

کانی شناسی و زمین شناسی اقتصادی کانسار پلی متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران

بهزاد مهربانی^۱، مجید قاسمی سیانی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت معلم تهران

دریافت مقاله: ۱۳۸۸/۱۱/۲۰، نسخه نهایی: ۱۳۸۹/۰۲/۱۳

چکیده

کانسار پلی متال چشمه حافظ در بخشی از کمربند آتشفشانی تروود- چاه شیرین در جنوب شرق دامغان واقع شده است. در این ناحیه ولکانیسم های کالک آلکالن و کانی زایی های همراه عمدتاً در ارتباط با گسل های اصلی انجیلو و تروود (شمال شرقی- جنوب غربی) است. سنگ های دارای رخنمون در ناحیه مورد مطالعه از توالی آتشفشانی - تخریبی نظیر ماسه سنگ، توف ها و برش های آتشفشانی و به طور عمده گدازه های آندزیتی و آندزیت بازالت در منطقه چشمه حافظ تشکیل شده است. دگرسانیها در منطقه چشمه حافظ شامل پروپلیتیک، سرسیتی شدن، آرژیلیتی شدن و سیلیسی شدن است. کانی سازی در منطقه معدنی در سه مرحله شامل: مرحله اول) کوارتز، کلسیت با مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت؛ مرحله دوم) مرحله اصلی کانی سازی سولفیدی است که شامل گالن خود شکل اولیه، سپس گالن، اسفالریت و کالکوپیریت و در نهایت گالن، کالکوپیریت، پیریت، تتراهدريت، بورنیت و دیژنیت و مرحله سوم) شامل رگه های کوارتز و کربنات فاقد آثار کانی سازی همراه با مقدار کم پیریت و کالکوپیریت است. با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی ۱۲ نمونه معرف از بخش های مختلف رگه ها، عیار میانگین عناصر به ترتیب عبارتند از ۰/۱۵ گرم در تن (ppm) طلا، ۳/۲۳ گرم در تن (ppm) نقره، ۴/۴۷ درصد وزنی سرب، ۱/۷۳ درصد وزنی روی، ۲/۶۴ درصد وزنی مس است. بر اساس مطالعات سیالات درگیر میانگین دمای همگن شدن و شوری در منطقه چشمه حافظ به ترتیب $140-300^{\circ}\text{C}$ و $4/7$ تا 18 درصد وزنی معادل نمک طعام است. نمودار دمای همگن شدگی و شوری سیال نشان می دهد که کانی سازی در منطقه چشمه حافظ بر اثر تزریق متناوب سیال با شوری بالا و اختلاط با سیال با شوری کمتر و رقیق شدگی آن تشکیل شده است. به منظور ارزیابی وضعیت کانی سازی در عمق از روش ژئوفیزیکی قطبش القایی و مقاومت سنجی استفاده شده است. نتایج ژئوفیزیک کانی سازی را در شمال غرب معدن (گردنه توتو) تایید می کند.

واژه های کلیدی: چشمه حافظ، دگرسانی، سیالات درگیر، ژئوشیمی، ژئوفیزیک، ژنز، کانی سازی اپی ترمال.

مقدمه

نوع کانسار سرب و روی تیپ دره می سی سی پی است. مطالعات این مقاله بر روی کانسار چشمه حافظ در فاصله ۴۰۰ کیلو متری شرق تهران با مختصات $34^{\circ} 34' 40''$ طول شرقی و $35^{\circ} 24' 35''$ عرض شمالی در ۲۵ کیلومتری شمال شرق روستای معلمان متمرکز است. زمین شناسی، کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی، ژئوفیزیک، سیالات درگیر در کانسار چشمه حافظ مورد مطالعه قرار گرفته است. در این مطالعه

رشته کوه های تروود- چاه شیرین در بخشی از کمان آتشفشانی کلسیمی- قلیایی ترشیری در زون ساختاری سبزوار [۱،۲] واقع است. این ناحیه میزبان تعداد زیادی رخدادهای معدنی و معادن متروک، به ویژه رگه های فلزات پایه احتمالاً با منشأ اپی ترمال است [۳]. از بین این رخدادهای می توان به کانسار گندی (Pb-Zn)، ابوالحسنی (Pb-Zn)، چشمه حافظ (Pb-Zn)، چاه موسی (Cu) و دارستان (Au-Cu) اشاره کرد (شکل ۱ب). همچنین کانسار خانجار در غرب منطقه که از

در قسمت مرکزی و شرقی کمر بند ماگمایی البرز واقع است (شکل ۱ الف). قسمت غربی این کمر بند به کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر متصل است که روندی موازی با زون زاگرس دارد (شکل ۱ الف). رشته کوه ترود - چاه شیرین به طور عمده از سنگهای آذرین مزوزوئیک پسین تا ترشیری تشکیل شده است. اوج فعالیت ماگمایی از زمان ائوسن میانی تا پسین [۵] بوده است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه شامل (۱) توف، خاکسترهای ریولیتی و به میان لایه‌های مارن و ماسه‌سنگ، (۲) گدازه و سنگهای آذر آواری با ترکیب آندزیتی و آندزیت-بازالتی، (۳) سنگهایی با ترکیب داسیتی و ریوداسیتی و توده‌های نفوذی نیمه ژرف است (شکل ۲). الگوی ساختاری این ناحیه توسط دو گسل امتداد لغز اصلی انجیلو در شمال و ترود در جنوب (امتداد شمال شرقی) کنترل می‌شود.

زمین‌شناسی کانسار

واحدهای زمین‌شناسی و پتروژنز کانسار

واحدهای دارای رخنمون در محدوده معدنی شامل ماسه سنگهای نازک لایه و توفهای ماسه‌ای با سن ائوسن میانی و سنگهای بازالت، آندزیت، آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت با سن ائوسن پسین است که این واحدها توسط گنبد‌های داسیتی تا ریوداسیتی به سن الیگوسن قطع شده است (شکل ۳).

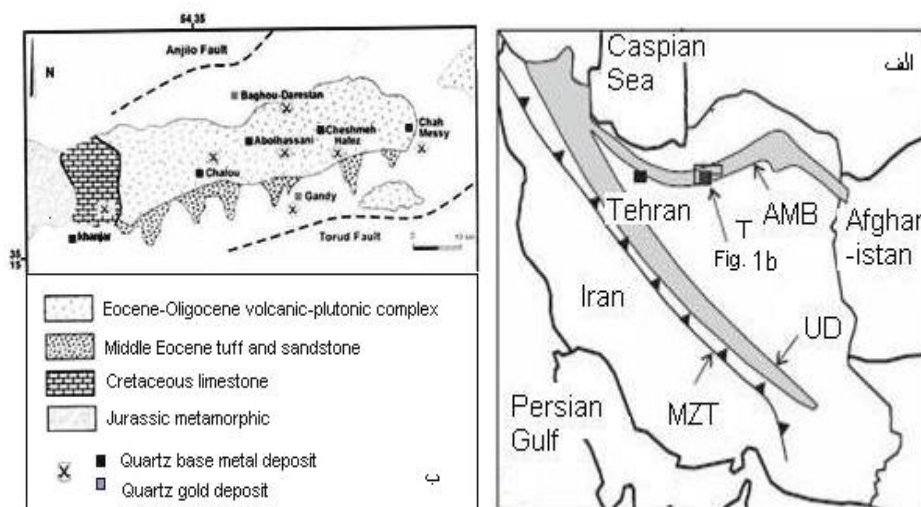
مدل کانی‌زایی کانسار چشمه حافظ تعیین شده که می‌توان از آن برای پی‌جویی و اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه استفاده کرد.

نمونه‌برداری و روش مطالعه

به منظور برنامه اکتشافی در کانسار چشمه حافظ، تعداد ۲۸۰ نمونه از رگه‌ها و سنگهای دارای رخنمون در منطقه و تعداد ۱۵۰ نمونه از حفاریهای انجام شده برای مطالعات ژئوشیمیایی و کانی‌شناسی برداشت شد. به منظور تجزیه عناصر اصلی و فرعی تعداد ۱۴ نمونه به روش ICP-MS در آزمایشگاه Acme کانادا، مورد تجزیه قرار گرفت. همچنین تعداد ۹۶ مقطع صیقلی و نازک صیقلی برای تعیین توالی پاراژنزی و دگرسانی از نمونه‌ها تهیه شد. تعدادی نمونه نیز به روشهای AAS, XRF, XRD, SEM مورد مطالعه قرار گرفت. به منظور مطالعات سیالات درگیر تعداد ۱۰ نمونه دو بر صیقل با جهت برش مناسب از کوارتز تهیه و در دانشگاه تربیت معلم مطالعه شد که نتایج این مطالعات در ادامه شرح داده شده است.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

کمر بند ماگمایی البرز در شمال ایران با جهت شرقی - غربی به سه قسمت قابل تقسیم است [۴]. رشته کوه ترود - چاه شیرین به صورت یک برآمدگی بین گسل‌های ترود و انجیلو

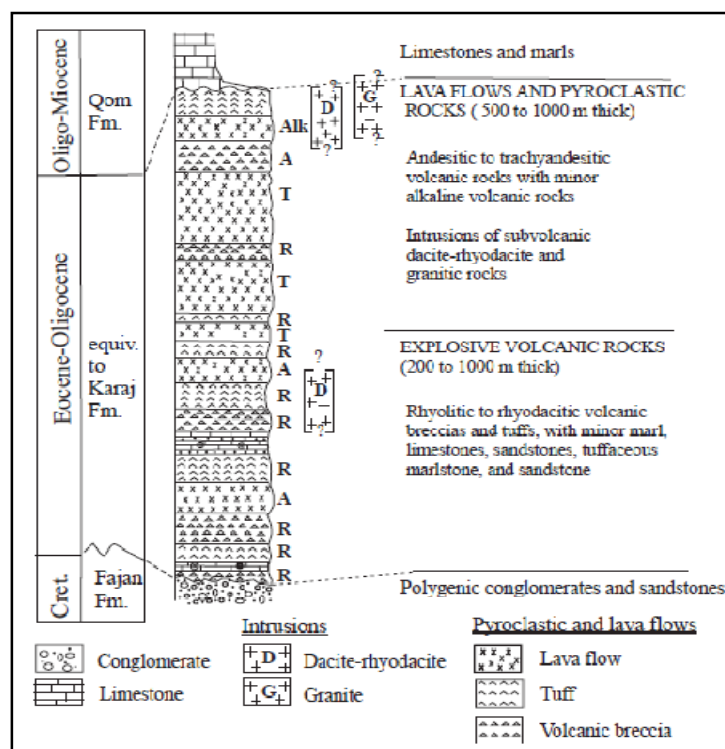


شکل ۱. الف. موقعیت زون ترود - چاه شیرین (T) در کمر بند ماگمایی البرز (AMB). کمر بند ارومیه دختر (UD) به موازات زون زاگرس (MZT) کشیده شده است. ب. موقعیت رخدادهای معدنی در زون ترود - چاه شیرین.

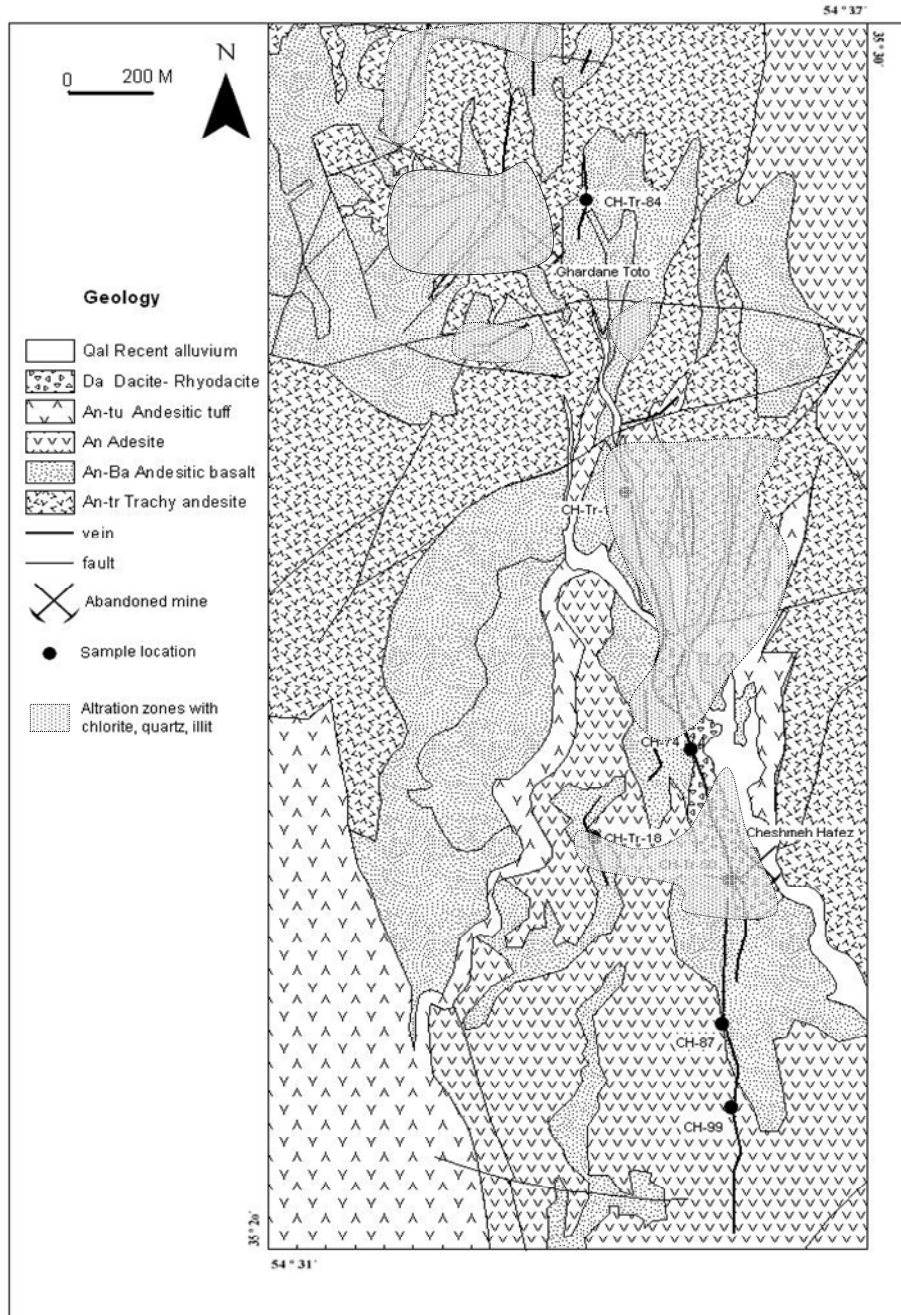
سنگ‌های آندزیت، آندزیت-بازالت و تراکی - آندزیت میزبان اصلی کانی‌سازی در منطقه هستند. به منظور شناخت ویژگی‌های ژئوشیمیایی و پترولوژیکی سنگ‌های آذرین منطقه معدنی چشمه حافظ تعداد ۲۰ نمونه از سنگ‌های رخنمون یافته منطقه معدنی برای تجزیه عناصر اصلی به روش XRF در آزمایشگاه XRF دانشگاه تربیت معلم تهران مورد تجزیه قرار گرفت. همچنین تعداد ۱۴ نمونه از سنگ‌های رخنمون یافته منطقه معدنی جهت تجزیه عناصر کمیاب به روش ICP-MS در آزمایشگاه Acme کانادا مورد تجزیه قرار گرفت که نتایج آن در جدول ۱ ارائه شده است.

براساس نمودار K_2O در برابر SiO_2 [۶]، سنگ‌های آتشفشانی منطقه چشمه حافظ از نوع کلسیمی - قلیایی (کالک الکالن) غنی از پتاسیم است (شکل ۴الف). براساس نمودار K_2O+Na_2O در برابر SiO_2 [۷،۹] سنگ‌های منطقه چشمه حافظ در محدوده آندزیت، آندزیت بازالت، بازالت و داسیت قرار می‌گیرند که با نتایج سنگ‌نگاری مطابقت دارد (شکل ۴ب). تمرکز بالای CaO در سنگ‌ها نشان از اشتقاق مواد از گوشته بالایی دارد [۹،۱۳]. نمودار عنکبوتی رسم شده [۱۴] یک آنومالی منفی شدید در عناصر Zr و Nb, Ti نشان می‌دهد که بیانگر ویژگی‌های زون فرورانش است (شکل ۴پ) [۱۵]. همچنین برای تعیین موقعیت تکتونیکی منطقه معدنی از نمودارهای مثلی [۱۶] استفاده شد که نشان می‌دهد سنگ‌های منطقه چشمه حافظ در موقعیت سنگ‌های مناطق فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۴ت) که با مطالعات دیگر بر روی کمر بند ماگمایی البرز مطابقت دارد [۱۷].

شکل ۲. توالی چینه‌شناسی در زون تروود-چاه شیرین [۵].



شکل ۲. توالی چینه‌شناسی در زون تروود-چاه شیرین [۵].



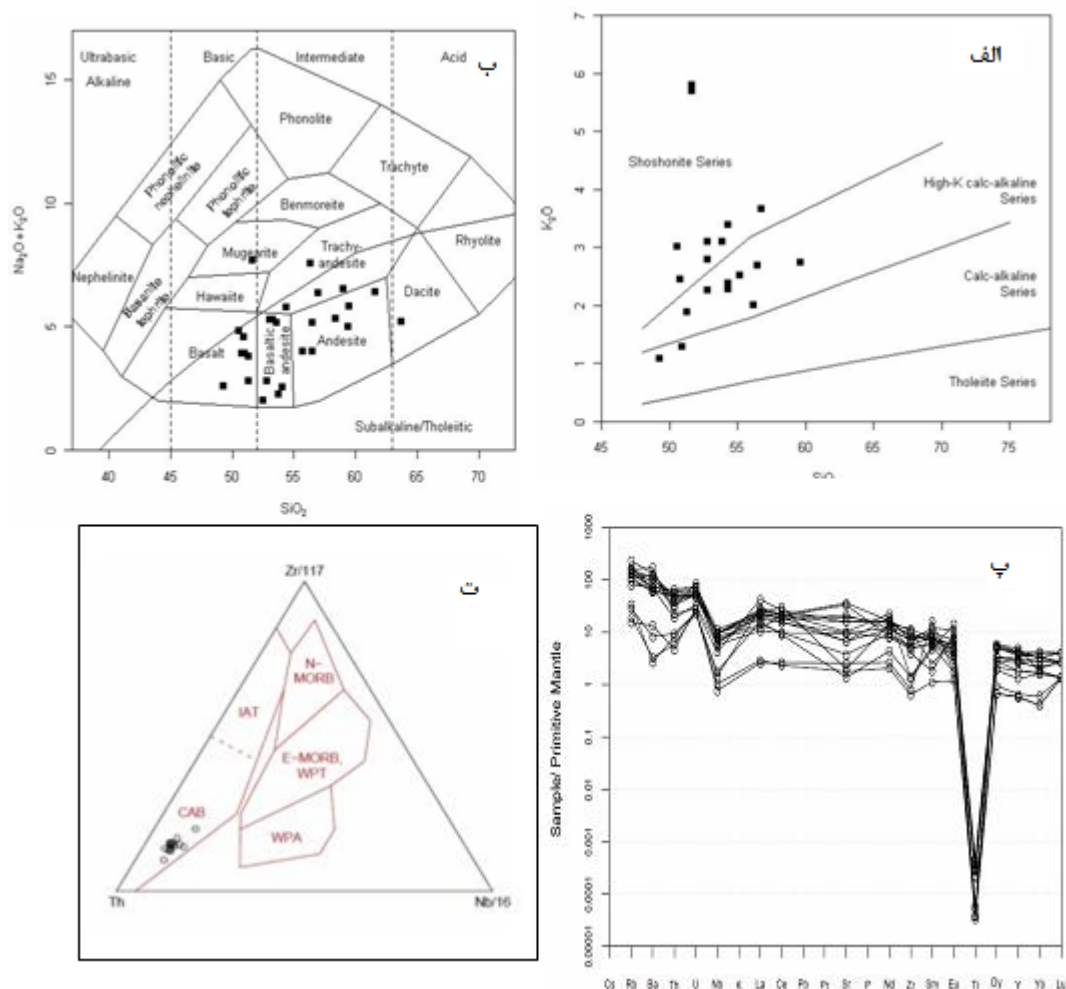
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی کانسار چشمه حافظ .

جدول ۱. نمونه‌های تجزیه شده از سنگهای دارای رخنمون در منطقه معدنی (اکسیدهای اصلی به روش XRF در دانشگاه تربیت معلم و عناصر فرعی به روش ICP-MS در ACME Lab کانادا).

sample	87 CH-1 andesite	87 CH-2 basalt	87 CH-3 andesite	87 CH-4 andesite	87 CH-5 andesite	87 CH-6 andesite	87 CH-7 basalt	87 CH-8 basaltic- Andesite	87 CH-9 andesite	87 CH-10 basalt	87 CH-11 basaltic- Andesite	87 CH-12 trachy- andesite	87 CH-13 trachy- andesite	87 CH-14 basalt
SiO ₂ (wt%)	۵۰/۵۰	۴۹/۲۶	۵۱/۶۰	۵۱/۶۰	۵۶/۴۴	۵۴/۳۰	۵۰/۹۱	۵۰/۷۲	۵۰/۹۲	۵۱/۲۴	۵۰/۴۷	۵۳/۴۴	۵۴/۴۴	۴۷/۷۷
TiO ₂	۰/۹۰	۰/۷۸	۰/۸۰	۱/۱۰	۰/۷۷	۰/۶۰	۰/۸۰	۱۰/۷۰	۰/۸۰	۱/۵۹	۰/۹۰	۰/۷۲	۰/۷۰	۰/۶۰
Al ₂ O ₃	۱۶/۳۰	۱۵/۴۵	۱۶/۹۶	۱۶/۶۰	۱۴/۲۲	۱۳/۷۰	۱۶/۳۰	۱۳/۸۲	۱۴/۱۵	۱۱/۵۰	۱۴/۵۰	۱۴/۴۱	۱۵/۴۰	۱۱/۹۳
Fe ₂ O ₃ (tot)	۸/۰۰	۱۱/۴۰	۸/۱۰	۷/۹۰	۹/۲۹	۵/۷۰	۱۲/۰۰	۸/۴۵	۱۱/۲۷	۱۱/۵۹	۸/۳۰	۹/۰۹	۹/۰۰	۱۰/۷۳
MnO	۰/۷۰	۰/۲۰	۰/۴۰	۰/۳۰	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۱۳	۰/۲۴	۰/۱۴	۰/۲۶	۰/۲۰	۰/۱۴	۰/۱۵	۰/۱۹
MgO	۱۱/۲۰	۱۰/۱۰	۲/۱۰	۱/۳۰	۴/۰۰	۱/۱۰	۷/۰۴	۶/۱۱	۶/۷۳	۳/۷۵	۷/۶۰	۷/۸۰	۶/۲۰	۵/۳۹
CaO	۴/۳۲	۵/۰۰	۸/۱۰	۴/۵۰	۶/۰۰	۸/۱۰	۵/۱۰	۴/۸۸	۵/۸۷	۱۱/۱۸	۸/۳۰	۸/۱۸	۵/۸۰	۱۲/۱۰
Na ₂ O	۱/۸۰	۱/۵۰	۲/۰۰	۰/۴۰	۲/۵۰	۲/۴۰	۳/۵۰	۱/۴۶	۲/۶۵	۲/۶۱	۱/۹۰	۱/۳۳	۲/۱۰	۱/۰۷
K ₂ O	۳/۰۳	۱/۱۰	۵/۷۰	۵/۸۰	۲/۷۰	۳/۴۰	۱/۱۰	۲/۴۶	۱/۳۰	۰/۱۹	۱/۹۰	۱/۰۰	۱/۱۰	۰/۹۵
P ₂ O ₅	۰/۷۰	۰/۱۴	۰/۸۰	۰/۶۰	۰/۱۲	۰/۳۰	۰/۱۹	۰/۲۵	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۳۰	۰/۱۵	۰/۱۷	۰/۲۴
LOI	۳/۵۰	۵/۲۰	۲/۲۰	۸/۵۰	۲/۹۶	۷/۸۰	۳/۷۷	۲/۲۵	۵/۶۰	۵/۶۰	۷/۳۰	۳/۲۲	۳/۵۰	۸/۴۰
Total	۱۰۰/۹۵	۱۰۰/۱۳	۹۸/۷۶	۹۸/۶۰	۹۹/۱۶	۱۰۰/۹	۱۰۰/۸۴	۱۰۰/۱۳	۹۷/۰۳	۹۹/۶۵	۹۸/۷۰	۹۹/۴۸	۹۸/۵۶	۹۹/۳۷
ppm														
Au	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۱۰
Ag	۵۴۵۸/۰	۱۸۱۱/۰	۸۵/۰۰	۲۹۰۶/۰	۱۹/۵۰	۲۴/۴۰	۲۰/۸۰	۳۲/۰۰	۴۱۰/۰۰	۱۴/۲۰	۱۸/۰۰	۲۲/۲۰	۱۱/۴۰	۱۰/۱۰
As	۳/۴۰	۱۵/۱۰	۶/۴۰	۱۰۶/۶۰	۳/۱۰	۴/۰۰	۲۶/۷۰	۱۵/۲۰	۱۶/۹۰	۸/۲۰	۱۱/۸۰	۱۲/۷۰	۲/۷۰	۷۴/۲۰
Ba	۲/۷۱	۲۳/۰۰	۴۴۱/۰۰	۶۲۲/۰۰	۵۱۵/۰۰	۵۸/۰۰	۴۹۲/۰۰	۹۳۲/۰۰	۹۴/۰۰	۴۰۹/۰۰	۴۳۲/۰۰	۸۳۷/۰۰	۱۲۰/۴/۰	۱۹/۰۰
Bi	۰/۳۳	۴/۲۳	۰/۰۶	۰/۰۸	۰/۰۴	۵/۶۸	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۴۱	۰/۱۸	۰/۰۱	۰/۱۳	۰/۱۰	۰/۳۷
Co	۱۸/۹۰	۱۰/۸۰	۱۴/۸۰	۲۶/۵۰	۲۹/۶۰	۱۸/۴۰	۲۰/۸۰	۲۰/۰۰	۱۶/۱۰	۲۰/۴۰	۲۲/۰۰	۱۵/۸۰	۶/۹۰	۲/۸۰
Cr	۳۱/۰۰	۱۴/۰۰	۴۴/۰۰	۴۴/۰۰	۴۵/۰۰	۱۴/۰۰	۲۹/۰۰	۲۷/۰۰	۱۴/۰۰	۳۹/۰۰	۲۸/۰۰	۲۷/۰۰	۱۷/۰۰	۱۱/۰۰
Ni	۱۲/۸۰	۹/۴۰	۱۵/۸۰	۱۹/۵۰	۲۴/۴۰	۲۰/۸۰	۳۲/۰۰	۱۴/۲۰	۸/۹۰	۱۸/۰۰	۲۲/۲۰	۱۱/۴۰	۱۰/۱۰	۵/۴۰
Nb	۴/۵۷	۰/۷۴	۷/۰۹	۵/۹۹	۶/۵۶	۱/۲۷	۴/۱۱	۴/۳۲	۰/۵۵	۷/۰۰	۶/۴۵	۶/۹۰	۲/۹۷	۱/۴۴
Rb	۶۹/۵۰	۱۲/۳۰	۹۰/۴۰	۱۰۰/۵۰	۵۰/۵۰	۱۸/۱۰	۱۰۸/۹۰	۱۴۸/۴۰	۹/۹۰	۷۱/۶۰	۶۲/۹۰	۸۱/۵۰	۱۰۲/۳۰	۲۱/۹۰
Sb	۱/۶۰	۱۶/۰۵	۰/۹۲	۶/۳۹	۰/۹۷	۳/۳۶	۴/۲۱	۱/۷۵	۱۵/۱۲	۱/۰۲	۰/۹۴	۱/۹۱	۱/۴۳	۰/۴۸
Sc	۱۳/۹۰	۲/۰۰	۱۹/۰۰	۱۴/۴۰	۲۵/۵۰	۶/۹۰	۱۳/۶۰	۱۴/۸۰	۱/۹۰	۱۷/۸۰	۱۰/۹۰	۱۱/۲۰	۱۳/۴۰	۴/۴۹
Sn	۰/۷۰	۰/۶۰	۱/۱۰	۱/۲۰	۱/۲۰	۰/۴۰	۰/۸۰	۰/۸۰	۰/۴۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۳۰	۰/۶۰	۰/۱۰

ادامه جدول ۱.

Sr	۱۴۲/۰۰	۳۸/۰۰	۳۳۴/۰۰	۸۰/۰۰	۷۶۶/۰۰	۲۹/۰۰	۲۰۲/۰۰	۲۰۴/۰۰	۵۵/۰۰	۴۰۶/۰۰	۴۴۸/۰۰	۱۴۳/۰۰	۳۳۴/۰۰	۲۱۵/۰۰
Th	۳/۸۰	۰/۵۰	۴/۲۰	۲/۲۶	۵/۰۰	۰/۸۰	۱/۶۰	۳/۳۰	۰/۴۰	۴/۸۰	۴/۱۰	۴/۳۰	۱/۹۰	۰/۷۰
U	۰/۱۰	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۸۰	۱/۵۰	۰/۵۰	۰/۷۰	۱/۱۰	۰/۶۰	۱/۳۰	۱/۱۰	۱/۲۰	۰/۶۰	۰/۵۰
Zn	۱۵۸/۶۰	۵۵۹/۸۰	۱۰۲/۵۰	> ۱۰۰۰۰	۹۰/۱۰	۱۹۵/۷۰	۴۴۱/۳۰	۱۹۷/۷۰	۶۵/۰۰	۱۰۷/۳۰	۱۳۴/۴۰	۱۸۰/۶۰	۱۶۹/۷۰	۱۶/۸۰
Pb	۳۶/۰۱	۷۳۲۰/۰	۱۸/۳۴	> ۱۰۰۰۰	۳۶/۷۱	۱۳/۷۵	۲۷۳/۰۰	۸۵/۹۰	۲۸۰/۷۰	۳۲/۴۴	۴۷/۶۷	۲۱/۰۹	۴۰/۸۶	۳۴/۳۴
V	۱۲۴/۰۰	۳۰/۰۰	۲۲۲/۰۰	۱۹۵/۰۰	۲۷۴/۰۰	۵۲/۰۰	۱۸۵/۰۰	۱۶۰/۰۰	۳۵/۰۰	۲۱۵/۰۰	۱۵۰/۰۰	۱۱۹/۰۰	۱۳۷/۰۰	۶۸/۰۰
Y	۲۰/۰۰	۲/۶۰	۱۶/۲۰	۵/۹۰	۱۸/۷۰	۳/۰۰	۸/۰۳	۱۲/۷۰	۲/۷۰	۱۸/۰۰	۱۴/۳۰	۱۱/۸۰	۱۳/۱۰	۲۲/۴۰
Cu	۴۵۰۴/۰	۲۴۹۶/۰	۱۰۳/۵۰	۷۴۶/۳۰	۳۹/۹۸	> ۱۰۰۰۰	۴۹/۸۶	۱۲/۱۶۰	۷۷۲/۱۰	۵۲۸/۰۰	۱۲/۵۸	۱۳/۱۹۰	۷۷/۲۲	۲۰۰/۷۰
Mn	۳۷۲۲/۰	۸۹۷/۰۰	۱۷۳۷/۰	۳۸۱/۰۰	۱۰۰/۱۰	۳۱۸/۰۰	۲۰۰۰/۰	۳۳۷۵/۰	۲۲۶۵/۰	۱۰۰۳/۰	۱۱۱۱/۰	۱۷۳/۱۰	۶۳۸۰/۰	۶۷۱۲/۰
Fe%	۵/۶۹	۲/۹۷	۴/۶۰	۴/۶۷	۵/۹۰	۸/۹۴	۵/۵۱	۵/۰۳	۴/۱۱	۴/۸۶	۴/۶۸	۵/۱۶	۳/۵۸	۴/۱۱
Mg%	۲/۷۱	۰/۰۵	۱/۱۳	۱/۰۱	۱/۸۹	۰/۵۳	۰/۵۵	۲/۲۴	۰/۰۵	۲/۳۷	۱/۱۰	۰/۸۹	۰/۷۳	۰/۲۰
REE														
La	۱۶/۰۰	۲/۰۰	۱۴/۰۷	۹/۰۶	۱۹/۳۰	۱۱/۱۰	۷/۴۰	۱۴/۲۰	۱/۸۰	۱۷/۵۰	۱۵/۷۰	۱۲/۱۰	۲۹/۳۰	۲۰/۰۰
Ce	۳۴/۳۰	۴/۱۶	۳۳/۷۶	۱۷/۵۷	۳۸/۵۲	۱۶/۱۴	۱۷/۴۱	۲۷/۱۹	۴/۶۸	۳۷/۴۰	۳۱/۳۷	۲۷/۸۶	۴۶/۷۵	۷۳/۳۳
Nd	۲۵/۵۰	۲/۸۰	۲۲/۰۰	۱۲/۸۰	۲۲/۵۰	۵/۹۰	۱۰/۸۰	۱۶/۵۰	۳/۶۰	۲۰/۵۰	۱۶/۳۰	۱۵/۳۰	۲۳/۰۰	۳۰/۶۰
Sm	۵/۵۰	۰/۵۰	۴/۴۰	۲/۶۰	۴/۴۰	۱/۱۰	۲/۴۰	۲/۸۰	۰/۸۰	۴/۱۰	۳/۰۱	۲/۹۰	۳/۷۰	۷/۳۰
Eu	۱/۸۰	۰/۲۰	۱/۲۰	۰/۵۰	۱/۳۰	۰/۳۰	۰/۶۰	۰/۸۰	۰/۳۰	۱/۰۰	۰/۸۰	۰/۷۰	۱/۶۰	۲/۴۰
Hf	۱/۹۵	۰/۲۸	۲/۴۵	۱/۴۸	۳/۱۵	۰/۳۸	۱/۵۱	۲/۰۸	۰/۱۱	۲/۷۰	۲/۹۸	۲/۳۶	۱/۱۲	۰/۱۱
Yb	۱/۶۰	۰/۲۰	۱/۷۰	۰/۸۰	۱/۹۰	۰/۳۰	۰/۹۰	۱/۴۰	۰/۲۰	۱/۶۰	۱/۴۰	۱/۱۰	۱/۰۰	۰/۹۰
Lu	۰/۲۰	۰/۰۱	۱/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۱۰	۰/۱۰	۰/۲۰	۰/۱۰	۰/۳۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۲۰	۰/۱۰
Er	۱/۶۰	۰/۳۰	۱/۷۰	۰/۸۰	۲/۲۰	۰/۳۰	۱/۰۰	۱/۴۰	۰/۲۰	۱/۸۰	۱/۵۰	۱/۲۰	۱/۱۰	۱/۳۰

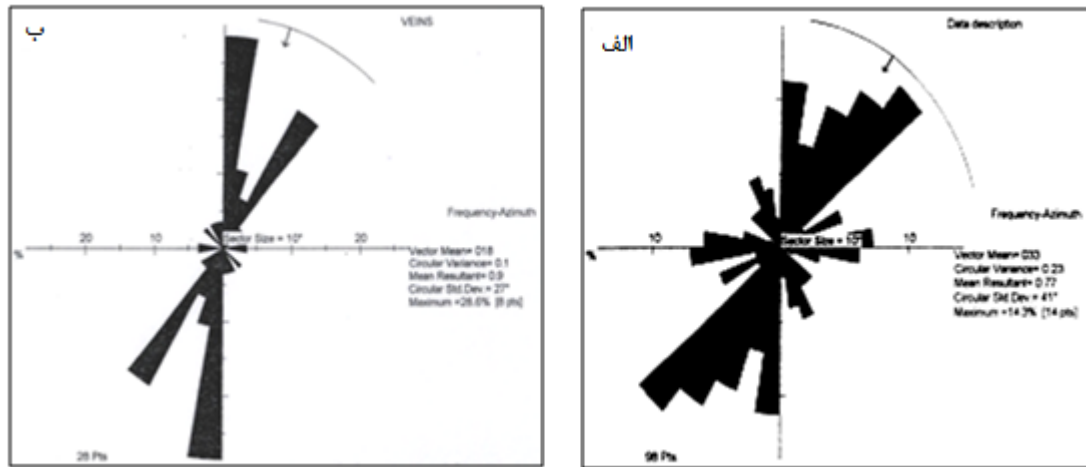


شکل ۴. الف- سنگهای منطقه معدنی چشمه حافظ در محدوده سنگهای کالک الکان غنی از پتاسیم تا شوشونیتی قرار می‌گیرند [۶]. ب- نمودار رده‌بندی TAS و موقعیت سنگهای منطقه [۷، ۹]. پ- نمودار عنکبوتی سنگهای منطقه معدنی [۱۴] و ت- نمودار موقعیت تکتونیکی رسم شده برای سنگهای منطقه معدنی [۱۶].

زمین ساخت منطقه معدنی

منطقه معدنی چشمه حافظ در کمربند ترود - چاه شیرین در اثر حرکت گسلهای اصلی انجیلو و ترود به شدت گسله شده که کانی‌زاییها در ارتباط با گسلها و شکستگیهای ایجاد شده در منطقه هستند. با توجه به نقشه زمین‌شناسی تهیه شده و نمودار گل‌سرخ، چهار سیستم گسلی در منطقه قابل تشخیص است (شکل ۵ الف). گسلهایی با روند شمالی - جنوبی و شمال شرقی - جنوب غربی گسلهایی هستند که بیشترین کانه‌زایی در امتداد آنها رخ داده است (شکل ۵ ب). فراوانترین

گسل‌ها با روند $N45E - 45E$ و $N70E$ است که گسلهای با روند $N70E$ موازی با گسل اصلی ناحیه (ترود) هستند که دارای دو مؤلفه افقی چپ‌گرا و عمودی است. رگه اصلی کانه دار چشمه حافظ در امتداد گسل چشمه حافظ (روند شمالی - جنوبی) تشکیل شده است. گسلهای با روند شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه معدنی از اهمیت کمتری برخوردار هستند و سیستم گسلی با امتداد شرقی - غربی گسلهایی هستند که در امتداد آنها رگه‌های کربناتی سفید تا قهوه‌ای فاقد آثار کانه‌زایی تشکیل شده است.



شکل ۵. الف. نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی گسل‌ها در منطقه معدنی. ب- نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی رگه‌های کانه‌دار در منطقه معدنی.

دگرسانی

دگرسانی گرمابی در منطقه چشمه حافظ در نزدیکی رگه‌ها شدید بوده و پهنای هاله‌های دگرسانی از چند سانتی‌متر تا ۲ متر در اطراف رگه‌ها متغیر است و شامل دگرسانیهای پروپیلیتیکی، سرسیتی، آرژیلیتی و سیلیسی شدن است. سرسیتی، آرژیلیتی و سیلیسی شدن رایجترین دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی است که در اطراف رگه‌ها قابل تشخیص است. دگرسانیهای موجود در منطقه معدنی چشمه حافظ دارای زون بندی مشخص هستند به طوری که در فاصله‌های دورتر از رگه‌ها تا ۳۰ متر در اطراف گسل‌ها به طور عمده شامل کوارتز-مسکویت - ایلیت و کربنات با مقادیر کمتری کوارتز - آنکريت مشاهده می‌شود. در فاصله‌های نزدیکتر دگرسانی شدیدتر است و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز به طور جزئی و یا کامل به کربنات‌های ریز دانه و مسکویت تبدیل شده اند. در مجاورت بلافاصله رگه‌ها کوارتز - ایلیت گسترش بیشتری دارد و درشت بلورها به طور کامل توسط کربنات‌های ریزدانه و ایلیت جانشین شده‌اند. این مشاهدات نشان می‌دهد که سیال هیدروترمال در اثر عبور از گسل‌ها با کاهش دما مواجه شده و موسکویت در ابتدا تشکیل شده و بعداً به وسیله ایلیت جانشین شده است.

کانی‌سازی

زون‌های کانه‌زایی در منطقه چشمه حافظ در دو تونل قدیمی به نام چشمه حافظ و گردنه توتو مورد مطالعه قرار گرفته است. تونل چشمه حافظ که در اطراف معدن متروکه چشمه حافظ قرار دارد شامل رگه اصلی چشمه حافظ (شکل ۷ الف) با روند $E 20^{\circ}-N 10^{\circ}$ و شیب $SW 60^{\circ}-50^{\circ}$ دارای ضخامت $0.3/0.4$ تا ۵ متر است. بیشترین کارهای معدنی کاری قدیمی در امتداد این رگه صورت گرفته است. ناحیه گردنه توتو در شمال‌غرب معدن متروکه چشمه حافظ واقع شده و دو رگه اصلی در این منطقه رخنمون دارد. رگه‌های معدنی گردنه توتو با روند $E 45^{\circ}-N 30^{\circ}$ و شیب $SW 40^{\circ}-30^{\circ}$ دارای ضخامت $0.2/0.4$ تا ۲ متر هستند. مطالعات کانی‌شناسی نشان می‌دهد که کانی‌شناسی در منطقه معدنی به دو صورت هیپوزن و سوپرزون است. از کانه‌های هیپوزن می‌توان به گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت، بورنیت و تتراهدریت اشاره کرد و کانه‌های سوپرزون شامل کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، کالکوسیت، سروریت و مالاکیت هستند. براساس مطالعات صحرایی، بررسی نمونه‌های دستی، مطالعات میکروسکوپی، میکروسکپ الکترونی روبشی SEM و بر مبنای روابط بافتی موجود بین کانه‌ها و کانی‌ها در کانسار چشمه حافظ توالی پاراژنزی تهیه شد (شکل ۶) که بر اساس آن کانه‌زایی هیپوزن به سه مرحله قابل تقسیم است که شامل:

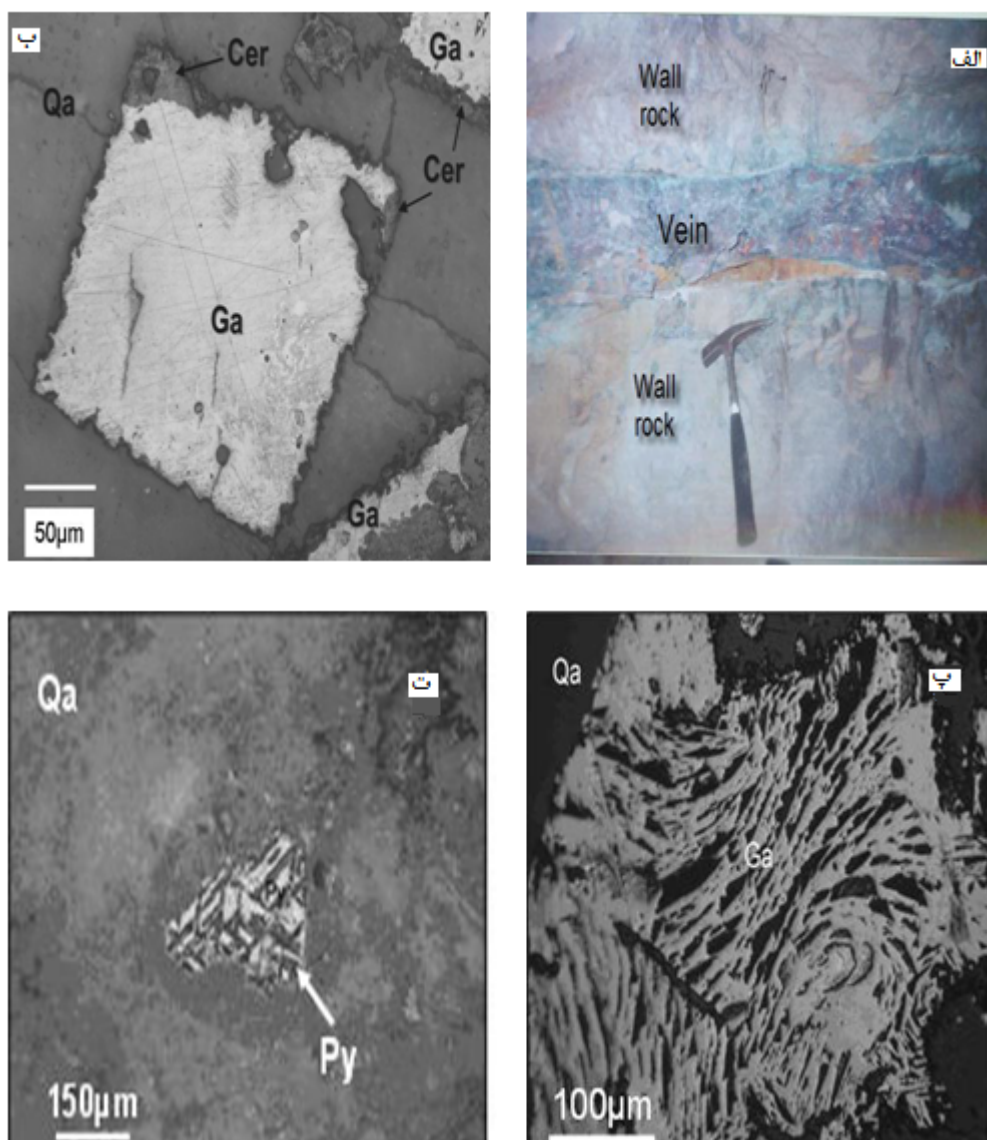
کم پیریت و کالکوپیریت است.

در بعضی از بلورهای گالن تغییر شکلهایی در رخهای مثلثی شکل آنها دیده می‌شود (شکل ۷ پ) که معرف حوادث تکتونیکی بعد از کانه‌زایی است [۱۸]. بلورهای پیریت نیز تحت تأثیر حوادث تکتونیکی در منطقه شدیداً خرد شده هستند (شکل ۷ ت).

مرحله اول) کوارتز، کلسیت با مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت؛ مرحله دوم) مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی است که شامل گالن خودشکل اولیه (شکل ۷ ب)، سپس گالن، اسفالریت و کالکوپیریت و در نهایت گالن، کالکوپیریت، پیریت، تتراهدریت، بورنیت و دیژنیت؛ مرحله سوم) شامل رگه‌های کوارتز و کربنات فاقد آثار کانی‌سازی همراه با مقدار

Mineral	Stage 1]	Stage 2 (Main sulfide stage)			Stage 3	Post ore/ Supergen
		c	b	a		
Quartz	—————	—————	—————	—————	—————	
Pyrite	—————	
Chalcopyrite		—————		—————		
Galena		—————	—————	—————		
Sphalerite			—————			
Bornite				—————		
Tetrahedrite- Tenantite				—————		
Digenite				—————		
Calcite	—————				—————	
Fe-oxy- hydroxides						
Covellite					
Chalcosite					
Malachite						—————
Cerussite						—————

شکل ۶. توالی پاراژنزی در کانسار چشمه حافظ .



شکل ۷. الف- رگه کانه‌دار در تونل قربان. ب- بلورگالن که از اطراف به سرزیت تبدیل شده است. پ- تغییر شکل پیچشی در حفره‌های گالن در اثر حوادث تکتونیکی. ت- بلور پیریت که در اثر حوادث تکتونیکی خرد شده.

ژئوشیمی

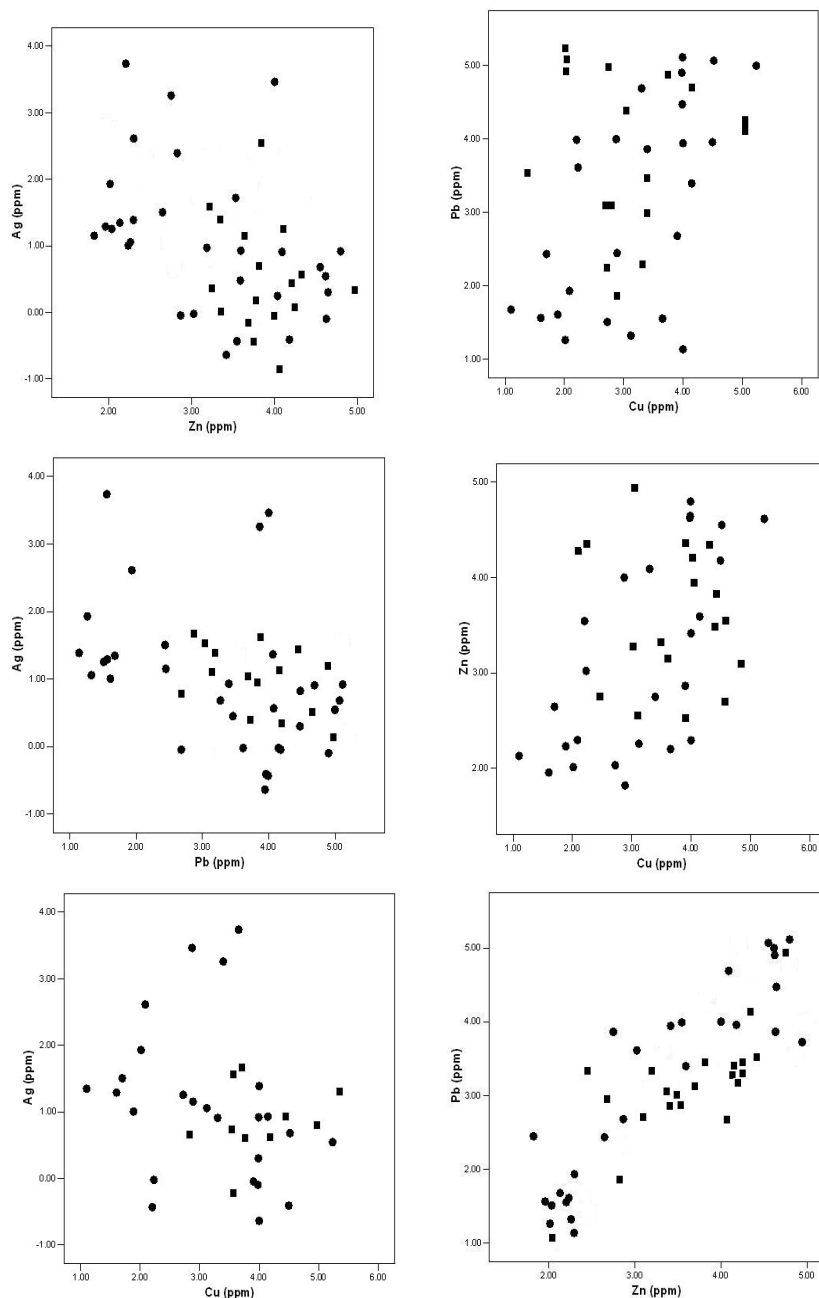
با توجه به نتایج تجزیه شیمیایی ۱۲ نمونه معرف (از تعداد ۲۴۹ تجزیه شیمیایی) از بخشهای مختلف رگه‌ها (جدول ۲)، عیار کمینه، میانگین و بیشینه عناصر به ترتیب عبارتند از ۰/۰۰۸۶، ۰/۱۵، ۰/۷۰ گرم در تن طلا، ۰/۲۳، ۰/۲۳، ۸/۵۰ گرم در تن نقره، ۰/۴۱، ۴/۴۷، ۱۳ درصد وزنی سرب، ۱۷/۱، ۴/۲، ۱/۰۷۳/۰۷۳ درصد وزنی روی، ۰/۰۱۶، ۲/۶۴، ۱۷/۱ درصد وزنی مس است. برای بررسی همبستگی و رفتار ژئوشیمیایی عناصر در رخنمونهای سنگی و رگه‌های کانه دار نمودارهای خوشه‌ای و همبستگی ماتریس انطباقی رسم شد (شکل ۸).

در میان فلزات پایه، سرب و روی همبستگی بسیار بالایی ($r=0/94$) را نشان می‌دهند میزان همبستگی مس با دو فلز دیگر خیلی بالا نیست و مس همبستگی خوبی را با بیسموت نشان می‌دهد. از میان فلزات گران‌بها طلا همبستگی ضعیفی

را با عناصر فلزات پایه نشان می‌دهد و بالاترین همبستگی طلا با عناصر نقره و آنتیموان است. کادمیم همبستگی بالایی را با عناصر فلزات پایه (مس $r=0/78$ ، سرب $r=0/88$ و روی $r=0/75$) نشان می‌دهد. آرسنیک نیز دارای همبستگی بالایی با سرب و روی است. بیسموت با اکثر عناصر دارای ضریب همبستگی ضعیفی است و تنها با مس همبستگی خوبی را نشان می‌دهد. در امتداد رگه‌های معدنی چشمه حافظ و گردنه توتو یک زون‌بندی ژئوشیمیایی مشاهده می‌شود. بالاترین عیار سرب و روی در شمال منطقه معدنی در رگه‌های گردنه توتو به ثبت رسیده است و بالاترین عیار مس، طلا و نقره در جنوب منطقه معدنی در اطراف معدن متروکه چشمه حافظ اندازه‌گیری شده است. زون‌بندی ژئوشیمیایی منطبق بر همبستگی بین عناصر است و همبستگی ژئوشیمیایی بین عناصر را تأیید می‌کند.

جدول ۲. نتایج تجزیه ۱۲ نمونه معرف (از تعداد ۲۴۹ نمونه) در امتداد رگه‌های معدنی به روش AAS در شرکت زرکاوان ایران.

Samples	Ch-tr-17	Ch-tr-18	Ch-tr-84	Ch-74	Ch-tr-10	Ch-87-po	Ch-87	Ch-88	Ch-tr-50	Ch-tr-80	Ch-tu-95	Ch-99
Pb (%)	۱۳/۰۰	۴/۹۱	۱۰/۰۰	۰/۹۱	۸/۰۰	۱۱/۷۰	۲/۹۷	۰/۰۴	۰/۴۱	۰/۹۸	۰/۸۸	۰/۲۵
Cu (%)	۰/۹۸	۲/۰۰	۱۷/۱۶	۳/۱۳	۰/۹۵	۳/۳۰	۰/۹۷	۰/۸۰	۰/۰۲	۰/۰۲	۱/۰۰	۱/۴۰
Zn (%)	۰/۶۲	۱/۲۳	۴/۱۰	۱/۵۱	۴/۲۲	۳/۵۶	۴/۴۲	۰/۰۷	۰/۱۰	۰/۳۵	۰/۲۶	۰/۳۹
Au (ppm)	۰/۰۶	۰/۳۳	۰/۷۰	۰/۱۶	۰/۱۰	۰/۰۹	۰/۰۳	۰/۰۳	۰/۰۲	۰/۰۸	۰/۰۴	۰/۲۸
Ag (ppm)	۸/۳۰	۸/۱۰	۳/۵۰	۰/۳۹	۰/۸۰	۴/۸۰	۲/۰۰	۰/۹۰	۰/۹۵	۰/۳۷	۰/۲۳	۸/۵۰
Mo (ppm)	۲۰/۷۰	۱۴/۳۰	۱۴/۹۰	۱۷/۸۰	۰/۵۰	۱/۰۰	۸/۸۹	۱/۴۰	۲/۸۰	۱۴/۹۰	۰/۸۶	۱۹/۰۰
Cd (ppm)	۱۵۳/۰۰	۱۷/۰۰	۱۶/۵۰	۳/۶۰	۱/۹۰	۵/۰۰	۶۴/۰۰	۵/۰۰	۲/۴۰	۲/۲۰	۱۲/۰۰	۱۳/۵۰

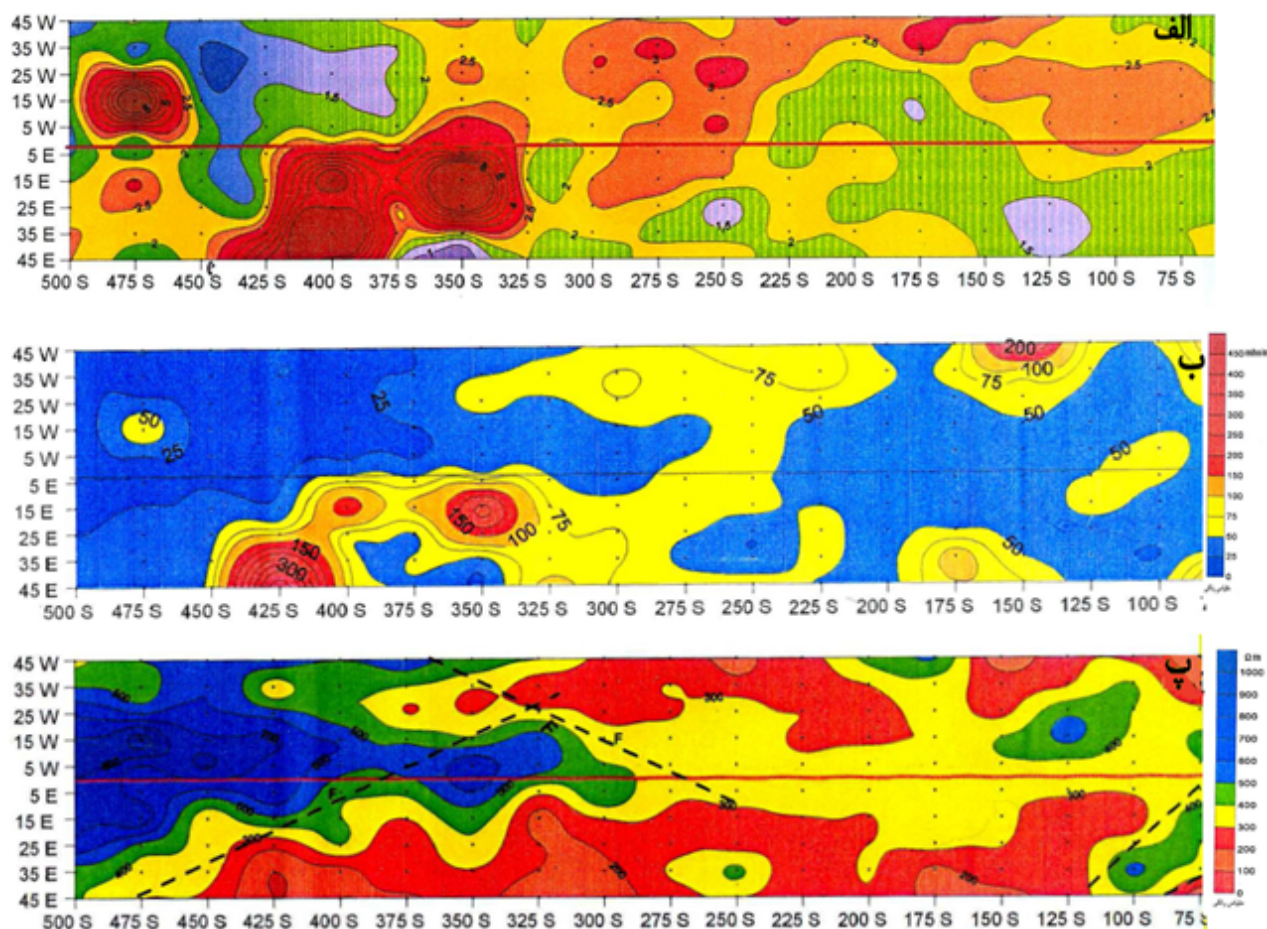


شکل ۸. نمودار ضریب همبستگی رتبه‌ای پیرسون بین عناصر $Pb-Zn$, $Zn-Cu$, $Pb-Cu$, $Ag-Cu$, $Ag-Pb$, $Ag-Zn$ در کانسار چشمه حافظ (دایره، داده‌های سنگ میزبان و مربع، داده‌های رگه‌های کانه‌دار).

ژئوفیزیک

سطح زمین قرار دارد و تا عمق ۴۵ متری با شیب متمایل به غرب ادامه دارد. با توجه به نقشه درصد اثر فرکانس مشاهده می‌شود که زون با شارژیلیته ۲ تا ۴ درصد با روند شمالی - جنوبی منطبق بر رگه قرار گرفته است. این آنومالی در نقشه MF (نقشه عامل فلزی) و نقشه مقاومت ظاهری مشخص است. لازم به ذکر است بر پایه شواهد صحرایی و کانی‌شناسی وجود اکسید آهن به ویژه هماتیت، مگنتیت و گوتیت، رگه‌ها و دگرسانیه‌های اطراف رگه‌ها عامل اصلی در تعیین آنومالی‌های ژئوفیزیکی است.

با در نظر گرفتن امتداد و شیب رگه‌ها، محدوده معدنی گردنه توتو با دو آرایه مستطیلی با مشخصات $AB = 500$ و $MN = 100$ متر در محدوده‌ای به وسعت 105 کیلومتر مربع مطالعه شد. براساس این نتایج بیشترین آنومالی‌ها در پروفیل‌های ۲۵ جنوبی، ۱۰۰ جنوبی و ۲۲۵ جنوبی شناسایی شد که منطبق بر رگه اصلی گردنه توتو و زون کانه دار است (شکل ۹). این آنومالی‌ها توسط سه آرایه دو قطبی با مشخصات $AB=MN=100$ متر مطالعه شد [۱۹]. عمق سطح بالایی این آنومالی‌ها در ۱۰ متری



شکل ۹. نقشه درصد اثر فرکانس (الف)، نقشه عامل فلزی MF (ب) و نقشه مقاومت ظاهری RS (پ).

سیالات درگیر

مورفولوژی و پتروگرافی سیالات درگیر

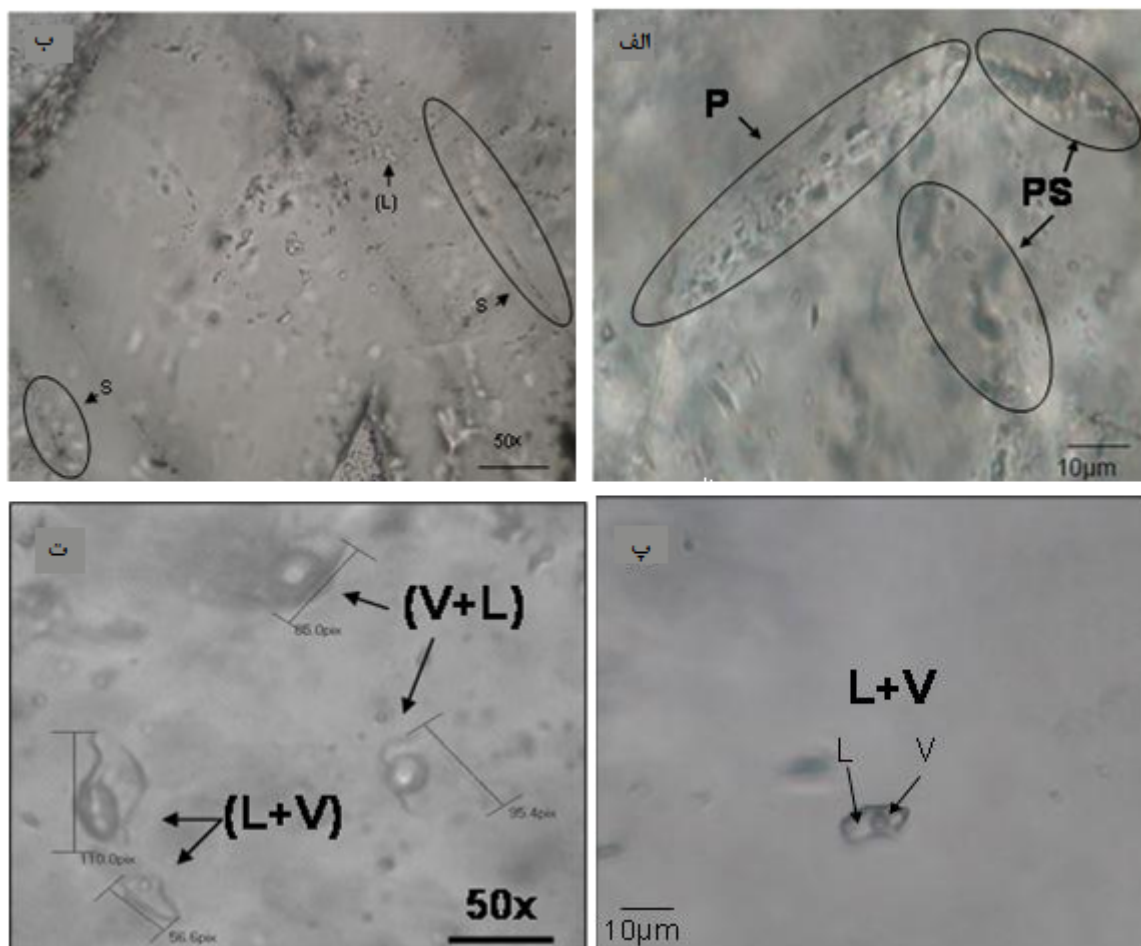
برای مطالعات سیالات درگیر از ۳ نمونه برداشته شده از رگه کوارتزی در منطقه معدنی تعداد ۱۰ مقطع دو بر صیقل مناسب با جهت برش متفاوت تهیه شد. مطالعات سیالات درگیر بر روی تعداد ۷۰ سیال درگیر (جدول ۳) در دانشگاه تربیت معلم تهران با استفاده از دستگاه میکروسکپ (Zeiss) با عدسی شیئی LWD50X و دستگاه Linkam مدل THM600 انجام شده است. با مطالعات میکروسکوپی انجام شده مشخص شده که بلورهای اسفالریت دارای سیالات درگیر بسیار ریز بوده که برای مطالعات سیالات درگیر مناسب نیست. لذا سیالات درگیر درشت و مناسب در بلورهای کوارتز شناسایی شد و مطالعات بر روی این سیالات

صورت گرفت که نتایج مطالعات در ادامه ارائه شده است.

بر اساس تقسیم‌بندی Roedder, و Shepherd et.al [۲۱,۲۰] سیالات درگیر در بلورهای کوارتز رگه‌های چشمه حافظ در دمای اتاق به انواع اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب شناسایی شد (شکل ۱۰ الف و ب). سیالات درگیر به صورت تک فازی مایع (L) و دو فازی (L+V) هستند که اندازه آن‌ها ۲۵ - ۵ میکرومتر است. اشکال سیالات درگیر در نمونه‌های سیالات چشمه حافظ شامل کروی، عدسی، میله‌ای و نامنظم است (شکل ۱۰ پ و ت).

جدول ۳. داده‌های میکروترمومتری سیالات درگیر کانسار پلی متال چشمه حافظ .

شماره نمونه	کانی	نوع سیال درگیر	دمای همگن شدن درجه سانتیگراد	دمای اوتتیک	دمای ذوب نهایی یخ درجه سانتیگراد	میزان شوری معادل درصد نمک طعام
87-Ch-68	کوارتز	اولیه	۱۵۰-۲۳۵ تعداد=۱۳	-۲۰/۵ تا -۱۹/۶	-۵ تا -۱۳/۲	۱۷/۵ تا ۷/۸
87-Ch- Tu	کوارتز	اولیه	۱۶۰-۲۶۰ تعداد=۲۲	-۲۱/۶ تا -۱۹/۸	-۸/۲ تا -۲/۹	۱۲ تا ۴/۷
87-Ch-23	کوارتز	اولیه	۱۵۷-۲۵۵ تعداد=۲۶	-۲۱/۱ تا -۱۸/۸	-۴ تا -۱۴/۲	۱۷/۹ تا ۶/۲
87-Ch-3S	کوارتز	ثانویه	۱۴۰-۱۹۰ تعداد=۱۰	اندازه گیری نشد	اندازه گیری نشد	اندازه گیری نشد

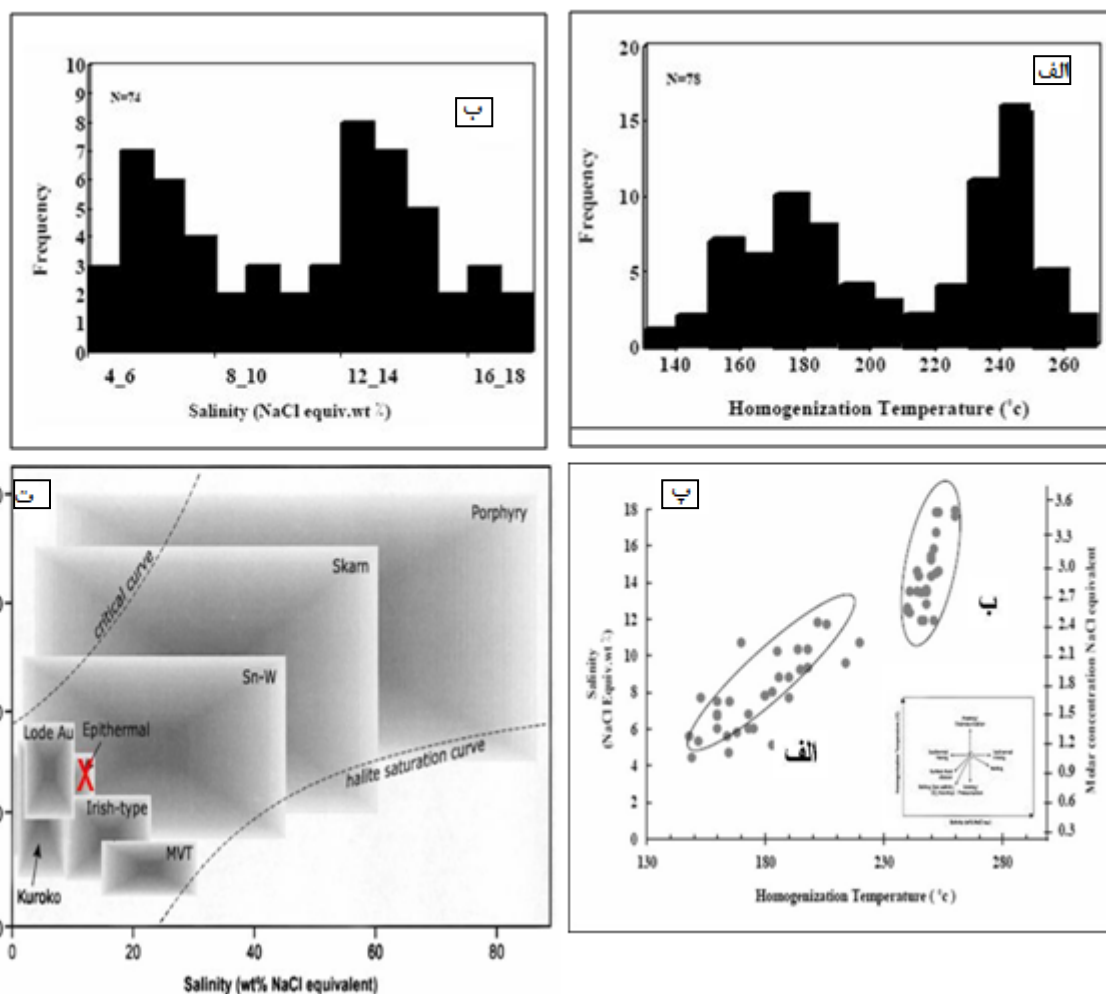


شکل ۱۰. الف و ب- نمایی از سیالات درگیر اولیه (P) و سیالات درگیر ثانویه کاذب (PS) و سیالات درگیر ثانویه (S). پ و ت- سیالات تک فازی غنی از مایع (L) و دو فازی (L+V) و (V+L) با نسبت‌های مختلف بخار به مایع و اشکال کروی بیضی و نامنظم.

نتایج و تفسیر سیالات درگیر

میانگین دمای همگن شدن در مجموعه سیالات درگیر از ۱۴۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد به دست آمد که در دو محدوده دمایی ۱۸۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد پیک‌های مشخصی دیده شده است (شکل ۱۱ الف). دمای اوتکتیک به دست آمده از بیشتر سیالات درگیر بین ۱۸/۸- و ۲۱/۶- درجه سانتی‌گراد است که نشان می‌دهد سیال دارای ترکیب $H_2O-NaCl$ است. دمای ذوب آخرین قطعه یخ سیالات درگیر از ۱۴- تا ۲/۸- درجه سانتی‌گراد است که شوری محاسبه شده [۲۲،۲۳] ۴/۷ تا ۱۸ درصد وزنی معادل $NaCl$ تغییر می‌کند (شکل ۱۱ ب). براساس نمودار شوری - دمای همگن شدن، دو نوع سیال کانه ساز تشخیص داده شده است. (۱) سیال با شوری متوسط ۴/۷ تا ۸ درصد وزنی معادل $NaCl$ (الف و ۲) سیال با شوری

بالاتر ۱۰ تا ۱۸ درصد وزنی معادل $NaCl$ (ب) است (شکل ۱۱ پ). در نمودار دمای همگن شدن نیز ۲ محدوده دمایی ۱۸۰ و ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد نشان‌دهنده این ۲ سیال متفاوت است. احتمالاً سیال با شوری و دمای کمتر مربوط به آبهای جوی و سیال با شوری و دمای بالاتر مربوط به سیال ماگمایی است [۲۴]. نمودار شوری - دمای همگن شدن دامنه تغییرات را در امتداد یک روند خطی نشان می‌دهد که با توجه به نمودار [۲۵] بیانگر اختلاط و رقیق‌شدگی دو سیال را است. مقایسه نتایج حاصل از مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر در کنسار چشمه حافظ با ویژگیهای سایر سیالات نمودار شوری - دمای همگن شدن، دو نوع سیال کانه ساز تشخیص داده شده است. (۱) سیال با شوری متوسط ۴/۷ تا ۸ درصد وزنی معادل $NaCl$ (الف و ۲) سیال با شوری



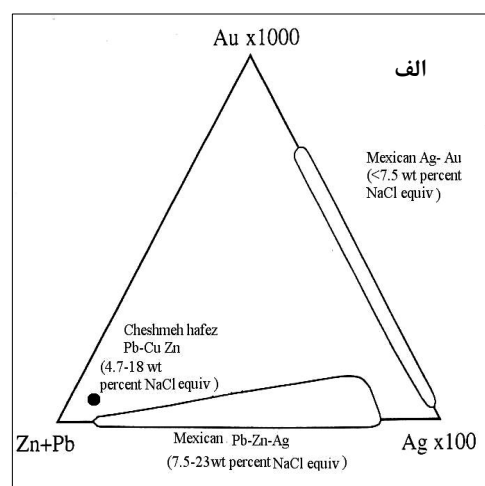
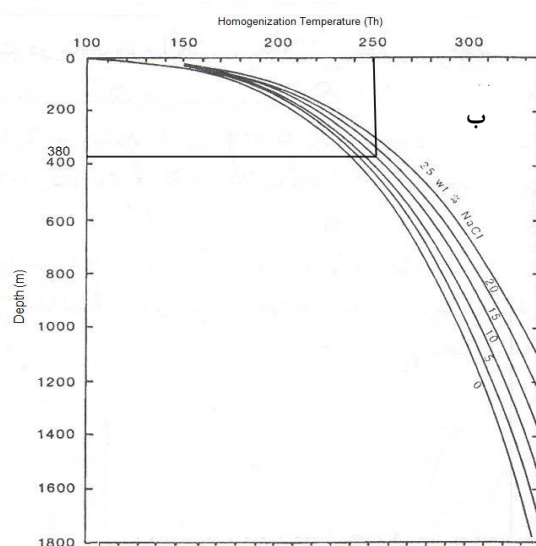
شکل ۱۱. الف- هیستوگرام دمای همگن شدن سیالات درگیر کنسار پلی‌متال چشمه حافظ. ب- هیستوگرام میزان شوری به دست آمده از سیالات درگیر کنسار پلی‌متال چشمه حافظ. پ- نمودار همگن شدن - شوری سیالات درگیر در منطقه یک روند اختلاط و رقیق‌شدگی را نشان می‌دهد. ت- نمودار دمای همگن شدن - شوری سیالات درگیر نشان می‌دهد که کنسار چشمه حافظ در محدوده کنسارهای اپی‌ترمال قرار می‌گیرد [۲۵]..

بحث

ترکیب سیال کانه‌ساز و عمق تشکیل کانسار

کانسارهای پلی‌متال اپی‌ترمال از لحاظ میزان طلا به شوری سیال کانه‌ساز بستگی دارند. انواع غنی از طلا با سیال با شوری کم (۱-۲ درصد وزنی نمک طعام) و نوع فلزات پایه و نقره با سیال با شوری بالاتر همراه هستند [۲۶] برای مثال در کانسار فرزینلو مکزیک [۲۷-۲۸] و دیگر کانسارهای مکزیک [۲۹] شوری بین ۵ تا ۲۰ درصد وزنی معادل نمک طعام ثبت شده است. شوری اندازه‌گیری شده در سیالات چشمه حافظ بین ۴/۵ تا ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام است که جایگاه آن در (شکل ۱۲ الف) در مقایسه با کانسارهای مکزیک نشان داده شده است. عیار فلزات در کانسار چشمه حافظ شامل میانگین نسبت Ag/Au تقریباً ۲۸ و میانگین $Pb+Zn$ برابر ۶/۸٪ است که متناسب با شوری بالا در کانسار است (ماکزیمم شوری ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام). به این ترتیب، سیال گرمابی در منطقه چشمه حافظ با شوری بالا مشخص می‌شود که باعث کانی‌سازی فلزات پایه و نقره در این منطقه شده و حضور کمپکس‌های طلا در این سیال به حدی نبوده که باعث تشکیل طلا به صورت دانه‌های طلای آزاد شود. ارتباط میان کانی‌سازی نقره و فلزات پایه با سیالهای با شوری

نسبتاً بالاتر و کانی‌سازی طلا و نقره با سیال‌های با شوری پایین‌تر، قبلاً نیز پیشنهاد شده است [۳۰]. ایالت‌های فلززایی مکزیک میزبان تعداد زیادی کانسار اپی‌ترمال فلزهای پایه و گرانبه‌است [۲۹] و در منابع علمی به عنوان کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیدی شدن پایین تا حد وسط معرفی شده‌اند [۳۱-۳۳]. کانسار چشمه حافظ با کانسار فرزینلو مکزیک قابل مقایسه است که برخی ویژگی‌های کانسار چشمه حافظ با کانسار فرزینلو مکزیک در جدول ۴ ارائه شده است. اگر چه در مطالعه سیالات درگیر شواهدی از جوشش به دست نیامد ولی حضور مسکوویت ریز دانه و ایلیت در نزدیکی رگه‌ها نشان می‌دهد که احتمالاً جوشش محدودی در منطقه معدنی رخ داده است. با این حال برای محاسبه عمق کانی‌سازی از نمودار [۳۴] استفاده شد. برای اندازه‌گیری عمق کانی‌سازی از دمای میانگین ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۵ درصد وزنی معادل $NaCl$ استفاده شد که عمق به‌دست آمده ۳۸۰ متر زیر سطح آبهای زیر زمینی قدیمی تخمین زده شد (شکل ۱۲ ب).



شکل ۱۲. الف نمودار مثلثی ارتباط عناصر قیمتی و فلزات پایه در کانسار پلی‌متال چشمه حافظ برای مقایسه کانسارهای اپی‌ترمال مکزیک نشان داده شده است [۲۹]. ب- نمودار به‌دست آوردن حداقل عمق کانی‌سازی در منطقه معدنی چشمه حافظ (از دمای میانگین ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد با شوری ۱۵ درصد وزنی معادل نمک طعام استفاده شد) [۳۴].

جدول ۴. مقایسه برخی خصوصیات کانسار چشمه حافظ با کانسار فرزینلو مکزیک.

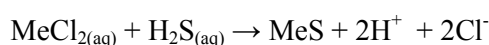
خصوصیات	کانسار فرزینلو	کانسار چشمه حافظ
سنگ میزبان	آندزیت	آندزیت - آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت
سن (میلیون سال)	۲۸-۳۳	الیگوسن?
عیار	طلا ۰/۵۶ (گرم در تن) نقره ۷۸۰ (گرم در تن) روی ۰/۷۷ درصد وزنی سرب ۰/۳۵ درصد وزنی مس ۰/۰۲ درصد وزنی	طلا ۰/۱۵ (گرم در تن) نقره ۳/۲۳ (گرم در تن) روی ۴/۴۷ درصد وزنی سرب ۱/۷۳ درصد وزنی مس ۲/۶۴ درصد وزنی
کانی‌شناسی	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، سولفوسالت نقره، کوارتز و کلسیت	پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، تتراهدزیت، کوارتز و کلسیت
دمای همگن شدن (درجه سانتیگراد)	۱۷۳-۲۶۵	۱۴۰-۳۰۰
شوری (درصد وزنی معادل نمک طعام)	۰/۱-۱۲	۴/۷-۱۸
منبع	[۲۵]	این مقاله

مدل و عوامل مؤثر بر تشکیل کانسار

به منظور تعیین مدل کانسار، ویژگیهای کانسار چشمه حافظ با انواع کانسارهای اپی‌ترمال مقایسه شد. از مشخصات کانسار چشمه حافظ می‌توان به: (۱) کانه‌زایی پیریت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، تتراهدزیت، بورنیت و دیژنیت؛ (۲) کانسار از نوع غنی از فلزات پایه و با نسبت Ag/Au تقریباً ۲۸؛ (۳) متوسط عمق کانی‌سازی ۳۸۰ متر؛ (۴) نوع آلتراسیون؛ (۵) حضور کوارتز با نواربندی پوسته‌ای؛ (۶) حجم بالای سولفید در کانسار چشمه حافظ (۲۵٪) اشاره کرد. حضور کانی انارژیت [۳۵]، دگرسانی‌های کوارتز - آلونیت، کوارتز - پیروفیلیت و کوارتز- دایکیت [۳۶] و حضور کانی کالکوسیت و کوولیت اولیه از ویژگیهای کانسارهای با سولفیداسیون بالاست که در کانسار چشمه حافظ مشاهده نشده است.

کانی ارسنوپیریت و دگرسانی ادولاریا - اسمکتیت [۳۵] شاخص کانسارهای اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین است که نبود کانی ارسنوپیریت و دگرسانی مسکوویت و ایلیت به جای ادولاریا نشان می‌دهد که کانسار چشمه حافظ در این رده قرار نمی‌گیرد. با مقایسه ویژگیهای کانسار چشمه حافظ با ویژگیهای ذکر شده برای کانسارهای اپی‌ترمال با

سولفیداسیون متوسط [۳۴،۳۷] می‌توان کانسار چشمه حافظ در رده کانسارهای اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط قرار داد. در سیستم‌های اپی‌ترمال، نقره و فلزات پایه توسط کمپلکس‌های کلروری حمل می‌شوند [۳۸،۳۹] و طلا توسط کمپکس بی‌سولفیدی $Au(HS)_2$ حمل می‌شود [۴۰]. از عواملی که باعث ته‌نشین کمپکس‌های کلروری می‌شود شامل: (۱) افزایش PH که در اثر واکنش سیالات با فلدسپارها و تبدیل آن به سرسیت که نتیجه آن آزاد کردن فلزات قلیایی و قلیایی خاکی به درون سیالات می‌شود و باعث افزایش PH از طریق مصرف H^+ می‌شود. افزایش PH باعث بی‌ثباتی کمپلکس‌های کلروری و ته‌نشین فلزات پایه و نقره می‌شود. (۲) در اثر رقیق‌شدگی توسط آبهای جوی و اضافه شدن Ca^{2+} به سیال است که Ca^{2+} با Cl واکنش داده و واکنش زیر را به سمت راست می‌برد و سولفید فلزات ته‌نشین می‌شوند.

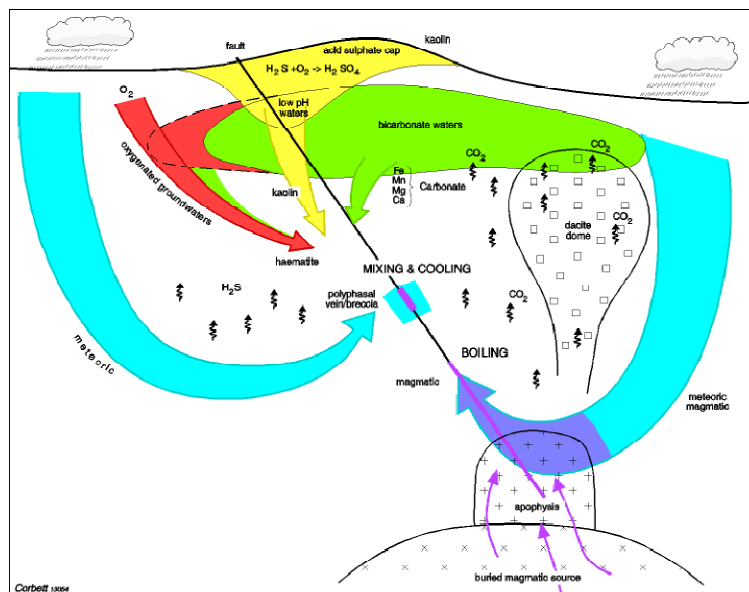


عواملی مثل جوشش و کاهش دما باعث ته‌نشینی فلزات از کمپلکس‌های بی‌سولفیدی می‌شود.

نشده است. پدیده‌های سریسیتی شدن (افزایش فشار) و رقیق‌شدگی و در پی آن کاهش دما عوامل مؤثر در تهنشست فلزات در کانسار اپی‌ترمال چشمه حافظ هستند. کانی‌سازی اولیه در منطقه چشمه حافظ در سه مرحله رخ داده است. مرحله اول شامل کوارتز، کلسیت با مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت و مرحله دوم که مرحله اصلی کانی‌سازی سولفیدی است شامل گالن خودشکل اولیه، سپس گالن، اسفالریت و کالکوپیریت و در نهایت گالن، کالکوپیریت، پیریت، تتراهدريت، بورنیت و دیژنیت است که با رگه‌های کوارتز و کربنات فاقد آثار کانی‌سازی با مقدار کم پیریت و کالکوپیریت همراه است. کانی‌سازی سوپرژن در منطقه شامل کانه‌های کوولیت، مالاکیت، دیژنیت، کالکوسیت، سروزیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن است. رگه‌ها به سمت شمال منطقه معدنی (گردنه توتو) از لحاظ عیار عنصر روی و سرب افزایش دارند و در قسمت جنوب منطقه در محل معدن متروکه چشمه حافظ عیار عناصر مس، طلا و نقره بالاست. نمودار شوری - دمای همگن شدن در منطقه چشمه حافظ نشان می‌دهد که یک سیال با شوری بالا به طور متناوب در سامانه چشمه حافظ تزریق شده است.



جوشش و آمیختگی دو فرآیند مهم تهنشینی فلزات در سیستم‌های اپی‌ترمال است [۴۱]. جوشش در طی حرکت رو به بالای سیال در درون سیستم با نفوذپذیری بالا رخ می‌دهد، در حالی که نیم‌رخ‌های گرمایی خطی که به دلیل آمیختگی یا نفوذپذیری کم ایجاد می‌شوند در حاشیه‌های سیستم عمومیت دارد [۴۳]. ارتباط بین داده‌های $T_{m_{ice}}$ و Th در منطقه چشمه حافظ روند رقیق‌شدگی را برای سیال نشان می‌دهد که دلالت بر آمیختگی یک سیال داغ و شور با یک سیال سردتر و رقیق‌تر دارد. با در نظر گرفتن توالی پاراژنزی کانی‌سازی و تغییرات سیستماتیک $T_{m_{ice}}$ و Th در بلورهای کوارتز، به نظر می‌رسد که سیال با شوری بالاتر به طور متناوب در سیستم اپی‌ترمال تزریق شده و با سیال با شوری پایین‌تر آمیخته شده است (شکل ۱۳). احتمالاً سیال داغ با شوری بالاتر منبع ماگمایی و سیال سردتر منبع جوی دارند. سیال شور و غنی از فلزهای پایه، توان تشکیل دانه‌های آزاد طلا را نداشته و تنها باعث کانی‌سازی فلزهای پایه و نقره در این منطقه شده است. بنابر این می‌توان نتیجه گرفت که به دلایل (۱) شوری بالای سیال کانه‌زا، (۲) مقدار عیار کم طلا در سنگهای رخنمون یافته در منطقه معدنی چشمه حافظ و (۳) فقدان جوشش زیاد، در منطقه چشمه حافظ کانی‌سازی طلا به طور اقتصادی تشکیل



شکل ۱۳. سیالات هیدروترمالی منشأ گرفته از توده نفوذی و تزریق پی در پی آن در گسل‌های منطقه و اختلاط با آبهای جوی و تهنشین شدن ماده معدنی [۴۲].

نتیجه‌گیری

کانی‌سازی در چشمه حافظ از نوع فلزات پایه اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط است که رقیق‌شدگی عامل اصلی نهشت کانسنگ چشمه حافظ بوده است.

مقدار شوری بالا در سیال گرمایی چشمه حافظ باعث کانی‌سازی فلزهای پایه و نقره شده است و حضور کمپلکس‌های طلا دار به حدی نیست که دانه‌های طلای آزاد تشکیل شود. در مقاطع صیقلی نیز دانه‌های طلا به صورت آزاد مشاهده نشد.

سپاس‌گزاری

بدین‌وسیله از جناب آقای مهندس هدایتی، مدیر عامل محترم شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران و مهندس اقبالی که حمایت‌های مادی و معنوی فراوانی را در انجام این پژوهش پذیرا شدند، تشکر و قدردانی می‌شود.

مراجع

- [1] Aghanabati, A., "Geology of Iran", Geol, Surv, Iran, (2003) 123-147.
- [2] Alavi, M., "Tectonic map of the Middle East", Geol, Surv, Iran, (1991).
- [۳] برنا، ب.، و عشق آبادی، م.، "گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارها و اندیس‌های سرب و روی استان سمنان"، اداره کل معادن و فلزات استان سمنان، (۱۳۷۶) ۲۲۶ صفحه.
- [4] Azizi, H., Jahangiri, A., "Cretaceous subduction-related volcanism in the Northern Sanandaj Sirjan zone, Iran", J.Geodyn 45, (2008) 178-190.
- [۵] هوشمندزاده، ع.، و همکاران. "تحول پدیده های زمین شناسی تروود (پرکامبرین تا عهد حاضر)"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور (۱۳۵۷).
- [6] Le Maiter, R.W., "A classifications of igneous rocks and glossary of terms", Black well scientific publications, (1986) 191 p.
- [7] Cox, K.G., Bell, J. D., Pankhust, R.J., "The interpretation of igneous rocks", George Allen and Unwin, London, (1979).
- [8] pearce, J.A., "Trace element characteristics of lavas from destructive plate boundaries", In, Thorpe, R.S. Andesites, Wiley, New York, (1982) 525-548.
- [9] Muller, D., Rock, N.M.S. Groves, D.I., "Geochemical discrimination between shoshonitic and potassic volcanic rocks in different tectonic settings", A pilot study, Mineral, (1992) Petrol., 46, 259-289.
- [10] Kennedy, A.K., Grove, T.L. Johnson, R.W., "Experimental and major element constraints on the evolution of lavas from Lihir Island", New Guinea, Contrib. Mineral. Petrol., (1990) 104, 722-734.
- [11] Schmidt, G., Palme, H. Kratz, K.L. Kurat, G., "Are highly siderophile elements ZPGE, Re and Au", fractionated in the upper mantle of the earth, new results on peridotites from Zabargad, Chemical Geology, 163 (2000) 167-188.
- [12] Pearce, J.A. and Can, J.R., "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis", Earth planet. (1973) 290-30.
- [13] Muller, D., Leander, F., Peter, M., and Stev, H., "Potassic igneous rocks from the vicinity of epithermal gold mineralization", Lihir Island, Papua New Guinea, Lithos, 57 (2001) 163-185.
- [14] McDonough, W.F., and Sun, S.-S., "The composition of the earth", Chemical Geology, 120 (1995) 223-253.
- [15] Pearse, J.A., Peate, D.W., "Tectonic implications of the composition of the volcanic arc magmas", Annual Review of Earth and Planetary Science, (1995) v. 23, 251-285.
- [16] Wood, D.A., Joron, J. L., and Treuil, M., "A re-appraisal of the use of trace elements to classify and discriminate between magma series in different tectonic setting", Earth Planet. Sci. letter, 45 (1980) 326-336.
- [17] Hassanzadeh, J., Ghazi, A.V. Axen, G. and Guest, B., "Oligomiocene mafic-alkaline magmatism in north and northwest of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic arc", Geological Society of America Abstracts with Program, 34 (2002) no. 6, 331p.
- [18] Downes, P.M., "Yerranderie a Late Devonian Silver-Gold-Lead intermediate sulfidation epithermal district", Eastern Lachlan Orogen, New South Wales, Australia, Resource Geology, 57 (2006) 1-23.
- [۱۹] شرکت تحقیقات و کاربرد مواد معدنی ایران، "اکتشافات ژئوفیزیکی در منطقه گردنه توتو"، (۱۳۸۵) ۳۰۰ صفحه.

- [32] White, N. C., Hedenquist, J. W., "Epithermal gold deposits: Styles, Characteristic and exploration", Society of Economic Geology Newsletter, 23 (1995) 9-13.
- [33] Hedenquist, J.W., Arribas R., A. Gonzalez-Urien, E., "Exploration for epithermal gold deposits: Reviews in Economic Geology", 13 (2000) 245-277.
- [34] Hass, j. l., "The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure", Econ Geol, 66 (1971) 940-946.
- [35] Einaudi, M.T., Hedenquist, J.W. Inan, E.E., "Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems": Transitions from porphyry to epithermal environments. Soc. Economic Geology Spec. Pub., 10 (2003) 285-313.
- [36] Sillitoe, R.H., Hedenquist, J.W., "Linkages between volcano-tectonic settings, Ore-fluid compositions and epithermal precious metal deposits", Society of Economic Geologists Spec. No., 10 (2003) 315 - 343.
- [37] Gemmell, J.B., "Low, and intermediate-sulfidation epithermal deposits", ARC-AMIRAP, Australia, (2004) 57- 63.
- [38] Seward, T.M., Barnes, H.L. "Metal transport by hydrothermal ore fluids", in Barnes, H.L., ed., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, New York, John Wiley and Sons, (1997) 435-486.
- [39] Palyanaova, G., "Physicochemistry modeling of the coupled behavior of gold and silver in hydrothermal processes, gold fineness, Au/Ag ratios and their possible implications", Chemical Geology, 255 (2008) 399-413.
- [40] Benning, L.G., Seward, T.M. "Hydrosulfide complexing of Au in hydrothermal solutions from 150 to 400 °C and 500 to 1500 bars", Geochimica, et. Cosmochimica Acta, 60 (1996) 1849-1871.
- [41] Giggenbach, W.F., "The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems", in Barnes, H.L., Geochemistry of hydrothermal ore deposits, 3rd ed.; New York, Wiley Interscience, (1997) 737-796.
- [42] Corbett, g., "Controls to low sulphidation epithermal Au/Ag mineralization", NSW Australia (2002). [43] Hedenquist, J. W., Lowenstern, J. B., "The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits", Nature, 370 (1994) 519-527
- [20] Shepherd, T.J., Rankin, A.H., Alderton, D.H.M., "A practical guides to fluid inclusion studies", Blackie press, (1985) 239 p.
- [21] Roedder, E., "Fluid inclusions: Reviews in Mineralogy", 12 (1984) 644 p.
- [22] Bodnar, R.J., "Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions", Geochimica et Cosmochimica Acta, 57 (1993) 683-684.
- [23] Hall, D.I. and Bodnar, R.J., "Freezing point depression of NaCl - KCl - H₂O", Econ, Geol., 65 (1988) p123.
- [24] Camprubi, A., Chomiak, B.A., Canals, A., Norman, D.I., "Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, Mexico): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions", Chemical Geology, 231 (2006) 252-284.
- [25] Wilkinson, J.J. "Fluid Inclusion in hydrothermal ore deposit", Lithos, 55 (2001) 229-272.
- [26] Brathwaite, R.L., Faure, K., "The Waihi epithermal gold-silver-basemetal sulfide-quartz vein system, New Zealand: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition", Econ. Geol, 97 (2002) 269-290.
- [27] Simmons, S.F., Gemmell, B. Sawkins, F.J., "The Santo Nino silver-lead-zinc vein, Fresnillo district, Zacatecas", Mexico: Part II. Physical and chemical nature of ore-forming solutions: Economic Geology, 83 (1988) 1619-1641.
- [28] Simmons, S.F. "Hydrothermal implications of alteration and fluid inclusion studies in the Fresnillo district", Mexico: Evidence for a brine reservoir and a descending water table during the formation of hydrothermal Ag-Pb-Zn ore bodies: Economic Geology, 86 (1991) 1579-1601.
- [29] Albinson, T., Norman, D.I. Cole, D. and Chomiak, B., "Controls on formation of low-sulfidation epithermal deposits in Mexico": Constrains from fluid inclusion and stable isotope data: Society of Economic Geologists, Sp. Publ. 8 (2001) 1-32.
- [30] Henley, R. W., "The geological framework of epithermal deposits, In Berger. P.M (Ede), Geology and geochemistry of epithermal system", Soc Econ. Geol, (1986) p 1-24.
- [31] White, D. E., "Diverse origins of hydrothermal ore fluids", Econ. Geol. 69 (1974) 954-973.