

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی گرایش اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، ژئوشیمی، الگوی تشکیل کانسار مس قیصری، جنوب دامغان

نگارنده:

شیوا مسکینی سیاهمرد

استاد راهنمای اول:

دکتر فرج‌ا... فردوست

استاد راهنمای دوم:

دکتر مهدی رضائی کهخائی

تیر ۱۳۹۸

تقدیم بہ:

پدر و مادر مہربانم

بہ استوارترین تکیہ ہام، دستان پر مہر پدرم بہ سبزترین نگاہ زندگیم، چشمان مہربان مادرم کہ شوق نفس کشیدن من است۔

ہمسر عزیزم

بہ پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت کہ محیطی سرشار از سلامت و امنیت و آراش و آسایش را برای من فراہم آورد و سایہی مہربانیش سایہ سار زندگی ام ہست، او کہ اسوہی صبر و تحمل بودہ و مشکلات را برایم تسہیل نمود و در تہ تک تک بخطات سخت مریاری کردہ و از بیج لگی دینغ نگردہ است۔

الهی:

مرا به نجات بی گرانست، چرا که نعمت‌های تو فراتر از آن است که شمارندگان بشمارند و اندیشه‌وران بدانند، ای هستی، بخش وجود مرا مدد کن تا دانش اندک نه زنجانی باشد برای خدونی تکبر و غرور، نه حلقه‌ای برای اسارت و نه دست‌یاری برای تجارت، بلکه کاهی باشد برای رسیدن به تو و متعالی ساختن خود و دیگران.

از قبیلای سبز خجاست بوده است و بازبان مردم بهشت سخن می‌گوید، جاده‌ای از ابریشم ایمان بر سر دارد و قلبش به عرش خدای ماند که به اندازه حقیقت خدا بزرگ است، بی آنکه کسی بداند خدا در خانه‌ی ما بوده است بی آنکه کسی بداند آفتاب از مشرق صدای او در من طلوع می‌کرد. من صدای خدا را از صدای قلب اومی شنوم، پدر و مادرم پاسکدارم، برادر و خواهر و همسر عزیز به خاطر وجودمان خدا را ساکنم.

اکنون که به یاری خدای متعال موفق به اتمام این منقطع تحصیل شده‌ام، بر خود لازم می‌دانم از زحمات استادان بزرگوارم جناب آقایان دکتر فرج‌ا... فردوست و دکتر مهدی رضائی کهنانی که مرا از خوان بی‌دیج اندوخته‌های خویش محروم نگذاشته‌اند و من انجام این رساله را مدیون دانش و فضل این بزرگواران، هم‌شمار نمایم.

از اساتید شایسته؛ جناب آقای دکتر صادقان، دکتر علی پور و دکتر موسوند که در کمال سه‌مدن با حسن خلق و فروتنی، از پیچ‌گی در این عرصه بر من هیچ ننمودند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم، باشد که این پایان نامه، بخشی از زحمات آنان را پاس گوید.

با ائتمان بیکران از مساعدت‌های بی‌شائبی جناب آقای دکتر علیمور و دکتر موسوند که قبول زحمت نموده و داوری این پایان نامه را بر عهده گرفتند و همچنین از دکتر جعفرزاده تحصیلات تکلیفی کمال تشکر را دارم.

تشکر از تمامی دوستان و همسر بزرگوارم که وجودشان بایه دگر می‌در این مسیر بوده؛ که در سختی‌ها همراه و به‌کام بودند و از خداوند متعال آرزوی سلامتی و توفیق روز افزون را دارم.

شوا سکینی

تیر ۹۸

تعهد نامه

اینجانب شیوا مسکینی سیاهمرد دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی گرایش زمین شناسی اقتصادی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان مطالعه کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قیصری، جنوب دامغان تحت راهنمایی آقای دکتر فرج ا... فردوست، دکتر مهدی رضائی کهخائی متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تا کنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «Shahrood University of Technology» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تاثیرگذار بوده اند، در مقالات مستخرج از این پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آنها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است، اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده) مربوط به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

کانسار مس قیصری در ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان، در بخش شمالی پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی و رشته کوه آتشفشان- رسوبی تروود- چاه‌شیرین واقع شده است. واحدهای سنگ‌شناختی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه محدوده سنی ائوسن تا کواترنری را در بر می‌گیرند که شامل گدازه‌های بازالتی و آندزیتی پورفیری به همراه سنگ‌های آذرآواری به شکل توف و آگلومرا به سن ائوسن می‌باشند که توسط دایک دیابازی به سن الیگومیوسن قطع شده‌اند. سنگ‌های ولکانیکی منطقه ماهیت کالک‌آلکان داشته و در حاشیه فعال قاره‌ای تشکیل شده‌اند. در سنگ‌های دربرگیرنده کانه‌زایی در داخل درز و شکاف و شکستگی‌های فراوان رخ داده است که نشانگر وضعیت اپی‌ژنتیک کانه‌زایی است. با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی کانه‌سازی عمدتاً به دو صورت رگه‌ای و رگه- رگچه‌ای و به صورت پرکننده حفرات و فضاهای خالی در واحدهای آندزیت، بازالت و آندزیت- بازالت رخ داده است. دگرسانی‌های مهم منطقه شامل کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی و اکسید آهن (هماتیت و لیمونیت) است. در منطقه مورد مطالعه فرآیند دگرسانی از ابتدای فوران گدازه به داخل دریا در حال شکل‌گیری بوده است. به این دلیل تمام بخش‌های سنگ میزبان مقداری دگرسانی به خصوص کلریتی را نشان می‌دهد. در حالی که در داخل دایک و حاشیه آن به دلیل چرخش سیالات گرمایی دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی‌ها قابل مشاهده می‌باشند. عمده‌ترین ساخت و بافت‌های منطقه شامل بافت‌های رگه‌ای و رگه- رگچه- ای، پرکننده فضاهای خالی، شکافه‌پرکن، جانشینی، دانه‌پراکنده و کلوفرمی می‌باشند. کانی‌های اصلی تشکیل- دهنده کانسارها در سه گروه کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت، کوولیت)، کانی‌های کربناته و اکسیدی مس (مالاکیت و آزوریت، کوپریت)، مس طبیعی و کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدهای آهن (مگنتیت، هماتیت، لیمونیت و گوتیت) و کانی‌های باطله شامل: کلسیت، کوارتز و ژیپس طبقه‌بندی می‌شوند. براساس مطالعات میکروپروپ انجام شده که بر روی کانی‌های هماتیت، مالاکیت، گوتیت، کوپریت، لیمونیت و کوولیت صورت گرفته است، مس عنصر اصلی و فراوان‌ترین در نمونه‌ها و سایر عناصر به ترتیب Zn و S و Au و

Ag و Pb با فراوانی کمتری شناسایی شدند. بر پایه مطالعات میان‌بارهای سیال در کانی کوارتز، دمای همگن شده و شوری سیال به ترتیب ۱۹۰-۱۴۰ درجه سانتی گراد و ۱۷-۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشند. عنصر مس بیشترین همبستگی را با عنصر نقره نشان می‌دهد و همچنین دارای همبستگی مثبت با سرب، آهن، آنتیموان و همبستگی منفی با گوگرد و روی و استرانسیوم می‌باشد. با توجه به نتایج فوق به نظر می‌رسد که کانسار مس قیصری شباهت‌های زیادی با کانسارهای مس تیپ مانتو و کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین دارد ولی به دلیل ساختار رگه‌ای کانه زایی و عدم رخداد آن در لایه خاص و نیز ویژگی‌های دگرسانی آن، کانسار مس قیصری را می‌توان در دسته کانسار مس تیپ رگه‌ای رده بندی نمود.

کلید واژه‌ها: مس تیپ رگه‌ای، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، الگوی تشکیل، قیصری، ترود-چاه‌شیرین.

فهرست مقالات مستخرج شده از پایان نامه

- مسکینی سیاهمرد ش. و فردوست ف.ا و رضایی کهخائی م، (۱۳۹۷) "زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و الگوی تشکیل کانسار مس قیصری، جنوب دامغان" دهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه اصفهان.
- مسکینی سیاهمرد ش. و فردوست ف.ا و رضایی کهخائی م، (۱۳۹۷) "کانی‌شناسی، ساخت و بافت و دگرسانی در کانسار مس قیصری، جنوب دامغان" یازدهمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور و بیست و یکمین همایش زمین‌شناسی ایران، دانشگاه پیام نور استان قم.
- مسکینی سیاهمرد ش. و فردوست ف.ا و رضایی کهخائی م، (۱۳۹۷) "مطالعات زمین‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی کانسار مس قیصری، غرب ترود، استان سمنان" فصلنامه زمین‌شناسی ایران.
- مسکینی سیاهمرد ش. و فردوست ف.ا و رضایی کهخائی م، (۱۳۹۷) "تکتونیک منطقه و ارتباط آن با کانه-زایی، کانسار مس قیصری، جنوب دامغان" سی‌وهشتمین گردهمائی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه.....	۲
۱-۳- شرایط آب و هوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی.....	۳
۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی.....	۴
۱-۵- ژئومورفولوژی.....	۵
۱-۶- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی.....	۷
۱-۷- طرح مسئله و هدف از مطالعه.....	۹
۱-۸- روش مطالعه.....	۱۰

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲-۱- مقدمه.....	۱۴
۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی.....	۱۵
۲-۳- ویژگی‌های عمومی رشته کوه آتشفشانی- رسوبی تروود- چاه‌شیرین.....	۱۶
۲-۴- چینه‌شناسی ناحیه‌ای.....	۱۹
۲-۵- نهشته‌های پلیوسن و کواترنر.....	۲۴
۲-۶- کانی‌سازی در منطقه.....	۲۵

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۳-۱- مقدمه.....	۲۸
۳-۲- پتروگرافی واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه.....	۲۹
۳-۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه مس قیصری.....	۳۷

فصل چهارم: دگرسانی و کانه‌زایی

۴-۱- مقدمه.....	۴۲
۴-۲- کانه‌زائی مس در محدوده قیصری.....	۴۲
۴-۳- دگرسانی.....	۴۹

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

۵-۱- مقدمه.....	۶۰
۵-۲- کانی‌شناسی.....	۶۰
۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها.....	۷۰
۵-۴- پاراژنز و توالی پاراژنتیک کانی‌ها.....	۷۵

فصل ششم: ژئوشیمی

۶-۱- مقدمه.....	۷۸
۶-۲- ژئوشیمی مس.....	۷۸
۶-۳- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها.....	۷۹
۶-۴- ژئوشیمی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی (ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری).....	۸۰
۶-۵- تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها.....	۸۱
۶-۶- عناصر کمیاب و کمیاب خاکی.....	۸۴

فصل هفتم: سیالات درگیر

۷-۱- مقدمه.....	۹۴
۷-۲- روش انجام مطالعات.....	۹۴
۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر.....	۹۵
۷-۴- مطالعات میکروترومتری میانبارهای سیال.....	۹۹
۷-۵- تعیین دما و شوری سیال.....	۱۰۰
۷-۶- چگالی سیال.....	۱۰۱
۷-۷- تعیین عمق و فشار حاکم در زمان تشکیل کانسنگ.....	۱۰۲
۷-۸- تعیین عوامل فیزیکی موثر بر تنه‌نشست ذخیره و نوع کمپکس‌های احتمالی برای حمل فلزات.....	۱۰۳
۷-۹- تعیین تیپ احتمالی کانسار براساس مطالعه سیالات درگیر.....	۱۰۵

فصل هشتم: تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

۸-۱- مقدمه.....	۱۰۸
۸-۲- بررسی خصوصیات مهم کانسارهای اپی‌ترمال.....	۱۰۸
۸-۳- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای اپی‌ترمال رگه‌ای.....	۱۱۰

- ۸-۴- بررسی مدل ژنتیکی در کانسار مس قیصری..... ۱۱۱
- ۸-۵- کانسارهای تیپ مانتو در ایران..... ۱۱۵
- ۸-۶- مقایسه کانسار مس قیصری با دیگر کانسارهای ایران و جهان..... ۱۱۹
- ۸-۷- عوامل موثر در تشکیل کانسار مس قیصری..... ۱۲۴
- ۸-۸- الگوی تشکیل کانسار نتیجه‌گیری و تیپ کانی‌زایی..... ۱۲۶
- ۸-۹- پیشنهادات اکتشافی..... ۱۲۹

فهرست شکل‌ها

فصل اول: کلیات

صفحه	فهرست
۳.....	شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مس قیصری.....
۴.....	شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه (دید به سمت جنوب).....
.....	شکل ۱-۳- وضعیت مورفولوژیکی منطقه در نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود و موقعیت محدوده اکتشافی قیصری بر روی آن (★).....
۶.....	شکل ۱-۴- موقعیت محدوده اکتشافی مس قیصری بر روی تصویر ماهواره ای (Google Earth).....

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

.....	شکل ۲-۱: موقعیت نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه شیرین و محدوده اکتشافی قیصری بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (★) (آقناباتی، ۱۳۸۳).....
۲۰.....	شکل ۲-۲- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم و نمایش موقعیت کانسار مس قیصری (جعفریان، ۱۳۷۳).....

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

.....	شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده معدنی که نشان دهنده واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی، دایک دیابازی قطع کننده آن‌ها و ترانسه‌های اکتشافی در امتداد دایک می‌باشد.....
.....	شکل ۳-۲- ستون چینه‌شناسی منطقه معدنی براساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس.....
.....	شکل ۳-۳- الف- تصویر صحرایی از مرز واحد بازالت و سنگ آهک در منطقه مورد مطالعه دارای رنگ خاکستری و کرمی متمایل به زرد (دید به سمت شمال شرق). ب- عکس نمونه دستی بازالت پورفیری به رنگ خاکستری و با درشت بلورهای پلاژیوکلاز (PI). پ- بلورهای الیوین که ایدنگزیتی شده و پلاژیوکلازهایی که بافت پورفیری را تشکیل داده‌اند. ت- تصویر میکروسکوپی نمونه بازالت دارای پیروکسن با حاشیه سوخته و پلاژیوکلاز. ث- تجمع بلورهای پلاژیوکلاز و تشکیل بافت گلومروپورفیری. کلیه تصاویر پتروگرافی در نور XPL تهیه شده‌اند. (Siivola and Schmid, ۱۹۸۳).....

شکل ۳-۴- الف و ب- تصویر صحرایی از نمونه آندزیت مگاپورفیری به رنگ قرمز و خاکستری و دایک دیابازی قطع کننده آن، کانه‌زایی به طرفین دایک محدود شده و با فاصله گرفتن از آن ضعیف‌تر می‌شود. ۳۳

شکل ۳-۵- الف- تصویر نمونه دستی آندزیت به رنگ خاکستری روشن ب- پیروکسن که از اطراف در حال تجزیه به کلریت می‌باشد. (مطالعه در نور ppl) پ- تجمع پلاژیوکلازها در متن سنگ که سبب تشکیل بافت پورفیری و گلومروپورفیری شده است (مطالعه در نور ppl) ت- تصویر میکروسکوپی از هماتیت (Hem) که در اثر آغشتگی کانی‌های اولیه به اکسید و هیدروکسید آهن تشکیل شده است (مطالعه در نور xpl). (Siivola and Schmid, ۱۹۸۳). ۳۳

شکل ۳-۶- الف- تصویر صحرایی از مرز گدازه با ترکیب آندزیت- بازالتی، توف (بازالتی و آندزیتی) و هماتیت که در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است (دید به سمت جنوب). ب- عکس نمونه دستی توف به رنگ قهوه‌ای تا قرمز پ- تصویر میکروسکوپی از نمونه مقطع کریستال لیتیک توف که قطعات لیتیک در آن مشخص شده است (در نور ppl) ت- عکس نمونه دستی آگلومرا در منطقه به رنگ قهوه‌ای تا قرمز ث- تصویر میکروسکوپی از نمونه توف که حاوی تجمعات کوارتز (Qz) با دیواره‌ای از آراگونیت (Arg) (مطالعه با نور ppl). (Siivola and Schmid, ۱۹۸۳). ۳۵

شکل ۳-۷- الف- ب- تصویر صحرایی از دایک دیابازی با روند شمال شرقی- جنوب غربی که رگه- رگچه‌های کانه‌دار در اطراف آن قابل مشاهده هستند. (دید به سمت شمال). پ- تصویر نمونه دستی از دایک به رنگ سبز دارای پلاژیوکلاز بصورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار. ت- تصویر میکروسکوپی از نمونه دایک دارای کانی‌های پلاژیوکلاز (Pl)، و رگچه‌ی کلسیتی (Cal)، و پیروکسن که کلریتی شده است. (Siivola and Schmid, 1983). ۳۷

شکل ۳-۸: نقشه گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر گرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳). ۳۹

شکل ۳-۹: تصویر صحرایی از چند گسل موازی هم که آثار کانه‌زایی در آن‌ها مشاهده نشده یا مقدار آن بسیار ناچیز است (دید به سمت شمال). ۳۹

شکل ۳-۱۰: تصویر صحرایی از دایک دیابازی در امتداد گسل‌ها که دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی که دارای ماده معدنی می باشد (دید به سمت شمال). ۴۰

فصل چهار: کانه‌زائی و دگرسانی

شکل ۴-۱- پروفیل منطقه معدنی قیصری براساس نقشه بزرگ مقیاس. ۴۴

- شکل ۴-۲- الف- ب- کانی‌زائی، به صورت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها در مرز سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای..... ۴۵
- شکل ۴-۳- تصویر صحرایی از گسل با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در مجاورت با میزبان آذرآواری که باعث جابجایی دایک دیابازی شده است..... ۴۵
- شکل ۴-۴- الف- تصویر صحرایی از گسل‌های مزدوج ، با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق و شمال‌شرق- جنوب‌غرب که همدیگر را قطع کرده‌اند..... ۴۶
- شکل ۴-۵- تصویر صحرایی از زون گسلی که بصورت قائم و کانه‌زائی رگه‌ای مس ۴۷
- شکل ۴-۶- الف- ب- تصویر صحرایی کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها به طور وسیعی ادامه یافته خلل و فرج سنگ‌ها، درزه و شکاف‌ها را پر کرده است. پ- تصویر نمونه دستی از ساخت رگچه‌ای، کانی مالاکیت به صورت ساخت شکافه پرکن درزه و شکاف‌های سنگ میزبان را پر کرده‌اند. ت- تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های کانه‌دار که به فضای کانی هماتیت وارد شده است..... ۴۷
- شکل ۴-۷- الف- ب- تصویر صحرایی کانه‌زایی به صورت پر کننده فضاهای خالی در واحد آذرآواری. پ- تصویر نمونه دستی از نمونه سنگ بازالت که حفرات آن توسط کلسیت پر شده است و بافت آمیگدالوئید را نشان می‌دهد. ت- تصویر میکروسکوپی از بافت پرکننده حفرات توسط مالاکیت..... ۴۸
- شکل ۴-۸- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کربناتی منطقه مورد مطالعه. ب و پ- عکس نمونه دستی از کلسیت ثانویه بصورت پر کننده فضای خالی در کانسار مورد مطالعه و ایجاد بافت آمیگدالوئیدال. ت- رگه- رگچه‌های متقاطع کلسیتی معرف کلسیت ثانویه و دگرسانی کربناته. ث- حضور کوارتز به صورت پرکننده فضاهای خالی و معرف دگرسانی سیلیسی..... ۵۱
- شکل ۴-۹- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه بازالت در کانسار مس قیصری بیانگر دگرسانی کربناتی، هماتیتی است که با کانی‌های کلسیت، هماتیت، روتیل، گوتیت، آلبیت مشخص می‌شود..... ۵۱
- شکل ۴-۱۰- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه دایک، مربوط به شناسایی کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز، اورتوکلاز، هماتیت، مالاکیت که بیانگر دگرسانی کربناتی، سیلیسی می‌باشد..... ۵۲
- شکل ۴-۱۱- الف و ب- دگرسانی سیلیسی به صورت پراکنده در متن سنگ پ- حضور کلسیت و کوارتز بصورت ریز بلور در سنگ میزبان..... ۵۳

شکل ۴-۱۲- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف، مربوط به شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، اورتوکلاز، مالاکیت که بیانگر دگرسانی سیلیسی، هماتی، کربناتی می‌باشد. ۵۳

شکل ۴-۱۳- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی ب- عکس نمونه دستی از دگرسانی کلریتی با رنگ سبز در متن سنگ پ- تصویر میکروسکوپی از پیروکسن که دگرسانی کلریتی را نشان می‌دهد. ۵۵

شکل ۴-۱۴- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف، مربوط به شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر، مالاکیت که بیانگر دگرسانی سریسیتی، هماتی، کربناتی و کلریتی می‌باشد. ۵۵

شکل ۴-۱۵- الف- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سریسیتی که بصورت دانه ریز در متن سنگ دیده می‌شود ب- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی - سریسیتی. ۵۶

شکل ۴-۱۶- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه آندزیت، شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، آلبیت، مسکوویت که بیانگر دگرسانی سریسیتی، هماتی می‌باشد. ۵۶

شکل ۴-۱۷- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه آندزیت، کانی‌های اورتوکلاز، آلبیت، کلسیت، کوارتز، مالاکیت که نشان دهنده دگرسانی کربناتی و سریسیتی می‌باشد. ۵۷

شکل ۴-۱۸- الف و ب- تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی و هماتی موجود در کانسار مس قیصری پ و ت- نمونه دستی از دگرسانی هماتی و لیمونیتی که با رنگ قرمز مشاهده می‌شود ث- تصویر میکروسکوپی از اکسیدهای آهن ج- تصویر میکروسکوپی از کانی بیوتیت که تبدیل به اکسید آهن شده است. ۵۸

شکل ۴-۱۹- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای دایک نشان دهنده حضور کانی‌های کوارتز، هماتیت، آلبیت، مالاکیت، آتاکامیت، مسکوویت و معرف دگرسانی‌های سیلیسی، هماتی، سریسیتی در منطقه می‌باشد. ۵۸

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

شکل ۵-۱- الف- تصویر میکروسکوپی از کانی پیریت در متن سنگ آندزیتی ب- تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که بصورت دانه ریز مشاهده می‌شود. پ- تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت که به کوولیت تبدیل شده است. ت- جانشینی دیژنیت به جای کالکوسیت و ایجاد بافت جانشینی. (Siivola and Schmid, 1983). ۶۳

شکل ۵-۲- الف و ب- تصویر نمونه دستی از کانی مالاکیت و آزوریت در منطقه مورد مطالعه پ- تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت که در مرکز تبدیل به کانی کوولیت شده است و بافت گل کلمی ت- حضور کوپریت که جانشین مالاکیت و کالکوسیت شده است (بافت جانشینی) و مس خالص به صورت دانه‌های ریز و پراکنده در تصویر مشخص شده است. (Siivola and Schmid, 1983)..... ۶۵

شکل ۵-۳- الف و ب- تصاویر مقاطع میکروسکوپی مس خالص بصورت دانه پراکنده در متن سنگ میزبان..... ۶۶

شکل ۵-۴- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی در منطقه ب- تصویر نمونه دستی از هماتیت. پ- تصویر میکروسکوپی از کانیه‌های مالاکیت، لیمونیت بصورت پراکنده و هماتیت بصورت رگه‌ای ت- بلور مگنتیت که به صورت سوزنی شکل دیده می‌شود و با زمینه هماتیت و هاله‌های قرمز رنگ گوتیت و حضور مالاکیت به صورت پراکنده. ث- تصویر میکروسکوپی از کانی مگنتیت. (Siivola and Schmid, 1983)..... ۶۸

شکل ۵-۵- الف- تصویر میکروسکوپی از کانی کلسیت که توسط رگه کوارتز احاطه شده است. ب- تصویر صحرایی از کانی..... ۷۰
ژپس. (Siivola and Schmid, 1983)..... ۷۰

شکل ۵-۶- الف- تصویر صحرایی از کانی‌سازی مالاکیت در امتداد شکستگی‌ها و نمایش ساخت رگه- رگچه‌ای. ب- تصویر نمونه دستی از ساخت رگه- رگچه‌ای کانی مالاکیت در میزبان آندزیتی. پ- تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی کانی مالاکیت بصورت رگه- رگچه‌ای و پر کننده حفرات ت- تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت بصورت رگه- رگچه‌ای، کالکوسیت و کوولیت بصورت پرکننده حفرات. (Siivola and Schmid, 1983)..... ۷۱

شکل ۵-۷- الف- نمایی از کانی مالاکیت بصورت پرکننده فضای خالی در میزبان آندزیتی ب- عکس نمونه دستی از کانی کلریت و کلسیت با ساخت پرکننده فضای خالی پ- تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت و کالکوسیت بصورت پرکننده حفرات و ایجاد بافت بادامکی ت- تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت و کوولیت در زمینه مالاکیت که به صورت پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود. (Siivola and Schmid, ۱۹۸۳)..... ۷۲

شکل ۵-۸- الف- ب- تصویر میکروسکوپی از بلورهای کالکوسیت و مالاکیت و مس در زمینه باطله که بافت دانه پراکنده را نشان می‌دهد (Siivola and Schmid, 1983)..... ۷۳

شکل ۵-۹- الف- عکس نمونه دستی که در آن جانشینی کالکوسیت توسط مالاکیت به خوبی قابل مشاهده است ب- تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده کوولیت به صورت پراکنده و جانشینی مالاکیت به جای کالکوسیت می‌باشد. پ- تصویر

میکروسکوپی که نشان دهنده جانشینی کانی هماتیت به جای مگنتیت می‌باشد. (مطالعه در نور XPL). ت- تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده جانشینی کانی گوتیت به جای هماتیت می‌باشد (مطالعه در نور PPL). (Siivola and Schmid, ۱۹۸۳). ۷۴ شکل ۵-۱۰- بافت کلوفرمی در گوتیت‌های منطقه مورد مطالعه (مالاکیت: Mal، کالکوسیت: Cc، گوتیت: Gth). (Siivola and Schmid, 1983)..... ۷۵

فصل ششم: ژئوشیمی

شکل ۶-۱- الف- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار که سنگ‌های میزبان در محدوده آلکالی بازالت و ساب‌آلکالی بازالت قرار می‌گیرند (Winchester and Floyd, ۱۹۷۷). ب- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, ۱۹۹۶) به منظور نامگذاری سنگ‌ها. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی این نمودار در محدوده‌های بازالت، آلکالی بازالت، تراکی‌آندزیت و آندزیت-بازالت قرار می‌گیرند. ۸۰

شکل ۶-۲- نمودار Th در مقابل Co (Hastie et al, 2007)، در سری کالک‌آلکان پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند. ب- در نمودار Na₂O+K₂O در مقابل درصد وزنی SiO₂، تمام نمونه‌ها در محدوده ساب‌آلکان قرار گرفته‌اند. ۸۱ شکل ۶-۳- نمایش موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای مثلثی (Hf/3-Th-Ta)، (Zr/117-Th-Nb/16) و (Hf/3-Th-Nb/16) (Wood, 1980). ۸۲

شکل ۶-۴- محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه و تفکیک کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از نوع کمانه‌ای جزیره‌ای براساس: تغییرات Zr/Y در مقابل Zr. در این نمودار نمونه‌ها در محدوده کمان‌قاره‌ای، در گروه کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند. ۸۳

شکل ۶-۵- الف - موقعیت سنگ‌های منطقه مورد بررسی در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb. ب - تعیین نقش رسوبات فرورانده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th. ۸۴

شکل ۶-۶- نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی و کمیاب بهنجار شده: الف- نسبت به کندریت (Sun et al., 1980) ب- نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1989). ۸۶

شکل ۶-۷- نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب خاکی کمیاب بهنجار شده: الف- نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) ب- نسبت به گوشته اولیه (Boynton., 1984). ۸۶

- شکل ۶-۸: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۳۱-۱ ۹۰
- شکل ۶-۹: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۳۱-۱ ۹۰
- شکل ۶-۱۰: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۳۱-۱ ۹۱
- شکل ۶-۱۱: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۷-۱ ۹۱
- شکل ۶-۱۲: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۷-۱ ۹۲
- شکل ۶-۱۳: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۷-۱ ۹۲

فصل هفتم: سیالات درگیر

- شکل ۷-۱-الف- میانبارهای دو فاز $(L+V)$ غنی از مایع. ب- پدیده باریک شدگی (دم بریده) در میانبارهای دو فاز $(L+V)$.
پ و ت- میانبارهای دو فاز $(L+V)$ غنی از مایع ۹۷
- شکل ۷-۲-الف- میانبارهای تک فاز گازی (V) مایع (L) و دو فاز $(V+L)$ ثانویه ب- پدیده باریک شدگی در میانبارهای دو فاز $(L+V)$ و مایع بصورت ثانویه. پ و ت- تصاویر میانبارهای دو فاز $(L+V)$ غنی از مایع ۹۸
- شکل ۷-۳-الف- میانبارهای دو فاز $(L+V)$ غنی از مایع. ب- تصاویر میانبارهای دو فاز $(L+V)$. پ- تصاویر میانبارهای سیال دو فاز $(L+V)$ و مایع بصورت ثانویه. ت- تصاویر میانبارهای سیال تک فاز مایع (L) فلوئیدی که گرد می‌باشد و بدون حباب است. ۹۸
- شکل ۷-۴-الف- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس قیصری. ب- نمودار میزان شوری در میانبارهای سیال در کانسار مس قیصری. ۱۰۱
- شکل ۷-۵- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001). ۱۰۲
- شکل ۷-۶-الف- تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass, 1971). ب- نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس شوری و دمای همگن شدن (Hass, 1971) ۱۰۳
- شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شدن- شوری به منظور تعیین عوامل موثر در تکامل سیال و ته‌نشست مواد معدنی (Wilkinson, ۲۰۰۱). ۱۰۴

شکل ۷-۸- نمودار (Large et al, ۱۹۸۸) براساس دما در مقابل شوری جهت تعیین کمپلکس‌های احتمالی حمل فلزات در کانسارهای مورد مطالعه..... ۱۰۴

شکل ۷-۹- نمودار محدوده دما و تئوری میانبرهای سیال در کانسار مس قیصری و تعیین تیپ احتمالی کانسارها (Willkinson, 2001)..... ۱۰۵

فصل هشتم: تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

شکل ۸-۱- مدل شماتیک چگونگی تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال سولفید بالا (H.S)، سولفید متوسط (I.S) و سولفید پایین (L.S) (Hedenquist et al., 2000; Cooke and Simmons, 2000)..... ۱۱۰

شکل ۸-۲- موقعیت و پراکندگی کانسارهای با میزبان آتشفشانی- رسوبی و با تیپ‌های مختلف (Kirkham, ۱۹۹۶)..... ۱۱۲

شکل ۸-۳- الگوی تشکیل کانسار مس قیصری به صورت شماتیک..... ۱۲۹

فهرست جدول‌ها صفحه

فصل اول: کلیات

جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی..... ۱۲

فصل پنجم: کانی شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

جدول ۵-۱- جدول توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار مس قیصری..... ۷۶

فصل ششم: ژئوشیمی

جدول ۶-۱- ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) بین عناصر فلزات پایه و برخی عناصر دیگر در کانسار مس قیصری..... ۸۹

فصل هشتم: تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

جدول ۸-۱- برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال موجود در دنیا (Sillitoe and Hedenquist., 2003)..... ۱۰۹

جدول ۸-۲- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای..... ۱۱۱

جدول ۸-۳- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای تیپ مانتو، طبقات قرمز آتشفشانی و نوع میشیگان..... ۱۱۳

جدول ۸-۴- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای تیپ مانتو در ایران..... ۱۱۵

جدول ۸-۵- مقایسه بعضی از ویژگی‌های شاخص کانسار مس قیصری با برخی کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) واقع در

رشته کوه ترود- چاه‌شیرین و سایر نقاط ایران..... ۱۱۹

جدول ۸-۶- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین، سولفید متوسط و هیدروترمالی رگه‌ای در سایر

نقاط دنیا..... ۱۲۲

فصل اول

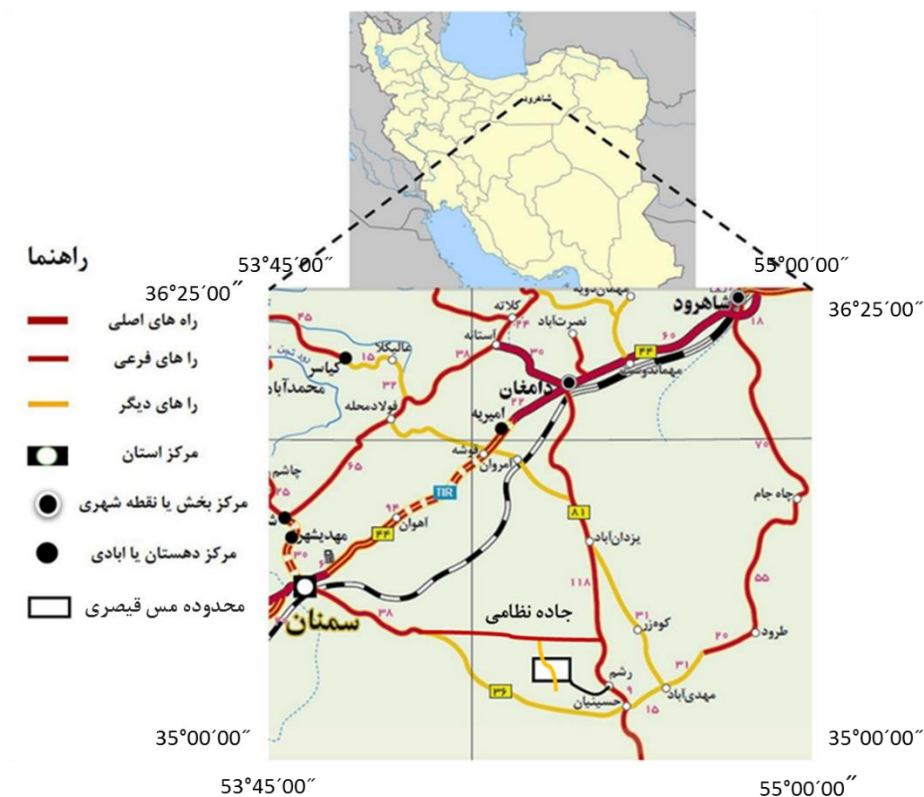
کلیات

۱-۱- مقدمه

منطقه اکتشافی مس قیصری در رشته کوه آتشفشان- رسوبی ترود- چاه شیرین، شمال پهنه ایران مرکزی و در جنوب شهرستان دامغان واقع شده است. این منطقه به علت دارا بودن محیط تکتونیکی مناسب و وجود سنگ- های آتشفشانی، فلزات قیمتی و گرانبها شرایط زمین‌شناسی مناسبی را برای اکتشاف فلزات پایه ایجاد کرده است که کانسار مس قیصری نمونه‌ای از آن‌ها می‌باشند. به دلیل بالا بودن پتانسیل معدنی، وجود معادن و کانسارهای با ارزش فلزات پایه و گرانبها مطالعات گسترده‌ای در زمینه پترولوژی، زمین‌شناسی اقتصادی، تکتونیک و همچنین مطالعات پی‌جویی و اکتشاف برای عناصر مختلف در این رشته کوه صورت گرفته است. با توجه به این که عنصر مس از ضروری‌ترین فلزات مورد نیاز برای جامعه بشری است در این تحقیق زمین- شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قیصری مطالعه و مورد بررسی قرار گرفت. امید که نتایج حاصل از این بررسی بتواند جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید مس در رشته کوه آتشفشان رسوبی ترود- چاه شیرین و سایر زون‌های ساختاری ایران موثر واقع شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

کانسار مس قیصری در ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان، ۴۰ کیلومتری جنوب غرب معلمان، با مختصات جغرافیایی $35^{\circ}19'$ تا $35^{\circ}21'$ عرض شمالی و $54^{\circ}18'$ تا $54^{\circ}19'$ طول شرقی واقع شده است. راه دسترسی به منطقه از طریق جاده آسفalte دامغان-معلمان با فاصله ۱۲۲ کیلومتری از دامغان و ادامه مسیر به سمت غرب در جاده نظامی آسفalte به طول ۲۰ کیلومتر سپس طول یک راه خاکی با مسافت ۱۶ کیلومتری از مبدأ دهستان رشم می‌باشد ۱- ۱.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مس قیصری.

۱-۳- شرایط آب و هوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی

با توجه به نزدیکی محدوده اکتشافی با دشت کویر، منطقه قیصری در مجموع تحت تأثیر جریان‌های گرم و خشک قرار دارد. عواملی نظیر دوری از دریا، روند عمومی ارتفاعات، بلندی از سطح دریا و جهت وزش بادهای موسمی در آب و هوای این منطقه تأثیر گذاشته‌اند. تنوع ناهمواری‌ها و نزدیکی کویر و کوهستان در این ناحیه سبب ایجاد تغییرات فشار هوا شده است. به طور کلی منطقه دارای شرایط آب و هوایی گرم و خشک از نوع کویری تا نیمه کویری بوده و دارای تابستان‌های گرم و زمستان‌های نسبتاً سرد و بارش نه چندان زیاد است. مقدار کمینه دمای ناحیه به ۶- درجه سانتی‌گراد و بیشینه آن به بیش از ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد (معبادی، ۱۳۹۵). شرایط آب و هوایی خشک و بارش محدود برف سبب شده است که فعالیت معدنکاری تقریباً

در تمام طول سال امکان پذیر باشد. پوشش گیاهی در این منطقه از تراکم بسیار کم برخوردار است و اغلب شامل بوته‌های کویری، درختچه‌های گز، زیره، اسپند کوهی، خاک شیر و ... می‌باشد ۱-۲.



شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه (دید به سمت جنوب).

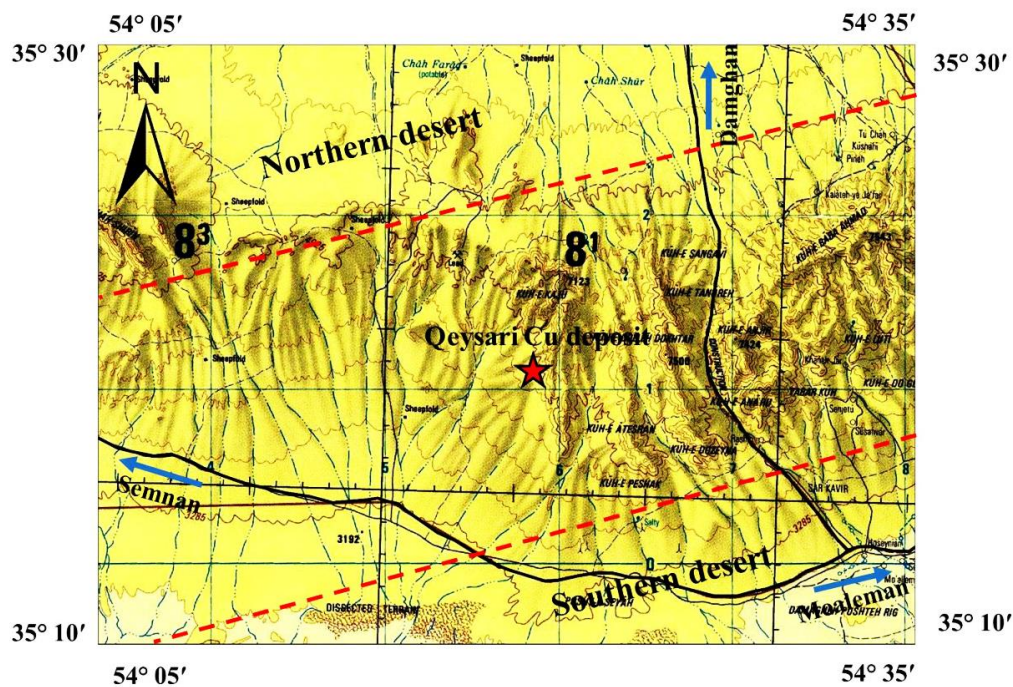
۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی

عواملی از جمله شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم و کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش و اندک بودن زمین‌های قابل کشت باعث شده است که در این ناحیه تمرکز جمعیت بسیار پایین باشد. شغل اصلی مردم دامپروری است که محدود به دامنه‌های جنوبی رشته کوه ترود-چاه‌شیرین می‌باشد. پرورش و نگهداری گوسفند و شتر از مهم‌ترین فعالیت دامداری مردم این منطقه می‌باشد. به دلیل کم بودن آب، فعالیت کشاورزی رونق چندانی ندارد و آب مورد نیاز روستاییان از چند چشمه نسبتاً کم آب در داخل دره‌های منطقه، چندین رشته قنات و مقداری از چاه‌های حفر شده داخل سفره‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد. همچنین به دلیل حضور معادن فراوان در منطقه اغلب مردم با کار معدنکاری آشنایی دارند و تعدادی از آن‌ها در این زمینه فعالیت دارند. اکتشاف و فعال سازی معادن جدید می‌تواند نقش مهمی در اشتغال‌زایی و جلوگیری از مهاجرت جوانان به

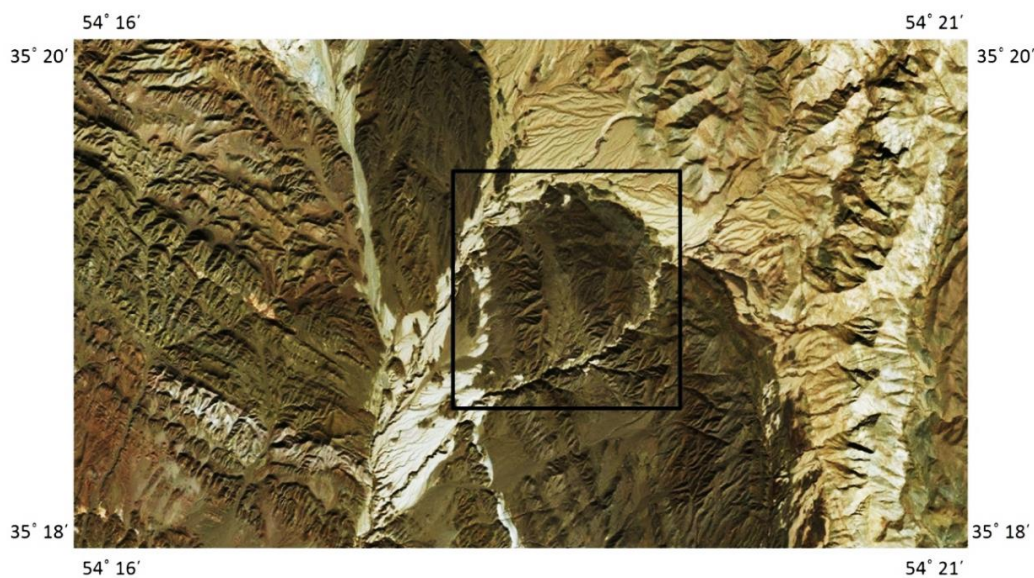
شهرها داشته باشد.

۱-۵- ژئومورفولوژی

از نظر ژئومورفولوژیکی منطقه را می‌توان به دو بخش دشت در جنوب و شرق محدوده اکتشافی و ارتفاعات در شرق و شمال محدوده تقسیم نمود. منطقه دشت پوشیده شده از آبرفت‌های مخروط افکنه‌ای که تشکیل شده‌اند از قطعات آواری حاصل فرسایش رخنمون‌های موجود در ارتفاعات و با پیشروی به داخل دشت از اندازه ذرات آن‌ها کاسته می‌شود. مرتفع‌ترین نقطه در منطقه کوه قله‌دختر با ارتفاع ۲۲۷۴ متر و پست‌ترین آن داخل دشت ۷۰۰ متر ارتفاع دارد. ارتفاع نزدیک‌ترین آبادی (رشم) از سطح دریا ۱۲۷۰ متر است. به دلیل تنوع ترکیب سنگ شناختی و مقاومت مختلف سنگ‌ها در برابر عوامل فرسایشی، شکل دره‌ها و شبکه آبراهه‌ها متفاوت است. در بخش‌های مرتفع‌تر آبره‌ها کم عرض و بیشتر ۷ شکل هستند و شکل کلی آن‌ها دندریتی (شاخه درختی) است. در بخش‌های پست دره‌ها عریض‌تر شده و از تراکم آن‌ها کم شده و در داخل دشت به شکل تقریباً موازی در می‌آیند. سنگ آهک‌ها و دولومیت‌های دگرگونه به دلیل مقاومت فرسایشی بالا تشکیل صخره‌ها و ارتفاعات داده‌اند. واحدهای شیست و مخصوصاً ولکانیک‌های جوان‌تر (ائوسن) ارتفاعات کمتری را به نمایش می‌گذارند. کانسار مس قیصری در بخش غربی رشته کوه ولکانیکی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین قرار گرفته است که دارای ارتفاع حدوداً ۱۴۰۷ متر از سطح دریا می‌باشد. شرایط در ژئومورفولوژیکی منطقه در نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود در شکل ۱-۳ و در تصویر ماهواره‌ای در شکل ۱-۴ و موقعیت محدوده قیصری بر روی آن‌ها نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- وضعیت مورفولوژیکی منطقه در نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود و موقعیت محدوده اکتشافی فیصری بر روی آن ().



شکل ۱-۴- موقعیت محدوده اکتشافی مس فیصری بر روی تصویر ماهواره ای (Google Earth).

۱-۶- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

با این که دسترسی به منطقه ترود با مشکلات زیادی همراه بوده است ولی با توجه به پتانسیل بالای معدنی نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین و وجود معادن با ارزش فلزات پایه و گرانیتها از قبیل طلا، فیروزه، مس، سرب و روی، مطالعات گسترده‌ای در زمینه پترولوژی، زمین‌شناسی اقتصادی و تکتونیک و همچنین مطالعات پی-جویی و اکتشاف برای عناصر مختلف صورت گرفته است. مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در منطقه ترود عبارتند از:

-اشتوکلین^۱ (۱۹۵۶) و هوبر^۲ (۱۹۵۷)، مشخصات زمین‌شناسی و توالی لیتولوژیکی و سنی واحدهای مختلف ترود-معلمان را معرفی کرده‌اند که توسط علوی ۱۹۷۰ مورد تجدید نظر واقع شد.

-ایراجیان و مهدی‌زاده شهری (۱۳۸۶)، کانی‌شناسی و ژنز بنتونیت منطقه سرکوپر (جنوب دامغان) را بررسی کرده‌اند و به این نتیجه رسیده‌اند که تبدیل شیشه به بنتونیت، در شرایط دیاژنزی، در یک محیط کم عمق دریایی مثل لاگون رخ داده است.

-اصغری (۱۳۹۷)، پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه چاه‌گیری را بصورت تناوبی از آندزیت-بازالت، آندزیت و آندزیت و توف معرفی نموده است. به نظر این محقق، محدوده معدنی یک کانسار گرمابی رگه‌ای سولفید پایین می‌باشد.

-امام جمعه و همکاران (۱۳۸۵)، سامانه واحد کانی‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین را معرفی کرده‌اند.

-پورشعبان و همکاران (۱۳۸۹)، کانه نگاری و لیتوژئوشیمیایی کانسار مس کلاته مهران سمنان را مطالعه کرده و کانه‌زایی مس را به صورت رگه‌ای معرفی کردند.

-پورحسینی (۱۳۶۲)، ضمن مطالعه سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی ایران، احتمال ارتباط توده‌های نفوذی

1. Stocklin
2. Hober

منطقه ترود با فاز ماگمایی ائوسن پسین- الیگوسن را بحث نمود.

-طالع ماسوله و همکاران (۱۳۸۹)، زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه‌گله، شمال غرب ترود را مطالعه و خاستگاه آن را معرفی کردند که محلول‌های هیدروترمال از سنگ‌های آتشفشانی منشأ گرفته‌اند.

-جعفریان (۱۳۷۳)، تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم زیر نظر سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-شیبی و اسماعیلی (۱۳۸۲)، مقاله‌ای تحت عنوان اسکارن آهن پنج کوه (جنوب شرق دامغان) همراه با متاسوماتیسم سدیم-کالر را ارائه و در آن کانه‌زایی را از نوع اسکارن معرفی کرده‌اند.

-خادمی (۱۳۸۶)، در رساله دکتری خود، علت حرکت نوساختی منطقه ترود را گسل ترود معرفی کرده است.

-خواجehزاده (۱۳۸۷)، پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان را مطالعه کرده و در آن ماهیت کالکوالکالن پتانسیل بالا و متآلومین تا پراآلومین برای سنگ‌های مورد مطالعه بیان کرده‌اند و سنگ‌ها را در زمره گرانیتوئیدهای نوع I و قوس‌های آتشفشانی قرار دادند.

-زارعی (۱۳۸۵)، ماگماتیسم کلاته رشم را بررسی کرده و در آن سنگ‌های آتشفشانی منطقه را جز سنگ‌های آذرین حد واسط قرار داده است.

-عبداللهی (۱۳۹۵)، کانسار مس رباعی را یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای که بیشترین شباهت را با اپی‌ترمال‌های سولفید متوسط دارد معرفی کرد.

-قربانی (۱۳۸۹)، ماگماتیسم منطقه را در جنوب ترود، بازیک‌تر و در شمال آن اسیدی‌تر می‌داند و در ضمن یک منشأ درون قاره‌ای برای آن قائل است و ولکانیسم و پلوتونیسم این منطقه را بر اساس یافته‌های ژئوشیمیایی و صحرایی بیشتر در ارتباط با سیستم‌های کشتی منطبق می‌داند.

-کهنسال (۱۳۷۷)، پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را بصورت تناوبی از گدازه‌هایی با ترکیب آندزیت، بازالت، داسیت-آندزیت و تراکی-آندزیت همراه با سنگ‌های آذرآواری شامل انواع توف با ترکیب آندزیت و تراکی-آندزیت معرفی نموده است. به نظر این محقق، ماگمای بازالتی آلکالن اولیه، در حین صعود و تفریق تحت تأثیر آغشتگی با مواد پوسته‌ای به سنگ‌های حدواسط تبدیل شده است.

-کی‌نژاد و همکاران (۱۳۸۹)، شکستگی‌های شمال منطقه تروود-معلمان (جنوب شرق دامغان) و ارتباط آن با کانه‌زایی منطقه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که شکستگی‌های منطقه کنترل کننده رگه‌های کانه دار منطقه می‌باشد.

-لیاقت و همکاران (۱۳۷۹)، پترولوژی، ژئوشیمی و ژنز فیروزه باغوی-دامغان را مطالعه و در آن کانی‌زایی منطقه را به دو زون هیپوژن و سوپرژن تقسیم و فیروزه را به عنوان آخرین کانه‌زایی معرفی کرده اند.

-مهرابی و قاسمی سیانی (۱۳۸۹)، کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ (جنوب شرق دامغان) را بررسی و نتیجه گرفتند که کانی‌شناسی در چشمه حافظ از نوع فلزات پایه اپی‌ترمال با سولفیداسیون متوسط است.

-مهابادی (۱۳۹۷)، پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی منطقه آبگاره را بصورت تناوبی از سنگ‌های آندزیتی و توف-برش با ترکیب آندزیت- داسیت آندزیت معرفی نموده است. به نظر این محقق، محدوده معدنی یک کانسار اپی-ترمال با سولفیداسیون پایین می‌باشد.

- ناهیدی فر (۱۳۹۳)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد بر روی کانسار مس دیان، مطالعه کرده‌اند که تیپ آن را هیدروترمال رگه‌ای معرفی نموده‌اند.

-هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور در خصوص تحول پدیده‌های زمین-شناسی ناحیه تروود، ذیل نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی تروود ارائه کرده‌اند که به طور کلی تمام ناحیه را از نظر لیتولوژیکی، چینه‌شناسی و ساختمانی مورد مطالعه اولیه قرار داده‌اند.

۱-۷- طرح مسئله و هدف از مطالعه

نظر به اینکه در رابطه با کانسار مس قیصری، هیچ گونه مطالعه‌ای در زمینه زمین‌شناسی اقتصادی صورت نگرفته است، انجام بررسی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین الگوی تشکیل این کانسار می‌تواند به عنوان راهنمایی در شناسایی و اکتشاف ذخایر دیگر از این نوع کانه‌زایی در منطقه مؤثر باشد. در این تحقیق

سعی خواهد شد که جهت تعیین الگوی تشکیل و کنترل کننده‌های اصلی کانه‌زایی، مطالعات دقیقی صورت گیرد. بدین منظور انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی و ساختاری، چینه‌شناسی، پتروگرافی و سنگ‌شناسی، مطالعات دقیق شکل هندسی و کانی‌شناسی مواد معدنی، ساخت و بافت، تشخیص پهنه‌های کانه‌دار احتمالی و مطالعه تأثیرات هوازدگی و سوپرژن در این کانه‌زایی ضروری می‌باشد.

سؤالات بنیادی که در رابطه با کانه‌زایی مس قیصری وجود دارد و این تحقیق به آن‌ها پاسخ خواهد داد، عبارت‌اند از:

- ۱- بررسی ویژگی‌های کانسار از نظر زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی.
- ۲- مطالعه کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌های کانسار.
- ۳- ارائه الگوی تشکیل، کنترل کننده‌های اصلی کانه‌زایی و تشخیص تیپ کانه‌زایی در منطقه.
- ۴- تعیین و اثبات منشأ عناصر و سیال کانه‌دار در منطقه.
- ۵- تعیین ارتباط سنگ درونگیر با کانی‌سازی.
- ۶- تعیین نوع و شکل کانی‌سازی.
- ۷- ارائه الگو و کلید اکتشافی جهت پی‌جویی کانه‌زایی‌های مشابه در منطقه.
- ۸- ارائه مدل کانه‌زایی در منطقه و مقایسه کانسار با کانسارهای مشابه در ایران و جهان.

۱-۸- روش مطالعه

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات

- الف) مطالعه کتاب‌ها، مقالات و جمع‌آوری اطلاعات در ارتباط با موضوع و منطقه مورد مطالعه از طریق کتابخانه‌ها و سایت‌های اینترنتی.
- ب) تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی، اکتشافی، توپوگرافی، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای.
- ج) تهیه و مطالعه گزارش‌های زمین‌شناسی و مقالات خارجی در ارتباط با موضوع مورد نظر.

د) برقراری ارتباط با متخصصان داخلی و خارجی و از اطلاعات و تجربیات آن‌ها در زمینه موضوع مورد مطالعه.

۱-۸-۲- عملیات صحرایی

الف) بازدیدهای مقدماتی از منطقه جهت آشنایی و برداشت‌های مقدماتی.

ب) مطالعات صحرایی و تهیه نقشه زمین‌شناسی معدنی محدوده.

ج) شناسایی و مطالعه توده‌های آذرین، پهنه‌های دگرسانی، پهنه‌های کانه‌دار و وضعیت دگرشکلی و تأثیرات آن‌ها در منطقه.

د) مطالعه شکل هندسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانه‌ها در مقیاس صحرایی و نمونه دستی.

ر) نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری جهت مطالعات میکروسکوپی و آنالیزهای آزمایشگاهی.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی

الف) مطالعات آزمایشگاهی شامل مطالعات میکروسکوپی، آماده‌سازی نمونه‌ها، آنالیز به روش‌های پراش اشعه ایکس^۱، فلورئورسانس اشعه ایکس^۲، طیف سنجی جرمی پلاسمای جفت شده القایی^۳، آنالیز ریزسنج الکترونی^۴ و مطالعات سیالات درگیر^۵ می‌باشد که هدف کار و محل آنالیز و یا مطالعه هر یک از آن‌ها در جدول ۱-۱ لیست شده است.

1- X-ray Diffraction(XRD)

2- X-ray Fluorescence(XRF)

3-Inductively Coupled Plasma- Mass Spectrometry(ICP- MS)

4- Electron Probe Micro Analysis(EPMA)

5- Fluid inclusions

جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی.

ردیف	روش کار با نوع آنالیز	تعداد نمونه	هدف کار	محل انجام آنالیز با مطالعه
۱	تهیه مقاطع: الف-نازک ب-صیقلی ج-دوبر صیقل	۳۰ ۲۰ ۳	الف- برای مطالعه پتروگرافی و دگرسانی‌ها در زیر میکروسکوپ با نور عبوری ب- مطالعه کانی‌های فلزی با نور انعکاسی ج- جهت مطالعات سیال درگیر	دانشگاه صنعتی شاهرود
۲	XRD	۸	برای مشخص کردن کانی‌های که در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص نیستند یا در میدان دید قرار نمی‌گیرند و همچنین تعیین نوع دگرسانی‌ها	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران
۳	XRF	۶	برای تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و نامگذاری آن‌ها براساس اکسیدهای اصلی و جهت تعیین سری ماگمایی	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران
۴	ICP-MS	۱۲	جهت مشخص کردن درصد عیار ماده معدنی و چگونگی تغییرات و روابط همبستگی عناصر مختلف در کانسار	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران
۵	EPMA	۲	مشخص کردن درصد عناصر تشکیل دهنده سولفیدهای مس، تشخیص کانه طلا از پیریت و دیگر کانی‌هایی که شبیه طلا هستند و به علت ریز بودن آن‌ها که در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص نبودند.	دانشگاه مرکزی علوم زمین- کشور هند

ب) تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های برداشت شده، نتیجه‌گیری نهایی، تدوین پایان‌نامه و ارائه

مقاله

در این مرحله داده‌های بدست آمده از آزمایشات به کمک نرم‌افزارهای ArcGis ، SPSS ، Excel

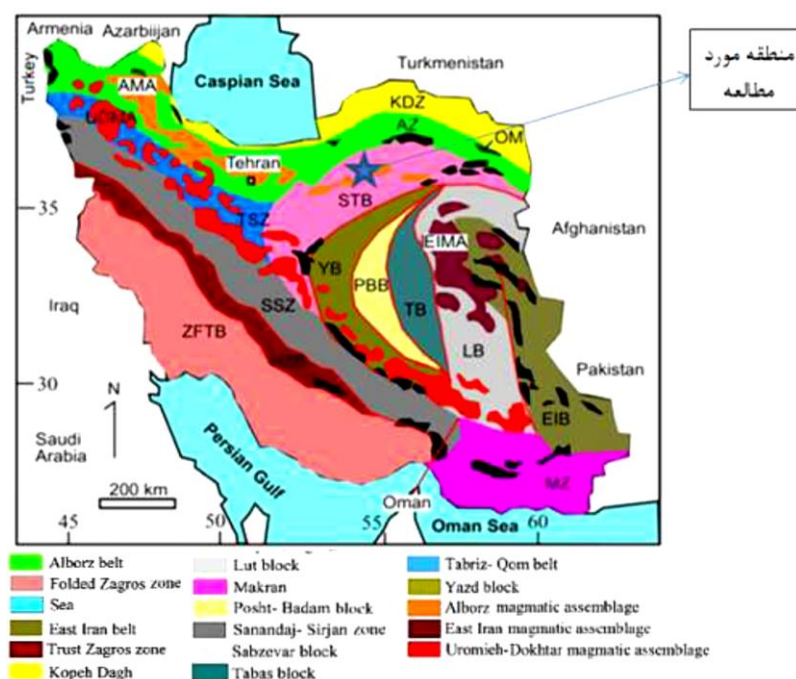
، GCDkit و غیره طبقه‌بندی، پردازش و سپس در تدوین پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته شد.

فصل دوم

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲-۱- مقدمه

ایران به عنوان پل ارتباطی بین گندوانا و لورازیا، در طی تکامل و تحولات ژئوتکتونیکی صورت گرفته بر این دو ابرقاره؛ دستخوش تغییرات فراوان شده و همچون لوح‌هایی، اثر این فرآیندها را در خود ثبت کرده است. ثمره این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به پنج پهنه اصلی و دوازده پهنه فرعی ساختاری- رسوبی است (آقانباتی، ۱۳۸۳)، کانسار مس قیصری در جنوب دامغان در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی، در رشته‌کوه آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین واقع شده است (شکل ۲-۱). این رشته‌کوه با توجه به تنوع واحدهای تکتونیکی، سنگ- شناسی و سرگذشتی که از پرکامبرین تا عهد حاضر بطور تقریباً مستمر گذرانده است، می‌تواند شاهد فرآیندهای مختلف متالورژی و در نتیجه کانی‌زایی‌های گوناگون در مقیاس‌های مختلف باشد. در این فصل ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری- رسوبی ایران مرکزی در مقیاس ناحیه‌ای و رشته‌کوه آتشفشان- رسوبی ترود- چاه‌شیرین شرح داده می‌شود.



شکل ۲-۱: موقعیت نوار آتشفشانی- رسوبی ترود- چاه‌شیرین و محدوده اکتشافی قیصری بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (★) (آقانباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلثی در مرکز ایران قرار دارد و از بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی ایران به شمار می‌آید. در این واحد سنگ‌های با سن پرکامبرین پسین تا کواترنر را می‌توان مشاهده کرد که فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی را متحمل شده اند (قربانی، ۱۳۸۹). این خردقاره بخشی از ایران میانی است که با زمین درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده و توسط گسل‌های طویلی با امتداد لغز راستگرد که به سمت اختر خمیدگی دارند قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، فروافتادگی بیاضه- بردسیر و بلوک یزد می‌باشد. الگوهای ساختاری حاکم بر این خردقاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است که هر یک ویژگی‌های جداگانه دارند و پویایی خرد قاره در همه جا یکسان نیست (آقانباتی، ۱۳۸۳).

در گذشته، خردقاره ایران مرکزی را بخشی از توده میانی ایران مرکزی می‌دانستند ولی به باور (اشتوکلین ۱۹۵۶)، پس از سخت‌شدن پی‌سنگ پرکامبرین، بخش یاد شده در زمان پالئوزوئیک ویژگی‌های سکویی داشته و در زمان‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک به منطقه‌ای پر تحرک و پویا تبدیل شده است. با وجود این، باید گفت که الگوی ساختاری حاکم بر این خرد قاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است. شواهد موجود نشان می‌دهند که:

- به جز بلوک لوت و لبه جنوب باختری که سنگ‌های ماگمایی ترشیری برونزد دارند، در سایر نواحی سنگ‌های ترشیری به مقدار کمتری رخنمون دارند.

- در ردیف‌های پالئوزوئیک این ناحیه، نبوده‌های چینه‌نگاری مهمی وجود دارد که مهم‌ترین آن‌ها نبوده‌های چینه‌ای آغاز دونین میانی (هیاتوس ایفلین) و کربونیفرپسین (هیاتوس استفانین) است.

۲-۳- ویژگی‌های عمومی رشته کوه آتشفشانی - رسوبی ترود - چاه شیرین

۲-۳-۱- جایگاه تکتونیکی

رشته کوه ترود - چاه شیرین در تقسیمات زون‌های ساختاری ایران جزئی از پهنه البرز (آقانباتی، ۱۳۸۳)، ماگماتیسم البرز (نوگل سادات و همکاران، ۱۹۹۳)، کمان ماگمایی البرز (شمعانیان و همکاران، ۱۳۸۱) و یا کمان ماگمایی جدا شده از ارومیه دختر به‌وسیله کشیدگی میان کمانی (حسن زاده و همکاران، ۲۰۰۲) ایران محسوب می‌شود. این کمان از شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل ترود محدود می‌شود و روند N-70 دارد E (هوشمند زاده و همکاران، ۱۳۵۷).

محدوده کانسار مس قیصری در انتهای غربی رشته کوه آتشفشان-رسوبی ترود- چاه شیرین و در بخش مرکزی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم واقع شده است. در نگاه دقیق‌تر این رشته کوه را می‌توان به سه - حوضه کوچک‌تر تقسیم نمود که عبارتند از: ۱- نیمه جنوبی ورقه توسط حوضه رسوبی جندق محدود شده است. ۲- نیمه شمالی ورقه را کمربند ترود- چاه شیرین تشکیل می‌دهد. بخشی از گوشته شمال غرب ورقه در محدوده‌ی رشته کوه‌های انجیلو جای دارد. گسل ترود مرز میان حوضه جندق و کمربند ترود- چاه شیرین است و کوه‌های انجیلو نیز از نوار ترود- چاه شیرین توسط گسل انجیلو جدا می‌شود. منطقه جندق حوضه فروافتاده‌ای است که دریای میوسن آن را فرا گرفته بود و رسوبات کم‌عمق ولی با ضخامت زیاد مارن، ماسه سنگ، نمک و گچ را برجای گذاشته است.

رشته کوه ترود- چاه شیرین در مجموع دارای روند شرق-شمال شرقی-غرب-جنوب غربی (ENE-WSW) است که در حاشیه فرورفتگی کویر جندق واقع شده است. کمربند ترود-چاه شیرین، با وجود وسعت کم خود، در مطالعات تکتونیکی بیشتر پدیده‌ها و پی‌آمدهای ناشی از حرکات تاریخی نظیر متامورفیسم، وجود سنگ‌های نفوذی و ولکانیکی و همچنین چین‌خوردگی‌ها، ناپیوستگی‌ها و سایر پدیده‌ها را در خود دارد.

کهن‌ترین واحدهای سنگی در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم را مجموعه‌ای از انواع شیست، سنگ‌های اولترابازیک،

متادیوریت، سنگ‌های سیلیسی متامورف و لیستونیت تشکیل می‌دهد که برخی از اجزا آن مربوط به پوسته اقیانوسی است. رسوبات دگرگونه پیش از ژوراسیک میانی مربوط به یک محیط کم عمق و اغلب قاره‌ای است. درجه دگرگونی در واحدهای سنگی اردوئیسین تا ژوراسیک زیرین یکسان است. لذا این دگرگونی پی‌آمد حرکات ژوراسیک‌پسین بوده و به طور عمده در حد رخساره شیست سبز می‌باشد. این واحدهای سنگی از شدت دگرشکلی بالایی برخوردارند. رسوبات مربوط به کرتاسه‌زیرین به طور پراکنده در باختر ورقه و نواحی چاه شیرین رخنمون دارد که به طور دگرشیب سنگ‌های دگرگونی قدیمی‌تر را می‌پوشاند. توالی‌های آتشفشانی-رسوبی ترشیر با دگرشیبی مشخص روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر می‌نشیند که نشان دهنده حرکات لارامید است. در اواخر ائوسن خروج گدازه‌های آتشفشانی متوقف شده و در الیگوسن مجدداً شروع به فعالیت کرده‌اند. بخشی از فعالیت‌های ماگمایی به صورت دایک و توده‌های نیمه عمیق کوچکی نمایان شده‌اند. در پایان الیگوسن حوضه دریایی کم‌عمق جندق شکل گرفته است و ضخامت زیادی از رسوبات شبیه مولاس مارنی، ماسه‌سنگی، گچ و نمک در میوسن به جا گذاشته شده است. نهشته‌های میوسن تحت تاثیر کوهزایی آلپ پسین قرار گرفته و ساختمان‌های زیبای آنتی کلینالی و سنکلینال جنوب ورقه را به وجود آورده است (جعفریان، ۱۳۷۳).

۲-۳-۲- سیستم گسل خوردگی‌ها

همان‌طوری که بیان شد ناحیه ترود-چاه‌شیرین در منطقه شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی واقع شده است. از این رو به پیروی از آن می‌بایست روند عناصر ساختاری در راستای شرقی-غربی باشد. ولی در اغلب واحدهای سنگی و به ویژه سنگ‌های دگرگونه قبل از ژوراسیک زیرین دارای روند شمالی-جنوبی است. هم‌چنان که گفته شد سنگ‌های یاد شده به صورت بلوکی در بین دو گسل ترود در جنوب و انجیلو در شمال محصور شده‌اند. گسل‌های یاد شده دارای روند شرق-شمال شرقی و غرب-جنوب غربی هستند. گسل ترود، به سمت شرق و گسل انجیلو به سمت غرب ادامه می‌یابد آن چنان که دو گسل پلکانی پدیدار شده است. این دو گسل از نوع قدیمی‌اند. با توجه به امتداد محور چین‌خوردگی‌ها (ناودیس بیل‌بن) و روند گسل‌های قدیمی که بیشتر از نوع راندگی هستند، در حد فاصل دو گسل ترود و انجیلو دیده می‌شوند که روند این گونه ساخت‌ها

عموماً عمود بر گسل‌های امتداد لغز ترود و انجیلو است. چنانچه مشاهده می‌شود این بخش از سنگ‌های منطقه در حدفاصل این دو گسل بزرگ قرار گرفته‌اند و در نتیجه آن ساخت‌های چین‌خورده و گسل‌های رانده با روندی به تقریب عمود نسبت به این گسل‌ها پدید آمده است. برخی از زمین‌شناسان تغییر روند یاد شده را در اثر چرخش بلوک بین دو گسل ترود و انجیلو می‌دانند و به حرکت چپ‌گرد آن‌ها طی چند مرحله نسبت می‌دهند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). پیدایش و آغاز فعالیت این دو گسل به درستی مشخص نیست و احتمالاً به کامبرین مربوط می‌شود، ولی فعالیت آن‌ها در مهم‌ترین مرحله حرکت آن‌ها که موجب این چرخش شده است را می‌توان به زمانی پس از لیاس و پیش از کرتاسه در نظر گرفت (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). برخی از زمین‌شناسان فعالیت آن‌ها را به هنگام حرکات کیمیرین پیشین مرتبط می‌دانند. روند این دو گسل همان روند حرکات پالئوزوئیک زیرین است و شاید که همزمان با فعالیت‌های پالئوزوئیک شروع به فعالیت کرده باشد (نبوی، ۱۳۵۷).

۲-۳-۱-۲- گسل‌ها

با توجه به فعال بودن رشته کوه ترود -چاه‌شیرین از لحاظ تکتونیکی، گسل‌های مختلفی در این رشته کوه ایجاد شده است. همانطور که می‌دانیم یکی از فاکتورهای اساسی کنترل کننده کانی‌زائی، گسل‌ها هستند که به همین خاطر در این قسمت بعضی از گسل‌های مهم این رشته کوه شرح داده می‌شود.

الف- گسل‌های اصلی

گسل‌های ترود انجیلو: گسل‌های ترود و انجیلو دارای امتداد تقریبی N60-70E گسل کویر گسل دیگری که به موازات گسل ترود است و از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان گسترش آن دیده می‌شود، گسل باغو، گسل رشم- پیرمردان.

در پهنه مورد مطالعه گسل‌هایی شکل گرفته است که راستای نزدیک به N60-70E و با شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب شرق با سازوکار غالب امتدادلغز چپ‌بر می‌باشند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

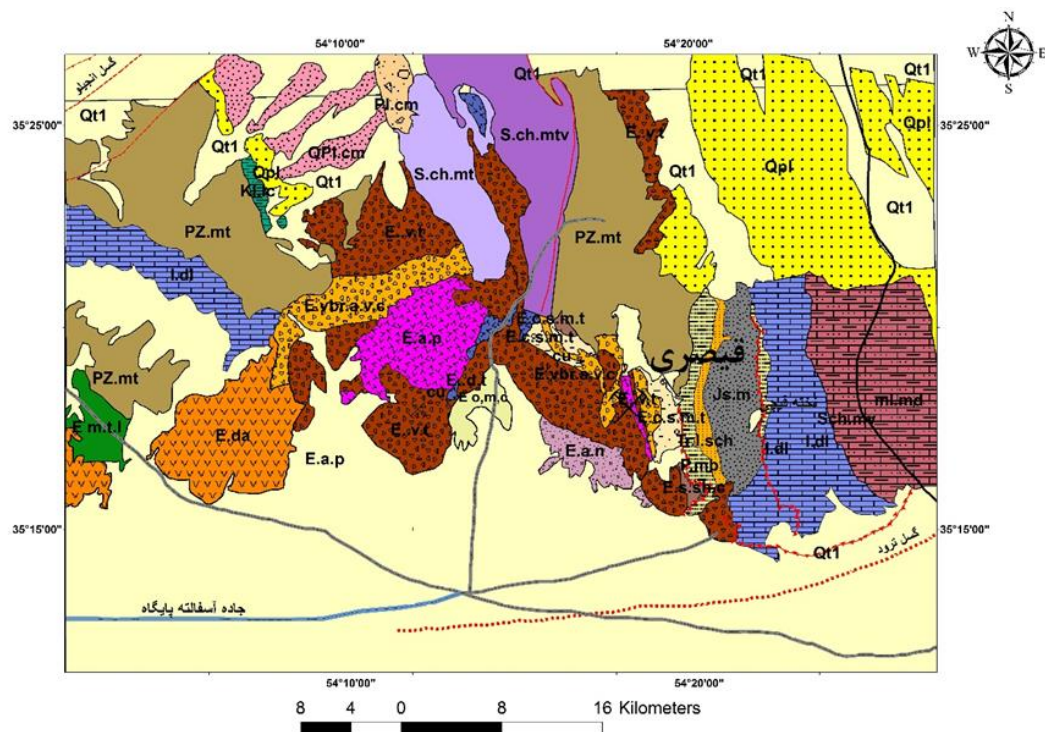
ب- گسل‌های فرعی

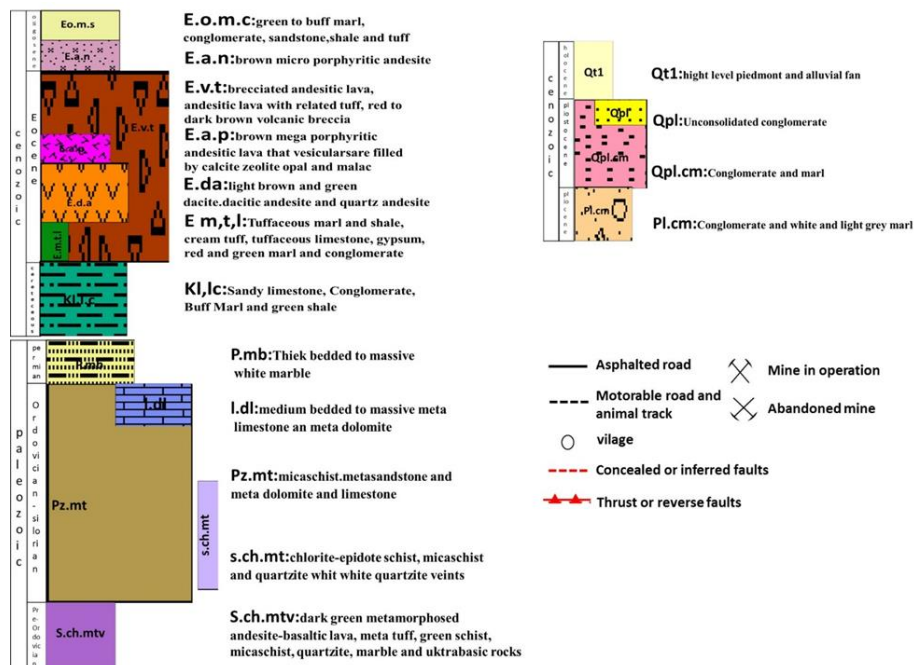
در نوار تروود- چاه‌شیرین نهشته‌های کرتاسه و ائوسن را گسل‌های فرعی جابجا کرده‌اند که نشان دهنده آن است که منطقه در زمان این حرکات زیر اثر نیروهای کششی قرار داشته است بجز راستای N70-90E که همسو با گسل اصلی تروود است گسل‌های دیگری که بصورت مزدوج عمل کرده‌اند که در آن‌ها کانی‌زائی نیز انجام گرفته است. گسل چالو، گسل چشمه بیل‌بن و گسل سیاه‌پشته، گسل گندی.

گسل‌های نرمال: چندین گسل نرمال و بزرگ با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی در این ناحیه وجود دارند که در کوه قله‌دختر این گسل‌ها به صورت تقریباً قائم دیده می‌شوند.

۲-۴- چینه‌شناسی ناحیه‌ای

شرح چینه‌شناسی و لیتولوژی در مقیاس ناحیه‌ای بر مبنای نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم از قدیم به جدید به اختصار شرح داده می‌شود:





شکل ۲-۲- بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم و نمایش موقعیت کانسار مس قیصری (جعفریان، ۱۳۷۳)

۲-۴-۱- واحدهای اردوئیسین-سیلورین

واحد PZ^{mt} : این واحد لیتولوژیکی در سرتاسر نیمه شمالی ورقه از بیشترین گسترش و ضخامت برخوردار است که در نواحی چاه شیرین، سپیدلتو و دره رشم رخنمون دارد. از نگاه ریخت‌شناختی بلندترین ارتفاعات و قله‌ها در ورقه رشم مربوط به بخش‌های کربناته این واحد است. از مجموعه شیست، سنگ آهک و دولومیت، ماسه‌سنگ، توف و سنگ‌های ولکانیک تشکیل شده که همگی دگرگون شده‌اند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

واحد شیستی Sch, mv : این واحد شامل مجموعه‌ای از میکاشیست، کلریت، اپیدوت شیست و کوارتزیت است که در ناحیه شمالی دره کلوت رخنمون دارد و از گسترش نسبتاً زیادی برخوردار است. یال غربی یک ساختمان شبه آنتی‌کلینال را تشکیل می‌دهد.

واحد سنگ آهک دولومیتی (ml, md): این واحد لیتولوژیکی ارتفاعات شرقی دره رشم را تشکیل می‌دهد و کوه-های بابا احمد و انارو را می‌سازد. از چینه‌های ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی، دولومیت

سنگ آهکی و دولومیت تشکیل شده است.

شیست و سنگ‌های ولکانیکی دگرگونه ($sch.mv$): این واحد لیتولوژیکی در حدفاصل رشته کوه تنوره و قله دختر رخنمون دارد. بخش زیرین این واحد به طور عمده شیست نقره‌ای رنگ و ماسه‌سنگ دگرگونه و بخش بالایی آن سنگ‌های ولکانیک دگرگونه، ماسه‌سنگ دگرگونه و شیست است. ترکیب سنگ‌های ولکانیک دگرگونه را می‌توان از آندزیت تا بازالت در نظر گرفت.

واحد کربناته ($L.dl$): از نگاه ریخت‌شناسی ارتفاعات بلند ناحیه را می‌سازد. کوه‌های قله دختر، دوزینا و کچو را تشکیل داده است. دارای ضخامتی زیاد (در حدود بیش از یک کیلومتر) از طبقات ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک و سنگ آهک دولومیتی است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۴-۲- واحدهای پرمین

واحد مرمری (P^{mb}): این واحد مرمر، ارتفاعات نیزه کوه، پشته قیچی و مرمرهای قله کوه کچو را می‌سازد. بخش‌های زیرین از طبقات نازک، متوسط و ضخیم آهکی و در بخش‌های بالایی به طور عمده از طبقات ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک دگرگونه سفید رنگ پدید آمده است. در برخی نقاط مرمر دولومیتی تیره تا قهوه‌ای رنگ نیز دیده می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۴-۳- نهشته‌های تخریبی و کربناته تریاس (TR)

واحد تخریبی متشکل از شیست و ماسه سنگ است (TR^{sch}) ضخامت این واحد در حدود ۸۰ تا ۱۰۰ متر می‌باشد. بر روی واحد تخریبی یاد شده ضخامتی در حدود ۲۰۰ متر از مجموعه طبقات کربناته و شیستی قرار دارد. بخش کربناته از طبقات متوسط تا ضخیم آهک دولومیتی پدید آمده است ($TR^{1,sch}$) (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۴-۴- واحد ژوراسیک زیرین

واحد (J^{sm}): این واحد لیتولوژیکی در دره‌ی بیل‌بن رخنمون دارد و هسته سنکلینال بزرگ ناحیه را تشکیل می‌دهد. از نگاه ریخت‌شناسی واحدی نرم فرسای است و تپه‌ها و ارتفاعات کوتاه را پدید آورده است و سیستم آبراهه

خاصی در این شکل گرفته است. واحد یاد شده از مجموعه طبقات ماسه‌سنگ دگرگونه به رنگ خاکستری تیره و شیب‌های تیره رنگ و سیاه پدید آمده است. آثار زغالی بسیار اندکی در برخی نقاط این سازند دیده می‌شود که ارزش اقتصادی ندارند. همچنین سیلیس به صورت کوارتزیت رخنمون قابل توجهی در این واحد دارد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۴-۵- نهشته‌های متعلق به کرتاسه زیرین

واحد^(kl^{۱c}): رخنمون پراکنده ولی بصورت یک نوار باریک در نواحی چاه‌شیرین از نهشته‌های این مقطع زمانی دیده می‌شود که بصورت تپه‌های کوتاهی در آمده است و ضخامت این واحد حدود ۳۰۰ متر می‌رسد و از پایین به بالا شامل کنگلومرا، مارن سبز، ماسه‌سنگ قهوه‌ای، تناوب مارن سبز و ماسه‌سنگ و کنگلومرا، آهک ماسه‌ای کرم تیره، مارن سبز با میان‌لایه‌های آهک ماسه‌ای و غیره است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۴-۶- واحدهای ائوسن - الیگوسن

واحدهای سنگی ولکانیکی، آذرآواری و رسوبی ائوسن-الیگوسن در محدوده‌ی ورقه کلاته رشم از گسترش و تنوع زیادی برخوردارند؛ آن‌چنان که بخش عمده‌ای از نیمه‌شمالی منطقه را به خود اختصاص داده‌اند. این ردیف ولکانیکی-رسوبی ترشیر به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

واحد ولکانیکی^(E^{v,t}): درمیان واحدهای ولکانیکی و توفی ائوسن، این واحد بیشترین گسترش و ضخامت را دارد. به طور کلی از مجموعه گدازه‌های آندزیتی زیردریایی، برش توفی، برش آندزیتی، آندزیت پورفیری و توف آندزیتی پدید آمده است.

واحد ماسه‌سنگی - شیلی^(E^{s,sh,c}): پایین‌ترین و قدیمی‌ترین واحد سنگی ائوسن یک واحد ماسه‌سنگی دانه‌ریز گلوکونیتی به رنگ سبز، لایه‌های شیلی ماسه‌ای قرمز و لایه‌های از کنگلومرا می‌باشد که در ناحیه چاه‌آباد رخنمون یافته است. ضخامت این واحد نزدیک به ۴۰۰ متر می‌رسد ولی از گسترشی ناچیز برخوردار است.

واحد کنگلومرای^(E^{c,s,m,t}): واحد ماسه‌سنگی بتدریج به یک واحد کنگلومرای با افق‌هایی از ماسه سنگ قرمز و سبز و مارن به رنگ قرمز و سبز و توف آندزیتی تبدیل می‌شود. ضخامت این واحد به بیش از ۳۰۰ متر می‌رسد.

این واحد ماسه‌سنگی و کنگلومرایی قاعده و پایه واحدهای سنگی ولکانیکی ائوسن را تشکیل می‌دهند.

واحد کنگلومرایی-ولکانیکی ($E^{c,v}$): این واحد لیتولوژیکی به ضخامت ۱۵۰ متر در ابتدای دره کلوت برونزد یافته است و از طبقات ضخیم کنگلومرایی تشکیل شده است که ضمن تشکیل طبقات کنگلومرایی فعالیت‌های ولکانیکی نیز ادامه داشته است. فعالیت‌های ولکانیکی به طور جانبی و به سمت شرق افزایش بیشتر دارد و از مجموعه گدازه‌های آندزیتی میکروپورفیری به رنگ قهوه‌ای تیره تا قرمز تیره و برش ولکانیکی قرمز رنگ پدیدار شده است.

واحد ($EO^{m,c}$): این واحد لیتولوژیکی در دامنه جنوبی ارتفاعات چاه‌شیرین- بیل بن به گونه پراکنده دیده می‌شود. بیشترین گسترش را در آغار دره کلوت دارد از تناوب طبقات کنگلومرایی سست و مارن روشن تشکیل شده است.

زیر واحد مارنی و توفی ($E^{M,t,l}$): این واحد لیتولوژیکی فرعی در محل روستای رشم و در نواحی باختر چشمه پشک رخنمون دارد، از گسترشی محدود برخوردار است و به صورت تپه‌های به نسبت کوتاه و یا زمین‌های هموار در آمده است. ترکیب عمومی این توف‌ها در حد ریولیت تا داسیت است که بخش‌هایی از توف بلورین، توف شیشه‌ای دگرسان شده، ماسه‌سنگ توفی و مارن نیز به همراه دارد.

واحد فرعی توف بلورین داسیتی (E^{dt}): این واحد بطور پراکنده در چند نقطه و منجمله در دره کلوت رخنمون دارد و دارای ۱۰۰ متر ضخامت است. از کریستال توف با ترکیب داسیتی و به رنگ سبز متمایل به آبی پدیدار شده است.

واحد ولکانیک برش ($E^{vbr.ag.v.c}$): این واحد در شمال نواحی کلوت رخنمون دارد و ارتفاعات کوتاهی را می‌سازد از مجموعه ولکانیک برش (که سنگ‌های ولکانیک در حد آندزیت است) آگلومرا، کنگلومرا و افق‌هایی از سنگ‌ها ولکانیکی پدید آمده است. ضخامت آن در حدود ۷۰۰ متر است.

واحد داسیتی (E^{da}): این واحد در باختر ورقه و در مسیر چاه‌شیرین رخنمون دارد ترکیب سنگ‌شناختی آن بطور عمده در حد داسیت به رنگ قهوه‌ای تا سبز است و گاهی با ترکیب آندزیت کوارتزار و آندزیت دیده می‌شود.

این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری با زمینه شیشه‌ای و یا میکروگرانولار است. ضخامت آن را می‌توان تا ۴۰۰ متر برآورد نمود.

واحد آندزیت مگاپورفیری (E^{ap}): واحد یاد شده در نواحی کلویت گسترش دارد و معدن معروف مس کلویت در این واحد قرار دارد و بر روی واحد برشی جای دارد لیتولوژی آن شامل ضخامت زیادی از گدازه‌های مگاپورفیری آندزیتی است. ضخامت آن را شاید بتوان تا ۴۰۰ متر در محل معدن کلویت برآورد نمود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۵- نهشته‌های پلیوسن و کواترنر

واحد QPL: رسوبات محیط کم عمق کواترنر زیرین در محدوده ورقه از گسترش بسیار کمی برخوردار است. مجموعه‌ای از کنگلومرای بدون سیمان و یا با سیمان ضعیف و مارن این مقطع زمانی، تپه‌های کوه پشت سیاه را در غرب کلاته رشم تشکیل می‌دهد.

واحد Qt1: نهشته‌های آبرفتی قدیمی‌تر که به صورت زمین‌های نسبتاً مسطح و بلند در آمده‌اند و اغلب کوهپایه‌ها را تشکیل می‌دهند. از کنگلومرای دانه درشت و فاقد سیمان ساخته شده‌اند.

واحد Qt2: رسوبات آبرفتی جدید هستند که زمین‌های مسطح پست را به وجود آورده‌اند و از گسترش بسیار اندکی برخوردار است. از کنگلومرای دانه‌ریزتر و فاقد سیمان و رسوبات نرم تشکیل شده است.

واحد Qm: کفه‌های کوچکی را تشکیل می‌دهد که از فرسایش مارن‌های ناحیه به وجود آمده‌اند و از گل سفید رنگ (سیلت و رس) تشکیل شده است.

واحد Qal: جدیدترین رسوبات ناحیه هستند که نهشته‌های آبرفتی بستر دره‌ها را می‌سازند و از مجموعه شن و ماسه و قلوه‌سنگ بدون سیمان تشکیل شده‌اند.

۲-۶- کانی سازی در منطقه

کانی سازی های موجود در رشته کوه ترود- چاه شیرین را بطور کلی می توان به دو دسته فلزی و غیر فلزی تقسیم بندی نمود که در زیر بصورت خلاصه در مورد هر یک از آنها شرح داده می شود.

۲-۶-۱- کانی سازی فلزی

از این گروه می توان به اندیس ها، معادن قدیمی و فعال مانند آهن، منگنز، مس، سرب، روی، طلا و... اشاره نمود. تیپ کانسارهایی که در رشته کوه ترود چاه شیرین مربوط به این کانی سازی ها می شود شامل آهن و منگنز آتشفشان رسوبی، آهن اسکارنی یا اکسید آهن، مس و طلا IOCG، مس هیدروترمالی رگه ای، طلای اپی ترمال سولفید متوسط، طلای پلاسری، سرب و روی تیپ MVT کانسارهای مرتبط با توده های نفوذی و غیره می باشند. تاکنون شواهدی از کانی سازی مس پورفیری در این رشته کوه دیده نشده است و شکل غالب کانسارهای فلزی از نوع رگه ای است (قربانی، ۱۳۸۹).

۲-۶-۲- کانی سازی غیر فلزی

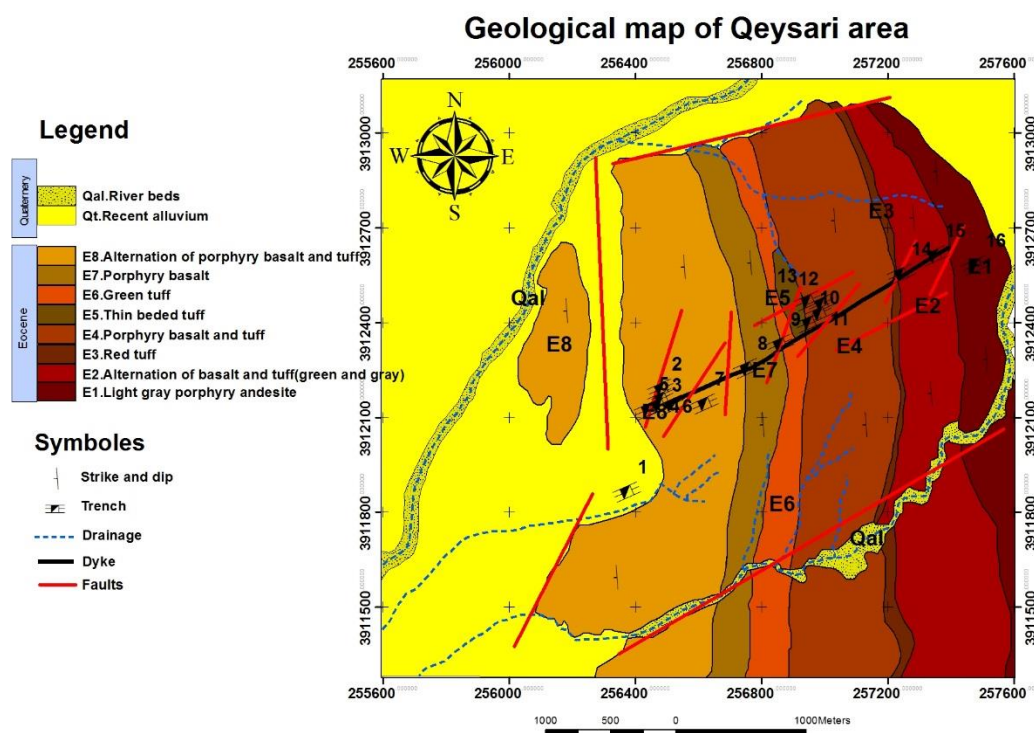
در منطقه ترود، ذخایر غیر فلزی به خصوص خاک های صنعتی قابل توجهی وابسته به توف های اسیدی یافت می شود. در محور رشم تا شمال باختر ترود یک افق توفی مربوط به ائوسن وجود دارد که دارای ترکیب توف های اسیدی ریولیتی می باشد. در محدوده هایی از افق یاد شده، توف ها به کانی های صنعتی مانند مونت موریلونیت و کائولینیت تبدیل شده اند و در جایی که کانی اصلی مونت موریلونیت است این توف ها تشکیل معادن بنتونیت را داده اند. در جایی که کانی اصلی کائولینیت است این توف ها تشکیل معادن کائولن و در جایی که این توف ها تقریباً سالم و آتره نیستند و میزان فلدسپات آنها بالاست تشکیل معدن فلدسپات داده اند.

فصل سوم

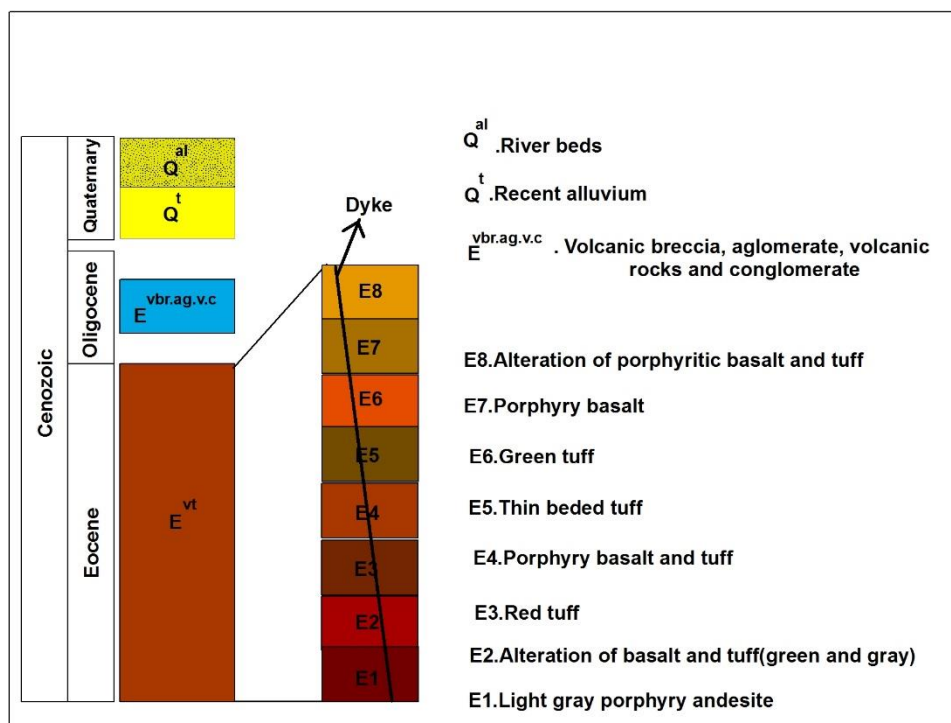
زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۳-۱- مقدمه

یکی از مراحل مهم در مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی، تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی است که بر پایه نقشه‌های بزرگ مقیاس اولیه (۱/۲۵۰۰۰۰ و ۱/۱۰۰۰۰۰)، برداشت صحرایی (پروفیل‌های زمین‌شناسی) و مطالعات میکروسکوپی (پتروگرافی) حاصل می‌گردد. در این نقشه و ستون چینه‌شناسی حاصل از آن واحدهای مختلف رخنمون یافته در محدوده، واحدهای منشاء و واحدهای میزبان کانه‌زایی مشخص می‌شوند. به این ترتیب کانه‌زایی از نظر ساختاری، کمیت، کیفیت ارزیابی شده و براساس شواهد بدست آمده تیپ کانه‌زایی و مکانیزم تشکیل آن مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در این تحقیق با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود و ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته‌رشم و همچنین تصاویر ماهواره‌ای و برداشت صحرایی نقشه زمین‌شناسی - معدنی و ستون چینه‌شناسی بزرگ مقیاس از محدوده معدنی تهیه و ترسیم گردید شکل‌های ۱-۳ و ۲-۳.



شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده معدنی که نشان دهنده واحدهای سنگی میزبان کانه‌زایی، دایک دیابازی قطع کننده آن‌ها و ترانسه‌های اکتشافی در امتداد دایک می‌باشد.



شکل ۳-۲- ستون چینه‌شناسی منطقه معدنی براساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس.

۳-۲- پتروگرافی واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه

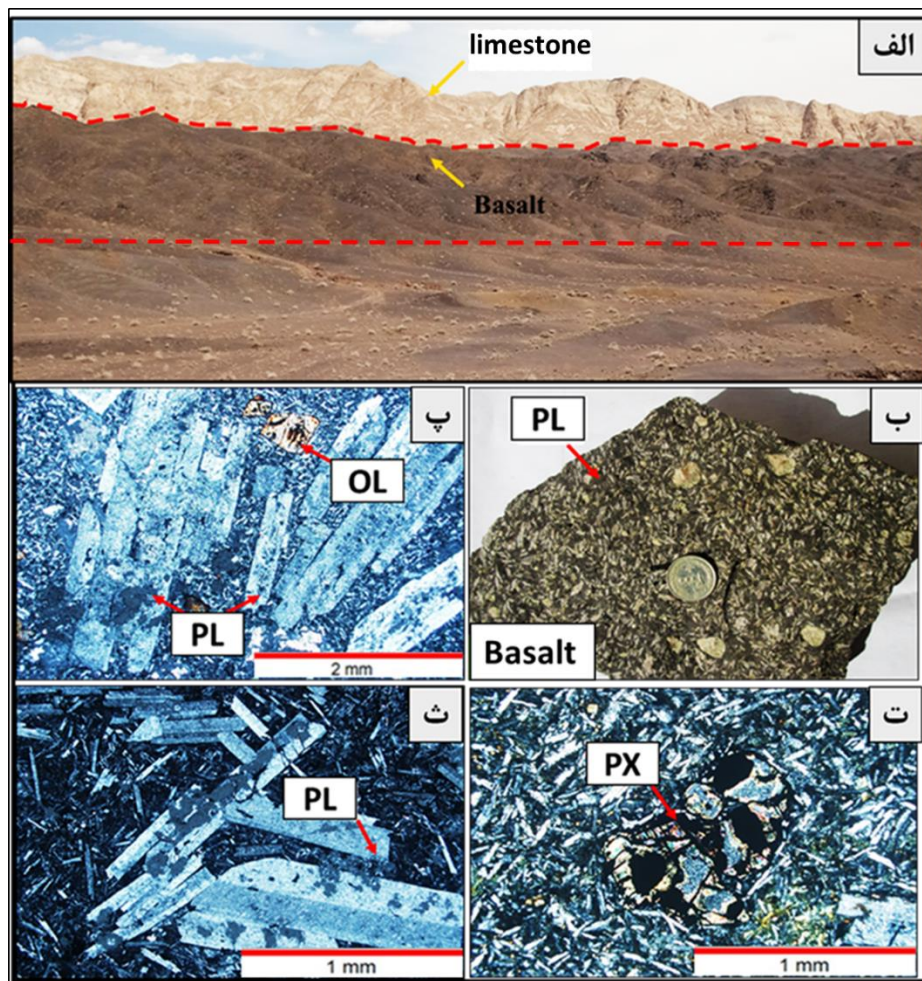
در محدوده اکتشافی قیصری واحدهای سنگی متشکل از گدازه‌های بازالتی و آندزیتی پورفیری به همراه سنگ-های آذرآواری به شکل توف و آگلومرا با روند عمومی شمالی- جنوبی تا شمال غربی- جنوب شرقی و شیب حدود ۷۰ به سمت جنوب غرب و دایک دیابازی قطع کننده، گسترش دارند در زیر توصیف صحرایی و پتروگرافی هر یک از آنها ارائه می‌گردد:

۳-۲-۱- واحدهای گدازه

۳-۲-۱-۱- واحدهای بازالتی (E8, E7, E4, E1)

بازالت‌ها با سیمای برجسته، رنگ سیاه تا خاکستری و روند شمال غربی- جنوب شرقی، با شیب به سمت جنوب- غرب در محدوده چهار واحد E8, E7, E4, E1 و E1 تکرار می‌شوند (شکل ۳-۳ الف). بازالت عموماً، بصورت جریان-های گدازه‌ای، گدازه‌های بالشی دیده می‌شود. بافت این سنگ ممکن است پورفیریتیک، یا آفیریک (ریز بلور)،

بلورین یا شیشه‌ای و میکرولیتیک باشد. فراوان‌ترین شکل بازالت‌ها را جریان‌های گدازه‌ای و گدازه‌های بالشی تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها دارای درشت بلورهای پلاژیوکلاز و گاهی حفرات بادامکی هستند که توسط کلسیت و دیگر کانی‌های ثانویه پر شده‌اند. بافت حفره‌دار موجود در این سنگ‌های منعکس کننده حضور حباب‌های گاز به تله افتاده در ماگما، در خلال انجماد آن است. این حفرات با کانی‌های ثانویه پر می‌شوند که در این حالت آن‌ها را حفرات بادامکی گویند (خان‌نصرافهان، ۱۳۸۴) (شکل ۳-۳ ب). بافت اصلی سنگ پورفیری و گلومروپورفیری است. بافت گلومروپورفیری بیانگر مراحل مختلف تحول ماگما در آشیانه‌های ماگمایی مختلف و تشکیل در مرحله تبلور زیرزمینی و پیش از فوران است (Samuel et al., 2007) (شکل ۳-۳ پ و ث). پلاژیوکلاز به صورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار فراوان‌ترین و الیوین و پیروکسن به مقدار کمتر فنوکریست‌های آن را تشکیل می‌دهند که در زمینه ریز بلور با همین ترکیب کانیایی قرار گرفته‌اند. بلورهای الیوین کاملاً دگرسان شده و به رنگ قهوه‌ای دیده می‌شوند در برخی از نمونه‌ها، کانی‌های الیوین و پیروکسن، دارای حاشیه سوخته و واکنشی است که محصول فرآیندهای دگرسانی در منطقه می‌باشند (شکل ۳-۳ ت). کانی‌های اوپک (منیتیت، هماتیت) درصد بسیار ناچیزی را تشکیل می‌دهند. کانی‌های ثانویه آن شامل کلریت که حاصل دگرسانی پیروکسن است و کلسیت و سربیسیت که حاصل دگرسانی پلاژیوکلاز می‌باشند.



شکل ۳-۳- الف- تصویر صحرایی از مرز واحد بازالت و سنگ آهک در منطقه مورد مطالعه دارای رنگ خاکستری و کرمی متمایل به زرد (دید به سمت شمال شرق). ب- عکس نمونه دستی بازالت پورفیری به رنگ خاکستری و با درشت بلورهای پلاژیوکلاز (PL). پ- بلورهای الیوین که آیدنگزیتی شده و پلاژیوکلازهایی که بافت پورفیری را تشکیل داده‌اند. ت- تصویر میکروسکوپی نمونه بازالت دارای پیروکسن با حاشیه سوخته و پلاژیوکلاز. ث- تجمع بلورهای پلاژیوکلاز و تشکیل بافت گلومروپورفیری. کلیه تصاویر پتروگرافی در نور XPL تهیه شده‌اند. (Siivola and Schmid, 1983).

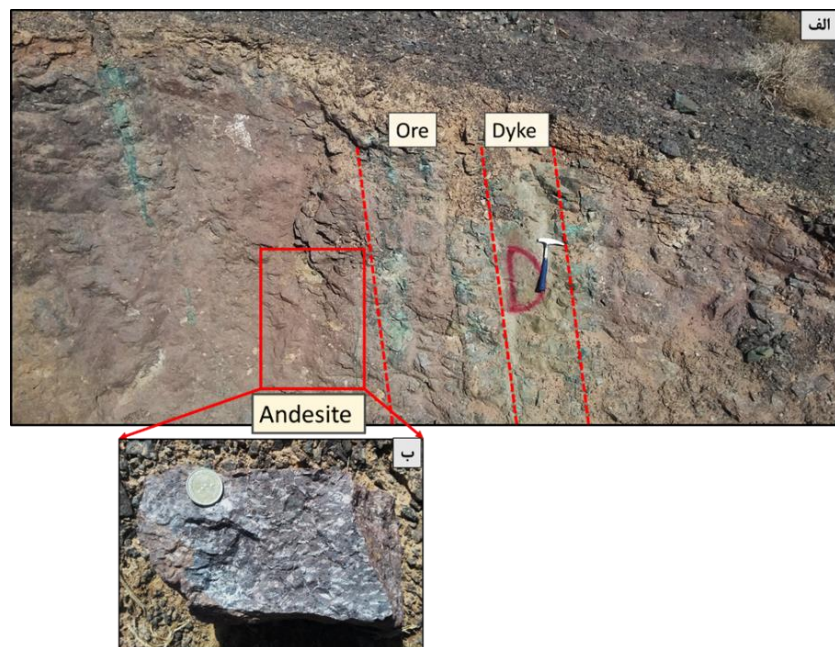
۳-۲-۱-۲-۳ واحدهای آندزیتی (E_5 , E_7)

آندزیت در محدوده مورد مطالعه در دو واحد E_2 و E_5 و هم‌رند با بازالت‌ها و دیگر سنگ‌های میزبان گسترش دارد (شکل ۳-۴- الف- ب). آندزیت‌های محدوده اکتشافی، در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن دیده می‌شوند (شکل ۳-۴ الف). بافت غالب در آندزیت‌ها پورفیری، گلومروپورفیری و غربالی هستند. زمینه سنگ را میکروولیت‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن‌های دانه‌ریز تشکیل می‌دهند. این سنگ‌ها دارای بافت پورفیری نیز هستند

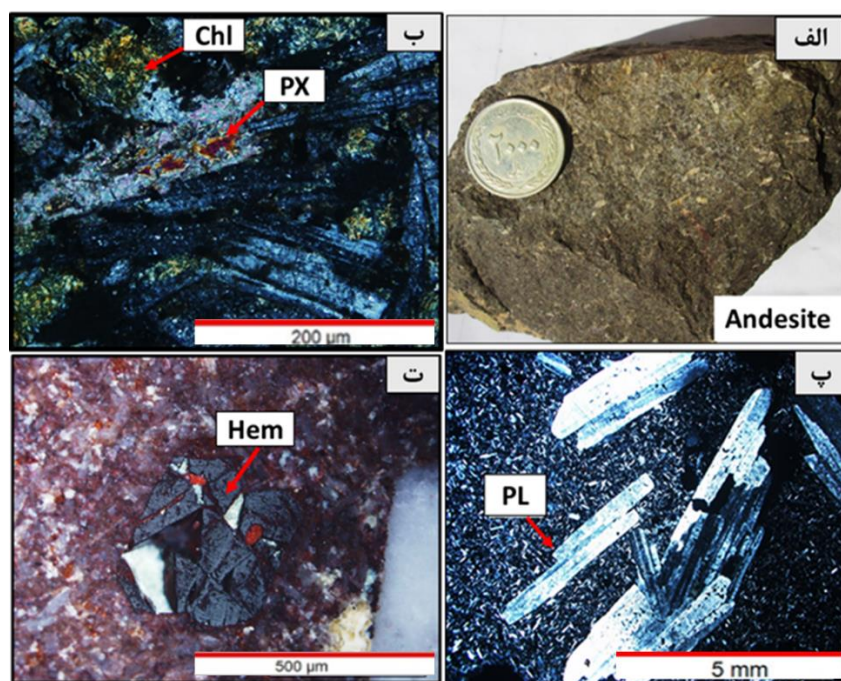
که حاصل تبلور دو مرحله‌ای ماگما در عمق و سطح زمین می‌باشد (Gill, 1981) (شکل ۳-۵-پ).

پلاژیوکلازها دارای ساخت منطقه‌ای و بافت غربالی می‌باشند. به عقیده (شیلی، ۱۹۹۳)، علت ایجاد ساخت منطقه‌ای، کند بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت رشد بلور، آشفته‌گی‌های دمایی ناشی از ورود ماگمای جدید به درون مخزن ماگمایی در حال تبلور، تغییرات فشار بخار آب و افت سریع دما می‌باشد. پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین به‌عنوان فنوکریست (درشت بلور) با چشم غیر مسلح قابل مشاهده می‌باشند. در زیر میکروسکوپ بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار پلاژیوکلاز با ساخت منطقه بندی، ماکل پلی‌سنتیک و بافت غربالی مشاهده می‌شود که در بعضی بخش‌ها به کلسیت و سریسیت تجزیه شده‌اند. پیروکسن‌ها به‌صورت نیمه شکل‌دار از حاشیه‌ها به کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۵-ب). ماگمای آندزیتی در فشارهای نزدیک به سطح زمین از بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین غنی است و احتمالاً دارای ۲ درصد آب می‌باشد و دمای تشکیل آن در مخزن ماگمایی بین ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. آپاسیته شدن ناشی از کاهش فشار H_2O در حین صعود ماگما و افزایش دما در طی اختلاط ماگمایی می‌باشد (Kawabata et al., 2005).

همچنین در حاشیه برخی از پلاژیوکلازها، هاله قهوه‌ای رنگی، ناشی از آغشته‌گی آن‌ها به اکسید و هیدروکسید-های آهن که اغلب هماتیت می‌باشند، مشاهده می‌شود (شکل ۳-۵-ت).



شکل ۳-۴- الف و ب- تصویر صحرایی از نمونه آندزیت مگاپورفیری به رنگ قرمز و خاکستری و دایک دیابازی قطع کننده آن، کانه‌زایی به طرفین دایک محدود شده و با فاصله گرفتن از آن ضعیف‌تر می‌شود.



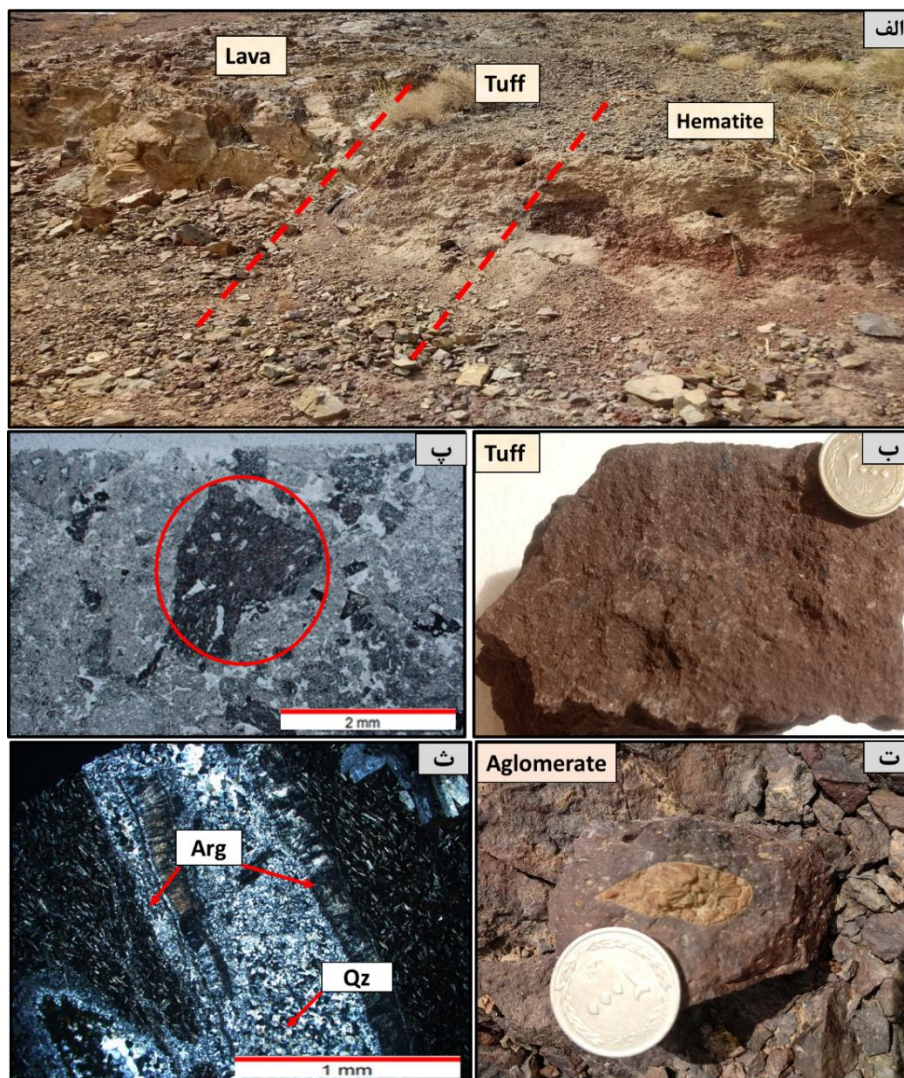
شکل ۳-۵- الف-تصویر نمونه دستی آندزیت به رنگ خاکستری روشن ب- پیروکسن که از اطراف در حال تجزیه به کلریت می- باشد. (مطالعه در نور ppl) پ- تجمع پلاژیوکلازها در متن سنگ که سبب تشکیل بافت پورفیری و گلومروپورفیری شده است (مطالعه در نور ppl) ت- تصویر میکروسکوپی از هماتیت (Hem) که در اثر آغشتگی کانی‌های اولیه به اکسید و هیدروکسید آهن تشکیل شده است (مطالعه در نور xpl). (Siivola and Schmid, 1983)

۳-۲-۲- سنگ‌های آذرآواری

-توف و آگلومرا (E6, E3)

این گروه شامل توف و آگلومرا با ترکیب بازالتی در دو واحد E3 و E6 به صورت هم‌روند و متوالی و همراه با گدازه‌های آتشفشانی رخمون دارند. توف‌ها به رنگ قهوه‌ای تا قرمز، خاکستری متمایل به سبز با دگرسانی خیلی شدید در صحرا قابل مشاهده هستند (شکل های ۳-۶ الف و ب). بر پایه مطالعات میکروسکوپی، توف‌های منطقه به انواع کریستال توف و لیتیک توف تفکیک شده‌اند (شکل ۳-۶ پ). توف‌ها براساس اجزاء شیشه، بلور و خرده‌های سنگی به سه دسته: توف شیشه‌ای، کریستال توف و لیتیک توف تقسیم می‌شوند (Pettijohn, 1975). کریستال توف‌های منطقه در نمونه دستی به رنگ روشن متمایل به زرد و گاهی خاکستری تا تیره دیده می‌شوند. در زیر میکروسکوپ بلورهای پلاژیوکلاز، کوارتز و اکسی‌هورنبلند کریستال‌های سنگ را تشکیل می‌دهند شکل ۳-۶-ث. پلاژیوکلازها به صورت خودشکل تا نیمه‌شکل‌دار با ماکل پلی‌سنتیک قابل شناسایی هستند، و بلورهای کوارتز با توجه به خاموشی موجی مشخص می‌شوند (Wilshire, 2001). فنوکریست‌های پلاژیوکلاز در برخی موارد حالت تحلیل‌رفتگی دارند که ناشی از تغییرات دما و فشار در طی صعود ماگما یا تغییرات شیمیایی آن می‌باشد (Chen and Zhang, 2008).

آگلومراها در نام‌گذاری جدید، قطر قطعات سازنده آگلومرا باید بیش از ۶۴ میلیمتر بوده و قطعات مذبور غالباً مدور هستند، در سازندهای آتشفشانی نادر بوده، اغلب قطعات انفجاری زاویه‌دار می‌باشند به همین علت به آن‌ها برش گفته می‌شود. همچنین از تجمع قطعات سنگی درشت‌تر (بمب و بلوک) تشکیل شده‌اند (Fisher, 1966)، که در نمونه‌های مورد مطالعه قطعات دارای ترکیب بازالت و آندزیت با ترکیب مشابه گدازه‌های منطقه هستند (شکل ۳-۶-ت).

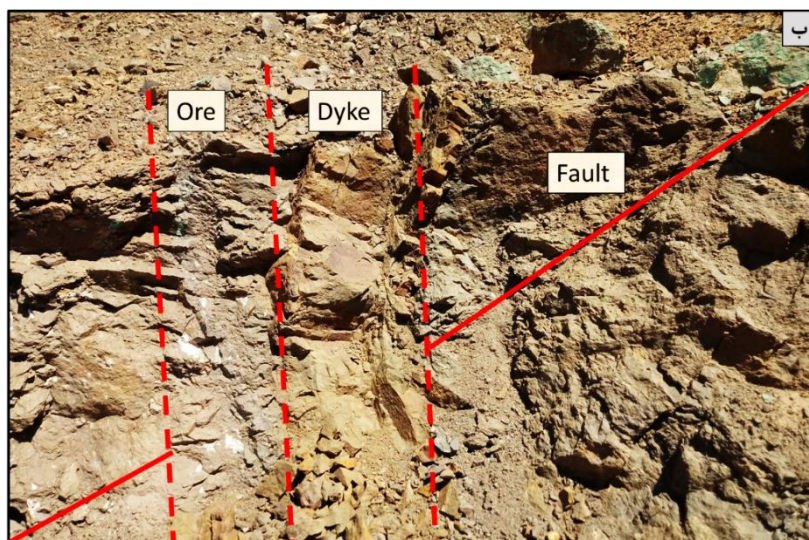
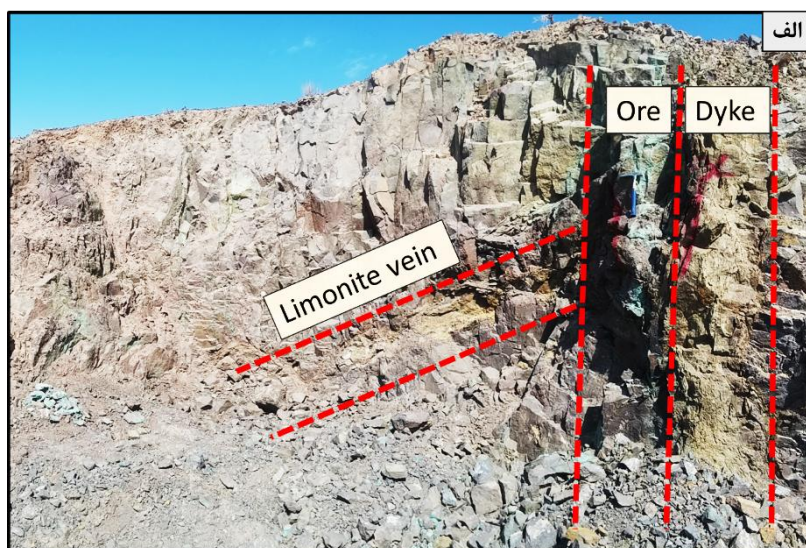


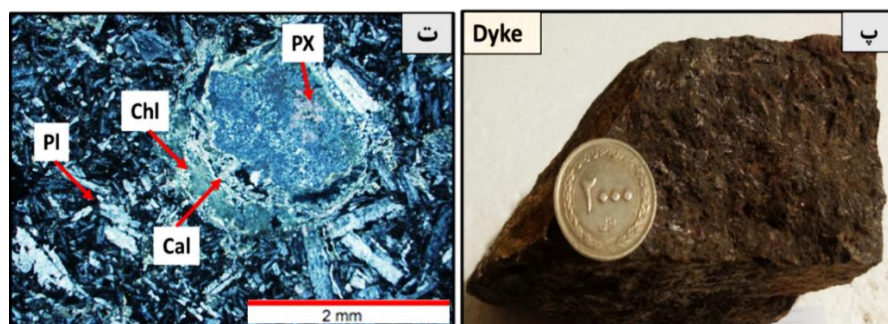
شکل ۳-۶-الف- تصویر صحرایی از مرز گدازه با ترکیب آندزیت- بازالتی، توف (بازالتی و آندزیتی) و هماتیت که در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است (دید به سمت جنوب). ب- عکس نمونه دستی توف به رنگ قهوه‌ای تا قرمز پ- تصویر میکروسکوپی از نمونه مقطع کریستال لیتیک توف که قطعات لیتیک در آن مشخص شده است (در نور ppl) ت- عکس نمونه دستی آگلومرا در منطقه به رنگ قهوه‌ای تا قرمز ث- تصویر میکروسکوپی از نمونه توف که حاوی تجمعات کوارتز (Qz) با دیواره‌ای از آراگونیت (Arg) (مطالعه با نور ppl). (Siivola and Schmid, 1983)

۳-۲-۳- دایک دیابازی

واحدهای گدازه و آذرآواری توسط یک دایک دیابازی با روند شمال شرقی- جنوب غربی قطع شده است. این دایک دارای طول بیش از یک کیلومتر و عرض حدود ۱ متر است. رخداد کانه‌زایی به صورت شکافه پرکن در

طرفین دایک و در طول آن صورت گرفته است. رنگ سبز در نمونه دستی و حضور سازنده‌های پلاژیوکلاز با شکل تیغه‌ای و پیروکسن هم‌بعد از ویژگی‌های این سنگ است. دگرسانی شدید در این سنگ و حضور کانی‌های ثانویه کلسیت، سیریسیت و کلریت در زیر میکروسکوپ از دیگر خصوصیت این واحد سنگی می‌باشد (شکل ۳-۷). در منطقه قیصری این دایک دیابازی به‌عنوان یک کلید اکتشافی محسوب می‌شود. در بخش جنوب و جنوب-غرب نقشه که توسط آبرفت پوشیده شده نیز دایک به همراه کانه‌زایی مس قابل تعقیب می‌باشد.





شکل ۳-۷-الف-ب- تصویر صحرایی از دایک دیابازی با روند شمال شرقی- جنوب غربی که رگه- رگچه های کانه دار در اطراف آن قابل مشاهده هستند. (دید به سمت شمال). پ- تصویر نمونه دستی از دایک به رنگ سبز دارای پلاژیوکلاز بصورت شکل دار و نیمه شکل دار. ت- تصویر میکروسکوپی از نمونه دایک دارای کانی های پلاژیوکلاز (Pl)، و رگچه ی کلسیتی (Cal)، و پیروکسن که کلریتی شده است. (Siivola and Schmid, 1983)

۴-۲-۳- کواترنری

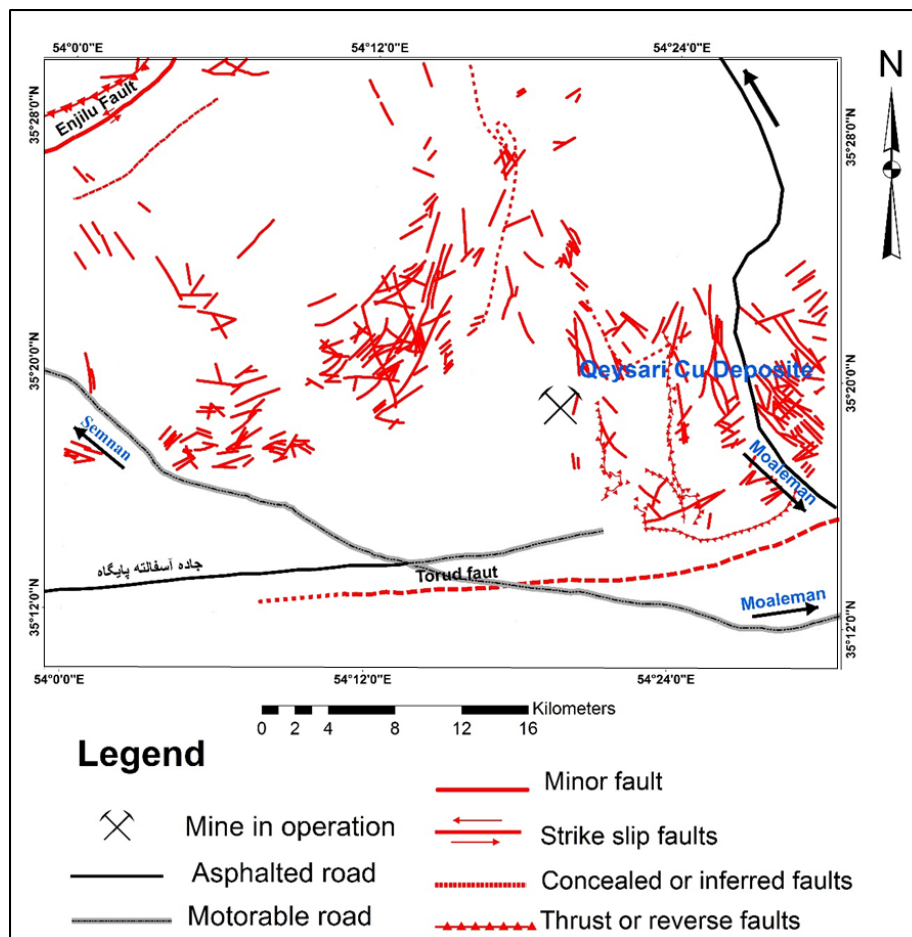
رسوبات عهد حاضر

واحدهای میزبان کانه زایی در دامنه ها و دشت مجاور توسط رسوبات کواترنری (Q^t) پوشیده شده اند. جنس قطعات تشکیل دهنده آن ها مشابه سنگ های بالادست و اساساً "گدازه های بازالتی، آندزیتی و آذرآواری و در بخش های آهک و دولومیت به رنگ روشن (منشاء گرفته از واحدهای دگرگونی قدیمی تر) هستند که به سمت دشت از اندازه ذرات کاسته می شود. رسوبات، خیلی جوان شامل نهشته های آبرفتی بستر رودخانه ها هستند که از قطعات شن، ماسه و قلوه سنگ به صورت منفصل تشکیل شده اند (Q^{al}).

۳-۳- زمین شناسی ساختمانی منطقه مس قیصری

همانطور که قبلاً ذکر شد، ناحیه مورد مطالعه ویژگی های مربوط به ایران مرکزی و نوار تروود- چاه شیرین را دارا می باشد که بیشترین رخنمون سنگی آن را گدازه های زیردریایی دوران سوم تشکیل داده اند. برآمدگی رشته کوه تروود- چاه شیرین تحت تاثیر عملکرد دو گسل اصلی تروود در جنوب و انجیلو در شمال با عملکرد چپ بر حاصل شده است. سازوکار این دو گسل سبب ایجاد گسل های کوچکتر با دو روند شمال شرقی- جنوب غربی و شمال- غربی- جنوب شرقی در داخل این رشته کوه شده است (شکل ۳-۸). منطقه مورد مطالعه به لحاظ تکتونیکی فعال

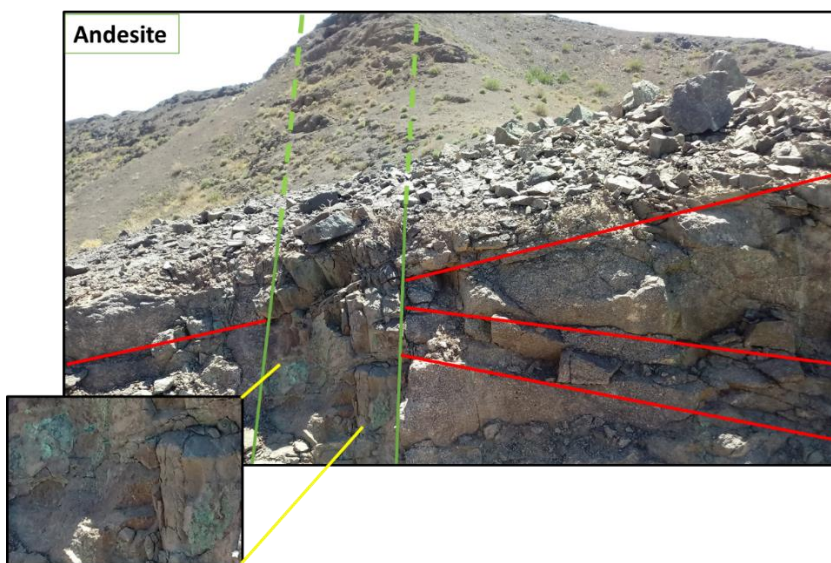
و دارای گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های فراوان می‌باشد که زمین ریخت‌شناسی منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. چندین گسل فرعی نیز دیده می‌شود که این گسل‌ها ارتباط چندانی با کانه‌زایی ندارند (شکل ۳-۹). کانه-زایی بصورت پرکننده درزه‌ها و شکاف‌ها در حاشیه دایک توسعه یافته است. لذا می‌توان گفت گسل کنترل کننده نفوذ ماگما و تشکیل دایک و دایک عامل اصلی کانه‌زایی (عامل حرارتی) و درزه و شکاف موجود در سنگ میزبان، نقش تمرکز دهنده ماده معدنی داشته‌اند (شکل ۳-۱۰). سه سیستم گسلی در منطقه قیصری قابل تشخیص است و شامل گسل‌های با روند شمالی- جنوبی و شمال‌شرقی- جنوب‌غربی گسل‌هایی هستند که بیشترین کانی‌زایی در امتداد آن‌ها رخ داده است. گسل‌هایی با روند شمال‌غربی- جنوب‌شرقی در منطقه معدنی از اهمیت کمتری برخوردار هستند. سیستم اصلی و غالب در محدوده قیصری شمال‌شرقی- جنوب‌غربی بوده که از روند عمومی منطقه تبعیت می‌کنند و گسل‌های با روند شمال‌غرب- جنوب‌شرق در الویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. عامل کنترل کننده کانه‌زایی در این محدوده دایک دیابازی با روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی است که تابع گسل‌های با این روند بوده است. در محدوده مس قیصری نیز گسل‌هایی با این روند مشاهده می‌شوند. در شکل ۳-۱۱ دیاگرام گل سرخی گسل‌های محدوده نشان داده شده است براساس مطالعات صحرایی صورت گرفته تعداد ۳۹ گسل برداشت شد که از این تعداد ۲۷ گسل همراه با کانه‌زایی و ۱۲ گسل فاقد کانه‌زایی بودند. روند گسل‌های همراه کانه‌زایی بیشتر شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و شمال‌غربی- جنوب‌شرقی که با روند اصلی دایک (شمال‌شرقی- جنوب‌غربی) مطابقت دارد (مراجعه به پیوست ۴). در شکل ۳-۱۲- الف- ب دیاگرام گل سرخی از گسل‌هایی که دارای کانه‌زایی و فاقد کانه‌زایی می‌باشند را نشان می‌دهند.



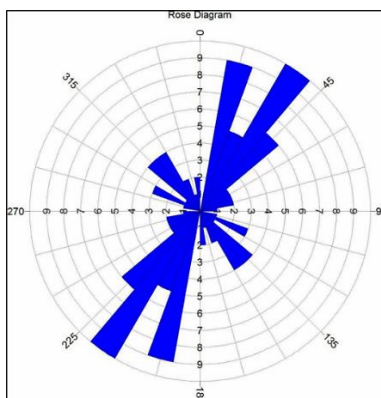
شکل ۳-۸: نقشه گسل‌های موجود در منطقه مورد مطالعه بر گرفته از نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳).



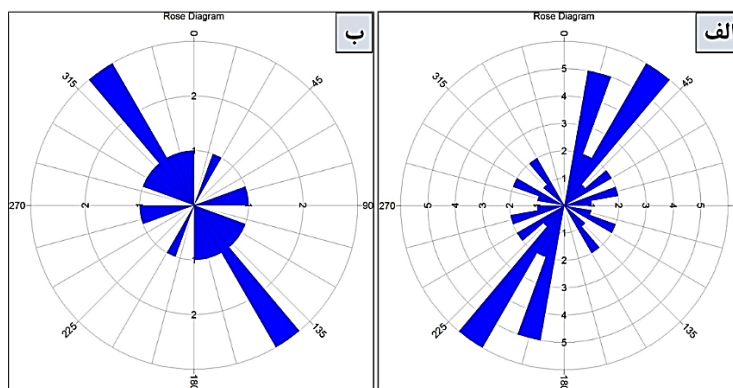
شکل ۳-۹: تصویر صحرایی از چند گسل موازی هم که آثار کانه‌زایی در آن‌ها مشاهده نشده یا مقدار آن بسیار ناچیز است (دید به سمت شمال).



شکل ۳-۱۰: تصویر صحرایی از دایک دیابازی در امتداد گسل‌ها که دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی که دارای ماده معدنی می‌باشد (دید به سمت شمال).



شکل ۳-۱۱- نمودار گل سرخی فراوانی گسل در منطقه معدنی قیصری.



۳-۱۲- نمودار گل سرخی از گسل‌هایی که دارای (الف) کانه‌زایی و (ب) فاقد کانه‌زایی می‌باشند

فصل چهارم

دکرسانی و کانه زایی

۴-۱- مقدمه

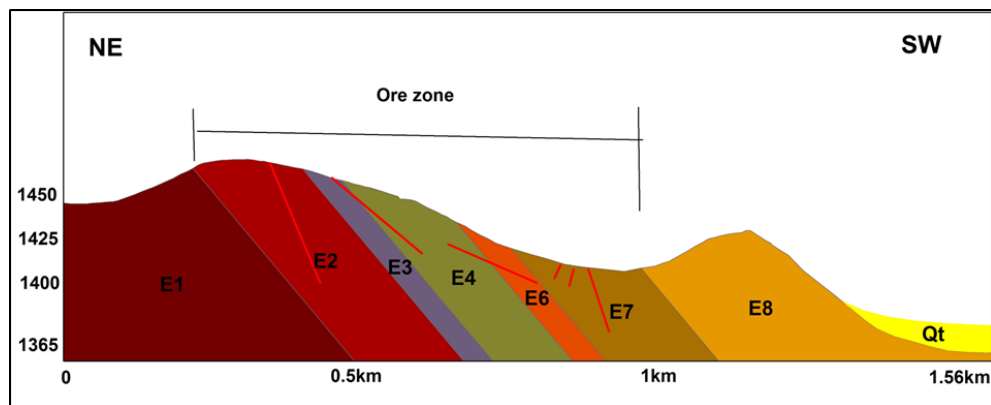
محدوده معدنی مس قیصری در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران رخنمون دارد. در این منطقه به دلیل فعالیت های گسترده ماگمایی- آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی صورت گرفته در ائوسن و الیگوسن، کانه‌زایی‌های مختلفی از عناصر مس، سرب، روی، منگنز، آهن و طلا رخ داده است. از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان به کانسار آهن (مس و طلا) و کانسار مس (طلا) رباعی و کانسار مس (سرب، روی) چاه‌موسی (امام جمعه، ۱۳۸۵) کانسار مس چاه‌گله (طالع ماسوله، ۱۳۸۹)، کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران (پورشعبان و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار پلی‌متال چشمه حافظ (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار آهن لجنه (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار سرب- نقره (روی) خانجار (مهری، ۱۳۷۷)، کانسار مس علی نرخه (شاهوردی، ۱۳۸۹) و کانسار منگنز ربیعی (باقرزاده، ۱۳۹۳) اشاره کرد. در این فصل ابتدا به دگرسانی‌های موجود در محدوده اکتشافی مس قیصری و سپس فرآیند کانی‌زایی در منطقه بحث خواهند شد.

۴-۲- کانه‌زایی مس در محدوده قیصری

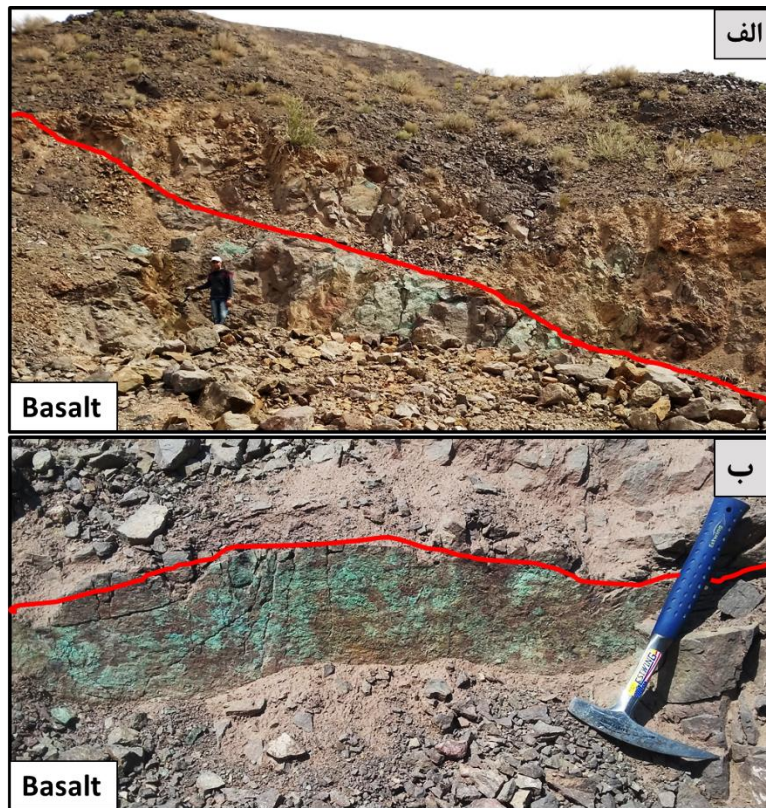
براساس مطالعات انجام شده بر روی کانسار مورد مطالعه می‌توان گفت سنگ‌های میزبان نفوذپذیر (توف‌ها، آگلومراها) و شکستگی‌ها و گسل‌های حاصل از فعالیت‌های تکتونیکی پارامترهای ساختاری مهم در تشکیل کانه-زایی منطقه هستند. ایجاد چرخه هیدروترمالی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها و همچنین فضای متخلخل سنگ‌های آذرآواری سبب دگرسانی و تجزیه کانی‌های اولیه و تشکیل کانی‌های ثانویه‌ای مثل سریسیت، کلریت، کلسیت و غیره شده است. در ضمن این فرآیند عناصر فلزی (به‌خصوص مس) موجود در مسیر مهاجرت نموده و در فضای شکستگی‌ها و فضای بین دانه‌ای سنگ‌های میزبان تجمع یافته‌اند. بطور کلی می‌توان ۴ عامل زیر را در فرآیند کانه‌زایی متصور شد: ۱- ماهیت ژئوشیمیایی سنگ منشا (گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری) تامین کننده فلزات کانه‌ساز بوده‌اند. ۲- ساختارهای گسلی و درزه و شکاف‌ها که مسیر مهاجرت و همچنین تجمع ماده معدنی را فراهم کرده‌اند. ۳- محلول‌های هیدروترمالی که عامل اصلی مهاجرت هستند و ممکن است دو منشا

ماگمایی که از طریق دایک دیابازی تامین شده و آبهای جوی که از امتداد و گسل‌ها و شکستگی‌ها به بخش‌های عمیق‌تر نفوذ کرده‌اند. ۴- حضور توده‌های نفوذی که در منطقه مورد نظر به صورت دایک حضور پیدا کرده و به عنوان منبع حرارتی یا موتور حرارتی و گرم کردن آبهای جوی عمل کرده است. این کنترل کننده‌های کانی‌سازی به عنوان فاکتور اساسی در قابلیت نقل و انتقال محلول‌های گرمایی چه در مقیاس ناحیه‌ای و چه در مقیاس معدنی عمل می‌نمایند و باعث تمرکز و تجمع سیالات کانه‌دار شده تا فرصتی برای رخداد و ته‌نشست ایجاد نمایند. ارتباط تنگاتنگ تمرکزهای اقتصادی ماده معدنی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، فرضیه ایجاد فضای خالی توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها را تقویت می‌کند. سنگ‌های دربرگیرنده کانه‌زایی شامل مجموعه گدازه‌ای با ترکیب (آندزیت، بازالت) و پیروکلاستیکی (توف، لیتیک توف، آگلومرا) و دایک هستند، که با روند شمال شرقی- جنوب غربی گسترش طولی زیاد و ضخامت نسبتاً کم دارند و همراه با درز و شکاف و شکستگی‌های فراوان رخ داده است که نشانگر وضعیت شکافه‌پرکن و اپی‌ژنتیک کانه‌زایی است. (شکل ۴-۱) مطابق مشاهدات صحرایی، نقشه و پروفیل زمین‌شناسی، مشخص شد که تمرکز ماده معدنی عمدتاً به گسل‌ها و درزه و شکاف‌های موجود در سنگ میزبان محدود می‌گردد. شیب و روند رگه‌های حاوی ماده معدنی در محدوده قیصری همچنین کانسارهای پلی متال طلا، سرب و روی چشمه‌حافظ (محرابی و همکاران، ۲۰۱۲)، گندی، باغو و مس چاه‌موسی (کی‌نژاد، ۱۳۸۹)، مس چاه‌گله (طالع ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار پلی‌متال مس، سرب و روی قله کفتران (موسوی‌نقابی، ۱۳۸۸) و تعداد زیادی از کانسارهای دیگر با گسل تروود و انجیلو هم‌خوانی دارند که نشان‌دهنده نقش عملکرد آن‌ها در ایجاد گسل‌های منطقه و کنترل کانه‌زایی در طول نوار می‌باشد. در سیالات گرمایی ساختارهای گسلی نقش مهمی جهت چرخش این سیالات و تمرکز مواد معدنی در محل مناسب دارند (Haldar et al, 2012). با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی کانه‌زایی عمدتاً "به دو صورت رگه- رگچه‌ای و به صورت پرکننده حفرات و فضاهای خالی بین دانه‌ای در واحدهای آندزیت، بازالت و آندزیت- بازالت رخ داده است. در بیشتر موارد کانه‌زایی در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها به طور وسیعی ادامه یافته خلل و فرج سنگ‌ها، درزه و شکاف‌هایی که در جهات مختلف سنگ میزبان را قطع کرده‌اند به صورت شبکه‌ای نامنظم ولی

متراکم، فضای مناسب برای ورود محلول‌های کانی‌ساز را فراهم کرده است. کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه بعد از انسجام سنگ‌های در برگیرنده، به صورت یک باند متقاطع با سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای با روند NE-SW و همراه با درزه و شکستگی‌های فراوان رخ داده است. (شکل ۴-۲- الف - ب). شکستگی‌ها گسل خوردگی‌های شدید نقش موثری در جریان محلول‌های کانی‌سازی داشته و ماده معدنی ضعیفی را در خود جای داده است در واحدهای میزبان مجاور دایک و در بعضی شکستگی‌های داخل خود دایک ته‌نشست کرده است. تصویر صحرایی دایک دیابازی در مجاورت با میزبان آذرآواری شامل توف، آگلومرا را نشان می‌دهد که دایک توسط یک گسل هرچند کوچک ولی اثر گذار با سازوکار چپ‌گرد و مقدار کمی جابجایی مشاهده می‌شود لازم به‌ذکر است که از این نوع گسل با این روند تعداد فراوانی در بخش‌های دیگر کانسار مشاهده می‌شود که در امتداد برخی از آن‌ها کانه‌زایی صورت گرفته است (شکل ۴-۳). شکل ۴-۴، محل تقاطع دو گسل A و B که گسل A با راستای شمال‌غرب- جنوب‌شرق و شیب ۷۲ درجه و جهت شیب NE و گسل B با راستای شمال- شرق- جنوب‌غرب و شیب ۷۵ درجه و جهت شیب SE که این گسل دارای کانه‌زایی می‌باشد را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱- پروفیل منطقه معدنی قیصری براساس نقشه بزرگ مقیاس.

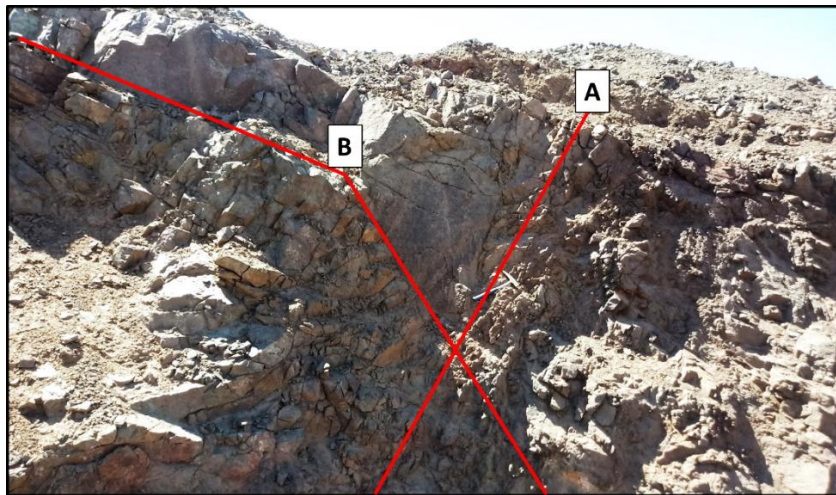


شکل ۴-۲- الف- ب- کانی‌زایی، به صورت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها در مرز سنگ‌های آذرآواری و گدازه‌ای.



شکل ۴-۳- تصویر صحرایی از گسل با روند شمال غربی- جنوب شرقی در مجاورت با میزبان آذرآواری که باعث جابجایی دایک

دیابازی شده است.



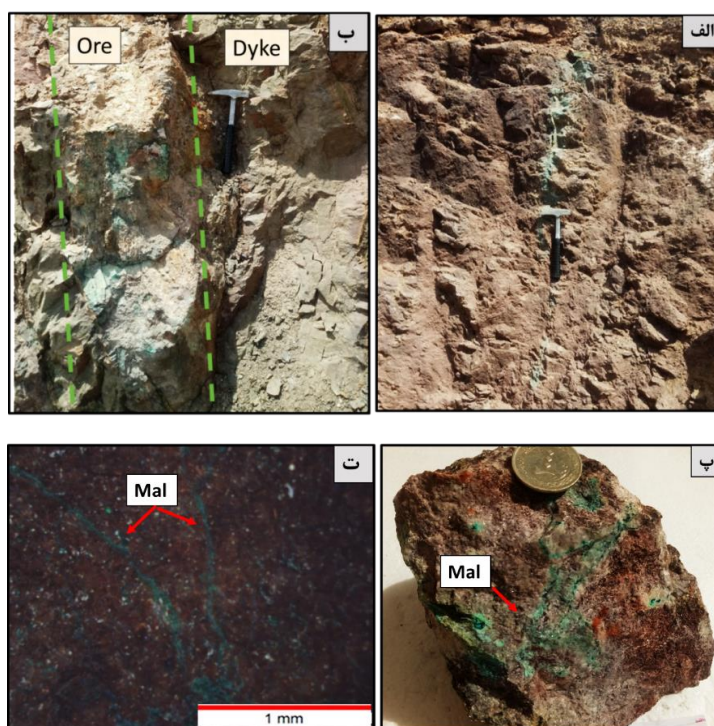
شکل ۴-۴ الف- تصویر صحرایی از گسل‌های مزدوج ، با روند شمال غرب- جنوب شرق و شمال شرق- جنوب غرب که همدیگر را قطع کرده‌اند.

بر اساس مطالعات صحرایی و میکروسکوپی در مناطق مورد مطالعه، کانه‌زائی به دو صورت وجود دارد که عبارتند از:

- ۱- کانه‌زائی رگه‌ای و رگه -رگچه‌های که عمدتاً در داخل واحد گدازه‌های زیردریایی تشکیل شده‌اند.
 - ۲- کانه‌زائی پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌ای یا حفرات آمیگدالوئیدال و در واحد آذرآواری دیده شده است.
- کانه‌زائی رگه‌ای در ارتباط با زون‌های گسله و درزه و شکستگی‌ها دیده می‌شود. بخش قابل توجهی از کانه‌زائی در داخل درزه‌ها و شکاف‌ها به صورت شکافه پرکن در طول صفحات گسلی و شکستگی‌ها و به صورت رگه‌ای در سنگ‌های میزبان گدازه‌ای رخ داده است. (شکل ۴-۵). ساخت رگه- رگچه‌ای و بافت شکافه پرکن، در نمونه صحرایی و نمونه دستی و همچنین میکروسکوپی مشاهده می‌شود (شکل ۴-۶ الف- ب- پ- ت). زون‌های گسله در منطقه مورد مطالعه روندهای شمالی- جنوبی و شمال شرقی- جنوب غربی بوده، ولی روند اصلی این گسل‌ها شمال شرقی- جنوب غربی با شیب حدود ۷۰ درجه به سمت جنوب شرق می‌باشد.

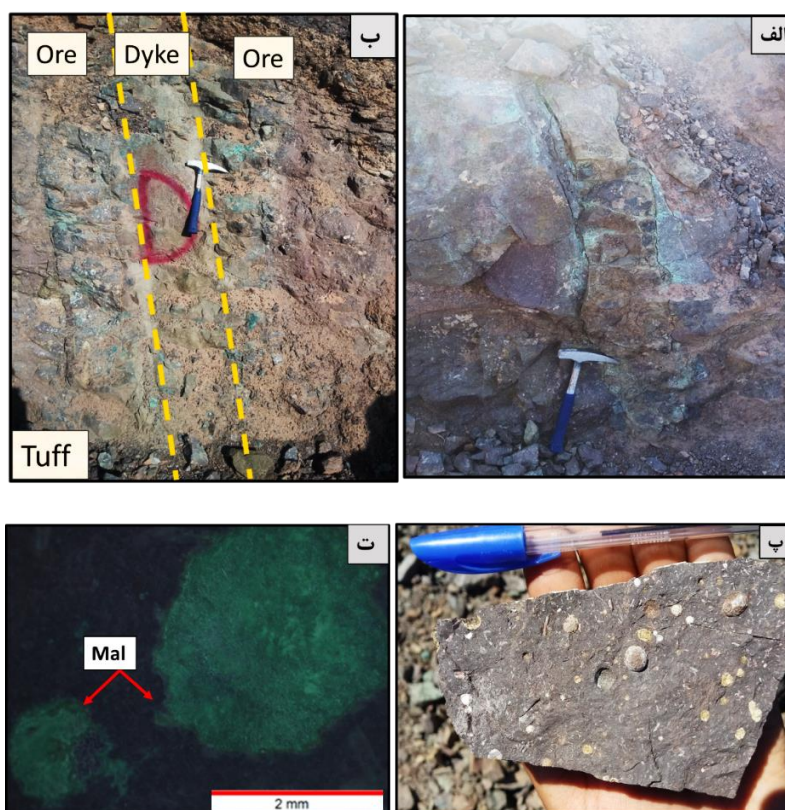


شکل ۴-۵- تصویر صحرایی از زون گسلی که بصورت قائم و کان‌زایی رگه‌ای مس .



شکل ۴-۶- الف- ب- تصویر صحرایی کان‌زایی رگه- رگچه‌ای در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها به طور وسیعی ادامه یافته خلل و فرج سنگ‌ها، درزه و شکاف‌ها را پر کرده است. پ- تصویر نمونه دستی از ساخت رگچه‌ای، کانی مالاکیت به صورت ساخت شکافه پرکن درزه و شکاف‌های سنگ میزبان را پر کرده‌اند. ت- تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های کان‌دار که به فضای کانی هماتیت وارد شده است.

-کانی‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی بین دانه‌ای طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی این نوع کانه‌زایی در سنگ‌های آذرآواری گسترش دارند. توف و آگلومراها بدلیل حفره و خلل و فرج، تخلخل و نفوذپذیری فراوان فضای مناسب را جهت نفوذ محلول‌های گرمابی فراهم آورده است و در نتیجه فرآیند کانه‌زایی و دگرسانی در این واحد تشدید یافته است (شکل ۴-۷-الف-ب). نمونه سنگ بازالت در آن حفرات آمیگدال به خوبی قابل مشاهده می‌باشد بنابراین کانه‌زایی به وسیله محلول کانه‌دار با پرکردن فضاها و حفره‌های خالی داخل سنگ‌ها به صورت اپی‌ژنتیک صورت گیرد (شکل ۴-۷-پ). تصویر میکروسکوپی از بافت پرکننده حفرات توسط ملاکیت (شکل ۴-۶-ت)، را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷-الف-ب- تصویر صحرایی کانه‌زایی به صورت پر کننده فضاهای خالی در واحد آذرآواری. پ- تصویر نمونه دستی از نمونه سنگ بازالت که حفرات آن توسط کلسیت پر شده است و بافت آمیگدالوئید را نشان می‌دهد. ت- تصویر میکروسکوپی از بافت پرکننده حفرات توسط ملاکیت.

۴-۳- دگرسانی

به طور کلی، هر گونه تغییر ترکیب کانی‌شناسی، شیمیایی و فیزیکی که توسط فرآیندهای گرمایی، در سنگ ایجاد می‌شود، تحت عنوان دگرسانی یا آلتراسیون نامیده می‌شود. دگرسانی می‌تواند در طی فرآیند سنگ‌شدگی یا دیاژنز رسوبات، در فرآیندهای ناحیه‌ای نظیر دگرگونی و نیز فعالیت‌های بعد از ماگماتیسم یا ولکانیسم و همچنین به عنوان فرآورده‌های حاصل از کانی‌سازی ظاهر شود (گیلبرت و پارک، ۱۳۷۸). دگرسانی‌ها را براساس منشاء سیالات می‌توان به دو بخش اصلی تقسیم کرد: درونزاد و برونزاد. دگرسانی درونزاد توسط سیالات گرمایی بالارونده ایجاد می‌گردد، در حالی که دگرسانی برونزاد در نتیجه واکنش آب‌های فرورو با سنگ‌های کانی‌سازی شده قبلی ایجاد می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۸۲). دگرسانی، به طور شاخص یک فرآیند آبشست پایه است که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود.

۴-۳-۱- اهمیت و کاربرد دگرسانی‌ها

محصولات و فرآیندهای دگرسانی که همراه کانه‌زایی وجود دارند، یکی از بنیان‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است و باعث پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1994). دگرسانی ساده‌ترین، ارزان‌ترین و مناسب‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. در دو مرحله از اکتشاف می‌توان از دگرسانی‌ها کمک گرفت: اول برای پیدا کردن محل مناسب برای وجود یک ذخیره معدنی قبل از شروع عملیات صحرایی و دوم در مرحله بازدیدهای صحرایی برای تخمین نوع کانی‌سازی، گسترش، شدت و مرکز کانی‌سازی. در مرحله اول برای یافتن دگرسانی‌ها در یک منطقه وسیع معمولاً نمی‌توان از نقشه‌های کوچک مقیاس استفاده نمود، زیرا در اکثر آن‌ها دگرسانی‌ها تفکیک نشده و یا از دقت لازم برای تفکیک برخوردار نیست. یکی از روش‌های مناسب برای پیدا کردن دگرسانی‌ها، کمک گرفتن از پردازش داده‌های ماهواره‌ای است. شناسایی مناطق دگرسانی که احتمالاً از نظر ژنتیکی مرتبط با ذخایر معدنی باشند، گام مهمی به پی-

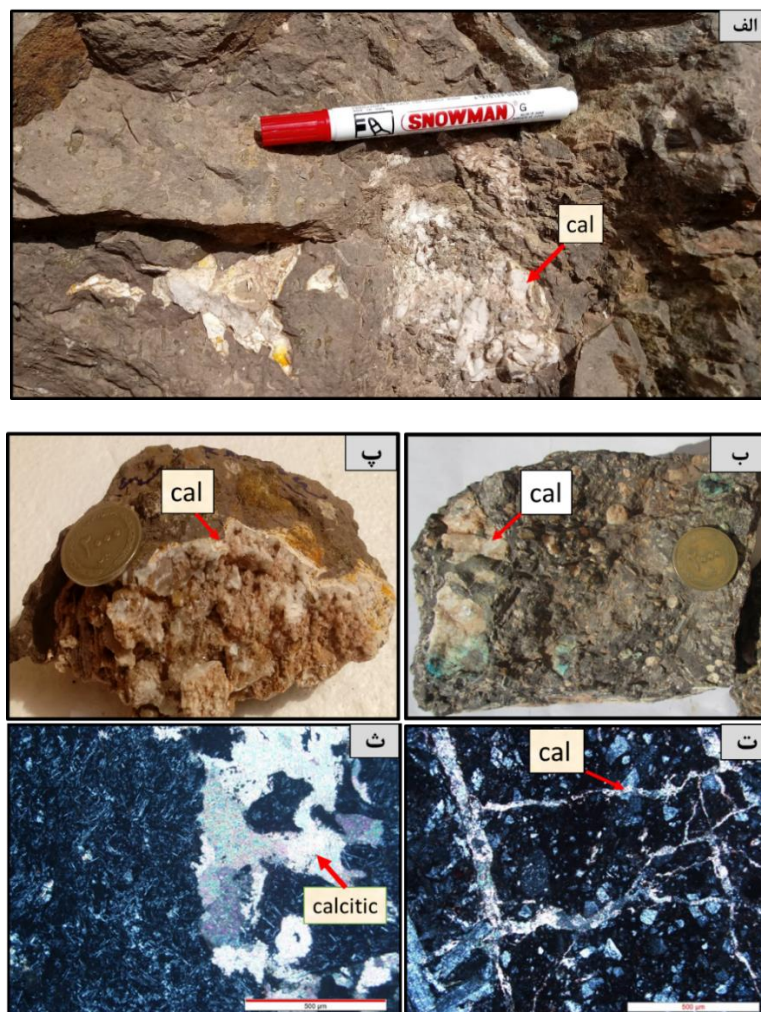
جویی ذخایر است (Gifkins et al., 2005).

۴-۳-۲- دگرسانی‌های موجود در منطقه

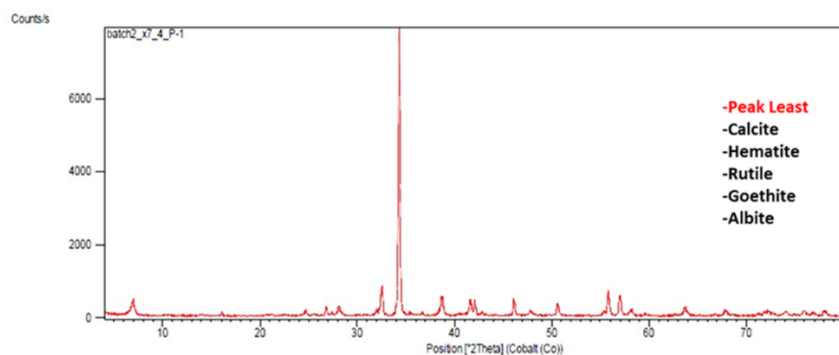
کانی‌های معرف دگرسانی در منطقه شامل کلریت، سربیسیت-کلسیت، کوارتز، کانی‌های رسی و اکسید آهن (لیمونیت، هماتیت) هستند که معرف دگرسانی‌های کلریتی، سربیسیتی، سیلیسی، آرژیلیتی و کربناتی و اکسیدهای آهن می‌باشند. برای مشخص کردن دگرسانی‌های منطقه قیصری نمونه‌هایی از بخش‌های دگرسان کانسار برداشته و مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و سپس مورد مطالعه کانی‌شناسی قرار گرفت. همچنین تعدادی از نمونه‌ها برای مشخص کردن دقیق کانی‌های معرف دگرسانی مورد آنالیز پراش اشعه ایکس قرار گرفتند.

۴-۳-۱- دگرسانی کربناتی

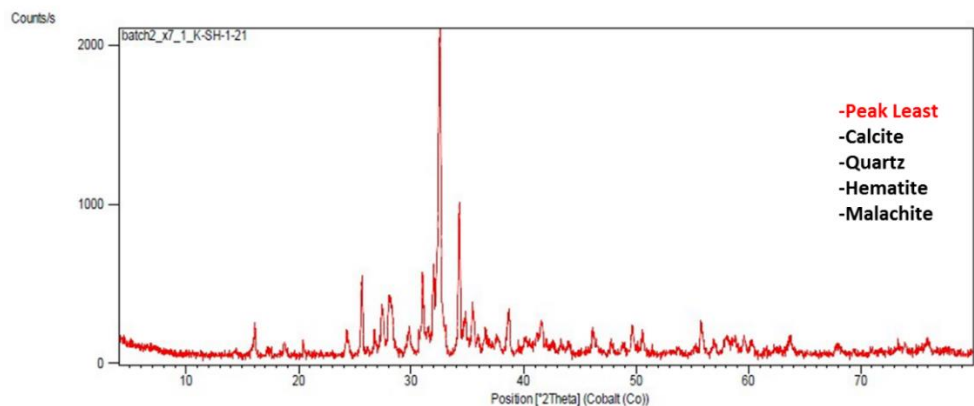
این دگرسانی نتیجه تاثیر سیالات غنی از بی‌کربنات با سنگ دیواره است. دگرسانی کربناتی از انواع دگرسانی‌هایی است که در دمایی پایین رخ می‌دهد (Serlika and Maeich Like, 2005). این دگرسانی با حضور کانی کلسیت، آراگونیت و دولومیت در پهنه‌های دگرسانی مشاهده می‌شود. کلسیم آزاد شده از دگرسانی سیلیکات‌های کلسیم‌دار پلاژیوکلازها با آنیون بی‌کربنات محیط ترکیب و کانی‌های کربنات کلسیم (کلسیت و آراگونیت) و با حضور منیزیم تشکیل دولومیت را می‌دهد. همچنین این کانی در دماهای متفاوت کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی‌گراد تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد و در شرایط pH خنثی تا قلیایی پایدار است (White., 1995). Hedenquist در منطقه مورد مطالعه کربناتی شدن عمدتاً با وجود رگه -رگچه‌های فراوان کلسیت در امتداد شکستگی‌ها و همراه با ماده معدنی نمود دارد (شکل ۴-۸). دگرسانی کربناتی همچنین در آنالیز XRD نیز با کانی کلسیت مشخص گردیده است (شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰). منشأ کلسیم می‌تواند از سیالات گرمابی و همچنین از پلاژیوکلازهای متن سنگ باشد. نوع کانی‌های کربناته تابعی از ترکیب شیمیایی سنگ میزبان می‌باشد.



شکل ۴-۸- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کربناتی منطقه مورد مطالعه. ب و پ- عکس نمونه دستی از کلسیت ثانویه بصورت پر کننده فضای خالی در کانسار مورد مطالعه و ایجاد بافت آمیگدالوئیدال. ت- رگه-رگچه‌های متقاطع کلسیتی معرف کلسیت ثانویه و دگرسانی کربناته. ث- حضور کوارتز به صورت پرکننده فضای خالی و معرف دگرسانی سیلیسی.



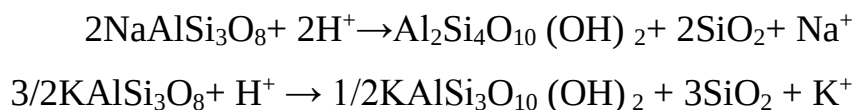
شکل ۴-۹- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه بازالت در کانسار مس قیصری. بیانگر دگرسانی کربناتی، هماتیتی است که با کانی‌های کلسیت، هماتیت، روتیل، گوتیت، آلبیت مشخص می‌شود.



شکل ۴-۱۰- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه دایک، مربوط به شناسایی کانی‌های آلبیت، کلسیت، کوارتز، اورتوکلاز، هماتیت، مالاکیت که بیانگر دگرسانی کربناتی، سیلیسی می‌باشد.

۴-۳-۲- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمایی است که در اثر افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال و کلسدون) در سنگ همراه می‌باشد (نجف‌زاده و همکاران، ۱۳۹۰). در هاله‌های دگرسانی همراه با بسیاری از انواع ذخایر معدنی، این نوع دگرسانی گسترش محدودی داشته و مقدار اندکی Si تشکیل می‌شود:

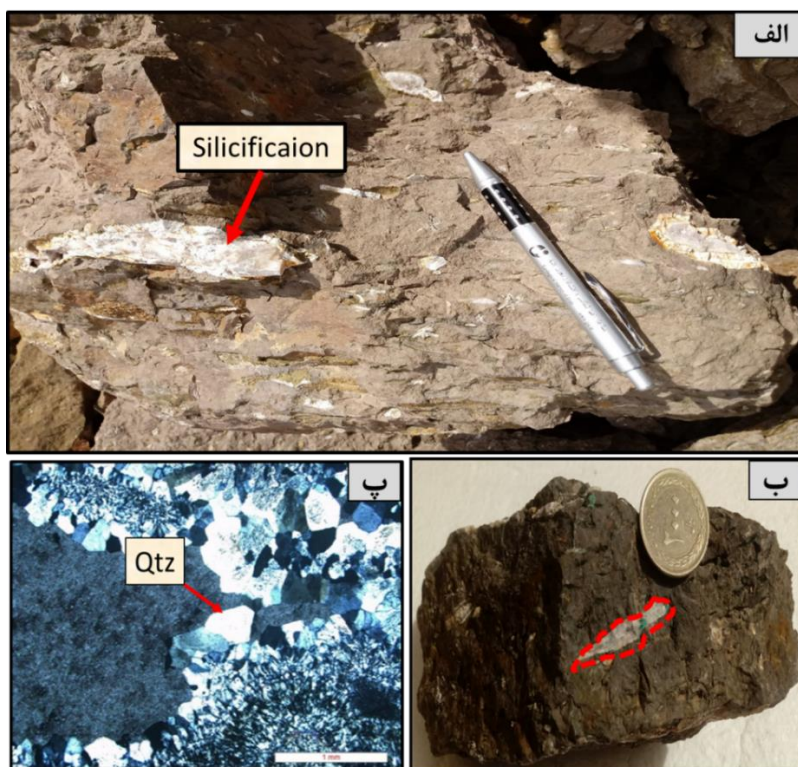


سیلیسی شدن به دو طریق صورت می‌گیرد:

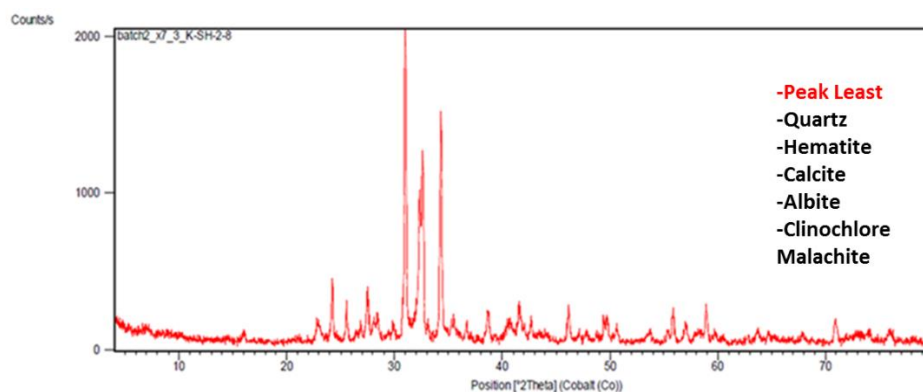
الف) اضافه شدن سیلیس به سنگ، توسط محلول‌های ماگمایی و یا گرمایی غنی از سیلیس

ب) افزایش میزان سیلیس در سنگ به دلیل تجزیه سیلیکات‌های موجود در سنگ. در بیشتر کانسارهای گرمایی فلزات قیمتی، دگرسانی سیلیسی اغلب بصورت نهان بلور (کریپتوکریستالین) دیده می‌شود که اصطلاحاً به آن ژاسپروئید می‌گویند. در منطقه مورد مطالعه این دگرسانی به طور گسترده رگه‌ای و یا فضا‌های خالی نظیر درزه، شکاف‌ها، شکستگی‌ها حفره‌ها بین قطعات یک سنگ را پر می‌کند (شکل ۴-۱۱- الف و ب). در بخش‌هایی

از سنگ دیواره بصورت پراکنده وجود دارد (شکل ۴-۱۱-پ). این نوع دگرسانی در مقاطع میکروسکوپی و همچنین در آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) بصورت کانی کوارتز مشخص گردیده است (شکل ۴-۱۲).



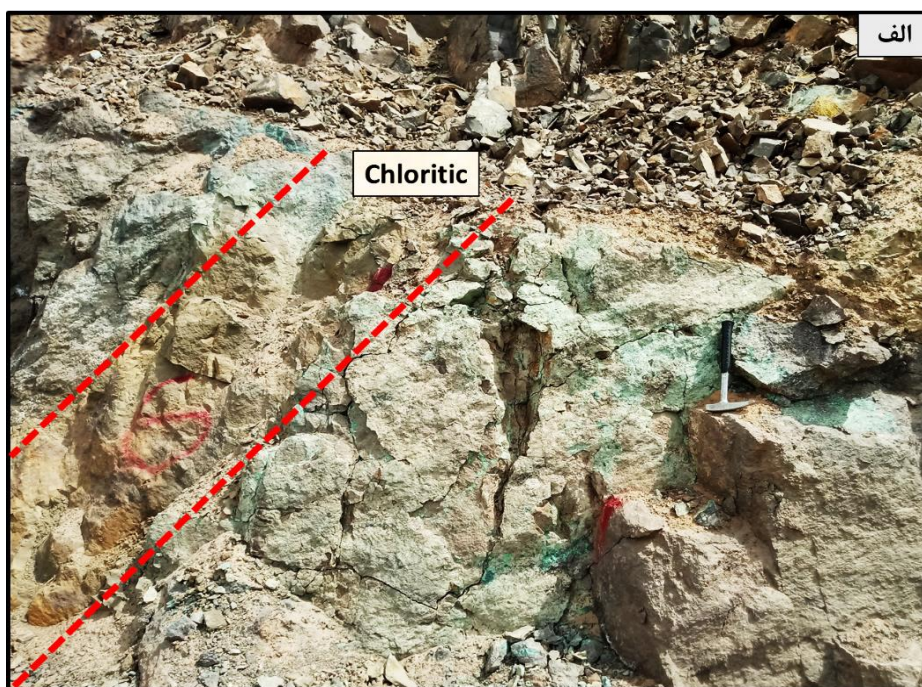
شکل ۴-۱۱-الف و ب- دگرسانی سیلیسی به صورت پراکنده در متن سنگ پ- حضور کلسیت و کوارتز بصورت ریز بلور در سنگ میزبان.

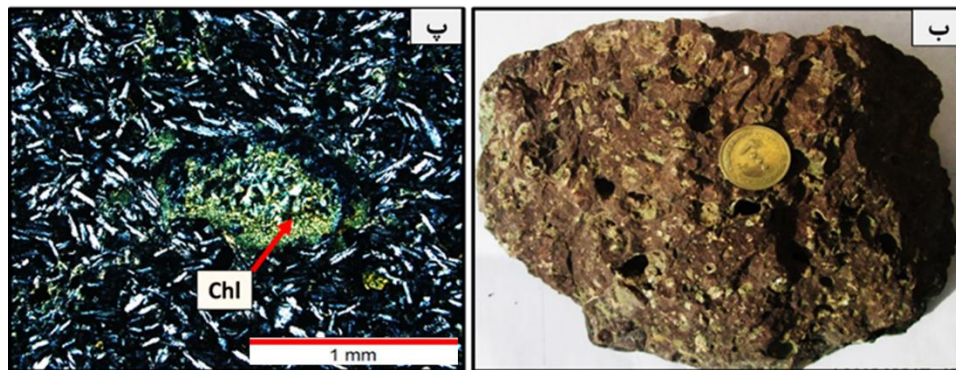


شکل ۴-۱۲- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف، مربوط به شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، اورتوکلاز، مالاکیت که بیانگر دگرسانی سیلیسی، هماتیتی، کربناتی می‌باشد.

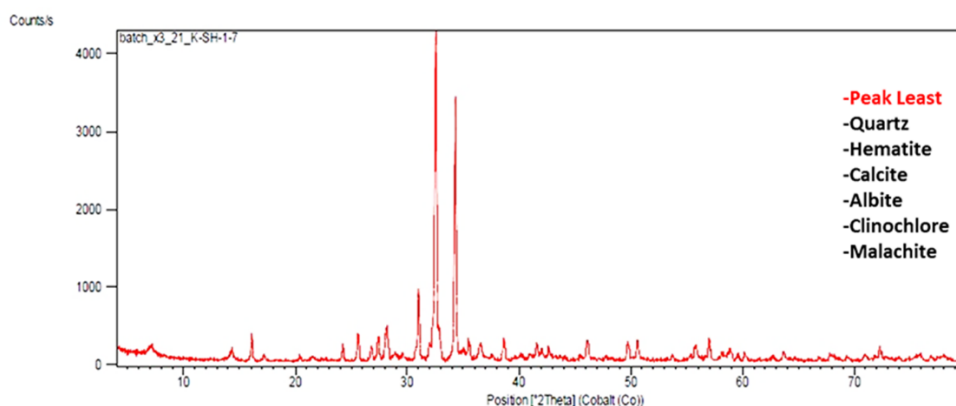
۴-۳-۲-۳- کلریتی شدن

کلریتی شدن یکی از مهم‌ترین پدیده‌هایی است که در نتیجه تأثیر محلول‌های گرمابی غنی از آهن و منیزیم بر روی سنگ‌های میزبان صورت می‌گیرد (Gill, 1981). در این دگرسانی نسبت سیال به سنگ کم است و تمایل به واکنش ایزوشیمیایی بودن دارد و در پاسخ به متاسوماتیسم H^+ تشکیل می‌شود (Earich and Herich, 2002). در بخش‌های بازالتی از منطقه مورد مطالعه که سنگ‌ها متحمل دگرسانی کلریتی شده‌اند رنگ سنگ به سبز متمایل می‌باشد (شکل ۴-۱۳-الف). در مطالعات میکروسکوپی کلریت بصورت پراکنده در متن سنگ و یا در اثر دگرسانی کلریتی کانی‌هایی از جمله پیروکسن مشاهده می‌شود (شکل ۴-۶-ب). این نوع دگرسانی در مقاطع میکروسکوپی بصورت کانی کلریت و همچنین در آنالیز XRD با کانی‌های کلینوکلر و کلریت مشخص شده است (شکل ۴-۱۴).





شکل ۴-۱۳- الف- تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی ب- عکس نمونه دستی از دگرسانی کلریتی با رنگ سبز در متن سنگ پ- تصویر میکروسکوپی از پیروکسن که دگرسانی کلریتی را نشان می‌دهد.

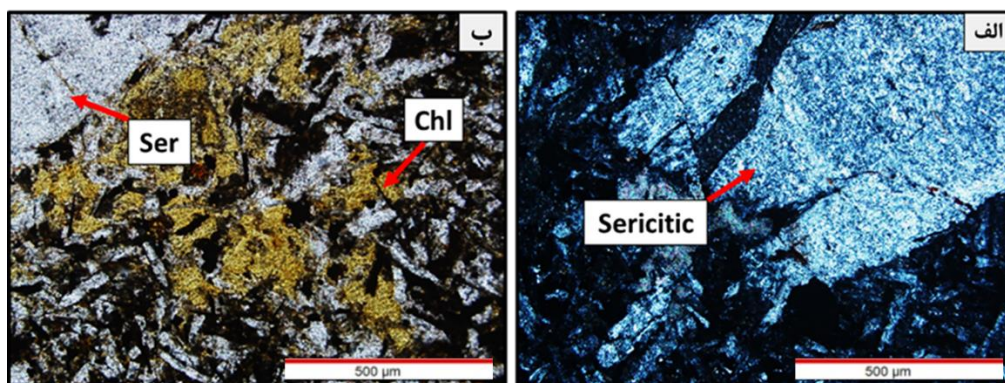


شکل ۴-۱۴- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف، مربوط به شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، کلینوکلر، مالاکیت که بیانگر دگرسانی سریسیتی، هماتیتی، کربناتی و کلریتی می‌باشد.

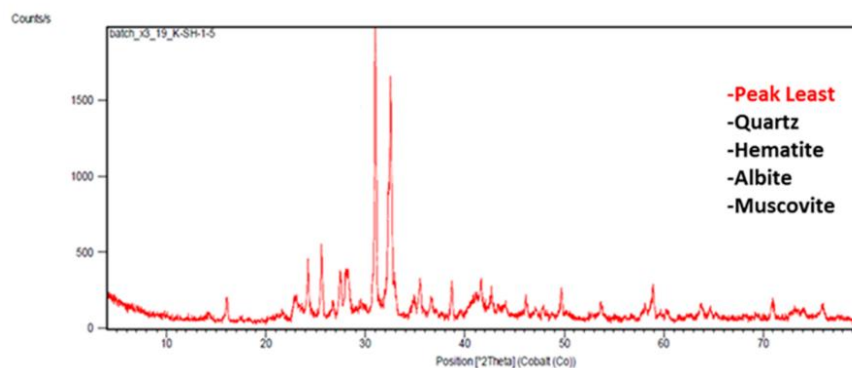
۴-۲-۳-۴- دگرسانی سریسیتی

این دگرسانی به وسیله اجتماع مسکوویت، کوارتز و مقادیری از پیریت، کلریت، ژیپس و هماتیت مشخص می‌شود (Dilly et al, 1998). سریسیت‌ها غالباً به‌طور یکنواخت رشد می‌کنند (Shelly et al, 1993). سریسیتی شدن در نتیجه هیدرولیز سیلیکات‌های آلومینیوم‌دار در داخل سنگ‌های با ترکیب حدواسط تا اسیدی با حضور کانی‌های سریسیت، کوارتز و پیریت تشکیل می‌شود. در کانسار قیصری با حضور سریسیت در زیر میکروسکوپ مشخص گردید که از تبدیل پلاژیوکلازها به سریسیت (مسکویت دانه ریز) می‌باشد (شکل ۴-۴).

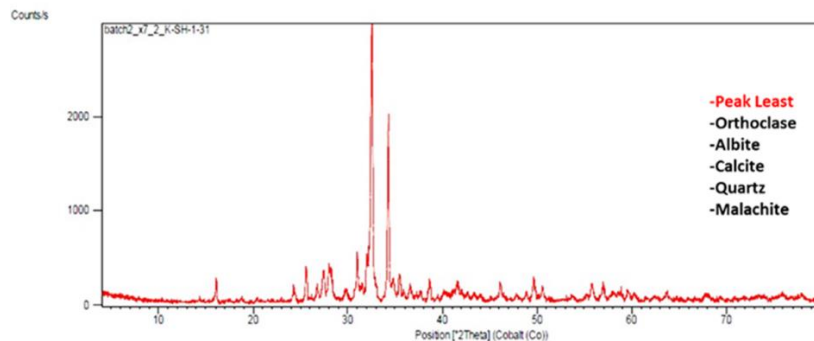
۱۵ الف-ب). دگرسانی سریسیتی منطقه در نتایج آنالیز XRD بصورت کانی مسکوویت مشخص شده است (شکل ۴-۱۶ و ۴-۱۷).



شکل ۴-۱۵ الف-تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سریسیتی که بصورت دانه ریز در متن سنگ دیده می‌شود ب-تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کلریتی - سریسیتی.



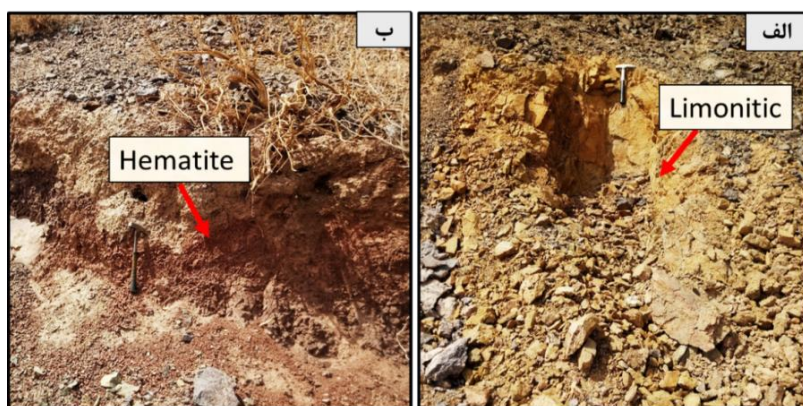
شکل ۴-۱۶ طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه آندزیت، شناسایی کانی‌های کوارتز، هماتیت، آلبیت، مسکوویت که بیانگر دگرسانی سریسیتی، هماتیتی می‌باشد.

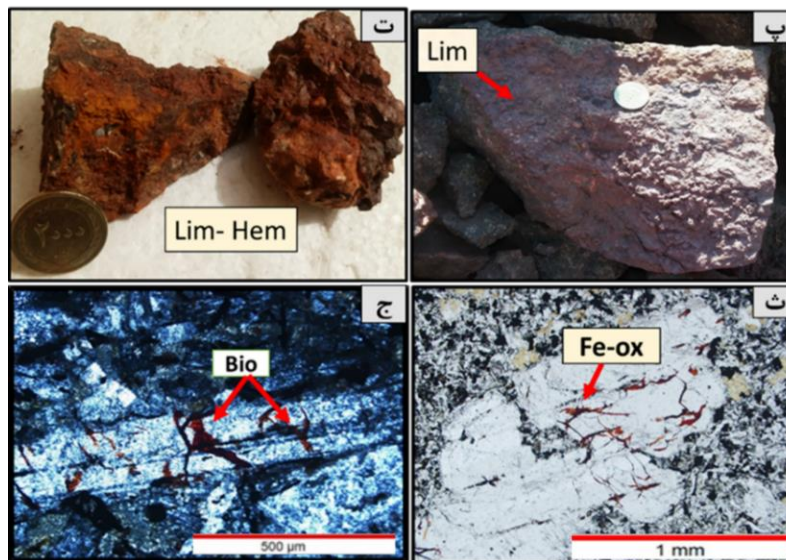


شکل ۴-۱۷- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه آندزیت، کانی‌های اورتوکلاز، آلبیت، کلسیت، کوارتز، ملاکیت که نشان دهنده دگرسانی کربناتی و سریسیتی می‌باشد.

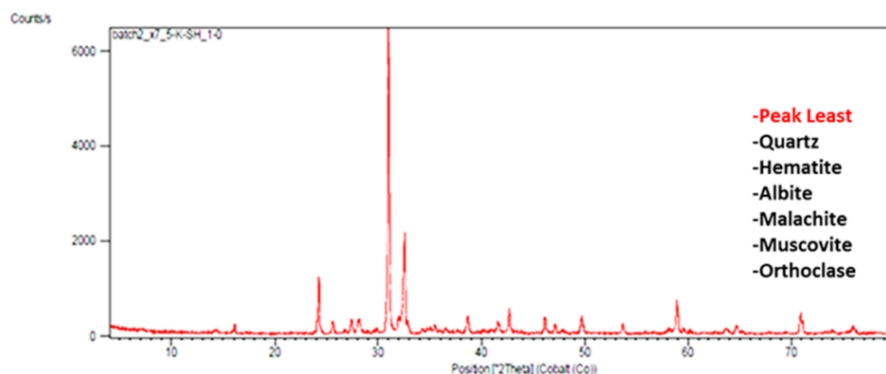
۴-۳-۵- دگرسانی اکسید آهن (هماتیت و لیمونیت)

با توجه به مطالعات صحرایی منطقه از جمله دگرسانی‌های غالب منطقه می‌توان به آغستگی‌های اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت) اشاره نمود. شدت این دگرسانی در منطقه متفاوت بوده و با تراکم درزه‌ها و شکستگی‌ها رابطه مستقیم دارند. دگرسانی اکسیدهای آهن در واحد گدازه‌ای در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها در مجاورت با رگه‌های کانه‌دار مشاهده می‌شود. این دگرسانی همچنین بصورت گسترده واحدهای سنگی آندزیت- بازالت و مقدار کمتر بخش توف را تحت تأثیر قرار داده است که با رنگ قرمز متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۴-۱۸ الف- ب- پ- ت- ث- ج). دگرسانی هماتیته در نتایج آنالیزهای XRD با کانی هماتیت مشخص گردیده است (شکل ۴-۱۹).





شکل ۴-۱۸- الف و ب- تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی و هماتیتی موجود در کانسار مس قیصری پ و ت- نمونه دستی از دگرسانی هماتیتی و لیمونیتی که با رنگ قرمز مشاهده می‌شود ث- تصویر میکروسکوپی از اکسیدهای آهن ج- تصویر میکروسکوپی از کانی بیوتیت که تبدیل به اکسید آهن شده است.



شکل ۴-۱۹- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای دایک نشان دهنده حضور کانی‌های کوارتز، هماتیت، آلبیت، ملاکیت، آتاکامیت، مسکوویت و معرف دگرسانی‌های سیلیسی، هماتیتی، سریسیتی در منطقه می‌باشد.

فصل پنجم

کافی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پارازیتیک

۵-۱- مقدمه

مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ساده‌ترین، ابتدایی‌ترین، کم هزینه‌ترین و در دسترس‌ترین نوع مطالعه بر روی کانسار بوده و تشکیل یا ناپایدار شدن کانی‌ها و تغییرات در ساخت و بافت گویای شرایط تشکیل سنگ‌ها و کانی‌ها است. رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده آن کانسار است (Craig and Vaughan, 1981). مطالعه کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار و رابطه بافتی آن‌ها با یکدیگر اهمیت قابل توجهی در اکتشاف، استخراج و فرآوری ماده معدنی دارد. جهت انجام مطالعات مذکور طی چند مرحله بازدید صحرایی، تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ کانسار با مختصات جغرافیایی و بر مبنای تنوع و تغییرات سنگ‌شناسی بصورت سیستماتیک جمع‌آوری شد. برای انجام مطالعات میکروسکوپی ۳۰ مقطع نازک، ۲۰ مقطع صیقلی از نمونه‌های ذکر شده در کارگاه تهیه مقاطع دانشگاه شاهرود تهیه گردید. به علت قابل تشخیص نبودن یا در میدان دید قرار نگرفتن بعضی کانی‌ها در زیر میکروسکوپ، ۸ نمونه آنالیز به روش پراش اشعه ایکس، مرکز تحقیقات فرآوری معدنی انجام گرفت. در این فصل ابتدا کانی‌شناسی کانسار مس قیصری سپس ساخت و بافت و در نهایت توالی پاراژنتیکی کانی‌ها بررسی خواهد شد.

۵-۲- کانی‌شناسی

مطالعات کانی‌شناسی بر روی مقاطع میکروسکوپی نازک، صیقلی نمونه‌های کانسار مس قیصری و همچنین نتایج آنالیز ۸ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) منجر به شناسایی چهارگروه کانی‌های سولفیدی، کربناتی، اکسیدی و باطله‌ها گردید که در ادامه به مطالعه دقیق هر یک از آن‌ها می‌پردازیم.

۵-۲-۱- کانی‌های سولفیدی

کانی‌های سولفیدی اغلب در شرایط سطحی اکسید شده و کانی‌های ثانویه مس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن را به وجود آورده است. یون‌های فلزی موجود در سیال در یک محیط ژئوشیمیایی احیایی با حضور گوگرد تشکیل کانی‌های سولفیدی را می‌دهند و مهم‌ترین کانی‌های سولفیدی شناسایی شده در کانسار مس قیصری

عبارتند از: پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت، کالکوسیت و کوولیت.

پیریت FeS_2 : پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین و یکی از معمول‌ترین کانی‌های سولفیدی است که در بخش عمده نهشته‌های معدنی تشکیل می‌شود (Yilmaz., Oyman., 2010). ولی در منطقه مس قیصری از فراوانی بسیار کمی برخوردار است. این موضوع می‌تواند نشان‌دهنده کمبود سولفید و پایین بودن دمای سیستم کانه‌زایی در محیط تشکیل و یا تجزیه این کانی‌ها در محیط اکسیدان باشد. پیریت در نمونه‌های دستی تقریباً نایاب است ولی در زیر میکروسکوپ به‌صورت دانه‌های ریز و پراکنده دیده می‌شود. پیریت در محیط اکسیدان بسیار ناپایدار است و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت، هماتیت، لیمونیت) تبدیل شده است (شکل ۱-۵-الف).

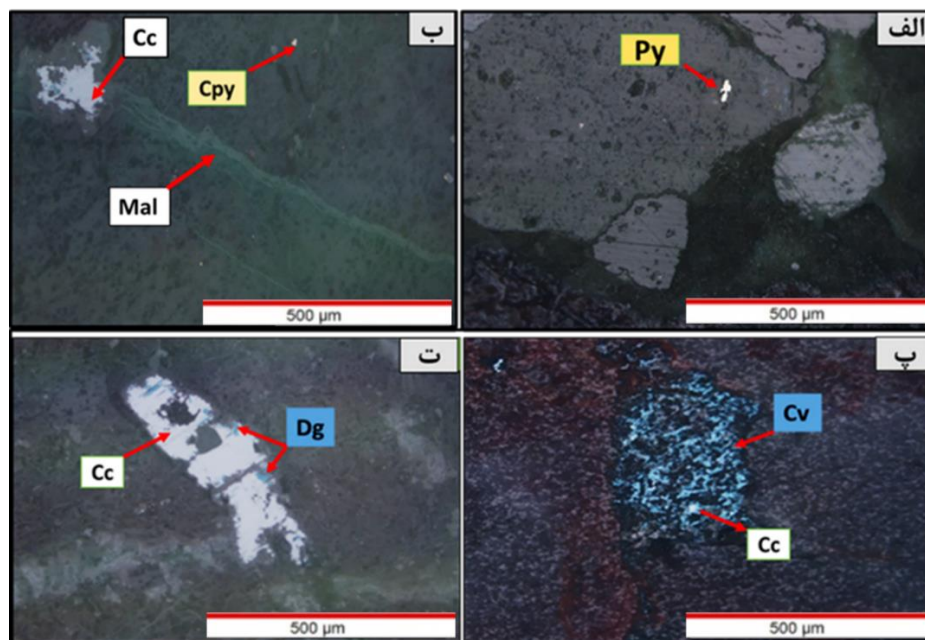
کالکوپیریت CuFeS_2 : کالکوپیریت یکی از معمول‌ترین کانی‌های سولفیدی هیپوژن (اولیه) مس در نهشته‌های گرمابی است. در شرایط ژئوشیمیایی احیایی و با حضور مس و آهن در مجاورت سولفور تشکیل می‌شود. کالکوپیریت در نمونه دستی بصورت رنگ زرد برنجی دیده می‌شود ولی در منطقه مس قیصری در نمونه‌های دستی تقریباً نایاب است ولی در زیر میکروسکوپ به‌صورت دانه‌های ریز و پراکنده دیده می‌شود. کالکوپیریت سخت‌تر، چگالی کم و خط اثر سیاه مایل به سبز تیره نشان می‌دهد. در مقطع صیقلی رنگ زرد برنجی، با انعکاس بالا و آنیزوتروپی ضعیف مشخص می‌شود. در زیر میکروسکوپ بصورت خیلی دانه‌ریز و پراکنده مشاهده می‌شود. (شکل ۱-۵-ب).

کالکوسیت Cu_2S : یک کانی معمولی مس در سیستم‌های دما پایین است. این کانی در نمونه دستی و سطح تازه بصورت سیاه تا نقره‌ای رنگ مشاهده می‌شود. در زیر میکروسکوپ با رنگ سفید متمایل به آبی مشخص می‌شود. اغلب به دو شکل اولیه و ثانویه تشکیل می‌شود. کالکوسیت در نمونه‌های مورد مطالعه به اشکال رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده و جانشینی با کوولیت، دیژنیت و مالاکیت دیده می‌شود. از لحاظ محیط تشکیل این کانه بیشتر در کنسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshal)

(et al, 2004) (شکل ۵-۱-ت).

کوولیت CuS: کوولیت از دیگر کانی‌های مهم سولفیدی مس است که در گذر از محیط اکسیدان به احیایی با افزایش تدریجی گوگرد شکل می‌گیرد. کوولیت یک سولفید دما پایین و سوپرژن مس است. در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی در سولفیدهای اولیه مس ایجاد می‌شود. حضور کوولیت در منطقه می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر محلول‌های اکسیدی سطحی شستشوی مس از کانی‌های اولیه باشد. (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۳). بیشترین گسترش این کانی به صورت لکه‌ای و نامنظم در درون و حاشیه کالکوسیت اولیه تشکیل می‌شود. کوولیت یک کانی ثانویه است که در کانسار قیصری از تجزیه سولفیدهای مس نظیر؛ کالکوسیت، بورنیت تشکیل شده است و بیشترین گسترش این کانی در بخش‌های هوازده کانسار است. کوولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالا و بافت جانشینی در حاشیه و امتداد شکستگی کانی‌های کالکوسیت و بورنیت مشاهده می‌شود. (شکل ۵-۱-پ).

دیژنیت Cu_9S_5 : این کانه در مقاطع صیقلی دارای رنگ مایل به آبی، صیقل خوب و انعکاس متوسط است که در کانسار مورد مطالعه فراوانی کمی دارد و فقط در بعضی نمونه‌ها همراه با کالکوسیت و کوولیت دیده می‌شود (شکل ۵-۱-ت).



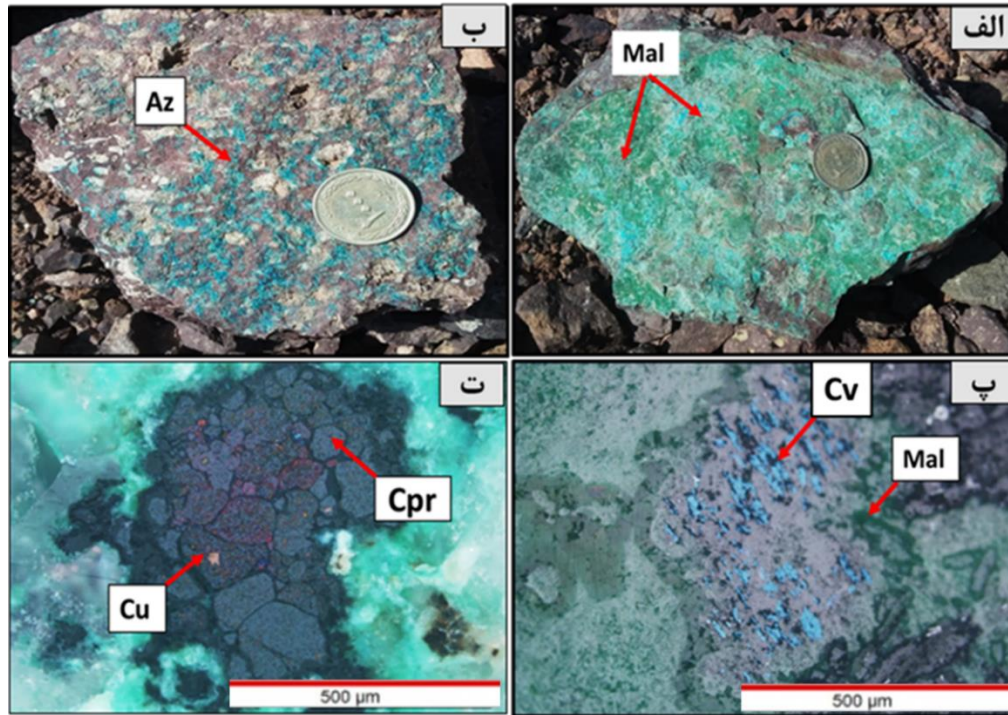
شکل ۵-۱- الف- تصویر میکروسکوپی از کانی پیریت در متن سنگ آندزیتی ب- تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوپیریت که بصورت دانه ریز مشاهده می‌شود. پ- تصویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت که به کوولیت تبدیل شده است. ت- جانشینی دیژنیت به جای کالکوسیت و ایجاد بافت جانشینی. (Siivola and Schmid, 1983).

۵-۲-۲- کانی‌های کربناته و اکسیدی مس

مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$: مالاکیت یک کانی کربناته آبدار مس است که در نمونه دستی به رنگ سبز دیده می‌شود و در زیر میکروسکوپ با انعکاس داخلی سبز مشخص می‌شود. این کانی در مقطع صیقلی رنگ سبز، انعکاس کم و آنیزوتروپی قوی دارد، که معمولاً بصورت رگه -رگچه‌ای و شکافه‌پرکن همراه با سایر کانه‌های مس‌دار مشاهده می‌شود. یک کانی پایدار در شرایط اکسیدان است و معمولاً به صورت ثانویه از تجزیه کانی‌های سولفور در محیط ژئوشیمیایی اکسیدان با حضور یون بی‌کربنات تشکیل می‌شود (Pirajno, 2009). مالاکیت فراوان‌ترین کانی مس در کانسلا مس قیصری است و بصورت پرکننده فضای خالی درزه‌ها، شکستگی، حفرات بین دانه‌ای در سنگ‌های آواری بیشتر به شکل رگه-رگچه‌ای یافت می‌شود. (شکل ۵-۲- الف و پ).

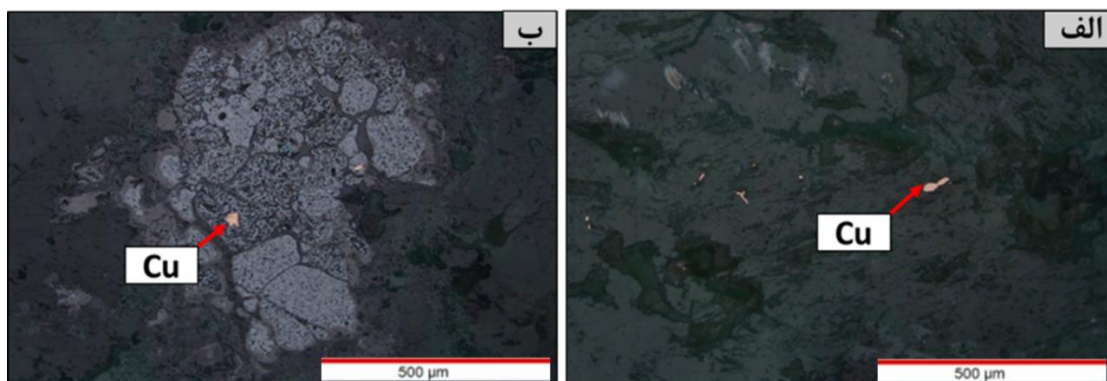
آزوریت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$: آزوریت یکی دیگر از کانی‌های کربناته آبدار مس است که همراه مالاکیت مشاهده می‌شود و فراوانی کمی دارد. در نمونه دستی با رنگ آبی لاجوردی و در زیر میکروسکوپ با انعکاس داخلی آبی قابل شناسایی می‌باشد. این کانی نیز مشابه مالاکیت یک کانی ثانویه و پایدار در شرایط ژئوشیمیایی اکسیدان است. سولفیدهای مس‌دار مثل کالکوپیریت و بورنیت در شرایط اکسیدان ناپایدار شده و تجزیه می‌شوند. مس آزاد شده با حضور بی‌کربنات تشکیل آزوریت و مالاکیت می‌دهد. این دو کانی با یکدیگر پاراژنز هستند. به نظر می‌رسد که مالاکیت از محلول‌های رقیق‌تر از مس و تحت شرایط فشار دی‌اکسید کربن پایین‌تر و آزوریت نسبت به آن از محلول‌های غلیظ‌تر از مس و در شرایط فشار دی‌اکسید بالاتر شکل گرفته است (Beane, 1982). در منطقه قیصری آزوریت نسبت به مالاکیت از فراوانی کمتری برخوردار است که گویای فشار دی‌اکسید کربن کمتر و محلول رقیق‌تر از مس می‌باشد. در مقطع صیقلی دارای رنگ خاکستری است و آنیزوتروپی قوی دارد. از دیگر مشخصات آزوریت انعکاس داخلی آبی پر رنگ است. در نور عبوری چند رنگی قوی از بنفش تا آبی را نشان می‌دهد. (شکل ۵-۲- ب و پ).

کوپریت Cu_2O : کوپریت در مناطق اکسیدان ذخایر مس در سنگ‌های آندزیتی همراه با مالاکیت تشکیل می‌شود. این کانی در زیر میکروسکوپ با انعکاس داخلی قرمز قابل مشاهده است و به صورت ثانویه در حفره‌ها و شکستگی‌ها تشکیل شده است (شکل ۵-۲- ت).



شکل ۵-۲- الف و ب- تصویر نمونه دستی از کانی مالاکیست و آزوریت در منطقه مورد مطالعه پ- تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیست که در مرکز تبدیل به کانی کوولیت شده است و بافت گل کلمی ت- حضور کوپریت که جانشین مالاکیست و کالکوسیت شده است (بافت جانشینی) و مس خالص به صورت دانه‌های ریز و پراکنده در تصویر مشخص شده است. (Siivola and Schmid, 1983)

مس طبیعی (Cu): مس یکی از عناصر فلزی است که در شرایط خاص طبیعی می‌تواند با جذب الکترون به صورت احیاء درآید و بصورت خالص ته‌نشست پیدا کند. در نمونه دستی با رنگ قرمز مسی در زیر میکروسکوپ به رنگ زرد متمایل به قرمز مشاهده می‌شود. در منطقه قیصری مس خالص هیپوژن در سنگ میزبان وجود داشته و پس از نفوذ دایک و واکنش عناصر همراه آن با سنگ میزبان، مس خالص در طی فرآیندهای سوپرژن تبدیل به کانی‌های ثانویه مس شده است و به همین دلیل مس در منطقه فراوانی کمتری دارد و بصورت دانه پراکنده در بین کانی‌های ثانویه مالاکیست و کوپریت دیده می‌شود (شکل ۵-۳- الف و ب).



شکل ۵-۳- الف و ب- تصاویر مقاطع میکروسکوپی مس خالص بصورت دانه پراکنده در متن سنگ میزبان (Siivola and Schmid, 1983)

۵-۲-۳- کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن

اکسیدهای آهن از فراوان‌ترین کانی‌های همراه سنگ‌های آذرین و نهشته‌های معدنی مختلف هستند. مگنتیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت عمده‌ترین کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن هستند. این کانی‌ها در نمونه دستی به رنگ قهوه‌ای گاهی همراه با مالاکیت در رگه- رگچه‌های کانهدار و به صورت سطحی در طی فرآیندهای ثانویه تشکیل شده‌اند (شکل ۵-۴- الف و ب).

مگنتیت Fe_3O_4 : مگنتیت یک کانی اکسیدی دما بالای آهن است که اغلب به صورت سین‌ژنتیک همراه سنگ- های آذرین به عنوان کانی اوپک تشکیل می‌شود. کانی رایج است که به صورت افشان در بیشتر سنگ‌های آذرین وجود دارد. مگنتیت در مقاطع صیقلی به رنگ خاکستری با ته رنگ متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شود و بازتابش داخلی ندارد. این کانی در کانسار مس قیصری فراوانی خیلی کمی دارد معمولاً ماکل تیغه‌ای در آن مشاهده می‌شود. به صورت بلورهای خودشکل و حتی اسکلتی و همچنین انبوه‌های چند بلوری بی‌وجه یافت می‌شود (شکل ۵-۴- ت و ث).

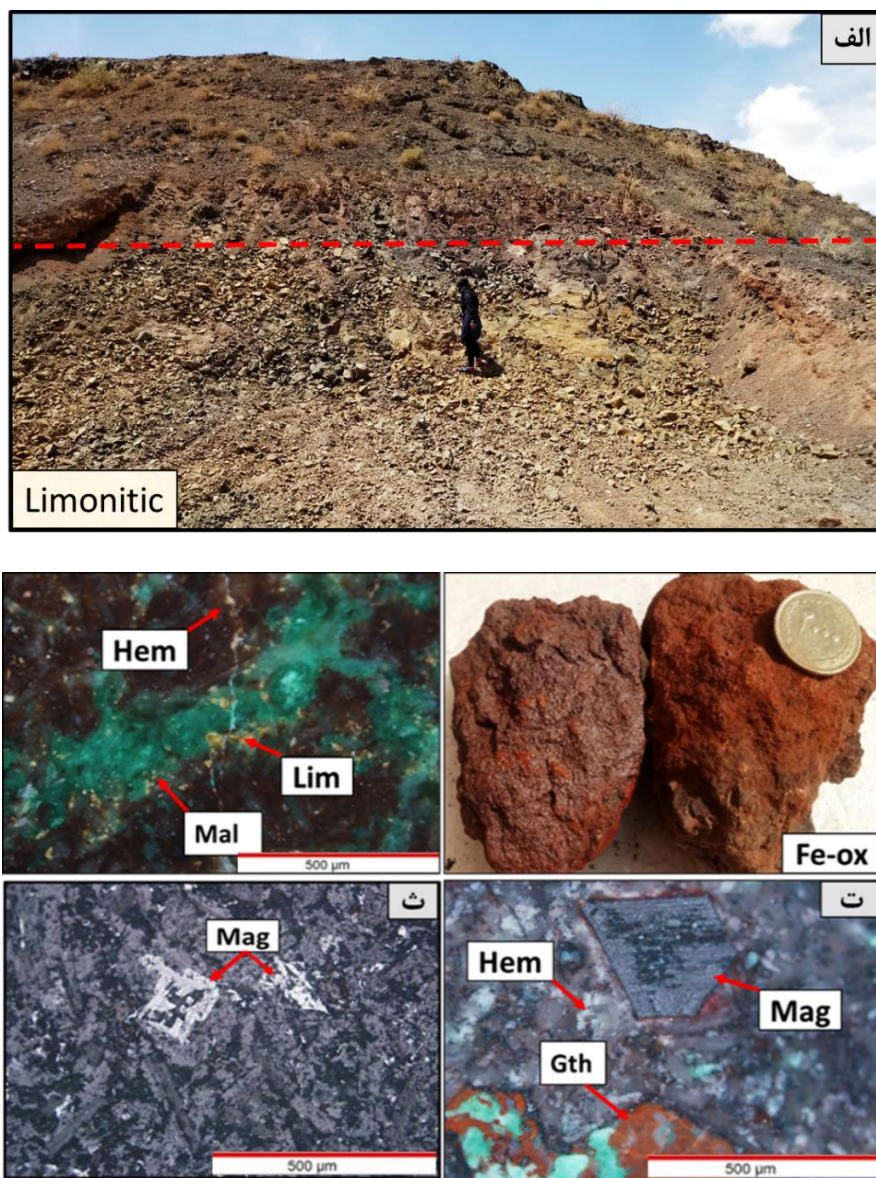
هماتیت Fe_2O_3 : براساس (Haynes et al, 1995) برای تشکیل هماتیت در قسمت فوقانی کانسار حضور اکسیژن ضروری است. برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا اکسیژن مورد نیاز را فراهم کند و محتمل-

ترین منبع اکسیژن آب‌های جوی است که در اثر چرخش در قسمت بالای کانسار باعث اکسیده شدن قسمت فوقانی کانسار می‌شود. هماتیت در محیط هوازده پایدار بوده و معمولاً توسط هوازده‌گی به وجود می‌آید. هماتیت در منطقه مورد مطالعه فراوانی بسیار بالایی دارد و در نمونه دستی، مقاطع صیقلی و آنالیزهای XRD مشخص گردیده است. این کانی در بخش سوپرژن کانسار مس قیصری بر اثر هوازده‌گی کانی‌های پیریت، مگنتیت تشکیل شده است. یکی از کانی‌های اکسید آهن است که در فوگاسیته بالای اکسیژن شکل می‌گیرد. این کانی در سیستم تریگونال متبلور می‌شود. شدت بازتابش متوسط، صیقل‌پذیری دشوار، ناهمسانگردی واضح و بازتابش داخلی قرمز از ویژگی‌های شاخص این کانی است. معمولاً بصورت انبوهه‌های شعاعی یا نیمه موازی سوزن مانند یا تیغه‌ای یافت می‌شود. ممکن است در طول سطوح رخ به جای مگنتیت جانشین شود و پدیده مارتیتی شدن را ایجاد نماید. اصطلاح مارتیت برای هماتیت بیشکل حاصل از تجزیه مگنتیت به کار می‌رود. مارتیتی شدن نوع خاصی از پدیده جانشینی است که در طی آن مگنتیت در امتداد سطوح (۱۱۱) توسط هماتیت جانشین می‌شود (Craig and Vaughan, 1981) پدیده مارتیتی شدن در بعضی مقاطع مشاهده می‌شود که ناشی از تبدیل شدن تدریجی مگنتیت به هماتیت است که خود نشانگر بالا رفتن فوگاسیته اکسیژن در منطقه است (شکل ۵-۴- ب و پ).

گوتیت FeO.OH : گوتیت جزو کانی‌های هیدروکسید آهن، رشته‌ای و موازی با محور C می‌باشد (Nesse, 2000) این کانی توسط هوازده‌گی یا دگرسانی کانی‌های حاوی آهن (از جمله مگنتیت، پیریت، غیره) ایجاد می‌شود. بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی کانسار دچار انحلال شده و یون گوگرد آن‌ها از محیط خارج و هیدرواکسیدهای آهن بر جای می‌ماند. گوتیت در مقاطع میکروسکوپی به وفور یافت می‌شود که از هوازده‌گی پیریت و کالکوپیریت تشکیل شده است. حضور گوتیت نشانگر نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، اسیدیته کم و میزان سولفید کل پایین است (Sillitoe and Perello, 2005) (شکل ۵-۴- ت).

لیمونیت $\text{FeOOH.nH}_2\text{O}$: لیمونیت کانی اکسید آهن آبدار و غالباً به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای می‌باشد که

بیشتر در قسمت‌های اکسیدان و در بخش‌های سطحی کانسار مس قیصری دیده می‌شود. در واقع لیمونیت محصول نهایی دگرسانی و هوازدگی اکسیدها و سولفیدهای آهن است (شکل ۵-۴-پ).



شکل ۵-۴-الف- تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی در منطقه ب- تصویر نمونه دستی از هماتیت. پ- تصویر میکروسکوپی از کانی‌های مالاکیت، لیمونیت بصورت پراکنده و هماتیت بصورت رگه‌ای ت- بلور مگنتیت که به صورت سوزنی شکل دیده می‌شود و با زمینه هماتیت و هاله‌های قرمز رنگ گوتیت و حضور مالاکیت به صورت پراکنده. ث- تصویر میکروسکوپی از کانی مگنتیت. (Siivola and Schmid, 1983).

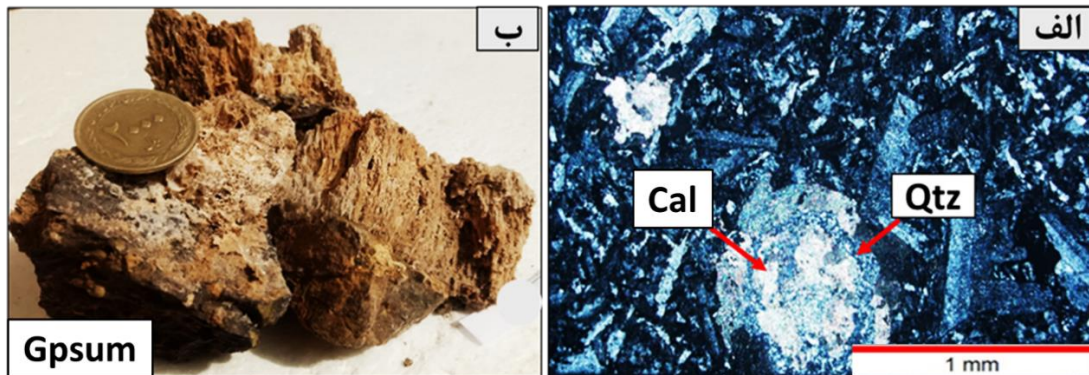
۵-۲-۴-کانی‌های باطله

مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسار مس قیصری شامل کلسیت، کوارتز و ژیپس هستند.

کلسیت (CaCO_3): یکی از مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسارهای گرمابی کربنات کلسیم است. کلسیم در طی دگرسانی سنگ‌های مسیر از ساختمان کانی‌های کلسیم‌دار از جمله پلاژیوکلازها آزاد شده و در حضور یون بی‌کربنات، تشکیل کربنات کلسیم را می‌دهد. کلسیت یکی از فراوان‌ترین کانی باطله‌ی کانسار مس قیصری است که بصورت رگه-رگچه‌ی و پرکننده فضای خالی درزه‌ها و شکستگی‌ها شکل گرفته است. (شکل ۵-۵-الف).

کوارتز (SiO_2): یکی از عناصری که در نتیجه فعالیت محلول‌های گرمابی به وفور یافت می‌شود سیلیسیم است. سیلیس حاصل دگرسانی و تجزیه کانی‌های سیلیکاته است که ضمن مهاجرت توسط سیال در فضاها و خالی درزه‌ها، شکستگی‌ها و حفرات به اشکال مختلف کوارتز، اوپال، عقیق و کلسدونی راسب دیده می‌شود در کانسار قیصری سیلیس به صورت ذرات دانه‌ریز کوارتز در امتداد شکستگی‌ها و حفرات دیده می‌شود (شکل ۵-۵-الف).

ژیپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$): ژیپس یا سولفات آبدار کلسیم یک کانی سوپرژن و حاصل هوازدگی در اغلب کانسارها می‌باشد. انحلال و تجزیه کانی‌های کلسیم دارد. شرایط اکسیدان و اسیدی سطحی سبب آزاد شدن کلسیم در ترکیب کانی‌های سیلیکاته و کربناته شده و با حضور گوگرد بصورت سولفات کلسیم که یک کانی پایدار در این شرایط است ته‌نشست پیدا می‌کند. در منطقه قیصری این کانی فراوانی زیادی دارد. این کانی در مقیاس رخنمون و نمونه دستی به رنگ سفید دیده می‌شود (شکل ۵-۵-ب).



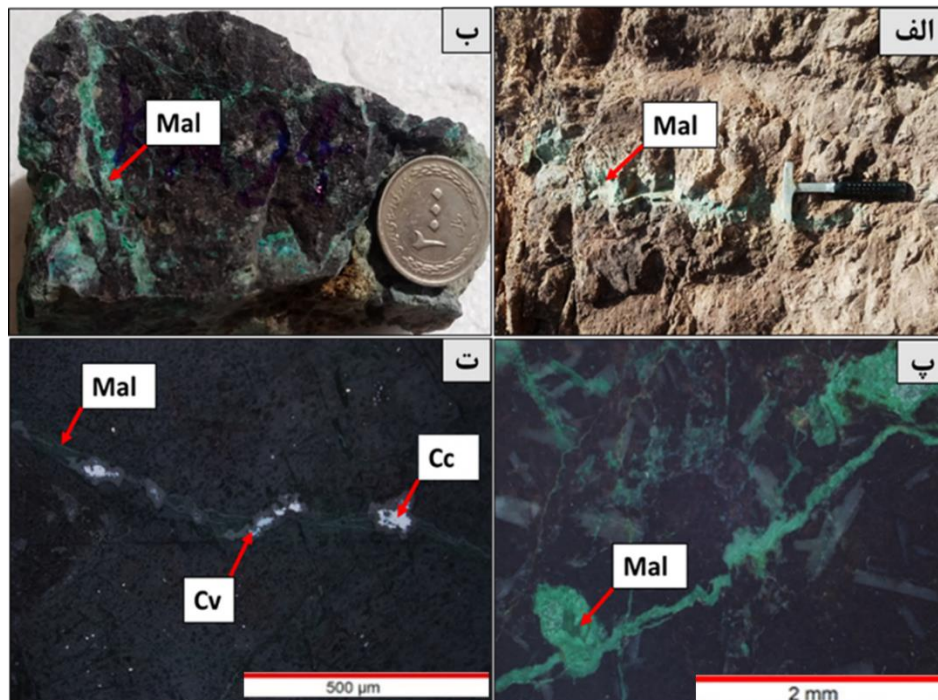
شکل ۵-۵-الف- تصویر میکروسکوپی از کانی کلسیت که توسط رگه کوارتز احاطه شده است. ب- تصویر صحرایی از کانی ژیپس. (Siivola and Schmid, 1983)

۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها

ساخت عبارتست از منظره کلی که ماده معدنی از خود نشان می‌دهد. مثل ساخت رگه‌ای- ساخت لایه‌ای- ساخت عدسی- ساخت توده‌ای. بافت عبارتست از رابطه دانه‌های کانی با یکدیگر، ابعاد، شکل و.... مثل بافت دانه پراکنده، خودشکل، گرانولار، تیغه‌ای، شعاعی و غیره.... در کانسار قیصری ماده معدنی دارای ساخت و بافت‌های متفاوتی است که هر یک از آن‌ها نشان دهنده‌ی شرایط و رخداد حاکم در حین کانی‌زایی و پس آن می‌باشد. لذا در این قسمت به توصیف ساخت و بافت‌های موجود در کانسار قیصری می‌پردازیم.

۵-۳-۱- ساخت رگه‌ای و رگه- رگچه‌ای

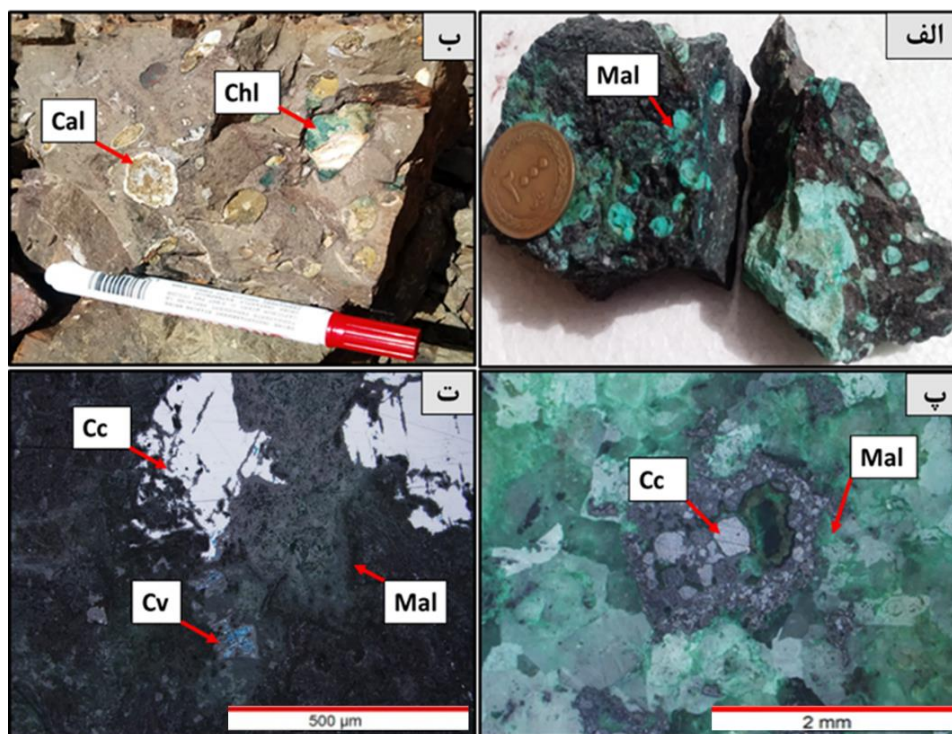
یکی از عمده‌ترین سیماهای مواد معدنی در بخش کانه‌دار، حضور آن‌ها به صورت رگه‌ای و رگه-رگچه‌ای است که به طور عمده در واحد گدازه‌ای دیده می‌شود. رگه‌ها از نظر ریخت‌شناسی، ظاهراً مسطح تا انحنادار هستند. ساخت رگه- رگچه‌ای از جمله اصلی‌ترین ساخت مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این نوع ساخت علاوه بر قسمت‌های سطحی کانسار در بخش‌های عمقی نیز مشاهده می‌شود. کانی‌هایی که بصورت رگه- رگچه- ای مشاهده می‌شود شامل ، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، ملاکیت و کانی‌های باطله مثل کوارتز، کلسیت و اکسیدهای آهن است که در امتداد درزه و شکاف‌ها تشکیل شده است. این ساخت با حرکت سیال، در امتداد شکستگی‌ها و درزها و ته‌نشینی در فضای خالی آن‌ها شکل گرفته است. (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶-الف-تصویر صحرایی از کانی‌سازی مالاکیت در امتداد شکستگی‌ها و نمایش ساخت رگه- رگچه‌ای. ب-تصویر نمونه دستی از ساخت رگه- رگچه‌ای کانی مالاکیت در میزبان آندزیتی. پ-تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی کانی مالاکیت بصورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده حفرات ت-تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت بصورت رگه- رگچه‌ای، کالکوسیت و کولیت بصورت پرکننده حفرات. (Siivola and Schmid, 1983)

۵-۳-۲- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی

محلول‌های گرمابی یا ماگمایی هنگام عبور از مجرای گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و یا فضای بین قطعات سنگ‌های آذرآواری، مواد خود را برجای می‌گذارند، و ساخت و بافت پرکننده فضای خالی را تشکیل می‌دهند (Craig & Vaughan, 1981). این نوع ساخت و بافت در کانسار مس قیصری به وفور یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل پیریت، کالکوسیت و مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضا‌های خالی بین ذرات توف‌ها حفرات ناشی از انحلال را پر کرده است (شکل ۵-۷).

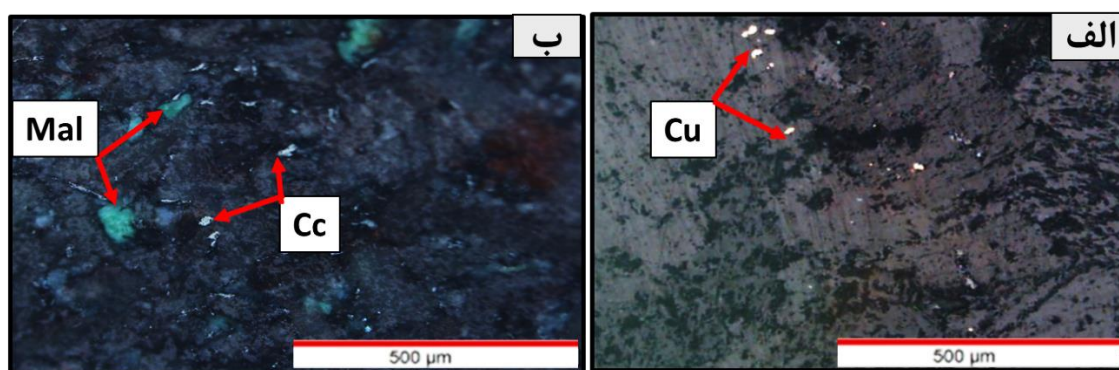


شکل ۵-۷-الف- نمایی از کانی مالاکیت بصورت پرکننده فضای خالی در میزبان آندزیتی ب-عکس نمونه دستی از کانی کلریت و کلسیت با ساخت پرکننده فضای خالی پ-تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت و کالکوسیت بصورت پرکننده حفرات و ایجاد بافت بادامکی ت- تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت و کولیت در زمینه مالاکیت که به صورت پرکننده فضای خالی مشاهده می-شود. (Siivola and Schmid, 1983)

۵-۳-۳- بافت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده در بخش‌هایی از کانسنگ که فراوانی سولفیدها کم است قابل مشاهده است. در این بافت کانی‌های فلزی به صورت پراکنده در سنگ میزبان مشاهده می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت و کوولیت این بافت را نشان می‌دهند و به صورت پراکنده در متن واحد سنگی میزبان قرار گرفته‌اند. از دیگر کانی‌هایی که بافت دانه پراکنده را در کانسار ایجاد نموده‌اند می‌توان به پیریت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت اشاره نمود. این بافت هم در نمونه دستی و هم در مقیاس میکروسکوپی قابل مشاهده می‌باشد. این بافت، از جمله بافت‌های مهمی است که شواهد زایشی بسیار ارزشمندی در اختیار

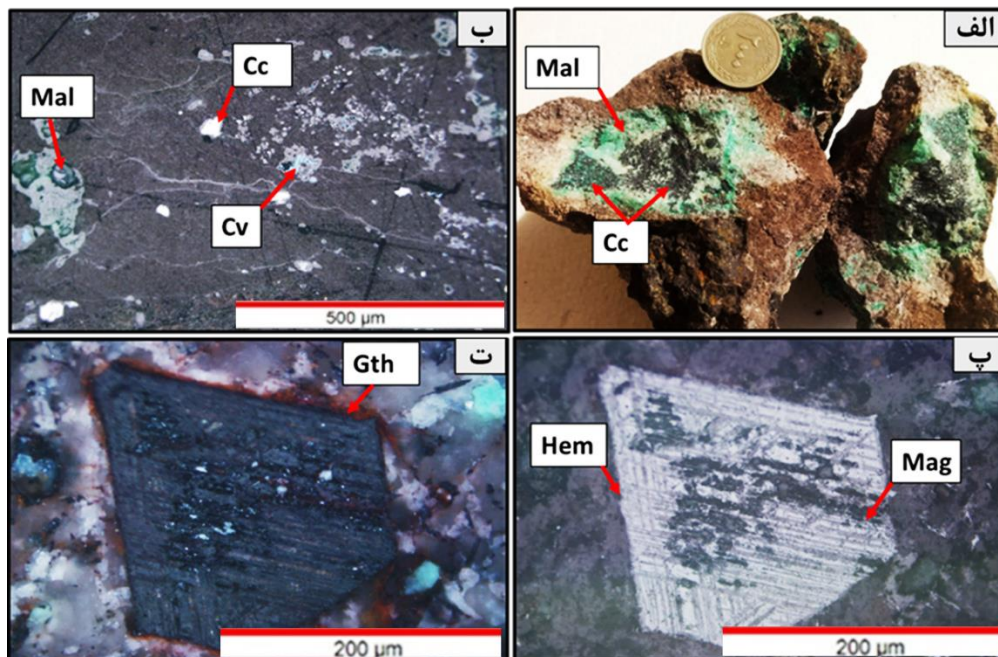
می‌گذارد. اولین نتیجه حضور مواد معدنی در این شکل، نهشت اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ و یا در مرحله دیاژنز همراه با دیگر کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ است. این بافت در سنگ میزبان و در داخل کانسنگ در زمینه باطله دیده می‌شود. در منطقه مورد مطالعه کانی‌های سولفیدی مس از جمله کوولیت، کالکوسیت، پیریت، این بافت را به خوبی نشان می‌دهند که به صورت افشان در متن سنگ مشاهده می‌شود. این بافت اغلب در مقیاس میکروسکوپی قابل مشاهده است (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸-الف-ب- تصویر میکروسکوپی از بلورهای کالکوسیت و مالاکیت و مس در زمینه باطله که بافت دانه پراکنده را نشان می‌دهد (Siivola and Schmid, 1983).

۴-۳-۵- بافت جانشینی

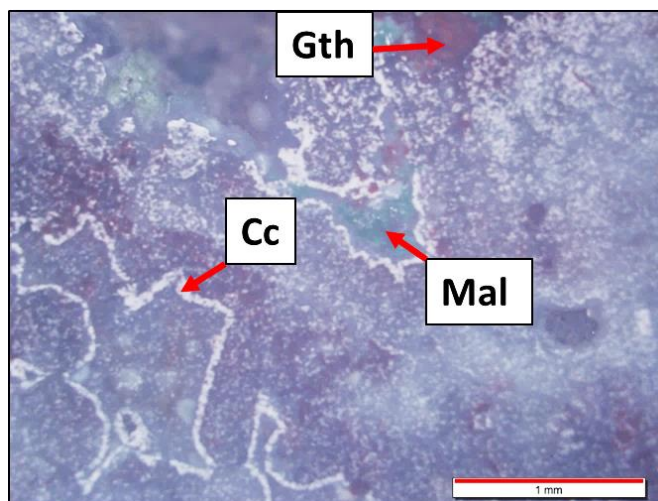
فرآیند جانشینی در نتیجه واکنش‌های شیمیایی سطحی (دگرسانی و هوازدگی)، رخ می‌دهد و از این رو شکستگی‌ها، رخ‌ها و حاشیه ذرات و مرز بین دانه‌ها از جمله اولین مکان‌های مناسب جهت آغاز این فرآیند به شمار می‌آیند این نوع بافت ممکن است در اثر فرآیندی نظیر؛ انحلال و رسوب‌گذاری مجدد، اکسیداسیون و انتشار در حالت جامد رخ دهد. در امتداد شکستگی‌ها و حواشی کانی‌های مالاکیت و کالکوسیت با کوولیت جانشینی دارند و در نهایت به مالاکیت تبدیل می‌شوند (شکل ۵-۹). بافت جانشینی به زیر مجموعه‌های نظیر؛ بافت جانشینی حاشیه‌ای، جانشینی آتول و جانشینی مارتیتی شدن تقسیم می‌شود.



شکل ۵-۹- الف- عکس نمونه دستی که در آن جانشینی کالکوسیت توسط ملاکیت به خوبی قابل مشاهده است ب- تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده کولیت به صورت پراکنده و جانشینی ملاکیت به جای کالکوسیت می باشد. پ- تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده جانشینی کانی هماتیت به جای مگنتیت می باشد. (مطالعه در نور XPL). ت- تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده جانشینی کانی گوتیت به جای هماتیت می باشد (مطالعه در نور PPL). (Siivola and Schmid, 1983)

۵-۳-۵- بافت کلوفرمی

این نوع بافت در بخش سطحی کانسار مس قیصری که بر اثر اکسیداسیون کانی های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت به گوتیت تبدیل شده اند دیده می شود. همانطور که در شکل مشاهده می شود کانی های هماتیت که در حاشیه ها تبدیل به گوتیت شده است، ملاکیت و کالکوسیت بافت منطقه بندی کلوفرمی را نشان می دهد. (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰- بافت کلوفرمی در گوتیت‌های منطقه مورد مطالعه (مالاکیت: Mal، کالکوسیت: Cc، گوتیت: Gth).
(Siivola and Schmid, 1983)

۵-۴- پاراژنز و توالی پاراژنتیک کانی‌ها

توالی پاراژنزی به ترتیب زمانی و مکانی تشکیل کانی‌ها در یک سنگ یا کانسنگ در شرایط یکسان و از یک منشأ اطلاق می‌گردد. مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها اطلاعات مفیدی در رابطه با ویژگی‌های محیط تشکیل کانسار و همچنین توالی پاراژنتیکی معرف تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است. به منظور، تعیین توالی پاراژنزی می‌توان از شواهد ساختی و بافتی استفاده نمود. در این بخش با توجه به بررسی و مطالعه کانی‌ها و فرآیندهای تاثیرگذار در شکل‌گیری آن‌ها در منطقه معدنی، محتمل‌ترین توالی همبود (پاراژنتیک) کانی‌ها از نظر زمانی، بافت و ساخت در جدول ۵-۱ ارائه شده است.

جدول ۵-۱- جدول توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار مس قیصری.

Minerals and textures	Pre Mineralization	Mineralization		
		Hypogene	Supergene	
			Reduction	Oxidation
Magnetite				
Pyrite				
Chalcopyrite				
Chalcocite				
Native copper				
Digenite				
Covellite				
Hematite				
Goethite				
Limonite				
Cuprite				
Malachite				
Azurite				
Calcite				
Gypsum				
Quartz				
Disseminated				
Replacement				
Vein- Veinlets				
Open space filling				
Colloform				

فصل ششم

ژئوسمی

۶-۱- مقدمه

چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی آن‌ها با یکدیگر از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که همواره در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر قرار می‌گیرند. با استفاده از این داده‌ها می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای مؤثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد. از طرف دیگر، مطالعات ژئوشیمیایی در کانسارهای مختلف، علاوه بر آن که راهنمای بسیار خوبی در فهم چگونگی تشکیل یک کانسار است، بعنوان ابزار قدرتمندی در اکتشاف ذخایر مشابه کارآمد خواهد بود. ژئوشیمی با توزیع و مهاجرت عناصر شیمیایی در درون زمین و در ابعاد زمان و مکان سر و کار دارد. بنابر نظر گلداشمیت (۱۹۴۵)، وظایف اصلی ژئوشیمیست را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- تعیین فراوانی نسبی و مطلق عناصر و گونه‌های اتمی (ایزوتوپ‌ها) در زمین

۲- مطالعه توزیع و مهاجرت عناصر در بخش‌های گوناگون کره زمین (اتمسفر، هیدروسفر، لیتوسفر و ...) کانی‌ها و سنگ‌ها با هدف کشف قوانین و اصول حاکم بر توزیع و مهاجرت آن‌ها و بررسی رفتار عناصر در محیط‌های گوناگون.

در این فصل ابتدا کلیاتی در مورد ژئوشیمی مس و سپس به تفسیر نتایج آنالیزهای انجام شده، پرداخته می‌شود.

۶-۲- ژئوشیمی مس

مس از فلزات پایه با کلاک ۵۵PPm و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است نماد این عنصر Cu، عدد اتمی ۲۹ (دارای آرایش الکترونی $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 4d^{10} 4s^1$)، جرم اتمی ۶۴، حالات اکسیداسیونی (۱+ و ۲+) است. دارای ایزوتوپ‌های Cu^{63} ، Cu^{65} است که فراوانی آن‌ها به ترتیب ۶۹/۱۷٪ و ۸۳٪ می‌باشد. از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت سیدروفیل و کالکوفیل دارد که در ردیف اول فلزات واسطه و در گروه یازدهم جدول تناوبی قرار می‌گیرد. یک عنصر فلزی با قابلیت انعطاف پذیری (چکش‌خواری)، شکل پذیر، به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز، دارای جلای فلزی وزن اتمی ۵۴/۶۳ دمای ذوب آن ۲۵۹۵ درجه سانتی-

گرا، مقاوم در برابر خوردگی و دیامغناطیس است. یکی از فلزات غیرآهنی است که بیشترین کاربرد را بعد از آلومینیوم در گروه فلزات پایه غیرآهنی دارا است. مس تنها فلزی است که به صورت خالص، به مقدار زیاد در توده‌های بزرگ یافت می‌شود و رسانای الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشد. مس تحت شرایط اکسیداسیون و PH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. همچنین، از آنجایی که مس تحت شرایط احیایی، بایستی به صورت سولفید یا مس طبیعی ته‌نشین شود، از این رو مس تمایل دارد از نواحی اکسیداسیون مهاجرت کرده و در نواحی احیایی متمرکز شود. اکثر کانسارهای مس حاوی مقداری نقره هستند و نسبت مس به نقره در این کانسنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد (Rose., 1976).

۶-۳- نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها

به منظور شناسایی عناصر اصلی سنگ میزبان و چگونگی رخداد فرآیند کانه‌زایی در کانسار مس قیصری، طی چند مرحله بازدید صحرایی تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ ماده معدنی با مختصات جغرافیایی و بر مبنای تنوع و تغییرات دگرسانی سنگ میزبان جمع‌آوری شد. با توجه به اینکه اغلب سنگ‌های منطقه دگرسان شده‌اند، ولی سعی شد تا جای ممکن نمونه‌های فرش و دگرسان نشده جهت آنالیز برداشت شود. پس از مطالعات میکروسکوپی، ۶ نمونه سنگ میزبان برای آنالیز XRF توسط دستگاه فلورانس اشعه ایکس X-Ray Fluorescence. این دستگاه برای اندازه‌گیری عناصر مختلف به صورت کمی و کیفی استفاده می‌شود و از نمونه‌هایی که بصورت جامد، پودر، مایع، قرص‌های ذوب شده باشند آنالیز انجام می‌دهد. تعداد ۸ نمونه کانسنگ و ۴ نمونه سنگ میزبان برای تجزیه به روش ICP-MS انتخاب گردید. نتایج حاصل از این آزمایشات و مطالعات در بررسی اندیس مس قیصری مورد استفاده قرار گرفت. دستگاه پلاسمای جفت شده القایی Inductively Coupled Plasma – Atomic Emission Spectpscopy یا ICP-AES این دستگاه قابلیت اندازه‌گیری عناصر به صورت کمی و کیفی را داشته و کاربرد وسیعی در آنالیز مواد معدنی دارد. نمونه‌ها برای آنالیز پس از خردایش و آماده سازی (۲۰۰ مش) به آزمایشگاه تحقیقاتی ایمیدرو واقع در شهر کرج

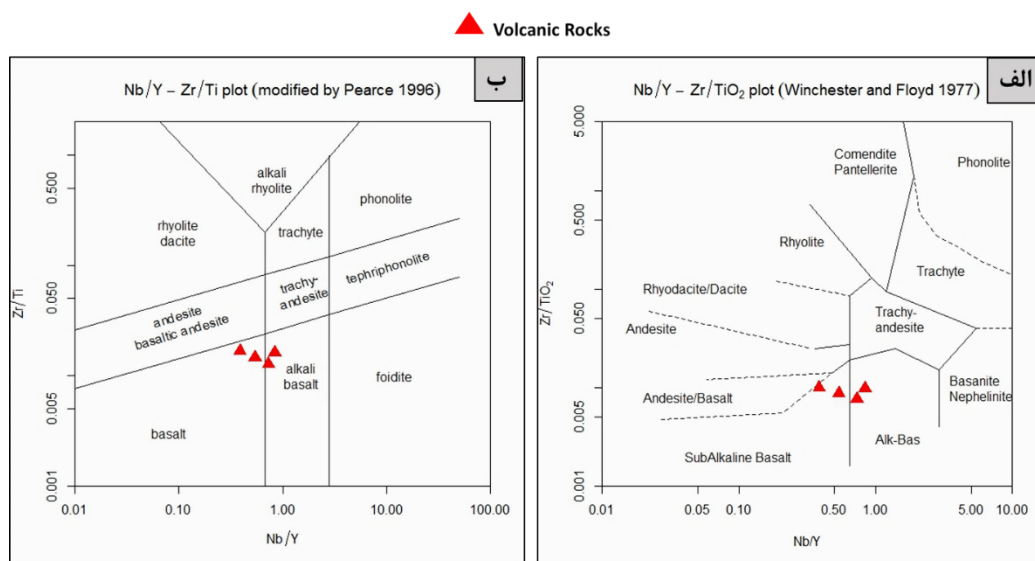
ارسال شدند. عناصر مورد آنالیز و حد قابل ثبت آن‌ها. (مراجعه به پیوست ۵).

۴-۶- ژئوشیمی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی (ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری)

۴-۶-۱- نامگذاری و طبقه‌بندی سنگ‌های ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری

۴-۶-۱- نمودارنسبت Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996) و (Winchester and Floyd, 1977)

این نمودار براساس عناصر نامتحرک (HFS) ارائه شده است. با توجه به اینکه دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی اثر می‌گذارد، بنابراین استفاده از نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب که در درجات کم دگرسانی نامتحرکند، مفیدتر می‌باشد (Manya and et al, 2007). در نمودار (Winchester and Floyd, 1977) همانطور که مشاهده می‌شود، نمونه‌های مربوط به سنگ‌های میزبان مس قیصری در محدوده آلكالی بازالت و ساب‌آلكالی بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱- الف). نمودار اصلاح شده پیرس، نسبت Zr/Ti بر روی محور Y و نسبت Nb/Y بر روی محور X ارائه شده است. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی این نمودار در محدوده‌های بازالت، آلكالی بازالت، تراکی‌آندزیت و آندزیت-بازالت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱- ب).



شکل ۶-۱- الف- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار که سنگ‌های میزبان در محدوده آلكالی بازالت و ساب‌آلكالی بازالت

قرار می‌گیرند (Winchester and Floyd, 1977). ب- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y

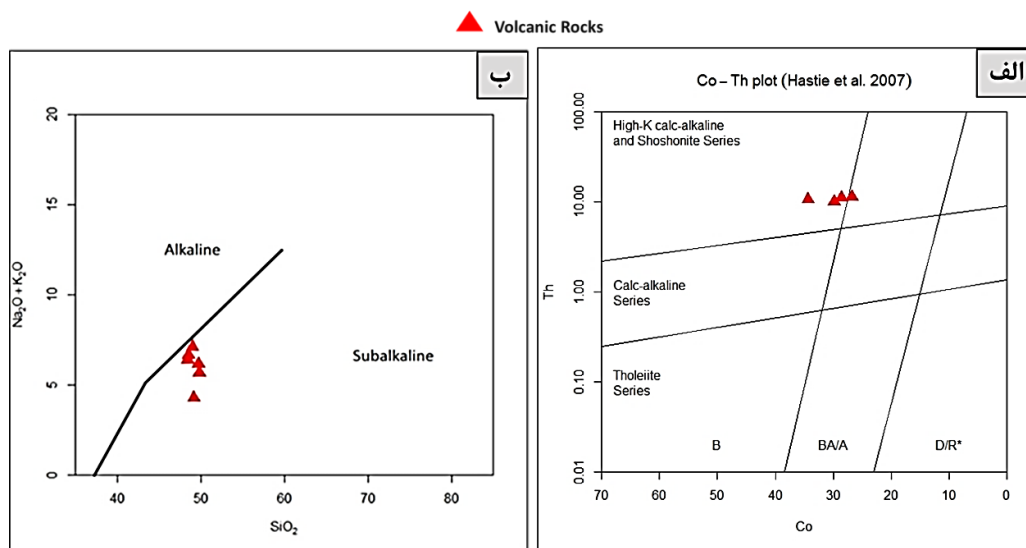
(Pearce, 1996) به منظور نام‌گذاری سنگ‌ها. نمونه‌های منطقه مورد مطالعه بر روی این نمودار در محدوده‌های بازالت، آکالی بازالت، تراکی‌آندزیت و آندزیت-بازالت قرار می‌گیرند.

۵-۶ تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها

تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها از مهم‌ترین مباحثی هستند که در اکتشاف کانسارها مورد استفاده قرار می‌گیرند. محیط تکتونیکی تعیین کننده نوع ماگما و همچنین نوع کانی‌زائی را مشخص می‌کنند. طبق نظر (Kuno, 1968)، یک سری ماگمایی، مجموعه‌ای از سنگ‌های مختلف آتشفشانی است که دارای ترکیب شیمیایی مختلف بوده و از یک ماگمای بازیک مادر، در نتیجه‌ی تفریق حاصل شده‌اند.

۵-۶-۱ نمودار Th در مقابل Co (Hastie et al, 2007)

به منظور تعیین سری‌های ماگمایی نمودار (Hastie et al, 2007) استفاده شده است در این نمودار نمونه‌ها در سری کالک‌آلکالین پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۲-الف). در نمودار $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 همانطور که ملاحظه می‌نمایید در (شکل ۶-۲-ب) تمام نمونه‌ها در محدوده ساب‌آلکالین قرار گرفته‌اند.

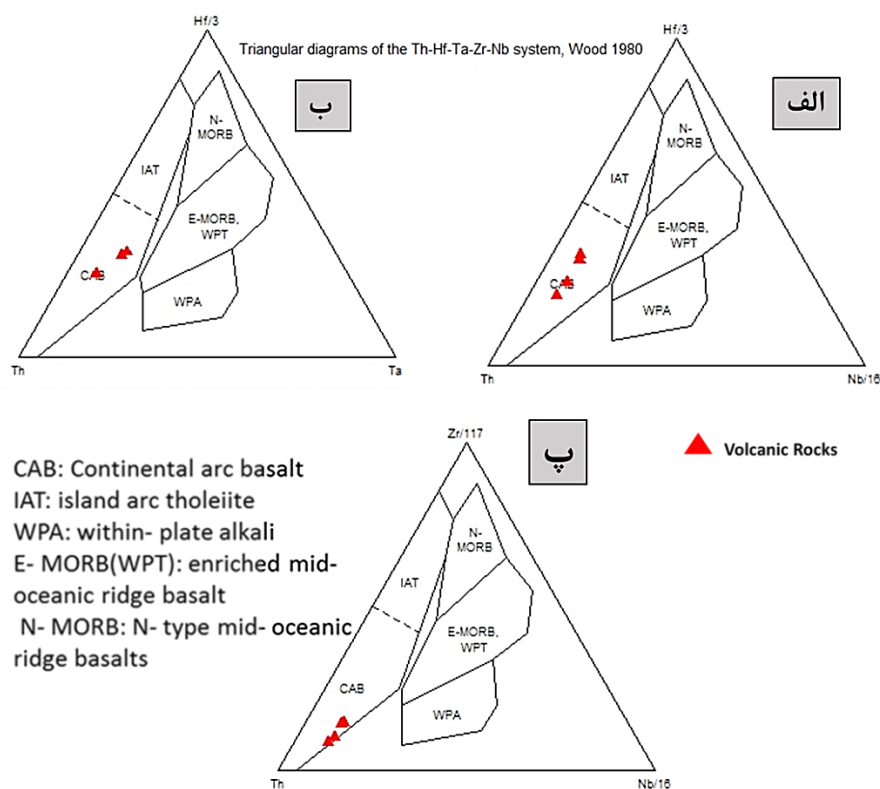


شکل ۶-۲- نمودار Th در مقابل Co (Hastie et al, 2007)، در سری کالک‌آلکالین پتاسیم بالا و شوشونیتی قرار گرفته‌اند. ب-

در نمودار $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ، تمام نمونه‌ها در محدوده ساب‌آلکان قرار گرفته‌اند.

۶-۵-۲- نمودارهای مثلثی Nb و Ta, Hf, Ta, Zr (Wood, 1980)

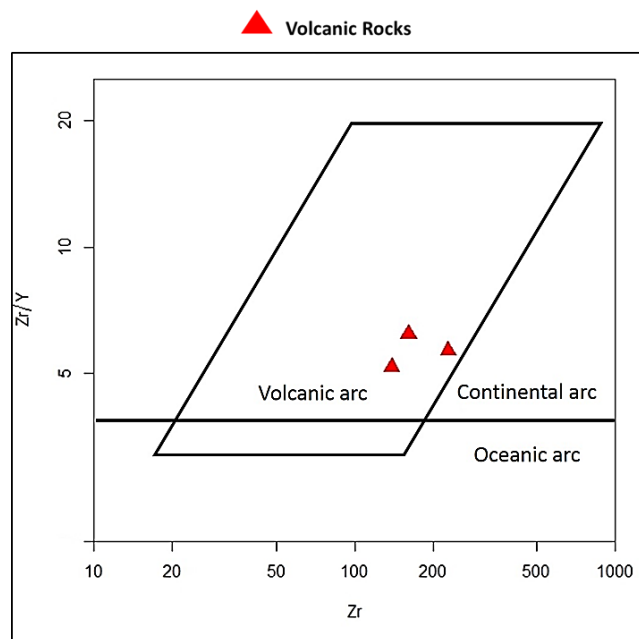
نمودارهای مثلثی وود (Wood, 1980) براساس عناصر $(\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Ta})$ و $(\text{Zr}/117-\text{Th}-\text{Nb}/16)$ ارائه شده است (شکل ۶-۳). نمونه‌های کانسار مس قیصری در این نمودارها با ترکیب حدواسط تا بازی با بازالت‌های کمان قاره‌ای (CAB) مطابقت دارد. از آنجایی که نمونه‌ها نزدیک راس Th و زیر خط جدا کننده $\text{Hf}/\text{Th}=3$ قرار گرفته‌اند، همه آن‌ها دارای ماهیت کالک‌آلکان هستند.



شکل ۶-۳- نمایش موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در نمودارهای مثلثی $(\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Ta})$ ، $(\text{Zr}/117-\text{Th}-\text{Nb}/16)$ و $(\text{Hf}/3-\text{Th}-\text{Nb}/16)$ (Wood, 1980).

۶-۵-۳- نمودار Zr/Y در مقابل Zr (Pearce, 1983)

برای تفکیک کمان‌ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از نوع کمان‌های جزیره‌ای، از نمودار Zr/Y در مقابل Zr استفاده شده است. در نمودار نسبت Zr/Y در مقابل Zr، نمونه‌ها در محدوده کمان‌قاره‌ای، در گروه کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند که احتمالاً در ارتباط با فرورائش یک ورقه اقیانوسی به زیر پوسته قاره‌ای تشکیل شده‌اند (Francheselli et al. 2003). (شکل ۶-۴).

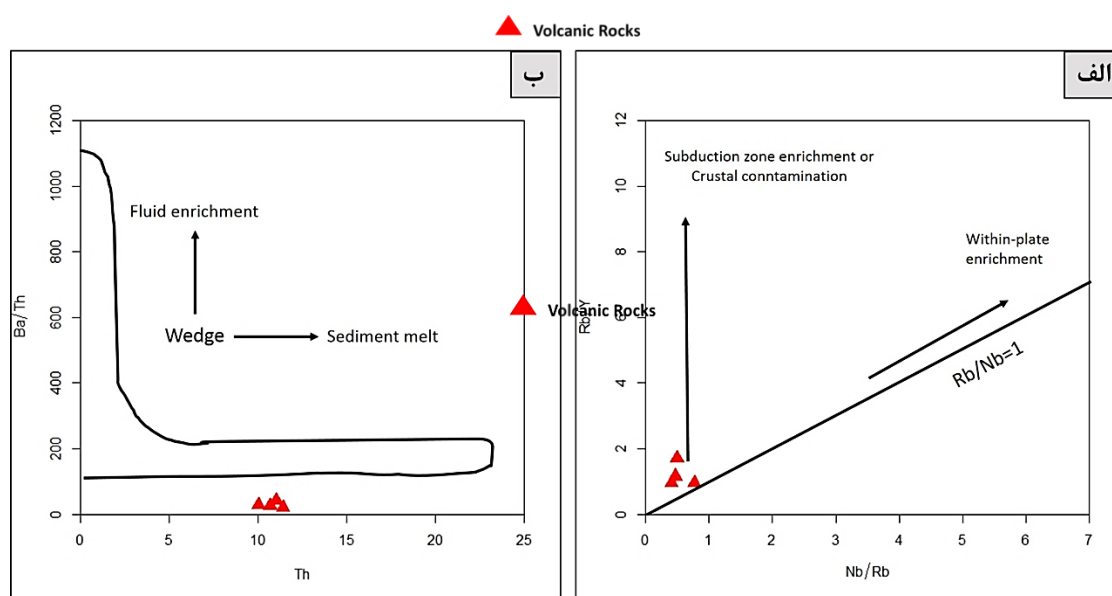


شکل ۶-۴- محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه و تفکیک کمان‌ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای از نوع کمان‌های جزیره‌ای
براساس: تغییرات Zr/Y در مقابل Zr. در این نمودار نمونه‌ها در محدوده کمان‌قاره‌ای، در گروه کمان‌های آتشفشانی قاره‌ای قرار می‌گیرند.

۶-۵-۴- عوامل کنترل کننده ماگماتیسم در مناطق مورد مطالعه

لذا برای تشخیص غنی‌شدگی به وسیله سیالات در زون فرورائش یا آلودگی پوسته‌ای و غنی‌شدگی در موقعیت درون صفحه‌ای از نمودار ارائه شده توسط (Rb/Y- Nb/Rb) (Temel et al. 1998)، استفاده شد. براساس

این نمودار ماگماهای سازنده سنگ‌ها از ذوب بخشی گوه گوشته‌ای غنی شده واقع در بالای ورقه اقیانوسی فرورونده که تاحدودی متحمل آلودگی پوستانه‌ای شده است، نشات گرفته و تعدادی هم در بخش زون فرورانش قرار می‌گیرند. (شکل ۵-۶-الف). یکی دیگر از فاکتورهای موثر در تعیین ژنز سنگ‌های منطقه، رسوبات فرورنده شده هستند. از آنجایی که Th در تعیین نقش رسوبات فرورنده در سیستم کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش، از اهمیت به سزایی برخوردار است، برای تعیین نقش رسوبات فرورنده شده از نمودار Ba/Th در مقابل Th (Hawkesworth et al. 1997)، استفاده شد. نمونه‌های مورد مطالعه میزان نسبتاً بالایی Th و نسبت پایینی از Ba/Th را نشان می‌دهند که احتمالاً ناشی از نقش رسوبات فرورنده در تشکیل ماگمای مادر این سنگ‌ها است (شکل ۵-۶-ب).



شکل ۵-۶-الف - موقعیت سنگ‌های منطقه مورد بررسی در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb . ب - تعیین نقش رسوبات

فرورنده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th .

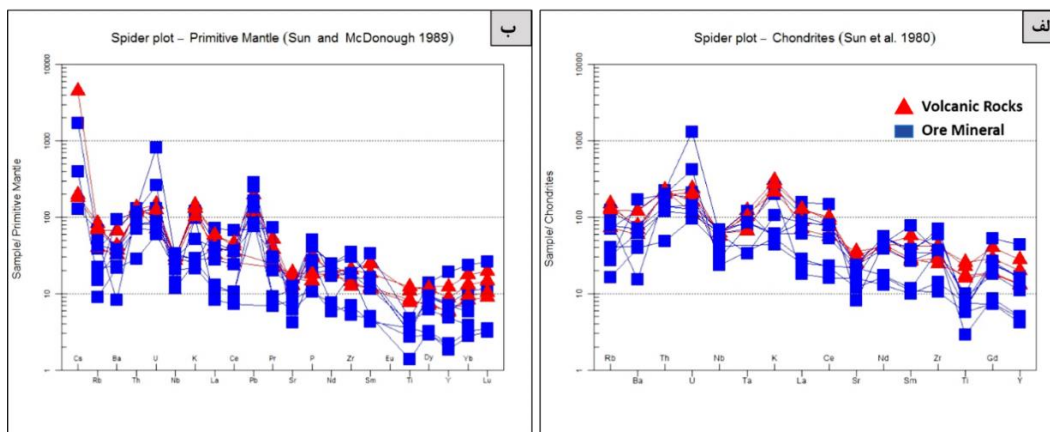
۶-۶- عناصر کمیاب و کمیاب خاکی

به طور کلی عناصر کمیاب خاکی در طول فرآیندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمایی

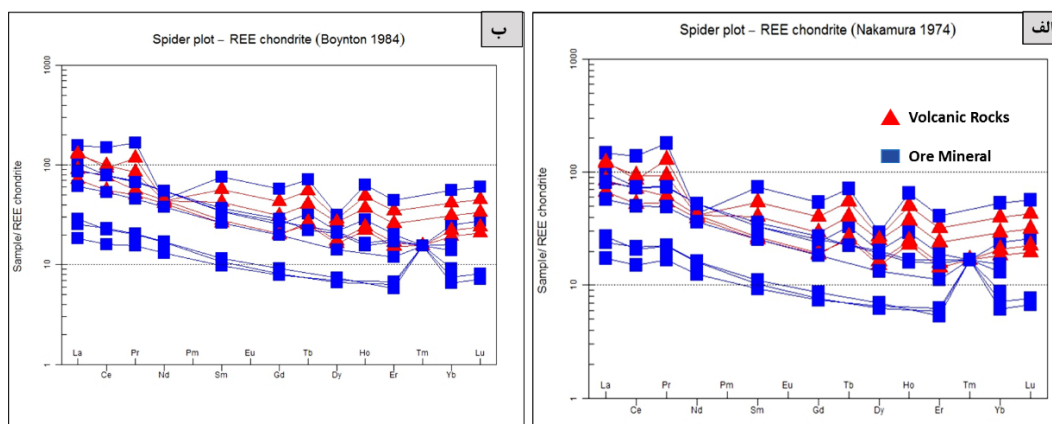
قابلیت تحرک پایینی دارند. بدین جهت در محیط‌های زمین‌شناسی کاربرد فراوانی در تعیین منشأ کانسارهای آذرین، دگرگونی و رسوبی دارند (Rollinson, 2014).

۶-۶-۱- الگوی پراکندگی عناصر کمیاب خاکی در سنگ‌های درونگیر و کانسنگ ماده معدنی

الگوی پراکندگی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی برای تفسیر تاریخچه تشکیل و ژنز کانسارها کاربرد زیادی دارد (Lottemoser, 1992). کانسارهایی که توسط سامانه‌های گرمایی تشکیل می‌شوند دارای ترکیباتی از عناصر کمیاب بوده، که منعکس کننده شرایط حمل و ته‌نشینی توسط محلول‌های گرمایی هستند. ویژگی‌های چنین عناصر کمیابی شامل کاتیون‌های غیرمتحرک و با قدرت میدان بالا (Zr, Nb, Ta و REE)، کاتیون‌های غیرمتحرک (Ni, V and Ti)، مقادیر نسبتاً بالا از عناصر آلکال (Cs, K, Rb and Na) و عناصری که به آسانی قابل حمل هستند (Cu, Pb, Zn, Si, Ca, Mn and Mg) می‌باشد (Naslund et al., 2000). فراوانی عناصر کمیاب و سنگ‌های ولکانیکی منطقه با فراوانی این عناصر در کندریت و گوشته اولیه بهنجار شده (Sun et al., 1980; McDonough and Sun., 1989) و ترسیم شده‌اند. تهی‌شدگی عناصر با پتانسیل یونی بالا مانند Ti غنی‌شدگی عنصر K, U, Pb (شکل ۶-۶، الف و ب) یک جایگاه کمان قاره‌ای مرتبط با فروانش (Wilson, 1989) را مشخص می‌کند. طبق الگوهای (Boynton., 1984; Nakamura, 1974) توزیع عناصر کمیاب خاکی در سنگ‌های ولکانیکی محدود اکتشافی قیصری دارای روند نزولی از سمت عناصر کمیاب خاکی سبک به سمت عناصر کمیاب خاکی سنگین می‌باشد (شکل ۶-۷، الف و ب). این الگو نشان‌دهنده سازگاری ساب‌ولکان‌ها و سنگ‌های ولکانیکی منطقه با سری ماگمایی کالک‌آلکال مرتبط با کمان آتشفشانی است (Muller et al., 1993). نمونه‌های کانسنگ مورد مطالعه مربوط به کانسار مس قیصری در نمودارهای عنکبوتی به ترتیب با سنگ‌های ولکانیکی همخوانی دارند که نشان از هم منشاء بودن ماده معدنی با این سنگ‌ها است.



شکل ۶-۶- نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی و کمیاب پهنجار شده: الف- نسبت به کندریت (Sun et al., 1980) ب- نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1989).



شکل ۶-۷- نمودارهای عنکبوتی عناصر کمیاب خاکی کمیاب پهنجار شده: الف- نسبت به کندریت (Nakamura, 1974) ب- نسبت به گوشته اولیه (Boynton., 1984).

۶-۶-۲- ضریب همبستگی

ضریب همبستگی پیرسون^۱ یا ضریب همبستگی حاصل ضرب-گشتاور پیرسون، میزان همبستگی خطی بین دو متغیر تصادفی را می‌سنجد. مقدار این ضریب بین ۱- تا ۱ تغییر می‌کند که ۱ به معنای همبستگی مثبت کامل، صفر (۰) به معنی نبود همبستگی و ۱- به معنی همبستگی منفی کامل است. این ضریب که کاربرد فراوانی در آمار دارد، توسط کارل پیرسون براساس ایده اولیه فرانسویس گالتون تدوین شد. یکی از روش‌های آماری جهت

1- Pearson Correlation Coefficient

شناخت روابط بین عناصر، تعیین ضریب همبستگی عناصر است (حسنی‌پاک و شریف‌الدین، ۱۳۹۱). ضریب همبستگی پیرسون برای پیدا کردن ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل بین عناصر مختلف و همچنین تغییرات عناصر در محیط‌های ژئوشیمیایی مختلف کمک زیادی می‌کند. وجود همبستگی مثبت بیشتر از $+0/5$ نشان دهنده خروج یا ورود همزمان دو عنصر از یک محیط و یا معرف منشأ یکسان دو عنصر است. همبستگی بیشتر از $-0/5$ نشان دهنده ارتباط معکوس این دو عنصر با یکدیگر است. به این معنی که ورود یک عنصر به محیط، همزمان با خروج دیگری صورت می‌پذیرد و یا دو عنصر از دو منبع جدا از یکدیگر مشتق می‌شوند. اعداد $+0/5$ تا صفر و $-0/5$ تا صفر نشان از همبستگی‌های ضعیف و عدم همبستگی بین دو زوج از عناصر دارد. مطالعه توزیع و پراکندگی و محاسبه ضرایب همبستگی عناصر در نمونه‌های مورد مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار Portable IBM SPSS Statistics صورت گرفت که در زیر شرح داده می‌شود:

ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) بین عناصر فلزات پایه و برخی عناصر دیگر در کانسار مس قیصری، در جدول (۶-۱) نشان داده شده است. همبستگی عناصر مس، سرب، روی، نقره، آهن با یکدیگر و با سایر عناصر به شرح زیر ارائه می‌شود:

مس: همبستگی مثبت با آهن ($r=0.663$)، سرب ($r=0.022$)، آرسنیک ($r=0.474$)، مولیبدن ($r=0.774$)، نقره ($r=0.572$)، با وجود فراوانی نقره در ترکیب شیمیایی نمونه‌های کانسنگ حضور هیچ یک از کانی‌های مستقل نقره در کانی‌ها اثبات نشده بر این اساس می‌توان اذعان داشت پس از تشکیل کوولیت و کالکوسیت طی فرآیندهایی نقره جانشین مس در شبکه کانی‌های کوولیت و کالکوسیت شده است. همبستگی منفی با کادمیوم ($r=-0.633$)، کبالت ($r=-0.556$)، نیکل ($r=-0.311$)، روی ($r=-0.729$)، استرانسیوم ($r=-0.653$)، گوگرد ($r=-1$) و بیسموت ($r=-0.407$) دارد. لازم به ذکر است منفی بودن بسیار بالای عنصر گوگرد $r=-1$ در این تیپ کانسارها مقداری غیرعادی به نظر می‌رسد. یکی از تفسیرهای این نسبت بسیار بالا ممکن است به دلیل تجزیه کانی‌های سولفوری اولیه مثل پیریت و کالکوسیت در زون سوپرژن و تشکیل کانی سولفات کلسیم به نام ژپس در افق‌های سطحی می‌باشد و حضور فراوان ژپس در امتداد شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ

میزبان موید این مسئله می‌باشد. همچنین دلیل منفی بودن روی با مس می‌توان گفت روی در شرایط سطحی تحرک بیشتری دارد و دور می‌شود یا چون در منشا روی نداشتیم.

سرب: همبستگی مثبت بسیار بالایی با عناصر آهن ($r=0.709$) گوگرد ($r=0.999$) نشان می‌دهد. همچنین این عنصر با عناصر مس، بیسموت، منگنز، قلع، سرب و نیوبیوم همبستگی مثبت و با عناصر نقره و کبالت همبستگی منفی دارد.

روی: همبستگی مثبت بالایی با نیوبیوم ($r=0.920$) و تا حدودی همبستگی منفی با آهن ($r=-0.146$) نشان می‌دهد.

نقره: همبستگی منفی نسبتاً بالایی با نیکل ($r=-0.746$) نشان می‌دهد. همچنین رابطه این عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه با عناصر آرسنیک، نیکل و کادمیم منفی است. نقره همبستگی مثبت با استرانسیم، آهن، کبالت و بیسموت دارد. نقره با مس در نمونه‌های مورد مطالعه ($r=0.573$) همبستگی نسبتاً خوبی را نشان می‌دهد.

آهن: همبستگی مثبت بالایی با بیسموت ($r=0.954$) و مولیبدن ($r=0.820$) و همچنین همبستگی منفی با کروم ($r=-0.480$) دارد.

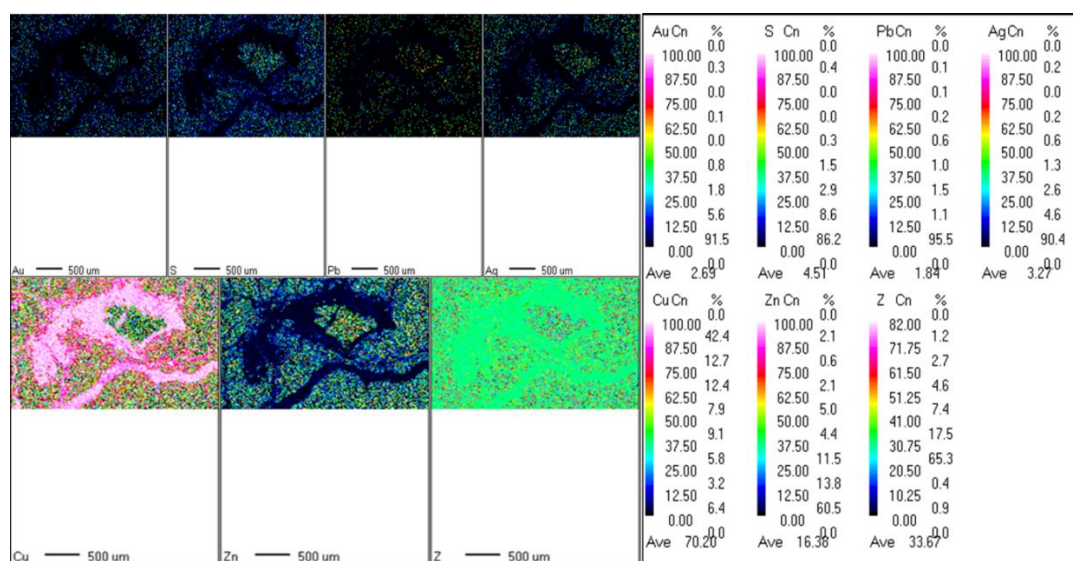
Ag	1																		
As	-.234	1																	
Bi	.960	-.013	1																
Cd	-.111	.012	.693	1															
Ce	-.400	-.392	-.934	.546	1														
Co	.883	-.305	.863	.023	-.268	1													
Cr	-.034	-.121	.708	.528	.139	.062	1												
Cu	.572	.474	-.407	.633	-.567	.556	-.042	1											
Mn	.511	-.548	.991	.082	.365	.337	-.063	.252	1										
Nb	.042	-.682	.164	.060	.710	.040	-.216	-.283	.791	1									
Mo	.149	-.261	-.593	-.137	.037	.182	-.430	.774	.532	.487	1								
Pb	-.310	.007	.645	.164	.129	-.338	-.335	.022	.397	.313	.356	1							
S	-.326	.169	°	-.148	-.054	-.410	-.457	-1.0	.458	.127	.669	.999	1						
Sn	.993	-.510	.988	-.454	-.753	.767	-.515	-.259	.977	.235	.361	.517	°	1					
Sr	.616	-.436	.169	-.674	-.101	.224	-.221	-.653	.439	.412	.140	-.308	-.113	.603	1				
Zn	.124	.171	.712	-.198	.194	-.197	-.123	-.729	.141	.092	-.427	-.323	.476	.544	.364	1			
Ni	-.746	-.058	-.930	-.473	-.087	-.643	.074	-.311	-.233	-.001	.051	.332	.228	-.257	.198	-.129	1		
Fe	.410	-.278	.954	-.152	.098	.335	-.480	.663	.728	.588	.820	.709	.696	.743	.214	-.146	-.196	1	
	Ag	As	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Mn	Nb	Mo	Pb	S	Sn	Sr	Zn	Ni	Fe	

جدول ۶-۱- ضریب همبستگی پیرسون (Pearson) بین عناصر فلزات پایه و برخی عناصر دیگر در کانسار مس قیصری.

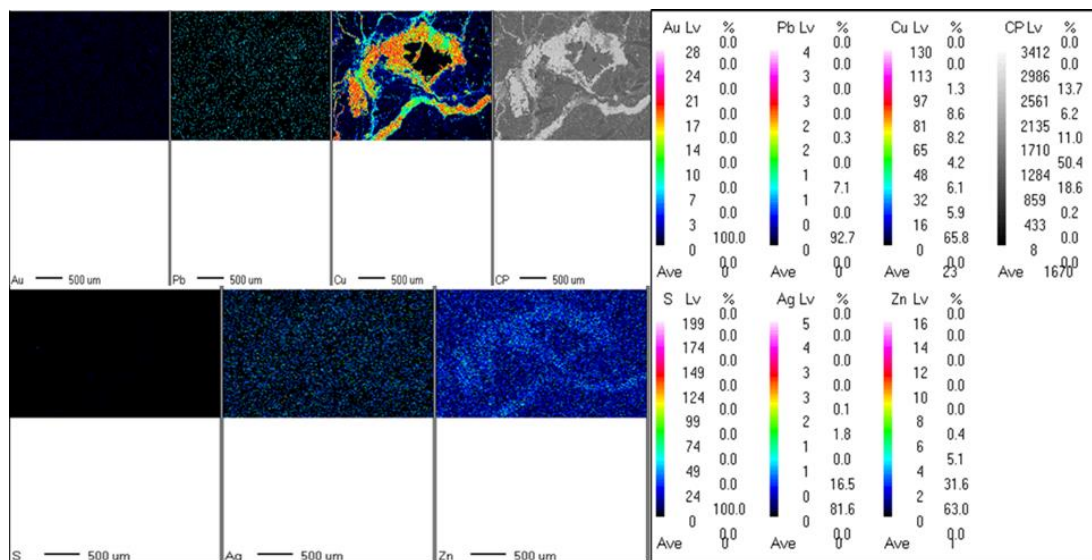
۶-۶-۳- آنالیز نقطه‌ای الکترون میکروپروپ (EPMA)

بررسی ژئوشیمیایی کانی‌ها، به عنوان ابزاری نو در تعیین تکامل سامانه‌های گرمایی کانه‌دار، در مطالعه کانی-زایی‌های مرتبط با سیستم‌های ماگمایی- گرمایی، قلمداد می‌شود (Reich., 2013, Franchini, 2015). یکی از ابزارهای کارآمد که می‌توان فرآیند تشکیل و تحولات کانی‌زایی را بررسی کرد آنالیز نقطه‌ای یک کانی یا (EPMA) می‌باشد. برای انجام این کار در کانسار مس قیصری تعداد ۲ مقطع صیقلی تهیه شده و پس از مطالعات میکروسکوپی جهت بررسی عناصر تشکیل دهنده و اندازه‌گیری فراوانی آن‌ها مورد آنالیز میکروپروپ قرار گرفتند. که نتایج حاصل از آن در شکل‌های ۶-۸ تا ۶-۱۳ ارائه شده است. در این آزمایش تعداد ۶ عنصر مورد اندازه‌گیری قرار گرفتند که بصورت نمودار در شکل‌های ۶-۸ و ۶-۹ و ۶-۱۰ و ۶-۱۱ و ۶-۱۲ و ۶-۱۳ قابل مشاهده می‌باشند. Cu عنصر اصلی و فراوان در نمونه‌های مورد مطالعه و به ترتیب Zn و S و Au و Ag و Pb

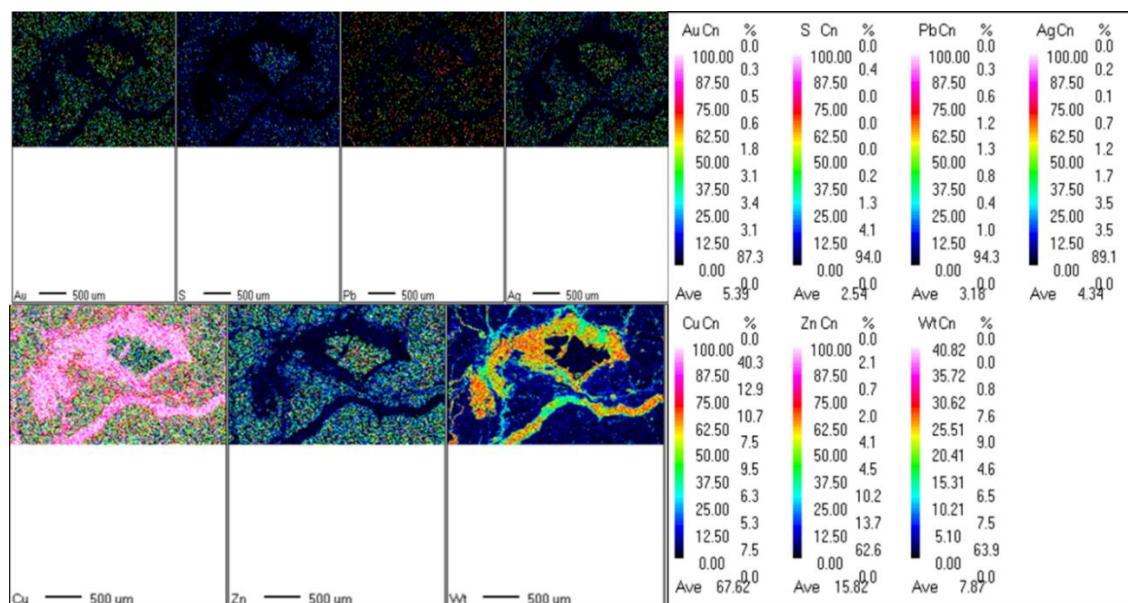
فراوانی کمتری را نشان می‌دهند. با توجه به مطالعات میکروسکوپی صورت گرفته بر روی این مقاطع و از آنجایی که کانی‌های تشکیل دهنده بیشتر کانی‌های کربناته و سولفیدی مس هستند نتایج آنالیزهای میکروپروپ نیز این موضوع را ثابت می‌کنند.



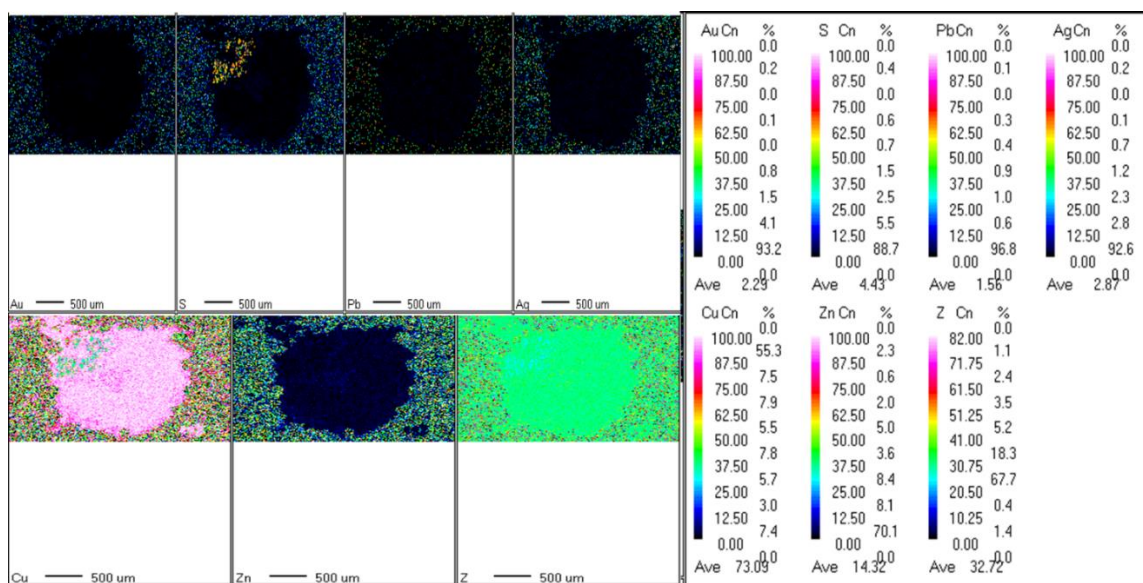
شکل ۶-۸: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۳۱-۱



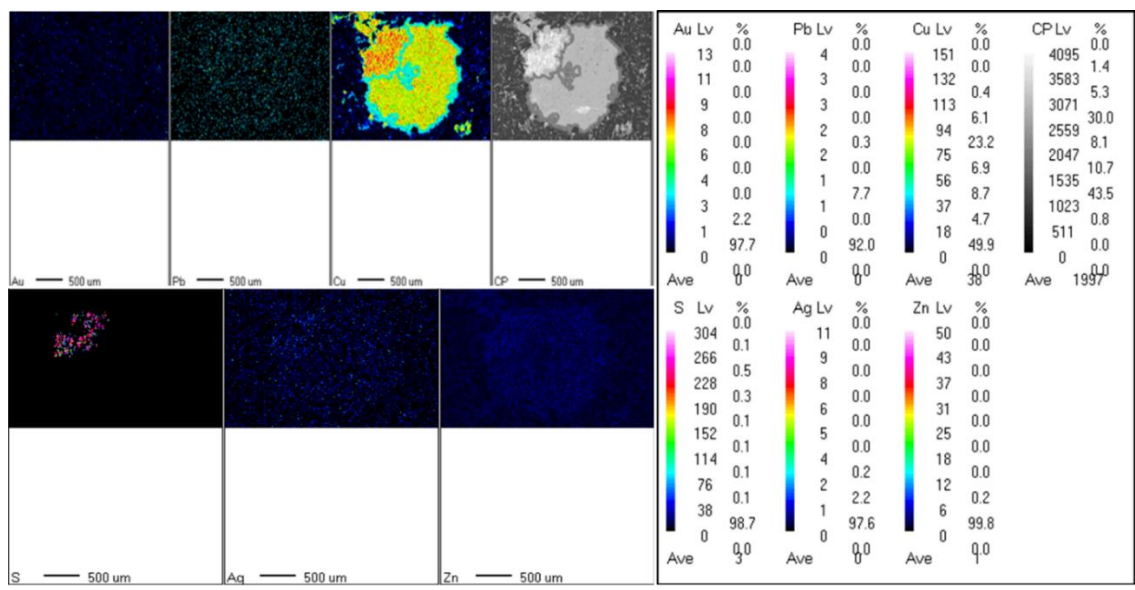
شکل ۶-۹: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۳۱-۱.



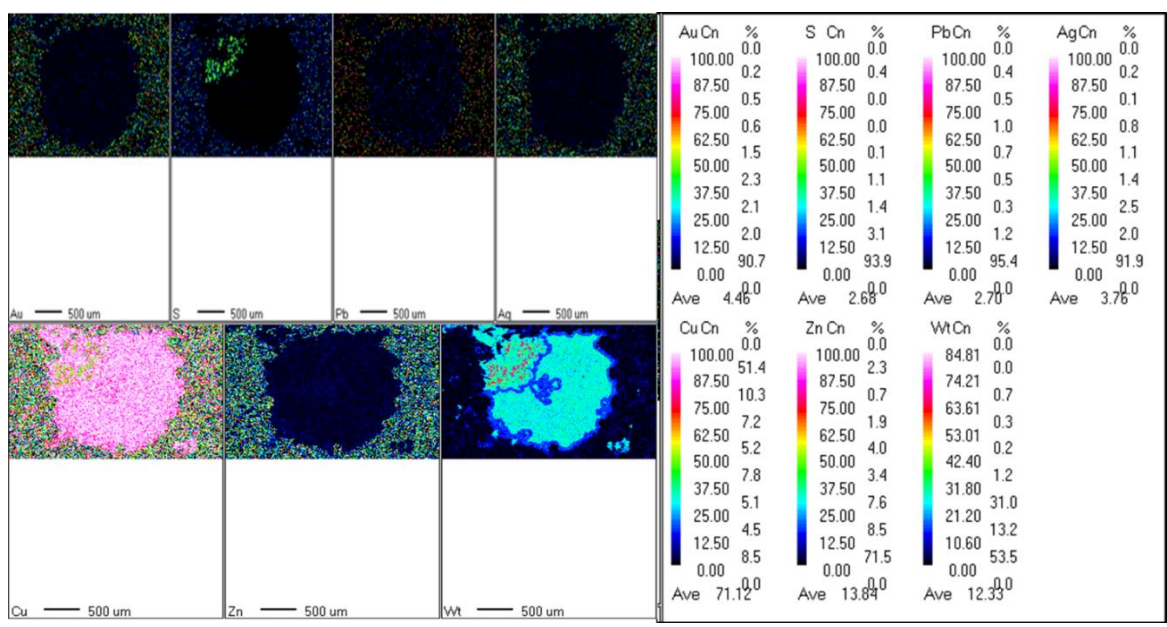
شکل ۶-۱۰: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۱-۳۱.



شکل ۶-۱۱: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۱-۷.



شکل ۶-۱۲: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۷-۱.



شکل ۶-۱۳: نتایج حاصل از آنالیز میکروپروپ مقطع شماره ۷-۱.

فصل، مضموم

سیالات در کیر

۷-۱- مقدمه

هر ساله با پیشرفت تکنیک‌های تجزیه‌ای، حجم زیادی از یافته‌ها و تحقیقات نوین علمی در رابطه با نحوه مطالعات و تجزیه سیالات درگیر در کانسارهای مختلف ارائه می‌شود. به گونه‌ای که سال‌های اخیر، مطالعه آن‌ها بیش از هر روش دیگری در تعیین دمای نهشت کانه‌ها مورد توجه قرار گرفته است. به علاوه در جدیدترین مطالعات اخیر، جهت تعیین سن کانسارهای گرمابی و رخدادهای دگرسانی گرمابی توسط روش‌های ایزوتوپی نظیر K-Ar و Rb-Sr مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مساله اهمیت سیالات درگیر را به عنوان شاهدهی از محلول‌های کانه‌ساز برای اکتشاف، مفید و ضروری نشان می‌دهد. همان‌طور که می‌دانیم بلورها همچنان که رشد می‌کنند، ممکن است مقداری از گازها یا سیالاتی را که در آن‌ها متبلور می‌شوند را در خود حبس کنند. با توجه به عدم تغییر سیالات درگیر در طول میلیون‌ها سال و ویژگی‌های شیمیایی سیال و فرآیندهای ته‌نشست آن‌ها، می‌توانند اطلاعات خیلی قیمتی را در اختیار محققین بگذارند (Simmons and Browne, 2000). در این فصل سعی بر آن شده است که با استفاده از مطالعه سیالات درگیر، ترکیب و ارتباط سیالات درگیر را در چگونگی تشکیل کانسار مس قیصری بررسی کرده و در مورد ارتباط و شرایط دما، شوری و فشار این سیالات و فرآیندهای نهشت کانسنگ به منظور تعیین ژنز کانسار مذکور بحث گردد که نتایج به شرح زیر می‌باشد.

۷-۲- روش انجام مطالعات

مطالعه سیالات درگیر بیشتر بر روی کانی‌های باطله همراه با مواد معدنی صورت می‌گیرد. بدیهی است که این میانبار علاوه بر کانی‌های شفاف، در کانی‌های نیمه شفاف و کدر نیز حضور دارند. ذکر این نکته ضروری است که کوارتز به سبب فراوانی، شفافیت و توانایی تبلور مجدد آسان و همچنین عدم وجود رخ، به یک میزبان مناسب برای میانبارهای سیال تبدیل شده است. لذا در بیشتر موارد می‌توان مطمئن بود که سیالات، همزمان با رشد بلور، محبوس گشته‌اند و از نوع اولیه هستند. در نتیجه جهت تعیین دما، شوری، چگالی و نوع سیال عامل کانی-زائی و دگرسانی در منطقه، ۲ نمونه از رگه‌های آمیتیست و ۱ نمونه کوارتز از کانسار مس قیصری که همراه با

کانه‌زائی بوده‌اند انتخاب شدند. این نمونه‌ها پس از تهیه مقاطع نازک دوبر صیقل، در دانشگاه صنعتی شاهرود مطالعه شدند. مطالعات سیال درگیر از میان ۳ مقطع دوبر صیقل، ۱ نمونه که با شماره ۳۵-۱ (کوارتز)، مناسب برای مطالعه بود انتخاب گردید. پس از آماده سازی در آزمایشگاه تحقیقاتی زمین‌شناسی اقتصادی و میکروترمومتری سیالات درگیر دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود مجهز به یک دستگاه پیشرفته میانبرهای سیال مدل MDSG600 ساخت کارخانه Linkam انگلستان می‌باشد. دامنه حرارتی دستگاه ۱۹۶+ تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است و مجهز به دو کنترل گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) می‌باشد. جهت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده گردید:

Heating : ± 0.6 , Freezing:

کالیبراسیون دستگاه با تلورانس:

± 0.2

Heating: Cesium nitrate, melting point: $+414^{\circ}\text{C}$

Freezing: n-Hexane, melting point: -94.3°C

کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت ± 0.6 درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب 414°C درجه و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد آن - هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب 94.3°C - درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

۷-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

سیالات درگیر ممکن است در تمام کانی‌ها یافت شوند (Velencia Moreno et al., 2001). ده کانی اصلی که در آن‌ها انکلوژیون‌ها به طور رایج گزارش شده‌اند شامل کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتريت می‌باشند. مهم‌ترین ویژگی کانی‌هایی که سیالات درگیر به خوبی در آن‌ها قابل مشاهده است، شفاف بودن و غیر رنگین بودن آن‌ها است که اساسی‌ترین لازمه هر مطالعه نوری روی

سیالات درگیر می‌باشد (Shepherd et al., 1985). شناخت روابط بافتی بین میانبارهای سیال و کانی میزبان و به عبارتی تعیین منشأ آن‌ها، اولین و مهم‌ترین گام در مطالعه میانبارهای سیال است. در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میانبارهای سیال، رده‌بندی ژنتیکی میانبارهای سیال (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، ترکیبات میانبار سیال ($S + V + L$)، نسبت V/L ، نوع کانی‌های دختر (براساس شکل کریستالی و مورفولوژی سیال)، پدیده‌هایی مانند تراوش و باریک شدگی مورد مطالعه قرار می‌گیرند.

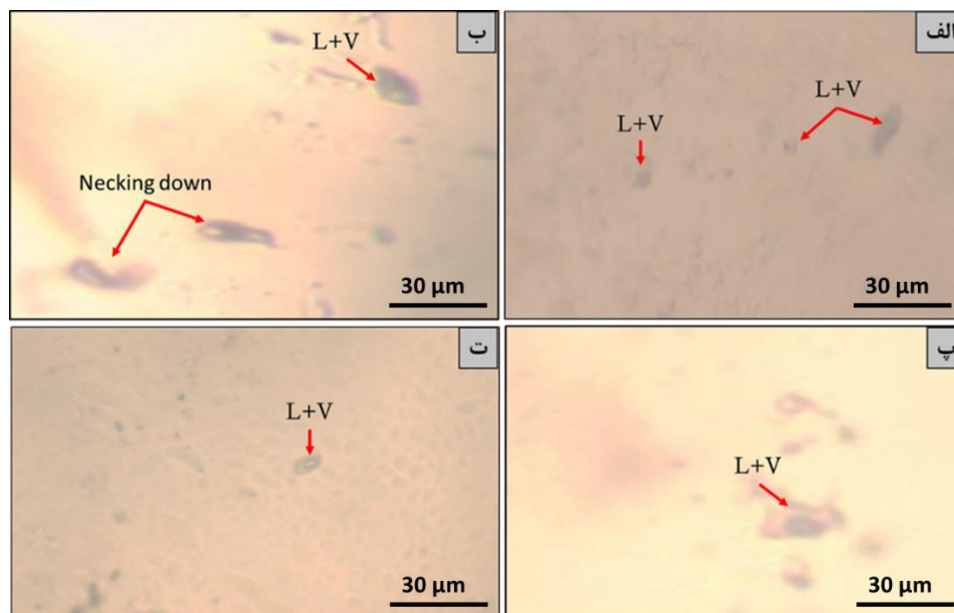
شکل ظاهری سیالات درگیر: به‌طور کلی از لحاظ شکل ظاهری میانبارهای سیال در نمونه‌ها را می‌توان به ترتیب فراوانی به میانبارهای سیال با اشکال کشیده، چند وجهی نامنظم و شکل منفی بلور (Negative crystal) تقسیم‌بندی نمود. شکل منفی بلور یا پدیده باریک‌شدگی (Necking down)، در نمونه ۱-۳۵ مشاهده شد که اطلاعات چنین میانبارهای سیالی زیاد قابل اعتماد نیستند.

فراوانی سیالات درگیر: میانبارهای سیال در نمونه ۱-۳۵ فراوان ولی بر روی ۲ نمونه دیگر تعداد میانبارهای آنالیز شده در این دو نمونه نسبت به نمونه ۱-۳۵ (کوآرتز) کمتر بوده است.

اندازه و نوع سیالات درگیر: اکثر سیالات درگیر کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون هستند، اندازه معمول سیالات درگیر برای مطالعه میکروسکوپی، بین ۲۰-۲ میکرون می‌باشد، اما اطلاعات سیالات درگیر که اندازه آن‌ها کمتر از ۴ میکرون باشد فاقد ارزش است (Shepherd et al., 1985). سیالات درگیر معمولاً بصورت فاز مایع (L)، گاز (V) و جامد (S) هستند که همراه با یکدیگر ممکن است به‌طور اتفاقی به‌عنوان یک یا چند فاز دختر موقع سرد شدن به دام افتاده باشند (Van den Kerkhof and Hen, 2001). میانبارهای سیال براساس فازهای داخلی به چند دسته شامل سیالات درگیر تک فاز بخار (V)، تک فاز مایع (L) دو فاز غنی از مایع ($L+V$)، دو فاز غنی از گاز ($V+L$)، چند فاز جامد و چند جامد ($S+L+V$) مایع نامیژاک (L_1+L_2+V) و سیالات درگیر حاوی شیشه تقسیم‌بندی می‌شوند (Shepherd et al, 1985). میانبارهای سیال در کانسار مس قیصری غالباً بصورت تک فاز مایع (L)، دو فاز غنی از مایع ($L+V$) و به حالت تک

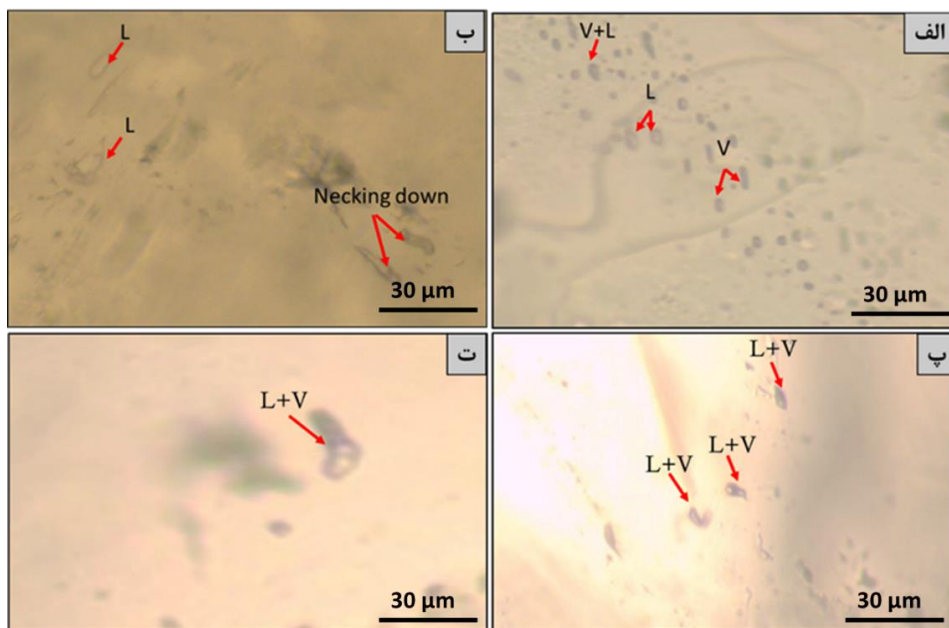
فازی گاز (V)، دو فازی غنی از گاز (V+L) مشاهده می‌شود (شکل ۷-۱ و ۷-۲ و ۷-۳).

انواع سیالات درگیر بر اساس منشأ تشکیل: سیالات درگیر را می‌توان از لحاظ زمان به دام افتادن یا بر مبنای نحوه زایش به سیالات درگیر اولیه (همزبان با تشکیل و رشد بلور میزبان)، ثانویه (بعد از تشکیل و رشد بلور میزبان) و سیالات درگیر ثانویه کاذب که ضمن مرحله‌ای از رشد بلور تشکیل و در مراحل بعدی رشد پوشیده می‌شوند (Bodnar, 1980; Shepherd, 1985 and Roedder, 1984). سیالات درگیر مطالعه شده برای کانسار مس قیصری غالباً اولیه (P) بوده است.

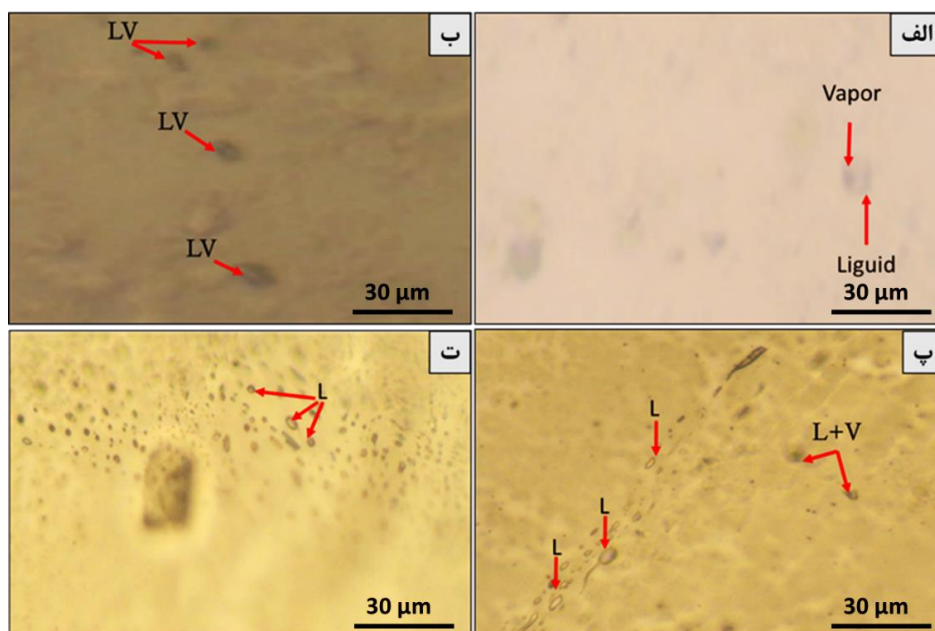


شکل ۷-۱- الف- میانبارهای دو فازی (L+V) غنی از مایع. ب- پدیده باریک شدگی (دم بریده) در میانبارهای دو فازی

(L+V). پ و ت- میانبارهای دو فازی (L+V) غنی از مایع.



شکل ۷-۲- الف- میانبارهای تک فاز گازی (V) مایع (L) و دو فاز (V+L) ثانویه ب- پدیده باریک شدگی در میانبارهای دو فاز (L+V) و مایع بصورت ثانویه. پ و ت- تصاویر میانبارهای دو فاز (L+V) غنی از مایع.



شکل ۷-۳- الف- میانبارهای دو فاز (L+V) غنی از مایع. ب- تصاویر میانبارهای دو فاز (L+V). پ- تصاویر میانبارهای سیال دو فاز (L+V) و مایع بصورت ثانویه. ت- تصاویر میانبارهای سیال تک فاز مایع (L) فلوئیدی که گرد می‌باشد و بدون حباب است.

۷-۴- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال

مطالعات حرارت‌سنجی، ابتدا عملیات سرمایش (Freezing) و سپس گرمایش (Heating) بر روی میانبارهای دوفازی است. انجماد نهایی میانبارها در محدوده‌ی دمایی ۴۰- تا ۶۰- درجه صورت گرفت، تا عمل انجماد کلیه فازها انجام پذیرد. سپس دما را بالا برده تا اولین نقطه‌ی ذوب یخ (Te or Tmf) آشکار شود که این دما نشان‌دهنده املاح موجود در نمونه است. در مواردی به دلیل کوچک بودن میانبار و یا خوب واضح نبودن تغییرات، اولین نقطه ذوب یخ غیر قابل مشاهده بوده که با "nv" مشخص شده است. در مواردی که نقطه یوتکتیک در سیستم H₂O-NaCl پایین‌تر از ۲۱/۲- درجه باشد نشان‌دهنده یون‌های احتمالی دیگر از جمله Ca²⁺، Mg²⁺ و... است. با ادامه افزایش دما، یخ‌های موجود در میانبار ذوب شده تا جایی که آخرین بلور یخ ذوب شود که به این نقطه، آخرین نقطه ذوب یخ (Tmice) گفته می‌شود که نشان‌دهنده مقدار شوری (برحسب درصد وزنی NaCl) است. سپس با رسیدن به دمای اتاق، عملیات گرمایش را شروع کرده و تا جایی این افزایش دما ادامه پیدا می‌کند که حباب بخار موجود در نمونه همگن شود که به آن دمای همگن شدن (Th) می‌گویند. در میانبارهای مورد مطالعه، همگن شدن فاز بخار به فاز مایع رخ داد (V+L-L). در واقع در میانبارهای غنی از مایع، بیش از ۶۵ الی ۷۰ درصد حجم میانبار را مایع آبگین تشکیل داده است. همچنین در تعدادی از میانبارها اولین نقطه‌ی ذوب یخ (Te or Tmf) در محدوده ۵۰- درجه سانتی‌گراد رخ داد که در این دما، میانبارها دارای فازهای یخ + هیدروهالیت + مایع هستند. این دما منطبق برنقطه یوتکتیک سیستم سه‌تایی H₂O-NaCl-CaCl₂ است. با افزایش حرارت، بلورهای بزرگ یخ در کنار بلورهای ریز هیدروهالیت (NaCl.2H₂O) مشاهده می‌شوند. هیدروهالیت متداول‌ترین هیدرات نمک بوده و وجه تمایز آن نسبت به یخ، ضریب شکست بالاتر و ماهیت دانه‌ای آن است. قابل ذکر است که بلورهای صفحه‌ای و گرد یخ دارای برجستگی کمتری نسبت به ذرات هیدروهالیت هستند. با ادامه حرارت، ذرات هیدروهالیت شروع به ذوب شدن می‌کنند (Tmhh) که این ذوب در محدوده‌ی دمایی ۱۴- تا ۱۶- درجه است و در این حالت، تمامی ذرات هیدروهالیت ذوب شده و بلورهای یخ + مایع به

وضوح قابل مشاهده می‌باشند. با افزایش حرارت، بلورهای یخ نیز ذوب شده که آخرین دمای ذوب یخ (T_{mice}) در میانبارها در جدول‌های آنالیز ذکر شده است (مراجعه به پیوست ۶). قابل ذکر است هیدروهلایت در میانبارهایی که از نظر ابعاد بزرگ هستند به خوبی قابل مشاهده است. موارد فوق در دیاگرام سه‌تایی H_2O - $NaCl$ - $CaCl_2$ قابل ترسیم است. محاسبه پارامترها در این سیستم براساس روش زیر انجام گرفته است:

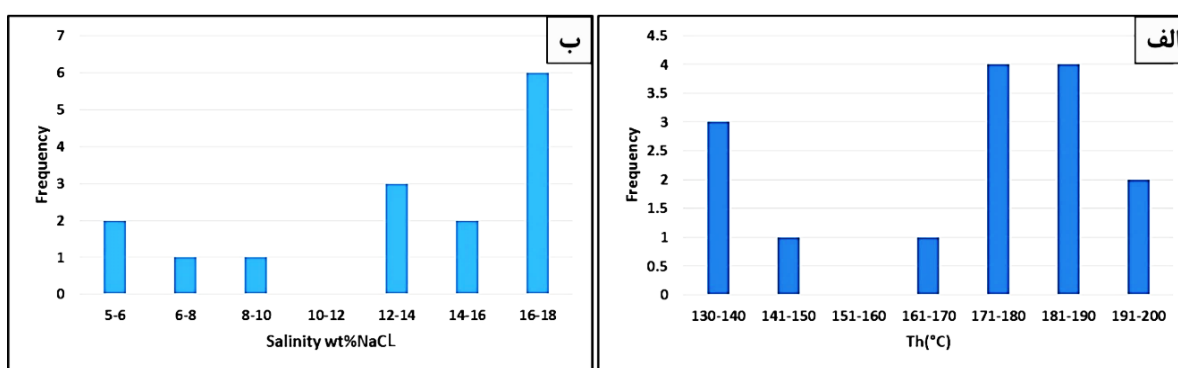
Determination of fluid inclusions compositions in the H_2O - $NaCl$ - $CaCl_2$ system

در میانبارهای دوفازی غنی از گاز (تنها در یک مورد در نمونه ۳۵-۱ مشاهده شد)، حدود ۹۰ درصد حجم میانبار را گاز و فاز مایع حدود ۱۰ درصد میانبار را اشغال کرده است. همگن شدن به فاز گاز در دمای ۱۷۵ درجه سانتی‌گراد رخ داد ($V+L-V$). شوری نیز در حدود ۰/۱۳ درصد وزنی نمک طعام است. در نمونه ۳۵-۱ یک میانبار گاز کربنیک در سیستم H_2O - $NaCl$ - CO_2 مشاهده گردید که متشکل از $Vapour\ CO_2$ ، $Liquid\ CO_2$ و $Liquid\ CO_2$ است. دمای ذوب CO_2 (T_{mCO_2}) در محدوده ۵۰- درجه سانتی‌گراد است که این دما نشان‌دهنده حضور گازهای دیگر از جمله CH_4 و... نیز است، زیرا دمای ذوب CO_2 خالص ۵۶/۶- درجه است. با افزایش دما، ذوب کلاتریت در دمای ۹،۹- درجه اتفاق افتاده و در دمای ۲۴۷+ درجه همگن شدن حباب بخار گاز کربنیک به فاز مایع ثبت گردید. همگن شدن نهایی در دمای ۱۸۰ درجه سانتی‌گراد به فاز مایع مشاهده و ثبت گردید.

۷-۵- تعیین دما و شوری سیال

در این روش با حرارت‌دهی و افزایش دمای میانبارهای سیال، دمایی را که در آن سیال همگن می‌شود (T_H) اندازه‌گیری می‌شود. دمای همگن شدن فقط تخمینی از حداقل دمای تشکیل کانی است و به ندرت معادل دمای به دام افتادن سیال (T_T) است (در هنگام به دام افتادن سیال همزمان با جوشش، دمای همگن شدن با دمای به دام افتادن سیال برابر است). اختلاف ($T_T - T_H$) که به تصحیح فشار معروف است، علاوه بر عامل فشار به چگالی سیال نیز وابسته است، بنابراین برای اکثر میانبارها جهت تخمین دمای به دام افتادن با استفاده از دمای همگن

شدن، اطلاع از ترکیب سیال نیز ضرورت دارد. دمای همگن شدن یعنی دمایی که تمام فازهای جامد و مایع نمونه به صورت محلول همگنی در آیند که این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود (Th). براساس نمودارهای توزیع فراوانی مربوط به دمای همگن شدگی در کانسار مس قیصری، نمونه‌ها در محدوده دمایی بین ۱۹۰ - ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد قرار می‌گیرند (شکل ۷-۴، الف). نمودارهای هیستوگرام، شوری سیال را در کانسار مس قیصری غالباً بین ۱۷-۵ درصد وزنی معادل نمک طعام نشان می‌دهند (شکل ۷-۴، ب).

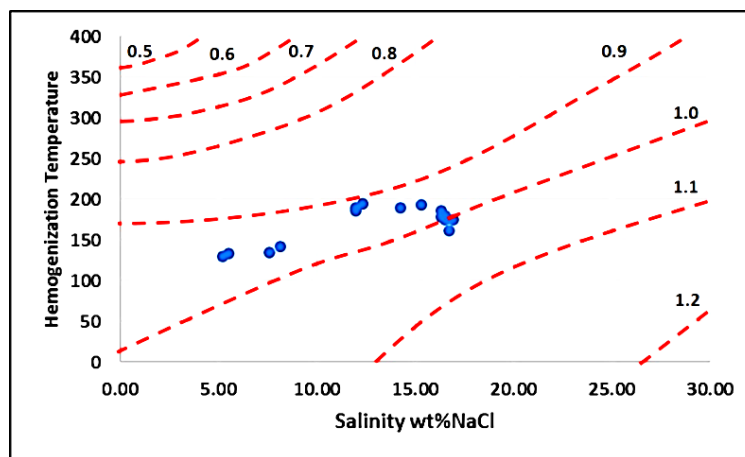


شکل ۷-۴ الف- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس قیصری. ب- نمودار میزان شوری در میان‌بارهای

سیال در کانسار مس قیصری.

۷-۶- چگالی سیال

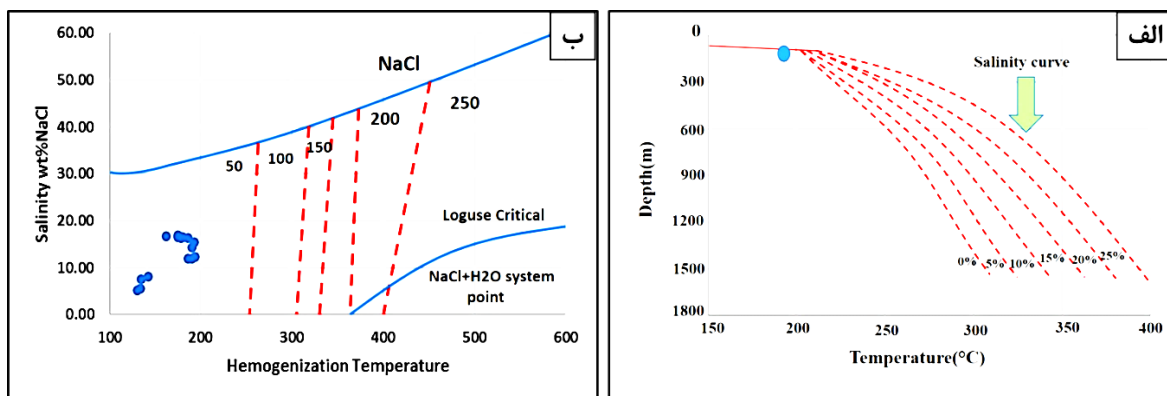
با استفاده از نمودار (Wilkinson, 2001) که براساس دمای همگن شدن در برابر شوری سیال طراحی شده است، می‌توان چگالی را محاسبه کرد. چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه بین ۰/۹-۱/۱ گرم بر متر مکعب (g/m^3) قرار می‌گیرند (شکل ۷-۵). در این نمودار با افزایش شوری میان‌بارهای سیال، چگالی افزایش می‌یابد.



شکل ۷-۵- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001).

۷-۷- تعیین عمق و فشار حاکم در زمان تشکیل کانسنگ

برای تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال از نمودار (Hass, 1971)، استفاده می‌شود. این نمودار برای کانسار مس قیصری، عمق کمتر از ۲۰۰ متر را نشان می‌دهد (شکل ۷-۶- الف). وقتی که سیال به دام می‌افتد هر چه فشار بیشتر شود اختلاف دمای بین همگن شدن و دمای واقعی بیشتر می‌شود. مهم‌ترین نشانه جوشش، وجود میانبارهای غنی از بخار با میانبارهای غنی از مایع که در دمای یکسان به حالت بخار همگن شونده است (Davidson et al., 2007). در هنگام عمل گرمایش میانبارهای سیال، فشار حاکم برای محیط آزمایشگاه برابر یک اتمسفر است در حالی که هنگام به دام افتادن این میانبارها، با توجه به وزن طبقات بالایی، فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبارهای سیال می‌تواند از ده‌ها تا هزاران اتمسفر در نوسان باشد. مقدار فشار محیط ارتباط مستقیم با ضخامت طبقات بالایی یا عمق تشکیل میانبارهای سیال دارد که به این فشار، فشار لیتواستاتیک می‌گویند. به منظور تعیین فشار می‌توان از نمودار (Ramdohr, 1980)، استفاده نمود. براساس این نمودار، فشار حاکم در طی تشکیل کانسنگ در کانسار مس قیصری کمتر از ۵۰ بار تعیین گردید. (شکل ۷-۶- ب).



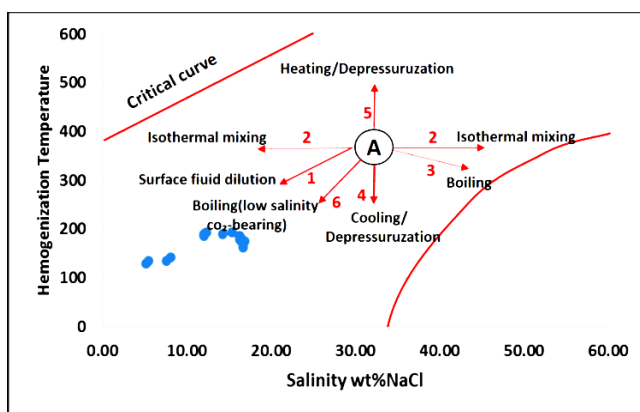
شکل ۷-۶- الف- تعیین عمق به دام افتادن میان‌بارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass, 1971). ب- نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس شوری و دمای همگن شدن (Hass, 1971).

۷-۸- تعیین عوامل فیزیکی موثر بر ته‌نشست ذخیره و نوع کمپکس‌های احتمالی برای

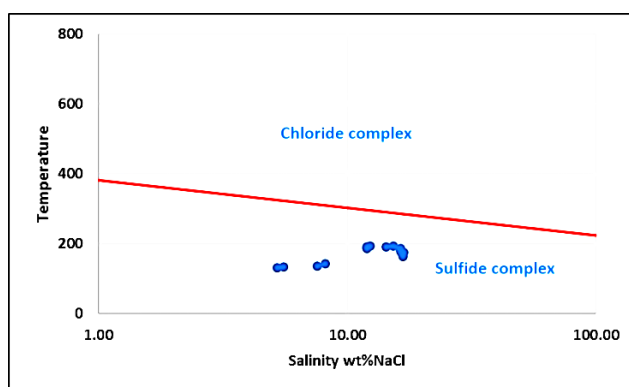
حمل فلزات

در نمودار شکل (۷-۷) ارائه شده توسط (Wilkinson, 2001)، روندهای کلی حاصل از فرآیندهای مختلفی که دما و شوری یک سیال آبدگین را تحت تأثیر قرار می‌دهند، نشان داده شده است. اگر سیال با سیالات سردتر و کم شورتر آمیخته شود روند ۱ حاصل می‌شود. آمیخته شدن سیال ایزوترمال با سیالاتی که شوری متفاوتی دارند روند ۲ را ایجاد خواهد کرد. سیالات جوی با نفوذ به مناطق عمیق پوسته‌ای داغ شده و در هنگام صعود به سمت بالا با سیالات گرمابی افق‌های کم عمق آمیخته می‌شود. در مسیر ۳ جوشش سیال باعث افزایش شوری فاز مایع باقی مانده خواهد شد. ضمن پدیده جوشش، میان‌بارهای سیال از سیال گرمابی ناهمگن تشکیل می‌شوند در نتیجه نسبت فازهای گاز و مایع در میان‌بارهای سیال متفاوت خواهد بود (Wilkinson, 2001). سیالات غنی از گاز در دماهای بالا همگن می‌شوند، در نتیجه سیالات غنی از گاز در کنار سیالات غنی از مایع می‌توانند عاملی در گسترده‌گی دامنه دمایی اندازه‌گیری شده باشد. در حال سرد شدن ساده، روند ۴ حاصل می‌شود. روند ۵ مسیری نابهنجار یعنی نشت میان‌بارها در طی گرم شدن را نشان می‌دهد. در نتیجه با ترسیم داده‌های حاصل از مطالعات میکروترموتری میان‌بارهای سیال بر روی نمودار، داده‌های مربوط به کانسار مس قیصری روند

۱) (فرآیند رقیق شدگی با آب‌های سطحی) را نشان می‌دهند (شکل ۷-۷). براساس مطالعات (Barens, 1997)، در سیال‌های گرمایی با شوری بالا و دماهای بالا، کمپلکس‌های کلریدی، و در دماهای پایین و شوری کم، کمپلکس‌های سولفیدی فلزات پایدارند. با توجه به اینکه نمونه‌های مورد مطالعه غالباً دما و شوری پایینی داشتند، در نمودار (Larg et al., 1988)، در بخش کمپلکس سولفیدی قرار می‌گیرند (شکل ۷-۸).



شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شدن- شوری به منظور تعیین عوامل موثر در تکامل سیال و ته‌نشست مواد معدنی (Wilkinson, 2001).

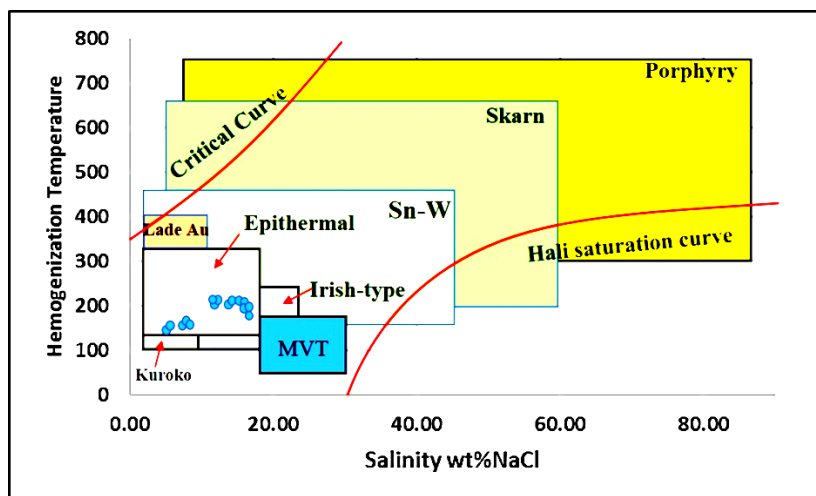


شکل ۷-۸- نمودار (Larg et al, 1988) براساس دما در مقابل شوری جهت تعیین کمپلکس‌های احتمالی حمل فلزات در کانسارهای مورد مطالعه.

۹-۷- تعیین تیپ احتمالی کانسار براساس مطالعه سیالات درگیر

براساس نمودار دمای همگن شده و شوری سیال (Willkinson, 2001) میانبارهای سیال مورد مطالعه در کانسار

مس قیصری در محدوده دمای پایین و اپی ترمال قرار می گیرند (شکل ۹-۷).



شکل ۹-۷- نمودار محدوده دما و تنوری میانبارهای سیال در کانسار مس قیصری و تعیین تیپ احتمالی کانسارها

(Willkinson, 2001)

فصل هشتم

تیپ‌کاذه زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکثانی

۸-۱- مقدمه

ارزیابی ذخایر، نیازمند پایه‌ای محکم از ویژگی‌های شاخص کانسارها است. این مشخصات که از مدل‌های اکتشافی و ژنتیکی مطالعه شده ناشی می‌شوند، باید قابل کاربرد برای ذخایر کشف نشده باشند. در حقیقت یک مدل کانساری تمام ویژگی‌های شاخص یک گروه از کانسارها را شامل می‌شود و می‌تواند از طیفی از مدل‌های مبتنی بر دانش تا مدل‌های مبتنی بر داده تغییر کند. به طور کلی مدل‌هایی که ویژگی‌های شاخص هر گروه از کانسارها را تشریح می‌کنند همراه با تفسیر فرآیندهای تشکیل کانسار هستند و معیار مناسبی برای اکتشاف کانسار فراهم می‌آورند. هدف از مطالعات انجام شده بر روی ویژگی‌های مختلف یک کانسار از جمله مطالعات ژئوشیمیایی، کانی‌شناسی، دگرسانی، سیالات درگیر و نظایر آن‌ها، شناسایی پدیده‌هایی است که منجر به تشکیل و تمرکز عناصر در کانسار شده است و در نتیجه منجر به ارائه الگوی مناسب جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید می‌شود. در این فصل بنا به مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و میکروسکوپی، آنالیزهای شیمیایی و مطالعات کتابخانه‌ای صورت گرفته، یک جمع بندی کلی در مورد چگونگی پیدایش کانسار مس قیصری ارائه می‌گردد. همچنین برای تأیید نتایج بدست آمده از این تحقیق، کانسار مس قیصری را با تعدادی از کانسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه می‌شود و در نهایت یک سری از پیشنهادات اکتشافی برای انجام ادامه کار ارائه می‌گردد.

۸-۲- بررسی خصوصیات مهم کانسارهای اپی‌ترمال

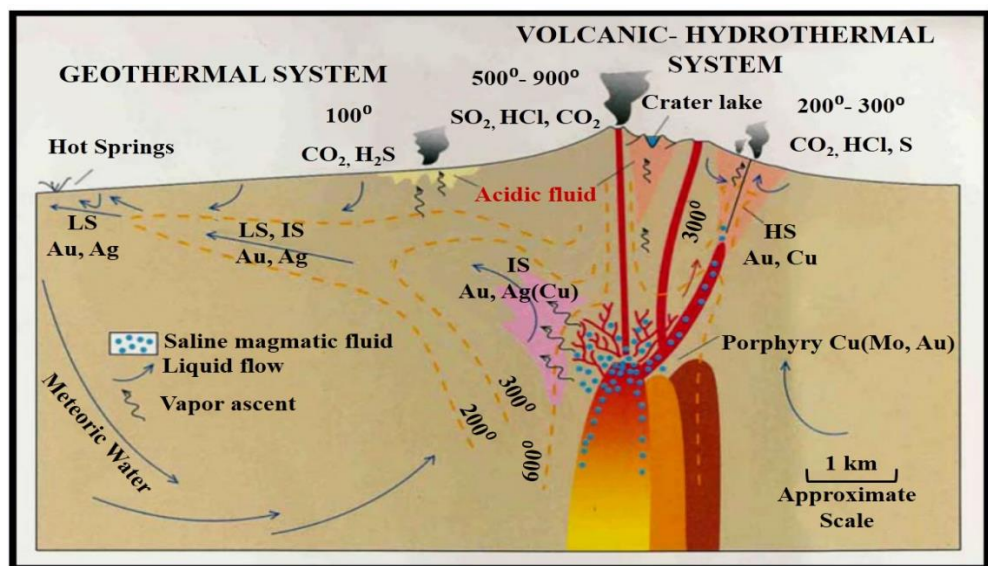
کانی‌سازهای اپی‌ترمال معمولاً در قسمت فوقانی پوسته زمین تا عمق ۱۰۰۰ متری و زیر سطح ایستایی تشکیل می‌شوند. منشأ اولیه سیستم‌های هیدروترمالی، از گرمای ماگمایی و تا حدودی از بالا آمدن چرخه آب‌های سطحی عمیق در طول گسل‌های حوضه نشأت می‌گیرند (Simmons et al., 2005). این نوع نهشته‌ها اغلب از ماگماتیسم حاصل می‌شوند و در مجاور و بالای توده‌های نفوذی و یا فاصله کمی از آن تشکیل می‌شوند (Carman, 2003). معیارهای زمین‌شناسی و ویژگی‌های اولیه نهشته‌های اپی‌ترمالی، عبارتند از: ۱- در

موقعیت شکاف قوس ماگمایی و مرز صفحات همگرا تشکیل می‌شوند ۲- در حاشیه دهانه‌های فعال یا غیر فعال آتشفشانی واقع شده‌اند ۳- در مناطق ژئوترمالی فعال و غیرفعال همراه با نهشته‌های نقره و با خرده برش‌های سیلیسی شناخته شده است (Carew, 2004; Anne et al., 2013). طبقه‌بندی‌های مختلفی از جمله کانی-شناسی، دگرسانی، PH، سولفیداسیون و اکسیداسیون برای آن‌ها در نظر می‌گیرند. کانسارهای اپی‌ترمال براساس سولفیداسیون به سه دسته سولفید پایین (L.S)، سولفید متوسط (I.S) و سولفید بالا (H. S) تقسیم می‌شوند (Simmons et al., 2005) جدول ۸-۱. خلاصه‌ای از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال موجود در بعضی نقاط دنیا بر پایه‌ی مطالعات (Sillitoe and Hedenquist., 2003)، در جدول ۸-۱ ارائه شده است. چگونگی تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال براساس مدل شماتیک (Hedenquist et al., 2000; Cooke and Simmons, 2000) در شکل ۸-۱ نشان داده شده است.

جدول ۸-۱- برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال موجود در دنیا (Sillitoe and Hedenquist., 2003)

Epithermal Types	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
	Oxidized magma	Reduced magma		Subalkaline magma	Alkaline magma
Magma Types			-		
Key proximal alteration minerals	Quartz-alunite/APS; quartz-pyrophyllite/dickite at depth	Quartz-alunite/APS; quartz-dickite at depth	Sericite; adularia generally uncommon	Illite/smectite-adularia	Roscoelite-illite-adularia
Genetically related volcanic rocks	Mainly andesite to rhyodacite	Rhyodacite	Principally andesite to rhyodacite but locally rhyolite	Basalt to rhyolite	Alkali basalt to trachyte
Sulfide abundance	10-90 vol %		5-20 vol %	Typically <1-2 vol %	2-10 vol %
Key sulfide species	Enargite, luzonite, famatinite, covellite	Acanthite, stibnite	Sphalerite, galena, tetrahedrite-tennantite, chalcopryrite	Minor to very minor arsenopyrite ± pyrrhotite; minor sphalerite, galena, tetrahedrite tennantite, chalcopryrite	
Main metals	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag	
Minor metals	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	
Gangue	Carbonate, Quartz, Barite		Carbonate,	Carbonate,	Carbonate,

			Quartz, Barite, manganiferous silicates	fluorite	Celestite, Barite, Fluorite,
Type example	El Indio, Chile, Yanacocha, Peru	Potosí, Bolivia, Fresnillo, Mexico	Baguio, Philippines	Midas, Nevada	Emperor, Fiji
APS = aluminum-phosphate-sulfate minerals					



شکل ۸-۱- مدل شماتیک چگونگی تشکیل کانسارهای اپی ترمال سولفید بالا (H.S)، سولفید متوسط (I.S) و سولفید پایین (L.S) (Hedenquist et al., 2000; Cooke and Simmons, 2000).

۸-۳- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای اپی ترمال رگه‌ای

به منظور تعیین ژنز احتمالی، مقایسه‌ای در خصوص ویژگی‌های کانی‌سازی مس قیصری با کانسارهای رگه‌ای اپی ترمال صورت پذیرفت. بر پایه مطالعات (Chen et al, 2010)، فلزاتی از جمله Hg, Sb, As, Ag, Au در سیستم‌های اپی ترمال از لحاظ اقتصادی فراوانی قابل توجهی نشان می‌دهند. از اواخر دهه ۱۹۷۰ به بعد، بنا به افزایش ارزش طلا و نقره، بهره‌برداری از این کانسارها، افزایش چشمگیری پیدا کرده است. طبقه‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای اپی ترمال وجود دارد که در حال حاضر براساس کانی‌شناسی، دگرسانی pH، سولفیداسیون و اکسیداسیون، دو نوع کانی‌سازی با عنوان سولفیداسیون بالا و سولفیداسیون

پایین به رسمیت شناخته شده است (Robb L. 2004; Zhang et al, 2017). با در نظر گرفتن تمام شواهد صحرایی و آزمایشگاهی شامل ترکیب سنگ میزبان، بافت و ساخت، کانی‌سازی، زون‌های دگرسانی، عناصر فلزی اصلی و همراه، توالی پاراژنتیکی، ژئوشیمی و دماسنجی سیالات درگیر، کانسار مس قیصری در رده کانسارهای اپی‌ترمال نوع رگه‌ای قرار می‌گیرد. مقایسه کانسار مس قیصری با کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای (Beane et al, 1982 ; “Hydrothermal, 2001) در جدول ۸-۲ ارائه شده است.

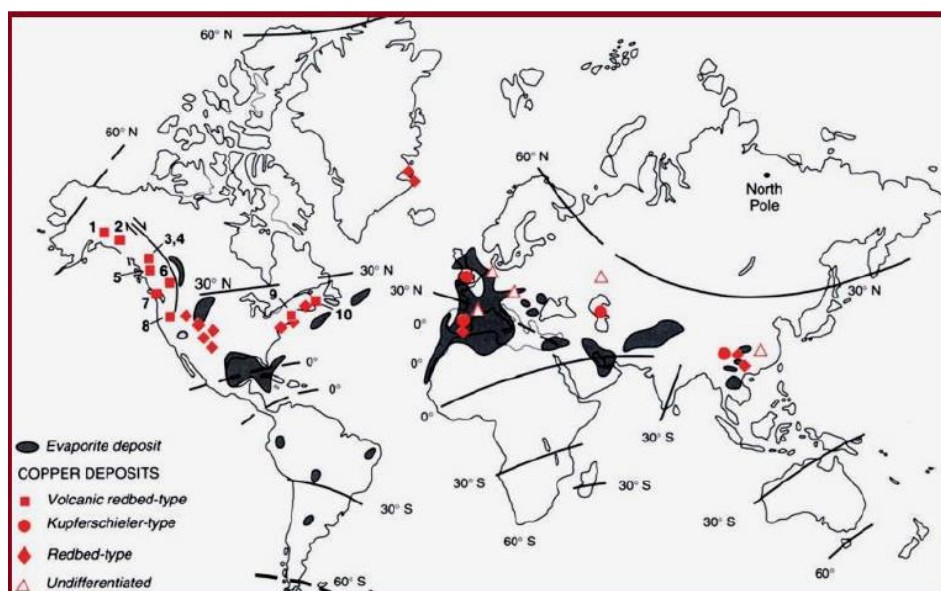
جدول ۸-۲- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای

مشخصات	کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای	کانسار مس قیصری
موقعیت تکتونیکی	حاشیه صفحات همگرا	حاشیه صفحات همگرا
سنگ میزبان	آندزیت، ریولیت، توف و داسیت	آندزیت، بازالت، آندزیت-بازالت، توف
سن تشکیل	عمدتاً سنوزوئیک	ائوسن
عمق تشکیل	عمق کمتر از ۴۰۰ متر	عمق کمتر از ۲۰۰
دگرسانی‌های رایج	سرستیک، آدولاریا و آرژیلیک متوسط	کلریتی، کربناتی، سرسیتی، سیلیسی، هماتی و لیمونیتی شدن، آرژیلیتی
بافت	شکافه‌پرکن و رگه‌ای	شکافه‌پرکن، رگه-رگچه‌ای، جانشینی، کلوفرمی
کانی‌شناسی	اسفالریت، گالن، کالکوپریت و پیریت	هماتیت، کالکوپریت و پیریت به مقدار خیلی کم، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت
فلزات اصلی	Au+Ag(Pb-Zn-Cu)	Cu
ماهیت سیال کانه‌ساز	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی-اکسیدی
منشاء سیال کانه‌ساز	آب‌های جوی و ماگمایی	آب‌های جوی و ماگمایی

۸-۴- بررسی مدل ژنتیکی در کانسار مس قیصری

تقسیم‌بندی نهشته‌های کانسار می‌تواند مبتنی بر گروه‌های کانساری به عنوان مثال (کانسارهای پورفیری، اپی-ترمال و غیره) و مبتنی بر لیتولوژی‌های میزبان به عنوان مثال (کانسارهای وابسته به توده‌های نفوذی فلسیک و کانسارهای وابسته به توده‌های پورفیروآفانتیک) باشد. در این قسمت به منظور تعیین تیپ کانه‌زایی و مدل ژنتیکی کانسار مس قیصری، از هر دو تقسیم‌بندی استفاده شده است. موقعیت و پراکندگی کانسارهای با میزبان

آتشفشانی- رسوبی و تیپ‌های مختلف در شکل ۸-۲ ارائه شده است. ذخایر سولفیدی چینه‌کران و چینه‌سان، یکی از بزرگترین ذخایر سولفیدی برای کانه‌زایی مس هستند. محیط ته‌نشست این ذخایر بسیار متنوع بوده و می‌توانند در همه مراحل یک چرخه زمین‌ساختی ماگمایی- رسوبی تشکیل شوند. با وجود اهمیت اقتصادی و توزیع گسترده کانسارهای مس استراتاباند درک ضعیفی از این کانسارها وجود دارد و شکل‌گیری اپی‌ژنتیک آن در مقابل سین‌ژنتیک آن مورد بحث است (Kojima *et al.*, 2003).



1) Kennecott, Alaska; 2) White River, Yukon Territory; 3) Sustut, British Columbia; 4) Northstar, British Columbia; 5) NH Group, British Columbia; 6) Shamrock, British Columbia; 7) Quadra Island, British Columbia; 8) Seven Devils, Oregon, USA; 9) Newark Basin, Eastern USA; 10) North Mountain Basalt, Nova Scotia

شکل ۸-۲- موقعیت و پراکندگی کانسارهای با میزبان آتشفشانی- رسوبی و با تیپ‌های مختلف (Kirkham, 1996).

با توجه به تمامی ویژگی‌هایی که در فصل‌های قبلی ذکر شد به مطالعه و مقایسه کانسارهایی می‌پردازیم که به صورت چینه‌کران و در سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی تشکیل شده‌اند. برای مشخص شدن نوع کانسار قیصری، به مقایسه این کانسارها با انواع ذخایر سولفیدی چینه‌کران و چینه‌سان مس که در زیر به آن‌ها اشاره می‌شود، می‌پردازیم.

۱- ذخایر سولفید توده‌ای آتشفشانی (VMS)، (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۹).

۲- ذخایر مس چین‌سان رسوبی (SSC)، (Lefebure and Alldrick, 1996).

۳- ذخایر نوع میشیگان^۳.

۴- ذخایر نوع لایه‌های سرخ آتشفشانی (VRB)، (Cabral and Beaudoin, 2007).

۵- ذخایر نوع مانتو، (Oliveros et al., 2008).

کانسار قیصری، با توجه به نوع ساخت و بافت، نوع سنگ میزبان، محیط زمین‌ساختی، توالی پاراژنری و نوع دگرسانی، با کانسارهای سولفید توده‌ای (VMS) و کانسارهای مس چین‌سان رسوبی (SSC) متفاوت است. در حالی که از نظر شاخص‌های اصلی (سنگ میزبان، کانی‌شناسی، بافت و ساخت و دگرسانی) بیشترین شباهت را با کانسار مس نوع مانتو نشان می‌دهند. جدول ۸-۳ به طور خلاصه کانسار قیصری با کانسار تیپ میشیگان، مانتو و لایه‌های سرخ آتشفشانی مقایسه شده‌اند.

جدول ۸-۳- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای تیپ مانتو، طبقات قرمز آتشفشانی و نوع میشیگان.

ویژگی‌های شاخص	کانسار قیصری	Manto Type	Volcanic Redbed Cu	Michigan Type
موقعیت جغرافیایی	ایران (سمنان، جنوب دامغان)	شیلی (کانسار بونا اسپرانز)	کانادا (کانسار مانت الکساندر)	جزیره کویناوا، ایالات متحده (کانسار میشیگان)
محیط تکتونیکی	حاشیه کمان قاره‌ای	محیط کششی مرتبط با فروانش اند و حوضه‌های پشت کمانی	کافت درون قاره‌ای و نزدیک حواشی صفحات	کافت نیمه قاره‌ای
سری ماگمایی	کالک‌آلکالن			سری تولیتی
سنگ میزبان	گدازه و واحد آذرآواری با ترکیب آندزیت،	گدازه‌های آندزیتی و بازالتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا	بازالت آمیگدالوئیدال با میان لایه-

های کنگلومرایی	فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته		بازالت، توف	
مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، دیژنیت و کالکوسیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دیژنیت و کوولیت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، دیژنیت	کانی‌شناسی
هماتیت، مگنتیت، کلسیت، اپیدوت، کوارتز، کلریت و ژئولیت	هماتیت، مگنتیت، کلسیت، اپیدوتف کوارتز، کلریت و ژئولیت	کوارتز، کلریت، اپیدوت، کلسیت و ژئولیت	ژیپس، کلسیت، کوارتز	کانی‌های باطله
عموما بدون دگرسانی مرتبط با کانه- زایی	عموما بدون دگرسانی مرتبط با کانه- زایی و اغلب با دگرگونی پرهنیت پومپله‌ایت	سیلیسی، کلسیتی، آلبیتی و پروپلیتیک	کلریتی، سیلیسی، سریسیتی، سولفاتی، کربناتی، اکسید آهن و آرژیلیتی	دگرسانی
کلسیت، ژئولیت، اپیدوت، کلریت و آلبیت	کلسیت، ژئولیت، اپیدوت، کلریت و آلبیت	کلریت، آلبیت، کوارتز و اپیدوت	کلریت، کلسیت و کوارتز	محصولات دگرسانی
پرکامبرین	ژوراسیک	ژوراسیک	ائوسن	سن کانه‌زایی
واحد آتشفشانی	واحد آتشفشانی	واحد آتشفشانی	واحد آتشفشانی	منبع فلز
و رگه‌ای پرکننده فضاهای خالی	و رگه‌ای پرکننده فضاهای خالی	و رگه‌ای پرکننده فضاهای خالی	و رگه‌ای پرکننده فضاهای خالی	ساخت و بافت
چینه‌کران و تخت	چینه‌کران و تخت	چینه‌کران	چینه‌کران	شکل هندسی

منبع	تحقیق حاضر	(Oliveros et al., 2008)	(Cabral and Beaudoin, 2007)	(Sillitoe, 1997)
------	------------	-------------------------------	--------------------------------------	---------------------

۸-۵- کانسارهای تیپ مانتو در ایران

تاکنون انواع مختلف تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران مورد شناسایی قرار گرفته‌اند ولی ذخایر تیپ مانتو تنها در زون ارومیه- دختر سندرچ- سیرجان و زیر پهنه سبزوار گزارش شده‌اند. مقایسه ویژگی‌های اساسی کانسارهای مس قیصری با کانسارهای مشابه در ایران در جدول ۸-۴ ارائه شده است. با بررسی مقایسه انجام شده بین کانسارهای کشف شده در ولکانیک‌های ائوسن با کانسارهای نوع مانتو درشیلی (بوئنااسپرانزا) به این نتیجه رسیدند که کانسارهای مانتو، در فوقانی‌ترین بخش از گدازه‌های آندزیتی پورفیری ائوسن ایران، تشکیل گردیده است. گستردگی ولکانیسم ائوسن با رخساره قاره‌ای- نیمه قاره‌ای، لیتولوژی پورفیری و شواهد موجود، نوید بخش بروز استعداد متالوژنی از کانسارهای مس نوع مانتو در ایران است و می‌تواند دومین نوع پتانسیل مس کشور، بعد از کانسارهای نوع پورفیری به حساب آید (سامانی، ۱۳۸۱) مقایسه ویژگی‌های کانسار مس قیصری از قبیل سنگ میزبان، جایگاه زمین‌ساختی، پاراژنز کانیایی، بافت ماده معدنی، محصولات دگرسانی و غیره. با کانسارهای بزرگ جهان و ایران نشان می‌دهد که این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای مس ابری و رهبری، عباس آباد، ماری، گرماب، ورزگ و چشمه گز نسیم (ایران) و.... بوئنااسپرانزا (شیلی) دارد.

جدول ۸-۴- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای تیپ مانتو در ایران

ویژگی‌های شاخص	کانسار قیصری	کانسار ابری	کانسار رهبری	کانسار عباس آباد	کانسار ورزگ	کانسار کشکوئیه
موقعیت جغرافیایی	سمنان، جنوب دامغان	شمال غرب بردسکن	شمال غرب بردسکن	شاهرود	جنوب غرب قاین	غرب رفسنجان

محیط تکتونیکی	کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای	کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای		کافت درون قاره‌ای	محیط کشش پشت کمانی
سنگ میزبان	گدازه و واحدهای آذرآواری با ترکیب آندزیت، بازالت	گدازه و واحدهای آذرآواری با ترکیب آندزیت، بازالت	گدازه و واحدهای آذرآواری با ترکیب آندزیت، بازالت	آندزیت و مگاپورفیری و توف برشی	آندزیت تا آندزیت دارای شکل‌های بادامکی
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، دیزنیت و مس طبیعی	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت	کالکوسیت، دیزنیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی و کمی کالکوپیریت	بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت، پیریت، دیزنیت به همراه میزان بالایی هماتیت
کانی‌های باطله	ژپس، کلسیت، کوارتز هماتیت، زئولیت و کوارتز	کربنات، کلریت، هماتیت، زئولیت و کوارتز	کربنات، کلریت، هماتیت، زئولیت . کوارتز	کربنات و سیلیس کلریت، هماتیت و آلکالی فلدسپار	کربنات، سیلیس، کلریت، هماتیت و آلکالی فلدسپار

دگرسانی	کلریتی، سیلیسی، سریسیتی، کربناتی، سولفاتی، اکسید آهن و آرژیلیتی	پروپیلیتیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، اکسید آهن و سریسیتی	پرو پیلیتیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، اکسید آهن و سریسیتی	کربناتی، کلریتی، اپیدوتی و سیلیسی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی و ژئولیتی	کربناتی، هماتی و سریسیتی
سن واحد میزبان	اؤسن	اؤسن میانی	اؤسن میانی	اؤسن	ترشیری	کرتاسه زیرین
ساخت و بافت	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، جانشینی و کلوفرمی	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، جانشینی	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، جانشینی	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، جانشینی	رگه - رگچه‌ای، پرکننده بادامک‌ها، پراکنده	پرکننده فضاهای خالی، دانه پراکنده، رگه - رگچه‌ای، جانشینی
شکل هندسی	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران
منبع	تحقیق حاضر (۱۳۹۵)	سلطانی، (۱۳۹۵)	سلطانی، (۱۳۹۵)	(مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳)	(علی‌زاده، ۱۳۹۱)	(ابولی و همکاران، ۱۳۹۴)

ادامه جدول ۸-۴- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای تیپ مانتو در ایران

ویژگی‌های شاخص	کانسار ماری	کانسار چشمه گز (نسیم)	کانسار بزرگ	کانسار گرماب	کانسار کشک مهکی
موقعیت	شمال زنجان	بردسکن	شرق شاهرود	شمال شرق قائن	شمال شرق صفا

جغرافیایی				شهر
محیط تکتونیکی	فرورانش	کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای	کمان قاره‌ای فرورانشی	کمان‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ها کمان آتشفشانی
سنگ میزبان	آندزیت	گدازه‌های آندزیتی	تراکی آندزیت	آندزیت تا آندزیت بازالت پورفیری و توف
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت و پیریت	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت و کوولیت	کالکوسیت و بورنیت کولیت، دیژنیت، کالکوپیریت و دیژنیت
کانی‌های باطله	کربنات، زئولیت و کوارتز	کوارتز، کلریت، کلسیت، کالسدونی و زئولیت	کوارتز، کلریت، اپیدوت، کلسیت، کالسدونی و زئولیت	اپیدوت، کربنات، کلریت و آلکالی فلدسپار
دگرسانی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی و اپیدوتی	سیلیسی، هماتیتی، کلریتی و کلسیتی	پروپیلیتیک، هماتیتی، سیلیسی کلسیتی	سیلیسی، کلریتی، کربناتی، آرژیلیتی، پروپیلیتیک و آپاسیتی
سن واحد میزبان	ائوسن	ائوسن	ائوسن	ترشیری
ساخت و بافت	پرکننده فضای خالی، رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده	رگه- رگچه‌ای، پراکنده، پرکننده فضاهای خالی و بادامکی	پراکنده، رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و بادامکی	پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده، رگه- رگچه‌ایف جانشینی و

لامینه‌ای					
شکل هندسی	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران	چینه کران
منبع	(اصل ممقانی، ۱۳۹۰)	(میلانلو، ۱۳۹۴)	(صالحی و همکاران، ۱۳۹۴)	(عادل‌پور، ۱۳۹۱)	(بویری و همکاران، ۱۳۹۳)

۸-۶- مقایسه کانسار مس قیصری با دیگر کانسارهای ایران و جهان

در کشور ایران و در سایر کشورهای دنیا شاهد کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) با کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها از جمله مس، سرب، روی، طلا، نقره هستیم. این ذخایر در مقیاس قاره‌ای در فروانش حاشیه صفحات قرار می‌گیرند (Heald et al., 1987). کانسار مس قیصری در جداول ۷-۵ و ۷-۶ با تعدادی از کانسارهای تیپ هیدروترمال رگه‌ای موجود در رشته کوه تروود - چاه‌شیرین و همچنین با تعدادی کانسارهای اپی‌ترمال موجود در ایران و سایر نقاط دنیا مقایسه شده است.

جدول ۸-۵- مقایسه بعضی از ویژگی‌های شاخص کانسار مس قیصری با برخی کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) واقع در رشته کوه تروود- چاه‌شیرین و سایر نقاط ایران.

کانسارها ویژگی‌ها	کانسار مس قیصری	کانسار مس رباعی	کانسار دیان	کانسار چاه موسی	کانسار کالجویه	کانسار چشمه حافظ	کانسار گندی	کانسار ابوالحسنی	کانسار گلوچه
رشته ساختاری	طروود- چاه- شیرین	طروود- چاه- شیرین	طروود- چاه- شیرین	طروود- چاه- شیرین	رشته ارومیه- دختر	طروود- چاه- شیرین	طروود- چاه‌شیرین	طروود- چاه- شیرین	طارم- هشتجین
سنگ میزبان	آندزیت و بازالت و توف	آندزیت و آندزیت بازالت	الیوین بازالت، بازالت	بیوتیت- هورنبلند آندزیت پورفیری	گدازه‌های آندزیتی و توف ماسه‌ای	آندزیت، آندزیت بازالت، توف برش، ماسه سنگ	آندزیت، سیلتستون، توف ماسه‌ای، لاپیلی توف و ولکانیک برش	سیلتستون، توف ماسه‌ای، لاپیلی- توف و ولکانیک برش	آندزیت، آندزی- بازالت، تراکی- آندزیت، داسیت و توف

سری ماگمایی	کالک آلکالن	کالک آلکالن	آلکالن تا کالک آلکالن	کالک و آلکالن	کالک و آلکالن	کالک آلکالن غنی از پتاسیم	کالک آلکالن	کالک آلکالن	کالک آلکالن تا کالک آلکالن
دگرسانی	آرژلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی، هماتی و لیمونیتی شدن	آرژلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	آرژلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	پروپلیتیک و سیلیسی	پروپلیتیک و سیلیسی	فیلیک، پروپلیتیک، کلریتی- کلسیتی، اپیدوتی- کلریتی- کلسیتی	آرژلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	سیلیسی - کربناتی، آرژلیکی(ایلیت و مونتموریونیت)، اپیدوت و کلریتی شدن، هماتی و لیمونیتی شدن	ساب آلکالن تا کالک آلکالن غنی از پتاسیم
روند کانی‌زایی	شمال شرقی- جنوب غربی و شمال غربی- جنوب شرقی	غالباً شمال شرق- جنوب غرب	شمال شرق- جنوب غرب	-	شمال شرق- جنوب غرب	-	غالباً شمال شرق جنوب غرب	غالباً شمال- شرق- جنوب غرب	شمال غرب- جنوب شرقی
کانه‌های اصلی اولیه	کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت، دیژنیت، مس طبیعی	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کولیت،	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، مس طبیعی، تنوریت و کوپریت	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، گالن، مالاکیت و آزوریت	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، گالن، مالاکیت و آزوریت	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، گالن، مالاکیت و آزوریت	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کولیت،	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کولیت،	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، سروزیت،
کانی‌های ثانویه	مالاکیت، آزوریت، کولیت، کالکوسیت	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	آزوریت، مالاکیت، آزوریت

کوارتز، کلسیت، فلوریت، پیریت، پیرولوویت، هماتیت و گوتیت	کلسیت، کوارتز، پیریت، گوتیت، هماتیت و لیمونیت	کلسیت، کوارتز، دولومیت، باریت و پیریت	کوارتز، باریت، کلسیت، پیریت، هماتیت	کوارتز، مگنتیت، هماتیت، گوتیت و سایر هیدرواکسیدهای آهن	کوارتز، کلسیت و پیریت	کوارتز، باریت، کلسیت، پیریت، هماتیت و لیمونیت	کلسیت، دولومیت، کوارتز، کانی‌های رسی، پیریت، هماتیت، مگنتیت و لیمونیت	کلسیت، کوارتز، ژئپس، هماتیت، مگنتیت و لیمونیت	باطله و کانی - های فرعی
پرکننده فضای خالی، جانشینی و برشی	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، رگه‌ای و نواری	رگه -رگه‌ای، پرکننده فضای خالی و برشی	پرکننده فضای خالی، رگه رگه‌ای، دانه پراکنده، شانه‌ای و برشی	رگه -رگه‌ای	افشان و رگه‌ای	شکافه‌پرکن، رگه -رگه - ای و جانشینی	رگه -رگه - ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و اکسلوشن	رگه -رگه - ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و کلورمی	ساخت و بافت ماده معدنی
150- 340 °C	234- 340°C	235-285 °C	140- 280 °C	180- 320 °C	-	-	140- 170 °C	140- 190°C	دمای سیال
0.1 -13.3 NaCl	6.7- 18.7 NaCl	4.2- 5.4 NaCl	4.7- 18 NaCl	شوری بسیار پایین	-	-	2- 6 NaCl	5-17 NaCl	شوری
اپی ترمال سولفید بالا تا متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید پایین	هیدروترمالی رگه‌ای	هیدروترمالی رگه‌ای	هیدروترمالی رگه‌ای(اپی - ترمال سولفید متوسط)	هیدروترمالی رگه‌ای (اپی - ترمال سولفید پایین)	تیپ کانی‌زایی
Mehrabi et al., 2016	Shamanian et al., 2004	Shamanian et al., 2004	Mehrabi et al., 2012	مهدوری و همکاران، ۱۳۸۸	امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷	ناهدی‌فر، ۱۳۹۳	عبدوالهی، ۱۳۹۵	این تحقیق	مراجع

جدول ۸-۶- مقایسه کانسار مس قیصری با کانسارهای اپی ترمال سولفید پایین، سولفید متوسط و هیدروترمالی رگه‌ای در سایر

نقاط دنیا.

کانسارها ویژگی‌ها	کانسار مس قیصری	کانسار طلا Axi، Xinjang چین	کانسار طلا- (Sahinli) غرب ترکیه	کانسار Pb-Zn-Cu $\pm Au \pm Ag$ Kuru	کانسار Fresnillo مکزیک
میحط تکتونیکی	فرورانش حاشیه قاره‌ای (CAB)	حاشیه قاره‌ای فعال	رشته فرورانش حاشیه قاره‌ای	پشت کمان	-
سنگ میزبان	آندزیت و بازالت و توف	آندزیت، ولکانیک برش و آگلومرا	آندزیت، سیلتستون، توف ماسه‌ای، لاپیلی- توف و ولکانیک برش	آندزیت بازالت، آندزیت، توف داسیتی، توف ریولیتی	آندزیت
سری ماگمایی	کالک آلکالن	-	کالک آلکالن	کالک آلکالن	-
سن کانی‌زایی	ائوسن	کربونیفر زیرین	ائوسن میانی	اوایل الیگوسن	-
دگرسانی	آرژیلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	فیلیک، پروپلیتیک، کربناتی و سیلیسی	آرژیلیک متوسط، آرژیلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سیلیسی	آرژیلیک، پروپلیتیک، سریسیتی	-
کانه‌های مهم	کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت	طلای خالص، الکتروم، پیرآرژیریت، پلی- بازیت، سرارجریت، اسفالریت، گالن، کالکوپریت	کالکوپریت، اسفالریت، گالن، تتراهیدریت، مولیبدنیت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، سروزیت	گالن، اسفالریت، کالکوپریت، بورنیت، تنانتیت، طلا	طلا و نقره خالص، سولفوسالت نقره، کالکوپریت، اسفالریت، گالن، مالاکیت، آزوریت

			تتراهدریت		
کوارتز، کلسیت، کلریت ، کلسدونی، پیریت، هماتیت، لیمونیت	کوارتز ، باریت و کربنات، پیریت	کوارتز ، باریت و کربنات، پیریت، گوتیت	کوارتز، کلسیت، سیدریت، دولومیت، ایلیت، آلونیت، لامونتیت، پیریت، مارکاسیت، آرسنوپیریت، هماتیت، لیمونیت	کلسیت، کوارتز، ژیپس، پیریت، هماتیت، مگنتیت، لیمونیت، گوتیت	باطله و کانی های فرعی
رگه ای	رگچه ای، اسکلتی، جانشینی، دانه پراکنده،	بافت شانه ای، پراکنده، توده ای و برشی	رگه ای	رگه - رگچه ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و کلوفر می	ساخت و بافت ماده معدنی
200- 300 °C	255.9-387 °C	220- 322 °C	120- 240 °C	140- 190 °C	دمای سیال
0.1-12wt% NaCl	0.2- 8wt% NaCl	4.3- 6.9wt% NaCl	0.5- 6.9wt% NaCl	5-17wt % NaCl	شوری سیال
هیدروترمال رگه - ای	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید پایین	هیدروترمالی رگه ای (اپی - ترمال سولفید پایین)	تیپ کانی زایی
Simmons et al., 1988	Çiçek and Oyman., 2016	Yilmaz et al., 2010	Wei Zhai et al., 2009	این تحقیق	مراجع

۸-۷- عوامل موثر در تشکیل کانسار مس قیصری

عوامل موثر در کانه‌زایی و نحوه تجمع و تشکیل ذخایر معدنی جهت ارائه مدل ژنتیکی و نحوه کانی‌سازی کانسار مس قیصری در ادامه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

تکتونیک ناحیه‌ای: کانسارهای اپی‌ترمال بیشتر در قوس‌های آتشفشانی- نفوذی (جزایر قوسی و همچنین کمان‌های قاره‌ای) مرتبط با فرورانش و ولکانیسم تشکیل می‌شوند (Camprubí and Albinson, 2006). عمق تشکیل این نهشته‌ها، کم و اساساً سنگ‌های آتشفشانی میزبان نهشته‌های معدنی هستند. با توجه به شواهد ژئوشیمیایی و طبق نمودارهای (Wood, 1980) سنگ‌های منطقه قیصری در بخش بازالت‌های کمان قاره‌ای سری کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد منطقه مورد مطالعه احتمالاً به دلیل قرارگیری روی کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای مکان مناسبی برای تشکیل این نوع کانسارها است.

ساختارهای زمین‌شناسی منطقه و محدوده معدنی: شکستگی‌ها به ویژه گسل‌ها عامل مهم و اساسی در تشکیل و تمرکز ذخایر معدنی می‌باشند. گسل‌ها و درز و شکاف‌های موجود در سنگ‌میزبان (بخصوص سنگ‌های آذرآواری به دلیل فضای کافی برای چرخش سیالات و تمرکز ماده معدنی) کنترل کننده اصلی کانی‌زایی در محدوده اکتشافی قیصری است. گسل‌ها و شکستگی‌های کنترل کننده کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه به سه دسته با روندهای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی، شمال‌غربی- جنوب‌شرقی و شمالی- جنوبی تقسیم می‌شوند که روند غالب کانی‌زایی شمال‌شرقی- جنوب‌غربی و تقریباً هم‌روند با گسل اصلی طرود و انجیلو است. گسل‌های ناحیه‌ای بعنوان کنترل کننده مهم در تشکیل ذخایر اپی‌ترمال است. مطالعات ساختاری و کانه‌زایی در منطقه نشان می‌دهد که جایگیری سیالات و شکل‌گیری رگه‌ها در ارتباط مستقیم با شکستگی‌های اولیه است. در واقع حضور گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان موجود از قبل در منطقه زمینه را برای نفوذ آب‌های جوی فراهم کرده است و با واکنش متقابل بین آب‌های جوی و ماگمایی سیالات شکل گرفته‌اند و طی واکنش سیالات با سنگ- های میزبان محلول‌های غنی از عناصر فلزی (مس، سرب و روی و غیره) تشکیل شده‌اند و گسل‌های مهم در

سنگ میزبان توسط سیالات اپی‌ترمال سولفید پایین تغذیه شده‌اند. بنابراین همپوشانی آب ماگمایی و جوی نقش موثری برای شکل‌گیری رگه‌های معدنی در منطقه ایفا کرده است.

سنگ میزبان: سنگ میزبان یکی از فاکتورهای اساسی برای تشکیل کانی‌سازی بعد از محیط تکتونیکی است. محیط تکتونیکی نوع ماگما را تعیین می‌کند و ماگمای تشکیل شده نوع کانی‌زایی را مشخص می‌کند. براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی سنگ میزبان کانسار مس قیصری غالباً محدوده‌ی آلکالی بازالت، ساب آلکالی بازالت قرار می‌گیرند. همچنین این سنگ‌ها بر روی نمودار (Pearce, 1996) که براساس عناصر نادر خاکی طراحی شده، ترکیب بازالت، آلکالی‌بازالت را نشان می‌دهند. طبق نمودارهای (Hastie, Wood, 1980) (el, 2007)، سنگ‌های منطقه قیصری اغلب از نوع سری کالک‌آلکالن هستند. سنگ‌های تشکیل‌دهنده کانسار مس قیصری علاوه بر ماهیت مناسب، به دلیل وجود تخلخل، درزه و شکاف و فضای کافی بین‌دانه‌ای، محیط مناسبی را برای تمرکز ماده معدنی فراهم کرده است.

منبع انرژی حرارتی: فعالیت‌های آذرین نفوذی در کانسارهای اپی‌ترمال بعنوان موتور حرارتی و تأمین عناصر لازم جهت تشکیل کانسار نقش مهمی را ایفا می‌کنند. تعداد کمی از ذخایر اپی‌ترمال می‌توانند در ارتباط با توده‌های نفوذی عمیق باشند و چنین ارتباطی تنها زمانی وجود دارد که فرسایش عمیق سطحی صورت گرفته باشد. در کل اکثر ذخایر اپی‌ترمال ارتباط نزدیکی با سنگ‌های پلوتونیک نشان می‌دهند. بنابراین حرارت لازم جهت فعالیت‌های هیدروترمالی از توده‌های ساب ولکانیک که خود آن‌ها از پلوتون‌های عمیق‌تر منشاء می‌گیرند تأمین می‌شود. پس از نفوذ دایک بازالتی در منطقه مورد مطالعه، احتمال می‌رود سیالات هیدروترمالی از طریق پهنه‌های شکستگی صعود کرده باشند.

منشا سیالات: در سیستم‌های اپی‌ترمالی، آب‌های جوی بخصوص در انواع سولفید پایین (LS) و سولفید متوسط (IS) نقش اساسی دارند؛ اما برای تشکیل انواع سولفید بالا (HS)، بیشتر سیالات ماگمایی با شوری بالا و بندرت آب‌های جوی تأثیرگذار هستند. در صورت وجود توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق یا ساب ولکانیک،

کانسارهای اپی ترمال سولفید پایین و سولفید متوسط می‌توانند در اثر اختلاط آب‌های جوی و ماگمایی تشکیل شوند. در کانسار مس قیصری، تغییر دمای همگن شده بین ۱۹۰-۱۴۰ درجه سانتی گراد و با شوری ۵-۱۷ درصد وزنی نمک طعام، با فرآیند رقیق شدگی با آب‌های سطحی مطابقت دارد.

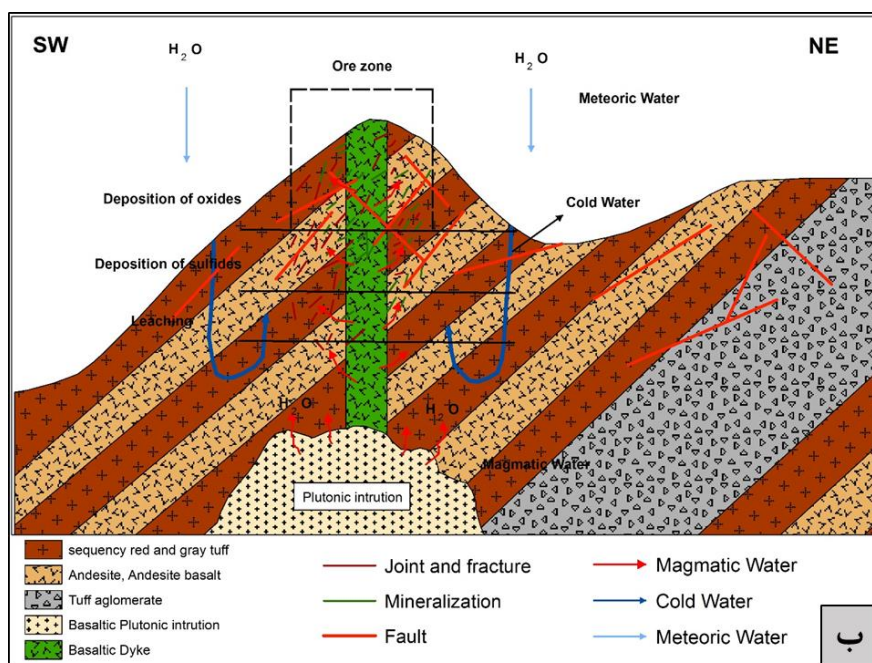
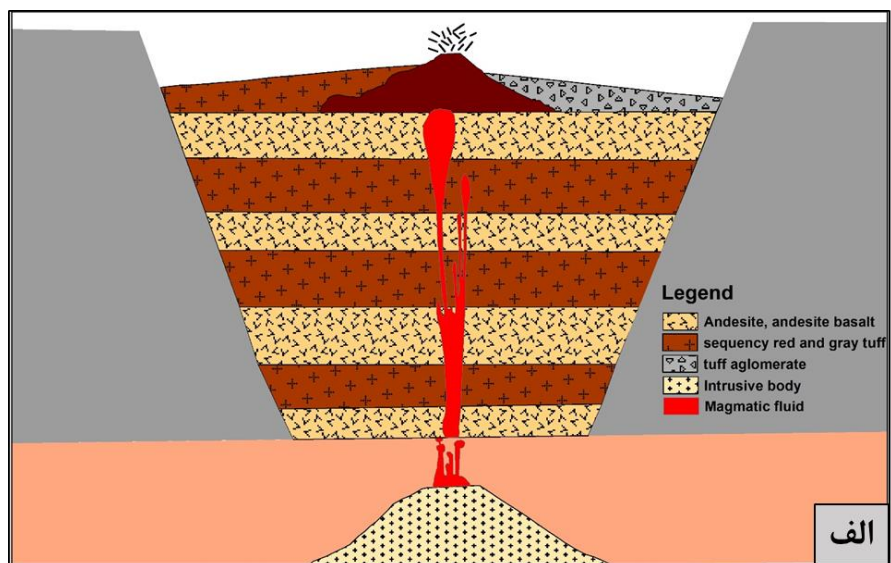
۸-۸- الگوی تشکیل کانسار نتیجه‌گیری و تیپ کانی‌زایی

نوار آتشفشانی- رسوبی، ترود- چاه‌شیرین، متشکل از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و نفوذی الیگوسن می‌باشد. سنگ‌های میزبان کانسار مس قیصری شامل؛ آندزیت، بازالت، آندزیت- بازالت به همراه سنگ‌های آذرآواری (توف، آگلومرا)، در یک محیط کمان قاره‌ای تشکیل شده‌اند. بالا بودن مقدار زمینه‌ی مس نسبت به کلارک جهانی آن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن سبب تشکیل مس در مرحله دیاژنز در داخل این مجموعه آتشفشانی- رسوبی می‌شود. در این حالت ذخایر استراتاباند تیپ مانتو و لایه‌های قرمز تشکیل می‌شوند. در صورتی که این واحدهای سنگی متحمل چین‌خوردگی شده و مورد نفوذ توده‌های نیمه عمیق و یا دایک‌ها قرار گیرند، تحت تاثیر سیالات گرمابی ماگمایی و جوی فرورو، دچار فرآیند شستشو و دگرسانی شده و فلزات قابل حل از جمله؛ مس، سرب، روی و به افق‌های بالاتر مهاجرت و در داخل شکستگی‌ها و گسل‌های موجود تمرکز و تشکیل ذخایر گرمابی رگه‌ای را می‌دهند.

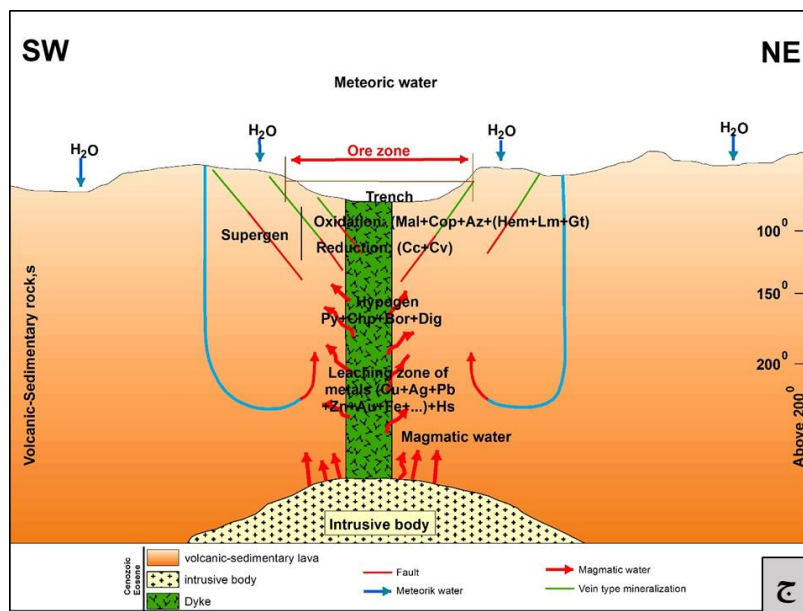
بر پایه مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی (پتروگرافی و کانه‌نگاری)، دگرسانی و کانی‌زایی، آنالیزهای ژئوشیمیایی، همچنین نتایج و شواهد بدست آمده از مطالعات میانبارهای سیال و همچنین پس از مقایسه کانسار مس قیصری با تعدادی کانسارهای تیپ موجود در ایران و سایر نقاط جهان نتایج زیر حاصل می‌گردد:

- منطقه مورد مطالعه در جنوب دامغان در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی، بر روی رشته‌کوه آتشفشانی-رسوبی ترود- چاه‌شیرین واقع شده است.
- سنگ‌های منشاء و میزبان کانه‌زایی مجموعه آتشفشانی با ترکیب آندزیت، بازالت و آندزیت- بازالتی می‌باشند.
- از نظر جایگاه تکتونیکی با یک محیط کمان ماگمایی حاشیه قاره مرتبط می‌باشند.

- کانه‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت و کانی‌های سوپرژن در دو محیط ژئوشیمیایی احيایی (کالکوسیت و کوولیت)، اکسیدان (مالاکیت، آزوریت) و اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) است.
- ساخت و بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، رگه‌ای، رگه-رگچه‌ای، دانه پراکنده، جانشینی، کلوفرمی که اساساً یک شرایط اپی‌ژنتیک را نشان می‌دهند.
- با توجه به مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی، سولفاتی، آرژیلیتی شدن به همراه آغشتگی اکسید و هیدروکسیدهای آهن (لیمونیت و گوتیت) هستند.
- براساس مطالعات ژئوشیمیایی، تغییرات عناصر فرعی و الگوی عناصر کمیاب خاکی، غنی‌شدگی از عناصر LREE نسبت به HREE، تهی‌شدگی از Ti غنی‌شدگی عنصر K, U, Pb را نشان می‌دهد.
- راهنمایی‌های ژئوشیمیایی: آنومالی ژئوشیمیایی عناصر مس، نقره، سرب، روی، آهن قابل ثبت است.
- براساس مطالعه سیالات درگیر نمونه‌های مورد مطالعه، دمای همگن شدن از ۱۹۰-۱۴۰ درجه سانتیگراد و شوری سیالات بین ۱۷-۵ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد که در عمق کمتر از ۲۰۰ متر تشکیل شده است.
- مشخصات تعیین شده با کانسارهای تیپ مانتو انطباق خوبی دارد ولی با توجه به گسترش کانه‌زایی رگه‌ای می‌توان کانسار مس قیصری را در گروه کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین دسته‌بندی نمود.
- مراحل تکوین واحدهای میزبان و کانه‌زایی بصورت شماتیک در (شکل ۸-۳) بترتیب الف، ب و ج ارائه می‌گردد.
- شکل الف): ایجاد یک حوضه کششی همراه با فعالیت‌های آتشفشانی داخل حوضه و ته نشست توالی گدازه-توف-آگلومرا و
- شکل ب): چین‌خوردگی-گسل‌خوردگی-فرو رفتن آب‌های جوی-نفوذ توده‌های نفوذی و دایک پس از فعالیت-های تکتونیکی و گسل‌خوردگی منطقه و شروع چرخه هیدروترمالی.



شکل ج: مدل نهایی کانه‌زایی، کانی‌سازی در افق‌های مختلف دمایی و عمق.



شکل ۸-۳- الگوی تشکیل کانسار مس قیصری به صورت شماتیک.

۸-۹- پیشنهادات اکتشافی

در راستای تکمیل اطلاعات بدست آمده در محدوده مس قیصری و با توجه به نتایج اولیه حاصل شده از این محدوده، پیشنهادات زیر قابل ذکر می‌باشد.

۱- نتایج به دست آمده در این تحقیق با استفاده از اطلاعات سطحی و حداکثر عمق ۳۰ متری کانسار می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی کیفیت و کمیت کانه‌زایی در اعماق تعدادی گمانه اکتشافی عمیق‌تر در بخش‌های کانه‌دار و مناطق مجاور آن حفر شود.

۲- با توجه به ارتباط کانی‌زایی با سنگ‌های ولکانیکی و پیروکلاستیکی و دگرسانی‌های مرتبط با آنها و همچنین ارتباط کانی‌زایی که با روندهای خاصی از شکستگی‌ها و گسل‌ها پیروی می‌کند، پیشنهاد می‌گردد پتانسیل‌یابی نهشته‌های معدنی (مس) در مقیاس ناحیه‌ای و با تکنیک‌هایی مثل دورسنجی و ژئوفیزیک هوابردی در منطقه با دقت بالا انجام گردد.

۳- انجام آنالیزهای ایزوتوپی برای تعیین دقیق منشاء سیالات کانه‌ساز و اجزاء آن در کانسار مس قیصری پیشنهاد می‌شود.

منابع

- اسحاقیان پور ر، (۱۳۹۵)، "بررسی کانی‌شناسی و زمین‌شیمی کانسار سرب تنگه‌ی کوه‌زر، جنوب دامغان"، پایان‌نامه کارشناسی-ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.
- اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوپر (۱۹۵۷)، "بررسی زمین‌شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اشراقی س، خلیلی ا، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امام جمعه ا، (۱۳۸۵)، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی، شمال غرب ترو، استان سمنان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه تربیت مدرس.
- امام جمعه ا، راستاد ا، بوذری ف و رشیدنژاد عمران ن (۱۳۸۷)، "معرفی سامانه واحد کانی‌زایی افشان-رگچهای و رگهای مس (سرب و روی) محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترو-چاه شیرین"، مجله علوم زمین، زمستان ۸۷.
- احیا، رسا ا و لطفی، م، (۱۳۸۷)، "کانی‌سازی سرب و روی ژوراسیک در بابا قله"، فصل‌نامه زمین‌شناسی کاربردی.
- آقاناتی ع، (۱۳۸۳)، "سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور". زمین‌شناسی ایران.
- اسماعیلی زینلی م. کریم‌پور م ح و ملک‌زاده شفارودی آ، (۱۳۹۳)، "سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانی‌سازی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه‌ی شمال غرب ارغش نیشابور" مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- اصغری، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار چاه‌گیری" دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ایراجیان ع ا. مهدی‌زاده شهری ح، (۱۳۸۶)، کانی‌شناسی و ژنز بنتونیت منطقه سرکوپر، جنوب دامغان، ویژه‌نامه زمین‌شناسی.
- باقرزاد، ز، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز ربعی ترو، جنوب شاهرود"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- پورحسینی ف، (۱۳۶۲)، "پژوهشی در منشاء توده‌های آذرین ایران زمین، بررسی ژرف توده‌های نفوذی نطنز و بزمان"، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- پورشعبان ا، خاکزاد ا، (۱۳۸۹)، "مطالعه کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیای در کانسار مس رگهای کلاته مهران سمنان"، فصل‌نامه علمی پژوهشی زمین.

تقی پور ن، قربانی ق، (۱۳۹۰)، "زمین شناسی، پتروگرافی و ژئوشیمی سنگ‌های آذرین مرتبط با کانسار اسکارن آهن چالو(جنوب شرق دامغان)، " مجله زمین‌شناسی کاربردی.

تاتاری، ا، شیبی، م، موسیوند، ف، (۱۳۹۰)، " نتایج تحقیقات مقدماتی بر روی توده نفوذی و اسکارن آهن لجنه (جنوب شرق شاهرود)، " مجموعه مقالات سی‌امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

جعفریان م، (۱۳۷۳)، " نقشه زمین شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

حسینی‌پاک ع ا، شرف‌الدین م، (۱۳۹۱)، "تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی"، انتشارات دانشگاه تهران.

سامانی ب، (۱۳۸۱)، " متالوژنی کانسارهای مس (نوع مانتو) در ایران"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

شیری ز، (۱۳۹۲)، " پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار روی(سرب) انارو، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

شعمانیان اصفهانی، غ (۱۳۸۱)، رساله دکتری: "مطالعه دگرسانی گرمایی فلزات پایه و گرانبها در منطقه معلمان"، دانشگاه شهید بهشتی.

شیبی م. اسماعیلی د، (۱۳۸۲)، اسکارن آهن پنج کوه(جنوب شرق دامغان) همراه با متاسوماتیسم سدیم-کالر، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی ایران،

شهاب‌پور ج، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شاهوردی، م، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس علی نرخه، جنوب شرق ترو"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.

خواججه‌زاده ح، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال معلمان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

خان‌نصراصفهانی ع، (۱۳۸۴)، "پتروگرافی سنگ‌های آذرین" انتشارات دانشگاه آزاد خوراسگان، اصفهان.

خادمی م، (۱۳۸۶)، "ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترو"، دانشگاه شهید بهشتی.

راستاد ا، مهری ب، (۱۳۷۷)، "کانساره سرب - نقره (روی) خانجار (جنوب دامغان) به عنوان یک ذخیره MVT از سین ژنتیک تا اپی‌ژنتیک"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

روحبخش پ، کریم‌پور م ح، (۱۳۹۵)، "مقایسه پردازش داده‌های ماهواره‌ی و مطالعات صحرایی در کانی‌شناسی زون‌های دگرسانی کانسار طلا- مس کوه‌زر، دامغان"، هشتمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

زارعی سهامیه ر. ملک محمدی ح. محب علی ح.، (۱۳۸۵)، ماگماتیسیم کلاته رشم، بیست و پنجمین گردهمایی علوم زمین.

صادقی‌فلک‌دهی ص، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی اقتصادی کانسار چاه‌موسی در شمال غرب ترود سمنان" دانشگاه آزاد اسلامی تهران.

طالع ماسوله س، قربانی م، حکیمی آسیابر، س، (۱۳۸۹). "مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب ترود" فصلنامه علمی پژوهشی زمین.

علوی م، هوشمندزاده ا، (۱۳۵۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه طرود" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

عبداللهی حیدرباغی، (۱۳۹۵)، "بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی جنوب دامغان"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

-قربانی م، (۱۳۸۹)، "دیبچه ای بر زمین‌شناسی اقتصادی ایران" وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

کریم‌پور، م ح، (۱۳۸۱)، "تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر برای شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی در محدوده اکتشافی رباعی"، برگرفته از گزارش پایان عملیات اکتشاف مس رباعی.

کهنسال ر، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی توده‌های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰۰ معلمان"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال.

کی‌نژاد آ (۱۳۸۷)، رساله دکتری: "تحلیل دینامیکی شکستگی‌های شمال منطقه ترود- معلمان"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران.

کی‌نژاد آ، (۱۳۸۹) "بررسی شکستگی‌های شمال منطقه ترود- معلمان ایران مرکزی- جنوب خاور دامغان و ارتباط آن با کانی‌زایی منطقه"، فصلنامه علوم.

گیلبرت و پارک، (۱۳۷۸)، "زمین‌شناسی کانسارها"، نشر دانش امروز موسسه انتشارات امیر کبیر تهران.

لیاقت س. نجاران م.، (۱۳۷۹)، "بررسی ژئوشیمی و تعیین ژنز کانسار فیروزه باغو، جنوب دامغان"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

مهری، ب.، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار سرب و نقره خانجار (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.

معین وزیری ج، احمدی ع، (۱۳۷۱)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگهای آذرین"، دانشگاه تربیت معلم.

مهرابی ب. و قاسم‌سیانی م.، (۱۳۸۹) "کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان، ایران مجله زمین‌شناسی اقتصادی.

موسوی نقابی ا، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "بررسی کانی‌شناسی و ژنز معدن روی و سرب قله کفتران (شاهرود)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت معلم تهران.

مصدق م، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان، منطقه معلمان، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

مهابادی، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس آبگاره"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ناهیدی‌فر ل، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان(جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

معبادی، (۱۳۹۵)، "گذارش پایان عملیات اکتشافی مس قیصری"، وزارت صنعت، معدن و تجارت استان سمنان.

نبوی م. ح، (۱۳۵۷)، "دیبچه ای بر زمین‌شناسی ایران". سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نجف‌زاده ع ل، خلیلی مبرهن ش، احمدیان ج، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه پیام‌نور، تهران.

نقشه توپوگرافی تروود با مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان جغرافیایی ارتش.

نوگل سادات، م ع الف (۱۹۹۳)، "نقشه سایزموکتونیک ایران ۱/۱۰۰۰۰۰۰"، چارت آزمایشی، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی کشور.

هوشمندزاده، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه تروود"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یعقوب‌پور، (۱۳۸۷)، "مطالعه کانی‌شناسی و میکروترمومتری کانسار چاه فراغ سمنان(جنوب سمنان)"، دوازدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی نفت خیر جنوب ۱۳۸۷.

Reference

- Anne E. Morrel., Corinne A. Locke., John Cassidy., Jeffrey L. Mauk. (2013) “Geophysical Characteristics of Adulari- Sericite Epithermal Gold- Silver Deposits in the Waihi- Waitekkauri Region New Zealand”. Economic Geology.
- Bates R.L Jackson., J. A. (1980), “Glossary of geology. American Geological Institute”, Falls church, Virginia, 751p.
- Beane R. E. (1982). “Hydrothermal alteration in silicate rocks. Advances in Geology of the Porphyry Copper Deposits” , Southwestern North America, pp.
- Barnes H. L. (1997) “Geochemistry of hydrothermal ore deposits” (Vol. 1). John Wiley & Sons
- Bodnar R.J. and Beane R.E. (1980) “Temporal and spatial variations in hydrothermal fluid characteristics during vein filling in preore cover overlying deeply buried porphyry copper-type mineralization at Red Mountain, Arizona”. Economic Geology.
- Bates R.L Jackson., J. A. (1980), “Glossary of geology. American Geological Institute”, Falls church, Virginia, 751p.
- Brathwaite R. L., Simpson M., Faure K., Skinner D. (2001). “Telescoped porphyry Cu-Mo-Au mineralisation, advanced argillic alteration and quartz-sulphide-gold-anhydrite veins in the Thames District, New Zealand. Mineralium Deposita.
- Chen Y. and Zhang Y. (2008), “Olivine dissolution in basaltic melt”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(19).
- Craig G.R. and Vaughan, P. (1994), “Ore Microscopy and Ore Petrography”. John Wiley and Sons, 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p.
- Cabral AR, Beaudoin G, Kwitko-Ribeiro R, Lehmann B, Polo^ˆnia JC, Choquette M(2006) Platinum–palladium nuggets and mercury-rich palladiferous platinum from Serro, Minas Gerais, Brazil
- Cooke D.R and Simmons S.F. (2000), “Characteristics and genesis of epithermal gold deposits”. *Reviews in Economic Geology*.
- Craig J.R., Vaughan D.J. and Hagni R.D. (1981), “Ore microscopy and ore petrography” (Vol. 406). New York: Wiley.
- Camprubi A., Albinson T. (2006) “Depósitos epitermales en México-Actualización de su conocimiento y reclasificación empírica”. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*
- Carew Michael Jonh., (2004), “controls on Cu- Au mineralization and Fe oxide metasomatism in the Eastern Fold Belt” NW Queensland, Australia. PhD thesis, James Cook University.
- Davidson G.J., Paterson H., Meffre S., Berry, R.F. (2007) “Characteristics and origin of the oak dam East Breccia-hosted, iron oxide Cu-U-(Au) deposit: Olympic Dam region, Gawler Craton, South Australia”. *Economic Geology*.
- Damerson L. M., (1990) “The petrology and geochemistry of tuffs and tuff breccias of the Thirtyone Mile Mountain area, Central Colorado”. Department of Geology, The College of Wooster, OH 44691.

- Franchini M., McFarlane C., Maydagán L., Reich M., Lentz D.R., Meinert L., Bouhier, V. (2015) “Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition”.
- Fisher R.V. (1966) “Rocks composed of volcanic fragments and their classification”. Earth-Science Reviews.
- Franchini M., McFarlane C., Maydagán L., Reich M., Lentz D.R., Meinert L., Bouhier, V. (2015) “Trace metals in pyrite and marcasite from the Agua Rica porphyry-high sulfidation epithermal deposit, Catamarca, Argentina: Textural features and metal zoning at the porphyry to epithermal transition”.
- Goldschmidt, V. M. (1954) “Geochemistry” (Vol. 78, No. 2, p. 156). LWW
- Gourgaud A., Vincent P. M. (2004). “Petrology of two continental alkaline intraplate series at Emi Koussi volcano, Tibesti, Chad” . Journal of volcanology and geothermal research.
- Gill J., (1981) “Orogenic Andesites and Plate Tectonics” Springer- Verlag, Berlin.
- Gifkins C.C., Herrmann W., Large R.R. (2005) “Altered volcanic rocks” A guide to description and interpretation.
- Hawkesworth C. Turner S. Peate D. McDermott F. and Calsteren p. (1997)" Elemental U and Th variations in island arc rocks: implications for U-series isotopes"
- Harker, A., (1909). The Natural History of Igneous Rock, Methuen Co. London.344p.
- Haas J.L. (1971) “The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure”.
- Hemley J.J., Jones W.R. (1964) “Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism”
- Hassanzadeh J., Gazi A.M., Axen G., Guest B., Stockli D., Tucker P. (2002) “Oligocene mafic magmatism in north-west of Iran: Evidence for the separation of the Alborz from the Urumieh-Dokhtar magmatic arc [abs]”: Geological Society of America Abstracts with Program.
- Heald P., Foley N. K., Hayba D. O. (1987) “Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types” .
- Haynes D.W., Cross K.C., Bills, R.T., Reed M.H. (1995) “Olympic Dam ore genesis; a fluid-mixing model”
- Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzalez-Urien E. (2000) “Exploration for epithermal gold deposits”
- Halder S. K. (2012), "Mineral exploration: principles and applications".
- Haynes D.W., Cross K.C., Bills, R.T., Reed M.H. (1995) “Olympic Dam ore genesis; a fluid-mixing model”
- Henderson P. (1984) “Rare earth element geochemistry” .
- Irvine T.N.J and Baragar W.R.A.F. (1971) “A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks” Canadian journal of earth sciences.
- Jones A.P., Wall F., Williams C.T. (1996) “Rare earth minerals: Chemistry. Origin and Ore Deposits” Mineralogical Society Series.
- Kelemen P. B., Høghøj K., Greene A. R. (2003). “One view of the geochemistry of subduction-related magmatic arcs, with an emphasis on primitive andesite and lower crust

- Komninou A., Sverjensky, D. A. (1996) "Geochemical modeling of the formation of an unconformity-type uranium deposit". *Economic Geology*.
- Kuno H. (1968) "Origin of andesite and its bearing on the island arc structure. *Bulletin Volcanologique*".
- Kawabata H. and Shuto, K. (2005) "Magma mixing recorded in intermediate rocks associated with high-Mg andesites from the Setouchi volcanic belt, Japan: implications for Archean TTG formation" *Journal of Volcanology and Geothermal Research*.
- Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi K. I. (2009). "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits"
- Kirkham R. V. (1996). "Volcanic redbed copper. *Geology of Canadian Mineral Deposit*" . Types: Geological Survey of Canada, *Geology of Canada*.
- Lentz D.R. (1994) "Alteration and alteration processes Associated with oreforming system". *Geological Association of Canada Short Course Notes*.
- Lottermoser B.G. (1992) "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes" *Ore Geology Reviews*.
- Large R., Huston D., McGoldrick P., McArthur G., Ruxton P. (1988) "Gold distribution and Genesis in Paleozoic Volcanogenic massive sulphide systems, Eastern Australia". *Bicentennial Gold*, 88, pp. 121-126.
- Lefebure D. V. and Alldrick D. J., (1996) "Sediment-Hosted Cu +/- Ag +/- Co"; in *Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits*: D. V. Lefebure and T. Hoy (eds.), *British Columbia Ministry of Employment and Investment*.
- Marshall D., (Lyn) Anglin C. D., and Mumin H. (2004), "Ore Mineral Atlas". 107 Page, Translated by: Zarasvandi A, *Shahid Chamran University of Ahvaz*.
- Manya S., Maboko M.A., Nakamura E. (2007) "The geochemistry of high-Mg andesite and associated adakitic rocks in the Musoma-Mara Greenstone Belt, northern Tanzania: Possible evidence for Neoarchean ridge subduction?" *Precambrian Research*.
- Muller D., Groves D. L., Stumpfl E. F. (1993) "Potassic igneous rocks and shoshonites as potential exploration targets In: IAVCEI" General Assembly, Canberra, September 1993, *Ancient Volcanism and Modern Analogues, Abstracts. International Association for Volcanology and Chemistry of the earth's Interior, Canberra*, 76p.
- Miller J. D., McDonough P. J., Portillo H. Q. (1981). "Electrochemistry in silver catalyzed ferric sulfate leaching of chalcopyrite. In *Process and Fundamental Considerations of Selected Hydrometallurgical Systems*"
- Mehrabi B., Siani M.G. (2012) "Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu ($\pm$ Ag-Au) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran" *Journal of the Geological Society of India*.
- Naslund H.R., Aguirre R., Dobbs F.M., W. Henriquez F., and Nystrom J.O. (2000) "The origin in placement and eruption of ore magmas", *Internet*.
- Nakamura N. (1974). "Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites. *Geochim. Cosmochim. Acta*".

- Nesse W.D. (2000) "Introduction to mineralogy" Oxford University Press, 442 p.
- Pearce J. A. (1983). "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins" .
- Pearce J. A. (1996) " A user' s guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration " Geological Association of Canada, short course Notes.
- Pettijohn F.J. (1975) "Sedimentary rocks" 3rd edition, Harper and Row, New York, 628 pp.
- Pirajno, F., (2009) "Hydrothermal processes associated with meteorite impacts. In Hydrothermal Processes and Mineral Systems (pp. 1097-1130). Springer Netherlands.
- Pirajno F.J. (1992) "Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and fundamental concepts for the
- Piercey S. J. (2011) "The setting, style, and role of magmatism in the formation of Volcanogenic massive sulfide deposits". *Mineralium Deposita*, 46(5-6), pp. 449-471.
- Robb L. (2004) "Introduction to ore forming processes" Blackwell, Oxford.
- Rollinson H.R. (2014) "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation" Routledge
- Rose A. W., (1976) " The effect of cuprous chloride complex in the origin of red-bed copper and related deposits".
- Reich M., Deditius A., Chrysosoulis S., Li J.W., Ma C.Q., Parada M.A., Barra F., Mittermayr F. (2013). "Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study" *Geochimica et Cosmochimica Acta*.
- Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths, 2nd edn" International Series in Earth Sciences 35.
- Reich M., Deditius A., Chrysosoulis S., Li J.W., Ma C.Q., Parada M.A., Barra F., Mittermayr F. (2013). "Pyrite as a record of hydrothermal fluid evolution in a porphyry copper system: A SIMS/EMPA trace element study" *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 104, pp.42-62.
- Roedder E. (1984) "Fluid inclusions" (Vol. 12, pp. 12-45). P. H. Ribbe (Ed.). Washington, DC: Mineralogical Society of America.
- Shelly D. (1993) "Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, Microstructures and mineral preferred orientations" Chopman & Hall, London. pp.405.
- Shamarian G.H., Hedenquist J.W., Hattori K.H., Hassanzadeh J. (2004) "The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran" *Economic Geology*.
- Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M. (1985) "A practical guide to fluid inclusion studies" Blackie.
- Sun, S. S. (1980) "Lead isotopic study of young volcanic rocks from mid-ocean ridges, ocean islands and island arcs" *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 297(1431), 409-445.
- Sun S.S., McDonough W.S. (1989) "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes" Geological Society, London, Special Publications.
- Simmons S. F., White N. C., John D. A. (2005) "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits" *Economic Geology* 100th anniversary volume,
- Sillitoe R.H. (1993) "Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. Mineral Deposit Modeling" Geological Association of Canada Special Paper

- Sillitoe R.H., Perelló, J. (2005) "Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, and Shelly D. (1993) "Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, Microstructures and mineral preferred orientations" Chapman & Hall, London. pp.405.
- Tucker M.E. (2009) "Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks" John Wiley & Sons.
- Temel A., Gündoğdu M. N., Gourgaud A. (1998). "Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey" . Journal of Volcanology and Geothermal Research.
- Valencia-Moreno M., Ruiz J., Barton M.D., Patchett P.J., Zürcher L., Hodkinson D.G., Roldán-Quintana J. (2001) "A chemical and isotopic study of the Laramide granitic belt of northwestern Mexico: Identification of the southern edge of the North American Precambrian basement" Geological Society of America Bulletin.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F. (2001) "Fluid inclusion petrography".
- White N. C., Hedenquist J. W. (1995). "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration"
- Wilshire, H. G. New chemical data on alkaline diabase-picrite intrusions from Scotland, New Zealand, and Utah: U.S.
- Wilkinson J.J. (2001) "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits".
- Wilson M. (1989) "Igneous Petrogenesis", London, 461p.
- Wood D.A. (1980) "The application of a Th Hf Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary Volcanic Province" Earth and planetary science letters.
- White N. C., Hedenquist J. W. (1995). "Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration". SEG newsletter, 23(1), pp. 9-13.
- Yilmaz H., Oyman T., Sonmez F.N., Arehart G.B., Billor Z. (2010) "Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespil Dere (Lapseki/Western Turkey)".

پیوست ۱: جدول مقادیر فراوانی عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های منطقه قیصری ICP- MS.

شماره نمونه	k-sh- 1-4	k-sh-1- 7	k-sh-2- 3	k-sh-1- 5	k-sh- 1-26	k-sh- 2-18	k-sh- 2-6	k-sh-2- 5	k-sh-1- 30	k-sh-2- 4	k-sh- 1-24	k-sh-1- 29
CO	34.34	16.26	27.34	13.87	29.83	28.58	26.79	8.38	37.85	31.13	31.74	106.1
Ce	75	121	63.63	12.94	80.42	45.13	61.81	18.12	43.15	63.27	64.04	18.82
Cd	0.22	1.63	0.26	0.21	0.37	0.11	0.2	0.41	0.4	0.44	0.2	0.63
Ca	3.48	11	4.01	1.51	5.03	4.05	7.92	0.99	1.34	1.59	2.22	1.13
Bi	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	7.34	3.67	1.32	<1
Be	2.85	1.65	1.51	0.8	2.53	1.09	1.23	0.82	1	2.57	0.77	1.25
Ba	261.55	<1	278.32	57.93	294.19	459.63	226.93	650.61	235.32	159.61	264.7	150.56
As	16.95	19.22	8.77	22.1	11.39	10.35	6.49	342.72	12.08	16.66	11.44	19.07
Al	10.55	6.41	10.14	11.29	10.25	12.05	11.27	4.26	5.54	5.97	5.71	4.96
Ag	<1	1.01	<1	2.1	<1	<1	<1	2.61	12.47	3.6	2.34	17.38
Hf	18.63	23.76	13.89	5.61	16.41	12.73	10.3	3.77	6.17	10.39	11.89	4.23
Gd	11.21	14.87	6.56	2.05	8.1	5.18	5.28	2.1	5.11	7.5	7.03	2.39
Ga	20.34	20.76	14.63	13.53	16.33	13.51	13.02	6.62	9.67	12.42	9.33	8.01
Fe	4.2	2.63	2.88	1.79	4.25	3.47	3.19	2.7	6.34	5.92	5.12	4.12
Er	7.23	9.27	4.24	1.41	5.39	3.52	3.22	1.33	2.52	3.56	3.76	1.21
Dy	9.3	10.1	6.97	2.24	8.63	5.6	5.2	2.13	4.54	6.65	6.88	2.37
Cu	248	>10000	>10000	>10000	419.73	209.2	129.47	>10000	34510.1	30799.4	38514	42978.1
Cs	1.56	<1	1	13.44	1.43	35.86	<1	3.13	<1	<1	<1	<1
Cr	8.62	137.61	22.46	79.94	9.56	38.86	140.63	33.45	27.55	22.84	24.63	87.19
Mo	1.96	1.97	<1	1.34	1.74	<1	1.29	1.57	5.15	4.69	6.27	2.7
Mn	495.08	494.94	445.3	51.63	423.77	572.95	544.01	94.94	882.63	565.33	446.22	492.59
Mg	2.29	1.58	2.92	1.28	1.19	2.36	2.66	0.51	2.41	0.93	0.83	1.5
Lu	1.46	1.93	0.88	0.23	1.08	0.77	0.67	0.26	<1	<1	<1	<1
Li	27.79	42.34	42.71	41	23.34	65.67	13.03	39.7	25.28	16.44	12.71	30.89
La	41	49	32.65	5.72	39.92	22.2	28	8.93	19.02	27.08	26.91	7.9
K	3.64	0.63	2.99	2.42	3.31	3.26	2.57	0.65	0.73	0.7	1.28	0.53
In	0.15	0.16	0.11	<0.1	0.15	0.12	<0.1	<0.1	<1	<1	<1	<1
Ho	3.49	4.54	2.05	<1	2.63	1.73	1.6	<1	<1	1.12	1.18	<1
Hg	<1	<1	<1	2.42	<1	<1	<1	4.3	<1	<1	<1	<1
Sb	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.11	<1
S	<0.1	<0.1	0.13	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.16	0.19	<0.1	<0.1	0.13
Rb	53	24.69	42.98	31.62	46.43	44.11	25.43	9.53	10.99	14.17	27.01	5.69
Pr	14.36	20.28	8.43	1.88	10.38	6.11	6.86	2.47	5.57	8.25	8.27	2.51
Pb	8.16	<1	5.37	<1	14.01	<1	<1	11.71	17.84	20.26	9.68	6.02
P	0.3	0.18	0.2	0.11	0.29	0.17	0.14	0.1	0.48	0.41	0.39	0.26
Ni	22.66	21.14	29.35	37.85	21.19	31.77	38.7	26.27	22.91	33.02	33.28	10.29
Nd	26.33	27.17	32.89	7.83	26.09	24.54	26.42	10.03	22.91	33.02	33.28	10.29
Nb	21.62	21.29	21.54	10.13	21.68	21.78	19.58	8.3	22.02	24.01	21.19	14.77
Na	5.07	4.22	4.31	3.73	4.57	5.73	3.82	1.97	1.95	2.5	2.12	1.72

TL	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Th	10.69	11.2	10.1	9.82	10.02	11.03	11.41	10.06	5.96	6.97	6.99	2.41
Te	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	1.62	1.66	1.65	<1
Tb	2.6	3.38	1.55	<1	1.91	1.26	1.19	<1	<1	1.05	<1	<1
Ta	2.43	2.4	1.41	<1	2.05	1.31	<1	<1	1.73	1.71	0.67	<1
Sr	268.61	88.67	269.07	174.05	274.58	394.4	330.87	131.14	261.14	181.09	257.19	237.42
Sn	<1	1.07	<1	<1	<1	<1	<1	<1	43.02	15.03	5.81	<1
Sm	11	14.94	6.67	1.9	8.24	5.14	5.42	2.09	5.14	7.22	6.73	2.26
Sc	19	24	20.07	8.32	20.06	19.24	18.39	31.53	11.77	15.93	15.54	8.22
Zr	233.81	191.92	188.61	78.66	228.45	161.44	138.72	59.08	208.2	337.17	391.05	208.33
Zn	77.76	35.42	51.98	19.14	51.67	43.85	61.49	54.25	50.28	7.5	23.55	24.55
Yb	8.7	11.66	5.25	1.36	6.47	4.6	4.05	1.58	1.92	2.89	3.36	<1
Y	55.91	86.8	33.73	8.41	40.25	26.03	26.8	9.7	22.08	32.02	32.07	10.14
w	58.57	9.72	65.56	32.65	125.01	38.2	43.51	59.94	<1	1.88	1.84	1.02
V	113.69	72.92	111.73	175.96	113.64	117.24	102.7	142.01	188.83	171.18	175.55	278.84
U	3.1	17.13	2.38	2.73	2.65	2.07	1.47	5.51	1.44	1.84	1.66	1.24
Tm	1.55	2.03	<1	<1	1.16	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1

پیوست ۲: جدول مقادیر درصدی اکسیدهای اصلی برحسب درصد وزنی (به روش XRF) (منطقه قیصری).

شماره نمونه	k-sh-1-23	k-sh-1-20	k-sh-2-7	k-sh-2-16	k-sh-2-6	k-sh-1-2
SiO ₂	41.18	48.43	49	49.73	49.84	45.54
Al ₂ O ₃	14.8	15.8	15.18	17.41	16.38	15.7
CaO	7.52	4.14	3.99	7.2	7.91	7.43
MgO	7.49	4.39	5.16	4.03	4.03	5
TiO ₂	2.35	2.59	2.64	1.66	1.81	1.59
Fe ₂ O ₃	13.39	11.76	12.11	10.15	10.53	11.44
MnO	0.48	0.18	<1	<1	<1	0.2
P ₂ O ₅	0.65	1.24	1.3	0.97	1.01	0.8
Na ₂ O	4.06	3.22	4.34	3.87	3.53	4.2
K ₂ O	0.2	3.14	2.77	2.29	2.11	2.44

پیوست ۳: مختصات و مشخصات گسل‌های برداشت شده در منطقه قیصری.

شماره گسل	مختصات	امتداد	شیب	جهت شیب	کانه زایی/عدم کانه زایی
F1	35° 19' 21.4" 54° 19' 10"	110	72	NE	کانه زایی
F2	35° 19' 21.4" 54° 19' 10"	20	75	SE	کانه زایی
F3	35° 19' 21.4" 54° 19' 10"	15	62	SW	عدم کانۀ زایی
F4	35° 19' 21.7" 54° 19' 10.2"	10	62	SE	کانه زایی
F5	35° 19' 21.7" 54° 19' 10.2"	160	47	SW	عدم کانۀ زایی

F6	35° 19' 21.7"	54° 19' 10.2"	130	20	SW	کانه زایی
F7	35° 19' 21.7"	54° 19' 10.2"	10	90	-	کانه زایی
F8	35° 19' 21.7"	54° 19' 10.2"	10	90	-	کانه زایی
F9	35° 19' 21.7"	54° 19' 10.2"	50	90	-	کانه زایی
F10	35° 19' 22.1"	54° 19' 11"	140	90	-	کانه زایی
F11	35° 19' 22.2"	54° 19' 11.5"	140	90	-	کانه زایی
F12	35° 19' 22.2"	54° 19' 11.5"	45	90	-	کانه زایی
F13	35° 19' 22.2"	54° 19' 11.5"	20	90	-	کانه زایی
F14	35° 19' 22.3"	54° 19' 11.9"	20	90	-	کانه زایی
F15	35° 19' 22.3"	54° 19' 11.9"	170	75	SW	کانه زایی
F16	35° 19' 28.8"	54° 19' 19.7"	30	65	SW	کانه زایی
F17	35° 19' 25.3"	54° 19' 12.6"	135	-	-	عدم کانه زایی
F18	35° 19' 25.3"	54° 19' 12.6"	120	-	-	عدم کانه زایی
F19	35° 19' 26.2"	54° 19' 9.8"	10	90	-	عدم کانه زایی
F20	35° 19' 26.5"	54° 19' 23.2"	110	90	-	کانه زایی
F21	35° 19' 26.5"	54° 19' 23.2"	30	90	-	عدم کانه زایی
F22	35° 19' 26.5"	54° 19' 23.2"	30	90	-	عدم کانه زایی
F23	35° 19' 26.5"	54° 19' 23.2"	80	90	-	عدم کانه زایی
F24	35° 19' 25.9"	54° 19' 22.6"	75	90	-	کانه زایی
F25	35° 19' 25.9"	54° 19' 22.6"	30	90	-	کانه زایی
F26	35° 19' 31"	54° 19' 31.3"	155	74	NE	کانه زایی
F27	35° 19' 31"	54° 19' 31.3"	300	42	NE	کانه زایی
F28	35° 19' 31"	54° 19' 31.3"	200	65	NE	عدم کانه زایی
F29	35° 19' 30.5"	54° 19' 31.6"	10	90	-	عدم کانه زایی
F30	35° 19' 38.3"	54° 19' 48.9"	155	90	-	کانه زایی
F31	35° 19' 38.3"	54° 19' 48.9"	40	90	-	کانه زایی
F32	35° 19' 38.3"	54° 19' 48.9"	110	46	NE	کانه زایی
F33	35° 19' 38.3"	54° 19' 48.9"	50	55	NW	کانه زایی
F34	35° 19' 37.1"	54° 19' 54.3"	140	90	-	عدم کانه زایی
F35	35° 19' 37.1"	54° 19' 54.3"	100	90	-	عدم کانه زایی
F36	35° 19' 37.2"	54° 19' 54.9"	30	90	-	کانه زایی
F37	35° 19' 37.2"	54° 19' 54.9"	30	90	-	کانه زایی
F38	35° 19' 37.2"	54° 19' 54.9"	70	58	NW	کانه زایی
F39	35° 19' 37.2"	54° 19' 54.9"	30	90	-	کانه زایی

پیوست ۴: عناصر مورد آنالیز و حد قابل ثبت آن‌ها.

Element	(LOQ(ppm	Limit Upper ((ppm	Element	(LOQ(ppm	(Limit (ppm Upper	Element	(LOQ(ppm	Limit Upper ((ppm
Ag	۱	۱۰۰	Mo	۱	۵۰۰	Ga	۱	۱۰۰
Al	۱۰۰۰	۸۰۰۰	Na	۱۰۰۰	۸۰۰۰۰	Gd	۱	۱۰۰
As	۱	۵۰۰	Ni	۱	۱۰۰۰	Hf	۱	۱۰۰
Be	۰.۱	۲۵	P	۱۰۰	۱۰۰۰۰	Hg	۱	۱۰۰
Bi	۱	۱۰۰	Pb	۵	۱۰۰۰	Ho	۱	۱۰۰
Ca	۱۰۰	۱۰۰۰۰۰	S	۱۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	In	۱	۱۰۰
Cd	۰.۱	۱۰۰	Sb	۱	۱۰۰۰	Li	۱	۱۰۰
Ce	۱	۱۰۰۰	Sc	۱	۱۰۰۰	Lu	۱	۱۰۰
Co	۱	۱۰۰۰	Sr	۱۰	۵۰۰۰	Nb	۱	۱۰۰
Cr	۱	۱۰۰۰	Ti	۱۰۰	۲۰۰۰۰	Nd	۱	۱۰۰
Cu	۱	۱۰۰۰	V	۱۰	۱۰۰۰	Pr	۱	۱۰۰
Fe	۱۰۰۰	۷۰۰۰۰	Y	۱	۲۵۰	Rb	۱	۱۰۰
K	۱۰۰۰	۲۰۰۰۰	Zn	۵	۱۰۰۰	Sm	۱	۱۰۰
La	۱	۱۰۰۰	Cs	۱	۱۰۰۰	Sn	۱	۱۰۰
Li	۱	۲۰۰	Dy	۱	۱۰۰	Ta	۱	۱۰۰
Mg	۱۰۰۰	۵۰۰۰۰	Eu	۱	۱۰۰	Tb	۱	۱۰۰
Mn	۲۰	۱۰۰۰	Er	۱	۱۰۰	Te	۱	۱۰۰
Tl	۱	۱۰۰	Th	۱	۱۰۰	Tm	۱	۱۰۰
U	۱	۱۰۰	W	۱	۱۰۰	Yb	۱	۱۰۰

پیوست ۵: خصوصیات پتروگرافی میانبارهای سیال.

N	Size (μm)	Type	T _{mice} (°C)	Te (°C)	T _H (°C)	Salinity (Wt % NaCl)
1	5	L+V	-3	-45	130	5.22
2	6	L+V	-5	-48	142	8.13
3	13	L+V	-12.2	-47	175	16.52
4	8	L+V	-12	-40	186	16.33
5	10	L+V	-12.4	-45	162	16.72
6	10	L+V	-4.6	-48	135	7.57
7	12	L+V	-12.6	-49	175	16.91
8	14	L+V	-12.2	-49	180	16.52
9	11	L+V	-8	-47	190	12
10	15	L+V	-8.3	-47	194	12.35
11	13	L+V	-11	-48	193	15.32
12	12	L+V	-3.2	-50	134	5.53
13	7	L+V	-12	-47	178	16.33
14	12	L+V	-8	-50	186	12
15	10	L+V	-10	-55	190	14.27

Abstract

The Qeysari copper deposit is located 105 km south of Damghan, in the northern part of central Iran tectonic zone and in the Torud-Chahshirin volcanic-sedimentary mountain. The exposed lithological units in the study area include the Eocene-Quaternary age, which includes Basaltic and porphyritic Andesite lava with pyroclastic rocks (e.g., tuff and agglomerate) the Eocene age, crosscut by diabasic dyke with Oligocene age. Volcanic rocks of the region have the nature of calc-alkaline and are formed in the continental margin. The rocks containing mineralogy have been associated with numerous gaps and fractures, which indicate the epigenetic mineralization. Regarding field and laboratory studies, mineralogy has mainly occurred in the form of vein-veinlets, in Open space filling and empty spaces in the units of andesite, basalt and andesite-basalt. The major alterations in the region include chlorite, carbonate, silica, sericite and iron oxide (hematite and limonite). In the studied area, the process of alteration has been developing since the beginning of the lava eruption into the sea. Because of this, all parts of the host rock show some alteration especially chlorite. While within the dyke and the margin, the alterations associated with mineralization are visible due to the circulations of the hydrothermal fluids. The most important structure and texture of the region are vein and vein-veinlets texture and open space filling, filler openings, replacement, disseminated, and Colloform. The main mineral constituents of the deposits are three groups of sulfide minerals (calcocite, chalcopyrite, pyrite, digenite, covelite), carbonate and copper oxide minerals (malachite and azorite), natural copper and oxide minerals and iron hydroxides (coprite, magnetite, hematite, limonite and goethite), gangue minerals include calcite, quartz and gypsum. Based on microprobe studies with on the hematite, malachite, goethite, coprite, limonite and covelite, copper was the main and most abundant element in Zn, S, Au, Ag and Pb respectively. Based on studies between fluid inclusion on the quartz mineral, homogeneous temperatures and fluid salinity are 140-190 degree Centigrade and 5-17 Weight percent equivalent to salt, respectively. copper element shows the highest correlation with the silver, and also the copper has a positive correlation with Pb, Fe, Sb and negative correlation with Zn and Sr. According to the above results, it seems that Qeysari copper deposit has many similarities with Manto type copper deposits and low epithermal sulfide deposits, but due to the vein structure of the region it is classified as vein type copper deposit.

Keyword: Vein type copper, mineralization, geochemistry, Pattern formation, Qeysari, toroud-chahshirin



Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Economic Geology

**mineralogy, geochemistry and genesis of the Qeisari copper deposit, South of
Damghan**

By:

Shiva Meskini Siahmard

Supervisor:

Dr. Farajollah Fardoost

Mehdi Rezaei Kahkhaei

July 2019