

انواع سامانه رگه - رگچه مرتبط با کانه‌زایی و مطالعات میانبرهای سیال در کانسار مس - مولیدن پورفیری سوناجیل، پهنه ماگمایی ارسباران

محمدرضا حسین‌زاده^۱، سجاد مغفوری^۲، مهسا قربانی^۲ و محسن مؤید^۳

^۱دانشیار، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۲دانشجوی دکترا، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

^۳استاد، گروه علوم زمین، دانشکده علوم طبیعی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۵/۲۸ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۱۲/۲۶

چکیده

منطقه مورد مطالعه در شمال باختر ایران و در پهنه فلززایی ارسباران جای دارد. مجموعه سنگ‌های موجود در منطقه سوناجیل شامل گدازه‌های آندزیتی ائوسن، میکرودیوریت پورفیری، توده گرانیتوئیدی اینچه و توده‌های آتشفشانی اکوزداغی به سن پلیوکواترنری است. میزبان اصلی کانی‌سازی مس و مولیدن نوع پورفیری در منطقه سوناجیل توده میکرودیوریت است. بیشتر کانسار سازی به صورت افشان و رگه - رگچه‌ای است. رگه - رگچه‌های اصلی در منطقه سوناجیل بر پایه ساختار، بافت و کانی‌شناسی به شش گروه E, D, C, B, A و F تقسیم شده‌اند که دارای مجموعه‌ای از کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، مولیدنیت، بورنیت، تتراهدريت - تنانتیت و انارژیت)، اکسیدی و هیدروکسیدی (مگنتیت و اسپیکولاریت) و کربناتی (مالاکیت و آزوریت) هستند. مطالعه میانبرهای سیال در کانسار سوناجیل نشان‌دهنده وجود انواع میانبرهای سیال تک‌فازی بخار، دوفازی مایع - بخار و چندفازی مایع - بخار - جامد از نوع اولیه در رگچه‌های کوارتز - سولفید است. دمای همگن‌شدگی برای سیال‌های دوفازی میان ۱۸۰/۵ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد و درجه شوری میان ۰/۷ تا ۱۵/۱۷ درصد وزنی نمک طعام است؛ دمای همگن‌شدگی برای میانبرهای سیال سه‌فازی که به فاز هالیت همگن می‌شوند میان ۳۷۸ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد و برای میانبرهای سیال سه‌فازی که به فاز بخار همگن می‌شوند میان ۳۲۵ تا ۴۸۵ درجه سانتی‌گراد است. همچنین میزان شوری این سیال‌ها در بازه ۳۵/۳ تا ۶۹ درصد وزنی نمک طعام است. همزیستی میانبرهای سیال تک‌فازی و دوفازی غنی از بخار در کنار میانبرهای سیال سه‌فازی و وجود دو جمعیت سیال‌های با شوری بالا و شوری پایین نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش در کانسار سوناجیل است.

کلیدواژه‌ها: کانسار مس - مولیدن پورفیری، رگه - رگچه، میانبر سیال، سوناجیل، پهنه ارسباران.
*نویسنده مسئول: محمدرضا حسین‌زاده

E-mail: Mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

پهنه ماگمایی ارسباران در شمال باختر ایران میزبان انواع مختلف کانساری است. کانسارهای پورفیری، اسکارن و اپی‌رمال شاخص‌ترین انواع کانی‌زایی این پهنه و در ارتباط با توده‌های نفوذی سنوزویک هستند. این پهنه پس از پهنه فلززایی کرمان، مهم‌ترین بخش ایران از دید ذخایر مس به‌ویژه مس پورفیری است. از جمله این کانسارها می‌توان به کانسار مس - مولیدن پورفیری سونگون (کلاگری و همکاران، ۱۳۸۰؛ Calagari, 2004)، کانسار پورفیری - اپی‌رمال مس - طلای مسجدداغی (زنوزی و همکاران، ۱۳۸۷)، کانسار مس - طلای میرکوه علی‌میرزا (Maghsoudi et al., 2012) و کانسار مس - مولیدن بالوجه (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴) اشاره کرد.

کانسار مس سوناجیل، در فاصله ۱۰۰ کیلومتری شمال خاوری تبریز و ۱۷ کیلومتری خاور شهرستان هریس جای گرفته است. این مقاله می‌کوشد تا با دسته‌بندی انواع رگه - رگچه‌ها با استفاده از داده‌های مغزه‌های حفاری و مطالعات کانی‌شناسی آنها و نیز مطالعه میانبرهای سیال، افزون بر نشان دادن کانی‌سازی نوع مس - مولیدن پورفیری، شواهد وجود یک سامانه واحد کانه‌زایی گرمایی را بیان کند.

۲- روش پژوهش

در انجام این پژوهش، پس از انجام عملیات صحرایی و کنترل واحدهای سنگی موجود در نقشه زمین‌شناسی و لاکینگ ۱۷ گمانه اکتشافی (با مترژ حدود ۵۱۰۰ متر) بازرزای میانگین ۳۲۰ متر (کمینه ۱۱۸ متر و بیشینه ۴۵۰ متر) نمونه‌برداری از توده‌های نفوذی، پهنه‌های کانه‌دار و دگرسان انجام شد و سپس ۱۰۰ مقطع نازک، ۶۰ مقطع صیقلی و ۱۰ مقطع دوبر صیقلی تهیه شد و مورد مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و میانبرهای سیال قرار گرفت. مطالعات دامسنجی میانبرهای سیال توسط استیج لینکام متصل به میکروسکوپ لایتز و با عدسی شیئی با بزرگنمایی ۸۰× در دانشگاه تربیت مدرس تهران صورت گرفته است.

۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

کمرند آتشفشانی سنوزویک در شمال باختر ایران یکی از کمرندهای فلززایی مس - مولیدن - طلا است که به نام پهنه آذربایجان یا پهنه ارسباران نیز شناخته می‌شود (Jamali and Mehrabi, 2014). در پهنه ارسباران چینش سامانه‌های پورفیری، روند شمال باختر - جنوب خاور نشان می‌دهد که به طول نزدیک به ۲۵۰ کیلومتر کشیده شده و قابل مقایسه با کمرند فلززایی پورفیری نوع آند در آمریکای جنوبی است (Maghsoudi et al., 2012).

توزیع سامانه‌های کانیایی نشان می‌دهد که هر دو نوع کانی‌زایی پورفیری یعنی مس - مولیدن پورفیری و مس - طلای پورفیری در پهنه ارسباران وجود دارد. مهم‌ترین کانسارهای مس - مولیدن پورفیری در بخش شمالی این پهنه تشکیل شده است که از جمله این کانسارها می‌توان کانسار سونگون و بالوجه در ایران و کانسارهای آگاراک و پاراچای در ارمنستان را نام برد (Maghsoudi et al., 2012). در بخش جنوبی، کانسارهای پورفیری از نوع غنی از طلا (Au-rich) هستند که از جمله این کانسارها می‌توان به میرکوه علی‌میرزا، مسجد داغی و شاللو اشاره کرد (Maghsoudi et al., 2012).

از دید موقعیت زمین‌شناسی، محدوده سوناجیل در بخشی از شمال باختر نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ اهر (لسکویه و همکاران، ۱۳۶۸) و بخش مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ اهر (مهدوی و امینی‌فضل، ۱۳۶۸) جای گرفته که به‌طور چیره از سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌ژرف ائوسن - الیگوس پوشیده شده است. از دید ساختاری نیز گسل‌های بزرگ با طول‌های چندین کیلومتر در منطقه دیده نشده ولی در محدوده معدنی سوناجیل، به‌طور چیره گسل‌های کانه‌دار در پیرامون توده نفوذی سوناجیل روند شمال باختر - جنوب خاور دارند. بر پایه بررسی‌های صحرایی و نقشه زمین‌شناسی ۱:۵۰۰۰ (حسین‌زاده، ۱۳۸۷)، واحدهای اصلی در محدوده کانی‌زایی شامل آندزیت‌های ائوسن زیرین تا میانی، توده پورفیری میکرودیوریت سوناجیل،

۸۰ درصد)، فلدسپار قلیایی از نوع سانیدین (۰ تا ۱۵ درصد)، کلینوپیروکسن اوژیته (۰ تا ۱۰ درصد)، الیون (۰ تا ۱۰ درصد) و بیوتیت (۳- درصد) است. این گدازه آتشفشانی ترکیب تراکی آندزیت بازالتی دارد.

۴- کانه‌زایی در منطقه معدنی سوناجیل

کانی‌سازی گرمایی درون‌زاد در توده سوناجیل پورفیری به صورت افشان در متن سنگ و نیز به صورت رگچه‌ای و رگه‌ای همراه با کوارتز، کربنات و دیگر محصولات دگرسانی درون‌زاد صورت گرفته است. بیشترین حجم کانی‌سازی رگچه‌ای و افشان به همراه دگرسانی پتاسیک و تا حد کمتری فیلیک صورت گرفته (جدول ۲) است و رگه- رگچه‌های مشخصی از سولفیدها در حاشیه توده پورفیری دیده می‌شوند که این از شاخصه‌های اصلی کانسارهای مس پورفیری است (Richards, 2003). به‌طور چیره این رگه‌ها در امتداد گسل‌های پیرامون توده پورفیری سوناجیل تشکیل شده‌اند. روند عمومی این رگه‌های کانه‌دار شمال‌شمال باختر- جنوب جنوب خاور است (شکل ۶- الف). کانی‌های سولفیدی اصلی درون‌زاد در این توده شامل پیریت، کالکوپیریت و بورنیت است و مولیبدنیت نیز به مقدار جزئی در رگه- رگچه‌های حاشیه‌ای حضور دارد. این نوع کانی‌شناسی از بیشتر کانسارهای مس پورفیری گزارش شده است (Sillitoe and Perello, 2005). سولفوسالت‌های موجود در این توده عبارتند از تتراهدریت- تانتیت و انارژیت. مگنتیت و به مقدار کمی اسپیکولاریت کانی‌های اکسیدی اصلی را تشکیل می‌دهند. دیده شدن رخنمون زیادی از دگرسانی پتاسیک در سطح زمین، نشان از تأثیر فرسایش ژرف بر این کانسار دارد؛ به‌طوری که حجم زیادی از دگرسانی‌های پروپلیتیک، آرژیلیک و فیلیک فرسایش پیدا کرده‌اند و در هسته اصلی کانی‌زایی رخنمون ندارد. دگرسانی‌های پروپلیتیک و آرژیلیک بیشتر در بخش حواشی سامانه پورفیری رخنمون دارند. عیار میانگین مس در این کانسار (تا زمان انجام این مطالعه) میان ۰/۱ تا ۰/۳ درصد متغیر است؛ ولی با توجه به ادامه حفاری‌ها و همچنین لزوم تکمیل شبکه حفاری، برای تناژ این کانسار پورفیری برآورد اولیه‌ای صورت نگرفته است. هم‌اکنون نیز بخش خصوصی در حال انجام اکتشافات سطحی و حفاری در منطقه است.

بر پایه ساختار، بافت و کانی‌شناسی، رگه- رگچه‌های اصلی در منطقه سوناجیل به ترتیب رخداد، از نوع رگه A تا نوع F نام‌گذاری شده‌اند. (Gustafson and Hunt 1975) رگه- رگچه‌های موجود در کانسار مس پورفیری السالوادور شیلی را به ترتیب A، B و C نام‌گذاری کرده‌اند.

۴-۱. رگه- رگچه‌های نوع A

در کانسار مس سوناجیل، این نوع رگه‌ها درون توده پورفیری کوارتزیدوریتی و در امتداد شمال باختر- جنوب بیشترین گسترش را دارند (شکل ۶- الف). شکل نمادین این رگه، در بخش‌های مرکزی و درون خود توده نفوذی و در ارتباط با دگرسانی پتاسیک در هسته سامانه پورفیری وجود دارد و شامل کوارتز+ کالکوپیریت+ پیریت± بورنیت± مولیبدنیت± مگنتیت است (شکل ۳). بر پایه مطالعات Sillitoe (2010) این نوع پاراژنر کانیایی در رگه‌های کانسارهای پورفیری نشان‌دهنده تشکیل در شرایط دما بالای کانسار است. کالکوپیریت و پیریت فراوان‌ترین کانی‌های کدر موجود در توده میکروودوریت سوناجیل هستند که گاه تا ۴۵ درصد نمونه را تشکیل می‌دهند و به شکل‌های مختلف همچون افشان، نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل و توده‌ای، رگچه‌ای و یا جانشینی دیده می‌شوند. مولیبدنیت به مقدار به نسبت کم و به صورت پولکی و ورقه‌های خمیده و در اندازه‌های متفاوت (گاه تا ۲ میلی‌متر) دیده می‌شود و یک کانی تأخیری نسبت به پیریت و کالکوپیریت در رگه‌های نوع A، به شمار می‌رود.

۴-۲. رگه- رگچه‌های نوع B (رگه- رگچه‌های تیره)

این نوع رگه‌ها دارای مجموعه کانیایی کوارتز تیره+ پیریت+ کالکوپیریت± مگنتیت

استوک گرانیتویدی اینچه و گدازه آتشفشانی اکوزداغی هستند (شکل ۱):

آندزیت پورفیری ائوسن زیرین تا ائوسن میانی: با توجه به اینکه چینه‌های آهکی نومولیت‌دار به سن ائوسن زیرین- میانی به صورت همشیب روی این واحدها (در بیرون از محدوده) قرار می‌گیرند، می‌توان سن ائوسن زیرین را برای این سنگ‌ها در نظر گرفت. حد پایینی ائوسن در این منطقه، نهشته‌های فیلشوییدی کرتاسه بالایی- پالئوسن است و حد بالایی آن (با توجه به نبود سازند قم)، با تزریق توده پورفیری سوناجیل مشخص می‌شود (شکل ۲- الف). این واحد، سنگ درونگیر توده سوناجیل پورفیری به شمار می‌رود و دارای همبری مشخص با توده یاد شده و نیز توده نفوذی اینچه است که در محل همبری، آثار دگرگونی مجاورتی در حد رخساره آلیت- اپیدوت هورنفلس بسیار جزئی دیده می‌شود (شکل ۱- الف). این سنگ‌ها شامل تناوبی از آندزیت‌های مگاپورفیری، بازالت آندزیتی، آندزیت بازالتی، آندزیت و توف‌های گوناگون و به رنگ‌های مختلف هستند.

توده پورفیری میکروودوریت سوناجیل: این توده کهن‌ترین و اولین مرحله نفوذ در طول فعالیت ماگمایی ترشیری در منطقه است و مساحت رخنمون این توده پورفیری حدود ۱۲ کیلومتر برآورد می‌شود. این توده دارای همبری مشخص با سنگ‌های آتشفشانی- آذرآواری ائوسن است (شکل ۱- الف). همچنین توده نفوذی اینچه در زمان الیگوسن به درون واحدهای ائوسن نفوذ کرده است و دایک‌های منشعب از توده اینچه را نیز می‌توان در بخش‌های مختلف درون توده پورفیری دید (شکل ۲- ب). ترکیب این توده در حد میکروودوریت پورفیری بوده و دچار دگرسانی‌هایی همچون فیلیک، آرژیلیک و به مقدار کم پتاسیک شده است و کانی‌زایی مس به صورت رگه- رگچه‌ای و افشان در آن به فراوانی دیده می‌شود. این نوع دگرسانی‌ها و این نوع کانی‌زایی از شاخصه‌های اصلی یک کانسار نمادین پورفیری است (Sillitoe, 2010; Richards, 2011؛ شکل ۲- پ). از دید ماکروسکوپی این واحد بافت پورفیری و استوک‌ورک دارد و به رنگ‌های خاکستری روشن تا تیره و در مواردی که دچار دگرسانی آرژیلیک شده‌اند، به رنگ زرد و سفید دیده می‌شود (شکل ۲- پ). پلاژیوکلاز (۴۰ تا ۶۵ درصد) به صورت درشت‌بلور (تا ۴/۲ میلی‌متر) و میکروولیت به فراوانی در زمینه سنگ حضور دارد (شکل ۲- ت). این کانی به‌طور کامل یا بخشی به فلدسپار قلیایی، سریسیت، تورمالین، کلسیت و کانی‌های رسی تجزیه شده است. آمفیبول و کلینوپیروکسن اوژیته (۰ تا ۲۰ درصد)، مهم‌ترین کانی‌های فرومینزین در این سنگ هستند و در برخی از نمونه‌ها تا حدی حفظ شده‌اند، ولی در بیشتر موارد تبدیل‌شدگی زیادی به کلریت، کلسیت و اپیدوت نشان می‌دهند. گرچه به دلیل دگرسانی شدید این استوک، تجزیه مودال نمونه‌ها بر پایه مقادیر کانی‌های اصلی سنگ‌ساز میسر نیست، ولی بر پایه بخش‌های بازمانده کانی‌های اصلی می‌توان ترکیب میکروودوریتی تا کوارتز میکروودوریتی را برای آن در نظر گرفت.

استوک گرانیتویدی اینچه: به‌طور کلی، این توده دارای بافت گرانولار پورفیری (در حاشیه) و به‌صورت استوک‌های مشخص با ابعاد مختلف به درون توده پورفیری نفوذ کرده است و نیز به دلیل داشتن مقاومت فرسایشی بالا، دایک‌های مربوط به این توده را می‌توان به‌صورت برجسته و مشخص درون توده سوناجیل پورفیری دید (شکل ۲- ب).

گدازه آتشفشانی اکوزداغی: این گدازه از جمله نمونه‌های آشکار فوران‌های نقطه‌ای در منطقه هریس به شمار می‌رود. با توجه به اینکه توده پورفیری سوناجیل تقریباً در دورتادور قله اکوزداغی دیده می‌شود، می‌توان تصور کرد که فوران این گدازه تقریباً از مرکز سامانه پورفیری سوناجیل صورت گرفته باشد (شکل ۱). این سنگ‌ها از دید میکروسکوپی دارای بافت‌های هیالومیکروولیتیک پورفیری تا سرئیتی، هیالومیکروولیتی، میکروولیتی فلسیتیک، اینترگرانولار و گلوبومروپورفیریک با خمیره‌ای میکروولیتی و شیشه‌ای هستند و کانی‌های موجود در آنها شامل پلاژیوکلاز (۵۰ تا

۵- مطالعات میانبارهای سیال

به منظور شناخت ماهیت فیزیکوشیمیایی سیال کانه ساز و بررسی روند تغییرات شیمیایی و دمایی سیال (یا سیال‌ها) کانه ساز، از رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی نوع B، A و D گمانه‌های اکتشافی BHS14 و BHS07، تعداد ۱۰ مقطع دوبرصقل (۴: A: مقطع؛ ۳: B: مقطع؛ ۳: C: مقطع) برای مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال تهیه شد (شکل ۶-ب).

ریخت‌شناسی و مشخصات میانبارهای سیال در دمای اتاق با استفاده از معیارهای (Roedder (1984) و Shepherd et al. (1985) ثبت شد. همچنین نسبت‌های فاز بخار/ سیال، با استفاده از جدول استاندارد پیشنهادی (Shepherd et al. (1985) ارزیابی شد. میانبارهای سیال بر پایه چگونگی رخداد آنها در کانی میزبان، ارتباط آنها با یکدیگر و نوع سیال‌ها و بر پایه رده‌بندی (Wilkinson (2001) دسته‌بندی شدند.

۵-۱. سنگ‌نگاری میانبارهای سیال

از دید شکل ظاهری، میانبارهای سیال در رگه- رگچه‌های کوارتز- سولفیدی را با توجه به متغیرهای (Roedder (1984) و Shepherd et al. (1985) می‌توان به ترتیب فراوانی به صورت اشکال نامنظم، کشیده و کروی تقسیم‌بندی کرد. میانبارهای سیال در نمونه‌های کوارتزی مطالعه شده در ۳ نوع دیده شده‌اند (شکل ۷): الف) میانبارهای سیال نوع I (تک‌فازی)؛ ب) میانبارهای سیال نوع II (دوفازی L+V)؛ ج) میانبارهای سیال نوع III (سه‌فازی یا چند فازی + CO₂ + Solid L+V).
- میانبارهای سیال نوع I (تک‌فازی): این نوع، شامل میانبارهای سیال تک‌فازی غنی از CO₂ (نوع Ib) یا H₂O (نوع Ia) است که فراوانی زیادی در نمونه‌های مورد مطالعه دارند. به‌طور کلی، میانبارهای سیال نوع Ia و Ib با شکل‌های بیضوی یا نامنظم به‌صورت منفرد درون کانی میزبان کوارتز یا سطوح رشد بلورهای آن دیده می‌شوند. اندازه میانبارهای سیال نوع I به‌طور میانگین میان ۲ تا ۸ میکرون متغیر است (شکل ۷). تشکیل این میانبارهای سیال در پهنه‌های رشد بلورهای کوارتز می‌تواند نشان‌دهنده منشأ اولیه تشکیل آنها باشد (Wilkinson, 2001; Graupner et al., 2000). درجه پرشدگی این نوع میانبارها از ۰/۰۷ تا ۰/۵۹ متغیر است.

- میانبارهای سیال نوع II (دوفازی L+V): این میانبارها شامل میانبارهای سیال دوفازی L+V با درجه پرشدگی میان ۰/۳۵ تا ۰/۶۰ هستند که بر پایه نوع فاز چیره به دو دسته IIa و IIb تقسیم‌بندی می‌شوند. میانبارهای سیال نوع IIa از نوع غنی از مایع و میانبارهای سیال نوع IIb از نوع غنی از بخار هستند (شکل ۷). اندازه این میانبارهای سیال عموماً کمتر از ۱۲ میکرون است. دمای همگن‌شدگی میانبارهای سیال نوع دوفازی غنی از مایع (IIa) میان ۱۸۰/۵ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد و درصد شوری میان ۰/۷ تا ۱۵/۱۷ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۱ و شکل‌های ۸ و ۹). در میانبارهای سیال دوفازی غنی از بخار (IIb) دمای همگن‌شدگی به فاز بخار میان ۲۵۰ تا ۳۹۵ درجه سانتی‌گراد است (شکل ۸-ب).

- میانبارهای سیال نوع III (چندفازی): این میانبارها در واقع میانبارهای چندفازی غنی از نمک (شکل ۷) و شامل حباب بخار، مایع شور و فاز نمک هستند (شکل ۷). در نمونه‌های مطالعه شده، فاز جامد از نوع هالیت و احتمالاً سیلیت به شکل مکعبی و بیضوی است (شکل‌های ۷- الف و ب). کانی‌های به دام افتاده (احتمالاً کالکوپیریت و یا هماتیت) نیز در برخی نمونه‌ها دیده شده است. این کانی‌ها، به‌طور میانگین ۵ درصد حجم میانبارهای سیال نوع III را تشکیل می‌دهند. در مورد این دسته از میانبارهای سیال، دو دمای همگن‌شدگی خوانش شده است: ۱) در میانبارهایی که در آنها اندازه هالیت کوچک‌تر از اندازه بخار بود (Solid < Vapor)، در طی گرم کردن اول هالیت ناپدید (دمای همگن‌شدگی هالیت) و در پایان میانبار به فاز بخار همگن می‌شد (دمای همگن‌شدگی بخار)؛ بنابراین در این نوع میانبارهای سیال دمای همگن‌شدگی پایانی که به فاز بخار همگن شده است میان

± کلسیت (شکل‌های ۳ و ۴) و به رگه‌های تیره معروف هستند. ستبرای رگچه‌ها از چند میلی‌متر تا ۳ سانتی‌متر است. مطالعات سنگ‌نگاری میانبارهای سیال نشان‌دهنده فراوان بودن میزان سیال‌های غنی از بخار در این نوع رگه‌هاست که بر پایه (Sillitoe (2000) همین عامل می‌تواند علت اصلی تیرگی این نوع رگه‌ها باشد. پیریت و کالکوپیریت فراوان‌ترین کانی‌های سولفیدی این رگه‌ها به شمار می‌روند و نسبت به رگه‌های نوع A تأخیری هستند. این رگه‌ها نیز همانند رگه‌های نوع A در ارتباط با دگرسانی پتاسیک توده پورفیری سوناجیل و در روند گسل‌های شمال باختر- جنوب خاور تشکیل شده‌اند (شکل ۶- الف).

۴-۳. رگه- رگچه‌های نوع C (رگه- رگچه‌های اکسیدی)

این نوع رگه‌ها به رگه‌های اکسیدی معروف و دارای مجموعه کانی‌شناسی کوارتز + مگنتیت ± اسپیکولاریت ± کالکوپیریت هستند. رگه‌های نوع C، انواع B را قطع کرده‌اند و خود توسط رگه‌های D و E قطع می‌شوند (شکل‌های ۳ و ۵). وجود بلورهای سوزنی اسپیکولاریت حتی در نمونه‌های دستی سبب تمایز آسان این نوع رگه‌ها از دیگر رگه‌های کانسار سوناجیل می‌شود (شکل‌های ۴-ت). کالکوپیریت به مقدار بسیار کم در این رگه‌ها دیده می‌شود. این نوع رگه‌ها در پهنه‌های دگرسانی پتاسیک و فلیک تمرکز دارند.

۴-۴. رگه- رگچه‌های نوع D (رگه- رگچه‌های سولفوسالتی)

این نوع رگه- رگچه‌ها، بیشترین تمرکز را در حاشیه توده میکرودیوریت پورفیری سوناجیل دارند و محدود به پهنه دگرسانی فلیک این کانسار هستند. این نوع رگه- رگچه‌ها به دلیل داشتن پارائز کانیایی کوارتز + کالکوپیریت + بورنیت + تتراهدردیت + تانتیت + انارژیت + مولیبدنیت ± پیریت به رگه- رگچه‌های سولفوسالتی معروف هستند (شکل‌های ۴- پ و ۵- پ و جدول ۲). این رگچه‌ها پرعیارترین نوع رگه‌های کانسار سوناجیل به شمار می‌روند و توسط رگچه‌های نوع A، B و C قطع شده‌اند.

مطالعات ماکروسکوپی نشان‌دهنده بالا بودن میزان مولیبدنیت در این رگه‌هاست؛ به‌طوری که به‌صورت پولک‌های ریز حتی در نمونه دستی نیز نمایان هستند. بر پایه (Gustafson and Hunt (1975)، در کانسار السالوادور شیلی این سامانه رگه با حضور مولیبدن، کوارتز دانه درشت و نداشتن فلدسپار پتاسیم و کانی‌های دگرسانی هیدرولیتیکی درون و حاشیه رگه شناخته می‌شود. در کانسار سوناجیل می‌توان این سامانه رگه را به عنوان عامل اصلی بارورشدگی منطقه معدنی از دید عنصر مولیبدن و سولفوسالت‌ها در نظر گرفت. رگه‌های سولفوسالتی معمولاً در شرایط دمایی تری نسبت به رگه‌های A و B تشکیل می‌شوند (Sillitoe and Perello, 2005).

۴-۵. رگه- رگچه‌های نوع E

این سامانه رگه به‌طور چیره از کوارتز + پیریت ± کلسیت تشکیل شده است. رگه- رگچه‌های نوع E بیشترین گسترش را در پهنه دگرسانی فلیک و درون توده میکرودیوریت دگرسان شده نشان می‌دهد. این سامانه رگچه‌ها از دید کانی‌زایی قابل توجه نیست و مربوط به مراحل پایانی فعالیت سیال گرمایی است (شکل‌های ۴ و ۵).

۴-۶. رگه- رگچه‌های نوع F (رگه- رگچه‌های تأخیری)

این سامانه که به رگه- رگچه‌های تأخیری نیز معروف است بیشتر شامل کلسیت و کوارتز بدون کانی سولفیدی است (جدول ۱). این نوع رگه- رگچه‌ها کل سامانه رگه‌های پیشین را قطع می‌کنند و به‌طور کلی در همه پهنه‌های دگرسانی گسترده شده‌اند (شکل‌های ۴ و ۵). این نوع رگه- رگچه‌ها توسط حسینی و همکاران (۱۳۹۰) از کانسار مس تخت گنبد نیز گزارش شده است. رگه- رگچه‌های تأخیری یکی از شواهد پایان فعالیت‌های گرمایی در مناطقی با سامانه‌های پورفیری است (Richards, 2011; Sillitoe, 2010).

به‌صورت سامانه رگه- رگچه‌ای نمود یافته‌اند. میزان و نوع کانه‌زایی موجود در این رگه‌ها، تفکیک شده است و نتایج به دست آمده نشانگر تطابق ترکیبی، کانی‌شناسی و ویژگی‌های سیال کانه‌دار این کانسار با کانسارهای مس پورفیری است. با توجه به تفکیک رگه‌ها و سامانه کانی‌زایی در کانسار سوناجیل می‌توان گفت که تشکیل مس به‌طور کلی در دو مرحله (دو پالس) صورت گرفته است و فازهای اصلی کانی‌زایی را در منطقه سوناجیل شامل می‌شوند؛ این دو مرحله به‌صورت رگه‌های نوع A و رگه‌های نوع D در منطقه بروزند دارد. مطالعات میانبارهای سیال روی این نوع رگه‌ها نشان می‌دهد که رگه‌های نوع A دما بالاتر و شورتر از رگه‌های نوع D هستند (جدول ۱)؛ همچنین بیشتر حجم میانبارهای رگه‌های نوع D از نوع دوفازی است. این مطالعات کاملاً با مطالعات صحرایی انطباق خوبی دارد؛ به‌طوری که میانبارهای سیال نوع A بیشتر در هسته سامانه پورفیری و در دگرسانی پتاسیک گسترش بیشتری دارند؛ در حالی که رگه‌های نوع D در حواشی سامانه پورفیری سوناجیل تشکیل شده و بنابراین در شرایط دمایی تری نسبت به رگه‌های نوع A به وجود آمده‌اند. تفکیک رگه‌های کانه‌دار از رگه‌های بدون کانه، نشان‌دهنده بارور یا کانه‌دار بودن رگه‌های A، B و D، نیمه‌بارور بودن رگه‌های نوع C و غیر کانه‌دار بودن رگه‌های E و F در کانسار سوناجیل است و این رگه‌ها، رگه‌های تأخیری کانسار سوناجیل و نشان‌دهنده مراحل آخر تزریق سیال‌ها از سامانه پورفیری یاد شده هستند.

مطالعات میانبارهای سیال در کانسار سوناجیل نشان‌دهنده وجود فازهای مختلف در کنار هم است. به‌طوری تک‌فازهای غنی از مایع و بخار در کنار چندفازی‌ها دیده می‌شود و این نشان‌دهنده فرایند جوشش در سامانه پورفیری یاد شده است که سبب جدایش سیال‌های با شوری بالا و سیال‌های با شوری پایین شده است. همچنین حضور میانبارهای سیال دما بالا در کنار میانبارهای سیال دما پایین در سامانه رگه‌های کوارتز- سولفیدی، یکی دیگر از شواهد جوشش است. افزون بر این موارد، وجود شوری بالای ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام نیز نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش در کانسار سوناجیل است.

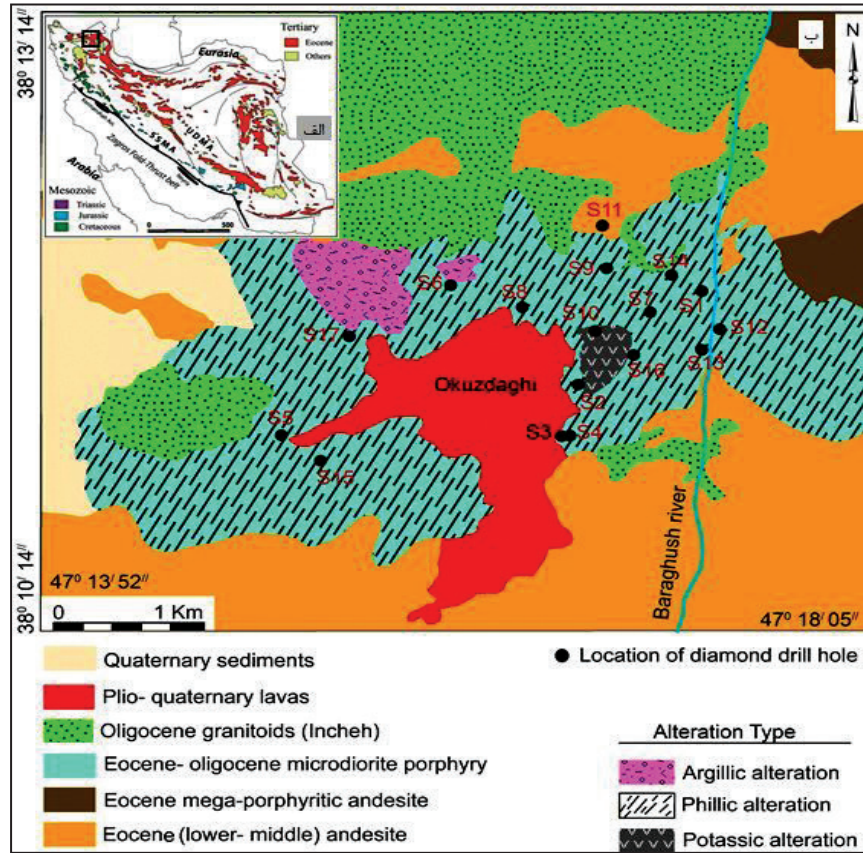
گفتنی است که از دید اقتصادی و اکتشافی، گسترش توده‌های نفوذی پورفیری در کمان ماگمایی ارسباران و رخداد کانه‌زایی‌های مس- مولیبدن پورفیری در آن، برنامه‌ریزی برای اکتشاف ذخایر جدید از این نوع کانسارها را در این پهنه و نیز در دیگر محیط‌های زمین‌شناسی مشابه ارسباران مورد تأکید قرار می‌دهد.

۴۸۵ تا ۳۲۵ درجه سانتی‌گراد و شوری اینها نیز میان ۳۵/۳ تا ۴۶/۴ معادل وزنی نمک طعام به دست آمده است؛ ۲) در میانبارهایی که فاز جامد خیلی بزرگ‌تر از فاز بخار بود (Solid > Vapor) اول فاز بخار ناپدید و میانبار به فاز جامد همگن می‌شد. بنابراین در این نوع میانبارهای سیال دمای همگن‌شدگی پایانی که به فاز جامد همگن شده است میان ۳۷۸ تا ۵۶۵ درجه سانتی‌گراد و شوری اینها نیز میان ۴۵/۳ تا ۶۹ به دست آمده است (شکل‌های ۹- ب و پ).

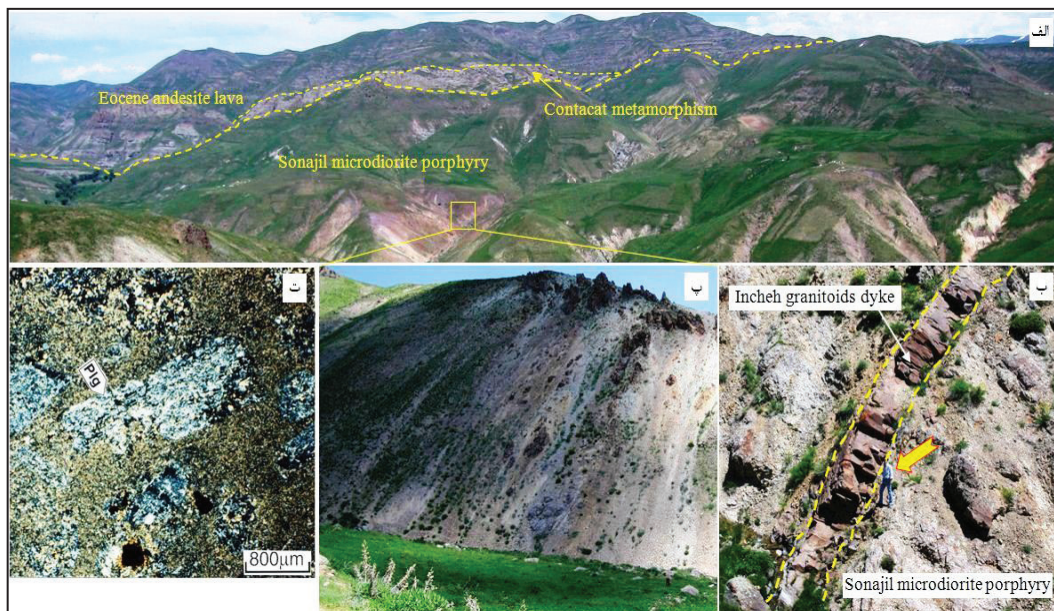
وجود میانبارهای سیال غنی از بخار که در یک محدوده دمایی یکسان با میانبارهای سیال غنی از مایع، به حالت بخار همگن شوند و همچنین در کنار هم قرار گرفتن میانبارهای سیال تک‌فازی مایع و تک‌فازی بخار به همراه میانبارهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار، نشان‌دهنده فرایند جوشش است (Shepherd et al., 1985) که چنین میانبارهای سیالی در کانسار سوناجیل به‌ویژه در رگه- رگچه‌های نوع A و B دیده شده است. افزون بر موارد گفته شده برای تأیید فرایند جوشش، باید از نمودارهای شوری در برابر دمای همگن‌شدگی و در میانبارهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار باید از نمودار TsHalite در برابر TH(L-V) استفاده شود (Shepherd et al., 1985). اگر در نمودار TsHalite در برابر TH(L-V) مقادیر اندازه‌گیری شده در نزدیکی خط میانه قرار بگیرد، یعنی $TsHalite = TH(L-V)$ است که این خود نشان‌دهنده فرایند جوشش در سامانه کانه‌زایی است؛ بنابراین با توجه به شکل ۸- الف، بیشتر میانبارهای سیال سه‌فازی کانسار سوناجیل در نزدیکی خط میانه قرار می‌گیرند و این نشان‌دهنده رخداد فرایند جوشش است. همچنین با توجه به شکل ۹- الف، وجود ۲ مجموعه میانبارهای سیال با شوری بالا (بالای ۴۰ درصد وزنی معادل نمک طعام) و شوری پایین در یک سیال کانسار ساز نشان‌دهنده فرایند جوشش در سامانه گرمایی مولد کانی‌زایی است.

۸- نتیجه‌گیری

در کانسار سوناجیل، تشکیل و تکامل سامانه کانه‌زایی و دگرسانی در ارتباط با مراحل مختلف سرد شدن توده میکرودیوریت پورفیری، بیرون آمدن سیال‌ها از آن (سیال با منشأ ماگمایی)، ورود آب‌های با منشأهای گوناگون مانند آب‌های جوی به درون سامانه و همچنین تزریق پالس‌های ماگمای آب‌دار و بارور است که به‌صورت سامانه‌های مختلف رگه- رگچه‌ای آشکار می‌شود. این پالس‌های مولد کانی‌زایی

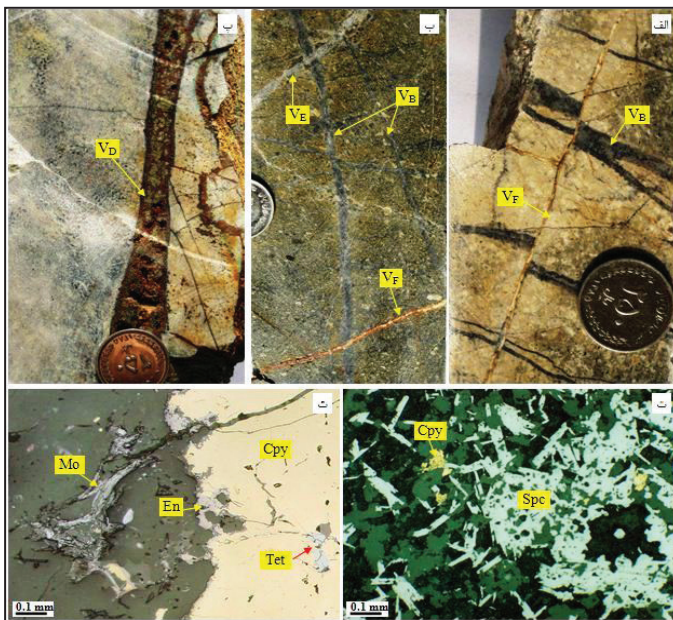
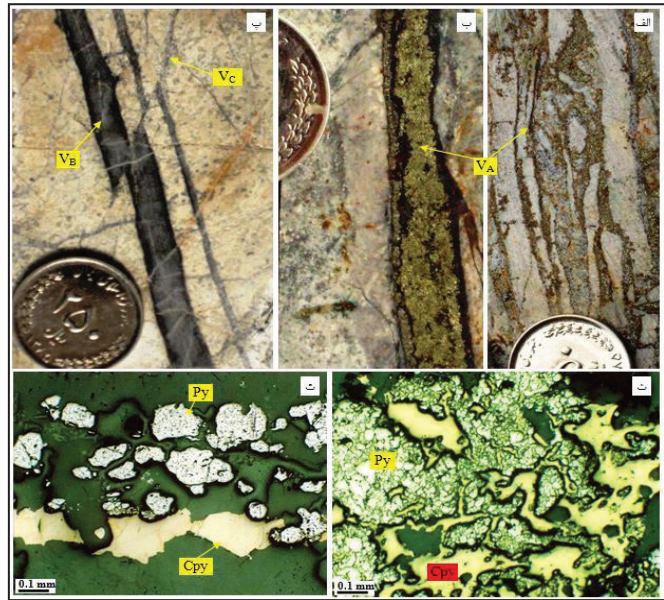


شکل ۱- الف) نقشه زمین شناسی - ساختاری ایران (Agard et al., 2011) و موقعیت منطقه مورد مطالعه که با نشانه کادر روی پهنه ماگمایی ارومیه- دختر (UDMA) نشان داده شده است؛ ب) نقشه زمین شناسی منطقه معدنی سوناجیل و رخداد کانی زایی مس در واحد میکرودیوریت پورفیری (حسین زاده، ۱۳۸۷).



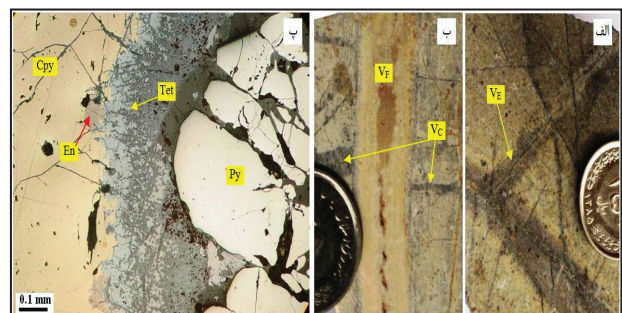
شکل ۲- الف) نفوذ توده میکرودیوریت پورفیری سوناجیل به درون واحدهای گدازه ای انوسن، با حاشیه دگرگون شده؛ ب) نفوذ دایک هایی از توده گرانیتویدی اینچه به درون توده پورفیری سوناجیل، پ) تصویر بزرگ شده از توده پورفیری سوناجیل که به شدت دگرسان شده است؛ ت) تصویر میکروسکوپی از توده پورفیری سوناجیل، که تحت تأثیر سرسیتی شدن قرار گرفته است (Plg: پلاژیوکلاز).

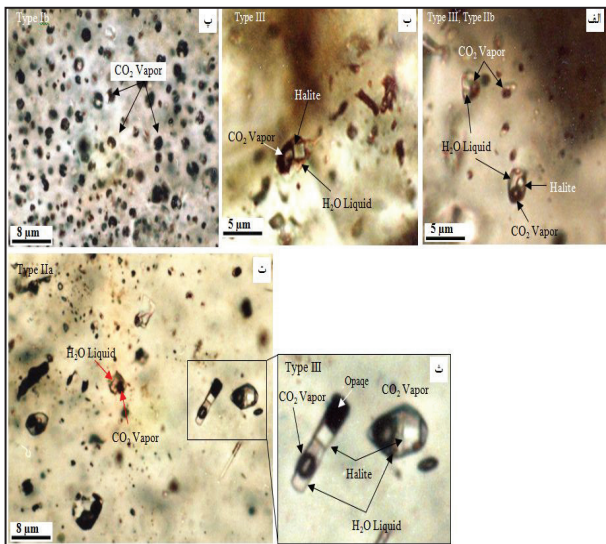
شکل ۳- الف و ب) نمونه دستی از رگه‌های نوع A با کانی‌شناسی کوارتز + کالکوپیریت + پیریت + بورنیت ± مولیبدنیت ± مگنتیت؛ پ) نمونه دستی از رگه‌های نوع B با کانی‌شناسی کوارتز تیره + پیریت ± کالکوپیریت ± مگنتیت ± کلسیت که توسط رگه‌های نوع C دارای کوارتز + مگنتیت ± اسپیکولاریت ± کالکوپیریت قطع شده است؛ ت) تصویر میکروسکوپی از رگه‌های نوع A که به‌طور چیره از کالکوپیریت (Cpy) و پیریت (Py) تشکیل شده‌اند؛ ث) تصویر میکروسکوپی از رگه‌های نوع B دارای پیریت (Py) و به مقدار کم کالکوپیریت (Cpy).



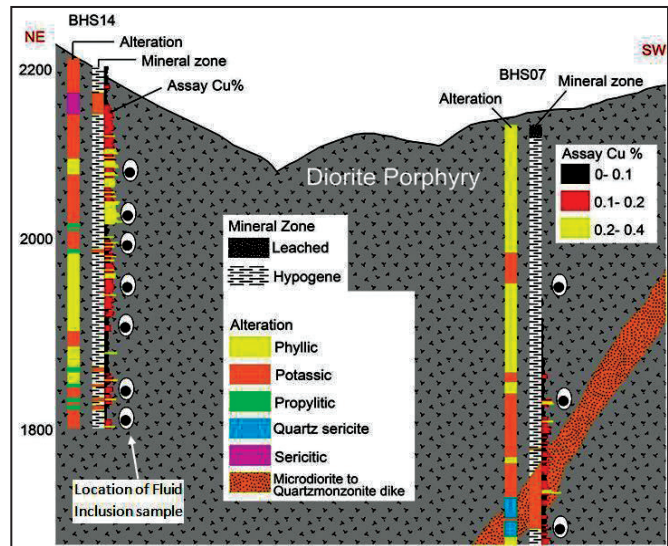
شکل ۴- الف) نمونه دستی از رگه‌های نوع B که توسط رگه‌های نوع F قطع شده است؛ ب) تصویر نمونه دستی از رگه‌های نوع B که توسط رگه‌های نوع E و F قطع شده است؛ پ) تصویر نمونه دستی از رگه‌های نوع D که به رگه‌های غنی از سولفوسالت معروف هستند؛ ت) تصویر میکروسکوپی از رگه‌های نوع C که به‌طور چیره از اسپیکولاریت (Spc) و کالکوپیریت (Cpy) تشکیل شده‌اند؛ ث) تصویر میکروسکوپی از رگه‌های نوع D با کانی‌شناسی تنانتیت (Tet)، انارژیت (En)، کالکوپیریت (Cpy) و مولیبدنیت (Mo).

شکل ۵- الف) نمونه دستی از رگه‌های نوع E با کانی‌شناسی کوارتز + پیریت ± کلسیت؛ ب) قطع‌شدگی رگه‌های نوع C توسط رگه‌های نوع F که به رگه‌های نابارور معروف هستند؛ پ) تصویر میکروسکوپی از رگه‌های نوع D با کانی‌شناسی پیریت (Py)، تنانتیت (Tet)، انارژیت (En) و کالکوپیریت (Cpy).

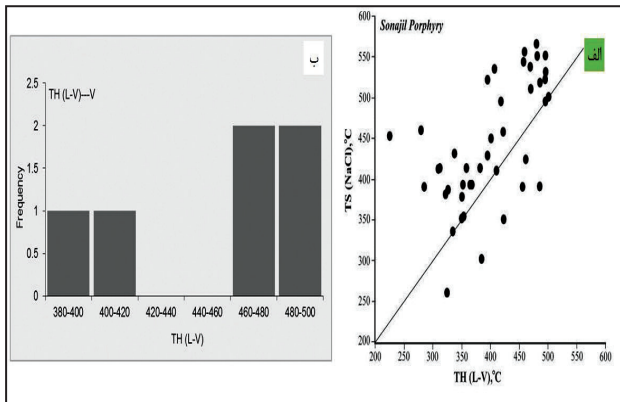




شکل ۷- تصاویر میانبرهای سیال از رگه- رگچه‌های کانهدار کانسار سوناجیل. الف) میانبر سیال نوع III شامل فازهای I-V - فاز جامد؛ ب) تصویری دیگر از میانبر سیال نوع III؛ پ) میانبر سیال تک‌فازی غنی از بخار یا نوع IIb؛ ت) میانبر سیال دوفازی IIa غنی از مایع؛ ث) میانبرهای سیال نوع III دارای فاز جامد، فاز بخار، فاز مایع و کانی کدر.



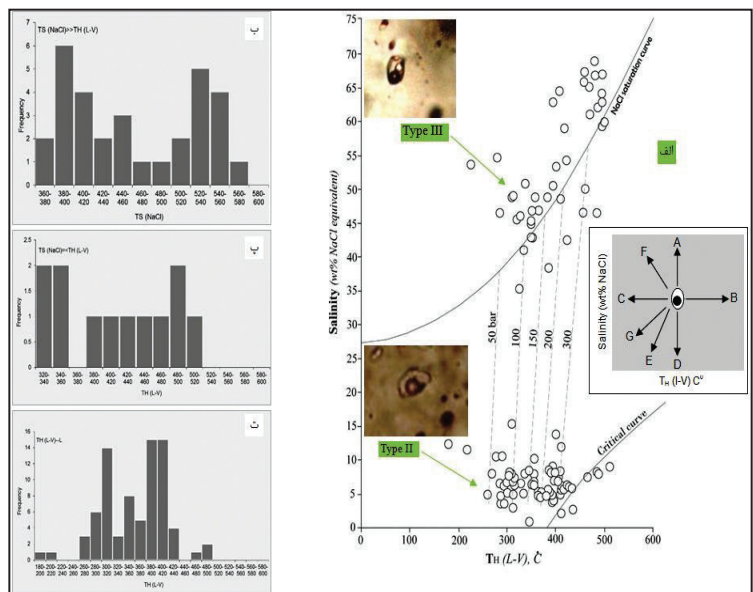
شکل ۶- الف) نمودار گل‌سرخ‌ی رگه‌های اصلی کانهدار در کانسار پورفیبری سوناجیل؛ روند کلی رگه‌ها به صورت شمال شمال باختر- جنوب جنوب خاور است؛ ب) نیم‌رخ زمین‌شناسی روی توده میکرودیوریت پورفیبری میزبان کانی‌زایی در جهت شمال خاور- جنوب باختر بر پایه گمانه‌های BSH07 و BSH14، که روی آن پهنه‌های کانی‌زایی، دگرسانی و تغییرات عیار مس به همراه محل نمونه‌برداری میانبرهای سیال مشخص شده است (حسین زاده، ۱۳۸۷).



شکل ۸- الف) موقعیت میانبرهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار در نمودار در برابر TS (NaCl)؛ نمونه‌هایی که در نزدیکی خط میانه قرار می‌گیرند نشان‌دهنده فرایند جوشش هستند (Shepherd et al., 1985; Wilkinson, 2001). ب) تغییرات دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال دوفازی غنی از بخار که به فاز بخار همگن شده است.

شکل ۹- الف) نمودار شوری در برابر دمای همگن‌شدگی و جدایش میانبرهای سیال دوفازی غنی از بخار و مایع از میانبرهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار که نشان‌دهنده فرایند جوشش و آمیختگی با آب‌های جوی دما پایین و شوری پایین است (نمودار از Shepherd et al. (1985) و Wilkinson (2001)؛ ب) تغییرات دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار که به فاز هالیت همگن شده‌اند؛ پ) تغییرات دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال سه‌فازی هالیت‌دار که به فاز بخار همگن شده‌اند؛ ت) تغییرات دمای همگن‌شدگی میانبرهای سیال دوفازی غنی از مایع که به فاز مایع همگن شده‌اند.

A-D: Isothermal mixing; B: Heating; C: Cooling; E: Surface fluid dilution; G: Boiling (low salinity, CO₂-bearing); F: Boiling)



جدول ۱- نتایج تجزیه‌های دماسنجی و تعیین شوری در میانبارهای سیال نمونه‌های منطقه معدنی سوناجیل.

No.	Phases	T _(FM)	T _(LM)	T _{H(L-V)}	T _{S(NaCl)}	T _H	Wt% NaCl	Vein	
1	L+V+S(S>V)			482	550	550	66.8	A	
2	L+V+S(S>V)			458	543	543	65.8		
3	L+V	-54	-5	490		490	7.86		
4	L+V	-51	-3	510		510	4.96		
5	L+V	-24.3	-4.8	303		303	7.59		
6	L+V	-24.5	-3.2	364		364	5.26		
7	L+V+S(S>V)			495	523	523	62.9		
8	L+V+S(S>V)			486	518	518	62		
9	L+V	-21.2	-2	288		288	3.39	B	
10	L+V	-21	-4	315		315	6.45		
11	L+V	-24	-5.2	484		484	8.14		
12	L+V	-27	-4.6	466		466	7.31		
13	L+V+S(S>V)			322	381	381	45.5		
14	L+V+S(S>V)			352	393	393	46.7		
15	L+V	-21.3	-1.7	312.5		312.5	2.9		
16	L+V	-23.2	-1.1	415		415	1.91		
17	L+V	-23.7	-2.1	296		296	3.55		
18	L+V+S(S>V)			359	412	412	48.8	A	
19	L+V	-21.9	-3.1	558		558	5.11		
20	L+V	-25.3	-2.3	498		498	3.87		
21	L+V			475		475	V		
22	L+V			463		463	V		
23	L+V+S			353	353	353	42.7		
24	L+V+S(S<V)			485	390	485	46.4		
25	L+V+S(S>V)			225	452	452	53.5		
26	L+V+S(S>V)			280	461	461	54.6		
27	L+V	-23.5	-5.3	385.5		385.5	8.28	D	
28	L+V	-21.5	-3.4	412		412	5.56		
29	L+V	-23.2	-6.7	356.7		356.7	10.11		
30	L+V	-22	-3.4	384		384	5.56		
31	L+V	-25.8	-5.2	305		305	8.14		
32	L+V	-24.8	-5	336		336	7.86		
33	L+V+S			501	501	501	59.9		A
34	L+V+S			495	495	495	59.2		

ادامه جدول ۱

No.	Phases	T _(FM)	T _(LM)	T _{H(L-V)}	T _S (NaCl)	T _H	Wt% NaCl	Vein
35	L+V	-21.5	-0.5	498		498	0.71	D
36	L+V	-24.2	5.8	511		511	8.95	
37	L+V	-24.2	-5.8	395		395	8.95	
38	L+V	-22.2	-3.4	415		415	5.56	
39	L+V+S(S>V)			401	449	449	53.2	
40	L+V+S(S>V)			422	458	458	54.1	
41	L+V	-22	-3.1	301		301	5.11	
42	L+V	-21.2	-3	335		335	4.96	
43	L+V	-20.9	-3.7	295		295	6.01	
44	L+V	-21.7	-2.9	312		312	4.8	
45	L+V	-23.3	-11.2	310		310	15.17	
46	L+V	-21.7	-2.7	369		369	4.49	
47	L+V	-20.5	-2.9	260		260	4.8	
48	L+V	-21	-4.2	312		312	6.74	
49	L+V	-54	-8.5	180.5		180.5	12.28	B
50	L+V	-51	-7.9	218		218	11.58	
51	L+V+S(S>V)			470.8	510	510	61.1	
52	L+V+S(S>V)			495	531	531	64	
53	L+V+S(S<V)			325	260	325	35.3	
54	L+V+S(S>V)			395	522	522	62.8	
55	L+V	-47.5	-5	355		355	7.86	
56	L+V	-39.3	-5.2	398		398	8.14	
57	L+V	-42.5	-9.2	401		401	13.7	
58	L+V	-45.2	-8.1	412		412	11.81	
59	L+V+S			350.6	350.6	350.6	42.8	
60	L+V+S			335	335	335	41	
61	L+V+S(S<V)			385.5	300.9	385.5	38.3	
62	L+V+S			410	410	410	48.5	
63	L+V	-24.5	-4.1	300.3		300.3	6.59	D
64	L+V	-23.8	-3.9	351		351	6.3	
65	L+V	-20.2	-5.4	390.3		390.3	8.41	
66	L+V	-21.3	-3.8	412.8		412.8	6.16	
67	L+V	-34.1	-7	277.3		277.3	10.49	
68	L+V	-22	-4.3	402		402	6.88	

ادامه جدول ۱

No.	Phases	T _(FM)	T _(LM)	T _{H(L-V)}	T _{S(NaCl)}	T _H	Wt% NaCl	
69	L+V+S(S>V)			350.2	378	378	45.3	A
70	L+V+S(S>V)			365	392	392	46.7	
71	L+V	-37	-5	268		268	7.86	
72	L+V	-34	-4	285		285	6.45	
73	L+V			483.4		483.4	V	
74	L+V			495		495	V	
75	L+V	-22.4	-4.1	355		355	6.59	
76	L+V	-23.1	-2.8	365		365	4.65	
77	L+V	-36	-5.1	392		392	8	
78	L+V	-35	-4.7	408		408	7.45	
79	L+V+S(S>V)			460	556	556	67.2	
80	L+V+S(S>V)			480	565	565	69	
81	L+V+S(S>V)			407.1	535	535	64.5	
82	L+V+S(S>V)			418	495	495	59	
83	L+V	-21.4	-3.7	428		428	6.01	D
84	L+V	-21.6	-2.2	395		395	3.71	
85	L+V			395		395	V	
86	L+V			415		415	V	
87	L+V	-24	-5.3	410		410	8.28	
88	L+V	-22.8	-3.8	425		425	6.16	
89	L+V	-27	-2.9	393		393	4.8	
90	L+V	-25	-3.4	410		410	5.56	
91	L+V+S(S>V)			312	412.6	412.6	48.9	
92	L+V+S(S<V)			461.8	423.2	461.8	50	
93	L+V	-22.4	-4.7	315		315	7.45	
94	L+V	-25	-3.8	356		356	6.16	
95	L+V	-24.5	-4.2	565		565	6.74	
96	L+V	-22.2	-2.8	512		512	4.65	
97	L+V	-25	-5.1	310		310	8	
98	L+V	-24.9	-4.1	308		308	6.59	B
99	L+V	-20.1	-3.1	371		371	5.11	
100	L+V	-20.4	-5.4	396.5		396.5	8.41	
101	L+V	-21.3	-3.2	413		413	5.26	
102	L+V	-21.7	-1.2	412.5		412.5	2.07	
103	L+V	-21.5	-1.5	435		435	2.57	
104	L+V	-34.1	-7	291		291	10.49	
105	L+V	-30	-5.3	346		346	8.28	
106	L+V+S(S>V)			327	386	386	46	
107	L+V+S(S>V)			338	430	430	50.8	
108	L+V	-24.9	-4.1	300.9		300.9	6.59	

ادامه جدول ۱

109	L+V	-23.3	-4	328		328	6.45	A
110	L+V+S(S>V)			350.2	378	378	45	
111	L+V+S(S>V)			368	392	392	46.7	
112	L+V	-22.9	-2.9	410		410	4.8	
113	L+V	-21.3	-3.4	419		419	5.56	
114	L+V	-27.5	-5	400.3		400.3	7.86	
115	L+V	-24.5	-3.5	435		435	5.71	
116	L+V+S(S>V)			383	412	412	48.8	
117	L+V+S(S>V)			395	428	428	50.4	
118	L+V+S(S<V)			423	350	423	42.4	
119	L+V+S(S<V)			456	390	456	46.4	
120	L+V	-24.2	-3.8	356		356	6.16	B
121	L+V	-22	-2.8	288		288	4.65	
122	L+V	-21.9	-3.9	315		315	6.3	
123	L+V+S(S>V)			469	538	538	65.1	
124	L+V+S(S>V)			495	552	552	67	

جدول ۲- مراحل تشکیل و توالی پاراژنزی کانه‌ها و کانی‌ها در کانسار پورفیری سوناجیل.

Minerals/ Alterations	Mineralization								
	Hypogene						Supergene		
	Vein- Veinlets A	Vein- Veinlets B	Vein- Veinlets C	Vein- Veinlets D	Vein- Veinlets E	Vein- Veinlets F	Sulphides	Oxides	
Minerals	Quartz	—————							
	Calcite		—————			—————			
	Pyrite	—————				—————			
	Chalcopyrite	—————			—————				
	Bornite	—————			—————				
	Molybdenite	—————			—————				
	Tenantite- Tenantite				—————				
	Enargite				—————				
	Magnetite	—————		—————					
	Spicularite			—————					
	Chalcocite						—————		
	Covelite						—————		
	Malachite							—————	
	Azurite							—————	
Alt	Potassic	—————							
	Phyllic		—————						

کتابنگاری

- حسین‌زاده، ق.، ۱۳۸۷ - مطالعات زمین‌شناسی، ژئوشیمی، میانبارهای سیال، کانی‌سازی، دگرسانی و ژنز کانسار مس پورفیری سوناجیل - خاور هریس (استان آذربایجان شرقی)، رساله دکتر، دانشگاه تبریز.
- حسین‌زاده، م. ر.، مؤید، م.، مغفوری، س.، علیپور، س. و حاج‌علیلو، ب.، ۱۳۹۴ - زمین‌شناسی، دگرسانی، کانه‌زایی و مطالعات میانبارهای سیال در کانسار بالوجه؛ نمونه‌ای از کانسارهای مس - مولیبدن پورفیری در زون ماگمایی ارسباران، فصلنامه علوم زمین، سال ۲۴، شماره ۹۵، صص. ۲۹۷ تا ۳۰۸.
- حسینی، م.، قادری، م.، و علیرضایی، س.، ۱۳۹۰ - انواع سیستم‌های رگه- رگچه و ارتباط آنها با کانه‌زایی در کانسار مس تخت گنبد، شمال خاور سیرجان، پانزدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه خوارزمی.
- زنوزی، ر.، خاکزاد، ا.، مهرپرتو، م.، ۱۳۸۷ - مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس - طلا در محدوده مسجدداغی، مجله علوم پایه دانشگاه آزاد اسلامی (JSIAU)، جلد ۱۸، شماره ۶۹.
- کلاگری، ع.، پاتریک، آ. و پولیا، د.، ۱۳۸۰ - مطالعه رگچه‌ها و ریز رگچه‌ها در کانسار مس پورفیری سونگون آذربایجان خاوری، فصلنامه علوم زمین، سال دهم، شماره ۳۹ - ۴۰.
- لسکویه، ج. ل.، ریو، ر. و باباخانی، ع. ر.، ۱۳۶۹ - شرح نقشه زمین‌شناسی چهارگوش اهر، ۱:۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- مهدوی، م. و امینی‌فضل، ع.، ۱۳۶۸ - نقشه زمین‌شناسی اهر با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monié, P. and Meyer, P., 2011- Zagros orogeny: a subduction dominated process, *Geol. Mag.*: page 1 of 34.
- 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* 23, PP 179-189.
- Graupner, T., Götze, J., Kempe, U. and Wolf, D., 2000- CL for characterizing quartz and trapped fluid inclusions in mesothermal quartz veins: Qolqoleh Au ore deposit, Uzbekistan: *Mineralogical Magazine*, v. 64, p. 1007-1016.
- Gustafson, L. B. and Hunt, J. P., 1975- The porphyry copper deposit at El Salvador, Chile: *Economic Geology*, v. 70, p. 857-912.
- Jamali, H. and Mehrabi, B., 2014- Relationships between arc maturity and Cu-Mo-Au porphyry and related epithermal mineralization at the Cenozoic Arasbaran magmatic belt, *Ore Geology Reviews*.
- Maghsoudi, A., Yazdi, M., Mehrpartou, M., Vosoughi, M. and Younesi, S., 2012- Porphyry Cu-Au mineralization in the Mirkuh Ali Mirza magmatic complex, NW Iran, *Journal of Asian Earth Sciences*.
- Richards, J., 2003- Tectono-Magmatic Precursors for Porphyry Cu-(Mo-Au) Deposit Formation, *Economic Geology* Vol. 98, 2003, pp. 1515-1533.
- Richards, J., 2011- Magmatic to hydrothermal metal fluxes in convergent and collided margins, *Ore Geology Reviews* 40 PP.1-26.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions. *Mineralogical Society of America, Reviews in Mineralogy*, 12: 646 pp.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. and Alderton, D. H., 1985- A practical guide to fluid inclusion studies. Glasgow, Blackie and Son. 239p.
- Sillitoe, J. and Perello, J., 2005- Andean Copper Province: Tectonomagmatic Settings, Deposit Types, Metallogeny, Exploration, and Discovery, *Society of Economic geologist* 100 th, pp, 845-890.
- Sillitoe, R. H., 2000- Gold-rich porphyry deposits: Descriptive and genetic models and their role in exploration and discovery, *SEG Reviews* 13, 315-345.
- Sillitoe, R., 2010- Porphyry Copper Systems, *Economic Geology*, v. 105, pp. 3-41.
- Wilkinson, J. J., 2001- Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits, *Lithos* 55. 229-272.

Different types of vein- veinlets related to mineralization and fluid inclusion studies in the Sonajil porphyry Cu- Mo deposit, Arasbaran magmatic zone

M. R. Hosseinzadeh^{1*}, S. Maghfouri², M. Ghorbani² and M. Moayyed³

¹Associate Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

²Ph.D. Student, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

³Professor, Department of Earth Sciences, Faculty of Natural Sciences, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Received: 2015 August 19

Accepted: 2016 March 16

Abstract

The study area is located in Arasbaran metallogenic zone. Rocks of the Sonajil region include Eocene andesite lava, porphyry microdiorite, Incheh granitoid and Ozuzdaghi Plioquaternary volcanic rocks. Porphyry microdiorite is the main host rock of porphyry type Cu- Mo mineralization in the Sonajil deposit. Much of the mineralization in the Sonajil deposit is dispersive and vein- veinlet type. Based on the structure, mineralogy and texture, the Sonajil vein- veinlets can be divided into six different groups. These veins - veinlets contains sulfide (pyrite, chalcopyrite, molybdenite, bornite, galena, tetrahedrite, tenantite and enargite), hydroxide and oxide (magnetite and spicularite) and carbonate (malachite and azurite) minerals. Various types of fluid inclusions including mono-phase vapor, two-phase liquid and vapor, and multiphase liquid-vapor-solid of primary origin are present within quartz-sulfide veinlets. TH (L-V) for halite-bearing inclusions homogenizing by disappearance of halite and of vapor are 260-565°C, 320-520°C, respectively and salinity are 35.3- 69 % NaCl. TH (L-V) for two-phase inclusions homogenizing temperatures are 180-565°C, and salinity are 0.7- 15.17 % NaCl. In bivariate plot of TH-salinity, two distinct populations of high and low salinity fluids are recognizable and most of the data points relating to the high salinity plot above the halite saturation curve. The coexistence of vapor-rich two-phase and halite-bearing inclusions having similar TH ranges can be indicative of boiling in the Sonajil porphyry deposit.

Keywords: Cu- Mo porphyry deposit, Vein- Veinlet, Fluid Inclusion, Sonajil, Arasbaran zone.

For Persian Version see pages 219 to 230

*Corresponding author: M. R. Hosseinzadeh; E-mail: Mr-hosseinzadeh@tabrizu.ac.ir