند. از مجموع شواهد به دست آمده از مطالعات میانبارهای سیال رگه‌های سیلیسی شمال روستای حاج‌علی‌بیگ‌کندی شیورداغ اهر چنین بر می‌آید که ضمن چیره بودن پدیده جوشش در سیال‌های کانه‌دار در زمان کانی‌سازی، تشکیل مس در این منطقه در ارتباط با رگه‌های سیلیسی مشابه نوع کردیلرایی که در بخش‌های بالایی سامانه پورفیری مس دیده می‌شوند، است.

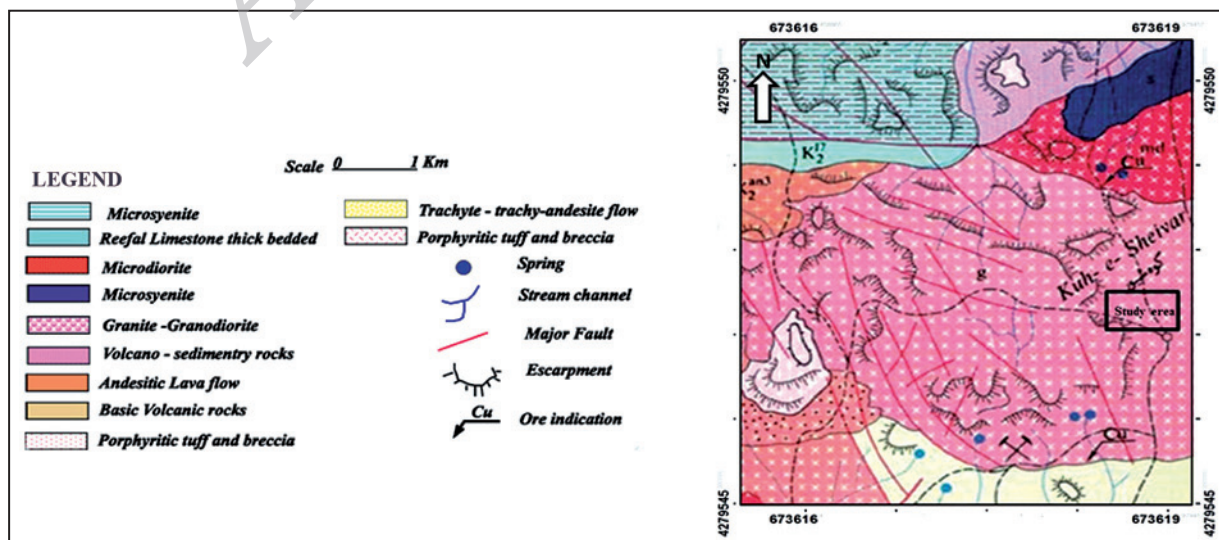
### سپاسگزاری

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

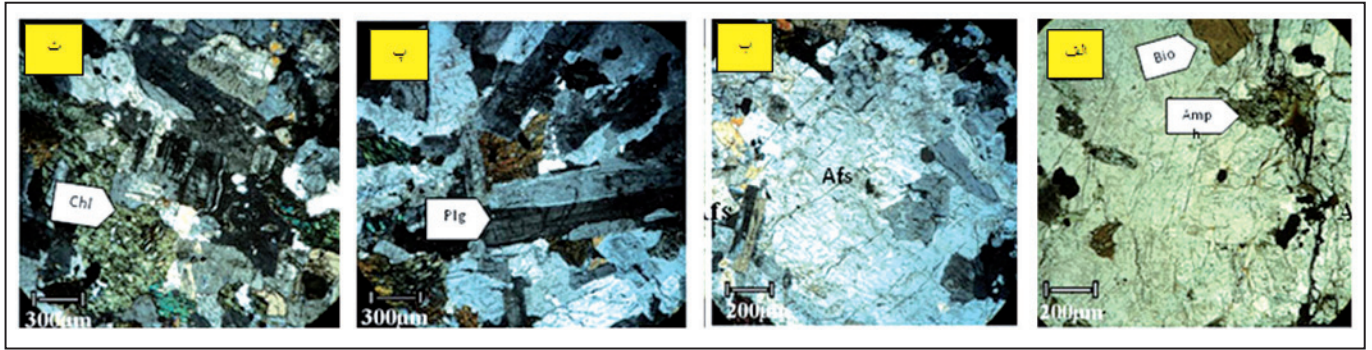
مجموع مطالعات صورت گرفته نشان از آن دارد که منطقه جنوب شیور دارای پتانسیل لازم برای کانی‌سازی مس، از نوع رگه‌ای گرمابی و مس پورفیری است. سری ماگمایی به وجود آورنده این سنگ‌ها از نوع کالک‌آلکان هستند و در محیط زمین‌ساختی مربوط به پس از کوهزایی و گرانیت‌های پس از برخورد تشکیل شده‌اند. با توجه به مطالعات کانه‌نگاری، کانی‌های درونزاد تشکیل شده در منطقه مورد مطالعه شامل کانه‌های مگنتیت، پیریت و کالکوپریت و کانی‌های ثانویه حاصل از پدیده دگرسانی برونزاد نیز شامل کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت و لیمونیت است. کانی‌سازی فلزی در منطقه مورد بررسی در ارتباط با توده نفوذی شیورداغ و توده‌های جوان‌تر از آن رخ داده است. عوامل ساختمانی مانند گسل‌ها و شکستگی‌ها، در جایگیری توده نفوذی و ایجاد کانی‌سازی رگه‌ای در منطقه نقش بسیار مهمی داشته‌اند. با جانمایی داده‌های میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه روی نمودار شوری-دمای همگن‌شدگی که محدوده‌های ذخایر پورفیری، اسکارن و اپی‌ترمال در آن مشخص شده‌اند، محدوده‌های دمای همگن‌شدگی پایانی میانبارهای سیال و شوری آنها در دامنه مقادیر میانبارهای سیال ذخایر رگه‌های کردیلرایی مرتبط با ذخایر پورفیری قرار می‌گیرند و در مراحل پایانی تحول سیال‌های ماگمایی-گرمابی روند مشخصی به سوی محدوده‌های دما-شوری پایین‌تر حاصل از سرد شدن و آمیختگی با آب‌های سرد خارجی و شرایط جوشش سیال‌های کانه‌دار



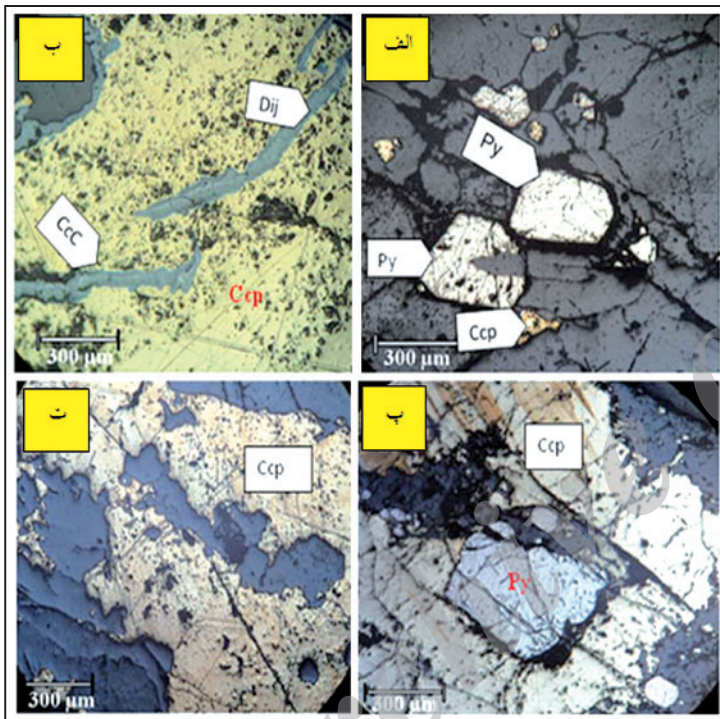
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه.



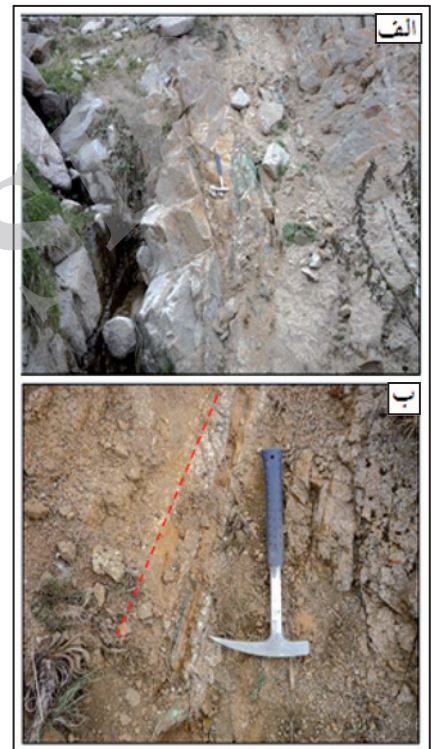
شکل ۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ و رزقان.



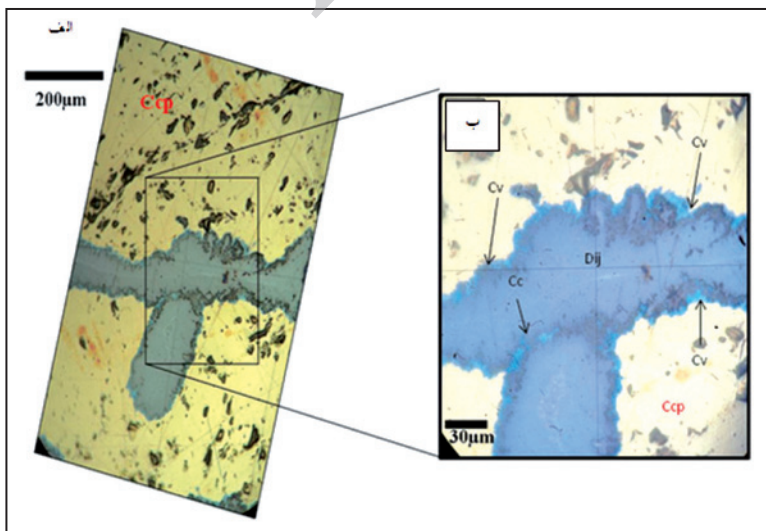
شکل ۳- الف) بلور درشت فلدسپار قلیایی به همراه بیوتیت و آمفیبول (PPL)؛ ب) بلور فلدسپار قلیایی (XPL)؛ پ) بلورهای درشت پلاژیو کلاز (XPL)؛ ت) کلریت ثانویه به همراه پلاژیو کلاز (XPL).



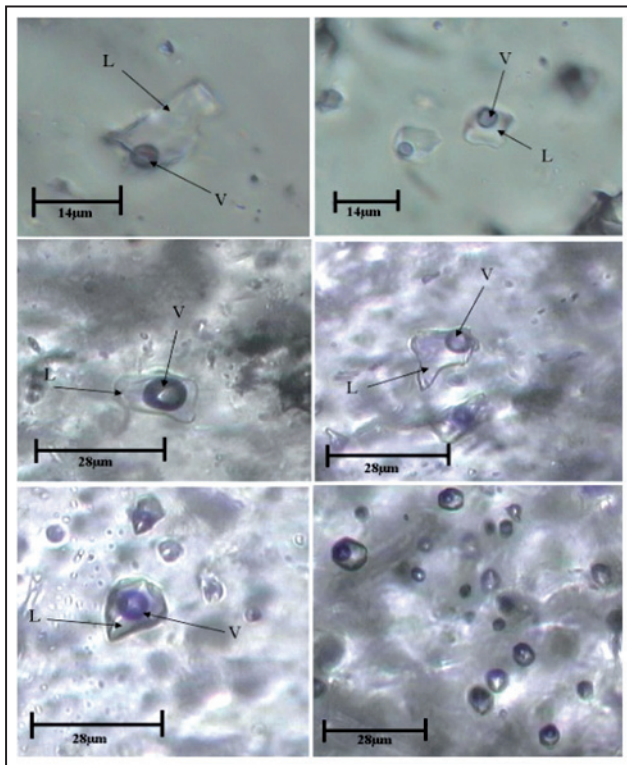
شکل ۵- الف) تصویری از بلورهای درشت و شکل دار پیریت؛ ب) تبدیل کالکوپیریت به کالکوسیت و دیزنیت در امتداد شکستگی‌ها؛ پ) جانشینی کالکوپیریت در امتداد شکستگی‌های پیریت؛ ت) تشکیل کالکوپیریت به صورت رگه‌ای.



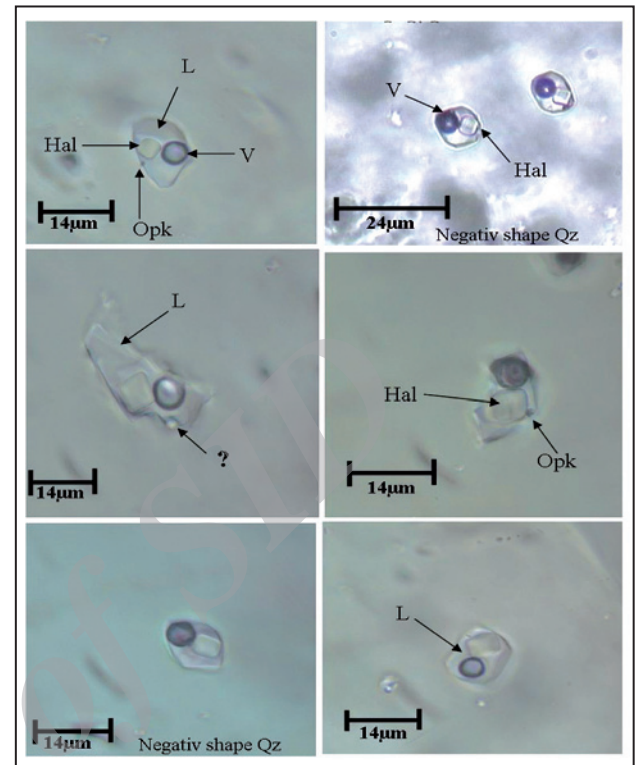
شکل ۴- رگه‌های سیلیسی کانی‌سازی شده با کالکوپیریت و ملاکیت و با امتداد N-S.



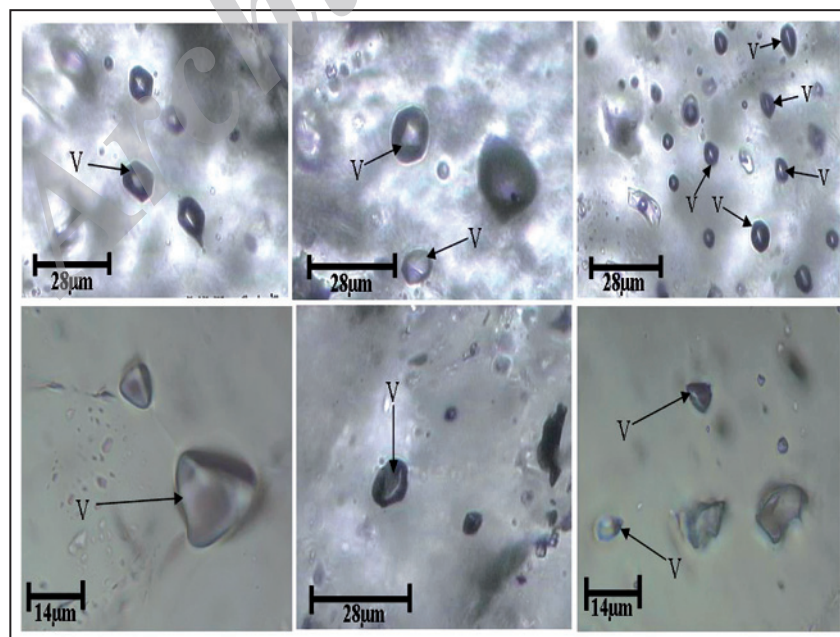
شکل ۶- الف) تصویری از بلور درشت کالکوپیریت که در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه است (PPL)؛ ب) تصویر بزرگنمایی شده شکل الف که کانی‌های ثانویه آن به خوبی مشخص است (PPL).



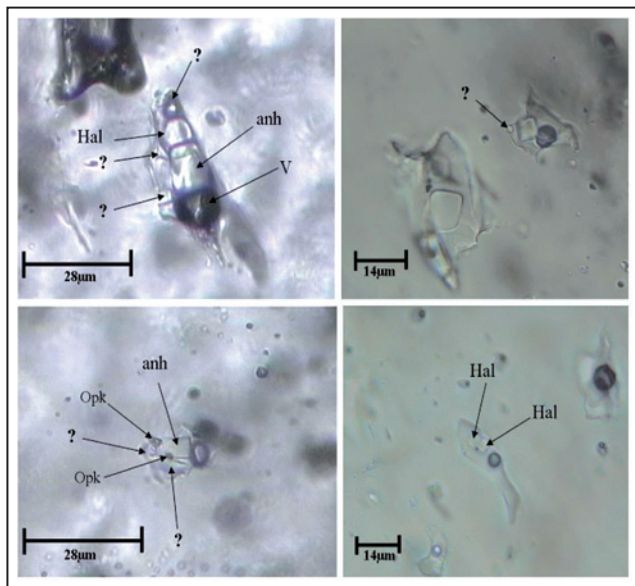
شکل ۸- انواع مختلف میانبارهای سیال مطالعه شده دوفازی مایع- گاز (L+V).



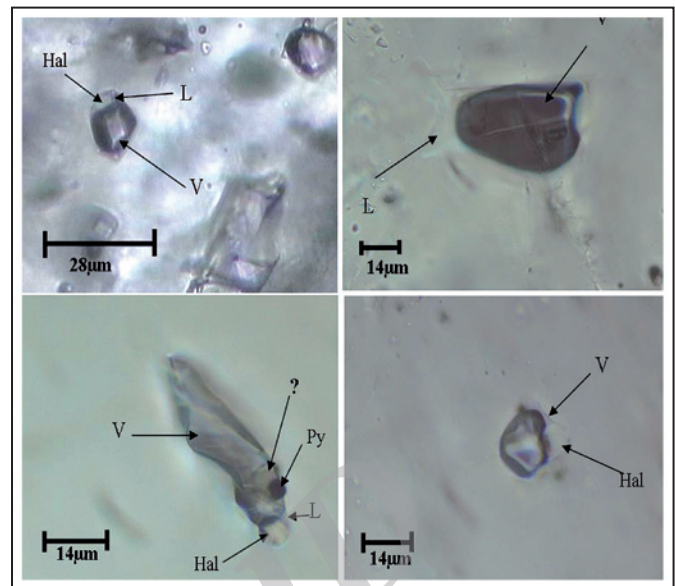
شکل ۷- انواع مختلف میانبارهای سیال مطالعه شده سه‌فازی مایع- گاز- جامد (L+V+S).



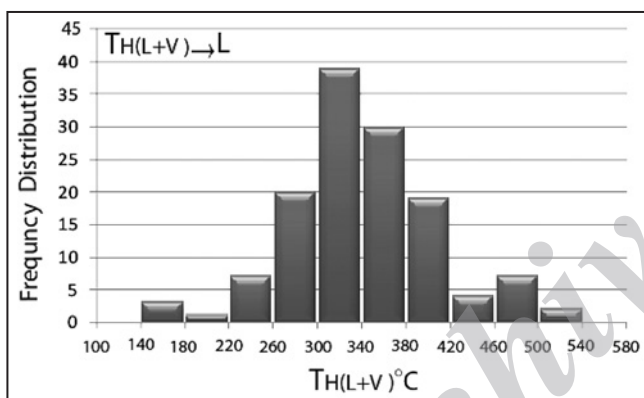
شکل ۹- انواع مختلف میانبارهای سیال بررسی شده دوفازی گاز- مایع (V+L).



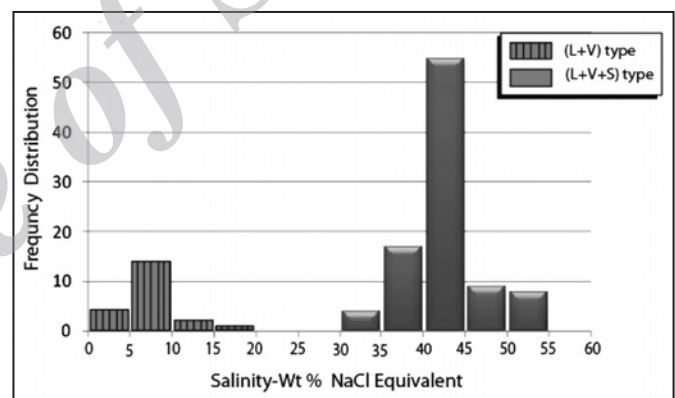
شکل ۱۱- انواع مختلف میانبرهای سیال با فازهای جامد شناسایی شده و مبهم.



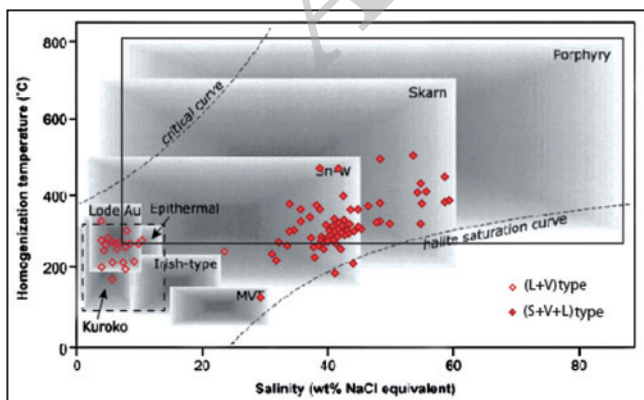
شکل ۱۰- انواع مختلف میانبرهای سیال تک‌فازی گازی.



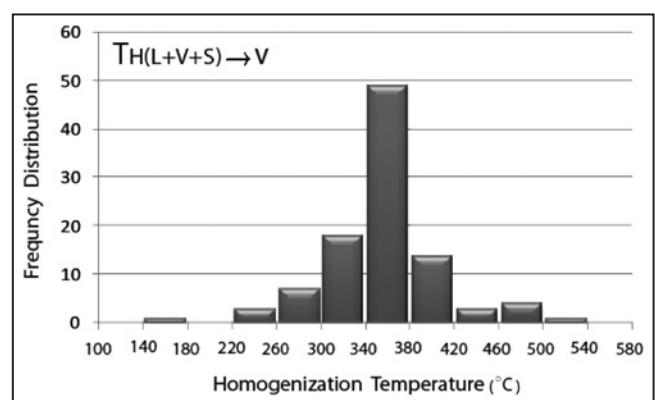
شکل ۱۳- نمودار فراوانی تجمعی دمای همگن‌شدگی میانبر سیال سه‌فازی در محدوده مورد مطالعه.  $^{\circ}\text{C TS}(\text{NaCl}) = \langle \text{TH}(\text{L}+\text{V}) \rangle \gg \text{TH}(\text{L}+\text{V})$



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

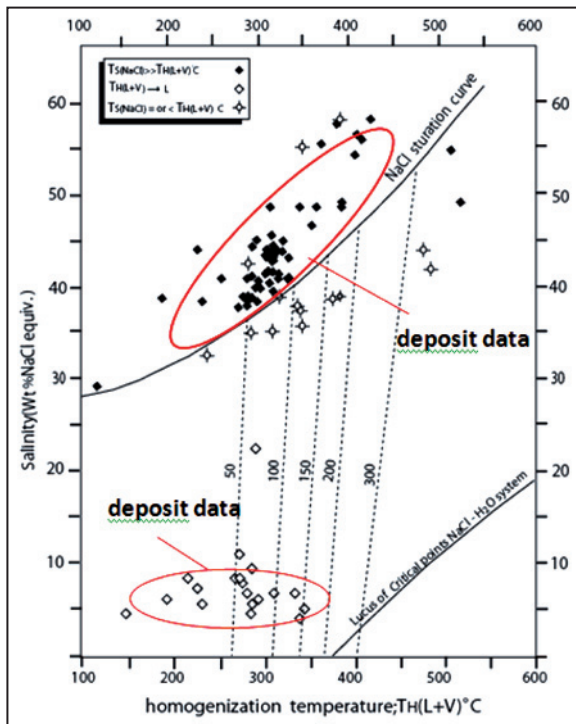


شکل ۱۵- محل قرارگیری میانبرهای سیال نمونه‌های حاج‌علی‌بیگ‌کندی در نمودار دمای همگن‌شدگی در برابر شوری کانسارهای مختلف (Wilkinson, 2001 با تغییر)؛ محدوده خط چین مربوط به کانسارهای پورفیری و محدوده مشخص شده با خط ممتد مربوط به کانسارهای اپی‌ترمال است.

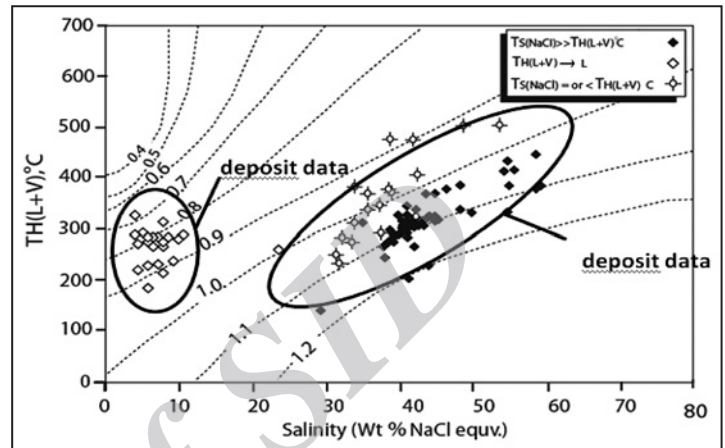


شکل ۱۴- نمودار فراوانی تجمعی دمای همگن‌شدگی میانبرسیال دوفازی (L+V) در محدوده مورد مطالعه.

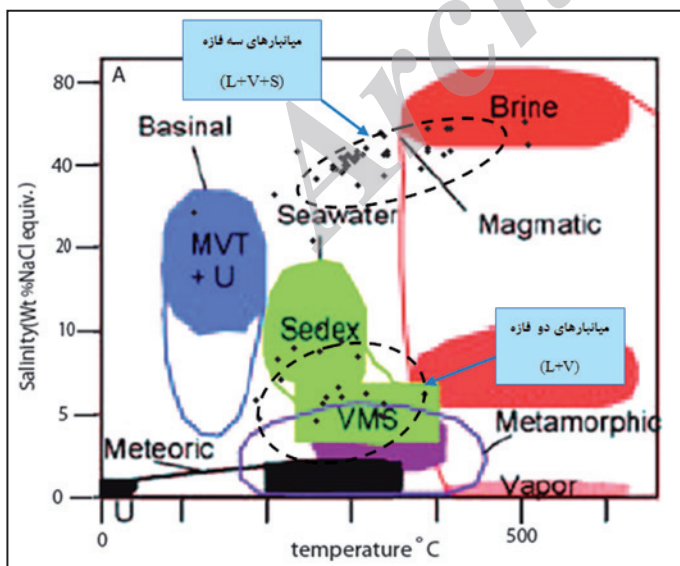




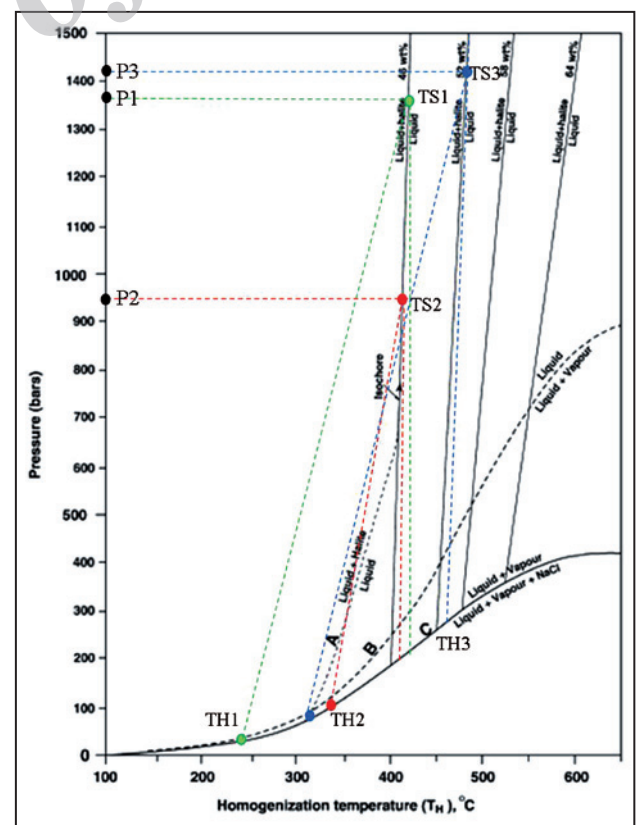
شکل ۱۷- نمودار نمایش تغییرات شوری در برابر دمای همگن شدگی  $TH_{(L+V)}$  برای میانبراهای سیال منطقه مطالعه شده، روی نموداری با منحنی‌های اشباع شدن حالت و منحنی بحرانی (Ahmad & Rose, 1980) و خطوط کنتوری (مقطع) فشار بخار سیال برای سامانه  $H_2O-NaCl$  در دما و شوری معین (Roedder, 1984). میانبراهای سیالی که بالای منحنی اشباع قرار گرفته‌اند با انحلال پایانی حالت همگن می‌شوند  $TS_{(NaCl)} > TH_{(L+V)}$  و میانبراهای 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 همگن شدگی در برابر شوری میانبراهای سیال برای تعیین خاستگاه میانبراهای سیال مطالعه شده.



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

## کتابنگاری

- آفانباتی، 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- ژئوترمومتری میانبارهای سیال، انتشارات دانشگاه پیام نور، ۳۲۰ ص.
- حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۹۱- گزارش عملیات پایانی اکتشافی محدوده جنوب انجرود، شرکت تولیدی مهراصل.
- ذاکر، ل.، ۱۳۹۲- مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌سازی، آلتراسیون، سیالات درگیر، ژئوشیمی و ژنز کانسار قره‌چیلر- باتولیت گرانیتوئیدی شاجهان (شمال باختر ایران)، رساله دکتری 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 اپی‌ترمال 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- دیباچه‌ای 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.% H<sub>2</sub>O-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.), *Magma, 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, Ertsberg 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.