



کانه‌زایی و شرایط اکسایش-کاهش در ذخیره مس تنگ‌گورک، شمال استان فارس: کاربردی از پتروگرافی و دما فشارسنجی میانبارهای سیال

سینا اسدی^۱، نسیمه کاوه باغبادرانی^{۲*}

۱- استادیار زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمی، دانشکده علوم، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشکده علوم، بخش علوم زمین، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران

* عهده‌دار مکاتبات: Kaveh_1041@yahoo.com

دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۷/۲۷، پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۹/۲

چکیده

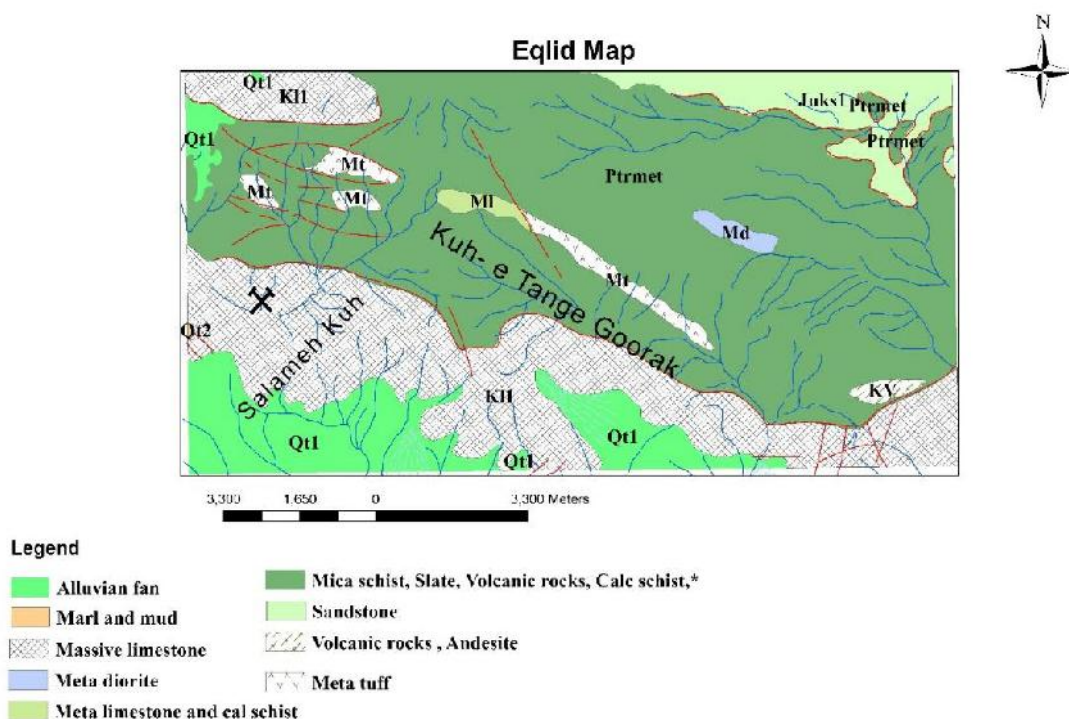
ذخیره مس تنگ‌گورک در لبه‌ی شرقی زون ساختمانی ساندج-سیرجان در جنوب غرب ایران (۴۵ کیلومتری شمال غرب دهبید) و در مجموعه سنگ‌های دگرگونی کمپلکس کولی‌کُش به سن تریاس بالایی-ژوراسیک پایینی قرار گرفته است. رُخداد دو مرحله فعالیت دگرگونی-گرمايي باعث تشکیل دو گروه رگه‌های کوارتز بی‌کانه (نسل اول) و کانه‌دار (نسل دوم) شده است. رگه‌های نسل اول با کوارتز درشت‌دانه و فاقد کانی‌های سولفیدی مشخص می‌شوند. در مقابل، رگه‌های کوارتز ریزدانه نسل دوم شامل کلکوپیریت، پیریت، اسفالریت و گالن هستند. این رگه‌ها دارای دو نوع میانبار سیال آبگین (نوع-I) و آبگین-کربن‌دار (نوع-II) می‌باشند. مطالعه این میانبارهای سیال نشان می‌دهد که دمای همگن‌شدگی سیال بین ۱۷۴ تا ۳۹۴ درجه سانتی‌گراد، شوری ۱/۶ تا ۱۵/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام و فشار کمتر از ۴۳۴۴ بار بوده است. تغییرات فیزیکی-شیمیایی سیالات گرمایی و برهمکنش آنها با سنگ میزبان دگرگونی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در نتیجه کاهش انحلال‌پذیری مس طی نامیزاکی سیال، سردشدگی، تشکیل میانبارهای نوع-II، شکست لیگاندها، کاهش ثابت دی‌الکتریک و افزایش میزان pH رخ داده است. مقادیر محاسبه شده $\log fO_2$ (۴۱/۷۷- تا ۳۲/۷۳- بار) نیز در محدوده پایداری پیریت و در طول خط بافر QFM قرار می‌گیرند. این شرایط مطابق با حالت نسبت کاهیده سیال کانستگ‌ساز طی کانه‌زایی در ذخیره تنگ‌گورک است.

واژه‌های کلیدی: مس، میانبار سیال، فوگاسیته اکسیژن، تنگ‌گورک، دهبید

۱- مقدمه

($\log fO_2$) به طور مکرر در مباحث دگرسانی گرمایی که شامل شیمی فیزیک، تعادل شیمیایی و ترمودینامیک است، کاربرد دارد (Frost, 1989). استفاده از مقادیر تفکیک مولی در میانبارهای سیال تحت فشار و در محیط‌های عمیق به دام افتاده (مانند محیط‌های دگرگونی) معمول است (Pollard, 2001). مفهوم فوگاسیته اکسیژن، که برای اولین بار توسط اوکستر و وونز (Eugster and Wones, 1962) معرفی شده، نیز به عنوان متغیر کنترل‌کننده پتانسیل اکسایشی یا به عبارتی فشار بخشی اکسیژن بیان می‌شود. فوگاسیته اکسیژن دارای اهمیت سنگ‌شناختی است و در ارتباط با رُخداد ذخایر فلزی دگرگون‌زاد و ماگمایی در حالت‌های اکسیده یا کاهیده کاربرد دارد (Frost, 1989). رگه‌های کوارتزی کانه‌دار با برتری فلزات پایه (به ویژه مس) در کمپلکس آتشفشانی-رسوبی دگرگون‌شده کولی‌کُش در منطقه تنگ‌گورک رایج هستند. هدف اصلی این مقاله بررسی پتروگرافی، روند تکامل سیال دگرگونی-گرمايي، و شرایط ترمودینامیکی نهشت کانسنگ، فاکتورهای تفکیک مولی، فشار و فوگاسیته اکسیژن با استفاده از نتایج دما فشارسنجی میانبارهای سیال بر روی رگه‌های کوارتز-سولفیدی کانسار مس تنگ‌گورک می‌باشد.

مطالعه زمین‌شیمی میانبارهای سیال و بررسی روند تغییرات اکسایش-کاهش نقش مهمی در ارزیابی منشأ و روند تکامل سیالات گرمایی ایفا می‌کنند. در سامانه‌های دگرگونی دفن‌شدگی و فرآرزدایی سنگ‌ها منجر به تولید حجم زیادی از سیالات دارای غلظت بالایی از H_2O و CO_2 می‌شود. در رژیم‌های ساختمانی شکل‌پذیر جریان سیالات به طور معمول در مقیاس‌های متری تا کیلومتری رخ می‌دهد (Robb, 2005). درحالی‌که در رژیم‌های ساختمانی شکنا انتقال سیالات معمولاً محدود به رگه‌ها و شکستگی‌ها می‌شود. سامانه‌های رگه‌ای فلزات پایه مزوترمال که در بسیاری از کمربندهای دگرگونی در سراسر جهان دیده می‌شوند محصول این ساز و کار می‌باشند (Anderson et al., 2004). به باور بسیاری از محققین بیشتر ذخایر مزوترمال فلزات پایه پس از حوادث کوهزایی در کمپلکس‌های دگرگونی و طی بالاآمدگی، سرد شدن و در پی آن تشکیل یک رژیم ساختمانی شکنا و افزایش مهاجرت سیالات کانی‌ساز ایجاد می‌شوند (Anderson et al., 1995). اصطلاحات تفکیک مولی H_2O - $NaCl-CO_2$ (X) و فشار (P) و فوگاسیته اکسیژن



شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی منطقه تنگ‌گورک دهبید و مکان ذخیره مس

۲- زمین‌شناسی منطقه

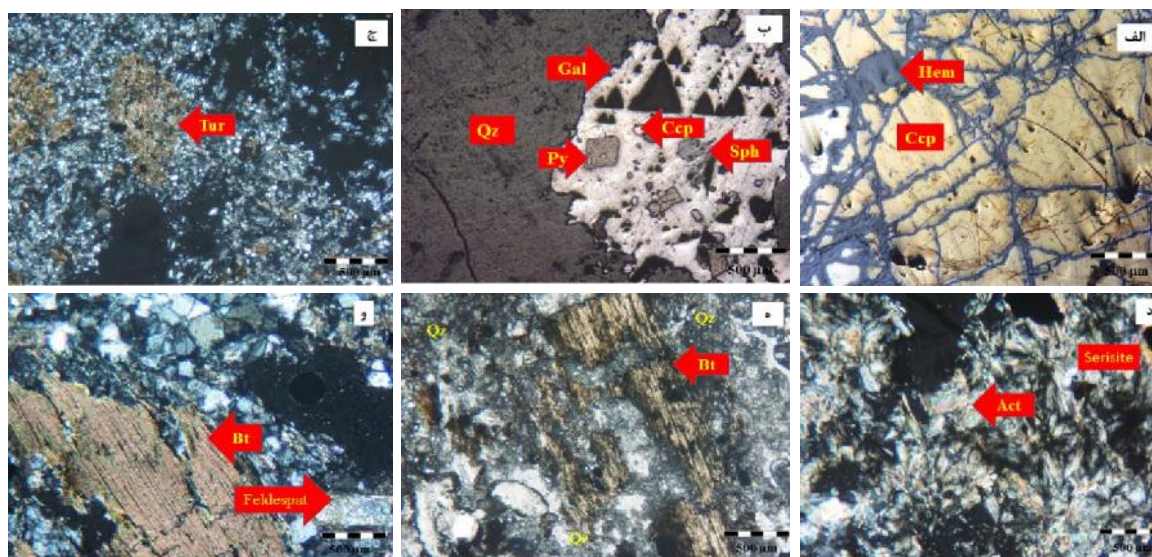
مس دار (کالکوپیریت) و دارای آغشتگی هماتی، تا یک گرم در تن می‌رسد. مهم‌ترین راه دسترسی به منطقه مورد مطالعه مسیر جاده اصلی شیراز- اصفهان و از راه فرعی شهرستان سورمق امکان‌پذیر است. از نظر زمین‌ساختی این منطقه بخشی از کمربند دگرگونی- ماگمایی سندانج- سیرجان جنوبی و از نظر فلزایی بخشی از کمپلکس آتشفشانی- رسوبی دگرگون شده کولی‌کش به سن تریاس بالایی- ژوراسیک زیرین است. این کمپلکس دگرگونی از انواع شیست، فیلیت، اسلیت، دولوماربل (Dolomarlble)، میلونیت، کالک‌شیست، ماسه‌سنگ دگرگون شده، سنگ‌های آتشفشانی دگرگون شده از نوع دیوریت و توف (داسیت تا آندزیت) تشکیل شده است (Boveri, 2013). ذخیره مس تنگ‌گورک در میان گسل‌های اصلی و بزرگ زاگرس، گسل اقلید، گسل معکوس بصیران و عرب واقع شده است (Boveri, 2013). در این منطقه نیروهای فشارشی در راستای NE-SW و کششی در راستای NW-SE باعث تشکیل درزه‌ها و گسل‌هایی شده‌اند که میزبان اصلی رگه‌های کوارتزی کانه‌دار می‌باشند (Haji Houseinlo, 2008). بیشترین تراکم گسل‌ها در محدوده تنگ‌گورک قرار دارد که ارتباط بین کانه‌زایی و زمین‌ساخت ناحیه‌ای را به خوبی نشان می‌دهد. مهم‌ترین بی‌هنجاری‌های مس در بخش جنوب و جنوب غربی این منطقه قرار دارد. بر اساس اطلاعات میدانی و عملیات صحرایی عمده کانه‌زایی رگه‌ای مس در شمال کوه تنگ‌گورک رخ داده است. کوارتز فراوانترین کانی سیلیکاتی در تمام رگه‌ها است. بر اساس مطالعات میکروسکوپی دو نسل کوارتز در رگه‌ها قابل تشخیص است. کوارتزهای نسل اول بی‌کانه و نسل دوم کانه‌دار است. کوارتزهای کانه‌دار نسبتاً دانه‌ریز و کوارتزهای بی‌کانه دانه درشت هستند. رگه‌های سیلیسی

ذخیره مس تنگ‌گورک در ۴۵ کیلومتری شمال باختر دهبید در طول‌های جغرافیایی $53^{\circ}04'$ تا $52^{\circ}53'$ شرقی و عرض‌های جغرافیایی $30^{\circ}42'$ تا $30^{\circ}48'$ شمالی واقع شده است (شکل ۱). بر اساس مطالعات زمین‌ساختی سه رویداد دگرگونی مهم در منطقه رخ داده است (Sarkarinejad et al., 2008). رویداد اول که یک دگرگونی دیناموترومال است از نوع باروویین و در جنوب شرق اقلید از مرز رخساره شیست سبز فراتر نرفته است که این رویداد در اواخر تریاس میانی و همزمان با رویداد کوهزایی کیمیرین پیشین روی داده است. رویداد دوم که یک دگرگونی درجه پایین (شیست سبز) است و با فشار کمتری نسبت به رویداد اول دگرگونی رخ داده است که به احتمال زیاد از مزوزوئیک بالایی تا اوایل ترشیری روی داده است. رویداد سوم که با دگرگونی درجه پایین همراه است، رسوبات کرتاسه را تحت‌تأثیر قرار داده و بیشینه شدت آن در ترشیری رخ داده است. در مقیاس ناحیه‌ای، رویداد دگرگونی اول که با آزدایی شدید واحدهای آتشفشانی- رسوبی همراه بوده، باعث حرکت سیالات، همزمان با دگرگونی از میان بیش از ۳۰۰۰ متر واحدهای آتشفشانی- رسوبی کمپلکس کولی‌کش و قرارگیری آنها در زون‌های محوری تاقدیس‌ها شده است. در این زمان کانه‌زایی مس با برتری کلکوپیریت در رگه‌های کوارتز هم‌رند با برگورگی غالب (S₁) در سنگ‌های دگرگونی منطقه تشکیل شده است.

بر اساس گزارش سازمان صنعت، معدن و تجارت، (۱۳۹۰) مقدار مس از ۳۸۴ گرم در تن تا ۲/۷ درصد متغیر است، عیار طلا در رگه‌های سیلیسی

الف تا و). کوارتزهای نسل اول روشن‌رنگ و به صورت بلورهای درشت با حواشی مضرسی دیده می‌شوند.

نسل دوم سرشار از کانی‌های سولفیدی نظیر (کلکوپیریت، اسفالریت، پیریت، گالن، سیلیکاتی (اکتینولیت، تورمالین، مسکوویت، بیوتیت، سریسیت، پتاسیم فلدسپار) و اکسیدی (هماتیت و اسپیکولاریت) هستند (شکل ۲-).



شکل ۲- کانی‌شناسی رگه‌های کوارتز (Qz). الف) حضور کلکوپیریت (Ccp) و هماتیت (Hem) در کوارتز نسل دوم (RL). ب) حضور گالن (Gal)، پیریت (Py)، اسفالریت (Sph) و کلکوپیریت (Ccp). ج) تورمالین (Tur) لوزی شکل در کوارتز نسل دوم (XPL). د) اکتینولیت (Act) و سریسیت (Ser) (XPL). ه) بیوتیت و کوارتزهای ریز دانه نسل دوم (XPL). و) حضور بیوتیت در کوارتز دانه درشت نسل اول به همراه فلدسپات (XPL).

بلورهای منشوری با طول بیش از ۶ سانتی‌متر دیده می‌شود. براساس مطالعات میکروسکوپی دو نسل کوارتز در رگه‌ها تشخیص داده شده است. این کوارتزها شامل کوارتزهای کانه‌دار (نسل اول) و کوارتزهای فاقد کانه (نسل کوارتز) می‌باشد. کوارتزهای نسل اول نسبتاً ریزدانه بوده و اندازه آنها کمتر از ۱۰۰ میکرون است. این کوارتزها رگه‌های سیلیسی کانسنگ‌دار را می‌سازند که سرشار از کانی‌های سولفیدی، سیلیکاتی و اکسیدی می‌باشند. کوارتزهای نسل دوم روشن و شفاف هستند و به صورت درشت بلورهایی با بافت موجی دیده می‌شوند. این نوع کوارتز فاقد کانی‌های سولفیدی بوده و کربنات‌های مس و آهن مهم‌ترین کانی‌های همراه می‌باشند. بر این اساس ویژگی‌های چهار گروه کانی‌های اکسیدی، سیلیکاتی، سولفیدی و کربناتی به شرح زیر است:

۱- کانی‌های اکسیدی: مگنتیت و هماتیت کانی اصلی گروه اکسیدی است و در اثر اکسایش به اسپیکولاریت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است. بافت جانشینی در سنگ میزبان، مهم‌ترین بافت مشاهده شده در کانی‌های گروه اکسیدی است. این بافت‌ها به صورت مرزهای شکستگی غیر قابل جور شدن، پهن‌شدگی رگه‌ها در محل شکستگی، رشد تداخلی نامنظم، جزایر جانشین نشده نامقاوم، جانشینی در امتداد سطوح رخ (شکل ۳- الف تا ه) در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌شود. علاوه بر آن هماتیت‌های اسپیکولاریت دارای بافت توده‌ای، تیغه‌ای، جعبه‌ای و استوک‌ورک هستند.

۲- کانی‌های سیلیکاتی: کانی‌های میکایی (مسکوویت و بیوتیت) (شکل ۳- ه)، سریسیت (مسکوویت دانه ریز) (شکل ۳- د)، پتاسیم

۳- روش انجام پژوهش

مطالعات صحرایی به منظور تهیه نقشه زمین‌شناسی و بررسی‌های کانی‌شناختی کانسنگ مس و سنگ میزبان تعدادی نمونه به صورت سامانند از محدوده کانه‌زایی شده بر اساس تغییرات واحدهای سنگ‌شناختی برداشت شد. مطالعات میکروسکوپی و ریز دماسنجی میانبرهای سیال بر روی ۴ مقطع دو بر صیقل به ضخامت تقریباً ۱ میلی‌متر از کوارتز همزاد با کلکوپیریت انجام شد. از میکروسکوپ Nikon مدل Ep200 برای مطالعات میکروسکوپی و از صفحه گرم و سردکننده مدل THMSG600, TMS ساخت شرکت Linkam جهت اندازه‌گیری‌های دما- فشارسنجی با نرخ تغییرات دمایی در محدوده ۱۹۰- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد و سامانه نمایش همزمان متصل به رایانه استفاده شده است. کالیبراسیون Stage جهت آزمایش گرمایش با دقت ± 0.6 درجه سانتی‌گراد و با نیترات سزیم (Cesium nitrate) با نقطه ذوب ۴۱۴ درجه سانتی‌گراد صورت گرفته است و آزمایش سرمایش با دقت ± 0.2 درجه سانتی‌گراد و با ماده استاندارد ان- هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب ۹۴/۳- درجه سانتی‌گراد انجام گردیده است.

۴- مطالعات پتروگرافی

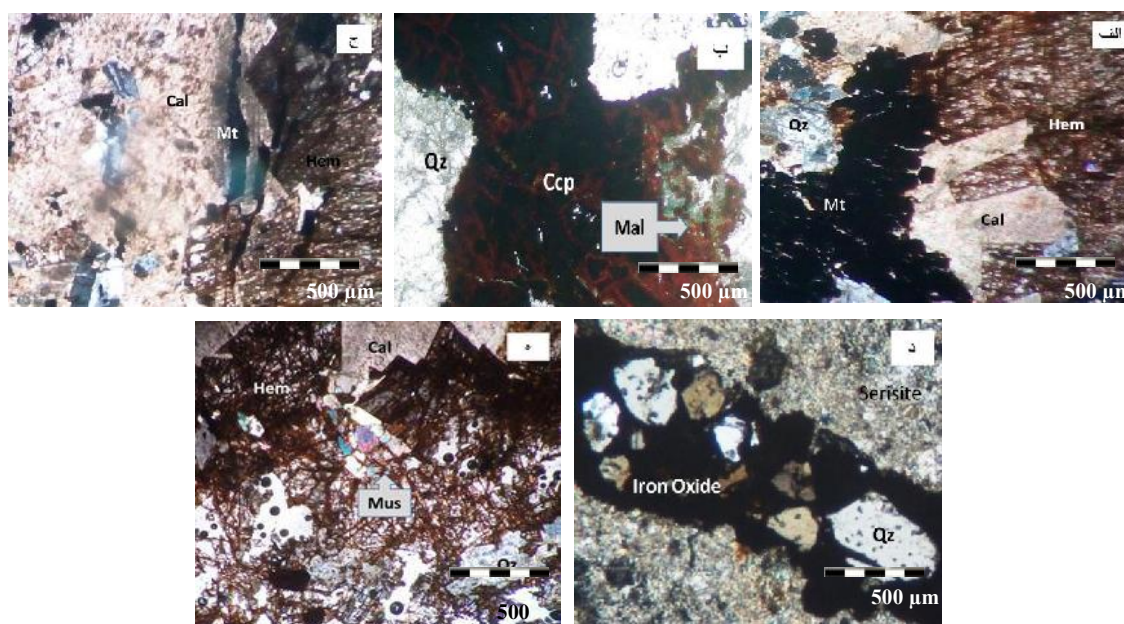
کوارتز فراوان‌ترین کانی سیلیکاتی در تمام رگه‌هاست و به صورت

هوازدگی و دگرسانی به هماتیت شاخه‌ای تبدیل شده است (شکل ۵-ب). کلکوپیریت به همراه پیریت‌های خود شکل دیده می‌شود که دارای شکل داربستی هستند و به اکسیدهای آهن آبدار ثانویه مثل گوتیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند. هم‌رشدی پیریت و کلکوپیریت در مقاطع به وضوح دیده می‌شود (شکل ۴-ب). این پیریت‌ها دارای بافت جزیره‌ای هستند که از اطراف به هماتیت تبدیل شده‌اند بافت داربستی و خوردگی در آنها مشاهده می‌شود. در نمونه‌ها مقدار اندکی کلکوسیت که بوسیله بزرگنمایی دیده می‌شود نیز وجود دارد. کوولیت نیز که به رنگ آبی در مقاطع دیده می‌شود نشانگر دگرسانی شدید و عیار بالای مس است. هم‌رشدی کلکوپیریت و اسفالریت و گالن رگچه‌ای نیز قابل مشاهده است.

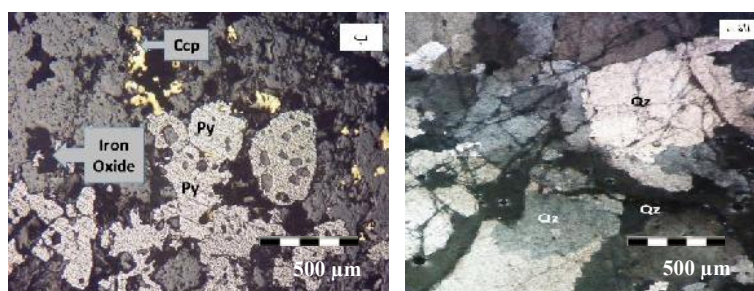
فلدسپارهایی که به کائولینیت تجزیه شده‌اند، کوارتز درشت بلور با مرز مضرسی که تحت فشار دیاژنتیکی قرار گرفته است به عنوان باطله اصلی در منطقه دیده می‌شود (شکل ۴-الف).

۳- کانی‌های کربناتی: بیشترین میزان کربنات‌ها شامل کلسیت و دولومیت است که در مقاطع به شکل رمبوند در دیده می‌شوند (شکل ۳-الف، ج، ه). سیدریت و مالاکیت بر اثر اکسایش و کربناتی شدن اغلب کانی‌های مس- آهن‌دار ایجاد شده‌اند. مالاکیت‌های موجود در مقاطع نازک دارای بافت آپلیتی (ساکاروئیدی) هستند که این بافت نشانه دگرگونی در منطقه است (شکل ۵-الف).

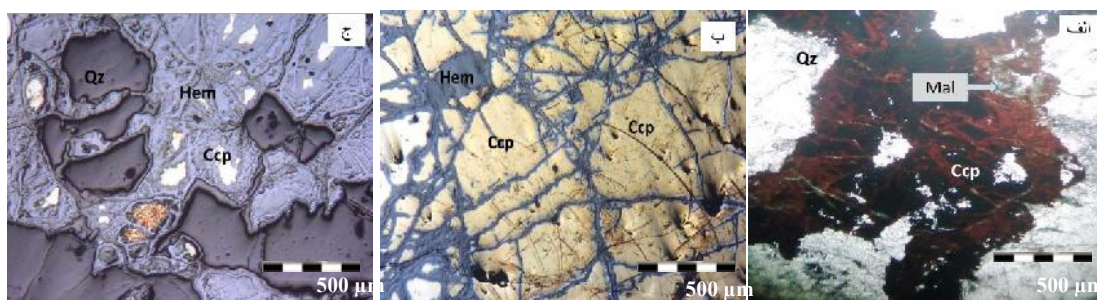
۴- کانی‌های سولفیدی: اصلی‌ترین کانی سولفیدی موجود در منطقه کلکوپیریت است که بافت رگه و رگچه‌ای دارد (شکل ۵-الف) و در اثر



شکل ۳- بافت‌های جانیشینی در سنگ میزبان و رگه. الف) مرزهای شکستگی غیر قابل جور شدن کانی مگنتیت (Mt) (نامتقارن) (XPL)، ب) پهن‌شدگی رگه‌های کلکوپیریت (Ccp) در محل شکستگی‌ها (XPL)، ج) رشد تداخلی نامنظم و کرم مانند کانی مگنتیت (Mt) (XPL)، د) جزیره‌های جانشین نشده مقاوم کوارتز در زمینه مگنتیت (Mt) (XPL)، ه) جانیشینی در امتداد سطوح رخ‌های رمبوندی دولومیت- کلسیت Dol-Cal (XPL).



شکل ۴- سیلیکات‌ها و سولفیدهای همراه با کلکوپیریت. الف) کوارتز (Qz) درشت بلور با مرز مضرسی که تحت فشار دیاژنتیکی قرار گرفته، ب) کلکوپیریت (Ccp) به همراه پیریت‌های (Py) خودشکل که به اکسید آهن تبدیل شده‌اند.



شکل ۵- انواع بافت‌های کانسنگ کلکوپیریت، الف) کلکوپیریت (Ccp) با بافت رگه‌ای در بین کوارتز (Qz)، ب) کلکوپیریت با بافت توده‌ای گرانولار (دانه‌ای) و ج) کلکوپیریت با بافت افشان (پراکنده)

۵- بحث و بررسی

۵-۱- کانهای

پذیرفت. رشد تماسی و درهم‌شدی متناوب کوارتز و کلکوپیریت در مطالعات میکروسکوپی، این کانی را از نوع اولیه معرفی می‌کند. میانبرهای سیال مطالعه شده بیشتر از نوع اولیه و به مقدار کمتر، مطابق معیارهای رودر (Roedder, 1984) از نوع ثانویه کاذب هستند. بر اساس پتروگرافی میانبرهای سیال، و طبق روش رده‌بندی بر مبنای ترکیب سیالات (Shepherd et al., 1985)، دو گروه اصلی میانبرهای سیال در نمونه‌های کوارتز همزاد با کلکوپیریت تشخیص داده شد:

الف) گروه اول (I-type) شامل میانبرهای دو فاز مایع-گاز ($L_{H_2O} > V$) می‌باشد (شکل ۶- الف). این نوع از میانبرهای سیال از یک فاز آبگین همراه با گاز CO_2 تشکیل شده و معمولاً نیمه شکل‌دار، کشیده و کروی هستند. اندازه آنها بین ۳ تا ۶ میکرون تغییر می‌کند.

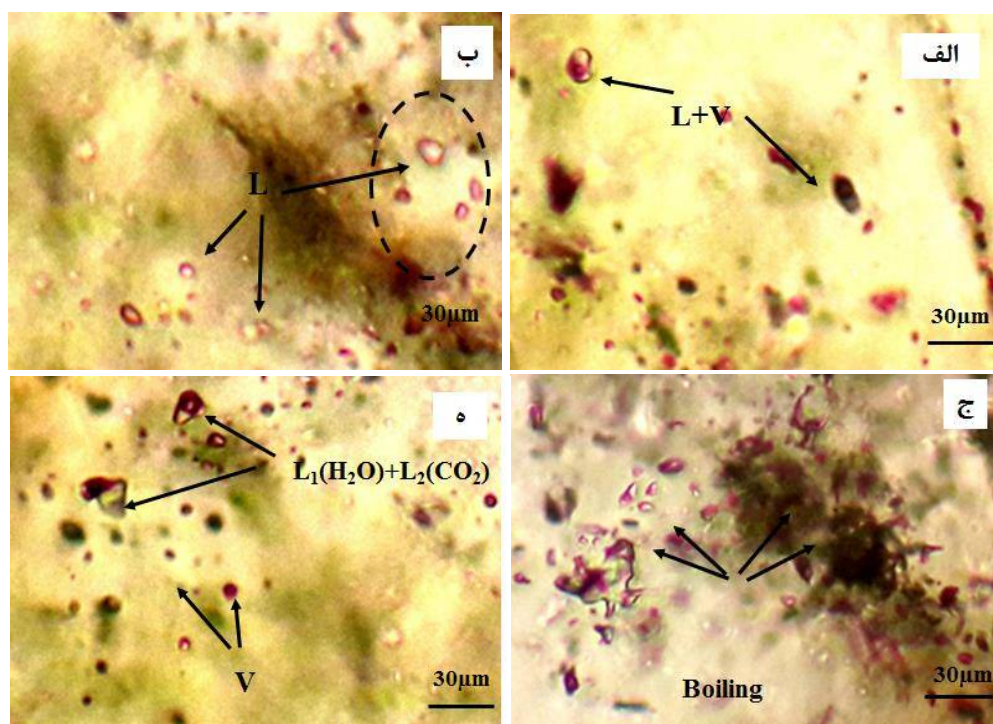
ب) گروه دوم (II-type) شامل میانبرهای سیال سه فاز مایع (آب)-کربن دی‌اکسید مایع-گاز ($L_{H_2O} + L_{CO_2} + V$) می‌باشد (شکل ۶- ب). در این گروه دو نوع میانبر سیال غنی از مایع ($L > V$) و غنی از بخار ($L < V$) تشخیص داده شد. از نظر حجمی درصد فاز مایع به فاز بخار بیشتر است و حجم عمده‌ای از میانبرها را تشکیل می‌دهند. این میانبرهای سیال وزن مخصوص پایینی نیز دارند. این نوع از میانبرهای سیال در ارتباط با کانهای می‌باشند و بنابراین عمده مطالعات بر روی این تیپ از میانبرها صورت گرفت. در این تیپ، میانبرهای غنی از مایع به وفور دیده می‌شوند. فاز غنی از بخار حدود ۶۰ تا ۹۰ درصد از حجم کل میانبر را به خود اختصاص می‌دهد. از نظر شکل ظاهری نیز معمولاً بی‌شکل و در مواردی به صورت نیمه شکل‌دار، کشیده و کروی می‌باشند. اندازه این تیپ از میانبرها ۳ تا ۱۲ میکرون است که ۹۰ درصد از آنها کوچکتر از ۵ میکرون هستند.

در چند نمونه میانبرهای غنی از مایع و غنی از بخار در کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند که از نشانه‌های فرایند جوشش طی ته‌نشینی مواد معدنی می‌باشد (Simmons et al., 2000) (شکل ۶- ج).

کانهای مس به صورت رگه‌ای-رگچه‌ای در مرز لایه‌بندی سنگ میزبان رسوبی-آتشفشانی دگرگون شده در مسیر شکستگی‌ها و گسل‌های منطقه رخ داده است. مطالعات صحرایی و کانی‌شناسی در منطقه مورد مطالعه و مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی دگرگون شده کولی‌کش، نشانگر توسعه کانهای مس رگه‌ای و با برتری کلکوپیریت می‌باشد. مس می‌تواند توسط سیالات گرمایی از کانی‌های حاوی مس شسته و سپس در محیط‌های مناسب نهشته گردد. این دسته از ذخایر می‌توانند مستقیماً با یک توده نفوذی در ارتباط باشند و یا از یک منبع ماگمایی در پوسته زیرین بدون رخنمون سطحی تغذیه گردند (Guilbert and Park, 1997). همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته در محیط‌هایی که تحت تاثیر فرایندهای دگرگونی قرار گرفته‌اند، سیالات غیر ماگمایی ناشی از پدیده دگرگونی نیز می‌توانند باعث کانهای آهن از عمق تا سطح گردند (Williams et al., 2005). از نظر هیتزمن (Hitzman, 2001) توالی پارائزنی و نحوه تشکیل این گروه از انواع کانهای-های وابسته به مناطق کشتی در طول حاشیه قاره‌ای مرتبط با فرورانش بوده است. طبق مطالعات انجام شده در منطقه چنین شرایطی کاملاً در تطابق با کانهای-ی رخ داده در محدوده ذخیره تنگ‌گورک می‌باشد.

۵-۲- پتروگرافی میانبرهای سیال

به منظور درک بهتر روند تکاملی سیال گرمایی در ذخیره تنگ‌گورک اقلید و ارتباط آن با پدیده‌های دگرگونی، مطالعات میانبرهای سیال بر روی کانی کوارتز به عنوان باطله اصلی در نمونه‌های کانسنگ کلکوپیریت صورت



شکل ۶- معرفی انواع میانبارهای سیال، الف) میانبارهای دو فاز آبگین غنی از مایع (I-type)، ب) میانبارهای تک فاز آبگین، ج) فرایند جوشش و د) سه فاز آبگین-کربن دار (II-type)

جدول ۱- ویژگی میانبارهای سیال دو فاز گروه اول (I-type) در ذخیره مس تنگ گورک

Phases	Type	Size (µm)	Liquid	<i>Tm-ice</i> (°C)	Salinity (wt.% NaCl equiv)	<i>Th</i> (°C)	Pressure
L+V	P	4	80	-4.3	6.815	243.6	1646
L+V	P	4	75	-6.5	9.844	260.5	1960
L+V	P	7	85	-5.6	8.649	243.9	1653
L+V	P	4	85	-3.9	6.225	277.1	2244
L+V	P	8	85	-5.3	8.237	174.6	430
L+V	P	8	75	-5.1	7.959	273.5	2182
L+V	P	5	90	-4.5	7.105	202.7	923
L+V	P	5	65	-4.8	7.536	242	1631
L+V	P	5	90	-6.1	9.32	255.2	1869
L+V	P	5	80	-5.9	9.054	247.6	1726
L+V	P	9	75	-1	1.651	268.9	2065
L+V	P	5	30	-6.7	10.101	394.7	4344
L+V	P	6	75	-4.5	7.105	275.1	2213
L+V	P	5	80	-5.5	8.513	255.8	1865
L+V	P	7	85	-4.3	6.815	311.1	2847
L+V	P	6	85	-8.1	11.821	242.8	1648
L+V	P	5	80	-6.1	9.32	315.4	2934
L+V	P	5	80	-5.2	8.098	209.3	1049
L+V	P	5	40	-5.4	8.375	340.2	3370
L+V	P	5	60	2.9	4.702	278.1	2254

جدول ۲- ویژگی میانبارهای سیال سه فازی گروه دوم (II-type) در ذخیره مس تنگ‌گورک

Phases	Type	Size(μm)	Liquid(%)	Te (°C)	Tmice (°C)	TmCO ₂	Tclat	Th (°C)	Salinity	Pressure
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	14	40	-38.8	-5.5	-56.4	2.6	373.9	12.42	3497
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	15	40	-39.4	-	-58.3	4.6	245.0	9.58	2232
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	70	-38.9	-	-	-	328.3	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	9	70	-	-	-56.4	1.4	310.1	13.93	2910
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	16	70	-38.5	-	58.3-	2.3	363.3	11.88	2648
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	8	70	-	-5.1	-	-	319.9	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	15	-40.0	-	-55.3	2.9	333.3	12.02	3106
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	30	-39.1	-2.8	-	-	350	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	30	-39.1	-2.5	-	-	310	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	8	40	-40.0	-	-60.4	3.3	376.1	11.47	3507
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	34	40	-40.1	-	-53.1	1.5	232	13.81	2150
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	50	-	-	-66.4	0.7	259	14.75	2424
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	28	30	-43.3	-	-62.1	1.5	283	13.81	2645
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	16	50	-	-7.8	-	-	374.9	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	50	-40.6	-	-56.7	0.3	353.7	15.20	3347
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	50	-42.7	-5.7	-	-	224	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	30	5	-	-	-56.9	0.9	345.7	14.52	3260
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	24	5	-	-	-58.2	1	326.1	14.41	3074
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	20	40	-44.1	-	-63.3	1.1	221	14.29	2050
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	16	10	-43.1	-	-57.5	2.3	249	12.81	2303
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	50	-	-	-61.2	1.8	237	13.44	2197
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	14	50	-	-	-59.3	3	286	11.88	2648
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	10	85	-41.4	-	-55.3	3	285.2	11.88	2639
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	9	85	-39.9	-4.0	-	-	290.0	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	20	30	-42.3	-4.3	-56.7	1.3	373.3	14.05	3561
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	22	20	-	-	-	-	386.2	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	14	20	-40.6	-4.5	-	-	376.5	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	14	20	-40.5	-4.7	-	-	389.9	-	-
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	18	75	-42.3	-	-56.7	0.3	257.0	15.20	2409
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	24	30	-43.3	-	-55.4	0.4	368.0	15.09	3491
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	12	30	-39.2	-	-60.5	1.5	275.0	13.81	2567
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	20	60	-42.4	-	-58.9	0.9	393.5	14.52	3727
LCO ₂ +V+LH ₂ O	P	14	60	-	-4.8	-	-	286.0	-	-

۵-۳-۵- فشارسنجی میانبارهای سیال

است. با توجه به فرمول ارائه شده سیالات موجود در نمونه‌های مورد مطالعه دارای شوری پایین هستند. نبود فاز دختر در این سیالات تأکیدی بر شوری متوسط تا پایین است (Roedder, 1984).

داده‌های ریز دماسنجی نشان می‌دهد که میانبارهای دو فاز آبگین و سه فازی از نظر دمای همگن‌شدگی در محدوده دمایی بین ۱۷۴ تا ۴۱۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارند (شکل ۷-ب). با توجه به دمای همگن‌شدگی، می‌توان فشار و ژرفای تشکیل سیال‌ها را مشخص کرد که به ترتیب برابر با ۴۳۰ تا ۴۳۴۴ bar و ۱/۶۲ تا ۱۶/۴۰ km است. این دسته از میانبارهای سیال بیشترین فراوانی را داشته و دمای ذوب نهایی یخ این تیپ معمولاً بین ۱- تا ۹/۵- درجه سانتی‌گراد است (شکل ۷-ج).

دمای ذوب نهایی CO₂ (T_m CO₂) در میانبارهای سیال بین ۵۵- تا ۶۶- تغییر می‌کند که چنین دماهایی کمتر از دمای ذوب CO₂ خالص (۵۶/۶- درجه سانتی‌گراد) می‌باشد (شکل ۷-د). چنین گستره‌ای مطابق با حضور غلظت پایینی از CH₄ همراه با CO₂ نیز است (Volkov et al., 2011). حضور نمک‌های حل شده دمای ذوب نهایی CO₂ را پایین

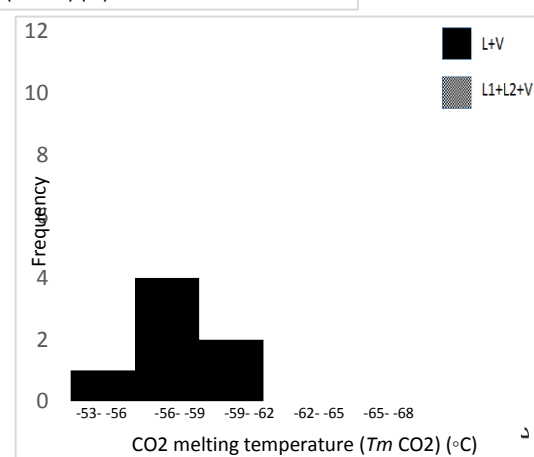
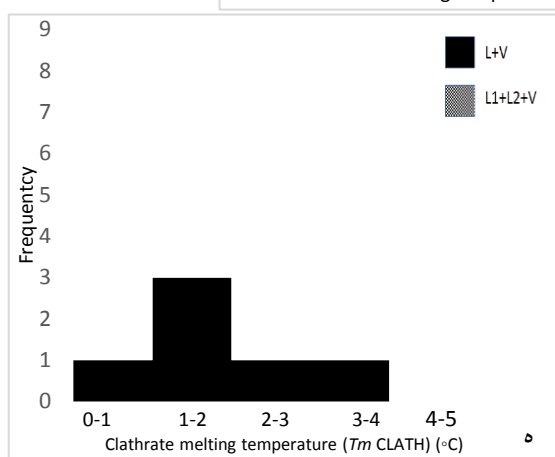
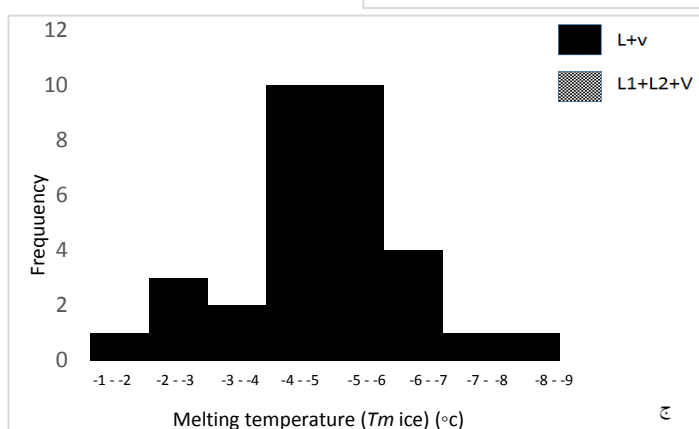
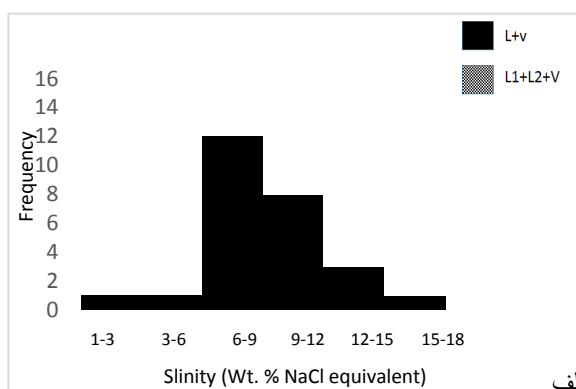
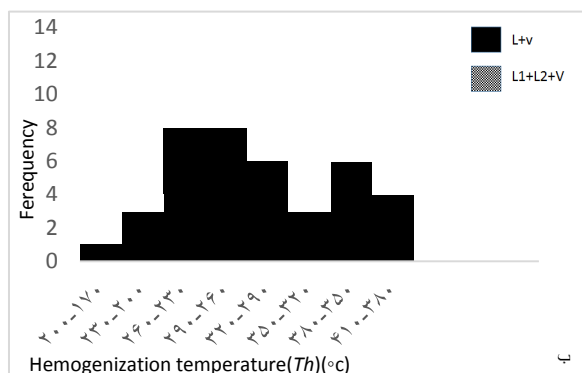
در جدول‌های ۱ و ۲ پارامترهای اندازه‌گیری شده میانبارهای سیال دو گروه آبگین (I-type) و آبگین-کربن‌دار (II-type) آمده است. بر اساس محاسبات انجام شده، درجه شوری معادل ۱/۶۵ الی ۱۵/۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام است (شکل ۷-الف). به دلیل دشواری تشخیص نوع نمک در میانبارها، معمولاً دمای ذوب یخ را به صورت میانگین وزنی نمک طعام گزارش می‌کنند. در مورد میانبارهای سیال مورد مطالعه، به علت عدم حضور بلور نمک به صورت فاز جامد نمی‌توان از دمای انحلال فاز جامد به منظور تعیین شوری استفاده نمود؛ بنابراین از معادله زیر که برای سامانه‌های دو فازی فاقد بلور نمک ارائه شده، استفاده شده است (Hall et al., 1988):

$$\text{Salinity (wt.\% NaCl equiv)} = 1.76958 - 4.2384 * 10^2 \theta^2 + 5.3 * 10^{-4} \theta^3 + 0.28$$

در رابطه بالا θ دمای ذوب آخرین تکه یخ پس از انجماد سیال درگیر

بنابراین میانبرهای دارای فاز کلاتریت دارای شوری کم تا متوسط ۱/۶-۱۵/۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام هستند. چنین شوری‌هایی شاخص محیط‌های دگرگونی می‌باشند (Volkov et al., 2011).

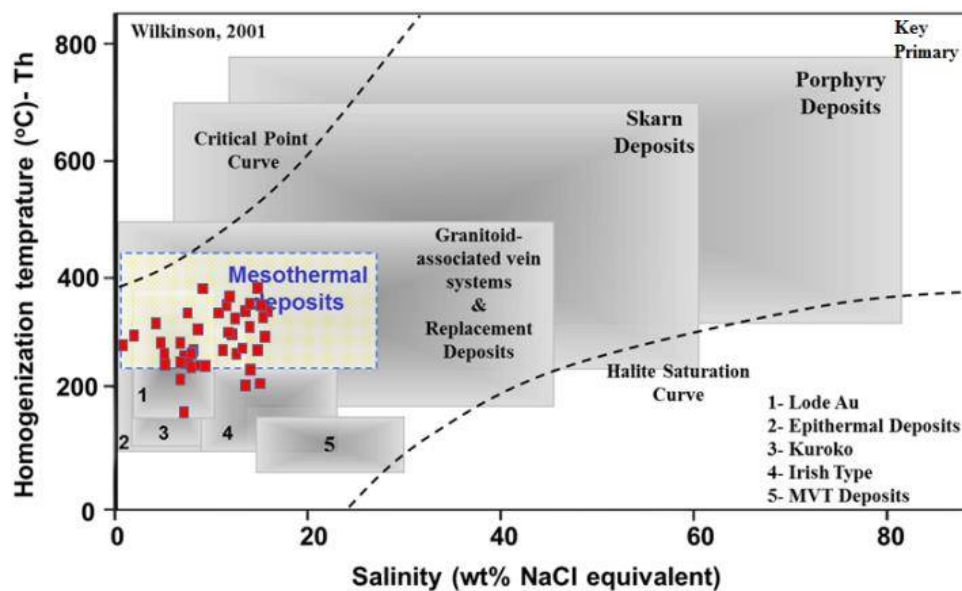
می‌آورد، در حالی که حضور گازهایی به غیر از CO₂ نقطه ذوب نهایی را بالا می‌برند (Sterner and Bodnar, 1991). همچنین ارزش‌های دمایی کلاتریت برای میانبرهای سیال بین ۰/۳ تا ۴/۶ تغییر می‌کند (شکل ۷-ه).



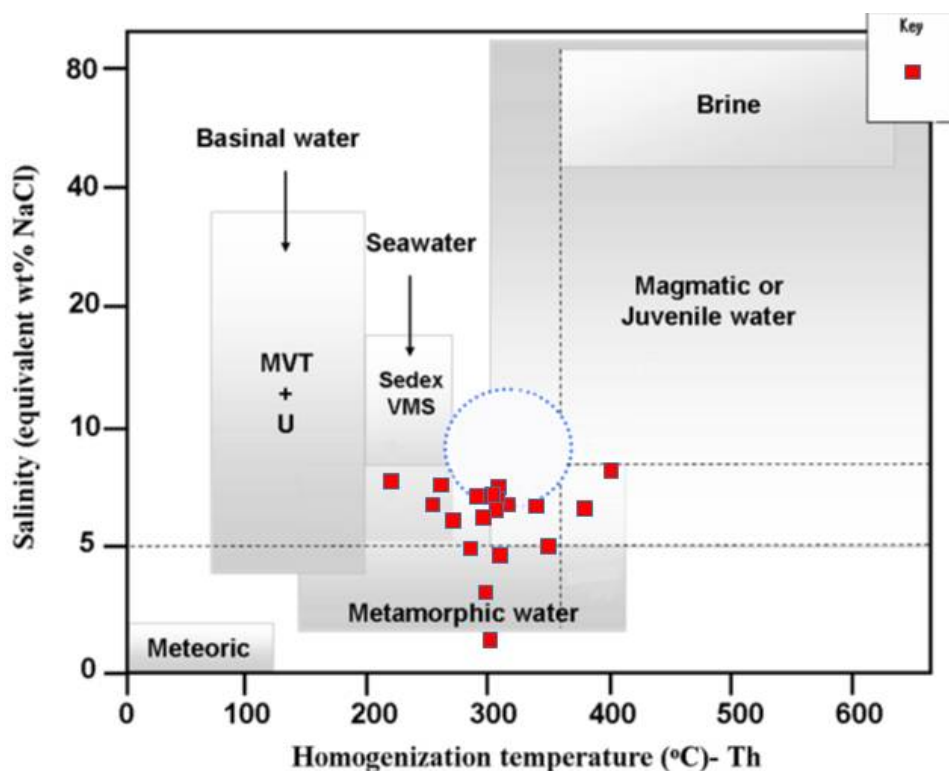
شکل ۷- نمودارهای هیستوگرام میانبرهای سیال (الف) میزان شوری برابر درصد وزنی معادل NaCl در برابر فراوانی، آزمایش سرمایش (ب) دمای همگن‌شدگی یا یکنواختی آزمایش گرمایش (ج) دمای ذوب آخرین قطعه یخ (Freezing) (د) دمای ذوب CO₂ (ه) دمای ذوب یخ کلاتریت.

ذخایر مزوترمال را نشان می‌دهد (شکل ۸). به نظر می‌رسد که سیالات گرمابی با شوری کم و میانگین دمای همگن‌شدگی ۲۹۶/۳ درجه سانتی‌گراد دلیل اصلی کانه‌زایی در منطقه است. همچنین دامنه دمای همگن‌شدگی و درجه شوری حاکی از این است که منشا سیالات گرمابی احتمالاً آب دگرگونی است (شکل ۹).

در محاسبات ریزدماسنجی، بالاترین دمای همگن‌شدگی (۳۹۴ درجه سانتی‌گراد) به عنوان کمترین دمای به دام افتادن در نظر گرفته شد. همانگونه که در شکل نشان داده شده است محیط گرمابی برای سیال کانسنگ‌ساز در محدوده مورد مطالعه از نظر دمای همگن‌شدگی و مقدار شوری با استفاده از نمودار ویلکینسون (Wilkinson, 2001) محدوده



شکل ۸- نمودار دما- شوری برای انواع مختلف ذخایر معدنی (Wilkinson, 2001). بر اساس این نمودار ذخیره تنگ‌گورک در محدوده ذخایر معدنی مزوترمال (ذخایر محدوده میان دمایی) قرار می‌گیرد.



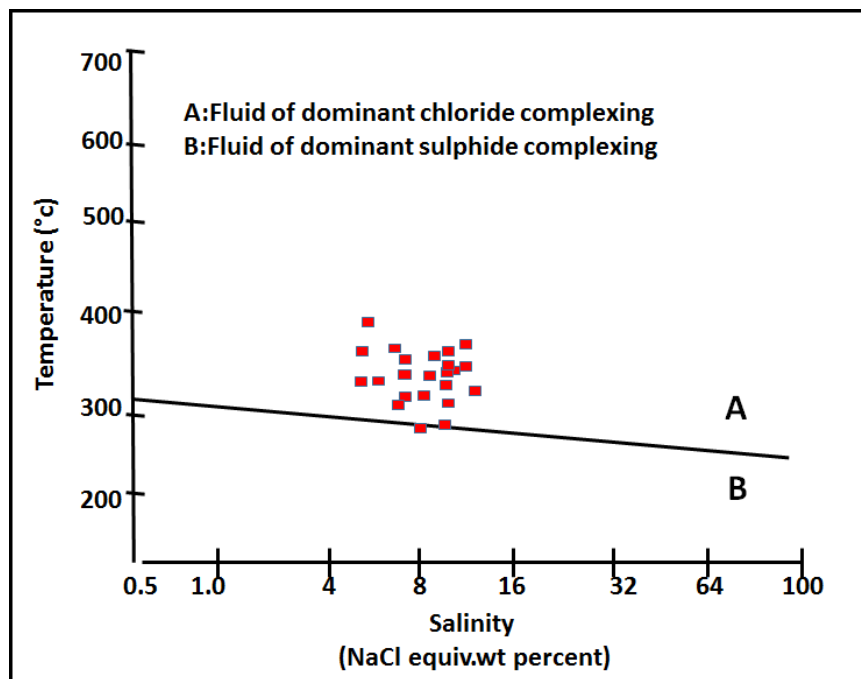
شکل ۹- منشأ سیال کانسنگ‌ساز با استفاده از نمودار (Kesler, 2005)

می‌گیرند و در آنها تجمعات کانیایی سولفیدی غالب است، شرایط نسبتاً اکسایشی بوده و کمپلکس‌های کلریدی عامل اصلی انتقال فلزات می‌باشند (Robb, 2005). همانطور که در شکل ۱۰ نشان داده شده است داده‌های حاصل از ذخایر مس در محدوده مربوط به کمپلکس‌های کلریدی قرار

۴-۵- انتقال زمین‌شیمیایی

بررسی‌های انجام شده به وسیله سوارد (Seward, 1991)، نشان می‌دهد ذخایری که در دماهای بالاتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد شکل

می‌گیرند. حرکت مس در محلول‌های گرمایی در گستره وسیعی از شرایط، به احتمال زیاد از راه کمپلکس‌سازی مس به شکل CuCl_2^- رخ می‌دهد. اگرچه کمپلکس‌های مس-بی‌سولفیدی در محیط‌های پرگوگرد تشکیل می‌شوند اما این کمپلکس‌ها در بیشتر محیط‌های گرمایی کانسنگ‌ساز نقش مهمی ندارند (شکل ۱۰).



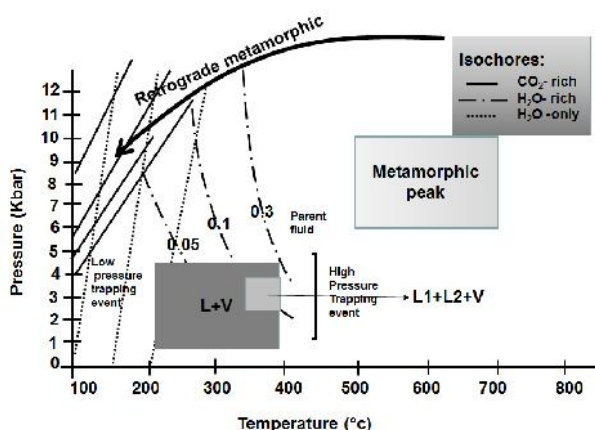
شکل ۱۰- نمودار دمای همگن‌شدگی- شوری سیالات درگیر برای تعیین لیگاند حمل‌کننده فلز (Pirajno, 2009)

۵-۵- روند تکامل سیال کانسنگ‌ساز

افزایش چگالی سیال باقی‌مانده و تولید حباب در میانبارهای منطقه شده است (Wilkinson, 2001; Ulrich and Gunther, 2001). ایجاد پدیده کف‌جوشی نیز باعث تغییراتی در شرایط فیزیکوشیمیایی محلول کانسنگ‌ساز و افزایش pH می‌گردد که باعث ته‌نشست فلزات و ناپایداری کمپلکس‌ها و در نهایت تشکیل کانی‌های سولفیدی می‌گردد. همچنین تغییر pH نیز باعث کاهش فعالیت لیگاندها و کاهش فعالیت H_2O و در واقع کاهش ثابت دی‌الکتریک می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت، در مهاجرت سیال از عمق به سطح، سازوکار نهشت از جوشش یک سیال با میزان شوری و CO_2 پایین به سمت سرد شدن ساده و کف‌جوشی در تغییر بوده است و همانطور که گفته شد این تغییر می‌تواند باعث حرکت سیال به سمت زون‌های گسلی، درزه‌ها و مرز لایه‌ها و کاهش فشار لایه‌های بالایی و در نتیجه افزایش دما و وقوع پدیده نامیژاکی سیال باشد.

پیش‌بینی منشأ سیال گرمایی با استفاده از نمودار کسلر (Kesler, 2005) نشان می‌دهد که میانبارهای سیال بیشترین تمرکز را در محدوده آب‌های با منشأ دگرگونی دارند (شکل ۹). با توجه به هم‌پوشانی با آب‌های دریایی منشأ اولیه سیالات دگرگونی احتمالاً اینگونه سیالات بوده‌اند. با توجه به اینکه سیال‌های دگرگونی معمولاً دارای تمرکز پایینی از گوگرد کاهشی است و در ترکیب خود سرشار از CO_2 به صورت فاز کلاتریت در میانبارهای سیال مشاهده می‌شوند.

بررسی‌ها نشان می‌دهد که عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی را می‌توان به عنوان فاکتورهای بنیادی در انتقال سیال در مقیاس‌های محلی و ناحیه‌ای در نظر گرفت. فرایند ته‌نشست مس به طور عمده نتیجه واکنش سیالات دگرگونی با سنگ میزبان دگرگونی در اثر سردشدگی سیالات و افزایش چگالی طبق نمودار و معادله حالت ژانگ و فرانتس (Zhang & Frantz, 1987) نشان می‌دهد که این پدیده در ته‌نشست کانیایی مواد معدنی در یک حجم محدود از سنگ به دلیل عدم شیب زمین گرمایی در محیط‌های پوسته‌ای از اهمیت قابل توجهی برخوردار بوده است (Wilkinson, 2001). از این رو همانگونه که در شکل ۱۱ نشان داده می‌شود کاهش دمای همگن‌شدگی از ۳۹۴ تا ۱۷۴ درجه سانتی‌گراد باعث افزایش چگالی از ۰/۷ به ۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌شود که این افزایش باعث کاهش سرعت سیال کانسنگ‌ساز و در نهایت تمرکز و نهشت ماده معدنی می‌گردد. پدیده کف‌جوشی در میانبارهای سیال در رگه‌های همراه با کانه‌زایی، نیز نشانه نامیژاکی سیال آگین در زمان تشکیل کانسنگ بوده است. کاهش دمای همگن‌شدگی و افزایش چگالی سیال نیز این پدیده را تایید می‌کند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که فرآیند کف‌جوشی زمانی رخ داده است که تعدادی فاز بخار با چگالی پایین، از سیال فوق بحرانی همگن شده به حالت مایع و دارای چگالی بالاتر از چگالی بحرانی جدا شده‌اند و این پدیده باعث



شکل ۱۲- نمودار شرایط دما- فشار در شرایط بیشینه دگرگونی زون سندنجان- سیرجان و مقایسه آنها با شرایط فشارسنجی میانبارهای رگه‌های کوارتزی در ذخیره تنگ‌گورک، خطوط نقطه چین مقدار X_{CO_2} را نشان می‌دهند (اقتباس از داده‌های Bowers and Helgeson, 1983). بیشینه دگرگونی (Metamorphic Peak) در منطقه با استفاده از داده‌های فضل‌نیا و همکاران (Fazlnia et al., 2007) ترسیم شده است. کاهش فشار به ۱ کیلوبار همزمان با کاهش دما تا کمتر از ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد منجر به تشکیل رگه‌های کوارتزی شده است.

فوگاسیته اکسیژن (fO_2) و شرایط به دام افتادگی سیال می‌تواند از مقادیر X_{CO_2} در گستره متفاوت دما و فشار (T-P) با استفاده از معادلات اوهموتو و کریک (Ohmoto and Kerrick, 1977) و ثابت فوگاسیته هوینزنگا (Huizenga, 1995) در میانبارهای سیال کلاتریت‌دار محاسبه گردد (جدول ۳).

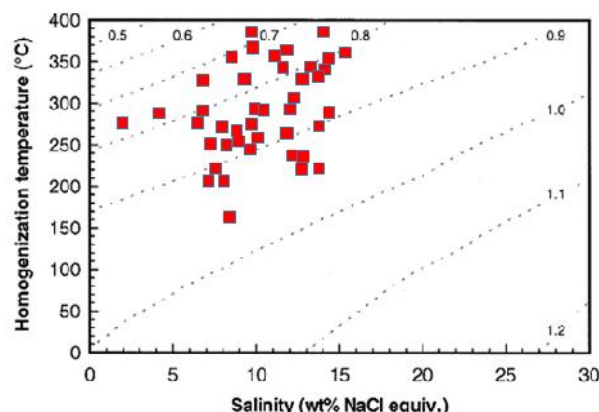
$$\log fO_2 = 0.5 * (\log fCO_2 + 2 \log fH_2O - \log fCH_4 - \log K_4)$$

میزان K برای دمای ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد به ترتیب ۸۸/۲ تا ۶۷/۰ در نظر گرفته شده است (Huizenga, 1995).

جدول ۳- محاسبه مقادیر X_{CO_2} و $\log fO_2$ در میانبارهای رگه‌های کوارتزی کانه‌دار تنگ‌گورک

Inclusion type	X_{CO_2}	X_{H_2O}	X_{NaCl}	$\log fO_2$
II	0.2416	0.7224	0.0361	-38.17
II	0.2414	0.7279	0.0307	-33.92
II	0.2417	0.7199	0.0384	-33.09
II	0.2415	0.7227	0.0357	-37.39
II	0.2416	0.7226	0.0378	-32.73
II	0.2416	0.7210	0.0374	-34.73
II	0.2416	0.7213	0.0371	-41.77
II	0.2415	0.7257	0.0329	-39.79
II	0.2415	0.7238	0.0347	-40.64
II	0.2414	0.7283	0.0303	-37.17
II	0.2414	0.7283	0.0303	-37.24
II	0.2417	0.7186	0.0397	-39.23
II	0.2415	0.7227	0.0357	-37.95

تفکیک X_{CO_2} , X_{H_2O} , X_{NaCl} (vol.% CO_2 /vol. total in %)= درصد حجمی تفکیک مولی H_2O , CO_2 , $NaCl$ محاسبه از داده‌های ریزدماسنجی $\log fO_2 = 3C + 2H_2O(l) + O_2(g) = 2CO_2(g) + CH_4(g)$.



شکل ۱۱- نمودار شوری دما برای محاسبه چگالی میانبارهای مورد مطالعه بر حسب $gr. Cm^{-3}$ نمودار اقتباس از (Bodnar, 1983) چگالی سیال کانسنگ‌ساز عمدتاً در محدوده ۰/۷ تا ۱/۰ گرم بر سانتی‌متر مکعب در تغییر بوده است.

۵-۶- شرایط فشار- دما و فوگاسیته اکسیژن

فشار و دمای کانی‌سازی می‌تواند از جایگاه زمین‌شناختی، تجمعات کانیایی و داده‌های میانبارهای سیال محاسبه گردد (Yao et al., 2001). شکل ۱۲ نموداری از محاسبه فشار در مقابل دمای همگن‌شدگی را نشان می‌دهد. نوسانات در فشار ممکن است ناشی از تکرار شکستگی‌ها و بازشدگی رگه‌ها و نهشت رگه‌های کوارتزی چند مرحله‌ای طی کانه‌زایی در توالی چین‌شناختی منطقه مورد مطالعه باشد. میانبارهای سیال با فشار بیش از ۳ کیلوبار و دمای همگن‌شدگی بیش از ۲۲۱ درجه سانتی‌گراد ممکن است از یک سیال همگن دارای H_2O-CO_2 پیش از نامیژاکی سیال در سامانه به وجود آمده باشد. در مقایسه با داده‌های تجربی منحنی نامیژاکی H_2O-CO_2-NaCl شکل ۱۲ می‌توان پیشنهاد کرد که مقدار X_{CO_2} در سیال همگن اولیه تقریباً بین ۰/۱ تا ۰/۳ بوده است (Shelton et al., 1988). به باور جان و همکاران (John et al., 1999) سیالات کانسنگ‌ساز در محیط‌های دگرگونی مستعد، در طول شکستگی‌ها و در امتداد زون‌های برشی در یک رژیم شکننده طی دگرگونی رخساره شیبست سبز (دماهای ۲۰۰ تا ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد) و فشارهای بین ۱ تا ۳ کیلوبار، ارتباط مستقیم با کانه‌زایی و توسعه نسل‌های مختلف رگه‌های کوارتزی دارند. بر طبق نظر تارکین (Tarkian et al., 2003) و مک‌کویگ و کریک (McCuaig and Kerrick, 1998) تجمعات کانیایی پیریت \pm کلکوپیریت \pm اسفالریت \pm گالن در ارتباط با تجمعات کانیایی دگرسانی کوارتزی-اکتینولیت-تورمالین در ذخیره تنگ‌گورک نشان می‌دهد که کانه‌زایی در دمای ۱۷۴ تا ۳۹۴ درجه سانتی‌گراد و فشار ۱ تا ۴ کیلوبار رخ داده است. این نتایج مطابق با آن چیزی است که در بیشتر ذخایر مس رگه‌ای مزوترمال گزارش شده است (Wen et al., 1996; Mateus et al., 2003; Anderson et al., 2004; Evans and Battles, 2011) و نشان می‌دهد که کانه‌زایی رگه‌ای اولیه زیر فشارها و دماهای پیشنهاد شده توسط فضل‌نیا و همکاران (Fazlnia et al., 2007) و پس از رخداد اوج دگرگونی ایجاد شده است.

سولفیدی به صورت پرکننده فضای خالی و جان‌شینی، کانه‌زایی دیرزاد و لایه کران و عدم ارتباط با فعالیت‌های آذرین را نشان می‌دهد. مطالعات شوری و دمای همگن‌شدگی بر روی رگه‌های کوارتز-سولفید نشانگر یک سامانه کانه‌زایی مزوترمال است.

تقدیر و تشکر

این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده دوم است که با حمایت مالی معاونت پژوهشی دانشگاه شیراز و از طریق اعطای گرنت پژوهشی (۹۴GCU۲M۲۳۶۲۸۰) انجام یافته است.

مراجع

Anderson, A. J., Mayanovic, R.A. and Sasa, B., 1995, "Determination of the local structure and speciation of zinc in individual hypersaline fluid inclusions by micro-XAFS", *Can. Mineral.* 33: P.499-508.

Anderson, R., Graham, C.M., Boyce, A.J. and Fallick, A.E., 2004, "Metamorphic and basin fluids in quartz-carbonate-sulphide veins in the SW Scottish Highlands: a stable isotope and fluid inclusion study", *Geofluids* 4: P.169-185.

Bodnar, R. J., 1983, "A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids", *Econ. Geol.*, 78: 535-542.

Boveiri Konari, M., Rastad, E., Kojima, Sh. and Nematollah Rashidnejad, O., 2013, "Neues Jahrbuch für Mineralogie-Abhandlungen Band", P: 107 - 121.

Bowers, T.S. and Helgeson, H.C., 1983, "Calculation of the thermodynamic and geochemical consequences of nonideal mixing in the system H₂O-CO₂-NaCl on phase relations in geological systems: equation of state for H₂O-CO₂-NaCl fluids at high pressures and temperatures", *Geochim Cosmochim Acta*, 47: P.1247-1275.

Eugster, H. P. and Wones, D.R., 1962, "Stability relations of the ferruginous biotite", *J. petrol.* 3: P.82-125.

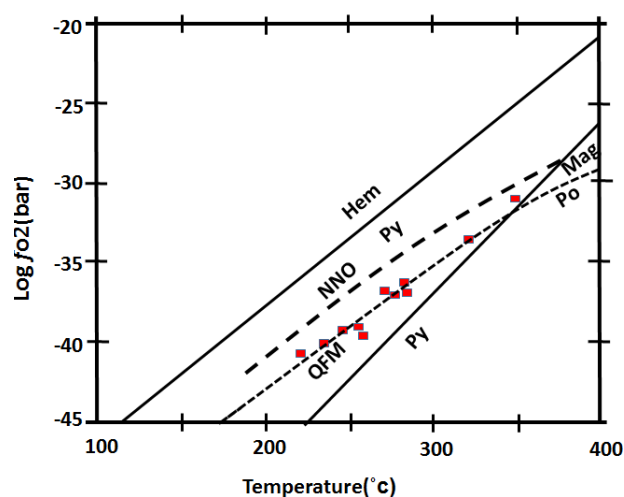
Evans, M. A. and Battles, D. A., 2011, "Fluid inclusion and stable isotope analyses of veins from the central Appalachian Valley and Ridge province: Implications for regional synorogenic hydrologic structure and fluid migration", *Geological Society of America Bulletin*, 12: P.1841-1860.

Fazlnia, A., Moradian, A., Rezaei, K. Moazzen, M. and Alipour, S., 2007, "Synchronous Activity of Anorthositic and S-type Granitic Magmas in Chah-Dozdan Batholith, Neyriz, Iran: Evidence of Zircon SHRIMP and Monazite CHIME Dating. Journal of Sciences, Islamic Republic of Iran", Vol. 18 (3), P. 221-237.

Frost, B. R., Frost, C. D. and Touret, J. L. R., 1989, "Magmas as a source of heat and fluids in granulite metamorphism", In: *Bridgwater, D. (ed.) Fluid Movements-Element Transport and the Composition of the Deep Crust. NATO ASI Series, C-281. Dordrecht: Kluwer Academic, P. 1-18.*

مقادیر به دست آمده برای $\log f_{O_2}$ بین ۴۱/۷۷- تا ۳۲/۷۳- در ذخیره تنگ‌گورک است. همانگونه که در شکل ۱۳ نشان داده شده است ارزش‌های $\log f_{O_2}$ در درون محدوده پایداری پیریت (در طول خط بافر QFM) قرار می‌گیرد. بنابراین سیال کانسنگ‌ساز در شرایط نسبتاً کاهش یافته باعث نهشت کانسنگ‌های مس شده است. علاوه بر جدایش نامیژاک CO₂ به دام افتاده در میانبارهای سیال منجر به اکسایش فزاینده در سطوح کمتر پوسته‌ای شده است (Klein et al., 2006).

فقدان کانی‌های سولفیدی در رگه‌های کوارتزی نسل دوم به شدت نشان می‌دهد که فوگاسیته اکسیژن به حد کافی بالا رفته است به گونه‌ای که نسبت به H_2S فزونی یافته است و باعث نهشت شده است.



شکل ۱۳- نمودار $\log f_{O_2}$ در برابر دما و قرارگیری نمونه‌های میانبارها در راستای خط QFM (کوارتز- فایالیت- مگنتیت). محاسبات بر اساس معادلات اهموتو و کریک (Ohmoto and Kerrick, 1977) و ثوابت فوگاسیته از داده‌های هویزگا (Huizenga, 1995).

نتیجه گیری

مهم‌ترین واحدهای سنگی رخمون یافته در منطقه مورد مطالعه شامل ماسه‌سنگ‌ها، سنگ‌های آهکی دولومیتی، سنگ‌های آذرین اسیدی تا حد واسط، اکسیدهای آهن و غیره می‌باشد که بر اساس شدت هجوم سیالات گرمایی دچار تغییرات شیمیایی شده‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهد که منشأ اصلی سیالات تشکیل دهنده ذخیره تنگ‌گورک آب دریایی است که در میان واحدهای سنگی مدفون شده و در قالب آب دگرگونی تحرک یافته و در طول شکستگی‌ها و مناطق بُرشی و درزه‌ها در اثر برهمکنش با سنگ‌ها مواد معدنی را ته‌نشست داده‌اند. تکامل سیال کانسنگ‌ساز بر اثر پدیده‌های سردشدگی و جوشش، شرایط مناسبی را برای ته‌نشست ماده معدنی سولفیدی با سنگ میزبان دگرگونی فراهم آورده است. بررسی میانبارهای سیال رگه‌های کوارتز، دمایی بین ۱۷۴ تا ۳۹۴ درجه سانتی‌گراد را برای این سیالات نشان می‌دهد. میزان شوری میانبارهای سیال ۱/۶ تا ۱۵/۲ درصد وزنی معادل نمک طعام بوده که بیانگر شوری پایین تا متوسط است. نبود فازهای دختر نیز تأکیدی بر شوری پایین است. رُخدادهای

- Guilbert, J. M. and Park, C. F., 1997**, "The Geology of Ore Deposits", *W. H. Freeman & Co*, P.984.
- Haji Houseinlo, H., 2008**, "Structural and micro-structural analysis of Eghlid Brecciated zone", *Science journal (Islamic Azad University) 69: P.13-26 (in Persian)*.
- Hall, D. L., Sterner, S. M. and Bodnar, R. J., 1988**, "Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O solutions", *Economic Geology 83: Journal of Geological Society, London*, P. 197-202.
- Hitzman, M. W., 2001**, "Iron oxide-Cu-Au deposits: what, where, when, and why? In: Porter TM (ed) Hydrothermal iron oxide-copper-gold and related deposits-a global perspective", *PGC Publishing, Vol. 1. P.9-25*.
- Huizenga, J.M., 1995**, "Fluid evolution in shear zones from the Late Archean Harare-Shamva-Bindura greenstone belt (NE Zimbabwe): Thermodynamic calculations of the C-O-H system applied to fluid inclusions, Amsterdam", *Netherlands Research School of Sedimentary Geology, P.146*.
- John, T., Klemm, R., Hirdes, W., Loh, J., 1999**, "The metamorphic evolution of the Paleoproterozoic (Birimian) volcanic Ashanti belt (Ghana, West Africa)", *Precambrian Research, 98, P.11-30*.
- Kesler, E. S., 2005**, "Ore-Forming Fluids", *Elements., Vol. 1, P.13-18*.
- Klein, E. E., Harris, C., Renac, C., Giret, A., Moura, C.A.V. and Fuzikawa, K., 2006**, "Fluid inclusion and stable isotope (O, H, C, and S) constraints on the genesis of the 226 Serrinha gold deposit, Gurupi Belt, northern Brazil", *Mineralium Deposita, 41; P.160-178*.
- Mateus, A., Matos, J., Rosa, C. and Oliveira, V., 2003**, "Copper in quartz-carbonate veins at Estremoz-Alandroal and Barrancos-Sto Aleixo regions (Ossa Morena Zone): a result of Late-Variscan hydrothermal activity?", *Ciências da Terra V (UNL), Lisboa, 8: P.90-93*.
- McCuaig, T. C. and Kerrich, R., 1998**, "P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: Evidence from alteration systematics", *Ore Geology Reviews, 12: 381-453*.
- Ohmoto, H. and Kerrick, D., 1977**, "Devolatilization equilibria in graphitic systems", *American Journal of Science, 277: P.1013-44*.
- Pirajno, F., 2009**, "Hydrothermal processes and mineral systems", *Springer, New York: P.1273*.
- Pollard, P. J., 2001**, "Evidence of a magmatic fluid and metal source for Fe-oxide Cu-Au mineralization. In: Porter TM (ed) Hydrothermal iron oxide-copper-gold and related deposits-a global perspective", *PGC Publishing., Vol. 1: P. 27-41*.
- Robb, L., 2005**, "Introduction to ore-forming processes. Blackwell publishing", P.334.
- Roedder, E., 1984**, "Fluid Inclusions, Reviews in mineralogy, Mineralogical Society of America", P. 1-33.
- Sarkarinejad, K., Faghih, A. and Grasemann, B., 2008**, "Transpressional deformations within the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt (Zagros Mountains, Iran)", *Journal of Structural Geology 30: P.818-826*.
- Sarkarinejad, Kh and Azizi, A., 2008**, "Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran", *Journal of Structural Geology 30: P.116-136*.
- Seward, T. M., 1991**, "The hydrothermal geochemistry of gold", *Foster, R. P. (ed.), 1993, Gold Metallogeny and exploration. Blackie and Son, Glasgow*.
- Shelton KL, So CS., Chang, J. S., 1988**, "Gold-rich mesothermal vein deposits of the Republic of Korea: geochemical studies of the Jungwon Gold area", *Economic Geology, 83, P.1221-37*.
- Shepherd, T., Rankin, A. H. and Alderton, D. H. M., 1985**, "A practical guide to fluid inclusion studies", *Blackie, USA Chapman and Hall New York, P.239*.
- Simmons, G., Kesler, S.E., Essene, E.J. and Chryssoulis, S.L., 2000**, "Gold in porphyry copper deposits: Experimental determination of the distribution of gold in the Cu-Fe-S system at 400° to 700°C, Economic Geology", *Vol: 95, P. 259-270*.
- Sterner, S.M. and Bodnar, R.J., 1991**, "Synthetic fluid inclusion in natural quartz", *X. Experimental determination of P-V-T-X properties in the CO₂-H₂O system to 6 kb and 700 °C, American Journal of Science 262: P.1055-1074*.
- Tarkian, M., Hunken, U., Tokmakchieva, M. and Bogdanov, K., 2003**, "precious-metal distribution and fluid-inclusion petrography of the Elatsite porphyry copper deposit", *Bulgaria. Miner. Deposita, 38, P.261-281*.
- Ulrich, T. and Gunther, D., 2001**, "The evolution of a porphyry Cu-Au deposit, Based LA-ICP-MC Analysis of fluid inclusions: Bajo de la Alumbraram Argentinian, Econ", *Geol, v. 96, P. 1743-1774*.
- Volkov, A.V., Savva, N.E., Sidorov, A.A., Prokofev, V.Y., Goryachev, N.A., Voznesensky, S.D., Al'shevsky, A.V and Chernova, A.D., 2011**, "Shkol'noe Gold Deposit, the Russian Northeast", *Geology of Ore Deposits, 53: P.1-26*.
- Wen, N., Boyce, A.J., Fallick AE, Ashworth, J.R. and Ixer, R.A., 1996**, "The genesis of Cubearing quartz veins by metamorphic remobilization from stratiform red bed deposits, SW County Cork, Ireland", *Mineralogy and Petrology, 57: P.73-89*.
- Wilkinson, J. J., 2001**, "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits", *Lithos., Vol. 55, P. 229-272*.
- Williams, P. J., Barton, M. D., Johnson, D. A., Fontbote, L., De Haller, A., Mark, G., Oliver, N. H. S., and Marschik, R., 2005**, "Iron Oxide Copper-Gold Deposits: Geology, Space-Time Distribution, and Possible Modes of Origin", ©2005 Society of Economic Geologists, Inc. *Economic Geology 100th Anniversary Volume, P. 33*.
- Yao, Y. Murphy, P.J. and Robb, L.J., 2001**, "Fluid Characteristics of Granitoid-Hosted Gold Deposits in the Birimian Terrane of Ghana: A Fluid Inclusion Microthermometric and Raman Spectroscopic Study", *Economic Geology 96: P.1611-1643*.
- Zhang, Y. G. and Frantz, J.D., 1987**, "Determination of the homogenization temperatures and densities of supercritical fluids in the system NaCl-KCl-CaCl₂-H₂O using synthetic fluid inclusions", *Chem. Geol., Vol. 64, P. 335-350*.