بررسی کانی سازی های معادن مس بولاغی و رشت آباد بر اساس مطالعات سیّالات درگیر

نوشته : دکتر بهزاد حاج علیلو * و دکتر احمد خاکزاد**

Fluid inclusion studies on mineral samples from Mesboulaghi (Mari) and Rashtabad mines

By: Dr.B.Haj Alilu * and Dr.A.Khakzad**

چکیده

شناخت تیپ کانی‌سازی کانسارهای مس رشت‌آباد و مس بولاغی با کمک مطالعات سیالات درگیر در راستای تبیین متالوژنی منطقه هشجین در پهنه ساختاری البرز باختری – آذربایجان هدف اصلی این مطالعه بوده است.

معادن یاد شده در شمال زنجان و در داخل مجموعه سنگهای آتشفشانی و آذرآواری ائوسن (هم‌ارز سازند کرج) قرار دارد که در حال حاضر متروکه می‌باشد. توفهای سبز، کریستال توف، لیتیک توف، توف ماسه‌ای و گدازه‌های آندزیتی و آندزی بازالتی بیشتر حجم این مجموعه را بخود اختصاص داده‌اند. توده‌های نفوذی جوان‌تر(به گمان اولیگو- میوسن) باترکیب کوارتز مونزونیتی در منطقه مورد مطالعه دیده می‌شود که با توجه به‌هاله بسیار گسترده گرمابی در اطراف آنها به نظر می‌رسد که کانی‌سازی در ارتباط با این توده نفوذی تشکیل شده است.

شکل کانی‌سازی در هر دو محل به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای بوده و کانیهای اصلی شامل کالکوپیریت در رشت‌آباد و کالکوپیریت و بورنیت در مس بولاغی می‌باشد. گانگ اصلی کانی‌سازی در رشت‌آباد کوارتز و کلسیت و در مس بولاغی کوارتز می‌باشد.

در راستای مطالعه سیالات درگیر و با توجه به شواهد سنگ‌شناسی ۴ تیپ مختلف سیال درگیر در منطقه به صورت زیرشناسایی شد: I- با شوری متوسط و غنی از مایع II- نسبتاً غنی از گاز با چگالی پایین III- غنی از املاح V- شور با چگالی کم

از ۱۳۶ سیال درگیر مطالعه شده در دو محل، ۸۶ مورد متعلق به تیپ I، ۸ مورد متعلق به تیپ II، ۳ مورد متعلق به تیپ III و ۱۲ مورد متعلق به تیپ V می‌باشند نکته بسیار جالب توجه در سیالات درگیر معدن مس بولاغی وجود سیالات درگیر با ابعاد ۱۴۰ و ۸۰ میکرون در این محل بوده است. میانگین درازای سیالات درگیر معدن مس بولاغی ۳۱/۴ μ و معدن رشت‌آباد ۳۴/۴ μ m است. مهم‌ترین فازهای دختر دیده شده در سیالات درگیر این دو محل به ترتیب هالیت، سیلویت، انیدریت و کانی اوپاک بوده است.

برپایه بررسی‌های دماسنجی، محدوده حرارتی همگون شدن سیالات درگیر در معدن مس بولاغی میان ۱۶۲ تا ۴۳۴ °C و در معدن رشت‌آباد بین ۲۷۲ تا ۴۸۵ °C بوده است. سقف حرارتی بالا در معدن رشت‌آباد نشانگر نزدیک بودن محل این کانی‌سازی به مرکز حرارتی کانی‌سازی در منطقه است که شواهد صحرایی نیز این نکته را تأیید می‌کند (تشدید دگرسانی‌ها). بر پایه این مطالعات می‌توان حداقل سه فاز اصلی کانی‌سازی در منطقه تشخیص داد. کانی‌سازی اصلی مس (فاز سوم کانی‌سازی) در معدن مس بولاغی در بین حرارتهای ۳۰۰ تا ۳۲۰ °C و در معدن رشت آباد بین حرارتهای ۲۸۰ تا ۳۴۰ °C صورت گرفته است. فاز دیگری از کانی‌سازی مس (فاز دوم کانی‌سازی) که به صورت ضعیف‌تری همراه با کانی‌سازی همانیت اولیه، صورت گرفته، در مس بولاغی با محدودهٔ حرارتی ۲۶۰ تا ۲۹۰ °C ودر رشت‌آباد با محدودهٔ حرارتی ۴۰۰ تا ۴۲۰ °C مشخص می‌شود. مطالعات مقاطع صیقلی وجود احتمالی سه نسل از کانی‌سازی

کالکوپیریت در منطقه را تأیید می‌کند. نسل دیگر کانی‌سازی (فاز اول کانی‌سازی) که حرارت بالایی را نیز از خود نشان می‌دهد در ۴۵۰ تا ۴۹۰ °C صورت گرفته که به گمان کالکوپیریتهای ریز و پراکنده در متن کانی‌سازی می‌تواند متعلق به همین فاز باشد. ممکن است آثار کانی‌سازی طلا در منطقه که هنوز مورد بررسی است، متعلق به همین فاز گرم باشد. براساس این شواهد می‌توان گفت که این کانی‌سازیها از نوع مزوترمال بوده و آثاری از کانی‌سازی تیپ هیپوترمال نیز در منطقه دیده می‌شود.

شواهد بدست آمده از انجماد سیالات درگیر نشان می‌دهد که حداکثر شوری سیالات درگیر معدن مس بولاغی ۱۴٪ وزنی معادل نمک طعام و در معدن رشت‌آباد حدود ۱۹٪ وزنی معادل نمک طعام است. شوری سیال اصلی کانی‌سازی کنندهٔ مس در منطقه بین ۸ تا ۱۳٪ وزنی معادل نمک طعام بوده است. شوری فاز داغ (۴۵۰ تا ۴۹۰ °C) کانی‌سازی کننده در منطقه نیز بین ۱۷ تا ۱۹٪ وزنی معادل نمک طعام می‌باشد. این فاز کانی‌سازی بایستی در مطالعات بعدی به دلیل اهمیت خاص آن در کانی‌سازی احتمالی مس پورفیری و طلا در منطقه مورد توجه بیشتری قرار گیرد.

واژه‌های کلیدی: مس، سیّالات درگیر، متالوژنی، معادن بولاغی و رشت آباد، البرز باختری

Abstract

The main aim of this paper is the recognition of type of copper mineralization in Rashtabad and Mesboulaghi ore deposits with regard to Hashjin area metallogeny in west Alborz-Azarbayjan.

These mines are situated in north Zanjan and within the Ecocene volcanosedimentary complex (Karaj Formation). Green tuff, crystal tuff,lithic tuff, sandy tuff, latite andesite and basaltic andesite lava are important members of this complex. Quartz monzonite intrusives (probably Oligo-Miocene) are seen in this area and in view of the intense hydrothermal alteration observed, probably the mineralization is related to this intrusives.

The form of mineralization in both area is vein and veinlet and major mineral in Rashtabad is chalcopyrite and in Mesboulaghi is chalcopyrite and bornite. Major gangue at Rashtabad is quartz and calcite and in Mesboulaghi it is quartz.

70 doubly polished thin sections were prepared from quartz and calcite. On the basis of petrographic evidence, there are four types of fluid inclusion in this area. Type I: with moderate salinity and rich in liquid. Type II: rich in gas and low density. Type III: rich in salt and Type IV: saline with low density. Out of 136 fluid inclusions in Rashtabad and Mesboulaghi, 86 cases belong to type I, 8 cases belong to type II, 3 cases belong to type III and 12 cases belong to type V. Mesboulaghi samples show inclusions ranging form 80-140 μ m length. The average length of inclusions in Mesboulaghi mine is 41.4 μ m and in Rashtabad mine is 33.4 μ m. The daughter phases in these fluid inclusions are halite, sylvite, anhydrite and opaque minerals.

On the basis of thermometry study, the thermal range of fluid inclusions homogenization in Mesboulaghi is from 162 to 434 ° C and in Rashtabad mine is from 272 to 485 ° C. Higher thermal limit in Rashtabad mine is related to smaller distance from the center of mineralization phase in this area. The major phase of copper mineralization at Mesboulaghi is between 300 to 330 ° C and in the Rashtabad mine is between 280 t0 340 ° C. Another phase of copper mineralization (weak and with iron mineralization) took place in Mesboulaghi with thermal range of 360 to 390 ° C and in Rashtabad with thermal range of 400 to 430 ° C. Mineralographic study reveals three phase of chalcopyrite mineralization in this area. The first phase of mineralization from 450 to 490 ° C and probably tiny chalcopyrite in matrix of mineralization belongs to this phase. It is possible that traces of gold belong to this warm phase. On the basis of this evidence we can say that this mineralization was mesothermal and occasionally hypothermal.

Freezing study confirms that the maximum salinity of fluid inclusions in Mesboulaghi is 14eq. wt% NaCl and in Rashtabad almost 19eq. wt% NaCl. The salinity of major copper bearing fluid in this area is between 8 t0 13eq. wt% NaCl. The Salinity of hot phase (450 to 490 ° C) is between 17 to 19eq. wt% NaCl. This phase must be regarded as a target for future study of porphyry copper and gold mineralization.

Key Words: Copper, Fluid inclusion, metallogeny, Rashtabad and Mesboulaghi mines, West Alborz

مقدمه

استفاده از سیالات درگیر (fluid inclusion) به عنوان ابزاری در امر اکتشاف و بررسی ژنز کانسارها به ویژه در ۵۰ سال اخیر بسیار متداول بوده و در بسیاری از موارد بطور کلی اساس تئوریهای موجود در این زمینه را دگرگون ساخته است، اگر چه این مسأله تنها یکی از کاربردهای فراوان سیالات درگیر است.

هر چند که بسیاری از اصول اساسی سیالات درگیر بر اثر مشاهدات و نوشته‌های Sorby(1826-1908) می‌باشد و او را پدر علم سیالات درگیر نامیده‌اند ولی سابقه این علم بسیار بیشتر بوده و حتی ابوریحان بیرونی در قرن یازدهم میلادی به توصیف برخی از سیالات درگیر پرداخته است.

مطالعات Rodder (1980) پیشرفتهای بسیار قابل ملاحظه‌ای در علم سیالات درگیر بوجود آورد که پایه بسیاری از کارهای علمی در این زمینه می‌باشد.

عامل اصلی در تشکیل سیالات درگیر بی‌نظمی سطوح بلوری هنگام تشکیل آنها است، بطوریکه در ناهمواریهای میکروسکوپی سطوح بلوری، بخشی از سیال کانه‌ساز جای گرفته و سپس با رشد سطح بعدی فضاهای کوچک پوشیده شده (Sealing off) و سیالات در این حفره‌ها محبوس می‌شوند و در نهایت سیالات درگیر بوجود می‌آیند. محلولهای سازنده این سیالات درگیر، حاوی عناصری است که در حال حاضر در تودههای معدنی حضور دارند.

انجام این مطالعات در راستای بررسی تمام کانی‌سازیهای این منطقه از جمله کانی‌سازیهای سنجده، قهرمان جن (آغجه قلعه)، شاه علی بیگلو، خلف و ... جهت تبیین متالوژنی ترشیری در این ناحیه صورت گرفته است که نتایج مطالعات سیالات درگیر در دیگر مناطق در نوشتارهای دیگری آورده خواهد شد.

۲- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه:

معدن متروکه مس بولاغی به مختصات ′ ۲۵ ° ۴۵ طول خاوری، و ° ۳۷ عرض شمالی در ۳۵ کیلومتری شمال شهرستان زنجان واقع شده و معدن در حال راه‌اندازی رشت‌آباد (رشید آباد) به مختصات ′ ۲۰ ° ۴۸ طول خاوری، و ′ ۱۰ ° ۳۷ عرض شمالی در ۴۵ کیلومتری شمال – شمال باختری شهرستان زنجان جای دارد. (شکل ۱).

از دیدگاه تقسیمات زمین ساختی گستره مورد بررسی متعلق به پهنه زمین ساختی البرز باختری بوده و در پایانه باختری پهنه طارم قرار می‌گیرد.

سنگهای درونگیر منطقه که هم‌ارز با سازند کرج در البرز هستند، شامل توف سبز، توف ماسه‌ای، کریستال توف، لیتیک توف، توفهای آندزیتی، گدازه آندزیتی و آندزی بازالتی است. دایکهای پورفیریتی این مجموعه را به ویژه در محل معدن رشت‌آباد به صورت متوالی قطع کرده است (عکس ۱). تودههای نفوذی مشاهده شده دارای ترکیب گرانودیوریتی و کوارتز مونزونیتی هستند (نقشه ۲). گسترش دگرسانی گرمابی مشاهده شده در این ناحیه کم و در حد آرژیلیک ضعیف و به ویژه پروپلیتیک است. نمونه‌های انتخاب شده برای تهیه چهپس از رگچه‌های سیلیسی است که در زون دگرسانی پروپلیتیک قرار می‌گیرند.

شکل کانی‌سازی در هر دو محل به صورت رگه‌ای و رگچه‌ای می‌باشد. دست کم دو نسل از این رگه‌های سیلیسی در معدن مس بولاغی و رشت‌آباد مشاهده می‌شود. رگه‌های سری دوم که به صورت رگچه‌ای هستند و رگه‌های اولی را قطع نموده‌اند بیشتر دارای کانی‌سازی مس می‌باشند. فاز کلسیت در معدن رشت‌آباد متأخر از فاز سیلیسی می‌باشد. در مس بولاغی کانی‌سازی مس به صورت بورنیت و کالکوپیریت همراه با گانگ کوارتز در داخل آندزیتهای نیمه پورفیری است. کانی‌سازی در راستای N85E صورت گرفته و بیشینه پهنای رگه ۴ متر و درازای آن به ۶۰ متر می‌رسد (عکس ۲).

کانی‌سازی اصلی در معدن رشت‌آباد به صورت کالکوپیریت و پیریت با مقدار کمی بورنیت، کالکوزین، کوولین و همائیت است. شکل کانی‌سازی به

صورت رگه‌ای و گانگ اصلی کانی‌سازی، کوارتز بنفش و کلسیت است. راستای کانی‌سازی در این محل N90E و سنگ دروندگیر، توف سبز و لیتیک توف می‌باشد.

۳- لوازم و آمادسازی نمونه‌ها:

با توجه به وجود رگه‌های کوارتزی همراه با کانی‌سازیهای معدن مس بولاغی و رشت‌آباد، ازاین کانی برای تهیه تیغه‌های نازک دو بر صیقل (Double polished thin section) استفاده گردید.

همزاد (Cogenetic) بودن این کانی با کانی‌سازیهای صورت گرفته در دو محل، به روشنی از روی شواهد صحرایی و در نمونه‌های صحرایی قابل مشاهده است. در معدن رشت‌آباد به دلیل گسترش گانگ کلسیت که همزاد با کانی‌سازی بوده و متأخر از فاز کوارتز است، از این کانی نیز برای تهیه مقاطع نازک دو بر صیقل استفاده گردید. در مورد کوارتز سعی شد بیشتر از کریستالهای خود شکل و شفاف کوارتز که در هر دو محل دیده می‌شوند استفاده شود.

تعداد ۱۰ مقطع نازک دو بر صیقل به ضخامتهای ۱۰۰ تا ۳۰۰ میکرون از محل معدن مس بولاغی و رشت‌آباد تهیه گردید.

در مطالعات پتروگرافی سیالات درگیر بیش از ۱۴۰ سیال درگیر مورد بررسی قرار گرفته که نتایج حاصل در قسمت مربوطه آورده شده است.

آزمایشهای حرارت دادن (Heating) و انجماد (Freezing) این مطالعات با استفاده از یکدستگاه گرم کننده و سرد کننده (Combine Heating and Freezing Stage) لینکام (Linkam) مدل THMSG600 انجام گرفته است. برای تنظیم (Calibration) دستگاه می‌توان در مرحله گرمایش از نیترات سدیم و دی کرومات پتاسیم و در مرحله انجماد از تتراکلرید کربن و CO_2 مایع استفاده کرد. دقت کار دستگاه در هنگام حرارت دادن و انجماد ۰/۱ ± درجه سانتیگراد بوده است. محدودهٔ حرارتی این دستگاه بین ۱۸۰- تا ۶۰۰ + درجه سانتیگراد بوده است.

۴- سنگشناسی سیالات درگیر:

پتروگرافی سیالات درگیر متفاوت از پتروگرافی سنگهای معمولی است زیرا در مطالعه مقاطع نازک، نمونه‌ها فقط در دو بعد دیده می‌شود در حالی که در ادخالها، نمونه‌ها به صورت سه بعدی هستند.

قبل از شروع کار با دستگاه گرما دهنده و منجمد کننده، بایستی وقت زیادی روی کار پتروگرافی سیالات درگیر صرف نمود تا بتوان نمونه‌های بزرگتر، روشن‌تر و ادخالهای اولیه را پیدا نمود، چرا که تصویرهای بدست آمده توسط میکروسکوپهای مطالعه کننده سیالهای درگیر به واضحی تصویر میکروسکوپهای پتروگرافی نخواهد بود. از دیدگاه Rodder (1980) بهترین درشتنمایی برای مطالعه سیالات درگیر، عدسی شیئی ۱۰۰x است که به صورت روغنی باشد.

در این پژوهش، مطالعه سیالات درگیر با عدسی شیئی ۱۰x شروع شد و به ترتیب با عدسی‌های شیئی x ۲۵، x ۴۰ و x ۱۰۰ ادامه یافت. در این مرحله حدود ۸۰ سیال درگیر از معدن مس بولاغی و حدود ۶۰ سیال درگیر از معدن رشت‌آباد مورد بررسی و اندازه‌گیری قرار گرفت.

۴-۱- سنگشناسی سیالات درگیر معدن مس بولاغی (ماری):

۴ نمونه از چپه‌سهای کوارتزی تهیه شده از این محل، نهها ساعت مورد بررسی دقیق قرار گرفت. براساس این مطالعات ۴ نوع سیال درگیر براساس فازهای تشکیل دهنده دراین محل شناسایی شد که عبارتند از :

- سیالات درگیر تیپ I که دارای شوری متوسط و غنی از مایع هستند.
- سیالات درگیر تیپ II که به نسبت غنی از گاز بوده و چگالی پائینی دارند.
- سیالات درگیر تیپ III که غنی از املاح هستند.
- سیالات درگیر تیپ V که شور با چگالی کم می‌باشند.

از ۸۲ سیال درگیر مطالعه شده از محل معدن مس بولاغی ۴۲ مورد متعلق به تیپ II، ۲۴ مورد متعلق به تیپ III و ۱۰ مورد متعلق به تیپ V می‌باشد.

نکته بسیار جالب توجه در سنگشناسی سیالات درگیر این ناحیه وجود سیالات درگیر بسیار بزرگ و غیرعادی در این نمونه‌ها است. دو عدد از بزرگ ترین سیالات درگیر مشاهده شده در این نقطه دارای طول μ m ۱۴۰ و μ m ۱۸۰ (عکسهای ۳ و ۴) بوده که در دنیا منحصر به فرد می‌باشد. در مورد بقیه سیالات درگیر ابعاد سیالات درگیر این منقطه نیز، بسیار بزرگ است، بطوریکه میانگین درازای ۸۲ سیال درگیر مطالعه شده به μ m ۴۱/۴ رسیده است که عدد بسیار قابل توجهی است. میانگین پهنای حفرهها μ ۱۹/۳، میانگین درازای حباب μ m ۱۱/۵ و درجه پرشدگی در سیالات درگیر این نقطه ٪۷۵ بوده است.

فاز دختر در سیالات درگیر این نقطه، به نسبت کم می‌باشد. از مجموع سیالات درگیر مطالعه شده ۲۶ مورد فاقد فاز دختر بوده، ۲۴ مورد دارای یک فاز دختر، ۱۶ مورد دو فاز دختر و ۶ مورد دارای سه فاز دختر بوده‌اند (جدول یک).

مهم‌ترین کریستال دختر این ادخالها، هالیت بوده و کریستالهای دختر

از نوع سیلویت (مثلثی شکل)، انیدریت (طویل و کشیده) و کانی فلزی (تیره رنگ) می‌باشند (عکسهای ۵ و ۶).

مقدار سیالات درگیر ثانویه در این نمونه‌ها بسیار زیاد است که به صورت انبوه در محل شکافها قرار گرفته‌اند (عکس ۷) و این ادخالها درجه همگون شدن کمتری از خود نشان می‌دهند. وجود دو سیستم درزه دیاگونال که بوسیله دو نسل از سیالات درگیر (یکی به صورت کشیده و دیگری به صورت بی‌شکل) پر شده‌اند در برخی از نمونه‌ها به وضوح دیده می‌شود (عکس ۸). از بررسی این سیالات درگیر ثانویه می‌توان به عملکرد تنشهای تکتونیکی در منطقه دست یافت.

شکل سیالات درگیر اغلب به صورت بی‌شکل (lath shape) بوده ولی گاهی اشکال منفی بلور (Negative shape) و سوزنی شکل (Needle shape) نیز مشاهده می‌شود. پدیده‌هایی چون باریک شدگی (Necking down) در برخی از نمونه‌ها به چشم می‌خورد. (عکسهای ۹ و ۱۰). امکان آزمایش دماسنجی با منجمد کردن روی این نوع ادخالها فراهم نیست.

۴-۲- سنگشناسی سیالات درگیر معدن رشت‌آباد:

سه نمونه از چیپسهای کوارتزی و یک نمونه از چیپس کلسیتی این محل مورد مطالعه سنگشناسی دقیق سیالات درگیر قرار گرفت. در این مرحله با بررسی ۵۴ سیال درگیر و برپایه فازهای تشکیل دهنده آنها، ۴ نوع سیال درگیر به شرح زیر مورد شناسایی قرار گرفت:

۱- سیالات درگیر تیپ I که دارای شوری متوسط و عنی از مایع هستند.

۲- سیالات درگیر تیپ II که نسبتاً غنی از گاز بوده و چگالی پائین دارند.

۳- سیالات درگیر تیپ III که غنی از املاح هستند.

۴- سیالات درگیر تیپ V که شور با چگالی کم می‌باشند.

از ۵۴ سیال درگیر مورد مطالعه، ۴۴ مورد متعلق به تیپ I، ۲ مورد متعلق به تیپ II، ۶ مورد متعلق به تیپ III و ۲ مورد متعلق به تیپ V هستند. چیزی که به صورت مشخص از مقایسه سیالات درگیر این دو محل مشاهده می‌شود این است که در معدن رشت‌آباد، تنوع تیپهای سیالات درگیر به مراتب کمتر از معدن مس بولاغی بوده و بیشتر نمونه‌ها متعلق به تیپ I هستند (جدول دو).

بیشینه درازای سیال درگیر مشاهده شده در این نمونه‌ها ۷۰ میکرون و میانگین درازای ۵۴ سیال درگیر مشاهده شده ۳۴/۴ میکرون می‌باشد. میانگین پهنای سیالات درگیر ۱۵/۹ میکرون، میانگین اندازه حبابها ۷/۷ میکرون و درجه پرشدگی متوسط نیز ۷۷/۶٪ است.

مقدار سیالات درگیر در نمونه‌های کوارتز بسیار بیشتر از نمونه کلسیت می‌باشد ولی وضوح سیالات درگیر در چیپس کلسیتی بیشتر از نمونه کوارتز است (عکس ۱۱). در این نمونه‌ها مقدار سیالات درگیر اولیه در مقایسه با معدن مس بولاغی بسیار بیشتر است.

تنوع فازهای دختر در این محل در مقایسه با معدن مس بولاغی کمتر است بطوریکه از ۵۴ سیال درگیر مطالعه شده ۴۲ مورد فاقد فاز دختر بوده، ۸ مورد دارای یک فاز دختر و ۴ مورد دارای ۲ فاز دختر بوده است. این مسأله نشانگر شوری بیشتر در سیالهای کانی ساز منطقه مس بولاغی است. دو مورد از این کریستالهای دختر کانی اوپاک بوده و بقیه به ترتیب هالیت، سیلویت و انیدریت می‌باشد (عکس‌های ۱۲ و ۱۳)

از نظر شکل ظاهری اغلب نمونه‌ها بدون شکل مشخص می‌باشند ولی گاهی شکل منفی بلور (Negative shape crystal) و شکل کشیده در ادخالها دیده می‌شود (عکس ۱۴). پدیده باریک شدگی (Necking down) نیز در برخی از نمونه‌ها به چشم می‌خورد (عکس ۱۵).

۵- حرارت دادن و انجماد (Heating and freezing):

۵-۱- حرارت دادن:

هدف از این روش بدست آوردن درجه حرارت همگون شدن فازهای مختلف درون سیالات درگیر است که نتیجه درجه حرارت به تله افتادن سیالات یا درجه حرارت تشکیل کانی‌سازی است.

در انتخاب نمونه‌هایی که عمل حرارت دادن روی آنها می‌بایست صورت گیرد باید دقت شود که سیال درگیر حتماً از نوع اولیه بوده، پدیده باریک شدگی (Necking own) در آن وجود نداشته باشد و پدیده شکفتگی در آن به وقوع نپیوندد. سیالات درگیری که دارای شکل منفی بلور هستند برای این کار مناسبتر می‌باشند.

بسته به چگالی سیال درگیر یا مقدار پرشدگی آن (Degree of filling) در هنگام حرارت دادن هموژنیزاسیون می‌تواند به سه حالت اتفاق بیفتد (نمودار ۱) منظور از درجه پرشدگی (D_f) نسبت حجم فاز مایع (V_1) به حجم کل حفره سیال درگیر (V_c) می‌باشد.

۱- اگرچگالی سیال درگیر از ۰/۴ بیشتر باشد یا درجه پرشدگی آن ($D_f = \frac{V_1}{V_c}$) بیشتراز ۵۰٪ باشد همگون شدن به فاز مایع صورت خواهد گرفت.

۲- اگر چگالی سیال درگیر برابر ۰/۳ و یا درجه پرشدگی آن برابر ۴۵٪ باشد در هنگام حرارت دادن مرز بین فاز مایع و جامد از بین می‌رود

(همگون شدن بحرانی)

۳- اگر چگالی سیال درگیر کمتر از ۰/۳ و یا درجه پرشدگی آن کمتر از ۴۵٪ باشد در هنگام حرارت دادن همگون شدن به فاز گاز صورت خواهد گرفت.

۵-۱-۱- همگون شدن در نمونه‌های معدن مس بولاغی (ماری)

پس از انتخاب نمونه‌های مناسب با شرایط یاد شده، عمل حرارت دادن و انجماد روی نمونه‌ها صورت گرفت. برای جلوگیری از آسیب دیدن و ترکیدن نمونه‌ها ابتدا آزمایش انجماد و سپس آزمایش حرارت دادن روی نمونه‌ها انجام گردید. ۴۶ مورد از مجموع ۸۲ سیال درگیر بررسی شده در معدن مس بولاغی مورد آزمایش حرارت دادن قرار گرفت که در هیچکدام از نمونه‌ها همگون شدن به فاز گاز مشاهده نگردید.

محدوده حرارتی همگون شدن فازها بین ۱۶۲ تا ۴۲۴ درجه سانتیگراد بوده است. در نمودار ۲ درجه حرارت همگون شدن نسبت به فراوانی نمونه‌ها رسم شده است. همانگونه که در این نمودار نیز مشخص است می‌توان ۴ فاز کانی‌سازی را در این محل تشخیص داد. نقطه اوج (peak) اول که بین ۱۵۰ تا ۱۸۰ °C واقع می‌شود می‌تواند متعلق به آخرین فازهای هیدروترمالی همزمان با کانی‌سازی یا فاز هیدروترمالی پس از کانی‌سازی اصلی باشد که سبب دگرسانی وسیع کانیهای اصلی مثل کالکوپیریت، بورنیت و همانیت و تبدیل آنها به کالکوزین، کولین،ویژنیت و اولیژیست شده است. این موارد با مطالعات مقاطع صیقلی نیز تأیید می‌شود.

به نظر می‌رسد کانی‌سازی اصل مس (فاز سوم کانی‌سازی) در درجه حرارت ۳۰۰ تا ۳۳۰ °C صورت گرفته است و فاز دوم کانی‌سازی مس که اهمیت کمتری نیز داشته به گمان همراه همانیت در درجه حرارت ۳۶۰ تا ۳۹۰ °C صورت گرفته باشد. مطالعات مقاطع صیقلی از این محل وجود دونسل متمایز کالکوپیریت را مشخص کرده است.

کالکوپیریت نسل دوم دارای بافت خشن‌تری بوده و مقدار آن بیشتر است و اغلب به بورنیت، کالکوزین و کوولین تبدیل شده‌اند (عکس ۱۶). کالکوپیریت نسل اول که دارای حرارت بالاتری هستند به صورت دیمه‌اتومورف یا غیر اتومورف بوده و بافت ملایم‌تری نسبت به کالکوپیریتهای نسل دوم دارند (عکس ۱۷). بافت اکسولوشن گاهی بین کالکوپیریتهای نسل اول و بورنیت مشاهده می‌شود (عکس ۱۸).

در هر حال می‌توان گفت که حجم اصلی کانی‌سازی مس در معدن مس بولاغی که به صورت کالکوپیریت و بورنیت است در بین درجه حرارت ۳۰۰ تا ۳۹۰ °C صورت گرفته است.

یک نقطه تقریباً اوج (Peak) مشخص نیز در بین حرارت ۴۳۰ تا ۴۵۰ ° مشاهده می‌شود شاید در نید اول این ستون از نمودار زیاد جلب توجه نکند، ولی اهمیت این محدوده حرارتی هنگامی مشخص‌تر می‌شود که ملاحظه شود در تمام ۴ نقطه دیگر این منطقه نیز که مطالعات سیالات درگیر صورت گرفته در همین محدوده‌های حرارتی یک پیک (Peak) حرارتی در نمودارها مشاهده می‌شود و این می‌تواند نشانگر وجود یک فاز کانی‌سازی حرارت بالا در این منطقه باشد. در مطالعه مقاطع صیقلی این ناحیه (در معدن مس بولاغی مشاهده نشد) گاهی کانی‌سازی پراکنده (Dissceminate) به صورت کالکوپیریت به شکل ریزدانه در متن سنگها مشاهده می‌شود که به گمان می‌توان این اوج حرارتی را به این فاز کانی‌سازی نسبت داد.

۵-۱-۲- همگون شدن در نمونه‌های معدن رشت‌آباد

تعداد ۳۲ نمونه از سیالات درگیر معدن رشت‌آباد که همگی متعلق به کانی کوارتز بودند مورد این آزمایش قرار گرفتند. سرعت افزایش حرارت تا ۱۵۰ °C به صورت ۱۰ °C در هر دقیقه و از آن بالاتر به صورت ۵ °C در هر دقیقه بوده است. محدوده حرارتی که در آن نمونه‌ها همگون شدند بین ۲۷۲ تا ۴۸۵ °C قرار دارد.

نتایج مربوط به درجه همگون شدن سیالات درگیر در مقابل فراوانی آنها در نمودار ۳ آورده شده است. سه نقطه اوج مشخص در این نمودار مشاهده می‌شود به نظر می‌رسد حجم اصلی کانی‌سازی که به صورت کالکوپیریت می‌باشد در حرارت ۲۸۰ تا ۳۴۰ °C صورت گرفته است که هماهنگی زیادی با کانی‌سازی معدن مس بولاغی نشان می‌دهد. مطالعه مقاطع صیقلی نیز وجود یک نسل کانی‌سازی کالکوپیریت و بورنیت را در این محل نشان می‌دهد. کالکوپیریتها دارای بافت خشن و مشابه با کانی‌سازی فاز اول کالکوپیریت در معدن مس بولاغی هستند (عکس ۱۹). با توجه به وجود همانیت اولیه در این محل، به نظر می‌رسد که نقطه اوج حرارتی که بین ۴۰۰ تا ۴۳۰ °C است می‌تواند مربوط به این فاز کانی‌سازی باشد. نکته جالب توجه در این نمودار وجود یک نقطه اوج بسیار مشخص در درجه حرارتهای ۴۷۰ تا ۴۹۰ °C است که در معدن مس بولاغی نیز به آن اشاره گردید. این فاز گرم‌ترین فاز سولفیدی مس در منطقه است که به احتمال می‌تواند به صورت کالکوپیریتهای بسیار ریز و

پراکنده در متن سنگها و کانی‌سازیهای دیگر متجلی شود. در معدن رشت‌آباد در مقاطع صیقلی آثاری از این فاز کانی‌سازی مس مشاهده نشد.

می‌توان با استفاده از منجمد کردن سیال درونگیر و سپس مشخص نمودن درجه حرارت ذوب آخرین کریستال یخ درون سیال درگیر، به میزان شوری (Salinity) سیال پی‌برد. برای بدست آوردن مقدار شوری سیال براساس درجه حرارت آخرین کریستال یخ می‌توان از نمودارهای مختلفی استفاده نمود. در این پژوهش از نمودار Rodder(1964) که، دیاگرام دوتایی برای سیستم $NaCl-H_2O$ است و در نمودار ۴ آورده شده استفاده گردیده است. از این نمودار در محاسبه شوری نیز استفاده شده است. همچنین هنگامیکه کریستال دختر در سیال درگیر وجود نداشته باشد می‌توان از فرمول زیر برای محاسبه مقدار شوری استفاده کرد. با فرض اینکه شوری اصلی سیال درگیر متعلق به هالیت است مقدار شوری همواره برحسب معادل وزنی Nacl بیان می‌شود. در فرمول زیر 0 درجه حرارت ذوب آخرین کریستال یخ برحسب درجه سانتیگراد می‌باشد.

$$Wt\%NaCl = 1.7690 - 4.2384 \times 10^{-2} \times 0^{-2} + 5.2778 \times 10^{-4} \times 0^{3}$$

با توجه به مشکل بودن مشاهده ذوب آخرین کریستال یخ بویژه در سیالات درگیر سعی می‌شود تا نمونه‌های بزرگتر و شفافتر جهت این کار انتخاب شود، به همین علت تعداد ۲۰ مورد سیال درگیر انتخاب و مورد آزمایش انجماد (Freezing) قرار گرفت. اغلب نمونه‌های مطالعه شده در این مرحله فاقد کریستال دختر بوده‌اند بنابراین ممکن است مقدار نمک گونگی (salinity) کمتر از حد انتظار بدست آمده باشد.

۵-۲-۱- انجماد نمونه‌های معدن مس بولاغی (ماری)

سرعت انجماد به صورت C ° ۱۰ در هر دقیقه و سرعت گرم کردن به صورت C ° ۳ در هر دقیقه و حتی کمتر نیز بوده است. محدوده حرارتی ذوب آخرین قطعه یخ در این نمونه‌ها بین ۱۰- تا C ° ۳ می‌باشد. نمودار ۵ مربوط به درجه حرارت ذوب آخرین قطعه یخ و درصد وزنی نمک طعام در مقابل فراوانی است. حداکثر مقدار نمک موجود در سیالهای درگیر این نقطه معادل حدود ۱۴٪ وزنی نمک طعام بوده است که شوری متوسط محسوب می‌شود. یک نقطه اوج مشخص در نمودار ۵ مشاهده می‌شود که بین ۵- تا C ° ۶- و معادل با ۷/۹ تا ۹/۲٪ وزنی نمک طعام است. این مقدار شوری متعلق به درجه هموژنیزاسیونهای بین ۲۰۰ تا C ° ۳۳۰ می‌باشد که فاز اصلی کانی‌سازی مس در آن صورت گرفته است. بنابراین می‌توان گفت شوری واقعی سیال اصلی کانی‌ساز در معدن مس بولاغی بین ۸ تا ۹/۲٪ معادل وزنی نمک طعام بوده است. یادآوری می‌شود نقاط اوج دیگری در نمودار انجماد ملاحظه می‌گردد که از اهمیت زیادی برخوردار نیستند. نقطه اوج ۹- تا C ° ۱۰- معادل با ۱۲/۹ تا ۱۴٪ وزنی نمک طعام نیز متعلق به درجه همگون شدن ۲۶۰ تا C ° ۳۹۰ و یا ۴۲۰ تا C ° ۴۵۰ است.

وجود تغییرات غلظت نمک از حدود ۵٪ تا ۱۴٪ معادل وزنی نمک طعام در معدن مس بولاغی می‌تواند نشاندگر این مسأله باشد که کانی‌سازی‌های فازهای مختلف این کانسار متعلق به یک منبع سیال کانسار ساز بوده، که در نتیجه مخلوط شدن با آبهای گرمابی دیگر و یا آبهای زیرزمینی از مقدار نمک گونگی (Salinity) و حرارت آن کاسته شده است.

۵-۲-۲- انجماد نمونه‌های معدن رشت آباد:

تعداد ۱۱ مورد از سیالات درگیر مربوط به معدن رشت‌آباد مورد آزمایش قرار گرفت. در مورد تمام نمونه‌ها ابتدا درجه حرارت با سرعت C ° ۵ در هر دقیقه به C ° ۸۰- رسانده شده و سپس با سرعت C ° ۳ در هر دقیقه شروع به حرارت دادن شده است که نتایج این مطالعات در نمودار آورده شده است.

همانگونه که در نمودار مشخص گشته یک نقطه اوج مشخص در بین درجه حرارتهای ۷- تا C ° ۹- معادل با ۱/۵ تا ۱۲/۹٪ وزنی نمک طعام دیده می‌شود. این نقطه اوج متعلق به نمونه‌هایی است که درجه همگون شدن آنها بین ۲۰۰ تا C ° ۲۴۰ است و این مقادیر منطبق برمحدوده اصلی کانی‌سازی مس در معدن رشت‌آباد است. بنابراین می‌توان گفت که فاز اصلی کانی‌سازی که در محدودهٔ حرارتی ۲۸۰ تا C ° ۳۴۰ کانی‌سازی انجام داده دارای شوری معادل ۱۰/۵ تا ۱۳٪ وزنی نمک طعام بوده است.

نقطه اوج بین ۱۳- تا C ° ۱۵- که معادل با ۱۷ تا ۱۸/۸٪ وزنی معادل نمک طعام است. منطبق بر درجات همگون شدن بالای C ° ۴۰۰ است. در درجات بالای C ° ۴۰۰ دو فاز کانی‌سازی براساس درجه همگون شدن مشخص می‌شود که در گذشته به آنها اشاره گردید. این درجه شوری ۱۷ تا ۱۸/۸٪ می‌تواند متعلق به فاز ۴۰۰ تا C ° ۴۲۰ و یا به احتمال قوی‌تر متعلق به فاز ۴۶۰ تا C ° ۴۹۰ باشد، در این حالت اینگونه استنباط می‌شود که شوری گرم‌ترین فاز کانی‌سازی در منطقه که در این محل محدودهٔ آنها بین ۴۲۰ تا C ° ۴۹۰ مشخص گردید، حدود ۱۷ تا ۱۹٪ معادل وزنی نمک طعام است. این شوریهای متوسط همراه با درجه حرارتهای متعلق به آنها، به سوی ویژگیهای سیالهای کانسارهای مس پورفیری و حتی کانسارهای پنوماتولیتی متمایل می‌شود. باد این نکته بار

دیگر لازم است که شوریهای اندازه‌گیری شده اغلب روی ادخالهای فاقد کریستال دختر صورت گرفته است. نتایج حاصل از مطالعات سیالات درگیر در سه نقطه دیگر ازاین منطقه می‌تواند روشنگر مسائل بیشتری در این زمینه باشد.

برای کنترل شوری و نیز فشار بخار محلولهای NaCl دار، با فاز دختر هالیت و بدون فاز دختر از دیاگرام Rose & Ahmad استفاده گردید. در معدن مس بولاغی سیالات با NaCl اشباع شده مشاهده نمی‌شود ولی شوری سیالها بیشتر از معدن رشت آباد است. بیشترین تعداد سیالات درگیر مطالعه شده در این محل در محدوده‌ای که فشار بخار محلولهای NaCl دار بین ۲۰۰ تا ۲۰ بار (اتمسفر) می‌باشد، قرار می‌گیرد (نمودار ۷).

در معدن رشت‌آباد نیز سیالات اشباع از کلرور سدیم دیده نشد. فشار بخار محلولهای دارای NaCl، در این محل براساس مطالعات سیالات بین ۲۵۰ تا ۵۰ بار (اتمسفر) می‌باشد (نمودار ۸).

نتیجه‌گیری :

حاصل آزمایشها از حرارت دادن ۷۸ نمونه سیال درگیر و انجماد ۳۱ نمونه نشانگر یک محدوده حرارتی به نسبت وسیع از حرارت همگون شدن بین ۱۶۲ تا ۴۸۵ °C و مقدار شوری ۱/۷٪ تا ۱۹٪ وزنی معادل نمک طعام است (نمودارهای ۹ و ۱۰). وجود یک فاز کانی‌ساز با حرارت بالا و متمایز از بقیه فازهای کانی‌ساز در نمونه‌ها به چشم می‌خورد. شوریهای بالا نیز متعلق به همین فاز کانی‌ساز است. فاز اصلی کانی‌سازی مس در این منطقه در محدود حرارتی ۲۸۰ تا ۳۴۰ درجه سانتیگراد صورت گرفته هر چند که فازهای کانی‌ساز کم اهمیتتری نیز در این بررسیها مشخص گشته است. شوری سیالات فازاصلی کانی‌سازی مس بین ۸٪ تا ۱۳٪ وزنی معادل نمک طعام بوده است. با توجه به نمودار ۵، ۶ و ۱۰ مشخص است که دو سیال با شوری ضعیف و متوسط در این کانی‌سازها نقش داشته‌اند و محدوده نسبتاً وسیع شوری در نمودارها به همین علت می‌باشد.

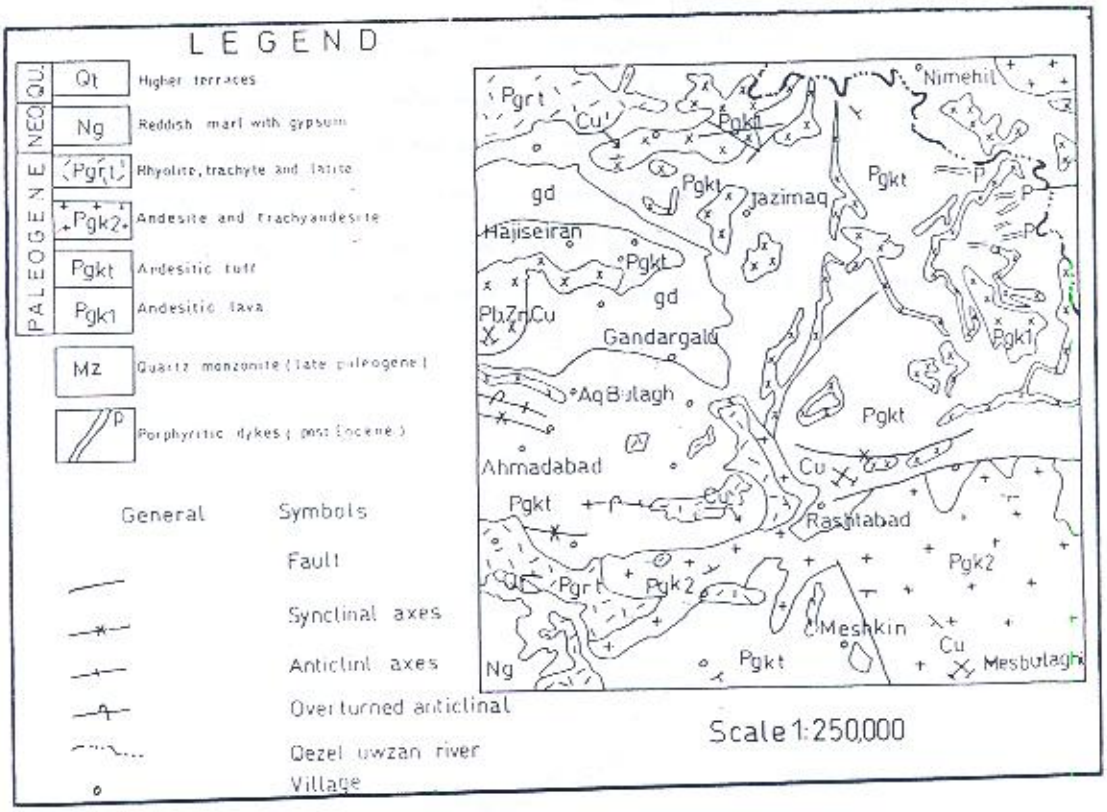
نکته‌ای که می‌تواند در مطالعات بعدی مورد توجه بیشتری قرار گیرد، پیگیری و ردیابی اثرات فاز گرم و نسبتاً شورکانی‌سازی (۴۲۰ تا ۴۹۰ °C و ۱۷ تا ۱۹٪ وزنی نمک طعام) در منطقه است. این فاز می‌تواند به احتمال کانی‌سازی مس پورفیری و یا طلا همراه خود داشته باشد که به شواهد اولیه در این مورد دست یافته شده است.

سپاسگزاری :

در این پژوهش از مساعدت افراد و مؤسسات مختلفی بهره گرفته شده که لازم است از همه آنها تشکر و قدردانی شود. از آقای دکتر فریدُر به دلیل آموزش مفاهیم اصلی و اساسی مطالعه سیالات درگیر، از آقای دکتر مهرپرتو به دلیل مطالعه و ارائه رهنمودهایی در جهت بهتر شدن این کار پژوهشی، از آقایان دکتر ابراهیم راستاد و مهندس صفاری به دلیل مساعدتشان در جهت استفاده از میکروسکوپ و دستگاه گرم کننده و منجمد کننده مخصوص مطالعات سیالات درگیر، از آقای دکتر پورابریشمی به دلیل در اختیار گذاردن میکروسکوپ جهت انجام پتروگرافی سیالات درگیر و تهیه عکس از آنها و از آقای دکتر کلاگری به سبب تذکر برخی از نکات لازم تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

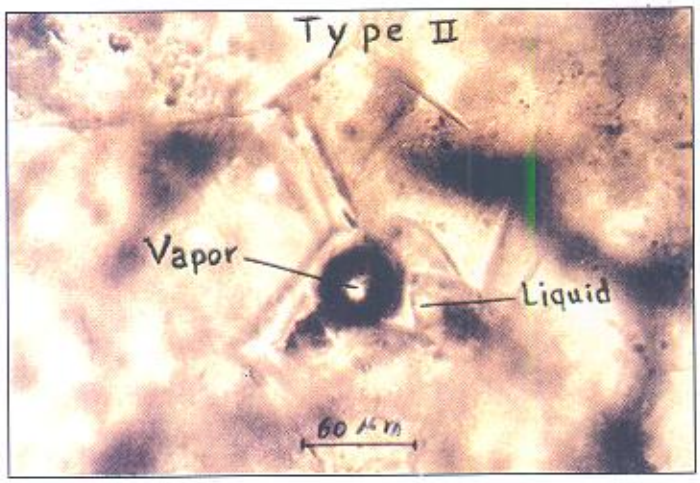
شکل ۱- موقعیت مناطق مورد مطالعه نسبت به شهرستان زنجان و مناطق همجوار

عکس ۱- نفوذ متوالی دایکهای پورفیریتی در داخل توفهای آندزیتی ائوسن در معدن رشت‌آباد

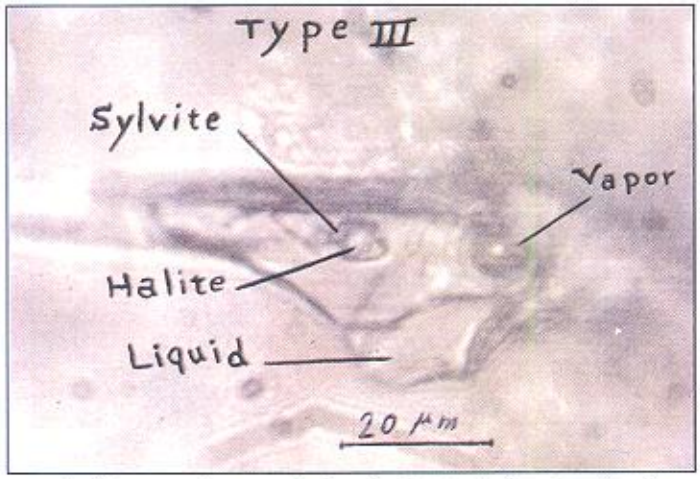


نقشه ۲- نقشه زمین‌شناسی خلاصه شده منطقه مورد مطالعه بر پایه چهارگوش بندرانزلی تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور

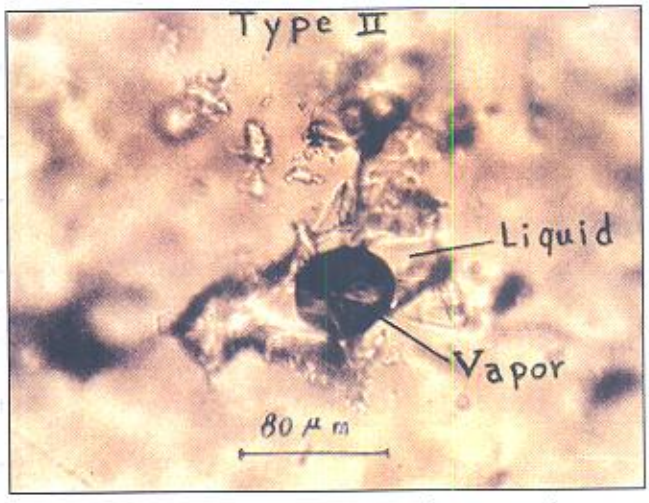
عکس ۲- رگه کوارتزی کانی‌سازی شده در منطقه مس بولاغی (ماری)



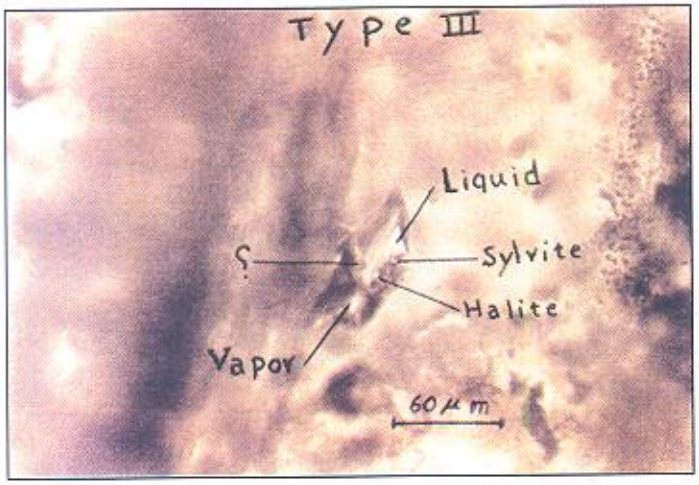
عکس ۴- یکی دیگر از سیالات درگیر معدن مس بولاغی با درازای تقریبی ۸۰ μm و پهنای ۳۵ μm



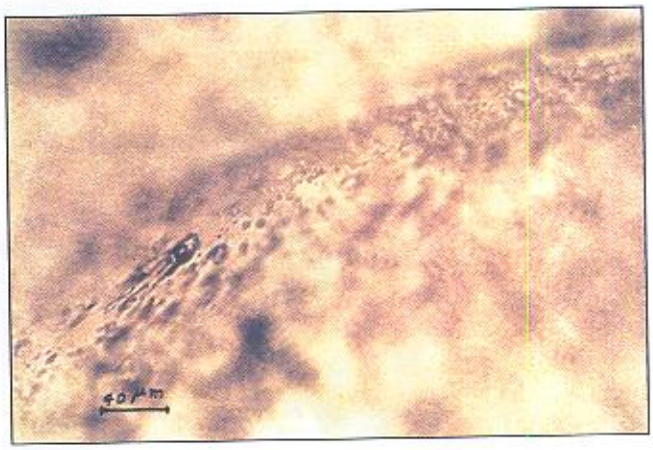
عکس ۵- سیال درگیر با حباب کوچک و یک فاز دختر هالیت و احتمالاً سیلویت



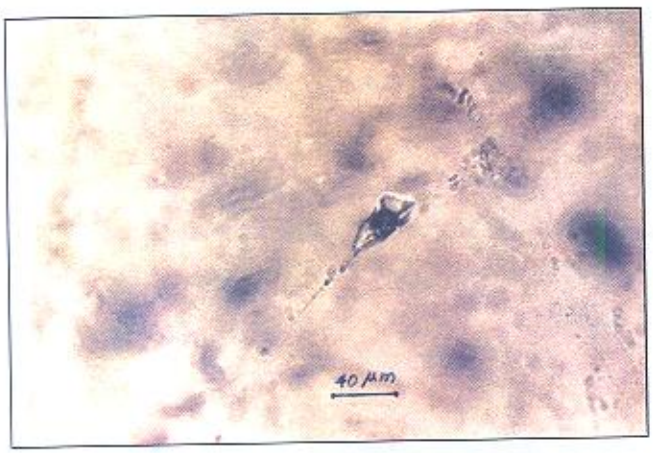
عکس ۳ - بزرگترین سیال درگیر مشاهده شده با درازای حدود ۱۴۰ μm متعلق به معدن متروکه مس بولاغی (ماری)



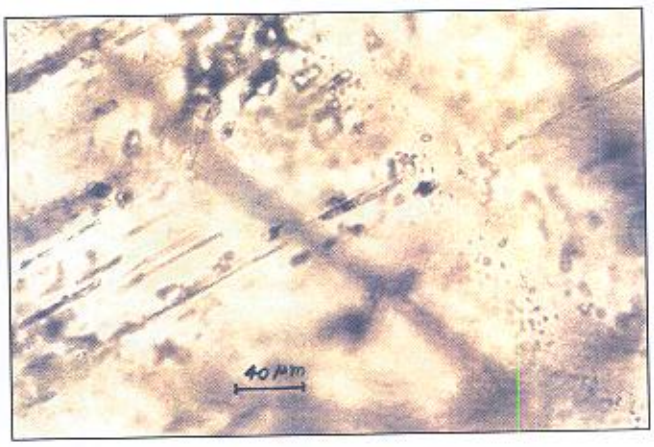
عکس ۶- سیال درگیر با حباب متوسط و سه فاز دختر هالیت، سیلویت و کانی ناشناخته



عکس ۷- سیالات درگیر ثانویه که در محل شکستگی پر شده‌اند.

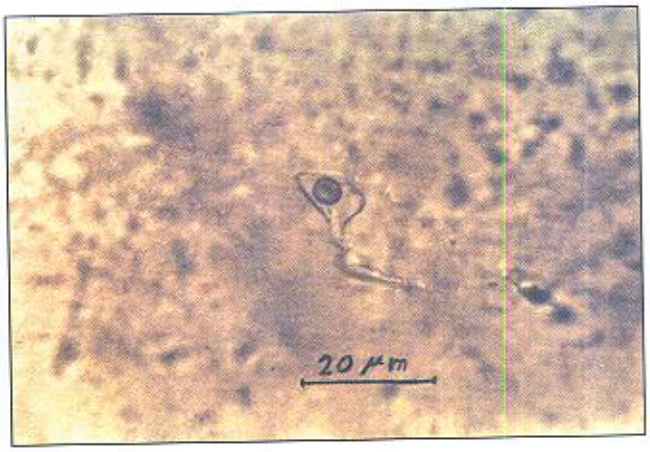


عکس ۱۰- پلیه باریک شدگی به‌صورت کامل در سیال درگیر معدن مس بولاغی

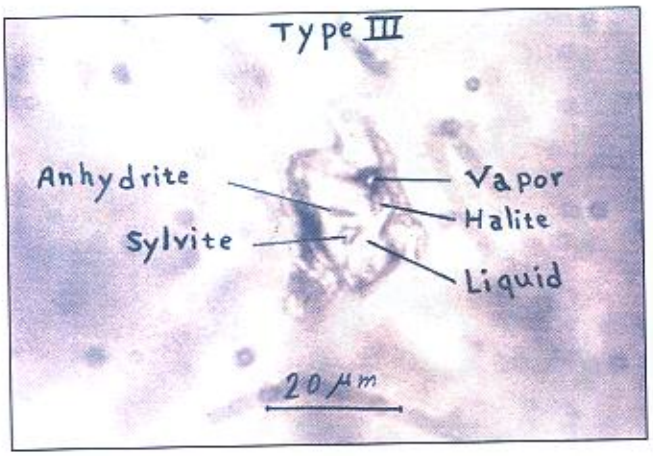


عکس ۸- دو سری سیال درگیر ثانویه که در محل درزه‌های دیاگونال پر شده‌اند.

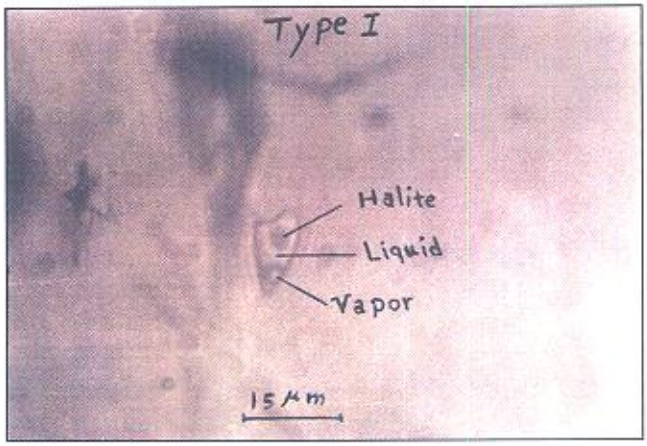
عکس ۱۱- سیال درگیر تیپ I در داخل گانگ کلسیت در معدن رشت‌آباد



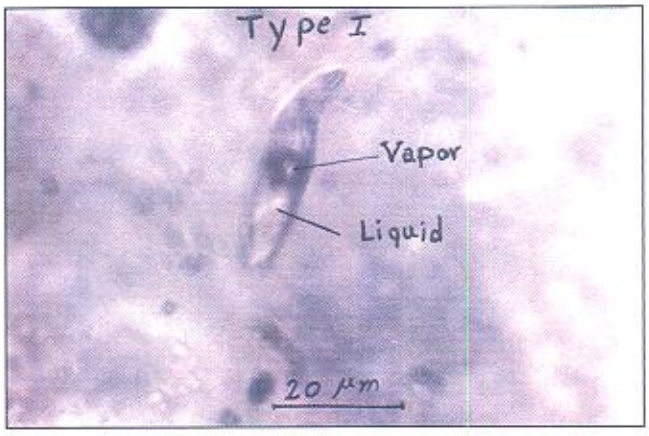
عکس ۹- انجام پلیه باریک شدگی (Necking Down) در یک سیال درگیر معدن مس بولاغی



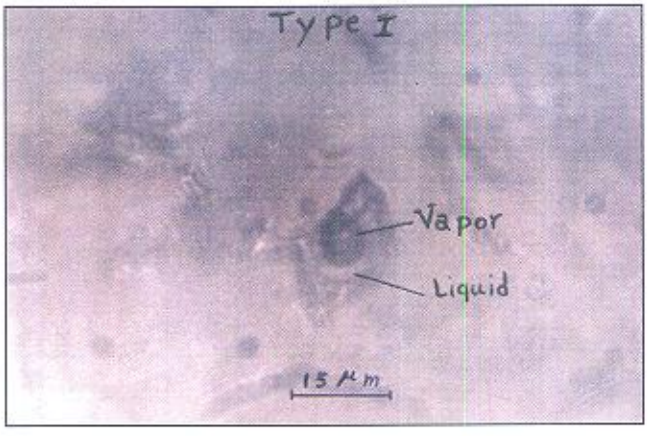
عکس ۱۲- سیال درگیر اولیه با سه فاز دختر و متعلق به تیپ III از معدن رشت آباد



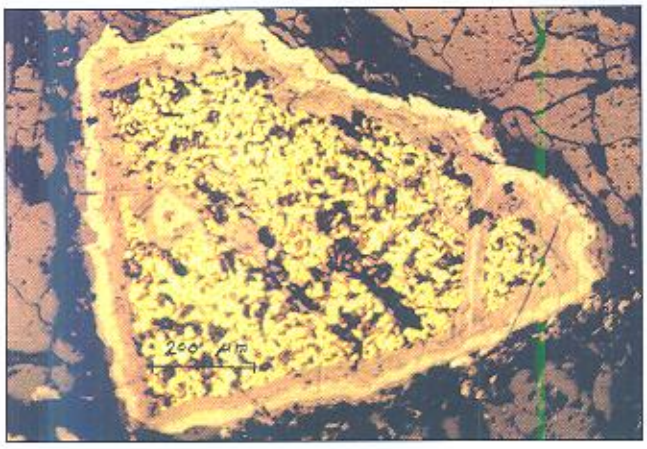
عکس ۱۳- سیال درگیر با شکل منفی بلور (کوارتز) و یک فاز دختر از معدن رشت‌آباد



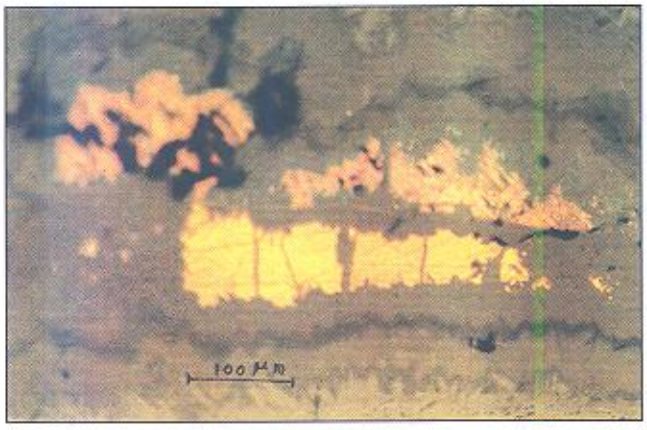
عکس ۱۴- سیال درگیر اولیه با شکل کشیده و نزدیک به شکل منفی بلور



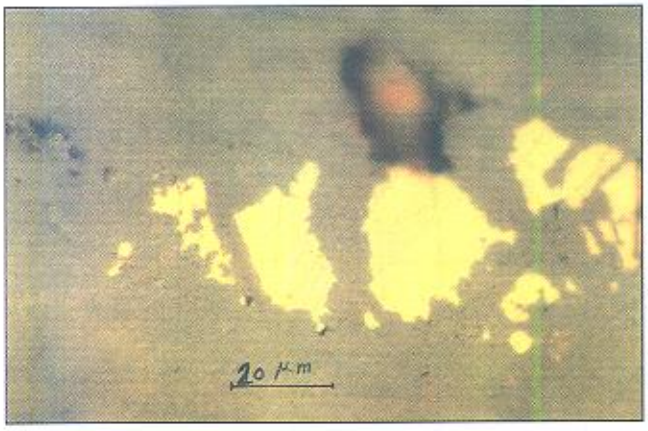
عکس ۱۵- سیال درگیر اولیه با شکل منفی بلور (کوارتز) و پدیده باریک شدگی



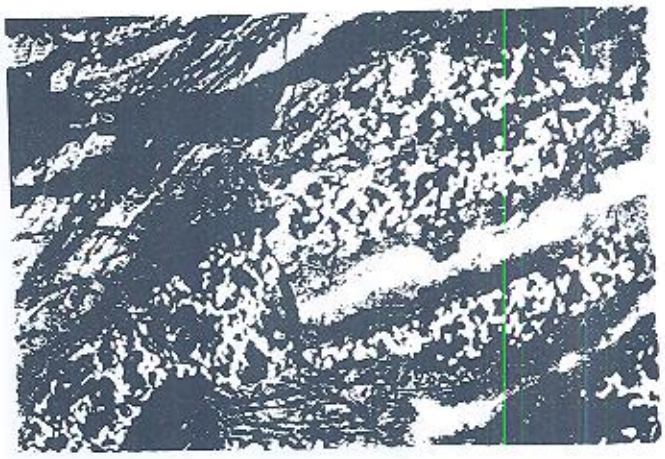
عکس ۱۶- کالکوپیریت نسل دوم با بافت خشن در معدن مس بولاغی شمال زنجان



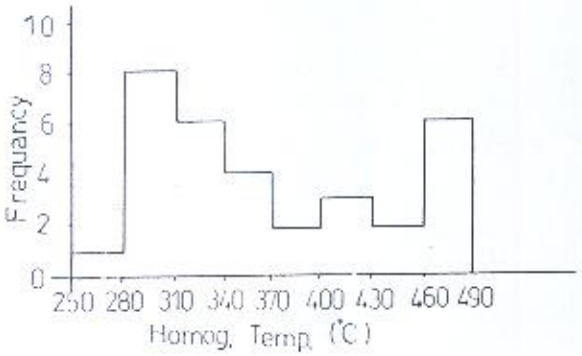
عکس ۱۷- کالکوپیریت نسل اول با بافت متفاوت از نسل دوم و شکل نیمه اتومورف در کنار بورنیت



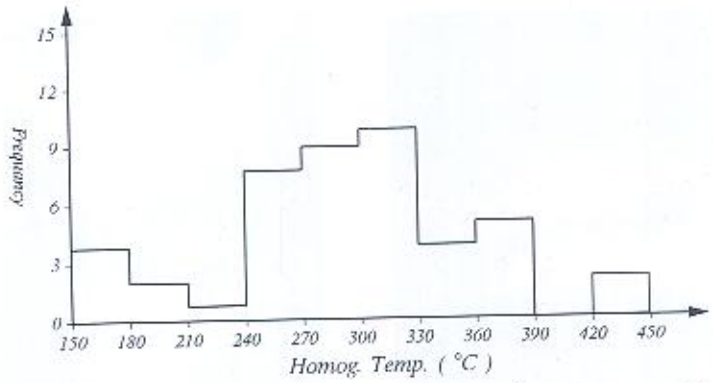
عکس ۱۸- بافت اکسولوشن بین کالکوپیریت و بورنیت در معدن مس بولاغی. زمینه بورنیت است.



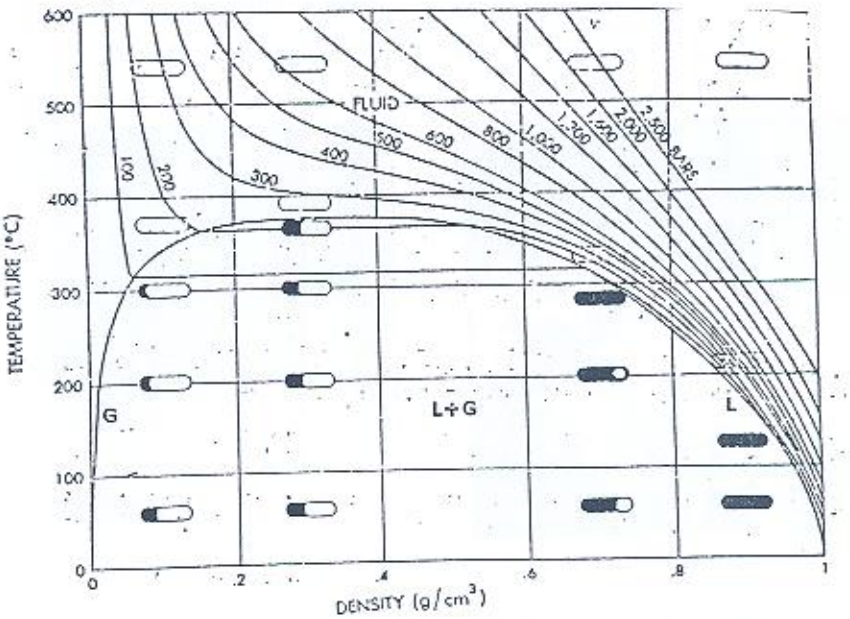
عکس ۱۹ - کانی‌سازی مس به صورت کالکوپیریت با بافت خشن در معدن رشت آباد زنجان



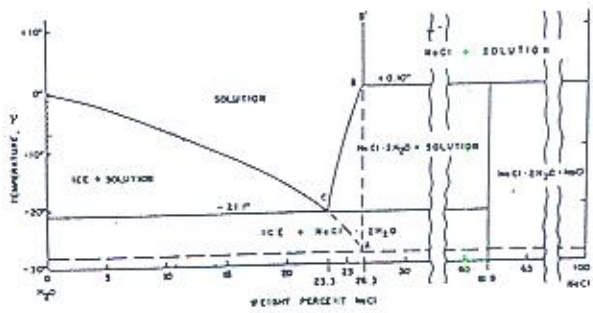
نمودار ۱- مراحل همگون شدن سیالات درگیر در ارتباط با درجه پرشدگی یا چگالی (از Rodder 1972)



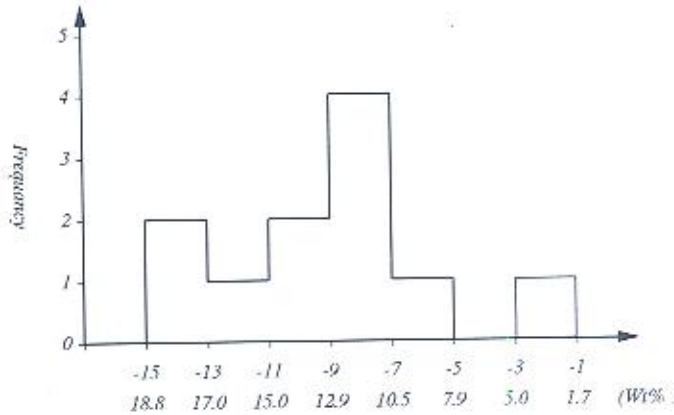
نمودار۲- درجه حرارت همگون شدن سیالات درگیر نسبت به فراوانی آنها در معدن مس بولاغی



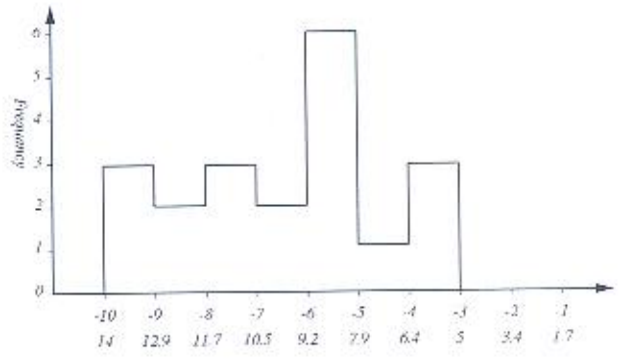
نمودار ۳ - درجه حرارت همگون شدن سیالات درگیر نسبت به فراوانی آنها در معدن مس رشت آباد



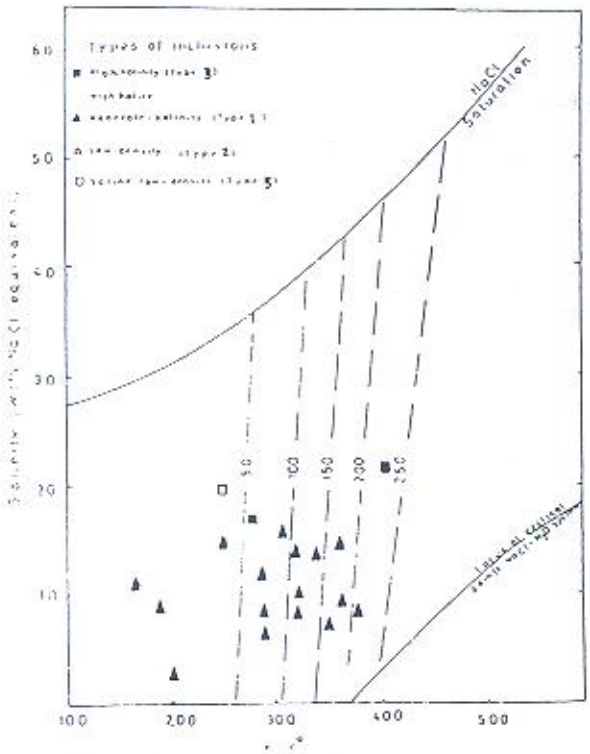
نمودار ۴- دیاگرام دوتایی برای تعیین شوری در سیستم H_2O-NaCl از Rodder (1964)



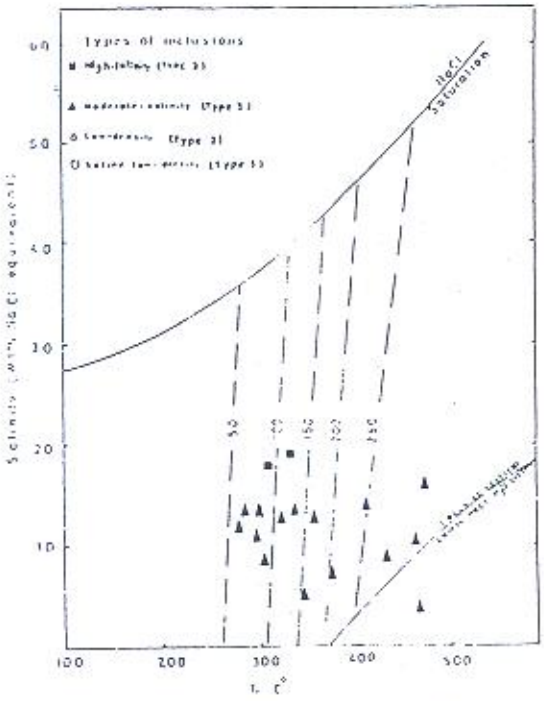
نمودار ۵- نقطه ذوب آخرین کریستال یخ و یا معادل درصد وزنی نمک طعام نسبت به فراوانی در سیالات درگیر معدن مس بولاغی



نمودار ۶- نقطه ذوب آخرین کریستال یخ و یا معادل درصد وزنی نمک طعام نسبت به فراوانی در سیالات درگیر معدن رشت‌آباد



نمودار شماره ۷- درجه همگون شدن و شوری سیالات درگیر مطالعه شده در معدن مس بولاغی. خط چینها با اعداد ۵۰، ۱۰۰ و ... نشانگر فشار بخار محلولهای دارای NaCl برحسب بار است.



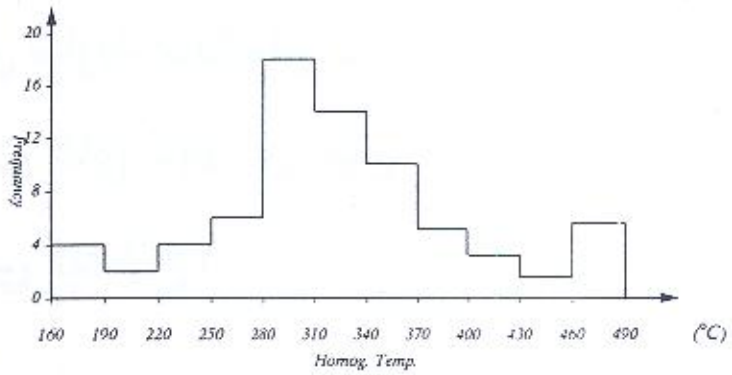
نمودار ۸- درجه همگون شدن و شوری سیالات درگیر مطالعه شده در معدن مس بولاغی، خط چینها با اعداد ۵۰، ۱۰۰ و ... نشانگر فشار بخار محلولهای دارای NaCl برحسب بار (اتمسفر) است.

a_b (μm)	a_v (μm)	b_v (μm)	Vap. / Liq. %	type	D.ph.	pr.	sec.	min.	Homog. °C	Salinity %	Shape
4	24	8	25/75	1	-	+	-	Qz	296	10.5	
5	24	16	30/70	1	-	+	-	Qz	343	4.5	
8	28	20	30/80	1	-	+	-	Qz	423	14.5	
4	18	16	20/80	1	-	+	-	Qz	480	9.5	
6	20	12	20/80	1	-	+	-	Qz	282	11.5	
6	18	12	20/80	1	-	-	+	Qz	330	12	
8	28	20	20/80	3,1	S An	-	+	Qz	318	18	
10	36	20	20/80	1	-	+	-	calc.	279	13	
6	14	12	30/70	1,3	An	+	-	Qz	312	16.5	
10	40	16	20/80	1	-	+	-	Qz	300	13	
2	15	3	20/80	1	-	-	+	Qz	470	15.5	
4	25	6	20/80	1	-	+	-	Qz	357	13.5	
10	35	20	30/70	1	-	+	-	Qz	305	8	
10	30	20	20/80	1	-	-	+	Qz	485	4.5	
14	36	28	30/70	1	-	+	-	Qz	430	8.5	
8	48	48	15/85	1	-	+	-	Qz	329	13	
12,8	48	48	20/80	1	-	+	-	Qz	370	5.5	

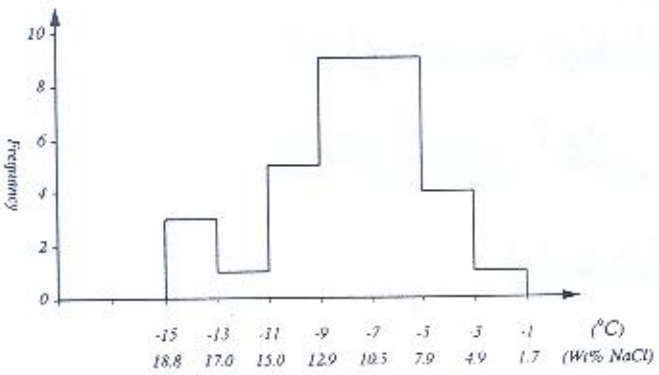
a_b (μm)	a_v (μm)	b_v (μm)	Vap. / Liq. %	type	D.ph.	pr.	sec.	min	Homog. °C	Salinity %	Shape
2	16	4	10/90	1	O	-	+	Qz	250	14.5	
12	40	15	30/70	3,5	An?	-	+	Qz	250	18.5	
4	20	10	20/80	1	-	-	+	Qz	375	7	
6	28	16	25/75	1		-	+	Qz	339	13.5	
12	34	14	30/70	1		+	-	Qz	367	14	
6	16	10	20/80	1	-		+	Qz	162	11	
4	40	10	15/85	1	-	-	+	Qz	176	9	
8,4	28	14	35/65	1	-	+	-	Qz	309	7.9	
6	20	8	20/80	1	-	+	-	Qz	200	2.5	
20	80	12,40	25/75	3	H Sy	+	-	Qz	434	22	
12	44	20	15/85	1	-	+	-	Qz	293	6	
18	48	24	25/75	1	-	+	-	Qz	317	9.5	
10	36	26	10/90	3		+	-	Qz	267	13.5	
8	40	20	15/85	1	-	+	-	Qz	350	8.5	
10	32	16	40/60	1	O	+	-	Qz	288	12.5	
10	60	16	25/75	1		+	-	Qz	315	15	
16	72	28	25/75	1	H	+	-	Qz	307	17.5	
9	28	12	25/75	1		+	-	Qz	292	8	
20	48	24	35/65	1		+	-	Qz	376	8.5	

a_b	قطر حباب (میکرون)
a_v	طول انکلوزیون (میکرون)
b_v	عرض انکلوزیون (میکرون)
$\frac{Vap.}{Liquid}$	درصد حباب به فاز مایع
D.ph	فاز دختر
H: Halite - S: Sylvite	
An: Anhydrite - O: Opak	
prim	اولیه
sec.	ثانویه
min.	نوع کانی
Homog. °C	درجه همگون شدن

a_b	قطر حباب (میکرون)
a_v	طول انکلوزیون (میکرون)
b_v	عرض انکلوزیون (میکرون)
$\frac{Vap.}{Liquid}$	درصد حباب به فاز مایع
D.ph	فاز دختر
H: Halite - S: Sylvite	
An: Anhydrite - O: Opak	
prim	اولیه
sec.	ثانویه
min.	نوع کانی
Homog. °C	درجه همگون شدن



نمودار ۹ - درجه حرارت همگون شدن سیالات درگیر نسبت به فراوانی آنها در معادن مس بولاغی در رشت‌آباد



نمودار ۱۰- نقطه ذوب آخرین کریستال یخ و یا معادل درصد وزنی نمک طعام نسبت به فراوانی در سیالات درگیر معدن مس بولاغی و رشت‌آباد

کتاب‌نگاری

اطمینان، هاشم، ۱۳۷۳- مطالعه سیالات درگیر کانسار مس پورفیری سرچشمه، مجموعه مقالات دومین سمپوزیوم شرکت نفت، تهران

اطمینان، هاشم، ۱۳۷۳ - کاربرد سیالات درگیر در ژنز کانسارها و اکتشاف آنها، نشریه علوم زمین، تهران

حاجی علیلو، بهزاد، ۱۳۷۵- ژئوترمومتری سیالات درگیر، جزوه درسی دانشگاه، شهید بهشتی، تهران

سید جواد مقدسی، فرید، ۱۳۷۸- مقدمه‌ای بر زمین‌شناسی کانسنگها، انتشارات دانشگاه- شیراز

مهرپرتو، محمود، ترکیان، محمود، ۱۳۷۳- پژوهشی بر سیالات درگیر نهشته مس - مولیبدن پورفیری سونگون، نشریه علوم زمین، تهران

References

Chivas, R & Wilkins, W.T. (1977), Fluid Inclusion study in relation to hydrothermal alteration and mineralization at the Kolouda porphyry copper prospect Guadalcond, Econ. Geol. 72.153-169.

Evans, A. M (1979), Geochemistry of hydrothermal ore deposits, John Wiley and Son. V.S.A.

Moore, F.A. and Hassan-Nezhad (1994), Fluid inclusion study of mineralization at the Qaleh-Zari mine, south Khorasan, Iranian of sace & Technology vol. 18,No 3.

Mehrparto, M. (1992) , Fluid inclusion study of Sungon deposit.

Rodder, E. (1964), Fluid Inclusions. Review in Mineralogy, Min, soe, American western Virginia.vol. 12,

Rodder, E. & Bondar, R.J. (1980), Geologic pressure determination from fluid inclusion studies, Ann. Rev. Earth planet. 263-301.

Shepherd, T.J., Ran kin, A.H. and Alderton, D.H.M. (1985), A practical guide to fluid inclusion studies, Blackie, LTD.

Willims, Jones, A.E. and Linnen, R.L. (1989), A short course on the application of fluid inclusion technique to the study of hydrothermal ore deposits, Mc Gill University, Canada.

* گروه زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور تبریز

** دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده علوم زمین، گروه زمین‌شناسی

* Payam-e-Nur University, Geology Department, Tabriz, Iran

** Shahid Beheshti University, Faculty of Earth Sciences, Department of Geology