

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان

نگارنده:

اکبر عبدالهی حیدر باغی

استاد راهنما:

دکتر فرج ا... فردوست

بهمن ۱۳۹۵

تقدیم به روح پدر مرحوم، مادر و خواهر مهربانم

تقدیر و تشکر

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از زحمات و راهنمایی‌های جناب آقای فرج‌ا... فردوست که قبول زحمت کرده و راهنمایی این پایان-نامه را برعهده گرفتند، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از همکاری اساتید گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی جناب آقای دکتر موسیوند، آقای دکتر علیپور، آقای دکتر صادقیان، آقای دکتر رضایی و جناب آقای دکتر قاسمی که همواره کمک حال و پاسخگویی سوالات اینجانب بودند، تشکر می‌کنم.

از همکاری و حمایت مالی شرکت ایمیدر، مرکز تحقیقات فرآورده‌های معدنی ایران، شرکت کاوشگران بین‌الملل مخصوصاً مهندس عزیزیان، مسئولین آزمایشگاه‌های BRIUG و IGGCAS آکادمی علوم چین (CAS) Chinese Academy of Sciences و مرکز مطالعات مواد معدنی زراژما تشکر مینمایم.

از تمامی دوستان و همکاران و دست‌اندرکاران دانشگاه صنعتی شاهرود مخصوصاً دانشکده علوم زمین تشکر و قدردانی می‌کنم.

از خانواده گرامی‌ام به خصوص پدر فداکارم که دیگر جسمش کنارم نیست اما روحش همیشه کنارم بوده و آرامش بخشم هست، مادر مهربانم، برادران عزیزم، خواهر دلبندم که در تمامی مراحل حامی‌ام بوده‌اند، نهایت تشکر را دارم و امیدوارم همیشه قدردان محبتشان باشم.

در نهایت تشکر می‌کنم از عزیزانی که همیشه سعی‌شان بر این بود که عیب‌هایم را به خودم و خوبی-هایم را به دیگران هدیه کنند.

تعهد نامه

اینجانب اکبر عبدالهی حیدر باغی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته رشته زمین شناسی گرایش زمین شناسی اقتصادی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کارشناسی ارشد با عنوان مطالعه زمین-شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان تحت راهنمایی آقای دکتر فرج... فردوست 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.

مقالات استخراج شده از این پایان نامه

- زمین شناسی و پتروگرافی سنگ های دربرگیرنده کانسار مس رباعی، جنوب دامغان، هفتمین همایش

انجمن زمین شناسی و اقتصادی ایران، شهریور ۱۳۹۴

- مطالعه کانی شناسی کانسار مس رباعی، جنوب دامغان، بیست و سومین همایش بلورشناسی و

کانی شناسی ایران، بهمن ۱۳۹۴

- مطالعه ژئوشیمیایی سنگ میزبان و رخداد کانی زائی کانسار مس رباعی، جنوب دامغان، سی و

چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، اسفند ۱۳۹۴

چکیده

کانسار مس رباعی در ۹۵ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان، ۵ کیلومتری جنوب شرق روستای دیان و کانسار آهن (مس و طلا) رباعی حدوداً در یک کیلومتری جنوب شرق کانسار مس رباعی، در بخش شمالی پهنه زمین ساختی ایران مرکزی و رشته کوه آتشفشان- رسوبی طرود چاه شیرین قرار گرفته- اند. واحدهای سنگ شناختی رخنمون یافته در منطقه شامل شیست‌ها، سنگ آهک‌ها و دولومیت‌های دگرگون شده پالئوزوئیک (اردوئین-سیلورین)، سنگ آهک‌های کرتاسه پسین، سنگ‌های آتشفشانی به شکل گدازه و آذرآواری ائوسن و رسوبات کواترنری می‌باشند. سنگ آهک‌های کرتاسه پسین در منطقه تحت تاثیر ساب‌ولکان‌های داسیتی جوان‌تر قرار گرفته و سبب کانی‌زایی آهن شده است. سنگ‌های آتشفشانی ائوسن غالباً شامل بازالت، آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و سنگ‌های آذرآواری نظیر توف ماسه‌ای، توف‌برش، کریستال‌توف، لیتیک‌توف و آگلومرا هستند. براساس داده‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه از نظر ترکیب شیمیایی بیشتر ماهیت کالک‌آلکان و از لحاظ تکتونوماگمایی مربوط به محیط فرورانش می‌باشند. دگرسانی‌های مهم منطقه شامل آرژیلیتی، کلریتی، کربناتی، سیلیسی و هماتیتی شدن است. مطالعات صحرایی و کانه‌نگاری مشخص می‌سازد که کانی‌زایی مس در منطقه رباعی بیشتر بصورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی بین دانه‌ای توف‌ها و همچنین بصورت رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده در سنگ میزبان آندزیت، آندزی- بازالت با ترکیب حدواسط رخ داده است. عوامل موثر و کنترل کننده کانی‌زایی منطقه شامل، تکتونیک ناحیه‌ای و ساختارهای محلی، سنگ‌های میزبان، محلول‌های گرمایی، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق یا ساب‌ولکان‌ها و غیره هستند. کانی‌های تشکیل دهنده کانسار مس رباعی در سه مرحله هیپوژن (کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت و طلا)، سوپرژن احیایی (کالکوسیت، دیژنیت و کوولیت) و سوپرژن اکسیدی (مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا و اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن) رخ داده است. باطله‌ها و کانی‌های فرعی کانسار مس رباعی را پیریت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کلسیت، دولومیت، کوارتز، باریت و کانی‌های رسی تشکیل می‌دهند. مهمترین بافت‌های موجود در

ماده معدنی دانه پراکنده، اکسلوشن، رگه- رگچه‌ای، شکافه پرکن، جانشینی، کلوفرمی و کاتاکلاستیک هستند. کانی‌زایی آهن بصورت رگه‌ای در توف ماسه‌ای رخ داده است. کانی‌های تشکیل دهنده کانسار آهن (مس و طلا) رباعی به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف-کانی‌های آهن‌دار شامل هماتیت، الیژیست، مگنتیت، پیریت، لیمونیت، گوتیت و ب-کانی‌های مس‌دار نظیر کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت. نتایج به دست آمده از مطالعات میان‌بارهای سیال، فراوانی دمای همگن شده و شوری سیال در کانسار آهن (مس و طلا) رباعی به ترتیب $150-249^{\circ}\text{C}$ و $2-4\text{W\%NaCl}$ و در کانسار مس رباعی $140-170^{\circ}\text{C}$ و $2-6\text{W\%NaCl}$ می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق کانسار مس (طلا) رباعی شباهت‌های بیشتری با کانسارهای اپی‌ترمال سولفید متوسط و کانسار آهن، مس و طلای رباعی بیشترین شباهت را با کانسارهای اسکارنی کلسیمی کم دما و IOCG دارد.

کلید واژه ها: مس (طلا) اپی‌ترمال، آهن (IOCG)، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، طرود- چاه‌شیرین.

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه	۲
۱-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی	۳
۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی	۴
۱-۵- ژئومورفولوژی (زمین‌ریخت‌شناسی)	۵
۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی در منطقه	۶
۱-۷- اهداف و طرح مسئله	۹
۱-۸- روش مطالعه	۱۰
۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات	۱۰
۱-۸-۲- عملیات صحرایی	۱۰
۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دفتری	۱۱

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲-۱- مقدمه	۱۶
۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی	۱۷
۲-۳- ویژگی‌های عمومی رشته کوه آتشفشان - رسوبی طرود - چاه شیرین	۱۸
۲-۳-۱- جایگاه تکتونیکی	۱۸
۲-۳-۲- سیستم گسل خوردگی‌ها و چین‌ها	۲۰
۲-۳-۳- گسل‌ها	۲۱
۲-۳-۳-۲- چینهای موجود در منطقه	۲۳
۲-۴- چینه‌شناسی ناحیه‌ای بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم	۲۵
۲-۴-۱- واحدهای اردوئین - سیلورین	۲۷
۲-۴-۲- واحد کرتاسه	۲۸
۲-۴-۳- واحدهای ائوسن	۲۸
۲-۴-۴- واحدهای ائوسن - الیگوسن	۲۹

۲۹.....	۵-۲- نهشته‌های پلیوسن و کواترنر
۳۰.....	۶-۲- کانی‌سازی در منطقه
۳۰.....	۱-۶-۲- کانی‌سازی فلزی
۳۳.....	۱-۱-۶-۲- کانی‌سازی منگنز:
۳۳.....	۲-۱-۶-۲- کانی‌سازی‌های سرب و روی
۳۴.....	۳-۱-۶-۲- کانی‌سازی آهن
۳۵.....	۴-۱-۶-۲- کانی‌سازی مس
۳۷.....	۵-۱-۶-۲- کانی‌سازی طلا
۳۸.....	۲-۶-۲- کانی‌سازی غیر فلزی
۳۸.....	۱-۲-۶-۲- بنتونیت
۳۸.....	۲-۲-۶-۲- رگه‌های فلدسپات‌دار
۳۹.....	۳-۲-۶-۲- سیلیس
۳۹.....	۴-۲-۶-۲- نمک و گچ

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۴۲.....	۱-۳- مقدمه
۴۴.....	۲-۳- واحدهای سنگی چین‌های موجود در محدوده رباعی
۴۴.....	۱-۲-۳- اردوئین-سیلورین
۴۴.....	۲-۲-۳- کرتاسه
۴۸.....	۳-۲-۳- آئوسن
۵۸.....	۴-۲-۳- آئوسن- الیگوسن
۵۹.....	۵-۲-۳- کواترنری

فصل چهارم: دگرسانی و کانه‌زایی

۶۲.....	۱-۴- مقدمه
۶۲.....	۲-۴- دگرسانی
۶۳.....	۱-۲-۴- اهمیت و کاربرد دگرسانی‌ها
۶۴.....	۲-۲-۴- دگرسانی‌های موجود در منطقه

۶۶	 ۱-۲-۲-۴-دگرسانی کربناتی
۶۷	 ۲-۲-۲-۴-دگرسانی سیلیسی
۶۹	 ۳-۲-۲-۴-دگرسانی کلریتی
۷۰	 ۴-۲-۲-۴-دگرسانی سربسیتی
۷۰	 ۵-۲-۲-۴-دگرسانی آرژیلیتی
۷۳	 ۶-۲-۲-۴-هماتیتی و لیمونیتی شدن
۷۵	 ۳-۲-۴-دگرسانی در کانسار آهن رباعی
۷۶	 ۳-۴-کانیزائی در منطقه مورد مطالعه
۷۶	 ۱-۳-۴-کانی‌زائی آهن(مس و طلا) در محدوده رباعی
۷۸	 ۲-۳-۴-کانیزائی مس در محدوده رباعی
۸۰	 ۱-۲-۳-۴-انجام لاگینگ و مطالعات مغزه‌های حفاری

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک

۸۴	 ۱-۵-مقدمه
۸۵	 ۲-۵-کانی‌شناسی
۸۵	 ۱-۲-۵-کانی‌های سولفیدی
۸۹	 ۲-۲-۵-کانی‌های کربناته مس
۹۱	 ۳-۲-۵-کانی سیلیکاته مس
۹۱	 ۴-۲-۵-کانی‌های اکسیدی و هیدرو اکسیدی
۹۳	 ۵-۲-۵-کانی‌های باطله
۹۴	 ۳-۵-ساخت و بافت کانی‌ها
۹۴	 ۱-۳-۵-ساخت رگه-رگچه‌ای
۹۶	 ۲-۳-۵-ساخت و بافت پرکننده فضای خالی
۹۷	 ۳-۳-۵-بافت دانه پراکنده
۹۷	 ۴-۳-۵-بافت جانشینی
۹۹	 ۵-۳-۵-بافت اکسلوشن
۹۹	 ۶-۳-۵-بافت کاتاکلاستیکی

۹۹.....	۵-۳-۷-بافت کلوفرمی
۱۰۰.....	۵-۴-توالی پاراژنتیکی
۱۰۲.....	۵-۵-کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانسار آهن رباعی II
۱۰۲.....	۵-۵-۱-کانی‌های فلزی آهن‌دار
۱۰۴.....	۵-۵-۲-کانی‌های فلزی مس‌دار
۱۰۵.....	۵-۵-۳-باطله‌ها
۱۰۵.....	۵-۵-۴-ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار آهن رباعی

فصل ششم: ژئوشیمی

۱۱۰.....	۶-۱-مقدمه
۱۱۰.....	۶-۲-ژئوشیمی مس
۱۱۱.....	۶-۳-ژئوشیمی طلا
۱۱۱.....	۶-۴-ژئوشیمی آهن
۱۱۲.....	۶-۵-نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها
۱۱۲.....	۶-۶-ژئوشیمی سنگ‌های ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری
۱۱۲.....	۶-۶-۱-نامگذاری و طبقه‌بندی سنگ‌های ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری
۱۱۳.....	۶-۶-۱-۱-نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Le Bas et al, 1986)
۱۱۳.....	۶-۶-۱-۲-نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1994)
۱۱۴.....	۶-۶-۱-۳-نمودار نسبت Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)
۱۱۵.....	۶-۷-تعیین سری ماگمایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌ها
۱۱۵.....	۶-۷-۱-نمودار سه تایی AFM (Irvine and Baragar, 1971)
۱۱۶.....	۶-۷-۲-نمودار سه تایی AFM (Jensen, 1976)
۱۱۶.....	۶-۷-۳-نمودارهای مثلثی Nb و Ta, Hf, Ta, Zr (Wood, 1980)
۱۱۷.....	۶-۸-عناصر نادر خاکی و کمیاب
۱۱۸.....	۶-۸-۱-الگوی پراکندگی عناصر نادر خاکی در سنگ‌های درونگیر و کانسنگ ماده معدنی
۱۱۹.....	۶-۸-۲-تعیین PH سیال براساس ژئوشیمی عناصر کمیاب
۱۲۱.....	۶-۹-ژئوشیمی کانسنگ

۱-۹-۶- تغییرات برخی عناصر در واحدهای سنگی منطقه رباعی (بر اساس نتایج آنالیز XRF ، ICP-MS و Fire Assay)	۱۲۱
۲-۹-۶- تغییرات میزان عناصر فلزات پایه و بعضی از عناصر دیگر براساس عمق در مغزه‌های حفاری ۱۲۲	
۳-۹-۶- ضریب همبستگی	۱۲۷
۱۰-۶- مطالعات سیال درگیر	۱۳۳
۱-۱۰-۶- روش مطالعه	۱۳۳
۲-۱۰-۶- پتروگرافی سیالات درگیر	۱۳۴
۳-۱۰-۶- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال	۱۳۸
۴-۱۰-۶- تعیین دما و شوری سیال	۱۳۹
۵-۱۰-۶- چگالی سیال	۱۴۱
۶-۱۰-۶- تعیین عمق و فشار حاکم در زمان تشکیل کانسنگ	۱۴۲
۷-۱۰-۶- تعیین عوامل فیزیکی موثر بر تهنشست ذخیره و نوع کمپکس‌های احتمالی برای حمل فلزات	۱۴۳
۸-۱۰-۶- تعیین تیپ احتمالی کانسار براساس مطالعه سیالات درگیر	۱۴۶

فصل هفتم: تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

۱-۷- مقدمه	۱۴۸
۲-۷- بررسی خصوصیات مهم کانسارهای اپی‌ترمال	۱۴۸
۳-۷- عوامل موثر در تشکیل کانسار مس رباعی	۱۵۰
۴-۷- مقایسه کانسار مس رباعی با دیگر کانسارهای ایران و جهان	۱۵۲
۵-۷- بررسی خصوصیات کانسارهای تیپ اسکارنی و اکسید آهن، مس و طلا (IOCG)	۱۵۶
۶-۷- عوامل موثر در تشکیل کانسار آهن (مس و طلا) رباعی	۱۵۹
۷-۷- مقایسه کانسار آهن (مس، طلا) رباعی با برخی کانسارهای ایران و سایر نقاط دنیا	۱۶۰
۸-۷- نتیجه‌گیری و تیپ کانیزایی	۱۶۳
۹-۷- پیشنهادات اکتشافی	۱۶۴

- شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳
- شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه ۴
- شکل ۱-۳- بخشی از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه و نمایش موقعیت کانسار مس و آهن رباعی بر روی آن ۶
- شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌های ساختاری- رسوبی ایران ۱۶
- شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های موجود در رشته کوه طرود-چاه شیرین ۲۱
- شکل ۲-۳- بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰ کلاته- رشم و نمایش موقعیت کانسارهای مس دیان، مس رباعی و آهن رباعی ۲۶
- شکل ۲-۴- نقشه زمین‌شناسی ساده شده مربوط به رشته کوه آتشفشانی- رسوبی طرود- چاه شیرین و نمایش موقعیت قرارگیری تعدادی از کانسارهای فلزی بر روی آن ۳۲
- شکل ۱-۳- نقشه زمین‌شناسی مربوط به محدوده رباعی و موقعیت قرار گیری کانسار مس رباعی، آهن اسکارنی و آهن II رباعی بر روی آن ۴۳
- شکل ۲-۳- نمایی از مرز سنگ آهک‌های کرتاسه ($KU^{sh, 1}$) با ولکانیک‌های ائوسن (E^{vt}) و موقعیت کانسار اسکارن آهن رباعی ۴۵
- شکل ۳-۳- تصویر و میکروسکوپی نمونه دستی سنگ آهک توده‌ای ۴۵
- شکل ۳-۴- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی از ماکروفسیل‌ها و میکروفسیل‌های واحد سنگ آهک فسیل‌دار کرتاسه در منطقه مورد مطالعه ۴۶
- شکل ۳-۵- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی آهک ماسه‌ای و میکروکنگلومرا ۴۷
- شکل ۳-۶- تصاویر مربوط به واحدهای آندزیت بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت ۵۰
- شکل ۳-۷- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی آندزیت بازالت ۵۱
- شکل ۳-۸- تصاویری از مرز سنگ آهک‌های کرتاسه با توف‌های ماسه‌ای و ولکانیک‌های ائوسن ۵۳
- شکل ۳-۹- تصاویر مربوط به واحد توف برش دارای کانی‌زایی ۵۴
- شکل ۳-۱۰- عکس نمونه دستی و میکروسکوپی کریستال توف ۵۵
- شکل ۳-۱۱- تصاویر مربوط به واحد Eat در قسمت ورودی کانسار رباعی ۵۶
- شکل ۳-۱۲- تصویر مربوط به واحد (A, t) ۵۷

- شکل ۳-۱۳- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) همراه با کانی‌های شناسایی شده مربوط به توف‌های دگرسان منطقه. ۵۷
- شکل ۳-۱۴- تصاویر مربوط ساب ولکانیک‌های داسیتی منطقه رباعی همراه با کانی‌زایی ۵۹
- شکل ۴-۱- آشکار شدن دگرسانی‌های رشته کوه طرود - چاه‌شیرین به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی با استفاده از طیف‌های حاصل از طیف‌سنجی نمونه‌ها، در زمینه‌ای از تصویر RGB=4,6,8 منطقه. ۶۴
- شکل ۴-۲- نمایش تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر و شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی ۶۵
- شکل ۴-۳- نمایش تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر و شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی ۶۵۱۳۹۵ ۶۶
- شکل ۴-۴- تصاویر مربوط به دگرسانی کربناتی. ۶۶
- شکل ۴-۵- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف برش در کانسار مس رباعی ۶۷
- شکل ۴-۶- الف - عکس نمونه دستی و میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی - کربناتی موجود در کانسار مورد مطالعه ۶۸
- شکل ۴-۷- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) مربوط به شناسایی دگرسانی سیلیسی، کربناتی، کلریتی و سریسیتی ۶۹
- شکل ۴-۸- الف- تصاویر مربوط به دگرسانی کلریتی، آرژیلیتی و سریسیتی ۷۱
- شکل ۴-۹- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف دگرسان شده منطقه نمایانگر دگرسانی آرژیلیتی ۷۲
- شکل ۴-۱۰- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف دگرسان شده نشانگر دگرسانی آرژیلیتی، کلریتی و سریسیتی ۷۲
- شکل ۴-۱۱- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی هماتیتی و لیمونیتی‌شدن ۷۳
- شکل ۴-۱۲- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف برش دگرسان شده نشان‌دهنده دگرسانی‌های سیلیسی، کربناتی و هماتیتی شدن ۷۳
- شکل ۴-۱۳- تصاویری از دگرسانی‌های کلریتی، آرژیلیتی، کربناتی، سیلیسی و هماتیتی شدن در کانسار آهن رباعی ۷۵
- شکل ۴-۱۴- تصویر صحرایی مرز بین سنگ آهک‌های کرتاسه پسین با ساب‌ولکان‌های داسیتی و ولکانیک‌های ائوسن همراه با کانی‌زایی آهن ۷۷
- شکل ۴-۱۵- ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه و موقعیت رخداد کانی‌زایی‌ها. ۷۹

شکل ۴-۱۶- نمایش از روند رگه‌های معدنی و همچنین نمایش موقعیت گمانه‌های حفاری در بخش ۳ کانی‌زایی ۸۰

شکل ۴-۱۷-الف- نمایش لاگ لیتولوژی گمانه‌ها ب- مشخصات لیتولوژی و کانی‌زایی هر یک از واحدها براساس عمق ۸۲

شکل ۴-۱۸- تصاویر تغییرات لیتولوژیکی و شکل کانی‌زایی در عمق‌های مختلف مغزه‌های حفاری ۸۲

شکل ۵-۱- تصاویر میکروسکوپی کانی کالکوپیریت ۸۶

شکل ۵-۲- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه‌ای از عمق ۲۲ متری مغزه‌های حفاری BH05 کانسار رباعی ۸۶

شکل ۵-۳- تصاویر مربوط به کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت، کوولیت و پیریت ۸۸

شکل ۵-۴- تصاویر میکروسکوپی از طلا ۸۹

شکل ۵-۵- عکس صحرایی و میکروسکوپی آزوریت ۹۰

شکل ۵-۶- نمودار پراش اشعه ایکس و شناسایی کانی مالاکیت ۹۰

شکل ۵-۷- الف- عکس نمونه دستی و میکروسکوپی از کانی‌های مالاکیت و کریزوکلا ۹۱

شکل ۵-۸- تصاویر کانی مگنتیت، همتیتی و کانی‌های ثانویه سولفیدی (کوولیت) و کربناتی (مالاکیت) مس ۹۲

شکل ۵-۹- بافت رگه-رگچه‌ای ۹۵

شکل ۵-۱۰- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی ۹۶

شکل ۵-۱۱- الف- بافت دانه پراکنده ۹۷

شکل ۵-۱۲- بافت جانشینی و اکسلوشن ۹۸

شکل ۵-۱۳- بافت کاتاکلاستیکی و بافت کلوفرمی ۱۰۰

شکل ۵-۱۴- تصاویر کانی‌های آهن‌دار در کانسا ۱۰۴

شکل ۵-۱۵- تصاویر کانی‌های مس‌دار در کانسار آهن رباعی ۱۰۵

شکل ۵-۱۶- ساخت کانه‌ها در کانسار آهن رباعی ۱۰۶

شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی، آذرواری و ساب‌ولکانیک منطقه رباعی در نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 ، TAS (Le Bas et al. 1986) و نمودار TAS (Middlemost, 1994) ۱۱۴

شکل ۶-۲- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996) به منظور نامگذاری سنگ‌ها ۱۱۵

- شکل ۶-۴- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و ساب‌ولکانیک منطقه رباعی در نمودارهای سه-تایی Al، Mg و Fe^{T+Ti} (Jensen, 1976) و نمودار (Irvine and Baragar, 1971)..... ۱۱۶
- شکل ۶-۵- 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)..... ۱۱۷
- شکل ۶-۶- نمودارهای عنکبوتی عناصر جزئی و کمیاب بهنجار شده نسبت به کندريت و نسبت به گوشته اولیه (Sun et al., 1980; McDonough and Sun., 1989)..... ۱۲۰
- شکل ۶-۷- نمودارهای عنکبوتی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده نسبت به کندريت و نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995; Nakamura, 1974)..... ۱۲۰
- شکل ۶-۸- نمودار چند عنصری در کانسار آهن (مس و طلا) رباعی، بهنجار شده نسبت به پوسته زیرین (Weaver and Tarney, 1984)..... ۱۲۱
- شکل ۶-۹- نمودار تغییرات میزان عناصر فلزات پایه و آهن در واحدهای سنگی منطقه رباعی..... ۱۲۲
- شکل ۶-۱۰- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه‌های BH01، BH02 و BH03..... ۱۲۵
- شکل ۶-۱۱- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه‌های BH04، BH05 و BH06..... ۱۲۶
- شکل ۶-۱۲- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH07..... ۱۲۷
- شکل ۶-۱۳- نمودار (Bajwah et al., 1987) نسبت کبالت به نیکل جهت تعیین محیط کانی‌زایی..... ۱۲۹
- شکل ۶-۱۴- تصاویر پس پراکنش (BSE) کانیهای موجود در نمونه..... ۱۳۲
- شکل ۶-۱۵- نمودارهای دایره‌ای جهت تعیین درصد مشارکت عناصر در کانه‌ها..... ۱۳۲
- شکل ۶-۱۶- تصاویر میانبارهای سیال مربوط به مقطع R2 (کانسار مس رباعی)..... ۱۳۶
- شکل ۶-۱۷- تصاویر میانبارهای سیال مربوط به مقطع R3 (کانسار آهن رباعی)..... ۱۳۷
- شکل ۶-۱۸- تصاویر میانبارهای سیال مربوط به مقطع R3 (کانسار آهن رباعی)..... ۱۳۷
- شکل ۶-۱۹- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن و میزان شوری در میانبارهای سیال در کانسارهای آهن و مس رباعی..... ۱۴۱
- شکل ۶-۲۰- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001)..... ۱۴۲
- شکل ۶-۲۱- تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass, 1971) و نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس شوری و دمای همگن شدن (Ramdohr, 1980)..... ۱۴۳
- شکل ۶-۲۲- نمودار دمای همگن شدن- شوری به منظور تعیین عوامل مؤثر در تکامل سیال و ته-نشست مواد معدنی (Wilkinson, 2001)..... ۱۴۵

شکل ۶-۲۳- نمودار (Large et al, 1988) براساس دما در مقابل شوری جهت تعیین کمپلکس‌های احتمالی حمل فلزات در کانسارهای مورد مطالعه. ۱۴۵

شکل ۶-۲۴- نمودار محدوده دما و شوری میانبارهای سیال در کانسار مس رباعی و آهن رباعی و تعیین تیپ احتمالی کانسارها (Willkinson, 2001). ۱۴۶

شکل ۷-۱- مدل شماتیک چگونگی تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال سولفید بالا (H.S)، سولفید متوسط (I.S) و سولفید پایین (L.S). ۱۵۰

شکل ۷-۲- مدل شماتیک نشان دهنده چگونگی تشکیل کانسار اسکارنی آهن، مس و طلا (IOCG) و کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای مس (طلا) رباعی. ۱۶۴

جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی.....	۱۲
جدول ۱-۴- کانیه‌های تشخیص داده شده در زیر میکروسکوپ و آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) در نمونه‌های دگرسان منطقه مورد مطالعه.....	۷۴
جدول ۲-۴- نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) از مغزه حفاری شماره ۵ کانسار مس رباعی (داده-های شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴).....	۷۴
جدول ۳-۴- موقعیت و مشخصات گمانه‌های حفاری شده در محدوده اکتشافی رباعی بخش ۳.....	۸۱
جدول ۱-۵- توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانیه‌ها در کانسار مس رباعی.....	۱۰۱
جدول ۲-۵- توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانیه‌ها در کانسار آهن رباعی II.....	۱۰۷
جدول ۱-۶- ضریب همبستگی پیرسون (pearson) بین عناصر فلزات پایه و برخی عناصر دیگر در کانسار مس رباعی.....	۱۲۸
جدول ۲-۶- نتایج نمونه‌های آنالیز شده به روش Fire Assay برای عنصر طلا.....	۱۳۰
جدول ۱-۷- برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال موجود در دنیا.....	۱۴۹
جدول ۲-۷- مقایسه بعضی از ویژگی‌های شاخص کانسار مس رباعی با برخی کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) واقع در رشته طرود- چاه‌شیرین و سایر نقاط ایران.....	۱۵۳
جدول ۳-۷- مقایسه کانسار مس رباعی با کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین، سولفید متوسط و هیدروترمالی رگه‌ای در سایر نقاط دنیا.....	۱۵۵
جدول ۴-۷- دسته‌بندی کانسارهای ماگمایی- گرمایی اکسید آهن، مس و طلا.....	۱۵۸
جدول ۵-۷- ویژگی‌های مهم بعضی از کانسارهای اکسید آهن، مس و طلا (IOCG) دنیا.....	۱۵۹

پیوست ۱: جدول نتایج آنالیز ICP-MS مربوط به نمونه‌های سطحی کانسار مس رباعی.....	۱۸۱
پیوست ۱: نتایج آنالیز ICP-OES مربوط به نمونه‌های سطحی کانسار مس رباعی.....	۱۸۲
پیوست ۲: نتایج آنالیز ICP-MS برای نمونه‌های کانسار آهن رباعی.....	۱۸۳
پیوست ۲: نتایج آنالیز XRF برای نمونه‌های کانسار آهن رباعی.....	۱۸۴
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH01 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۴
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH02 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۴
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH03 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۵
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH04 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۵
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH05 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۵
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH06 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۶
پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH07 براساس عمق در کانسار مس رباعی.....	۱۸۶
پیوست ۴: مقادیر آنالیز EMPA بر روی نمونه‌های کانسار مس رباعی.....	۱۸۷
پیوست ۵: نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی نمونه کلسیت در کانسار مس رباعی (R2).....	۱۸۸
پیوست ۵: نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی نمونه کوارتز در کانسار آهن رباعی (R3).....	۱۸۸

فصل اول

کلیات

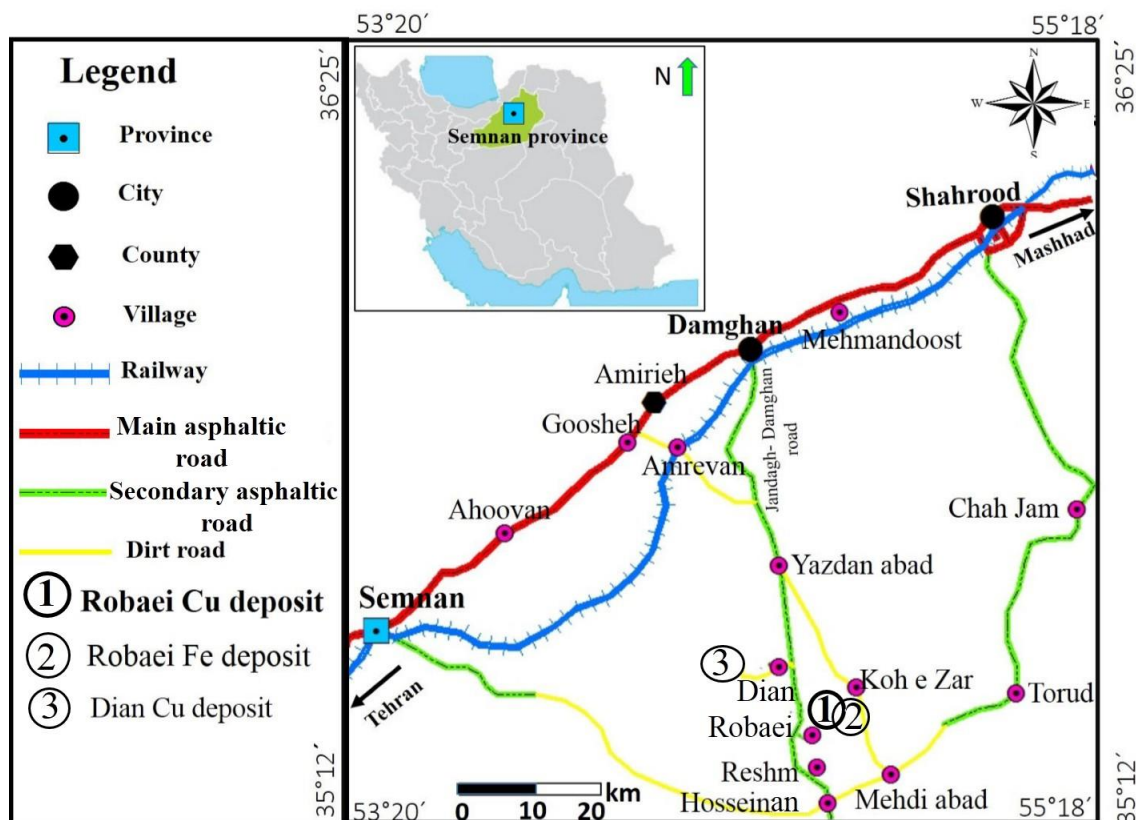
منطقه اکتشافی رباعی در رشته کوه آتشفشان-رسوبی طرود-چاه شیرین، شمال پهنه ایران مرکزی و در جنوب شهرستان دامغان واقع شده است. این منطقه به علت دارا بودن محیط تکتونیکی مناسب و وجود سنگ‌های آتشفشان-رسوبی آئوسن، شرایط زمین‌شناسی مناسبی را برای تشکیل فلزات پایه از جمله مس، سرب، روی، طلا، نقره و سایر فلزات قیمتی و گرانبها ایجاد کرده است که کانسار مس و آهن رباعی 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 و آهن از ضروری‌ترین فلزات مورد نیاز برای جامعه بشری است در این تحقیق زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی مطالعه و مورد بررسی قرار می‌گیرد. چرا که نتایج حاصل از این بررسی می‌تواند جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید مس و آهن در رشته کوه آتشفشان-رسوبی طرود-چاه‌شیرین و سایر زون‌های ساختاری ایران موثر واقع شود.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

کانسار مس رباعی در ۹۵ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان، ۵ کیلومتری جنوب شرق روستای دیان، در استان سمنان با مختصات جغرافیایی $22^{\circ} 54'$ طول شرقی و $35^{\circ} 23'$ عرض شمالی واقع شده است. راه دسترسی به منطقه بعد از طی ۹۵ کیلومتر جاده آسفalte دامغان - جندق با عبور از

روستای دیان به جاده فرعی کانسار رباعی رسیده که با انحراف به سمت چپ (سمت شرق) و طی ۵۰۰ متر راه خاکی، دسترسی به منطقه مورد مطالعه امکان پذیر می باشد (شکل ۱-۱). کانسار آهن رباعی در حدود یک کیلومتری جنوب شرق کانسار مس رباعی با مختصات جغرافیایی $54^{\circ}29'44''$ طول شرقی و $35^{\circ}22'40''$ عرضی شمالی قرار گرفته است.

از مهم ترین مراکز مسکونی در منطقه مورد مطالعه می توان به روستای رشم، حسینان، معلمان، کوه زر، عبدیا، ده قاضی و حسن آباد اشاره نمود که روستای رشم یکی از پرجمعیت ترین روستای منطقه می باشد، که تقریباً در ۲۳ کیلومتری جنوب منطقه مورد مطالعه واقع شده است.



شکل ۱-۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه مورد مطالعه (اقتباس از اطلس راه های کشور).

۱-۳- آب و هوا و پوشش گیاهی

این منطقه دارای آب و هوای گرم و خشک و از نوع کویری تا نیمه کویری است. وجود کوه های نسبتاً مرتفع موجب تغییرات فشار، جابجایی هوا و وزش باد در منطقه می شوند. علاوه بر بادهای محلی،

بادهای کویری و غربی بر آب و هوای منطقه تأثیر دارند. بادهای کویری باعث افزایش دما و خشکی هوا می‌شوند و بادهای غربی مرطوب و باران‌زا هستند که معمولاً بارش‌ها در فصول پاییز و زمستان صورت می‌گیرد، در فصل تابستان بارندگی نادر بوده و دمای هوا بالاتر از ۴۰ درجه است و در زمستان‌ها به ۶- درجه می‌رسد.

منطقه مورد مطالعه به علت شرایط نامناسب آب و هوایی برای رشد گیاهان، از لحاظ پوشش گیاهی کم تراکم بوده و انواع آن‌ها به ۳ تا ۴ گونه گیاهی بیشتر نمی‌رسند (شکل ۱-۲) که اغلب از نوع شوره‌ها (از خانواده اسفناجیان)، درمنه، قیچ و شوردرمنه می‌باشند و گیاهان همراه این گونه‌ها معمولاً خیلی محدود بوده و بیشتر خارپشته، اسپند، کاروان‌کش، تاغ و اشنان می‌باشند.



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

۴-۱- وضعیت معیشتی و اجتماعی

بطور کلی شغل مردم منطقه دامداری و کشاورزی می‌باشد، اما قرار گرفتن منطقه در حاشیه کویر و کمبود نزولات جوی و نامناسب بودن شرایط برای کشاورزی، باعث مهاجرت روستائیان به شهرها و کاهش جمعیت در این روستاها شده است. تنها چند روستای کوچک رشم، معلمان و حسینان دارای سکنه دائمی هستند. آب مورد نیاز روستائیان از چند چشمه نسبتاً کم آب در داخل دره‌های منطقه،

چندین رشته قنات و مقداری از چاه‌های حفر شده داخل سفره‌های زیرزمینی تأمین می‌گردد. با این وجود کم بودن رونق کشاورزی و واحدهای صنعتی در منطقه خود عاملی، جهت تأمین نیروی کار معدنی محسوب می‌شود. به جهت وجود معادن متعدد در منطقه تعدادی از مردم به فعالیت معدنکاری اشتغال دارند. اکتشاف و فعال سازی معادن جدید می‌تواند نقش مهمی در اشتغال‌زایی و جلوگیری از مهاجرت جوانان به شهرها داشته باشد.

۱-۵- ژئومورفولوژی (زمین‌ریخت‌شناسی)

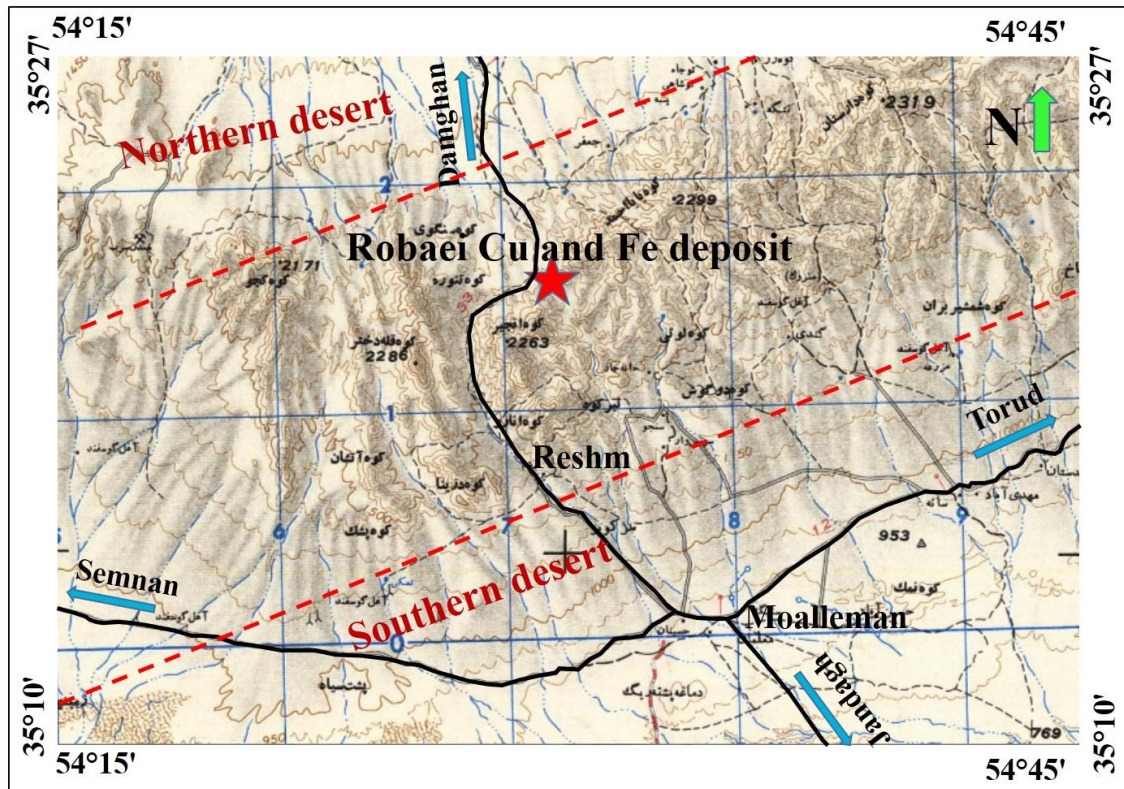
مورفولوژی منطقه تحت تأثیر لیتولوژی متفاوت و مخصوصاً عملکرد دو گسل اصلی و بزرگ طرود در جنوب و گسل انجیلو در شمال و تعداد زیادی گسل‌های فرعی قرار گرفته است. بطور کلی منطقه را می‌توان به سه بخش مورفولوژیکی زیر تقسیم نمود:

الف: بخش دشت شمالی با ارتفاع تقریباً ۱۰۵۰ متر از سطح دریا، که کویر چاه جم در آن قرار گرفته است و پوشیده شده از، ماسه‌های بادی و رسوبات کواترنری جوان در دهانه خروجی دره‌ها به داخل دشت و کفه‌های نمکی.

ب: بخش ارتفاعات، که بصورت یک رشته کوه کشیده با روند تقریباً شرقی- غربی و متشکل از سنگ- های آتشفشانی-رسوبی رشته کوه ولکانیکی-رسوبی طرود-چاه شیرین می‌باشد. گسل انجیلو مرز بین نوار با دشت شمالی و گسل طرود مرز آن با دشت جنوبی را مشخص می‌کند. مهم ترین کوه‌های منطقه عبارتند از: کوه دارستان با ارتفاع ۲۳۱۹، کوه بابا احمد با ارتفاع ۲۲۹۹، کوه قله دختر با ارتفاع ۲۲۸۶، کوه انجیر با ارتفاع ۲۲۶۳ و کوه کجو با ارتفاع ۲۱۷۱ متر از سطح دریا.

پ: بخش دشت جنوبی با ارتفاع تقریباً ۷۰۰ متر از سطح دریا که شامل کویر نمک و عمدتاً از کفه‌های نمکی، رسی و تراس‌های جوان در دامنه‌ها تشکیل شده است. ماسه‌های بادی بصورت تپه‌های ماسه‌ای طولی، برخان و... گسترش دارند.

کانسار مس رباعی در بخش دامنه شمالی رشته کوه ولکانیکی- رسوبی طرود- چاه شیرین قرار گرفته است که دارای ارتفاع ۱۷۰۰ متر از سطح دریا می باشد. موقعیت قرارگیری این کانسار در شکل (۱-۳) بر روی نقشه توپوگرافی منطقه نشان داده شده است.



شکل ۱-۳- بخشی از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ منطقه و نمایش موقعیت کانسار مس و آهن رباعی بر روی آن.

۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی در منطقه

با توجه به این که رشته کوه آتشفشانی- رسوبی طرود-چاه شیرین دارای پتانسیل معدنی قابل توجهی از جمله مس، سرب، روی، طلا، آهن، منگنز و غیره می باشد، مطالعات زمین شناسی و اکتشافی متعددی در منطقه صورت گرفته است که در زیر به تعدادی از مهم ترین آن ها اشاره می شود:

-هلمهاکر^۱ (۱۸۹۸) و هنمک^۲ (۱۸۹۹)، اولین محققانی هستند که با هدف پی جویی طلا زمین شناسی منطقه را مورد مطالعه قرار داده اند.

1-Helmhacker
2-Henmacke

-دیچل^۱(۱۹۴۴)، درباره ذخایر طلا، عیار و خاستگاه آن مطالعاتی انجام داده است. وی به این نتیجه رسید که پیدایش طلا با رگه‌های سیلیسی موجود در منطقه و توده‌های گرانیتی شرق کوه‌زر مرتبط است.

-اشتوکلین^۲(۱۹۵۶) و هوبر^۳(۱۹۵۷)، مشخصات زمین‌شناسی و توالی لیتولوژیکی و سنی واحدهای مختلف ترود-معلمان را معرفی کرده‌اند که توسط علوی (۱۹۷۰) مورد تجدید نظر واقع شد. -موحد اول (۱۳۴۷)، درباره معدن فیروزه باغو در منطقه تحقیقاتی انجام داده است. ایشان احتمال وجود مس پورفیری را در ناحیه یادآور شده است.

-پورحسینی (۱۳۶۲)، ضمن مطالعه سنگ‌شناسی توده‌های نفوذی ایران، احتمال ارتباط توده‌های نفوذی منطقه طرود با فاز ماگمایی ائوسن پسین-الیگوسن را بحث نمود.

-جعفریان و ولی‌زاده(۱۳۶۸)، سنگ‌های آذرین محور طرود-کوه‌زر (باغو) را مورد مطالعه قرار داده و حجم اصلی سنگ‌های آتشفشانی منطقه را آندزیت، ماهیت ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه را کالک‌آلکال و جایگاه تکتونیکی تشکیل آن‌ها را به کمان آتشفشانی قاره‌ای نسبت داده‌اند.

-رشیدنژاد عمران (۱۳۷۱)، با بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب شرق دامغان)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ارتباط کانه‌سازی طلا با سیالات سیلیسی تأخیری مرتبط با نفوذی‌های نیمه‌عمیق (با ترکیب اسیدی تا حدواسط) عنوان کرده‌اند.

-کهنسال (۱۳۷۷)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، 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

1- Dichal
2- Stocklin
3-Hubber

این محقق، ماگمای بازالتی آلکالن اولیه، در حین صعود و تفریق تحت تأثیر آغشتگی با مواد پوسته‌ای به سنگ‌های حدواسط تبدیل شده است.

-شمعانیان (۱۳۸۱) در رساله دکتری خود با مطالعه ژنز کانسارهای طلای گندی و ابولحسنی (شمال معلمان)، سنگ‌های نیمه عمیق منطقه را به کمان ماگمایی درون قاره‌ای نسبت داده که این کمان همزمان با فرورانش پوسته اقیانوسی تتیس جوان به زیر پوسته قاره‌ای ایران مرکزی، پدید آمده است. -قربانی (۱۳۸۴)، سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان را در قالب رساله دکتری پترولوژی مطالعه کرده و آن‌ها را نوع آلکالن و کالک آلکالن دانسته که در محیط‌های کششی تشکیل شده‌اند.

-امام جمعه، و همکاران (۱۳۸۷)، سامانه واحد کانی‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه موسی-قله کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی طرود-چاه شیرین را معرفی کرده‌اند.

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

-مهری و همکاران (۱۳۸۷)، با بررسی کانسار سرب-نقره (روی) خانجار، آن را یکی از کانسارهای لایه‌کران (استراتاباند) توالی کربناتی کرتاسه بالایی در ایران مرکزی معرفی نموده است. -خواجehزاده (۱۳۸۸)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود، با مقایسه ویژگی‌های سنگ‌های منطقه، آن‌ها را در زمره آداکیت‌های غنی از سیلیس مشتق شده از ورقه اقیانوسی فرورانده شده می‌داند که از توانایی زیاد برای داشتن کانسارهای مس و طلا برخوردارند.

-پورشعبان و همکاران (۱۳۸۹)، مطالعات کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی بر روی کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران سمنان، انجام داده‌اند، و این کانسار را تیپ رگه‌ای دانسته‌اند.

-قاسمی سیانی و مهرابی (۱۳۸۹)، با مطالعات کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی بر روی کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ، استان سمنان، این کانسار را از نوع اپی‌ترمال سولفید متوسط معرفی کرده‌اند.

-بادوزاده کانرش(۱۳۹۰)، کانه‌زائی کانسار آهن رباعی(بخش اسکارنی) را براساس پتروگرافی و ژئوشیمی در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد بررسی کرده و آن را یک کانسار آهن اسکارن کلسیمی کم دما معرفی نموده‌اند.

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

-نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود(علوی و همکاران، ۱۳۵۵)، ۱/۱۰۰۰۰۰ کللاته رشم (جعفریان، ۱۳۷۳) و ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان(اشرفی، ۱۳۸۵) که مربوط به رشته کوه ولکانیکی-رسوبی طرود-چاه‌شیرین می‌شوند، تهیه شده است. در این نقشه‌ها واحدهای پالئوزوئیک تا کواترنری را می‌توان مشاهده نمود که میزبان انواع مختلف کانه‌زایی هستند.

۱-۷- اهداف و طرح مسئله

نظر به اینکه در رابطه با کانسار مس و آهن رباعی II، 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 رباعی وجود دارد و این تحقیق به آن‌ها پاسخ خواهد داد، عبارت‌اند از:

- ۱- توالی چینهای، موقعیت رخداد کانه‌زایی نسبت به سنگ‌های میزبان، توالی پاراژنزی، کانی‌شناسی و ساخت و بافت در کانسار مس و آهن رباعی چگونه است؟
- ۲- کنترل کننده‌های اصلی در کانه‌زایی مس و آهن رباعی چیست؟
- ۳- ویژگی‌های ژئوشیمی کانسار چگونه است؟
- ۴- نوع و الگوی پهنه‌های دگرسانی در کانسار چگونه است؟
- ۵- الگوی تشکیل در کانسار مورد مطالعه چیست؟
- ۶- کانه‌زایی با کدام یک از تیپ‌های کانه‌زایی مس و آهن در جهان بیشترین شباهت را دارد؟
- ۷- سرانجام، کلیدهای اکتشافی جهت یافتن کانسارهایی مشابه و اقتصادی از این تیپ کانه‌زایی‌ها در مقیاس محلی و در مقیاس نوار آتشفشان-رسوبی طرود-چاه شیرین کدامند؟

۱-۸-روش مطالعه

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات

الف) مطالعه کتب، 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 استفاده 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 و دفتری

الف) مطالعات آزمایشگاهی شامل مطالعات میکروسکوپی، آماده‌سازی نمونه‌ها، آنالیز به روش‌های پراش اشعه ایکس^۱، فلورسانس اشعه ایکس^۲، طیف سنجی نوری توسط پلاسمای جفت شده القایی^۳، طیف سنجی جرمی توسط پلاسمای جفت شده القایی^۴، آنالیز ریزسنج الکترونی^۵ و مطالعات سیالات درگیر^۶ می‌باشد که هدف کار و محل آنالیز و یا مطالعه هر یک از آنها در جدول ۱-۱ لیست شده است.

علاو بر آنالیزهای فوق، تعدادی نمونه نیز از مغزه‌های حفاری به روش ICP- OES و XRD توسط شرکت کاوشگران بین‌الملل آنالیز، سپس در اختیار این تحقیق گذاشته شد (جدول ۱-۱).

1- X-ray Diffraction(XRD)

2- X-ray Fluorescence(XRF)

3- Inductively coupled plasma optical emission spectrometry (ICP-OES)

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

5- Electron Probe Micro Analysis(EPMA)

6- Fluid inclusions

جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی.

ردیف	روش کار یا نوع آنالیز	تعداد نمونه	هدف کار	محل انجام آنالیز یا مطالعه
۱	تهیه مقاطع: الف- نازک ب- صیقلی ج- نازک- صیقلی د- دوبر صیقلی	۷۰ ۲۵ ۱۵ ۵	الف- برای مطالعه پتروگرافی و دگرسانی‌ها در زیر میکروسکوپ با نور عبوری ب- مطالعه کانی‌های فلزی با نور انعکاسی ج- مطالعه همزمان ماده معدنی با سنگ میزبان د- جهت مطالعات سیال درگیر	دانشگاه صنعتی شاهرود، شرکت کاوشگران بین‌الملل، تهران
۲	XRD	۷	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 و شرکت تحقیقات کانی-شناسی و زمین‌شناسی کانپژوه
۳	XRF	۲۵	برای تعیین ترکیب شیمیایی سنگ‌ها و نام‌گذاری آنها براساس اکسیدهای اصلی و جهت تعیین سری ماگمایی	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران، شرکت مطالعات مواد معدنی زراآما و Chinese Academy of Sciences (CAS)
۴	ICP- OES	۴۴	جهت مشخص کردن درصد و عیار ماده معدنی و چگونگی تغییرات و روابط همبستگی عناصر مختلف در کانسار	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران، شرکت تحقیقات کانی-شناسی و زمین‌شناسی کانپژوه
۵	ICP-MS	۱۲	جهت تعیین دقیق عیار عناصر مختلف و چگونگی تغییرات آن‌ها در کانسار و همچنین نامگذاری دقیق سنگ‌های میزبان و تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها براساس عناصر نادر خاکی	آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران، شرکت مطالعات مواد معدنی زراآما و Chinese Academy of Sciences (CAS)

ادامه جدول ۱-۱

آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران	به منظور تعیین حضور یا عدم حضور طلا در کانسار مورد مطالعه	۴	Fire Assay	۶
آزمایشگاه مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران	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.	۱	EPMA	۷

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

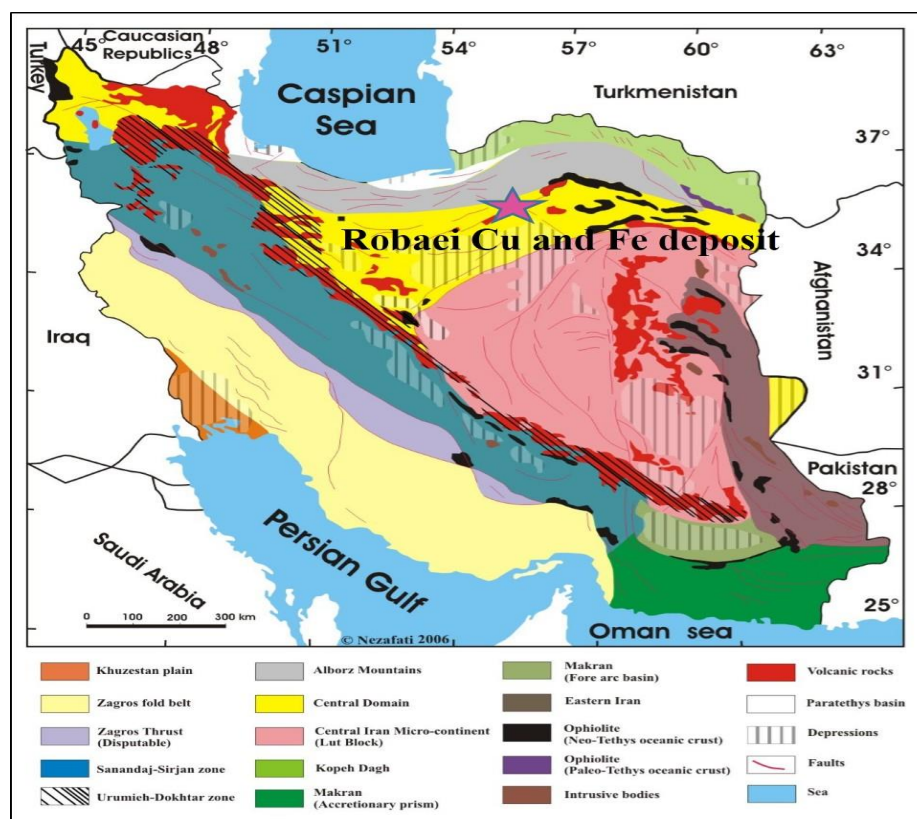
در این مرحله داده‌های بدست آمده از آزمایشات به کمک نرم‌افزارهای ArcGis، SPSS، Excel،
GCDkit و غیره طبقه‌بندی، پردازش و سپس در تدوین پایان‌نامه مورد استفاده قرار گرفته شد.

فصل دوم

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۱-۲- مقدمه

ایران به عنوان پل ارتباطی بین گندوانا و لورازیا، در طی تکامل و تحول ژئوتکتونیک سپری شده بر این دو ابرقاره؛ دستخوش تغییرات فراوان شده و همچون لوح‌هایی، اثر این فرایندها را در خود ثبت کرده است. تأثیرات حاصل از این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به پنج پهنه اصلی و دوازده پهنه فرعی ساختاری - رسوبی است (آقائباتی، ۱۳۸۳). کانسار مس و آهن رباعی در جنوب دامغان در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی و رشته کوه آتشفشان-رسوبی طرود-چاه شیرین واقع شده است (شکل ۱-۲). این رشته کوه با توجه به تنوع واحدهای تکتونیک، سنگ‌شناسی و سرگذشتی که از پرکامبرین تا عهد حاضر بطور تقریباً مستمر گذرانده است، می‌توان شاهد فرایندهای مختلف متالورژی و در نتیجه کانی‌زایی‌های گوناگون در مقیاس‌های مختلف بود. در این فصل ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی در مقیاس ناحیه‌ای و رشته کوه آتشفشان-رسوبی طرود-چاه شیرین براساس نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ طرود، ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته-رشم و معلمان شرح داده می‌شود.



شکل ۱-۲- موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌های ساختاری-رسوبی ایران (آقائباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی یکی از بزرگترین و پیچیده‌ترین پهنه ساختاری-رسوبی ایران می‌باشد که در آن تمام دوره‌های زمین‌شناسی با فرایندهای مختلف کوهزایی، دگرگونی و ماگماتیسم رخ داده است. بیشتر مولفین معتقد هستند که بزرگترین فعالیت ماگمایی در ایران مرکزی در زمان ائوسن اتفاق افتاده است (اشتوکلین، ۱۹۷۴، فرهودی، ۱۹۷۸، فورستر^۱، ۱۹۷۸ و شهاب‌پور، ۲۰۰۵). این پهنه همانند مثلثی است که براساس نظر اشتوکلین (۱۹۶۸) از شمال به رشته کوههای البرز و از جنوب و جنوب غرب به رشته سنندج-سیرجان و برطبق نظر نبوی (۱۳۵۵) از شرق به بلوک لوت منتهی می‌شود. آقاناتی (۱۳۸۳)، بر این عقیده است که پهنه ایران مرکزی و رشته سنندج-سیرجان بخشی از حوضه مرکزی ایران هستند.

به نظر اشتوکلین چین‌خوردگی اصلی ایران مرکزی با فاز کوهزایی آلپی در ارتباط است؛ به طوری که پنج فاز اصلی چین‌خوردگی آلپ در تریاس - لیاس، اوایل کرتاسه، اواسط و اواخر دوران سنوزوئیک در این منطقه مشاهده شده است. روند عمومی چین‌خوردگی‌ها یکنواخت نیست، بلکه در شمال روند شرقی - غربی دارد. در شرق به موازات بلوک لوت (شمالی - جنوبی) و در جنوب غرب به موازات منطقه سنندج - سیرجان (شمال غربی - جنوب شرقی) است. بخش میانی ایران مرکزی را شکستگیهای متعدد با جهات مختلف بصورت مشبک در آورده و قطعات شکسته نسبت به هم حرکتی داشته‌اند و در نتیجه بالا آمدگی‌ها و فرورفتگی‌ها، حوضه متفاوتی بوجود آمده است.

در گذشته، خرده‌قاره ایران مرکزی را بخشی از توده میانی ایران مرکزی می‌دانستند ولی به باور اشتوکلین (۱۹۶۸)، 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

1-Forster

شده با گسل‌های عمده است که هر یک ویژگی جداگانه دارند و پویایی خردقاره در همه جا یکسان نیست. شواهد موجود نشان می‌دهند که:

- کوهزایی کاتانگایی در این ناحیه در پرکامبرین پسین و پیش از یک رژیم سکویی حاکم شده است.
- به جز بلوک لوت و لبه جنوب باختری که سنگ‌های ماگمایی ترشیری برونزد دارند، در سایر نواحی سنگ‌های ترشیری در کمترین مقداراند.
- در ردیف‌های پالئوزوئیک این ناحیه، نبوده‌های چینه‌نگاری مهمی وجود دارد که مهم‌ترین آنها نبوده‌های چینه‌ای آغاز دونین میانی (هیاتوس ایفلین) و کربونیفرپسین (هیاتوس استغانین) است.

۲-۳- ویژگی‌های عمومی رشته کوه آتشفشان- رسوبی طرود چاه شیرین

۲-۳-۱ جایگاه تکتونیکی

رشته کوه طرود-چاه شیرین در تقسیمات زون‌های ساختاری ایران جزئی از پهنه ایران مرکزی (آقانباتی، ۱۳۸۳)، ماگماتیسم مرکزی (Nogole Sadat, 1993)، کمان ماگمایی البرز (Shamanian et al., 2004) و یا کمان ماگمایی جدا شده از ارومیه دختر به‌وسیله کشیدگی میان کمانی (Hassanzadeh et al., 2002) ایران محسوب می‌شود. این کمان از شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل طرود با روند $N 70^{\circ} E$ محدود می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

کانسار مس رباعی در بخش شمالی پهنه زمین‌ساختی ایران مرکزی، رشته کوه آتشفشان- رسوبی طرود - چاه شیرین و بخش شرقی نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم واقع شده است. ولی در نگاه دقیق‌تر آن را می‌توان به سه حوضه کوچک‌تر تقسیم نمود که عبارتند از: الف- نیمه جنوبی ورقه در محدوده حوضه رسوبی جندق قرار دارد. ب- نیمه شمالی ورقه را رشته کوه طرود- چاه‌شیرین تشکیل می‌دهد. بخش کوچکی از گوشه شمال باختری ورقه در محدوده‌ی باریک رشته کوه‌های انجیلو جای دارد. مرز میان حوضه جندق و رشته کوه طرود - چاه‌شیرین را گسل طرود کنترل می‌-

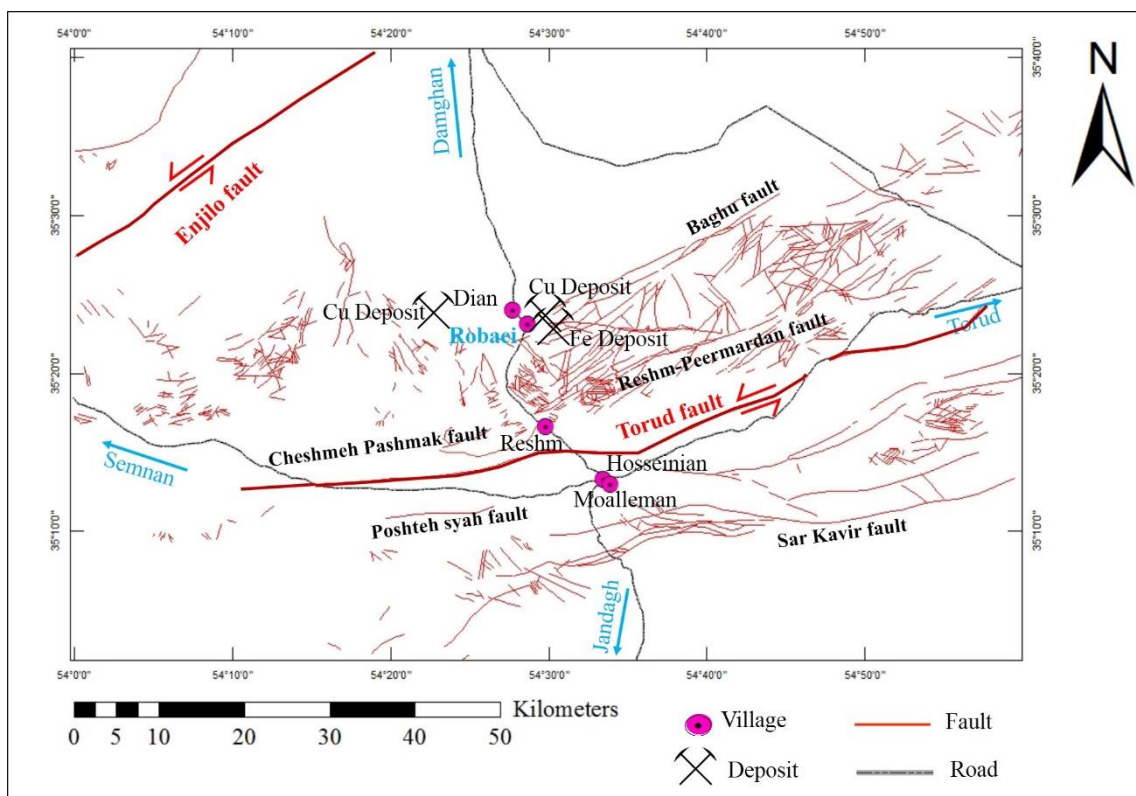
کند و کوه‌های انجیلو نیز از رشته کوه طرود - چاه‌شیرین توسط گسل انجیلو جدا می‌شود. منطقه جندق حوضه فرو افتاده‌ای است که دریای میوسن آن را فرا گرفته و رسوبات کم‌عمق ولی با ضخامت زیاد مارن، ماسه‌سنگ، نمک و گچ را در آنجا گذاشته است. رشته کوه طرود - چاه‌شیرین در مجموع دارای روند شرق - شمال شرقی - غرب - جنوب غربی (ENE - WSW) است که در حاشیه فرورفتگی کویر جندق واقع شده است. رشته کوه طرود - چاه‌شیرین، با وجود گستره به نسبت 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 کلاته رشم را مجموعه‌ای از انواع شیست، سنگ‌های اولترابازیک، دیوریت دگرگونه، سنگ‌های سیلیس متامورف و لیستونیت تشکیل می‌دهد که برخی از اجزاء آن مربوط به پوسته اقیانوسی است. رسوبات دگرگونه پیش از ژوراسیک میانی مربوط به یک محیط کم‌عمق و اغلب قاره‌ای است. درجه دگرگونی در واحدهای سنگی اردوئین تا ژوراسیک زیرین یکسان است لذا این دگرگونی پی‌آمد حرکات ژوراسیک پسین بوده که دگرگونی از نوع دیناموترمال است و به طور عمده در حد رخساره شیست سبز می‌باشد. این واحدهای سنگی از شدت دگرشکلی بالایی برخوردارند. رسوبات مربوط به کرتاسه زیرین به طور پراکنده در باختر ورقه و نواحی چاه‌شیرین رخنمون دارد که به طور دگرشیب سنگ‌های دگرگونی ناحیه را می‌پوشاند. ردیف ولکانیکی - رسوبی ترشیر با دگرشیبی مشخص بر روی واحدهای سنگی قدیمی‌تر می‌نشیند که بیانگر حرکات لارامید است. در اواخر ائوسن خروج گدازه‌های ولکانیکی به تقریب پایان پذیرفته و در الیگوسن نیز این فعالیت از سر گرفته می‌شود. بخشی از فعالیت‌های ولکانیکی به صورت دایک و توده‌های نفوذی نیمه-عمیق کوچکی نمایان می‌شوند. در پایان الیگوسن حوضه دریائی کم‌عمق جندق شکل گرفته است و ضخامت زیادی از رسوبات شبه مولاس مارنی، ماسه‌سنگی، گچی و نمکی در میوسن به جا گذاشته شده است. این نهشته‌های میوسن در آلپ پسین تحت تأثیر قرار گرفته و ساختمان‌های زیبای آنتی کلینالی و سنکلینالی جنوب ورقه را به وجود آورده است (جعفریان، ۱۳۸۰).

۲-۳-۲- سیستم گسل خوردگی ها و چین ها

همان طوری که بیان شد این ناحیه در منطقه شمالی رشته ساختاری 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 پیش از ژوراسیک زیرین دارای روند شمالی - جنوبی است. هم‌چنان که گفته شد سنگ‌های یاد شده به صورت بلوکی در بین دو گسل طرود در جنوب و انجیلو در شمال محصور شده‌اند. گسل‌های یاد شده دارای روند خاوری- شمال شرقی و غربی - جنوب غربی بوده‌اند. گسل طرود، 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 بررسی‌های انجام شده چنین برمی‌آید که عامل اصلی ایجاد کننده تغییر شکل‌های ناحیه در ارتباط با عملکرد دو گسل امتداد لغز پله‌ای یاد شده باشد. با توجه به امتداد محور چین‌خوردگی‌ها (ناودیس بیل‌بن) و روند گسل‌های قدیمی از نوع راندگی، حدفاصل این دو گسل دیده می‌شود که روند این گونه ساخت‌ها به تقریب عمود بر گسل‌های امتداد لغز طرود و انجیلو است. چنان که مشاهده می‌شود این بخش از سنگ‌های منطقه در حدفاصل این دو گسل بزرگ قرار گرفته‌اند و عملکرد این گسل‌ها موجب پیدایش یک منطقه Transtension در آن شده است که 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 به احتمال به کامبرین مربوط می‌شود. ولی فعالیت آن‌ها در مهم‌ترین مرحله حرکت آن‌ها که موجب این چرخش شده است را می‌توان به زمانی پس از لیا س 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 از همان زمان شروع به فعالیت کرده باشد (نبوی، ۱۳۵۷).

۲-۳-۱- گسل‌ها

با توجه به فعال بودن رشته کوه طرود- چاه شیرین از لحاظ تکتونیکی، گسل‌های مختلفی در این رشته کوه ایجاد شده است (شکل ۲-۲). همانطور که می‌دانیم یکی از فاکتورهای اساسی کنترل کننده کانی‌زایی، گسل‌ها می‌باشد که به همین خاطر در این قسمت بعضی از گسل‌های مهم این رشته کوه شرح داده می‌شود.



شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های موجود در رشته کوه طرود-چاه شیرین، تهیه شده براساس نقشه‌های ۱/۲۵۰۰۰ طرود ۱/۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم، ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth.

الف- گسل‌های اصلی

-گسل‌های طرود و انجیلو: گسل‌های طرود و انجیلو هر دو دارای امتداد تقریبی $N60-70E$ و با شیب ۸۰ درجه به سمت جنوب شرقی با سازوکار غالب امتدادلغز چپ‌بر می‌باشند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- **گسل سرکوپر** : گسل دیگری به موازات گسل طرود است و از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان گسترش آن دیده می‌شود. این گسل بطور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده است، سازوکاری مشابه با گسل طرود دارد و به احتمال در اعماق با رشته گسله طرود یکی می‌شود.

- **گسل باغو**: در شمال ورقه با راستای N70-90E، شیب نزدیک به قائم، پایین افتادن بخش شمالی گسل را در پی داشته است و در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در برگه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلمان قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه‌های دربردارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها بطور تقریباً همزمان انجام گرفته است.

- **گسل رشم - پیرمردان** : این گسل نیز راستائی تقریباً موازی با گسل اصلی طرود دارد و از غرب ورقه (مجاور روستای رشم- تا امامزاده پیرمردان و شرق آن گسترش یافته است. سازوکاری معکوس با شیب روړانده به شمال دارد.

ب- گسل‌های فرعی

- **گسل چالو**: این گسل دارای روند شرقی- غربی و با شیب ۷۰ درجه به سمت جنوب و سازو کار آن راستالغز چپ‌گرد می‌باشد که در منطقه سنگ سنگ آهک‌های کرتاسه و تراکی‌آندزیت‌های ائوسن را بریده است (کی‌نژاد، ۱۳۸۷).

- **گسل گندی**: گسل گندی دارای روند شمال شرقی- جنوب غربی با شیب ۵۰ تا ۷۰ درجه به سمت شمال است. سازوکار این گسل نیز راستالغز چپ‌گرد می‌باشد که سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری منطقه را قطع کرده است (کی‌نژاد، ۱۳۸۷).

- **گسل چشمه بیل‌بن**: این گسل با طولی در حدود ۸ کیلومتر از نوع راندگی است که در نتیجه فعالیت آن رسوبات سیلورین و پرمین بر روی سازند شمشک رانده شده‌اند. جهت این گسل شمالی - جنوبی بوده و شیب آن به سمت شرقی است.

- **گسل شمال و شمال باختری آب پشک**: این گسل از نوع معکوس است و شیب سطح گسل حدود ۶۰° به سوی شمال است، در سطح این گسل رسوبات دگرگونه ناحیه بر روی سنگ‌های ولکانیک

اؤسن رانده شده‌اند. در شمال باختری رشم نیز مجموعه کربنات دگرگونه بر روی توف‌های اؤسن رانده شده است.

-**گسل سیاه پشته :** این گسل که در مسیر کلوت به سپیدلتو مشاهده می‌شود، یک شکستگی اصلی قدیمی است که تعیین نوع و چگونگی عملکرد آن به خوبی مشخص نیست.

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

-**پهنه گسل دره حسن امروبه:** ظاهراً سازوکاری معکوس دارد، توده‌های نفوذی و سنگ آهک کرتاسه و سنگ‌های میلونیتی شده را در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده جعفر و امرو شیب ۸۰ درجه به جنوب نشان می‌دهد.

ج- سایر گسل‌ها

-گسل‌های فرعی دیگری رشته کوه در طرود - چاه شیرین پدید آمده اند که نهشته‌های کرتاسه و اؤسن را جابجا کرده و نشان دهنده آن است که منطقه در زمان انجام این حرکات زیر اثر نیروهای کششی قرار داشته است.

- بجز راستای N70-90E که همسو با گسل اصلی طرود است گسل‌های دیگری با راستای N40-50E و N40-50W بصورت دو سری شکستگی دیده می‌شوند که بصورت مزدوج عمل کرده‌اند. پس از آن پاره‌ای شکستگی‌ها امتداد کلی نزدیک به شمالی - جنوبی دارند که در آنها کانی زایی نیز انجام گرفته است.

۲-۲-۳- چین‌های موجود در منطقه

الف- ناودیس‌ها

- **ناودیس بیل‌بن:** بزرگ‌ترین ساختمان تکتونیکی در واحدهای سنگی دگرگونه پالئوزوئیک تا لیاس است که بخش وسیعی از نقشه را به خود اختصاص داده است. رودخانه بیل‌بن در مسیر محور آن

پدیدار شده است و سازند شمشک هسته آن را تشکیل می‌دهد. محور آن دارای روند شمالی - جنوبی است و در مجموع یک ساختمان متقارن است.

- **ناودیس کوچک دیان:** این ساختمان در شرق دیان واقع شده و در واحدهای سنگی ولکانیکی - رسوبی ائوسن ایجاد شده است.

- **ناودیس چاه نیو:** این ناودیس‌های کوچک در واحدهای سنگی ولکانیک و توفی ناحیه مذکور تشکیل شده و دارای روندی تقریباً شمالی - جنوبی است و میل دوسویه دارند.

- **ناودیس جنوب باختر ورقه:** این ساختمان از وسعت و گسترش زیاد برخوردار است و در مارن‌های میوسن پدید آمده است. تنها ناودیسی است که در هسته آن گنبد نمکی بزرگی نفوذ کرده است.

- **ناودیس انجیلو:** نهشته‌های سنگ آهکی پرمین در گوشه شمال باختری ورقه در اثر شدت فشردگی به صورت یک ناودیس مرتفع درآمده است.

- ساختمانهای ناودیسی ورقه دارای ویژگی، راستای کلی موازی با گسل اصلی طرود، اثر محوری خمیده است و از جمله این ساختمان‌ها می‌توان به ناودیس معلمان، ناودیس میان‌کوهی کاهوان و دیگر ناودیس‌های پدید آمده در جنوب ورقه یاد کرد.

ب- تاقدیس‌ها

- **تاقدیس معلمان:** تاقدیس معلمان به پیکر چین نامتقارن، اثر محوری خمیده و راستای کلی نزدیک به خاوری - باختری در طولی بیش از ۱۰ کیلومتر گسترش آن دیده می‌شود. در دماغه آن گسل‌های دکلمان و کوتاه شدگی از نوع Detachment رخ داده است.

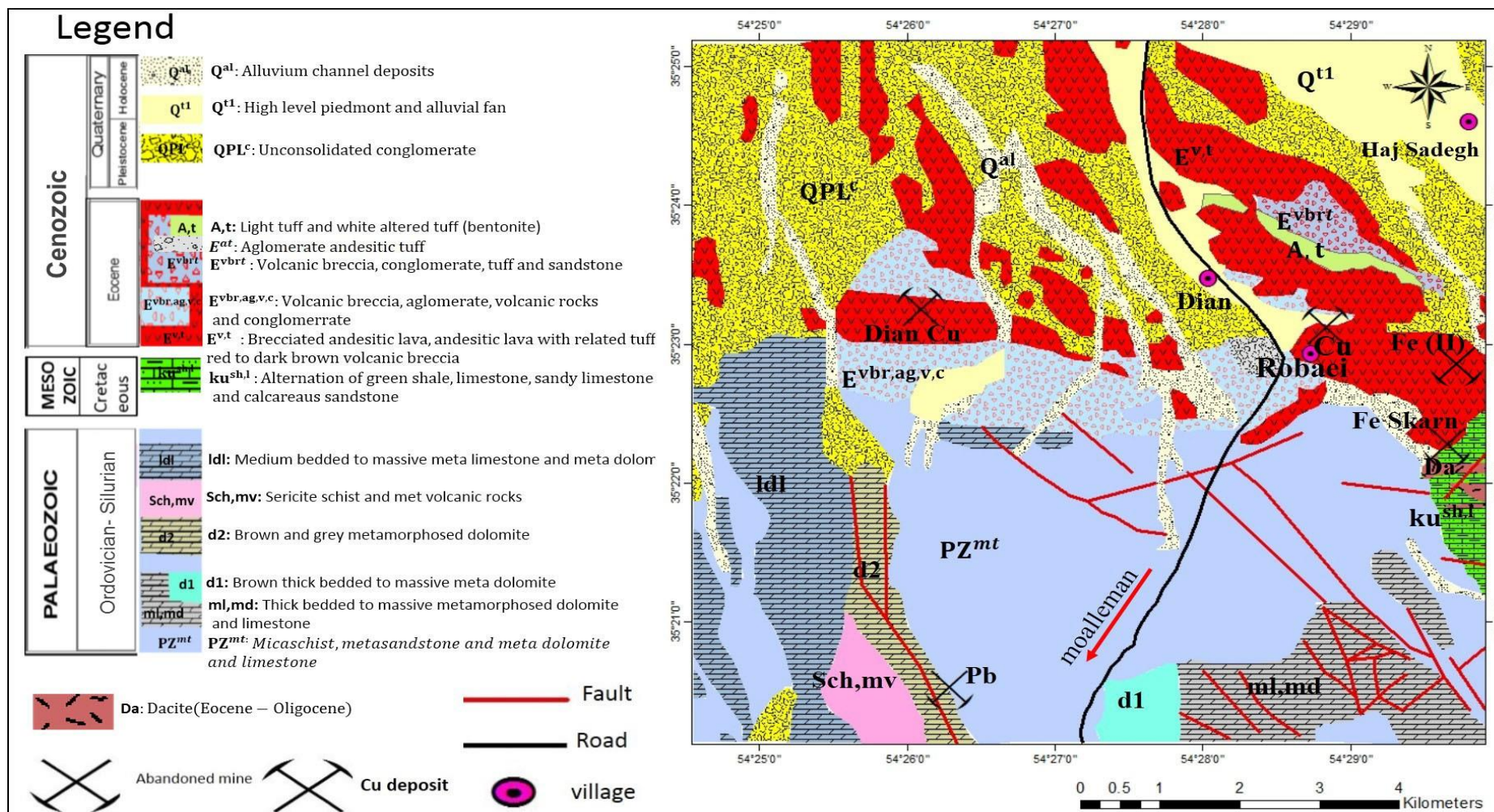
- **تاقدیس بیدستان:** تاقدیس بیدستان با طولی حدود ۱۰ کیلومتر و ویژگی‌های تاقدیس معلمان پدیدار گشته که با برگشتگی یال جنوبی در بخش خاوری آن همراه بوده است.

- در کوه کاهوان تاقدیس‌هایی پدید آمده اند که در مرکز آنها سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و دایک‌ها به گونه ناپیوسته دگرشیب با واحدهای میوسن - پلیوسن، رخنمون یافته است. راستای موازی با گسل طرود و اثر محوری خمیده در این تاقدیس‌ها نیز دیده می‌شود.

- در نیمه جنوبی ورقه در رسوبات مارن و ماسه‌سنگی میوسن چندین ساخت تاقدیسی بزرگ پدیدار شده که معمولاً در هسته این آنتی‌کلینال‌ها دیاپیریس‌های نمکی نفوذ کرده‌اند.
- در رشته طرود - چاه شیرین ساختمانهای چین خورده بدلیل ناهمگن بودن نهشته‌های ائوسن و همچنین نفوذ توده‌های کم ژرفا و دایک‌های فراوان، متحمل شکستگی‌های زیادی شده است، لذا امکان نمایش دادن محورهای چین‌ها وجود ندارد.
- در زیر پهنه رسوبی نئوژن (حوضه جندق) بدلیل خاصیت پلاستیکی بالای ژپس و نمک و نبود یک افق کلیدی تعیین سوی حرکت گسل‌ها و نوع آنها و ساختمانهای چین‌خورده بیانگر یک استرسی در راستای NNW-SSE است که با روند کوتاه شدگی چین‌های زیر پهنه یاد شده همخوانی دارد.
- به استناد دیاپیرهای جوان که در باختر منطقه (ورقه کلاته رشم) برونزد یافته‌اند و پاره‌ای نشانه‌های روی زمین حرکت‌های دیاپیر گونه‌ای در هسته تاقدیس‌ها، بویژه تاقدیس معلمان ایجاد شده، که از لایه‌های زیرین حوضه سرچشمه گرفته است و بدلیل وجود گچ و نمک، لایه‌های چین‌ها بر روی هم لغزیده‌اند، لذا تکتونیک پدید آمده از گونه Decollement یا رویه لغزشی است که در آنها پدیده Detachment انجام گرفته است. از این رو پاره‌ای گسل‌های راندگی یا معکوس در لایه‌های گچ و نمک از بین رفته و به طبقات زیرین آنها که همانا نهشته‌های آذرین - رسوبی، ائوسن - الیگوسن می‌باشد، نرسیده است.

۲-۴- چینه‌شناسی ناحیه‌ای بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته رشم

شرح چینه‌شناسی و لیتولوژی در مقیاس ناحیه‌ای بر مبنای نقشه زمین‌شناسی کلاته رشم از قدیم به جدید به اختصار شرح داده می‌شود:



شکل ۲-۳ بخشی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ کلاته- رشم و نمایش موقعیت کانسارهای مس دیان، مس رباعی و آهن رباعی (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.

واحد سنگ آهک دولومیتی (ml,md): این واحد لیتولوژی ارتفاعات خاور دره رشم را تشکیل می‌دهد و کوه‌های بابا احمد و انارو را می‌سازد. از چینه‌های ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی، دولومیت سنگ آهکی و دولومیت تشکیل شده است.

واحد (d1): از چینه‌های ضخیم تا توده‌ای سنگ آهک، سنگ آهک دولومیتی، دولومیت سنگ آهکی و دولومیت تشکیل شده است و نزدیک به ۳۵۰ متر ضخامت دارد. برخی از نقاط واحد یاد شده عمدتاً دولومیتی است.

واحد دولومیتی (d2): این واحد لیتولوژیکی در باختر دره رشم و بر روی شیست‌های این ناحیه، ضخامتی نزدیک به ۷۰ متر از دولومیت و سنگ آهک دولومیتی قهوه‌ای رنگ دارد که ارتفاعات کوه تنوره را تشکیل می‌دهد.

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 ماسه-سنگ 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 (ddl): 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.

۲-۴-۲- واحد کرتاسه

واحد شیل و سنگ آهک ($KU^{sh,l}$)

در سمت شرق ورقه، در دره رباعی، سنگ نهشته‌های کرتاسه فوقانی به ضخامت ۳۰۰ متر برونزد دارند، که گستره اندکی از آن در محدوده این ورقه جای گرفته است. تناوبی از لایه‌ها و بخش‌های شیل سبز رنگ، سنگ آهک نازک تا ضخیم لایه و سنگ آهک مارنی خاکستری متمایل به سبز با میان لایه‌های ماسه‌ای و ماسه‌سنگ سنگ آهکی و گاهی نیز لایه‌های میکروکنگلومرای است. دارای فسیل‌های فراوانی از شکم‌پایان، آمونیت‌ها، خارپوستان و مرجان‌ها نیز هستند، که سنی از سنومانین تا سنونین را نشان می‌دهد.

۲-۴-۳- واحدهای ائوسن

واحدهای سنگی ولکانیکی، آذرآواری و رسوبی ائوسن- الیگوسن در محدوده‌ی ورقه کلاته رشم از گسترش و تنوع زیادی برخوردارند؛ آن چنان که بخش عمده سطح نیمه شمالی ورقه را به خود اختصاص داده‌اند. این ردیف ولکانیکی - رسوبی ترشیر به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند.

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

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 معرف تشکیل طبقات

کنگلومرایی همزمان با فعالیت‌های ولکانیکی 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.

۴-۲- واحدهای ائوسن - الیگوسن

واحد Da: این واحد سنگ‌های نفوذی نیمه عمیق از نوع گرانودیوریت یا ساب‌ولکان‌های داسیتی هستند که در شرق دره رباعی رخنمون دارد. این سنگ‌ها به داخل سنگ آهک‌های کرتاسه نفوذ کرده و باعث کانی‌زائی‌های آهن شده است.

بنابر گزارش شعمانیان (۱۳۸۱)، در رشته کوه طرود- چاه‌شیرین، غالب سنگ‌های آذرین به سن پالئوژن هستند. بیشتر فعالیت‌های ماگمایی در دوره ائوسن میانی تا بالایی رخ داده است و به طور کلی فعالیت‌های ماگمایی منطقه طرود- چاه‌شیرین از قدیم به جدید شامل سه مرحله است:

مرحله اول: فعالیت‌های آتشفشانی شامل برونریزی‌های گدازه‌های ریوداسیتی، آندزیتی تا آندزیت بازالتی همراه با رسوب‌گذاری با مارن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و ماسه‌سنگ‌های توفیتی.

مرحله دوم: خروج گدازه‌ها و سنگ‌های آذرآواری که شامل توف، توف‌برشی و آگلومرایی هستند و اغلب ترکیبی آندزیتی، تراکی‌آندزیتی، تراکی‌آندزیتی تا بازالتی دارند.

مرحله سوم: تزریق توده‌های آذرین نیمه‌عمیق و کم عمق که البته گسترش چندانی ندارند ترکیب آن‌ها از گرانیت، گرانودیوریت، دیوریت تا گابرو تغییر می‌کند.

۵-۲- 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 درآمده‌اند و اغلب کوهپایه‌ها را تشکیل می‌دهند. از کنگلومرای دانه درشت و فاقد سیمان ساخته شده‌اند.

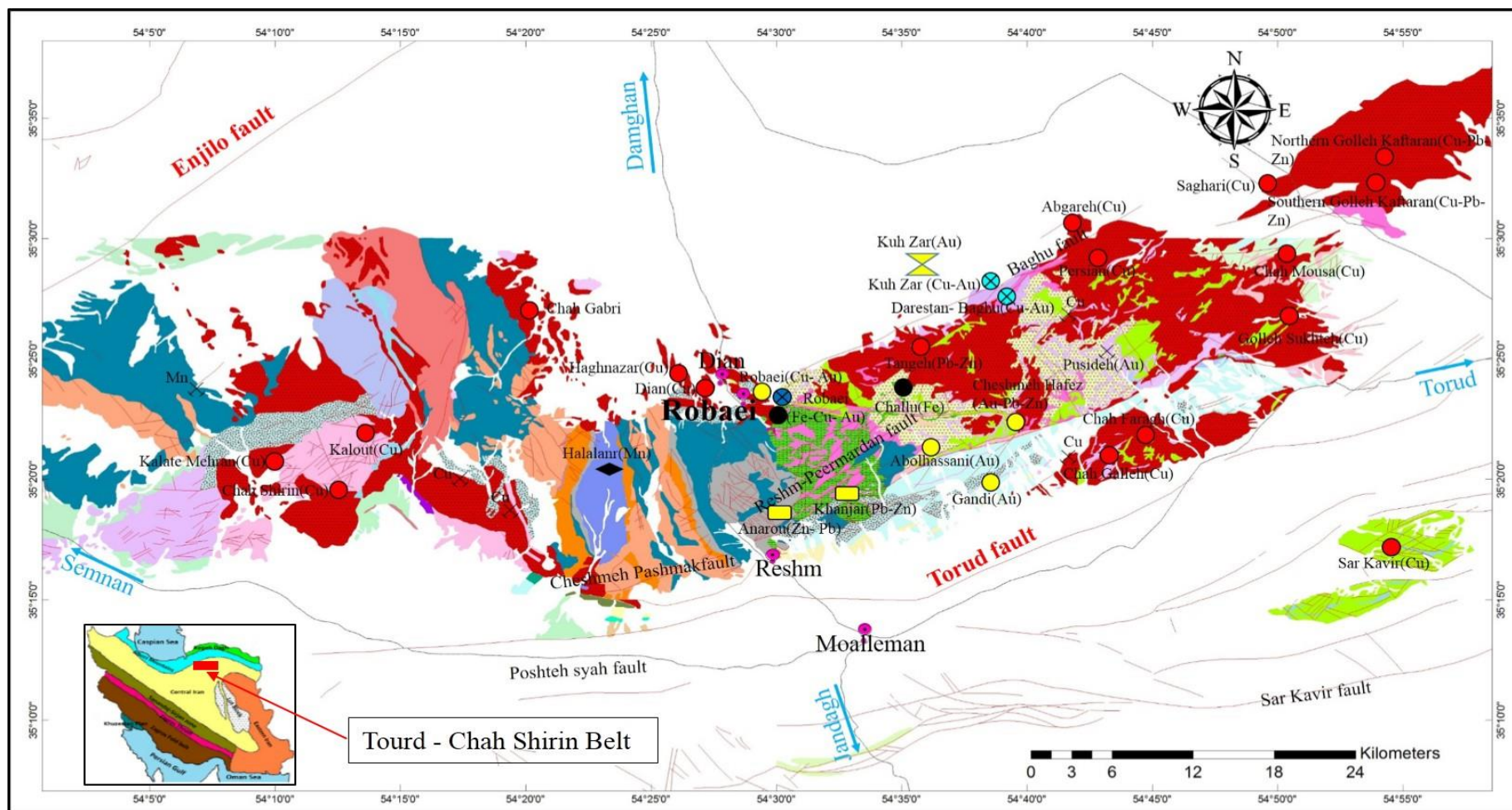
واحد Qal: جدیدترین رسوبات ناحیه هستند که نهشته‌های آبرفتی بستر دره‌ها را می‌سازند و از مجموعه شن و ماسه و قلوه‌سنگ بدون سیمان تشکیل شده‌اند.

۲-۶- کانی‌سازی در منطقه

کانی‌سازی‌های موجود در رشته طرود-چاه‌شیرین را بطور کلی می‌توان به دو دسته فلزی و غیر فلزی تقسیم‌بندی نمود که در زیر بصورت خلاصه در مورد هر یک از آنها شرح داده می‌شود.

۲-۶-۱- کانی‌سازی فلزی

از این گروه می‌توان به اندیس‌ها، معادن قدیمی و فعال مانند آهن، منگنز، مس، سرب، روی، طلا و... اشاره نمود. تیپ کانسارهایی که در رشته کوه طرود- چاه‌شیرین مربوط به این کانی‌سازی‌ها می‌شود شامل آهن و منگنز آتشفشان-رسوبی، آهن اسکارنی یا اکسید آهن، مس و طلا (IOCG)، مس هیدروترمالی رگه‌ای، طلای اپی‌ترمال سولفید متوسط، طلای پلاستی، سرب و روی تیپ MVT کانسارهای مرتبط با توده‌های نفوذی و غیره می‌باشند (شکل ۲-۴). تاکنون شواهدی از کانی‌سازی مس پورفیری در این رشته کوه دیده نشده است و شکل غالب کانسارهای فلزی از نوع رگه‌ای است (قربانی، ۱۳۸۱).



۲-۶-۱-۱-کانی سازی منگنز:

کانسار منگنز هلالان: کانسار منگنز هلالان در ۱۲۲ کیلومتری جنوب دامغان، ۱۶ کیلومتری غرب روستای رشم واقع شده است. کانه زائی منگنز در منطقه هلالان در یک افق اصلی، به شکل چینه سان و هم روند با لایه بندی رخ داده است که سنگ میزبان آن شیست ها و سنگ آهک و دولومیت های دگرگون شده به سن ژوراسیک زیرین می باشد. کانی های تشکیل دهنده ماده معدنی به طور عمده شامل پیرولولزیت، پسیلوملان، هولاندیت، براونیت و هماتیت می باشند. این کانسار بیشترین شباهت را با کانسارهای منگنز تیپ کوبا دارد (مصدق، ۱۳۹۴).

۲-۶-۱-۲-کانی سازی های سرب و روی

کانسار پلی متال سرب، روی، نقره خانجار: کانسار سرب- روی- نقره خانجار در ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان و ۱۲ کیلومتری شمال روستای حسینان - معلمان قرار دارد. عمده ترین کانی های تشکیل دهنده ی این کانسار شامل گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت می باشد. این کانسار بعنوان تیپ MVT معرفی شده است که سنگ میزبان آن سنگ آهک های کرتاسه است (راستاد و همکاران، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۹).

کانسار روی (سرب) انارو: کانسار روی و سرب انارو در ۱۵۰ کیلومتری جنوب شرق سمنان و ۱۰۵ کیلومتری جنوب دامغان واقع گردیده است که از نظر جغرافیایی در دامنه جنوبی طرود- چاه شیرین قرار می گیرد. سنگ میزبان این کانسار دولومیت و سنگ آهک به سن پالئوژئیک است. کانسار انارو از نوع چینه کران بوده و با اشکال رگه - رگچه ای قابل مشاهده است. کانی های تشکیل دهنده کانسار انارو صرفاً کربنات روی (اسمیت زونیت و هیدروزینکسیت) می باشد و به مقدار بسیار کمی کانی های سولفیدی سرب، روی و مس در داخل رگه های پرعیار مشاهده می شود. این کانسار از نوع کانسارهای دره می سی سی پی (MVT) بوده و کانی های اولیه از نوع سولفیدی بوده اند که تحت تأثیر فرآیند سوپرژن قرار گرفته و ظاهری غیر سولفیدی پیدا کرده است (شیری، ۱۳۹۲).

کانسار سرب تنگه کوه زر: کانسار سرب تنگه کوه زر در فاصله ۱۰۰ کیلومتری جنوب- جنوب شرق دامغان و در ۵ کیلومتری جنوب غرب روستای کوه زر و ۵۰۰ متری جنوب تنگه قرار دارد. سنگ‌های میزبان کانسار شامل آندزیت، تراکی آندزیت و آندزیت بازالت می‌باشد که از نظر سنی مربوط به ائوسن میانی تا میوپلیوسن است. این سنگ‌ها از نظر ترکیب شیمیایی از نوع کالک‌آلکان و از لحاظ تکتونوماگمایی مربوط به محیط فرورانش هستند. کانی‌های تشکیل دهنده این کانسار شامل گالن، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، طلا، گروه فهلور، کالکوسیت، کولیت، دیژنیت، سروزیت، ملاکیت، آزوریت، هماتیت، مگنتیت و هیدرواکسیدهای آهن می‌باشند. کانسار سرب تنگه کوه زر یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای (پی‌ترمال) است (اسحاقیان، ۱۳۹۵).

کانسار پلی‌متال مس، سرب و روی قله کفتران شمالی و جنوبی: این کانی‌سازی‌ها در ۲۰ کیلومتری شمال غرب طرود، ۴ کیلومتری شمال شرق کانسار چاه موسی واقع شده‌اند. سنگ میزبان آنها توده ساب‌ولکانیک (داسیت‌پورفیری)، آندزیت، آندزیت بازالت و سنگ‌های آذرآواری است. دگرسانی این کانی‌زائی‌ها شامل سیلیسی، کلریتی، کربناتی، پروپلیتیکی، آرژیلیکی و فیلیک است. کانه زایی در طول گسل اصلی منطقه با امتداد شمال شرقی- جنوب غربی و طول بیش از ۶۰۰ متر دیده می‌شود. کانی‌های تشکیل دهنده شامل اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، ملاکیت، سروزیت، آنگلزیت و اکسید و هیدرواکسیدها می‌باشد. این کانی‌زائی‌ها شباهت‌های بیشتری با کانسارهای اپی‌ترمال دارند (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷ و موسوی نقابی، ۱۳۸۸).

۲-۶-۱-۳- کانی‌سازی آهن

کانسار آهن رباعی: این کانسار در چند صد متری شرق کانسار مس رباعی قرار گرفته است که یک توده نفوذی نیمه عمیق در حد گرانودیوریتی به داخل سنگ آهک‌های کرتاسه نفوذ کرده و باعث اسکارن زایی آهن (مس و طلا) شده است (بادوزاده‌کانرش، ۱۳۹۰). اثرات این کانی‌زائی را دورتر از

توده در بخش ولکانیک‌های ائوسن نیز می‌توان مشاهده نمود. با توجه به مطالعاتی که اخیراً روی این کانی‌زائی‌ها انجام داده شد، جنس توده بیشتر حالت ساب‌ولکانیک داسیتی را نشان می‌دهد.

کانسار آهن چالو: کانسار آهن اسکارن چالو در جنوب دامغان واقع شده است. توده‌های سنگ آهکی همراه با سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و داسیتی سنگ میزبان کانی‌زایی در این کانسار می‌باشند. توده‌های نفوذی مرتبط با کانی‌زایی اسکارن آهن چالو از نوع دیوریت می‌باشند (تقی‌پور و همکاران، ۱۳۹۰).

۲-۶-۱-۴- کانی‌سازی مس

کانسار مس دیان: این کانسار در ۹۰ کیلومتری جنوب دامغان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت، تراکی - آندزیت، بازالت، تراکی - بازالت، تراکیت، توف و آگلومرا می‌باشد. مهم‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده کانسار شامل کالکوسیت، ملاکیت، کریزوکلا و مقدار کمی پیریت و کالکوپیریت می‌باشند که بصورت پراکنده، فضای خالی، محل شکستگی‌ها، برش‌ها و حفرات موجود در سنگ درونگیر را پر کرده‌اند (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳).

کانسار مس چاه موسی: این کانسار در شمال غرب طرود واقع شده است که سنگ میزبان آن شامل توده‌های نیمه عمیق تونالیتی تا گرانودیوریتی و سنگ‌های ولکانیکی و ساب‌ولکانیکی با ترکیب آندزیتی و تراکیتی تا داسیتی به سن ائوسن است. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی کانسار چاه موسی شامل ملاکیت، کالکوسیت، کوپریت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و گالن می‌باشد. این کانی‌سازی‌ها بصورت رگه- رگچه‌ای در محدوده‌ی کانسار مشاهده می‌شود (صادقی فلک دهی، ۱۳۸۲ و امام جمعه، ۱۳۸۷).

کانسار مس قله سوخته: کانی‌زایی افشان و رگچه‌ای مس در منطقه قله‌سوخته در دو رخنمون کوچک از یک توده میکروگرانولار کوارتز دیوریت به ابعاد ۰/۲ و ۰/۱۵ کیلومتر مربع مشاهده می‌شود. این کانی-زایی شامل رگچه‌های کوارتز-کالکوپیریت و کانی‌زایی افشان پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و

کالکوسیت است. دگرسانی‌های مشاهده شده در این توده‌ها کوارتز - سرسیت - پیریت (فیلیک) می- باشد (امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷).

کانسار مس چاه فراخ: کانسار چاه فراخ در ۲۱ کیلومتری شمال شرق روستای معلمان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت های ائوسن می‌باشد. کانه‌های اصلی این کانسار که شامل کانی‌های اولیه (هیپوژن) مانند پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و کانی‌های ثانویه (سوپرژن) هیدروکسیدهای آهن هماتیت، مالاکیت و آزوریت هستند که بصورت رگه‌ای تشکیل شده‌اند. مهمترین دگرسانی‌های مشاهده شده در منطقه شامل سریسیتی، سیلیسی، کلریتی و هماتیتی شدن است (یعقوب‌پور و همکاران، ۱۳۸۷).

کانسار مس کلاته مهران: این کانسار در ۱۰۰ کیلومتری جنوب شرق سمنان، در مختصات جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی واقع شده است. سنگ‌های دربرگیرنده کانسار شامل تراکیت و آندزیت پورفیری می‌باشد. کانه زایی مس در سطح به صورت مالاکیت و در عمق به صورت کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت است که به صورت رگه‌ای با روند شمالی-جنوبی و شمال شرقی- جنوب غربی شکل گرفته است (پورشعبان و همکاران، ۱۳۸۹).

کانسار مس کلوت: مختصات جغرافیایی این کانسار ۳۵ درجه ۲۱ دقیقه عرض شمالی و ۵۴ درجه ۱۴ دقیقه طول شرقی است. جنس سنگ درونگیر ماده معدنی آندزیت به سن ائوسن می‌باشد. شکل ماده معدنی در کانسار کلوت بصورت رگه‌ای می‌باشد که عمده‌ترین کانی‌های تشکیل دهنده‌ی آن کالکوسیت و مالاکیت است.

کانسار مس چاه‌گله: کانسار چاه‌گله در جنوب شرق دامغان واقع شده است که سنگ میزبان آن آندزیت و تراکی آندزیت می‌باشد. کانی‌های تشکیل دهنده‌ی این کانسار شامل پیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، مگنتیت و هماتیت است. شکل کانی‌سازی بصورت رگه‌ای با روند شرقی-

غربی است که میانگین عیار مس در بخش‌های کم عیار ۰/۲ درصد و در بخش‌های پر عیار ۱/۳ درصد می‌باشد (طالع‌ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹).

۲-۶-۱-۵-کانی‌سازی طلا

کانسارهای طلای گندی و ابوالحسنی: کانسار طلای اپی‌ترمال و پلی‌متال فلزات پایه گندی و ابوالحسنی در رشته کوه طرود-چاه‌شیرین، رشته کوه ماگمایی البرز در شمال ایران قرار گرفته است. سنگ‌های رخنمون یافته در منطقه شامل سیلت استون‌ها و ماسه سنگ‌های نازک لایه، لاپیلی توف و ولکانیک برش به سن ائوسن میانی می‌باشد. در این کانسارها سولفیدهای فلزات پایه (گالن، اسفالریت و کالکوپریت) به همراه پیریت، نقره و طلا همراه با باطله‌های کوارتز، کلسیت، باریت در زون‌های برشی حاصل از عملکرد گسل‌ها تشکیل شده‌اند (Shamanian et al, 2004).

کانسار پلی‌متال طلا، سرب و روی چشمه حافظ: کانسار پلی‌متال چشمه حافظ در بخشی از رشته کوه آتشفشانی ترود-چاه‌شیرین در جنوب شرق دامغان واقع شده است. سنگ میزبان این کانسار عمداً آندزیت، تراکی‌آندزیت، داسیت و ریوداسیت‌های ترشیری می‌باشد. کانه زایی فلزات پایه، طلا و نقره در رگه‌های چشمه حافظ شامل؛ مرحله اول، کوارتز و کربنات با مقدار کمتری پیریت و کالکوپریت. مرحله دوم، مرحله اصلی ته نشست سولفیدها است که شامل گالن خودشکل، سپس با گالن، اسفالریت و کالکوپریت همراه شده است. در پایان گالن، پیریت، کالکوپریت، تتراهدريت، بورنیت و دیژنیت تشکیل شده‌اند. بیشترین روند کانی‌زایی‌ها شمال شرقی و جنوب غربی تقریباً هم‌روند با گسل‌های اصلی طرود و انجیلو است. این کانسار بیشترین شباهت را با اپی‌ترمال‌های سولفید متوسط دارد. (Mehrabi et al, 2012).

کانسار طلا-فیروزه باغو-کوه‌زر: رخنمون‌های سنگی منطقه باغو شامل مجموعه سنگ‌های آتشفشانی-آذرآواری با سن ائوسن میانی می‌باشد. این مجموعه مورد نفوذ توده‌های پلوتونیک با ترکیب غالب گرانودیوریتی-دیوریتی قرار گرفته است. زون‌های دگرسانی منطقه شامل دگرسانی سریسیتی،

در ناحیه خاور رباعی رگه‌های فلدسپاتی در واحد سنگی با ترکیب داسیتی دیده می‌شود. رنگ عمومی آن‌ها سفید است ولی در سطوح شکسته و سطوح درزه‌ها آثاری از ترکیبات آهن‌دار مشاهده می‌شود.

۲-۶-۲-۳- سیلیس

در نقاطی که سنگ‌های شیستی پالئوزوئیک گسترش دارد، رگه‌های سیلیسی در آن دیده می‌شود. شیست‌های مذکور عمدتاً در دره‌ی رشم و نواحی چاه‌شیرین از گسترش بیشتری برخوردار هستند. در اثر دگرگونی این سنگ‌ها، سیلیس به صورت متحرک در آن آزاد شده است و بعضاً رگه‌های قابل توجهی را به وجود آورده است. در برخی نقاط نیز از کیفیتی خوب برخوردار است.

۲-۶-۲-۴- نمک و گچ

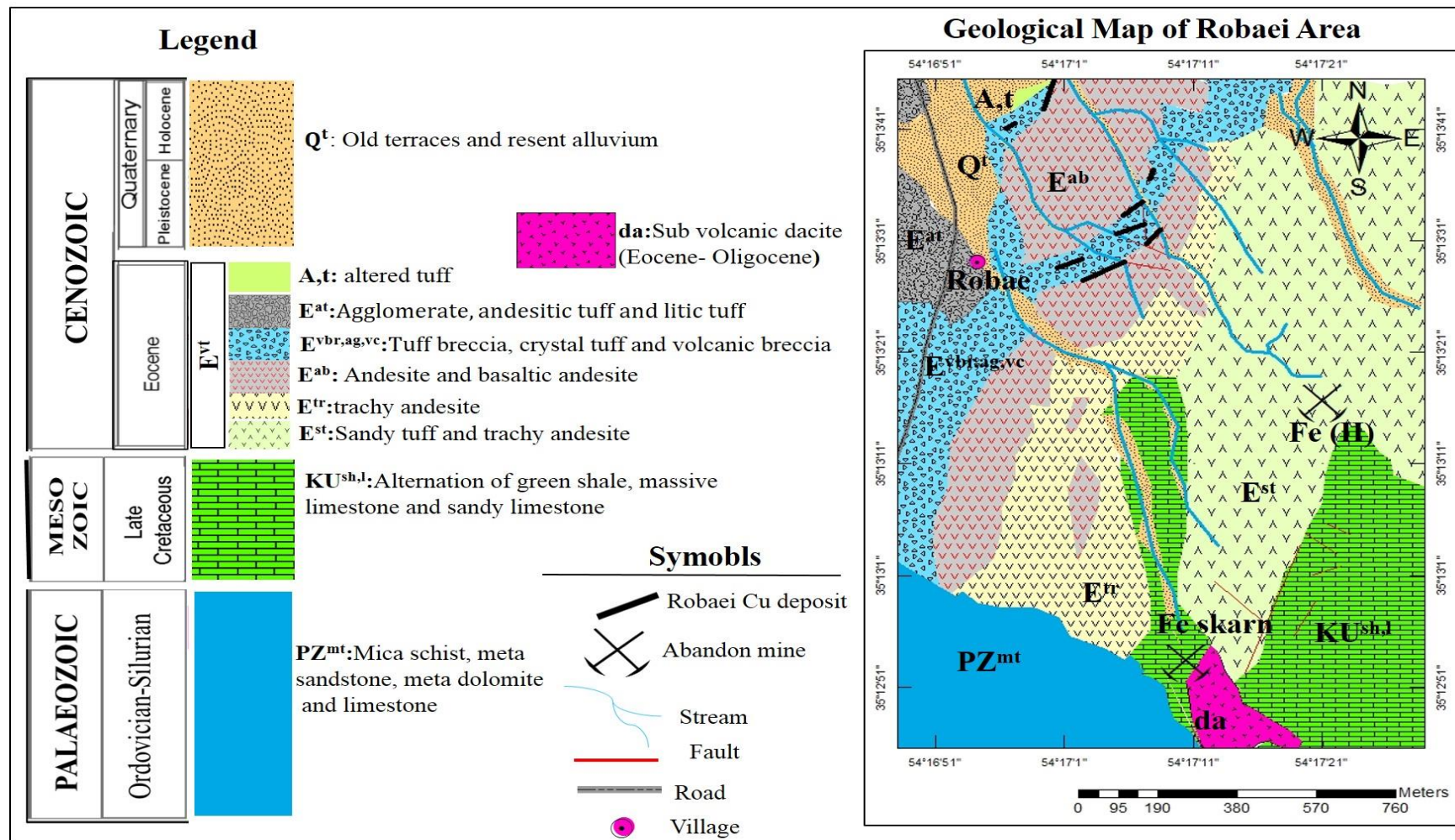
در نیمه جنوبی ورقه کلاته- رشم چندین گنبد نمکی رخنمون یافته‌اند. چنانچه نتایج آنالیز بر روی آن‌ها مثبت باشد ذخایر زیادی از نمک را تشکیل می‌دهند. به طور معمول در روی گنبدهای نمکی ضخامتی از لایه‌های گچی دیده می‌شود که احتمال اقتصادی بودن آن‌ها وجود دارد (جعفریان، ۱۳۸۰).

فصل سوم

زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

محدوده معدنی

هدف از بررسی زمین‌شناسی یک محدوده معدنی، مطالعه واحدهای سنگی، روابط آن‌ها، زمین‌ساخت و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانه‌زایی می‌باشد. بررسی این پدیده‌ها و ویژگی‌ها، کمک بسیار زیادی به شناخت موقعیت زمانی و مکانی کانه‌زایی و پی‌جویی آن در دیگر نقاط مشابه خواهد کرد. همچنین به منظور شناخت دقیق این واحدهای سنگی و تشخیص منشاء و نحوه تحول ماگما، مطالعات پتروگرافی جهت بررسی، ساخت و بافت و ترکیب کانیایی سنگ‌ها صورت گرفته است. از آنجا که توالی آتشفشان- رسوبی ائوسن در منطقه میزبان کانی‌زائی مس می‌باشد، لذا سعی گردید تا با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی طرود ۱/۲۵۰۰۰۰، کلاته رشم ۱/۱۰۰۰۰۰، تصاویر ماهواره- ای Google Earth و عملیات صحرایی صورت گرفته در محدوده معدنی، ستون چینه‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی و ساختاری از محدوده مورد مطالعه تهیه شود. بنابراین با توجه به ستون چینه‌شناسی و نقشه زمین‌شناسی تهیه شده از محدوده رباعی (شکل ۳-۱) هریک از واحدهای سنگی به ترتیب سن در زیر توضیح داده می‌شود.



شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی مربوط به محدوده رباعی و موقعیت قرارگیری کانسارهای مس رباعی، اسکارن آهن و آهن II رباعی بر روی آن.

۳-۲- واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در محدوده رباعی

۳-۲-۱- اردوسین-سیلورین

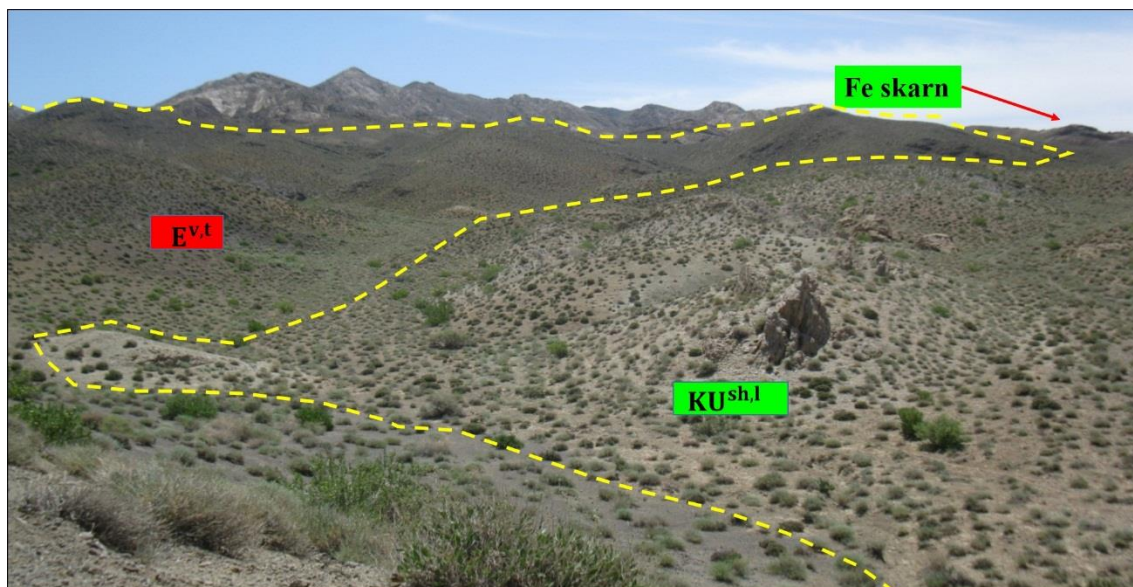
واحد (PZ^{mt})

این واحد از مجموعه شیست، سنگ آهک و دولومیت، ماسه سنگ، توف و سنگ‌های ولکانیک تشکیل شده که همگی دگرگون شده‌اند. بخش شیستی آن که از حجم و اهمیت بیشتری برخوردار است، به طور عمده از میکا شیست به رنگ نقره‌ای تا خاکستری با میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ دگرشکل، سنگ آهک ماسه‌ای، سنگ آهک دولومیتی و دولومیت قهوه‌ای رنگ است. از نشانه‌های شاخص این شیست‌ها وجود بخش‌های سفید سیلیسی است که به طور معمول در خط‌الراس تپه‌ها نمایان‌تر است. سیلیس مذکور نتیجه متامورفیسم است و در برخی نقاط دارای ارزش اقتصادی نیز است.

۳-۲-۲- کرتاسه

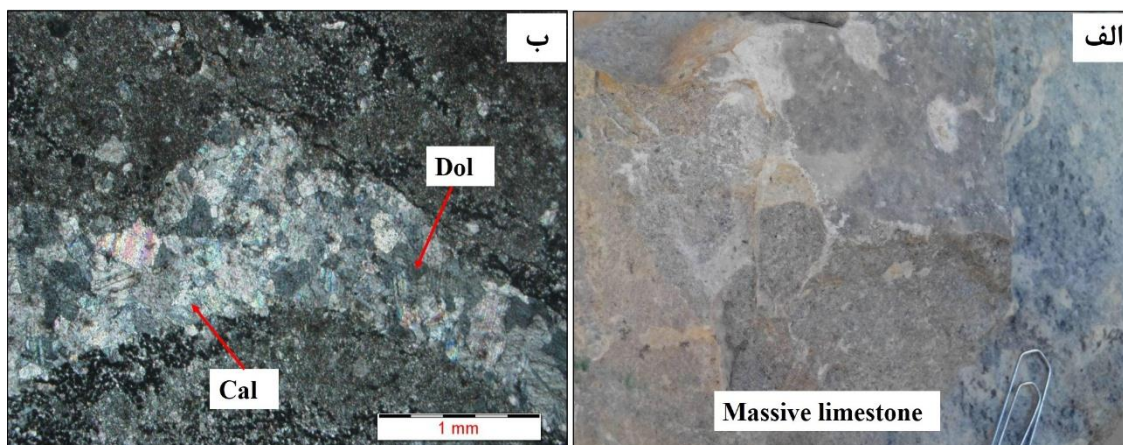
واحد ($KU^{sh,l}$)

در سمت شرق ورقه، در دره رباعی، سنگ نهشته‌های کرتاسه فوقانی به ضخامت ۳۰۰ متر برونزد دارند که تناوبی از سنگ آهک‌های توده‌ای، سنگ آهک‌های فسیل‌دار، سنگ آهک ماسه‌ای و میکروکنگلومرا تشکیل شده است (شکل ۳-۲). در مسیر دره رباعی هشده این سنگ نهشته‌های کرتاسه فوقانی تحت تأثیر ساب‌ولکان‌های داسیتی قرار گرفته که نتیجه‌ای کانی‌سازی‌هایی از آهن، مس و طلا بوده گرفته است.



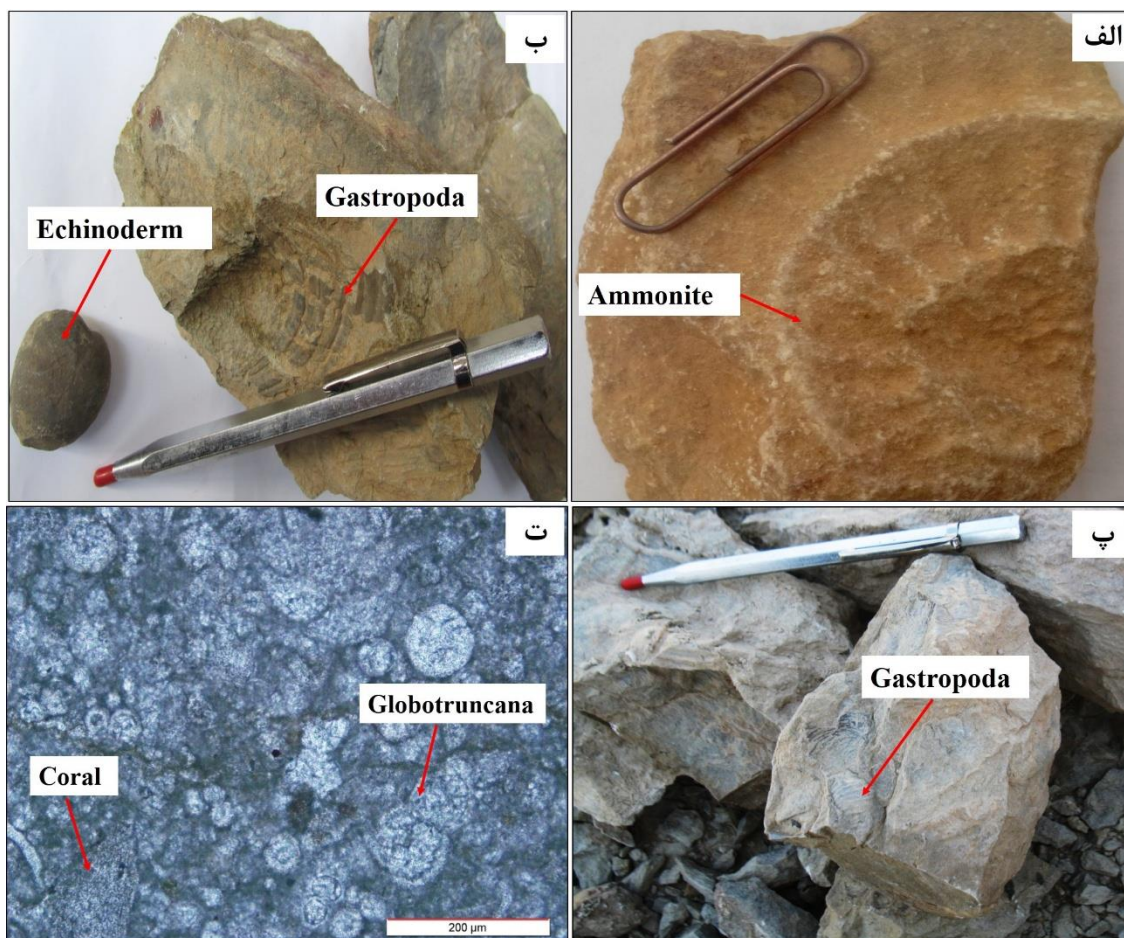
شکل ۳-۲- نمایی از مرز سنگ آهک‌های کرتاسه ($KU^{sh,l}$) با ولکانیک‌های اتوسن (E^{vt}) و موقعیت کانسار اسکارن آهن رباعی (دید به سمت شرق).

سنگ آهک توده‌ای: سنگ آهک‌های توده‌ای به علت مقاومت زیاد در برابر فرسایش بیشترین برجستگی را در منطقه مورد مطالعه دارند و در مشاهدات صحرایی به رنگ روشن دیده می‌شود. این سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی بافت اسپارایتی و حالت تبلور مجدد دارند (شکل ۳-۳)



شکل ۳-۳- الف - تصویر نمونه دستی سنگ آهک توده‌ای ب- تصویر میکروسکوپی از سنگ آهک‌های توده‌ای با تبلور مجدد و دولومیتی شدن (کلسیت: Cal، دولومیت: Dol).

سنگ آهک‌های فسیل‌دار: این سنگ‌ها نیز جزو واحد کرتاسه هستند. تناوبی از لایه‌ها و بخش‌های شیل سبز رنگ که دارای فسیل‌های فراوانی از گاستروپودها، خارپوستان، آمونیت‌ها، مرجان‌ها، گلوبتروئکانا و غیره هستند، که سنی از سنومانین تا سنونین را نشان می‌دهند (شکل ۳-۴).

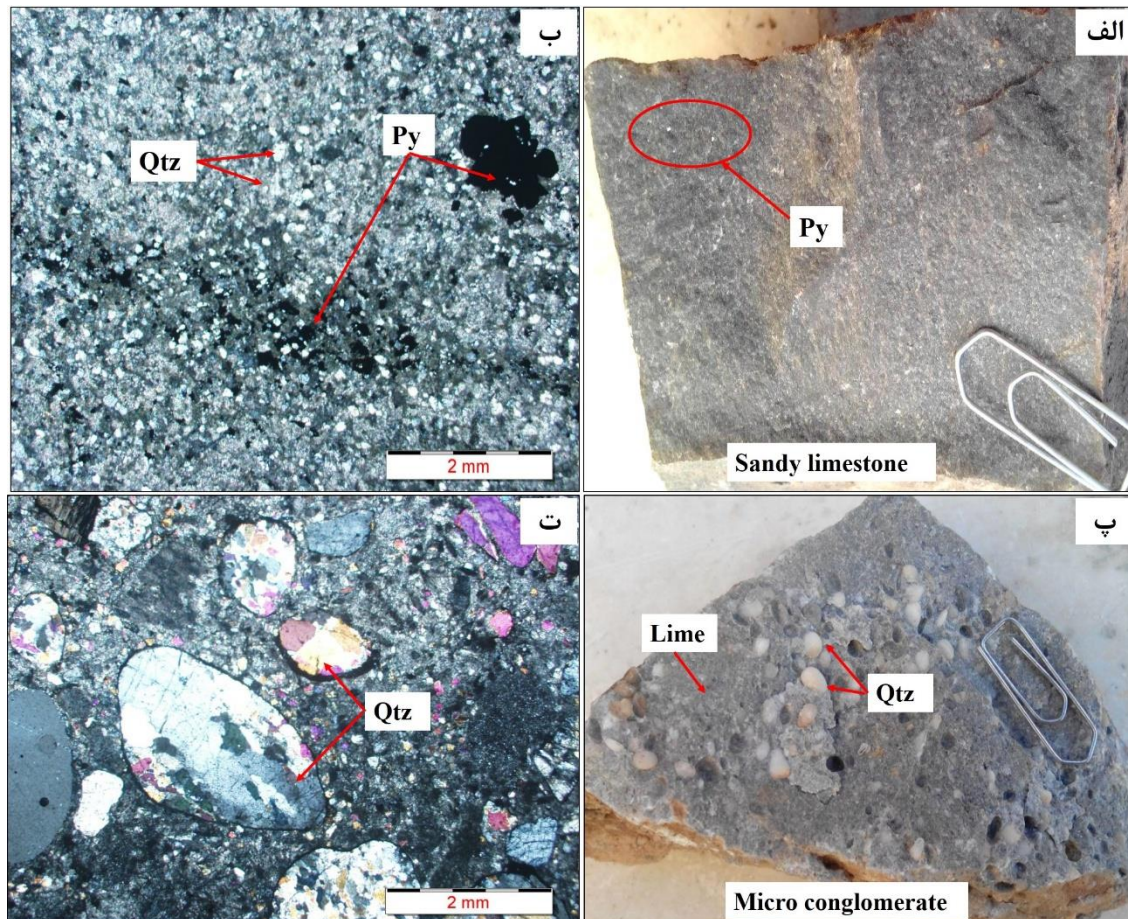


شکل ۳-۴- تصاویر نمونه دستی و میکروسکوپی از ماکروفسیل‌ها و میکروفسیل‌های واحد سنگ آهک فسیل‌دار کرتاسه در منطقه مورد مطالعه: الف- تصویر فسیل آمونیت ب، پ- تصاویر نمونه‌ای از فسیل‌های گاستروپود (شکم‌پایان) و خارپوستان منطقه ت- عکس میکروسکوپی از فسیل‌های گلوبوترونکانا و مرجان‌ها.

سنگ آهک ماسه‌ای: سنگ آهک ماسه‌ای بصورت میان لایه‌هایی در واحد ($KU^{sh,1}$) مشاهده می‌شود که در نمونه دستی به رنگ سیاه متمایل به سبز دیده می‌شود. این سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی حاوی بلورهای کوارتز هستند که به حالت پراکنده در خمیره سنگ آهکی قرار دارند. همچنین این سنگ‌ها در بعضی قسمت‌ها حاوی پیریت‌های خودشکل هستند که بصورت رگه-رگچه‌ای، توده‌ای و دانه پراکنده در نمونه دستی و مقاطع صیقلی دیده می‌شوند (شکل ۳-۶، الف و ب).

میکروکنگلومرا (زمینه سنگ آهکی): میکروکنگلومراها یکی دیگر از سنگ‌های تشکیل دهنده واحد سنگ آهکی کرتاسه هستند که دانه‌های درشت کوارتز در زمینه سنگ آهکی قرار دارد. دانه‌های

کوارتز در این نوع سنگ‌ها درشت‌تر از ماسه هستند و در نمونه دستی به راحتی از سنگ جدا می‌شوند و سنگ به حالت حفرات توخالی دیده می‌شود (شکل ۳-۵، پ و ت).



شکل ۳-۵- الف- نمونه دستی سنگ آهک ماسه‌ای حاوی پیریت‌های خودشکل و دانه پراکنده ب- تصویر مقطع میکروسکوپی از نمونه سنگ آهک ماسه‌ای دارای بلورهای کوارتز دانه ریز و کانی پیریت با بافت دانه پراکنده، رگچه- ای و توده‌ای پ و ت- تصاویر نمونه دستی و مقطع نازک میکروسکوپی از میکروکنگلومرا حاوی دانه‌های درشت کوارتز در سیمان کربناتی (سنگ آهک: Lim، کوارتز: Qtz و پیریت: Py).

واحد ولکانیکی ائوسن ($E^{v,t}$)

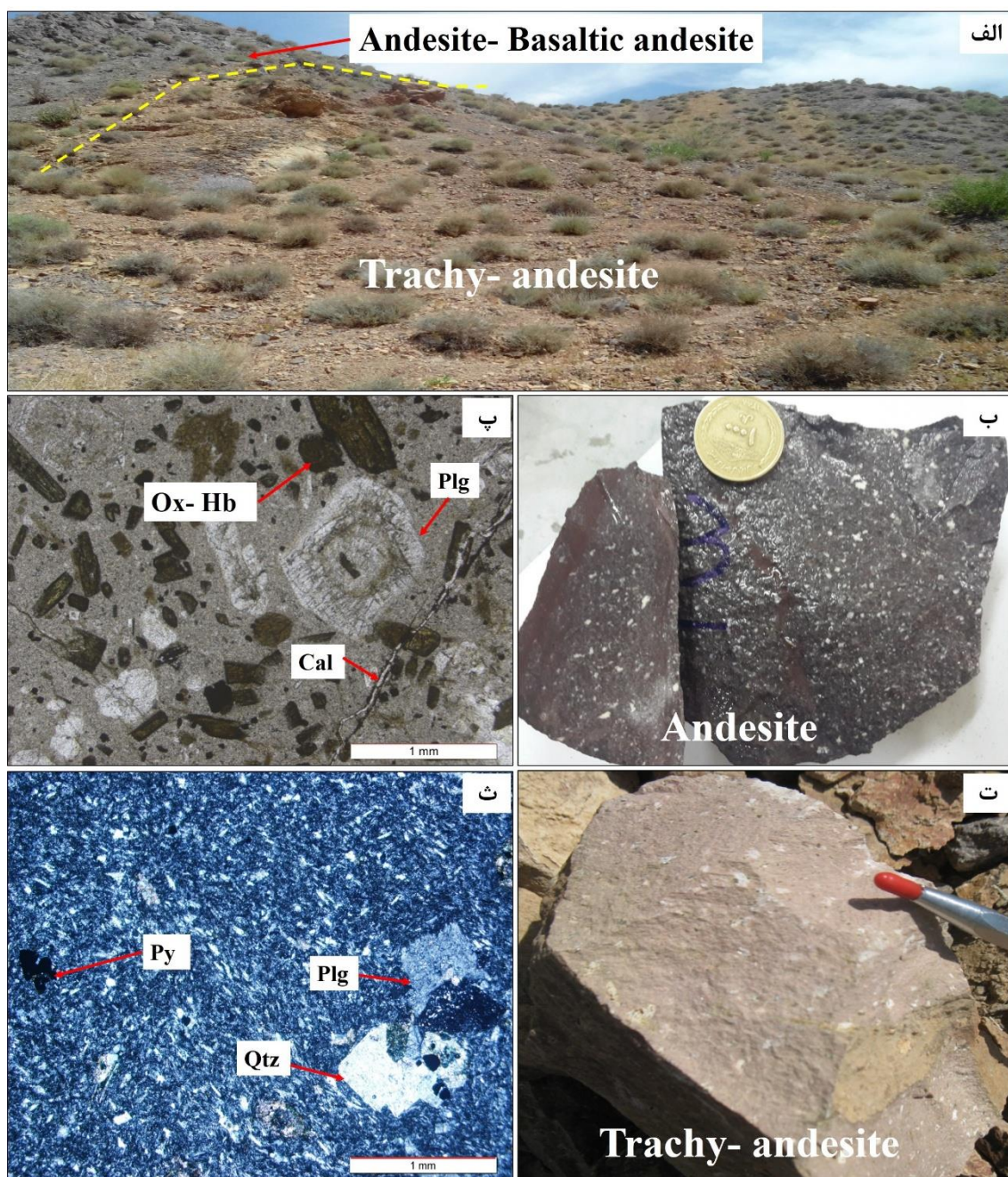
در میان واحدهای ولکانیکی و توفی ائوسن، این واحد بیشترین گسترش و ضخامت بیش از ۱۵۰۰ متر را دارد. براساس مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی انجام گرفته، سنگ‌های تشکیل دهنده‌ی واحد $E^{v,t}$ را در منطقه رباعی می توان به دو دسته زیر تقسیم بندی نمود:

الف) سنگ‌های ولکانیکی (E^{ab} , E^{tr})

آندزیت (E^{ab}): آندزیت‌ها در مشاهدات صحرایی به صورت مورفولوژی برجسته و تیره رنگ و متناوب با واحدهای آذرآواری (معمولاً رنگ زرد و روشن) دیده می‌شوند، در سطح تازه به رنگ خاکستری تیره و گاهی متمایل به رنگ قهوه‌ای تا قرمز (به علت آغشتگی با اکسید آهن) مشاهده می‌شود (شکل ۳-۶، الف و ب). به نظر Gill (1981)، ماگمای آندزیتی در فشارهای نزدیک به سطح زمین از بلورهای پلاژیوکلاز و پیروکسن غنی است و احتمالاً دارای ۲ درصد آب می‌باشد و دمای تشکیل آن در مخزن ماگمایی بین ۱۰۰۰ تا ۱۱۰۰ درجه سانتی‌گراد است. آندزیت‌ها در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت پورفیری هستند، که نشان دهنده سرد شدن ماگما در دو مرحله می‌باشد (شکل ۳-۶، پ). پلاژیوکلازها به صورت فنوکریست‌های شکل‌دار و با ماکل پلی سنتتیک مشاهده می‌شود، که گاهی سالم و در برخی موارد به کانی‌های رسی، کلسیت، کلریت و سرسیت دگرسان شده‌اند. در فنوکریست‌های پلاژیوکلاز حالت منطقه‌بندی دیده می‌شود، که نمایانگر کندتر بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت رشد بلورها است (Shally, 1993)، و کانی‌های تیره آن‌ها شامل هورنبلند، بیوتیت و کانی‌های تیره می‌باشد. کانی‌های فرومنیزین آبدار نظیر آمفیبول و بیوتیت دارای حاشیه سوخته هستند یا به عبارتی آپاسیتی و به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. آپاسیته شدن ناشی از کاهش فشار H_2O در حین صعود ماگما و افزایش دما در طی اختلاط ماگمایی می‌باشد (Kawabata et al., 2005). در برخی موارد در

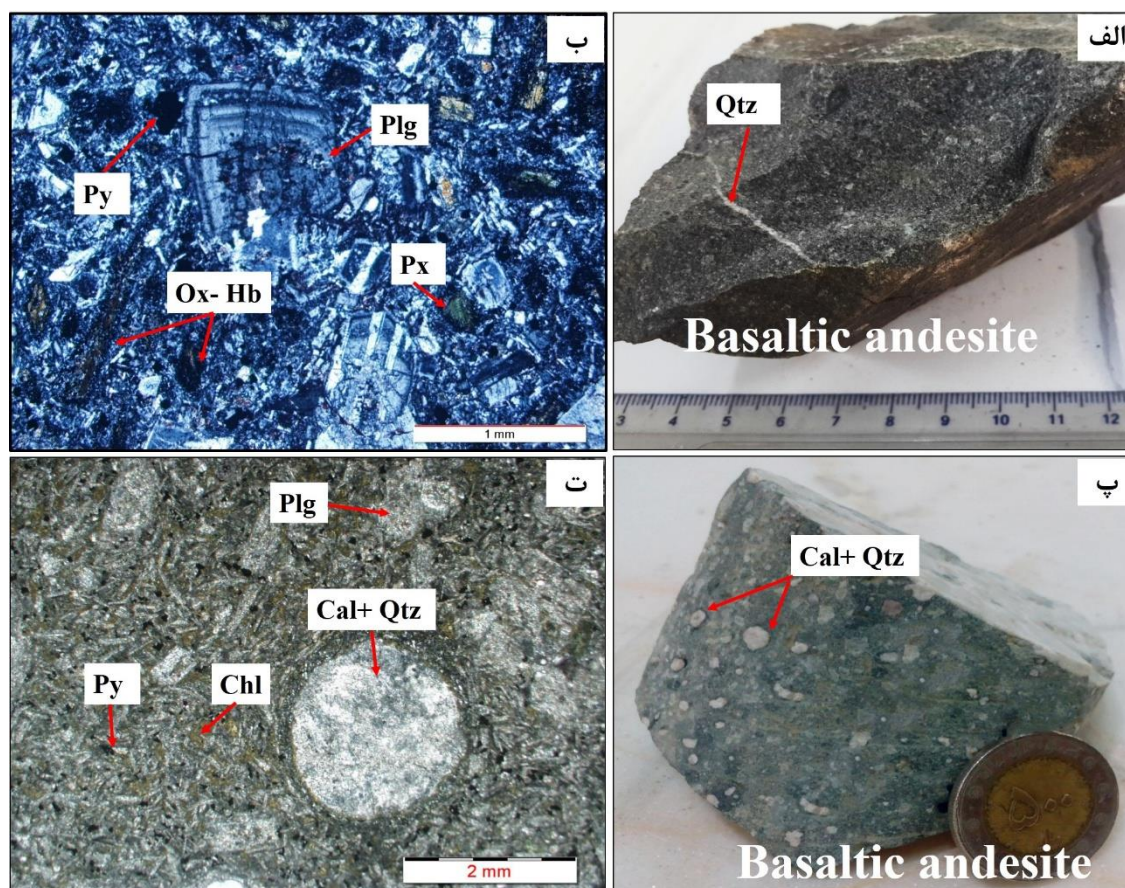
پلاژیوکلازهای منطقه‌بندی شده ادخال‌های اکسی‌هورنبلند نیز مشاهده می‌شود. کانی‌های ثانویه نیز نظیر؛ کلسیت، کوارتز هستند که درز و شکاف‌ها و حفرات موجود در آندزیت را پر کرده‌اند.

تراکی‌آندزیت (E^w): در اغلب رخنمون‌ها، گدازه‌های تراکی‌آندزیتی، آندزیت بازالتی و آندزیتی با هم دیده می‌شوند اما رنگ گدازه‌های تراکی‌آندزیتی روشن‌تر از آندزی-بازالت‌ها و آندزیت‌ها می‌باشد و به رنگ کرم تا قهوه‌ای روشن رخنمون دارند. طوری که بلورهای درشت پلاژیوکلاز، کوارتزهای خلیج-خورده و مقدار خیلی کمی پیروکسن در خمیره‌ی ریز بلور از همین کانی‌ها قابل تشخیص است (شکل ۳-۷، ت و ث). تراکی‌آندزیت‌ها در مقاطع نازک، بافت پورفیری و میکرولیتی جریان‌ی دارند. کانی تیره در این نمونه‌ها بیشتر پیریت است که معمولاً به حالت دانه پراکنده و بعضاً به شکل تجمعی مشاهده می‌شود.



شکل ۳-۶- الف- تصویر صحرایی از مرز واحد آندزیت و آندزیت بازالت با تراکی آندزیت در منطقه مورد مطالعه دارای رنگ خاکستری و کرمی متمایل به قرمز ب- عکس نمونه دستی آندزیت به رنگ خاکستری متمایل به قرمز پ- تصویر میکروسکوپی از نمونه آندزیت حاوی کانی‌های اکسی‌هورنبلند (Ox- Hb)، پلاژیوکلازهای (Plg) منطقه‌بندی شده و رگچه‌های ثانویه‌ای کلسیت (Cal) در نور XPL ت- عکس نمونه دستی از تراکی آندزیت با رنگ کرمی متمایل به زرد ث- تصویر میکروسکوپی نمونه تراکی-آندزیت دارای فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کوارتز (Qtz) در زمینه میکرولیتی-جریانی (مطالعه با نور PPL).

آندزیت- بازالت (E^{ab}): در واحد ($E^{v,t}$) نمونه‌هایی مشاهده شده که ترکیب آندزیت بازالت دارند و در نمونه دستی به رنگ خاکستری تیره و خاکستری متمایل به سبز دیده می‌شوند. بافت‌های تشکیل دهنده این سنگ‌ها پورفیری، گلومروپورفیری، میکرولیتی- جریانی و بافت آمیگدال (بادامکی) می‌باشد. بافت آمیگدال در نمونه‌های عمقی مشاهده می‌شود که حفرات سنگ را بیشتر کانی‌های کوارتز و کلسیت پر کرده است. فنوکریست‌ها شامل پلاژیوکلازها با بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار در زمینه میکرولیتی هستند. بعضی از بلورهای پلاژیوکلاز حالت منطقه‌بندی و غربالی دارند و به کربنات، سرسیت و کلریت دگرسانی نشان می‌دهند (شکل ۳-۷).

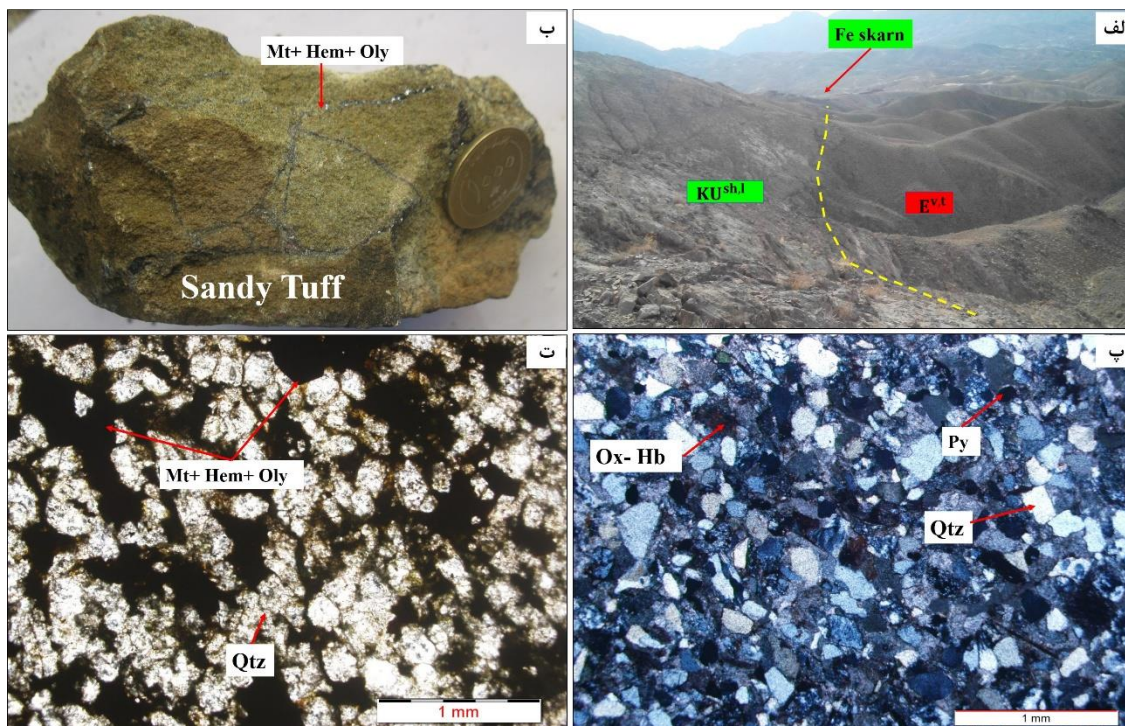


شکل ۳-۷- الف- تصویر نمونه دستی آندزیت بازالت با رنگ خاکستری تیره ب- عکس مقطع نازک میکروسکوپی آندزیت بازالت همراه با کانی‌های پلاژیوکلاز، پیریت و کانی‌های مافیک پیروکسن و آمفیبول (اکسی‌هورنبلند) در نور عبوری (XPL) پ- نمونه آندزیت بازالت با بافت آمیگدال از عمق ۲۰ متری مغزه‌های حفاری ت- تصویر میکروسکوپی نمونه آندزیت بازالت دگرسان شده در نور (PPL) که دارای کانی‌های کلریت، پیریت دانه پراکنده، پلاژیوکلازهای سرسیتی شده و حفرات پر شده با کانی‌های کوارتز و کلسیت (پلاژیوکلاز: Plg، اکسی‌هورنبلند: Ox-Hb، کلریت: Chl، کوارتز: Qtz، کلسیت: Cal و پیریت: Py).

ب) سنگ‌های ولکانیکی - پیروکلاستیکی (E^{st} , $E^{vbr,ag,vc}$, E^{at})

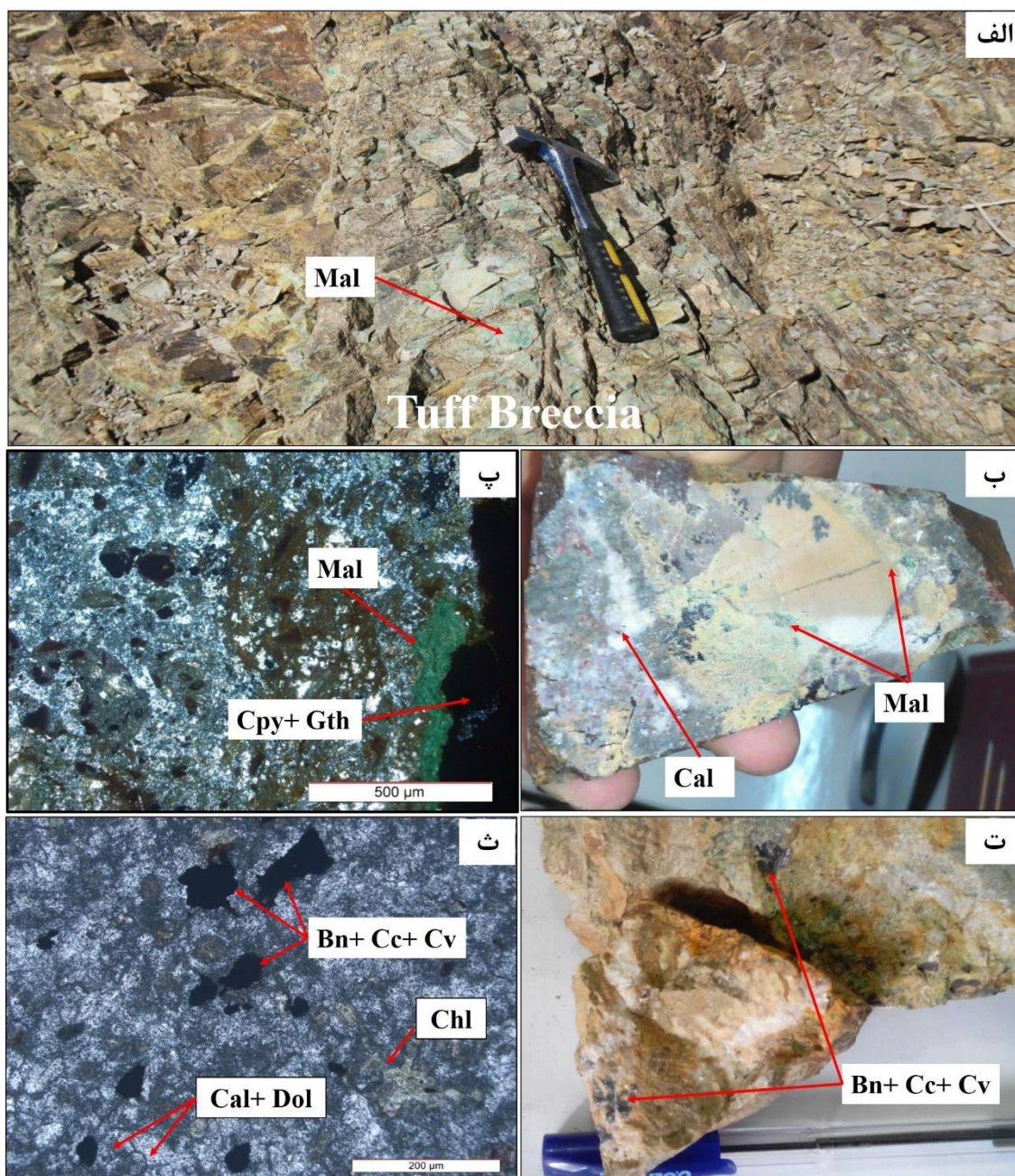
سنگ‌های آذرآواری براساس اندازه ذرات (خاکستر، لاپیلی، بمب یا بلوک)، به پنج گروه؛ توف، لاپیلی توف، لاپیلی، لاپیلی توف برشی و آگلومرا دسته‌بندی شده است. توف‌ها سنگ‌های ولکانوکلاستیکی هستند، که از خاکستر و قطعات آتشفشانی تشکیل شده‌اند (Tuker, 2009). توف‌ها براساس اجزاء شیشه، بلور و خرده‌های سنگی به سه دسته؛ توف شیشه‌ای، کریستال توف و لیتیک توف تقسیم‌بندی می‌شوند. (Pettijohn, 1975). توف‌ها، سنگ‌های آذرین خروجی با بافت آواری می‌باشند که از خاکسترهای آتشفشانی با ترکیبی از تکه‌های بزرگ و کوچک قطعات سنگی دیگر (آندزیت، داسیت و ..) تشکیل شده‌اند (Damerson, 1990). واحدهای آذرآواری منطقه مورد مطالعه شامل توف ماسه‌ای، توف برش، کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا هستند.

توف ماسه‌ای (E^{st}): توف‌های ماسه‌ای نیز یکی دیگر از سنگ‌های آذرآواری تشکیل دهنده واحد ($E^{v,t}$) در منطقه رباعی می‌باشد که در مشاهدات صحرایی و نمونه دستی به رنگ سبز متمایل به زرد است. این سنگ‌ها میزبان اصلی کانی‌زایی آهن، مس و طلا در منطقه هستند و در بررسی‌های میکروسکوپی بلورهای خودشکل و نیمه‌شکل‌دار کوارتز به صورت دانه پراکنده همراه با کانی‌های تیره (هماتیت، الیژنیت، مگنتیت، پیریت و غیره) مشاهده می‌شود. کانی مافیک موجود در این سنگ‌ها هورنبلند است که به مقدار کمی در بعضی مقاطع قابل مشاهده است و بیشتر به کانی‌های ثانویه کلریت و اکسید آهن دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸- الف- نمایی از مرز سنگ آهک‌های کرتاسه ($KU^{sh,l}$) با توف‌های ماسه‌ای و ولکانیک‌های ائوسن ($E^{v,t}$) ب- عکس نمونه دستی توف ماسه‌ای دارای رگچه‌های کانی‌های هماتیت، الیژیست و مگنتیت پ تصویر میکروسکوپی نمونه توف ماسه‌ای حاوی کانی‌های کوارتز، پیریت (Py) و مقداری کمی اکسی‌هورنبلند در نور (XPL) ت- عکس میکروسکوپی توف ماسه‌ای میزبان کانی‌زایی آهن شامل مگنتیت (Mt)، هماتیت (Hem) و الیژیست (Oly) در نور (PPL).

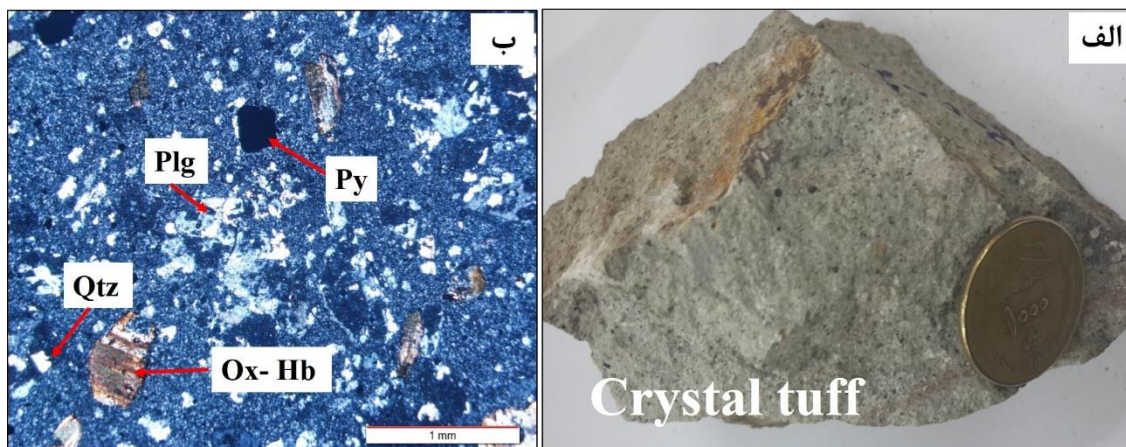
توف‌برش ($E^{vbr,ag,vc}$): توف برش‌ها جزو واحد ($E^{v,t}$) هستند که به طور متناوب با گدازه‌ها قرار دارند. - این سنگ‌ها میزبان اصلی کانی‌زایی مس در کانسار مس رباعی هستند که در فصل کانی‌زایی به طور مفصل بحث می‌شود. توف‌برش‌ها در مقاطع نازک میکروسکوپی به شدت دگرسان هستند و دارای کانی‌های اکسی‌هورنبلند، پلاژیوکلاز و تیره می‌باشند که به کانی‌های ثانویه از جمله؛ سرسیت، کلریت، کلسیت، کانی‌های رسی و اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۹). در این سنگ‌ها رگه-رگچه-هایی سیلیسی (کوارتزهای نهان بلور) و کربناتی (کلسیت و دولومیت) مشاهده می‌شود که حاوی کانی‌های تیره نظیر بورنیت، کالکوسیت و کوولیت هستند (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹-الف- تصویر صحرایی از رگه‌های داخل توف برش در منطقه همراه با کانی‌زایی مس (دید به سمت شمال شرق) ب، پ- عکس‌های نمونه دستی و مقطع نازک میکروسکوپی نمونه توف برش به شدت دگرسان شده همراه با کانی‌های کلسیت، ملاکیت، کالکوپیریت و گوتیت ت و ث- نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی برش‌های هیدروترمالی منطقه دارای کانی‌های کلسیت، دولومیت، کلریت و کانی‌های تیره بورنیت، کالکوسیت و کوولیت (کلسیت: Cal، دولومیت: Dol، کلریت: Chl، کالکوپیریت: Cpy، بورنیت: Bn، کالکوسیت: Cc، کولین: Cv و گوتیت: Gth).

کریستال توف ($E^{vbr, ag, vc}$): کریستال توف‌ها یکی دیگر از سنگ‌های آذرآواری موجود در منطقه می‌باشد که کانی‌های تشکیل دهنده آن‌ها شامل پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت هستند (شکل ۳-۱۰).

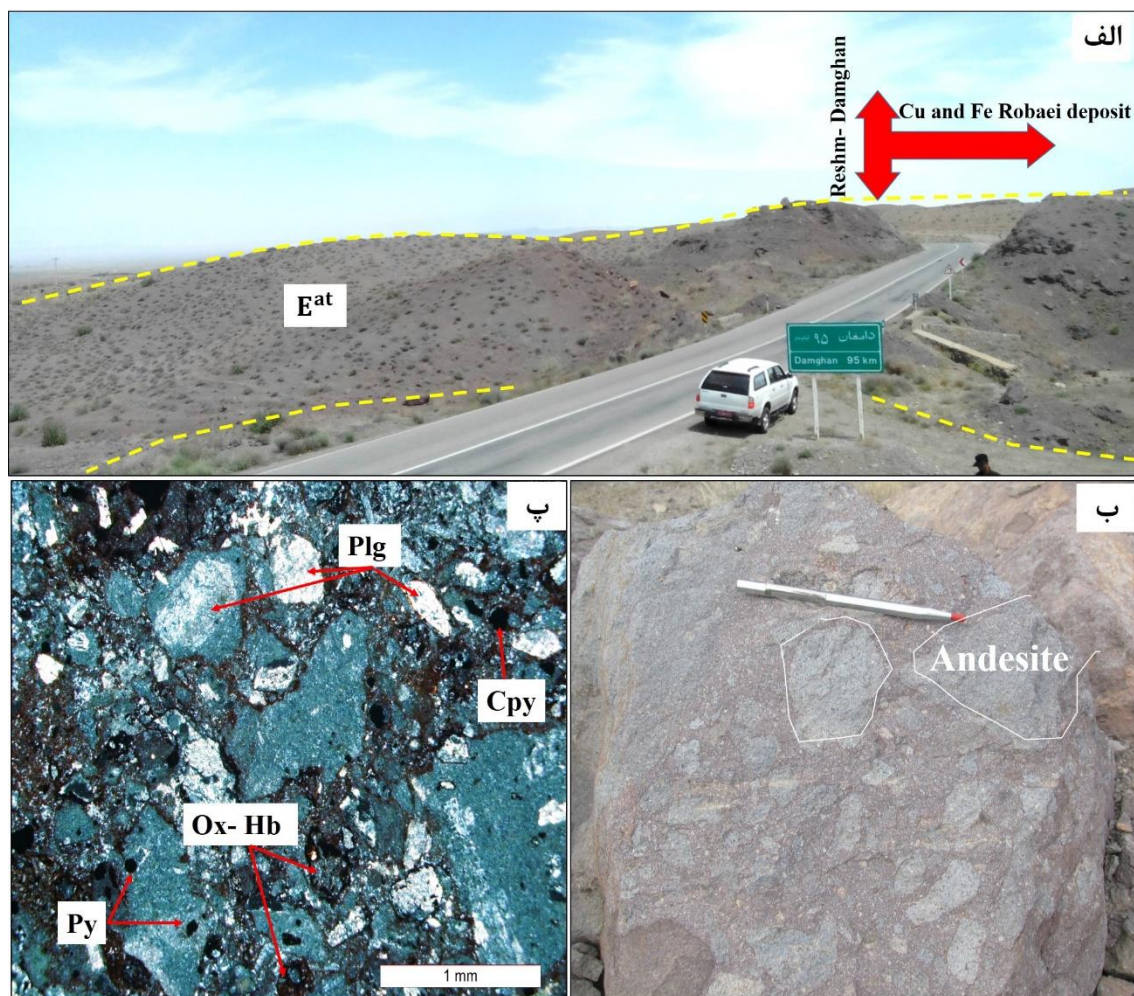
فئوکرست‌های پلاژیوکلاز در برخی موارد حالت تحلیل‌رفتگی دارند که ناشی از تغییرات نظیر دما و فشار در طی صعود ماگما یا تغییرات شیمیایی آن می‌باشد (Chen and Zhang, 2008). هورنبلندها و بیوتیت‌ها نیز از حاشیه حالت سوختگی دارند که آپاسیته شده و به اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند.



شکل ۳-۱۰- الف- عکس نمونه دستی کریستال توف به رنگ سبز متمایل به سفید ب- تصویر مقطع میکروسکوپی نمونه کریستال توف حاوی کانی‌های کوارتز، پیریت، پلاژیوکلاز و اکسی‌هورنبلند در نور XPL (پیریت: Py، کوارتز: Qtz، پلاژیوکلا: Plg و اکسی‌هورنبلند: Ox-Hb).

واحد آندزیت- توف (E^{at})

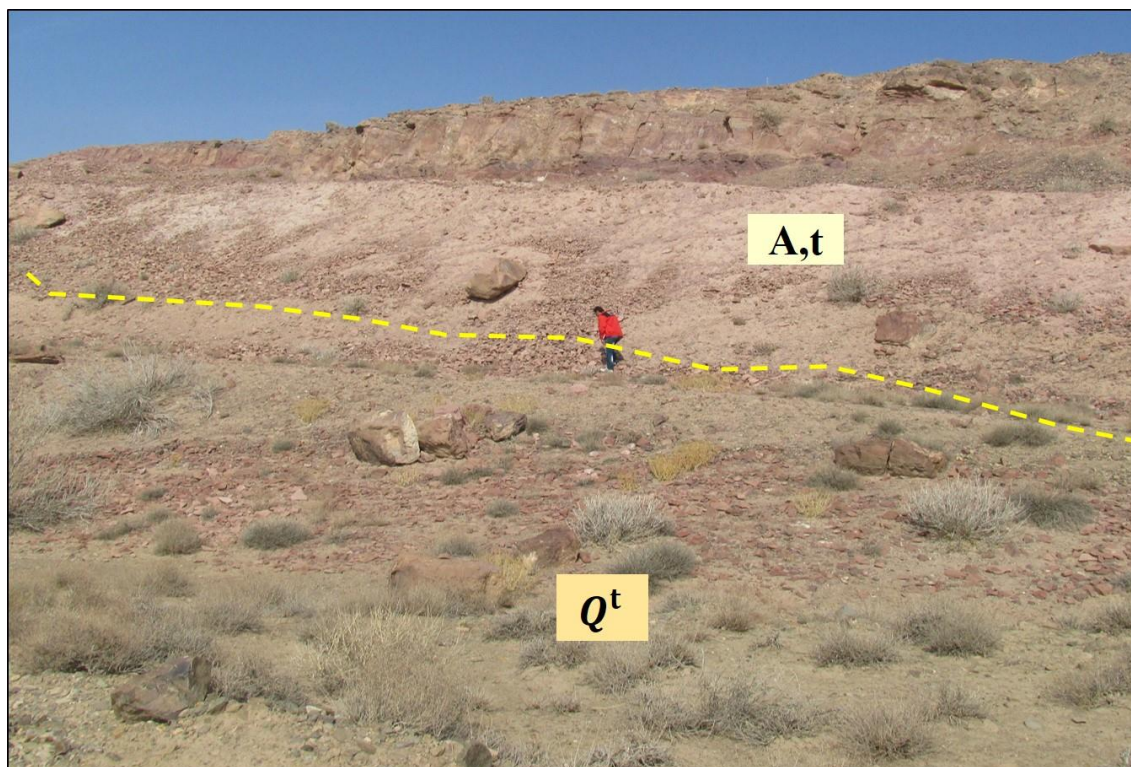
این واحد در قسمت ورودی کانسار رباعی با گسترش کمی رخنمون داد که قطعات درشت آندزیتی در زمینه توفی قرار دارد. این سنگ‌ها در بررسی‌های میکروسکوپی در حد لیتیک توف یا آگلومرا هستند که کانی‌های تشکیل دهنده آنها شامل پلاژیوکلاز، آمفیبول و کانی‌های تیره می‌باشد. کانی‌ها تیره شامل پیریت و به مقدار کمی کالکوپیریت است که به طور پراکنده در متن سنگ قرار دارند (شکل ۳-۱۱).



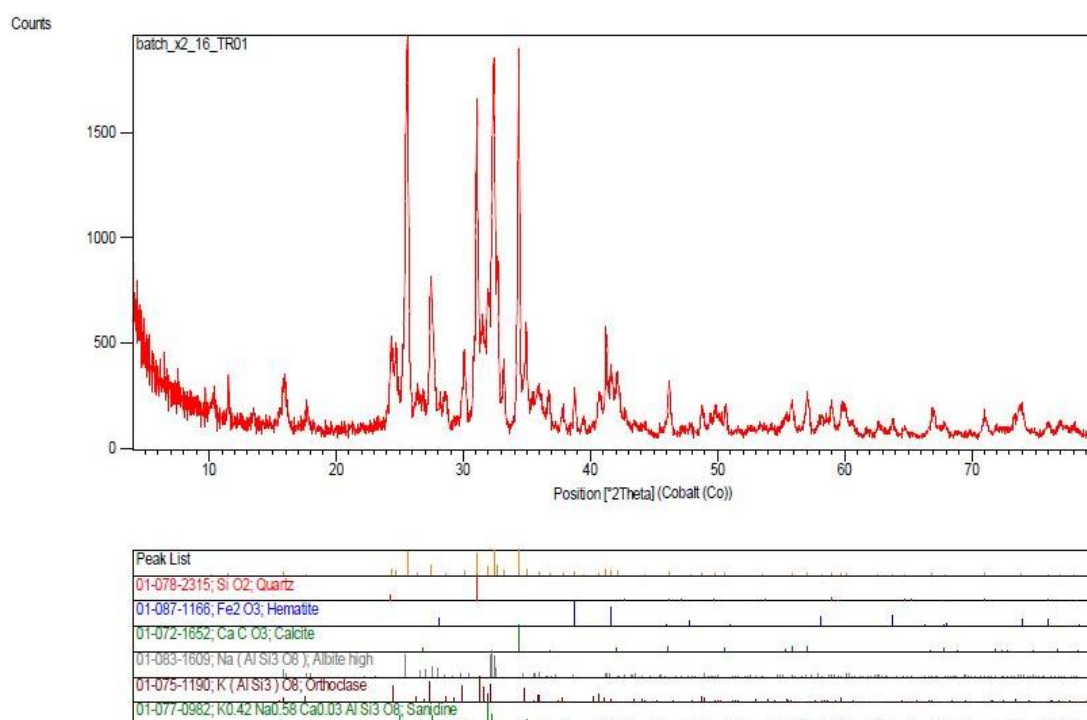
شکل ۳-۱۱- الف نمایی از واحد Eat در قسمت ورودی کانسار رباعی (دید به سمت شمال) ب- نمایی نزدیک از واحد Eat که قطعات درشت آندزیتی در زمینه توف (لیتیک توف یا آگلومرا) دیده می‌شود پ- تصویر میکروسکوپی از نمونه لیتیک توف با کانی‌های پلاژیوکلاز، اکسی‌هورنبلند و مقادیر کمی پیریت و کالکوپیریت.

واحد توف دگرسان شده (A,t)

این واحد فرعی جزئی از زیر واحد توفی می‌باشد که در برخی از نقاط منطقه در اثر دگرسانی به بنتونیت تبدیل شده است که دارای رنگ سفید و روشن می‌باشد (شکل ۳-۱۲). واحد (A,t) به علت دگرسانی شدید، تهیه مقطع امکان‌پذیر نبود اما در آنالیز XRD کانی‌های نظیر کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، ارتوکلاز و سانیدین مشخص شده است (شکل ۳-۱۳).



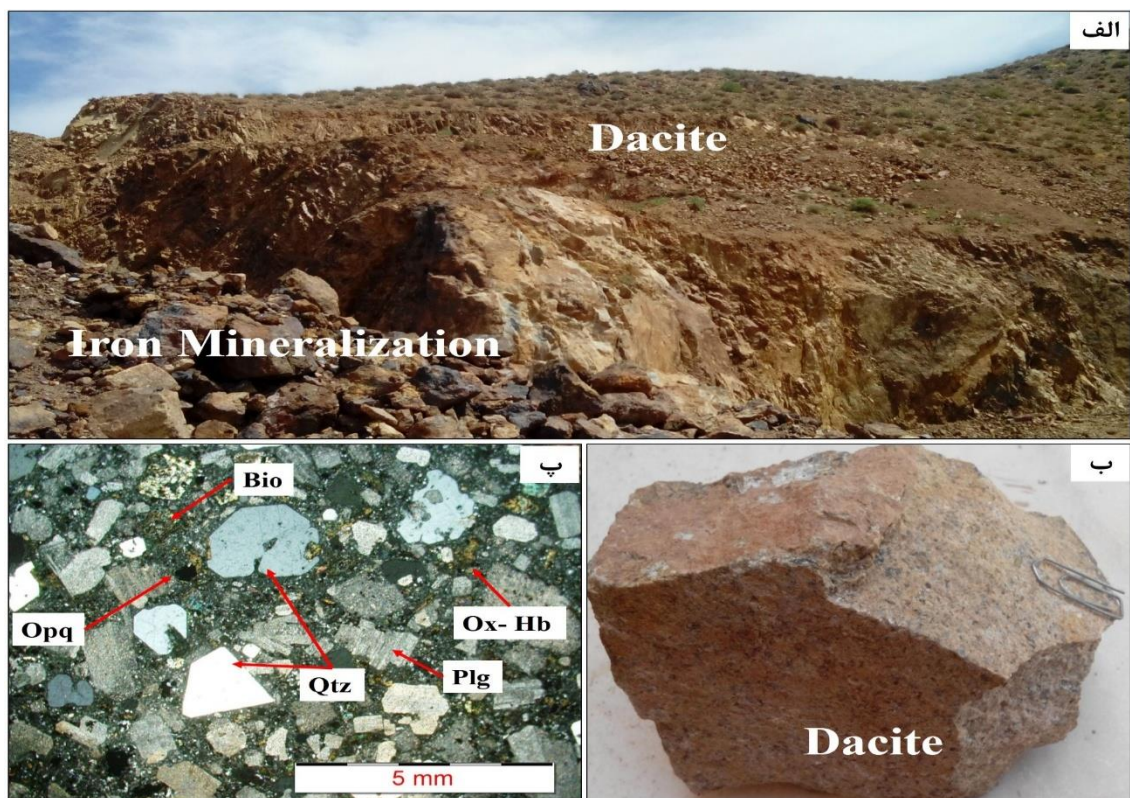
شکل ۳-۱۲- نمای دور از وواحد (A, t) (دید به سمت شمال)



شکل ۳-۱۳- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) همراه با کانی‌های شناسایی شده (کوارتز، هماتیت، کلسیت، آل بیت بالا، ارتوکلاز و سانیدین) مربوط به توف‌های دگرسان منطقه.

توده‌های نفوذی نیمه عمیق یا ساب ولکان‌های منطقه (da)

این واحدها در بخش شرقی کانسار مس رباعی قرار گرفته‌اند که در مشاهدات صحرایی به رنگ کرم و در نمونه‌های دستی متمایل به سبز دیده می‌شود. این توده نیمه عمیق (ساب‌ولکان) می‌باشد و دارای ترکیبی در حد داسیت است که در بیشتر نقاط بافت پورفیری از خود نشان می‌دهد. واحد یاد شده در رسوبات سنگ آهکی کرتاسه نفوذ کرده و اثر ضعیفی از دگرگونی مجاورتی در سنگ آهک‌ها به صورت تبلور مجدد و تشکیل بلورهای گارنت و همچنین رخداد کانی‌زایی آهن (اسکارن‌زایی) در محل برخورد این ساب‌ولکان‌ها با سنگ سنگ آهک برجای گذاشته است (شکل ۳-۱۴). کانیهای اصلی سنگ شامل پلاژیوکلاز با درصد حجمی ۳۵-۴۵ درصد، کوارتز ۲۰-۳۵ درصد و آلکالی فلدسپات‌ها تقریباً ۲۰-۱۵ درصد سنگ را شامل می‌شود که معمولاً کائولینیتی شده و در نور طبیعی، تقریباً کدر دیده می‌شود. کانی‌های مافیک شامل بیوتیت و هورنبلند هستند که مجموعاً ۱۰-۱۵ درصد سنگ را می‌سازند. کانی‌های تیره نیز در بعضی مقاطع دیده می‌شود که بیشتر مگنتیت و پیریت هستند. بلورهای پلاژیوکلاز حالت خودشکل تا بی‌شکل با ماکل پلی‌سنتتیک و منطقه‌بندی دارند. کوارتزها بصورت شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار دیده می‌شوند که بیشتر حالت خلیج‌خوردگی دارند. بیوتیت نیز گاهی بصورت فنوکریست‌های خودشکل تا بی‌شکل دیده می‌شود که در بعضی نمونه‌ها به کلریت و اکسید آهن تبدیل شده است. بلورهای آمفیبول با چند رنگی سبز در مقاطع نازک مشاهده می‌شود که دارای شکل بلورین نیمه‌شکل‌دار هستند و غالباً به کلریت تجزیه شده‌اند. کانی‌های تشکیل‌دهنده زمینه شامل کوارتز، کانی‌های رسی، پلاژیوکلاز، کلسیت و مقدار جزئی اپیدوت می‌باشد.



شکل ۳-۱۴- الف- نمایی از ساب ولکان‌های داسیتی منطقه رباعی همراه با کانی‌زایی آهن ب- تصویر نمونه دستی سنگ داسیت با بافت پورفیری پ- تصویر میکروسکوپی از نمونه داسیت دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، کوارتز، اکسی-هورنبلند، کانی‌های تیره و بیوتیت‌های دگرسان شده .

۳-۲-۵- کواترنری

رسوبات کواترنری (Q'): نهشته‌های آبرفتی قدیمی و نهشته‌های جدید بستر رودخانه‌ها هستند که از مجموعه شن و ماسه و قلوه سنگ بدون سیمان تشکیل شده‌اند.

فصل چهارم

دگرسانی و کانه‌زایی

همانطور که در فصل‌های گذشته اشاره شد رشته کوه طرود-چاه‌شیرین با توجه به موقعیت زمین-ساختی و واحدهای سنگی خود دارای کانه‌زایی‌ها و پتانسیل معدنی قابل توجهی از جمله مس، سرب، روی، طلا، آهن، منگنز و غیره می‌باشد که کانسارهای آهن(مس و طلا) و کانسار مس(طلا) رباعی نمونه‌ای از این کانی‌زایی‌ها است. در این فصل ابتدا به دگرسانی‌های موجود در محدوده اکتشافی رباعی و سپس درباره‌ی کانی‌زایی‌های منطقه بحث خواهد شد.

۴-۲- 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 فرایند آبشست پایه است که توسط نسبت کاتیونهای فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود (Hemley and Jones, 1964).

همان گونه که در تعریف دگرسانی نیز عنوان گردید، سنگ‌ها تحت تأثیر تغییرات شیمیایی و کانی-شناسی، دگرسان می‌شوند. عوامل کنترل کننده نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در سنگ‌ها عبارت‌اند از:

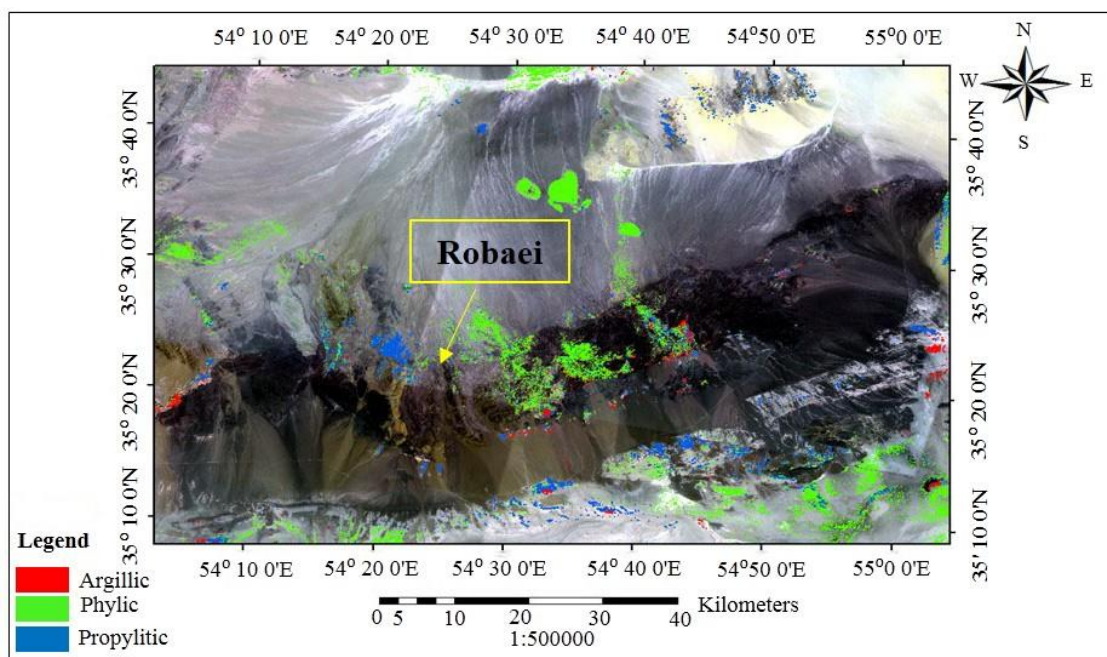
۱- ترکیب شیمیایی محلول گرمابی و ماگمایی ۲- درجه حرارت محلول گرمابی یا ماگمایی ۳- عمق شکل گیری سیالات کانسار ساز ۴- شرایط Eh و pH محلول ۵- ترکیب شیمیایی و کانی شناسی سنگ میزبان.

از سوی دیگر، گسترش و شدت دگرسانی به عوامل زیر وابسته است:

الف) حجم محلول های گرمابی و ماگمایی ب) واکنش پذیری سنگ میزبان ج) میزان ساختمان های اولیه و ثانویه مفید د) درجه حرارت و فشار محلول (نجف زاده و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۲-۱- اهمیت و کاربرد دگرسانی ها

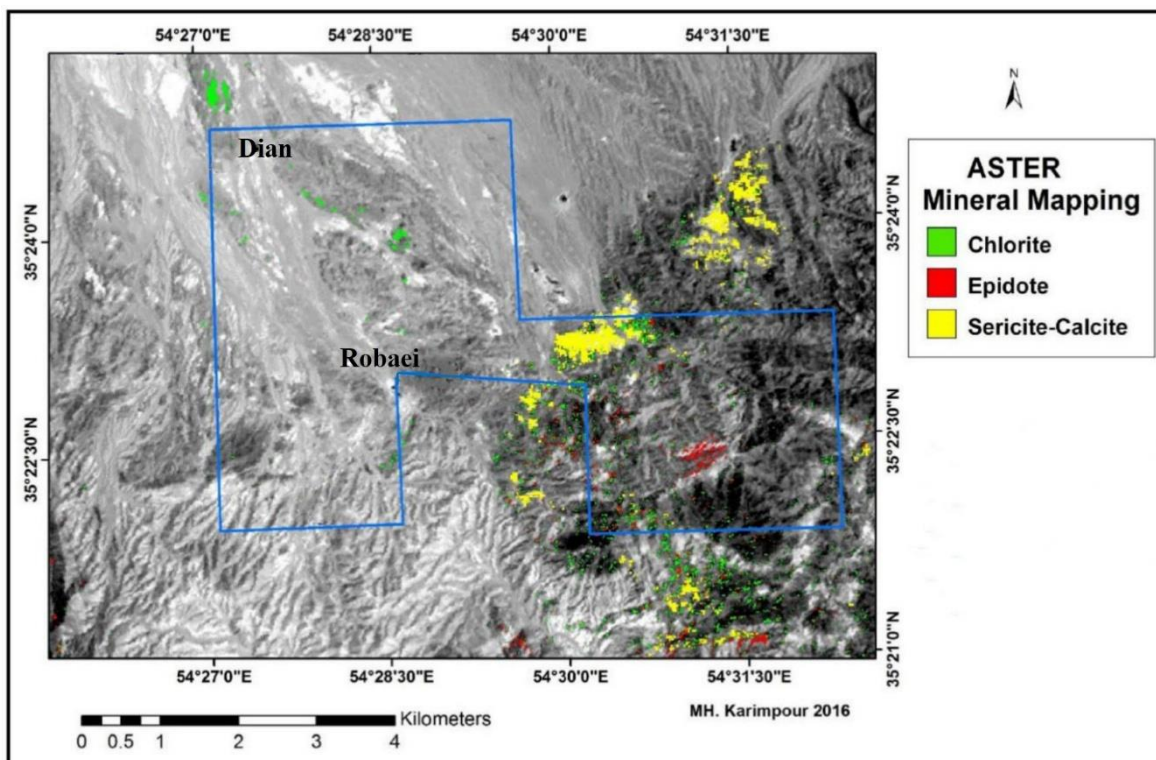
محصولات و فرآیندهای دگرسانی که همراه کانه زایی وجود دارند، یکی از بنیان های شناسایی فرآیندهای مربوط به نحوه تشکیل کانسار است و باعث پیشرفت در تکنیک های اکتشافی می شود (Lentz, 1994). دگرسانی ساده ترین، ارزان ترین و مناسب ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی است. در دو مرحله از اکتشاف می توان از دگرسانی ها 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 کانی سازی، گسترش، شدت و محل اصلی کانی سازی. در مرحله اول برای یافتن دگرسانی ها در یک منطقه وسیع معمولاً نمی توان از نقشه های کوچک مقیاس استفاده نمود، زیرا در اکثر آنها دگرسانی ها تفکیک نشده و یا از دقت لازم برای تفکیک برخوردار نیست. یکی از روش های مناسب برای پیدا کردن دگرسانی ها، کمک گرفتن از پردازش داده های ماهواره ای 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). دگرسانی های رشته کوه تروود - چاه شیرین به روش نقشه برداری زاویه طیفی با استفاده از طیف های حاصل از طیف سنجی نمونه ها، در زمینه ای از تصویر RGB=4,6,8 منطقه در شکل (۴-۱) مشخص شده است که نشان دهنده دگرسانی های آرژیلیکی، فلیک و پروپیلیتیک می باشد (نوری، ۱۳۹۳).



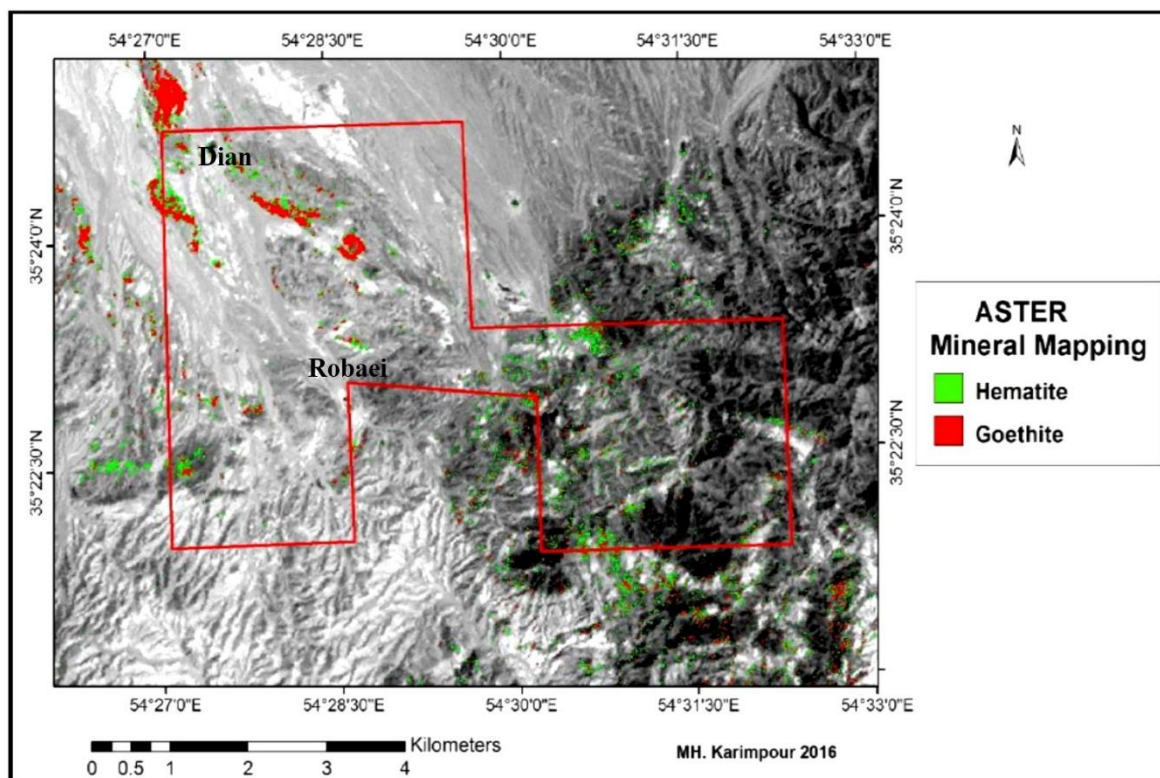
شکل ۴-۱- آشکار شدن دگرسانی‌های رشته کوه طرود - چاه شیرین به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی با استفاده از طیف‌های حاصل از طیف‌سنجی نمونه‌ها، در زمینه‌ای از تصویر RGB=۴,۶,۸ منطقه (نوری ۱۳۹۳).

۴-۲-۲- دگرسانی‌های موجود در منطقه

بنا به مطالعات کریم‌پور (۱۳۹۵) بر روی پردازش داده‌های ماهواره استر، کانی‌های معرف دگرسانی شناسایی شده در منطقه رباعی شامل کلریت، اپیدوت، سریسیت-کلسیت، همتایت و گوتیت است (شکل‌های ۲-۴ و ۳-۴). برای مشخص کردن دگرسانی‌ها منطقه رباعی نمونه‌هایی از بخش‌هایی دگرسان کانسار برداشته و مقاطع نازک میکروسکوپی تهیه شد و سپس مورد مطالعه کانی‌شناسی قرار گرفت. همچنین تعدادی از این نمونه‌ها برای مشخص کردن دقیق کانی‌های معرف دگرسانی مورد آنالیز XRD قرار گرفتند.



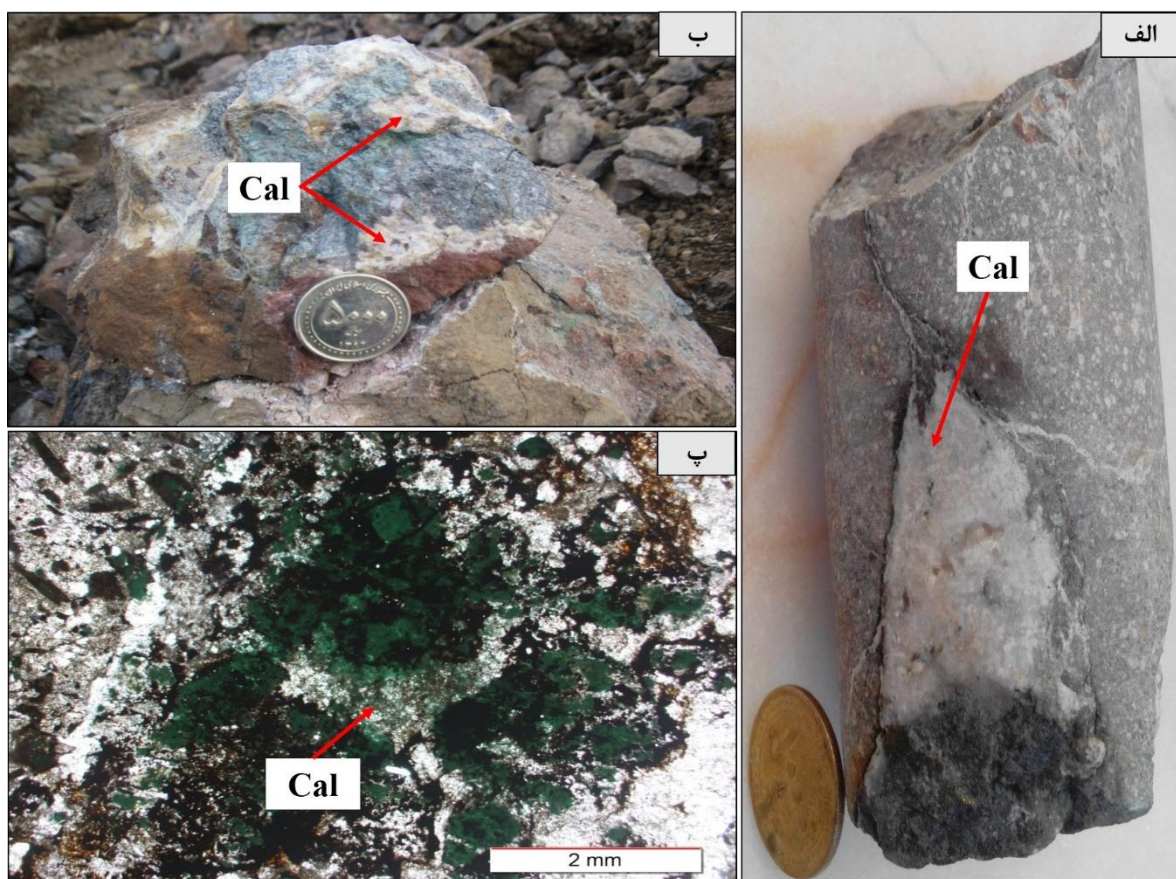
شکل ۴-۲- نمایش تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر و شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی شامل کلریت، اپیدوت و سربیسیت-کلسیت در محدوده اکتشافی رباعی (کریم‌پور، ۱۳۹۵).



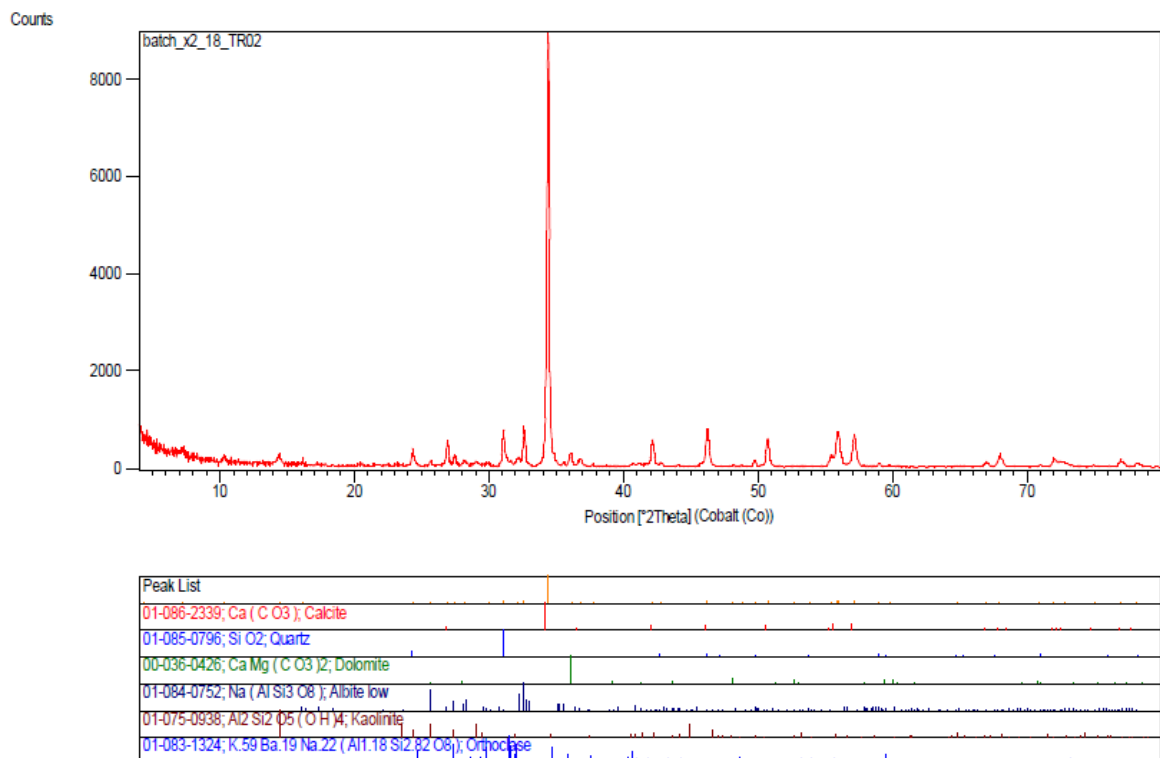
شکل ۴-۳- نمایش تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر و شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی شامل هماتیت و گوتیت در محدوده اکتشافی رباعی (کریم‌پور، ۱۳۹۵).

۴-۲-۱- دگرسانی کربناتی

کربناتی شدن یک دگرسانی رایج برای تشکیل انواع کانی‌های کربناته است که رایج‌ترین آنها کلسیت، آنکرایت و دولومیت می‌باشد. این دگرسانی در مواد کربناتی در منطقه امری عادی است زیرا در محلولهای منطقه حل شده و با تغییر pH این مواد، باعث رسوب کربنات کلسیم در سنگهای دیگر شده و تشکیل کلسیت ثانویه درشت‌بلور را داده است. کربناتی شدن در منطقه عمدتاً با وجود رگه-رگچه‌های فراوان کلسیت در امتداد شکستگی‌ها و همراه با ماده معدنی نمود دارد (شکل ۴-۴). دگرسانی کربناتی همچنین در آنالیز XRD نیز با کانی‌های کلسیت و دولومیت مشخص گردیده است که کلسیت نسبت به دولومیت فراوانی بسیار بالایی دارد (شکل ۴-۵). منشأ کلسیت می‌تواند از سیالات گرمایی و همچنین از پلاژیوکلازهای متن سنگ باشد.



شکل ۴-۴- الف- نمونه‌ای از مغزه‌های حفاری دارای دگرسانی کربناتی بصورت پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌های کلسیتی ب- عکس نمونه دستی از دگرسانی کربناتی بصورت رگه-رگچه‌ای در نمونه توف برش (برش هیدروترمالی) پ- تصویر میکروسکوپی از رگچه‌های کلسیتی در نمونه توف برش.

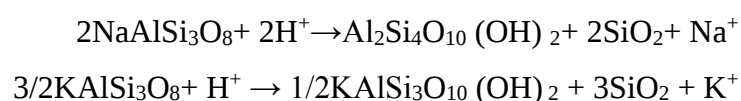


شکل ۴-۵- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف برش در کانسار مس رباعی بیانگر

دگرسانی کربناتی- سیلیسی و آرژیلیتی که با کانی‌های کلسیت، دولومیت، کوارتز و کائولینیت مشخص می‌شود.

۴-۲-۲-۲- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمایی است که در اثر افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال و کلسدونی) در سنگ همراه می‌باشد (Pirajno, 2009). در هاله‌های دگرسانی همراه با بسیاری از انواع ذخایر معدنی، این نوع دگرسانی گسترش محدودی داشته و مقدار اندکی Si تشکیل می‌شود:

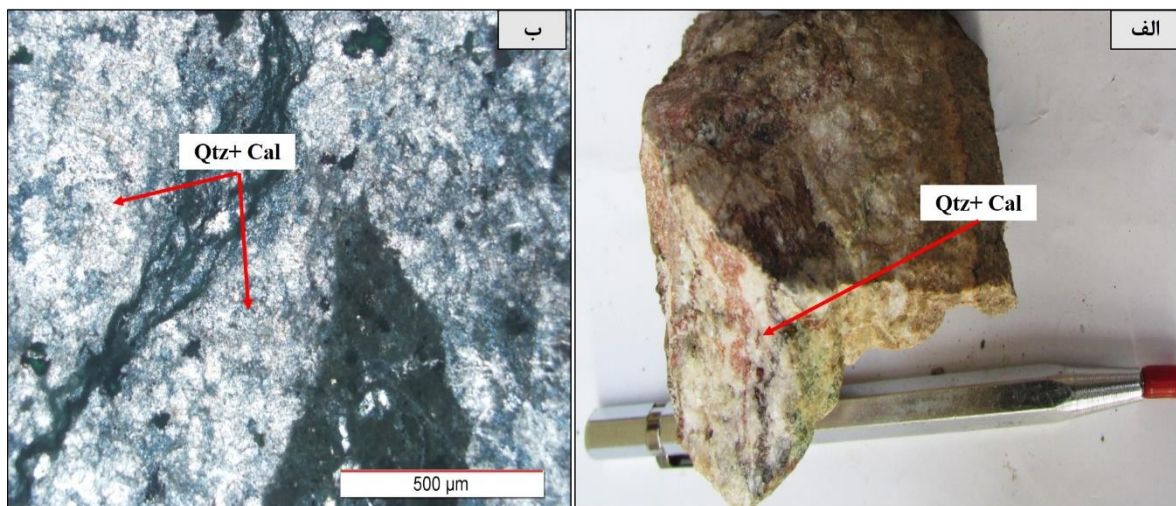


سیلیسی شدن به دو طریق صورت می‌گیرد:

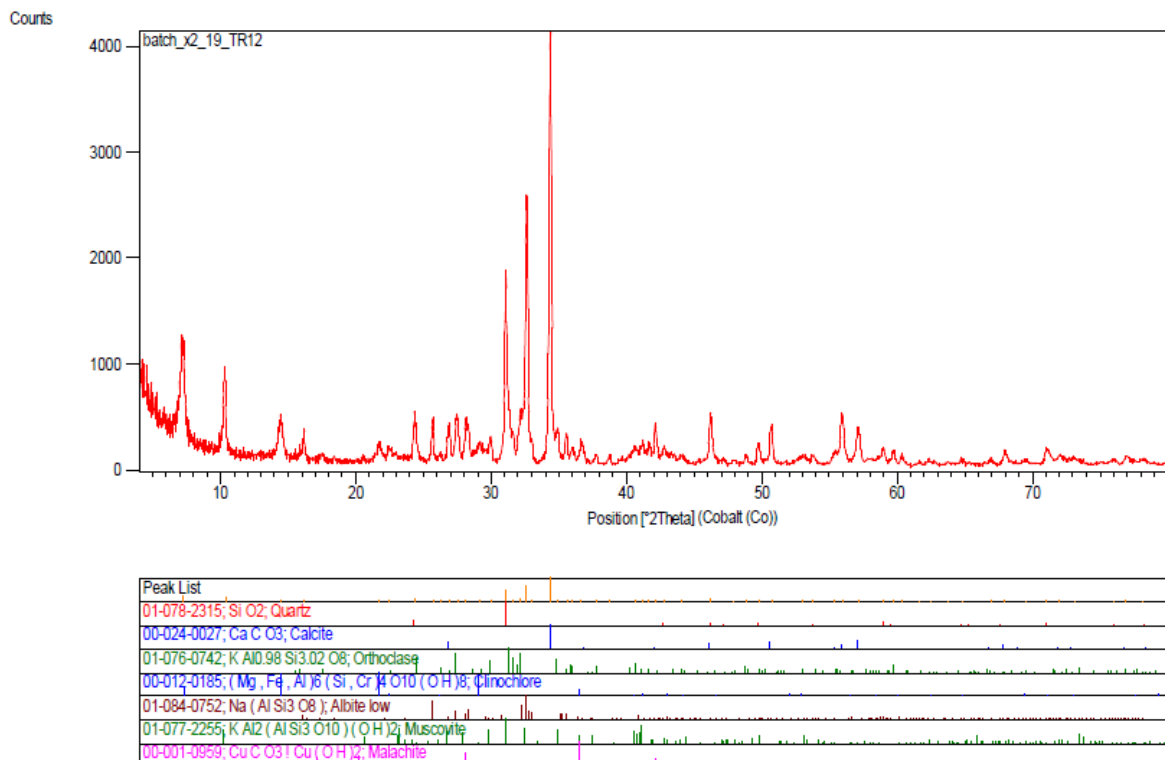
الف) اضافه شدن سیلیسی به سنگ، توسط محلول‌های ماگمایی و یا گرمایی غنی از سیلیس

ب) افزایش میزان سیلیس در سنگ به دلیل تجزیه سیلیکاتهای موجود در سنگ

در بیشتر کانسارهای گرمابی فلزات قیمتی، دگرسانی سیلیسی اغلب بصورت نهان- بلور (کریپتوکریستالین) دیده می‌شود که اصطلاحاً به آن ژاسپروئید می‌گویند. در کانسار مس رباعی دگرسانی سیلیسی بصورت رگچه‌های سیلیسی نهان بلور همراه با کانی‌های کربناتی (از جمله کلسیت و دولومیت) در داخل سنگ میزبان مشاهده می‌شود که معرف دگرسانی سیلیسی شدن می- باشد (شکل ۴-۶). این نوع دگرسانی در آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) بصورت کانی کوارتز مشخص گردیده است (شکل ۴-۷ و جدول ۴-۱)



شکل ۴-۶- الف - عکس نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی - کربناتی موجود در کانسار مورد مطالعه ب- تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی- کربناتی منطقه (کوارتز: Qtz و کلسیت: Cal).



شکل ۴-۷- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) مربوط به شناسایی کانی‌های کوارتز، کلسیت، کلینوکلر و مسکویت که بیانگر دگرسانی سیلیسی، کربناتی، کلریتی و سریسیتی می‌باشد.

۴-۲-۳- دگرسانی کلریتی

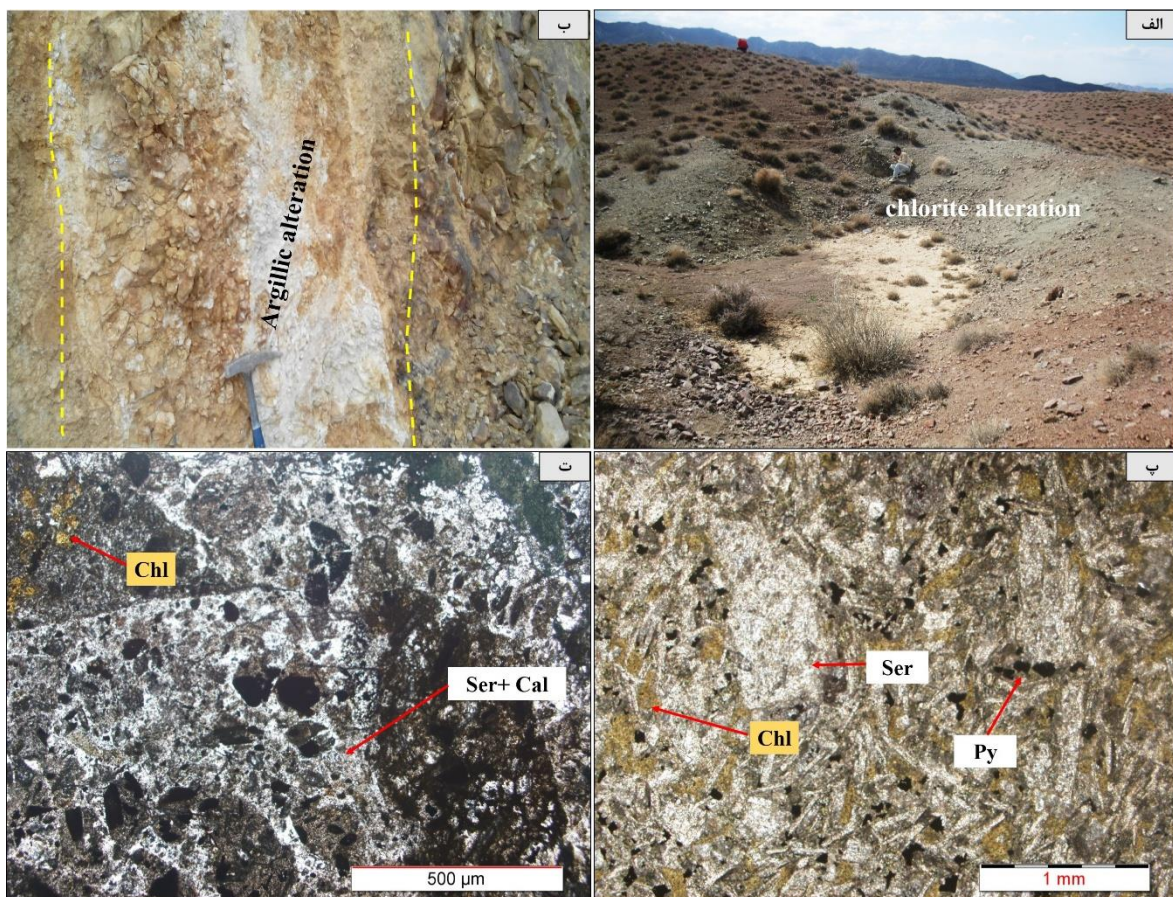
دگرسانی کلریتی یکی دیگر از گسترده‌ترین نوع دگرسانی در کانسار مس رباعی است که در مشاهدات صحرایی به رنگ سبز دیده می‌شود (شکل ۴-۸ الف). این نوع دگرسانی در مقاطع میکروسکوپی بصورت کانی کلریت و همچنین در آنالیز XRD با کانی‌های کلینوکلر و کلریت مشخص شده است (شکل ۴-۸ پ، ت و جدول‌های ۴-۱ و ۴-۲). بنا به نظر گالی (Gally, 2007) کلریتی شدن یکی از مهمترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می‌شود و در اثر این فرآیند سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می‌کنند.

۴-۲-۲-۴-دگرسانی سربستی

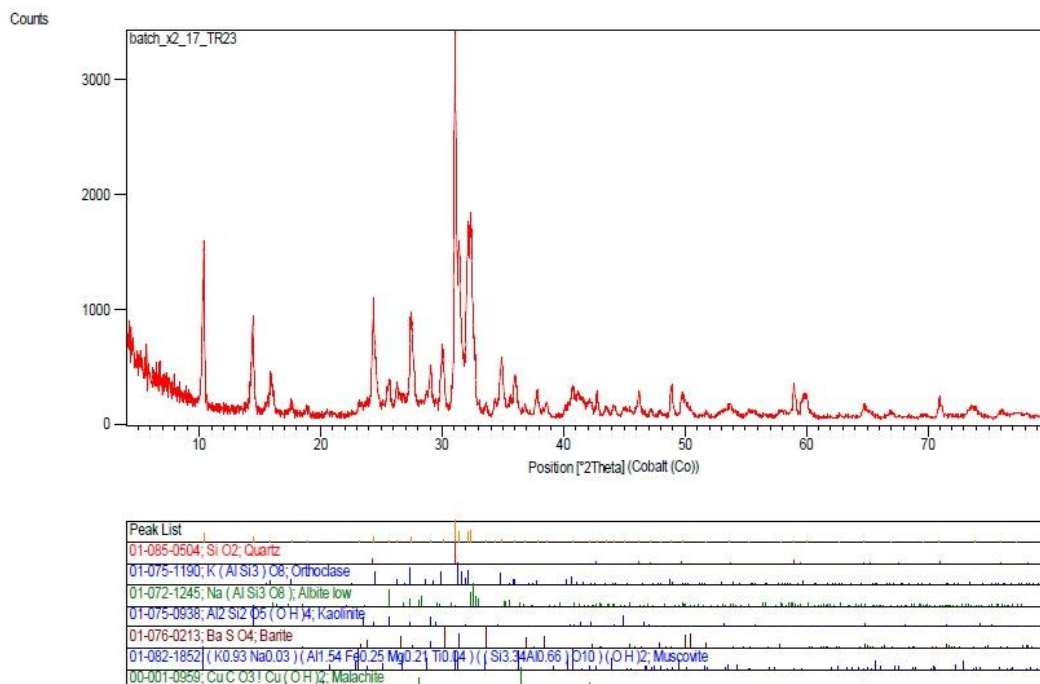
دگرسانی سربستی به واسطه شستشوی سدیم، کلسیم و منیزیم از سنگ‌های دارای سیلیکات‌های آلومینیم به وجود می‌آید. پتاسیم مورد نیاز این دگرسانی جهت تشکیل سربست (میکای سفید دانه ریز) معمولاً از هیدرولیز فلدسپات‌های موجود در سنگ تأمین می‌شود. دگرسانی سربستی را یک متاسوماتیزم H^+ در دمای متوسط (۳۵۰ - ۳۰۰ درجه سانتی گراد) دانسته‌اند. این دگرسانی در کانسار رباعی با حضور سربست در زیر میکروسکوپ مشخص گردید که از تبدیل پلاژیوکلازها به کانی سربست (مسکویت دانه ریز) می‌باشد (شکل ۴-۸ پ و ت). دگرسانی سربستی منطقه در نتایج آنالیز XRD بصورت کانی مسکویت مشخص شده است (شکل‌های ۴-۹ و ۴-۱۰ و جدول‌های ۴-۱ و ۴-۴).

۴-۲-۲-۵-دگرسانی آرژیلیتی

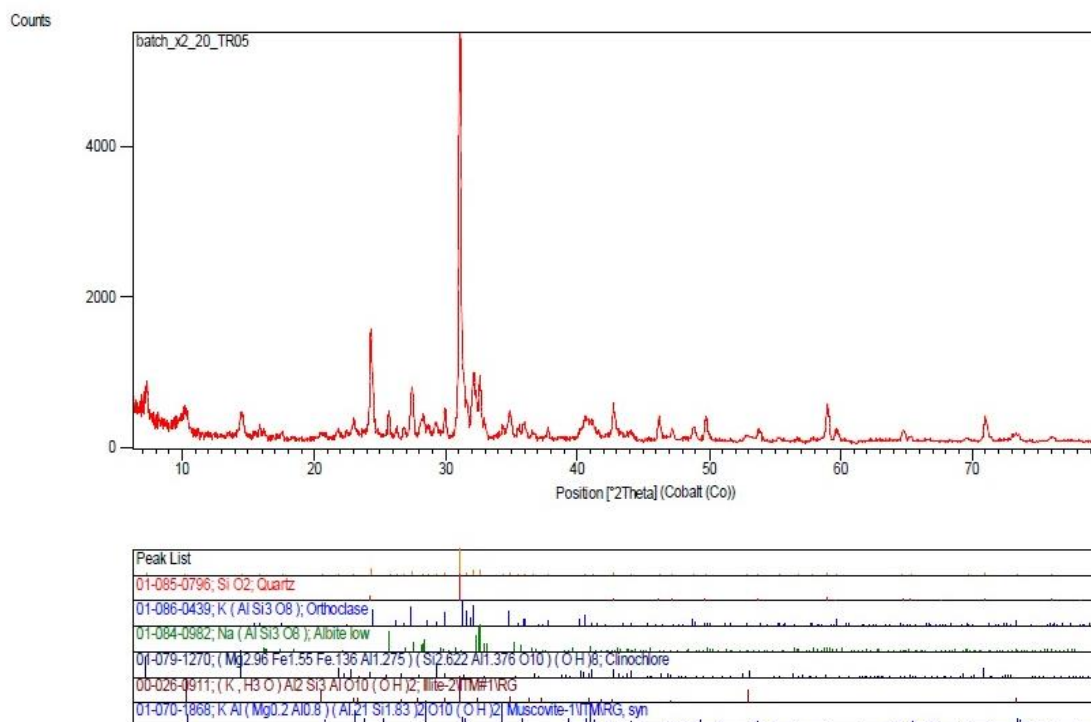
دگرسانی آرژیلیتی منطقه با حضور کانی‌های ایلیت و کائولینیت در نتایج حاصل از آنالیز XRD مشخص می‌شود. حضور کانیهای اورتوکلاز و آلبیت در نمونه‌های آنالیز شده دلیلی بر شدت کم آرژیلیکی شدن می‌باشد که معرف دگرسانی آرژیلیتی متوسط در منطقه است (شکل ۴-۸ ب، شکل ۴-۹ و ۴-۱۰ و جدول ۴-۱). این نوع دگرسانی در کانسارهای اپی‌ترمال تحت تاثیر سیالات ماگمایی، بخارات اسیدی حاصل از جوشش سیالات و یا آب‌های جوی ایجاد می‌گردد (Sillitoe, 1993 and Giggenbach, 1997). در محیط‌های اپی‌ترمال که شستشوی اسیدی به طور وسیع رخ می‌دهد، دگرسانی آرژیلیتی راهنمای مناسبی برای اکتشاف است (Pirajno, 1992).



شکل ۴-۸- الف-تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی که با رنگ سبز دیده می‌شود ب- عکس صحرایی از دگرسانی آرژیلیتی منطقه پ و ت- تصاویر مقاطع میکروسکوپی از دگرسانی‌های کلریتی و سریسیتی منطقه مورد مطالعه (کلریت: Chl، سریسیت: Ser، پیریت: Py و کلسیت: Cal).



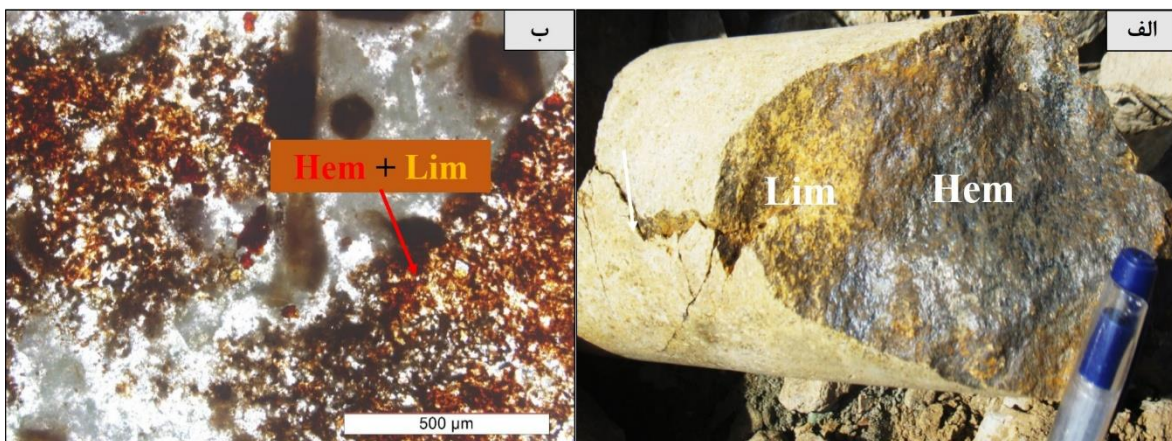
شکل ۴-۹- طیف پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف دگرسان شده منطقه نمایان گر دگرسانی آرژیلیتی که با کانی کائولینیت مشخص گردیده است.



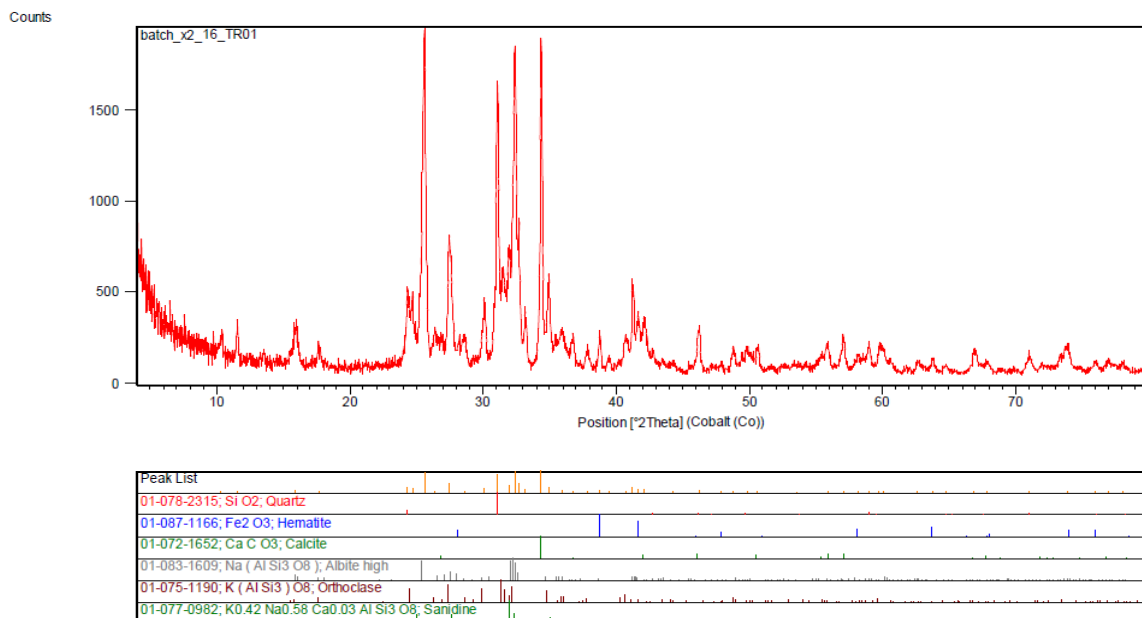
شکل ۴-۱۰- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف دگرسان شده دارای کانی های کلینوکلر، ایلیت و مسکویت نشانگر دگرسانی آرژیلیتی، کلریتی و سریسیتی می باشد.

۴-۲-۲-۶-هماتیتی و لیمونیتی شدن

هماتیتی و لیمونیتی شدن در بخش سوپرژن اکسیدی کانسار رباعی رخ داده که کانی‌های سولفیدی از جمله؛ پیریت و کالکوپیریت به اکسیدها و هیدرو اکسیدهای آهن دگرسان شده‌اند (شکل ۴-۱۱). دگرسانی هماتیتی در نتایج آنالیزهای XRD با کانی هماتیت مشخص گردیده است (شکل ۴-۱۲، جدول‌های ۴-۱ و ۴-۲).



شکل ۴-۱۱- الف- نمونه‌ی دستی از مغزه‌های حفاری دارای هماتیت و لیمونیت ب- تصویر میکروسکوپی پیریت‌ها و کالکوپیریت‌های در حال دگرسانی به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (هماتیت: Hem و لیمونیت: Lim).



شکل ۴-۱۲- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) برای نمونه توف برش دگرسان شده که حاوی کانی‌های کوارتز، هماتیت، کلسیت، آلبیت، ارتوکلاز و سانیدین می‌باشد. کانی‌های کوارتز، هماتیت و کلسیت نشان دهنده‌ی دگرسانی‌های سیلیسی، هماتیتی و کربناتی در نمونه مورد مطالعه است.

جدول ۴-۱- کانی‌های تشخیص داده شده در زیر میکروسکوپ و آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) در نمونه‌های دگرسان منطقه مورد مطالعه.

شماره نمونه	نوع نمونه	کانی‌های مشاهده شده در زیر میکروسکوپ	کانی‌های مشخص شده در آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)
TR01	توف دگرسان شده	-	کوارتز + هماتیت + کلسیت + آلبیت بالا + ارتوکلاز + سانیدین
TR02	توف برش	کلسیت، دولومیت، کوارتز،	کلسیت + کوارتز + دولومیت + آلبیت پایین + کائولینیت + ارتوکلاز
TR05	توف آندزیتی	پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلریت، سیرسیت، کلسیت، کوارتز	کوارتز + ارتوکلاز + آلبیت پایین + کلینوکلر + ایلیت + مسکویت
TR12	توف آندزیتی	پلاژیوکلاز، هورنبلند، سیرسیت، کلسیت، کوارتز	کوارتز + کلسیت + ارتوکلاز + کلینوکلر + آلبیت پایین + مسکویت + مالاکیت
TR23	توف دگرسان شده	-	کوارتز + ارتوکلاز + آلبیت پایین + کائولینیت + باریت + مسکویت + مالاکیت

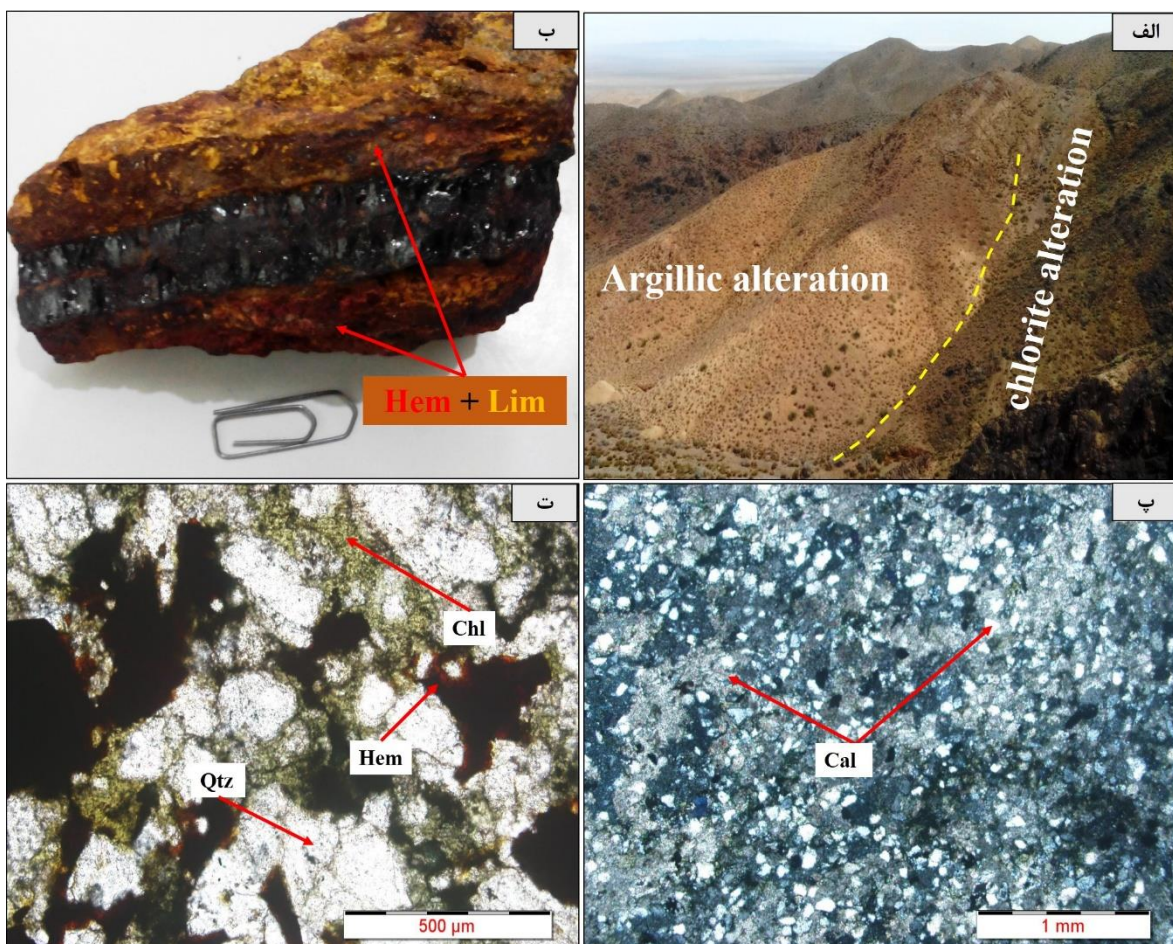
جدول ۴-۲- نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) از مغزه حفاری شماره ۵ کانسار مس رباعی (داده‌های شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴).

شماره نمونه	کانی‌های مشخص شده توسط آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)
BH5 D:0-6	آلبیت + کوارتز + ارتوکلاز + مسکویت + کلریت + کلسیت + هماتیت
BH5 D:18-22	کالکوپیریت + کوارتز + آلبیت + کلسیت + کلریت + مسکویت + ارتوکلاز + هماتیت

۴-۲-۳- دگرسانی در کانسار آهن رباعی

کانسار آهن رباعی به دو بخش اسکارنی (مجاور ساب‌ولکان داسیتی) و بخش ولکانیکی-رسوبی (بخش ۲) تقسیم می‌شود.

دگرسانی در بخش اسکارنی (مجاور ساب‌ولکان داسیتی) کانسار آهن رباعی شامل سریسیتی، آرژیلیتی، پروپیلیتی، کلریتی، سیلیسی، کربناتی و هماتیتی شدن می‌باشد (بادوزاده کانرش و همکاران، ۱۳۹۰). همچنین مهمترین دگرسانی‌های موجود در بخش ۲ کانسار آهن رباعی شامل سیلیسی، کلریتی، آرژیلیتی، کربناتی، هماتیتی و لیمونیتی شدن است (شکل ۴-۱۳).



شکل ۴-۱۳- الف- نمایی از دگرسانی‌های کلریتی و آرژیلیتی در کانسار آهن رباعی ب- نمایی از هماتیتی و لیمونیتی شدن در عکس نمونه دستی پ- نمایش دگرسانی کربناتی در مقطع نازک میکروسکوپی ت- دگرسانی‌های کلریتی، سیلیسی و هماتیتی شدن در تصویر میکروسکوپی (کلسیت: Cal، کلریت: Chl، کوارتز: Qtz، هماتیت: Hem و لیمونیت: Lim).

۳-۴- کانی‌زائی در منطقه مورد مطالعه

عوامل موثر و کنترل کننده کانی‌زائی در منطقه مورد مطالعه عبارتند از: ۱- تکتونیک ناحیه‌ای ۲- جنس سنگ میزبان ۳- گسل‌ها و شکستگی‌های ناشی از تکتونیک منطقه ۴- منبع حرارتی (توده‌های نفوذی و ساب‌ولکان‌ها). کانی‌زائی در منطقه مورد مطالعه در بخش‌ها و قسمت‌های مختلفی از واحدهای سنگی رخ داده است که بطور کلی می‌توان به سه دسته زیر تقسیم‌بندی نمود:

۳-۴-۱- کانی‌زائی آهن (مس و طلا) در محدوده رباعی

کانی‌زائی در واحدهای سنگی رخنمون یافته شامل سنگ آهک‌های کرتاسه‌پسین و سنگ‌های آتشفشان- رسوبی (توف ماسه‌ای و تراکی‌آندزیت) ائوسن رخ داده است و میزبان کانی‌زائی آهن (مس و طلا) هستند. سنگ آهک‌های کرتاسه پسین در این منطقه تحت تأثیر توده نفوذی نیمه عمیق (ساب-ولکان‌های داسیتی) قرار گرفته و باعث تشکیل کانی‌زائی بصورت اسکارنی در بخش (۱) شده است (شکل ۴-۱۴). همچنین سیالات این توده سنگ‌های آتشفشان- رسوبی (توف ماسه‌ای و تراکی‌آ-ندزیت) منطقه را هم تحت تأثیر خود قرار داده و کانی‌زائی‌های بصورت رگه- رگچه‌ای و شکافه‌پرکن در بخش (۲) کانسار شکل گرفته است.

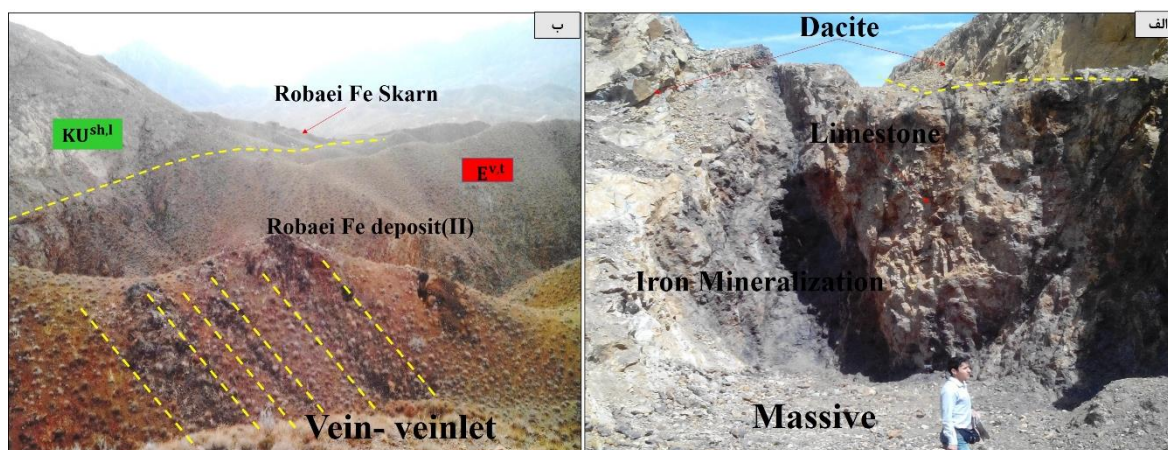
بنابر نظر کریم‌نژاد (۱۳۸۳)، سیستم‌های درز و شکاف دارای کانی‌زائی در منطقه مورد مطالعه به سه دسته به شرح زیر تقسیم می‌شوند:

الف- روند شمال شرقی- جنوب غربی که عموماً یا شیب قائم دارند و یا بیش از ۶۰ درجه به سمت شمال غرب و جنوب شرق شیب دارند. این سیستم درزه‌ها با گسل‌های اصلی طرود، انجیلو و گسل باغو موازی است. توده‌های نفوذی و دایک‌های منطقه مورد مطالعه از این روند تبعیت می‌کنند.

ب- روند شمال غرب و جنوب شرق که یا شیب آنها عموماً قائم است یا حدود ۷۰-۶۰ درجه به سمت جنوب غرب شیب دارند و تعداد اندکی از آنها با شیب کمتر از ۶۰ درجه در حدود ۴۰-۳۰ درجه به سوی شمال شرق متمایل می‌باشند.

ج- روند شرقی- غربی که برخی از آنها یا دارای شیب قائم و یا شیب متغیر 40N تا 60S هستند. عملکرد نیروهای تکتونیکی در بخش اسکارنی کانسار در دو مرحله مشاهده می‌شود: تکتونیک قبل از کانه‌زائی: این پدیده باعث درز و شکاف‌هایی در سنگ میزبان (سنگ آهک‌ها) و هم در ساب‌ولکان‌های (داسیت) منطقه شده است که در درون این شکستگی‌ها کانی‌های آهن‌دار شکل گرفته است. ساب‌ولکان‌های منطقه به دلیل از دست دادن حرارت و سرد شدگی باعث کاهش حجم، انقباضات و شکستگی‌های متعددی در سطح خود گردیده است. این شکستگی‌ها معابر خوبی برای عبور سیالات ماگمایی بوده است که پس از عبور سیالات ماگمایی باعث ایجاد کانی‌های آهن‌دار بصورت رگچه‌ای در سطح شکستگی‌های سنگ می‌شود

تکتونیک بعد از کانی‌زائی: فعالیت‌های تکتونیکی پس از تشکیل مواد معدنی در درز و شکاف‌ها، باعث تغییر شکل بصورت برشی و گسلش در رگه- رگچه‌های ماده معدنی شده است.

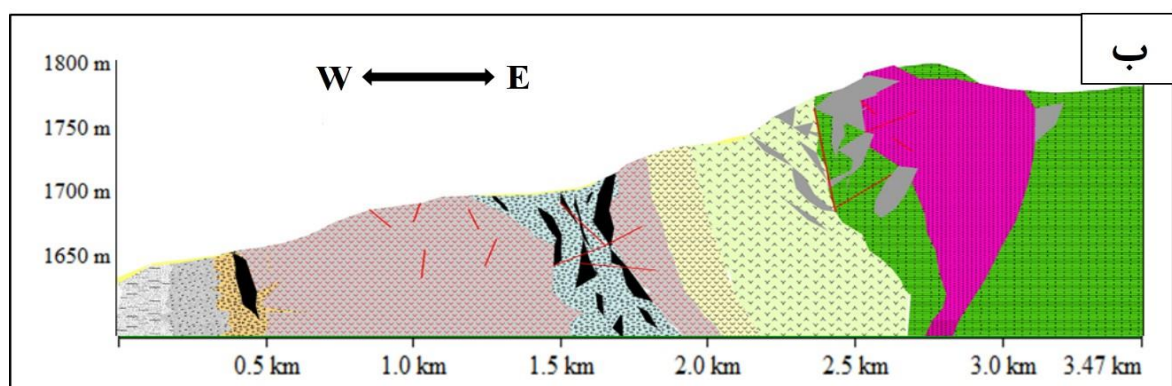
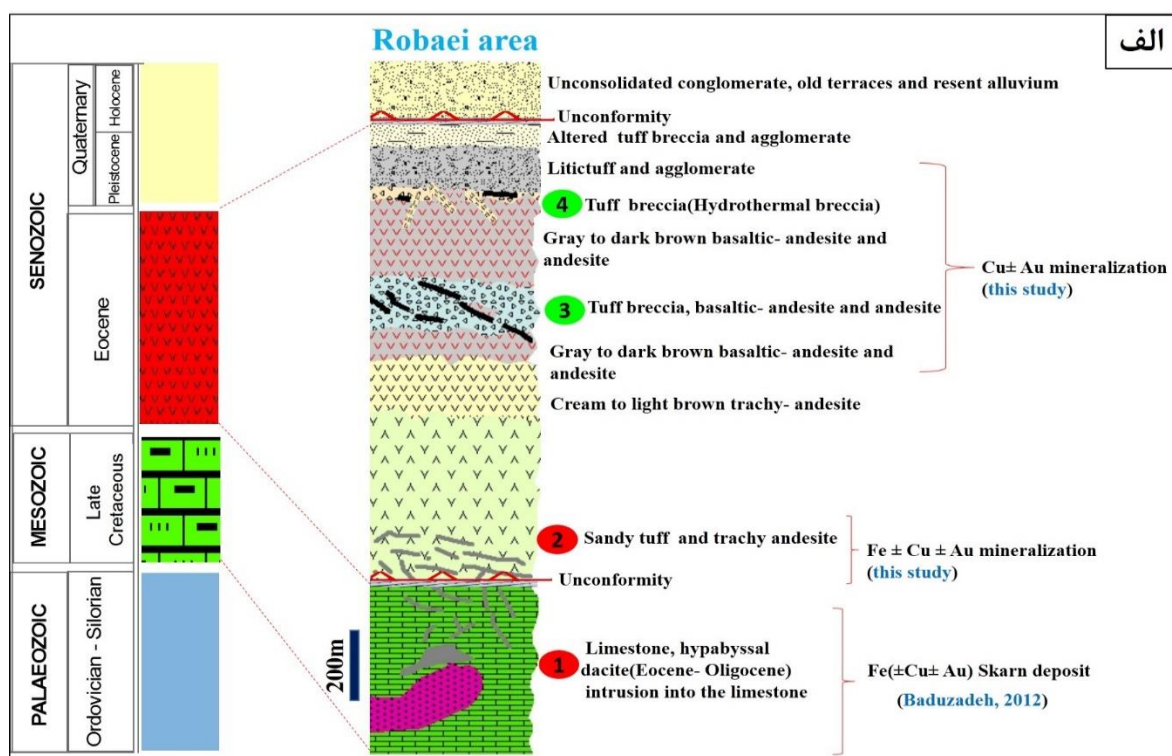


شکل ۴-۱۴- الف- تصویر صحرایی مرز بین سنگ آهک‌های کرتاسه پسین با ساب‌ولکان‌های داسیتی و کانی‌زائی آهن بصورت توده‌ای و دایک مانند (دید به سمت شمال) ب- نمای از مرز بین سنگ آهک‌های کرتاسه پسین با ولکانیک‌های ائوسن و نمایش موقعیت کانسار اسکارنی آهن رباعی و کانی‌زائی آهن رباعی II (بخش ۲) در ولکانیک‌های ائوسن به حالت رگه- رگچه‌ای (دید به سمت جنوب).

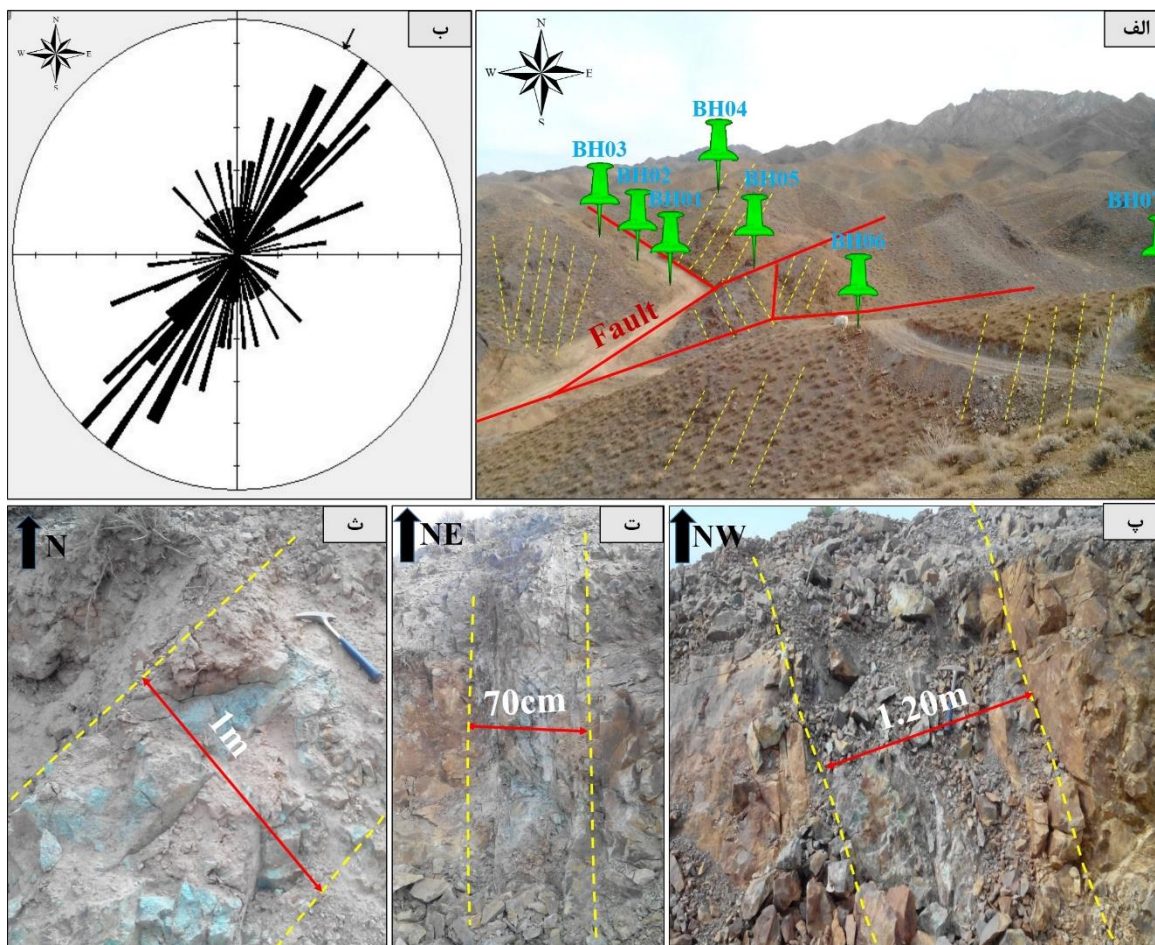
۴-۳-۲-کانی‌زائی مس در محدوده رباعی

واحدهای سنگی موجود در بخش کانی‌زایی مرتبط به مس در محدوده اکتشافی رباعی را به دو بخش گدازه (آندزیت‌بازالت، آندزیت و تراکی آندزیت) و پیروکلاستیکی (توف‌برش، توف ماسه‌ای، لیتیک‌توف و آگلومرا) می‌توان تقسیم‌بندی نمود. سنگ میزبان اصلی تمرکزکانی‌زایی مس در این منطقه آندزیت‌بازالت، آندزیت و توف‌برش است. شکل‌های (۴-۱۵، الف و ب) ستون چینه‌شناسی و مقطع عرضی واحدهای سنگی موجود در محدوده اکتشافی رباعی را نشان می‌دهند. کانی‌زائی مس در محدوده رباعی در دو بخش (۳ و ۴) رخ داده است که بیشترین ذخیره ماده معدنی را در منطقه دارد. میزان ذخیره قطعی بخش ۳ کانی‌زائی حدوداً ۴۳۷ هزار تن کانسنگ مس با عیار میانگین ۰/۸۳ درصد و ذخیره احتمالی ۶۰۰ هزار تن مس با عیار ۰/۸۰ درصد را دارا می‌باشد (شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۵). با توجه به این که بیشترین ذخیره ماده معدنی مربوط به این بخش می‌شود، حفاری‌ها و ترانشه‌های مختلفی در این قسمت توسط شرکت کاوشگران بین‌الملل صورت گرفته بود که رگه‌ها رخنمون‌های خوبی داشت ما توانستیم شیب، امتداد، زاویه شیب و ضخامت تعدادی از رگه‌های کانه‌دار را اندازه‌گیری کنیم (شکل ۴-۱۶). همچنین پس از اندازه‌گیری شیب، امتداد و زاویه شیب رگه‌ها، توسط نرم‌افزار Georient نمودار رزیدیاگرام رسم شد که غالب رگه‌ها دارای شیب بین ۶۰ الی ۸۰ یا بالای ۸۰ درجه و با روند شمالی شرقی - جنوب غربی می‌باشد و تعداد کمی روند شمال غربی - جنوب شرقی یا شمالی - جنوبی دارند (شکل ۴-۱۶، ب). بخش ۳ کانی‌زایی در محدوده اکتشافی رباعی یک باند تقریباً ۱۲۰ متری است که رگه‌های کانه‌دار از چند سانتی‌متر تا ۷ و ۸ متر متغیر می‌باشد و تعدادی از این رگه‌ها در شکل (۴-۱۶) نشان داده شده است. شیب و روند رگه‌های حاوی ماده معدنی در محدوده رباعی همچنین کانسارهای پلی‌متال طلا، سرب و روی چشمه حافظ (Mehrabi et al., 2012)، طلای گندی، باغو و مس چاه موسی (کی‌نژاد، ۱۳۸۹)، مس چاه گله (طالع‌ماسوله و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار پلی‌متال مس، سرب و روی قله کفتران (موسوی‌نقابی، ۱۳۸۸) و همچنین تعداد زیادی از کانسارهای دیگر با گسل طرود و انجیلو هم‌خوانی دارند و نشان می‌دهد که کنترل‌کننده اصلی کانه‌زائی در

منطقه این دو گسل اصلی می‌باشد. بخش ۴ از لحاظ سنگ‌شناختی توف‌برش و برش‌های هیدروترمالی همراه با واحد آندزی‌بازالتی و آندزیتی می‌باشد که حاوی رگه-رگچه‌های سیلیسی و کربناتی است. کانی‌زائی‌ها در این بخش بیشتر بصورت فاز سولفیدی (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت و کوولیت) در سطح زمین رخنمون دارند. با توجه به نمونه‌های مطالعه شده از بخش ۴ کانی‌زائی نشان می‌دهد که طلا در این قسمت حضور دارد.



شکل ۴-۱۵- الف- ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی منطقه مورد مطالعه و موقعیت رخداد کانی‌زائی‌ها در آن ب- مقطع عرضی از واحدهای سنگی در منطقه مورد مطالعه و نمایش محل رخداد کانی‌زایی (راهنمای پروفیل براساس قسمت الف همین شکل می‌باشد).



شکل ۴-۱۶- الف- نمایی از روند رگه‌های معدنی و همچنین نمایش موقعیت گمانه‌های حفاری در بخش ۳ کانی‌زائی در محدوده رباعی ب- نمودار رزدیگرام برای رگه‌های معدنی در بخش ۳ کانسار که نشانگر روند غالب شمال شرقی- جنوب غربی است، پ، ت و ث - تصویر تعدادی از رگه‌های کانهدار به ترتیب دارای ضخامت‌های ۱۲۰ سانتی‌متر (دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی)، ۷۰ سانتی‌متر (روند شمال شرق- جنوب غرب) و ۱ متری (روند شمال شرق- جنوب غرب) است.

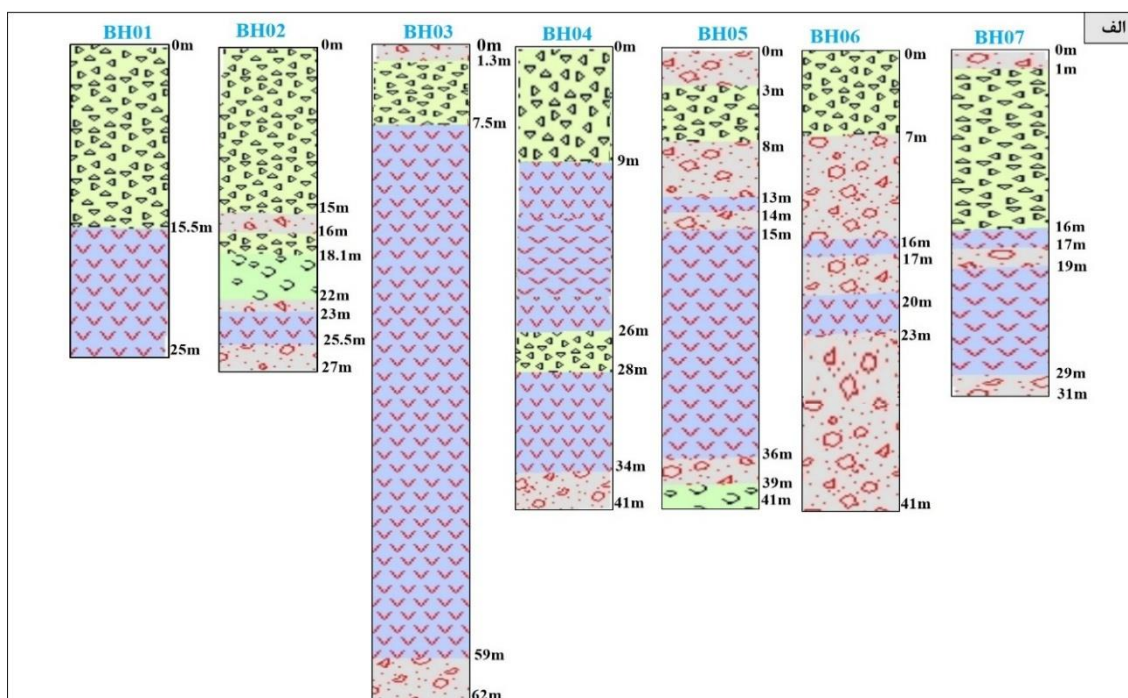
۴-۳-۲-۱-انجام لاگینگ و مطالعات مغزه‌های حفاری

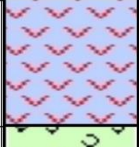
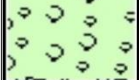
در بخش ۳ کانی‌زائی منطقه مورد مطالعاتی ۱۷ ترانشه و تعداد ۷ گمانه به متراژ کلی ۲۶۶ متر بصورت قائم و مایل حفاری گردیده است که موقعیت، عمق، شیب و امتداد هر یک از این گمانه‌ها در جدول (۴-۳) مشخص شده است. مغزه‌ها پس از حفاری مورد مطالعه سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی قرار گرفت. در این مطالعات در فواصل یک متر به یک متر، تشخیص و تفکیک واحدهای سنگی (نوع سنگ میزبان)، نوع دگرسانی و شدت آن‌ها، کانی‌های اصلی ماده معدنی، کانی‌های فرعی و باطله‌ها، ساخت و بافت ماده معدنی بطور دقیق مورد بررسی گرفت (شکل ۴-۱۱). مغزه‌های حفاری شده در محدوده

رباعی از لحاظ سنگ‌شناسی تقریباً تا عمق‌های ۱۰ و ۱۵ متری توف‌برش و توف آندزیتی هستند و کانی‌زائی‌ها بیشتر اکسیدی (مالاکیت، اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن) و مقادیر بسیار کمی سولفیدی (کالکوسیت، پیریت و کالکوپیریت) است. سنگ میزبان کانسار از عمق‌های بالاتر از ۱۰ و ۱۵ متری معمولاً آندزیت بازالت خاکستری رنگ و گاهاً رنگ متمایل به سبز با بافت آمیگدال می‌باشد. کانی‌های اصلی ماده معدنی در این قسمت‌ها سولفیدی (کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت) و غالباً بصورت رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و دانه پراکنده است. همچنین گمانه‌های حفاری در بعضی از عمق‌ها (معمولاً در عمق‌های نهایی) بدون مغزه یا بیشتر خرد شدگی دارد که مخلوطی از بخش‌های سولفیدی و اکسیدی را نشان می‌دهد (شکل ۴-۱۸).

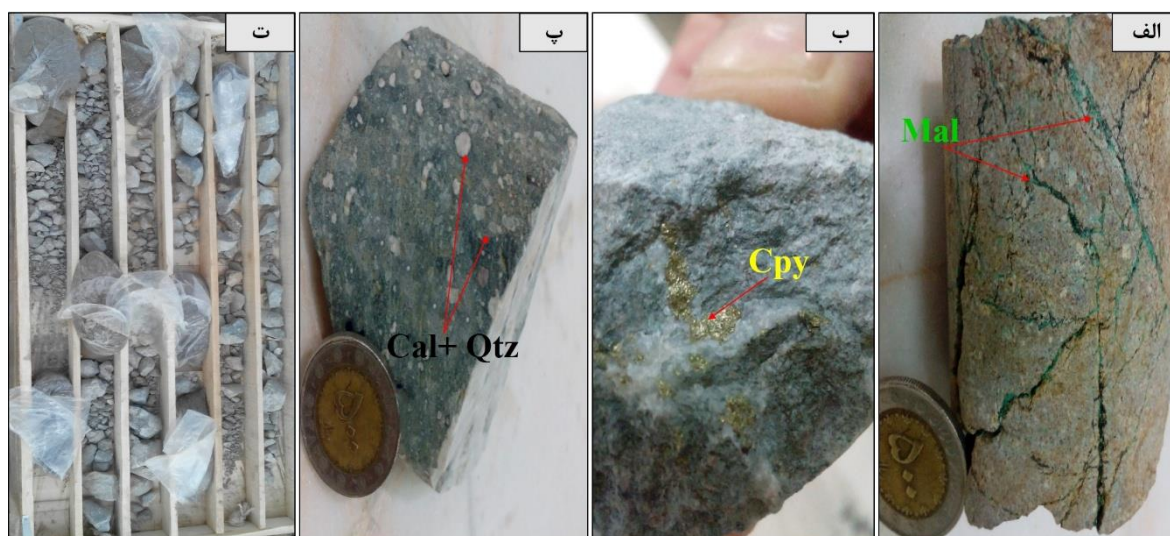
جدول ۴-۳- موقعیت و مشخصات گمانه‌های حفاری شده در محدوده اکتشافی رباعی بخش ۳.

BHID	X	Y	Z	Depth	AT	DIP
BH1	271447	3918359	1698	25	10	75
BH2	271460	3918371	1699	27	0	90
BH3	271457	3918384	1699	60	160	85
BH4	271502	3918349	1704	41	250	80
BH5	271431	3918329	1697	41	260	70
BH6	271285	3918280	1695	41	20	80
BH7	271314	3918310	1693	31	0	90



ب	راه‌نما	سنگ میزبان	دگرسانی	ماده معدنی	باطله و کانی‌های فرعی	ساخت و بافت ماده معدنی	تصاویر تغییرات لیتولوژیکی و کانی‌زایی در عمق‌های مختلف
		توف‌برش، توف آندزیتی	کلریتی، آرزیلیکی، کربناتی، سربستی، هماتیتی و لیمونیتی	مالاکیت، کالکوسیت و مقدار خیلی کمی کالکوپیریت	هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کلسیت، کانیهای رسی و مقدار خیلی کمی پیریت	رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن، جانشینی و کلوفرمی	مراجعه به شکل ۴- قسمت الف
		آندزیت-بازالت	کربناتی، کلریتی، سربستی	کالکوپیریت، بورنیت	پیریت، کلسیت	رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن و دانه پراکنده	مراجعه به شکل ۴- قسمت ب
		آندزیت-بازالت دارای بافت آمیگدال	کلریتی، سربستی	مقدار کمی کالکوپیریت	پیریت، کلسیت، کوارتز	دانه پراکنده	مراجعه به شکل ۴- قسمت پ
		توف برش، توف آندزیتی خرد شده و حفره (Crushed and cave)	کلریتی، آرزیلیکی، کربناتی، سربستی، هماتیتی و لیمونیتی	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت	پیریت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کلسیت و.....	رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن، جانشینی و کلوفرمی	مراجعه به شکل ۴- قسمت ت

شکل ۴-۱۷-الف- نمایش لاگ لیتولوژی گمانه‌ها ب- مشخصات لیتولوژی و کانی‌زایی هر یک از واحدها براساس عمق.



شکل ۴-۱۸- تصاویر تغییرات لیتولوژیکی و شکل کانی‌زایی در عمق‌های مختلف مغزه‌های حفاری: الف- نمونه توف برش دارای کانی‌زایی مالاکیت بصورت رگه - رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی بین دانه‌ای ب- تصویر کانی‌زایی‌های سولفیدی اولیه (کالکوپیریت) در نمونه آندزیت بازالت پ- نمونه آندزیت بازالت با بافت آمیگدال ت- تصویری از قسمت‌های خرد شده در مغزه‌های حفاری.

فصل پنجم

کانی‌شناسی، ساخت، بافت و

توالی پارازنتیک

مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ساده‌ترین، ابتدایی‌ترین، کم‌هزینه‌ترین 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 تشکیل دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده آن کانسار است (Crain and Vaughan, 1994). مطالعه کانی‌های تشکیل دهنده 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، ۷۰ 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 ۷۰ مقطع نازک، ۲۵ مقطع صیقلی و ۱۵ مقطع نازک 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 ۵ نمونه آنالیز به روش پراش اشعه ایکس^۱، در مرکز تحقیقات فرآوری معدنی ایران و نیز ۲ نمونه توسط شرکت کاوشگران بین‌الملل در دانشگاه دامغان انجام گرفت. در این فصل ابتدا کانی‌شناسی کانسار مس رباعی سپس ساخت و بافت و در نهایت توالی پاراژنتیکی کانی‌ها بررسی خواهد شد.

همانطور که در فصل‌های قبل نیز به آن اشاره شد، علاوه بر کانی‌زائی مس یک کانی‌زایی آهن نیز در نزدیکی محدوده مورد مطالعه رخ داده است که در ادامه به طور خلاصه به کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک آن هم پرداخته می‌شود.

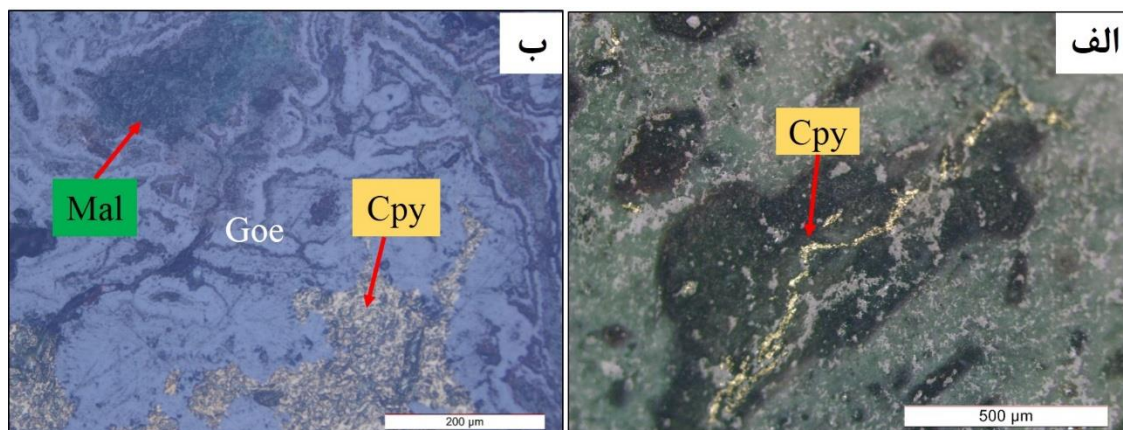
1- X-ray Fluorescence(XRF)

۵-۲-کانی‌شناسی

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

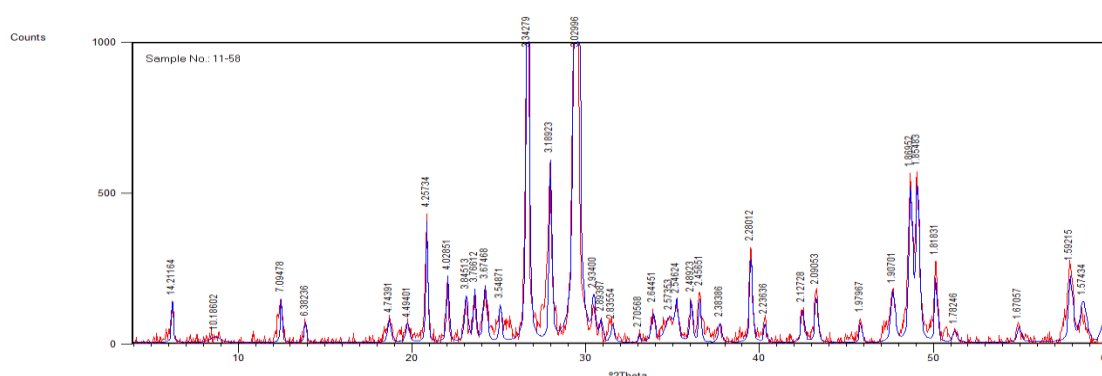
۵-۲-۱-کانی‌های سولفیدی

کالکوپیریت CuFeS_2 : کالکوپیریت در نمونه دستی بصورت رنگ زرد برنجی 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. این کانی در قسمت سطحی کانسار رباعی خیلی کم یافت می‌شود و بیشتر به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (گوتیت)، مالاکیت و یا به دیگر کانی‌های مس‌دار تبدیل شده است (شکل ۵-۱). با توجه به اطلاعات زیر سطحی که از مغزه‌های حفاری بدست آمده از عمق‌های تقریباً ۸ متری به بعد کالکوپیریت‌ها بصورت رگه- رگچه‌ای و سالم یافت می‌شود (شکل ۵-۱). یک نمونه از عمق ۲۲ متری مغزه‌های حفاری BH05 آنالیز XRD انجام داده شد که کالکوپیریت همراه با سایر کانی‌ها شناسایی شده است (شکل ۵-۲).



شکل ۵-۱- الف- تصویر میکروسکوپی کانی کالکوپیریت بصورت رگچه‌ای و بدون دگرسانی (نمونه انتخاب شده از قسمت عمقی کانسار) ب- تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی از کانی کالکوپیریت در حال دگرسانی به گوتیت و مالاکیت (نمونه قسمت سطحی کانسار) کالکوپیریت: Cpy، گوتیت: Gth و مالاکیت: Mal).

Chalcopyrite + Quartz + Albite + Calcite + Chlorite + Muscovite + Orthoclase + Hematite



شکل ۵-۲- نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه‌ای از عمق ۲۲ متری مغزه‌های حفاری BH05 کانسار رباعی.

پیریت FeS_2 : براساس (Craig and vokes, 1993)، پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین بوده و معمولاً فاز کدر سنگ‌ها را تشکیل می‌دهد. پیریت، کانی منطقه‌ی هیپوژن است که در مقاطع میکروسکوپی، بصورت دانه‌های خودشکل تا نیمه خودشکل، پراکنده و دانه ریز و همچنین بصورت رگچه‌ای دیده می‌شود. این کانی در منطقه مورد مطالعه در بخش‌های

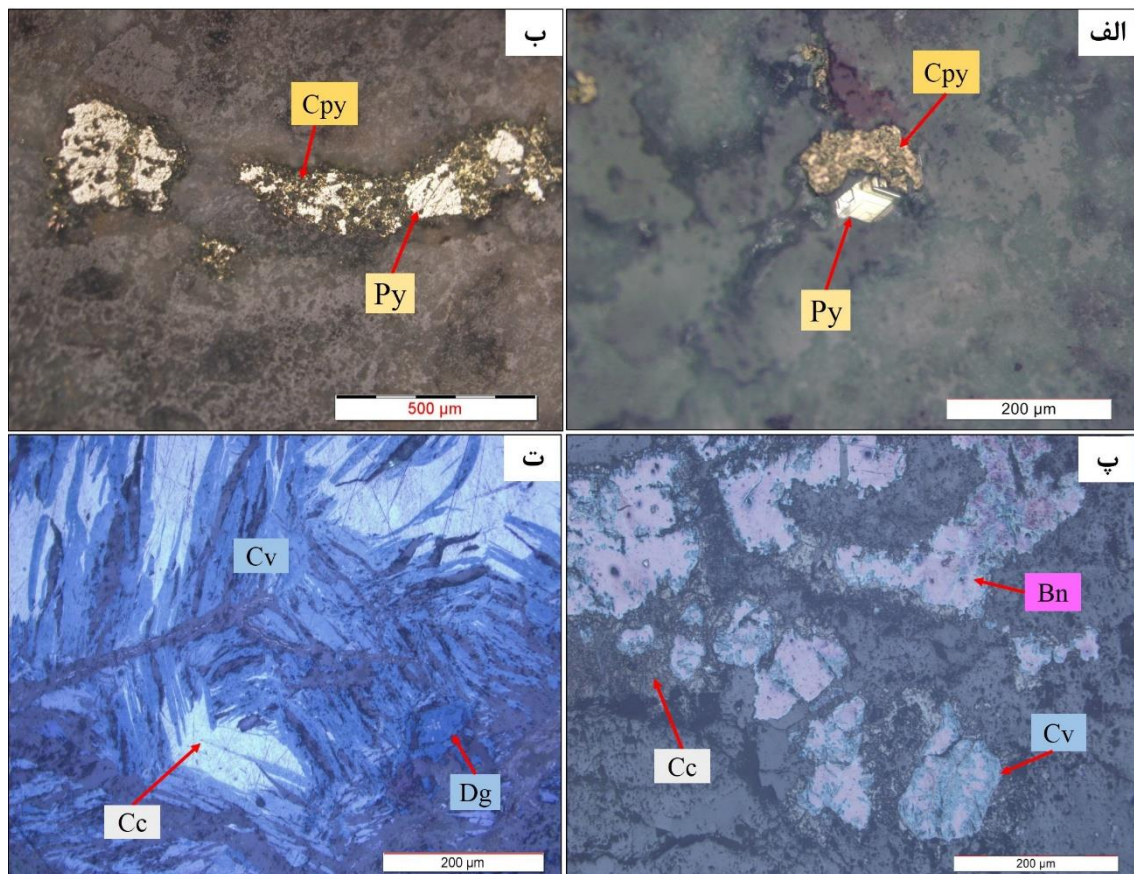
هیپوژن بصورت سالم و در قسمت‌های سوپرژن بیشتر هوازده شده و به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است (شکل ۵-۳ قسمت الف و ب).

بورنیت Cu_5FeS_4 : بورنیت در سطح تازه مسی برنزی است، اما به سرعت هوازده شده و پر رنگ ارغوانی و آبی تبدیل می‌شود. در مقطع صیقلی رنگ ارغوانی و آنیزوتروپی ضعیف از مشخصات خاص بورنیت می‌باشد. بورنیت کانه‌ی معمول بسیاری از کنسارهای واجد مس به خصوص کنسارهای مس پورفیری همراه سنگ‌های کالک آلکالن-آلکالن است که بیشتر به عنوان کانی هیپوژن تشکیل می‌شود و کم‌تر در محیط سوپرژن دیده می‌شود (Marshall et al, 2004). بورنیت در اثر جانشینی به کالکوسیت و کوولیت تبدیل می‌شود (Ramdohr, 1980). این کانی یکی از فراوان‌ترین کانی سولفور در کنسار مس رباعی است (شکل ۵-۳، پ).

کالکوسیت Cu_2S : این کانه در نمونه دستی و سطح تازه بصورت سیاه تا نقره‌ای رنگ مشاهده می‌شود. کالکوسیت در نمونه‌های مورد مطالعه بصورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، دانه پراکنده همراه با بورنیت و جانشینی با کوولیت، دیژنیت و مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۵-۳، پ و ت). از لحاظ محیط تشکیل این کانه بیشتر در کنسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshall et al, 2004).

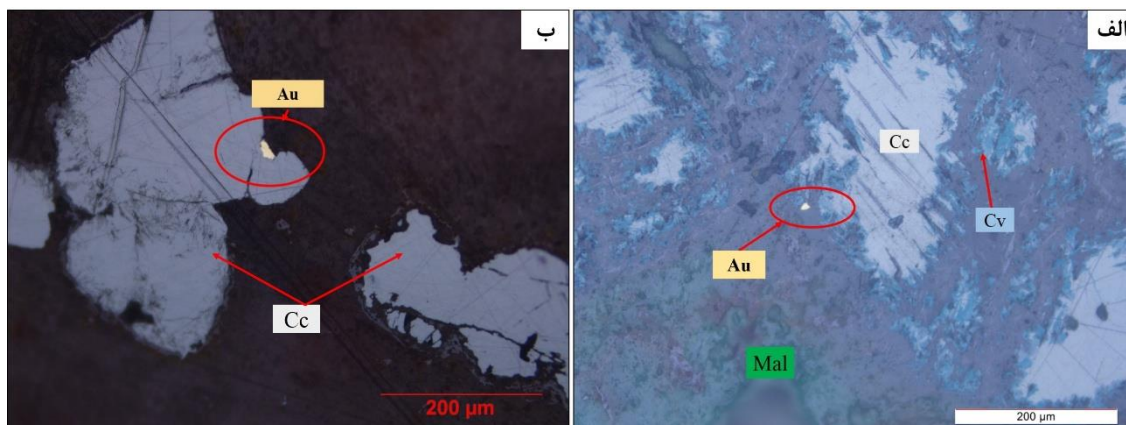
کوولیت CuS : کوولیت یک کانی ثانویه است که در کنسار رباعی از تجزیه سولفیدهای مس نظیر؛ کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت تشکیل شده است و بیشترین گسترش این کانی در بخش‌های هوازده کنسار است. کوولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالا و بافت جانشینی در حاشیه و امتداد شکستگی کانی-های کالکوسیت و بورنیت مشاهده می‌شود (شکل ۵-۳، پ و ت).

دیژنیت Cu_9S_5 : این کانه در مقاطع صیقلی دارای رنگ مایل به آبی، صیقل خوب و انعکاس متوسط دارد که در کانسار مورد مطالعه فراوانی کمی دارد و فقط در بعضی نمونه‌ها همراه با کوولیت دیده می‌شود (شکل ۵-۳، ت).



شکل ۵-۳- الف و ب- تصاویر پیریت و کالکوپیریت سالم و بدون دگرسانی (نمونه عمقی) پ- تصویر میکروسکوپی از کانی بورنیت در حال جانشینی از اطراف و در امتداد شکستگی‌ها به کالکوسیت و کوولیت ت- کالکوسیت جانشینی حاشیه‌ای با کوولیت و کانه دیژنیت همراه با کوولیت (کالکوپیریت: Cpy، پیریت: Py، بورنیت: Bn، کالکوسیت: Cc، دیژنیت: Dg و کوولیت: Cv).

طلا (Au): طلا دارای رنگ زرد و برجستگی بالا در کانسار رباعی با فراوانی بسیار اندک و فقط در یکی از مقاطع صیقلی مشاهده شد. طلا در کانسار مس رباعی معمولاً همراه با کانی‌های کالکوپیریت بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، کوارتز و کلسیت دیده می‌شود (شکل ۵-۴).

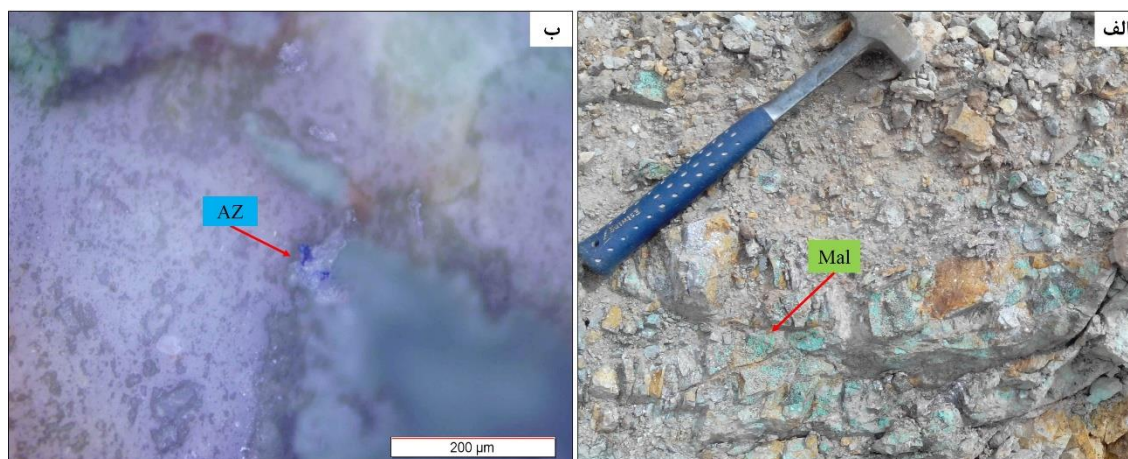


شکل ۴-۵-الف- نمونه دانه ریز طلا مشاهده شده در کانسار مس رباعی همراه با کانی‌های کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت ب-طلا همراه با کانی کالکوسیت (طلا: Au، کوولیت: Cv، کالکوسیت: Cc و مالاکیت: Mal).

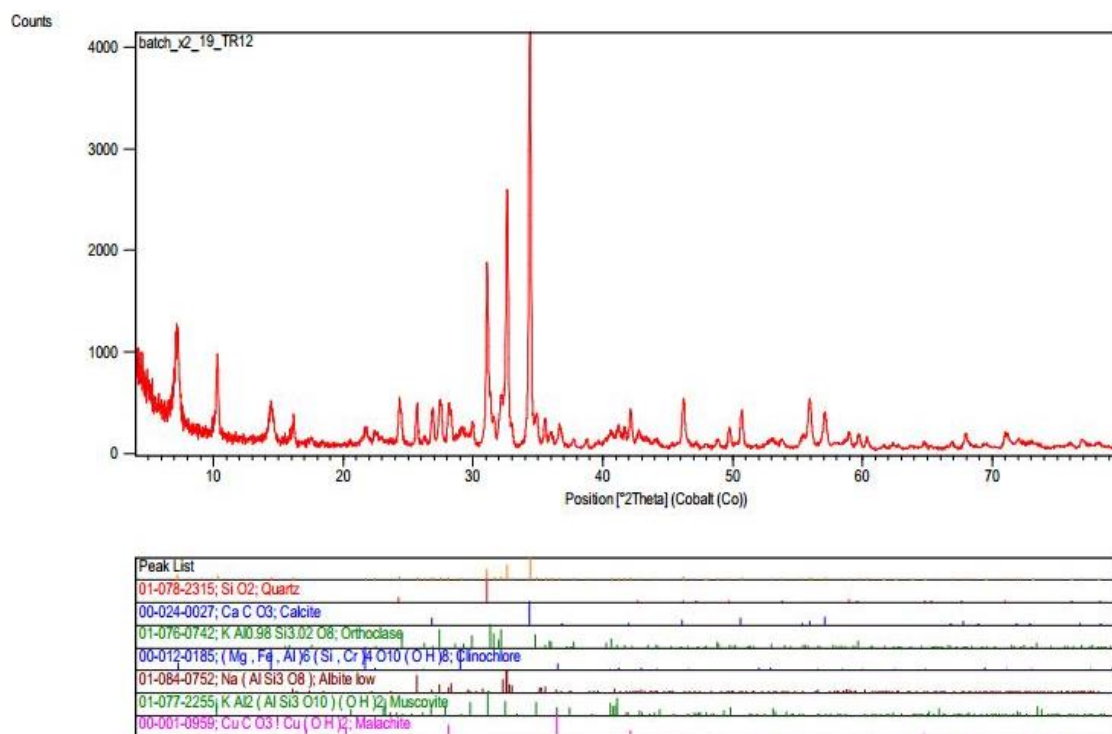
۵-۲-۲-کانی‌های کربناته مس

مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$: مالاکیت یکی از فراوان‌ترین کانی کربناتی مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در نمونه دستی به رنگ سبز دیده می‌شود و در مقاطع نازک رنگ سبز مایل به زرد تند می‌باشد. 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 (شکل ۵-۵، الف). این کانی در آنالیزهای XRD نیز مشخص شده است (شکل ۵-۶). کانی مالاکیت، بطور معمول در پهنه اکسیدان کانسارهای مس رگه‌ای یافت می‌شود و حاوی هیدرواکسید و در رده کربنات‌های مس قرار می‌گیرد (Pirajno, 2009).

آزوریت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$: آزوریت یکی دیگر از کانی‌های کربناتی مس می‌باشد که همراه مالاکیت مشاهده می‌شود و فراوانی کمی دارد (شکل ۵-۵، ب). رنگ آبی لاجوردی و خط اثر آبی و روشن از مشخصات کانه‌ی آزوریت است، در مقطع صیقلی دارای رنگ خاکستری است و آنیزوتروپی قوی دارد. از دیگر مشخصات آزوریت انعکاس داخلی آبی پررنگ است. در نور عبوری چند رنگی قوی از بنفش تا آبی دارد.



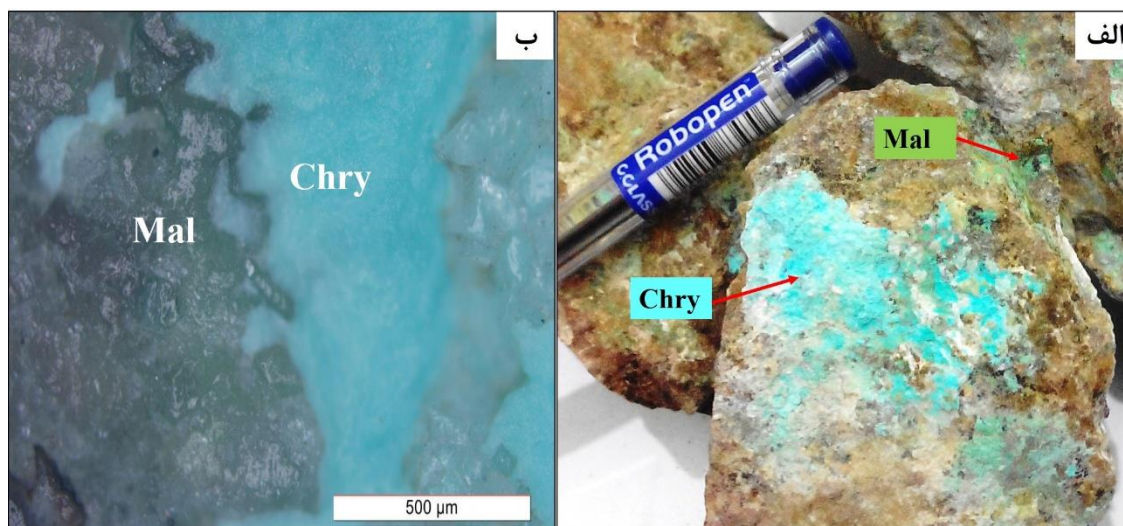
شکل ۵-۵- الف- عکس صحرایی از کانی‌زایی مالاکیت ب- تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی از کانی آزوریت (مالاکیت: Mal و آزوریت: Az).



شکل ۵-۶- نمودار پراش اشعه ایکس و شناسایی کانی‌های کوارتز، کلسیت، ارتوکلاز، کلینوکلر، آلبیت پایین، مسکویت و مالاکیت.

۵-۲-۳- کانی سیلیکاته مس

کریزوکلا $(\text{Cu, Al})_2\text{H}_2\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: کریزوکلا رنگ آبی کم تا سبز- آبی مشخص، خط اثر سفید، شکستگی صدفی و جلای شیشه‌ای تا خاکی دارد که در کانسار رباعی بصورت سطحی و با فراوانی کم در بعضی نمونه‌ها همراه با مالاکیت مشاهده می‌شود (شکل ۵-۷، الف و ب).



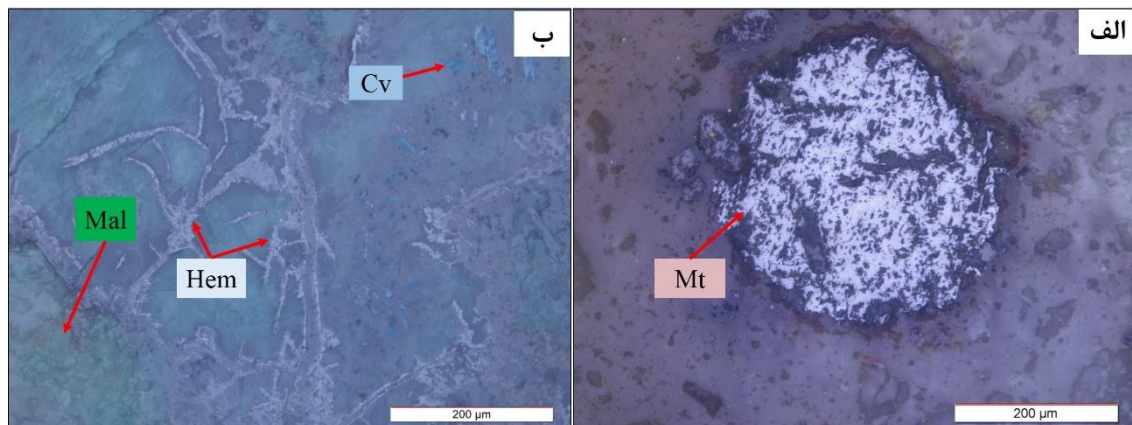
شکل ۵-۷- الف- عکس نمونه دستی از کانی‌های مالاکیت و کریزوکلا ب- تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی کانی‌های مالاکیت و کریزوکلا (مالاکیت: Mal و کریزوکلا: Chry).

۵-۲-۴- کانی‌های اکسیدی و هیدرو اکسیدی

مگنتیت Fe_3O_4 : مگنتیت در مقاطع صیقلی به رنگ خاکستری با ته رنگ متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شود و بازتابش داخلی ندارد. این کانی در کانسار مس رباعی فراوانی خیلی کمی دارد که به علت بالا بودن فوگاسیته اکسیژن به هماتیت تبدیل شده است (شکل ۵-۸، الف).

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 محتمل‌ترین 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

هوازدگی به وجود می‌آید. هماتیت در منطقه مورد مطالعه فراوانی بسیار بالای دارد و در نمونه دستی، مقاطع صیقلی و آنالیزهای XRD مشخص گردیده است. این کانی در بخش سوپرژن کانسارمس رباعی بر اثر هوازدگی کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت تشکیل شده است (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸- الف- تصویر مقطع صیقلی کانی مگنتیت در حال تبدیل به هماتیت (مارتیتی شدن) ب- عکس میکروسکوپی رگه- رگچه‌ای و تیغه‌ای کانی هماتیت و کانی‌های ثانویه سولفیدی (کوولیت) و اکسیدی (مالاکیت) مس.

گوتیت FeO.OH : گوتیت جزو کانی‌های هیدروکسید آهن، رشته‌ای و موازی با محور C می‌باشد (Nesse, 2000). این کانی توسط هوازدگی یا دگرسانی کانی‌های حاوی آهن (از جمله مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و 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 هیدرو اکسیدهای آهن بر جای مانده است. گوتیت در مقاطع میکروسکوپی به وفور یافت می‌شود که از هوازدگی پیریت‌ها و کالکوپیریت‌ها تشکیل شده است (مراجعه به شکل ۵-۱ الف). حضور گوتیت نشانگر نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، اسیدیته کم و میزان سولفید کل پایین است (Sillitoe and Perello, 2005).

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 رباعی دیده می‌شود. در واقع لیمونیت محصول نهایی دگرسانی و هوازدگی اکسیدها و سولفیدهای آهن است.

۵-۲-۵- کانی‌های باطله

فراوان‌ترین کانی‌های باطله کانسار مورد مطالعه شامل؛ کلسیت، دولومیت، کواتز، کانیهای رسی و سایر کانی‌ها می‌باشد که براساس نمونه‌های دستی، مقاطع میکروسکوپی و همچنین آنالیزهای XRD شناسایی شدند.

کلسیت (CaCO_3): کلسیت یکی از فراوان‌ترین کانی باطله‌ی کانسار مس رباعی را تشکیل می‌دهد که بصورت رگه-رگچه‌ی و پرکننده فضای خالی شکل گرفته است. این کانی بصورت اولیه و هم بصورت ثانویه در کانسار مذکور یافت می‌شود.

دولومیت ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$): این کانی یکی دیگر از باطله‌های کانسار است که نسبت به کلسیت فراوانی کمتری دارد.

کوارتز (SiO_2): کوارتز یکی از فراوان‌ترین کانی‌ها است که در اکثر کانسارها به وفور یافت می‌شود و بعنوان باطله در نظر گرفته می‌شود. این کانی در کانسار رباعی نیز بصورت نهان بلور در برش‌های هیدروترمالی و رگچه‌های ثانویه دیده می‌شود

باریت (BaSO_4): باریت در کانسار رباعی فراوانی بسیار کمی دارد و فقط در آنالیز XRD یکی از نمونه‌ها مشخص شده است (مراجعه به جدول ۴-۱ فصل ۴).

کانی‌های رسی: کانی‌های رسی شامل کائولینیت و ایلیت می‌باشد که در آنالیزهای XRD تشخیص داده شدند (مراجعه به فصل ۴).

سایر کانی‌ها: علاوه بر کانی‌هایی که در بالا ذکر شد کانی‌های دیگری شامل؛ آلبیت، ارتوکلاز، سانیدین، مسکویت، کلینوکلر و کلریت توسط نتایج آنالیزهای XRD مشخص شده است (مراجعه به فصل ۴).

۵-۳- ساخت^۱ و بافت^۲ کانیها

مفاهیم واژه‌های ساخت و بافت اغلب در کتاب‌هایی که به زبان‌های مختلف نوشته شده است، متفاوت می‌باشد. در کتاب‌های انگلیسی ساخت به خصوصیتی گفته می‌شود که در بیرون زدگی‌ها قابل مشاهده است و یا خصوصیتی که بطور ماکروسکوپی قابل مشاهده است. بافت به خصوصیتی گفته می‌شود که در زیر میکروسکوپ یا در نمونه‌های دستی دیده می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). در کانسار رباعی ماده معدنی دارای ساخت و بافت‌های متفاوتی است که هر یک از آنها نشان دهنده‌ی شرایط و رخداد حاکم در حین کانی‌زائی و پس آن می‌باشد. لذا در این قسمت به توصیف ساخت و بافت‌های موجود در کانسار رباعی می‌پردازیم.

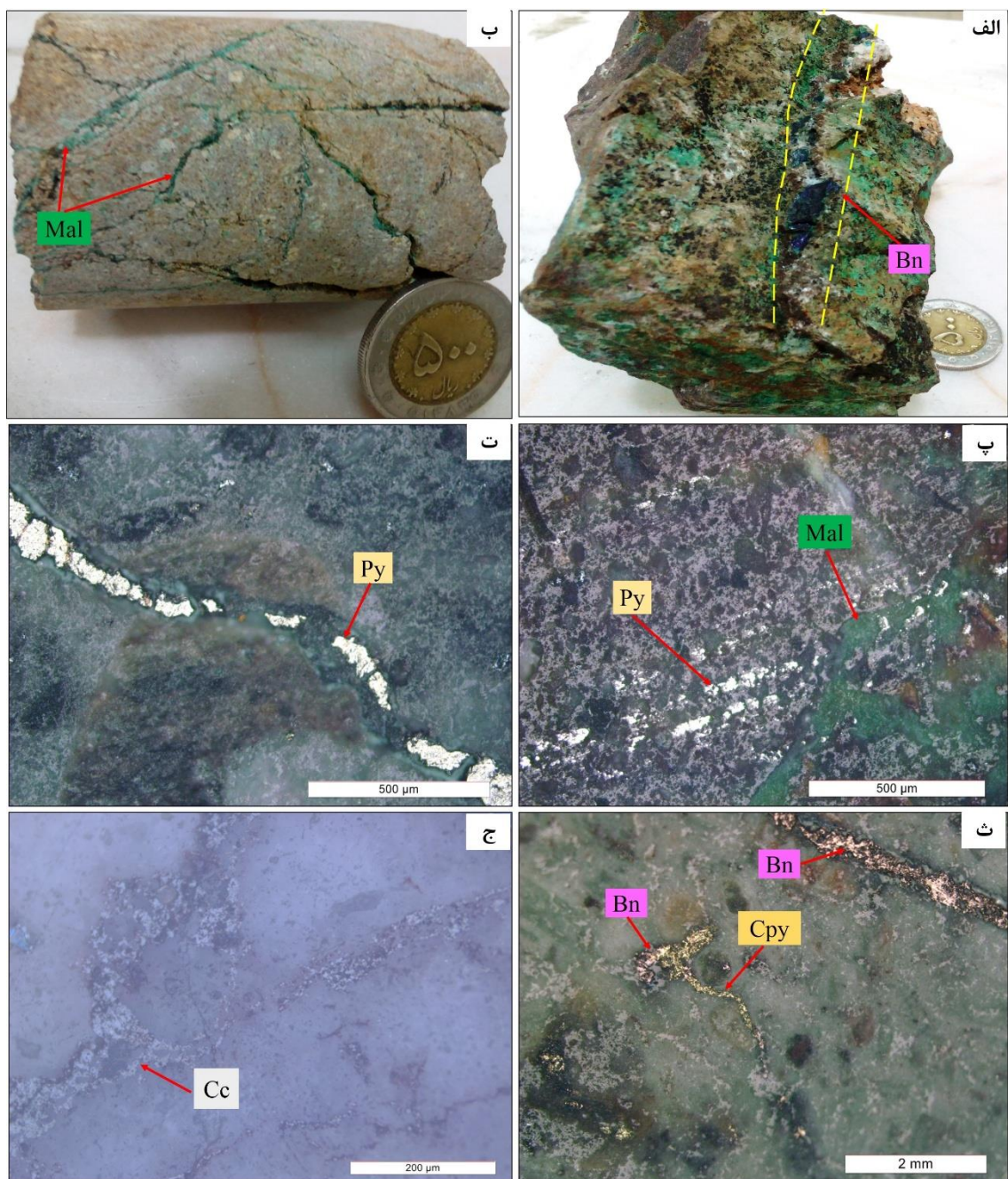
۵-۳-۱- ساخت رگه- رگچه‌ای^۳

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- رگچه‌ای مشاهده می‌شود شامل کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، مالاکیت و کانی‌های باطله مثل کوارتز، کلسیت و اکسیدهای آهن است که در امتداد درزه و شکاف‌ها تشکیل شده است (شکل ۵-۹).

^۱ - Structure

^۲ - Texture

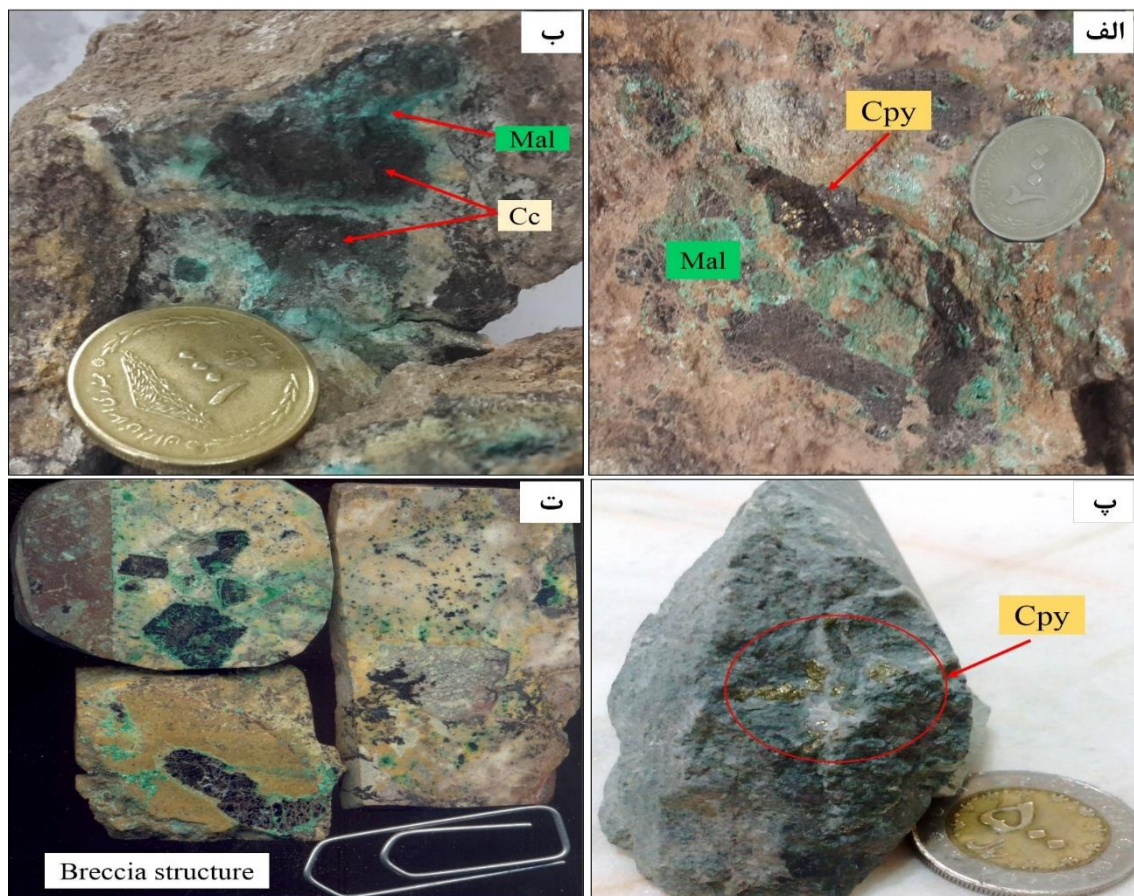
^۳ - Vein- veinlet



شکل ۵-۹- الف- تصویر نمونه دستی از ساخت رگچه‌ای از کانی بورنیت در نمونه توف برش ب- نمونه‌ای از مغزه‌های حفاری دارای ساخت رگه- رگچه‌ای کانی مالاکیت پ- تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی کانی‌های پیریت و مالاکیت با ساخت رگه- رگچه‌ای ت و ث- تصاویر میکروسکوپی مقاطع صیقلی از عمق ۵۳ متری مغزه‌های حفاری دارای کانی- های پیریت، کالکوپیریت و بورنیت با ساخت رگه- رگچه‌ای ج- نمایی از ساخت رگه- رگچه‌ای کانی کالکوسیت.

۵-۳-۲- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی^۱

محلول‌های گرمایی یا ماگمایی هنگام عبور از مجرای گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و یا فضای بین قطعات سنگ‌های آذرآواری، مواد خود را بر جای می‌گذارند، و ساخت و بافت پرکننده فضای خالی را تشکیل می‌دهند (Craig & Vaughan, 1981). این نوع ساخت و بافت در کانسار مس رباعی به وفور یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل کالکوپیریت، کالکوسیت و مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضاهای خالی بین ذرات توف‌ها و سنگ‌های ناشی از انحلال را پر کرده است (شکل ۵-۱۰).

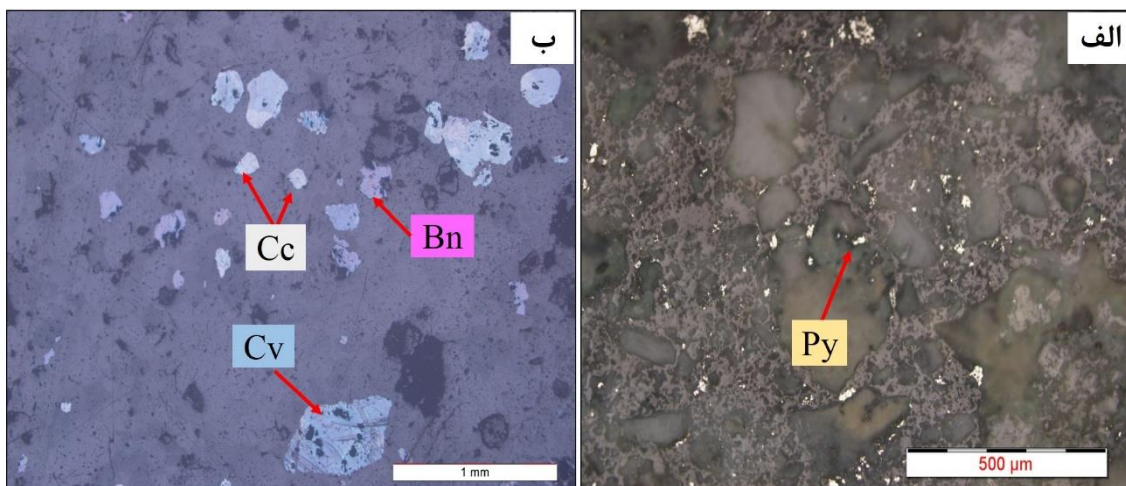


شکل ۵-۱۰- الف- نمایی از ساخت و بافت پرکننده فضای خالی کانی کالکوپیریت از نمونه سطحی و همچنین کانی مالاکیت بصورت پرکننده فضای خالی بین توف‌ها ب- عکس نمونه دستی از کانی کالکوسیت دارای ساخت و بافت پرکننده فضای خالی پ- ساخت پرکننده فضای خالی کانی کالکوپیریت ت- تصویر اسکن شده از نمونه‌های سنگ میزبان ماده معدنی (توف برش‌ها) دارای ساخت برشی و ماده معدنی بصورت پرکننده فضای خالی (کالکوپیریت: Cpy، کالکوسیت: Cc و مالاکیت: Mal).

^۱- Open space filling

۵-۳-۳- بافت دانه پراکنده^۱

بافت دانه پراکنده در قسمت‌های عمقی و در برش‌های هیدروترمالی کانسار مس رباعی بصورت کانی-های پیریت، کالکوپیریت و بورنیت یافت می‌شود که نشان دهنده‌ی تشکیل همزمان کانی‌ها در حین تشکیل سنگ میزبان (سین ژنتیک) می‌باشد (شکل ۵-۱۱). این نوع بافت گاه‌ها در بخش سطحی کانسار همراه با سنگ‌های آذرآواری نیز دیده می‌شود که احتمالاً بصورت انتشار بین دانه‌ی تشکیل شده و حالت اپی ژنتیک دارد.



شکل ۵-۱۱- الف- بافت دانه پراکنده کانی پیریت ب- بافت دانه پراکنده، کانی بورنیت که توسط کانی‌های کالکوسیت و کوولیت جانشین می‌شود (پیریت: Py، بورنیت: Bn، کوولیت: Cv و کالکوسیت: Cc).

۵-۳-۴- بافت جانشینی^۲

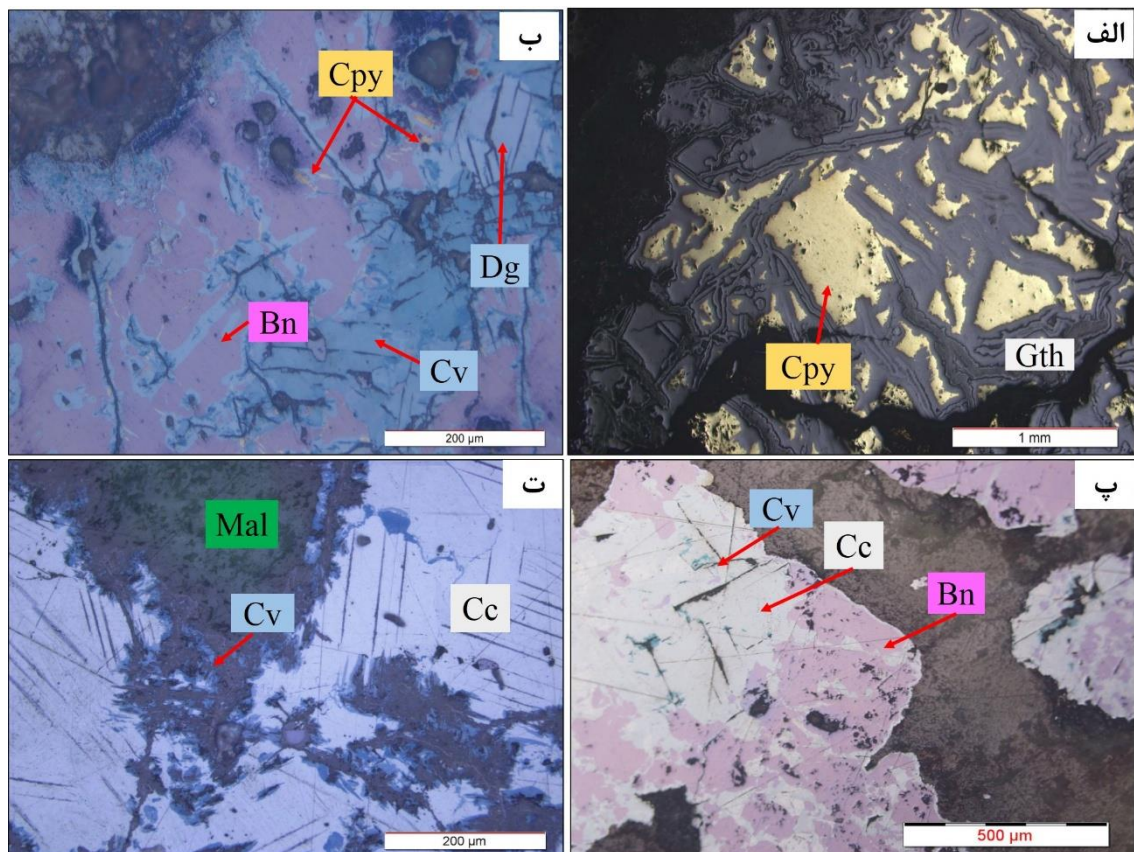
جانشینی فرایندی است که در طی دگرسانی و هوازدگی یک کانی توسط کانی دیگر رخ می‌دهد. بافت جانشینی به زیر مجموعه‌های نظیر؛ بافت جانشینی حاشیه‌ای^۲، جانشینی آتول و جانشینی مارتیتی شدن تقسیم می‌شود. این نوع بافت ممکن است در اثر فرایندهایی نظیر؛ انحلال و رسوب‌گذاری مجدد، اکسیداسیون و انتشار در حالت جامد رخ دهد. در کانسار مس رباعی سولفیدهای فلزی از جمله

^۱- Disseminated

^۲- Replacement

2- Margin

پیریت و کالکوپیریت به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده است. همچنین کانی بورنیت به کالکوسیت و در امتداد شکستگی‌ها و حواشی کانی‌های بورنیت و کالکوسیت با کوولیت جانشینی دارند و در نهایت به مالاکیت تبدیل می‌شوند (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲ - الف - تصویر مقطع صیقلی از بافت جانشینی کالکوپیریت با گوتیت ب - بافت جانشینی در امتداد شکستگی‌های کانی بورنیت با کوولیت و همچنین دارای بافت اکسلوشن کانی بورنیت با کالکوپیریت پ - بافت جانشینی بورنیت با کالکوسیت و در امتداد شکستگی‌ها کالکوسیت به کوولیت ت - جانشینی از حواشی کانی کالکوسیت به کوولیت و همچنین تبدیل کوولیت به مالاکیت را نشان می‌دهد (کالکوپیریت: Cpy، بورنیت: Bn، دیژنیت: Dg، کوولیت: Cv، کالکوسیت: Cc، مالاکیت: Mal و گوتیت: Gth).

۵-۳-۵-بافت اکسلوشن^۱

فرایندی تبدیل یک محلول جامد همگن اولیه به دو یا چند فاز بلورین اکسلوشن گفته می‌شود. کاهش دما موجب ناپایداری محلول جامد و جدا شدن یک فاز از فاز دیگر می‌شود. فاز غالب را فاز میزبان می‌نامند و فاز جدا شده از محلول جامد اولیه را فاز میهمان گویند. این نوع بافت در کانسار مس رباعی بین دو کانی بورنیت و کالکوپیریت دیده می‌شود که فاز غالب را کانی بورنیت تشکیل می‌دهد (مراجعه به شکل ۵-۱۲ قسمت ب).

۵-۳-۶-بافت کاتاکلاستیکی^۲

از آنجا که گسل‌ها در زمان‌های مختلف فعال شده و جابجایی صورت می‌پذیرد، بعضی مواقع حرکات بعدی گسل باعث برشی شدن کانی‌ها می‌شود (Bateman, 1950). گاهی پدیده‌های تکتونیکی نظیر گسل‌ها و چین خوردگی‌ها می‌توانند موجب تغییراتی در بافت و شکل کانی‌ها شوند (کریم پور و سعادت، ۱۳۸۹). این نوع بافت در نمونه‌های مطالعه شده در کانسار رباعی بسیار اندک است فقط در بعضی نمونه‌ها قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۳، الف)

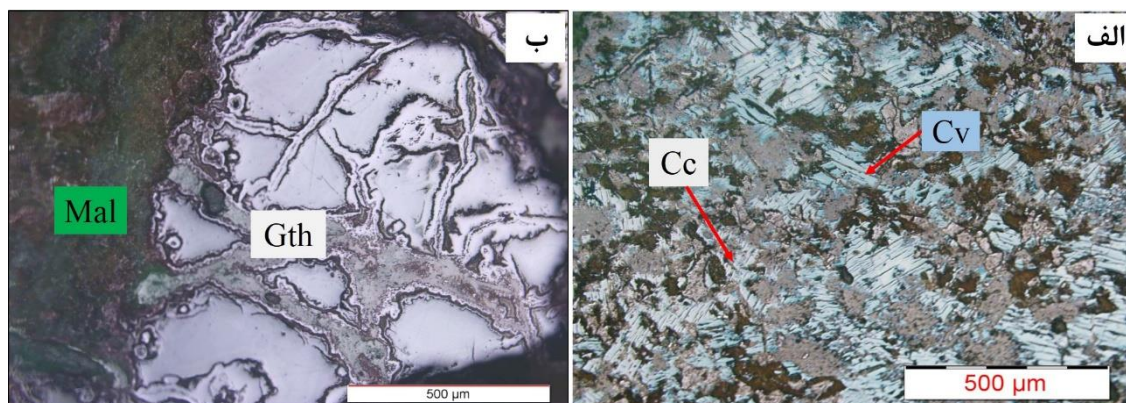
۵-۳-۷-بافت کلوفرمی^۳

این نوع بافت در بخش سطحی کانسار مس رباعی که بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت و کالکوپیریت به گوتیت تبدیل شده‌اند دیده می‌شود (شکل ۵-۱۳، ب).

^۱ - Exsolution

^۲ - Cataclastic

^۳ - Colloform



شکل ۵-۱۳- الف - عکس میکروسکوپی از بافت کاتاکلاستیکی در کانی کالکوسیت ب- بافت کلوفرمی در گوتیت‌های منطقه مورد مطالعه (کولیت: Cv، کالکوسیت: Cc، ملاکیت: Mal و گوتیت: Gth).

۵-۴- توالی پاراژنتیکی

به مجموعه‌ای از کانیها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز^۱ می‌نامند و ترتیب زمانی و مکانی در تشکیل کانه‌ها را توالی پاراژنتیکی^۲ می‌نامند. توالی پاراژنتیک معرف ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است (Bates and Jackson, 1980).

با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و کانی‌شناسی سیر تحول کانی‌سازی (پاراژنز) در کانسار مس رباعی به قرار زیر می‌باشد (جدول ۵-۱).

1- Paragenesis
2- paragenetic sequence

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

Mineral/ Textures			Hypogene	Supergene / Weathering		
				Reduction		Oxidation
			StageI	StageII	StageIII	StageIV
Minerals	Sulfide and Native element	Chalcopyrite Pyrite Bornite Chalcocite Coveline Digenite Gold				
	Carbonate	Malachite Azurite				
	silicateat	Chrysocolla				
	Oxide and Hydroxide	Magnetite Hematite Gththite Limonite				
	gangue	Calcite Dolomite Quartz Clay minerals				
Textures		Disseminated Exolution Replacement Vein- Veinlets Open space filling Cataclastic Colloform				

۵-۵- کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانسار آهن رباعی II

بنا به مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی انجام گرفته بر روی مقاطع صیقلی و نازک صیقلی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی کانسار آهن رباعی II را می‌توان به صورت زیر تقسیم‌بندی نمود:

۵-۵-۱- کانی‌های فلزی آهن‌دار

هماتیت: یکی از کانی‌های اکسید آهن است که در فوگاسیته بالای اکسیژن شکل می‌گیرد. این کانی در سیستم تری‌گوناو 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 شده و مارتیت ایجاد شود. 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. هماتیت در کانسار آهن رباعی بصورت اولیه و بافت تیغه‌ای و نیز بصورت مرز شارپ با بلورهای کوارتز دیده می‌شود که نشانگر هم‌فاز بودن این کانی-ها در کانسار مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۵-۱۴، الف و ب).

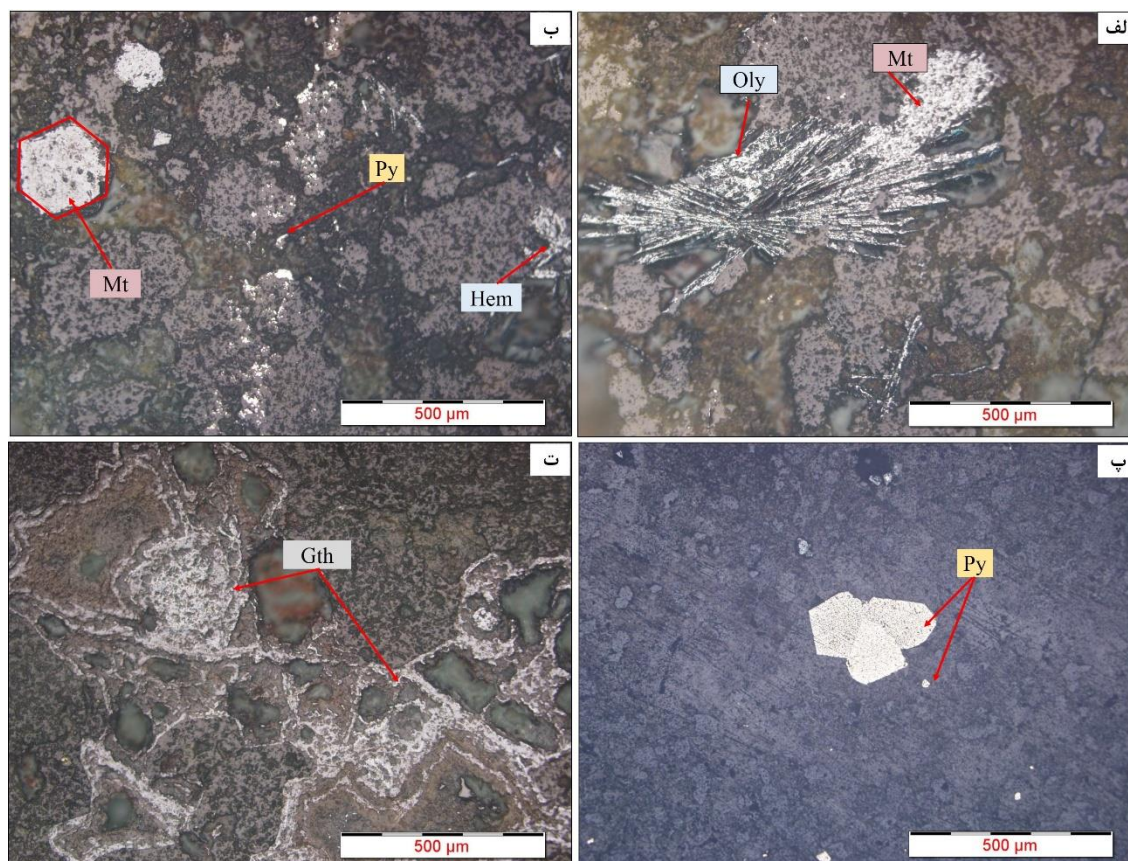
مگنتیت: مگنتیت در مقاطع صیقلی به رنگ خاکستری با ته رنگ متمایل به قهوه‌ای دیده می‌شود. بازتابش داخلی ندارد، معمولاً ماکل تیغه‌ای در آن مشاهده می‌شود. به صورت بلورهای خودشکل و حتی اسکلتی و همچنین انبوهه‌های چند بلوری بی‌وجه یافت می‌شود. با توجه به مطالعه مقاطع صیقلی و نازک صیقلی مشخص شد که مگنتیت در کانسار آهن رباعی II از لحاظ فراوانی بعد از

هماتیت قرار می‌گیرد. این کانی در کانسار مورد مطالعه معمولاً بصورت بلورهای خوش وجه با بافت دانه پراکنده مشاهده می‌شود (شکل ۵-۱۴، الف و ب).

پیریت: پیریت در کانسار آهن رباعی بصورت دانه پراکنده، رگچه‌ای و الحاق سه‌گانه همراه با مگنتیت و هماتیت یافت می‌شود که فراوانی بیشتری دارد (شکل ۵-۱۱، ب و پ). این کانی در بعضی جاها در اثر دگرسانی به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده است و فقط قالبی از این کانی باقی مانده است.

گوتیت: این کانی در کانسار مورد مطالعه توسط هوازدگی و دگرسانی کانی‌های حاوی آهن از جمله مگنتیت، هماتیت، کالکوپیریت و پیریت تشکیل شده است که در مقاطع میکروسکوپی به صورت بافت کلوفرمی (گل کلمی) دیده می‌شود (شکل ۵-۱۴، ت)

لیمونیت: اکسید آهن آبدار به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای می‌باشد که در قسمت‌های اکسیدان و بخش‌های سطحی کانسار دیده می‌شود.



شکل ۵-۱۴- تصاویر کانی‌های آهن‌دار در مقاطع صیقلی و مطالعه با نور انعکاسی: الف- مگنتیت در حال تبدیل به هماتیت (مارتیتی شدن) و هماتیت از نوع الیژیست ب- پیریت با بافت رگچه‌ای و مگنتیت‌های خودشکل چند وجهی و بصورت دانه پراکنده پ- پیریت‌های خودشکل به حالت الحاق سه‌گانه و دانه پراکنده ت- گوتیت با بافت کلوفرمی (الیژیست: Oly، مگنتیت: Mt، هماتیت: Hem، پیریت: Py و گوتیت: Gth).

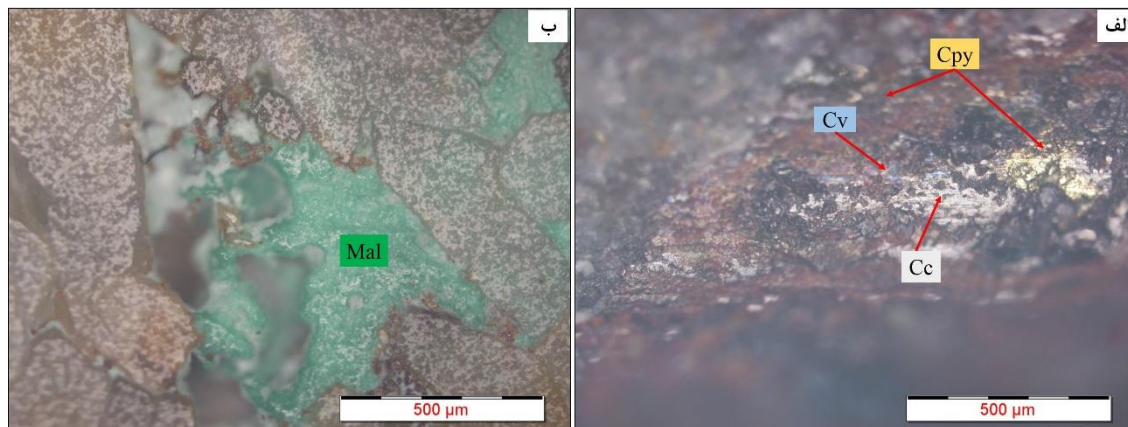
۵-۵-۲- کانی‌های فلزی مس‌دار

کالکوپیریت: این کانی فراوانی نسبتاً کمی در کانسار آهن رباعی دارد و فقط در بعضی نمونه‌ها یافت می‌شود (شکل ۵-۱۵، الف).

کالکوسیت: کالکوسیت در کانسار آهن رباعی از جانشینی کالکوپیریت‌ها تشکیل شده است که در بعضی مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵-۱۵، الف).

کوولیت: کوولیت یکی دیگر از کانی‌های سولفیدی مس در کانسار آهن رباعی است که بصورت جانشینی با کالکوسیت دیده می‌شود و فراوانی اندکی دارد (شکل ۵-۱۵، الف).

مالاکیت: مالاکیت از کانی‌های کربناته مس است که در کانسار مورد مطالعه نسبت به دیگر کانی‌های مس‌دار فراوانی بسیار بالایی دارد که در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی بصورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی قابل مشاهده است (شکل ۵-۱۵، ب).



شکل ۵-۱۵-الف- تصویر میکروسکوپی کانی کالکوپیریت با بافت جانشینی با کالکوسیت، کوولیت و اکسید و هیدرواکسیدهای آهن ب- مالاکیت با بافت پرکننده فضای خالی (کالکوپیریت: Cpy، کالکوسیت: Cc، کوولیت: Cv و مالاکیت: Mal).

طلا: با توجه به مطالعات مقاطع میکروسکوپی در نمونه‌هایی از توده نفوذی نیمه عمیق (ساب ولکان) در کانسار آهن رباعی طلا همراه با کوارتز دیده می‌شود (بادوزاده کانرش، ۱۳۹۰). نمونه‌هایی که از بخش II کانسار آهن رباعی (دور از توده) مورد مطالعه قرار گرفت، طلا در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نبود اما یک نمونه از الیزبست‌های منطقه آنالیز Fire Assay انجام گرفت که ۰/۸۹ پی‌پی‌ام طلا نشان داده است.

۵-۳-۵- باطله‌ها

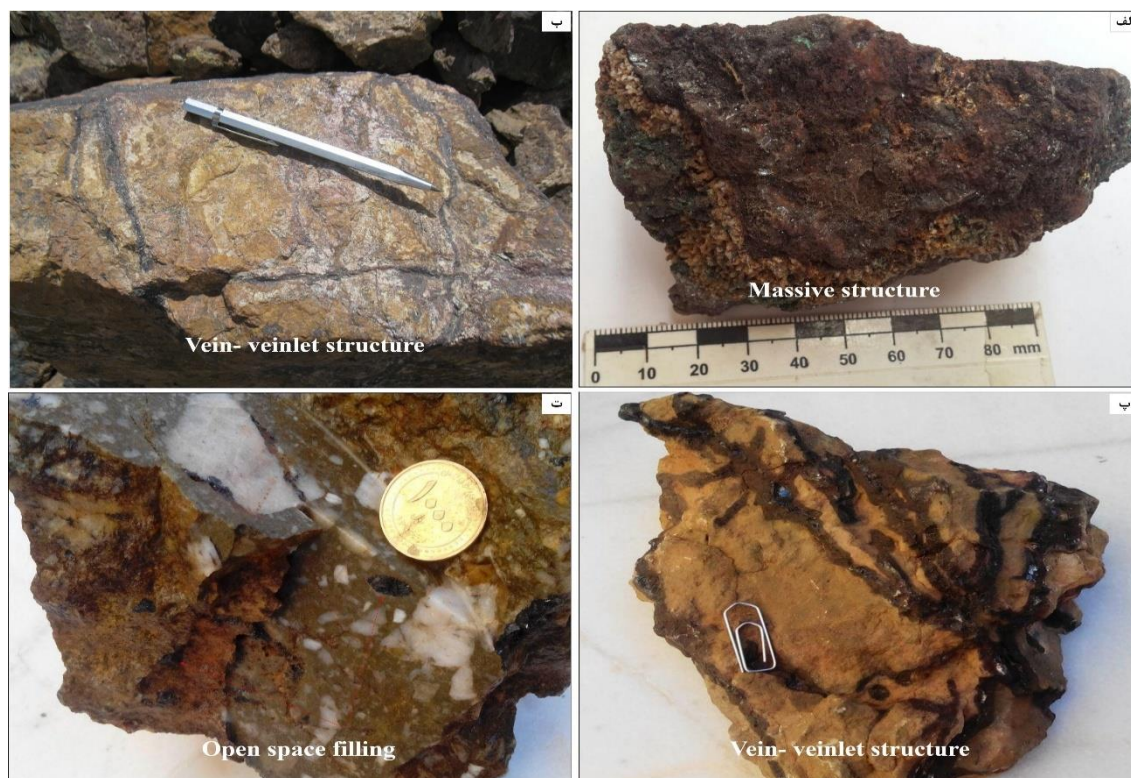
باطله‌های کانسار آهن رباعی شامل کوارتز، کلسیت، دولومیت و... می‌باشد.

۵-۴-۵- ساخت و بافت ماده معدنی در کانسار آهن رباعی

ساخت و بافت‌های تشکیل‌دهنده مواد معدنی در کانسار آهن رباعی در مجاورت ساب‌ولکان-های (داسیتی) معمولاً بصورت توده‌ای، دانه پراکنده و رگه-رگچه‌ای دیده می‌شود. ساخت و بافت مواد

معدنی در بخش II کانسار (دور از توده) بیشتر بصورت رگه-رگچه‌ای-پرکننده فضای خالی، جانشینی و دانه‌پراکنده است (اشکال ۵-۱۴، ۵-۱۵ و ۵-۱۶). با توجه به این که توده تشکیل‌دهنده کانسار آهن رباعی از نوع ساب‌ولکان بوده و از لحاظ حجم و دما پایین بوده است، متاسوماتیسم و دگرگونی مجاورتی ضعیفی در آن رخ داده است. همچنین در این کانسار به دلیل پایین بودن دما کانی‌های تشکیل‌دهنده اسکارنی بیشتر از نوع گروسولار، اپیدوت و کلریت است و کانی‌های دما بالا در آن مشاهده نمی‌شود.

جدول ۵-۲ توالی پراژنتیکی، ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار آهن رباعی II را نشان می‌دهد.



شکل ۵-۱۶- الف - نمونه دستی از ساخت توده‌ای ماده معدنی در مجاورت ساب ولکان (گنبد داسیتی) ب- عکس نمونه دستی از ساخت رگه-رگچه‌ای پ- تصویر نمونه دستی از ساخت رگه-رگچه‌ای در نمونه توف ماسه‌ای ت- توف ماسه‌ای برشی شده حاوی ماده معدنی بصورت شکافه‌پرکن.

جدول ۵-۲- توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در کنسار آهن رباعی II

Mineral/ Textures		Hypogene	Supergene	
		StageI	StageII	StageIII
Iron minerals	Pyrite	████████		
	Magnetite	████████		
	Hematite	████████	████████	
	Specularite			████████
	Gththite			████████
	Limonite			████████
Copper minerals	Chalcopyrite	████████		
	Chalcocite		████████	
	Coveline			████████
	Malachite			████████
Gangue	Calcite	████████	████████	████████
	Dolomite	████████	████████	
	Quartz	████████	████████	
Textures	Disseminated	████████		
	Vein- Veinlets	████████	████████	████████
	Open space filling	████████	████████	████████
	Replacement		████████	████████
	Colloform			████████

فصل ششم

ژئوشیمی

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 فرایندهای مؤثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد (Piercey, 2011). 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 گلداسمیت (۱۹۵۴)، 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، طلا و آهن ذکر و سپس به تفسیر نتایج آنالیزهای انجام شده، پرداخته می‌شود.

۶-۲-ژئوشیمی مس

مس از فلزات پایه و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی مس در پوسته زمین ۵۵ppm می‌باشد. نماد این عنصر Cu، عدد اتمی ۲۹ (دارای آرایش الکترونی $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2$ ، جرم اتمی ۶۴، حالات اکسیداسیونی (۱+ و ۲+) است. مس دارای ایزوتوپ‌های Cu^{63} و Cu^{65} است که فراوانی آنها به ترتیب ۶۹/۱۷٪ و ۳۰/۸۳٪ می‌باشد. از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت

سیدروفیل و کالکوفیل دارد که در ردیف اول فلزات واسطه و در گروه یازدهم جدول تناوبی قرار می-گیرد.

۳-۶- ژئوشیمی طلا

طلا فلزی واسطه است که در گروه ۱۱ جدول تناوبی جای دارد و یکی از کم واکنش‌ترین عناصر جامد در شرایط استاندارد است. طلا یک عنصر سیدروفیل با خاصیت ضعیف کالکوفیلی است. طلا در دماهای پایین، محیط‌های احیایی و PH نزدیک به خنثی بصورت کمپلکس سولفیدی $\text{Au}(\text{HS})^{-2}$ و در دماهای بالا (بیشتر از ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) در محلول‌های اسیدی‌تر و با شوری بالاتر به صورت کمپلکس کلریدی $\text{Au}(\text{Cl})^{-2}$ حمل می‌شود. این عنصر پراکندگی بسیار گسترده‌ای دارد و معمولاً در رگه‌های کوارتزار در سنگ‌های دگرگونی و اسلیتی و یا در ماسه‌ها و آبرفت‌هایی که از تجزیه سنگ‌های دیگر حاصل می‌شود، وجود دارد. طلا معمولاً به نمونه‌های فلزی دیگر مانند پیریت طلادار وابسته است. طلا در درجه اول همراه با کانی‌های نقره و یا به طور مستقل در داخل کوارتز و یا پیریت و غیره از منشاء گرمایی تشکیل می‌شود. مقاومت زیاد آن در مقابل عوامل مختلف مکانیکی و شیمیایی موجب تمرکز آن در پلاسرها می‌گردد.

۴-۶- ژئوشیمی آهن

آهن، عنصر فلزی با نماد Fe عدد اتمی ۲۶ و چگالی 7.8 g/cm^3 است، آهن در گروه ۸ و دوره ۴ عناصر است و بعد از سیلیسیوم و آلومینیوم، سومین فلز فراوان در پوسته زمین است. این عنصر جزء عناصر سیدروفیل بوده و بعضاً خواص کالکوفیل و لیتوفیل نیز از خود نشان می‌دهد. از لحاظ شیمیایی، آهن عنصری فعال است و در هوا با آب سریع اکسیده می‌شود و از لحاظ آرایش الکترونی شبیه کبالت، کروم، منگنز، تیتان و وانادیوم است. آهن، عنصری است که در طول روند تفریق ماگمایی به صورت کانه‌های گوناگون متبلور می‌شود. در طبیعت معمولاً بصورت دو حالت اکسیداسیون (Fe^{+2} و

Fe^{+3} یافت می‌شود. این عنصر در شرایط احیایی، متحرک بوده و تحت شرایط اکسیداسیون رسوب می‌کند و حمل آن معمولاً در سیالات به صورت کمپلکس‌های کلریدی و کلوئیدی انجام می‌شود.

۶-۵- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

به منظور شناسایی عناصر اصلی سنگ میزبان و چگونگی رخداد فرآیند کانه‌زایی در کانسار مس رباعی، طی چند مرحله بازدید صحرایی تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ ماده معدنی با مختصات جغرافیایی و بر مبنای تنوع و تغییرات لیتولوژیکی جمع‌آوری شد. پس از مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۲۱ نمونه جهت آنالیز XRF و ۴ نمونه ICP-OES، ۱۲ نمونه ICP-MS، ۴ نمونه Fire Assay، ۱ نمونه الکترون پروپ EPMA و ۲ نمونه مطالعه سیالات درگیر در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات و فراورده‌های معدنی ایران با حمایت مالی شرکت ایمیدرو، شرکت مطالعات مواد معدنی زراآزما (ZARAZMA) و آکادمی علوم چین (Chinese Academy of Sciences (CAS) انجام گرفت. علاوه بر نمونه‌های فوق الذکر، تعداد ۴۴ نمونه آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف مغزه-های حفاری توسط شرکت کاوشگران بین‌الملل در آزمایشگاه تحقیقات کانی‌شناسی و زمین‌شناسی کانپژوه انجام گرفت و سپس نتایج به دست آمده در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. برای مشاهده جدول آنالیزها به پیوست شماره ۱، ۲ و ۳ مراجعه گردد.

۶-۶- ژئوشیمی سنگ‌های ساب‌ولکانیک، آتشفشانی و آذرآواری

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

یکی از سودمندترین روش‌های طبقه‌بندی شیمیایی، استفاده از نمودارهای طبقه‌بندی مجموعه آلکالی ($Na_2O + K_2O$) در مقابل سیلیس (SiO_2) است. چنین نمودارهایی بوسیله ی لوپاس^۱ و

1-Le Bas

همکاران (۱۹۸۶)، میدلموست^۱ (۱۹۹۴) و غیره ارائه شده‌اند. تفاوت این نمودارها در نحوه‌ی مرزبندی میدانهای مختلف می‌باشد.

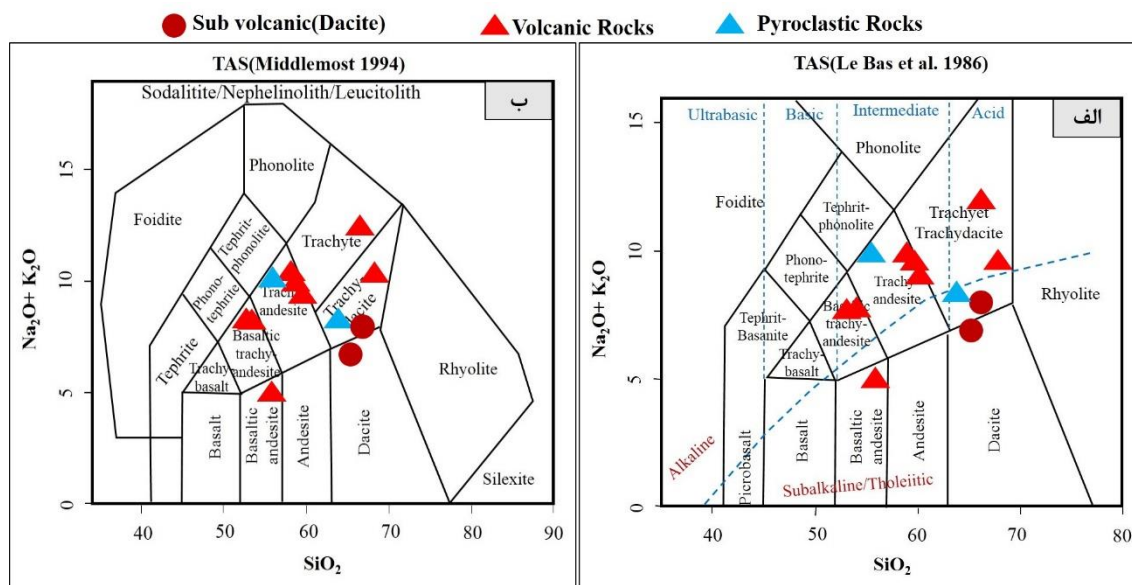
۶-۱-۶-۱- نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Le Bas et al, 1986)

در نمودار لوباس و همکاران، مجموع درصد وزنی $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 ترسیم شده است (شکل ۶-۱، الف). این نمودار با توجه به مقدار SiO_2 به گروه‌های اولترابازیک، بازیک، حدواسط و اسیدی تقسیم شده است. از ویژگی‌های نمودار لوباس و همکاران، وجود خط جدا کننده‌ی محدوده‌ی آکالن از ساب آکالن است. نمونه‌های مورد مطالعه بر روی این نمودار، در محدوده‌ی آندزیت بازالت، بازالت تراکی آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت تراکی- داسیت و داسیت قرار می‌گیرند. بنا به نظر (بادوزاده‌کانراش، ۱۳۹۰)، سنگهای آتشفشانی منطقه رباعی براساس درصد $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 در محدوده تراکی آندزیت قرار می‌گیرند. سنگ میزبان کانسار مس دیان، که در ۵ کیلومتری غرب کانسار رباعی قرار گرفته است، در نمودار (TAS) محدوده بازالت- تراکی آندزیت، تراکی- آندزیت، آندزیت و داسیت را نشان می‌دهند (ناهیدی‌فر، ۱۳۹۳)، که تأییدی بر نتایج این تحقیق می‌باشد.

۶-۱-۶-۲- نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 (Middlemost, 1994)

این نمودار نیز براساس مقادیر $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ترسیم شده است (شکل ۶-۱، ب). با توجه به این نمودار، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده‌ی آندزیت بازالت، بازالت تراکی آندزیت، تراکی آندزیت، تراکیت، تراکی- داسیت و داسیت قرار می‌گیرند و یک سری تفریق از بازالت تا داسیت را نشان می‌دهند.

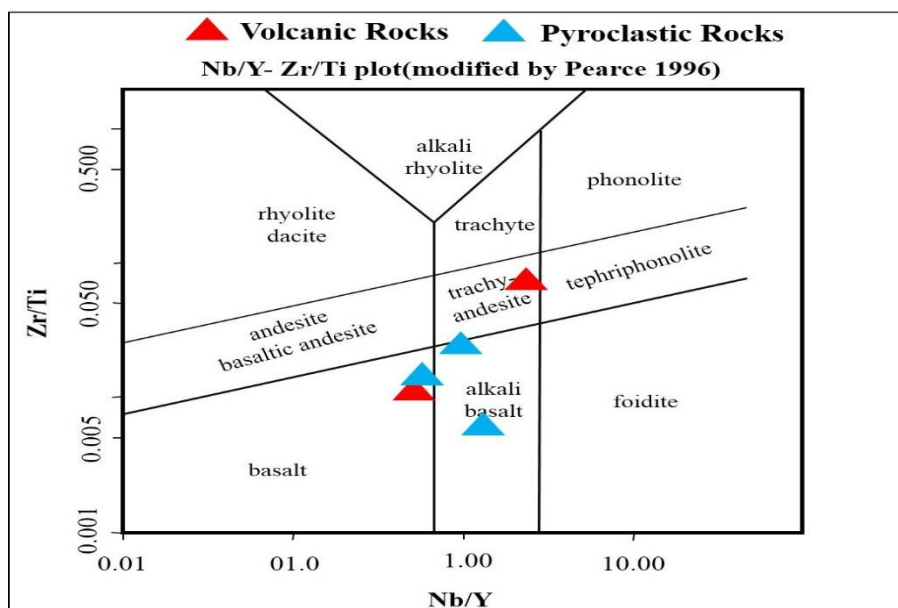
1- Middlemost



شکل ۶-۱- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی، آذرآوری و ساب‌ولکانیک منطقه رباعی الف - در نمودار نسبت $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ در مقابل SiO_2 TAS (Le Bas et al. 1986) ب- بر روی نمودار TAS (Middlemost, 1994).

۶-۱-۳- نمودار نسبت Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996)

این نمودار براساس عناصر نامتحرك (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 نامتحركند، مفیدتر می‌باشد (Manya and et al, 2007). در 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 در بر روی این نمودار در محدوده‌های بازالت، آکالی بازالت و تراکی‌آندزیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲- موقعیت قرارگیری نمونه‌ها بر روی نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y (Pearce, 1996) به منظور نام‌گذاری سنگ‌ها.

۶-۷- 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 خود ماگما نیز 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. سیر تدریجی تغییرات ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی از یک گدازه به گدازه‌ی دیگر نشانه‌ی رابطه‌ی خویشاوندی گدازه‌ها با هم و منشأ گرفتن آنها از یک منبع مشترک می‌باشد (معین وزیری، ۱۳۷۱).

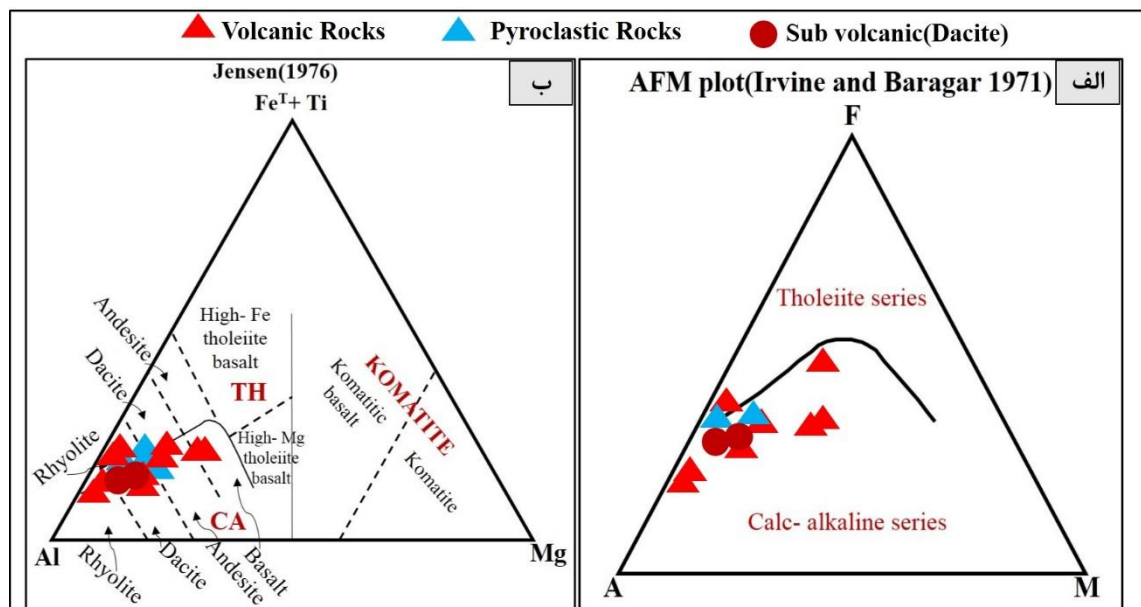
۶-۷-۱- نمودار سه تایی AFM (Irvine and Baragar, 1971)

برای تعیین سری ماگمایی نمونه‌ها از نمودار سه تایی AFM ایروین و باراگار (۱۹۷۱) استفاده شده است (A=Na₂O+K₂O, M= MgO, F= Feo total). در این نمودار اکثر نمونه‌ها در محدوده سری

کالک‌آلکالن و تعداد کمی از آن‌ها در مرز بین سری کالک‌آلکالن و تولییتی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۴، الف).

۶-۷-۲- نمودار سه تایی AFM (Jensen, 1976)

نمودار سه تایی AFM جنسن (۱۹۷۶) براساس آلومینیم، منیزیم و آهن کل به اضافه تیتانیوم تعیین می‌شود ($A=Al$, $M=Mg$, $F=Fe^T+Ti$). در این نمودار نیز اکثر نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سری کالک‌آلکالن و تعدادی از آنها در مرز بین تولییتی و کالک‌آلکالن و در محدوده تولییتی قرار می‌گیرد (شکل ۶-۴، ب).

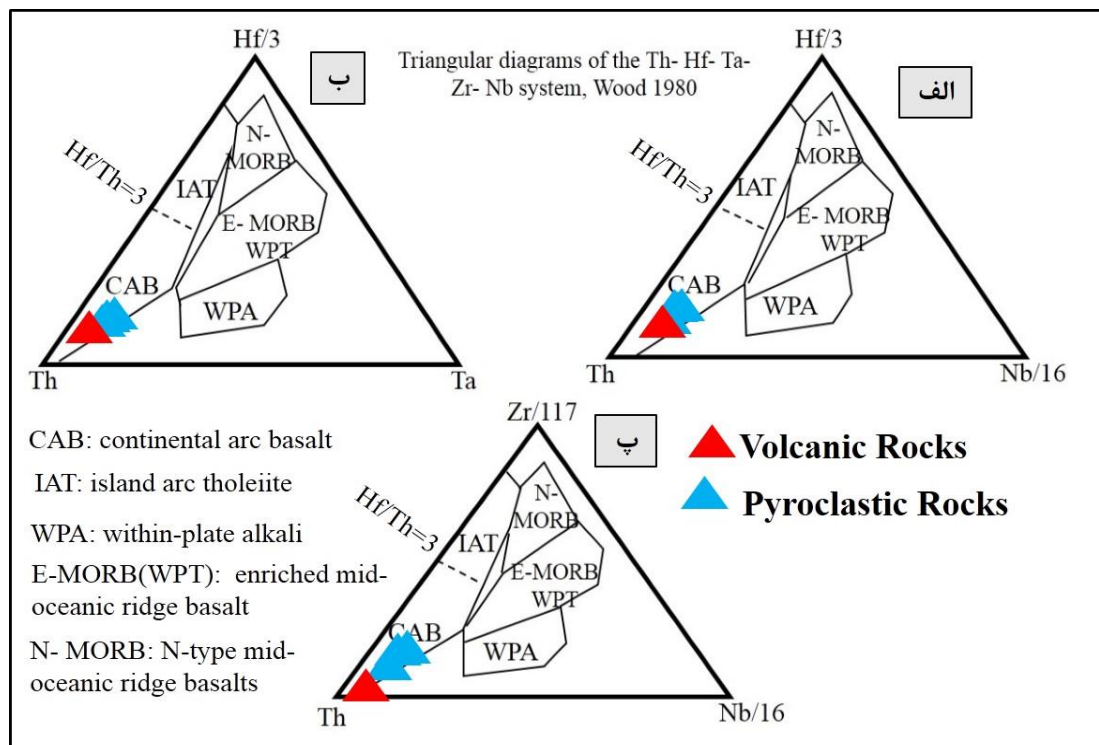


شکل ۶-۴- موقعیت سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری و ساب‌ولکانیک منطقه رباعی: الف- در نمودار سه تایی Al ، Mg و Fe^T+Ti (Jensen, 1976) ب- نمودار (Irvine and Baragar, 1971).

۶-۷-۳- نمودارهای مثلثی Nb, Ta, Hf, Ta, Zr (Wood, 1980)

نمودارهای مثلثی وود (۱۹۸۰) براساس عناصر $(Zr/117-Th-(Nb/16, Hf/3-Th-Ta))$ و $(Hf/3-Th)$ ارائه شده است (شکل ۶-۵). نمونه‌های کانسار مس رباعی در این نمودارها با بازالت‌های کمانی

قاره‌ای (CAB) مطابقت دارد.



شکل ۶-۵- 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).

۶-۸- عناصر نادر خاکی و کمیاب

عناصر نادر خاکی که شامل سری 4f در جدول تناوبی هستند، دارای اعداد اتمی ۵۷ تا ۷۱ است. این گروه از عناصر تحت عنوان لانتانیدها نیز خوانده می‌شوند. برخلاف سایر ردیف‌ها با افزایش عدد اتمی (از La به سوی Lu) شعاع یونی و عدد اتمی کاهش می‌یابد.

عناصر نادر خاکی معمولاً به دو گروه تقسیم می‌شوند (Jones, 1996):

۱- گروه سریم که شامل عناصر La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu می‌باشد، این گروه تحت عنوان عناصر

نادر خاکی سبک نامیده و با علامت اختصاری LREE و یا TRce مشخص می‌شوند.

۲- گروه ایتريوم که شامل عناصر Gd, Tb, Dy, HO, Er, Tm, Yb, Lu بوده که به عناصر نادرخاکی سنگين موسومند و با علامت HREE و يا TR_Y مشخص می‌شوند.

به طور کلی عناصر نادرخاکی در طول فرایندهای 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). برای مطالعه تغییرات عناصر نادرخاکی در منطقه، تعداد ۱۲ نمونه از سنگ درونگیر و کانسنگ ماده معدنی به روش ICP- MS آنالیز گردید که در زیر توضیح داده می‌شود.

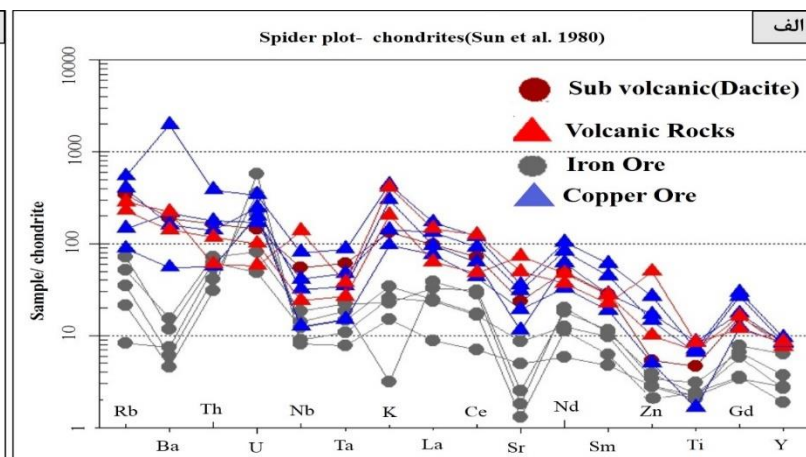
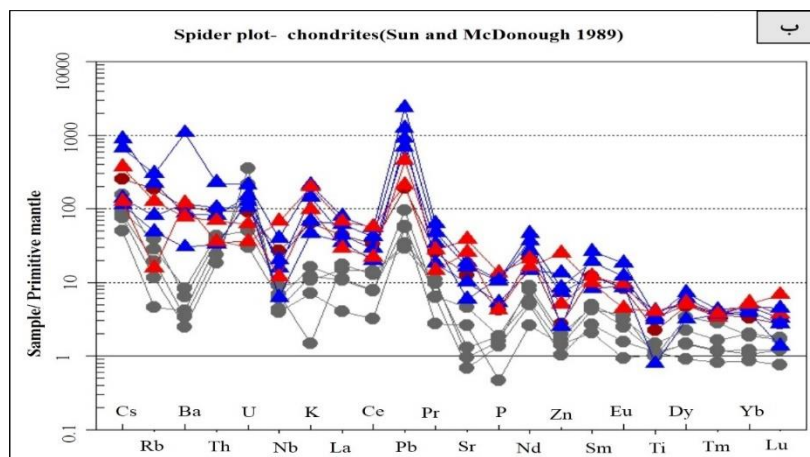
۶-۸-۱- الگوی پراکندگی عناصر نادرخاکی در سنگ‌های درونگیر و کانسنگ ماده معدنی

الگوی پراکندگی عناصر کمیاب و نادر 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 (Nb, Ta, REE and Zr)، کاتیون‌های غیرمتحرک (Ni, V and Ti)، مقادیر نسبتاً بالا از عناصر آلکالن (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 در ساب‌ولکان‌ها و سنگ‌های آتشفشانی رباعی با فراوانی این عناصر در کندریت و گوشته اولیه بهنجار شده (Sun et al., 1980; McDonough and Sun., 1989)، ترسیم شده‌اند. تهی‌شدگی عناصر با پتانسیل یونی بالا مانند P, Ti, Nb, Ta و آنومالی مثبت عنصر K, Pb (شکل ۶-۶، الف و ب) یک جایگاه کمان قاره‌ای مرتبط با فرورائش (Wilson, 1989) را مشخص می‌کند. طبق نمودارهای (McDonough and Sun., 1995; Nakamura, 1974)، الگوی توزیع عناصر نادرخاکی در ساب‌ولکان‌ها و سنگ‌های ولکانیکی محدود اکتشافی رباعی دارای روند نزولی از سمت عناصر نادر خاکی سبک به سمت عناصر نادر خاکی سنگین

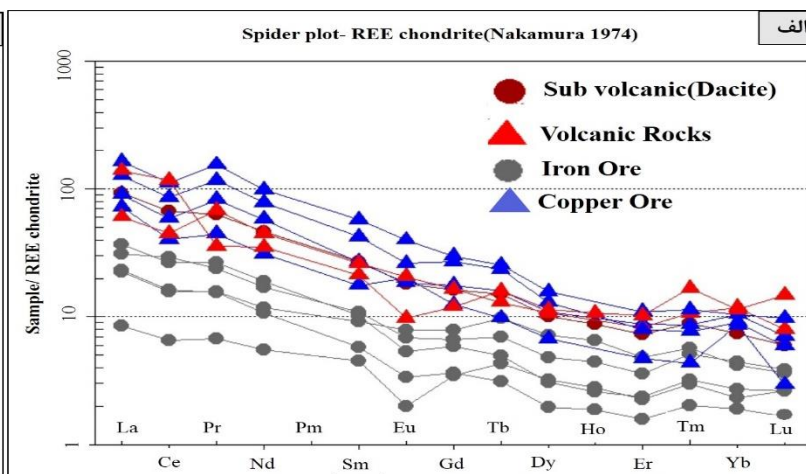
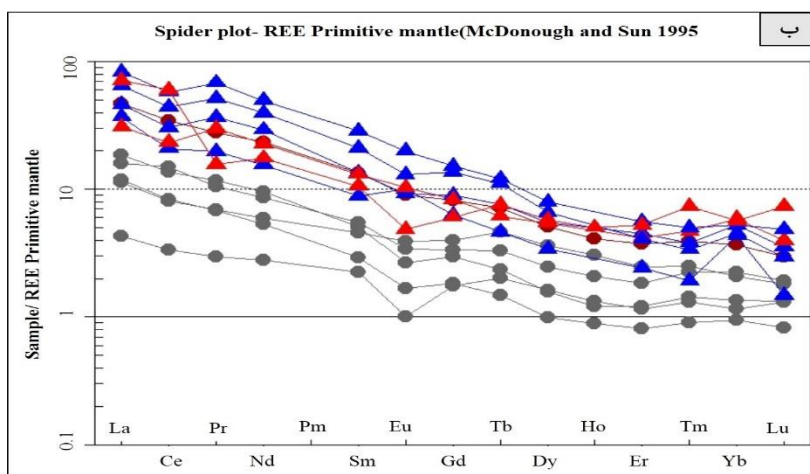
می‌باشد (شکل ۶-۷، الف و ب). این الگو نشان‌دهنده سازگاری ساب‌ولکان‌ها و سنگ‌های ولکانیکی منطقه با سری ماگمایی کالک‌آلکان مرتبط با کمان آتشفشانی است (Muller et al., 1993). غنی‌شدگی ۱۰۰ برابری اورانیوم نسبت به پوسته‌زیرین (Weaver and Tarney, 1984) در نمونه‌های کانسنگ مربوط به کانسار آهن (مس و طلا) رباعی از نکات درخور توجه است (شکل ۶-۸). مطالعات نشان داده است که اورانیوم قابلیت حل شدن فراوانی در سیالات در تعادل با هماتیت را دارد (Komninou and Sverjensky, 1996). نمونه‌های کانسنگ مورد مطالعه مربوط به کانسار مس (طلا) و آهن (مس و طلا) رباعی در نمودارهای عنکبوتی به ترتیب با سنگ‌های ولکانیکی و ساب-ولکانیکی همخوانی دارند که نشان از هم‌منشاء بودن ماده معدنی با این سنگ‌ها است.

۶-۸-۲- تعیین PH سیال براساس ژئوشیمی عناصر کمیاب

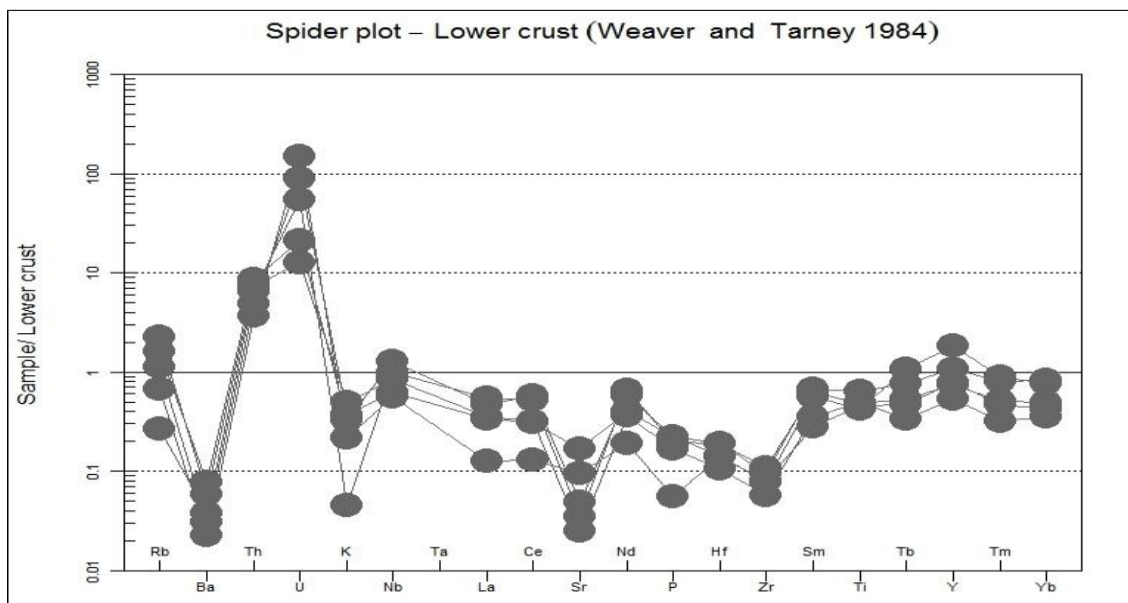
بنا به نظر (Wenlandt, 1997) Ce^{+3} در محیط‌های اسیدی پایداری پایین‌تری از محیط‌های خنثی و قلیایی دارد و با در نظر گرفتن اینکه تقریباً در تمام نمودارهای مربوط به کانسار مس رباعی سریوم تحرک چندانی نداشته است، می‌توان PH خنثی (غیر اسیدی) را برای محلول‌های کانه ساز در نظر گرفت. نسبت بسیار پایین La/Y (کمتر از یک) شرایط اسیدی و (بیشتر از یک) شرایط قلیایی را نشان می‌دهد. این نسبت در نمونه‌های کانسار مس رباعی بین $2/83-1/32$ متغیر می‌باشد که تقریباً شرایط خنثی تا قلیایی را برای سیال نشان می‌دهد. در این شرایط کانه‌ها در دمای ۲۰۰ درجه ته‌نشین می‌شوند. به اعتقاد احیا (۱۳۸۷) آنومالی مثبت Eu در شرایط احیایی ایجاد می‌شود که براساس نمودارهای عنکبوتی (شکل‌های ۶-۶ و ۶-۷) این شرایط در نمونه‌های مورد مطالعه در کانسار مس رباعی حاکم است. بی‌هنجاری مثبت Eu می‌تواند در ارتباط با دگرسانی سریسیتی، کلریتی، افزایش سیلیس و حضور اکسیدهای آهن باشد (Henderson, 1984). Eu شعاع و بار یونی تقریباً مشابه با کلسیم دارد در ساختار پلاژیوکلازها جانشین کلسیم شده و در اثر دگرسانی این کانی آنومالی مثبت نشان می‌دهد.



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



شکل ۶-۷- نمودارهای غنکبوتی عناصر خاکی کمیاب بهنجار شده: الف- نسبت به کندریت و ب- نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995; Nakamura, 1974)



شکل ۶-۸- نمودار چند عنصری در کانسار آهن (مس و طلا) رباعی، بهنجار شده نسبت به پوسته زیرین (Weaver and Tarney, 1984).

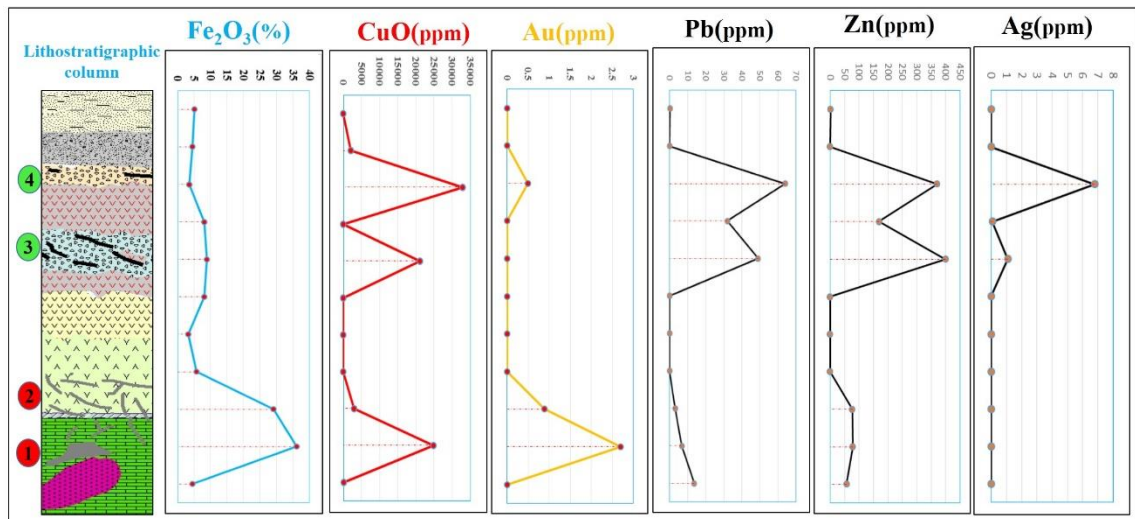
۹-۶- ژئوشیمی کانسنگ

۹-۶-۱- تغییرات برخی عناصر در واحدهای سنگی منطقه رباعی (بر اساس نتایج آنالیز XRF ، ICP-

MS و Fire Assay)

همانطور که در فصل‌های قبلی ذکر شد، واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل سنگ آهک-های کرتاسه پسین، واحدهای آتشفشانی- رسوبی ائوسن، ساب‌ولکان‌های داسیتی ائوسن - الیگوسن و رسوبات کواترنری می‌باشد. شکل (۹-۶) نمودار تغییرات میزان اکسیدهای آهن و مس و عناصر سرب، روی و نقره را در واحدهای مذکور نشان می‌دهد. در این نمودار، بخش ۱ و ۲ مربوط به کانی‌زایی آهن و بخش ۳ و ۴ کانی‌زایی مس در محدوده اکتشافی رباعی می‌باشد. میانگین عیار آهن در بخش ۱ و ۲ به ترتیب ۳۶ و ۲۹ درصد، و در بخش ۳ و ۴ کمتر از ۱۰ درصد است. بیشترین عیار آهن در کانسار آهن رباعی (مس و طلا) تقریباً ۸۳ درصد و کمترین آن ۵ درصد می‌باشد. عیار اکسید مس در بخش ۱ تا ۴ به ترتیب ۲/۵، ۰/۴، ۱/۲ و ۳/۲ درصد است. عیار طلا از بخش ۱ تا ۴ به ترتیب ۲/۷، ۰/۸۹، کمتر

از ۰/۰۱ و ۰/۵ پی‌پی‌ام، سرب ۶/۷۵، ۳/۱۴، ۴۹ و ۶۴ پی‌پی‌ام، روی ۷۷/۹، ۷۶/۲، ۴۰۰ و ۳۷۱ پی‌پی‌ام می‌باشد. همچنین میزان نقره در بخش‌های ۳ و ۴ به ترتیب ۱/۱ و ۶/۸ پی‌پی‌ام مشخص گردیده است.



شکل ۹-۶- نمودار تغییرات میزان عناصر فلزات پایه و آهن در واحدهای سنگی منطقه رباعی (راهنمای واحدهای سنگی همانند شکل ۴-۱۵) می‌باشد.

۶-۹-۲- تغییرات میزان عناصر فلزات پایه و بعضی از عناصر دیگر براساس عمق در مغزه‌های حفاری

گمانه BH01: گمانه BH01 در بلوک اصلی سینه کار اکتشافی شماره ۱ و تا عمق ۲۵ متر حفاری شده است که از عمق ۱ تا ۵ متری کانی‌سازی مس اکسیدی عمدتاً مالاکیت با عیار ۶ درصد و از عمق ۵ متر به بعد روند کاهشی مس (کمتر از ۰/۵ درصد) را نشان می‌دهند. همچنین با کاهش مس نسبت به عمق عناصر دیگری مثل روی و نقره روند نزولی و عناصر گوگرد، آهن و منگنز روند صعودی را نشان می‌دهند. علت افزایش میزان گوگرد، وجود کانی‌های سولفیدی مس و آهن در عمق می‌باشد. افزایش آهن را می‌توان به حضور کانی‌های پیریت و کالکوپیریت در عمق نسبت داد (شکل ۶-۱۰).

گمانه BH02: گمانه BH02 تا عمق ۲۷ متر حفاری شده است که از لحاظ لیتولوژی تا عمق ۱۸ متر توف برش و کانی‌سازی آن بصورت مس اکسیدی می‌باشد. لیتولوژی این گمانه از عمق ۱۸ متر به بعد آندزی‌بازالت است که کانی‌های تشکیل دهنده مس معمولاً بصورت سولفیدی (کالکوپیریت و بورنیت)

است. عیار مس در این گمانه بین ۳/۳ درصد تا ۴۳ پی پی ام متغیر می باشد که بیشترین آن مربوط به عمق صفر تا ده متر می شود. با افزایش عمق عناصر نقره، مس، آنتیموان تقریباً روند کاهشی و گوگرد، آهن، منگنز و استرانسیم روند افزایشی دارند. همچنین عناصر سرب و روی ابتدا روند نزولی و سپس روند صعودی و آرسنیک نیز بصورت ثابت می باشد (شکل ۶-۱۰).

گمانه BH03: این گمانه تا عمق ۶۰ متر حفاری شده است که تا عمق تقریباً ۷ متر توف برش و از عمق ۷ تا ۶۰ متر آندزی بازالیت است. عیار مس در این گمانه بین ۲/۶ درصد تا ۱۱۷ پی پی ام متغیر است که بیشترین آن مربوط به عمق های ۸-۳ متر (۲ درصد) و ۳۲-۲۶ متر (۲/۶ درصد) می باشد. در این گمانه با افزایش مس عناصر نقره، آرسنیک، سرب، گوگرد و استرانسیم روند افزایشی و منگنز تقریباً روند کاهشی را داشته است. آنتیموان تا عمق ۳۲ متری ثابت و از عمق ۳۲ متری به بعد روند صعودی را نشان می دهد (شکل ۶-۱۰).

گمانه BH04: این گمانه ۴۱ متر حفاری شده است که تغییرات عیار مس از ۵۱ پی پی ام تا ۳/۱ درصد متغیر است. بیشترین عیار مس در عمق های بین ۸-۶ و ۲۲-۱۸ متر به ترتیب ۳ و ۳/۱ درصد و کمترین آن در اعماق ۲۸-۳۳ متر با عیار ۵۱ پی پی ام می باشد. بیشترین عیار عناصر نقره و منگنز در اعماق ۲۲-۱۸ به ترتیب ۶ و ۵۵۷۹ پی پی ام و عناصر آرسنیک، سرب و گوگرد در عمق های ۲۸ تا ۳۳ متر با عیارهای ۱۰، ۵۸ و ۰/۹۱ پی پی ام است. آنتیموان در این گمانه با افزایش عمق بطور تدریجی روند کاهشی و عناصر آهن، استرانسیم و روی بطور متناوب روند افزایشی و کاهشی را دارند (شکل ۶-۱۱).

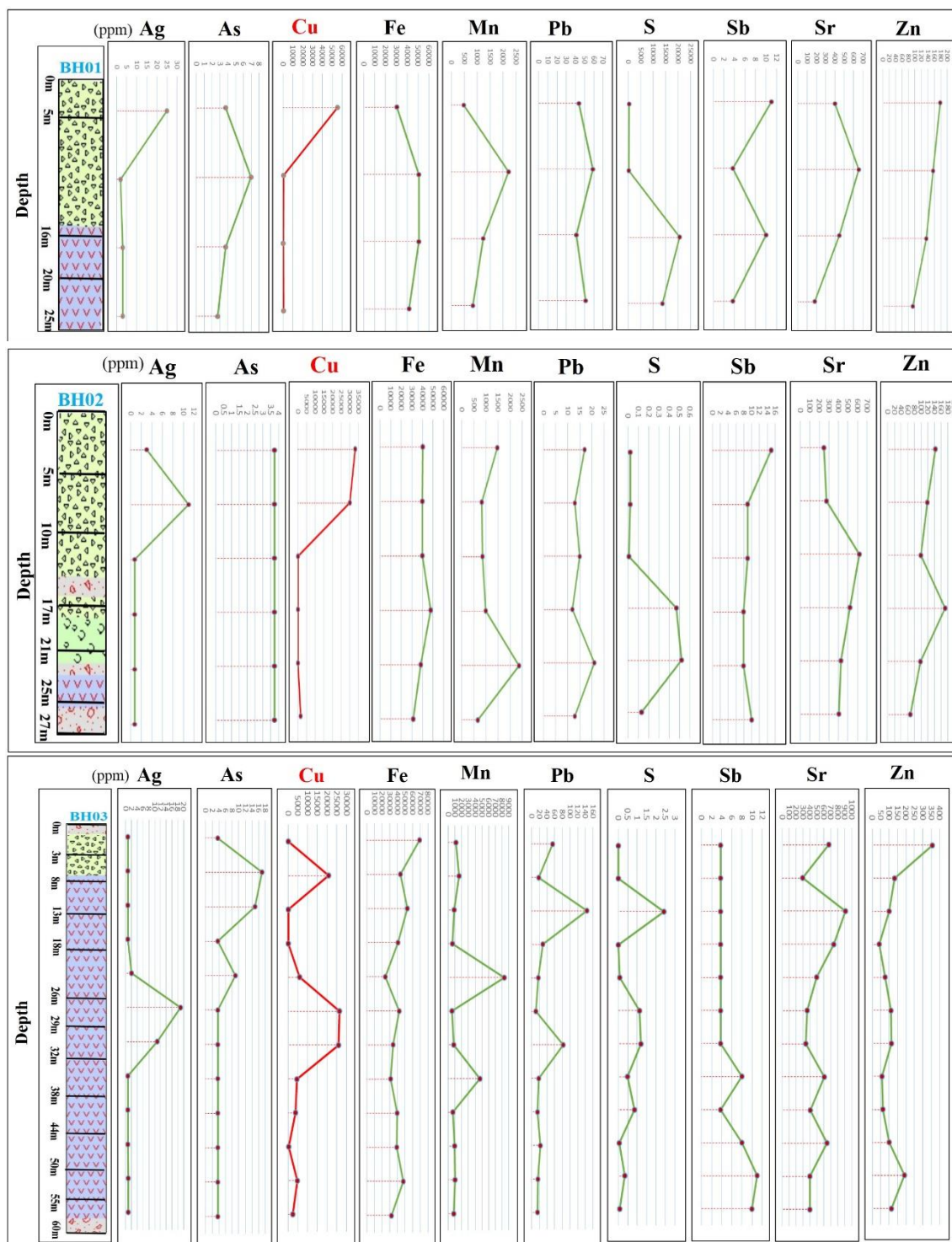
گمانه BH05: عمق این گمانه ۳۶ متر است که تا عمق تقریباً ۱۵ متری به علت دگرسانی شدید حالت خردشدگی و Cutting داشته است. از عمق ۱۵ متری به بعد به دلیل هوازدگی و دگرسانی کم

خردشدگی مغزه‌های حفاری کم بوده است. میزان مس در گمانه BH05 تا عمق ۱۸ متری بالای ۱ درصد و عمق ۱۸ متری به بعد میزان آن بسیار پایین و در حد پی‌پی‌ام است (شکل ۶-۱۱).

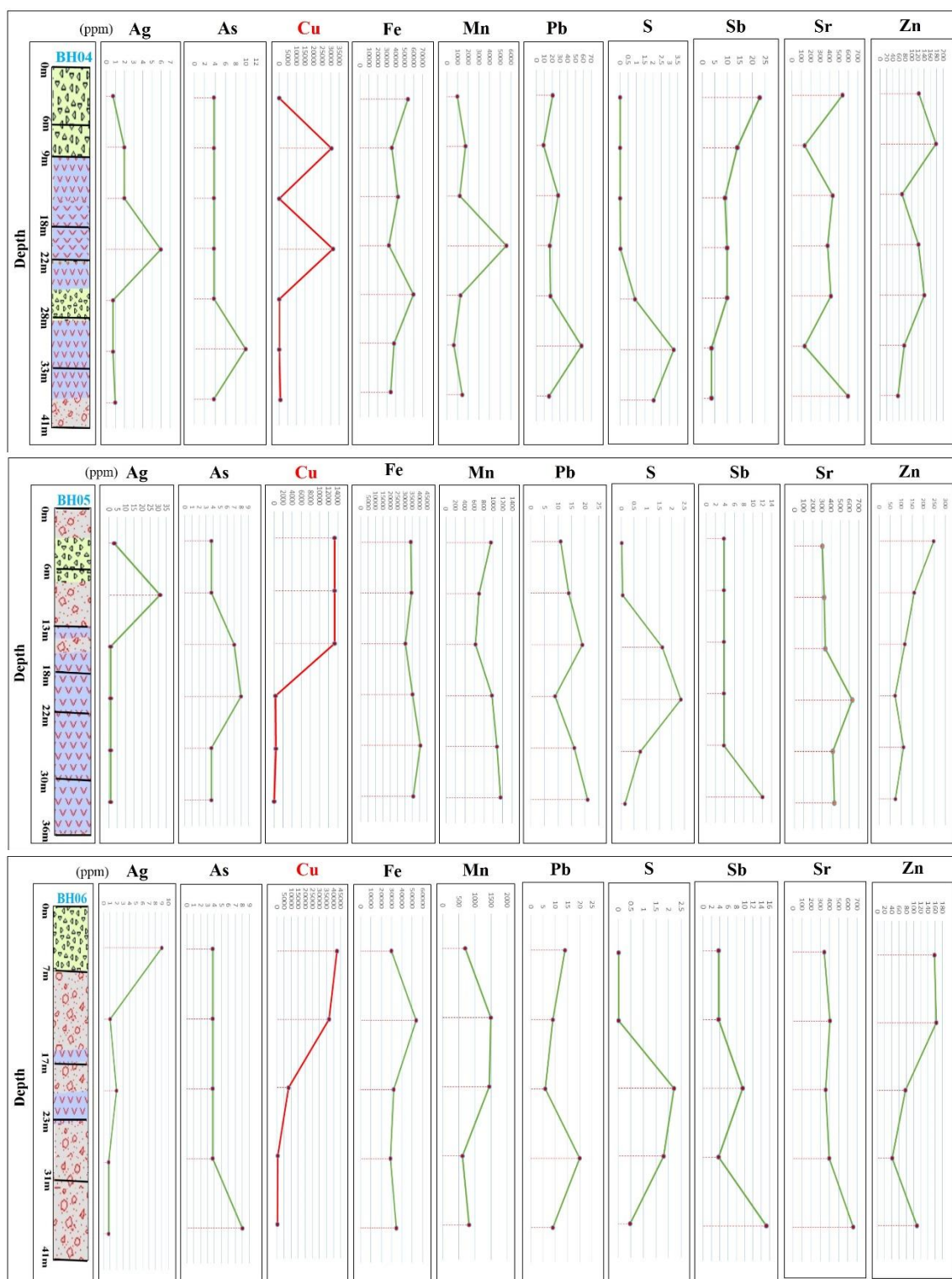
گمانه BH06: این گمانه حدوداً ۴۱ متر حفاری انجام شده است که به دلیل دگرسانی و هوازدگی یا وجود حفرات در سنگ‌ها اکثراً حالت خرد شده و یا بدون مغزه بوده است. آنالیزهایی که از این گمانه انجام گرفته، بالاترین میزان مس را در عمق ۸-۰ متر با عیار ۴/۲ درصد و کمترین آن را در عمق ۴۱-۳۱ متری با عیار ۲۵۶ پی‌پی‌ام نشان می‌دهد. عناصر نقره، روی و آهن روند کاهشی و عناصر آرسنیک، استرانسیم و گوگرد روند افزایشی را با افزایش عمق دارند (شکل ۶-۱۱).

گمانه BH07: گمانه BH07 حدوداً ۳۱ متر حفاری شده است که دو متر آخر بدون مغزه و بحالت Cutting بوده است. از این گمانه چهار نمونه آنالیز شده که بیشترین عیار مس را در عمق ۸-۰ متری با عیار ۳/۷ درصد نشان داده است. کمترین عیار مس در این گمانه در عمق ۱۶ تا ۲۳ متری با عیار ۶۸۱ پی‌پی‌ام می‌باشد. میزان عناصر سرب، گوگرد، آنتیموان و استرانسیم در قسمت‌های عمقی نسبت به بخش‌های سطحی بالا بوده است. نقره و آرسنیک با افزایش عمق روند کاهشی و آهن تقریباً روند ثابتی را هم در بخش سطحی و هم در عمق داشته است. علت بالا بودن میزان آهن در بخش‌های سطحی را می‌توان تبدیل کانی‌های سولفیدی به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن و در عمق حضور کانی‌های پیریت و کالکوپیریت نسبت داد (شکل ۶-۱۲).

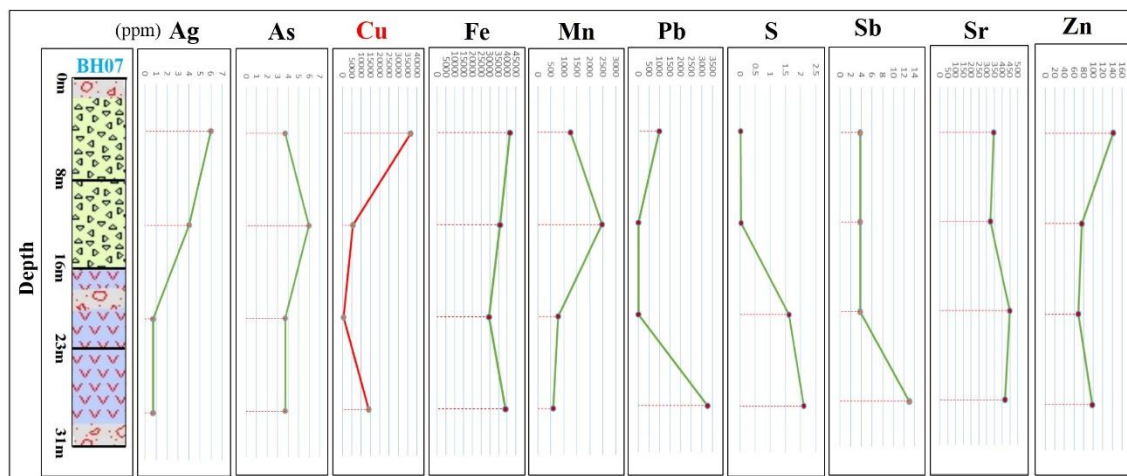
به‌طور کلی نتایج به دست آمده از مطالعات ژئوشیمیایی گمانه‌ها نشان می‌دهد که از سطح تا عمق حدوداً ۱۵ متری بخش اکسیدان (سوپرژن) و ۱۵ متری به بعد بخش سولفیدی (هیپوژن) کانسار است.



شکل ۶-۱۰- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه‌های BH01، BH02 و BH03.



شکل ۶-۱۱- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه‌های BH04، BH05 و BH06.



شکل ۶-۱۲- میزان تغییرات عناصر نسبت به عمق در گمانه BH07.

۶-۹-۳- 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 فرانسیس گالتون تدوین شد. یکی از روش‌های آماری جهت 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

1- Pearson Correlation Coefficient

ضریب همبستگی عناصر فلزات پایه و بعضی از عناصر دیگر در نمونه‌های سطحی کانسار مس رباعی

بررسی ضریب همبستگی عناصر در کانسار مس رباعی با توجه به جدول ۶-۱ نتایج زیر را ارائه می‌دهد:

Ag	1																		
As	0.81	1																	
Bi	0.11	0.68	1																
Cd	0.62	.965**	0.82	1															
Ce	0.15	0.74	0.77	0.77	1														
Co	-0.85	-0.63	-0.51	-0.58	-0.18	1													
Cr	-.992**	-0.45	0.01	-0.25	-0.01	0.78	1												
Cu	0.03	0.70	0.64	0.81	0.34	-0.46	0.01	1											
Mn	0.08	-0.20	-0.74	-0.33	-0.70	0.11	-0.20	0.03	1										
Nb	-0.02	0.52	0.74	0.58	.953*	-0.04	0.15	0.14	-0.86	1									
Mo	-0.44	0.39	.880*	0.62	0.53	-0.21	0.42	0.69	-0.62	0.55	1								
Pb	0.63	.953*	0.85	.964**	0.84	-0.65	-0.37	0.64	-0.48	0.69	0.56	1							
S	0.25	0.50	0.79	0.63	0.24	-0.75	-0.18	0.73	-0.35	0.18	0.76	0.61	1						
Sb	0.30	0.82	0.30	0.75	0.60	-0.13	-0.15	0.60	0.14	0.35	0.16	0.65	0.04	1					
Sn	-0.07	0.42	0.45	0.42	.888*	0.23	0.18	-0.05	-0.65	.919*	0.26	0.51	-0.20	0.46	1				
Sr	0.80	-0.18	-0.25	-0.34	0.06	-0.06	-0.48	-0.80	-0.26	0.18	-0.58	-0.09	-0.42	-0.34	0.27	1			
Zn	0.43	.941*	0.85	.977**	.889*	-0.48	-0.18	0.70	-0.47	0.74	0.62	.972**	0.54	0.74	0.60	-0.23	1		
Ni	-0.89	-0.54	-0.23	-0.45	0.06	.943*	0.86	-0.42	-0.23	0.25	0.04	-0.47	-0.59	-0.17	0.43	-0.02	-0.30		
Fe	-0.89	-0.73	-0.53	-0.68	-0.25	.987**	0.76	-0.56	0.06	-0.06	-0.24	-0.72	-0.75	-0.28	0.18	0.03	-0.57		
	Ag	As	Bi	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Mn	Nb	Mo	Pb	S	Sb	Sn	Sr	Zn	Ni	Fe

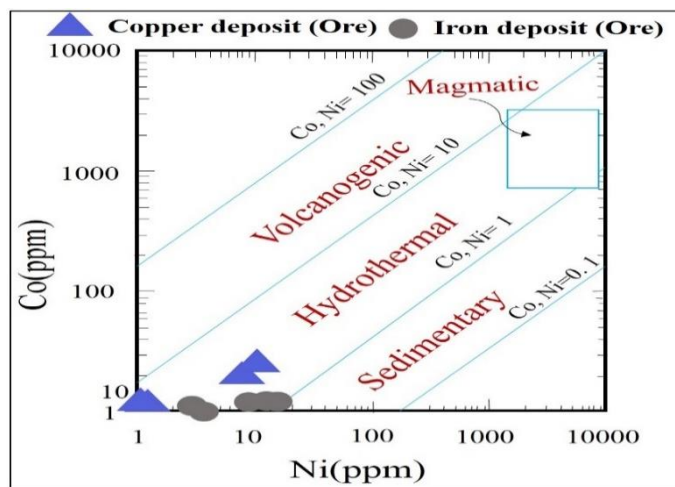
سرب: همبستگی مثبت بسیار بالایی با عناصر روی ($r = 0.964$) کادمیم ($r = 0.964$)، آرسنیک ($r = 0.953$) نشان می‌دهد. همچنین این عنصر با عناصر مس، نقره، بیسموت، آنتیموان، گوگرد، قلع، سربیم و نیوبیم همبستگی مثبت و با عناصر آهن و کبالت همبستگی منفی دارد.

روی: همبستگی مثبت بالایی با عناصر کادمیم ($r=0.977$)، سرب ($r=0.972$)، آرسنیک ($r=0.941$) و سریم ($r=0.889$) و تا حدودی همبستگی منفی با آهن ($r=-0.57$) نشان می‌دهد.

نقره: همبستگی منفی بسیار بالایی با کروم ($r=-0.992$) نشان می‌دهد. همچنین رابطه این عنصر در نمونه‌های مورد مطالعه با عناصر آهن، نیکل و کبالت منفی است. نقره همبستگی مثبت با استرانسیم، آرسنیک، سرب و کادمیم دارد. نقره با مس در نمونه‌های مورد مطالعه ($r=0.03$) همبستگی ضعیفی را نشان می‌دهد.

آهن: همبستگی مثبت بالایی با کبالت ($r=0.987$) و نیکل ($r=0.943$) و همچنین همبستگی منفی با گوگرد ($r=-0.75$) دارد. علت همبستگی منفی گوگرد با آهن احتمالاً بر اثر تبدیل کانی‌های سولفیدی به اکسیدها و هیدرواکسیدهای آهن در محیط اکسیدان است.

نیکل و کبالت: عناصر کبالت ($r=0.987$) و نیکل ($r=0.943$) در نمونه‌های کانسار مس رباعی همبستگی مثبت بالایی دارند. نمونه‌های مربوط به کانسار مس و آهن رباعی براساس نمودار (Bajwah et al., 1987) که نسبت کبالت در مقابل نیکل ترسیم شده در بخش هیدروترمالی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۳).



شکل ۶-۱۳- نمودار (Bajwah et al., 1987) نسبت کبالت به نیکل جهت تعیین محیط کانی‌زایی.

طلا: برای مشخص کردن حضور یا عدم حضور طلا در منطقه مورد مطالعه از آنالیزهای زیر کمک گرفته شد:

الف- آنالیز Fire Assay

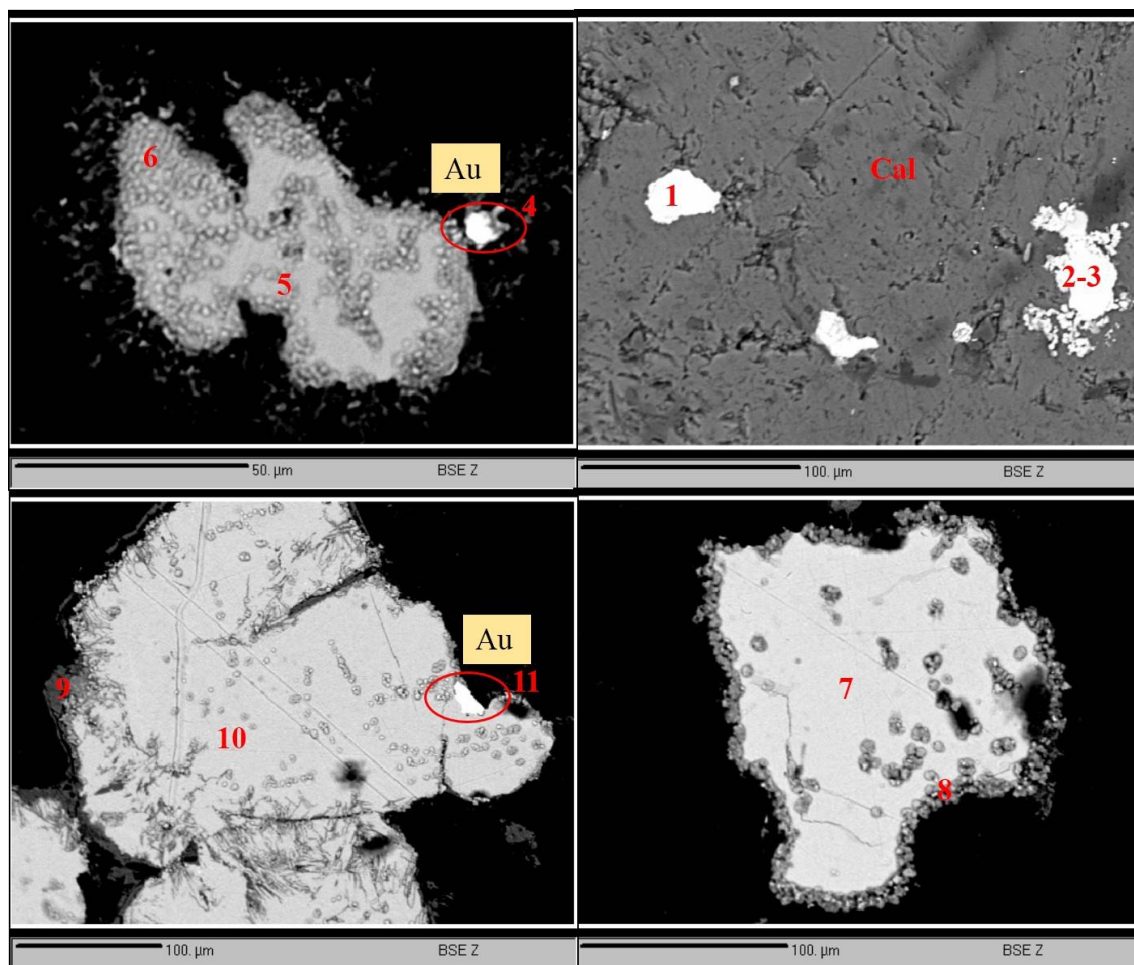
چهار نمونه آنالیز به روش FIR ASSAY انجام شد (جدول ۶-۲). نمونه‌های شماره RFA1 و RFA4 به ترتیب مربوط به کانسار مس و کانسار آهن هستند که دارای ۰/۵۱ و ۰/۸۹ پی‌پی‌ام طلا می‌باشند. نمونه‌های RFA2 و RFA3 مربوط به کانسار مس می‌شوند که در این نمونه‌ها طلا کمتر از یکصد پی‌پی‌ام مشخص شده است. فقیر بودن دو نمونه RFA2 و RFA3 از طلا احتمالاً به دو لیل زیر باشد: اولاً این دو نمونه از مغزه‌های حفاری برداشت شده که به علت محدودیت نمونه‌گیری، حجم نمونه کم-تر بود، ثانیاً در این نمونه‌ها میزان سولفید پایین بوده است. از آنجا که می‌دانیم برای آنالیز کانی‌های کمیاب باید حجم نمونه بیشتر باشد، از سوی دیگر طلا در کانسارهای گرمابی معمولاً بیشتر در فازهای سیلیسی و همراه با کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت و غیره) یافت می‌شوند. نمونه RFA1 مربوط به برش هیدروترمالی می‌باشد که یک فاز سیلیسی و کربناتی حاوی کانی‌های سولفید مس (کالکوپیریت، بورنیت کالکوسیت، دیژنیت و کوولیت) است. همانطور که اشاره شد نمونه RFA4 از بخش چهار کانسار که مربوط به کانی‌زائی آهن است از کانسنگ دارای کانی‌های هماتیت، اسپیکولاریت و مگنتیت انتخاب شده بود.

جدول ۶-۲- نتایج نمونه‌های آنالیز شده به روش Fire Assay برای عنصر طلا

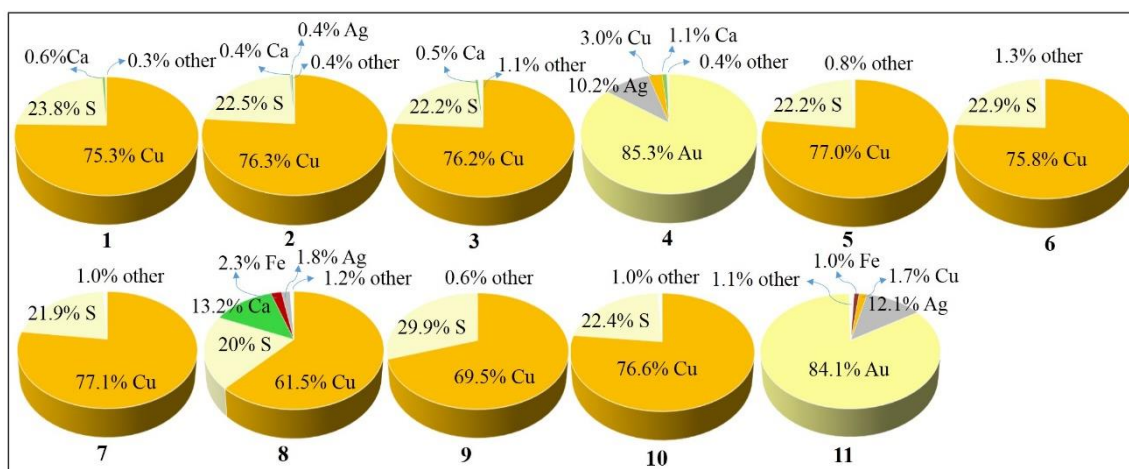
Sample No.	Lab code	Au(ppm)
RFA1	C27114	0.51
RFA2	C27115	<0.01
RFA3	C27116	<0.01
RFA4	C27117	0.89

ب- آنالیز EPMA

بررسی ژئوشیمیایی کانی‌های سولفیدی به عنوان ابزار نو در تعیین تکامل سامانه‌های گرمابی کانه‌دار، در مطالعه کانی‌زایی‌های مرتبط با سیستم‌های ماگمایی- گرمابی، قلمداد می‌شود (Reich et al., 2015; Franchini et al., 2013). یکی از ابزارهای کارآمد که می‌توان فرآیند تشکیل و تحولات کانی- زایی را بررسی کرد، آنالیز نقطه‌ای یک کانی یا EPMA (Electron Probe Micro Analysis) می- باشد. برای انجام این کار در کانسار مس رباعی تعدادی مقاطع صیقلی تهیه شد و پس از مطالعات میکروسکوپی، تعدادی از نقاط مشکوک به طلا و همچنین برای تعیین درصد و نوع عناصر تشکیل دهنده فازهای سولفیدی مورد آنالیز الکترومیکروپروب قرار گرفتند. نتایج حاصل شده در پیوست ۴ ارائه شده است. همچنین شکل (۶-۱۴)، تصاویر مربوط به پس پراکنش (BSE) است که کانی‌های موجود در نمونه و نقاط آنالیز شده را نشان می‌دهد. نمونه آنالیز شده حاوی کانی‌های کالکوسیت، بورنیت‌های جانشین شده با کالکوسیت، کوولیت و کوولیت‌های دارای جانشینی با مالاکیت است. درصد عناصر تشکیل دهنده این کانی‌ها در شکل (۶-۱۵) بصورت نمودار دایره‌ای نشان داده شده است. نقاط ۱، ۲، ۳، ۵، ۶، ۷ و ۱۰ آنالیز شده مربوط به کانی کالکوسیت بوده که تقریباً ۷۵ الی ۷۷ درصد تشکیل دهنده آن‌ها عنصر مس، ۲۲ الی ۲۳ درصد گوگرد و مابقی آن مربوط به عناصر دیگر می- شود. نقاط ۴ و ۱۱ آنالیز شده مربوط به کانی طلا دار است که بیش از ۸۴ درصد تشکیل دهنده آن عنصر طلا، ۱۰ الی ۱۲ درصد نقره و ۱/۷ الی ۳ درصد مس و مابقی آن‌ها مربوط به عناصر آهن، کلسیم و غیره می‌باشد. همچنین نقاط ۸ و ۹ مربوط به کانی کوولیت است که نقطه ۸ حاوی ۶۱/۵ درصد مس، ۲۰ درصد گوگرد، ۱۳/۲ درصد کلسیم، ۲/۳ درصد آهن، ۱/۸ درصد نقره و ۱/۲ درصد باقی مانده را سایر عناصر تشکیل می‌دهد. به دلیل اینکه نقطه ۸ مربوط به حاشیه کانی بوده و از سوی دیگر کانی کوولیت در حال تجزیه به مالاکیت و سایر کانی‌ها است، کلسیم و سایر عناصر در این نقطه نسبت به بقیه نقاط آنالیز شده بالا بوده است. نقطه ۹ نیز مربوط به کانی کوولیت می‌شود که عنصر مس در آن ۶۹/۵ درصد، گوگرد ۲۹/۹ و سایر عناصر ۰/۶ درصد هستند.



شکل ۶-۱۴- تصاویر پس پراکنش (BSE) کانی‌های موجود در نمونه (اعداد روی تصاویر نشانگر نقاط آنالیز، Cal (کلسیت) و Au (طلا) است).



شکل ۶-۱۵- نمودارهای دایره‌ای جهت تعیین درصد مشارکت عناصر در کانه‌ها.

۶-۱۰- مطالعات سیال درگیر

یکی از متداول‌ترین روشهای مطالعه و شناخت وضعیت و شرایط حاکم بر چگونگی حمل و ته‌نشست کانه‌ها، مطالعات میانبارهای سیال است. به سیالی که درون یک جامد (مثلاً کانی) قرار گرفته باشد، سیال درگیر^۱ یا میانبار سیال اطلاق می‌شود. سیال به دام افتاده می‌تواند مایع، گاز و یا سیال فوق-بحرانی باشد. در این فصل تعداد ۲ نمونه کانی شفاف همراه با کانی‌زایی از کانسار مس رباعی و آهن رباعی جهت مطالعات سیالات درگیر انتخاب و مورد بررسی قرار گرفتند که نتایج حاصله به شرح زیر می‌باشد.

۶-۱۰-۱- روش مطالعه

جهت تعیین دما، شوری، چگالی و نوع سیال عامل کانی‌زایی و دگرسانی در منطقه، ۲ نمونه از رگه-های سیلیسی-کربناتی و کربناتی مربوط به برش‌های هیدروترمالی در کانسار مس رباعی و ۱ نمونه کوارتز از کانسار آهن رباعی که همراه با کانه‌زایی بوده‌اند انتخاب شدند. این نمونه‌ها پس از تهیه مقاطع نازک دوبر صیقل، در مرکز تحقیقات فرآورده‌های معدنی ایران مطالعه شدند. مطالعات سیال درگیر از میان ۳ مقطع دوبر صیقل، ۲ نمونه که با شماره‌های R2 و R3، مناسب برای مطالعه بودند انتخاب گردید. نتایج حاصل از این مطالعات در پیوست شماره ۵ ارائه گردیده است. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران به کمک Stage:THMS600 گرم‌کننده و منجمدکننده با مدل Linkam که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است صورت گرفت. دامنۀ حرارتی دستگاه ۱۹۶+ تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد است و مجهز به دو کنترل‌گر، گرمایش (TP94) و سرمایش (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) می‌باشد.

1- fluid inclusions

جهت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده گردید:

Heating : ± 0.6 , Freezing: ± 0.2

کالیبراسیون دستگاه با تلورانس:

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 درجه صورت پذیرفت و در انجماد با دقت ± 0.2 درجه و با ماده استاندارد آن- هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب $94/3$ - درجه سانتی گراد انجام گرفت.

۶-۱۰-۲- 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. سیالات درگیر هم در کانی‌های کدر و هم در کانی‌های شفاف تشکیل می‌شوند. 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 منشا آنها، اولین و مهمترین گام در مطالعه میانبارهای سیال است. در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میان بارهای 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.

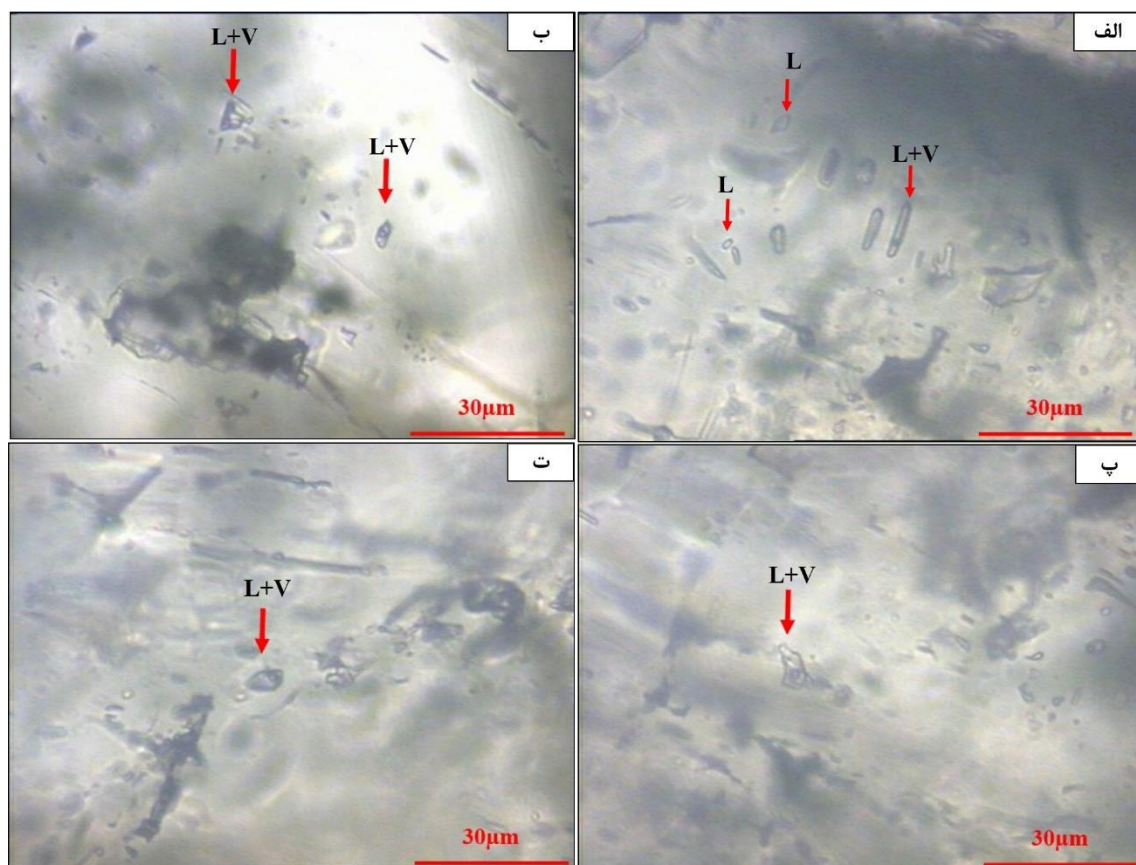
شکل ظاهری سیالات درگیر: به طور کلی از لحاظ شکل ظاهری میانبارهای سیال در نمونه‌ها را می‌توان به ترتیب فراوانی به میان‌بارهای سیال با اشکال کشیده، چند وجهی نامنظم و شکل منفی بلور (Negative crystal) تقسیم‌بندی نمود. شکل منفی بلور یا پدیده باریک‌شدگی (Necking down)، بیشتر در نمونه مربوط به کانسار آهن (R3) مشاهده شد که اطلاعات چنین میانبارهای سیالی زیاد قابل اعتماد نیستند.

فراوانی سیالات درگیر: میان‌بارهای سیال در هر دو نمونه (R2 و R3) فراوان ولی بر روی نمونه R2 (کلسیت به علت وجود رخ یا احتمالاً دمای پایین تشکیل) اندازه‌گیری مشکل بوده و تعداد میان‌بارهای آنالیز شده در این نمونه نسبت به نمونه R3 (کوارتز) 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). اندازه میان‌بارهای سیال در کانسار مس و آهن رباعی از ۶ میکرون تا ۱۵ میکرون متغیر بوده است. سیالات درگیر معمولاً بصورت فاز مایع (L)، گاز (V) و جامد (S) که همراه با یکدیگر ممکن است به طور اتفاقی بعنوان 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 جامدی (S+L+V) مایع نامیژاک (L₁+L₂+V) و سیالات درگیر حاوی شیشه تقسیم‌بندی می‌شوند (Shepherd et al, 1985). میان‌بارهای سیال در کانسار مس رباعی غالباً بصورت تک فاز مایع (L)، دو فاز غنی از مایع (L+V) و در کانسار آهن رباعی به حالت تک فاز گاز (V)، دو فاز غنی از مایع (L+V)، دو فاز غنی از گاز (V+L) و سه فاز متشکل از Vapour CO₂، Liquid و

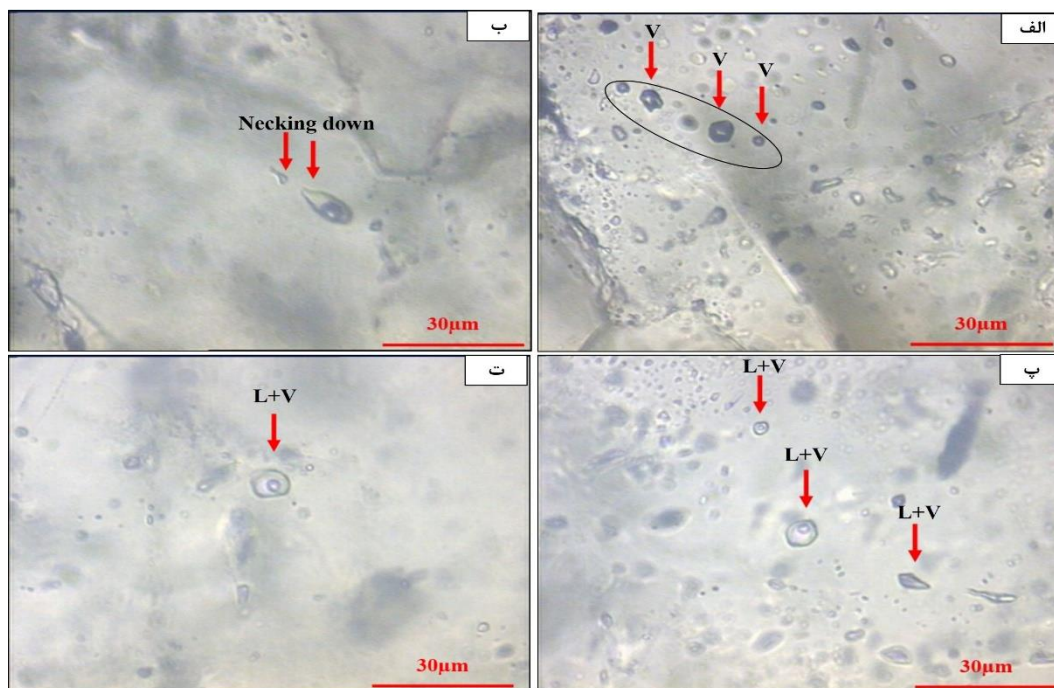
(L_1+L_2+V) Liquid CO_2 و همچنین سه فازي متشکل از مایع آبگین، حباب بخار و هالیت ($L+V+S$) است (اشکال ۶-۱۶، ۶-۱۷ و ۶-۱۸).

انواع سیالات درگیر بر اساس منشأ تشکیل: سیالات درگیر را می‌توان از لحاظ زمان به دام افتادن یا 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، نمود (Bodnar, 1980; Shepherd, 1985 and Roedder, 1984). سیالات درگیر مطالعه شده برای کانسار مس رباعی (R_2) و آهن رباعی (R_3) غالباً اولیه^۱ (P) بوده است.

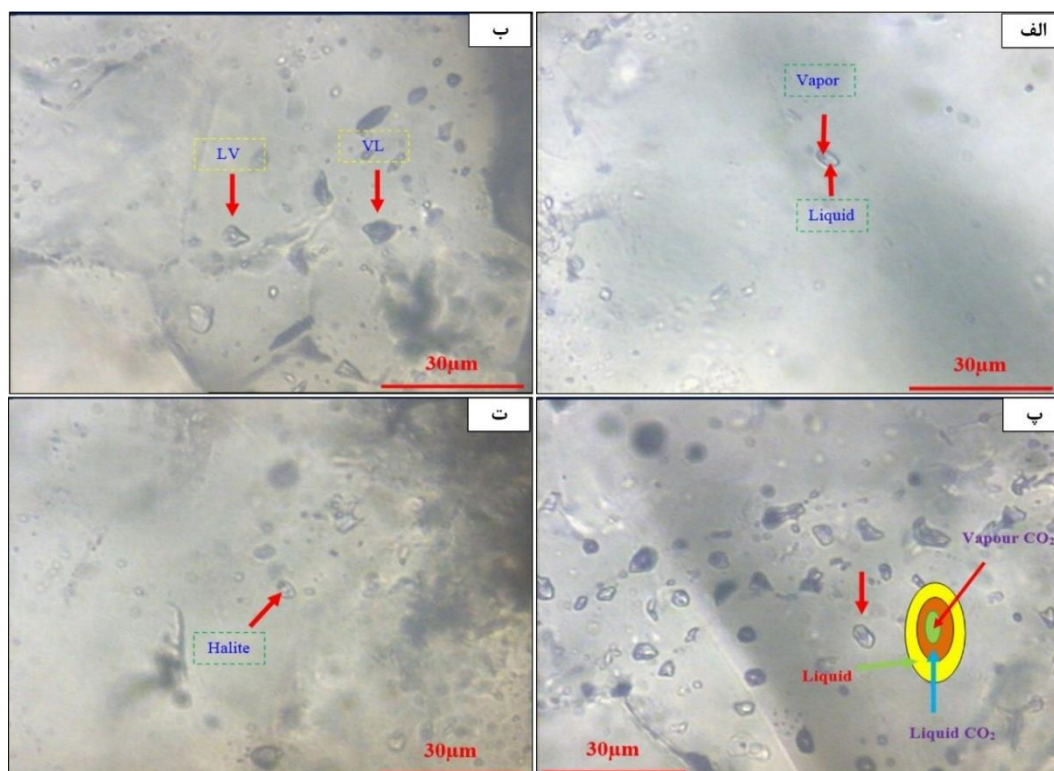


شکل ۶-۱۶- تصاویر میان‌بارهای سیال مربوط به مقطع R_2 (کانسار مس رباعی): الف- میان‌بارهای دو فازي ($L+V$) غنی از مایع و تک فازي‌های مایع (L)، ب، پ و ت - میان‌بارهای دو فازي ($L+V$) غنی از مایع.

1-Primary



شکل ۶-۱۷- تصاویر میان‌بارهای سیال مربوط به مقطع R3 (کانسار آهن رباعی): الف- میان‌بارهای تک فاز گازی (V) ب- پدیده باریک شدگی در میان‌بارهای دو فاز (L+V) پ و ت- تصاویر میان‌بارهای دو فاز (L+V) غنی از مایع.



شکل ۶-۱۸- تصاویر میان‌بارهای سیال مربوط به مقطع R3 (کانسار آهن رباعی): الف- میان‌بارهای دو فاز (L+V) غنی از مایع ب- تصاویر میان‌بارهای دو فاز (L+V) پ- Liquid CO_2 و Vapour CO_2 (L+L₂+V) ت- سه فاز متشکل از مایع آبگین، حباب بخار و هالیت (L+V+S)

۶-۱۰-۳- 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 ۸۰- تا ۱۰۰- درجه صورت گرفت، تا عمل انجماد کلیه فازها صورت گیرد. 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 ۵۲- درجه سانتی- گراد 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 آن و ماهیت دانه‌ای آن است. قابل ذکر است 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 ۲۳- تا ۳۰- درجه است و در این حالت، تمامی ذرات هیدروهالیت ذوب شده و بلورهای یخ +

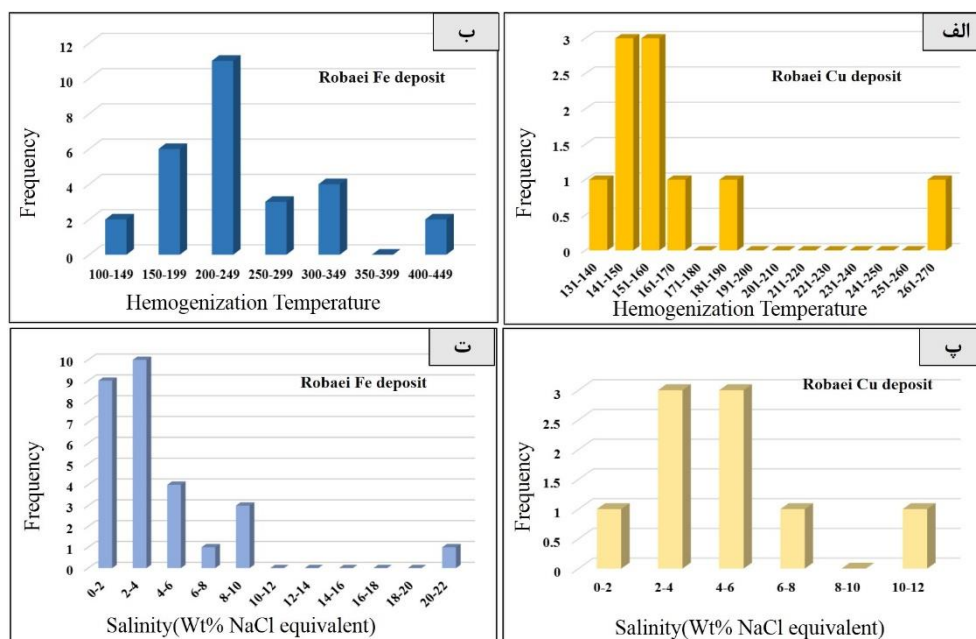
مایع به وضوح قابل مشاهده می‌باشند. با افزایش حرارت، بلورهای یخ نیز ذوب شده که آخرین دمای ذوب یخ (T_{mice}) در میان‌بارها در جدول‌های آنالیز ذکر شده است. قابل ذکر است هیدروها لیت در میان‌بارهایی که از نظر ابعاد بزرگ هستند به خوبی قابل مشاهده است. موارد فوق در دیاگرام سه‌تایی $H_2O-NaCl-CaCl_2$ قابل ترسیم 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 R3 مشاهده شد)، حدود ۹۰ درصد حجم میانبار را گاز تشکیل داده است و فاز مایع حدود ۱۰ درصد میانبار را اشغال کرده است، همگن شدن به فاز گاز در دمای ۴۲۰ درجه سانتی‌گراد رخ داد ($V+L-V$). شوری نیز در حدود ۰/۲۱ درصد وزنی نمک طعام است. همچنین در نمونه R3 میان‌بارهای سه‌فازی متشکل از مایع آبگین+حباب بخار+ هالیت مشاهده گردید که در حین گرمایش به علت ابعاد کوچک میانبارها، مشاهده دمای انحلال و دمای همگن شدن حباب بخار به درستی امکان‌پذیر نشد. در نمونه R3 یک میانبار گاز کربنیک در سیستم $H_2O-NaCl-CO_2$ مشاهده گردید که متشکل از Liquid CO_2 ، Vapour CO_2 و Liquid CO_2 است. دمای ذوب CO_2 (T_{mCO_2}) در محدوده ۵۷/۹- 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 ۲۴،۷+ درجه هم همگن شدن حباب بخار گاز کربنیک به فاز مایع ثبت گردید. همگن شدن نهایی در دمای ۳۲۱ درجه سانتی‌گراد به فاز مایع مشاهده و ثبت گردید.

۴-۱۰-۶- تعیین دما و شوری سیال

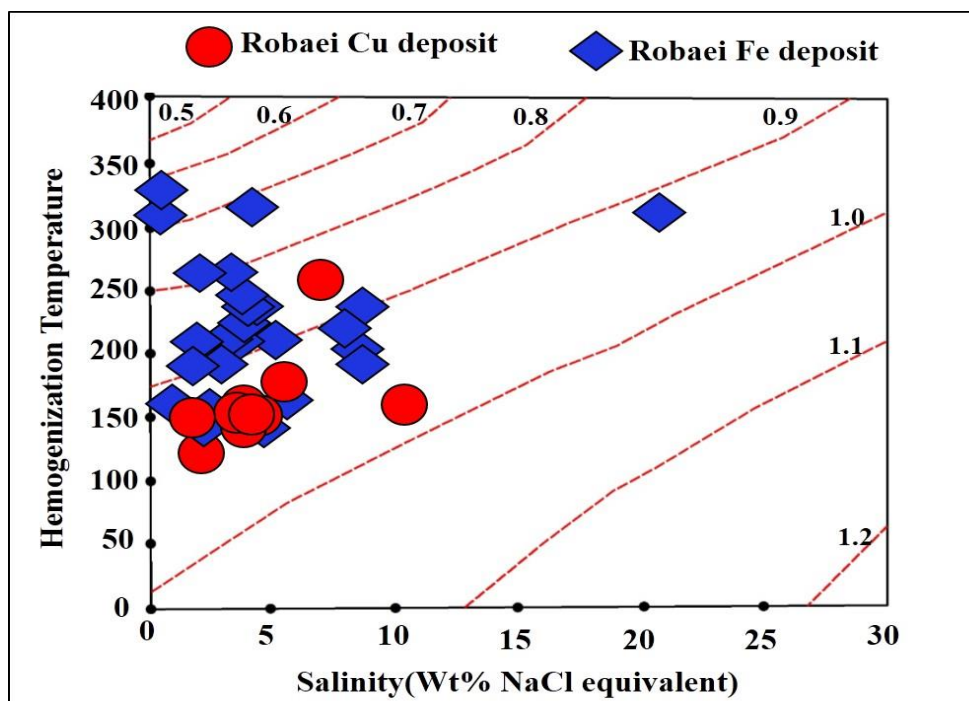
براساس نمودارهای توزیع فراوانی مربوط به دمای همگن شدگی در کانسار مس رباعی در محدوده دمایی بین ۱۷۰ - ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و در کانسار آهن رباعی (دور از ساب ولکان) در محدوده ۲۴۹ - ۲۰۰ قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۹، الف و ب). دمای همگن شدگی در کانسار آهن رباعی (بخش ساب ولکانیک) ۲۰۰-۳۵۰ می‌باشد (بادوزاده، ۱۳۹۰). نمودارهای هیستوگرام، شوری سیال را در کانسار مس رباعی غالباً بین ۶-۲ و برای کانسار آهن ۴-۲ درصد وزنی معادل نمک نشان می‌دهد (شکل ۶-۱۸، پ و ت). همانطور که در قسمت مطالعات میکروترمومتری ذکر شد در کانسار آهن رباعی یک نمونه، شوری بالا (21.43 Wt%) را نشان داده است که مربوط به وجود گاز کربنیک (CO₂) می‌باشد. دی‌اکسید کربن خالص دارای نقطه ذوب ۵۶/۰۶C- است (Burruss, 1981). دمای ذوب TmCO₂ اندازگیری شده در کانسار آهن رباعی در محدوده ۵۷,۹- درجه سانتی‌گراد است که احتمالاً حاکی از وجود گازهای CH₄، N₂ و H₂S می‌باشد. طبق نظر (Anderson et al., 2004) حضور گازهای CH₄، N₂ و H₂S باعث افزایش شوری می‌شود. ترکیب سیالات غالباً از آب خالص و یا شورابهایی با شوری متغیر، گاز یا مایعات گازدار یا گدازه‌های سولفیدی و کربناتی می‌باشد (Bodnar, 2003). حضور پیریت در کانسار مورد مطالعه می‌تواند بیانگر این باشد که فشار گاز H₂S بالا بوده که توانسته پیریت و سایر فازهای سولفیدی را ته‌نشین کند. همچنین حضور احتمالی گازهای N₂ و CH₄ را می‌توان به مواد آلی موجود در سنگ‌های میزبان نسبت داد.



شکل ۶-۱۹- الف و ب- نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسارهای مس و آهن رباعی پ و ت- نمودار میزان شوری در میان بارهای سیال در کانسارهای آهن و مس رباعی.

۶-۱۰-۵- چگالی سیال

با استفاده از نمودار (Wilkinson, 2001) که براساس دمای همگن شدن در برابر شوری سیال طراحی شده است، می توان چگالی را محاسبه کرد. چگالی سیال در نمونه های کانسار مس بین ۰/۸ - ۱ و کانسار آهن رباعی بین ۰/۶ - ۱ گرم بر متر مکعب (g/m^3) قرار می گیرند (شکل ۶-۲۰). در این نمودار با افزایش شوری میانبارهای سیال، چگالی افزایش می یابد.

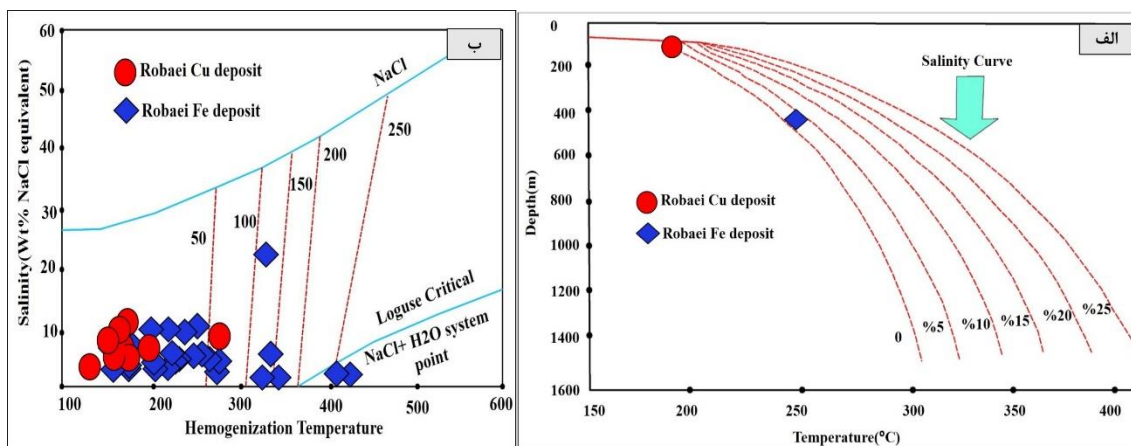


شکل ۶-۲۰- نمودار دمای همگن شده در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001).

۶-۱۰-۶- 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 رباعی، عمق کمتر از ۲۰۰ متر و برای کانسار آهن رباعی عمق بالاتر از ۴۰۰ متر را نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۱، الف). به این نکته باید توجه کرد که دمای همگن شدن به ندرت معادل دمای به دام افتادن سیال است. اگر سیال در حین جوشش به دام افتاده باشد، دمای همگن شدن برابر با دمای به دام افتادن سیال است (Roedder, 1984). مهم‌ترین نشانه جوشش، وجود میان‌بارهای غنی از بخار با میان‌بارهای غنی از مایع که در دمای یکسان به حالت بخار همگن شوند است (Davidson et al., 2007). نمونه R3 (کانسار آهن رباعی)، تک فازهای غنی از گاز و غنی از مایع شناسایی شده که نشانگر پدیده جوشش می‌باشد. در هنگام عمل گرمایش میان‌بارهای سیال، فشار حاکم برای محیط آزمایشگاه برابر یک اتمسفر است در حالی که هنگام به دام افتادن این میان-

بارها، 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 مسقیم با ضخامت طبقات بالایی یا عمق تشکیل میان‌بارهای سیال دارد که به این فشار، فشار لیتواستاتیک می‌گویند. به منظور تعیین فشار می‌توان نمودار (Ramdohr, 1980)، استفاده نمود. براساس این نمودار، فشار حاکم در طی تشکیل کانسنگ در کانسار مس رباعی کمتر از ۵۰ بار و همچنین برای کانسار آهن رباعی غالباً زیر ۵۰ بار و تعدادی نیز بالای ۵۰ یا ۱۰۰ بار را نشان می‌دهد (شکل ۶-۲۱، ب).



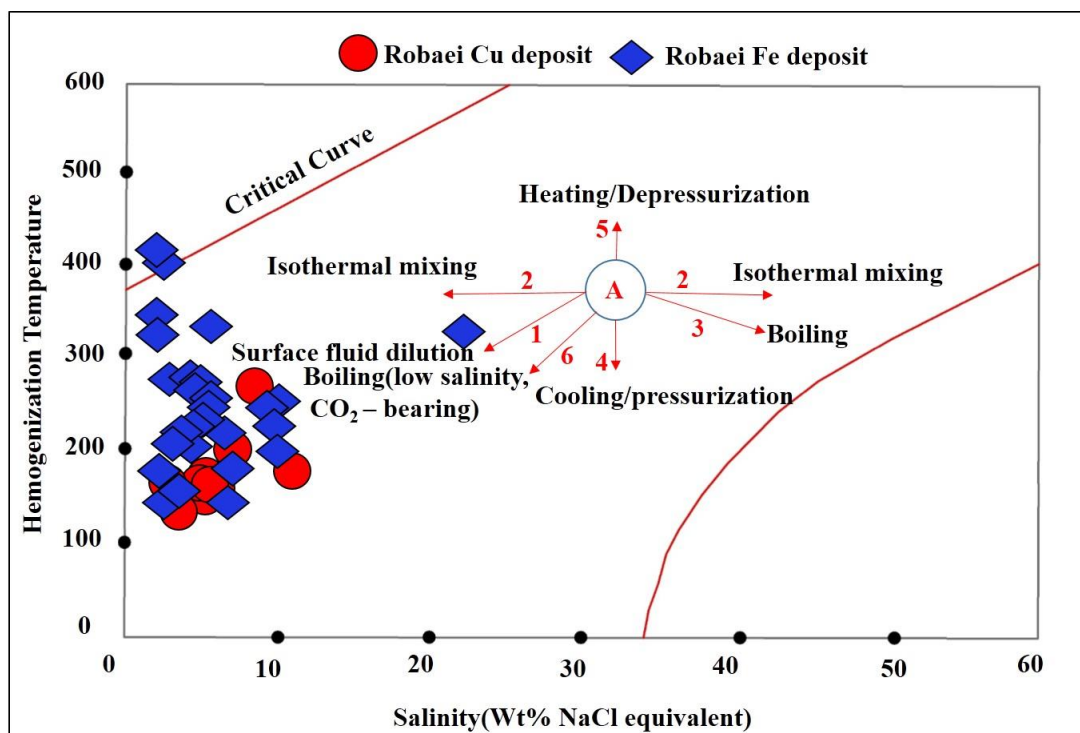
شکل ۶-۲۱- الف- تعیین عمق به دام افتادن میان‌بارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass, 1971) ب- نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس شوری و دمای همگن شدن (Ramdohr, 1980).

۶-۱۰-۷- تعیین عوامل فیزیکی موثر بر تنه‌نشست ذخیره و نوع کمپکس‌های احتمالی برای حمل

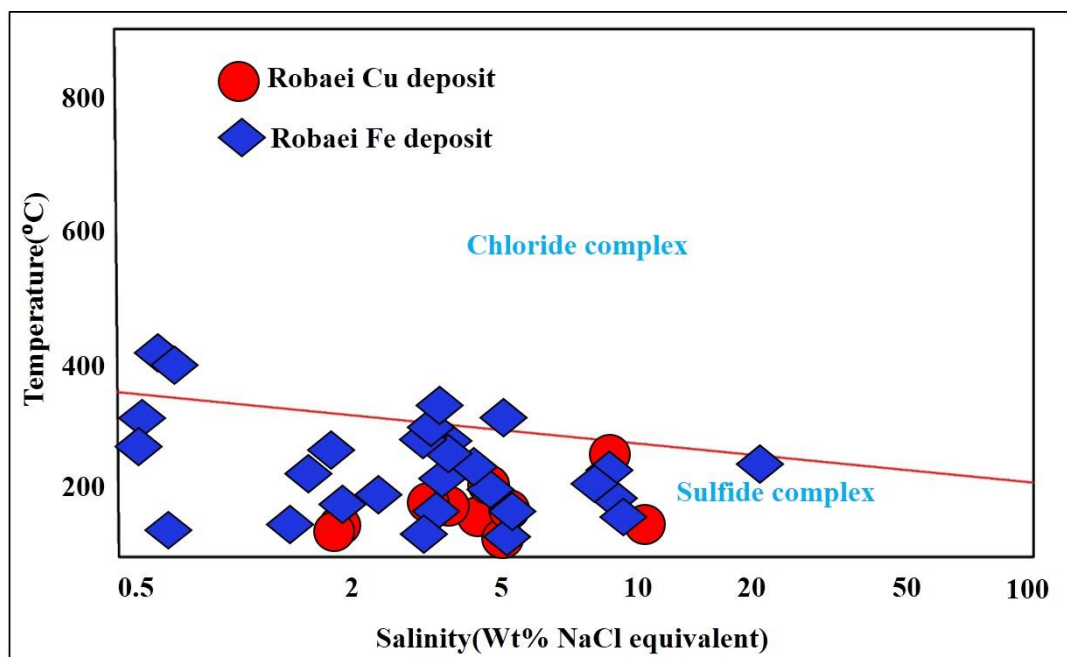
فلزات

طبق نمودار (۶-۲۲) ارائه شده توسط (Wilkinson, 2001)، روندهای کلی حاصل از فرآیندهای مختلفی که دما و شوری یک سیال آگین 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 که با سیالاتی که شوری متفاوتی دارد 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 می‌-

شود. در مسیر ۳ جوشش سیال باعث افزایش شوری فاز مایع باقی مانده خواهد شد. ضمن پدیده جوشش، میان بارهای سیال از سیال گرمایی ناهمگن تشکیل می‌شوند در نتیجه نسبت فازهای گاز و مایع در میان بارهای 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 میان بارها در طی گرم شدن را نشان می‌دهد. در نتیجه با ترسیم داده‌های حاصل از مطالعات میکروترمومتری میان بارهای سیال بر روی نمودار، داده‌های مربوط به کانسار مس رباعی روند ۱ (فرآیند رقیق شدگی با آب‌های سطحی) و برای کانسار آهن رباعی روندهای ۱، ۴ و ۶ (فرآیند رقیق شدگی با آب‌های سطحی، سرد شدن ساده و پدیده جوشش)، را نشان می‌هند (شکل ۶-۲۳). براساس مطالعات (Barens, 1997) در سیالهای گرمایی با شوری بالا و دماهای بالا، کمپلکسهای کلروری، و در دماهای پایین و شوری کم، کمپلکسهای سولفیدی فلزات پدیدارند. با توجه به اینکه نمونه‌های مورد مطالعه غالباً دما و شوری پایینی داشتن در نمودار (Larg et al., 1988)، تمامی نمونه‌های مربوط به کانسار مس رباعی در بخش کمپلکس سولفیدی و همچنین غالب نمونه‌های کانسار آهن در بخش سولفیدی و تعدادی نیز در بخش کمپلکس کلریدی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲۳). وجود بلورهای نمک طعام در سیالات، نشان‌دهنده حمل کاتیون‌های آهن از طریق یون‌های کلر است (Robb, 2004) که در نمونه‌های کانسار آهن رباعی مشاهده می‌شود.



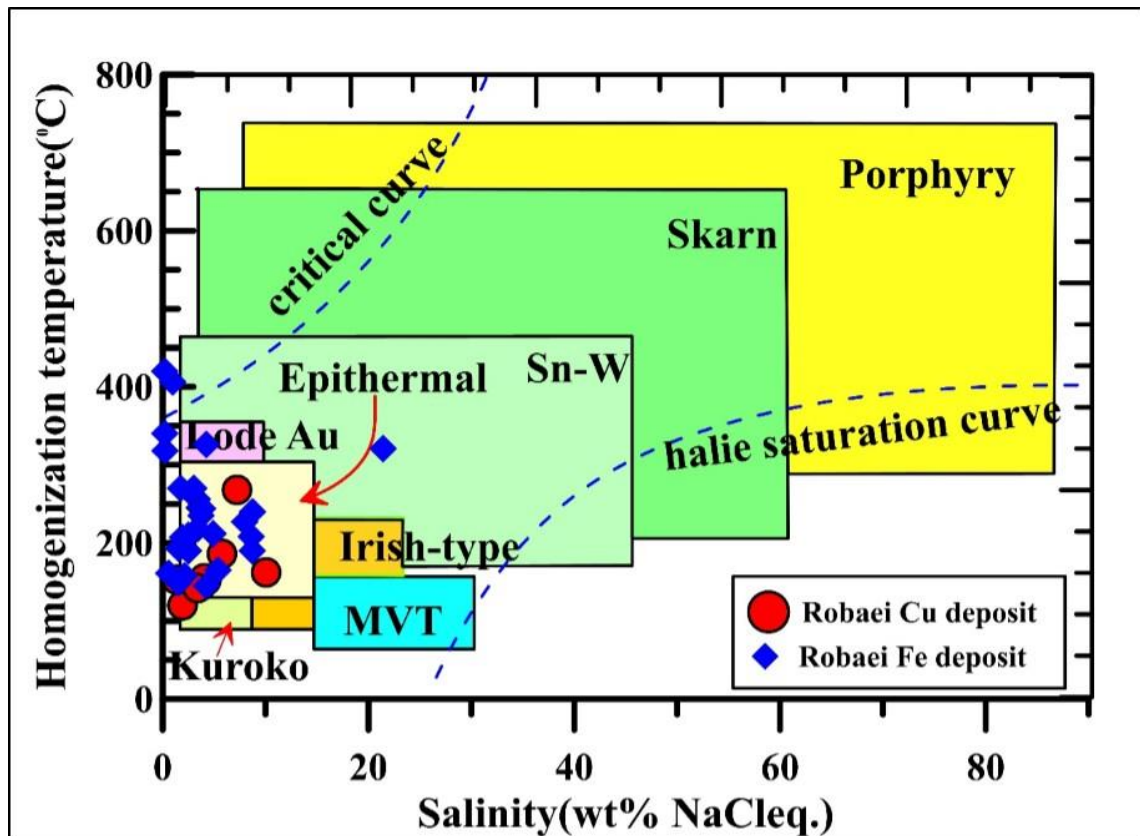
شکل ۶-۲۲- نمودار دمای همگن شدن- شوری به منظور تعیین عوامل مؤثر در تکامل سیال و ته‌نشست مواد معدنی (Wilkinson, 2001).



شکل ۶-۲۳- نمودار براساس دما در مقابل شوری جهت تعیین کمپلکس‌های احتمالی حمل فلزات در کانسارهای مورد مطالعه. (Large et al, 1988)

۶-۱۰-۸- 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 رباعی در بخش اپی‌ترمال و نمونه‌های مربوط به کانسار آهن از بخش اسکارنی تا اپی‌ترمال (غالباً اپی‌ترمال) قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲۳).



شکل ۶-۲۴- نمودار محدوده دما و شوری میان‌بارهای سیال در کانسار مس رباعی و آهن رباعی و تعیین تیپ احتمالی کانسارها (Willkinson, 2001).

فصل هفتم

تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و

پیشنهادات اکتشافی

در این فصل بنا به مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و میکروسکوپی، آنالیزهای شیمیایی و مطالعات دفتری صورت گرفته، یک جمع بندی کلی در مورد چگونگی پیدایش کنسارهای مس و آهن (مس و طلا) رباعی پرداخته می شود. همچنین برای تأیید نتایج بدست آمده از این تحقیق، کنسار مس و آهن (مس و طلا) رباعی با تعدادی از کنسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه می شوند و در نهایت یک سری از پیشنهادات اکتشافی برای انجام ادامه کار ارائه می گردد.

۷-۲- بررسی خصوصیات مهم کنسارهای اپی ترمال

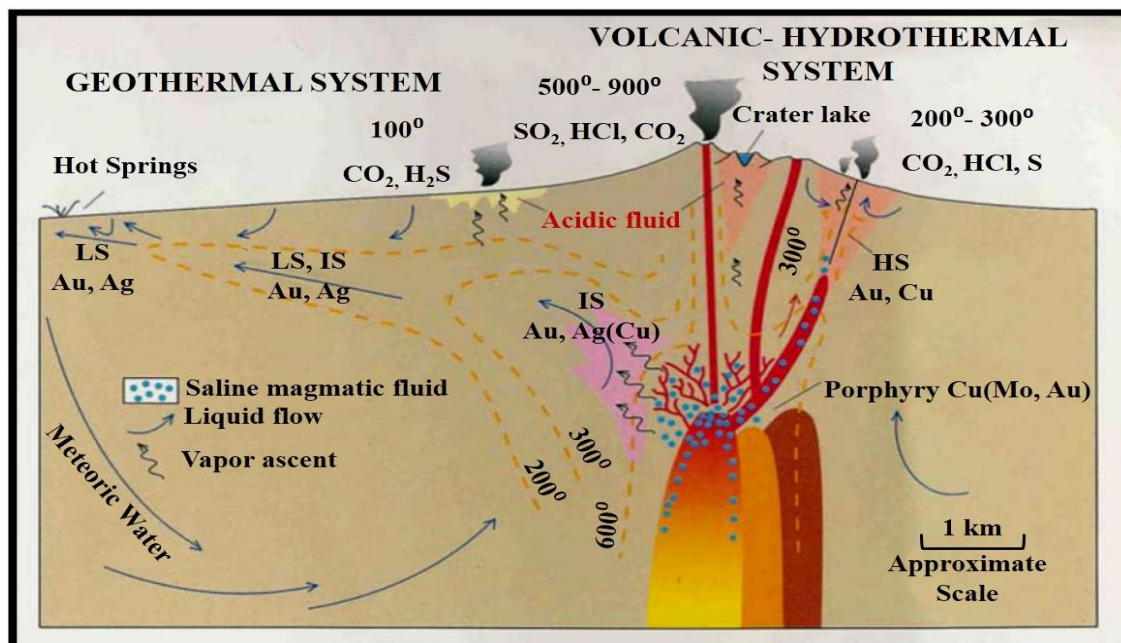
کانی‌سازهای اپی ترمال معمولاً در قسمت فوقانی پوسته زمین تا عمق ۱۰۰۰ متری و زیر سطح ایستابی آب تشکیل می شوند. منشأ اولیه سیستم‌های هیدروترمالی، از گرمای ماگمایی و تا حدودی از بالا آمدن چرخه آب‌های سطحی عمیق در طول گسل‌های حوضه نشأت می گیرند (Simmons et al., 2005). این نوع نهشته‌ها اغلب از ماگماتیسیم حاصل می شوند و در مجاور و بالای توده‌های نفوذی و یا فاصله کمی از آن تشکیل می شوند (Carman, 2003). معیارهای زمین‌شناسی و ویژگی‌های اولیه نهشته‌های اپی ترمالی، عبارتند از: ۱- در موقعیت شکاف قوس ماگمایی و مرز صفحات همگرا تشکیل می شوند 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 کانی‌شناسی، دگرسانی، PH، سولفیداسیون و اکسیداسیون برای آنها در نظر می گیرند. کنسارهای اپی ترمال براساس سولفیداسیون به سه دسته سولفید پایین (L.S)، سولفید متوسط (I.S) و سولفید بالا (H. S) تقسیم می شوند (Simmons et al., 2005). خلاصه‌ای از ویژگی‌های کنسارهای اپی ترمال موجود در بعضی نقاط دنیا بر پایه‌ی مطالعات (Sillitoe and Hedenquist., 2003)، در جدول (۷-۱) ارائه شده است. چگونگی

تشکیل کانسارهای اپی ترمال براساس مدل شماتیک (Cooke and Hedenquist et al., 2000;

Simmons, 2000) در شکل (۷-۱) نشان داده شده است.

جدول ۷-۱ - برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی ترمال موجود در دنیا (Sillitoe and Hedenquist., 2003)

Epithermal Types	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
Magma Types	Oxidized magma	Reduced magma	-	Subalkaline magma	Alkaline magma
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, Quartz, Barite, manganiferous silicates	Carbonate, fluorite	Carbonate, 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 ۷-۱- 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)

۷-۳- عوامل موثر در تشکیل کانسار مس رباعی

تکتونیک ناحیه‌ای: کانسارهای اپی ترمال بیشتر در قوس‌های آتشفشانی-نفوذی (جزایر قوسی و همچنین کمان‌های قاره‌ای) مرتبط با رشته فرورانش و ولکانیسم تشکیل می‌شوند (Camprubí and Albinson, 2006). عمق تشکیل این نهشته‌ها، کم و اساساً سنگ‌های آتشفشانی میزبان نهشته‌ها هستند. با توجه به شواهد ژئوشیمیایی و طبق نمودارهای (Wood, 1980) سنگ‌های منطقه رباعی در بخش بازالت‌های کمان قاره‌ای سری کالک‌آلکان 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.

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 رباعی غالباً آندزی- بازالت، آندزیت، تراکی آندزیت و توف برش است. این سنگ‌ها در نمودارهای (Le Bas et al, 1986; Middlemost, 1994) در محدوده‌ی آندزی- بازالت، بازالت تراکی- آندزیت، تراکی- آندزیت، تراکیت، تراکی- داسیت و داسیت قرار می‌گیرند. همچنین این سنگ‌ها بر روی نمودار (Pearce, 1996) که براساس عناصر نادر خاکی طراحی شده بازالت، آلکالی بازالت و تراکی- آندزیت را نشان می‌دهد. طبق نمودارهای AFM (Irvine and Baragar, 1971; Jensen, 1976) سنگ‌های منطقه رباعی اغلب از نوع سری کالک آلکالن هستند. سنگ‌های تشکیل‌دهنده کانسار مس رباعی علاوه بر ماهیت مناسب، به دلیل وجود تخلخل و فضای کافی، محیط مناسبی را برای تمرکز ماده معدنی فراهم کرده است.

ساختارهای زمین‌شناسی منطقه: شکستگی‌ها به ویژه گسل‌ها عامل مهم و اساسی در تشکیل و تمرکز ذخایر معدنی می‌باشند. گسل‌ها و درز و شکاف‌های موجود در سنگ میزبان (به‌خصوص سنگ‌های آذرآواری به دلیل فضای کافی برای چرخش سیالات و تمرکز ماده معدنی) کنترل کننده اصلی کانی- زایی در محدوده اکتشافی رباعی است. گسل‌ها و شکستگی‌های کنترل کننده کانی‌زایی در منطقه مورد مطالعه به سه دسته با روندهای شمال شرقی- جنوب غربی، شمال غربی- جنوب شرقی و شرقی- غربی تقسیم می‌شوند که روند غالب کانی‌زایی شمال شرقی- جنوب غربی و تقریباً هم روند با گسل اصلی طرود و انجیلو است.

منبع انرژی حرارتی: فعالیت‌های آذرین در کانسارهای اپی ترمال بعنوان موتور حرارتی و تأمین عناصر لازم جهت تشکیل کانسار نقش مهمی را ایفا می‌کنند. با وجود رخنمون‌های ساب‌ولکانیک داسیتی در محدوده رباعی و با احتمال وجود توده‌های نفوذی در عمق، گرمای لازم را جهت تشکیل این کانسار فراهم کرده است.

منشا سیالات: در سیستم‌های اپی‌ترمال آب‌های جوی در تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین (LS) و سولفید متوسط (IS) نقش اساسی دارند؛ اما برای تشکیل انواع سولفید بالا (HS)، بیشتر سیالات ماگمایی با شوری بالا و تا حدودی آب‌های جوی تأثیرگذار هستند. در صورت وجود توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق یا ساب و لکانیک، کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین و سولفید متوسط می‌توانند در اثر اختلاط آب‌های جوی و ماگمایی تشکیل شوند. بنا به نظر (Wenlandt, 1997) Ce^{+3} در محیط‌های اسیدی پایداری پایین‌تری از محیط‌های خنثی و قلیایی دارد و با در نظر گرفتن اینکه تقریباً در تمام نمودارهای مربوط به کانسار مس رباعی سرپوم تحرک چندانی نداشته است، می‌توان PH خنثی (غیر اسیدی) را برای محلول‌های کانه ساز در نظر گرفت. نسبت بسیار پایین La/Y (کمتر از یک) شرایط اسیدی و (بیشتر از یک) شرایط قلیایی دارد. این نسبت در نمونه‌های کانسار مس رباعی بین ۲/۸۳-۱/۳۲ متغیر می‌باشد که تقریباً شرایط خنثی تا قلیایی را برای سیال نشان می‌دهد. در کانسار مس رباعی فراوانی دمای همگن شده بین ۱۷۰-۱۴۰ درجه سانتی گراد و با شوری ۲-۴ درصد وزنی نمک طعام است که بیشتر فرآیند رقیق شدگی با آب‌های سطحی را نشان می‌دهد.

۷-۴- مقایسه کانسار مس رباعی با دیگر کانسارهای ایران و جهان

در کشور ایران و در سایر کشورهای دنیا شاهد کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی‌ترمال) با کانی-سازی فلزات پایه و گرانبها از جمله مس، سرب، روی، طلا، نقره هستیم. این ذخایر در مقیاس قاره‌ای در رشته فروانش حاشیه صفحات قرار می‌گیرند (Heald et al., 1987). کانسار مس رباعی در جدول-های (۲-۷ و ۳-۷) با تعداد کانسارهای تیپ هیدروترمال رگه‌ای موجود در رشته طرود-چاه شیرین و همچنین با تعدادی کانسارهای اپی‌ترمال موجود در ایران و سایر نقاط دنیا مقایسه شده است.

جدول ۷-۲- مقایسه بعضی از ویژگی‌های شاخص کانسار مس رباعی با برخی کانسارهای هیدروترمال رگه‌ای (اپی ترمال) واقع در رشته طرود- چاه‌شیرین و سایر نقاط ایران

ویژگی‌ها / کانسارها	کانسار مس رباعی	کانسار دیان	کانسار چاه موسی	کانسار کالچویه	کانسار چشمه حافظ	کانسار گندی	کانسار ابوالحسنی	کانسار گلوچه
رشته ساختاری	طرود- چاه- شیرین	طرود- چاه- شیرین	طرود- چاه‌شیرین	رشته ارومیه- دختر	طرود- چاه- شیرین	طرود- چاه‌شیرین	طرود- چاه‌شیرین	طارم- هشت‌جین
سنگ میزبان	آندزیت و آندزیت بازالت	الیون 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	آندزیت، سیلتستون، توف ماسه‌ای، لاپیلی توف و ولکانیک برش	آندزیت، آندزیت بازالت، تراکی آندزیت، داسیت و توف
سری ماگمایی	کالک آلکالن	آلکالن تا کالک آلکالن غنی از پتاسیم	کالک و آلکالن	کالک و آلکالن	کالک آلکالن	آلکالن تا کالک آلکالن	آلکالن تا کالک آلکالن	ساب آلکالن تا کالک- آلکالن غنی از پتاسیم
دگرسانی	آرژیلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	آرژیلیک، پروپلیتیک و سیلیسی	فیلیک، پروپلیتیک، کلریتی- کلسیتی، اپیدوتی- کلریتی- کلسیتی	پروپلیتیک و سیلیسی	پروپلیتیک، آرژیلیک، سریسیتی و سیلیسی	سیلیسی- کربناتی پرو پیلیتیکی، آرژیلیکی (کائولینیتی و ایلیت)،	سیلیسی- کربناتی، آرژیلیکی (ایلیت و مونتموریونیت)، اپیدوت و کلریتی شدن، هماتیتی و لیمونیتی شدن	فیلیک، پروپلیتیک، آرژیلیک، سریسیتی و سیلیسی
روند کانی‌زایی	غالبا شمال شرق جنوب غرب	-	شمال شرق- جنوب غرب	-	شمال شرق- جنوب غرب	غالبا شمال شرق- جنوب غرب	غالبا شمال شرق- جنوب غرب	شمال غرب- جنوب شرقی
کانه‌های اصلی	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت،	کالکوپیریت، کالکوسیت، مس طبیعی، تنوریت و کوپریت	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت،	کالکوپیریت، کالکوسیت، گالن، مالاکیت و آزوریت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهیدریت،	کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تنانتیت، بورنیت، کالکوسیت و طلا آزاد	اسفالریت، گالن، تتراهیدریت، کالکوپیریت، طلا و نقره	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، سروزیت،

ادامه جدول ۷-۲

آنگلزی، مالاکیت، آزوریت	اسفالریت، گالن، تتراهیدریت، کالکوپیریت، طلا و نقره	کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تنانتیت، بورنیت، کالکوسیت و طلا آزاد	تنانتیت، دیژنیت، کوولیت، کالکوسیت، مالاکیت و طلا	کالکوپیریت، کالکوسیت، گالن، مالاکیت و آزوریت	مالاکیت، نئوتوسیت		مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	
کوارتز، کلسیت، فلوریت، پیریت، پیرولولزیت، 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	باطله و کانی‌های فرعی
پرکننده فضای خالی، جانشینی و برشی	برشی، دانه پراکنده، پرکننده فضای خالی، رگه‌ای و نواری	رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و برشی	پرکننده فضای خالی، رگه رگچه‌ای، دانه پراکنده، شانه‌ای و برشی	رگه - رگچه‌ای	افشان و رگچه‌ای	شکافه پرکن، رگه - رگچه‌ای و جانشینی	رگه - رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و اکسلوشن	ساخت و بافت ماده معدنی
150- 340 °C	234- 340°C	235-285 °C	140- 280 °C	180- 320 °C	-	-	140- 170 °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	شوری
اپی ترمال سولفید بالا تا متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید پایین	هیدروترمالی رگه - ای	هیدروترمالی رگه‌ای	هیدروترمالی رگه‌ای (اپی ترمال سولفید متوسط)	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	ناهیدی فر، ۱۳۹۳	این تحقیق	مراجع

جدول ۷-۳- مقایسه کانسار مس رباعی با کانسارهای اپی ترمال سولفید پایین، سولفید متوسط و هیدروترمالی رگه‌ای در سایر نقاط دنیا

کانسارها ویژگی‌ها	کانسار مس رباعی	کانسار طلا Axi، Xinjang چین	کانسار طلا- (Sahinli) غرب ترکیه	کانسار Pb-Zn- Cu ±Au ± Ag Kuru	کانسار Fresno مکزیک
میحط تکتونیکی	فرورانش حاشیه قاره‌ای (CAB)	حاشیه قاره‌ای فعال	رشته فرورانش حاشیه قاره‌ای	پشت کمان	-
سنگ میزبان	آندزیت و آندزیت بازالت	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	آرژلیک، کلریتی، کربناتی، سیلیسی	فیلیک، پروپلیتیک، کربناتی و سیلیسی	آرژلیک متوسط، آرژلیک پیشرفته، پروپلیتیک، سیلیسی	آرژلیک، پروپلیتیک، سریسیتی	-
کانه‌های مهم	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و کریزوکلا	طلای خالص، الکتروم، پیر آرژیریت، پلی- بازیت، سراجریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت تتراهدریت	کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدریت، مولیبدنیت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، سروزیت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، تنانتیت، طلا	طلا و نقره خالص، سولفوسالت نقره، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، مالاکیت، آزوریت
باطله و کانی‌های فرعی	کلسیت، دولومیت، کوارتز، کانی‌های رسی، پیریت، هماتیت، مگنتیت و لیمونیت	کوارتز، کلسیت، سیدریت، دولومیت، ایلیت، آلونیت، لامونتیت، پیریت، مارکاسیت، آرسنوپیریت، هماتیت، لیمونیت	کوارتز، باریت و کربنات، پیریت، گوتیت	کوارتز، باریت و کربنات، پیریت	کوارتز، کلسیت، کلردون، کلسدون، پیریت، هماتیت، لیمونیت
ساخت و بافت ماده معدنی	رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و اکسلوشن	رگه‌ای	بافت شانه‌ای، پراکنده، توده‌ای و برشی	رگچه‌ای، اسکلتی، جانشینی، دانه پراکنده،	رگه‌ای
دمای سیال	140- 170 °C	120- 240 °C	220- 322 °C	255.9-387 °C	200- 300 °C
شوری سیال	2- 6 wt% NaCl	0.5- 6.9wt% NaCl	4.3- 6.9wt% NaCl	0.2- 8wt% NaCl	0.1-12wt% NaCl
تیپ کانی‌زایی	هیدروترمالی رگه- ای (اپی ترمال سولفید متوسط)	اپی ترمال سولفید پایین	اپی ترمال سولفید متوسط	اپی ترمال سولفید متوسط	هیدروترمال رگه‌ای
مراجع	این تحقیق	Wei Zhai et al., 2009	Yilmaz et al., 2010	Çiçek and Oyman., 2016	Simmons et al., 1988

۷-۵- بررسی خصوصیات کانسارهای تیپ اسکارنی و اکسید آهن، مس و طلا (IOCG)

اسکارن از واکنش بین محلولهای ماگمایی یا گرمابی در درجه حرارت بالا با سنگهای کربناته و در نتیجه

جانشینی Ca ، Fe ، Al و Si و Mg در سنگهای آهکی خالص و دولومیتها و تشکیل سیلیکاتهای Ca ، Fe و Mg از طریق متاسوماتیزم حاصل می شود. آهن در این کانسارها ریشه ماگمایی داشته و درون بخش آهکی عمدتاً به صورت اکسیدی برجای گذاشته می شود (Einaudi, 1981). به طور کلی برای انواع کانسارهای اسکارن طبقه بندی های گوناگونی ارائه شده است. این طبقه بندی ها عبارتند از:

الف) براساس کانی های کالک سیلیکاته که شامل دو گروه کلسیمی (در سنگ های سنگ آهکی حاوی Ca و Fe دار) و منیزمی (در دولومیتها و حاوی کالک سیلیکات منیزیم دار) است (Einaudi, 1981).

ب) براساس نوع سنگ جانشین شونده شامل اندواسکارن (داخل توده نفوذی) و اگزواسکارن (مابین اندواسکارن و سنگ آهک تبلور مجدد یافته و به عنوان رشته اصلی اسکارن) می باشند (Einaudi and Burt., 1982).

پ) بر اساس فلزات غالب اقتصادی شامل هفت گروه اسکارن های Fe و Sn ، Mo ، W ، Pb-Zn ، Au ، Cu هستند (Meinert, 1992).

کانسارهای تیپ IOCG به دو زیردسته کانسارهای مرتبط با ماگماتیسم کالک آلکالن و مرتبط با ماگماتیسم آلکالن تقسیم شده اند (Corriveau et al, 2007):

الف) کانسارهای IOCG مرتبط با ماگماتیسم کالک آلکالن

۱- کانسارهای آهن تیپ اسکارنی (Iron skarn type)

۲- کانسارهای آهن تیپ کایرونا (Kiruna type)

۳- کانسارهای آهن تیپ المپیکدم (Olympic Dam type)

۴- کانسارهای آهن تیپ کلونکوری (Cloncurry type)

ب) کانسارهای IOCG مرتبط با ماگماتیسم آکالن

۱- کانسارهای آهن تیپ پالابورا (Phalaborwa(Palabora) type)

۲- کانسارهای آهن تیپ بایانابو (Bayan Obo sub-type)

بطور کلی ویژگی بعضی از کانسارهای اکسید آهن، مس و طلا (IOCG) موجود در دنیا در جدول (۷-۴ و ۷-۵) ارائه شده است.

جدول ۷-۴- دسته‌بندی کانسارهای ماگمایی- گرمابی اکسید آهن، مس و طلا (Gandhi, 2003, 2004)

Source → Proximal → Distal			
Calc-alkaline magma			
Iron Skarn-type	Kiruna-type	Olympic Dam-type	Cloncurry-type
Massive magnetite-garnet-pyroxene	Massive magnetite-apatite-actinolite	Breccia (one or more stages), magnetite-hematite matrix	Hydrothermal veins & disseminations in older 'ironstones' or FeOx mineralization
Stratabound lenticular & irregular bodies at intrusive contact	Tabular, pipe-like & irregular bodies, dykes & veins	Pipe-like & irregular bodies, vent or fault controlled	Stratabound, breccia or fault controlled
Monometallic Fe and related FeOx-Cu-Au deposits	Monometallic Fe & related Cu-FeOx porphyry deposits	Polymetallic: Fe, Cu, Au, Ag, REE	Polymetallic: Cu, Au, Ag, Bi, Co, W
Alteration: Sodic	Alteration: Sodic	Alteration: Potassic	Alteration: Potassic
Magnetogorsk deposit, Russia	Kiirunavaara deposit, Sweden	Olympic Dam deposit, Australia	Osborne & Starra deposits, Australia

Source → Proximal → Distal	
Alkaline-carbonatite magma	
Phalaborwa-type	Bayan Obo-type
Within or marginal to intrusion	Hosted by country rock
Veins, layers, disseminations and aggregates; late intrusive phase	Veins, layers, disseminations and aggregates, stratabound lenses
Low Ti magnetite, apatite, olivine, phlogopite, carbonate, fluorite, Cu sulphides, pyrite, PGE, Au, Ag, uranothorianite, baddeleyite	Magnetite (replacive and/or pre-existing), hematite, bastnaesite, phlogopite, Fe-Ti-Cr-Nb oxides, fluorite, monazite, carbonate
Zoning in ore; Na & K alteration	Zoning in ore; Na & K alteration
Phalaborwa deposit, South Africa	Bayan Obo deposit, China

جدول ۷-۵- ویژگی‌های مهم بعضی از کانسارهای اکسید آهن، مس و طلا (IOCG) دنیا.

Deposit	host rock Main	Hast rock age (Ma)	Ore minerals	Mineralization style	Reserve	Alteration and alteration assemblage	Reference
Ernest Henry	Intermediate to felsic volcanic or subvolcanic sills, mafic volcanic, diorite	1746±9	Chpy+py+Mt± Allan±Mon±Ap ±Sch ±Gal±Mol±Uran	Breccia, replacement	166 Mt@	Cal-qtz-bio. Mag-Bio.gar, k-feld, chl, epi, tour, flu	Mark et al (2000)
Olympic Dam	Syenogranite with minor volcanoclastics and felsic/mafic dyks	1588±4	Chpy-Bn-Mt-Hm- Allan-Mon-Gal- Uran	Disseminated sulphides in breccias matrix, breccias, veins	2320Mt@	Mt±Hm, chl, Ser, Sid, Py, Cpy, Pit, Cc, Bn, Pit, Bar, flu, Chl, Qtz	Oreskes and Einaudi (1992); Skirrow et al (2002)
La Candelaria, Chile	Andesitic volcanic, tuff, metasediments	Early Cert	Mt-Hm-Pyro-Py- Cpy	Lenses and vein, breccias filling	2320Mt@	Mt±Hm, chl, Ser, Sid, Py, Cpy, Pit, Cc, Bn, Pit, Bar, flu, Chl, Qtz	Oreskes and Einaudi(1992); Skirrow et al (2002)
Manto Verde, Chile	Andesitic volcanic, diorite porphyry stok	Early Cert	Hm- Chpy-py	breccias filling, stockwork	120 Mt @	k-feld,ser, qtz, calcite	Vila et al(1996)
Kirunava Ara, Sweden	Felsic to intermediate volcanics	1.6 -1.9 Ga	Loe Ti-Mt and minor Ap, Hm, REM	Elongate conformable lense	2000Mt@	Mt-Ap-Act-Alb-Cal	Geijer (1967), Hitzman (2000)
Pea Ridge, Missouri	Rhyolitic lava flow and tuffs	1.48-1.45 Ga	Mt and minor Hm-Ap-REM	Massive, disseminated	-	Hem-Qtz-kfeld-Ser-Act-Chl-Carb	Kerr (1998)
El Laco, Chile	Felsic to intermediate volcanics	2.1 Ma	Mt, Ap	Massive, lava flow, pyroclastics, dykes	500 Mt @	Mt- Pyx- scp-Alb Diop(hydrolytic/silic)	Nystrom and Henriquez (1994); Naslund et al (2002)
Bafq, Central Iran	Mainly felsic volcanic and volcanosedimentary rocks	Lower Cambrian	Mt, Hem, Ap	Massive, elongate conformable lense	2000Mt@	Mt- Act-Pyx scp- Alb- k-feld-chlcal-qtz	Daliran (1990, 2002); Daliran et al (2007, 2008); Foster and Jafarjadeh (1994)

۷-۶- عوامل موثر در تشکیل کانسار آهن (مس و طلا) رباعی

عوامل مختلف در تشکیل کانسار آهن(مس و طلا) رباعی دخالت داشته‌اند که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

الف- توده نفوذی نیمه عمیق یا ساب‌ولکان‌های داسیتی ب- سنگ میزبان پ- ساختارهای منطقه ت- منشاء سیال.

به همراه تبلور، تزریق و جایگیری توده‌های نفوذی، مراحل تشکیل و تکوین کانسارهای اسکارن آغاز می‌گردد (Einaudi et al., 1981). در کانسار آهن(مس و طلا) رباعی با نفوذ ساب وولکان‌های داسیتی و تقابل بین سیالات ماگمایی و سنگ‌های میزبان، یک محیط هیدروترمال ماگمایی را ایجاد نموده است. با توجه به اینکه توده تشکیل دهنده کانسار رباعی یک توده نیمه عمیق(ساوب وولکانیک) و کم حجم

بوده است پس از جایگیری در داخل سنگ آهک‌های کرتاسه باعث ایجاد متاسوماتیسم و دگرگونی ضعیف و تشکیل کانی‌های اسکارنی نظیر گروسولار، اپیدوت و کلریت شده است. کانی‌زایی در کانسار آهن(مس و طلا) رباعی در کنترل گسل‌ها و شکستگی‌های منطقه بوده است که بیشتر به شکل رگه-ای تشکیل شده است. همچنین بخشی از سیالات این ساب‌ولکان، واحدهای آتشفشانی-رسوبی(توف-ماسه‌ای و تراکی‌آندزیت) ائوسن در منطقه را تحت تأثیر خود قرار داده و باعث تشکیل کانی‌زایی آهن بخش(II) رباعی شده است. در این بخش تمرکز کانی‌زایی غالباً در توف‌های ماسه‌ای بصورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی شکل گرفته است. دمای همگن شده میان‌بارهای سیال در کانسار آهن(مس و طلا) رباعی در بخش ساب ولکانیک ۳۵۰-۲۰۰ درجه سانتی گراد و در بخش ولکانیک(II) بین ۲۴۹ - ۱۵۰ درجه سانتی‌گراد با شوری ۶ - ۲ درصد وزنی نمک طعام می‌باشند که نشانگر اختلاط آب‌های ماگمایی با آب‌های جوی است.

۷-۷- مقایسه کانسار آهن(مس، طلا) رباعی با برخی کانسارهای ایران و سایر نقاط دنیا

بررسی ویژگی‌های کانسار آهن(مس، طلا) رباعی، در مقایسه با کانسارهای مختلف اسکارنی و IOCG، حاکی از آن است که کانی‌زایی در این کانسار از نظر کانی‌شناسی، دگرسانی، پاراژنز کانی‌ها، ژئوشیمی و منشأ کانی‌زایی، شباهت‌های زیادی با کانسارهای اسکارن آهن کلسیمی و IOCG دارد. این ویژگی‌ها بطور مفصل در جدول(۶-۷) مقایسه شده است.

جدول ۶-۷ - مقایسه کانسار آهن(مس و طلا) رباعی با برخی کانسارهای ایران و سایر نقاط دنیا

ویژگی‌های شاخص برخی کانسارها	کانسار آهن رباعی		کانسار آهن چالو	کانسار آهن پنج کوه دامغان	کانسار آهن ورتاوه	کانسار El Espino شیلی
	مجاور توده ساب ولکانیک(بخش اسکارنی)	بخش ولکانیک(بخش II)				
محیط تکتونیکی	فرورانش حاشیه قاره‌ای		فرورانش حاشیه قاره- ای	فرورانش حاشیه قاره‌ای	فرورانش حاشیه قاره‌ای	کمان ماگمایی
سنگ میزبان	ساب ولکانیک داسیتی و سنگ آهک	توف ماسه‌ای تراکی- آندزیت	دیوریت، سنگ آهک، آندزیت، داسیت	کوارتز مونزونیت، سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری	دیوریت، کوارتز دیوریت، توف کربناتی، توف برش	آندزیت، توف ماسه‌ای
دگرسانی	اپیدوتی، کلریتی، سرسییتی، آرژیلیتی	کلریتی، سیلیسی، کربناتی، آرژیلیتی	پروپیلیتی، آرژیلیتی، سرسییتی، کربناتی	دگرسانی‌های سدیمی-کلسیمی و دگرسانی پتاسیکی	اپیدوتی، کلریتی، سرسییتی، آرژیلیتی	آلبیتی، اپیدوتی، کربناتی، سرسییتی، آرژیلیتی
کانی شناسی	اپیدوت، گروسولار، کلریت	کلریت، کواتز، کلسیت	گارنت، کلسیت، اکتینولیت، کوارتز، تالک، موسکویت	اسکاپولیت آلبیت، دیوپسید، اکتینولیت، کلینوپیروکسن ترمولیت، اپیدوت، کلریت کوارتز و کلسیت	گارنت، اپیدوت، کلریت، ولاستونیت، پیروکسن	آلبیت، اپیدوت، اکتینولیت، کلریت، کوارتز، کلسیت

ادامه جدول ۶-۷

هماتیت، الیژیست، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت، پروتیت، کالکوسیت، مالاکیت، آزوریت، گوتیت، لیمونیت	هماتیت، الیژیست، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، گوتیت، لیمونیت	هماتیت، اسپیکولاریت، مگنتیت، کالکوپیریت، لیمونیت، گوتیت، مالاکیت	مگنتیت، هماتیت، پیریت، کالکوپیریت،	مگنتیت، هماتیت، کالکوپیریت، پیریت	هماتیت، مگنتیت، کالکوپیریت، پیریت
رگه‌ای	رگه‌ای، استوک ورک، توده‌ای	توده‌ای، رگه‌ای	عدسی شکل و پراکنده	توده‌ای، رگه‌ای، عدسی، برشی	رگه‌ای
تناژ	-	-	-	بیش از ۲۰۰۰۰۰ تن	۱۴۵ میلیون تن
عیار میانگین آهن	۳۶ درصد	۳۰ درصد	-	۴۷ درصد	-
فلزات همراه	Cu, Au	Cu, Au	Cu, Au	Cu, Au	Cu, Au
دما سیال	250- 300 °C	150- 249 °C	140- 276 °C	150- 310 °C	280- 350 °C/425 °C
شوری	-	2- 4 wt% NaCl	3- 11 wt% NaCl	5/47- 15/78 wt% NaCl	30- 34 wt% NaCl
منابع	بادوزاده کانرش، ۱۳۹۰	این تحقیق	تقی پور و همکاران، ۱۳۹۰؛ مهرابی و همکاران، ۱۳۹۱	شیبی و اسماعیلی، ۱۳۸۲؛ پیروزفر، ۱۳۸۶؛ عرب عامری و همکاران، ۱۳۹۱؛ تقوی و مرادی، ۱۳۹۱	وکیلی نوش آبادی، ۱۳۹۳ Lopez et al., 2013

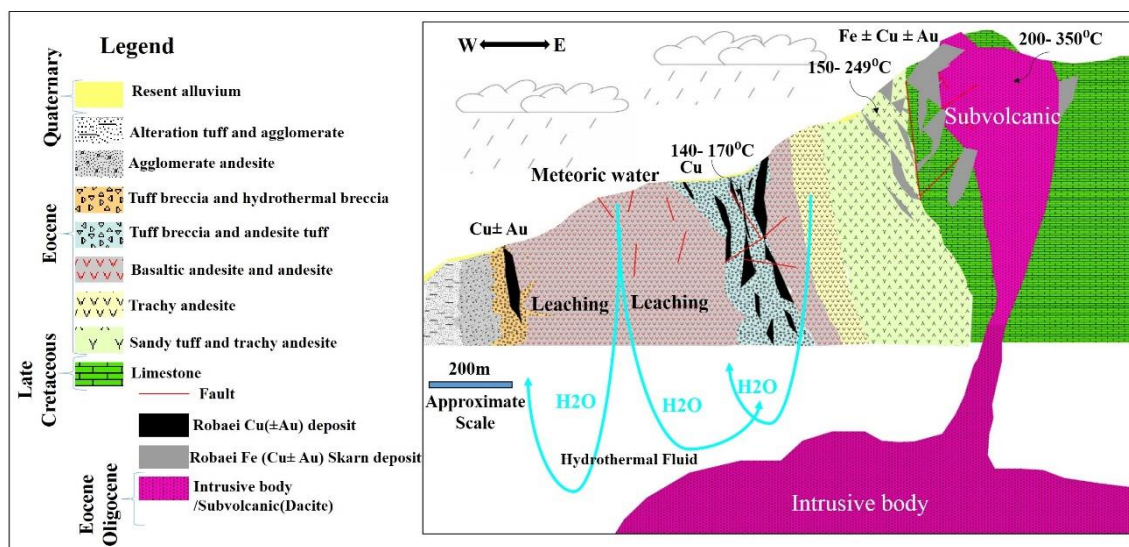
۷-۸- نتیجه‌گیری و تیپ‌کانی‌زایی

در این تحقیق با بررسی و مشاهدات صحرایی، مطالعات زمین‌شناسی، پتروگرافی، دگرسانی و کانی-زایی، کانه‌نگاری، ژئوشیمی، مطالعات میان‌بارهای سیال و همچنین پس از مقایسه کانسار مس و آهن(مس، طلا) رباعی با تعدادی کانسارهای تیپ موجود در ایران و سایر نقاط جهان نتایج زیر حاصل گردید:

الف- مطالعات مذکور نشان می‌دهد که کانسار مس رباعی یک کانسار هیدروترمال رگه‌ای است که بیشترین شباهت را با اپی‌ترمال‌های سولفید متوسط دارد.

ب- با توجه به بررسی‌ها و مطالعات انجام شده بر روی کانه‌زایی آهن(مس و طلا) رباعی در فصل‌های گذشته و مشخص کردن جایگاه زمین‌شناسی، تکتونیکی، سنگ میزبان، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی، ساخت و بافت، این ویژگی‌ها با مشخصات ذخایر تیپ کانسارهای آهن اسکارنی کلسیمی دما پایین و اکسید آهن مس و طلا(IOCG) مطابقت دارد.

الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی بصورت شماتیک در شکل (۷-۲) نشان داده شده است.



شکل ۷-۲- مدل شماتیک نشان دهنده چگونگی تشکیل کانسار اسکارنی آهن، مس و طلا (IOCG) و کانسار اپی ترمال رگه‌ای مس (طلا) رباعی.

۹-۷-پیشنهادهای اکتشافی

۱- 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، لذا پیشنهاد می‌گردد پتانسیل‌یابی نهشته‌های معدنی (مس، آهن و غیره) در مقیاس ناحیه‌ای و با تکنیک‌هایی مثل دورسنجی و ژئوفیزیک هوابردی در منطقه با دقت‌های بالا انجام گردد.

۲- گمانه‌های حفر شده از عمق کمی برخوردار هستند و در طول گمانه‌ها حضور ماده معدنی اثبات شده است. لذا پیشنهاد می‌گردد گمانه‌های عمیق‌تر را به منظور تعیین عمق کانی‌زایی (مخصوصاً بخش سولفیدی) در منطقه صورت پذیرد.

۳- بنا به حضور طلا در بعضی قسمت‌های کانسار مس رباعی و مس دیان شباهت‌هایی که با کانسارهای اپی‌ترمال دارند و همچنین کانسار آهن رباعی شباهت با تیپ IOCG دارد، مطالعات بیشتری به منظور اکتشاف طلا بر روی این کانسارها و تیپ کانسارهای مشابه پیشنهاد می‌گردد.

۴- انجام آنالیزهای ایزوتوپی برای تعیین دقیق منشاء سیالات کانه‌ساز در کانسار مس رباعی پیشنهاد

می‌شود

منابع

اسحاقیان پور ر، (۱۳۹۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی: "بررسی کانی شناسی و زمین شیمی کانسار سرب تنگه‌ی کوه‌زر، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

اشتوکلین (۱۹۵۶) و هوپر (۱۹۵۷)، "بررسی مقدمات زمین شناسی در لوت مرکزی، شرق ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

اشراقی س، خلیلی ا، (۱۳۸۵)، "نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه معلمان" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

امام جمعه ا، (۱۳۸۵)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی، شمال غرب ترود، استان سمنان"، دانشکده علوم پایه، 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 ترود- چاه شیرین"، مجله علوم زمین، زمستان ۸۷، سال هیجدهم، شماره ۷۰.

احیا ف، رسا ا،، لطفی م، (۱۳۸۷)، "کانی‌سازی سرب و روی ژوراسیک در بابا قله"، فصلنامه زمین شناسی کاربردی، سال ۴، شماره ۴، ص ۲۳۴-۲۴۶.

آقابات‌ی ع، (۱۳۸۳)، "زمین شناسی ایران"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور،

۵۸۶ص.

بادوزاده کانرش ح، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی کانه‌زایی کانسار آهن رباعی دامغان براساس مطالعات پتروگرافی و ژئوشیمی"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

پورحسینی ف، (۱۳۶۲)، "پژوهشی در منشاء توده‌های آذرین ایران زمین، بررسی ژرف توده‌های نفوذی نطنز و بزمان"، گزارش شماره ۵۳، سازمان زمین شناسی کشور.

پورشعبان ا، خاکزاد ا و ابراهیمی میمند، (۱۳۸۹)، "مطالعه کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیای در کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران سمنان"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۸۹.

-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 پیشرفته زمستان ۹۰، شماره ۲ جلد ۱.

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

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

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

شهاب‌پور ج، (۱۳۸۲ و ۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.

شیری ز، (۱۳۹۲)، "پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی، زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار روی (سرب) انارو، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

خواجeh زاده ح، (۱۳۸۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد، "پترولوژی و ژئوشیمی توده های آذرین نفوذی شمال معلمان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود

خادمی م، (۱۳۸۶)، رساله دکتری، "ویژگی های ساختاری و وضعیت زمین شناسی منطقه ترود"، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ صفحه

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

روح بخش پ، کریم پور م ح، ملک زاده شفارودی ا، (۱۳۹۵)، "مقایسه پردازش داده های ماهواره ی و مطالعات صحرایی در کانی شناسی زون های دگرسانی کانسار طلا- مس کوه زر، دامغان"، هشتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۱۳۹۵.

رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی سازی طلا در منطقه باغو (جنوب شرق دامغان)"، دانشگاه تربیت معلم.

صادقی فلک دهی ص، (۱۳۸۲)، "زمین شناسی اقتصادی کانسار چاه موسی در شمال غرب ترود سمنان" دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۱۹۴ ص.

طالع ماسوله س، قربانی م، حکیمی آسیابر، س، (۱۳۸۹). "مطالعه زمین شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب ترود" فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره اول.

علوی م، هوشمندزاده ا، (۱۳۵۵)، "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه طرود" انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

قربانی، منصور، (۱۳۸۱)، "دیباچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران" وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی و داده‌های علوم زمین، ۶۹۵ص.

قربانی م، (۱۳۸۹) "دیباچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران" وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی و داده‌های علوم زمین، ۶۵۹ص.

کریم پور م.ح، ملک زاده آ، حیدریان م.ر، (۱۳۸۹)، "اکتشاف ذخایر معدنی"، چاپ سوم . انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد.

کریم پور، م. ح، سعادت س، (۱۳۸۹)، "زمین شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات مشهد، چاپ

چهارم.

کریم‌پور، م ح، (۱۳۹۵)، "تصویر پردازش داده‌های ماهواره استر برای شناسایی کانی‌های معرف دگرسانی در محدوده اکتشافی رباعی"، برگرفته از گزارش پایان عملیات اکتشاف مس رباعی، مرداد ۱۳۹۵.

کریم‌نژاد، س، (۱۳۸۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی کانسار آهن رباعی"، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شمال. ۱۶۸ص.

کهنسال ر، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "بررسی توده‌های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ 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.

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

معین وزیری ح، احمدی ع، (۱۳۷۱)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگهای آذرین"، دانشگاه تربیت معلم، ۵۵۵ صفحه.

مهری، ب، راستاد، ا، فیاضی، ف، (۱۳۸۷)، "رخساره‌های کانه‌دار کانسار سرب- نقره (روی) خانجار، در توالی کربناته کرتاسه بالایی ایران مرکزی، جنوب دامغان"، نشریه علوم زمین، شماره، ۷۵ صفحه ۱۲-۳.

مهری ب، راستاد ا، فیاضی ف، (۱۳۷۹)، "رخساره‌های کانه دار و ساخت و بافت و پارائنز آنها در کانسار سرب - نقره خانجار - جنوب دامغان"، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سال ۱۳۷۹.

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

مر ف، شکری ع، (۱۳۷۹)، "کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و زمین دماسنجی کانسار طلای رگه‌ای باغو"، چهارمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، سال ۱۳۷۹.

مصدق م، (۱۳۹۴)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی: "کانی شناسی، زمین شیمی و الگوی پیدایش کانسار منگنز هلالان، منطقه معلمان، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

موحد اول م، (۱۳۴۷)، "گزارش مقدماتی فیروزه باغو منطقه کوه زر"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

ناهیدی فر ل، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی: "کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

نبوی م. ح، (۱۳۵۷)، "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

نبوی م. ح، (۱۳۵۵)، "دیباچه ای بر زمین شناسی ایران". سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۱۰۹ ص

نجف زاده ع ل، خلیلی مبرهن ش، احمدیان ج، (۱۳۹۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

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

نوگل سادات، م ع الف (۱۹۹۳)، "نقشه سائزمو تکتونیک ایران ۱/۱۰۰۰۰۰۰"، چارت آزمایشی، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین شناسی کشور.

نوری ل، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی: "بررسی هاله های دگرسانی رشته کوه ترود- چاه شیرین با استفاده مطالعات میدانی و پردازش تصاویر ماهواره ای ASTER" دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

هلمهاکر (۱۸۹۸) و هنمک (۱۸۹۹)، "پی جویی طلا در زمین شناسی منطقه مورد مطالعه"، قربانی م، (۱۳۸۴)، رساله دکترا، "پترولوژی سنگ های ماگمایی جنوب دامغان"، دانشگاه شهید بهشتی.

هوشمندزاده ع، علوی نائینی م، حقی پور ع، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه ترود"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

یعقوب پور ع، حضرتی ا، سلطانی ص، کاظم پور ا، (۱۳۸۷)، "مطالعه کانی شناسی و میکروترموتری کانسار چاه فراغ سمنان (جنوب سمنان)"، دوازدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران، اهواز- شرکت ملی نفتخیر جنوب ۱۳۸۷.

Reference

Anderson R., Graham C. M., Boyce A. J., & Fallick A. E. (2004) "Metamorphic and basin fluids in quartz-carbonate-sulphide veins in the SW Scottish Highlands: a stable isotope and fluid inclusion study". *Geofluids*, 4(2), 169-185.

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*, v.106, p. 1031-1041.

Bajwah Z. U., Seccombe P. K., Offler R. (1987). "Trace element distribution, Co: Ni ratios and genesis of the Big Cadia iron-copper deposit, New South Wales, Australia". *Mineralium Deposita*, 22(4), 292-300.

Barnes H. L. (1997) **“Geochemistry of hydrothermal ore deposits”** (Vol. 1). John Wiley & Sons

Bateman A. M. (1950), **“Economic Mineral Deposits”**. New York; Wiley, 961pp

Bates R.L Jackson., J. A. (1980), **“Glossary of geology. American Geological Institute”**, Falls church, Virginia, 751p.

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**, 75(6), pp.876-893.

Bodnar R.J. (2003) “Introduction to aqueous-electrolyte fluid inclusions. Fluid Inclusions: Analysis and Interpretation”, 32, pp.81-100.

Burruss R.C. (1981), **“Analysis of phase equilibria in C-O-H-S fluid inclusions. In: L.S. Hollister and M.L. Crawford (Editors), Mineralogical Association of Canada Short Course in Fluid Inclusion: Applications to Petrology”**. Royal Ontario Museum, Toronto 6, pp. 39-74.

Camprubi A., Albinson T. (2006) “Depósitos epitermales en México-Actualización de su conocimiento y reclasificación empírica”. **Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana**, 58(1), 27-81.

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.**

Chen Y. and Zhang Y. (2008), “Olivine dissolution in basaltic melt”. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 72(19), pp.4756-4777.

Çiçek, M., Oyman T. (2016) “Origin and evolution of hydrothermal fluids in epithermal Pb-Zn-Cu±Au±Ag deposits at Koru and Tesbihdere mining districts, Çanakkale, Biga Peninsula, NW Turkey” **Ore Geology Reviews**, 78, 176-195.

Cooke D.R and Simmons S.F. (2000), “Characteristics and genesis of epithermal gold deposits”. **Reviews in Economic Geology**, 13, pp.221-244.

Craig G.R. and Vaughan, P. (1994), “**Ore Microscopy and Ore Petrography**”. John Wiley and Sons, 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p.

Craig J.R. and Vokes F.M., (1993), “The metamorphism of pyrite and pyritic ores” **an overview, Mineralogical Magazine**, v. 57, p. 3-18.

Craig J.R., Vaughan D.J. and Hagni R.D. (1981), “**Ore microscopy and ore petrography**” (Vol. 406). New York: Wiley.

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.

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**, 102(8), pp.1471-1498.

Einaudi M.T., Meinert L.D., Newberry R.J. (1981), “**Skarn deposit**” *Econ. Geo.*, v. 75, p. 317-391.

Fisher R.V. (1966) “Rocks composed of volcanic fragments and their classification”. **Earth-Science Reviews** 1(4), pp.287-298.

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”. **Ore Geology Reviews**, 66, pp.366-387.

Franklin J.M., Gibson H.L., Jonasson I.R., Galley A.G. (2005) “Volcanogenic Massive Sulphide Deposits” **Economic Geology 100 anniversary**, p. 523-560. 35.

Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I., (2007). "Volcanogenic massive sulphide deposits", **Journal of Mineral Deposits of Canada**, 5, 141-161.

Gandhi S.S., (2003), “An overview of the Fe oxide–Cu–Au deposits and related deposit types. In CIM Montreal, Mining Industry Conference and Exhibition, Canadian Institute of Mining, Technical Paper, CD-ROM.

Gandhi S.S., (2004). “Magmatic-hydrothermal Fe oxide±Cu±Au deposits: classification for a digital database and an overview of selected districts: IAVCEI General Assembly 2004. Pucón, Chile” CD-ROM, Abstracts01a_pt_169.

Gifkins C.C., Herrmann W., Large R.R. (2005) “Altered volcanic rocks” **A guide to description and interpretation.**

Gill J., (1981) “Orogenic Andesites and Plate Tectonics” **Springer- Verlag, Berlin.**

Giggenbach W.F. (1997) “The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems. Geochemistry of hydrothermal ore deposits” **3**, pp.737-796.

Goldschmidt, V. M. (1954) “**Geochemistry**” (Vol. 78, No. 2, p. 156). LWW.

Haas J.L. (1971) “The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure”. **Economic Geology**, **66(6)**, pp.940-946.

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**, v. **34**, no. **6**, p. **331**.

Haynes D.W., Cross K.C., Bills, R.T., Reed M.H. (1995) “Olympic Dam ore genesis; a fluid-mixing model” **Economic Geology**, **90(2)**, pp.281-307.

Hedenquist J.W., Arribas A., Gonzalez-Urien E. (2000) “Exploration for epithermal gold deposits” **Reviews in Economic Geology**, **13(2)**, pp.45-77.

Heald P., Foley N. K., Hayba D. O. (1987) “Comparative anatomy of volcanic-hosted epithermal deposits; acid-sulfate and adularia-sericite types” **Economic Geology**, **82(1)**, 1-26.

Hemley J.J., Jones W.R. (1964) “Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism” **Economic Geology**, **59(4)**, pp.538-569.

Henderson P. (1984) “Rare earth element geochemistry” (No. **550.42 RAR**).

Irvin 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**, **8(5)**, pp.523-548.

Jensen L.S. (1976) "A new cation plot for classifying subalkalic volcanic rocks" (Vol. 66). Ministry of Natural Resources.

Jones A.P., Wall F., Williams C.T. (1996) "Rare earth minerals: Chemistry. Origin and Ore Deposits" **Mineralogical Society Series**, 7.

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**, **140(4)**, pp.241-271.

Komninou A., Sverjensky, D. A. (1996) "Geochemical modeling of the formation of an unconformity-type uranium deposit".**Economic Geology**, **91(3)**, 590-606.

Kuno H. (1968) "Origin of andesite and its bearing on the island arc structure. Bulletin Volcanologique" **32(1)**, pp.141-176.

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.

Le Bas M.J., Le Maitre R.W., Streckeisen A., Zanettin B. (1986) "A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram" **Journal of petrology**, **27(3)**, pp.745-750.

Lentz D.R. (1994) "Alteration and alteration processes Associated with oreforming system". **Geological Association of Canada Short Course Notes**, v. 11.

Lopez, G.P., Hitzman, M.W. and Nelson, E.P. (2013) "Alteration patterns and structural controls of the El Espino IOCG mining district, Chile" **Mineralium Deposita**, **49(2)**, pp.235-259.

Lottermoser B.G. (1992) "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes" **Ore Geology Reviews**, **7(1)**, pp.25-41.

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 Neoproterozoic ridge subduction?" **Precambrian Research**, **159(3)**, pp.241-259.

Marshall D., (Lyn)Anglin C. D., and Mumin H. (2004), “**Ore Mineral Atlas**”.107 Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaze.

McDonough W. F., S.S. Sun. (1995) “The composition of the Earth”, **Chem. Geol.**, **120**, 223– 253.

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**, **80(4)**, pp.563-578.

Mehrabi B., Siani M.G., Goldfarb R., Azizi H., Ganerod M., Marsh E.E. (2016) “Mineral assemblages, fluid evolution, and genesis of polymetallic epithermal veins, Glojeh district, NW Iran” **Ore Geology Reviews**, **78**, pp.41-57.

Middlemost E. A. K. (1994) “Naming materials in the magma / igneous rock system”. Longman Group u. k, pp. **73 – 86**.

Morrell A. E., Locke C. A., Cassidy J., Mauk J. L. (2011) “Geophysical characteristics of adularia-sericite epithermal gold-silver deposits in the Waihi-Waitekauri region, New Zealand” **Economic Geology**, **106(6)**, **1031-1041**.

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.

Nakamura N. (1974) “Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites”. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, **38(5)**, pp. 757-775.

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.

Nesse W.D. (2000) “Introduction to mineralogy” **Oxford University Press**, 442 p.

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 Exploration Geologist” **Springer, verlag**, p. 706.

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.

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.

Robb L. (2004) “**Introduction to ore forming processes**” Blackwell, Oxford.

Roedder E. (1984) “Fluid inclusions” (Vol. 12, pp. 12-45). P. H. Ribbe (Ed.). Washington, DC: Mineralogical Society of America.

Rollinson H.R. (2014) “Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation” **Routledge**.

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**, 99(4), pp.691-712.

Shand S.J. (1943) “Eruptive Rocks. Their Genesis, Composition, Classification, and Their Relation to Ore-Deposits with a Chapter on Meteorite” **New York: John Wiley & Sons**.

Shelly D. (1993) “Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, Microstructures and mineral preferred orientations” **Chopman & Hall, London**. pp.405.

Shepherd T.J., Rankin A.H., Alderton D.H.M. (1985) “A practical guide to fluid inclusion studies” **Blackie**.

Sillitoe R.H. (1993) “Epithermal models: genetic types, geometrical controls and shallow features. Mineral Deposit Modeling” **Geological Association of Canada Special Paper**, 40, pp.403-417.

Sillitoe R. H., Hedenquist J. W. (2003) "Linkages between volcanotectonic settings, orefluid compositions, and epithermal precious metal deposits" **Special Publication-Society of Economic Geologists**, 10, pp. 315-343.

Sillitoe R.H., Perelló, J. (2005) "Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery" **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, pp.845-890.

Simmons S. F., White N. C., John D. A. (2005) "Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits" **Economic Geology 100th anniversary volume**, 29, pp.485-522.

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**, 42(1), pp.313-345.

Tucker M.E. (2009) "Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks" **John Wiley & Sons**.

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**, 113(11), pp.1409-1422.

Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F. (2001) "Fluid inclusion petrography". **Lithos**, 55(1), pp.27-47.

Weaver B. L., Tarney J. (1984) "Major and trace element composition of the continental lithosphere". **Physics and Chemistry of the Earth**, 15, 39-68.

Wendlandt R. F., Harrison W. J. (1979). "Rare earth partitioning between immiscible carbonate and silicate liquids and CO₂ vapor: results and implications for the formation

of light rare earth-enriched rocks". Contributions to Mineralogy and Petrology, **69(4)**, pp. **409-419**.

Wilkinson J.J. (2001) "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits". **Lithos**, **55(1)**, pp.229-272.

Wilson M. (1989) "Igneous Petrogenesis". **UnwinHyman, 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**, **50(1)**, pp.11-30.

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)" **Ore Geology Reviews**, **37(3)**, pp.236-258.

پیوست‌ها

پیوست ۱: نتایج آنالیز XRF برای سنگ‌های آتشفشانی، آذرآواری، کانسنگ کانسار مس رباعی و ساب‌ولکان داسیتی منطقه (واحد اندازه‌گیری براساس درصد٪ می‌باشد).

Rock type	Sample No.	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	MnO	CuO
Pyroclastic	TR01	3.23	0.52	12.26	62.91	0.20	0.41	4.93	8.54	0.59	5.19	0.00	0.00
Ore	TR02	0.00	2.02	5.61	20.80	0.17	0	1.57	61.50	0.00	3.52	1.47	3.29
Pyroclastic	TR03	4.41	2.54	17.35	58.95	0.47	0.30	5.51	2.85	0.88	6.74	0.00	0.00
Pyroclastic	TR04	3.78	2.11	17.13	54.94	0.38	0.22	6.08	6.70	0.93	7.52	0.21	0.00
Ore	TR05	0.00	3.04	16.47	60	0.37	0.41	6.15	1.62	0.89	8.89	0.00	2.10
Volcanic	TR06	0.00	2.45	16.35	50.41	0.48	0.23	5.87	14.44	1.02	8.75	0.00	0.00
Sub Volcanc	TR07	2.26	1.62	14.11	65.80	0.50	0.35	4.79	5.63	0.65	4.29	0.00	0.00
Pyroclastic	TR08	0.00	2.82	18.30	64.39	0.28	0.29	3.66	3.55	0.86	5.84	0.00	0.00
Volcanic	TR10	0.01	2.70	16.09	55.63	0.58	0.00	4.77	10.93	0.74	8.13	0.24	0.00
Ore	TR12	0.00	7.24	13.49	41.53	0.37	0	3.90	24.61	0.79	6.17	0.53	1.95
Volcanic	TR13	0.00	1.85	15.95	65.26	0.57	0.00	4.62	6.07	0.71	4.60	0.00	0.21
Volcanic	TR14	4.38	0.51	16.05	67.86	0.00	0.00	5.25	2.29	0.33	3.32	0.00	0.00
Volcanic	TR16	5.81	0.51	15.21	64.91	0.00	0.22	6.03	2.99	0.33	3.66	0.00	0.00
Pyroclastic	TR17	0.00	0.57	6.12	57.77	0.18	0.18	1.35	30.51	0.00	3.33	0.00	0.00
Pyroclastic	TR18	3.88	2.11	17.67	60.32	0.22	0.16	5.18	5.87	0.68	3.90	0.00	0.00
Volcanic	TR19	5.61	0.51	16.09	59.40	0.69	0.48	4.11	5.12	0.87	7.01	0.00	0.00
Volcanic	TR20	3.61	4.36	16.53	53.31	0.49	0.00	4.00	8.58	1.04	7.96	0.00	0.00
Volcanic	TR21	3.30	4.73	15.92	53.87	0.77	0.18	4.27	7.72	0.73	8.32	0.00	0.00
Ore	TR23	0	0.51	18.99	63.82	0	0.80	8.41	1.86	0.78	1.81	0	1.95
Volcanic	TR24	0	0.53	15.94	56.88	0.42	0.00	5.41	11.79	0.87	8.12	0.03	0.00
Ore	TR25	0.55	1.69	7.50	65.53	0	0.25	0.27	4.55	0.05	25.42	0.00	0.00

پیوست ۱: جدول نتایج آنالیز ICP-MS مربوط به نمونه‌های سطحی کانسار مس رباعی.

Rock type	Sample NO.	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co
Ore	TR02	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		6.8	24396	16.9	210	6.4	0.9	>100000	2	35	3.8
Ore	TR05	1.1	55890	9.2	606	3.1	1.2	6463	1.5	51	28.1
Volcanic	TR10	<0.1	59432	5	538	4.6	0.6	41790	0.4	39	18.7
Pyroclastic	TR12	4.8	55293	27.5	817	3.2	0.9	88679	3.1	74	15.3
Ore	TR23	6.1	63522	34	7519	0.6	2.7	8006	6.2	97	3.7
Volcanic	ZRR-1	2	8.95	3	841	2.37	<1	1.31	<0.01	101	4
Rock type	Sample NO.	Cu	Dy	Er	Eu	Fe	Gd	Hf	In	K	La
Ore	TR02	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		15600	2.3	1.06	1.55	10197	3.44	1.65	<0.5	11540	24
Ore	TR05	11673	3.72	1.98	1.42	41865	4.88	3.65	0.61	35759	30
Volcanic	TR10	275	3.66	1.84	1.59	37911	4.55	2.99	<0.5	24490	20
Pyroclastic	TR12	5622	4.45	1.79	2.01	24231	7.43	3.49	1	16987	42
Ore	TR23	12383	5.37	2.46	3.07	10304	8.25	6.64	2.2	52611	54
Volcanic	ZRR-1	1043	3.9	2.3	<1	1.85	3.3	5.2	<1	49300	46
Rock type	Sample NO.	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd	Ni	P	Pb	Pr
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ore	TR02	62.76	5965	0.8	6462	4.4	19.5	1	505	64	5
Ore	TR05	11500	1080	2.5	9986	11.1	36.6	27	1107	49	9.27
Volcanic	TR10	11069	1137	0.4	26430	8.4	28.3	13	1266	32	7.6
Pyroclastic	TR12	19598	2480	0.6	20810	14.4	49.4	8	985	89	13.1
Ore	TR23	2358	174	2.9	14481	28.1	62	3	1009	167	17.4
Volcanic	ZRR-1	0.1	438	24	4.04	48	22	1	400	15	4
Rock type	Sample NO.	Sb	Sc	Se	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Te	Th
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
Ore	TR02	4	4.8	<0.5	3.59	0.7	210.7	0.3	0.46	<0.1	2.82
Ore	TR05	3.6	18.8	<0.5	5.44	1.5	124.7	0.69	0.75	<0.1	6.96
Volcanic	TR10	1	13.4	<0.5	5.32	1.4	804.3	0.53	0.61	<0.1	5.84
Pyroclastic	TR12	20.1	9.3	<0.5	8.55	2.5	339.7	0.95	1.1	<0.1	8.81
Ore	TR23	5.1	5	<0.5	11.63	2.4	391.8	1.74	1.2	<0.1	19.2
Volcanic	ZRR-1	<1	7	0	4.3	3.6	543	<1	<1	<1	3
Rock type	Sample NO.	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr	Ho	Ga
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm		
Ore	TR02	0.13	2.6	192	<1	16.5	1.9	371	149		
Ore	TR05	0.26	3.18	118	<1	16.9	2.3	400	81		
Volcanic R	TR10	0.32	1.3	156	<1	15.2	2.6	169	56		
Pyroclastic	TR12	0.23	2.2	130	<1	16.9	2	725	95		
Ore	TR23	0.34	4.4	58	2.1	19.1	2.3	1213	28		

پیوست ۱: نتایج آنالیز ICP-OES مربوط به نمونه‌های سطحی کانسار مس رباعی

Sample	Ag	Al	As	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr
	ppm	%	(ppm)	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
TR09	<2	7.6	<20	<1	<20	2.9	<1	59	<10	<10
TR11	44	8.6	<20	<1	<20	3.4	<1	68	19	169
TR15	3	8	<20	<1	<20	3	<1	65	<10	27
TR22	5	2.5	48	<1	<20	24.3	7	29	<10	<10
Sample	Cu	Fe	k	La	Li	Mg	Mn	Mo	Na	Ni
	ppm	%	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm
TR09	28410	2	3	34	30	1.6	1223	<1	2.5	<10
TR11	43610	3.5	3.5	37	24	1.7	1016	<1	2.8	<10
TR15	28180	3.1	4.3	37	20	1.7	995	<1	1.9	<10
TR22	38060	1.5	1.2	40	20	0.4	6126	<1	0.5	<10
Sample	P	Pb	S	Sb	Sc	Sr	Ti	V	Y	Zn
	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
TR09	0.07	51	<0.01	<10	<10	402	402	52	12	261
TR11	0.13	62	<0.01	37	13	462	462	127	16	135
TR15	0.11	42	<0.01	24	<10	229	0.29	100	13	216
TR22	<0.01	264	0.13	250	<10	254	0.08	141	17	456

پیوست ۲: نتایج آنالیز ICP-MS برای نمونه‌های کانسار آهن رباعی

Sample No.	Sample type	Li ppm	Be ppm	Sc ppm	V ppm	Cr ppm	Co ppm	Ni ppm	Cu ppm
TRA-1	Dacite	19.5	1.88	6.56	57.5	13	4.22	9.73	45.8
TRA-2	Dacite contact with limestone	21.2	1.11	3.17	40.1	32	3.36	9.34	20761
TRA-3	High-grade ore	14.9	0.653	2.91	49.2	21	0.639	6.31	884
TRA-4	Limestone tuff	35.3	0.781	3.1	25.1	25.3	1.94	10.1	8601
TRA-5	Sandy tuff	24.3	0.847	4.45	32.6	29.2	5.58	15.1	275
TRA-6	Sandy tuff	26.2	0.639	2.97	30.5	31.7	5.48	16.5	32
Sample No.	Sample type	Zn ppm	Ga ppm	Rb ppm	Sr ppm	Y ppm	Mo ppm	Cd ppm	In ppm
TRA-1	"	56.5	20.1	119	261	16.8	3.6	0.021	0.066
TRA-2	"	77.9	7.87	12.3	95.4	12.7	7.45	0.026	1.29
TRA-3	"	73.7	14.4	7.4	54.3	5.52	11.2	0.09	0.392
TRA-4	"	95.1	7.63	2.92	20	5.29	2.51	<0.002	0.393
TRA-5	"	70.5	6.77	17.9	27.6	7.42	1.57	<0.002	0.076
TRA-6	"	65.5	5.37	24.9	14.3	3.74	1.01	<0.002	0.011
Sample No.	Sample type	Sb	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm
TRA-1	"	0.066	2.02	711	30.6	58.3	7.1	29.3	5.47
TRA-2	"	1.29	0.648	23.2	7.38	13.6	1.77	7.41	1.86
TRA-3	"	0.392	0.593	17.2	2.79	5.66	0.751	3.49	0.919
TRA-4	"	0.393	0.392	28.6	12.1	22.9	3	12	2.07
TRA-5	"	0.076	1.24	58.1	10.3	25.1	2.66	10.7	2.22
TRA-6	"	0.011	0.724	44.7	7.7	14	1.74	6.71	1.18
Sample No.	Sample type	Eu ppm	Gd ppm	Tb ppm	Dy ppm	Ho ppm	Er ppm	Tm ppm	Yb ppm
TRA-1	"	1.39	4.47	0.712	3.46	0.612	1.64	0.267	1.63
TRA-2	"	0.606	2.18	0.458	2.45	0.455	1.08	0.17	0.924
TRA-3	"	0.154	0.961	0.201	1.1	0.197	0.51	0.089	0.514
TRA-4	"	0.413	1.62	0.232	1.06	0.181	0.53	0.097	0.598
TRA-5	"	0.528	1.83	0.327	1.65	0.309	0.809	0.153	0.985
TRA-6	"	0.26	1	0.146	0.668	0.132	0.353	0.061	0.42
Sample No.	Sample type	Lu ppm	W ppm	Re ppm	Tl ppm	Pb ppm	Bi ppm	Th ppm	U ppm
TRA-1	"	0.203	2.91	<0.002	0.831	13.6	0.146	8.13	1.88
TRA-2	"	0.124	24.5	<0.002	0.105	6.75	11.2	2.04	4.53
TRA-3	"	0.089	150	<0.002	0.064	3.94	3.59	1.55	7.46
TRA-4	"	0.09	1.07	<0.002	0.027	2.39	2	2.74	2.72
TRA-5	"	0.131	1.78	<0.002	0.13	2.05	1.36	3.61	1.06
TRA-6	"	0.056	0.772	<0.002	0.196	4.18	0.274	3.12	0.629
Sample No.	Sample type	Nb ppm	Ta ppm	Hf ppm	Zr ppm				
TRA-1	"	19.3	1.22	30.3	1.26				
TRA-2	"	3.12	0.214	15.6	0.52				
TRA-3	"	2.83	0.154	16	0.51				
TRA-4	"	4.95	0.372	21.8	0.694				
TRA-5	"	6.43	0.447	19	0.69				
TRA-6	"	4.29	0.296	11.5	0.383				

پیوست ۲: نتایج آنالیز XRF برای نمونه‌های کانسار آهن رباعی (واحد اندازه‌گیری براساس درصد/ می‌باشد).

Sample No.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
TRA-1	66.82	0.48	16.57	4.61	0.05	1.05	2.15	4.25	3.84	0.19
TRA-2	49.8	0.21	5.25	36.14	0.29	0.38	7.06	0.06	0.74	0.08
TRA-3	5.29	0.23	3.78	82.91	0.23	0.25	6.84	0.02	0.43	0.02
TRA-4	79.21	0.24	4.56	13.51	0.06	1.62	0.58	0.05	0.09	0.07
TRA-5	74.38	0.32	4.98	17.63	0.06	1.22	0.60	0.07	0.65	0.08
TRA-6	86.63	0.25	5.08	5.88	0.04	0.78	0.32	0.07	0.89	0.06

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH01 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
BH1D:0-5		25	<5	55740	3.05	474	44	0.03	11	399	178
BH1D:5-16		2	7	575	5.07	2219	59	0.02	<5	656	156
BH1D:16-20		3	<5	104	5.06	1230	41	2.07	10	448	135
BH1D:20-25		3	<5	462	4.17	842	51	1.37	<5	183	93

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH02 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
BH2D:0-5		3	<5	33153	4.01	1480	17	0.02	15	248	144
BH2D:5-10		11	<5	30219	3.98	826	13	0.02	9	276	119
BH2D:10-17		<1	<5	99	3.99	855	15	<0.01	9	619	100
BH2D:17-21		<1	<5	43	4.78	992	12	0.47	8	523	172
BH2D:21-25		<1	<5	47	3.85	2370	21	0.52	8	429	99
BH2D:25-27		<1	<5	1512	3.12	657	13	0.13	10	405	68
BH2D:10-17		<10		<20	0.34	<10	<10	124	<10	7	
BH2D:17-21		<10		<20	0.32	<10	<10	146	<10	8	
BH2D:21-25		<10		<20	0.27	<10	<10	101	<10	11	
BH2D:25-27		<10		<20	0.32	<10	<10	106	<10	8	

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH03 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
BH3 D:0-3		<1	<5	190	6.94	1138	55	0.01	<5	676	356
BH3 D:3-8		<1	17	20726	4.41	1616	19	0.02	<5	300	133
BH3 D:8-13		<1	15	117	5.32	879	145	2.42	<5	914	101
BH3 D:13-18		<1	<5	252	4.10	633	29	0.01	<5	747	42
BH3 D:18-26		2	9	6007	2.42	8361	18	0.08	<5	496	76
BH3 D:26-29		19	<5	26427	4.24	583	11	1.14	<5	361	112
BH3 D:29-32		11	<5	26009	3.44	835	83	1.20	<5	346	114
BH3D:32-38		<1	<5	4563	3.11	4733	19	0.51	8	606.25	59
BH3D:38-44		<1	<5	3871	3.96	699	15	0.87	<5	406	63
BH3D:44-50		<1	<5	411	3.92	942	23	0.06	8	651	101
BH3D:50-55		1	<5	4708	4.77	1030	16	0.35	11	399	192
BH3D:55-60		1	<5	2498	3.25	791	15	0.08	10	402	114

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH04 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn	Cr
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2	1
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
BH4D:0-6		<1	<5	98	5.39	978	21	<0.01	23	537	123	199
BH4D:6-9		2	<5	30484	3.58	1749	9	0.01	14	137	178	135
BH4D:9-18		2	<5	72	4.25	1223	28	0.01	9	435	70	213
BH4D:18-22		6	<5	31344	3.25	5579	17	0.03	10	381	122	52
BH4D:22-28		<1	<5	175	6.00	1291	18	0.91	10	416	141	208
BH4D:28-33		<1	10	51	3.83	657	58	3.26	<5	139	77	113
BH4D:33-41		1	<5	864	3.44	1456	16	2.04	<5	597	57	171

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH05 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
BH5 D:0-6		3	<5	>10000	3.41	952	11	0.01	<5	305	248
BH5 D:6-13		31	<5	>10000	3.44	701	14	0.05	<5	328	159
BH5 D:13-18		<1	7	>10000	3.04	630	19	1.63	<5	339	117
BH5 D:18-22		<1	8	308	3.53	970	9	2.36	<5	633	73
BH5D:25-30		<1	<5	481	4.06	1078	16	0.75	<5	422	111
BH5D:30-36		<1	<5	25	3.57	1158	21	0.14	12	435	75

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH06 براساس عمق در کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm
BH6D:0-7		9	<5	42367	3.00	702	14	0.02	<5	342	158
BH6D:7-17		1	<5	36996	5.38	1492	9	0.03	<5	405	163
BH6D:17-23		2	<5	8226	3.21	1452	6	2.21	9.5	361	78
BH6D:23-31		<1	<5	593	2.90	617	20	1.81	<5	398	41
BH6D:36-41		<1	8	256	3.46	824	9	0.48	15.2	661	110

پیوست ۳: نتایج آنالیز ICP-OES از قسمت‌های مختلف گمانه BH07 براساس عمق ر کانسار مس رباعی (داده‌های از شرکت کاوشگران بین‌الملل، ۱۳۹۴ و ۱۳۹۵).

Sample No.	Element	Ag	As	Cu	Fe	Mn	Pb	S	Sb	Sr	Zn	Cr
	Det. Limit	1	5	1	0.01	5	2	0.01	5	1	2	1
	Unit	ppm	ppm	ppm	%	ppm	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm
BH7D:0-8	1-142	6	<5	36678	4.15	1254	1005	0.03	<5	348	142	39
BH7D:8-16	1-143	4	6	5794	3.60	2477	27	0.04	<5	326	77	52
BH7D:16-23	1-144	<1	<5	681	2.96	787	22	1.63	<5	451	69	44
BH7D:23-31	1-145	<1	<5	14198	3.91	602	3267	2.12	13	419	98	50

پیوست ۴: مقادیر آنالیز EMPA بر روی نمونه‌های کانسار مس رباعی (واحد اندازه‌گیری براساس درصد/ وزن اتمی)

Point.No	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Mg	0	0.08	0.07	0	0	0.01	0.08	0.06	0.02	0.09	0
Si	0.04	0.14	0.2	0	0.07	0.22	0.04	0.25	0.05	0.09	0
S	23.66	22.2	22.05	0.02	21.84	22.62	21.87	15.08	30.16	22.59	0.53
Ca	0.58	0.38	0.54	1.02	0.32	0.5	0	9.98	0.11	0.21	0.16
Ti	0.02	0	0	0	0	0	0	0.01	0	0	0.01
Mn	0.04	0.04	0.06	0	0.04	0.05	0	0.32	0.02	0.02	0.01
Fe	0.07	0.07	0.05	0.08	0.02	0.06	0.01	1.72	0.07	0.17	1.03
Co	0	0.02	0	0.04	0.03	0.01	0	0.01	0	0.02	0
Ni	0	0	0	0	0	0	0.03	0	0	0	0.02
Cu	74.76	75.33	75.55	2.89	75.81	74.74	76.92	46.39	70.07	77.26	1.67
As	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ag	0	0.37	0.19	9.86	0.11	0.31	0.11	1.36	0.14	0.1	11.91
Au	0	0	0.03	82.71	0.13	0	0.25	0	0	0	82.49
Se	0.01	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0
Sb	0	0.02	0.01	0	0.01	0	0	0	0.02	0.04	0
Te	0.08	0	0	0.1	0	0.04	0	0	0.07	0.04	0
Bi	0.02	0	0.32	0.17	0.1	0.01	0.21	0.11	0.1	0.21	0.23
Zn	0	0	0	0.03	0	0	0.01	0.01	0	0	0.04
Pb	0	0.1	0.14	0	0.01	0	0.18	0.14	0	0	0
Total	99.28	98.75	99.21	96.92	98.49	98.57	99.71	75.44	100.87	100.84	98.1

پیوست ۵: نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی نمونه کلسیت در کانسار مس رباعی (R2).

n	Size(μm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	TmHH (°C)	wt% NaCl	wt% CaCl2	wt % NaCl/(NaCl+CaCl2)	wt % NaCl+CaCl2	Thv-l (°C)
1	10	L+V	P	در محدوده -۳۰ درجه سانتیگراد	-2.2	.....	3.73	.....	.....	.....	145
2	15	L+V	P		-1.2	.....	1.94	.....	.....	.....	120
3	15	L+V	P		-2	.....	3.39	.....	.....	.....	147
4	17	L+V	P		-2.5	.....	4.24	.....	.....	.....	152
5	10	L+V	P		-2.4	.....	4.07	.....	.....	.....	155
6	10	L+V	P		-0.9	.....	1.38	.....	.....	.....	153
7	10	L+V	P		-2	.....	3.39	.....	.....	.....	142
8	9	L+V	P		-4.4	.....	7.22	.....	.....	.....	268
9	10	L+V	P		-6.5	.....	10.05	.....	.....	.....	162
10	10	L+V	P	-52	-16.5	-30	5.76	13.23	0.3	18.99	186
11	7	L+V	P	nv	nv	.....	.....	.....	.....	.....	190
12	15	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	150
13	10	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	220
14	12	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	234
15	17	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	170
16	15	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	155
17	7	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	146
18	15	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	140
19	12	L+V	P			.....	.....	.....	.....	.....	187

پیوست ۵: نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی نمونه کوارتز در کانسار آهن رباعی (R3).

n	Size(μm)	Type	Origin	Te (°C)	Tmice (°C)	TmHH (°C)	wt% NaCl	wt% CaCl2	wt % NaCl/(NaCl+CaCl2)	wt % NaCl+CaCl2	Thv-l (°C)
1	9	L+V	P		-1	.....	1.57	.....	.....	.....	193
2	6	L+V	P		-1.1	.....	1.76	.....	.....	.....	270
3	9	L+V	P		-1.2	.....	1.94	.....	.....	.....	207

پیوست ۵: ادامه جدول نتایج مطالعات میکروترمومتری سیالات درگیر بر روی نمونه کوارتز در کانسار آهن رباعی (R3).

4	6	L+V	P	در محدوده نزدیک به ۳۰- درجه سانتیگراد	-1.3	.....	2.13	.....	.....	.....	158
5	8	L+V	P		-5.4	.....	8.62	.....	.....	.....	208
6	10	L+V	P		-2.9	.....	4.91	.....	.....	.....	212
7	8	L+V	P		-2.1	.....	3.56	.....	.....	.....	245
8	9	L+V	P		-2	.....	3.39	.....	.....	.....	256
9	8	L+V	P		-2.2	.....	3.73	.....	.....	.....	245
10	10	L+V	P		-2.5	.....	4.24	.....	.....	.....	145
11	10	L+V	P		-2.2	.....	3.73	.....	.....	.....	235
12	9	L+V	P		-1.8	.....	3.03	.....	.....	.....	270
13	9	L+V	P		-2	.....	3.39	.....	.....	.....	218
14	12	L+V	P		-0.5	.....	0.6	.....	.....	.....	161
15	10	L+V	P		-1	.....	1.57	.....	.....	.....	149
16	10	L+V	P		-2.3	.....	3.9	.....	.....	.....	244
17	12	L+V	P		-1.5	.....	2.5	.....	.....	.....	190
18	10	L+V	P		-0.7	.....	0.99	.....	.....	.....	406
19	8	L+V	P		-3.2	.....	5.39	.....	.....	.....	165
20	9	L+V	P		-1.5	.....	2.5	.....	.....	.....	210
21	15	L+V	P		-2.5	.....	4.24	.....	.....	.....	326
22	10	L+V	P		-0.3	.....	0.21	.....	.....	.....	340
23	12	L+V	P		-0.3	.....	0.21	.....	.....	.....	318
24	9	L+V	P		-5.5	.....	8.75	.....	.....	.....	240
25	12	V+L	P		-0.3	.....	0.21	.....	.....	.....	420
26	15	L+V	P	-52	-7.5	-23	8.7	2.63	0.77	11.33	190
27	12	L+V	P	-52	-6.7	-23	7.97	2.41	0.77	10.38	227
n	Size(μm)	TmClath (°C)	Thv-l CO ₂	-	TmClath (°C)	Th (°C)	Est.Vol Frac CO ₂	CO ₂ Density	Wt %NaCl	Bulk Density	**Remark
28	12	-9.9	24.7	-	24.7	321	25	0.72	21.43	1.04	homogenisation to liquid

Abstract

The Robaei Copper deposit is located in 95 km south of Damghan in Semnan province, 5 km southeast of Dian village and Robaei Iron (copper, gold) deposit is located about 1km southeast of Robaei Copper deposit, northern part of central Iran structural zone and Torud- Chah Shirin volcano- sedimentary mountain range. Rock units exposed in the area include schists and metamorphosed limestone and dolomite (Ordovician-Silurian), late Cretaceous limestones, volcanic lava and pyroclastic Eocene rocks and Quaternary sediments. Late Cretaceous limestone in the area affected by subvolcanic younger dacite and caused iron mineralization. Eocene volcanic rocks mostly include basalt, basaltic andesite, andesite, trachy-andesite, dacite and pyroclastic rocks such as sandy tuff, breccia tuff, crystal lithic tuff, lithic tuff and agglomerate. Based on geochemical data, the volcanic rocks in the area have calc-alkaline nature in terms of chemical composition and in terms of tectonomagmatic is related to subduction zone. The major alteration includes argillite, chlorite, carbonate, silica and hematite. Field observations and mineralogical studies reveal that the mineralization in the Robaei area often occurred as vein- veinlet, filling free space between the grain tuffs and also as vein- veinlet and open space filling occurred in the host rocks of andesite and basaltic andesite with intermediate composition. Effective factors controlling mineralization in the area include tectonic regional and local structures, host rocks, hydrothermal solutions, intrusive body or subvolcanic and etc. The minerals forming Robaei copper deposit occurred in three stages including hypogenesis (chalcopyrite, Pyrite, bornite and chalcocite), reduced supergenes (chalcocite, digenite and Covellite) and supergenes oxide (malachite and azurite and chrysocolla and oxide and hydroxide iron). Gangue and minor minerals formed in Robaei copper deposit are pyrite, magnetite, hematite, goethite, limonite, calcite, dolomite, quartz, barite and clay minerals. The most important textures of mineral are disseminated, exsolution, vein- veinlet, open space filling, colloform and cataclastic. Iron mineralization occurred as vein in sandy tuff host rocks. The minerals forming Robaei iron (copper, gold) deposit divided into two groups: a- iron-bearing minerals include hematite, specularite, magnetite, pyrite, goethite and limonite b- copper-bearing minerals such as chalcopyrite, chalcocite, covellite and malachite. The results of fluid inclusion studies, frequency homogeneous temperature and salinity fluid in the Robaei iron (copper and gold) deposit is respectively 150- 249°C and 2-4 w% NaCl and 140- 170°C and 2- 6 w% NaCl in Robaei copper (gold) deposit. According to the results of this research Robaei copper (gold) deposit has more similarities with intermediate sulfidation epithermal deposits. Robaei iron, copper and gold deposit have the most similarity with calcium low temperature skarn and IOCG deposits.

Keywords: Copper (Gold) epithermal, Iron (IOCG), mineralogy, geochemistry, Robaei, Torud Chah Shirin.



Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Economic Geology

**Geology, Mineralogy, geochemistry and genesis of the Robaei Copper
and Iron deposit, South of Damghan**

By:

Akbar Abdollahi Hydarbaghi

Supervisor:

Dr. Farajollah Fardoost

February 2017