

بررسی سامانه کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها در محدوده‌های معدنی چشمه حافظ و چالو، کمان ماگمایی تروود - چاه شیرین

بهزاد مهربانی^۱، مجید قاسمی‌سیانی^۲ و ابراهیم طالع‌فاضل^{۳*}

^۱ دانشیار، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۲ دکتر، گروه ژئوشیمی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

^۳ استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۵/۱۸

چکیده

کمان آتشفشانی - نفوذی تروود - چاه شیرین در جنوب فروافتادگی کویر چاه‌جم (جنوب‌خاور دامغان)، میزبان رخدادها و ذخایر معدنی بی‌شماری همچون سرب و روی، مس، نقره و طلا است که کانسارهای چندفلزی نوع رگه‌ای چشمه‌حافظ (سرب - روی \pm مس \pm نقره \pm طلا) و چالو (مس - طلا \pm نقره) در مرکز آن قرار دارد. در این پهنه، فعالیت‌های آتشفشانی کالک‌آلکانل تشریری و کانی‌سازی مرتبط با آن بیشتر در ارتباط با گسل‌های چپ‌گرد انجیلو در شمال و تروود در جنوب با راستای شمال‌خاوری - جنوب‌باختری رخ داده است. سنگ‌های رخنمون‌یافته در پهنه تروود - چاه شیرین شامل توالی‌هایی از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آتشفشانی - تخریبی است. این سنگ‌ها شامل سیلت‌سنگ و ماسه‌سنگ نازک‌لایه، سنگ‌های آذرین بیرونی حدواسط، لاپیلی توف و برش‌های آتشفشانی است. گدازه‌های آندزیت و آندزیت‌بازالت در منطقه چشمه حافظ و واحدهای تراکی آندزیت و تراکی آندزیت بازالت در منطقه چالو میزبان کانی‌سازی گرمایی در این مناطق هستند. کانی‌سازی در منطقه چشمه حافظ طی سه مرحله شامل، (۱) کانی‌سازی رگه‌ای و انتشاری پیریت - کالکوپیریت با دمای همگن‌شدگی ۱۸۸ تا ۲۳۸ درجه سانتی‌گراد و شوری ۶ تا ۱۴ درصد وزنی معادل نمک طعام؛ (۲) کانی‌سازی سولفیدی اصلی با ماهیت رگه‌ای، انتشاری و برشی با دمای همگن‌شدگی ۲۴۳ تا ۲۷۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۱۱ تا ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام؛ (۳) کانی‌سازی جانیشینی و رگه‌ای (کوارتز و کلسیت بی‌بر) با دمای همگن‌شدگی ۱۴۸ تا ۱۸۵ درجه سانتی‌گراد و شوری ۴ تا ۱۱ درصد وزنی معادل نمک طعام است. کانی‌سازی در منطقه چالو نیز با گسترش کم و کانی‌شناسی ساده طی دو مرحله رخ داده است، (۱) کانی‌سازی رگه - رگچه‌ای پیشین متشکل از هماتیت تیغه‌ای، مگنتیت، کالکوپیریت و پیریت نسل اول (I) با دمای همگن‌شدگی ۳۳۲ تا ۳۵۶ درجه سانتی‌گراد و شوری ۷ تا ۱۱ درصد معادل نمک طعام و (۲) کانی‌سازی پسین با ماهیت برشی و استوک‌ورک متشکل از پیریت نسل دوم (II)، بورنیت، تتراهدريت، کلسیت رگه‌ای و کلریت با دمای همگن‌شدگی ۲۹۰ تا ۳۲۲ درجه سانتی‌گراد و شوری ۳ تا ۷ درصد وزنی معادل نمک طعام، رخ داده است. می‌توان گفت با افزایش فاصله از منطقه چالو و نزدیک شدن به منطقه چشمه حافظ، دمای همگن‌شدگی، شوری سیال کانه‌ساز و ژرفای کانی‌سازی کاهش یافته و کانی‌زایی در محدوده چشمه حافظ و چالو در اثر اختلاط سیالات گرمایی و جوی رخ داده است.

کلیدواژه‌ها: تروود - چاه شیرین، چشمه‌حافظ، چالو، میانبارهای سیال، کانی‌سازی چندفلزی.

* نویسنده مسئول: ابراهیم طالع‌فاضل

E-mail: tale.fazel@gmail.com

۱- پیش‌گفتار

مجموعه آتشفشانی - نفوذی تروود - چاه شیرین در خاور کمان ماگمایی البرز (AMA) و جنوب فروافتادگی کویر چاه‌جم، محدود به گسل‌های شمال‌خاوری - جنوب‌باختری انجیلو در شمال و تروود در جنوب است. این ناحیه میزبان ذخایر و آثار بی‌شماری از کانی‌سازی‌های گوناگون چندفلزی مس، سرب، روی، آهن، جیوه و طلای نوع رگه - رگچه‌ای (اپی‌ترمال)، پورفیری، اسکارن و میزبان کربناتی (MVT) است (شکل ۱). از میان این رخدادها و نشانه‌ها می‌توان به کانسارهای چشمه‌حافظ (Pb+Zn±Cu)، چالو (Cu)، گندی (Au+Pb+Zn±Ba)، ابوالحسنی (Pb+Zn±Cu±Au)، چاه‌موسی (Cu)، دارستان (Au+Cu)، خانجار (Pb+Ag±Zn) و مانند آن اشاره کرد (شکل ۲). در این میان ذخایر چشمه‌حافظ و چالو (کلاته‌چالو) در فاصله ۴۰۰ کیلومتری خاور تهران و ۱۲۰ کیلومتری جنوب شاهرود، در بخش مرکزی رشته‌کوه تروود - چاه شیرین قرار گرفته‌اند (شکل ۲). تاکنون مطالعات بسیاری توسط هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، ولی‌زاده و جعفریان (۱۳۶۸)، رشیدنژاد عمران (۱۳۷۱)، اشراقی (۱۳۷۷)، مهری (۱۳۷۷)، فرد (۱۳۸۰)، شمعیان (۱۳۸۲)، شیخی (۱۳۸۳)، توسعه علوم زمین (۱۳۸۲ و ۱۳۸۵)، امام جمعه (۱۳۸۵) و قاسمی‌سیانی (۱۳۸۸) در منطقه انجام شده است. در این پژوهش با مطالعه بر روی کانه‌زایی، میانبارهای سیال، به بررسی دو محدوده معدنی چشمه‌حافظ و چالو و ارائه ویژگی‌های کانه‌زایی پرداخته می‌شود که از نتایج آن می‌توان برای ردیابی رخدادهای معدنی همانند در این پهنه استفاده کرد. برای بررسی ماهیت کانی‌سازی در مناطق چشمه‌حافظ و چالو مطالعات زمین‌شناسی،

سنگ‌شناسی، دگرسانی، کانی‌شناسی و میانبارهای سیال انجام شده که بخشی از نتایج این بررسی در ادامه شرح داده شده است.

۲- روش مطالعه

مناطق معدنی مورد مطالعه، کانسارهای چشمه‌حافظ و چالو با گسترش تقریبی ۲۰ کیلومتر مربع هستند. تا کنون نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه‌ای در مقیاس‌های ۱/۱۰۰۰ و ۱/۲۰۰۰ به ترتیب از مناطق معدنی چشمه‌حافظ (قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۸) و چالو (توسعه علوم زمین، ۱۳۸۵) تهیه شده است. ۴۰ نمونه سنگی از رخنمون‌های سنگی غیرهوازه به روش XRF برای عناصر اکسیدی اصلی در دانشگاه خوارزمی تهران، ۱۵۰ نمونه از رگه، ترانشه، چاهک و مغزه‌های حفاری از پهنه معدنی و سنگ میزبان با دستگاه ICP-MS (روش ۴۴ عنصری) در آزمایشگاه Acme کانادا و ۱۵ نمونه از رگه‌های کوارتز - کانه‌دار، به روش XRD در شرکت کانساران پینالود تجزیه شدند. مطالعات میکروسکوپی کانی‌ها با استفاده از ۳۰ مقطع نازک، ۲۰ مقطع صیقلی و ۱۲ مقطع نازک - صیقلی انجام شد. مطالعات میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM-EDS) در مرکز متالورژی رازی ایران با استفاده از مقاطع صیقلی انجام شد. افزون بر آن، مطالعات سنگ‌نگاری و میکروتومتری میانبارهای سیال با استفاده از ۸ مقطع نازک دوبرصقل (ویفر) با ستبرای میانگین ۱۵۰ میکرون، برای تعیین شرایط دمایی و ویژگی‌های فیزیکی‌شیمیایی سیال کانه‌ساز، توسط میکروسکوپ زایس و دستگاه

تقسیم می‌شوند، همه سنگ‌های بیرونی منطقه در محدوده کالک آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۴ - ج). داده‌ها نسبت به گوشته اولیه و کندریت بهنجار شده‌اند و چگونگی روند آنها در شکل‌های ۴-ه، د نشان داده شده است. غنی‌شدگی و تهی‌شدگی عناصر در این نمودارها، نشان‌دهنده ویژگی‌های مشابه با کمان‌های ماگمایی مناطق فرورانش برای سنگ‌های منطقه است. بی‌هنجاری مثبت عناصر ناسازگار سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ (LILE) مانند K, Ba, Rb, Pb بی‌هنجاری منفی عناصر ناسازگار با شدت میدان بالا (HFSE) همچون Nb, Zr و Ti نشان‌دهنده این موضوع است (Pearce & Can, 1973) (شکل ۴-د). الگوی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب (REE) نسبت به کندریت، گویای الگوی تقریباً همانندی با ترکیب کندریت است که با میزان ناچیز بی‌هنجاری مثبت LREE و الگوی تقریباً مسطح HREE مشخص می‌شود (شکل ۴-ه). شباهت الگوی‌های عناصر خاکی کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه با یکدیگر، احتمالاً نشانگر رابطه خویشاوندی میان آنهاست؛ به صورتی که احتمالاً سنگ‌های اسیدی منطقه از یک ماگمای بازیک با ترکیب بازالت تا بازالت آندزیت تفریق یافته‌اند.

۵- کانی‌سازی

فعالیت‌های معدن‌کاری کهن در معادن متروکه چشمه‌حافظ و چالو (کلاته‌چالو) با پیشینه تاریخی یکصد ساله بیشتر بر روی کانه‌زایی رگه و رگچه‌ای کوارتز-سولفیدی-اکسیدی ژرفایی و سطحی با محتوای کانی‌سازی گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، پیریت، مگنتیت، هماتیت و گوتیت به منظور استخراج مس-طلا (چالو) و سرب-روی \pm مس (چشمه‌حافظ) انجام شده است. در این مناطق آثار کانه‌زایی به صورت آغشتگی‌های سطحی مالاکیت، آزوریت و گوتیت-لیمونیت در دیواره ترانشه‌ها، تونل‌های استخراجی دنباله رگه و سینه‌کارهای کهن دیده می‌شود (برنا و عشق‌آبادی، ۱۳۷۶ و اشراقی، ۱۳۷۷) (شکل ۵). مطالعات صحرایی و بررسی گمانه‌های حفاری در معادن چالو و چشمه‌حافظ، سبب شناسایی کانه‌زایی چندفلزی با ماهیت سولفیدی درون‌زاد و برون‌زاد مس، سرب و روی، آهن، نقره و طلا با بافت و ساخت رگه-رگچه‌ای، انتشاری، برشی و جان‌شینی در میزبان آندزیت، آندزیت-بازالت، داسیت و ریوداسیت شده است (قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۸). در بخش کانی‌سازی ضمن توصیف هر یک از کانسارهای چشمه‌حافظ و چالو و بیان ویژگی‌های کانی‌سازی در منطقه، ارتباط ژئوتیک میان کانی‌سازی و فعالیت‌های آذرین کمان ماگمایی تروود-چاه شیرین مورد بحث قرار گرفته است. به این منظور به ویژگی‌های ژئوتیک هر یک از کانی‌سازی‌ها شامل سنگ میزبان، شکل کانی‌سازی، کانی‌شناسی کانسنگ و باطله، ساخت و بافت کانی‌سازی، دگرسانی‌های مرتبط، سنگ‌زایی و ویژگی‌های شیمی سیال کانه‌ساز اشاره شده است.

۵-۱. کانه‌زایی سرب و روی (\pm مس) چشمه‌حافظ

واحدهای دارای رخنمون در محدوده معدنی چشمه‌حافظ ماسه‌سنگ‌های نازک لایه و توف‌های ماسه‌ای با سن ائوسن میانی و واحدهای سنگی بازالت، آندزیت، آندزیت-بازالت و تراکی آندزیت با سن ائوسن پسین هستند که این واحدها توسط گنبد‌های داسیتی و ریوداسیتی به سن الیگوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های آندزیت، آندزیت-بازالت، داسیت، ریوداسیت و تراکی آندزیت میزبان اصلی کانی‌سازی رگه-رگچه‌ای کوارتز-سولفیدی در محدوده چشمه‌حافظ هستند. به‌طور کلی، کانه‌زایی در منطقه چشمه‌حافظ در دو تونل کهن به نام چشمه‌حافظ و گردنه توتو رخ داده که مطالعه شده است (شکل ۶). تونل چشمه‌حافظ که در پیرامون معدن متروکه چشمه‌حافظ قرار دارد، متشکل از رگه اصلی چشمه‌حافظ حدوداً به طول ۱۰۰۰ متر با روند تقریبی شمال-شمال باختری (NNW)، شیب ۵۰ تا ۶۰ درجه به سوی جنوب باختری و ستبرای ۳۰ سانتی‌متر تا ۵ متر است (شکل ۷-الف). بیشترین عملیات معدن‌کاری قدیمی در امتداد این رگه صورت گرفته است و میانگین عیار ۴

لینکام مدل THM-600 با کنترل‌کننده حرارتی TMS94 و سردکننده LNP، در دانشگاه خوارزمی تهران انجام شد.

۳- زمین‌شناسی کمر بند تروود-چاه شیرین

کمان ماگمایی البرز (AMA) به عنوان بخشی از نوار زمین‌ساختی فعال آلپ-همیالیا در شمال ایران به ۳ بخش باختری، مرکزی و خاوری قابل تقسیم است (Stöcklin, 1968). رشته‌کوه تروود-چاه شیرین به صورت یک برآمدگی میان گسل‌های تروود و انجیلو در بخش مرکزی و خاوری کمان ماگمایی البرز قرار دارد که بخش باختری این کمان در پایان به امتداد ماگمایی ارومیه-دختر متصل می‌شود (شکل ۱). نخستین مطالعات زمین‌شناسی در این ناحیه توسط Huber & Stöcklin (1959) انجام شده است که شروع تکاپوهای ماگمایی ترشیری را به لوتسین (ائوسن میانی) نسبت می‌دهند. کهن‌ترین سنگ‌های رخنمون‌یافته در رشته‌کوه تروود-چاه شیرین سنگ‌های رسوبی-دگرگونی فیلیت، کوارتزیت، سنگ‌آهک مرمری و دولومیت بلورین به سن سیلورین-دوین (معادل سازندهای نیور، پادها و سبزار) است. این کمان به طور چیره از سنگ‌های آذرین مزوزویک پسین تا ترشیری ساخته شده است که بر پایه مطالعات هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، اوج فعالیت ماگمایی در این مجموعه طی ائوسن میانی تا پسین رخ داده است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه به ترتیب فراوانی شامل ۱) توف، لاپیلی توف، خاکسترهای ریولیتی و به صورت فرعی مارن و ماسه‌سنگ، ۲) گدازه و سنگ‌های آذرآواری با ترکیب آندزیت و آندزیت-بازالت و ۳) داسیت، ریوداسیت و توده‌های نفوذی اسیدی نیمه‌ژرف است. بر پایه مطالعات ولی‌زاده و جعفریان (۱۳۶۸)، گدازه‌های آتشفشانی حجم قابل توجهی را در رشته‌کوه تروود-چاه شیرین تشکیل می‌دهند که بر پایه کانی‌های نرماتو، این سنگ‌ها در نمودار Streckisen (1980) بیشتر در محدوده آندزیت قرار می‌گیرند. سرگذشت زمین‌شناسی ناحیه تروود با گسل‌هایی که در شمال به موازات گسل عطاری و در جنوب به موازات گسل درونه هستند، ارتباطی تنگاتنگ دارد. الگوی ساختاری این ناحیه توسط دو گسل امتدادلغز اصلی انجیلو در شمال تروود در جنوب با راستای شمال خاوری-جنوب باختری کنترل می‌شود (شکل ۳). سنگ‌های آتشفشانی رشته‌کوه تروود-چاه شیرین توسط توده‌های نفوذی زیادی قطع شده که بر پایه شواهد زمین‌زمان‌شناختی (ژئوکرونولوژی) سن احتمالی آنها ائوسن-پسین-الیگوسن است. رشیدنژاد عمران (۱۳۷۱)، با مطالعه توده‌های نفوذی در منطقه باغو (بخش شمالی پهنه تروود-چاه شیرین) سن آنها را به دلیل نفوذ در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن به ائوسن-پسین-الیگوسن پیشین نسبت می‌دهد. کهنسال (۱۳۷۷) توده‌های نفوذی ائوسن-پسین-الیگوسن این ناحیه را به ۳ گروه شامل توده‌های اسیدی با ترکیب میکروگرنایت تا گرانودیوریت، توده‌های حدواسط با ترکیب میکروکوارتز مونزونیت تا میکروکوارتز دیوریت و بالاخره سنگ‌های بازیک با ترکیب دولریت و میکروگابرو تقسیم می‌کند (شکل ۳).

۴- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

به‌منظور بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین در مناطق معدنی چشمه‌حافظ و چالو، ترکیب شیمیایی ۵ نمونه معرف از سنگ‌های آذرین این مناطق به روش‌های XRF (برای تجزیه عناصر اکسیدی اصلی) و ICP-MS (عناصر فرعی) تجزیه شده است (جدول ۱). بر مبنای رده‌بندی TAS (Le Maitre, 1989) سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه با ماهیت ساب‌آلکانل در محدوده بازالت آندزیت، آندزیت، داسیت و ریولیت قرار می‌گیرند (شکل ۴ - الف). در نمودار دوتایی K_2O در برابر SiO_2 (Le Maitre, 1989) نیز سنگ‌ها محتوای پتاسیم متوسط تا بالا نشان می‌دهند (شکل ۴ - ب). همچنین در نمودار سه‌تایی AFM (Irvine & Baragar, 1971) که در آن سنگ‌ها به ۲ رده کالک آلکانل و تولیتی

بخش نخست (کانه‌سازی آهن) مورد مطالعه قرار نگرفته و مطالعات بر روی کانه‌زایی رگه‌ای مس (طلا) در جنوب منطقه چالو انجام گرفته است. واحدهای رخنمون یافته در مقیاس ناحیه‌ای در منطقه چالو بر پایه برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵) شامل سنگ‌های آتشفشانی تراکی‌آندزیت- تراکی‌آندزیت بازالیت (E^{۱۰})، بازالیت اسپیلیتی (E^{۱۱}) و به مقدار کمتر گدازه‌های آندزیت و آندزیت داسیت (E^{۱۲}) و سنگ‌های آتشفشانی برشی (E^{۱۳}) است (شکل ۱۰). کانی‌سازی مس (طلا) به صورت رگه- رگچه‌ای و عدسی شکل در راستای گسل خاوری- باختری به طول تقریبی ۳۰ متر، ستبرای ۲۰ سانتی‌متر تا ۶ متر و شیب تقریبی ۳۰ درجه به سوی شمال در میزبان تراکی‌آندزیت و بازالیت اسپیلیتی برشی (هیالوکلاستیک) رخ داده که در بخش خاوری توسط نهشته‌های ستبر کواترنری پوشیده شده است (شکل ۱۱). ترانه‌های به طول تقریبی ۵۰ و ژرفای ۷ متر در راستای شمال- جنوب در عرض رگه اصلی حفر شده است. بر پایه تجزیه دستگاهی به روش ICP-MS، رگه اصلی کانسار چالو به طور متوسط ۳ درصد مس، ۲ درصد سرب، ۰/۵ درصد روی، ۲۰ گرم در تن نقره، ۱۳ گرم در تن طلا و مقادیری بیسموت، آنتیمون، آرسنیک و مولیبدن دارد (جدول ۳). کانه‌های اکسیدی- سولفیدی هماتیت تیغه‌ای، مگنتیت، کالکوپیریت، بورنیت، پیریت، گالن و تتراهدريت به‌عنوان مهم‌ترین فازهای کانه‌سازی درون‌زاد (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد رگه) و کوارتز (در دو نسل)، فلدسپار پتاسیم (اولیه)، کلریت، کلسیت و اکسیدهای آهن- منگنز، فراوان‌ترین کانی‌های باطله (بیش از ۶۰ درصد رگه) به شمار می‌روند. کانی‌سازی برون‌زاد در کلاته چالو با حضور کالکوسیت و کولین (در حاشیه کالکوپیریت و بورنیت) و آغشگی‌های مالاکیت، کریزو کلا، گوتیت و پیریت رگچه‌ای تأخیری مشخص می‌شود. کانی‌سازی پیریت در چالو، دست کم در دو نسل شامل، کانی‌سازی پیریت برشی (نسل اول) به همراه کالکوپیریت، مگنتیت و فلدسپار پتاسیم در میزبان کوارتز خاکستری (نسل اول) (شکل ۱۲- الف) و پیریت رگچه‌ای تأخیری (نسل دوم) به همراه بورنیت، کالکوپیریت و تتراهدريت در میزبان کوارتز با بافت مضرسی (نسل دوم) و کلسیت به‌صورت پرکننده فضای خالی رخ داده است (شکل ۱۲- ب). تتراهدريت به‌صورت ادخال‌های پراکنده در میزبان کالکوپیریت تشخیص داده شد (شکل ۱۲- ج). بافت‌های شکافه‌پرکن، برشی و انتشاری مهم‌ترین بافت‌های دیده شده در مقاطع هستند که نشان از دیرزاد بودن فرایند کانه‌سازی در منطقه چالو دارد. افزون بر آن پس از کانی‌سازی، رگه و رگچه‌هایی از کلسیت تأخیری در سنگ میزبان آندزیت رخ داده است (شکل ۱۲- د). توالی همبود کانسار چالو همراه با دما و شوری سیالات به‌دست آمده طی هر مرحله در شکل ۱۳ نشان داده شده است.

۶- دگرسانی

هاله‌های دگرسانی در منطقه چشمه‌حافظ در پیرامون رگه‌ها از چند سانتی‌متر تا ۲ متر متغیر است. دگرسانی‌ها شامل پروپیلیتیک (اپیدوت- کلسیت ± پیریت)، فلیک (کوارتز- سریسیت- پیریت)، آرژیلیک (کوارتز- مونت‌موریلونیت) و سیلیسیک است. دگرسانی‌های فلیک، آرژیلیک و سیلیسیک، رایج‌ترین دگرسانی‌های مرتبط با کانی‌سازی است که بیشتر در پیرامون رگه‌ها قابل تشخیص است و پروپیلیتی شدن با فراوانی بیشتر در سنگ‌های آذرین رخنمون دارد و تا ژرفای ۳۰ متری گمانه‌ها دیده می‌شود. در دگرسانی‌های موجود در چشمه‌حافظ پهنه‌بندی دیده می‌شود، به گونه‌ای که در فاصله‌های دورتر از رگه تا فاصله ۳۰ متر در اطراف گسل‌ها به‌طور چیره شامل کوارتز- مسکوویت- ایلیت و کربنات (آنکرت) است (قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۸). در فواصل نزدیک به رگه دگرسانی شدیدتر است و درشت‌بلورهای پلاژیو کلاز به طور جزئی و یا کامل به کانی‌های کربناتی ریزدانه و مسکوویت تبدیل شده است. در محل بلافاصل رگه‌ها نیز مجموعه کوارتز- ایلیت گسترش بیشتری داشته و درشت‌بلورها به طور کامل توسط ایلیت جانشین شده‌اند (شکل ۱۴). بر پایه شواهد به نظر می‌رسد

درصد سرب، ۲/۳ درصد روی، ۱/۵ درصد مس، ۳ گرم در تن نقره و ۰/۱ گرم در تن طلا دارد (جدول ۲). منطقه گردنه توتو در شمال باختر معدن متروکه چشمه‌حافظ قرار دارد (شکل ۶). کانی‌سازی در گردنه توتو متشکل از یک رگه اصلی و رگه- رگچه‌های متعدد منشعب از آن با طول تقریبی ۵۰۰ متر و راستای شمال خاوری- جنوب باختر، شیب ۳۰ تا ۴۰ درجه به سوی جنوب خاوری و ستبرای ۲۰ سانتی‌متر تا ۲ متر است (شکل ۷- ب). محدوده مورد مطالعه تا ژرفای ۱۳۰ متری توسط ۸ حلقه گمانه (مجموع ۱۰۰۰ متر) مورد حفاری مغزه‌گیری قرار گرفته که برای تکمیل مطالعات، از آنها نمونه‌برداری شده است. در بیشتر رگه‌های معدنی چشمه‌حافظ، کوارتز و کلسیت به عنوان فراوان‌ترین کانی باطله و به ترتیب کانه‌های پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدريت- تنانتیت و بورنیت (درون‌زاد) و کانه‌های کالکوسیت، دیژنیت و کولین (برون‌زاد) مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی کانسار ساز (بین ۲۰ تا ۳۰ درصد رگه) در منطقه هستند. پیریت به عنوان فراوان‌ترین کانی سولفیدی (بین ۵ تا ۱۰ درصد رگه) در دو نسل شامل، پیریت نسل اول (I) به صورت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار همراه کالکوپیریت نسل اول (I) (شکل ۸- الف) و باطله کوارتز (نسل اول) به صورت رگه- رگچه‌ای با بافت پرکننده فضای خالی در مرحله نخست تشکیل شده است (شکل ۸- ب). پیریت نسل دوم (II) به صورت نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل همراه با گالن (نسل اول) و کالکوپیریت نسل اول (I) با بافت انتشاری تشکیل شده است (شکل ۸- ج). پس از پیریت، گالن به عنوان فراوان‌ترین کانه سولفیدی (کمتر از ۱۰ درصد رگه) در سه نسل شامل، گالن خودشکل نسل اول (I) با حاشیه سروزیت (PbCO₃) به صورت پراکنده (شکل ۸- د)، گالن نسل دوم (II) به صورت رگچه‌ای همراه با ادخال‌های تتراهدريت (Cu, Fe)₁₂Sb₄S₁₃ و اسفالریت (شکل ۸- ه) و گالن نسل سوم (III) به صورت انتشاری به همراه تنانتیت (Cu, Fe)₁₂As₄S₁₃ کالکوپیریت نسل دوم (II)، بورنیت و کولین در میزبان کوارتز (شکل ۸- و)، طی مرحله دوم کانی‌سازی تشکیل شده است (شکل ۹). کوارتز (در ۳ نسل)، کلسیت، باریت، ژپس و اکسیدهای آهن- منگنز به ترتیب مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسار چشمه‌حافظ هستند که بیش از ۵۰ درصد حجم رگه را به خود اختصاص داده‌اند. بر مبنای شواهد صحرایی و میکروسکوپی، توالی همبود (پاراژنتیک) کانه‌ها و بافت و ساخت کانی‌سازی در منطقه شامل ۳ مرحله است: ۱) پیریت و کالکوپیریت به همراه کوارتز، ۲) مرحله کانی‌سازی سولفیدی اصلی (Main sulfide stage) شامل گالن خودشکل نسل اول (I)، گالن نسل دوم (II) دارای ادخال‌های تتراهدريت- تنانتیت، اسفالریت، کالکوپیریت و گالن نسل سوم (III) و ۳) رگه و رگچه‌های کوارتز (نسل سوم) و کربنات بدون آثار کانی‌سازی همراه با دیژنیت و سروزیت. توالی همبود کانسار چشمه‌حافظ همراه با دما و شوری به ثبت رسیده در هر مرحله در شکل ۹ نشان داده شده است.

۵-۲. کانه‌زایی مس (طلا) چالو

منطقه معدنی چالو (کلاته‌چالو) در ارتفاع ۱۶۰۰ متری و فاصله ۲۰ کیلومتری جنوب باختر معدن متروکه چشمه‌حافظ در گستره‌ای به وسعت ۳ کیلومتر مربع قرار گرفته است (شکل ۲). معدن کاری کهن به شکل‌های روباز و نعل اسبی در ۲ سینه کار جدا به ابعاد تقریبی طول ۳۰، عرض ۵ و ارتفاع ۱۰ متر صورت گرفته است (شکل ۵). کانی‌سازی در محدوده معدنی چالو در ۲ محدوده رخ داده است؛ محدوده نخست در شمال و شمال خاوری منطقه با کانه‌زایی آهن- منگنز و محدوده دوم در جنوب منطقه و پیرامون معدن متروکه اصلی چالو همراه با کانه‌زایی مس- طلا است (شکل ۱۰). کانی‌سازی اسکارن آهن چالو با سنگ میزبان سنگ‌آهک، شیل سبز و سنگ‌های آتشفشانی آندزیت و آندزیت داسیت رخ داده که توده‌های نفوذی کالک‌آلکانل با ترکیب دیوریت و گرانودیوریت به سن انوسن- الیگوسن و ماهیت متالوژن متعلق به گرانیتوئیدهای نوع I، احتمالاً به عنوان منشأ کانه‌زایی آهن در منطقه معرفی شده است (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۸۹). در این پژوهش به دلیل ماهیت متفاوت کانی‌سازی

۱) سامانه انتشاری پیریت- کالکوپیریت در میزان کوارتز خاکستری (I)، با فراوانی میانبراهای سیال دو فاز غنی از مایع (L+V)، دمای همگن شدگی پایانی به فاز مایع (Th_{LV-L}) بین 332°C تا 356°C ، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) بین 4°C تا 8°C (میانگین 6°C -) برابر میزان شوری ۷ تا ۱۱ درصد معادل نمک طعام (wt% NaCl eq.).

۲) سامانه رگه‌ای پیریت (II) - بورنیت- کلسیت در میزان کوارتز مضرسی (III)، با فراوانی میانبراهای سیال دو فاز غنی از بخار (V+L) و تک فاز بخار (V)، تغییرات دمای همگن شدگی پایانی به فاز بخار (Th_{VL-V}) بین 290°C تا 322°C ، دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) بین 1°C تا 3°C (میانگین 2°C -) برابر شوری ۳ تا ۷ درصد معادل نمک طعام (wt% NaCl eq.).

مطالعات میانبراهای سیال بر روی رگه‌های کوارتز کانه‌دار منطقه چالو گویای تغییرات دمای اوتکتیک (Tc) به‌دست آمده بین $18/8$ تا $21/6$ در سامانه $\text{H}_2\text{O}-\text{NaCl}$ است. همچنین نمودارهای میله‌ای شکل مقادیر به‌دست آمده از دمای همگن شدگی پایانی سیال (Th_{total}) و شوری (درصد معادل نمک طعام) برای کانسار چالو در شکل ۱۶ نشان داده شده است. داده‌های سنگ‌نگاری و میکروترموتری به‌دست آمده از مطالعات میانبراهای سیال کانسارهای چشمه‌حافظ و چالو در جدول ۴ ارائه شده است.

۸- بحث

بر پایه مطالعات (Brathwaite & Faure, 2002)، ماهیت میانبراهای سیال در کانسارهای اپی‌ترمال غنی از طلا به صورت دو فاز (L+V) با دمای همگن شدگی پایین است. همچنین در کانسارهای اپی‌ترمال فلزات پایه و نقره، میزان شوری نسبتاً بالا (تا ۲۰ درصد معادل نمک طعام) در ترکیب سیال کانه‌ساز دیده شده است (Albinson et al., 2001). شوری اندازه‌گیری شده در میانبراهای سیال کانسار چشمه‌حافظ بین ۴ تا ۱۸ درصد وزنی معادل نمک طعام و شوری به‌دست آمده در کانسار چالو بین ۳ تا ۱۱ درصد وزنی معادل نمک طعام است. بر پایه مطالعات (Shamanian et al., 2004) شوری به‌دست آمده در کانسار فلزات پایه و طلای ابوالحسنی میان دو محدوده معدنی چشمه‌حافظ و چالو برابر $6/7$ تا $18/7$ درصد وزنی معادل نمک طعام است (جدول ۵). میزان شوری میانبراهای سیال با نوع فلز در منطقه همخوانی دارد، به طوری که کانسار چالو دارای شوری کمتری است و به سوی ابوالحسنی و چشمه‌حافظ به میزان شوری سیال به تدریج افزوده می‌شود. منطقه‌بندی عنصری نیز در منطقه دیده می‌شود، به گونه‌ای که از کانه‌زایی مس + طلا در چالو به سرب + روی + مس + نقره \pm طلا در ابوالحسنی و در پایان سرب + مس + روی \pm نقره \pm طلا در معدن متروکه چشمه‌حافظ و کانه‌زایی روی + نقره در گردنه توتو تغییر می‌کند. به این ترتیب، سیال گرمایی در منطقه چشمه‌حافظ و ابوالحسنی که با شوری بالاتر نسبت به چالو مشخص می‌شود، موجب کانه‌سازی فلزات پایه و نقره در این منطقه شده است و حضور کمپلکس‌های طلا‌دار در این سیال‌ها به حدی نبوده که سبب تشکیل طلا شود. انتقال فلزات پایه و نقره در چنین شرایطی بیشتر توسط کمپلکس‌های کلریدی صورت می‌گیرد (Seward & Barnes, 1997). بر عکس، شوری کمتر سیال گرمایی در منطقه چالو امکان حضور کمپلکس‌های طلا‌دار را فراهم آورده است. کمپلکس بی‌سولفیدی مهم‌ترین کمپلکس برای انتقال طلا در چنین شرایطی است (Palynaova, 2008; Benning & Seward, 1996). ارتباط میان کانی‌سازی نقره و فلزات پایه با سیال‌های با شوری به نسبت بیشتر و کانی‌سازی طلا و نقره با سیال‌های با شوری کمتر، پیش‌تر نیز پیشنهاد شده است (Henley, 1986). میانگین دمای همگن شدگی نیز از کانسار چالو به سوی کانسار چشمه‌حافظ کاهش منظمی نشان می‌دهد. به گونه‌ای که میانگین دمای همگن شدگی در کانسار چالو بین 290°C تا 356°C و میزان دمای همگن شدن در کانسار چشمه‌حافظ

سیال گرمایی در نتیجه انتقال از گسل‌ها با کاهش دما روبه‌رو و مسکوویت به وسیله ایلیت‌جانشین شده است (مهرابی و قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۹). دگرسانی در محدوده معدنی چالو با گسترش کمتر و تنها در کنار رگه‌ها دیده می‌شود که بیشتر شامل دگرسانی‌های سیلیسی- سولفیدی (کوارتز و پیریت)، سریستی و پتاسیک است. کانی‌های اپیدوت و کلریت نیز در سنگ میزان آندزیت و تراکی آندزیت برشی به مقدار زیاد حضور دارد که بیشتر جانشین پیروکسن و هورنبلند شده‌اند.

۷- میانبراهای سیال

مطالعات میانبراهای سیال با هدف بازسازی شرایط فیزیکی- شیمیایی سیال کانسار ساز و چگونگی کانی‌سازی در منطقه و دستیابی به یک مدل اکتشافی مستدل انجام شده است. این مطالعات در محدوده‌های معدنی چشمه‌حافظ و چالو توسط ۶ مقطع دوبرسقیل با قطر میانگین 150 میکرون و سوی برش مناسب انجام شد (جدول ۴). از دیدگاه سنگ‌نگاری، مطالعات بر روی میانبراهای سیال اولیه (P) با موقعیت منفرد (Isolate) و درون‌دانه‌ای (Intragrain) در میزان کوارتز و با در نظر گرفتن جایگاه همبود کانه‌ها و ارتباط آن با مراحل مختلف کانه‌سازی انجام شد. میانبراهای دیده شده بیشتر به شکل‌های میله‌ای، دوکی، کروی و بی‌شکل با اندازه بین 10 تا 20 میکرون هستند. به دلیل ریز بودن، میانبراهای در میزان اسفالریت (کوچک‌تر از 5 میکرون) مورد مطالعه قرار نرفت. بر پایه تقسیم‌بندی انجام شده توسط (Shepherd et al., 1985) و (Roedder, 1984)، سیال‌ها به ترتیب فراوانی شامل تک فاز مایع (L)، بخار (V)، دو فاز غنی از مایع (L+V) و دو فاز غنی از بخار (V+L) تشخیص داده شد و شواهدی از وجود میانبراهای دارای فاز جامد هالیت یا حضور CO_2 مایع (L_{CO_2}) دیده نشد. میزان شوری نیز بر پایه رابطه (Hall & Bodnar, 1988)، با استفاده از جدول دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) (Bodnar et al., 1985) و نرم‌افزار FLINCOR (Brown, 1989) به‌دست آمد. همچنین رسم ایزوکرهای PVTX نیز توسط این نرم‌افزار انجام شد.

۷-۱. میانبراهای سیال منطقه چشمه‌حافظ

نتایج مطالعات زمین‌دماسنجی (ژئوترموتری) بر روی ۳ نسل کانی‌سازی کوارتز در منطقه چشمه‌حافظ به ترتیب زیر است:

۱) سامانه رگه- رگچه‌ای پیریت- کالکوپیریت در میزان کوارتز (I)، با نسبت بالای میانبراهای سیال دو فاز غنی از مایع (L+V) و دمای همگن شدن پایانی به فاز مایع (Th_{LV-L}) بین 188°C تا 238°C ، تغییرات دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) بین 3°C تا 11°C (میانگین 7°C -) برابر میزان شوری ۶ تا ۱۴ درصد معادل نمک طعام (wt% NaCl eq.).

۲) سامانه رگچه‌ای- انتشاری گالن- مجموعه سولفوسالتی (تتراهدريت- تانتیت)- کالکوپیریت در میزان کوارتز (II)، با تغییرات دمای همگن شدگی پایانی به فاز مایع (Th_{LV-L}) بین 243°C تا 276°C ، دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) بین 8°C تا 14°C (میانگین 11°C -) برابر میزان شوری ۱۱ تا ۱۸ درصد معادل نمک طعام (wt% NaCl eq.).

۳) سامانه رگه‌ای پیریت در میزان کوارتز بی‌بر، با نسبت‌های متفاوت مایع به بخار (L/V) و فراوانی میانبراهای سیال تک فاز مایع (L) و دمای همگن شدن به فاز مایع (Th_{LV-L}) بین 148°C تا 188°C ، دمای ذوب نهایی یخ (Tm_{ice}) بین 2°C تا 8°C (میانگین 5°C -) برابر میزان شوری ۴ تا ۱۱ درصد معادل نمک طعام (wt% NaCl eq.). نمودارهای میله‌ای شکل دمای همگن شدگی پایانی (Th_{total}) و شوری (درصد معادل نمک طعام) در برابر فراوانی برای کانسار چشمه‌حافظ در شکل ۱۵ نشان داده شده است.

۷-۲. میانبراهای سیال منطقه چالو (کانه چالو)

نتایج مطالعات زمین‌دماسنجی بر روی دو نسل کانی‌سازی کوارتز در کانسار چالو به شرح زیر است:

جوشش در سیال کانه‌ساز و نهشت طلا و مس در رگه‌های سولفیدی دارد که با گذشت زمان سیال دچار کاهش دما و رقیق‌شدگی شده و در مراحل پایانی، رگه‌های کلسیت نابارور تشکیل شده است. با در نظر گرفتن توالی همبود کانی‌سازی و تغییرات معنادار Th و Tm_{ice} ، به نظر می‌رسد سیال با شوری بالا به طور متناوب در سامانه‌ای ترمال تزریق شده و با سیال با شوری پایین‌تر آمیخته شده است (شکل ۱۷). سازوکار اصلی در کانی‌سازی فلزات پایه در این مناطق، احتمالاً آمیختگی چنین شورابه‌هایی با محلول‌های با شوری کمتر است.

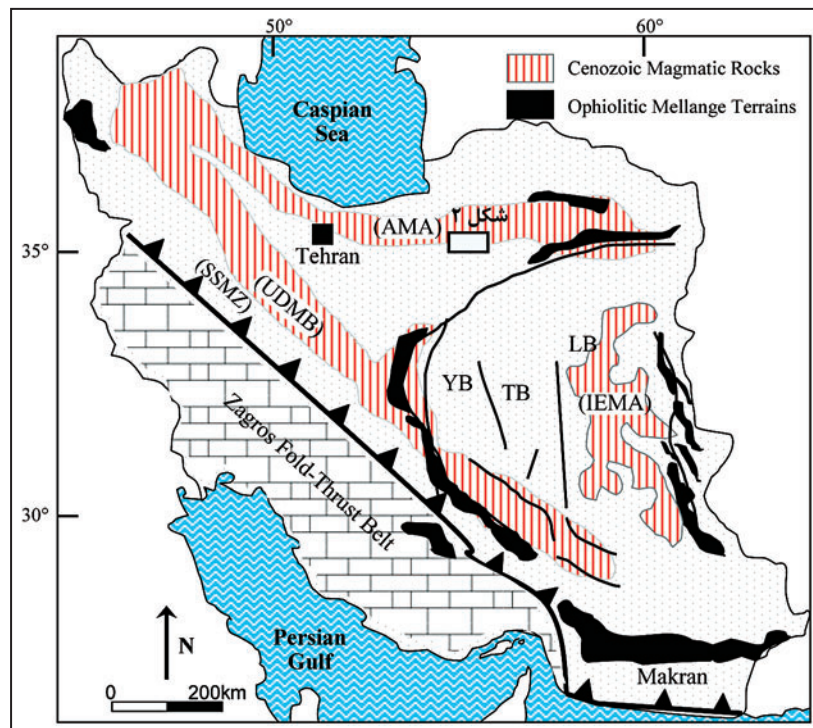
۹- نتیجه‌گیری

به طور خلاصه، نمودار همگن‌شدگی در برابر شوری نشان می‌دهد که یک سیال با شوری و دمای یکسان در منطقه سبب کانه‌زایی شده است. با این تفاوت که در منطقه چشمه‌حافظ و ابوالحسنی سیال با شوری بیشتر نیز حضور دارد که این پدیده در نتیجه تزریق انواعی از یک سیال با شوری و دمای بالاتر رخ داده و کانه‌زایی در این مناطق نیز در نتیجه این تزریق بوده است. با توجه به داده‌های به‌دست آمده در این پژوهش می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی مس-طلا در ژرفای بیشتر و نزدیک به توده نفوذی کوارتزموزدیوریت و کوارتزدیوریت تشکیل شده است و کانه‌زایی در کانسار چشمه‌حافظ (سرب-مس-نقره-طلا) و ابوالحسنی (سرب-روی-مس-نقره-طلا) مربوط به همین سامانه کانه‌زایی در ژرفاهای کمتر و در اثر اختلاط با سیالات جوی تشکیل شده و با توجه به شوری بالاتر کانه‌زایی طلا کمتر صورت گرفته است. مطالعات میانبارهای سیال فرایند اختلاط سیال گرمایی را با سیال جوی تأیید می‌کند.

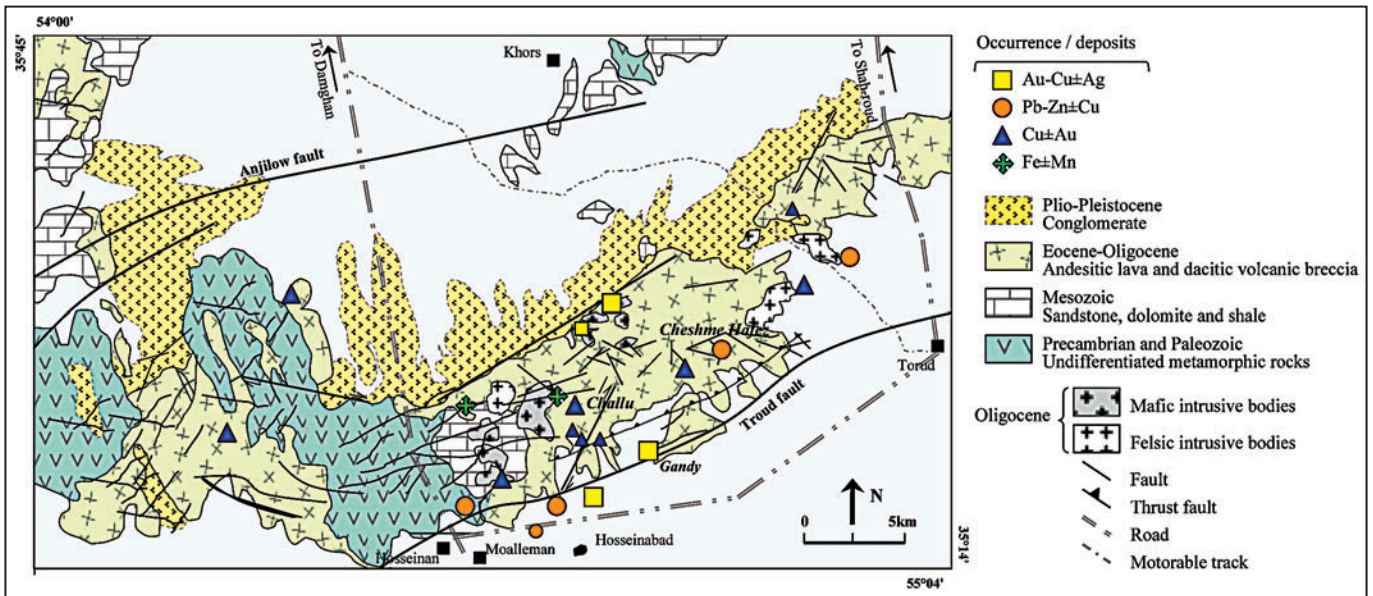
بین ۱۴۰ تا ۲۷۶°C است. با توجه به اینکه میانگین دمای همگن‌شدن در کانسار ابوالحسنی واقع در بین این دو کانسار بین ۲۳۴ تا ۳۴۰°C (Shamanian et al., 2004) است، کاهش تدریجی دمایی از کانسار چالو به سوی چشمه‌حافظ مشهود است (جدول ۵).

جوشش و آمیختگی، دو فرایند مهم ته‌نشینی فلزات در سامانه‌های اپی‌ترمال است (Giggenbach & Stewart, 1982). جوشش در طی حرکت رو به بالای سیال در درون سامانه با نفوذپذیری بالا رخ می‌دهد، در حالی که نیم‌رخ‌های گرمایی خطی که به دلیل آمیختگی یا نفوذپذیری کم ایجاد می‌شوند در حاشیه‌های سامانه عمومیت دارند (Hedenquist & Henely, 1992).

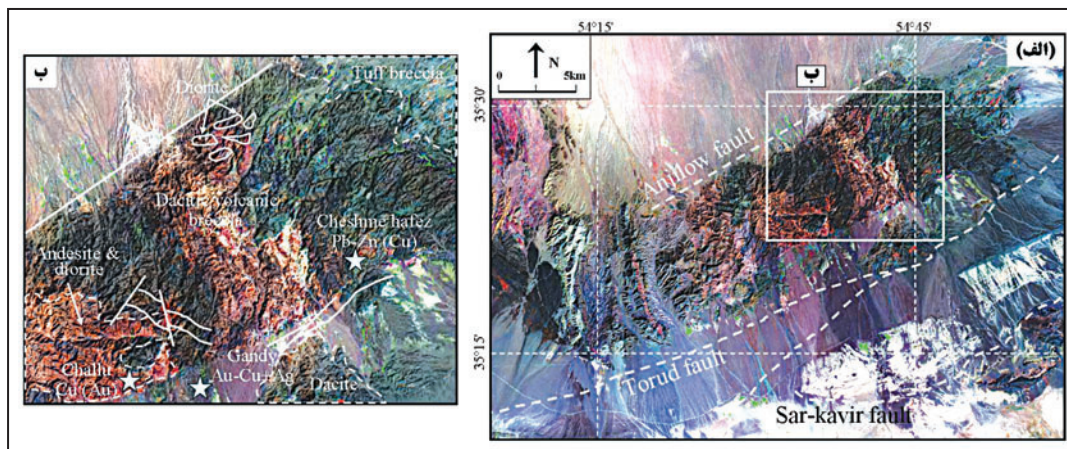
بر پایه مطالعات (Cooke & Simmons (2000) و Camprubi et al. (2006)، در کانسارهای گرمایی رگه‌ای با کانی‌سازی همراه سولفیدی و اکسیدی، عامل کانی‌سازی تغییرات فوگاسیته اکسیژن و گوگرد در محیط است. در منطقه چالو آب‌های سطحی اکسیژن‌دار پس از نفوذ به ژرفا و اختلاط با آب‌های ماگمایی دما بالای غنی از HF و HCl در شرایط فشار بالای اکسیژن و مقادیر پایین گوگرد موجب تشکیل هماتیت و مگنتیت در مراحل آغاز کانی‌سازی شده است. پس از آن، طی مراحل کانی‌سازی به تدریج با کاهش فوگاسیته اکسیژن، میزان گوگرد در محیط افزایش یافته و سبب کانی‌سازی طلا، فلزات پایه (مس و سرب) و پیریت رگه‌ای شده است. همچنین با توجه به رخداد دگرسانی سریسیتی در پیرامون رگه‌ها، pH محلول کانه‌ساز خنثی بوده است (Downes, 2006). حضور برش‌های گرمایی، گوناگونی میانبارهای سیال دوفازی غنی از بخار (V+L)، تک‌فازی بخار (V) و همگن‌شدگی برخی میانبارهای سیال غنی از بخار به فاز بخار (Th_{VI-V}) ، احتمالاً نشان از رخداد



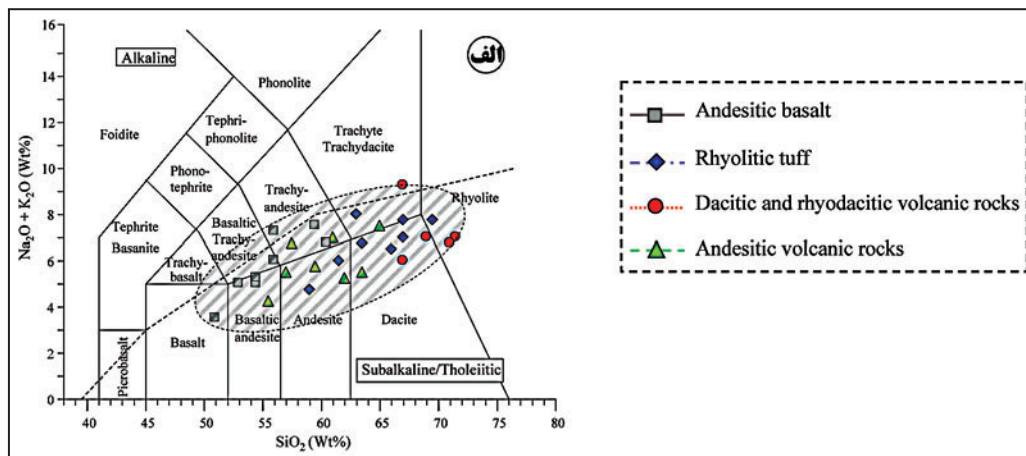
شکل ۱- پراکنندگی سنگ‌های ماگمایی سنوزوی یک در ایران (Haghipour & Aghanabati, 1985) و موقعیت پهنه ترو-چاه شیرین در بخش خاوری کمان ماگمایی البرز، AMA (کمان ماگمایی البرز)؛ UDMB (کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر)؛ IEMA (مجموعه ماگمایی خاور ایران)؛ SSMZ (پهنه دگرگونی سنندج-سیرجان)؛ YB (بلوک یزد)؛ TB (بلوک طبس)؛ LB (بلوک لوت).



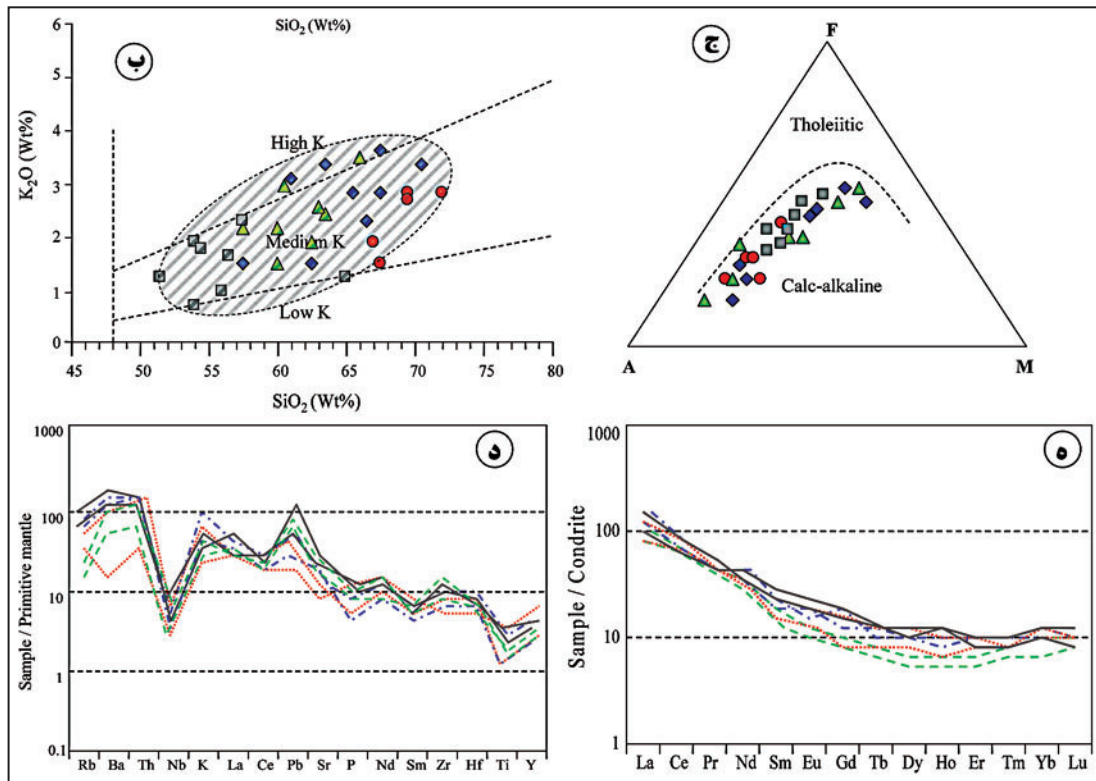
شکل ۲- نقشه زمین‌شناسی پهنه تروود-چاه شیرین و نمایش ذخایر (شکل‌های هندسی بزرگ) و رخدادهای معدنی (شکل‌های هندسی کوچک) در آن (با تغییرات کلی از هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).



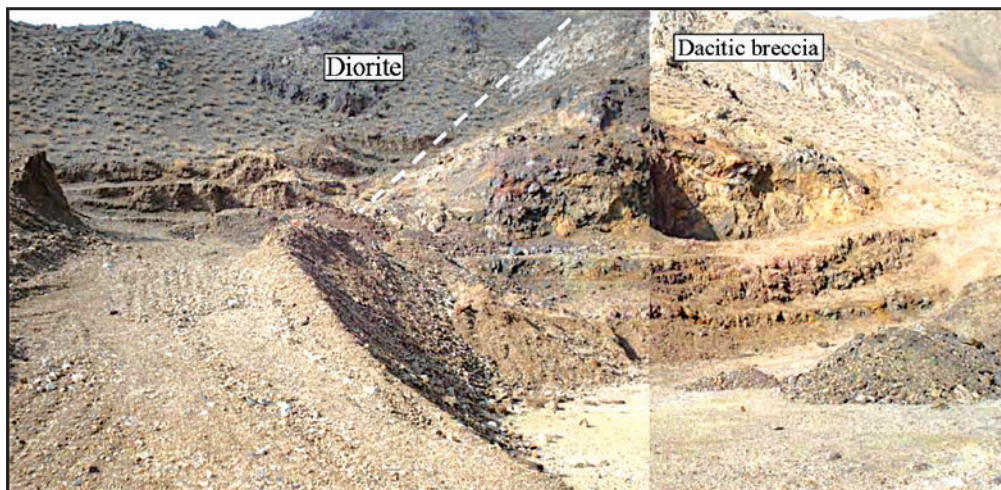
شکل ۳- الف) تصویر ماهواره‌ای (Landsat TM) پهنه آتشفشانی-نفوذی تروود-چاه شیرین و موقعیت گسل‌های انجیلو در شمال و تروود در جنوب آن؛ ب) موقعیت مناطق معدنی چشمه‌حافظ، گندی و چالو نسبت به توده‌های نفوذی و سنگ‌های آتشفشانی بخش خاوری پهنه تروود-چاه شیرین.



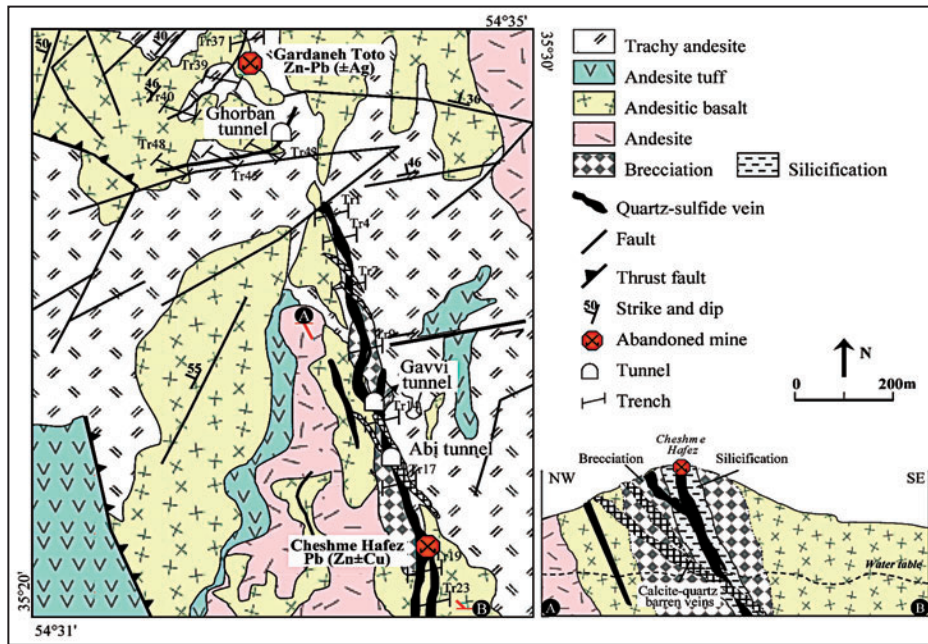
شکل ۴- نمودار ژئوشیمی سنگ‌های آذرین منطقه، الف) رده‌بندی TAS برای تفکیک سنگ‌های آذرین بیرونی با استفاده از نسبت SiO_2 در برابر $Na_2O + K_2O$ توسط Le Maitre (1989).



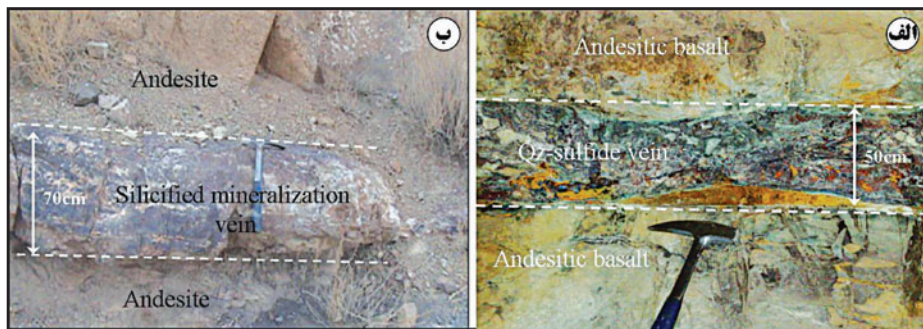
شکل ۴- نمودار ژئوشیمی سنگ‌های آذرین منطقه، (ب) نمودار دوتایی K_2O در برابر SiO_2 (Le Maitre, 1989) و موقعیت سنگ‌ها در محدوده پتاسیم متوسط تا بالا؛ (ج) نمودار AFM (Irvine & Baragar, 1971) و ماهیت کالک آلکالن سنگ‌های آذرین منطقه؛ (د) الگوی بهنجار شده عناصر نسبت به گوشته اولیه (Sun & Mc Donough, 1989) و نمایش بی‌هنجاری مثبت عناصر ناسازگار سنگ‌دوست با شعاع یونی بزرگ (LILE) و بی‌هنجاری منفی عناصر ناسازگار با شدت میدان بالا (HFSE)؛ (ه) الگوی بهنجار شده عناصر خاکی کمیاب (REE) نسبت به کندریت (Sun & Mc Donough, 1989)، نشان‌دهنده میزان ناچیز بی‌هنجاری مثبت LREE و الگوی تقریباً مسطح HREE.



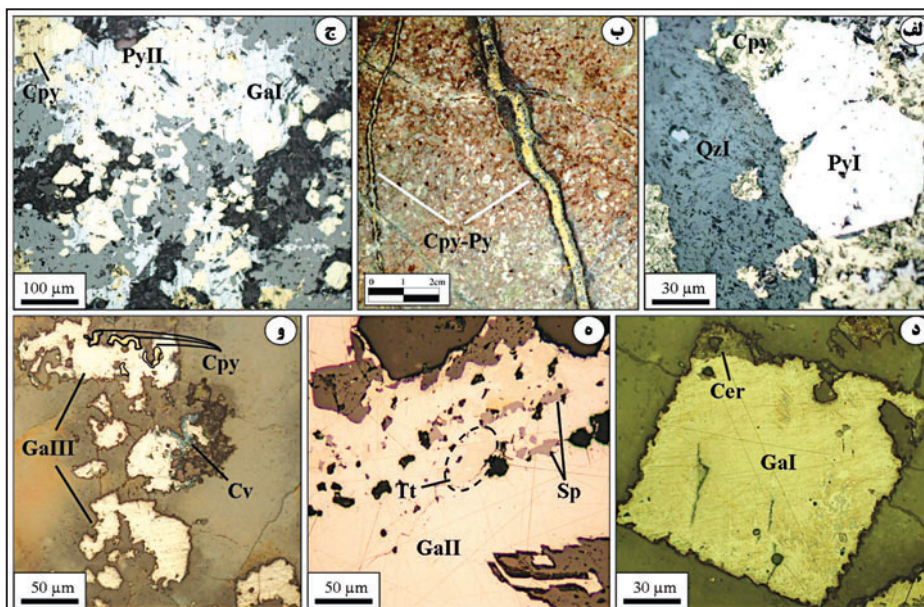
شکل ۵- نمایی از یک سینه کار کهن در منطقه معدنی چالو به طول ۳۰ و عرض ۵ متر (دید به سوی شمال خاوری).



شکل ۶- نقشه زمین‌شناسی ساده شده منطقه معدنی چشمه‌حافظ به همراه نیمرخ در امتداد A-B (فاسمی سیانی، ۱۳۸۸).



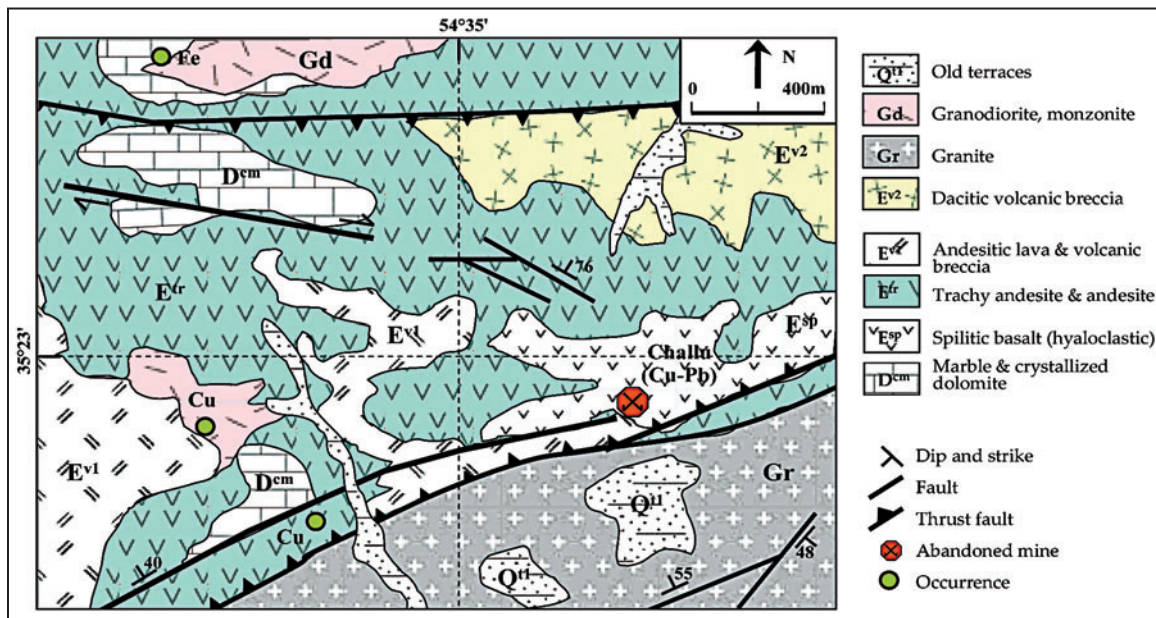
شکل ۷- تصاویر صحرایی از رگه‌های اصلی کاناسار چشمه‌حافظ؛ (الف) رگه اصلی چشمه‌حافظ در تونل قربان (شکل ۶) با میزان بازالیت آندزیتی و ساخت برشی؛ (ب) رخنمون رگه سیلیسی کانه‌دار منطقه گردنه توتو در میزان آندزیت دگرسان در شمال باختر معدن چشمه‌حافظ.



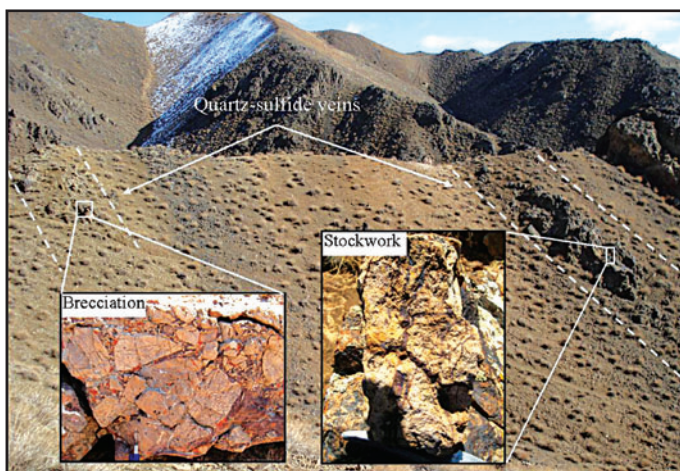
شکل ۸- تصاویر میکروسکوپی نور بازتابی و نمونه دستی از منطقه چشمه‌حافظ؛ (الف) کانی‌سازی رگه‌ای پیریت خودشکل نسل اول به همراه کالکوپیریت و کوارتز؛ (ب) ساخت رگچه‌ای پیریت- کالکوپیریت در میزان آندزیت‌توف؛ (ج) کانی‌سازی انتشاری پیریت نیمه‌شکل‌دار نسل دوم به همراه گالن نسل اول و کالکوپیریت نسل اول؛ (د) گالن خودشکل نسل اول با حاشیه سروزیت؛ (ه) ادخال‌های تتراهدریت و اسفالریت در میزان گالن نسل دوم؛ (و) گالن انتشاری نسل سوم به همراه کالکوپیریت نسل دوم و حاشیه کولین در میزان کوارتز. Py (پیریت)؛ Cpy (کالکوپیریت)؛ Ga (گالن)؛ Sp (اسفالریت)؛ Tt (تتراهدریت)؛ Cer (سروزیت)؛ Cv (کولین)؛ Qz (کوارتز).

Stages Minerals	Stage 1	Stage 2 (Main sulfide stage)			Stage 3	Supergene
		I	II	III		
Quartz						
Chalcopyrite						
Galena						
Sphalerite						
Pyrite						
Bornite						
Tetrahedrite						
Tennantite						
Chalcocite						
Digenite						
Covellite						
Azurite						
Malachite						
Cerussite						
Calcite						
Fe-oxide & hydroxides						
Temperature (°C)	188-238	243-276			148-185	
Salinity (wt% NaCl equiv)	6-14	11-18			4-11	

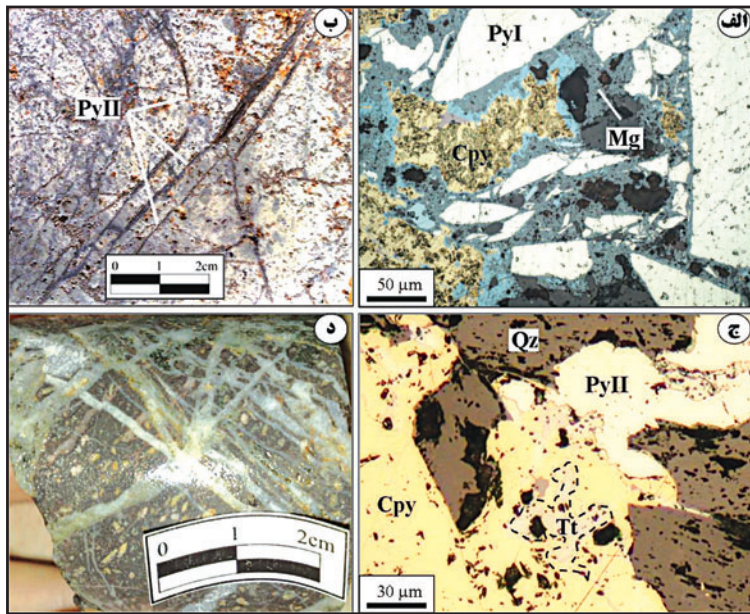
شکل ۹- توالی همبند کانسار چشمه حافظ به همراه مقادیر دما و شوری به دست آمده در هر مرحله.



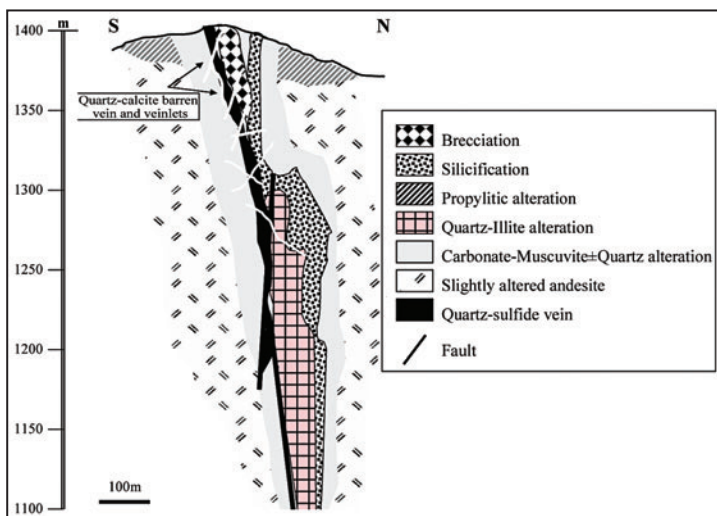
شکل ۱۰- نقشه زمین شناسی ساده شده منطقه معدنی چالو و نمایش رخدادهای معدنی مختلف در آن (بر گرفته از برگه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان توسط اشرافی و جلالی، ۱۳۸۵).



شکل ۱۱- نمایی از کانی سازی رگه ای سولفیدی در منطقه چالو با راستای خاوری- باختری و ساخت های برشی و استوک ورک در میزبان تراکی آندزیت (E^v) (دید به سوی شمال باختر).



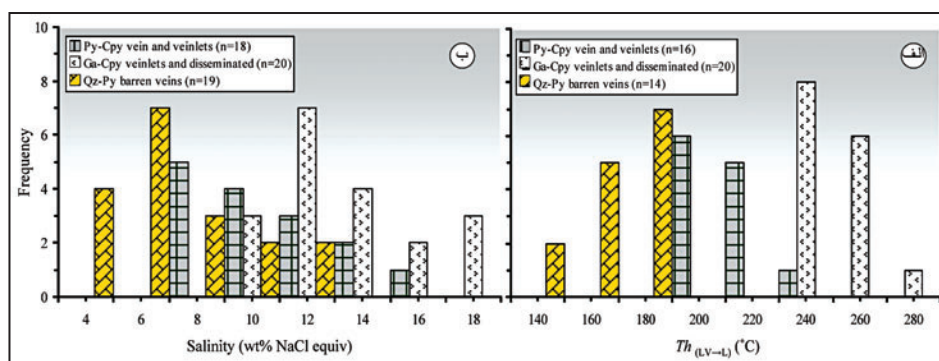
شکل ۱۲- تصاویر میکروسکوپی نور بازتابی و نمونه دستی کانسار چالو، الف) پیریت‌های برشی نسل اول به همراه کالکوپیریت و مگنتیت در زمینه کوارتز؛ ب) رگچه‌های پیریت نسل دوم؛ ج) ادخال تتراهدريت در ميزان کالکوپیریت به همراه پیریت و د) رگه و رگچه‌های تأخیری کلسیت در ميزان آندزیت. Py (پیریت)؛ Cpy (کالکوپیریت)؛ Mg (مگنتیت)؛ Tt (تتراهدريت)؛ Qz (کوارتز).



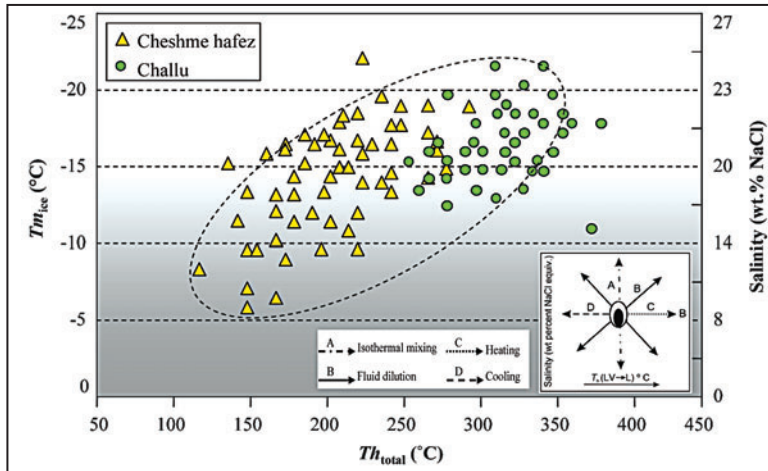
شکل ۱۴- نیمرخ زمین‌شناسی در امتداد رگه سولفیدی اصلی چشمه‌حافظ و نمایش واحدهای دگرسان مختلف در آن.

Stages	Hypogene		Supergene
	Early	Late	
Quartz	[Bar chart showing distribution]		
K-feldspar	[Bar chart showing distribution]		
Magnetite	[Bar chart showing distribution]		
Chalcopyrite	[Bar chart showing distribution]		
Bornite	[Bar chart showing distribution]		
Pyrite	[Bar chart showing distribution]		
Tetrahedrite	[Bar chart showing distribution]		
Chalcocite	[Bar chart showing distribution]		
Covellite	[Bar chart showing distribution]		
Azurite	[Bar chart showing distribution]		
Malachite	[Bar chart showing distribution]		
Chrysocolla	[Bar chart showing distribution]		
Calcite	[Bar chart showing distribution]		
Chlorite	[Bar chart showing distribution]		
Hematite	[Bar chart showing distribution]		
Fe-oxide & hydroxides	[Bar chart showing distribution]		
Temperature (°C)	332-356	290-322	
Salinity (wt% NaCl equiv)	7-11	3-7	

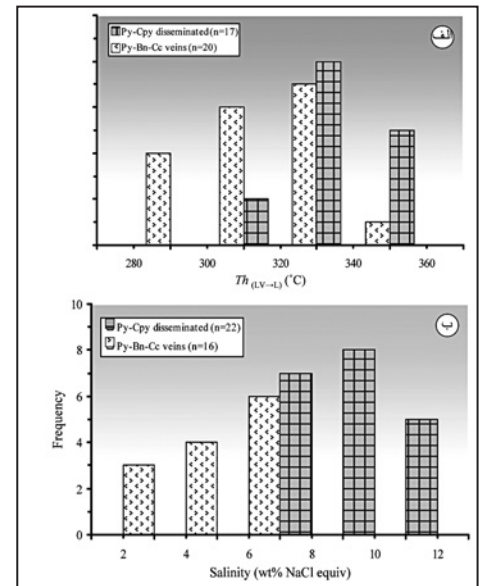
شکل ۱۳- توالی همبود کانسار چالو به همراه مقادیر دما و شوری به دست آمده طی هر مرحله.



شکل ۱۵- نمودارهای میله‌ای شکل حاصل از میکروتومتری میانبارهای سیال کانی‌سازی‌های مختلف کانسار چشمه‌حافظ؛ الف) نمودار دمای همگن‌شدگی پایانی (Th_{total}) سیالات دو فازي مایع+بخار به فاز مایع (LV→L) و ب) میانبارهای سیال بر مبنای درصد وزنی معادل نمک طعام.



شکل ۱۷- نمودار دمای همگن‌شدگی پایانی (Th_{total}) در برابر شوری (بر حسب درصد وزنی معادل نمک طعام) و دمای ذوب پایانی یخ (Tm_{ice}) در کانه‌زایی‌های مختلف کانسار چالو و چشمه حافظ. بر پایه نمودار، فرایند اختلاط (mixing) و رقیق‌شدگی (dilution) توسط آب‌های جوی دما و شوری پایین قابل تشخیص است.



شکل ۱۶- نمودارهای میله‌ای شکل حاصل از میکروترومتری میانبرهای سیال کانه‌زایی بخش انتشاری و رگه‌های منطقه چالو؛ الف) نمودار دمای همگن‌شدگی پایانی (Th_{total}) سیالات به فاز مایع و ب) شوری میانبرهای سیال بر پایه درصد وزنی معادل نمک طعام.

جدول ۱- نتایج تجزیه دستگامی XRF عناصر اکسیدی (%wt) و ICP-MS عناصر فرعی (ppm) سنگ‌های آذرین منطقه

Sample no.	Ch-tr1-03	Ch-hs-05	Ch-w1-13	Ch-tr3-10	Ch2-w2-06
Rocks	andesitic basalt	andesite	rhyolitic tuff	Trachy-andesite	andesite
(wt%)					
SiO ₂	48.30	57.7	66.76	58.21	54.7
TiO ₂	1.08	0.95	1.09	0.88	0.80
Al ₂ O ₃	18.27	16.46	15.76	17.23	14.56
Fe ₂ O ₃	5.72	3.87	1.43	3.12	5.83
MnO	0.30	0.16	0.10	0.10	0.10
MgO	6.81	2.87	0.42	3.26	2.21
CaO	7.78	4.87	4.32	3.45	7.87
Na ₂ O	2.78	2.10	0.10	2.22	2.76
K ₂ O	3.92	3.52	5.02	3.68	4.56
P ₂ O ₅	0.10	0.15	0.21	0.20	0.20
LOI	4.87	6.76	3.45	6.76	4.87
Total	99.93	99.41	98.66	99.11	98.46
(ppm)					
Cr	78	93	140	130	164
Co	1.5	14.3	12.6	2.8	12.21
Ni	9.9	21.5	14.6	48.6	32.8
Sc	4.2	5.6	12.3	13.1	14.4
Ba	708	630	608	438	500
Zn	129	145	213	167	190
Rb	146	138	223	130	316
La	12	28	33	19	43
Sr	149	168	134	145	124
Nb	1.8	3.9	8.8	15.7	13.8
Zr	104	17.78	204.7	140	249
Y	11.6	13.7	17.9	23.78	34.9
Ta	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Ga	9.7	19.9	23	29	48
Cs	10.4	6.6	5.5	7.1	7.3
Th	10.1	3.2	1.6	3.2	9.1
U	2.2	1.4	1.7	3.9	2.4
V	102	223	38	54	67
Pr	9.2	7.8	8	7.2	2.5
Nd	37	18.3	43.2	43	68
Sm	6.8	4.8	3.4	2.3	5.6
Cu	240	103	324	34	46
Lu	0.2	0.3	0.6	0.2	0.3
Eu	1.6	1.3	1.8	1.2	0.8
Yb	2.3	2.3	3.3	2.1	1.1
Gd	3.2	5.4	3.4	5.5	4.7
Tb	0.4	0.7	0.6	0.3	0.5
Dy	3.3	2.2	4.5	3.7	2.6
Ho	0.6	0.3	0.8	1.1	0.4
Er	1.1	1.9	1.0	0.1	1.1
Tm	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4
Hf	3.2	1.2	1.9	2.0	2.9

جدول ۲- نتایج تجزیه دستگاهی ICP-MS تعداد ۸ عنصر معرف کانه‌ساز از منطقه چشمه‌حافظ

Sample no.	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Cd (ppm)	Mo (ppm)	Cu (wt%)	Pb (wt%)	Zn (wt%)
Ch-tu-17	0.06	8.3	120	153	20.7	1.0	13.0	0.3
Ch-tu-18	0.3	8.1	65	17	14.3	2.0	5.0	1.2
Ch-tr-84	0.7	3.4	97	16.5	14.9	17.2	10.0	4.1
Ch-74	0.1	0.3	42	3.6	17.8	3.1	0.9	1.5
Ch-tr-10	0.1	0.8	98	5.0	0.5	0.9	8.0	4.2
Ch-po87	0.09	4.8	49	64	1.0	3.3	11.7	3.5
Ch-87	0.03	2.0	356	5.0	8.9	0.9	3.0	4.4
Ch-88	0.03	0.9	1020	2.4	1.4	0.8	3.4	0.07
Ch-tr-50	0.002	1.0	678	2.2	2.8	0.02	0.04	0.1
Ch-tr-80	0.008	0.4	37	12	14.9	0.02	0.4	0.3
Ch-tu-90	0.04	0.2	27	13.5	0.9	1.0	0.9	0.2
Ch-99	0.2	8.5	100	34	19	1.4	0.8	0.3

جدول ۳- نتایج تجزیه دستگاهی ICP-MS تعداد ۹ عنصر معرف کانه‌ساز از منطقه چالو

Sample no.	Au (ppm)	Ag (ppm)	As (ppm)	Sb (ppm)	Bi (ppm)	Mo (ppm)	Cu (wt%)	Pb (wt%)	Zn (wt%)
Ch-tr01	25	11.6	1120	nd	185	12	7.3	1.5	0.4
Ch-tr03	20	21.7	89	nd	503	9.9	0.2	2.8	0.2
Ch-tr13	31	34	57	nd	1.85	7.5	2.1	1.2	0.2
Ch-hs11	0.8	<1	5.2	20	<10	0.3	3.2	0.3	0.05
Ch-hs10	0.6	0.2	7.8	12	0.3	0.5	6.1	0.8	0.02
Ch-tr01	9.8	9.4	895	41	156	50	0.2	5.7	0.1
Ch-tr02	10.2	23	219	11	38	24	8.1	6.9	0.2
Ch-tr03	8.7	43	321	30	47	43	1.4	3.4	0.6
Ch-hs04	1.2	0.3	<10	2	0.5	<10	0.01	0.3	0.01
Ch-hs12	<0.1	<1	34	59	<10	0.4	8.2	0.2	0.03
Ch-hs13	<0.1	0.6	17	nd	0.3	3.8	7.1	0.1	0.01
Ch-tr04	25	76	1045	6	3.34	8.5	1.1	3.9	0.5
Ch-tr05	13	41	1718	12	53	24.5	3	4.2	1.6
Ch-tr06	46	32	229	180	33	32.8	2.3	5.6	2.3

جدول ۴- داده‌های میکروترموتری میان‌بارهای سیال در کانسارهای چشمه‌حافظ (Ch) و چالو (Cho).

Sample no.	Mineral	Volume %	Origin	n	Th _{total} (°C)	Te (°C)	Tm _{ice} (°C)	Salinity wt% NaCl eq.
87-Ch-68	Quartz	10-30	P-PS	13	140-235	-20.5 to -19.6	-13.2 to -5.0	7.8 to 17.5
87-Ch-Tu	Quartz	20-40	P	22	160-260	-21.6 to -19.8	-8.2 to -2.9	4.7 to 12.0
87-Ch-23	Quartz	30-40	P-S	26	157-255	-21.1 to -18.8	-14.2 to -4.0	6.2 to 17.9
89-Cho-8	Quartz	40-60	P	20	290-350	-20.9 to -19.6	-6.2 to -2.9	4.8 to 9.5
89-Cho-11	Quartz	50-60	P	30	300-360	-22.1 to -18.0	-6.6 to -1.9	3.0 to 10.0
89-Cho-12	Quartz	30-40	P-S	23	290-360	-21.1 to -18.1	-6.6 to -3.0	5.0 to 10.0

n- تعداد نقاط اندازه‌گیری

جدول ۵- مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانه‌زایی، کانی‌شناسی و میانبارهای سیال در مناطق معدنی چشمه حافظ، چالو و مجموعه گندی-ابوالحسنی

ویژگی‌های کانسار	چشمه حافظ (I) و گردنه توتو (II)	چالو	گندی و ابوالحسنی
ماده معدنی	Pb+Zn±Cu (I) Zn+Pb±Ag (II)	Cu±Au	Pb+Zn±Ag±Au
سنگ‌میزبان	آندزیت، آندزیت-بازالت و داسیت	تراکی آندزیت و بازالت اسپیلیتی برشی	لاپیلی توف، گدازه‌های حدواسط و برش‌های آتشفشانی و آندزیت
شکل کانی‌سازی	رگه- رگچه‌ای (در هر دو محدوده)	رگه- رگچه‌ای، برشی و استوک‌ورک	رگه‌ای و برشی
ساخت و بافت کانی‌سازی	شکافه پرکن و نواری نامتقارن	شکافه پرکن و برشی	شکافه پرکن، جانشینی و انتشاری
کانی‌شناسی کانسنگ و باطله‌ها	Ga+Sp+Py±Cpy±Bo±Tet- Tn±Cer±Mal±Clc±Cv±Dj	Mg+Hm+Py+Cpy±Tet±Ccl±Mal±Az±Cv±Cry	Cpy+Py±Sp±Ga±Gold±Tn±Bo±Clc
دگرسانی مرتبط با کانی‌سازی	پرپیلیتیک، فلیک، آرژیلیک و سیلیسیک	سیلیسی-سولفیدی و سربستی	سربستی و سیلیسی
میانگین دمای همگن‌شدگی پایانی (°C) و شوری (wt%NaCl)	Stage 1 $Th_{total}=213^{\circ}C$ Salinity=10 (wt%NaCl) Stage 2 $Th_{total}=260^{\circ}C$ Salinity=14.5 (wt%NaCl) Stage 3 $Th_{total}=167^{\circ}C$ Salinity=7.5 (wt%NaCl)	Early stage $Th_{total}=344^{\circ}C$ Salinity=9 (wt%NaCl) Late stage $Th_{total}=306^{\circ}C$ Salinity=5 (wt%NaCl)	$Th_{total}=287^{\circ}C$ Salinity=12.7 (wt%NaCl)
ژرفای کانی‌سازی (m)	Depth=380 m	Depth≥700 m	Depth=600 m
عیار میانگین	Pb (4.0%) Zn (2.3%) Cu (1.5%) Ag (3ppm) Au (0.1ppm)	Cu (3.0%) Pb (2.0%) Zn (0.5%) Ag (20ppm) Au (15ppm)	Pb (3.1%) Cu (1.0%) Zn (0.8%) Ag (30.6ppm) Au (14.6ppm)
منابع	قاسمی سیانی (۱۳۸۸) و این پژوهش	این پژوهش	(Shamania et al., 2004)

علامت اختصاری: Ga: گالن؛ Sp: اسفالریت؛ Py: پیریت؛ Cpy: کالکوپیریت؛ Bo: بورنیت؛ Tet: تتراهدریت؛ Tn: تانتیت؛ Bn: بورنویت؛ Mg: مگنتیت؛ Hm: همتایت؛ Cer: سروزیت؛ Mal: مالاکیت؛ Cv: کوولیت؛ Dj-دیژنیت؛ Az: آزوریت؛ Cry: کریزو کلا؛ Clc: کالکوسیت؛ Qz: کوارتز؛ Cc: کلسیت؛ Dol: دولومیت؛ Chl: کلریت؛ Ba: باریت؛ Ep: اپیدوت.

کتابنگاری

- اشراقی، ص.ع.، ۱۳۷۷- گزارش و نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه معلمان-دامغان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اشراقی، ص.ع. و جلالی، ا.، ۱۳۸۵- گزارش و نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امام‌جمعه، ا.، ۱۳۸۵- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی (شمال باختر ترو، استان سمنان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- برنا، ب. و عشق‌آبادی، م.، ۱۳۷۶- گزارش ارزیابی و اکتشافی کانسارهای اندیس‌های سرب و روی استان سمنان، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- تقی‌پور، ن.، قربانی، ق. و درانی، م.، ۱۳۸۹- زمین‌شناسی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی مرتبط با کانه‌زایی آهن در کانسار چالو، جنوب دامغان، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- توسعه علوم زمین، ۱۳۸۲- گزارش اکتشافی کانسار چشمه‌حافظ و گردنه توتو در مقیاس ۱:۱۰۰۰.
- توسعه علوم زمین، ۱۳۸۵- گزارش طرح اکتشاف معادن متروک سرکوب استان سمنان (معدن مترو که چالو).
- رشیدنژاد عمران، ن.، ۱۳۷۱- بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانه‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تربیت مدرس تهران.
- شمعانیان، غ.خ.، ۱۳۸۲- مطالعه دگرسانی و کانی‌سازی گرمایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی تهران.
- شیبی، م.، ۱۳۸۳- بررسی پترولوژی و ژئوشیمی کانسار آهن پنج کوه (جنوب دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
- فرد، م.، ۱۳۸۰- کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار طلا، سرب، روی، (مس و باریم) گندی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

- قاسمی سیانی، م.، ۱۳۸۸- کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سیالات درگیر و ژنر کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ (جنوب شرق دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت معلم تهران. کهنسال، ر.، ۱۳۷۷- بررسی توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان دامغان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال. مهرابی، ب. و قاسمی سیانی، م.، ۱۳۸۹- کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ، سمنان، ایران، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد دوم، شماره ۱.
- مهری، ب.، ۱۳۷۷- زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنر کانسار سرب-نقره خانجبار (جنوب دامغان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس تهران. ولی‌زاده، م. ع. و جعفریان، ع.، ۱۳۶۸- قرابت‌های پتروژنیک قوس ولکانو-پلوتونیک کوه زر ترود و ارتباط آن با متالورژی ناحیه، مجله علوم دانشگاه تهران، جلد بیستم، شماره ۱. هوشمندزاده، ع.، علوی‌نایینی، م. و حقی‌پور، ع.، ۱۳۵۷- تحول پدیده‌های زمین‌شناسی تروداز پرکامبرین تا عهد حاضر، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

References

- Albinson, T., Norman, D. I., Cole, D. & Chomiak, B., 2001- 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: 1-32.
- Benning, L. G. & Seward, T. M., 1996- Hydrosulfide complexing of Au in hydrothermal solutions from 150 to 400°C and 500 to 1500 bars, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 60, 1849-1871.
- Bodnar, R. J., 1993- Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solutions, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 57, 683-684.
- Bodnar, R. J., Reynolds, T. J. & Kuehn, C. A., 1985- Fluid inclusion systematic in epithermal systems: *Reviews in Economic Geology*, v.2, p. 73-97.
- Brathwaite, R. L. & Faure, K., 2002- The Waihi epithermal gold-silver-basemetal sulfide-quartz vein system, New Zealand: temperature and salinity controls on electrum and sulfide deposition, *Econ. Geol.*, 97, p 269-290.
- Brown, P. E., 1989- FLINCOR: a microcomputer program for the reduction and investigation of fluid inclusion data. *American Mineralogist*, 74, 1390-1393.
- Camprubi, A., Chomiak, B. A., Canals, A. & Norman, D. I., 2006- Fluid sources for the La Guitarra epithermal deposit (Temascaltepec district, Mexico): Volatile and helium isotope analyses in fluid inclusions. *Chemical Geology* 231, pp: 252-284.
- Cooke, D. R. & Simmons, S. F., 2000- Characteristics and genesis of epithermal gold deposits, *Rev. Economic Geology*, 13, pp: 221 – 244.
- Downes, P. M., 2006- Yerranderie a late Devonian Silver-Gold-Lead intermediate sulfidation epithermal district, Eastern Lachlan orogen, New South Wales, Australia. *Resource Geology* 57, No.1, pp: 1-23.
- Giggenbach, W. F. & Stewart, M. K., 1982- Processes controlling the isotopic composition of steam and water discharges from steam vents and steam-heated pools in geothermal areas: *Geothermics*, v. 11, p. 71-80.
- Haghipour, A. A. & Aghanabati, S. A., 1985- Geological map of Iran, *Geol. Surv. of Iran*.
- Hall, D. I. & Bodnar, R. J., 1988- Freezing point depression of NaCl-KCl-H₂O, *Econ., Geol.*, v.65, p123.
- Hedenquist, J. W. & Henley, R. W., 1992- Effect of CO₂ on freezing point depression measurements of fluid inclusions: Evidence from active systems and application to epithermal studies: *Econ., Geol.*, v. 80, p. 1379-1406.
- Henley, R. W., 1986- The geological framework of epithermal deposits, In Berger. P.M (Ede), *Geology and geochemistry of epithermal system*, Soc. Econ. Geol, pp: 1-24.
- Huber, H. & Stöcklin, J., 1959- Geological report on the Troud-Moaleman area. *N.I.O.C.*
- Irvine, T. N. & Baragar, W. R. A., 1971- A guide to the Chemical classification of the common volcanic rocks. *Canadian Journal of Earth Science*, v. 8, 523-548.
- Le Maitre, R. W., 1989- Classifications of igneous rocks and glossary of terms, Black well scientific publications, 191p.
- Palyanaova, G., 2008- 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, 399-413.
- Pearce, J. A. & Can, J. R., 1973- Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace elements analysis. *Earth and Planetary Science Letter*, 290-300.
- Roedder, E., 1984- Fluid inclusions: *Reviews in Mineralogy*, v. 12, 644 p.
- Seward, T. M. & Barnes, H. L., 1997- Metal transport by hydrothermal ore fluids, in Barnes, H.L., ed., *Geochemistry of hydrothermal ore deposits*, New York, John Wiley and Sons, 435-486.
- Shamianian, H., Geffrey, W., Hedenquist, J., Hatori, K. & Ghaderi, M., 2004- The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran. *Econ., Geol.*, v. 99, 691-712.
- Shepherd, T. J., Rankin, A. H. & Alderton, D. H. M., 1985- A practical guides to fluid inclusion studies, Blackie press, 239 p.
- Stöcklin, J., 1968- Structural history and tectonics of Iran. A review, *American Association of Petroleum Geologist Bulletin*, v. 52, pp: 1229-1258.
- Streckeisen, A. L., 1980- Classification and nomenclature of volcanic rocks, lamprophyres, carbonatites, and melittic rocks, I.U.G.S., Subcommittee on the systematic of igneous rocks. *Geol. Rundsch.* 69, 194-207.
- Sun, S. S. & Mc Donough, W. F., 1989- Chemical and isotopic systematic of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. In: Saunders, A. D., Norry, M. J. (eds.) *Magmatism in ocean basins*. *Geol. Soc. London Spec. Pub.*, pp 313-345.

Base and Precious Metal Ore-Forming System in the Cheshme Hafez and Challu Mining Area, Torud-Chah Shirin Magmatic Arc

B. Mehrabi ¹, M. Ghasemi Siani ² & E. Tale Fazel ^{3*}

¹ Associate Professor, Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

² Ph.D., Department of Geochemistry, Faculty of Earth Sciences, Kharazmi University, Tehran, Iran

³ Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Sciences, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran

Received: 2011 September 03

Accepted: 2012 August 08

Abstract

The Torud-Chah Shirin volcanic-intrusive arc, in the south of Kavir-e-Chah Jam depression (SW of Damghan), hosted many Pb, Zn, Cu, Ag and Au occurrences and deposits. Cheshmeh Hafez (Pb-Zn±Cu±Ag±Au) and Challu (Cu-Au±Ag) polymetallic vein-type ore deposits are the major one located in the central part. The Tertiary calc-alkaline volcanism and related mineralization occurred along the main Anjillo fault in the north and the Torud fault in the south with NW-SE trend. The exposed rocks in the Torud-Chah Shirin consist of volcanoclastic sequence composed of siltstone, thin bedded sandstone, lapilli tuff and volcano breccias and mostly andesitic and andesitic-basalt flows. Main host rocks at Cheshmeh Hafez are andesite and andesitic-basalt, while in Challu are trachy-andesite and basaltic trachyandesite, hosted polymetal hydrothermal mineralization in the area. Mineralization in the Cheshmeh Hafez occurred in three main stage includes stage 1) vein and disseminated pyrite and chalcopyrite hosted in quartz with homogenization temperature of 188 to 238°C and salinity of 6 to 14 wt.% NaCl equiv, stage 2) main sulfide mineralization with vein, disseminated and brecciate texture hosted in quartz with homogenization temperature of 243 to 276°C and salinity of 11 to 18 wt.% NaCl equiv and stage 3) replacement mineralization and vein-type (quartz and barren calcite) with homogenization temperature of 148 to 185°C and salinity of 4 to 11 wt.% NaCl equiv. Mineralization in the Challu district with low expanse and simple mineralogy occurred at two stage composed of stage 1) vein and veinlet pre-mineralization stage includes specularite, magnetite, chalcopyrite and pyrite (I) hosted in quartz with homogenization temperature of 332 to 356°C and salinity of 7 to 11 wt.% NaCl equiv and stage 2) brecciate and stock-work post-mineralization stage includes pyrite (II), bornite, tetrahedrite, vein-type calcite and chlorite with homogenization temperature of 290 to 322°C and salinity of 3 to 7 wt.% NaCl equiv. According to the recent studies, it can be inferred that with distance increasing from Challu district to Cheshmeh Hafez mining area, homogenization temperatures (Th), salinity and depth of mineralization decreases gradually and mineralization at Challu and Cheshmeh Hafez districts have characteristics of an individual mineralization system that caused by mixing of hydrothermal fluid with meteoric water.

Keywords: Torud-Chah Shirin, Cheshmeh Hafez, Challu, Fluid Inclusion, Polymetallic Mineralization.

For Persian Version see pages 105 to 118

*Corresponding author: E. Tale Fazel; E-mail: tale.fazel@gmail.com