

## مطالعات سیستماتیک ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد و سیالات درگیر گروه‌های رگه‌چهای مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه، بر اساس داده‌های جدید

محمد معانی جو<sup>۱\*</sup>، محمد مستقیمی<sup>۱</sup>، مهدی عبداله‌هی‌ریسه<sup>۲</sup>، علی اصغر سپاهی‌گرو<sup>۱</sup>

(۱) گروه زمین‌شناسی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان

(۲) مجتمع معدنی مس سرچشمه، شرکت ملی صنایع مس ایران

دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۳/۱۶، پذیرش: ۱۳۹۱/۵/۲۵

### چکیده

کانسارسازی در سرچشمه با نفوذ یک استوک گرانودیوریتی به سن میوسن میانی در سنگهای آتشفشانی- رسوبی دارای راندگی و گسل‌خوردگی مربوط به اوایل ترشیری حادث شده است. این پژوهش بر اساس نمونه‌های حاصل از گمانه‌های تازه حفر شده و نمونه‌های سطحی برداشت شده از پله‌های ۲۵۰۰ متری صورت گرفته است. براساس مطالعات صورت گرفته بر روی کانی‌شناسی و روابط قطع‌شدگی بین رگه‌چ‌ها، دست کم چهار گروه رگه‌چ برای چهار دوره کانه‌زایی تشخیص داده شده است. آزمایش‌های ایزوتوپی گوگرد در کانسار مس پورفیری سرچشمه بر روی پیریت، کالکوپیریت، مولیدنیت و انیدریت‌های موجود در چهار گروه رگه‌چ موجود در دگرسانیه‌های مختلف صورت گرفت. مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در سولفیدها و سولفات‌های موجود در رگه‌چ‌ها به ترتیب در گستره وسیع  $-۲/۲$  تا  $۱/۲۷$  در هزار برای سولفیدها و  $۱۰/۲$  تا  $۱۴/۵$  در هزار برای سولفات‌ها قرار می‌گیرد. میانگین  $\delta^{34}\text{S}$  در سولفیدهای کانسار مورد مطالعه حدود یک در هزار بوده و برای سولفات‌ها در حدود ۱۳ در هزار می‌باشد. با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان نتیجه گرفت که سولفیدها به وسیله سیالی تشکیل شده‌اند که این سیال گوگرد خود را از یک منبع ماگمایی حاصل کرده است. همچنین سیالات درگیر موجود در گروه‌های رگه‌چ‌های مختلف مورد مطالعه قرار گرفته است، که این نتایج بیانگر دمای بالا، شوری زیاد و حدوث پدیده جوشش در سیالات کانی‌ساز کانسار سرچشمه می‌باشند. از طرفی این مطالعات مؤید حضور سه نوع سیال مشتمل برسیالات ماگمایی، جوی و اختلاط سیالات ماگمایی و جوی، در فرآیندهای دگرسانی و کانه‌زایی می‌باشند.

واژه‌های کلیدی: کانسار مس پورفیری سرچشمه، گروه‌های رگه‌چ‌های، سیالات درگیر، ایزوتوپ پایدار گوگرد.

### مقدمه

بهره‌برداری گردید [۱]. همچنین عیار مولیدن در این کانسار  $۰/۰۳$  درصد [۲] و عیار طلا  $۲۷۰$  پی‌پی‌ام [۳] می‌باشد. پژوهش حاضر بر اساس نمونه‌های به‌دست آمده از حفاری‌های جدید می‌باشد، که بیشتر در قسمت مرکزی معدن حفر شده است و همچنین نمونه‌های برداشت شده از پله‌های  $۲۵۰۰$  متری یا پله‌هایی که هم اکنون در معدن در حال بهره‌برداری است. در بخش اول این پژوهش هدف، بررسی دقیق پتروگرافی سنگهای موجود در محدوده معدن می‌باشد و در بخش دوم به مطالعه و بررسی سیالات درگیر و ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد موجود در گروه‌های رگه‌چ‌های مختلف می‌پردازیم. سعی ما بر این بوده که به اهداف زیر دست یابیم: با مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد به بررسی منشأ گوگرد در سیالات کانه‌ساز کانسار مورد مطالعه بپردازیم و بررسی نماییم

معدن مس پورفیری سرچشمه در استان کرمان و در  $۶۵$  کیلومتری جنوب غربی رفسنجان واقع شده است. طول و عرض جغرافیایی این معدن به ترتیب  $۵۳^{\circ}$   $۵۵^{\circ}$  شرقی و  $۵۸^{\circ}$   $۲۹^{\circ}$  شمالی می‌باشد. ارتفاع منطقه از سطح دریا به‌طور متوسط به  $۲۵۰۰$  متر می‌رسد. اکتشافات تفصیلی کانسار مس پورفیری سرچشمه در سال  $۱۹۶۸$  تا سال  $۱۹۷۰$  توسط شرکت انگلیسی سلکشن تراست آغاز و سپس توسط شرکت امریکایی آناکوندا تا سال  $۱۹۷۳$  دنبال شد. براساس  $۶۶$  هزار متر حفاری الماسی و  $۱۷,۲۰۰$  متر تونل، معدن مس سرچشمه به وسعت  $۲/۷$  کیلومتر مربع، به شکل یک بیضی و با ذخیره کل  $۱۲۰۰$  میلیون تن کانسنگ مس با عیار  $۰/۶۹$  درصد به‌عنوان بزرگترین معدن مس ایران شناخته و آماده

\*مسئول مکاتبات: maanijou@yahoo.com

سولفیدی و سولفاتی مورد نظر در کپسول‌های قلع با مقادیر مساوی اکسید تنگستن ( $WO_3$ ) توزین شدند. استانداردهای کالیبره داخلی برای هر دسته از نمونه‌ها جهت نرمالیزه کردن داده‌ها تهیه می‌شوند. کپسول آماده شده در داخل کاروسل آنالیزور عنصری واریو ای ال قرار داده می‌شوند. یک نمونه به‌طرف بخش بالایی یک ستون از مواد شیمیایی جامد در  $1000$  درجه سانتی‌گراد رها می‌شود و با افزودن اکسیژن در دمای  $1800$  درجه سانتی‌گراد به‌طور ناگهانی سوزانده می‌شود. هلیوم کاملاً خالص برای حمل گازهای منتج در ستونهای مواد شیمیایی اکسیدکننده/احیا کننده به‌کار می‌رود تا گازهای  $N_2$ ،  $CO_2$ ،  $H_2O$  و  $SO_2$  به‌دست آید. آب با استفاده از پرکلرات منیزیم از سیستم پاک می‌شود. گاز  $SO_2$  توسط واریو ای ال ۳ جدا می‌شود و سپس توسط هلیوم به طرف طیف‌سنج جرمی نسبت ایزوتوپی ترموفینیگان دلتاپلاس حمل می‌شود تا اندازه‌گیری گردد و دقت اندازه‌گیری  $\pm 0.2\%$  در هزار است. نمونه‌های ارسال شده شامل ۶ نمونه پیریت، ۲ نمونه کالکوپیریت، ۱ نمونه مولیبدنیت و ۵ نمونه انیدریت بوده است. همچنین پس از تهیه مقاطع دوبر صیقل، گروههای رگه‌های مختلف را مورد مطالعه سیالات درگیر قرار داده‌ایم، تا به این طریق بتوانیم ویژگیهای سیالهای موجود در این گروههای رگه‌های را معرفی کرده و در مورد سیالهای به‌وجود آورنده این رگه‌چه‌ها اطلاعات بیشتری کسب کنیم (در بعضی از نمونه‌ها هم سیالات درگیر و هم ایزوتوپ‌های پایدار آنها مورد بررسی قرار گرفته است). مطالعات میکروترموتری در آزمایشگاه سیالات درگیر شرکت مطالعات و پژوهش آذین زمین پویا با استفاده از یک دستگاه میکروسکپ زایس و به‌وسیله دستگاه Linkam مدل THM600 با کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP که بر روی میکروسکپ زایس نصب شده انجام پذیرفت. دقت و صحت استاندارد در محدوده دمایی  $196$  تا  $+480$  درجه سانتی‌گراد،  $\pm 0.1\%$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

#### بحث

زمین‌شناسی منطقه‌ای کانسار مس پورفیری سرچشمه بر روی نوار ولکانیکی ایران مرکزی یعنی کمربند آتشفشانی ارومیه- دختر قرار دارد که این کمربند مهمترین کمربند فلززایی ایران است و بر کمربند کوه‌زایی آلپ- هیمالیا منطبق است. از آن

که آیا محدوده ایزوتوپی گوگرد در کانیهیای سولفیدی و سولفاتی کانسار مس پورفیری سرچشمه مشابه دیگر کانسارهای پورفیری در نقاط مختلف جهان می‌باشد؟ همچنین در بخش مطالعه سیالات درگیر گستره دمای همگن شدن، شوری و حضور یا عدم حضور پدیده جوشش در کانسار مس پورفیری سرچشمه مورد بررسی قرار گرفته، که هدف از این بررسی، معرفی سیالاتی است که باعث دگرسانی و کانه‌زایی در کانسار مورد مطالعه شده است.

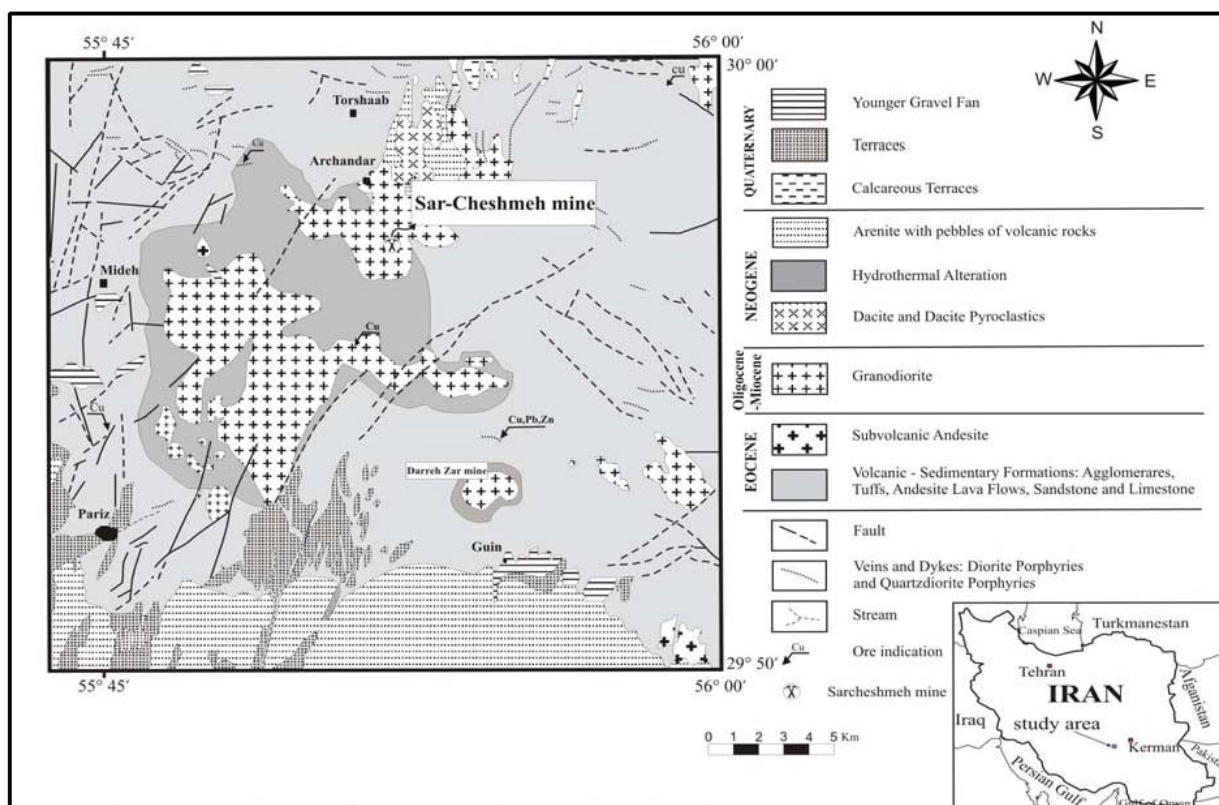
#### روش مطالعه و آماده‌سازی نمونه‌ها

کانسار مس پورفیری سرچشمه چنان که عنوان شد دارای تنوع رگه‌های زیادی از کانیهیای فلزی و سیلیکاتی مختلف است. رخداد هم‌زمان کانیهیای سولفیدی- سولفاتی و سولفیدی- سولفیدی باعث شده که بررسی جامعتری بر روی ایزوتوپ‌های گوگرد موجود در رگه‌چه‌های مذکور صورت پذیرد. حال با توجه به مطالعات صورت گرفته، نحوه نمونه‌برداری بدین صورت تعیین شد که، ابتدا با مشاهده مغزه‌های حفاری و مطالعه مقاطع نازک و صیقلی از قسمتهای مختلف معدن مس پورفیری سرچشمه، علاوه بر مطالعات پتروگرافی، چهار گروه رگه‌چه معرفی شده توسط هزارخانی [۴] را شناسایی و به تعیین ویژگیهای کانی‌شناسی، سنگ‌شناختی و همچنین دگرسانی آنها پرداختیم. که در این روش مطالعه به‌دلیل اهمیت و کانه‌زایی در گروههای رگه‌چه‌های مختلف و همچنین با توجه به این‌که این رگه‌چه‌ها برحسب ویژگیهای کانه‌زایی و حضور کانیهیای سولفیدی در دگرسانیهای مختلف قرار دارند، به بررسی کانیهیای سولفیدی موجود در رگه‌چه‌های مختلف پرداختیم. سپس برای جدایش کانیهیای سولفیدی و سولفاتی ابتدا نمونه‌ها را در هاون خرد کرده و با الک‌کردن، قطعات درشت را جدا و با روش دست چینی با پنس در زیر میکروسکپ دوچشمی، نمونه‌های خالص را جدا کردیم. در این روش جداسازی به‌علت همراهی کانیهیای سولفیدی و کوارتز در اکثر رگه‌چه‌ها، جدا کردن کانیهیای سولفیدی با مشکلات زیادی همراه بود و نیاز به خرد کردن نمونه‌ها در اندازه‌های مختلف داشت، که در نهایت کانیهیای جدا شده بیش از ۹۸ درصد خلوص داشتند. بعد از جداسازی، نمونه‌ها را با هاون آگاتی پودر کرده و در حدود یک گرم از آنها را برای آنالیز به دانشگاه اوتاوا، آزمایشگاه ایزوتوپی جی.جی. هیچ در کشور کانادا ارسال کردیم، در این آزمایشگاه کانیهیای

## پتروگرافی کانسار

براساس تحقیقات صورت گرفته در معدن مس پورفیری سرچشمه، هفت نوع سنگ وجود دارد که شامل استوک پورفیری سرچشمه و پورفیری دانه‌ریز تأخیری، ولکانیک‌های آندزیتی و دایک‌های هورنبلند پورفیری پیشین، هورنبلند پورفیری پسین، فلدسپار پورفیری و بیوتیت پورفیری می‌باشد [۱]. آندزیت‌های ائوسن که سنگ دیواره معدن را تشکیل می‌دهند، قسمت عمده سنگهای آتشفشانی منطقه را شامل می‌شوند و با نفوذ استوک پورفیری سرچشمه با سن میوسن میانی [۷] در این آندزیت‌ها، حدود نیمی از کانسارسازی مس به‌وقوع پیوسته است و در واقع سنگ میزبان معدن به حساب می‌آیند. این تیپ سنگ بیشتر از آندزیت و ریولیت تشکیل شده است، که بافت پورفیریک با خمیره میکروولیتیک در آندزیت‌ها و پورفیریک با خمیره میکروگرانولار در ریولیت‌ها به وضوح قابل مشاهده است. کانی اصلی در آندزیت‌ها صرفاً پلاژیوکلاز است، که اندازه این فنوکریست‌ها بین ۰/۵ تا ۲ میلی‌متر بوده و بیش از ۶۵ درصد حجمی سنگ را تشکیل می‌دهند، در صورتی که در ریولیت‌ها و سنگهای مشابه آن علاوه بر پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، بیوتیت، آمفیبول و کوارتز نیز حضور دارند، لذا اندازه پلاژیوکلاز در این سنگها به‌طور میانگین ۳ میلی‌متر بوده و به لحاظ حجمی ۲۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند، همچنین آلکالی فلدسپار و کوارتز به‌ترتیب دارای اندازه‌های حداکثر ۱ میلی‌متر و ۰/۵ تا ۱ میلی‌متر بوده و به‌ترتیب بیش از ۳۰ درصد و ۱۵ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص می‌دهند و زمینه سنگ را شیشه شامل می‌شود. کانیهای فرعی موجود در آنها عبارتند از: کلریت، مسکویت، کلسیت، سرسیت و کانیهای اپاک. خمیره در آندزیت‌ها از میکروولیت پلاژیوکلاز و مقدار کمی شیشه تشکیل یافته و ریولیت‌ها و جنسهای دیگر، پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار میکروگرانولار به‌صورت خمیره در زمینه سنگ دیده می‌شوند. کانیهای ثانویه این تیپ از سنگها شامل رس، کلریت، سرسیت، کلسیت و اپیدوت است، که حضور این کانیهای را می‌توان با تأثیر دگرسانی پروپیلیتیک و آرژیلیک به‌خوبی توجیه کرد (شکل ۲ الف، ب).

جایی که کمربند ارومیه- دختر نتیجه فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی است [۵]، همانند سایر کانسارهای ماگمایی حاشیه قاره، مانند آند و کردیلرا میزبان کانسارهای مس- مولیبدن پورفیری همراه با دیگر کانسارهای وابسته به این خاستگاه ژئودینامیکی می‌باشد. این فرورانش و برخورد قاره‌ای از کرتاسه تا ترشیری ادامه داشته و از پالئوسن تا الیگوسن باعث افزایش فعالیت آذرین پلوتونیک و آتشفشانی کالک‌آلکان و آلکان در این کمربند شده است [۶، ۷]. همچنین در طول زمان میوسن یک استوک کالک‌آلکان پورفیری در منطقه سرچشمه نفوذ کرده است [۸]. فاز اصلی نفوذی و مولد کانسارسازی در منطقه سرچشمه همان استوک کالک‌آلکان و با ترکیب گرانودیوریت و به سن میوسن میانی می‌باشد [۷]، که این استوک عامل اصلی کانه‌زایی در سرچشمه تلقی می‌شود. زمین‌شناسی منطقه شامل مجموعه‌ای آتشفشانی- رسوبی به سن ائوسن است، که یکی از جالبترین ساختارهای زمین‌شناسی در ناحیه کرمان است. استوک سرچشمه پورفیری در این سنگهای آتشفشانی- رسوبی نفوذ کرده و آنها را تحت تأثیر دگرسانی قرار داده است. لذا قدیمترین واحدهای سنگی محدوده معدن سنگهای آتشفشانی ائوسن هستند [۹، ۱۰] و عمدتاً ترکیب آندزیتی دارند، که همراهی آنها با رسوبات این دوره نشان‌دهنده یک محیط آتشفشانی- رسوبی زیردریایی در آن زمان می‌باشد [۶، ۷، ۹]. در نتیجه قسمت اعظم این مجموعه از سنگهای مختلف با منشأ آتشفشانی تشکیل شده است و سنگهای قدیمی‌تر در منطقه مورد مطالعه که پایه این تشکیلات را به وجود آورده‌اند، رخنمون ندارند و به همین دلیل بیشتر سازندهای مورد بررسی مربوط به ترشیری و بعد از آن می‌باشند. سنگهای نفوذی و نیمه عمیق و همچنین دایک‌ها، این مجموعه را در بسیاری از نقاط قطع کرده‌اند و به دلیل نبود فسیل در منطقه مورد مطالعه، سن مجموعه از روی ارتباط سنگ- شناسی و مقایسه با سازندهای مشابه در نواحی دیگر تخمین زده شده است. با این روش سن مجموعه را ائوسن بالایی در نظر گرفته‌اند و همچنین نهشته‌های رسوبی دوران سوم و چهارم در منطقه گسترش قابل ملاحظه‌ای دارند (شکل ۱).



شکل ۱. نقشه زمین‌شناسی منطقه سرچشمه [۳۲].

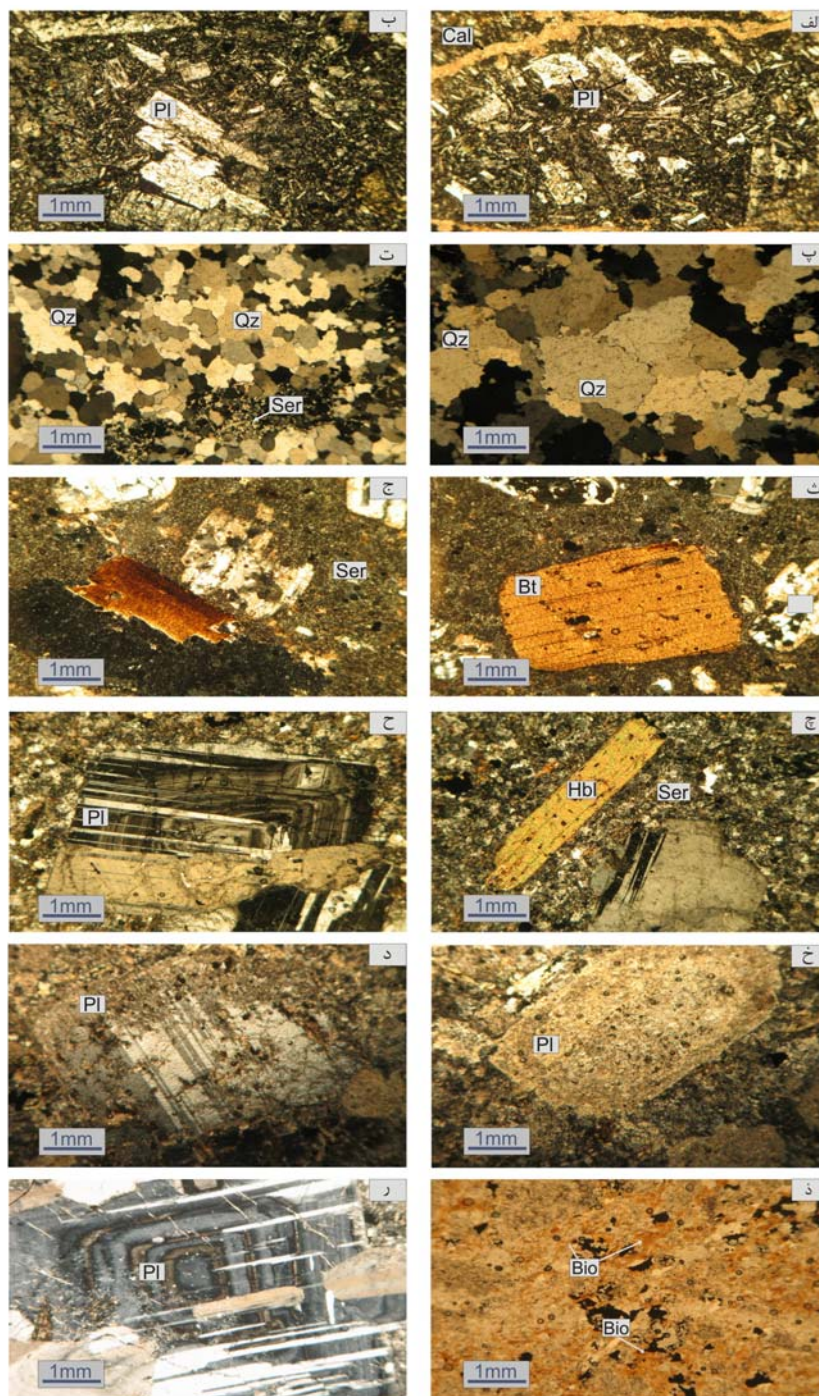
هورنبلند نیز به مقدار خیلی کم در سنگ وجود دارند و دارای اندازه‌های ۰/۵ تا ۱/۱ میلی‌متر می‌باشند. کانیهای فرعی موجود در این دو نوع سنگ شامل کلریت، مسکویت، کلسیت، سرسیت و کانیهای اپاک است. خمیره این سنگها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار میکروگرانولار است. کانیهای ثانویه شامل رس، کلریت، سرسیت، کلسیت و مسکویت می‌باشد. عمده دگرسانی مشاهده شده در این سنگ‌ها، دگرسانی فیلیک است (شکل ۲ پ، ت). در مراحل میانی دگرسانی و کانه‌زایی، توده نیمه مینرالیزه پورفیری دانه‌ریز تأخیری در قسمت مرکزی و شرقی معدن و در سنگهای قدیمی‌تر نفوذ کرده است و به‌ویژه در قسمت شمال شرقی ناحیه معدن باعث کاهش عیار و حتی قطع شدن کانه‌زایی مس-مولیبدن گردیده است. این استوک به عنوان استوک دوم در سرچشمه شناخته می‌شود و اندازه آن از استوک پورفیری سرچشمه کوچکتر است و عمدتاً ترکیب سنگ‌شناسی آن ریوداسیت می‌باشد. بافت آن پورفیریک با خمیره میکروگرانولار و به مقدار خیلی کم کاتاکلاستی است. کانیهای اصلی آن عمدتاً شامل پلاژیوکلاز و کوارتز و آلکالی فلدسپار بوده و بیوتیت و آمفیبول به مقدار کم در آن دیده

استوک پورفیری سرچشمه دارای ترکیب سنگ‌شناسی، گرانودیوریت تا تونالیت است. این سنگها غالباً دارای بافت پورفیریک با خمیره میکروگرانولار هستند، به جز گرانودیوریت که دارای بافت کاتاکلاستی است. کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده گرانودیوریت‌ها عبارتند از: پلاژیوکلاز، آلکالی فلدسپار، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت. پلاژیوکلاز کانی اصلی در گرانودیوریت‌ها بوده و حدود ۴۰ تا ۵۰ درصد حجمی سنگ را به خود اختصاص می‌دهد و اندازه آنها بین ۰/۵ تا ۵ میلی‌متر است. همچنین آلکالی فلدسپارها ۱۰ تا ۱۵ درصد حجمی سنگ را تشکیل داده و متوسط اندازه آنها ۰/۱ تا ۱۰ میلی‌متر می‌باشد، در صورتی که کانیهای کوارتز به لحاظ حجمی ۲۳ تا ۳۰ درصد حجمی نمونه‌ها را به خود اختصاص داده و اندازه میانگین آنها به ۲ میلی‌متر می‌رسد. کانیهای اصلی تشکیل‌دهنده تونالیت‌ها عبارتند از: پلاژیوکلاز، کوارتز، هورنبلند و بیوتیت. پلاژیوکلاز حدود ۶۵ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص داده و اندازه بلورهای آن حدود ۱ تا ۲ میلی‌متر است. همچنین بلورهای کوارتز به لحاظ حجمی ۲۵ تا ۳۰ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهد و از نظر اندازه بلوری، اندازه‌های حدود ۰/۲ تا ۱ میلی‌متر دارند. بیوتیت و

می‌شود. پلاژیوکلاز حدود ۳۵ تا ۴۰ درصد حجم سنگ را تشکیل داده و اندازه بلورهای آن حدود ۳ میلی‌متر است. کوارتز و آلکالی فلدسپار نیز به ترتیب حدود ۲۵ تا ۳۰ درصد و ۲۰ تا ۲۵ درصد حجم سنگ را به خود اختصاص می‌دهند و اندازه بلورهای آنها نیز به ترتیب ۱ تا ۲ میلی‌متر و ۱ تا ۳ میلی‌متر است. بیوتیت نیز با فراوانی کمتر از ۵ درصد و اندازه حدود ۱ میلی‌متر در متن سنگ قابل مشاهده است. کانیهای فرعی آن شامل کلریت، کلسیت و کانیهای اپاک می‌باشد. خمیره آن شامل پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار می‌باشد. میکروگرانولار است. کانیهای ثانویه عمدتاً رس، سرسیت و کلریت می‌باشد. حضور مقدار زیادی بیوتیت ثانویه در این سنگ علاوه بر این‌که به سنگ رنگی قهوه‌ای داده باعث تشکیل هاله‌ای بیوتیتی بین دگرسانی پتاسیک و فیلیک شده است. عمده دگرسانی مشاهده شده در این سنگها دگرسانی فیلیک یا سرسیتی می‌باشد. حضور میانبراهایی از استوک پورفیری سرچشمه، آندزیت، رگه‌های کوارتز با کانی‌سازی کم، همچنین شکستگیها و رگه‌های خیلی کم و از طرفی فراوان بودن فنوکریست‌های شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار هورنبلند از ویژگیهای این استوک می‌باشند (شکل ۲ ث، ج). با نفوذ استوک پورفیری سرچشمه دایک‌هایی هم‌زمان با کانه‌زایی و بعد از آن، با یک روند شمال-شمال‌غربی و جنوب - جنوب‌شرقی در سنگهای قدیمی‌تر منطقه از جمله سنگهای آندزیتی، استوک پورفیری سرچشمه و پورفیری دانه‌ریز تأخیری نفوذ کرده و آنها را قطع کرده‌اند و در نتیجه این رخداد شکستگی، جابه‌جایی و قطع‌شدگی کانه‌زایی در قسمت‌های مختلفی از استوک حادث شده است [۶]. از میان دایک‌های مذکور دایک هورنبلند پورفیری پیشین که نسبتاً مینرالیزه است، به‌طور خیلی ضعیف دارای کانه‌زایی بوده و بقیه دایک‌ها غیر مینرالیزه هستند و دارای کانه‌زایی نمی‌باشند، لذا به‌طور کلی می‌توان گفت که دایک‌های موجود در این منطقه، فاقد کانه‌زایی‌اند. عمده سنگهای موجود در این دایک هم در دایک هورنبلند پورفیری پیشین و هم پسین، ریوداسیت و آندزیت می‌باشد. بافت غالب در آنها پورفیریک با خمیره میکروولیتیک تا میکروگرانولار بوده و به مقدار کم شیشه‌ای است. کانیهای اصلی در آندزیت‌ها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، بیوتیت و آمفیبول است، به‌طوری‌که پلاژیوکلاز و کوارتز به‌ترتیب ۶۵ تا ۷۰ درصد و ۵ تا ۱۰ درصد و کانیهای تیره نیز

(شامل هورنبلند و ...) حدود ۱۵ درصد حجم سنگ را به‌خود اختصاص می‌دهند. کانیهای اصلی موجود در ریوداسیت‌ها نیز شامل پلاژیوکلاز، کوارتز، آلکالی فلدسپار، بیوتیت و آمفیبول است. به‌طوری‌که پلاژیوکلاز حدود ۲۰ تا ۲۵ درصد با اندازه بلوری ۲ تا ۳ میلی‌متر، کوارتز ۲۰ تا ۲۵ درصد با اندازه بلوری حدود ۱ میلی‌متر و آلکالی فلدسپار ۴۰ تا ۴۵ درصد حجم سنگ را با اندازه بلوری ۲ تا ۳ میلی‌متر تشکیل می‌دهد. کانیهای فرعی موجود در این تیپ از سنگها شامل کلریت، کلسیت، مسکویت و سرسیت است. خمیره آنها شامل پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار است. کانیهای ثانویه موجود در آنها عبارت است از: کلریت، سرسیت، کلسیت، مسکویت و اپیدوت. عمده دگرسانیهای مشاهده شده در این دایک‌ها، دگرسانی فیلیک بوده و به‌مقدار خیلی کم دگرسانی پتاسیک قابل مشاهده است (شکل ۲ چ، ح). عمده سنگهای تشکیل‌دهنده دایک بیوتیت پورفیری صرفاً آندزیت بوده و در غالب موارد دارای بافت پورفیریک با خمیره میکروولیتیک تا میکروگرانولار می‌باشند. کانیهای اصلی آنها شامل پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول می‌باشد، به‌طوری‌که پلاژیوکلاز بیش از ۶۵ درصد حجم سنگ را به‌خود اختصاص می‌دهد و اندازه بلورهای آن ۲ تا ۵ میلی‌متر است. کانیهای فرعی آن عمدتاً شامل آپاتیت و کلسیت است. این سنگها دارای خمیره پلاژیوکلاز، کوارتز و شیشه‌اند. کانیهای ثانویه موجود در آنها شامل رس، کلریت، سرسیت، کلسیت و کانیهای اپاک می‌باشد. عمده دگرسانی قابل مشاهده در این دایک‌ها دگرسانی فیلیک بوده و در مواردی در قسمت شمالی معدن دگرسانی آرژولیک نیز در آنها دیده می‌شود (شکل ۲ خ، د). همچنین عمده سنگهای موجود در دایک فلدسپار پورفیری از جنس آندزیت می‌باشند. بافت غالب موجود در آنها پورفیریک با خمیره میکروولیتیک تا میکروگرانولار بوده و کانیهای اصلی موجود در آنها شامل پلاژیوکلاز، بیوتیت و آمفیبول است. لذا پلاژیوکلاز بیش از ۶۵ درصد حجم سنگ را به‌خود اختصاص داده و اندازه بلورهای آن ۳ تا ۵ میلی‌متر می‌باشد. عمده کانیهای فرعی آنها کانیهای اپاک بوده و خمیره آنها از پلاژیوکلاز، کوارتز و آلکالی فلدسپار تشکیل یافته است. همچنین کانیهای ثانویه آنها شامل رس، کلریت، سرسیت، کلسیت، مسکویت و اپیدوت می‌باشد (شکل ۲ ذ، ر).





شکل ۲. تصاویر مربوط به گروه‌های سنگی مختلف در کانسار مس پورفیری سرچشمه با تأکید بر گروه‌های سنگی موجود در پله‌های ۲۶۰۰ متری. الف و ب، آندزیت‌های موجود در منطقه که به‌عنوان سنگ میزبان شناخته می‌شوند با بافت پورفیریک و خمیره میکرولیتیک (مقطع Sar 126) - پ و ت، استوک پورفیری سرچشمه با ترکیب سنگ‌شناسی، گرانودیوریت تا تونالیت، با بافت پورفیریک و خمیره میکروگرانولار (مقطع Sar 101) - ث و ج، دایک بیوتیت پورفیری با ترکیب سنگ‌شناسی آندزیت و بافت پورفیریک با یک خمیره میکرولیتیک تا میکروگرانولار (مقطع Sar 120) - چ و دایک‌های هورنبلند پورفیری با ترکیب سنگ‌شناسی ریوداسیت و آندزیت، با بافت غالب پورفیریک و خمیره‌ای میکرولیتیک تا میکروگرانولار و به مقدار کم شیشه‌ای (مقطع Sar 106) - خ و د، دایک فلدسپار پورفیری با ترکیب سنگ‌شناسی به جنس آندزیت، با بافت غالب پورفیریک و خمیره‌ای میکرولیتیک تا میکروگرانولار (مقطع Sar 150) - ذ و ر: استوک لیت‌فاین پورفیری با ترکیب سنگ‌شناسی ریوداسیت، بافت آن پورفیریک و دارای خمیره میکروگرانولار و به مقدار خیلی کم کاتاکلاستی می‌باشد (مقطع Sar 104). Pl: پلاژیوکلاز، Ca: کلسیت، Qz: کوارتز، Ser: سرسیت، Bt: بیوتیت، Hbl: هورنبلند، Bio: بیوتیت ثانویه.

خوب و نبود فلدسپار پتاسیم از مشخصه‌های بارز این گروه از رگه‌چه‌هاست. مقدار مولیبدن در این رگه‌چه‌ها ناچیز است و از طرفی نسبت کالکوپیریت و پیریت در این رگه‌چه‌ها افزایش می‌یابد. عمدتاً در قسمت‌های بالایی استوک پورفیری سرچشمه قابل مشاهده‌اند (شکل ۳ ب).

ج) رگه‌چه‌های گروه سه، دارای ضخامتی متغیر بین ۹ تا ۴۲ میلی‌متر هستند و در زون دگرسانی فیلیک بیشترین فراوانی را داشته و عمدتاً در استوک پورفیری سرچشمه مشاهده می‌شوند و هزارخانی [۴] معتقد است که این رگه‌چه‌ها با رگه‌چه‌های گروه دو دارای یک منبع مشترک هستند و احتمالاً به واسطه باز شدن دوباره رگه‌چه‌های گروه دو تشکیل شده‌اند (شکل ۳ پ).

د) رگه‌چه‌های گروه چهار نیز، ضخامتی متغیر دارند و جوانترین رگه‌چه‌های تشکیل شده در استوک پورفیری سرچشمه می‌باشند. پیریت تنها کانی سولفیدی موجود در این گروه از رگه‌چه‌ها می‌باشد. همچنین رگه‌چه‌های مذکور اساساً در زون دگرسانی پروپیلیتیک حادث شده‌اند (شکل ۳ ت).

با توجه به مطالعات کانه‌نگاری و کانی‌شناسی انجام شده بر روی گروه‌های رگه‌چه‌ای موجود در دگرسانی‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه، توالی پاراژنزی این گروه‌های رگه‌چه‌ای در شکل (۴) ارائه شده است. در خصوص توالی پاراژنزی در گروه‌های رگه‌چه‌ای مختلف کانسار سرچشمه می‌توان عنوان کرد که رگه‌چه‌های گروه یک در کانسار مورد مطالعه عمدتاً در طی مرحله کانه‌زایی اولیه حادث شده‌اند، همچنین با توجه به شواهد کانی‌شناسی (از جمله حضور کانیهای معرف این دگرسانی)، در این مرحله، دگرسانی پتاسیک بر روی استوک پورفیری سرچشمه انجام گرفته است، در صورتی که رگه‌چه‌های گروه دو و سه عمدتاً در مرحله کانه‌زایی گذری و مرحله کانه‌زایی پسین ایجاد شده‌اند و در طی این مراحل دگرسانی فیلیک رخ داده و حتی در بعضی از قسمت‌ها بر روی دگرسانی پتاسیک نیز تأثیر گذاشته است. در نهایت رگه‌چه‌های گروه چهار در مرحله بعد از کانه‌زایی و در اثر تأثیر فرآیندهای بعدی بر روی کانسار به وجود آمده‌اند، در این مرحله مقدار زیادی کلسیت در رگه‌چه‌های گروه چهار ایجاد شده است.

مطالعات نشان می‌دهند که هیچ‌گونه شاهدهی مبنی بر دگرگونی مجاورتی در محل تماس دایک‌ها با سنگهای درون‌گیر وجود ندارند. بنابراین این فرضیه که در هنگام نفوذ دایک‌ها به سنگ میزبان، کل مجموعه از حرارت زیادی برخوردار بوده و مانع وقوع دگرگونی مجاورتی در محل کنتاکت شده است، قوت می‌گیرد. دایک‌ها به ترتیب کاهش سن عبارتند از [۷]:

۱) دایک هورنبلند پورفیری پیشین (۲) دایک هورنبلند پورفیری پسین (۳) دایک بیوتیت پورفیری (۴) دایک فلدسپار پورفیری.

#### معرفی و طبقه‌بندی رگه‌چه‌ها در کانسار

بر اساس مطالعات صورت گرفته بر روی کانی‌شناسی و روابط قطع‌شدگی بین رگه‌چه‌ها، حداقل چهار گروه رگه‌چه برای چهار دوره کانه‌زایی تشخیص داده شده است، که عبارتند از [۴]:

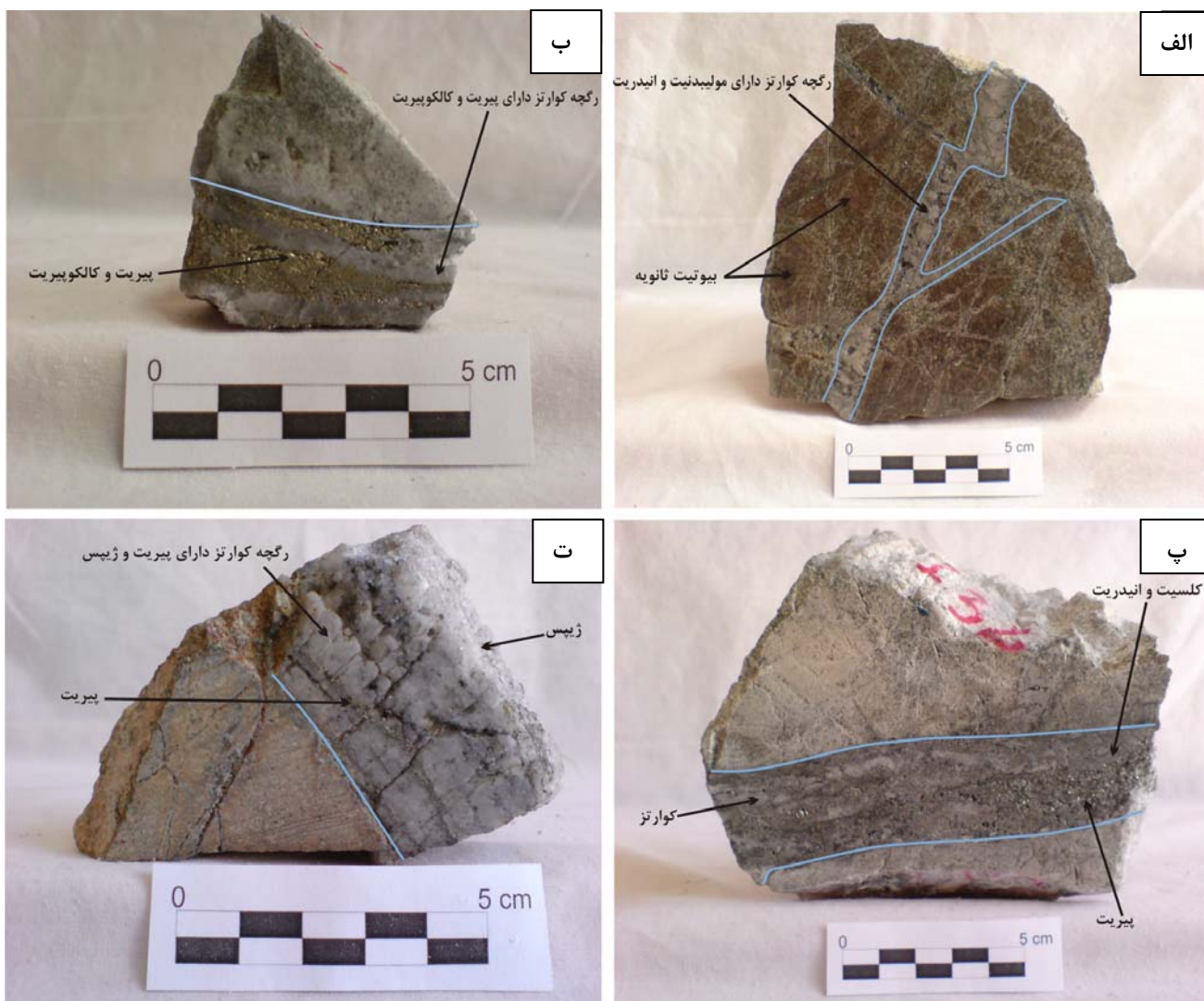
گروه (۱) کوارتز + مولیبدنیت + انیدریت ± فلدسپار پتاسیم با مقداری پیریت، کالکوپیریت و بورنیت  
گروه (۲) کوارتز + کالکوپیریت + پیریت ± مولیبدنیت  
گروه (۳) کوارتز + پیریت + کلسیت ± انیدریت ± کالکوپیریت ± ژپیس ± مولیبدنیت  
گروه (۴) کوارتز ± کلسیت ± ژپیس ± پیریت (شکل ۳).

این گروه‌های رگه‌چه‌ای در دگرسانی‌ها و گروه‌های سنگی مختلف قابل مشاهده‌اند، اما دارای فراوانی و توزیع متفاوتی می‌باشند. در زیر به توضیحی مختصر در مورد رگه‌چه‌های مذکور می‌پردازیم:

الف) رگه‌چه‌های گروه یک، دارای ضخامتی متغیر، بین ۰/۱ تا ۱۲ میلی‌متر می‌باشند. کوارتز بیش از ۷۰ تا ۹۵ درصد حجم رگه‌چه‌ها را تشکیل می‌دهد و این رگه‌چه‌ها، عمدتاً در طول شکستگی‌های اولیه استوک پورفیری سرچشمه و پورفیری دانه‌ریز تأخیری حضور داشته و توسط هاله‌های دگرسانی پتاسیک احاطه شده‌اند (شکل ۳ الف).

ب) رگه‌چه‌های گروه دو، ضخامتی متغیر بین ۹ تا ۵۰ میلی‌متر داشته و در همه زون‌های دگرسانی دیده می‌شوند، ولی به‌طور عمده در زون دگرسانی پتاسیک و فیلیک تمرکز دارند. لذا هاله‌های دگرسانی سرسیتی با گسترش یافتگی





شکل ۳. تصاویر مربوط به گروه‌های رگه‌چهای موجود در دگرسانیه‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه: الف) نمونه‌ای از رگه‌چهای گروه یک، که مقدار زیادی کوارتز و مولیبدنیت در حاشیه آنها و انیدریت و کانیهای سولفیدی در مرکز متمرکز شده‌اند. ب) نمونه‌ای از رگه‌چهای گروه دو، مقدار مولیبدنیت در این رگه‌چها ناچیز بوده و عمدتاً حاوی پیریت و کالکوپیریت می‌باشند، در این نوع رگه‌چها کوارتز تمایل به جهت یافتگی عمود بر دیواره‌ها از خود نشان می‌دهد (پ) نمونه‌ای از رگه‌چهای گروه سه، کوارتز در حاشیه‌ی رگه‌چها قرار داشته و بیشتر حجم این رگه‌چها توسط کانیهای سولفیدی، انیدریت و کلسیت پر شده است. ت) نمونه‌ای از رگه‌چهای گروه چهار: در این نوع از رگه‌چها مقدار کوارتز بسیار زیاد بوده و پیریت تنها کانی سولفیدی موجود در آنهاست.

**مطالعه سیالات درگیر**

بودن [۱۱] معتقد است که سیالات و احتمالاً اغلب فلزات مورد نیاز برای تشکیل کانسارهای پورفیری از یک توده نفوذی که غالباً در زیر کانسار حضور دارد، منشأ می‌گیرد. نقش سیالات جوی فرورو بیشتر در سردکردن و رقیق‌کردن محلولهای ماگمایی و نهشت مواد معدنی است. اطلاعات زیادی در مورد ویژگیهای سیالات درگیر و دمای همگن‌شدن این تیپ کانسارها ارائه شده است، به‌طوری‌که دمای همگن‌شدن

آنها عموماً بین ۲۰۰ تا ۷۰۰ درجه سانتی‌گراد و شوری آنها ۰ تا ۷۰ درصد وزنی معادل نمک طعام است [۱۲]. همچنین در این تیپ از کانسارها عمل جوشش در سیالات کانی‌ساز اتفاق افتاده است، در نتیجه با توجه به این که کانسارهای تیپ پورفیری دارای دمای همگن‌شدن بالا، شوری بسیار زیاد و رخداد عمل جوشش در سیالات کانی‌ساز خود می‌باشند، در این بخش به بررسی این عوامل در کانسار مورد مطالعه می‌پردازیم.





شکل ۴. توالی پاراژنزی مربوط به گروه‌های رگه‌چهای موجود در دگرسانیهایی مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه.

دگرسانیهایی مختلف قابل مشاهده‌اند، اما مقدار فاز مایع آنها در رگه‌چهای کوارتز گروه دو، که در دگرسانی فیلیک کانسار قابل مشاهده‌اند، بیش از رگه‌چهای دیگر است، از طرفی حبابهای بخار موجود در آنها به لحاظ اندازه متغیرند و به لحاظ حجمی ۱۵ تا ۴۰ درصد سیالات درگیر را شامل می‌شوند. این سیالات درگیر به مایع هموزن شده‌اند. میانگین دمای همگن‌شدن و درصد شوری در این نوع از سیالات درگیر به ترتیب ۲۷۶/۵ درجه سانتی‌گراد و ۵/۴ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. سیالات درگیر نوع (VL): سیالات درگیری که شامل فازهای بخار + مایع بوده و فاز بخار موجود در این سیالها بین ۶۰ تا ۷۵ درصد است و همگی به‌صورت اولیه تشکیل شده‌اند. این نوع از سیالات درگیر در تمامی گروه‌های رگه‌چهای دیده می‌شوند، اما عمدتاً در رگه‌چهای گروه یک، که از دگرسانی پتاسیک کانسار حاصل شده‌اند، فراوانی بیشتری دارند. این سیالات درگیر عمدتاً به گاز هموزن

در مطالعه مربوط به سیالات درگیر به‌علت اهمیت گروه‌های رگه‌چهای مختلف، به بررسی سیالات موجود در آنها پرداخته‌ایم. این سیالات به لحاظ اندازه متغیر هستند و اندازه‌ای بین ۵ تا ۲۸ میکرون دارند. سیالات درگیر موجود در رگه‌چهای مذکور از لحاظ شکل ظاهری به انواع ذیل قابل تقسیم‌بندی می‌باشند: (۱) سیالات درگیر دارای شکل نامنظم (۲) سیالات درگیر با شکل کریستال منفی (۳) سیالات درگیر دارای شکل منظم (۴) سیالات درگیر کشیده و باریک. در نتیجه بر اساس مقدار، طبیعت و نسبت‌های فازی در دمای اتاق عمدتاً سه نوع سیال در این رگه‌چها شناخته شده‌اند که عبارتند از: سیالات درگیر نوع (LV): سیالات درگیری که شامل فازهای مایع + بخار می‌باشند. بیشتر حجم این سیالها را مایع تشکیل می‌دهد، به‌طوری‌که درصد فاز مایع موجود در آنها بین ۶۰ تا ۸۵ درصد است و همگی به‌صورت اولیه تشکیل شده‌اند. این نوع از سیالات درگیر در گروه‌های رگه‌چهای و

انیدریت و هماتیت می باشند، که هماتیت با رنگ قرمز آن و انیدریت به وسیله شکل منشوری و همچنین شفاف بودن رنگ آن قابل شناسایی است. میانگین دمای همگن شدن و درصد شوری در این نوع از سیالات درگیر به ترتیب  $377/6$  درجه سانتی گراد و  $6/6$  درصد وزنی معادل نمک طعام است. این نوع از سیالات درگیر در رگه‌های گروه سه، که در دگرسانی فلیک کانسار مذکور فراوانی بیشتری دارند، بیش از بقیه رگه‌ها قابل مشاهده‌اند و به لحاظ دمای همگن شدن و شوری تفاوت چندانی ندارند.

#### میکروترمومتری

مطالعات میکروترمومتری شامل دو بخش گرم کردن و سرد کردن است. مرحله اول برای به دست آوردن دمای همگن شدن یا دمای کانه‌زایی است که در این مرحله سیال درگیر آن قدر حرارت داده می‌شود تا همه فازهای آن به یک فاز اصلی همگن شود که به آن دمای همگن شدن (Th) گفته می‌شود. در آزمایش انجماد، سیال درگیر سرد می‌شود تا فاز مایع آن به فاز جامد تبدیل شود. پس از سرد کردن، دوباره نمونه گرم می‌شود تا جایی که آخرین بلور یخ ذوب شود. دمایی که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، به دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Tm) معروف است که این عمل را برای غلبه بر مقاومت ذاتی محلول در مقابل انجماد انجام می‌دهند. با استفاده از دمای ذوب یخ می‌توان به میزان شوری سیال پی برد، لذا برای محاسبه شوری می‌توان از نمودارهای مختلف همانند نمودار رودر<sup>۱</sup> که دیاگرام دوتایی سیستم  $H_2O-NaCl$  است استفاده نمود [۱۳]. همچنین جداول مخصوص تنظیم شده در این زمینه که ارتباط بین کاهش نقطه انجماد و درصد نمک طعام را نشان می‌دهند نیز قابل استفاده است. لذا در نمونه‌های سیال مورد مطالعه درصد شوری با استفاده از جداول و فرمول‌های ارائه شده توسط بودنر و ویتیک<sup>۲</sup> [۱۴] محاسبه شده است، که این نمودارها و فرمول‌ها بر اساس دمای ذوب یخ و دمای ذوب هالیت تنظیم شده‌اند. در این مطالعه نیز، نمونه‌ها تا حدود  $500$  درجه سانتی گراد گرم شدند و عمدتاً سیالات طی گرم کردن به فاز مایع و در مواردی به فاز گاز همگن شدند (جدول ۱).

شده‌اند. میانگین دمای همگن شدن و درصد شوری در این نوع از سیالات درگیر به ترتیب  $370/5$  درجه سانتی گراد و  $8/03$  درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. سیالات درگیر نوع (LVHS): سیالات درگیری که شامل فاز مایع + بخار + هالیت هستند و یا شامل فاز مایع + بخار + کانیه‌های اپاک می‌باشند. در این نوع از سیالات درگیر، هالیت و کانیه‌های اپاک دارای نسبت‌های فازی ثابتی هستند و به‌عنوان کانیه‌های دختر شناخته می‌شوند و حبابهای بخار حدود  $20$  تا  $40$  درصد حجمی سیالات درگیر را به خود اختصاص می‌دهند. این نوع از سیالات درگیر به دو نوع زیر قابل تقسیم‌بندی هستند:

الف) سیالات درگیر نوع (LVH): این نوع از سیالات درگیر دارای فاز مایع + بخار + هالیت می‌باشند. حجم فاز مایع در این گونه سیالها حدود  $60$  تا  $80$  درصد بوده و بیشتر حجم سیال را به خود اختصاص می‌دهد. هالیت توسط اشکال مکعبی و نیمه مکعبی و ایزوتوپ نوری اش مشخص می‌شود. بر روی سیالات این گروه درجه همگن شدن و ذوب بلور نمک اندازه‌گیری شده است، که در طی حرارت دادن در دمای بالای  $280$  درجه سانتی گراد، هالیت مکعبی شکل شروع به ذوب شدن می‌کند و در بسیاری از نمونه‌ها در دمای  $330$  تا بیش از  $480$  درجه سانتی گراد اندازه آن کم کم کاهش یافته و ناپدید می‌شود (البته به علت آسیب رسیدن به میکروسکپ در دماهای بالا، این دما برای نمونه‌های با دمای ذوب هالیت بیش از  $480$  درجه سانتی گراد اندازه‌گیری نشده است). میانگین دمای همگن شدن در این نوع از سیالها  $364/0$  درجه سانتی گراد بوده و درصد شوری نیز حدود  $50/41$  درصد وزنی معادل نمک طعام است. این نوع سیالات درگیر در گروه‌های رگه‌های موجود در دگرسانی‌های مختلف قابل مشاهده‌اند، اما در سیالات درگیر موجود در گروه یک رگه‌ها فراوانی بیشتری داشته و همچنین میانگین دمای همگن شدن و شوری در رگه‌های مذکور بیش از بقیه رگه‌هاست.

ب) سیالات درگیر نوع (LVS): این نوع از سیالات درگیر شامل مایع + بخار + کانیه‌های اپاک می‌باشند، که حجم فاز مایع مشابه سیالات درگیر نوع LVH بوده و تنها به لحاظ فاز نوزاد یا کانیه‌های دختر موجود در آنها فرق دارند. از جمله کانیه‌های اپاک همراه این نوع از سیالات درگیر، کالکوپیریت است که این کانی به وسیله ویژگی‌های نوری اش به آسانی قابل شناسایی است. از دیگر کانیه‌های اپاک موجود در این سیالها،

1: Roedder

2: Bodnar and Vityk

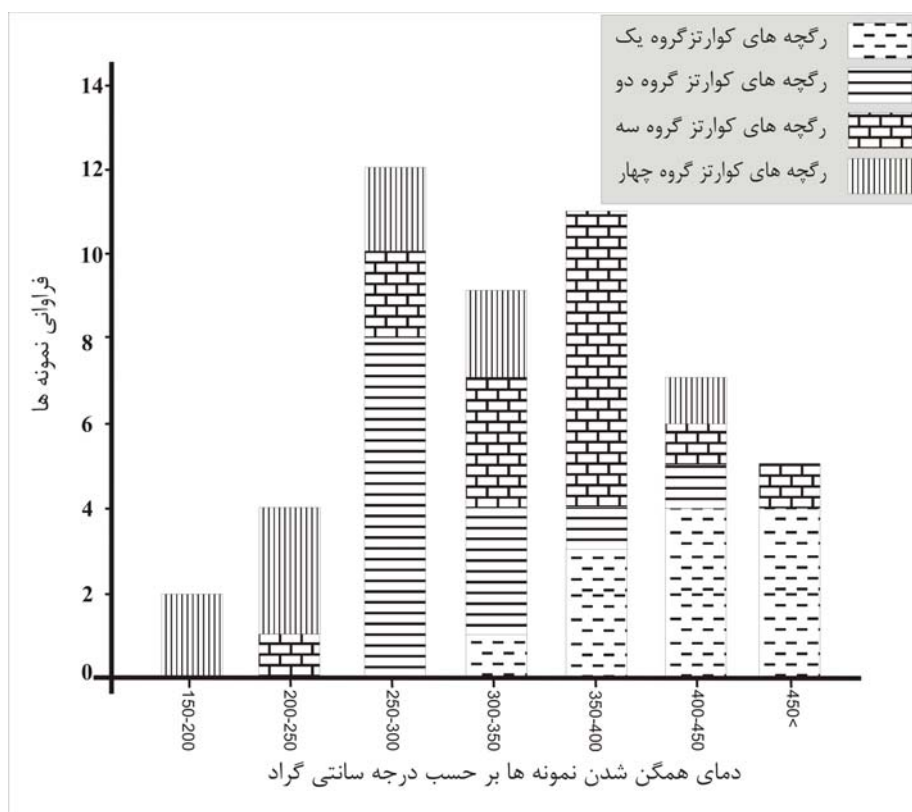
جدول ۱. نتایج مربوط به مطالعه سیالات درگیر گروه‌های رگه‌چهای موجود در دگرسانیه‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه.

شماره نمونه	گروه رگه‌های	زون دگرسانی	نوع میانبار	دمای یونکتیک (°C)	دمای ذوب یخ (°C)	دمای همگن شدن (V→L) (°C)	دمای همگن شدن (L→V) (°C)	دمای ذوب حالیت (°C)	شوری
Sar 100-1	یک	پتاسیک	L+V	-۳۷/۸	-۱۶	۳۵۵	-	-	۱۹/۴۵
Sar 100-2	یک	پتاسیک	L+V	-۳۷/۵	-۱۱/۸	۳۴۰	-	-	۱۵/۷۶
Sar 100-3	یک	پتاسیک	V+L	-۲۳/۶	-۵/۹	-	۴۶۲	-	۹/۰۸
Sar 100-4	یک	پتاسیک	V+L	-۲۱/۸	-۶/۳	-	۴۷۶	-	۹/۶۰
Sar 100-5	یک	پتاسیک	V+L	-۲۹/۳	-۴/۵	-	۴۸ <	-	۷/۱۷
Sar 100-6	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۵۱/۹	-۱۶/۲	۴۲۰	-	۴۵۸/۹	۵۴/۴
Sar 100-7	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۵۳/۲	-۱۳/۱	۳۸۷/۲	-	۴۲۲/۱	۴۹/۹
Sar 100-8	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۵۴/۳	-۱۰/۸	۴۲۵/۱	-	۴۴۱/۳	۵۲/۱
Sar 100-9	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۴۸/۹	-۱۱/۲	۴۵۸/۸	-	۴۸ <	۵۷/۱ <
Sar 100-10	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۴۱/۹	-۱۴/۸	۴۴۱/۸	-	۴۶۲/۳	۵۴/۷
Sar 100-11	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۴۷/۲	-۱۷/۸	۳۸۲/۳	-	۴۴ /۸	۵۱/۸
Sar 100-12	یک	پتاسیک	L+V+HI	-۴۶/۹	-۱۸/۴	۴۲ /۲	-	۴۵۱/۶	۵۳/۴
Sar 101-1	دو	فلیک	L+V+HI	-۲۰/۶	-۱/۸	۳۴۹/۱	-	۴۸ <	۵۷/۱ <
Sar 101-2	دو	فلیک	L+V	-۳۱/۱	-۲/۳	۲۶ /۳	-	-	۳/۸۷
Sar 101-3	دو	فلیک	L+V	-۳۱/۶	-۲/۵	۳۵۸/۷	-	-	۴/۱۸
Sar 101-4	دو	فلیک	L+V	-۲۰/۲	-۲/۳	۲۶۱/۳	-	-	۳/۸۷
Sar 101-5	دو	فلیک	L+V	-۲۰/۸	-۲/۱	۲۵ /۲	-	-	۳/۵۵
Sar 101-6	دو	فلیک	L+V	-۳۰/۸	-۱/۷	۲۵۳/۴	-	-	۲/۹۰
Sar 101-7	دو	فلیک	L+V	-۳۲/۰	-۳/۸	۳۶۵/۱	-	-	۶/۱۶
Sar 101-8	دو	فلیک	L+V+HI	-۳۱/۲	-۱/۵	۲۸۲/۴	-	۳۵۴/۲	۴۲/۴
Sar 101-14	دو	فلیک	L+V+HI	-۳۷/۰	-۲/۱	۴۰۹/۳	-	۴۴۲/۱	۵۲/۲
Sar 101-18	دو	فلیک	L+V+HI	-۳۰/۵	-۱/۸	۲۹۸/۹	-	۴۸ <	۵۷/۱ <
Sar 101-20	دو	فلیک	L+V+HI	-۳۰/۶	-۵/۲	۲۸۱/۵	-	۲۴۹/۱	۴۲/۴
Sar 101-21	دو	فلیک	L+V+HI	-۵۴/۳	-۱۰/۸	۳۲۱/۱	-	۴۵۸/۸	۵۴/۲
Sar 101-22	دو	فلیک	L+V+HI	-۳۵/۶	-۹/۸	۳۴۱/۳	-	۳۴۸/۹	۴۲/۲
Sar 116-1	سه	فلیک	L+V	-۲۲/۴	-۲/۹	۲۷۴/۴	-	-	۴/۸۰
Sar 116-2	سه	فلیک	L+V	-۲۳/۲	-۲/۸	۲۸۹/۹	-	-	۴/۶۵
Sar 116-3	سه	فلیک	L+V	-۳۰/۷	-۳/۹	۳۶۷/۳	-	-	۶/۳۰
Sar 116-4	سه	فلیک	L+V	-۲۱/۳	-۴/۰	۲۸۷/۵	-	-	۶/۴۵
Sar 116-6	سه	فلیک	L+V+So	-۳۰/۹	-۱/۸	۴۶۴/۴	-	-	۳/۰۶
Sar 116-8	سه	فلیک	L+V	-۳۵/۶	-۳/۴	۲۶۱/۶	-	-	۵/۵۶
Sar 116-9	سه	فلیک	L+V+So	-۳۵/۶	-۳/۴	۳۵۵/۱	-	-	۵/۵۶
Sar 116-10	سه	فلیک	V+L	-۳۵/۷	-۴/۶	-	۴۴ /۴	-	۷/۳۱
Sar 116-13	سه	فلیک	V+L	-۳۰/۴	-۱/۹	-	۳۶ /۶	-	۳/۲۲
Sar 116-17	سه	فلیک	L+V	-۳۲/۷	-۲/۲	۲۴۲/۹	-	-	۳/۷۱
Sar 116-23	سه	فلیک	L+V+So	-۳۵/۹	-۳/۵	۳۶۵/۱	-	-	۵/۷۱
Sar 116-24	سه	فلیک	L+V+So	-۳۶/۴	-۶/۴	۳۴۸/۲	-	-	۹/۷۳
Sar 116-25	سه	فلیک	L+V+So	-۲۲/۴	-۵/۷	۳۵۵/۱	-	-	۸/۸۱
Sar 116-26	سه	فلیک	L+V+HI	-۴۰/۹	-۱۳/۱	۳۲۱/۴	-	۳۵۵/۷	۴۲/۹
Sar 116-30	سه	فلیک	L+V+HI	-۵۱/۸	-۱۶/۱	۳۲۵/۳	-	۴۳۷/۶	۵ /۶
Sar 141-1	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۱/۵	-۱/۹	۳۴۹/۱	-	-	۳/۲۲
Sar 141-2	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۰/۵	-۱/۸	۳۲۲/۵	-	-	۳/۰۶
Sar 141-3	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۰/۷	-۲/۲	۲۴۳/۷	-	-	۴/۲۶
Sar 141-4	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۱/۵	-۱/۹	۳۴۹/۲	-	-	۳/۲۲
Sar 141-5	چهار	پروپیتیک	L+V	-۲۳/۵	-۲/۳	۲۷۳/۶	-	-	۵/۴۱
Sar 141-6	چهار	پروپیتیک	L+V	-۲۸/۹	-۲/۶	۲۸۵/۳	-	-	۵/۸۶
Sar 141-7	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۰/۲	-۲/۱	۱۸۸/۹	-	-	۳/۵۵
Sar 141-8	چهار	پروپیتیک	L+V	-۳۰/۳	-۱/۹	۱۹۸/۳	-	-	۳/۲۲
Sar 141-9	چهار	پروپیتیک	V+L	-۲۹/۸	-۸/۱	-	۴۰ /۱/۸	-	۱/۱۸۱
Sar 141-10	چهار	پروپیتیک	L+V+HI	-۳۹/۸	-۱۲/۸	۳۲۲/۷	-	۳۵۲/۴	۴۲/۶

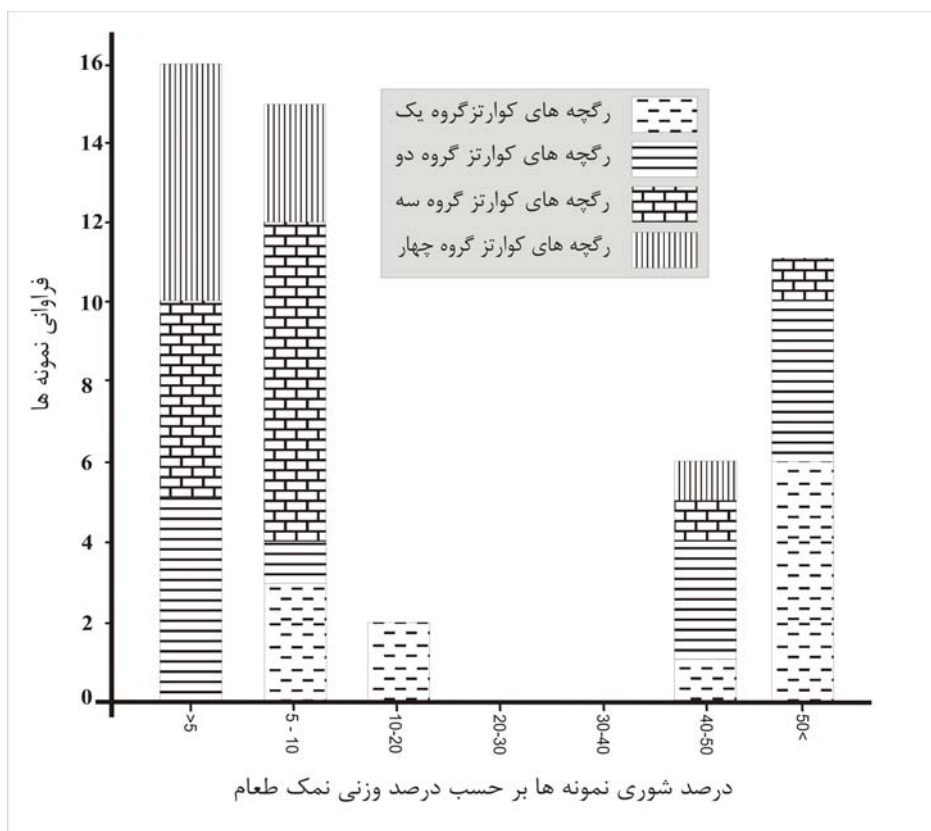
So: کانی‌های اِپک      HI: حالیت      V: بخار      L: مایع

همچنین مقدار و تعداد سیالات درگیر دارای فاز جامد هالیت و کانیهای اپاک بسیار کم می‌باشد، که این امر می‌تواند ناشی از تأثیر محلولهای جوی بر روی رگه‌چه‌ها و سنگهای موجود در این زون باشد. پس با توجه به نتایج موجود در جدول (۱) و مطالب عنوان شده، می‌توان به این نتیجه رسید که، درجه حرارت همگن شدن سیالات درگیر موجود در رگه‌چه‌های گروه یک که در دگرسانی پتاسیک کانسار مورد مطالعه حضور دارند، بین ۳۵۰ تا ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد بوده و میانگین شوری این سیالها بیش از ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد، که این شرایط معرف یک سیال ماگمایی بوده و باعث تشکیل دگرسانی پتاسیک شده است، همچنین دمای همگن شدن و میانگین شوری اکثر سیالات درگیر موجود در گروههای رگه‌چه‌ای دو و سه، که در دگرسانی فیلیک کانسار حضور دارند، بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و بین ۵ تا ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد، لذا این کاهش شوری و حرارت در سیالهای موجود در رگه‌چه‌های مذکور می‌تواند معرف اختلاط سیالهای ماگمایی با یک سیال با شوری و دمای کمتر (یک سیال جوی) باشد، که باعث تغییر در رفتار سیال و ایجاد دگرسانی فیلیک شده است.

در شکل (۵) نمودار همگن شدن و در شکل (۶) درصد شوری سیالات درگیر موجود در گروههای رگه‌چه‌ای مختلف کانسار سرچشمه به نمایش درآمده است. میانگین دمای همگن شدن در سیالات درگیر مختلف موجود در گروههای رگه‌چه‌ای یک، دو، سه و چهار که به ترتیب از دگرسانیهای پتاسیک، فیلیک، فیلیک و پروپیلیتیک حاصل شده‌اند، حدود ۴۲۰/۷، ۳۰۲/۵، ۳۵۰ و ۲۷۴/۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، همچنین میانگین شوری نیز در رگه‌چه‌های مذکور به ترتیب بیش از ۳۶/۲، ۲۸/۶۲ درصد وزنی معادل نمک طعام در رگه‌چه‌های گروه یک و دو و به ترتیب ۱۱/۲۲ و ۸/۶۲ درصد وزنی معادل نمک طعام در رگه‌چه‌های گروه سه و چهار است. به طوری از نتایج بر می‌آید سیالات موجود در گروه یک رگه‌چه‌ها دارای دمای همگن شدن و شوری بالایی می‌باشند و لذا با توجه به این که این رگه‌چه‌ها از دگرسانی پتاسیک کانسار برداشت شده و همچنین با تلفیق این اطلاعات با نتایج حاصل از مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار، می‌توان نتیجه گرفت که این رگه‌چه‌ها از یک سیال ماگمایی حاصل شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد که شوری و دمای همگن شدن در رگه‌چه‌های گروه چهار که از دگرسانی پروپیلیتیک کانسار برداشته شده‌اند، کاهش یافته و



شکل ۵. هیستوگرام دمای همگن شدن در مقابل فرآوانی سیالات درگیر مورد مطالعه در گروههای رگه‌چه‌ای مختلف کانسار سرچشمه.



شکل ۶. هیستوگرام درصد شوری در مقابل فراوانی سیالات درگیر مورد مطالعه در گروه‌های رگچه‌های مختلف کانسار سرچشمه.

روی نمودار سه محدوده جداگانه قابل تشخیص است که عبارتند از:

(۱) محدوده A، که معرف یک سیال با دما و شوری بالاست، که این ویژگی در سیالهای ماگمایی دیده می‌شود و اکثر نمونه‌های موجود در این قسمت مربوط به دگرسانی پتاسیک کانسار می‌باشند. لذا در صورتی که عمل جوشش با کاهش حرارت به صورت جزئی اتفاق بیفتد، مسیر حرکت سیال به سوی محدوده A خواهد بود، در نتیجه سیال به سمت منحنی اشباع از هالیت حرکت می‌کند [۱۲]، که این حالت عمدتاً در رگچه‌های گروه یک موجود در دگرسانی پتاسیک کانسار مورد مطالعه دیده می‌شود، که سیالات درگیر موجود در آنها دارای شوری و دمای همگن شدن بالایی می‌باشند.

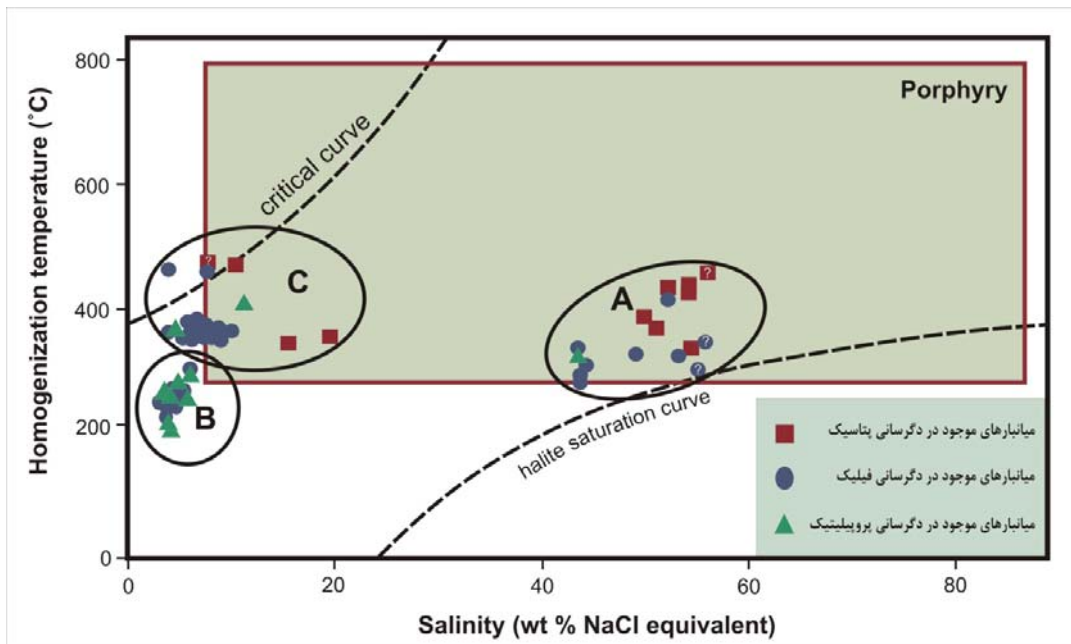
(۲) محدوده B، که معرف یک سیال با شوری و دمای پایین است، که این ویژگی دارای بودن دما و شوری پایین مختص سیالات جوی است. اکثر نمونه‌های موجود در رگچه‌های گروه چهار در این محدوده قرار می‌گیرند و این دما، شوری و رگچه‌ها عمدتاً معرف دگرسانی پروپیلیتیک در کانسار مورد مطالعه می‌باشند. همچنین ویلکینسون [۱۲]

همچنین غالب سیالات درگیر موجود در رگچه‌های گروه چهار، که در دگرسانی پروپیلیتیک کانسار حضور دارند، به ترتیب دارای دمای همگن شدن بین ۱۹۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری معادل ۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشند، این دما و این شوری در سیالات درگیر گروه چهار معرف یک سیال جوی است، که رگچه‌های گروه چهار را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد دگرسانی پروپیلیتیک در سنگهای میزبان شده است. در نتیجه سه گروه سیال با دمای همگن شدن و شوری متفاوت در کانسار مس پورفیری سرچشمه شناسایی شده است که این سیالات به نوبه خود باعث دگرسانی و کانه‌زایی در این معدن شده‌اند. همچنین با توجه به درصد شوری و دمای همگن شدن سیالات درگیر موجود در گروه‌های رگچه‌های مختلف، نمودار شوری - دمای همگن‌شدگی سیالات درگیر در شکل (۷) آورده شده است، که این نمودار توسط ویلکینسون [۱۲] تنظیم شده و در آن محل قرارگیری سیالهای مربوط به کانسارهای پورفیری مشخص شده است. پس از پیاده‌کردن نمونه‌ها بر

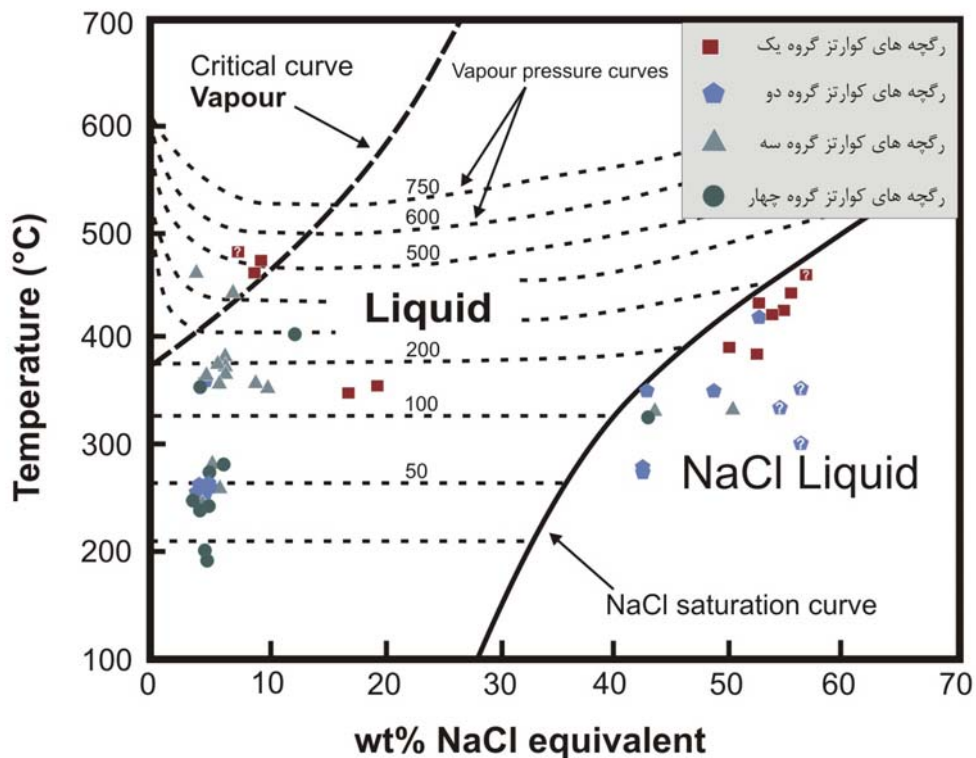


شد. در حقیقت جوشش سیالات گرمایی یک مکانیسم و فرآیند اولیه برای تحرک و تمرکز فلزات در هنگام تشکیل کانسارهای فلزی محسوب می‌شود. این فرآیند در شرایط دما بالا و فشار پایین رخ می‌دهد و نتیجه آن افزایش شوری، افزایش pH، تغییر در شرایط Eh و ته‌نشست مواد معدنی است [۱۲]. همچنین این پدیده موجب به دام افتادن سیالات درگیر با نسبت‌های فازی مختلف می‌شود [۱۶]. حضور سیالات درگیر اشباع از NaCl به همراه سیالات درگیر غنی از گاز به‌خصوص در رگه‌های گروه یک می‌تواند شواهدی از وقوع جوشش در سیالات کانه‌ساز باشد. لذا در این نوع از سیالات درگیر بلافاصله پس از به‌دام افتادن سیال، حباب گاز تشکیل می‌شود و درجه همگن‌شدن این سیالات درگیر با دمای به تله افتادن آنها برابر است. اطمینان [۶] نیز اعتقاد دارد که، نهشت مس در کانسار سرچشمه تنها به‌علت کاهش دما و یا افزایش pH سیال کانه‌دار نبوده است، بلکه به جوش آمدن سیالات در اثر افت ناگهانی فشار که باعث بر هم خوردن تعادل بین فازها شده است، عامل جدایش و رسوب کالکوپیریت گشته است. نقطه یوتکتیک برای سیستم  $\text{NaCl} + \text{H}_2\text{O}$  بیشتر از  $20/8 -$  درجه سانتی‌گراد است، حال آنکه نقطه یوتکتیک در نمونه‌های سیال مورد مطالعه پایین‌تر از این دماست ( $30/6 -$  تا بیش از  $39 -$ )، که این امر بیانگر حضور نمکهای دیگری علاوه بر NaCl در سیال کانه‌ساز می‌باشد. لذا با توجه به مطالعات بورینسکو [۱۷]، ترکیب این نمکها می‌تواند  $\text{H}_2\text{O} - \text{MgCl}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl} - \text{FeCl}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O} - \text{FeCl}_2$ ،  $\text{H}_2\text{O} - \text{NaCl} - \text{MgCl}_2$  و  $\text{H}_2\text{O} - \text{Na}_2\text{CO}_3 - \text{K}_2\text{CO}_3$  باشد. میانگین این دما در سیالات درگیر موجود در رگه‌های گروه یک که در دگرسانی پتاسیک کانسار حضور دارند (حدود  $42 -$  درجه سانتی‌گراد) بیش از بقیه گروههای رگه‌های می‌باشد و در بقیه گروهها تقریباً مشابه و حدود  $34 -$  درجه سانتی‌گراد است. لذا ناست و ویلیام جونز [۱۸] معتقدند که در سیالات درگیر دارای دمای  $34/5 -$  تا  $48/2 -$  درجه سانتی‌گراد، سدیم و پتاسیم غالب می‌باشند و تمرکز قابل توجهی از کاتیون‌های دو ظرفیتی را در محلولها یا سیالات درگیر به‌وجود می‌آورند، لذا به‌نظر می‌رسد در سیالات درگیر دارای دمای بیش از  $34/5 -$  درجه سانتی‌گراد (مانند رگه‌های گروه یک)، کاتیون‌های دو ظرفیتی سدیم و پتاسیم به‌صورت املاح با پیوند  $\text{H}_2\text{O} - \text{CaCl}_2$  و  $\text{H}_2\text{O} - \text{KCl} - \text{CaCl}_2$  حضور دارند.

معتقد است که، سیالات کانسارساز که دارای دما و شوری بیشتری در کانسارهای پورفیری می‌باشند، احتمالاً در اثر سیالات جوی دارای دما و شوری کمتری شده‌اند. بنابراین سیالات درگیر رگه‌های گروه چهار که در دگرسانی پروپیلیتیک کانسار حضور دارند؛ دارای این ویژگی می‌باشند. (۳) محدوده C، که این محدوده حدواسط دو محدوده دیگر است و نمونه‌های مربوط به گروههای رگه‌های مختلف را در بر می‌گیرد. در این محدوده عمدتاً سیالات درگیر مربوط به رگه‌های گروه دو و سه موجود در دگرسانی فیلیک کانسار قرار گرفته‌اند، که این وضعیت بیانگر کاهش شوری و حرارت بعضی از سیالات درگیر از ترکیب اولیه خود و ثابت بودن حرارت و کاهش شوری در بعضی دیگر از سیالات درگیر موجود در این گروههای رگه‌های است [۱۲]. مقدار شوری سیالات درگیر موجود در گروههای رگه‌های مختلف در مقابل دمای همگن‌شدن در شکل (۸) رسم شده است. لذا همان‌طور که از این نمودار بر می‌آید سیالات درگیر موجود در گروه یک رگه‌ها عمدتاً سیالهای اشباع از هالیت و اشباع از بخار هستند، در صورتی که سیالات درگیر موجود در رگه‌های گروه چهار بیشتر سیالهای اشباع از مایع هستند. همچنین نمودار بیانگر این است که، سیالات درگیر غنی از فاز جامد در تمام گروههای رگه‌های در کنار منحنی اشباع از NaCl متمرکز می‌شوند، به‌طوری‌که هزارخانی [۴] معتقد است که، سیالات درگیری که بالای منحنی مذکور قرار گرفته‌اند، فاز جامد قبل از فاز گاز همگن شده ولی در نمونه‌هایی که در زیر منحنی قرار می‌گیرند، ابتدا فاز گاز و سپس فازهای جامد همگن شده‌اند. همچنین سیالات درگیر اشباع از بخار یا VL عمدتاً در بالای منحنی بحرانی متمرکز شده و سیالات درگیر اشباع از مایع یا LV نیز به تمامی در زیر منحنی بحرانی قرار گرفته‌اند. همچنین در صورتی که عمل جوشش با کاهش حرارت به‌صورت جزئی اتفاق بیفتد، مسیر حرکت سیال به سمت منحنی اشباع از هالیت است، که این حالت عمدتاً در رگه‌های گروه یک کانسار مورد مطالعه دیده می‌شود، که سیالات درگیر موجود در آنها دارای شوری و دمای همگن‌شدن بالاتری نسبت به ترکیب اولیه خود شده‌اند [۱۲]. فرآیند جوشش زمانی اتفاق می‌افتد که فشار هیدروستاتیک بیشتر از فشار لیتوستاتیک شده و همین امر باعث کاهش سریع فشار محصور کننده سیالات گرمایی خواهد



شکل ۷. مدل شمانیکی برای نشان دادن تغییرات احتمالی سیالات درگیر پس از تشکیل و در هنگام عمل گرمایش در گروه‌های رگه‌چای موجود در دگرسانی‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه؛ به همراه محدوده پیشنهادی برای سیالات درگیر کانسارهای با تیپ پورفیری (نمودار از ویلکینسون ۲۰۰۱ [۱۲]). محدوده A معرف یک سیال با دما و شوری بالاست، که این ویژگی در سیالهای ماگمایی دیده می‌شود و اکثر نمونه‌های موجود در این قسمت مربوط به دگرسانی پتاسیک کانسار است. محدوده B: معرف یک محلول با شوری و دمای پایین است، که این ویژگی یعنی دارا بودن دما و شوری پایین مختص سیالات جوی و در دگرسانی پروپلیتیک کانسار قابل مشاهده است. محدوده C: این محدوده حدواسط دو محدوده دیگر است و عمدتاً نمونه‌های مربوط به رگه‌چاه‌های گروه دو و سه را در بر می‌گیرد.



شکل ۸. نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری سیالات درگیر گروه‌های رگه‌چای موجود در دگرسانی‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه (منحنی بحرانی و منحنی انحلال هالیت [۱۵]).

ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد می‌توان بر حسب دما، pH و فوگاسیته اکسیژن ارزیابی کرد.

سه مخزن متمایز ایزوتوپی برای  $\delta^{34}\text{S}$  وجود دارد [۲۲]:

(۱) گوگرد حاصل از گوشته با مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  حدود  $3 \pm 0$  در هزار (پریمیل) [۲۳]

(۲) گوگرد آب دریا با  $\delta^{34}\text{S}$  امروزی حدود  $20 \pm$  در هزار که البته این مقدار در گذشته متفاوت بوده است.

(۳) گوگرد به شدت احیایی (رسوبی) با مقادیر منفی بزرگ  $^{34}\text{S}$   $\delta$ .

لذا به کمک ایزوتوپ‌های گوگرد می‌توان منشأ گوگرد مورد نیاز کانسار را تعیین کرد. به علاوه، به کمک این ابزار می‌توان مسائل دیگری از جمله تعیین دمای سیال کانه‌دار، تعیین نسبت مؤثر آب به سنگ در طول کانی‌سازی، تعیین درجه تعادل موجود در سیستم و در آخر تعیین سازوکار تشکیل کانسار اشاره کرد [۲۴].

#### نتایج آنالیز شیمیایی ایزوتوپ‌های گوگرد

آزمایشهای ایزوتوپی گوگرد در کانسار مس پورفیری سرچشمه بر روی پیریت، کالکوپیریت، مولیبدنیت و انیدریت‌های، چهار گروه رگه‌های موجود در دگرسانیه‌های مختلف صورت گرفت. نسبت ایزوتوپی گوگرد ( $\delta^{34}\text{S}$ ) بر مبنای استاندارد  $\text{CDT}^5$  یا فاز سولفیدی ترویلیت شخانه (شهاب سنگ) آهنی کانیون دیابلو آریزونا برای یک نمونه مولیبدنیت، دو نمونه کالکوپیریت، شش نمونه پیریت و پنج نمونه انیدریت محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. با توجه به تصحیحات دمایی صورت گرفته بر روی کانیهای مورد مطالعه جدول (۲)، کمترین مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  اندازه‌گیری شده در پیریت‌های گروه‌های رگه‌های موجود در دگرسانیه‌های مختلف  $75/0 -$  در هزار و بیشترین مقدار  $27/1$  در هزار است. همچنین کمترین و بیشترین مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه‌های کالکوپیریت حدود  $50/0$  در هزار است، این نزدیکی در مقادیر حاصل از نمونه‌های پیریتی و کالکوپیریتی، می‌تواند به این دلیل باشد، که کالکوپیریت به واسطهٔ جانشینی یونی در پیریت حاصل شده است [۲۵]. همچنین مقدار اندازه‌گیری شده  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه مولیبدنیت حاصل از رگه‌های گروه یک موجود در دگرسانی پتاسیک کانسار مورد مطالعه برابر  $2/2 -$  در هزار می‌باشد. از

حضور کانیهای اپاک در سیالات درگیر سه‌فازی (بیشتر کالکوپیریت و بعضاً همتایت) کانسار مس پورفیری سرچشمه به دلیل حضور آهن به عنوان عنصر اصلی در سیال در کنار پتاسیم و سدیم می‌باشد. شواهد نشان می‌دهد که سیالات درگیر دارای کانیهای اپاک که در گروه‌های رگه‌های دو و سه حضور دارند، در یک شرایط احیایی تشکیل شده‌اند و در این شرایط حضور  $\text{Fe}^{2+}$  و  $\text{S}^{2-}$  کاملاً مشهود است، لذا این نوع از سیالات درگیر دارای کانیهای دختری از قبیل کالکوپیریت و مولیبدنیت می‌باشند. از طرفی این سیالها تحت تأثیر آبهای سطحی یا جوی در شرایط اکسیدان قرار گرفته‌اند، که ضمن این شرایط  $\text{Fe}^{2+}$  به  $\text{Fe}^{3+}$  و  $\text{S}^{2-}$  به  $\text{SO}_4^{2-}$  تبدیل شده و کانیهای مذکور به همتایت و بعضاً به انیدریت تبدیل شده‌اند. همچنین با توجه به دمای همگن‌شدن و چگالی سیالات درگیر می‌توان از نمودارهای ارائه شده توسط رودر و بودنر<sup>۳</sup> [۱۹] و شپرد و همکاران<sup>۴</sup> [۲۰] فشاری حدود  $150$  تا بیش از  $400$  بار را برای سیالات درگیر موجود در گروه‌های رگه‌های مختلف در نظر گرفت و همچنین با توجه به دمای همگن‌شدن بالا، شوری بسیار زیاد، شواهد جوشش در سیالات درگیر و فشار حاکم بر سیالات کانسار ساز می‌توان نتیجه گرفت که کانسار مورد مطالعه شبیه دیگر کانسارهای با تیپ مس - مولیبدن پورفیری است.

#### ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد

اوهومتو [۲۱] معتقد است که تغییر در مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در کانیها ممکن است بر اثر تغییر در دما، شرایط احیایی، pH و مقدار ایزوتوپ در خاستگاه اولیه گوگرد باشد. لذا با توجه به این‌که هدف از این مطالعه، بررسی تغییرات و منشأ ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد در کانسار مس پورفیری سرچشمه است، می‌توان عنوان کرد که نسبت ایزوتوپ‌های گوگرد به چند دلیل در کانیهای موجود در کانسارهای گرمابی به شدت تغییر می‌کنند:

(۱) تفکیک ایزوتوپی بین هر یک از کانیهای سولفیدی و سولفاتی کانسنگ به عنوان تابعی از دمای نهشته شدن تغییر می‌کند.

(۲) نسبت ایزوتوپی اولیه به وسیله منشأ گوگرد تعیین می‌شود.

(۳) نسبت‌های تغییر انواع گوگرد اکسید شده و احیاء شده در محلول یا به بیان ساده‌تر نسبت  $\text{SO}_4^{2-}/\text{H}_2\text{S}$  را در

3: Roedder and Bodnar

4: Shepherd et al.

5: Canyon Diablo Troilite

در فرمولهای فوق  $\Delta^{34}\text{S}$  عبارت است از اختلاف بین  $\delta^{34}\text{S}$  مربوط به دو کانی همراه، A و B ثابتهایی هستند که مقدار آنها برای زوجهای کانیایی مختلف متفاوت است (ثابت A در معادله مربوط به جفتهای سولفیدی پیریت - کالکوپیریت برابر ۰/۴۵ و مقدار A و B برای زوجهای سولفات - پیریت به ترتیب ۶/۰۶۳ و ۰/۵۶ می‌باشد)، T عبارت است از درجه حرارت مطلق، که بر حسب کلوین است. لذا با توجه به انتخاب نمونه‌ها از گروههای رگه‌چه‌های مختلف و همچنین با در نظر گرفتن نمونه‌برداری از مناطق مختلف دگرسانی و محدوده مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$ ، احتمالاً اشتقاق سولفور در طی چند نسل کانه‌زایی از یک منبع ثابت صورت گرفته است. بنا به عقیده فیلد و گوستافسون<sup>[۲۹]</sup> در سال ۱۹۷۶، در کانسارهای غرب امریکا سولفات‌ها به لحاظ ژئیتیکی هم‌زمان با سولفیدها و در طی مرحله اصلی کانه‌زایی نهشته می‌شوند. در حالی که نتایج ترمومتری پیریت- سولفات در کانسار مورد مطالعه عدم تعادل این دو کانی را با هم نشان می‌دهد.

#### منشأ گوگرد

میانگین یا مقدار متوسط  $\delta^{34}\text{S}$  در سولفیدهای کانسار مس پورفیری سرچشمه کمتر از یک در هزار است. لذا این مقدار دلالت بر این دارد که سولفیدها به وسیله سیالات گوگرددار مشتق شده از منابع ماگمایی تشکیل شده‌اند [۲۷]. در نتیجه گوگرد ممکن است از یکی از این دو منبع حاصل شده باشد: یا مستقیماً از ذوب بخشی که سیال ماگمایی را تولید کرده حاصل شده و یا به واسطه انحلال و آب‌شویی منابع آذرین سولفیددار پیشین ایجاد شده است [۲۷]. کلاگری [۲۵] نیز در کانسار سنگون پس از مطالعات ایزوتوپی بروی کانسار مذکور، منشأ سولفید را یکی از دو منبع عنوان شده معرفی می‌کند.

محیط فیزیکیوشیمیایی مؤثر در ته‌نشینی رگه‌چه‌های گروه یک به علت اهمیت رگه‌چه‌های گروه یک و دخالت آبهای ماگمایی جهت تشکیل آنها و همچنین حضور مولیبدنیت به‌عنوان کانی سولفیدی مهم در این رگه‌چه‌ها، به بررسی محیط فیزیکیوشیمیایی حاکم بر رگه‌چه‌های گروه یک می‌پردازیم. مقدار مولیبدن در سنگهای ماگمایی ارتباط مستقیمی با مقدار عناصر قلیایی (Na + K) نشان می‌دهد. این مطلب

طرفی تغییرات  $\delta^{34}\text{S}$  در نمونه‌های انیدریت حاصل از رگه‌چه‌های گروه یک و سه دارای محدوده‌ی وسیعتری است، به طوری که این نمونه‌ها دارای دامنه تغییرات ۱۰/۲ تا ۱۴/۵ در هزار می‌باشند. لذا با توجه به اعداد به‌دست آمده می‌توان گفت که ترکیب ایزوتوپی گوگرد در سولفیدها و سولفات‌های موجود در گروههای رگه‌چه‌ای مختلف در بازه گسترده ۲/۲- تا ۱/۲۷ در هزار برای سولفیدها و ۱۰/۲ تا ۱۴/۵ در هزار برای سولفات‌ها قرار می‌گیرد. هیستوگرام فراوانی مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  برای نمونه‌های مذکور در شکل (۹) ترسیم شده است. مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در سولفیدها و سولفات‌های کانسار مس پورفیری سرچشمه خیلی مشابه با دیگر کانسارهای مس پورفیری است، که این تشابه در شکل (۱۰) بین این کانسار و چند کانسار دیگر به تصویر کشیده شده است (شکل ۱۰). اوهموتو<sup>[۲۶]</sup> ترکیب ایزوتوپ گوگرد را برای کانسارهای گرمابی مرور کرده است. بر اساس این مطالعه مقدار  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدها در گستره باریک ۳- تا +۱ در هزار و گستره  $\delta^{34}\text{S}$  سولفات‌ها در محدوده +۸ تا +۱۶ در هزار قرار می‌گیرد. همچنین اوهموتو و ریه<sup>[۲۷]</sup> معتقدند که ذخایر مس پورفیری محتمل‌ترین نامزد منشأ ماگمایی آذرین برای گوگرد به شمار می‌روند. و همان‌طور که عنوان شد مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدها، در گستره باریک ۳- تا +۱ در هزار و نزدیک به گستره پذیرفته شده برای گوشته قرار می‌گیرند. در این حالت فازهای سولفید و سولفات در تعادلند و دمای ۴۵۰ تا ۶۵۰ درجه سانتی‌گراد را نشان می‌دهند. در دماهای بسیار بالا (بیش از ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد)،  $\text{H}_2\text{S}$  و  $\text{SO}_2$  گونه‌های گوگردی غالب در سیستم‌های گرمابی هستند؛ ولی در دماهای پایین‌تر گونه (کمتر از ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد) گوگردی غالب در سیستم گرمابی سولفات و  $\text{H}_2\text{S}$  است [۲۷]. با استفاده از جفتهای سولفید - سولفید و سولفید - سولفات اقدام به ژئوترمومتری کردیم، ولی نتایج به دست آمده قانع کننده نبوده است. در این محاسبات از فرمولهای زیر استفاده شده است:

برای جفتهای سولفید - سولفید (پیریت - کالکوپیریت [۲۷]):

$$1) \delta^{34}\text{S} = A (10^6/T^2)$$

و برای جفتهای سولفات - سولفید (انیدریت - پیریت [۲۸]):

$$2) \delta^{34}\text{S} = A (10^6/T^2) + B$$

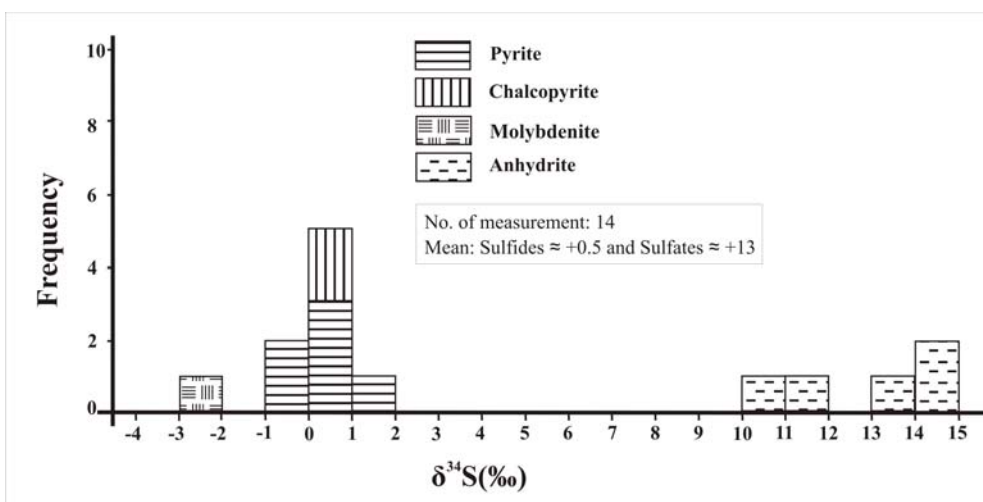
6: Ohmoto

7: Ohmoto and Rye

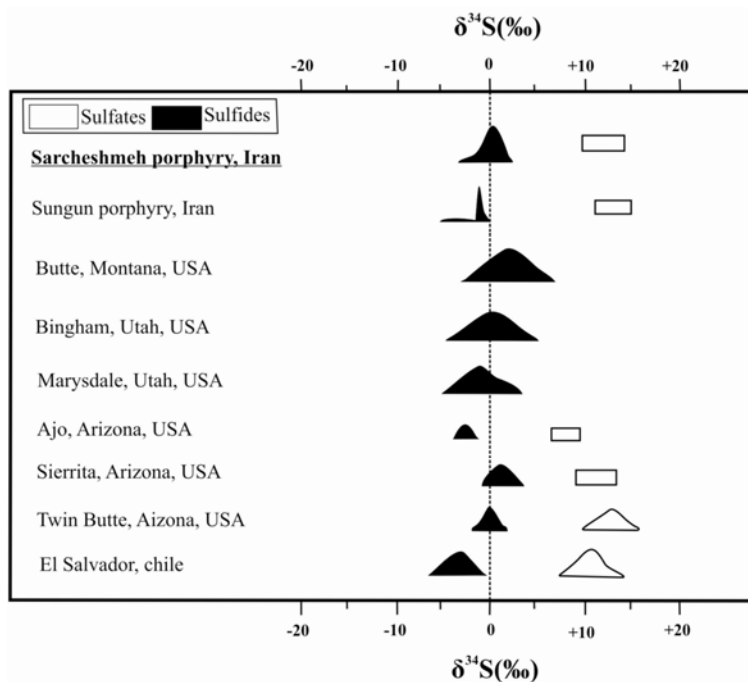
8: Field and Gustafson

از ۴۰۰ بار است. هزارخانی [۴] معتقد است که در طول دگرسانی پتاسیک و مرحله اصلی کانه‌زایی مس-مولیبدن دما در حدود ۳۶۰ تا ۵۱۰ درجه سانتی‌گراد است، که مولیبدنیت زمانی می‌تواند از سیال جدا شده و ته‌نشست پیدا کند که دما تقریباً از ۵۱۰ به ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد.

بیانگر آن است که هر چه عمق تشکیل ماگما بیشتر باشد مقدار عناصر قلیایی و مولیبدن در آن بیشتر است [۲]. نمونه‌های سیال درگیر مورد مطالعه در رگه‌چه‌های گروه یک کانسار مس پورفیری سرچشمه دارای دمای همگن شدن ۳۴۰ تا بیش از ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد بوده و شوری سیالات درگیر بالای ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد و فشار حاکم بر این رگه‌چه‌ها بیش



شکل ۹. هیستوگرام فراوانی مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  کانیهای سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و مولیبدنیت) و سولفات‌های (انیدریت) گروه‌های رگه‌چه‌ای موجود در دگرسانی‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه.



شکل ۱۰. مقایسه شماتیک اختلاف و فراوانی نسبی مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  در سولفیدها و سولفات‌های کانسار مس پورفیری سرچشمه با هشت کانسار مس پورفیری دیگر (مقادیر  $\delta^{34}\text{S}$  سولفیدهای و سولفات‌های کانسار سونگون توسط کلاگری [۲۵] ارائه شده است، همچنین به جز مقادیر مذکور برای کانسارهای سرچشمه و سونگون بقیه مقادیر، که برای کانسارهای مختلف ارائه شده توسط اهموتو و ریه [۲۷] پذیرفته شده است).



جدول ۲. مقادیر ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد حاصل از نمونه‌های سولفیدی و سولفاتی گروه‌های رگه‌های موجود در دگرسانیه‌های مختلف کانسار مس پورفیری سرچشمه

نام نمونه	طول و عرض جغرافیایی گمانه‌ها	کانی مورد مطالعه	گروه رگه‌های	زون دگرسانی	ارتفاع (m)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{min}}(\%)$	T(°C)	$\delta^{34}\text{S}_{\text{H}_2\text{S fluid}}(\%)$
SE 113-3R	N: ۲۹° ۵۶' ۵۲" EO: ۵۵° ۵۳' ۲۰"	کالکوپیریت	گروه ۱	پتاسیک	۲۳۷۳	۰/۶۳	۴۵۰.**	۰/۵۳
SE 141-6R	N: ۲۹° ۵۶' ۴۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۴۰"	کالکوپیریت	گروه ۲	فیلیک	۲۲۲۰	۰/۶۳	۳۵۰.*	۰/۵۰
SE 128-2-1R	N: ۲۹° ۵۶' ۵۶" EO: ۵۵° ۵۲' ۰۵"	مولیدنیت	گروه ۱	پتاسیک	۲۱۴۸	-۱/۳	۴۳۰.*	-۲/۲
SE 141-6R	N: ۲۹° ۵۶' ۴۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۴۰"	پیریت	گروه ۲	فیلیک	۲۲۲۰	۰/۲۸	۳۵۰.*	-۰/۷۵
SE 139-3R	N: ۲۹° ۵۷' ۰۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۵۳"	پیریت	گروه ۱	فیلیک	۲۰۸۷	۱/۲۸	۴۰۰.**	۰/۴۰
SE 143-6R	N: ۲۹° ۵۶' ۵۶" EO: ۵۵° ۵۲' ۰۵"	پیریت	گروه ۳	فیلیک	۲۳۷۳	۱/۶۳	۳۵۰.*	۰/۶
SE 148-3R	N: ۲۹° ۵۷' ۱۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۴۷"	پیریت	گروه ۱	فیلیک	۲۱۶۱	۰/۸۱	۴۲۰.**	-۰/۰۲
SE 141-2-1R	N: ۲۹° ۵۶' ۵۳" EO: ۵۵° ۵۲' ۴۳"	پیریت	گروه ۴	پروپیلیتیک	۲۶۸۱	۱/۶	۲۷۵.*	۰/۲۷
SE 126-2-1R	N: ۲۹° ۵۶' ۲۴" EO: ۵۵° ۵۱' ۰۹"	پیریت	گروه ۴	پروپیلیتیک	۲۸۴۵	۲/۶	۲۷۵.*	۱/۲۷
SE 139-3R	N: ۲۹° ۵۷' ۰۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۵۳"	انیدریت	گروه ۱	فیلیک	۲۰۸۷	۱۳/۲	۴۰۰.**	
SE 143-5R	N: ۲۹° ۵۶' ۵۶" EO: ۵۵° ۵۲' ۰۵"	انیدریت	گروه ۳	فیلیک	۲۳۷۳	۱۴	۳۵۰.*	
SE 148-3R	N: ۲۹° ۵۷' ۱۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۴۷"	انیدریت	گروه ۱	فیلیک	۲۱۶۱	۱۱/۳	۴۲۰.**	
SE 139-6R	N: ۲۹° ۵۷' ۰۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۵۳"	انیدریت	گروه ۱	فیلیک	۲۰۹۲	۱۰/۲	۴۰۰.**	
SE 139-7R	N: ۲۹° ۵۷' ۰۱" EO: ۵۵° ۵۱' ۵۳"	انیدریت	گروه ۱	پتاسیک	۲۱۱۳	۱۴/۵	۴۳۰.**	

\* این دماها براساس دمای همگن شدن سیالات درگیر همراه با نمونه‌های مورد استفاده جهت آنالیز ایزوتوپی گوگرد بوده است. لذا طبق موارد زیر نمونه‌های مورد مطالعه جهت آنالیز ایزوتوپی با مطالعات مربوط به سیالات درگیر در رگه‌های موجود در گروه‌ها و دگرسانیه‌های مختلف همراهی دارند:

الف) نمونه‌های SE 128-2-1R به همراه سیالات درگیر Sar 100 در رگه‌های گروه یک

ب) نمونه‌های SE 141-6R به همراه سیالات درگیر Sar 101 در رگه‌های گروه دو

پ) نمونه‌های SE 143-5R و SE 143-6R به همراه سیالات درگیر Sar 116 در رگه‌های گروه سه

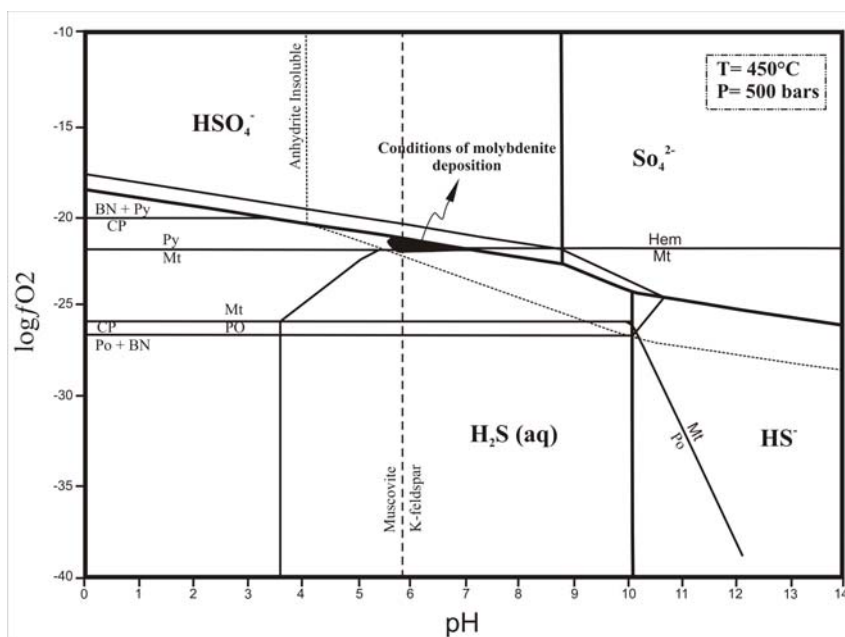
ت) نمونه‌های SE 126-2-1R و SE 141-2-1R به همراه سیالات درگیر Sar 141 در رگه‌های گروه چهار.

\*\* این دماها نیز با توجه به سیالات درگیر مورد مطالعه و گروه‌های رگه‌های مختلف تخمینی می‌باشد.

در تصحیحات دمایی کالکوپیریت، مولیدنیت و پیریت به ترتیب از فرمولهای لی و لیو<sup>۹</sup>، [۳۳]، اهموتو و ریه<sup>۱۰</sup> [۲۷] استفاده شده است.

9: Li and Liu

10: Ohmoto and Rye



شکل ۱۱. نمودار pH در برابر  $\text{Log } f\text{O}_2$  برای شرایط تقریبی (قسمت سیاه رنگ) رگه‌چه‌های کوارتز دارای مولیبدن گروه یک کانسار سرچشمه که مشابه با کانسار سونگون است [۳۲]. در این شکل رابطه پایداری کانیه‌ها در سیستم‌های Cu-Fe-S-O و K-Al-Si-O-H و انیدریت در دمای ۵۰۰ درجه سانتی‌گراد، فشار ۵۰۰ بار، توانایی یونی برابر یک، اکتیویته  $k^+$  برابر  $10^{-4}$  و اکتیویته S برابر  $10^{-1}$  نمایش داده شده است (در این شکل اکتیویته به وسیله اطلاعات حاصل از سیالات درگیر محاسبه و همچنین مرزهای فازی و حوزه‌های پایداری گونه‌های آبدار با استفاده از برنامه SUPCRT 92 محاسبه شده است).

به‌دست آمده است. این اطلاعات بیانگر آن است که رگه‌چه‌های گروه یک در کانسار سرچشمه، به‌طور عمده توسط یک سیال ماگمایی با شوری متوسط تا بالا (در حدود ۴۰ درصد وزنی معدل نمک طعام) و در دمای حدود ۳۴۰ تا ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد ته‌نشست پیدا کرده‌اند. همان‌طور که عنوان شد و در شکل (۱۱) قابل مشاهده است، مولیبدنیت در سرچشمه احتمالاً زمانی ته‌نشست پیدا می‌کند که دما تقریباً از ۵۱۰ به ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد تقلیل یابد [۴]. در نتیجه همان‌طور که از شواهد برمی‌آید مولیبدنیت بیشتر در دماهای بالا، pH‌های خنثی تا اسیدی و در قسمت‌های عمقی کانسار مس پورفیری سرچشمه و کانسارهای مشابه تشکیل می‌شود و مهمترین عواملی که در این شرایط بر روی ته‌نشینی آن تأثیرگذار است عبارتند از: (۱) افزایش غلظت سولفور (۲) کاهش غلظت فلئور و کلر در اثر کانه‌زایی [۲] و (۳) مقدار عناصر قلیایی (Na + K). از طرفی به‌طور تجربی ثابت شده است که، اکسیداسیون مولیبدنیت با افزایش pH زیاد می‌شود تا این‌که در pH حدود ۱۰ به حد ماکزیمم خود می‌رسد [۲]. در محاسبات انجام شده نسبت K/Na تقریباً ۰/۲ به دست

با توجه به مطالعات ایزوتوپی و مطالعات مربوط به سیالات درگیر موجود در رگه‌چه‌های گروه یک، کانسار مس پورفیری سرچشمه به لحاظ محیط فیزیکوشیمیایی و شرایط لازم جهت ته‌نشست مولیبدنیت تقریباً شبیه مدل ارائه شده توسط هزارخانی و همکارانش [۳۰] برای کانسار مس پورفیری سونگون می‌باشد (شکل ۱۱). این مدل به وسیله اهمیت تأثیر عوامل فیزیکوشیمیایی بر روی کانه‌زایی و دگرسانی و همچنین اطلاعات ترمودینامیک کانه‌ها، کانیه‌های گانگ و گونه‌های آبدار به وسیله برنامه SUPCRT 92 تعیین شده و سایر اطلاعات به‌طور فرضی بیان شده است. عامل مهمی که معمولاً در تولید یک محیط فیزیکوشیمیایی مناسب جهت کانه‌زایی سولفیدی مس درگیر هستند شامل دما، pH، فوگاسیته اکسیژن، فوگاسیته گوگرد و اکتیویته  $\text{Cl}^-$  است. همچنین رگه‌چه‌های گروه یک در سونگون همانند رگه‌چه‌های گروه یک در سرچشمه دارای مقدار زیادی مولیبدن هستند و در دمایی تقریباً مشابه با رگه‌چه‌های گروه یک در سرچشمه تشکیل شده‌اند. دما برای مراحل اولیه و واپسین دگرسانی و کانه‌زایی به وسیله اطلاعات حاصل از مطالعه سیالات درگیر

میانگین شوری معادل ۵ درصد وزنی معادل نمک طعام است، که این دما و شوری معرف یک سیال جوی بوده که رگه‌های گروه چهار را تحت تأثیر قرار داده و باعث ایجاد دگرسانی پروپیلیتیک در سنگهای میزبان شده است. همچنین حضور سیالات درگیر اشباع از NaCl به همراه سیالات درگیر غنی از گاز به خصوص در رگه‌های گروه یک می‌تواند شواهدی از وقوع جوشش در سیالات کانه‌ساز کانسار مس پورفیری سرچشمه باشد. با توجه به شرایط فیزیکوشیمیایی، مولیبدنیت در رگه‌های گروه یک معدن سرچشمه احتمالاً زمانی ته‌نشست پیدا می‌کند، که دما تقریباً از ۵۱۰ به ۴۶۰ درجه سانتی‌گراد کاهش یابد. در نتیجه همان‌طور که از شواهد برمی‌آید مولیبدنیت بیشتر در دماهای بالا، pHهای خنثی تا اسیدی و در قسمت‌های عمقی کانسار مس پورفیری سرچشمه و کانسارهای مشابه تشکیل می‌شود و مهمترین عواملی که در این شرایط بر روی ته‌نشینی آن تأثیرگذار است عبارتند از: (۱) افزایش غلظت سولفور (۲) کاهش غلظت فلوتور و کلر در اثر کانه‌زایی و (۳) مقدار عناصر قلیایی (Na + K).

#### تشکر و قدردانی

از شرکت ملی صنایع مس ایران به خاطر پشتیبانی در انجام این کار تحقیقاتی سپاس‌گزاری می‌شود. از مدیران و کارشناسان امور تحقیق و توسعه مجتمع مس سرچشمه، به ویژه خانم مهندس حسینی برای همکاری و تلاشهای بی‌دریغشان تشکر و قدردانی می‌شود. از امور معدن مجتمع مس سرچشمه هم برای کمک در عملیات صحرائی تشکر می‌شود. از دکتر کورت کایزر در دانشگاه کوئینز کانادا تشکر می‌شود که در انجام آنالیزهای ایزوتوپی از محققان حمایت کردند.

#### منابع

- [۱] صالحی ر، "بررسی ژئوشیمیایی زون‌های آلتره در معدن مس سرچشمه و تأثیر معدن‌کاری در پراکنش و انحلال‌پذیری فلزات سنگین"، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشگاه اصفهان (۱۳۸۳) ۱۸۰ ص.
- [۲] امین‌زاده ب، "مطالعه کانی‌شناسی و ژئوشیمی سیالات درگیر در ارتباط با کانسارسازی مولیبدن در معدن مس سرچشمه و کاربرد آن در بازیابی موثر مولیبدن"، پایان‌نامه

آمده است [۴]، که این مقدار به کمک آنالیزهای میکروترمومتری سیالات درگیر حاوی هالیت به اثبات رسیده است. حضور انیدریت را در این محیط می‌توان از طریق هیدرولیز  $SO_2$  در طول سردشدگی توضیح داد [۴]. عده‌ای معتقدند که تفکیک  $SO_2$  در نزدیکی دمای ۴۰۰ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد [۳۱]، که یک منبع احتمالی برای سولفید (مولیبدنیت، پیریت و کالکوپیریت) و سولفات (انیدریت) است.

#### برداشت

مقادیر  $\delta^{34}S$  در سولفیدها و سولفات‌های موجود در رگه‌ها حاصل از دگرسانیهای مختلف در گستره ۲/۲- تا ۱/۲۷ در هزار برای سولفیدها و ۱۰/۲ تا ۱۴/۵ در هزار برای سولفات‌ها قرار می‌گیرد. لذا میانگین یا مقدار متوسط  $\delta^{34}S$  در سولفیدهای کانسار مس پورفیری سرچشمه کمتر از یک در هزار بوده و برای سولفات‌ها تقریباً ۱۳ در هزار است. این مقدار اشاره به این دارد که سولفیدها به وسیله سیالات گوگرددار مشتق شده از منابع ماگمایی تشکیل شده‌اند. در نتیجه گوگرد ممکن است از یکی از این دو منبع حاصل شده باشد: یا مستقیماً از ذوب بخشی که سیال ماگمایی را تولید کرده و یا به واسطه انحلال و آب‌شویی منابع آذرین سولفیددار پیشین ایجاد شده است. با توجه به مطالعات سیالات درگیر مربوط به گروه‌های رگه‌های مختلف در کانسار سرچشمه می‌توان نتیجه گرفت که کانسارسازی و دگرسانی در طی سه مرحله صورت گرفته است:

(۱) سیالات درگیر موجود در رگه‌های گروه یک با دمای همگن‌شدن ۳۵۰ تا بالای ۴۸۰ درجه سانتی‌گراد و میانگین شوری بیش از ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام، که این شرایط معرف یک سیال ماگمایی بوده و باعث تشکیل دگرسانی پتاسیک شده است.

(۲) دمای همگن‌شدن و میانگین شوری اکثر سیالات درگیر موجود در گروه‌های رگه‌های دو و سه به ترتیب بین ۲۵۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و ۵ تا ۱۰ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد، که این شرایط معرف اختلاط سیال ماگمایی با یک سیال با شوری و دمای کمتر (یک سیال جوی) است، که باعث تغییر در رفتار سیال و ایجاد دگرسانی فیلیک شده است.

(۳) سیالات درگیر موجود در رگه‌های گروه چهار دارای دمای همگن‌شدن بین ۱۹۰ تا ۲۸۰ درجه سانتی‌گراد و

vapour-saturated liquids above 445 °C and redetermination of phase equilibrium properties in the system NaCl-H<sub>2</sub>O to 1000 °C and 1500 bars", *Geochimica et Cosmochimica Acta* 51 (1987) 1965-1975.

[16] Kerkhof A. M. V., Hein U. F., "Fluid inclusion petrography", *Lithos* 55 (2001) 27-47.

[17] Borinseko A. S., "Study of the salt composition of solution in gas-liquid inclusions in mineral by the cryometric method", *Soviet Geol. and Geographys* 18 (1977) 11-19.

[18] Nast H. J., Williams-Jones A. E., "The role of water-rock interaction and fluid evolution in forming the porphyry-related Sisson Brook W-Cu-Mo deposit, New Brunswick", *Economic Geology* 86 (1991) 302-317.

[19] Roedder E., Bodnar R. J., "Geologic pressure determinations from fluid inclusion studies", *Earth Planet Science* 8 (1980) 263-310.

[20] Shepherd T., Rankin A. H., Alderton D. H. M., "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies", Blackie (1985) 239.

[21] Ohmoto H., "Systematics of sulfur and carbon isotopes in hydrothermal ore deposits", *Economic Geology* 67 (1972) 551-579.

[22] Rollinson H. R., "Using geochemical data", Longman Scientific and Technical (1993) 384.

[23] Chaussidon M., Lorand J. P., "Sulphur isotope composition spinel leucite massifs from Ariege (N.E. Pyrenees. France): An ion microprobe study", *Geochimica et Cosmochimica* 54 (1990) 2835-2846.

[24] Hoefs J., "Stable isotope geochemistry", Springer Verlag, Berlin, 5th edition (2004) 244.

[25] Calagari A. A., "Stable isotope (S, O, H and C) studies of the phyllic and potassic-phyllic alteration zones of the porphyry copper deposit at Sungun, East Azarbaijan, Iran", *Journal of Asian Earth Sciences* 21 (2003) 767-780.

[26] Ohmoto H., "Stable isotope geochemistry of ore deposits", *Mineralogical Society of America* 16 (1986) 491-570.

[27] Ohmoto H., Rye R. O., "Isotopes of sulfur and carbon: in H.L. Barnes ed", *Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits*, Second Edition: John Wiley & Sons (1979) 509-567.

[28] Ohmoto H., Lasaga A. C., "Kinetics of reactions between aqueous sulphates and sulphides in hydrothermal systems", *Geochimica et Cosmochimica* 46 (1982) 1727-1745.

کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید باهنر کرمان (۱۳۸۵) ۱۱۲ص.

[۳] صفاری م. م.، "بررسی توزیع و تمرکز عناصر کمیاب و گرانبها و عوامل کنترل کننده آنها در کانسار مس پورفیری سرچشمه (کرمان)"، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه شهید بهشتی (۱۳۷۷) ۱۰۰ص.

[4] Hezarkhani A., "Hydrothermal evolutions at the Sar-Cheshmeh porphyry Cu-Mo deposit, Iran: evidence from fluid inclusions", *Journal of Asian Earth Sciences* 28 (2006) 408-422.

[5] Forster H., "Mesozoic-Cenozoic metallogenesis in Iran", *Int. Geology. Soc. London* 135 (1978) 443-455.

[6] Etminan H., "Le porphyry cuprifere de Sarcheshmeh Rol des phases fluide les mecanismes alteration et de mineralization", *Iran Geology. Survey* (1977) 242.

[7] Shahabpour J., "Aspects of alteration and mineralization at the Sarcheshmeh copper - molybdenum deposit. Kerman, Iran", Unpub Ph.D. thesis., Leeds University (1982) 342.

[8] Emami H., "Geology of the Sar-Cheshmeh Copper Deposit: Internal Reports", Sar-Cheshmeh Copper Company (1992).

[9] Waterman G. C., Hamilton R., "The sarcheshmeh porphyry copper deposit", *Economic Geology* 70 (1975) 568-576.

[10] Bazin D., Hubner H., "La region cuprifere a gisements porphyriques de Kerman (Iran)", *Mineral Deposita* 4 (1969) 200-211.

[11] Bodnar R. J., "Fluid-inclusion evidence for a magmatic source for metals in porphyry copper deposits", In: Thompson, J.F.H. \_Ed., *Magma, Fluids, and Ore Deposits*. Mineral. Assoc. Can., Short Course Series 23 (1995) 139-152.

[12] Wilkinson J. J., "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos* 55 (2001) 229-272.

[13] Roedder E., "Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America*", *Reviews in Mineralogy* 12 (1984) 644.

[14] Bodnar R. J., Vityk M.O., "Interpretation of micro thermometric data for H<sub>2</sub>O-NaCl fluid inclusions", In *fluid inclusions in Minerals, Methods and Applications*, B.De Vivo and M.L. Frezzotti, eds., pub, by Virginia Tech, Blacksburg, Va (1994) 117-130.

[15] Chou I. M., "Phase relations in the system NaCl-KCl-H<sub>2</sub>O. III: solubilities of halite in

W.R., Payne, W.D. (Eds.), Relations of Tectonics to Ore Deposits in the Southern Cordillera, Arizona Geological Society Digest, Arizona 14 (1981) 71-77.

[32] Dimitrijevic M. D., Dimitrijevic M. N., Djordjevic M., Vulovic D., "Geological Survey of Iran, 1:100,000 series", sheet 7149, Pariz, (1971).

[33] Li Y. B., Liu J. M., "Calculation of sulfur isotope fractionation in sulfides", Geochimica et Cosmochimica Acta 70 (2006) 1789-1795.

[29] Field C. W., Gustafson L. B., "Sulfur isotopes in the porphyry deposits at El Salvador, Chile", Economic Geology 71 (1976) 1533-1548.

[30] Hezarkhani A., Williams-Jones A. E., Gammons C. H., "Factors controlling copper solubility and chalcopyrite deposition in the Sungun porphyry copper deposit, Iran", Mineralium Deposita 34 (1999) 770-783.

[31] Burnham C. W., "Physiochemical constraints on porphyry mineralization", In: Dickenson,