

ذخیره مس محدوده زمین حسین، کمربند فلززایی دهچ - ساردوئیه، جنوب شرق ایران: ملاحظاتی روی کانه‌زایی، دگرسانی و میانبارهای سیال

محمد خالقی^۱، علی عابدینی^{۱*}، حجت‌الله رنجبر^۲، علی اصغر کلاگری^۳

۱- گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

۲- گروه مهندسی معدن، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

۳- گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

(دریافت مقاله: ۱۴۰۰/۲/۲۸، نسخه نهایی: ۱۴۰۰/۵/۶)

چکیده: ذخیره مس زمین حسین به عنوان بخشی از کمربند فلززایی دهچ - ساردوئیه، در ۱۷۰ کیلومتری جنوب شرق شهر کرمان واقع است. این ذخیره با سنگ‌های آتشفسانی (آنزیت، آندزی بازالت و آذرآواری‌ها) و توده‌های نفوذی (گرانوودیوریت و گرانیت) ائوسن میزانی می‌شود. دگرسانی‌های پروپیلیتی، سریستی، رسی-سریستی و سیلیسی با این ذخیره در ارتباط هستند. کالکوپیریت و پیریت مهمترین کانی‌های سولفیدی درونزد هستند که با انباشت‌های کانی‌های برونزاد چون گوتیت، هماتیت، لیمونیت، مالاکیت و آزوریت همراهی می‌شوند. کانی‌های درونزد اغلب بافت‌های رگه-رگچه‌ای، داربستی و فشرگون را نشان می‌دهند. برپایه ریزدماسنجی در بلورهای کوارتز همزد با کانه‌ها، چهار نوع میانبار سیال دو فاز غنی از مایع (L-V)، سه فازی مایع-گاز-جامد (L-V-S)، دو فازی غنی از گاز (V-L) و تک فازی گازی (V) بر اساس مقادیر فازی وجود دارند. نتایج ریزدماسنجی نشان می‌دهند که میانبارهای سیال دارای گستره دمای همگن شدگی گستره‌ای (۱۷۰ تا ۵۳۰ درجه سانتی‌گراد) هستند. میانبارهای سیال نوع L-V-S دمای همگن شدگی و شوری به ترتیب ۴۷۳-۴۹۰ درجه سانتی‌گراد و ۳۱/۴-۵۵/۶ درصد معادل وزنی نمک طعام دارند. میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L-V) شوری‌هایی در گستره ساده سیال‌ها، ساز و کارهای موثر در نهشت و گسترش این ذخیره بوده‌اند. سیال‌های کانسنس‌ساز به جوشش، آمیختگی و سرد شدن ساده سیال‌ها، جوی داشته‌اند. بر اساس ویژگی‌های بافتی و ساختی، انباشت‌های کانی‌ای دگرسانی و کانه‌زایی و داده‌های ریزدماسنجی، ذخیره زمین حسین می‌تواند در رده مس نوع پورفیری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: دهچ-ساردوئیه؛ کانه‌زایی؛ ذخیره زمین حسین؛ دگرسانی؛ میانبارهای سیال؛ مس پورفیری.

بحر آسمان و رازک) با میان‌لایه‌های رسوبی و سنگ‌های آتشفسانی الیگوسن (مجموعه هزار) به همراه سنگ‌های آذرین درونی ائوسن میانی تا الیگوسن-میوسن مهمترین واحدهای سنگی کمربند یاد شده هستند [۳، ۴]. سنگ‌های آذرین خروجی شامل بازالت، آندزیت، آندزی بازالت، تراکی آندزیت، داسیت و ریوداسیت و سنگ‌های آذرین درونی شامل گرانوودیوریت، گرانیت، دیوریت و کوارتز دیوریت هستند.

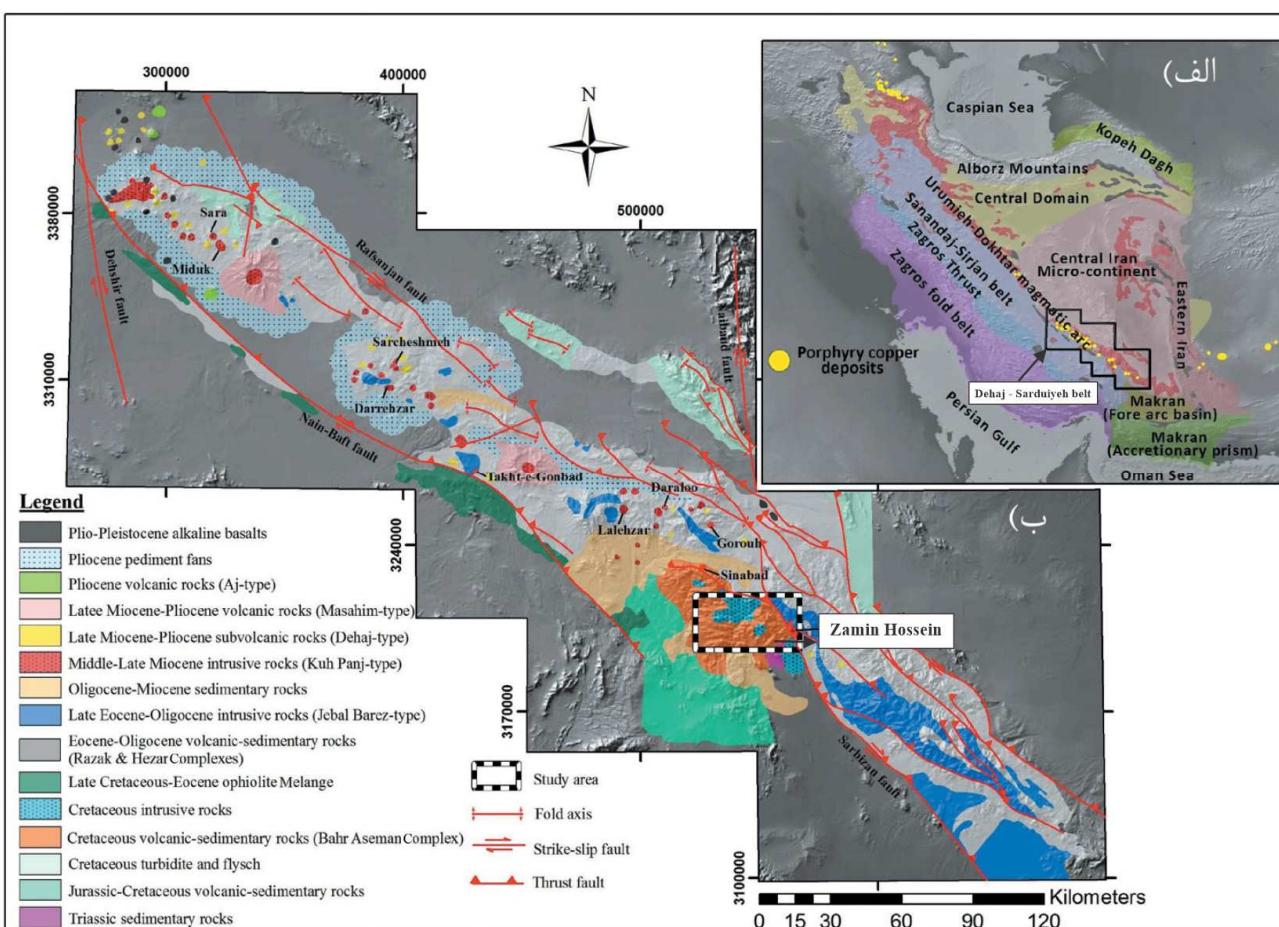
مقدمه
کمربند فلززایی دهچ-ساردوئیه بخش جنوبی کمربند ارومیه-دختر (شکل ۱ الف) [۱] و جزئی از کمربند مس ایران است. حضور سنگ‌های آتشفسانی-نفوذی ائوسن تا پلیوسن و کانی-زایی مس و مولیبدن پورفیری و رگه‌ای چندفلزی از مهمترین سیماهای زمین‌شناسی اقتصادی این کمربند محسوب می‌شوند (شکل ۱ب) [۲]. سنگ‌های آتشفسانی ائوسن (مجموعه‌های

*نویسنده مسئول، تلفن: ۰۴۴ (۳۲۷۷۶۷۰۷)، نامبر: ۰۴۴ (۳۲۹۷۲۱۳۴)، پست الکترونیکی: abedini2020@yahoo.com

سنگ‌های آذرین درونی الیگومن-میوسن در واحدهای سنگی قدیمی‌تر است. با وجود پژوهش‌های انجام شده پیرامون زمین‌شناسی، دورسنگی [۱۳]، سنگ‌شناسی و زمین‌شیمی عناصر خاکی نادر پهنه دگرسانی رسی [۱۴] منطقه زمین‌حسین، تاکتون بررسی دقیق و جامعی بر این منطقه از نظر زمین‌شناسی اقتصادی انجام نشده است. در این پژوهش، براساس بازدیدهای صحرایی، سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و بررسی‌های میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز همزمان تشکیل شده با کانی‌سازی سولفیدی، اطلاعات جامعی از روند کانه‌زایی، شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل و نوع ذخیره احتمالی ارائه شده است.

دگرسانی‌های گرمابی سریسیتی، رسی، اپیدوتی و پروپیلیتی در این سنگ‌ها رخ داده است [۵، ۶]. وجود گوسان و پهنه‌های اکسیدی هماتیتی، گوتیتی، لیمونیتی و جاروستیتی از ویژگی‌های بی مانند این کمربند فلززایی هستند [۷، ۸]. این کمربند میزبان ذخایر مس و مس-مولیبدن پورفیری چون میدوک شهربابک، سرچشمہ رفسنجان [۹]، تخت‌گنبد سیرجان [۱۰، ۱۱] و دره آلو بردسیر-رابر [۱۲] است.

ذخیره زمین‌حسین از نشانه‌های معدنی شاخص مس در بخش مرکزی کمربند فلززایی دهچ-ساردوئیه است (شکل ۱). این ذخیره در ۱۷۰ کیلومتری جنوب شهر کرمان و در ۹۰ کیلومتری شمال غرب شهرستان جیرفت واقع است. شکل‌گیری و تکامل سامانه گرمابی این ذخیره در ارتباط با جایگیری



شکل ۱ (الف) پهنه‌های ساختاری ایران [۱] که در آن، موقعیت کمربند دهچ-ساردوئیه (کمان ماجماهی سنوزوئیک کرمان، KCMA) و کمربند ماجماهی ارومیه-دختر نشان داده شده است. (ب) نقشه زمین‌شناسی ساده کمربند دهچ-ساردوئیه که در آن موقعیت منطقه مورد بررسی و تعدادی از ذخایر مس پورفیری شناخته شده است (برگرفته از مرجع [۱۵] با کمی تغییرات).

زمین‌حسین در لبه و مرز دو دگرسانی سریسیتی-رسی و پروپیلیتی با سنگ‌های آتشفسانی آندزیتی، کانی‌سازی‌های گسترده‌ای از مس و آهن به صورت رگه-رگچه وجود دارد.

روش بررسی

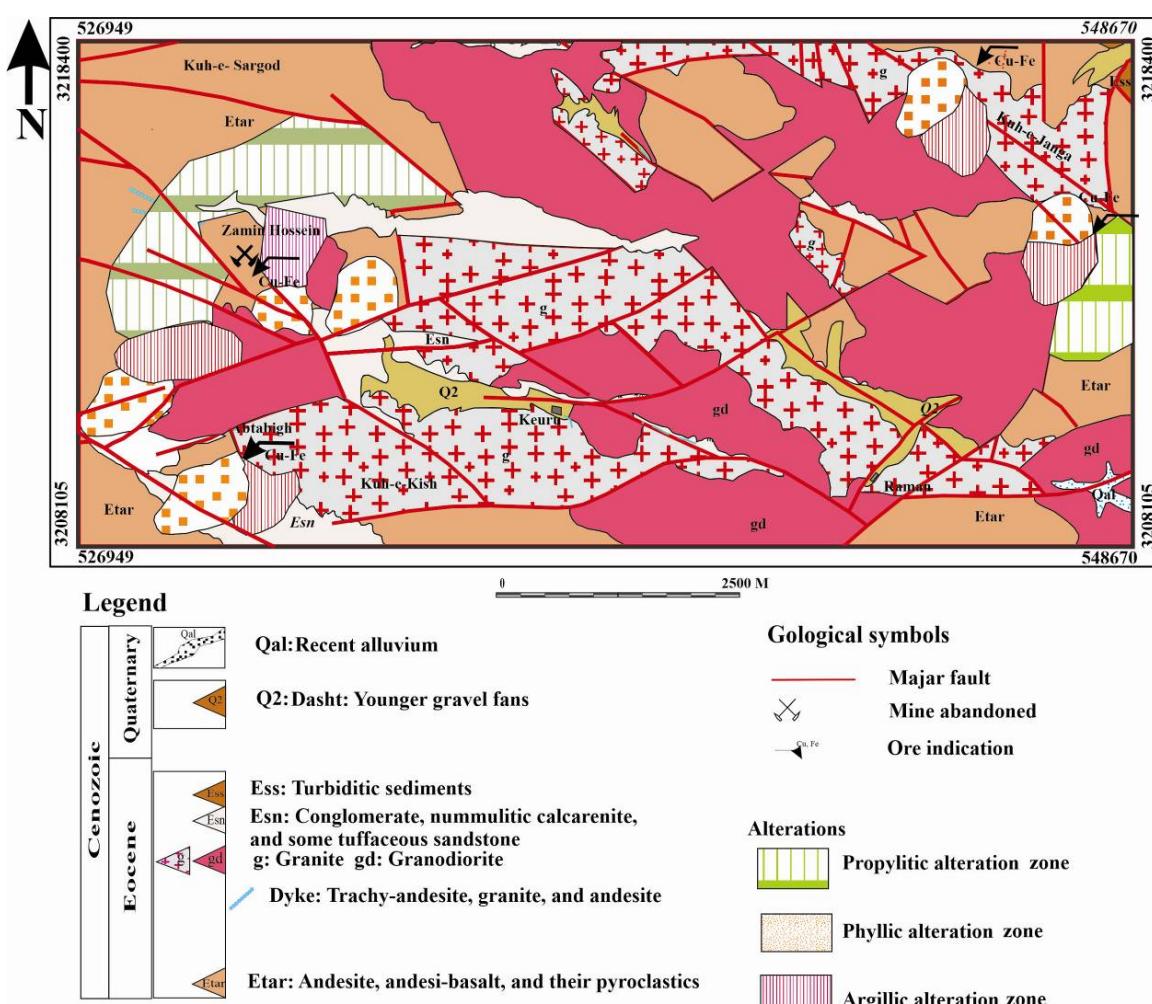
این پژوهش، در دو بخش صحرایی و آزمایشگاهی انجام شده است. در پیمایش‌های صحرایی، به منظور ارزیابی کلی و بررسی واحدهای سنگی منطقه و روابط آنها، از سنگ‌های آذرین درونی و آتشفسانی میزان کانه‌زایی، رگه-رگچه‌های کانه‌زایی شده نمونه‌برداری و برای شناسایی پهنه‌های دگرسانی و ارتباط آنها با سنگ‌های آذرین آتشفسانی، تعداد ۱۰۰ نمونه سنگی (سطحی و عمقی) برداشت شد. از بین نمونه‌های برداشت شده، ۴۰ مقطع نازک و ۲۰ مقطع صیقلی تهیه شد و با میکروسکوپ نوری (عوری- بازتابی) زایس مدل Axioplane در بخش زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان بررسی شدند. تعداد ۷ نمونه برای تعیین فازهای کانیایی پهنه‌های دگرسانی با پراش سنج پرتو X (XRD) فیلیپس مدل PW1800 با پرتوی Cu K α ، تک فاز ساز گرافیت ثابت شده، ولتاژ ۴۰ کیلو ولت، جریان ۴۰ میلی آمپر، سرعت روبش ۲ درجه بر دقیقه در گستره -70° - $2\theta=2\theta$ در آزمایشگاه شرکت بینالود تجزیه شدند.

شش نمونه دوبرصیقل از کوارتزهای خودشکل، درشت بلور و شفاف همزاد با رگه-رگچه‌های کوارتز-سولفید-اکسید برای بررسی‌های سنگنگاری و ریزدماسنجی تهیه شدند. بر اساس بررسی‌های سنگنگاری، تراشه‌های مناسب برای ریزدماسنجی انتخاب و اندازه‌گیری پارامترهای دمایی میانبارهای سیال با دستگاه سرمایش و گرمایش لینکام مدل THMS600 و میکروسکوپ نوری زایس در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران انجام شد. گستره دمایی دستگاه -196° -تا $+60^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد بوده است. این دستگاه مجهز به دو کنترل‌گر گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (برای انجام) و مخزن آب (برای خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. واستجی دستگاه طی گرمایش با نیترات سزیم با نقطه ذوب 414° درجه سانتی‌گراد و طی انجام با ماده استاندارد (ان-هگزان) با نقطه ذوب 94.3° -درجه سانتی‌گراد انجام شد. دقت دستگاه طی گرمایش و سرمایش به ترتیب $\pm 0.6^{\circ}$ و $\pm 0.2^{\circ}$ درجه سانتی‌گراد بود.

زمین‌شناسی

کمربند دهچ- ساردوئیه در راستای کمربند ماگمایی ارومیه-دختراز شمال غرب استان کرمان شروع شده و با طول بیش از ۵۰۰ کیلومتر تا جنوب‌شرق این استان ادامه دارد. این کمربند ستبرایی حدود ۱۵ کیلومتر دارد و به طور عمده از سنگ‌های آتشفسانی اسیدی تا بازی ائوسن و توده‌های آذرین درونی میوسن-پلیوسن تشکیل شده است [۱۵]. توده‌های آذرین درونی الیگومیوسن-پلیوسن در این کمربند به واحدهای آتشفسانی ائوسن هجوم برده و با گسترش سامانه‌های دگرسانی گسترده، با کانه‌زایی همراه شده‌اند. رسوب‌های کواترنری نیز پیرامون کمربند را پوشانده و درون بعضی از حوضه‌ها نهشته شده‌اند. مهم‌ترین واحدهای آتشفسانی این کمربند عبارتند از (الف) مجموعه آتشفسانی بحر آسمان با حدود ۷ هزار متر ستبرایه سن ائوسن پیشین- میانی و دربردارنده سنگ‌های آذرین و آذرآواری اسیدی در آغاز و ردیفهای آذرآواری و آندزی- بازالتی در ادامه، (ب) مجموعه رازک به سن ائوسن میانی-پایانی و شامل سنگ‌های آذرین حدواسط و اسیدی و (پ) مجموعه آتشفسانی هزار به سن الیگوسن دارای فلدسپاتوئید فراوان با گرایش آهکی قلیایی ناشی از فعالیت ماگمایی زیر اشباع از سیلیس.

بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که واحدهای زمین-شناسی منطقه زمین‌حسین را می‌توان از نظر سنی به دو زمان ائوسن و کواترنر تقسیم نمود (شکل ۲) [۱۵]. تشکیلات سنگی ائوسن در این منطقه را می‌توان به پنج واحد مجزاً تفکیک کرد که به ترتیب از قدیم به جدید عبارتند از (۱) سنگ‌های آذرین آتشفسانی آندزیت، آندزی-بازالت و مواد آذرآواری، (۲) دایک‌های تراکی آندزیتی، آندزیتی و گرانیتی، (۳) گرانیت و گرانودیوریت، (۴) کنگلومر، کالکرینیت نومولیت‌دار و ماسه-سنگ توفی و (۵) رسوب‌های توربیدیاتی. تشکیلات کواترنری منطقه نیز شامل دو واحد مخروط افکنه‌های گراول‌دار جوان و رسوب‌های آبرفتی عهد حاضر است (شکل ۲). در این منطقه، در نزدیکی برخوردگاه سنگ‌های آذرین گرانیتی و گرانودیوریتی با سنگ‌های آندزیتی، آندزی-بازالت و مواد آذرآواری و یا درون سنگ‌های آتشفسانی یاد شده فعالیت‌های ماگمایی همراه با رخداد سامانه‌های گرمایی ایجاد شده است. کانه‌زایی‌های رخداد اغلب به صورت رگه‌ای و پراکنده دیده می‌شوند. بر اساس پیمایش‌های صحرایی و بررسی مغزه‌های حفاری در منطقه



شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی منطقه زمین‌حسین [۱۵] که در آن، گسترش پهنه دگرسانی‌های پروپیلیتی، سریسیتی و رسی نسبت به سایر واحدهای سنگی نمایش داده شده است.

سیلیسی اهمیت دارد. دگرسانی پروپیلیتی با گسترش فراوان دربردارنده کانه‌زایی مگنتیت در اغلب نمونه‌های سطحی و نیز در نمونه‌های مربوط به مغزه‌های حفاری دیده می‌شود. بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که این دگرسانی ناشی از جانشینی کانی‌های فرومیزین (بیوتیت و هورنبلند) با کانی‌های ثانویه اپیدوت، کلریت و کلسیت است (شکل‌های ۳ الف و ب). دگرسانی سریسیتی تنها درون توده نفوذی و در لبه دگرسانی رسی گسترش یافته است. این دگرسانی دربردارنده کانی‌های سریسیت، پیریت، کوارتز، کالکوپیریت و هماتیت است (شکل‌های ۳ پ و ت). در مناطقی که در معرض دگرسانی رسی قرار گرفته‌اند، فلدسپار به کانی‌های رسی تبدیل شده است. الگوهای XRD برای این نوع دگرسانی، حضور کانی‌های رسی (کاٹولینت، مونتموریلونیت و ایلیت)، آلبیت، هماتیت و کوارتز را نشان می‌دهد (جدول ۱). در این دگرسانی، کانی‌های رسی

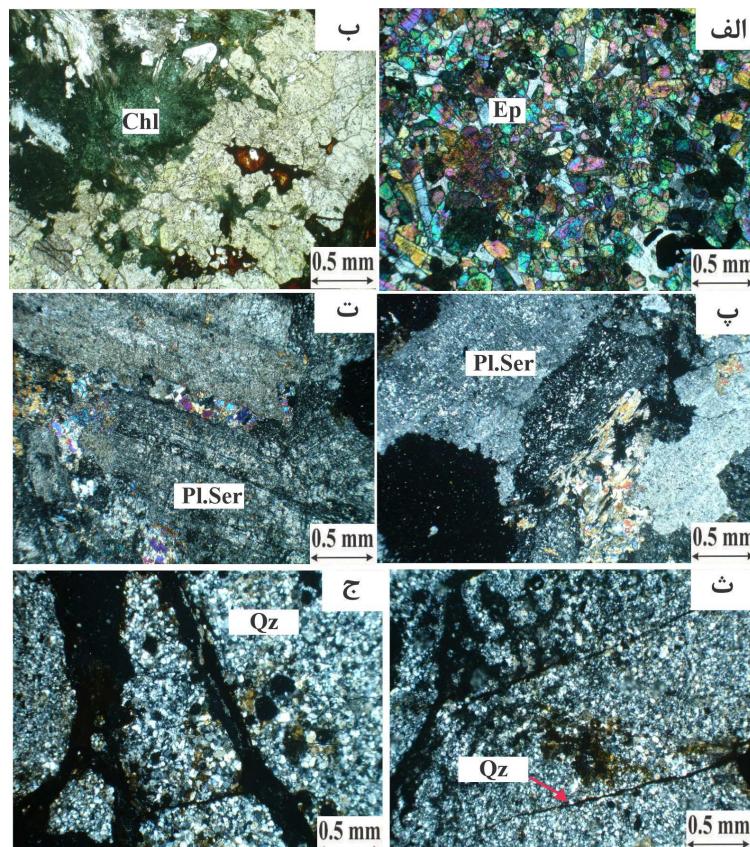
نتایج و بحث

دگرسانی‌های همراه

واحدهای سنگی میزبان در منطقه زمین‌حسین (سنگ‌های آتشفسانی آندزیت، آندزی- بازالت و مواد آذرآواری ائوسن و سنگ‌های گرانیتی و گرانودیوریتی ائوسن) توسط سیال‌های گرمایی دگرسان شده و با تشکیل و گسترش یک سامانه دگرسانی بسیار گسترده همراه شده‌اند. دگرسانی‌های سریسیتی، رسی، سریسیتی- سیلیسی و پروپیلیتی در ارتباط با تزریق سیال‌های گرمایی مراحل اول (بیشتر ماقمایی) و دوم (ماگمایی- جوی) هستند که با تشکیل رگه- رگچه‌های شامل پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت و گوتیت همراه شده‌اند. بر اساس بررسی‌های انجام شده، دگرسانی چیره در منطقه زمین‌حسین از نوع پروپیلیتی هستند که پس از آن، دگرسانی رسی همراه با گسترش محدود دگرسانی‌های سریسیتی و

مهم و موثر در تهنشینی سیلیس (کاهش فشار، دما و pH محلول) به صورت کانی‌های اوپال، کوارتز و کالسدونی تشکیل شده است. این نوع دگرسانی به صورت رگه و رگچه‌های متعدد بر سنگ‌های آذرین نفوذی منطقه اثر داشته است (شکل‌های ۳ ث و ج).

به طور کامل و یا بخشی جانشین کانی‌های اولیه چون پلازیوکلاز و فلدسپار قلبایی شده‌اند. دگرسانی سیلیسی از دیگر دگرسانی‌ها در منطقه زمین‌حسین است که اغلب به تدریج به دگرسانی سریسیتی می‌رسد. این دگرسانی در اثر اضافه شدن سیلیس به سنگ توسط محلول‌های ماقمایی یا گرمایی و با بالا رفتن مقدار سیلیس به دلیل احلال مواد دیگر سنگ و عوامل



شکل ۳ (الف و ب) تصویری از دگرسانی پروپیلیتی با حضور اپیدوت (Chl) و کلریت (Ep)، نور XPL (پ و ت) درشت بلورهای پلازیوکلاز (Pl) که در اثر عملکرد فرآیندهای دگرسانی به سریسیت (Ser) تبدیل شده‌اند، (ث و ج) دگرسانی سیلیسی در زمینه‌ای ریز بلور از کانی‌های کوارتز (Qz) : پلازیوکلاز، Ser : سریسیت، Qz : کوارتن، Ep : اپیدوت و Chl : کلریت؛ [۱۶] تصاویر در نور قطبیده مقاطع (xpl) تهیه شده‌اند.

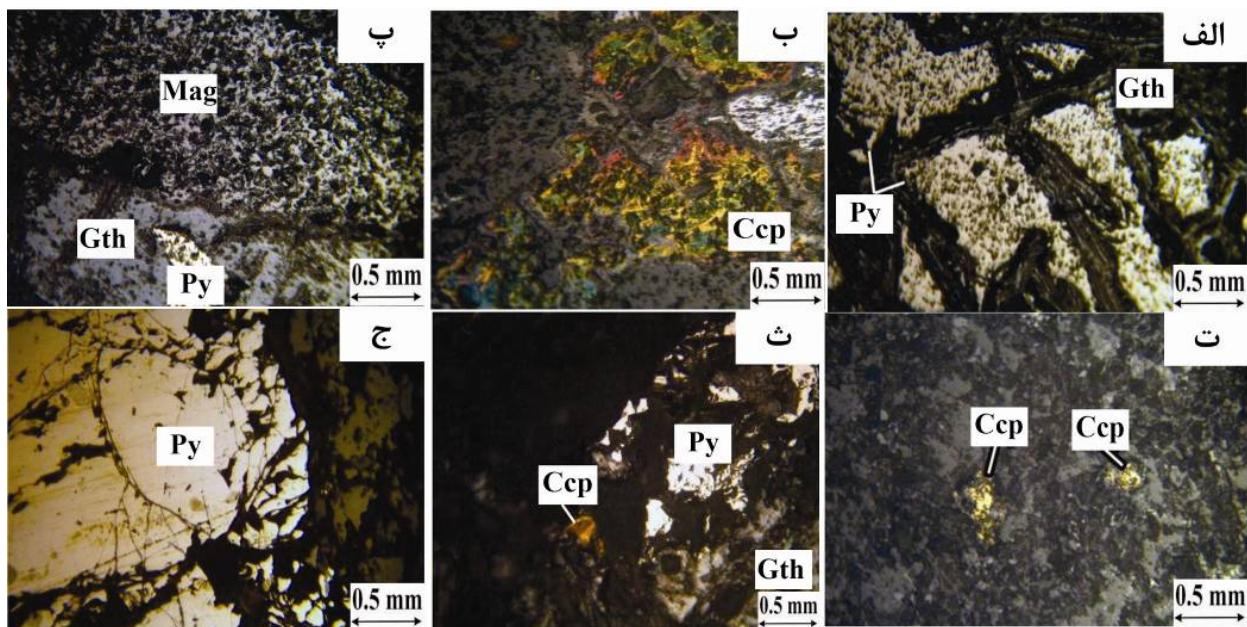
جدول ۱ نتایج برآمده از الگوهای XRD نمونه‌های انتخابی از پهنه‌های دگرسانی ذخیره زمین‌حسین.

شماره نمونه	فازهای اصلی	فازهای فرعی
Zm-85	کوارتز، کائولینیت	آلیت، مسکوویت-ایلیت، گوتیت، اورتوکلاز
Zm-87	کائولینیت، گوتیت	آلیت، هماتیت، مسکوویت-ایلیت، کلسیت، کوارتز، اورتوکلاز
Zm-90	کائولینیت، گوتیت، هماتیت	آلیت، کوارتز، کلسیت
Zm-92	کوارتز، کائولینیت	مونتموریلونیت، کلسیت
Zm-95	کائولینیت، گوتیت، هماتیت، آلیت	مسکوویت-ایلیت، کلسیت
Zm-99	کوارتز، کائولینیت گوتیت	آلیت، جاروسیت، سنگ گچ
Zm-101	کائولینیت، گوتیت	کلسیت، مسکوویت-ایلیت، مونتموریلونیت

انجام شده، پیریت به صورت توده‌ای با فراوانی ۱۰-۱۲٪ تشکیل شده است. این کانه به طور عمده برشی شده و در هم رشدی با کالکوپیریت است (شکل ۴ ث). این کانه برشی شده (شکل ۴ ج) از لبه‌ها به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است (شکل ۴ پ).

بافت گل کلمی بافت غالب این کانه است. کالکوپیریت دیگر کانه سولفیدی درونزاد در منطقه زمین-حسین است که نسبت به پیریت فراوانی کمتری دارد و اغلب در درز و شکاف پیریت گسترش یافته است (شکل ۴ ث). کوارتزهای مرحله سوم به صورت بلورهای درشت، شفاف و پرکننده فضای خالی دیده می‌شوند. در این مرحله، کمی پیریت تشکیل شده است. از مهم‌ترین کانی‌های برونزاد منطقه می‌توان به مالاکیت، آزوریت، گوتیت، هماتیت و لیمونیت اشاره کرد که در سطح گسترش یافته‌اند. به نظر می‌رسد که خنثی شدن محلول‌های اسیدی فرورو مس‌دار ناشی از اکسایش پیریت در اثر برخورد با رگه‌های کربناتی مسیر، سبب ترسیب مس به صورت کانی‌های کربناتی (مالاکیت و آزوریت) شده است. توالی پارازنی برای این تغییر و دگرگونی‌های کانی‌ای در شکل ۵ نشان داده شده است.

بررسی‌های میکروسکوپی
بررسی‌های کانه‌نگاری نشان داد که پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، هماتیت و گوتیت مهم‌ترین کانه‌ها در رگه‌ها و رگچه‌های کانه‌زایی شده هستند (شکل ۴). کانه‌زایی در منطقه زمین‌حسین به صورت رگه-رگچه‌ای و درون شکستگی‌ها و درزهای سنگ میزبان با ترکیب آندزیتی- تراکی آندزیت که دستخوش دگرسانی سریسیتی- سیلیسی، رسی و پروپیلیتی شده اند، گسترش یافته است. مهم‌ترین کانه‌های درونزاد شامل کالکوپیریت، مگنتیت، پیریت و بورنیت هستند که با کانی‌های برونزادی چون مالاکیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای ثانویه آهن (گوتیت، هماتیت، جاروسیت و لیمونیت) همراهی می‌شوند. کانی‌های یاد شده اغلب در پهنه‌های دگرسانی سریسیتی و رسی دیده می‌شوند. بر اساس بررسی رگه و رگچه‌های کانه‌زایی شده و روابط بین آنها، روند برای کانی‌سازی می‌توان سه مرحله در نظر گرفت. کوارتز مهم‌ترین کانی تشکیل شده در مرحله نخست است که به صورت توده‌ای و رگچه‌ای همراه با پیریت دیده می‌شود. در مرحله دوم، تشکیل پیریت با کالکوپیریت و بورنیت همراهی می‌شود. بر اساس بررسی‌های



شکل ۴ (الف و ب) کانی‌سازی پیریت (Py) و کالکوپیریت (Ccp) در رگچه‌های کانه‌دار که در آن کالکوپیریت (Ccp) در اثر عملکرد فرآیندهای دگرسانی به گوتیت (Ght) تبدیل شده است. (پ و ت) کانی‌سازی پیریت (Py) همراه با کالکوپیریت و مگنتیت (Mag) در رگچه‌های کانه‌دار که در آن پیریت و کالکوپیریت در اثر دگرسانی به ترتیب به هماتیت و گوتیت تبدیل شده‌اند. (ث و ج) کالکوپیریت همراه با پیریت (Py) و گوتیت (Ght) در رگچه‌های کانه‌دار. (Gth: گوتیت، Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Hem: هماتیت و Mag: مگنتیت؛ [۱۶]) تصاویر در نور بازنایی تهیه شده‌اند.

کانی	سنگ میزبان	کانی سازی درونزاد			کانی برونزاد
		مرحله اول	مرحله دوم	مرحله سوم	
پلازیوکلاز					
هورنبلند					
بیوتیت					
کوارتز					
سریسیت					
اپیدوت					
کلریت					
مگنتیت					
کالکوپیریت					
پیریت					
کلسیت					
دولومیت					
سیدریت					
آنکریت					
بورنیت					-
مالاکیت-آزوریت					-
هماتیت					
گوتیت					

شکل ۵ توالی پارازنی برای رگه-رگچه‌های کانه‌دار منطقه زمین حسین. ضخامت دوک‌ها بیانگر فراوانی کانی‌ها در رگه-رگچه‌هاست.

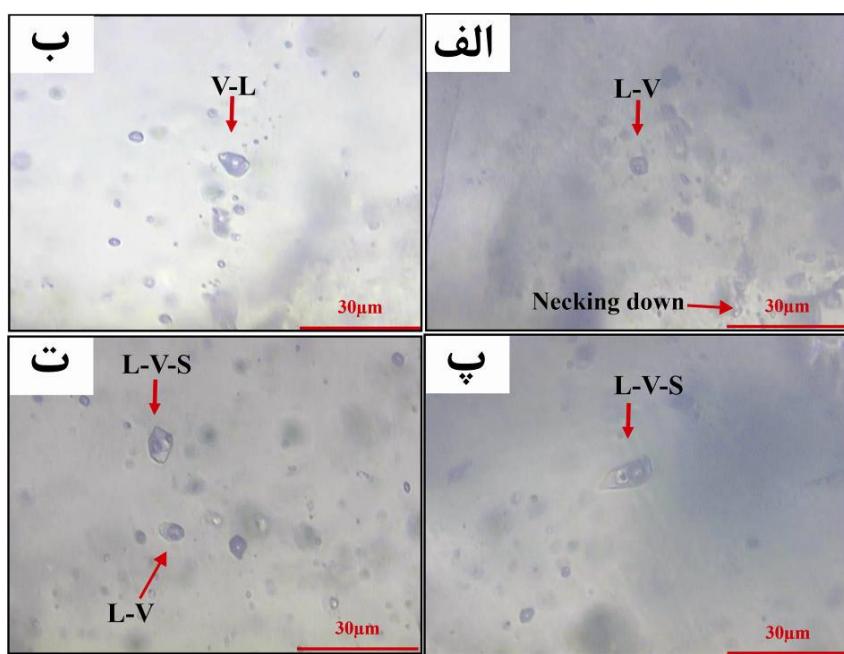
تفکیک شدند. بر اساس مقدار فازی، میانبارهای سیال اولیه در ذخیره زمین حسین به چهار نوع قابل تفکیک هستند که در ادامه بیان می‌شوند.

میانبارهای سیال دوفازی غنی از مایع (نوع V-L): این نوع از میانبارهای سیال اغلب درجه پرشدگی ۷۰ تا ۸۰ درصد و گاهی بیش از ۸۰ درصد را نشان می‌دهند (شکل ۶ الف).

میانبارهای سیال دوفازی غنی از گاز (نوع L-V): این دسته از میانبارهای سیال شامل فازهای بخار و مایع هستند. در این نوع میانبارها، حباب گاز بیش از ۷۰ تا ۸۰ درصد فضای موجود را اشغال کرده است. از اینرو، این گروه از میانبارها به دلیل کوچک بودن (کمتر از ۵ میکرون) ریزدماسنجی نشدنند.

میانبارهای سیال سه‌فازی هالیت دار (نوع S-V-S): این دسته از میانبارهای سیال با حضور فاز مایع، گاز و جامد مشخص می‌شوند. درجه پرشدگی این میانبارها ۷۰ تا ۸۰ درصد است. هالیت با بلورهای مکعبی فاز نوزاد جامد با این نوع میانبارها همراه است (شکل‌های ۶ پ و ت).

بررسی میانبارهای سیال
 بررسی‌های میکروسکوپی نشان داد که کوارتز در رگه‌های کانه‌دار در نمونه‌های سطحی و گمانه‌های اکتشافی همزاد با کانه‌زایی سولفیدی بوده و برای بررسی میانبارهای سیال مناسب هستند. با توجه به بررسی‌های سنگنگاری انجام شده، ۶ نمونه دوبر صیقل شرایط مناسب برای ریزدماسنجی را داشتند. از اینرو، ۴۶ میانبار سیال ریزدماسنجی شدند. بررسی‌های سنگنگاری به منظور شناسایی انواع میانبارهای اولیه و ثانویه، رده‌بندي زايشي، تهييه تصاویر مناسب و ریزدماسنجي انجام گردید.
سنگنگاری میانبارهای سیال: بررسی‌های انجام شده نشان داد که میانبارهای سیال در بلورهای کوارتز همزاد با رگه-رگچه‌های کانه‌دار از نوع اولیه و ثانویه هستند. اندازه میانبارها در نمونه‌ها از ۵ تا ۸۰ میکرومتر متغیر است و پدیده باریک شدگی در برخی از آنها دیده می‌شود (شکل ۶ الف). بر اساس عواملی چون اندازه بزرگ (شکل ۶ ب)، توزیع ناهمگن، نسبت‌های فازی مشابه و نبود آرایه خطی، میانبارهای سیال اولیه از ثانویه



شکل ۶ تصاویر میکروسکوپی از انواع میانبارهای سیال در بلور کوارتز. (الف و ب) شکل‌های کروی تا نامنظم میانبارهای سیال دو فازی V-L و L-V برخی همراه با باریکشدگی، (پ و ت) میانبارهای سیال نوع سه فازی (L-V-S) همزاد با نوع دو فازی L-V.

در مرحله گرمایش، اغلب میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L-V) به فاز مایع همگن می‌شوند و دمای همگن شدگی آنها در گستره ۳۵۹-۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد (شکل ۷ الف). از میانبارهای سیال سه فازی هالیت‌دار (L-V-S)، تعداد بیست میانبار با ناپدیدشدن فاز جامد (هالیت) همگن شده (Th_(L-V)<T_{S(NaCl)}) و یازده میانبار با ناپدید شدن فاز بخار همگن گردیدند (Th_(L-V)>T_{S(NaCl)}). بر اساس مقادیر T_{S(NaCl)} به دست آمده، شوری‌های تعیین شده [۱۷] برای این نوع میانبارها در گستره ۵۳-۳۵٪ قرار دارند (شکل ۷ ب). بر اساس نتایج ریزدانسنجی، میانبارهای سیال دو فازی غنی از مایع (L-V) و سه فازی (L-V-S) از نظر دمای همگن شدگی و شوری دو جمعیت متفاوت را نشان می‌دهند. در واقع، میانبارهای سه فازی با شوری و دمای همگنی بالا، در روند تکاملی سیال‌های کانه‌دار دستخوش جوشش شده و به دام افتاده‌اند. همچنین، حضور میانبارهای دو فازی غنی از گاز (V-L) و تک فازی گازی (V) در کنار آنها خود می‌تواند دلیلی بر رخداد پدیده جوشش باشد. در این مرحله، سیال‌های کانه‌ساز به احتمال بسیار با خاستگاه ماقمایی و شوری اولیه حدود ۵ درصد وزنی نمک طعام، در اثر رخداد پدیده جوشش، شوری خود را افزایش داده و به بیش از ۵۰ درصد وزنی نمک طعام رسانده‌اند. از طرف دیگر، میانبارهای دو فازی غنی از مایع

میانبارهای سیال تکفاز گازی (V): این نوع از میانبارها به همراه میانبارهای نوع V-L و L-V-S در درون بلور میزان حضور دارند و به رنگ سیاه دیده می‌شوند.

بررسی‌های ریزدانسنجی

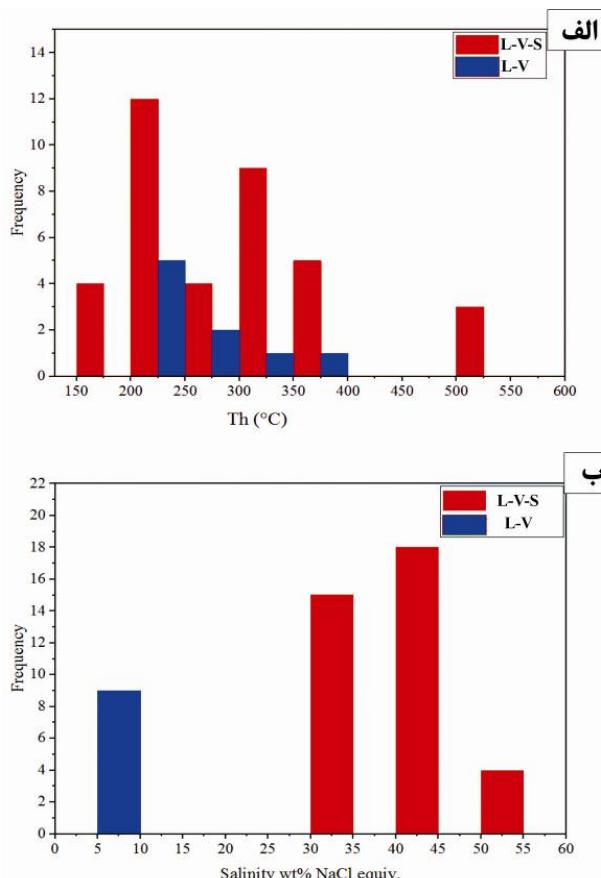
در این ریزدانسنجی، نخست عملیات سرمایش و سپس گرمایش برای میانبارهای سیال دوفازی اولیه (۴۶ نمونه) انجام شد. فرایند سرمایش برای تعیین مقدار شوری و نوع مواد محلول و فرایند گرمایش برای تعیین دمای همگن شدگی در میانبارهای سیال انجام شد. نتایج بدست آمده از مرحله سرمایش نشان داد که آخرین دمای ذوب بخ (T_{m_{ice}}) برای میانبارهای L-V در گستره ۱-۴ درجه سانتی‌گراد بوده که معادل با شوری‌هایی در ۱/۷۴ تا ۶/۴۵ درصد معادل وزنی نمک طعام است (شکل ۷ ب). دمای ذوب بخ (T_{m_{ice}}) در گستره ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد متفاوت بوده که معادل شوری‌هایی در ۴۷۳ درجه سانتی‌گراد متغیر بوده که معادل شوری‌هایی در گستره ۳۱/۳۹-۵۵/۶۱ درصد معادل وزنی نمک طعام هستند (جدول ۲، شکل ۷ ب). با توجه به گستره ۲۰-۳۵ تا ۲۰ درجه سانتی‌گراد (Te) می‌توان گفت که در سیال‌های کانه‌ساز، افزون بر NaCl، مقادیر بسیار کمی از نمک‌های محلول دیگر چون FeCl₂ و MgCl₂ نیز حضور دارند.

سیال‌های کانه‌ساز به احتمال بسیار دچار سردشدنگی معمول و آمیختگی با آب‌های زیرزمینی (دما و شوری پایین) شده‌اند.

(L-V) با شوری و دمای همگن شدنگی به نسبت پایین می-توانند نشان دهنده مرحله‌ای از کانه‌زایی باشند که طی آن

جدول ۲ نتایج ریزدانسنجی میانبارهای سیال در رگه-رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار ذخیره زمین حسین.

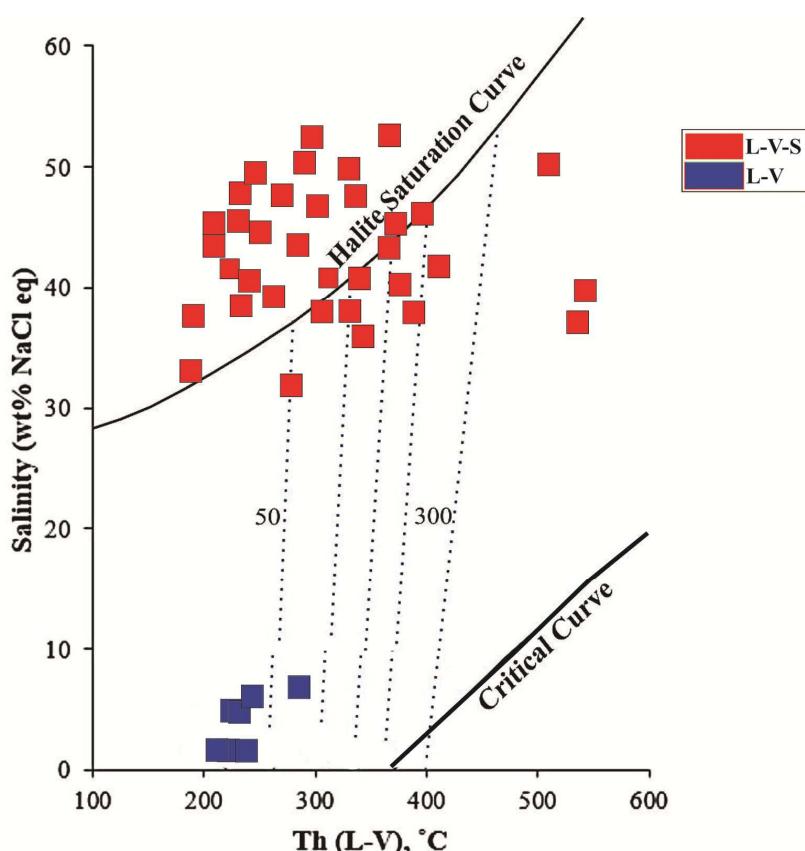
نمونه	کانی	نوع میانبار		$Th_{(L-V)}$ (°C)	$Ts_{(NaCl)}$ (°C)	Tm_{ice} (°C)	شوری (wt% NaCl eq.)
Zm1	کوارتز	اولیه	L-V (n = 2)	۲۴۵-۲۵۹	-	(-۲/۳-۴)	۳,۸۷-۶,۴۵
			L-V-S (n = 6)	۱۹۷-۵۰۰	۱۹۰-۳۸۱	-	۳۹,۳۱-۴۵,۱۲
Zm2	کوارتز	اولیه	L-V (n = 3)	۲۰۱-۲۰۴	-	(-۱-۳/۲)	۱,۷۴-۵,۲۶
			L-V-S (n = 6)	۱۷۰-۳۲۴	۲۲۷-۳۵۲	-	۳۲,۲۹-۴۴,۴۵
Zm3	کوارتز	اولیه	L-V (n = 0)	-	-	-	-
			L-V-S (n = 9)	۱۹۳-۳۵۰	۲۹۸-۴۷۳	-	۳۸,۴۰-۵۵,۶۱
Zm4	کوارتز	اولیه	L-V (n = 0)	-	-	-	-
			L-V-S (n = 2)	۲۸۰-۳۶۰	۳۰۰-۴۲۰	-	۳۸,۱۲-۴۹,۷۱
Zm5	کوارتز	اولیه	L-V (n = 4)	۲۴۱-۳۵۹	-	(-۲/۳-۳/۲)	۳,۸۷-۵,۲۶
			L-V-S (n = 7)	۲۸۰-۵۲۰	۲۷۰-۴۳۰	-	۳۵,۸۳-۵۰,۶۵
Zm6	کوارتز	اولیه	L-V (n = 0)	-	-	-	-
			L-V-S (n = 7)	۲۲۶-۵۳۰	۲۷۰-۴۲۰	-	۳۵,۹۵-۵۰,۰۸



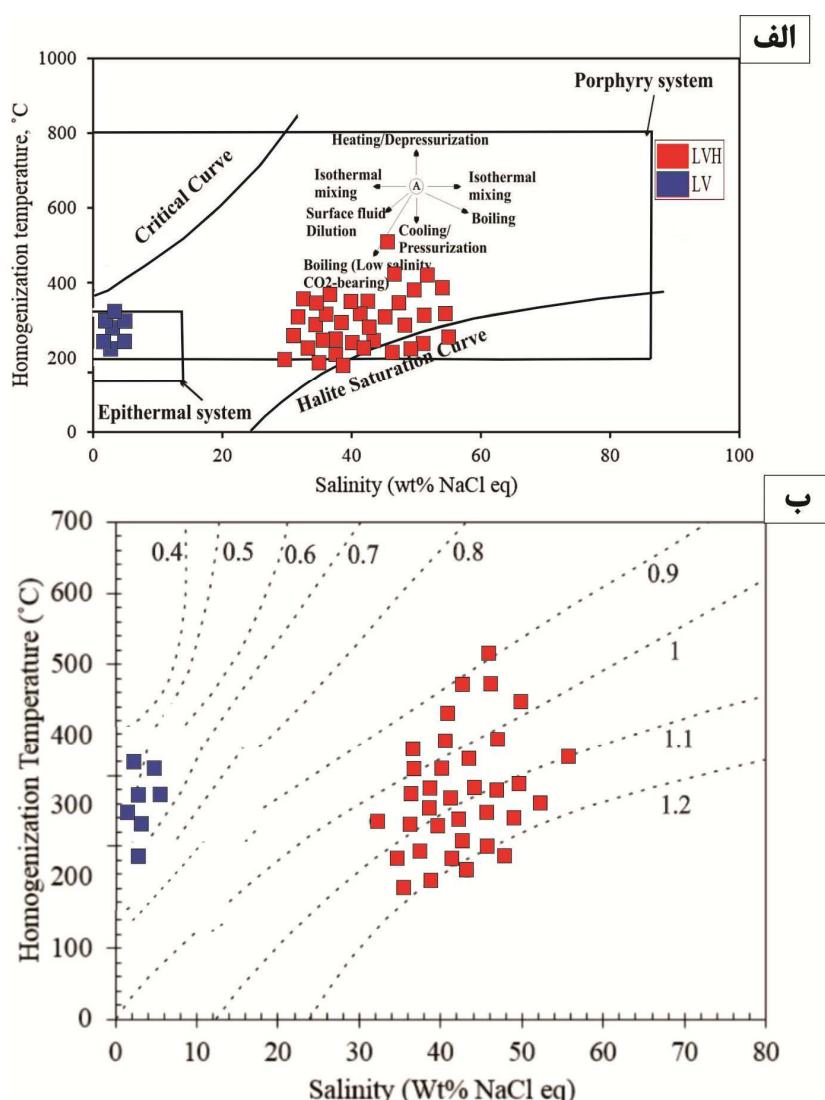
شکل ۲ (الف) نمودار ستونی توزیع فراوانی دمای همگن شدنگی (L-V → L) و (ب) شوری میانبارهای سیال در رگه و رگچه‌های کوارتزی-سولفیدی-اکسیدی ذخیره زمین حسین.

کانسار بالوجه (استان آذربایجان شرقی) [۲۱]، رگچه‌های کوارتزی کانسار سارا (پرکام، استان کرمان) [۲۲]، رگچه‌های کوارتزی کانسار سونگون اهر (آذربایجان شرقی) [۲۳] و رگچه‌های کوارتزی کانسار میدوک شهر بابک (استان کرمان) [۲۴] هستند. بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگنی [۱۸، ۱۹]، برخی از میانبارهای سیال سه فازی شامل فاز جامد هالیت در بالای منحنی اشباع از نمک قرار دارند (شکل‌های ۸ و ۹ الف). این ممکن است در اثر بدام افتادن ناهمنگ بلورهای بسیار ریز هالیت به همراه سیال در حال جوشش و اشباع از NaCl باشد [۲۰]. با توجه به شوری میانبارهای سیال، می‌توان گفت که به احتمال بسیار کمپلکس‌های کلریدی عامل مهم و اصلی انتقال فلزات در سیال‌های گرمابی کانی‌ساز بوده‌اند.

برای مشاهده روند تکاملی سیال‌های کانه‌دار و تعیین مقدار فشار در زمان محبوس شدن، از نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگنی استفاده شد [۱۸] (شکل ۸). بر اساس این نمودار و نمودار دو متغیره شوری در برابر دمای همگنی برای ذخایر مختلف [۲۰، ۱۹] (شکل ۹ الف)، میانبارهای سیال مورد بررسی دو روند تقریباً خطی نسبت به محورهای دمای همگنی و شوری نشان می‌دهند که گویای رخداد پدیده جوشش و اثر فرآیندهای سرد شدن ساده و یا آمیختگی با سیال‌های با دما و شوری پایین هستند. این روند در سیال‌های کانه‌دار می‌تواند تا حدی مشابه شاخص‌های میانبارهای سیال در ذخایر مس پورفیری باشد. یافته‌های مربوط به میانبارهای سیال در منطقه زمین‌حسین تا حدی مشابه یافته‌های ریزدماسنجی گزارش شده از رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار ذخیره مس پورفیری سرچشمۀ رفسنجان (استان کرمان) [۹]، رگچه‌های کوارتزی



شکل ۸ الگوی توزیع مقادیر شوری نسبت به دمای همگنی اندازه‌گیری شده برای میانبارهای سیال بررسی شده در ذخیره زمین‌حسین در مقایسه با منحنی اشباع از نمک و منحنی بحرانی [۱۸]. خطوط نقطه‌چین بیانگر فشار بخارهای سیال دربردارنده NaCl در دمایها و شوری‌های مختلف هستند [۱۹].



شکل ۹ (الف) نمودار دمای همگن شدنی نسبت به شوری برای میانبارهای سیال در ذخایر مختلف [۲۰، ۱۹] که در آن، یافته‌های ریز دماسنجدی رگه-رگچه‌های کانه‌دار زمین حسین در گستره ذخایر فراگرمایی و پورفیری قرار دارند. (ب) توزیع فراوانی داده‌های میانبارهای سیال مورد بررسی در نمودار دو متغیره دمای همگنی نسبت به شوری همراه با تغییرات چگالی.

می‌توان دمای همگنی را معادل دمای به دام افتادن در نظر گرفت؛ در این حالت، دیگر نیازی به تصحیح فشار نیست [۲۵]. بر اساس نمودار دو متغیره دمای همگن شدنی نسبت به شوری [۱۸] (شکل ۸)، می‌توان گفت که سیال‌های کانه‌ساز در دماهای حدود ۵۲۰ درجه سانتیگراد شروع به جوشش کرده و تا دماهای حدود ۴۰۰ درجه سانتیگراد از NaCl اشباع نشده ولی پایین‌تر از ۳۸۰ درجه سانتیگراد به حد اشباع رسیده‌اند. در این حالت، سیال کانه ساز فشار هیدرواستاتیک حدود ۲۵۰ بار

فرآیند جوشش زمانی که فشار محیط بیشتر باشد و در عمل هنگامی که فشار سنگ ایستایی تبدیل به فشار هیدرواستاتیک شود رخ دهد. این امر باعث کاهش سریع فشار در برگیرنده سیال‌های گرمابی می‌شود. در واقع، جوشش سیال‌های گرمابی یک ساز و کار و فرآیند اولیه برای تحرک و تمکن فلزات هنگام تشکیل کانسارهای فلزی است. وقتی در یک سیال گرمابی کانه‌ساز، پدیده جوشش از عوامل موثر در تنهشست فلزات باشد،

۴- با توجه به شوری بالای برخی از میانبارهای سیال به نظر می‌رسد که کمپلکس‌های کلریدی مهم‌ترین عامل در انتقال فلزات در سیال‌های گرمابی هستند. افزون بر این، سیال‌های گرمابی شامل مقادیر بسیار کمی از نمک‌های محلول دیگر چون $MgCl_2$ و $FeCl_2$ هستند.

۵- بر اساس نتایج این پژوهش، ذخیره مس زمین‌حسین از نظر ساز و کار تشکیل، گسترش و روند تکامل بیشترین شباهت را به سامانه‌های پورفیری دارد.

۶- نتایج بدست آمده از میانبارهای سیال رگه-رگچه‌های کوارتز-سولفید-اکسید منطقه زمین‌حسین شباهت بسیاری به یافته‌های ریزدماسنجی گزارش شده از رگچه‌های کوارتزی کانه‌دار ذخایر مس پورفیری شناخته شده در کشور چون سرچشم، بالوجه، سارا (پرکام)، سونگون و میدوک دارند.

قدرتانی

نگارندگان از حمایت‌های مالی معاونت پژوهشی و تحصیلات تكمیلی دانشگاه ارومیه برخوردار بوده‌اند که به این وسیله سپاس و قدردانی خود را از مسئولین آن اعلام می‌دارند. نگارندگان همچنین از نظرات و پیشنهادات سازنده داوران محترم مجله سپاسگزاری می‌نمایند.

مراجع

- [1] Stocklin J., “Structural history and tectonics of Iran: A review”, Bulletin-American Association of Petroleum Geologists 52 (1985) 1258-1299.
- [2] Ghorbani M., “The economic geology in Iran: Mineral deposits and natural resources”, Springer Science Business Media Dordrecht (2013) 1-581.
- [3] Shafiei B., “Two distinct occurrences in Palaeogene magmatic of Cenozoic magmatic arc of the Kerman: Geochemical characteristics and rock-forming processes”, Journal of Sciences, University of Tehran 36 (2010) 137-156 (in Persian).
- [4] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., “Investigation of mineralization, REE geochemistry, and fluid inclusions studies of the

را تجربه می‌کردند که معادل عمق حدود ۲۳۰۰ متری از زیر سطح سفره آبهای زیر زمینی بوده است. در واقع، در دمای کمتر از ۳۸۰ درجه سانتیگراد برخی بلورهای ریز هالیت نیز به صورت فاز جامد و ناهمگن بهمراه سیال‌های کانه‌ساز درون بلور میزبان به دام افتاده‌اند (شکل ۸). این عمق کانه‌زایی در ذخیره زمین‌حسین مشابه بسیاری از ذخایر مس پورفیری در دنیاست [۱۹]. همچنین، بر اساس نمودار دو متغیره شوری نسبت به دمای همگن‌شدگی (شکل ۹ ب)، چگالی سیال‌های مسئول کانه‌سازی در ذخیره زمین‌حسین در گستره ۰/۵ تا ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب متغیر است. چگالی‌های حدود ۱/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب مربوط به میانبارهای سیال سه‌فازی در بردارنده بلورهای نوزاد هالیت هستند.

برداشت

مهم‌ترین نتایج برآمده از بررسی‌های زمین‌شناسی، سنگ-نگاری، کانه‌نگاری و ریزدماسنجی میانبارهای سیال ذخیره زمین‌حسین عبارتند از:

- ۱- کانه‌زایی رگه- رگچه‌های درون سنگ‌های آتشفسانی (آنذیت، آندزی‌بازالت و مواد آذرآواری) و توده‌های آذرین درونی (گرانوڈیورت و گرانیت) اؤسن به دو صورت درونزاد (کالکوپیریت، پیریت و مگنتیت) و برونزاد (مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت، جاروسیت، لیمونیت) رخ داده است.
- ۲- گسترش دگرسانی‌های پروپیلیتی، رسی، سریسیتی- سیلیسی، حضور میانبارهای سیال غنی از مایع، غنی از گاز و غنی از مایع شامل فاز جامد به صورت همزاد و شوری بالای برخی از میانبارهای سیال بررسی شده نشان داد که سیال‌های کانه‌ساز ماهیت ماقمایی و ماقمایی- جوی دارند.
- ۳- بررسی میانبارهای سیال و یافته‌های بدست آمده از ریزدماسنجی نشان داد که رخداد پدیده‌هایی چون جوشش، آمیختگی و سرد شدن معمولی مهم‌ترین عوامل اثرگذار در نهشت فلزات طی گسترش رگه- رگچه‌های کانه‌زایی هستند.

- [12] Nedimovic R., "Exploration for ore deposits in Kerman region", Geological Survey of Iran, Report No.53 (1973) 274p.
- [13] Khaleghi M., Abedini A., Ranjbar, H., Calagari A. A., "Synergetic use of the Sentinel-2, Aster, and Landsat-8 data for hydrothermal alteration and iron oxide minerals mapping in a mine scale", *Acta Geodynamica et Geomaterialia* 17 (2020) 311-328.
- [14] Khaleghi M., Abedini A., Ranjbar, H., Calagari A. A., "Mineralogy and trace elements geochemistry of argillic alteration zone: the Zamin Hossein district, Kerman Province, SE Iran", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 28 (2020) 933-948 (in Persian).
- [15] Djokovic I., Cvetic S., Dimitrijevic M. D., "Geological Map of Dehaj", In Geological Survey of Iran Map Series 6951, Scale 1:100000.
- [16] Whitney D. L., Evans B. W., "Abbreviations for names of rock-forming minerals", *American Mineralogist* 95 (2010) 185-187.
- [17] Bodnar R. J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of $H_2O-NaCl$ solutions", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57 (1993) 683-684.
- [18] Ahmad S. N., Rose A. W., "Fluid inclusion in porphyry and skarn ore at New Mexico", *Economic Geology* 75 (1980) 229-250.
- [19] Roedder E., "Fluid inclusion", *Mineralogy Society of America, Review in mineralogy* 12 (1984) 1-644.
- [20] Hajalilou B., Aghazadeh M., "Fluid inclusion studies on quartz veinlets at the Ali Javad porphyry copper-gold deposit, Arasbaran, Northwestern Iran", *Journal of Geoscience and Environment Protection* 4 (2016) 80-91.
- [21] Hosseinzadeh M. R., Moayyed M., Maghfouri S., Alipour S., Hajalilou B., "Geology, alteration, mineralization and fluid inclusion studies of Baloojeh deposit; Typical Cu-Mo porphyry deposit in Arasbaran Magmatic Zone", *Iranian Scientific Quarterly Journal, Geosciences* 95 (2015) 295-306 (in Persian).
- Shalang vein-type polymetallic ore deposit, southwest of Kerman", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 27 (2019) 767-780 (in Persian).
- [5] Atapour H., Aftabi A., "Geochemistry and metallogenesis of calc-alkaline, shoshonitic and adakitic igneous rocks associated with porphyry Cu-Mo and vein-type deposits of Dehaj-Sardueh volcanoplutonic belt, Kerman", *Iranian Scientific Quarterly Journal, Geosciences* 18 (2009) 161-172 (in Persian).
- [6] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., "Type of mineralization and studies of fluid inclusions of the Bolboli2 copper ore deposit, northeast of Sirjan, SE Iran", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 28 (2020) 329-340 (in Persian).
- [7] Atapour H., "Petrography and geochemistry of shoshonites of Ghode-e-Biabani area of the Bardsir", MSc Thesis, University of Shahid Bahonar, Kerman, Iran (1993) 1-294 (in Persian).
- [8] Aftabi A., Atapour H., "Regional aspects of shoshonitic volcanism in Iran", *Episodes* 23 (2000) 119- 125.
- [9] Maani Joe M., Mostaghimi M., Abdollahi Rishe M., Sepahi A. A., "Systematic studies of stable sulfur isotopes and fluids involved in different vein groups of Sarcheshmeh Porphyry copper deposit, based on new data", *Iranian Journal of Economic Geology* 4 (2013) 217-239.
- [10] Hosseini M., Ghaderi M., Ghaderi M., Alirezaei S., "Types of vein-veinlet systems and their relationship with mineralization in the Takht-e-Gonbad ore deposit, northeast of Sirjan", 15th Symposium of Iranian Geological Association, Teacher Training University of Tehran (2011).
- [11] Salehi Tinooni M., Abedini A., Calagari A. A., "Investigation of mineralization, alteration, and fluid inclusions of the Takht-e-Gonbad copper deposit (northeast of Sirjan, SE Iran)", *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 29 (2021) 35-48 (in Persian).

and tectono magmatic setting of Meiduk porphyry copper deposit, Shahrebabak-Kerman", Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy 20 (2012) 441-454.

[25] Shapheer T. J., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "A practical guide to fluid inclusion studies", Blackie, Glasgow (1985) 1-239.

[26] Roedder E., Bodnar R. J., "Geologic pressure determinations from fluid inclusions studies", Earth and Planetary Science Letters 8 (1980) 263-301.

[22] Mohammadi Nickname H., Taghipour N., "Physico-chemical evolution of hydrothermal fluid in Sara porphyry copper deposit (Perkam), Kerman province", Iranian Journal of Advanced Applied Geology 1 (2011) 11-24.

[23] Calagari A. A., "Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaijan, Iran", Journal of Asian Earth Sciences 23 (2004) 179-189.

[24] Alirezaei A., Aliyani F., Moradian., "The study of petrography, geochemical characteristics