

تکامل فیزیکی سیال گرمابی در کانسار مس پورفیری سارا (پرکام)، استان کرمان

حکیمه محمدی لقب

کارشناس ارشد زمین شناسی اقتصادی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان

نادر تقی پور

استادیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۳/۱۶ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۰۶/۰۱

taghipour@du.ac.ir

چکیده

کانسار مس پورفیری سارا (پرکام) در استان کرمان و ۳۵ کیلومتری شمال شهربابک قرار دارد. این کانسار بر روی کمربند ماگمایی ارومیه - دختر واقع می‌باشد. مجموعه آتشفشانی رازک با سن ائوسن میزبان این کانسار می‌باشد. کانی‌زایی مس و مولیبدن در ارتباط با جایگزینی توده‌های نفوذی دیوریت پورفیری و کوارتز دیوریت پورفیری با سن میوسن می‌باشد. مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر نشان می‌دهد که در کانسار سارا ۸ گروه سیال درگیر شامل سیال درگیر چند فازی، سیال درگیر شور حاوی کانی اپک، سیال درگیر شور ساده، سیال درگیر غنی از گاز حاوی کانی اپک، سیال درگیر غنی از گاز ساده، سیال درگیر تک فازی گازی، سیال درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک و سیال درگیر غنی از مایع ساده قابل مشاهده می‌باشند. سیالات درگیر چند فازی با بیشترین فراوانی همگن شدن در گستره دمایی $400-500^{\circ}\text{C}$ و بیشترین فراوانی شوری در گستره $40-50 \text{ Wt. \% NaCl}$ نشان‌دهنده اولین سیالاتی هستند که سبب تشکیل کانسار سارا شده‌اند. سیالات درگیر غنی از مایع با بیشترین فراوانی دمای همگن شدن در گستره 300°C تا 350°C و بیشترین فراوانی شوری در گستره $20-10 \text{ Wt. \% NaCl}$ نشان‌دهنده آخرین گردش سیال گرمابی می‌باشند. نتایج دماسنجی سیالات درگیر نشان می‌دهد اولین سیالات گرمابی در دمای حدود 500°C و فشار 600 bar به دام افتاده‌اند. حداکثر عمق جایگزینی کانسار سارا حدود 1 Km می‌باشد. شوری و دمای همگن شدن سیالات درگیر نشان‌دهنده این است که کانی‌زایی در کانسار مس پورفیری سارا در ارتباط با اختلاط سیالات ماگمایی و جوی صورت گرفته است.

کلمات کلیدی: کانسار سارا، سیالات درگیر، پورفیری، سیال گرمابی

مقدمه

عیار مس و مولیبدن این کانسار در حال حاضر از پتانسیل استخراجی برخوردار نمی‌باشد. کانسار سارا مساحتی در حدود 4 Km^3 را به خود اختصاص می‌دهد و اطلاعاتی در مورد ذخیره این کانسار در دسترس نمی‌باشد. حسن‌زاده (۱۹۹۳) بر اساس روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ سن این کانسار را $1 \pm 1/1 \text{ Ma}$ تعیین کرد. از طرف دیگر بر اساس نزدیکی، شباهت محیط زمین‌شناسی و تکونیک، دگرسانی و کانی‌زایی احتمالاً دو کانسار سارا و میدوک در ارتباط با منشأ مشابهی بوده و از یک سیستم گرمابی منشأ گرفته‌اند (Hasanzadeh, 1993).

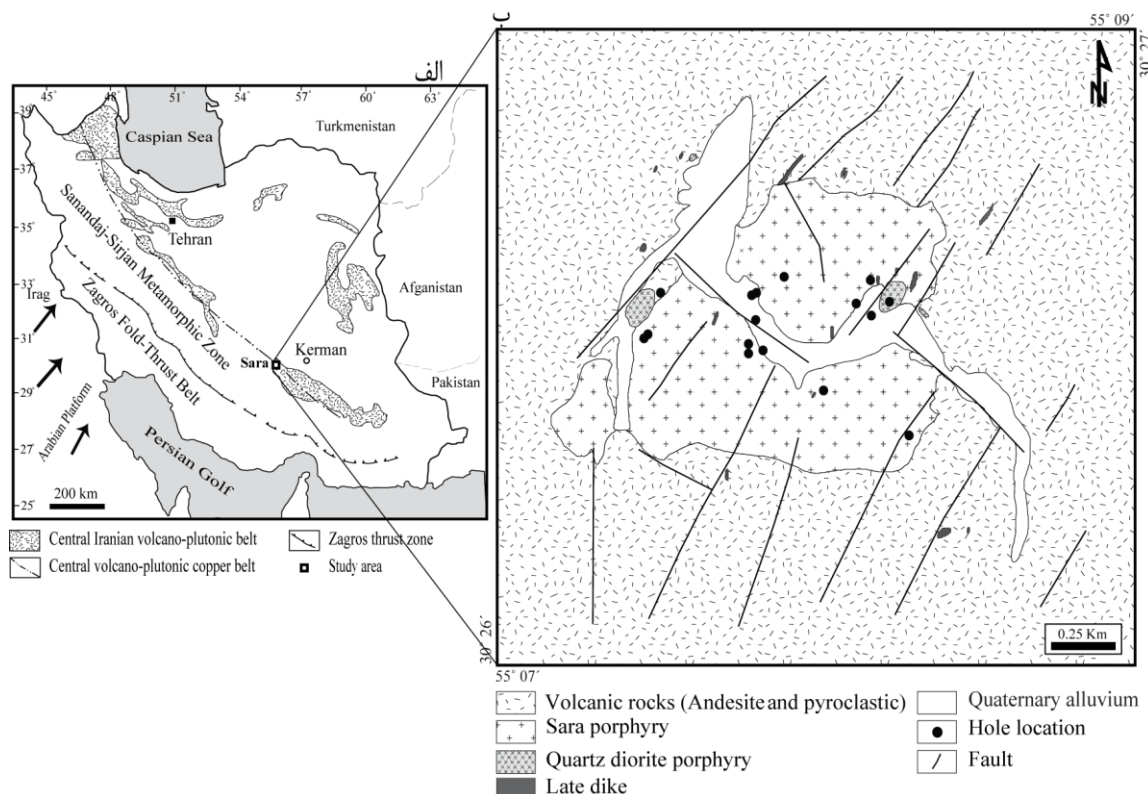
سیالات درگیر حجم‌های کوچکی از سیال تشکیل دهنده کانسار هستند که ضمن تبلور کانی‌ها یا پس از تبلور در شکستگی‌های ریز یا کلیواژهای کانی میزبان، به دام افتاده‌اند (Shepherd et al., 1985). مطالعات سیالات درگیر در کانسارهای مس پورفیری می‌تواند ابزار مهمی جهت شناخت شرایط فیزیکی - شیمیایی سیال گرمابی مسئول دگرسانی و کانی‌زایی باشد (Calagari, 2004) از طرف دیگر پی‌بردن به ماهیت و تکامل فاز سیال جهت توسعه مدل‌های تشکیل کانسار و اکتشاف آن‌ها اساسی می‌باشد. ماهیت این سیالات بیش از همه توسط سیالات درگیر آشکار می‌شود. هدف از این مطالعه بررسی سیالات درگیر و تعیین ویژگی‌های سیال گرمابی در کانسار سارا می‌باشد.

کانسار مس پورفیری سارا (پرکام) که نام خود را از کوه داسیتی نئوزن سرا گرفته است، در استان کرمان، ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان شهربابک و بین طول جغرافیایی $55^{\circ}07'$ تا $55^{\circ}09'$ و عرض جغرافیایی $30^{\circ}26'$ تا $30^{\circ}27'$ قرار دارد. مطالعات اکتشافی اولیه در این کانسار طی سال‌های ۱۹۷۰ - ۱۹۶۹ توسط شرکت متال گزلفافت صورت گرفت. پس از آن زمین‌شناسان یوگسلاو فعالیت اکتشافی محدودی در منطقه سارا انجام داده‌اند که حاصل آن ۳ حلقه گمانه حفاری بوده است که اکنون نتایج آن در دسترس نمی‌باشد. سپس در حوالی سال ۱۳۶۰، پنج حلقه گمانه توسط شرکت ملی مس در منطقه حفاری شد که به دلیل عیار پائین، فعالیت اکتشافی ادامه نیافت (مهندسین مشاور کان ایران، ۱۳۸۷). در سال ۱۳۸۷ مطالعات زمین‌شناسی و دگرسانی در این کانسار توسط شرکت کان ایران انجام گرفت. به طور کلی تاکنون ۱۶ حلقه گمانه توسط شرکت ملی صنایع مس ایران در این کانسار حفاری شده است. کانسار سارا دارای عیار ضعیفی از نظر مس (0.16%) و مولیبدن (12 ppm) می‌باشد ولی عیار طلا آن (121 ppb) نسبت به سه کانسار سرچشمه، میدوک و سونگون بالاتر می‌باشد. ولی به علت پایین بودن

زمین شناسی منطقه سارا

تراکی آندزیت، آندزیت و آندزیت بازالت و لایه‌هایی از ماسه سنگ توفی، آگلومرا، توف و مقدار کمی از سنگ آهک و ماسه سنگ تشکیل شده است و بخش فوقانی شامل آندزیت بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت، آگلومرا، توف و مقداری ریولیت می باشد (Anonymous, 1973). حسن زاده (۱۹۹۳) بر اساس روش $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ سن بخش زیرین این مجموعه را $۳۷/۵ \pm ۱/۴$ میلیون سال تعیین کرده است. فاز نهایی فعالیت آتشفشانی ائوسن مربوط به مجموعه هزار می باشد. این مجموعه ۵ کیلومتر ضخامت داشته و اصولاً شامل تراکی آندزیت و تراکی بازالت است (Saric et al., 1972). در محدوده کانسار سارا، توده های نفوذی توسط سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی در شمال و جنوب احاطه شده‌اند (شکل ۱-ب). بر اساس بافت، ترکیب، روابط قطع شدگی و شدت کانی‌زایی - دگرسانی سه نوع توده نفوذی سارا پورفیری، توده کوارتز دیوریتی و دایک تأخیری در منطقه سارا شناسایی شده است. با توجه به شواهد صحرایی و میکروسکوپی دو گروه توده سارا پورفیری و کوارتز دیوریت با سیستم دگرسانی - کانی‌زایی مرتبط می‌باشند.

کانسار سارا بر روی کمر بند آتشفشانی - نفوذی ارومیه - دختر (شکل ۱-الف) و بر اساس تقسیم بندی زمین شناسی و ساختمانی استان کرمان، بر روی کمر بند دهج - ساردوئیه قرار دارد (Dimitrijevic, 1973). قدیمی ترین واحد شناخته شده در ناحیه سارا، فلیش‌های سنومانین - تورونین می‌باشد که کنگلومرای کرمان با ناپیوستگی روی آن قرار گرفته و در ادامه هر دو این واحدها توسط لایه‌های فیلیشی ائوسن زیرین پوشیده می‌شوند (Saric et al., 1972; Dimitrijevic, 1973). سه مجموعه آتشفشانی بحرآسمان، رازک و هزار در این ناحیه گسترش دارند. قدیمی ترین مجموعه آتشفشانی، بحرآسمان می‌باشد که در ائوسن زیرین شکل گرفته و اولین فاز آتشفشانی ترشیاری در ایران محسوب می‌شود (Dimitrijevic, 1973). این مجموعه با یک فاز انفجاری اسیدی از پیروکلاستیک، توف اسیدی و برش‌های آتشفشانی شروع شده و اصولاً از گدازه‌های ریولیتی جدا شده است (Dimitrijevic, 1973; Taghipour et al., 2008). مجموعه آتشفشانی رازک که سنگ میزبان اصلی کانسار مس پورفیری سارا است، به سه بخش تقسیم شده است. بخش زیرین ترکیب بازی، میانی ترکیب اسیدی و فوقانی ترکیب بازی دارد (Dimitrijevic, 1973). در این ناحیه واحد میانی ناپیدا است و دو بخش دیگر با وجود شباهت‌های سنگ‌شناختی قابل شناسایی‌اند. بخش زیرین از



شکل ۱. الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه در کمر بند آتشفشانی - نفوذی سهند - بزمان (با تغییرات از Taghipour et al., 2008) ب) نقشه زمین شناسی کانسار سارا (با تغییرات از کان ایران، ۱۳۸۷)

پتروگرافی و دگرسانی

دارد و به نظر می‌رسد دگرسانی پروپلیتیک با شدت قوی در منطقه حضور ندارد. این دگرسانی عمدتاً در سنگ‌های آتشفشانی منطقه گسترش دارد.

کانی‌زایی رگه‌ای و استوک‌ورک در کانسار سارا گسترش خوبی دارد و اصولاً در قسمت مرکزی و عمقی کانسار و همراه با دگرسانی‌های پتاسیک، پتاسیک - فیلیک و فیلیک تمرکز یافته است. بر اساس بررسی نمونه‌های دستی ۶ نوع رگه با ترکیب کانی‌شناسی زیر در این کانسار شناسایی شده است: I) کوارتز + مگنتیت + کالکوپیریت + پیریت + انیدریت معادل با رگه نوع A (Walshe, 1997) II) کوارتز + مگنتیت + کالکوپیریت + هماتیت + پیریت، III) کوارتز + کالکوپیریت + انیدریت ± پیریت (رگه نوع B، IV) کوارتز + پیریت + انیدریت (ژپیس) ± کالکوپیریت (رگه نوع D₁)، V) پیریت ± کوارتز (رگه نوع D₂) VI) انیدریت.

روش کار

به منظور مطالعه سیالات درگیر در کانسار سارا، شش نمونه از رگه و رگچه‌های بدست آمده از گمانه‌های اکتشافی انتخاب شد (جدول ۱). آماده - سازی رگه‌ها به صورت مقاطع دوبر صیقل، مطالعات پتروگرافی و داماسنجی سیالات درگیر بر روی آن‌ها در دانشگاه دامغان انجام شد. این نمونه‌ها شامل یک نمونه از رگه نوع A، یک نمونه از رگه نوع C و چهار نمونه از رگه نوع D₁ می‌باشد. پس از آماده‌سازی نمونه‌های یاد شده، مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر با استفاده از میکروسکوپ پلاریزان Olympus انجام گرفت. سپس مقاطع دوبر صیقل توسط محلول DMSO از لام‌ها جدا شده و جهت مطالعات داماسنجی به دستگاه Linkam که بر روی میکروسکوپ Olympus نصب می‌باشد، انتقال یافت. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد بوده و مجهز به دو کنترل‌گر گرمایش و سرمایش، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) می‌باشد. جهت استاندارد سازی دستگاه از تراکلرید کربن و آب مقطر جهت سرمایش و نیترات سدیم، اسید بنزوئیک و کلرید سرب جهت گرمایش استفاده شد. بر این اساس دقت اندازه‌گیری‌ها برای دماهای همگن شدن (T_H) ± ۴ درجه سانتی‌گراد و برای دماهای ذوب شدن (T_M) ± ۱/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

پتروگرافی سیالات درگیر

توزیع سیالات درگیر در کانسار سارا به صورت اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب در طول ریز شکستگی‌ها می‌باشد. در مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر کانسار سارا نوع و شکل سیالات درگیر، محتویات و انواع کانی‌های نوزاد، فراوانی و اندازه سیالات درگیر مورد توجه قرار گرفته است. این مطالعات نشان می‌دهد که سیالات درگیر کانسار سارا ابعادی از چند میکرون تا بیش از ۲۰ میکرون و به ندرت تا ۴۰ میکرون دارند. متداول‌ترین شکل سیالات درگیر در نمونه‌ها پس از شکل بی‌نظم و کروی، بیضوی، کشیده و پهن می‌باشد. اشکال بلوری منفی هگزاگونال کوارتز در بعضی از نمونه‌ها مشاهده می‌شود. زیرا شکل سیالات درگیر در برخی موارد بوسیله خواص بلورشناسی کانی میزبان کنترل می‌شود (Shepherd et al., 1985). از پدیده‌های مشاهده شده در طی مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر کانسار سارا، دم بریدگی (Necking down) می‌باشد. سیالات درگیر با شکل نامنظم و بی‌قاعده تمایل زیادی دارند که در طول زمان به شکل‌های منظم‌تری تغییر یابند. این تعادل مجدد موجب تقسیم شدن

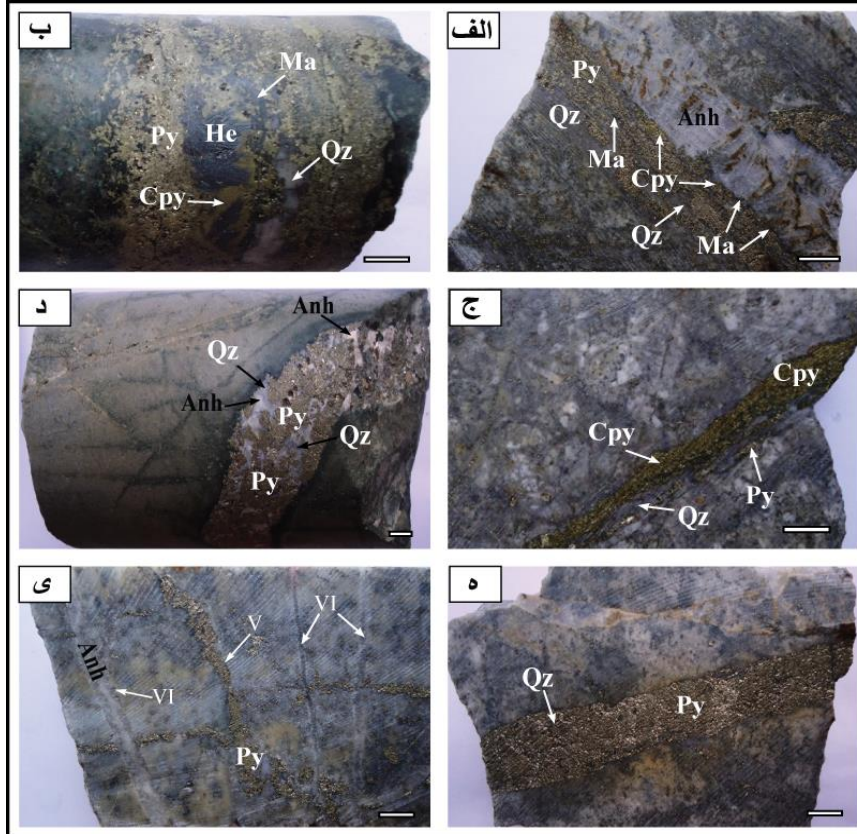
بخش وسیعی از سنگ‌های محدوده مورد مطالعه را سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی که شامل آندزیت، کریستال لیتیک توف و توفیت می‌باشند، در بر گرفته‌اند. بافت آندزیت غالباً پورفیری تا میکروولیتی - شیشه‌ای است. کریستال لیتیک توف دارای بافت پیروکلاستیک بوده و از قطعات سالم تا شکسته شده پلاژیوکلاز، کوارتز، کانی‌های اپک و لیتیک‌ها (قطعات سنگی) تشکیل شده است. توفیت از قطعات پیروکلاستیک و آواری که اصولاً شامل کوارتز می‌باشند در زمینه‌ای از گل میکرایتی و شیشه تشکیل شده است و بعضی از قطعات حالت جریان‌ی نشان می‌دهند.

بخش بزرگی از قسمت مرکزی محدوده مورد مطالعه توسط توده ساب وولکانیک دیوریتی تا میکرودیوریتی احاطه شده است. این توده که سارا پورفیری نام گرفته است، متحمل دگرسانی نسبتاً شدیدی شده است. سنگ‌های دیوریت پورفیری شامل درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز (۵۰-۳۵ درصد)، هورنبلند (۱۵-۱۰ درصد) و بیوتیت (۵-۳ درصد) و اندکی K فلدسپار می‌باشند که در زمینه‌ای دانه ریز قرار گرفته‌اند. سنگ‌های میکرودیوریت پورفیری مشابه با سنگ‌های فوق بوده، اما اندازه کانی‌های آن در حدود ۲ mm بوده و به ندرت به ۵ mm می‌رسد. توده کوارتز دیوریت که بصورت چند برونزد کوچکتر در سطح ظاهر شده است از توده سارا پورفیری و مجموعه آتشفشانی - رسوبی جوانتر می‌باشد. در مناطقی که این توده نفوذ نموده است، استوک‌ورک‌های کوارتزی، شدیدتر و کانی‌سازی مس بیشتر می‌باشد. آخرین فاز نفوذی در این منطقه دایک‌های تأخیری می‌باشند که متحمل فعالیت دگرسانی و کانی‌زایی اندکی شده‌اند. این دایک‌ها دارای ترکیب سنگ‌شناسی کوارتز دیوریت بوده و با درشت‌بلورهای سالم پلاژیوکلاز شناخته می‌شوند.

در کانسار سارا دگرسانی در توده‌های نفوذی و نیز سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی میزبان گسترش یافته، ولی عمده‌ی دگرسانی در توده‌های نفوذی رخ داده است. شش نوع دگرسانی در این کانسار شناسایی شده است که شامل پتاسیک، بیوتیتیک، پتاسیک - فیلیک، فیلیک، آرژیلیک و پروپلیتیک می‌باشند. دگرسانی پتاسیک اغلب در بخش مرکزی و ژرف‌ترین قسمت کانسار مشاهده می‌شود و بوسیله بیوتیت ثانویه و فلدسپار پتاسیم ثانویه مشخص می‌شود. بیش‌ترین گسترش این دگرسانی در توده‌های نفوذی سارا پورفیری و کوارتز دیوریت پورفیری دیده می‌شود. دگرسانی بیوتیتیک همانند دگرسانی پتاسیک بوده اما بیوتیت ثانویه در آن غالب می‌باشد و بیشتر در سنگ‌های آتشفشانی دیواره گسترش دارد. دگرسانی پتاسیک - فیلیک با متأثر شدن دگرسانی پتاسیک از دگرسانی فیلیک حاصل آمده است که با حضور کانی‌های فلدسپار پتاسیم ثانویه، بیوتیت ثانویه، سرسیت، کوارتز و انیدریت مشخص می‌شود.

گسترش دگرسانی فیلیک در کانسار سارا زیاد بوده و بخش اعظم این دگرسانی در توده سارا پورفیری رخ داده است. اجتماع کنیایی این دگرسانی شامل کوارتز، سرسیت و پیریت می‌باشد. دگرسانی آرژیلیک، با حضور کانی - های رسی (کائولینیت، مونت‌موریلونیت و ایلیت)، اندکی سرسیت و کوارتز مشخص می‌شود که اصولاً در سنگ‌های آتشفشانی و حاشیه‌ی جنوبی کانسار گسترش یافته است. در دگرسانی پروپلیتیک کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت، سرسیت و کوارتز قابل تشخیص است. کانی اپیدوت گسترش کمی

سیال درگیر به تعدادی سیال درگیر منظم تر خواهد شد که این پدیده به دم-بریدگی موسوم است (Shepherd et al., 1985). سیالات درگیر کانسار سارا از نظر تعداد فاز، نسبت جامدات و مایعات و فراوانی به ۸ نوع تقسیم می-شوند: سیال درگیر چند فازی، سیال درگیر شور حاوی کانی اپک، سیال درگیر شور ساده، سیال درگیر غنی از گاز، سیال درگیر غنی از گاز،



شکل ۲. انواع رگه‌ها در کانسار
نوع II (ج) رگه نوع III (د) رگه نوع
رگه VI که رگه V را قطع کرده است. مقیاس برای همه تصاویر ۱ Cm می‌باشد. اختصارات: انیدریت: Anh، کالکوپیریت: Cpy، هماتیت: He، مگنتیت: Ma، پیریت: Py، کوارتز: Qz

سارا الف) رگه نوع I (ب) رگه
IV (ه) رگه نوع V (ی) رگه و

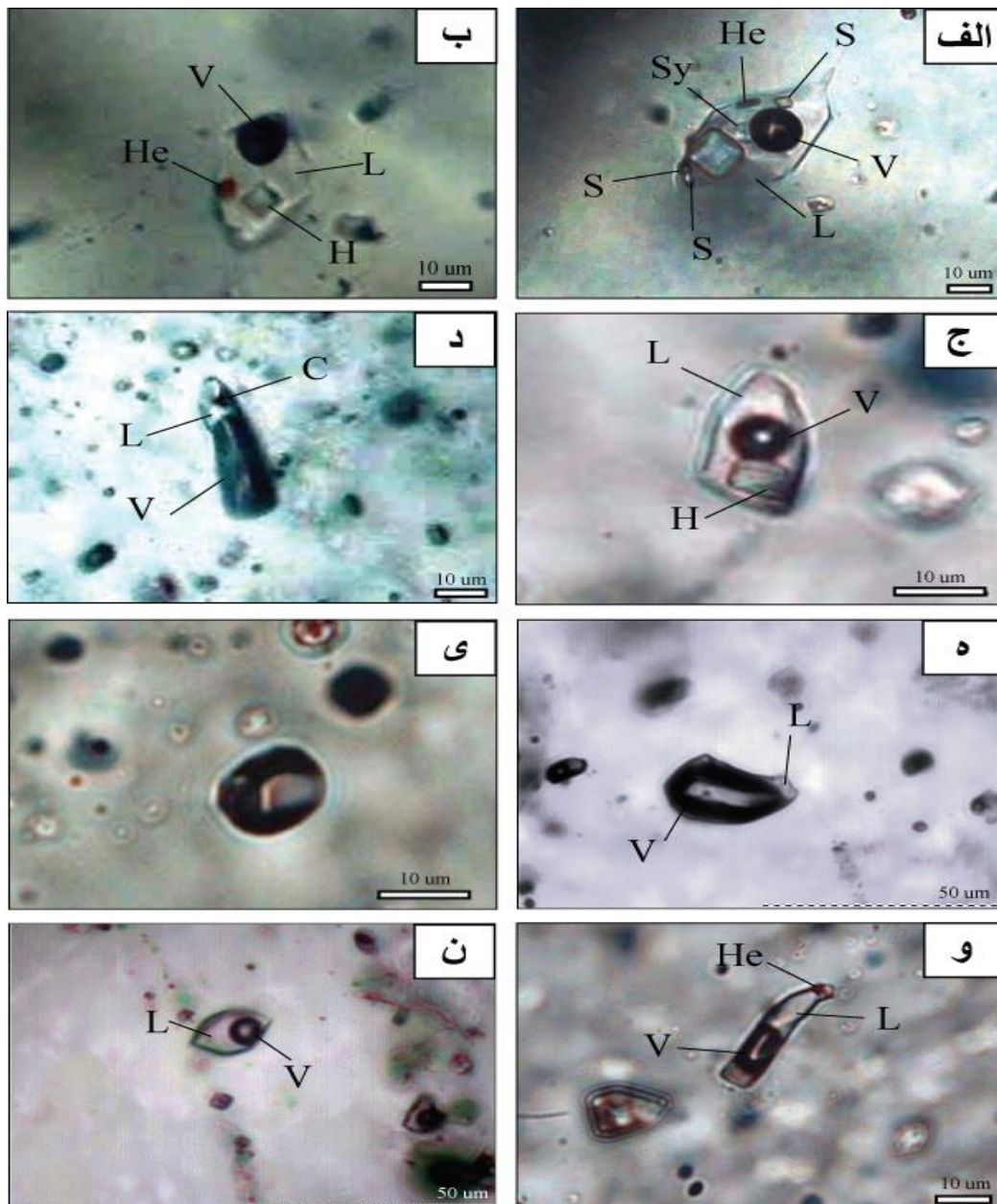
جدول ۱. ویژگی انواع رگه‌های مورد استفاده جهت مطالعه سیالات درگیر

نام نمونه	نوع رگه	ضخامت رگه	کانی‌زایی	دگرسانی	عمق (متر)
P9-163	C	۰/۵ mm	کالکوپیریت ± پیریت ± انیدریت	پتاسیک با K فلدسپار اندک، بیوتیت ثانویه و کلریت در حاشیه رگه	۱۶۳
P9-105	A	۱ Cm	مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت ± انیدریت	پتاسیک دارای بیوتیت ثانویه و K فلدسپار و کلریت در حاشیه رگه	۱۰۵
HB-110	D	۱/۵ mm	پیریت، انیدریت	فیلیک با حاشیه سریسیتی و کلریت	۱۱۰
P6-463	D	۱/۵ mm	پیریت، انیدریت	پتاسیک - فیلیک، بیوتیت ثانویه اندک و گاهی کلریتی شده و	۴۶۳

				سریسیت	
P3-531	D	۲/۵ mm	انیدریت فراوان ± پیریت	فیلیک	۵۳۱
P6-447	D	۱ Cm	پیریت، انیدریت	فیلیک	۴۴۷

(شکل ۳- الف). بلور هالیت دارای شکل کوبیک و گاهی تقریباً نیمه گرد شده است و نسبت به سایر فازهای جامد مشاهده شده بزرگتر می‌باشد. اغلب فاز جامد همراه با هالیت، سیلویت می‌باشد که اصولاً دارای شکلی تقریباً گرد شده می‌باشد و از بلور هالیت کوچکتر می‌باشد. سایر فازهای جامد مشاهده شده معمولاً به صورت گرد شده و دارای اندازه‌های کوچک می‌باشند.

اندازه‌های کوچک می‌باشند. در موارد بسیار نادر کانی منشوری به همراه بلور هالیت دیده می‌شود که احتمالاً کانی انیدریت می‌باشد. کانی اپک به شکل- های کروی، کوبیک، تیغه‌ای، نامنظم و به ندرت مثلثی شکل می‌باشد که در صورت مثلثی بودن، کانی اپک همراه کالکوپیریت می‌باشد. در مواردی که دو کانی اپک حضور دارد.



شکل ۳. الف) سیال درگیر چند فازی. ب) سیال درگیر شور حاوی کانی اپک. ج) سیال درگیر شور ساده. د) سیال درگیر غنی از گاز حاوی کانی اپک. ه) سیال درگیر غنی از گاز. ی) سیال درگیر تک فازی. و) سیال درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک ن) سیال درگیر غنی از مایع. اختصارات: حباب گاز: V، فاز مایع: L، هماتیت: He، کانی اپک: O، کالکوپیریت: C، بلور هالیت: H، سیلویت: Sy، کانی نوزاد: S.

سیالات درگیر تک فاز گازی. در کانسار سارا سیالات درگیر تک

فازی گازی هم به صورت اولیه و هم به صورت ثانویه و ثانویه کاذب مشاهده می‌شوند. اندازه آن‌ها $20-2\ \mu\text{m}$ می‌باشد. در این نوع از سیالات درگیر امکان مشاهده فاز مایع وجود ندارد. سیالات درگیر فاز گازی، به شکل کروی، بیضوی و حتی شکل بلوری منفی کوارتز دیده می‌شوند (شکل ۳- ی). فراوانی این سیالات درگیر در بعضی از نمونه‌ها و همراهی غالب آن با سیالات درگیر چند فازی نشان از جوشش ثانویه دارد.

در موارد بسیار نادر کانی منشوری به همراه بلور هالیت دیده می‌شود که احتمالاً کانی انیدریت می‌باشد. کانی اپک به شکل‌های کروی، کوبیک، تیغه‌ای، نامنظم و به ندرت مثلثی شکل می‌باشد که در صورت مثلثی بودن، کانی اپک همراه کالکوپیریت می‌باشد. در مواردی که دو کانی اپک حضور دارد یکی از آن دو هماتیت می‌باشد که به رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای و به شکل کروی تا نامنظم مشاهده می‌شود.

سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک. این سیالات درگیر در

مقایسه با سیالات درگیر شور ساده و چند فازی دارای فراوانی بیشتری می‌باشند و به شکل‌های بلوری منفی کوارتز، کروی، کشیده تا نامنظم مشاهده می‌شوند. اندازه آن‌ها $25-5\ \mu\text{m}$ می‌باشد. بلور هالیت به صورت کوبیک دیده می‌شود. یک یا دو کانی اپک به شکل‌های کروی، مکعبی، نامنظم و به ندرت تیغه‌ای و مثلثی حضور دارد. اغلب هماتیت به صورت کانی اپک حضور دارد که با رنگ قهوه‌ای خود و بیشتر به شکل کروی تا نامنظم ظاهر می‌شود (شکل ۳- ب). هماتیت فاز اکسید آهن پایداری است که در سیالات درگیر به علت قطع شدن منحنی مگنتیت - هماتیت توسط سرد شدن و یا از دست رفتن هیدروژن از سیال درگیر ایجاد می‌شود. این مورد خود می‌تواند به دلیل دگرسانی مگنتیت به هماتیت در سیالات درگیر حاوی مارتیت و تشکیل هماتیت باشد (Zolensky and Bodnar, 1982).

سیالات درگیر شور ساده. این نوع از سیالات درگیر به شکل‌های

بلوری منفی کوارتز، کروی، بیضوی تا نامنظم دیده می‌شوند. کانی نوزاد هالیت به صورت بلور کوبیک و گاهی تقریباً نیمه گرد شده دیده می‌شود. اندازه آن‌ها تا ۲۵ میکرون نیز می‌رسد (شکل ۳- ج).

سیالات درگیر غنی از گاز حاوی کانی اپک. علاوه بر حباب

گاز دارای یک کانی اپک و به ندرت دو کانی اپک می‌باشند. این سیالات درگیر به صورت کشیده، کروی و نامنظم دیده می‌شوند (شکل ۳- د). کانی اپک به صورت کروی، مکعبی و گاهی مثلثی شکل می‌باشد. هماتیت به صورت کانی اپک در این سیالات درگیر مشاهده نشد. سیالات درگیر غنی از گاز حاوی کانی اپک از نظر فراوانی کم تعدادترین نوع سیالات درگیر در کانسار سارا می‌باشند.

سیالات درگیر غنی از گاز. ۶۰ تا ۹۰ درصد حجم این سیالات

درگیر از حباب گاز تشکیل شده است. نسبت پرشدگی این سیالات درگیر ۰/۴-۰/۱ می‌باشد. سیالات درگیر غنی از گاز به شکل‌های نامنظم، کشیده، کروی و شکل منفی کوارتز دیده می‌شوند و اندازه آن‌ها از ۳ تا ۲۵ میکرون در تغییر است (شکل ۳- ه).

دماسنجی (ترمومتری)

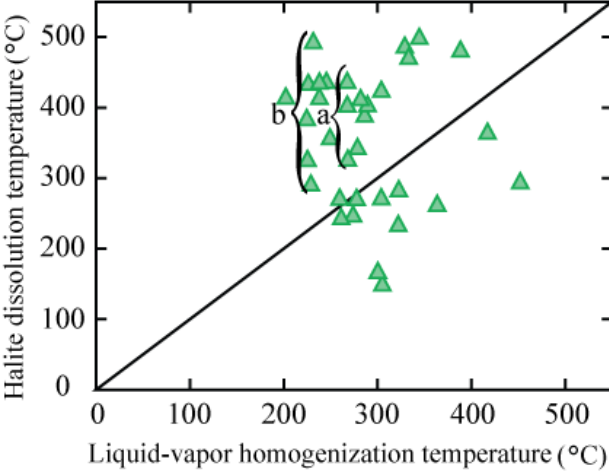
روش دماسنجی بر اساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی در داخل سیالات درگیر حین گرمایش و سرماایش می‌باشد. با اندازه‌گیری دقیق درجه حرارتی که این تغییرات در آن رخ می‌دهند، می‌توان به وضعیت PTVX (فشار: P، دما: T، حجم: V، ترکیب شیمیایی: X) سیالات در زمان به دام افتادن پی برد (Shepherd et al., 1985).

برای تعیین شوری سیالات درگیر فاقد فاز هالیت (شوری کم‌تر از Wt.% ۲۳/۲ NaCl) از دمای ذوب یخ استفاده می‌شود که برای این منظور از معادله بودنار و ویتیک^۱ (۱۹۹۴) استفاده شد. در سیالات درگیر حاوی فاز هالیت (شوری بیش‌تر از Wt.% ۲۶/۳ NaCl)، دمای انحلال بلور هالیت جهت تعیین شوری مورد استفاده قرار می‌گیرد. شوری این سیالات درگیر تحت معادله بودنار و ویتیک (۱۹۹۴) محاسبه گردید. در زیر نتایج حاصل از دماسنجی به تفصیل برای هر گروه از سیالات درگیر بیان می‌شود:

سیالات درگیر چند فازی

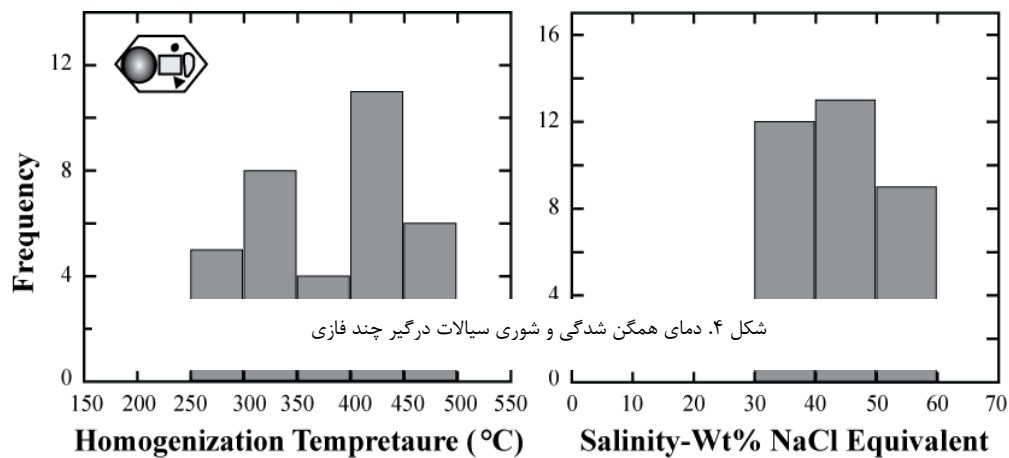
داده‌های مربوط به دمای همگن شدگی نهایی و شوری این نوع از سیالات درگیر در شکل (۴) نشان داده شده است. دمای همگن شدگی برای سیالات درگیر چند فازی از $261/3\ ^\circ\text{C}$ تا $497/3\ ^\circ\text{C}$ متغیر است و بیشترین فراوانی مربوط به گستره $400\ ^\circ\text{C}$ تا $450\ ^\circ\text{C}$ می‌باشد. شوری نیز از ۳۰/۸۵ تا Wt.% NaCl ۵۹/۳۲ در تغییر است و بیشترین فراوانی آن مربوط به گستره Wt.% NaCl ۵۰-۴۰ می‌باشد. سیالات درگیر چند فازی هم با ناپدید شدن حباب گاز و نیز ذوب هالیت همگن می‌شوند، اما بیشتر با ذوب هالیت همگن می‌گردند (شکل ۵). در داده‌هایی که در بالای خط مورب قرار می‌گیرند، دمای ذوب هالیت بیشتر از دمای همگن شدن گاز به مایع است و داده‌هایی که در زیر خط

¹ Bodnar and Vityk



مورب قرار می‌گیرند. هالیت زودتر از همگن شدن و ناپدید شدن حباب گاز، ذوب می‌شود.

سیالات درگیری که با ذوب هالیت همگن می‌شوند نشان‌دهنده‌ی به دام افتادن سیال اشباع از هالیت در فشار بالا، به دام افتادن پسیمن، از دست رفتن یا افت حجمی آب می‌باشند (Ulrich et al., 2001). بعضی از سیالات درگیر این گروه با دمای همگن شدگی یکسان فاز گاز به مایع دارای دمای ذوب هالیت متفاوت می‌باشند. این مورد می‌تواند به دلیل به دام افتادن بلور هالیت ایجاد شود (Bodnar and Beane, 1980; Shepherd et al., 1985). اگر سیال معرف یک سیستم ناهمگن (مایع + بخار + هالیت) باشد، آنگاه احتمال زیادی وجود دارد که برخی از سیالات درگیر، بلورهای هالیت را به صورت فازهای اسیر به دام انداخته باشند. این امر موجب پراکندگی داده‌ها به سمت شوری‌های بالاتر در دمای همگن شدن گاز به مایع یکسان خواهد شد (Shepherd et al., 1985) (محدوده a و b در شکل ۵). دمای ذوب هالیت از $147/5^{\circ}\text{C}$ تا $497/3^{\circ}\text{C}$ متغیر است. سیلویت که به صورت تقریباً گرد شده حضور دارد در دمای بین $104/7^{\circ}\text{C}$ تا $277/5^{\circ}\text{C}$ و همیشه قبل از هالیت ذوب می‌شود. حضور سیلویت نشان‌دهنده‌ی این است که سیالات به جز NaCl حاوی KCl نیز بوده‌اند. به جز سیلویت کانی نوزاد ناشناخته دیگری با اندازه کوچک، گرد شده و بی‌رفرنژانس و برجستگی متوسط حضور دارد.



شکل ۵. دمای همگن شدگی گاز به مایع در برابر انحلال هالیت در سیالات درگیر چند فازی. محدوده a و b جذب یا به دام افتادن بلورهای هالیت رانشنا

فازی مشاهده می‌گردد که در دمای 120°C به چند تکه تقسیم شده و در دمای $170-148^{\circ}\text{C}$ ذوب می‌شود. کانی نوزاد مستطیلی شکل (احتمالاً

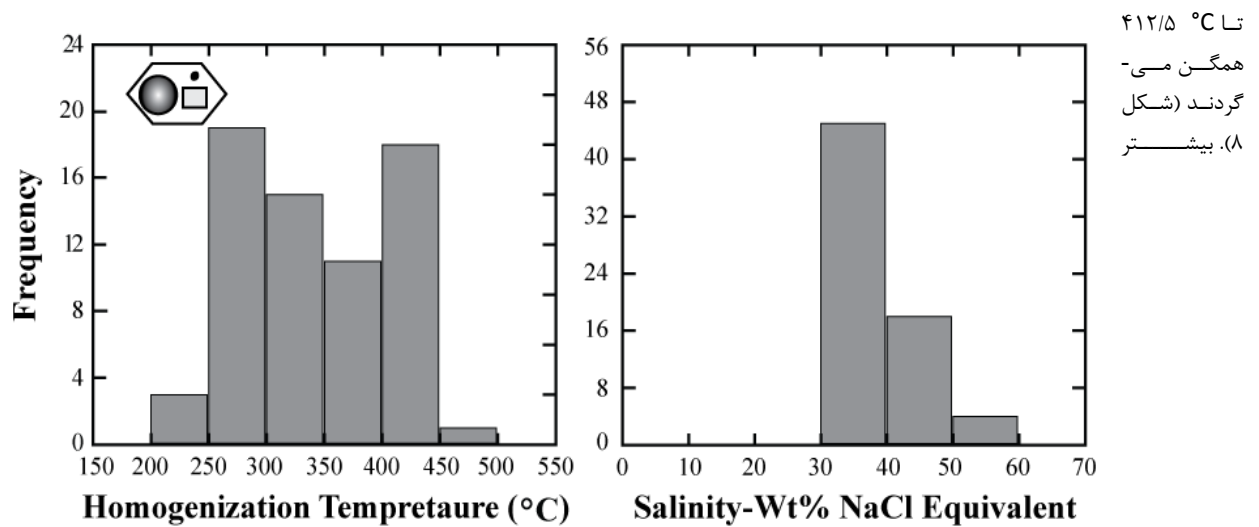
که در دمای $308/7^{\circ}\text{C}$ تا $420/1^{\circ}\text{C}$ ذوب می‌شود. به ندرت کانی نوزادی با برجستگی متوسط و تقریباً گل کلمی شکل در بعضی از سیالات درگیر چند

سیالات درگیر شور ساده با ناپدید شدن حباب گاز به مایع همگن می‌شوند (شکل ۹) و فقط تعداد اندکی با ذوب هالیت همگن می‌گردند. بیشترین فراوانی دمای همگن شدگی مربوط به گستره‌ی دمایی ۲۰۰ تا ۳۵۰ °C می‌باشد که از این نظر دمای همگن شدگی کم‌تری را نسبت به سیالات درگیر چند فاز و شور حاوی کانی اپک نشان می‌دهند. تعدادی از سیالات درگیر این گروه که دمای ذوب هالیت در آن‌ها بسیار بیش‌تر از دمای همگن شدگی حباب گاز به مایع است نشان‌دهنده‌ی به دام افتادن سیال درگیر در فشار زیاد می‌باشند (Bodnar, 1994). سیالات درگیر شور ساده دارای شوری ۲۹/۹ تا ۴۸/۱۳ Wt.% NaCl می‌باشند. گستره‌ی بیش‌ترین فراوانی شوری این گروه شبیه به سیالات درگیر

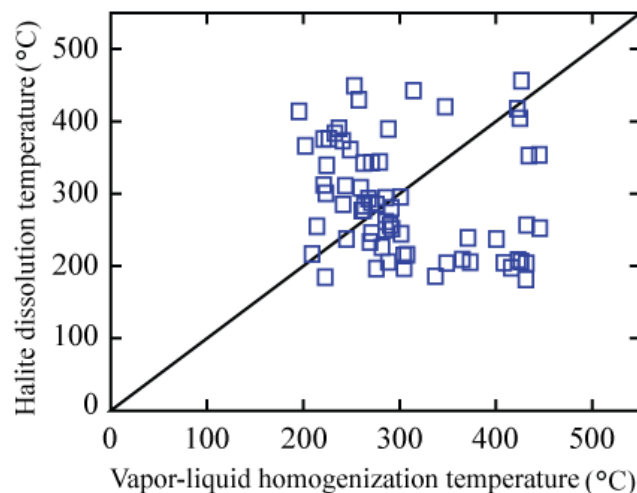
انیدریت) که به ندرت در بعضی از سیالات درگیر چند فاز مشاهده می‌شود، تا دمای ۶۰۰ °C نیز ذوب نمی‌شود.

سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک. دمای همگن شدگی نهایی برای سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک از ۲۱۶/۶ تا ۴۵۶/۱ °C در تغییر است (شکل ۶). در اصل بیشترین فراوانی همگن شدگی مربوط به گستره ۲۵۰ تا ۴۵۰ °C می‌باشد. هالیت در این گروه از سیالات درگیر در دمای ۱۸۱/۳ تا ۴۵۶/۱ °C ذوب می‌شود. سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک با تعداد مساوی هم با ذوب هالیت و نیز با ناپدید شدن حباب گاز به مایع همگن می‌گردند (شکل ۷). این سیالات درگیر دارای شوری ۳۰/۹۸ تا ۵۴/۰۱ Wt.% NaCl می‌باشند و بیشترین فراوانی شوری مربوط به گستره ۳۰-۴۰ Wt.% NaCl است.

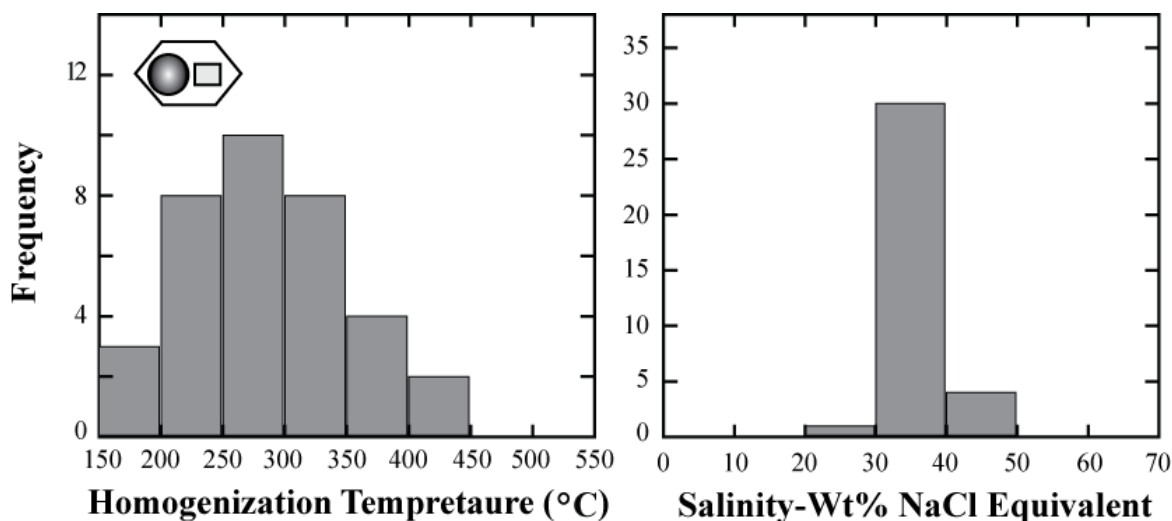
سیالات درگیر شور ساده. این گروه از سیالات درگیر در دمای ۱۸۷/۱



شکل ۶. دمای همگن شدگی و شوری سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک



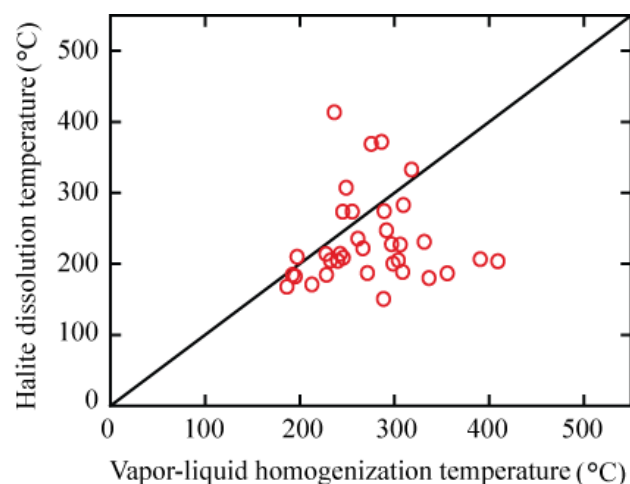
شکل ۷. دمای همگن شدگی گاز به مایع در برابر انحلال هالیت در سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک



شکل ۸. دمای همگن شدگی و شوری سیالات درگیر شور ساده

شور حاوی کانی اپک می باشد که گستره $30-40 \text{ Wt.\% NaCl}$ را به خود اختصاص می دهد. ولی به طور میانگین این سیالات درگیر شوری کمتری را نسبت به سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک نشان می دهند. در سیالات درگیر شور ساده، هالیت در دمای $149/5$ تا $412/5$ °C ذوب می شود.

سیالات درگیر غنی از گاز و غنی از گاز حاوی کانی اپک. سیالات درگیر این گروه در دمای $345/5$ تا $505/3$ °C همگن می شوند (شکل ۱۰) بنابراین بیشترین دمای همگن شدگی ($505/3$ °C) متعلق به یک نمونه از سیالات درگیر این گروه می باشد. این سیالات درگیر در دمای اندکی بیش تر از سیالات درگیر چند فاز می همگن می شوند که این مسئله به علت به دام افتادن نامتجانس مایع و گاز در طی جوشش است (Hezarkhani, 2009). کمترین و بیشترین دمای همگن شدگی سیالات درگیر این گروه، محدوده دمای دمای که در آن جوشش اتفاق می افتد را نشان می دهد (Bodnar and Beane, 1980). بیشترین فراوانی همگن شدگی در این گروه متعلق به گستره 350 تا 450 °C



شکل ۹. دمای همگن شدگی گاز به مایع در برابر انحلال هالیت در سیالات درگیر شور ساده

تخمین فشار، عمق و تکامل محلول گرمایی تشکیل دهنده- ی کانسار سارا

روندهای فیزیکی اصلی جهت نهشت کانسار سارا جوشش و اختلاط سیالات ماگمایی با سیالات جوی می باشد (شکل ۱۳). جوشش و اختلاط سیالات، دو عامل مهمی هستند که معمولاً شرایط لازم برای ته نشین شدن کانسارها را فراهم می آورند و باعث فوق اشباع شدن سریع سیال گرمایی در محدوده‌ی سنگ‌ها و ته نشین شدن کانسار می شوند (Wilkinson, 2001). بیشترین فشار حدود ۶۰۰ bar) مربوط به سیالات درگیر غنی از گاز است که تشکیل آن‌ها تا فشار حدود ۲۰۰ bar نیز ادامه دارد (شکل ۱۴). هم یافتی سیالات درگیر تک فاز گازی و چند فاز می دهد سیالات صعود کننده در محدوده دمایی

می باشد. در بعضی از سیالات درگیر غنی از گاز و غنی از گاز حاوی کانی اپک، حباب گاز تغییر خاصی را تا $50-30^{\circ}\text{C}$ زیر دمای همگن شدگی نشان نمی دهد، ولی پس از آن به سرعت گسترش یافته و سیال درگیر را پر می سازد. این عامل نشان دهنده‌ی یک سیال نزدیک به چگالی بحرانی است (Roedder, 1984). دمای ذوب آخرین بلور یخ برای سیالات درگیر این گروه از $6/2-$ تا $18/8-$ درجه سانتی گراد می باشد که بیان کننده‌ی شوری بین $9/47\text{ Wt.}\%$ NaCl تا $21/54$ است (شکل ۱۲). بیشترین فراوانی شوری در بین سیالات درگیر غنی از گاز متعلق به گستره‌ی $20-10\text{ Wt.}\%$ NaCl می باشد. دمای همگن این گروه گستره‌ی دمایی بیشتری را نسبت به گروه سیالات درگیر غنی از مایع و غنی از مایع حاوی کانی اپک به خود اختصاص می دهد. بعضی از سیالات درگیر این گروه در حین انجماد تغییر فازی را نشان نمی دهند و

بدون تغییر باقی می ماند.

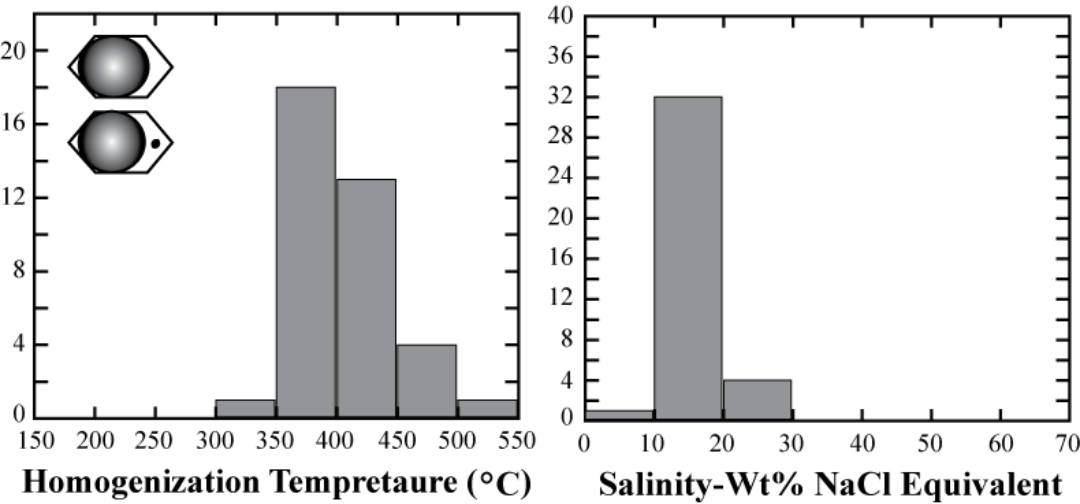
سیالات درگیر غنی از مایع و غنی

از مایع حاوی کانی اپک. سیالات

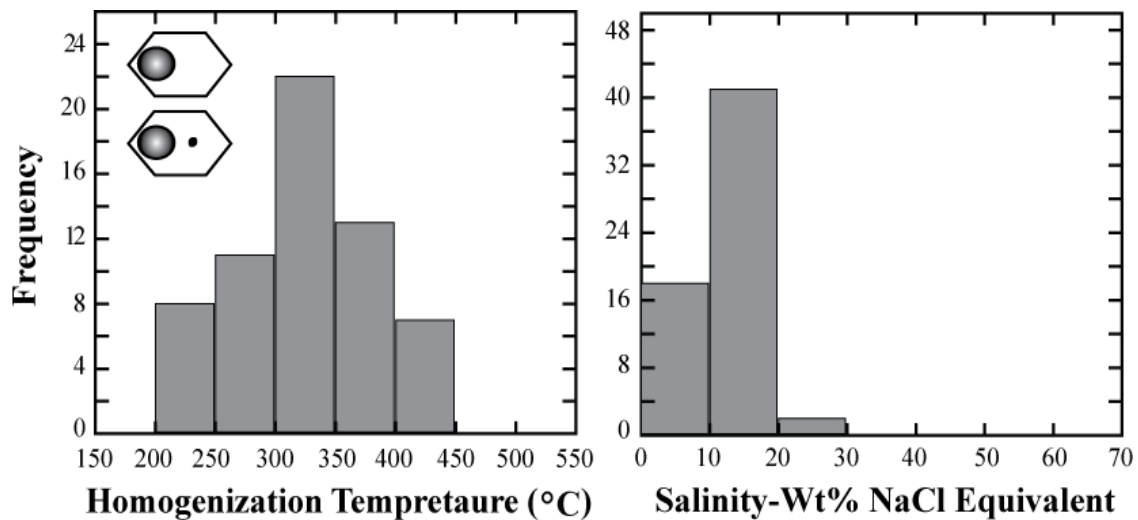
درگیر این گروه دارای دمای همگن شدگی $408/1^{\circ}\text{C}$ تا $212/1^{\circ}\text{C}$ می باشند و بیشترین دمای همگن شدگی مربوط به گستره‌ی 300 تا 350°C است (شکل ۱۱). دمای ذوب آخرین بلور یخ برای سیالات درگیر غنی از مایع از $0/6-$ تا $17/6-$ درجه سانتی گراد در تغییر است که بیان کننده‌ی شوری بین $1/05$ و $20/67\text{ Wt.}\%$ NaCl می باشد. بیشترین فراوانی شوری در این گروه از سیالات درگیر

به گستره‌ی $20-10\text{ Wt.}\%$ NaCl تعلق دارد. این گروه شامل دو دسته از سیالات درگیر غنی از مایع و غنی از مایع حاوی کانی اپک می باشد. به طور مجموع سیالات درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک دارای دمای همگن شدگی و شوری بالاتری نسبت به سیالات درگیر غنی از مایع می باشند. حضور کانی اپک با این دسته از سیالات درگیر دمای همگن شدگی و شوری بیشتری را می طلبد، چرا که در محدوده‌ی دمایی مربوط به این دسته از سیالات درگیر هنوز سیال گرمایی تشکیل دهنده‌ی کانسار محتوای فلزی خود را کاملاً ته نشین نکرده است.

مقایسه‌ی دمای همگن شدگی و شوری انواع سیالات درگیر کانسار سارا در شکل (۱۲) نشان داده شده است. همان طور که دیده می شود روند کاهش شوری از سیالات درگیر چند فاز تا سیالات درگیر غنی از مایع و غنی از مایع حاوی کانی اپک به راحتی قابل تشخیص است. درجه حرارت همگن شدگی می تواند تخمینی از درجه حرارت سیال در حین به دام افتادن در کانی میزبان باشد و دامنه‌ی حرارتی مربوط به فعالیت فازهای گرمایی و درجه حرارت تشکیل کانسار را نشان دهد (Cunningham, 1978). دمای همگن شدگی از سیالات درگیر چند فاز تا سیالات درگیر غنی از مایع روند کاهشی نشان می دهد (شکل ۱۲). ولی در این بین سیالات درگیر غنی از گاز و غنی از گاز حاوی کانی اپک دارای دمای همگن شدگی مشابه با انتهای گستره دمایی همگن شدگی سیالات درگیر چند فاز و سیالات درگیر شور حاوی کانی اپک می باشند. سیالات درگیر غنی از مایع با شوری و دمای کمتر آخرین مراحل به دام افتادن سیال گرمایی را نشان می دهند.



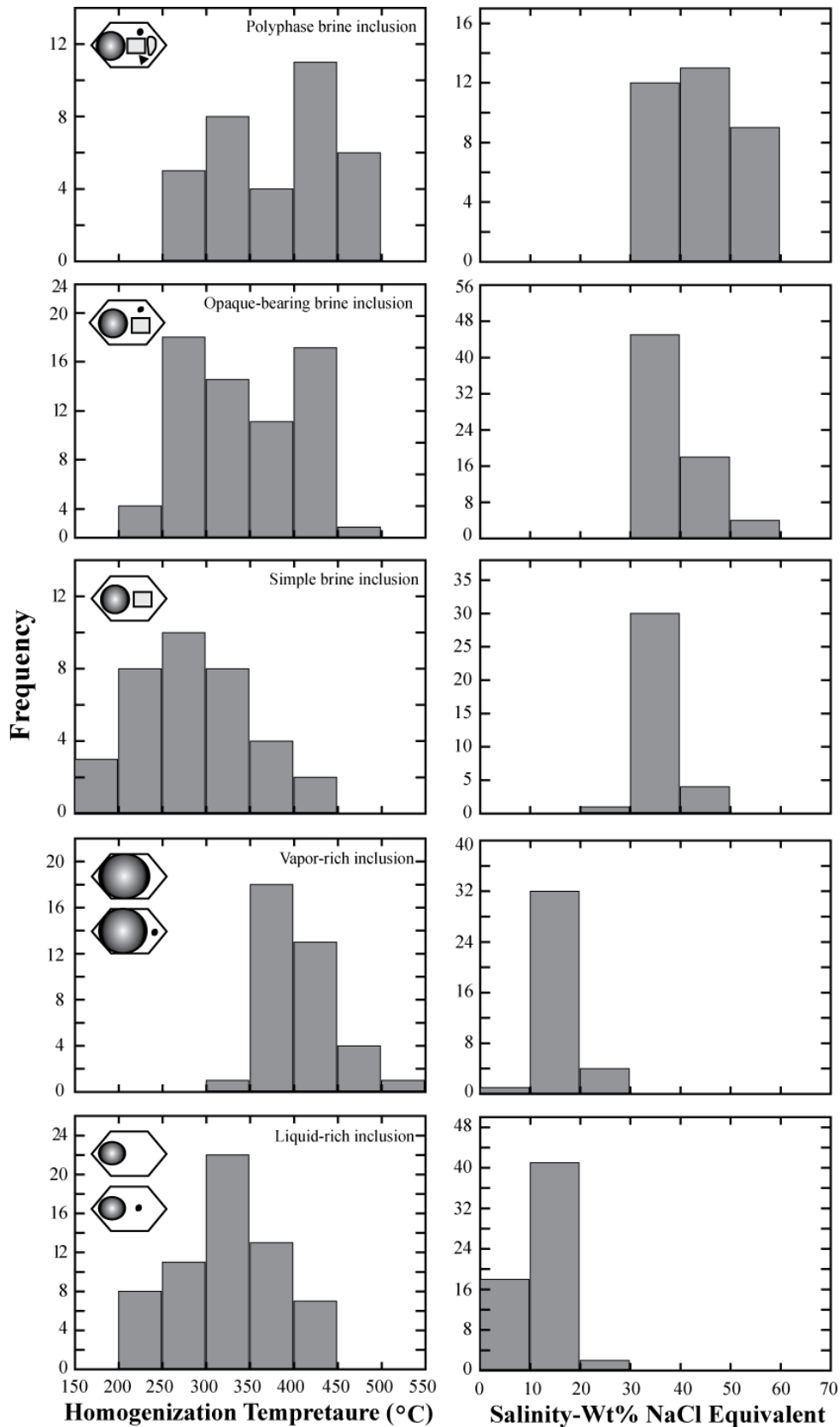
همگن شدگی سیالات درگیر چند فاز می نمایند.



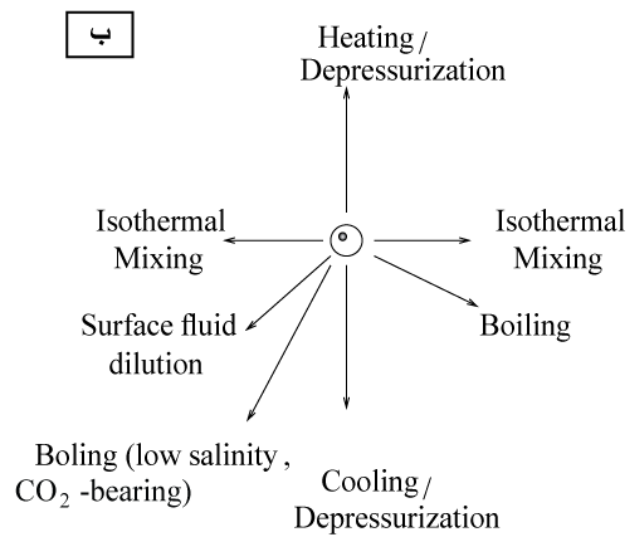
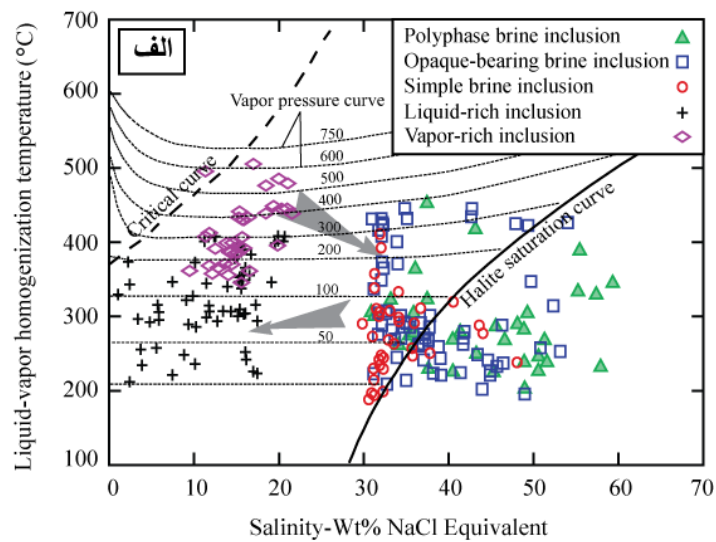
شکل ۱۱. دمای همگن شدگی و شوری سیالات درگیر غنی از مایع و غنی از مایع حاوی کانی اپک

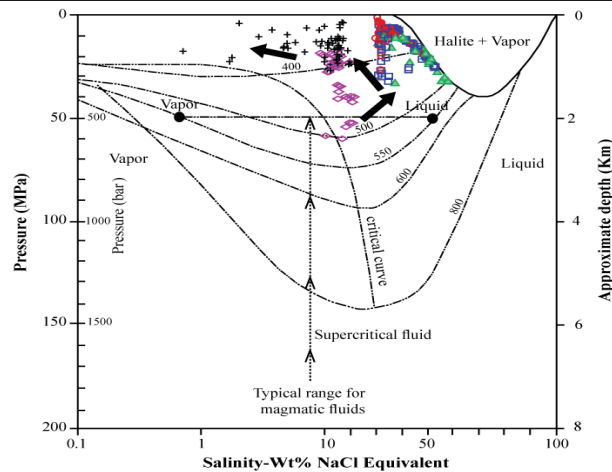
تشکیل شکستگی‌های زیاد هیدرولیکی می‌شود. هم چنان که جوشش ادامه می‌یابد، شکستگی‌هایی که با کوارتز و سولفید پر شده اند، ایجاد می‌شوند. با مسدود شدن کانال‌های سیالات، نفوذپذیری کاهش یافته و سبب می‌شود سیالات دوباره فشار لیتواستاتیک را تحمل کنند. به علت افزایش فشار داخلی سیال دوباره سیال آزاد شده و جوشش اتفاق می‌افتد و سیال با شوری نسبتاً کم دوباره شروع به صعود کرده و به صورت سیالات درگیر به دام می‌افتند. این چرخه چندین بار تکرار می‌شود. پس از آن در فشار پایین تر (در حدود ۳۵۰ bar) با روند کاهش شوری و دما، فشار نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱۴). چرا که در طی تشکیل یک کانسار مس پورفیری، شوری اصولاً با تغییر دما و فشار در یک سیستم سیال مایع، گاز+ هالیت کنترل می‌شود (Ulrich et al., 2001).

حضور سیال درگیر گازی به همراه سیالات درگیر دیگر و وجود سیالات درگیر با شوری‌های متفاوت از شواهد رخداد جوشش در سیالات گرمابی است (Drummond, and Ohmoto, 1985). سیالاتی که با بیش‌ترین فشار در دمای حدود ۵۰۰ °C، فشار ۴۰۰-۶۰۰ bar و عمق ۲/۳ تا ۰/۶ Km به دام می‌افتند، اولین سیالات تشکیل دهنده کانسار سارا می‌باشند. در این دما یک مسیر جوشش مشخص می‌باشد (شکل ۱۴) و تنوع شوری را در فشار بالا نشان می‌دهد که نشان‌دهنده‌ی از دست رفتن مقداری از آب شوراب اولیه برای فاز گاز می‌باشد. وجود کالکوپیریت و مگنتیت در رگه‌ها و حضور کالکوپیریت و انیدریت در تعداد اندکی از سیالات درگیر چند فازگی گویای این است که سیالات اولیه مسئول ته‌نشست مس، آهن و گوگرد بوده‌اند. همان طور که جوشش ادامه می‌یابد فاز سیال به طور فزاینده شوتر می‌شود (شکل ۱۳ و ۱۴). بنابراین به طور پی در پی سیالات درگیر با شوری بیشتر به دام می‌افتند. ادامه جوشش سبب



شکل ۱۲. دمای همگن شدگی و میزان شوری انواع سیالات درگیر کانسار سارا


 شکل ۱۳. الف) دمای همگن شدگی مایع-گاز سیالات درگیر کانسار سارا در برابر شوری بر روی سیستم $\text{NaCl-H}_2\text{O}$ (Chou, 1987). ب) روندهای فیزیکی مربوط به تشکیل کانسار



پدیده جوشش نسبت داد. از طرفی شواهد هم‌یافتی سیالات درگیر غنی از گاز و چند فازی نیز تأییدی بر روند جوشش می‌باشد.

۳- سیالات گرمابی اولیه تشکیل دهنده کانسار سارا بوسیله حضور سیالات درگیر دمای بالا (سیالات درگیر چند فازی با بیشترین دمای همگن شدگی در گستره دمایی $400-500^{\circ}\text{C}$) و شوری متوسط تا بالا (بیش‌ترین فراوانی شوری در گستره $40-50 \text{ Wt. \% NaCl}$) و سیالات درگیر غنی از گاز با دمای بالا و شوری پایین مشخص می‌شوند. این سیالات اولیه نشان‌دهنده سیالات ماگمایی بوده و مسئول تشکیل دگرسانی پتاسیک در کانسار سارا می‌باشند. با توجه به بالاتر بودن دمای همگن شدگی سیالات درگیر چندفازی در رگه نوع A (حاوی کانی‌زایی مگنتیت) و به علاوه حضور کالکوپیریت و انیدریت در بعضی از سیالات درگیر چندفازی نشان می‌دهد که سیالات اولیه مسئول حمل و ته‌نشست مس، آهن و گوگرد بوده‌اند.

۴- سیالات درگیر غنی از مایع با دمای همگن شدگی و شوری پایین (بیش‌ترین فراوانی دمای همگن شدگی در گستره 300 تا 350°C و بیش‌ترین فراوانی شوری در گستره $10-20 \text{ Wt. \% NaCl}$) نشان‌دهنده آخرین گردش سیال گرمابی و درگیر شدن سیالات جوی در تشکیل کانسار سارا می‌باشند. به علت بالاتر بودن دمای همگن شدگی و شوری سیالات درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک نسبت به سیالات درگیر غنی از مایع و عدم حضور سیالات درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک در دمای کمتر از 300°C می‌توان این نتیجه را گرفت که با هجوم سیالات جوی، سیال گرمابی فاقد محتوای فلزی بوده است.

۵- روند دمای همگن شدگی - شوری سیالات درگیر با ترکیبی از روندهای جوشش یک سیال غنی از گاز و رقیق شدن یا اختلاط سیالات ماگمایی شورتر و داغتر با سیالات جوی با شوری و دمای پایین‌تر برای نهشت کانسار سازگار است.

۶- شوری و دمای همگن شدن حاصل از مطالعات داماسنجی سیالات درگیر کانسار سارا نشان می‌دهد که تشکیل این کانسار در ارتباط با سیالاتی با منشأ ماگمایی - جوی می‌باشد.

۷- حداکثر فشار و عمق جایگزینی کانسار سارا 600 bar و $2/3 \text{ Km}$ می‌باشد.

ای سیالات درگیر را از نظر فشار - دما - ترکیب نشان می‌دهد (Wilkinson, 2001).

سیالات درگیر اولیه در کانی‌زایی و دگرسانی سیستم‌های پورفیری ماگمایی، با شوری و دمای بالا می‌باشند، در حالی که در قسمت بیرونی این کانسارها سیالاتی با شوری پایین‌تر با منشأ جوی، درون سازندی و دریایی شناخته شده است (Bodnar, 1995). تایلر^۲ (۱۹۹۷) کانی‌زایی در کانسارهای مس پورفیری را به طور واضح در ارتباط با سیالاتی با منشأ ماگمایی - جوی می‌داند. مطالعه سیالات درگیر در سیستم‌های پورفیری نشان داده است که سه نوع از سیالات (Bean and Titley, 1981): ماگمایی - جوی (شوری 40 Wt. \% NaCl و دمای همگن شدگی $450-750^{\circ}\text{C}$)، ماگمایی - جوی (شوری $25-10 \text{ Wt. \% NaCl}$ و دمای همگن شدگی $250-600^{\circ}\text{C}$) و جوی (شوری 10 Wt. \% NaCl و دمای همگن شدگی $200-400^{\circ}\text{C}$) در تشکیل سیستم‌های پورفیری درگیرند. محدوده‌ی شوری و دمای همگن شدن سیالات درگیر کانسار سارا نشان‌دهنده‌ی این است که کانی‌زایی در کانسار مس پورفیری سارا در ارتباط با سیالاتی با منشأ ماگمایی - جوی است.

نتیجه‌گیری

۱- مطالعه پتروگرافی سیالات درگیر کانسار سارا نشان‌دهنده‌ی تشکیل هشت گروه: سیال درگیر چند فازی، سیال درگیر شور حاوی کانی اپک، شور ساده، سیال درگیر غنی از گاز حاوی کانی اپک، سیال درگیر غنی از گاز، سیال درگیر تک فاز گازی، سیال درگیر غنی از مایع حاوی کانی اپک و غنی از مایع می‌باشد.

۲- داماسنجی سیالات درگیر کانسار سارا حاکی از عملکرد محلول گرمابی تشکیل دهنده‌ی کانسار در دمای حدود 187 تا 505°C و شوری حدود 1 تا 59 Wt. \% NaCl می‌باشد. تنوع شوری مشاهده شده را می‌توان به رخداد

² Taylor

کانسار به مقدار کم و ضعیف انجام شده و این کانسار را فاقد پتانسیل استخراجی نموده است.

منابع

- کان ایران، ۱۳۸۷، نقشه زمین‌شناسی کانسار سارا، مقیاس ۱/۵۰۰۰.
- Anonymous, 1973, Exploration for ore deposits in Kerman Region, Institute for Geological and Mining Exploration and Institution of Nuclear and other Minerall Raw Materials, Beograd-Yugoslavia, Geological Survey of Iran, Report No. Yu/53, 247 p.
- Bean.R.E., and Titly.S.R., 1981, Porphyry copper deposits, Part II: Hydrothermal alteration and mineralization, *Economic Geology*, 75 th. Ann, p: 214-268.
- Bodnar.R.J., and Beane.R.E., 1980, Themporal and Spatial Variations in Hydrothermal Fluid Characteristics during Vein Filling in Preore Cover Overlying Deeply Buried Porphyry Copper-Type Mineralization at Red Mountain, Arizona, *Economic Geology*, Vol: 75, p: 876-893.
- Bodnar.R.J., 1994, Synthetic fluid inclusions: XII: The system H₂O-NaCl. Experimental determination of the halite liquidus and isochores for a 40 wt % NaCl solution." *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol: 58, p: 1053-1063.
- Bodnar.R.J., and Vityk.M.O., 1994,. Interpretation of microthermometric data for H₂O-NaCl fluid inclusions. In *Fluid Inclusions in Mineras, Methods and Applications*. B. De Vivo and M. L. Frezzotti, eds., pub. by Virginia Tech, Blacksburg, VA, p: 117-130.
- Calagari.A.A., 2004, Fluid inclusion studies in quartz veinlets in the porphyry copper deposit at Sungun, East-Azarbaidjan, Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*, Vol: 23, p: 179-189.
- Saric.A., Djordjevic.M., and Dimitrijevic.M.N., 1972, Geological map of Shahr-Babak, Scale 1/100000, Geological Survey of Iran, Tehran, Iran. Geological Society of America, Vol: 32, p.
- Shepherd.T.J., Ranbin.A.H., Alderton.D.H.M., 1985, A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies, Blackie, Glasgow, 239 p.
- Redmond.P.B.,Einaudi.M.T.,Inan.E.E.,Landtwing.M.R., Heinrich.C.A., 2004, Copper deposition by fluid cooling in intrusion-centered system: New insights from the Bingham porphyry ore deposit, Utah, 217-220.
- ۸- کانسار سارا از نظر دما و شوری سیالات تشکیل دهنده خود در گستره دما و شوری مناسب جهت کانی‌سازی در کانسارهای مس پورفیری قرار می‌گیرد ولی به علت پایین بودن محتوای فلزی سیالات تشکیل دهنده، کانی‌سازی در این Cunningham.C., 1978, Pressure gradients and boiling as mechanisms for localizing ore in porphyry system, Research U. S. Geology Survey, Vol: 6, p: 745-754.
- Dimitrijevic.M., 1973, Geology of Kerman region, Institute for Geological and Mining Exploration and Institution of Nuclear and Other Mineral Raw Materials, Beograd-Yugoslavia, Geological Survey of Iran, Report No. Yu/52, 334 p.
- Drummond.S.E. and Ohmoto.H., 1985, Chemical evolution and mineral deposition in boiling hydrothermal systems, *Economic Geology*, Vol: 80, p: 126-147.
- Hezarkhani.A., 2009, Hydrothermal fluid geochemistry at the Chah-Firuzeh porphyry copper deposit, Iran: Evidence from fluid inclusions, *Geochemical Exploration*, Vol: 101, p: 254-264.
- Hassanzadeh.J., 1993, Metallogenic and tectono-magmatic events in the SE sector of the Cenozoic active continental margin of Iran (Shahr-Babak area, Kerman province).
- 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*, Vol: 96, p: 1743-1774.
- Wilkinson.J.J., 2001, Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos*, Vol: 55, p: 229-272.
- Zolensky.M.E., and Bodnar.R.J., 1982, Identification of fluid inclusion daughter minerals using Gandolfi X-ray techniques, *American Mineralogist*, Vol: 67, p: 137-141.
- Taghipour.N., Aftabi.A., Mathur.R., 2008, Geology and Re-Os Geochronology of Mineralization of the Miduk Porphyry Copper Deposit, *The Society of Resource Geology*, Vol: 2, p: 143-160.
- Unpublished Ph.D. thesis, University of California, Los Angeles, 204 p.
- Roedder.E., 1984, Fluid inclusions, *Reviews in Mineralogy*, Vol: 12, 646 p.

Taylor.J.H.R., 1997, Oxygen and hydrogen isotope relationships in hydrothermal mineral deposits. In: Barnes, L .H. (Ed.), Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd ed. Wiley, New York, p: 229–302.