

به نام خداوند بخشنده مهربان



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود

نگارنده: یگانه خرم تاش

استاد راهنما:

دکتر فرج الله فردوست

تیر ۱۳۹۷

شماره: ۱۳۰۲
تاریخ: ۳۰/۹/۹۷

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره (۳) صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با نام و یاد خداوند متعال، ارژیبی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد یگانه خرم تاش با شماره دانشجویی ۹۴۰۶۷۵۴ رشته زمین شناسی گرایش زمین شناسی اقتصادی تحت عنوان کانی شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود که در تاریخ ۹۷/۰۴/۲۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: عالی) <input checked="" type="checkbox"/> مردود <input type="checkbox"/>			
نوع تحقیق: نظری <input type="checkbox"/> عملی <input checked="" type="checkbox"/>			
عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنمای اول	دکتر فرج فردوست	استادیار	
۲- استاد راهنمای دوم	-	-	-
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر محمود صادقیان	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر معبود علی پور اصل	استادیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر فردین موسیوند	استادیار	



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز میدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تیسره: در صورتی که کسی مردود شود حداکثر یکبار دیگر (در مدت مجاز تحصیل) می تواند از پایان نامه خود دفاع نماید (دفاع مجدد نباید زودتر از ۴ ماه برگزار شود).

تقدیر و تشکر

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستی‌مان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همتشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

جناب آقای دکتر فردوست استاد راهنمای گرامی؛ چگونه سپاس گویم تاثیر علم آموزی شما را که چراغ روشن هدایت را بر کعبه محقر وجودم فروزان ساخته است. در مقابل این همه عظمت و شکوه شما مرانه توان سپاس است و نه وصف کلام. از اساتید با کمالات و شایسته؛ جناب آقای دکتر علی پور، آقای دکتر موسوند، پروفور قاسمی و آقای دکتر صادقان که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیج لکلی دریغ نمودند.

در نهایت، تشکر می‌کنم از عزیزانی که همیشه سعی شان بر این بود که عیب‌هایم را به خودم و خوبی‌هایم را به دیگران هدیه کنند.

تقدیم بہ

روح مادرم و لیلی عزیزم

تعهد نامه

اینجانب **یگانه خرم تاش** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زمین شناسی اقتصادی** دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده **کافی شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود**، به راهنمایی **جناب آقای دکتر فرج الله 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 تاکنون 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 تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای 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 اخلاق انسانی رعایت شده است

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق 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.

فهرست مقالات

- مطالعه کانی‌شناسی و کانه‌نگاری کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود، نهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۹۶.
- زمین‌شناسی و پتروگرافی سنگهای دربرگیرنده کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود، نهمین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، شهریور ۹۶.
- کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود : نمونه‌ای از کانه‌زایی تیپ مانتو، بیست و پنجمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، بهمن ۹۶.
- مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و پترولوژی سنگ میزبان کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود، سی و ششمین گردهمایی و سومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، اسفند ۹۶.
- پتروژنز، ژئوشیمی و کانه‌زایی مس محدوده ساغری، جنوب شاهرود، فصلنامه علمی پژوهشی علوم زمین تیر ۹۷.

چکیده

کانسار مس ساغری در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شاهرود، بخشی از مجموعه آتشفشانی-رسوبی نوار تروود-چاه شیرین به شمار می‌آید که در حاشیه شمالی ایران مرکزی رخنمون دارد. سنگ‌های دربرگیرنده کانسار مورد نظر از نظر سنگ‌شناسی شامل سنگ‌های آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت، داسیت، توف و آگلومرا به سن ائوسن می‌باشد. ماهیت این سنگها، کالک‌آلکانل غنی از پتاسیم است که از دیدگاه زمین‌ساختی، در موقعیت کمان ماگمایی مرتبط با پهنه فرورانش قرار می‌گیرند. کانه‌زایی در منطقه ساغری، در طول صفحات گسلی به صورت ماده معدنی به شکل رگه-رگچه‌ای، پرکننده حفرات و فضاهای خالی و دانه‌پراکنده در واحدهای گدازه و آذرآواری دیده می‌شود. شکستگی‌های حاصل از عملکرد گسلها در سنگهای منطقه، محل مناسبی برای نفوذ محلولهای گرمابی ایجاد نموده و از اصلی‌ترین کنترل‌کننده‌ها محسوب می‌شوند. بر اساس مشاهدات صحرایی و مطالعات کانه‌نگاری، کانه‌زایی در دو مرحله درون‌زاد (پیریت و کالکوپیریت) و برون‌زاد (کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و کریزوکولا) مطرح است. از مهمترین دگرسانی‌ها در منطقه می‌توان به دگرسانی آرژیلیتی، سربیسیتی، سیلیسی، کربناتی، اکسید آهن و کلریتی اشاره نمود. نمودار به هنجار شده نسبت به گوشته اولیه و کندریت، سنگهای آتشفشانی منطقه، غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای از عناصر LILE مانند Pb و K و تهی‌شدگی از عناصر HFSE مانند Ti و Nb آشکار می‌سازد که این امر به منشأ گرفتن ماگمای آنها از گوه گوشته‌ای در یک پهنه فرورانش مرتبط است. در نمودار تغییرات نیز روند تقریباً پیوسته‌ای بین سنگهای مورد مطالعه مشهود است که نشان از تحول آنها طی تبلور تفریقی دارد. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که عنصر مس بیشترین همبستگی را با نقره دارد، در حالی که نقره کانی مستقلی تشکیل نداده است و احتمالاً در شبکه کانی‌های مس‌دار، جایگزین شده است. بر اساس نتایج به دست آمده از مطالعات میان‌بارهای سیال، دامنه دمای همگن شدن در کانسار مس ساغری، به ترتیب 100°C - 140°C و $16-23/5$ درصد وزنی معادل NaCl می‌باشد. احتمالاً حرکت و صعود سیالات گرمابی کانه‌زا می‌شود و اختلاط آن با آبهای جوئی سرد و با شوری پایین، سبب تشکیل کانسار مورد نظر شده است. بر پایه مشاهدات سنگ‌شناسی، کنترل ساختاری کانی‌سازی، نوع دگرسانی و گسترش آن و کانی‌شناسی ساده و همچنین مطالعات ژئوشیمی و سیالات درگیر، می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی در محدوده ساغری مربوط با سیالات گرمابی می‌باشد که سبب تشکیل کانه‌زایی رگه‌ای مس از نوع گرمابی رگه‌ای سولفیداسیون پایین شده است.

کلیدواژه: مس، رگه‌ای گرمابی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، ائوسن، ساغری، تروود-چاه شیرین.

فهرست مطالب

صفحه

فصل اول: کلیات

۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه.....	۲
۳-۱- شرایط آب و هوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی.....	۳
۴-۱- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه.....	۴
۵-۱- زمین ریخت شناسی.....	۵
۶-۱- مطالعات انجام شده و تاریخچه معدن کاری در منطقه.....	۶
۷-۱- طرح مساله و هدف از مطالعه.....	۷
۸-۱- روش مطالعه.....	۸
۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع.....	۸
۲-۸-۱- مطالعات صحرایی.....	۸
۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی.....	۹
۴-۸-۱- مطالعات دفتری.....	۹

فصل دوم: زمین شناسی ناحیه‌ای

۱-۲- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی.....	۱۲
۳-۲- ویژگیهای عمومی نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه شیرین.....	۱۳
۱-۳-۲- جایگاه تکتونیکی.....	۱۳
۲-۳-۲- سیستم گسل خوردگی و چین‌ها.....	۱۳
۱-۲-۳-۲- گسلها.....	۱۴
۲-۲-۳-۲- چین‌های موجود در منطقه.....	۱۶
۴-۲- چینه‌شناسی نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه شیرین.....	۱۷
۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه.....	۲۲
۶-۲- ماگماتیسم.....	۲۴
۱-۶-۲- فعالیتهای آتشفشانی.....	۲۴
۲-۶-۲- پلوتونیسیم.....	۲۶
۱-۲-۶-۲- توده‌های نفوذی عمیق.....	۲۷
۲-۲-۶-۲- توده‌های نیمه عمیق.....	۲۷
۳-۲-۶-۲- دایک‌ها.....	۲۷
۷-۲- توان معدنی نوار تروود-چاه شیرین.....	۲۸
۱-۷-۲- کانی‌سازی فلزی.....	۲۸
۲-۷-۲- کانی‌سازی غیرفلزی.....	۲۹

فصل سوم زمین‌شناسی محدوده معدنی

۳۲	۱-۳- مقدمه.....
۳۴	۲-۳- واحدهای سنگی - چینهای موجود در منطقه.....
۳۴	۱-۲-۳- ائوسن.....
۳۶	۲-۲-۳- الیگوسن.....
۳۸	۳-۲-۳- کواترنری.....
۳۸	۴-۳- پتروگرافی سنگهای محدوده کانسار ساغری.....
۳۸	۵-۳- رده‌بندی سنگها بر اساس مطالعات میکروسکوپی.....
۳۸	۱-۵-۳- آندزیت.....
۳۹	۲-۵-۳- آندزیت بازالتی.....
۴۰	۳-۵-۳- بازالت.....
۴۱	۴-۵-۳- داسیت.....
۴۲	۵-۵-۳- آگلومرا.....
۴۳	۶-۵-۳- توف.....

فصل چهارم: دگرسانی و کانه‌زایی

۴۶	۱-۴- مقدمه.....
۴۶	۲-۴- دگرسانی.....
۴۷	۳-۴- دگرسانی‌های موجود در منطقه.....
۴۸	۱-۳-۴- دگرسانی آرژیلیتی حد واسط.....
۴۹	۲-۳-۴- دگرسانی کلریتی.....
۵۰	۳-۳-۴- دگرسانی سرپسیتی.....
۵۱	۴-۳-۴- دگرسانی کربناتی.....
۵۲	۵-۳-۴- دگرسانی اکسید آهن (هماتیت و لیمونیت).....
۵۴	۶-۳-۴- دگرسانی سیلیسی.....
۵۴	۴-۴- کانه‌زایی در منطقه تروودچاه شیرین.....
۵۵	۱-۴-۴- رخداد کانه‌زایی در محدوده ساغری.....
۵۵	۲-۴-۴- کانه‌زایی در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در کانسار ساغری.....
۵۷	۳-۴-۴- کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای.....
۵۸	۴-۴-۴- کانی‌سازی به صورت پرکننده حفرات و فضای بین دانه‌ای.....
۵۸	۵-۴-۴- کانی‌سازی به صورت دانه پراکنده.....

فصل پنجم کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی

۶۰	۱-۵- مقدمه.....
۶۰	۲-۵- کانی‌شناسی منطقه ساغری.....
۶۱	۱-۲-۵- کانی‌های گروه سولفیدی.....
۶۳	۲-۲-۵- کانی کربناتی.....

۶۴	..... ۳-۲-۵: کانی سیلیکاته.....
۶۵	..... ۴-۲-۵- کانیهای اکسیدی و هیدروکسیدی.....
۶۶	..... ۵-۲-۵- کانی کلریدی.....
۶۷	..... ۶-۲-۵: مس خالص
۶۹	..... ۳-۵- ساخت و بافت کانیها.....
۷۰	..... ۱-۳-۵- ساخت رگه-رگچه‌ای.....
۷۰	..... ۲-۳-۵- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی
۷۲	..... ۳-۳-۵- بافت رگه-رگچه‌ای.....
۷۲	..... ۴-۳-۵- بافت دانه پراکنده.....
۷۳	..... ۵-۳-۵- بافت جانشینی.....
۷۴	..... ۶-۳-۵- بافت کلورمی.....
۷۴	..... ۴-۵- توالی پارازنتیک کانی ها.....

فصل ششم: ژئوشیمی

۷۸	..... ۱-۶- مقدمه.....
۷۸	..... ۲-۶- ژئوشیمی مس.....
۷۹	..... ۳-۶- نمونه برداری و آنالیز نمونه ها.....
۸۰	..... ۱-۳-۶- نامگذاری شیمیایی سنگهای آتشفشانی.....
۸۱	..... ۲-۳-۶- تعیین سری ماگمایی.....
۸۲	..... ۳-۳-۶- جایگاه تکنیکی سنگهای میزبان
۸۴	..... ۴-۳-۶- نمودار تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به SiO_2
۸۵	..... ۵-۳-۶- عوامل مؤثر بر ماگماتیسم منطقه.....
۸۷	..... ۶-۳-۶- ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی.....
۸۹	..... ۴-۶- ژئوشیمی کانسنگ.....
۸۹	..... ۱-۴-۶- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمی بین عناصر.....
۸۹	..... ۲-۴-۶- آنالیز Fire Assay.....
۹۰	..... ۳-۴-۶- پراکندگی و همبستگی عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی منطقه ساغری.....

فصل هفتم: میانبار سیال

۹۴	..... ۱-۷- مقدمه.....
۹۴	..... ۲-۷- روش مطالعه.....
۹۶	..... ۳-۷- طبقه بندی سیالات درگیر.....
۹۸	..... ۴-۷- پتروگرافی میانبارهای سیال.....
۹۹	..... ۵-۷- مطالعات داماسنجی میانبارهای سیال
۱۰۰	..... ۶-۷- تعیین شوری میانبارهای سیال.....
۱۰۰	..... ۷-۷- تعیین چگالی و فشار بخار میانبار سیال.....
۱۰۱	..... ۸-۷- تعیین عمق به دام افتادگی سیالات با استفاده از میانبارهای سیال

- ۷-۹- تعیین عوامل تهنشست کانه‌ها و نوع کمپلکس‌های احتمالی برای حمل فلزات..... ۱۰۳
- ۷-۱۰- تعیین نوع کانسار احتمالی..... ۱۰۴

فصل هشتم: نتیجه‌گیری، تیپ و الگوی تشکیل کانسار و پیشنهادها

- ۸-۱- مقدمه..... ۱۰۶
- ۸-۲- خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی..... ۱۰۷
- ۸-۲-۱- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساخت..... ۱۰۶
- ۸-۲-۲- سنگ میزبان و سنگ‌های همراه..... ۱۰۷
- ۸-۲-۳- شواهد کانی‌شناسی..... ۱۰۷
- ۸-۲-۴- شواهد کانه‌زایی و دگرسانی..... ۱۰۸
- ۸-۲-۵- شواهد ژئوشیمیایی..... ۱۰۹
- ۸-۲-۶- شواهد میانبار سیال..... ۱۰۹
- ۸-۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص جهان..... ۱۱۰
- ۸-۴- خصوصیات کانسارهای گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال)..... ۱۱۲
- ۸-۴-۱- مقایسه کانسار مس ساغری با تیپ گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال)..... ۱۱۴
- ۸-۴-۲- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص ایران..... ۱۱۷
- ۸-۵- عوامل مؤثر در تشکیل کانسار مس ساغری..... ۱۱۷
- ۸-۶- پیشنهادهای اکتشافی و تحقیقاتی..... ۱۲۱
- منابع فارسی..... ۱۲۴
- منابع لاتین..... ۱۲۸
- پیوست..... ۱۳۵

فهرست شکل

صفحه

- شکل ۱-۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مس ساغری..... ۳
- شکل ۲-۱: نمایی از پوشش گیاهی بسیار محدود در مجاورت کانسار مورد مطالعه (دید به سمت شمال شرق)..... ۴
- شکل ۳-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه کانسار مس ساغری (کادر نارنجی) بر روی نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود،..... ۶
- شکل ۱-۲: موقعیت محدوده مس ساغری بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری-رسوبی ایران..... ۱۲
- شکل ۲-۲: موقعیت تکتونیکی ناحیه ترود و خطوط اصلی گسل‌های منطقه..... ۱۵
- شکل ۳-۲: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ترود بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ که موقعیت کانسار مس ساغری در آن نمایش داده شده است..... ۲۱
- شکل ۴-۲: ستون عمومی و شماتیک از توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن-الیگوسن و توالی‌های رسوبی الیگوسن-میوسن در نوار ترود-چاه شیرین، برگرفته از گزارش نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود،..... ۲۶
- شکل ۵-۲: موقعیت برخی کانسارهای مس در نوار ترود-چاه شیرین و کانسار مس ساغری..... ۳۰
- شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس محدوده معدنی (بر اساس تصاویر ماهواره‌ای و برداشت‌های صحرایی)..... ۳۳
- شکل ۲-۳: (الف) تصویر صحرایی از واحد آندزیت‌های قرمز رنگ و خاکستری رنگ منطقه ساغری نمایان است (ب) تصویر صحرایی از واحد آذرآواری همچنین واحد بازالتی قابل رؤیت می‌باشد و (پ) تصویر صحرایی از واحد بازالت به همراه واحد بخش زیرین که از جنس آندزیت پورفیری است..... ۳۵
- شکل ۳-۳: (الف) تصویر صحرایی یکی از دایک‌های منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از آن که شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن مشاهده می‌شود..... ۳۶
- شکل ۴-۳: نقشه پراکندگی دایک‌ها و گسل‌های منطقه ساغری با استفاده از مشاهدات صحرایی و تصاویر A = نمودار گلسرخی فراوانی گسلها و B = نمودار گل سرخی فراوانی دایک‌های منطقه ساغری..... ۳۷
- شکل ۵-۳: تصویر صحرایی از واحد کنگلومرای منطقه ساغری مشاهده می‌شود..... ۳۷
- شکل ۶-۳: (الف) تصویر نمونه دستی از یک آندزیت محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی یک نمونه آندزیت با بافت پورفیری. منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز به همراه پیروکسن کلریتی شده، (پ) تصویر میکروسکوپی از آمفیبول، آپاسیتی شدن در حاشیه‌ها و کلریتی شدن در مرکز کانی و (ت) تصویر میکروسکوپی کانی از رگچه‌های کلسیت در آندزیت به همراه اکسی هورنبلند مشاهده می‌شود..... ۳۹
- شکل ۷-۳: (الف) تصویر نمونه دستی از یک آندزیت بازالتی محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی از آندزیت بازالتی که اکسی هورنبلند توسط کلسیت در مرکز جانشین شده است، به همراه پیروکسن و پلاژیوکلازها بصورت فنوکریست و تشکیل بافت پورفیری، (پ) تصویر میکروسکوپی از بافت میکروولیتی پورفیری و جریان‌ی در یک نمونه آندزیت بازالتی و (ت) تصویر میکروسکوپی از یک آندزیت بازالتی متشکل از پلاژیوکلاز به همراه آغشتگی اکسید آهن نمایان است..... ۴۰
- شکل ۸-۳: (الف) تصویر نمونه دستی از یک بازالت محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی از بازالت که در آن الیون با حاشیه سوخته (ایدینگزیتی شدن) به همراه پیروکسن و آمفیبول، (پ) تصویر میکروسکوپی که نشان‌دهنده درشت بلور پیروکسن و ماکل پلی سنتتیک در زمینه بافت جریان‌ی و (ت) تصویر میکروسکوپی از بافت گلوپورفیری به همراه کانی‌های آپک..... ۴۱

شکل ۳-۹: (الف) تصویر نمونه دستی از داسیت‌های منطقه مس ساغری و (ب) نمونه میکروسکوپی از داسیت مورد مطالعه که پلاژیوکلاز، کوارتز و حفره کلسیتی در آن مشاهده می‌شود..... ۴۲

شکل ۳-۱۰: (الف) تصویر نمونه دستی از یک توف مربوط به محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده پلاژیوکلاز تحلیل رفته، (پ) تصویر میکروسکوپی که در آن کلریت حفرات بادامکی را پر کرده است، (ت) تصویر میکروسکوپی کانی گلوکونیت، پلاژیوکلاز و کلسیت، (ث) تصویر میکروسکوپی از یک توف با اجزاء کوارتز و کلسیت و (د) تصویر میکروسکوپی از توف سیلیسی شده که کوارتز آن ثانویه و سیلیسی شده است..... ۴۴

شکل ۴-۱: نمایش دگرسانی‌های رشته کوه تروند-چاه شیرین به روش نقشه برداری زاویه طیفی با استفاده از طیفهای حاصل از طیف سنجی نمونه‌ها..... ۴۸

شکل ۴-۲: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیتی منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی که در آن کانی‌های رسی مشاهده می‌شود (پ) نمودار پراش اشعه ایکس که کانی‌های کائولینیت (دگرسانی آرژیلیتی) به همراه دیگر کانی‌های ثانویه، ژپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت را نمایش می‌دهد..... ۴۹

شکل ۴-۳: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی در منطقه که به رنگ سبز در کنار دگرسانی لیمونیتی و سریسیتی مشاهده می‌شود. (ب) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی در منطقه و (پ) تصویر میکروسکوپی پرشدگی حفرات توسط کلریت ثانویه نمایان است..... ۵۰

شکل ۴-۴: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی سریسیتی منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازهای سریسیتی شده نمایان است، (پ) نمودار پراش اشعه ایکس که مسکویت بعنوان کانی معرف دگرسانی سریسیتی به همراه کانی‌های ثانویه، ژپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت مشخص شده است..... ۵۱

شکل ۴-۵: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلسیتی به صورت رگه‌ای در منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی که در آن کلسیت به صورت رگه‌ای و پرکننده حفرات نمایان است..... ۵۲

شکل ۴-۶: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی در منطقه ساغری، (ب) تصویر نمونه دستی از دگرسانی لیمونیتی و (پ) تصویر میکروسکوپی که در آن هماتیت نمایان است (ت) نمودار پراش اشعه ایکس نشان‌دهنده دگرسانی هماتیتی، کربناتی و سیلیسی شامل کانیهای ژپس، کوارتز، کلسیت، هماتیت، آلبیت، کائولینیت و مسکویت..... ۵۳

شکل ۴-۷: (الف) تصویر نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی-کربناتی شامل کوارتز و کلسیت نمایان است..... ۵۴

شکل ۴-۸: (الف) ستون چینه شناسی منطقه ساغری براساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس در فصل سوم (ب) نیمرخ عرضی محدوده معدنی بر اساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس در فصل سوم..... ۵۶

شکل ۴-۹: (الف) تصویر صحرایی از آینه گسلی و روند رگه‌های معدنی و همچنین نمایش یکی از ترانشه‌های موجود در منطقه ساغری، (ب) تصویر صحرایی از رگه معدنی مالاکیت به همراه دگرسانی لیمونیتی، (پ) نمودار رزدیگرام برای رگه‌های معدنی که نشانگر روند غالب شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی است..... ۵۷

شکل ۴-۱۰: تصویر میکروسکوپی از مالاکیت و لیمونیت که به صورت پرکننده حفرات و فضای بین دانه‌ای نمایان است..... ۵۸

شکل ۵-۱: (الف) تصویر میکروسکوپی پیریت نیمه شکل‌دار با بافت خلیجی و دانه پراکنده در زمینه سنگ میزبان نمایان است، (ب) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت با بافت جانیشینی حاصل از تجزیه آن به کالکوسیت، کوولیت، گوتیت دیده می‌شود..... ۶۲

شکل ۵-۲: (الف) تصویر میکروسکوپی کالکوسیت در حال جانیشینی توسط کوولیت که به صورت پراکنده و حفره پرکن نمایان است، (ب) تصویر میکروسکوپی کوولیت که به صورت پراکنده یا جانشین شدن کالکوسیت مشاهده می‌شود..... ۶۳

شکل ۳-۵: (الف) تصویر نمونه صحرایی از مالاکیت و کریزوکلا در کنار اکسیدهای آهن نمایان است. (ب) تصویر میکروسکوپی مالاکیت که به صورت رگه-رگچه‌های متقاطع تشکیل شده است (پ) تصویر میکروسکوپی مالاکیت که به صورت حفره پرکن دیده می‌شود، (ت) تصویر میکروسکوپی از کریزوکلا به صورت رگه‌ای در کنار مالاکیت..... ۶۴

شکل ۴-۵: (الف) تصویر میکروسکوپی از هماتیت که بافت جانشینی و پراکنده نمایان است، (ب) تصویر میکروسکوپی از لیمونیت که به صورت توده‌ای مشاهده می‌شود. (پ) تصویر میکروسکوپی از گوتیت که در کنار لیمونیت، هماتیت و مالاکیت با ساخت متحدالمرکز و کلوفرمی دیده می‌شود، (ت) تصویر میکروسکوپی از مگنتیت که طی پدیده مارتیتی شدن در حال تبدیل به هماتیت است، (ث) تصویر نمونه دستی از اکسیدهای منگنز و (د) تصویر میکروسکوپی از اکسید منگنز در کنار مالاکیت..... ۶۶

شکل ۵-۵: نمودار پراش اشعه ایکس که نشان از حضور کانی آتاکامیت می‌باشد..... ۶۷

شکل ۶-۵: (الف) تصویر نمونه دستی از کلسیت و کوارتز در کنار مالاکیت و (ب) تصویر نمونه دستی از ژپس در منطقه ساغری نمایان است. (پ) تصویر نمونه دستی از باریت، (ت) تصویر میکروسکوپی از باریت و (ث) تصویر میکروسکوپی از مس خالص در کنار مالاکیت دیده می‌شود،..... ۶۹

شکل ۷-۵: (الف) تصویر صحرایی از مالاکیت با ساخت رگه‌ای در داخل شکستگی‌ها در کنار رگه لیمونیتی در منطقه ساغری مشاهده می‌شود. (ب) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت به صورت رگچه‌ای نمایان است..... ۷۰

شکل ۸-۵: (الف) تصویر صحرایی از ساخت و بافت پرکننده فضای خالی توسط مالاکیت در منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت با بافت پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود. (پ) تصویر نمونه دستی از رگه کلسیت با ساخت پرکننده فضای خالی در داخل توف سیلیسی شده و (ت) تصویر میکروسکوپی از کلسیت با بافت پرکننده فضای خالی نمایان است، (ث) تصویر نمونه دستی از توف متخلخل که فضای خالی بین دانه‌ها با مالاکیت پر شده است و (د) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت که فضای خالی بین دانه‌های توف را پر کرده است..... ۷۱

شکل ۹-۵: (الف) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت و (ب) تصویر میکروسکوپی از لیمونیت با بافت رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود..... ۷۲

شکل ۱۰-۵: (الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت با بافت دانه پراکنده در زمینه سنگ میزبان به همراه کولیت دیده می‌شود، (ب) تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت با بافت دانه پراکنده در زمینه باطله نمایان است..... ۷۳

شکل ۱۱-۵: تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپیریت توسط کولیت دیده می‌شود (ب) تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوسیت توسط مالاکیت نمایان است..... ۷۴

شکل ۶-۱: نمودار Eh-pH، میدان پایداری کانی‌های مس دار را در حرارت ۲۵ درجه سانتیگراد و فشار یک اتمسفر ۷۹

شکل ۲-۶: موقعیت سنگهای آتشفشانی و دایکهای محدوده مس ساغری بر روی نمودارهای مختلف، (الف) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 ، سنگهای منطقه مورد نظر در بازه آندزیت تا داسیت دیده می‌شوند، (ب) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 ، سنگهای منطقه مورد نظر در بازه آندزیت تا داسیت قرار می‌گیرند (پ) نمودار نسبت Zr/TiO_2 به Nb/Y ، که نمونه‌های مورد نظر در محدوده داسیت و ریوداسیت جایگیر می‌شوند، (ت) نمودار نسبت Zr/Ti به Nb/Y نشان می‌دهد، که نمونه‌های مورد نظر در بازه آندزیت و آندزیت بازالتی مشخص می‌شوند..... ۸۱

شکل ۳-۶: (الف) نمودار تعیین سری ماگمایی AFM، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکان قرار می‌گیرند، (ب) نمودار تعیین سری ماگمایی در نمودار K_2O در برابر SiO_2 ، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکان پتاسیم بالا و به مقدار جزئی شوشونیتی نمایان می‌شوند..... ۸۲

شکل ۴-۶: (الف) نمودارهای مثلثی و موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای، (ب) تفکیک محدوده‌های کمان آتشفشانی از درون صفحه‌ای، (پ) محیط تکونیکی سنگهای منطقه و تفکیک کمان آتشفشانی مرتبط با فرورانش از نوع کمان‌های جزیره‌ای بر اساس تغییرات نسبت (Th/Yb) و (Ta/Yb)، مشاهده می‌شود..... ۸۳

شکل ۵-۶: نمودار تغییرات مقادیر اکسیدهای اصلی در برابر درصد وزنی SiO_2 مشاهده می‌شود..... ۸۵

شکل ۶-۶: (الف) موقعیت سنگهای منطقه ساغری در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb، که در محدوده گوشته غنی شده با آغستگی پوسته‌ای قرار گرفته‌اند، (ب) تعیین نقش رسوبات فرورانده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th، مشاهده می‌شود..... ۸۶

شکل ۸-۶: (الف) غلظت عناصر کمیاب به هنجار شده نسبت به کندریت، (ب) نمودار به هنجار شده عناصر نادر خاکی سنگهای منطقه نسبت به کندریت و (پ) نمودار به هنجار شده عناصر کمیاب سنگهای منطقه در برابر گوشته اولیه نمایان است..... ۸۸

شکل ۹-۶: میزان تغییرات تعدادی از عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی کانسار مس ساغری مشاهده می‌شود..... ۹۲

شکل ۱-۷: (الف) تصویر نمونه دستی از نمونه که دارای کوارتز و کلسیت و (ب) نمونه مورد مطالعه که دارای باریت می‌باشد ۹۵

شکل ۲-۷: (الف) سیال دو فازی غنی از مایع و (ب) میانبارهای ثانویه مشاهده می‌شود..... ۹۸

شکل ۳-۷: (الف) نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس ساغری و (ب) نمودار میزان شوری در میان‌بارهای سیال در کانسار مس ساغری..... ۱۰۰

شکل ۴-۷: (الف): نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه و (ب) نمودار تعیین فشار بخار محلول بر اساس شوری و دمای همگن شدن نمایان است..... ۱۰۱

شکل ۵-۷: تعیین عمق به دام افتادن میان‌بارهای سیال در منطقه مورد مطالعه نمایان است..... ۱۰۲

شکل ۶-۷: (الف) نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن جهت تعیین فرآیندهای مؤثر در تکامل سیال و نهشت فلزات، (ب) نمودار شوری در مقابل دما، در محدوده A کمپلکس کلریدی و در محدوده B کمپلکس سولفیدی غلبه دارند. نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده B قرار می‌گیرند که معرف نقش کمپلکس‌های سولفیدی در مهاجرت عناصر می‌باشد..... ۱۰۳

شکل ۷-۷: نمودار محدوده دما و شوری میان‌بارهای سیال در کانسار مس ساغری و تعیین نوع احتمالی کانسار نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده اپی‌ترمال قرار می‌گیرند..... ۱۰۴

شکل ۱-۸: نحوه تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون متوسط و سولفیداسیون پایین نمایان است..... ۱۱۴

شکل ۲-۸: الگوی تشکیل کانسار مس ساغری به صورت شماتیک نمایان است..... ۱۲۲

فهرست جداول

صفحه

- جدول ۵-۱: کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار مس ساغری که با پراش اشعه ایکس (XRD) شناسایی شده‌اند..... ۶۱
- جدول ۶-۱: ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson) عناصر مورد مطالعه در منطقه ساغری مشاهده می‌شود..... ۹۰
- جدول ۶-۲: نتیجه نمونه آنالیز شده به روش Fire Assay برای عنصر طلا مشاهده می‌شود..... ۹۰
- جدول ۷-۱: نتایج مطالعات حرارت‌سنجی بر روی میانبرهای سیال منطقه ساغری (N: شماره میانبار سیال. T_m : دمای ذوب نهایی یخ. T_E : دمای یوتکتیک. T_H : دمای همگن شدن سیال)..... ۹۵
- جدول ۸-۱: مقایسه برخی ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای گرمابی رگه‌ای، مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان. (علامت - به معنای عدم وجود اطلاعات کافی می‌باشد)..... ۱۱۱
- جدول ۸-۲: برخی از مشخصات مهم کانسارهای گرمابی رگه‌ای موجود در دنیا نمایان است..... ۱۱۳
- جدول ۸-۳: مقایسه کانسار مس ساغری با کانسار اپی‌ترمال رگه‌ای مشاهده می‌شود..... ۱۱۵
- جدول ۸-۵: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص ایران نمایان است..... ۱۱۸
- ادامه جدول ۸-۵: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص ایران نمایان است..... ۱۱۹

فصل اول

کلیات

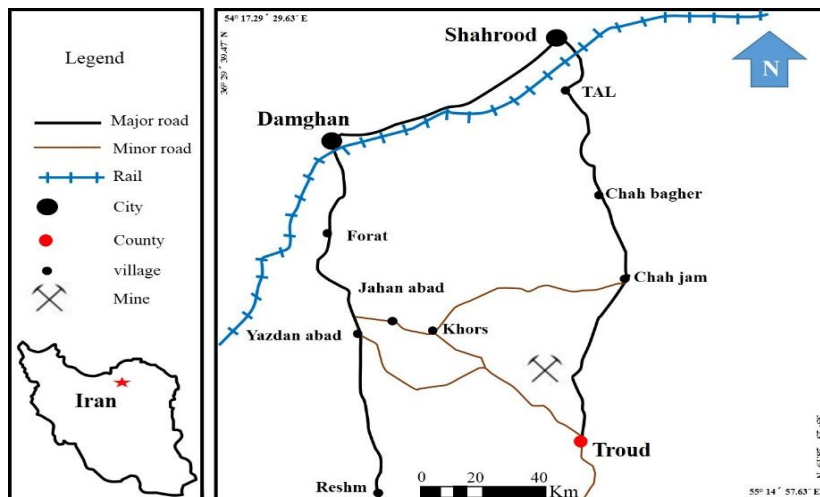
۱-۱- مقدمه

کمر بند جهانی کانه‌زایی مس از غرب اروپا تا شرق آسیا در امتداد بقایای نئوتتیس به طور غیر ممتد رخنمون دارد، حدود ۲۰۰۰ کیلومتر از این کمر بند در سرزمین ایران واقع می‌شود، اندیس‌ها و کانسارهای مس از تیپ‌های مختلف آتشفشانی-رسوبی، رگه‌ای اپی ترمال، اسکارنی و آواری تخریبی متعددی در نقاط مختلف این کمر بند در ایران وجود دارد (خوئی و همکاران، ۱۳۷۸). از نخستین فلزاتی که توسط بشر شناسایی و مورد بهره‌برداری قرار گرفته است فلز مس می‌باشد. مس و آلیاژهای آن کاربردهای فراوانی در صنعت به ویژه در صنایع مخابراتی، الکتریکی، نظامی و غیره دارند. مصرف مس در رده‌بندی جهانی فلزات پس از آهن و آلومینیوم قرار می‌گیرد. با توجه به آنچه که عنوان شد و نظر به جایگاه اقتصادی فلز مس نیازمند آن هستیم که منابع موجود آن را به خوبی شناسایی کنیم و شناخت این امر مستلزم علم و دانش می‌باشد. در نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه شیرین که در شمال پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی قرار گرفته، تعداد زیادی کانسار و آثار معدنی فلزات پایه نظیر مس گزارش شده است که کانسار مس ساغری یکی از آنها می‌باشد. در این تحقیق به بررسی زمین‌شناسی اقتصادی این کانسار پرداخته می‌شود. امید بر آن است اکتشاف و بهره‌برداری از مواد معدنی در این محدوده گامی در جهت بهبود اقتصادی در منطقه باشد.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه

محدوده مورد اکتشاف در فاصله ۱۲۰ کیلومتری جنوب شهرستان شاهرود، در مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 33' 41/64''$ تا $35^{\circ} 32' 17/46''$ طول شرقی و $54^{\circ} 59' 10/20''$ تا $54^{\circ} 54' 59/90''$ شمالی واقع شده است. نزدیک‌ترین آبادی به محدوده مورد نظر روستای تروود می‌باشد که تقریباً ۲۰ کیلومتر

با آن فاصله دارد. دسترسی به منطقه از کیلومتر ۲۰ جاده ترود-شاهرود با طی حدود ۴ کیلومتر جاده خاکی امکان پذیر می باشد (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مس ساغری

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

ناحیه مورد مطالعه، بخش وسیعی از استان سمنان را در بر گرفته و با داشتن تابستان‌های بسیار گرم و خشک و زمستان‌های سرد، از لحاظ دسته‌بندی اقلیمی، در گروه گرم و خشک بیابانی و نیمه بیابانی قرار می‌گیرد. اختلاف درجه حرارت سالیانه زیاد بوده و میانگین بیشترین دما در تابستان به ۴۰/۸ درجه و در زمستان به ۶- می‌رسد (سالنامه هواشناسی، ۱۳۸۱). بیشینه بارندگی سالیانه در این منطقه معمولاً کمتر از ۲۰۰ میلی‌متر می‌باشد که میانگین سالیانه آن از ۱۴۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. میانگین رطوبت نسبی هوا در سال بین ۳۰-۵۴ درصد در تغییر می‌باشد. بارندگی‌ها کوتاه مدت و اغلب به صورت رگبارهای تند و پراکنده است، بطوری‌که رودهای منطقه اغلب فصل‌ها سیلابی می‌باشند و کم‌تر مورد بهره برداری مردم منطقه قرار می‌گیرند. آب قابل شرب و کشاورزی اغلب روستاها از طریق قنات‌ها و چشمه‌ها تأمین می‌گردد که میزان آبدهی آن‌ها بر حسب وضعیت نزولات جوی به شدت متغیر است. پوشش گیاهی عمده در این ناحیه، از نوع

پوشش مناطق کویری و شامل بوته‌های خار پراکنده، گز و طاق است. در مجاورت برون‌ریز قنات‌ها معمولاً درختان محدودی یافت می‌شود (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲: نمایی از پوشش گیاهی بسیار محدود در مجاورت کانسار مورد مطالعه (دید به سمت شمال شرق)

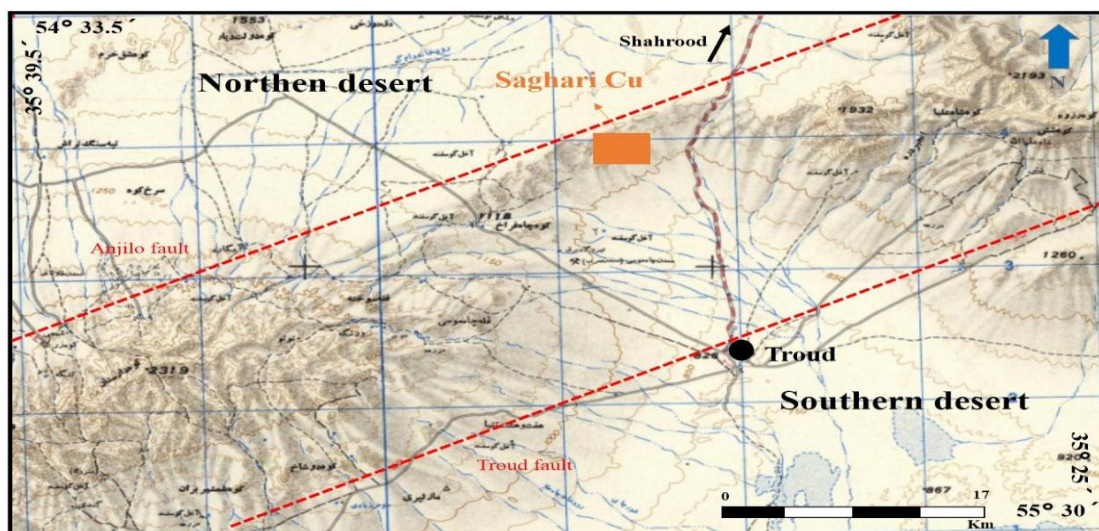
۱-۴- وضعیت معیشتی منطقه مورد مطالعه

روستای ترود، در ۲۰ کیلومتری جنوب شرق محدوده مورد نظر و نزدیک‌ترین آبادی به آن می‌باشد و از قدمت بسیار زیادی برخوردار است. در کتب قدیم از ترود به عنوان بندرگاه یاد می‌شده و در مسیر اصلی جاده ابریشم قرار داشته است که به خور و جندق منتهی می‌شود. آنچه که از قدمت ترود به یاد مانده (بر اساس اطلاعات وبگاه مرکزی لرزه‌نگاری) این است که ترود فعلی به عنوان ترود چهارم می‌باشد و سه ترود قبل از آن بر اثر زلزله ناشی از گسل ترود از بین رفته‌اند که آثارشان هنوز مشاهده می‌شود. برخی اعتقاد دارند ترود یا همان طرود از کلمه طرد شده به معنای دورافتاده گرفته شده و برخی دیگر معتقدند به دلیل اینکه دو رود بزرگ و طولانی به این منطقه ختم می‌شدند ترود به معنای ته رود نام‌گذاری شده است. ترود اول به نام دروازه و ترود دوم به نام قلعه مورشاه شناخته می‌شد. ترود سوم نیز در سال ۱۳۳۱ شمسی بر اثر زلزله‌ای به بزرگی ۶/۹ ریشتر با خاک یکسان شده و بعد از بازدید و تصمیمات اتخاذ شده توسط مسئولین وقت، مردم را در شرق ترود اسکان دادند. آنچه از زلزله‌های گذشته ترود باقیمانده و بسیار جذاب و دیدنی

است، خانه‌هایی بوده که به سبک مردم غارنشین ساخته شده است، یعنی کلبه را به شکل خار می‌کنند و در آن زندگی می‌کردند. شغل اصلی مردم در این روستا پرورش شتر و به میزان کمتر گاو، گوسفند و ماکیان است. بیشتر زنان خانه‌دار و به بافت قالی و قالیچه مشغول می‌باشند. در این روستا به دلیل کمبود آب و زمین‌های کشاورزی، زراعت رونق چندانی ندارد و جمعیت روستا رو به کاهش است. امید است با اکتشاف معادن در این محدوده موجبات رونق اقتصادی اهالی روستای نامبرده فراهم شود.

۱-۵- زمین ریخت‌شناسی

از عوامل مؤثر بر مورفولوژی محدوده می‌توان به لیتولوژی منطقه، گسل‌ها و سیستم آبراهه‌ها اشاره کرد: الف) انواع لیتولوژی‌های سخت که سازنده ارتفاعات هستند (سنگ آهک‌های کرتاسه در شرق و در شمال محدوده)، گدازه‌های کمتر دگرسان شده و انواع واحدهای فرسایش‌پذیر که ارتفاعات پست و تپه‌ماهوری را تشکیل داده‌اند (واحدهای آتشفشانی-رسوبی دگرسان شده). قله چاه موسی، سوخته و چفت از جنس توده‌های نیمه آتشفشانی، به ترتیب با ارتفاعات ۱۵۰۰، ۱۴۸۰، ۱۳۵۰ متر، بلندترین ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند. بخش نسبتاً وسیعی از شرق منطقه، بین ارتفاعات چاه موسی و قله کفتران، پوشیده از آبرفت است و پست‌ترین محل منطقه با ارتفاع ۱۰۵۰ متر، در این محل قرار دارند. در (شکل ۱-۳)، نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۵۵) محدوده مورد مطالعه مشاهده می‌شود.



شکل ۱-۳: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه کانسار مس ساغری (کادر نارنجی) بر روی نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود، سازمان جغرافیایی ارتش، (۱۳۳۵).

ب) دو گسل ترود در جنوب و انجیلو در شمال سبب ایجاد برآمدگی نوار ترود-چاه‌شیرین و قرارگیری آن بین دو دشت شمالی (حاج علی‌قلی) و جنوبی (کوپر ترود) شده است.

پ) سیستم آبراهه‌ها به صورت شاخه‌درختی و موازی در محدوده مورد مطالعه دیده می‌شود.

۱-۶- مطالعات انجام شده و تاریخچه معدن کاری در منطقه

ناحیه ترود-چاه‌شیرین به دلیل فعالیت‌های معدنی و وجود معادن با ارزش فلزات پایه و گرانبها از قبیل طلا، فیروزه، مس، سرب، روی و زلزله خیزی، از دیرباز مورد توجه محققین بوده است. مهم‌ترین مطالعات صورت گرفته در منطقه ترود عبارتند از:

- علوی و هوشمندزاده (۱۳۵۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود را تهیه و گزارش نمودند.

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

- رشیدنژاد عمران (۱۳۷۱)، در پایان نامه خود، سنگ‌شناسی و ارتباط آن با کانه‌زایی طلا را در کانسار باغو و کانی‌زایی‌های اطراف مورد بررسی قرار داد.
- عابدیان و دری (۱۳۷۵)، در گزارش کانسارهای مس استان سمنان، این محدوده را مورد بررسی قرار داده و از آن به عنوان الویت اول، جهت ادامه کارهای اکتشافی نام برده‌اند.
- صادقی فلک‌دهی (۱۳۸۲)، زمین‌شناسی کانسار چاه‌موسی و قله‌کفتران را بررسی نموده است.
- خادمی (۱۳۸۶)، ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده و تکوین ژئودینامیک منطقه ترود را در یک سیمای ساختار اصلی، یعنی گسل امتداد لغز ترود با روند شمال شرقی-جنوب غربی عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری این منطقه می‌داند.
- امام جمعه و همکاران (۱۳۸۷)، سامانه واحد کانه‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه‌موسی-قله‌کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود-چاه‌شیرین را معرفی کرده‌اند.
- طالع ماسوله (۱۳۸۹)، زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه‌گله، شمال غرب ترود را مورد مطالعه قرار داد و بیان کرده که ماده معدنی به شکل رگه‌ای است و در کنترل گسله‌ها و شکستگی‌های منطقه می‌باشد و همچنین خاستگاه کانسار را محلول‌های گرمابی رگه‌ای با درجه حرارت نه‌چندان زیاد که از سنگ‌های آتشفشانی نوع آندزیتی و تراکی آندزیتی منشأ گرفته‌اند تعیین نموده است.
- صالحی نسب (۱۳۹۴)، در قالب پایان نامه کارشناسی ارشد خود، منشأ مس در کانسار مس بندقیچی را به واحدهای آتشفشانی نسبت داده و این کانسار را در یک مس با میزبان رسوبی و از نوع لایه قرمز در نظر گرفته است.

۱-۷- طرح مساله و هدف از مطالعه

در این تحقیق به بررسی مطالعات کانی‌شناسی، ژئوشیمی و تعیین الگوی تشکیل کانسار مس ساغری پراخته و سعی شده به سوالات زیر پاسخ داده شود:

- ۱- کانی‌شناسی، ساخت و بافت در کانسار چگونه است؟
- ۲- پهنه‌بندی دگرسانی در کانسار چگونه است؟
- ۳- ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ میزبان و کانسنگ چگونه است؟
- ۴- الگوی تشکیل کانسار چیست؟
- ۵- تیپ کانه‌زایی کانسار در مقایسه با موارد مشابه در سایر نقاط ایران و جهان کدام است؟
- ۶- کلیدهای اکتشافی جهت ادامه اکتشاف در کانسار مس ساغری و نیز کشف ذخایر جدید در منطقه کدامند؟

۱-۸-۱- روش مطالعه

مراحل انجام تحقیق و مجموعه مطالعات صورت گرفته به شرح زیر است:

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

- تهیه و مطالعات کتب و مقالات مطرح در زمینه موضوع پایان‌نامه.
- استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی به منظور یافتن دید کلی نسبت به منطقه.

__ برقراری ارتباط با زمین‌شناسان صاحب نظر به منظور دستیابی به منابع به روز.

۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی و بازدید از منطقه در چند مرحله به شرح زیر صورت گرفته است:

- بازدیدهای مقدماتی به منظور دستیابی به اطلاعات اولیه و کلی.
- شناسایی و تفکیک واحدهای سنگی و انجام نمونه برداری از واحدهای مختلف.
- تهیه نقشه زمین شناسی.
- بازدید نهایی از منطقه به منظور کنترل نتایج به دست آمده.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- تهیه و مطالعه تعداد ۶۹ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی مختلف و انجام مطالعات پتروگرافی.
- تهیه و مطالعه تعداد ۱۳ مقطع صیقلی از نمونه‌های کانسنگ جهت مطالعات کانی شناسی، بافت و توالی پاراژنتیکی کانه‌ها و سنگ درونگیر.
- انجام تجزیه دستگاهی تعداد ۸ نمونه به روش پراش اشعه ایکس (XRD) به منظور تعیین کانه‌های اصلی و فرعی.
- انجام تجزیه دستگاهی فلورسانس اشعه ایکس (XRF) بر روی تعداد ۵ نمونه جهت تعیین اکسیدهای اصلی و بررسی ژئوشیمی سنگ میزبان که نتایج آن در پیوست ۱ مشاهده می‌شود.
- انجام تجزیه دستگاهی ICP-Mass بر روی ۱۳ نمونه سنگی به منظور تعیین دقیق عیار عناصر مختلف و چگونگی تغییرات آن‌ها در کانسار و همچنین نام‌گذاری دقیق سنگ‌های میزبان که نتایج آن در پیوست ۲ مشاهده می‌شود.
- انجام تجزیه دستگاهی Fire Assay بر روی یک نمونه مشکوک به منظور تعیین حضور یا عدم حضور طلا در کانسار مورد مطالعه.

۱-۸-۴- مطالعات دفتری

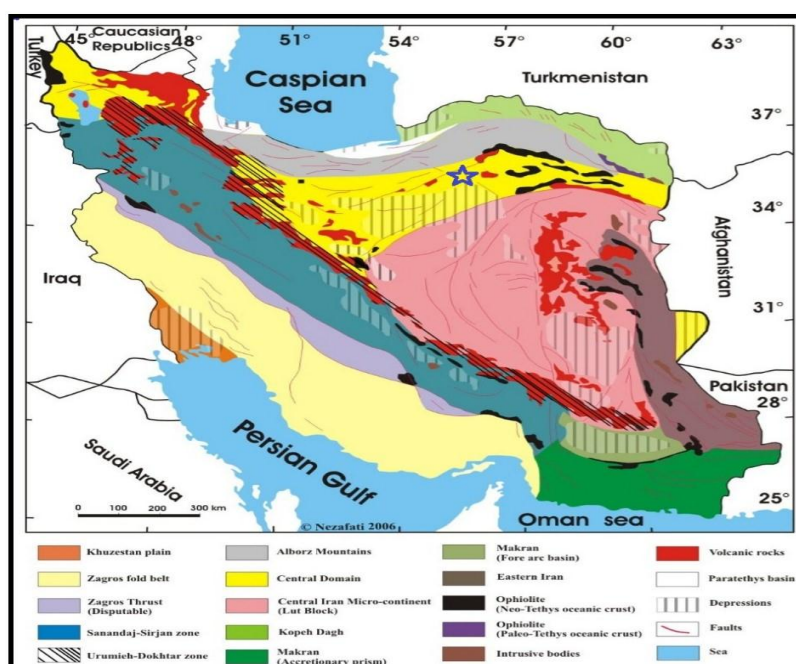
- مطالعه پایان نامه‌ها، مقالات و کتب مرتبط با موضوع تحقیق.
- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه راه‌ها با استفاده از نرم افزار Arc GIS.
- تلفیق نتایج حاصل از داده‌ها و نتیجه‌گیری.
- تدوین و نگارش پایان‌نامه.

فصل دوم

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۱-۲- مقدمه

ایران بین دو ابرقاره گندوانا و لورازیا قرار گرفته که در طی دوران تکامل و تحول ژئوتکتونیکی دستخوش تغییرات فراوان گردیده است. تأثیرات حاصل از این تغییرات، ملاک تفکیک ایران به ۵ پهنه اصلی و ۱۲ پهنه فرعی ساختاری-رسوبی می‌باشد (آقناباتی، ۱۳۸۳). کانسار مس ساغری در جنوب شاهرود، شمال-شرقی نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین در بخش شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱-۲). بخشی از تحولات زمین‌شناسی این ناحیه، متأثر از دو گسل انجیلو در شمال و ترود در جنوب با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی ($N60^{\circ}-70^{\circ}E$) است که نوار فوق در این راستا شکل گرفته است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). در ادامه به شرح زمین‌شناسی ناحیه‌ای پرداخته خواهد شد.



شکل ۱-۲: موقعیت محدوده مس ساغری بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری-رسوبی ایران (★)، (آقناباتی، ۱۳۸۹).

۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلثی در مرکز ایران قرار دارد و بزرگ‌ترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود. این پهنه از شرق به بلوک لوت، از شمال به رشته‌کوه‌های البرز و از غرب و جنوب غرب به پهنه سنندج-سیرجان محدود می‌شود و نه تنها به‌عنوان یک واحد ساختاری مجزا به‌شمار می‌آید بلکه در بردارنده چندین زیرمجموعه ساختاری از نظر تکتونیکی و متالوژنی می‌باشد. در این واحد سنگ‌های با سن پرکامبرین پسین تا کواترنر را می‌توان مشاهده کرد و در آن فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی رخ داده است. پهنه ایران مرکزی بخشی از ایران میانی است که با زمین درزه‌های افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت-های کاشمر-سبزوار احاطه شده است. پویایی ایران مرکزی در همه‌جا یکسان نیست و دارای بلوک‌های جدا شده از هم می‌باشد که هر یک ویژگی‌های جداگانه دارند (آقانباتی، ۱۳۸۳). نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین در بخش شمالی این پهنه واقع می‌باشد.

۲-۳-۳- ویژگی‌های عمومی نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین

۲-۳-۱- جایگاه تکتونیکی

نوار ترود-چاه‌شیرین در تقسیمات پهنه‌های ساختاری ایران جزئی از پهنه ایران مرکزی (آقانباتی، ۱۳۸۳)، ماگماتیسم مرکزی (نوگل سادات، ۱۹۹۳)، کمان ماگمایی البرز (Shamanian et al., 2004) و یا کمان ماگمایی جدا شده از ارومیه دختر به وسیله کشیدگی میان‌کمانی (Hassanzade et al., 2002) ایران محسوب می‌شود. این نوار از شمال به گسل انجیلو و در جنوب به گسل ترود با روند $N70^{\circ}E$ محدود می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۳-۲- سیستم گسل خوردگی و چین‌ها

واحدهای سنگی سازنده این نوار به صورت بلوکی بین دو گسل ترود در جنوب و انجیلو در شمال قرار گرفته‌اند. شروع فعالیت گسل ترود از کامبرین میانی و نوع حرکت آن چپ‌گرد قائم است. در اطراف این گسل چین‌خوردگی شدید رسوبات پیش از کرتاسه، دگرگونی ناحیه‌ای، ماگماتیسم شدید ترشیاری، اختلاف شدید ضخامت رسوبات پالئوزوئیک و مزوزوئیک مشاهده می‌شود (آقانباتی، ۱۳۸۳). گسل انجیلو در دو بازه زمانی پالئوزوئیک، اواسط مزوزوئیک-کرتاسه و عهد حاضر با سازوکارهای متفاوتی عمل کرده است. بررسی تنش‌های دیرین در این دو بازه نشان از یک رویداد بازفعال‌شدگی در مرز دو فاصله زمانی یاد شده می‌باشد. نحوه آرایش گسل‌ها و همچنین محور چین‌ها در ناحیه به‌گونه‌ای است که نشان‌دهنده یک پهنه برشی چپ‌گرد در منطقه می‌باشد که سازوکار گسل انجیلو را تأیید می‌کند. (کاظمی‌صفا، ۱۳۹۰). دو گسل یادشده دارای روند شرقی-شمال شرقی و غربی-جنوب غربی بوده‌اند که گسل ترود به سمت شرق و گسل انجیلو به سمت غرب ادامه می‌یابد آنچنان که دو گسل امتدادلغز پله‌ای پدیدار شده است. با توجه به بررسی‌های انجام شده چنین برمی‌آید که عامل اصلی ایجادکننده تغییر شکل‌های ناحیه، مربوط به این گسل‌ها می‌باشد.

۲-۳-۲-۱- گسل‌ها

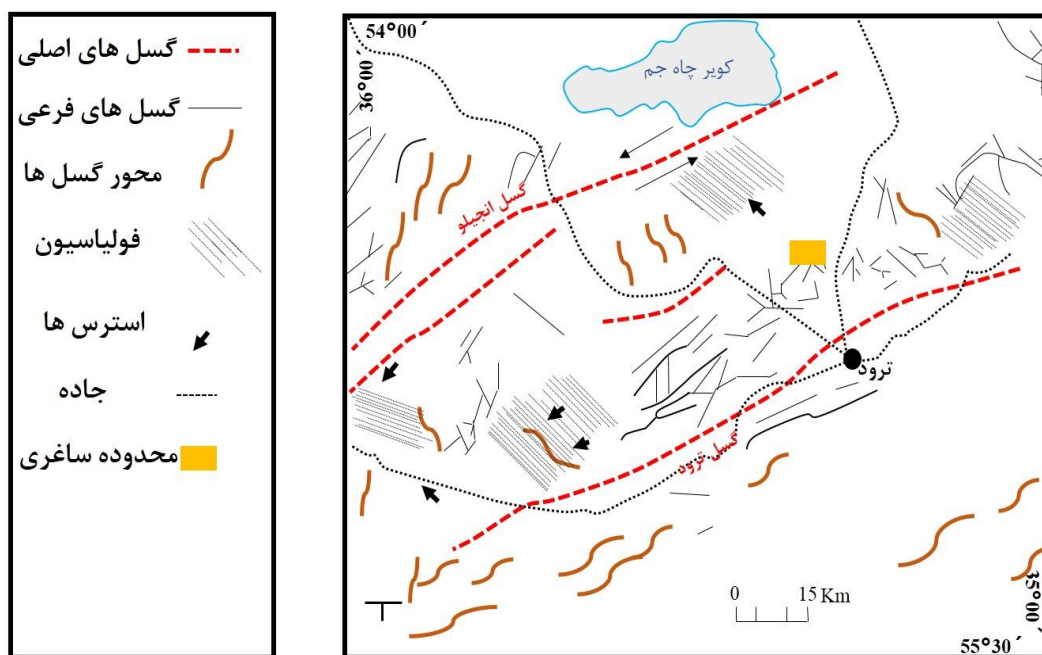
نوار ترود-چاه‌شیرین به لحاظ تکتونیکی بسیار فعال می‌باشد و گسل‌های مختلفی در آن ایجاد شده است (شکل ۲-۲) که در ادامه به شرح گسل‌های مهم آن خواهیم پرداخت.

الف) گسل‌های اصلی

-**گسل‌های ترود و انجیلو:** گسل‌های ترود و انجیلو دارای امتداد تقریبی $N60^{\circ}-70^{\circ}E$ و شیب 80° درجه به سمت جنوب شرق با سازوکار امتداد لغز چپ‌گرد می‌باشند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).
-**گسل کویر:** گسل دیگری به موازات گسل ترود است و از مناطق جنوبی معلمان تا کوه کاهوان گسترش آن دیده می‌شود. این گسل به‌طور عمده در مناطق آبرفتی پوشیده است، سازوکاری مشابه با گسل ترود دارد و به احتمال در اعماق با رشته گسله ترود یکی می‌شود.

-گسل باغو: در شمال ورقه زمین‌شناسی ترود با راستای $90^{\circ}\text{E}-70^{\circ}\text{N}$ ، شیب نزدیک به قائم، پایین افتادن بخش شمالی گسل را در پی‌داشته است و در طولی حدود ۲۰ کیلومتر در برگه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ معلم‌مان نیز قابل ردیابی است. سیستم گسل باغو پس از ائوسن پدید آمده و جایگیری رگه‌های دربردارنده مواد کانه‌دار در این شکستگی‌ها به‌طور تقریباً هم‌زمان انجام گرفته است.

-گسل رشم-پیرمردان: این گسل نیز راستایی تقریباً موازی با گسل ترود دارد و از غرب ورقه مجاور روستای رشم تا امامزاده پیرمردان و شرق آن گسترش یافته است. سازوکاری معکوس با شیب رو‌رانده به سمت شمال دارد.



شکل ۲-۲: موقعیت تکتونیکی ناحیه ترود و خطوط اصلی گسل‌های منطقه (Hooshmand zadeh et al., 1964).

ب) گسل‌های فرعی

-**گسل چالو:** این گسل دارای دارای روند شرقی-غربی و با شیب ۷۰ درجه به سمت جنوب و سازوکار چپ‌گرد می‌باشد که در منطقه سنگ آهک‌های کرتاسه و تراکی‌آندزیت‌های ائوسن را بریده است (کی-نژاد، 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 شرق است.

-**گسل سیاه‌پشته:** این گسل که در مسیر کلات به سپیدلو 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 قائم دیده می‌شوند.

- **پهنه گسل دره حسن امرובה:** ظاهراً سازوکاری معکوس دارد، توده‌های نفوذی و سنگ آهک کرتاسه و سنگ‌های میلیونیتی شده در پهنای گسله خود در سطح زمین نمایان کرده است. این گسل در جنوب ده‌جعفر و امرובה شیب ۸۰ درجه نشان می‌دهد.

۲-۲-۳-۲- چین‌های موجود در منطقه

الف) ناودیس‌ها

-**ناودیس بیل‌بن:** بزرگ‌ترین ساختمان تکتونیکی در واحدهای سنگی دگرگونه پالئوزوئیک تا لیااس 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 آتشفشانی - رسوبی ائوسن ایجاد شده است.

-**ناودیس چاه نیو:** این ناودیس کوچک در واحدهای سنگی گدازه و توفی ناحیه مذکور تشکیل شده و دارای روند تقریباً شمالی-جنوبی است و میل دوسویه دارد.

ناودیس جنوب باختر ورقه: این ساختمان از وسعت و گسترش زیاد برخوردار، در مارن‌های میوسن پدیدار شده و 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.

ب) تاقدیس‌ها

-**تاقدیس معلمان:** یک چین نامتقارن با اثر محوری خمیده و راستای کلی نزدیک به شرقی-غربی در طولی بیش از ۱۰ کیلومتر گسترش یافته است.

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

-در نوار ترود-چاه شیرین ساختمان‌های چین خورده به دلیل ناهمگن بودن نهشته‌های ائوسن و همچنین نفوذ توده‌های کم‌ژرفا و دایک‌های فراوان، متحمل شکستگی‌های زیادی شده است. لذا امکان نمایش محورهای چین‌ها وجود ندارد.

۲-۴- چینه‌شناسی نوار آتشفشانی ترود-چاه شیرین

در ناحیه ترود سنگ‌های منسوب به پرکامبرین تا عهد حاضر البته نه به‌طور پیوسته برونزد دارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه را سنگ‌های دگرگونی مربوط به پرکامبرین تشکیل می‌دهند که در کوه شتر رخمون دارند و جوان‌ترین آن‌ها را رسوبات کواترنر تشکیل می‌دهند. چینه‌شناسی و زمین‌شناسی در مقیاس ناحیه‌ای بر مبنای نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵) به شرح زیر معرفی می‌گردد. (شکل ۲-۳) بخشی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ترود را نشان می‌دهد.

– **پرکامبرین (PEd):** سنگ‌های منسوب به پرکامبرین در شمال و شرق دهکده سهل را مجموعه‌ای از گنیس، آمفیبولیت و شیست تشکیل داده است. این مجموعه از نظر سنگ‌شناسی شباهتی به ترادف‌های پالئوزوئیک پسین تا مزوزوئیک نداشته و درجه دگرگونی آن بسیار بالاتر می‌باشد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

– **پرمین (Pm):** در ناحیه ترود در شمال گسل انجیلو رسوبات کربونیفر یافت نمی‌شود و سنگ‌های پرمین مستقیماً روی سازند بهرام را فرا می‌گیرد. حال معلوم نیست که آیا این امر به سبب خروج ناحیه از آب در دوره کربونیفر است یا فرسایش پیش از پرمین؟

احتمال فرض دوم بیشتر است چرا که در شرق ایران (شیرگشت) که سازندهای شبیه ناحیه ترود دارد، کربونیفر زیرین (سازند شیشتو) شناخته شده و دیگر آنکه قسمت‌های بالای سازند بهرام نیز در این ناحیه دچار فرسایش گشته است. در ناحیه ترود، در شمال گسل انجیلو پرمین با یکسری رسوبات آواری شروع می‌شود که شباهت بسیار به سازند درود البرز دارد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

– **تریاس (T):** ناحیه ترود در شمال گسل انجیلو دستخوش فرسایش شدید پیش از لیاس می‌شود، بدانگونه که اکثراً سازند شمشک مستقیماً روی سازند جمال و یا حتی سنگ‌های قدیمی‌تر می‌نشیند. با این وجود در کوه رضاآباد بین آهک‌های سیاه فوزولین‌دار و قاعده سازند شمشک رسوباتی دیده می‌شود که به علت نبودن فسیل آن‌ها را به پرموتریاس نسبت می‌دهند. این سری که با ۳۰ متر ماسه سنگ

کوآرتزیتی و شیل قرمز رنگ شروع و با ۱۶۰ متر دولومیت خاکستری روشن با لایه‌بندی خوب ادامه می‌یابد، با مجموع سازند سرخ شیل و شتری مقایسه می‌شود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

_ **ژوراسیک میانی-بالایی (Jsm):** به طور کلی در این محدوده دوگر از رسوبات آواری و خشکی‌زاد تشکیل شده است که بیانگر خروج ناحیه از آب در اواخر ژوراسیک می‌باشد. دوگر در قسمت پایین، متشکل از آهک‌های ماسه‌ای و کنگلومرای است که بدین لحاظ با سازند بادامو قابل مقایسه می‌باشد، کامل‌ترین مقطع این سازند در شمال دهکده ویراب رخنمون داشته و براکیوپودهای موجود در این آهک‌ها سنی معادل دوگر نشان می‌دهند. قسمت بالای دوگر که معمولاً روی آهک بادامو و یا سازند شمشک را می‌پوشانند تناوبی از شیل آهکی ماسه‌ای است که می‌تواند معادل سازند بغمشاه در ناحیه طبس باشد (قربانی، ۱۳۸۴).

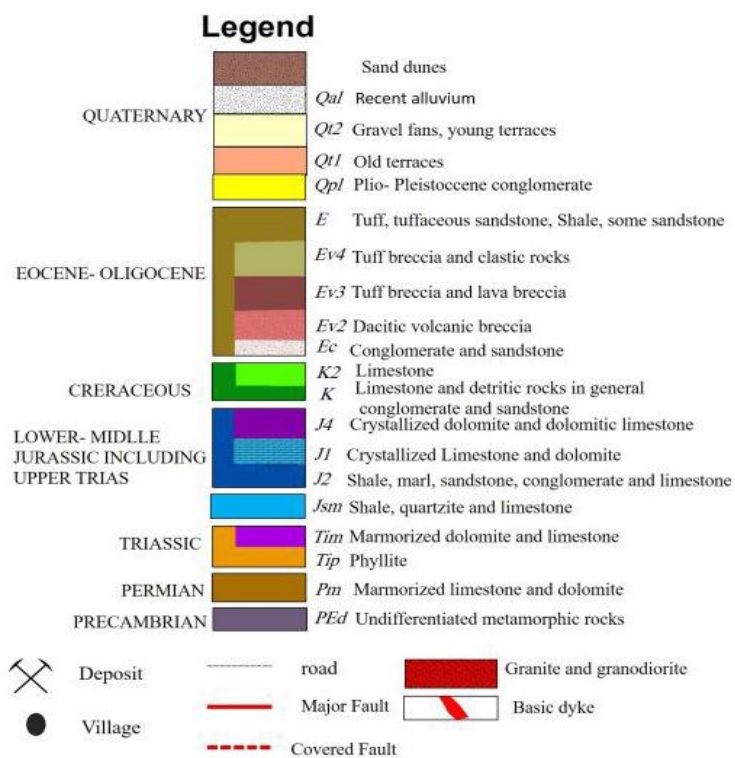
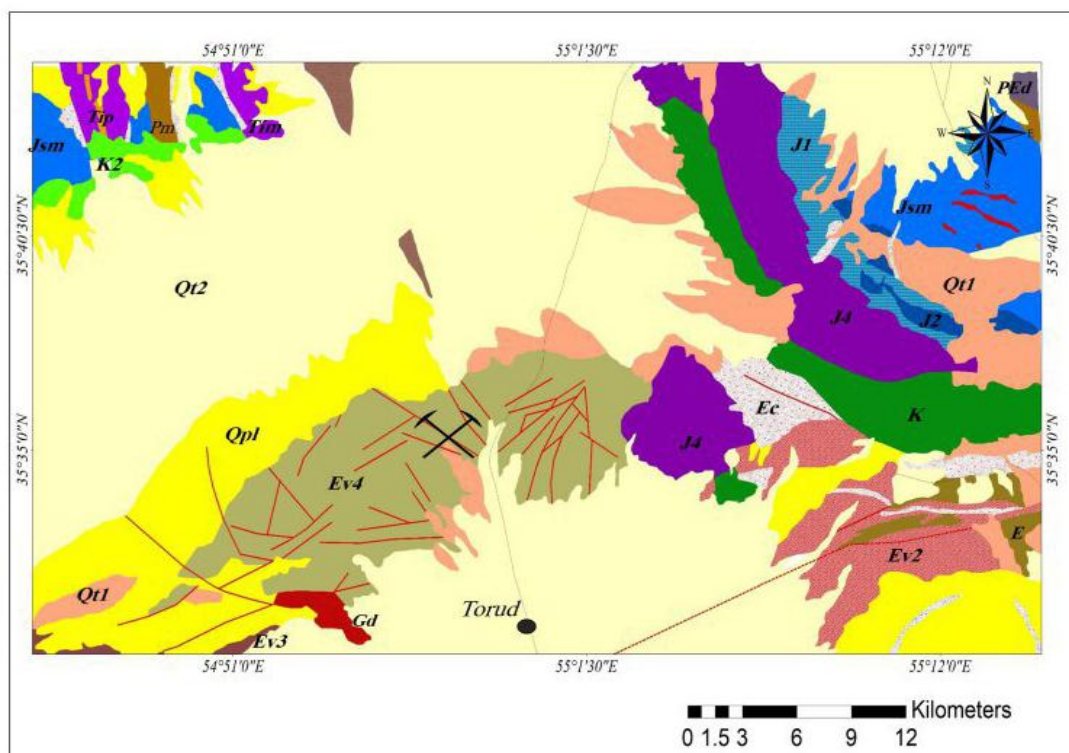
_ **کرتاسه (K):** دریای کرتاسه پس از جنبش‌های تکتونیکی شدیدی که در جنوب گسل انجیلو به یک دگرگونی پیشرفته می‌انجامد، پیشروی خود را با رسوبات آواری قرمز رنگ شروع می‌کند و سپس با نشست کف آن و تغییر رژیم رسوبگذاری، تناوبی از آهک و شیل برجای گذاشته می‌شود که در پایین‌ترین بخش آن فسیل‌های مربوط به آپسین و در بالاترین قسمت، فسیل‌های مربوط به سنونین و احتمالاً تا کامپانین موجود می‌باشد. سرانجام دریا با پسروی دوباره رسوبات آواری قرمز رنگی به جا می‌گذارد که جز در باختر معدن سرب خانجار، فرسایش ترشیری اثری از آن به جای نگذاشته است. از نظر سنگ-شناسی و چینه‌شناسی، کرتاسه در سراسر ناحیه وضعیت نسبتاً یکسانی دارد و تمام سازندهای پیش از خود را با یک دگرشیبی زاویه‌ای که گاه به ۸۰ درجه می‌رسد (کوه خرگوشی) می‌پوشاند (قربانی، ۱۳۸۴).

_ **ائوسن (E):** این مجموعه با ضخامت حدود ۳۰۰۰ متر به گونه دگرشیب، واحدهای قدیمی‌تر را می‌پوشاند. پی‌سنگ واحدهای ائوسن، تخریبی است و از ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا و توفیت تشکیل شده است. این واحد قاعده‌ای حدود ۳۰۰ متر ضخامت دارد و فسیل‌های ائوسن در آن‌ها یافت

می‌شود. واحدهای آتشفشانی ائوسن با ضخامت قابل توجه به صورت هم‌شیب بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر قرار دارند. این مجموعه تناوبی از گدازه، برش‌های آتشفشانی و توف‌های مختلف را دربر دارد. افق‌هایی از سنگ‌های تخریبی و سنگ آهک‌های نومولیت‌دار، به شکل میان‌لایه، در این مجموعه یافت می‌شود (قربانی، ۱۳۸۴).

_ **ائوسن-الیگوسن (E-Ol):** نهشته‌های این زمان بیشتر از نوع تخریبی-مارنی است که به صورت سازندهای سرخ زیرین، قم و سرخ بالایی در بخش‌های جنوبی منطقه نمایانند. این نهشته‌ها به گونه چین‌خورده، تاق‌دیس‌ها و ناودیس‌های متنوعی را پدید آورده‌اند، یا اینکه نفوذ گنبد‌های نمکی موجب به هم ریختگی آن‌ها شده است. لایه‌های محدودی از توف و توفیت در بین واحدهای رسوبی الیگوسن منطقه وجود دارد که نشانه فعالیت‌های ماگمایی محدود منطقه در این زمان‌ها می‌باشد (قربانی، ۱۳۸۴).

_ **کواترنری (Qt):** نهشته‌های جوان منطقه به صورت کنگلومرا و مارن، به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر منطقه را می‌پوشانند (قربانی، ۱۳۸۴).



شکل ۲-۳: بخشی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ترود بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ علوی و هوشمندزاده (۱۳۵۵) که موقعیت کانسار مس ساغری در آن نمایش داده شده است.

۲-۵- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک منطقه

خادمی (۱۳۸۶)، در قالب رساله دکتری با عنوان ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی تروود، وضعیت تکتونیکی و ساختاری منطقه را مورد بررسی قرار داده و اظهار نمود که: در همه فازهای دگرریختی، یک سیمای ساختاری مهم و اصلی، یعنی گسل امتدادلغز تروود با روند شمال‌شرقی-جنوب-غربی عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری آن بوده است. ساختارهای فشارشی در منطقه پایانه غربی گسل تروود، سبب پیدایش کوه‌های مرتفع رانده-چین‌خورده و دگرگون شده به صورت یک قلمرو ساختاری دگرگونی در غرب منطقه شده است. گسل مزبور در تعیین خطوط و حدود دو یا احتمالاً سه قلمرو مستقل ساختاری دیگر نیز بیشترین تأثیرات را داشته است. مثلاً آنجا که در اثر جزءشدگی^۱ و تنش فشارشی-لغزشی^۲ در امتداد آن و پیدایش گسل‌های معکوس، در موازات آن، سبب راندگی به جنوب شده است، جبهه راندگی مرتفع و پیش‌رونده‌ای به وجود آمده است و در جنوب این جبهه راندگی، حوضه فرونشستی نئوژن با رسوبات تبخیری ایجاد شده است، که خود یک قلمرو ساختاری مستقل ویژه نئوژن است. در قسمت شمال این گسل، پیش از آنکه رژیم و تنش فشارشی دچار بخش‌شدگی شده باشد و جبهه راندگی به وجود بیاید، در اواخر کرتاسه تا اواخر ائوسن یک رژیم و تنش-کششی-لغزشی سبب پیدایش ساختارهای دومینو شکل گسل‌های عادی و حوضه‌های کششی-لغزشی^۳ شده است و با افزایش کشیدگی در پوسته و بالا رفتن گرادیان حرارتی، ماگماتیسم گسترده‌ای بخش بزرگی از منطقه را دربرگرفته است و قلمرو ساختاری آذرین به وجود آمده است. اگرچه سرآغاز ماگماتیسم منطقه تحت تأثیر زمین‌ساخت بوده است، ولی در ادامه در برخی مراحل، دو رویداد زمین-ساخت و ماگماتیسم همزمان با هم به وقوع پیوسته‌اند و ندرتاً نیز ماگماتیسم، مقدم بر دگرشکلی‌های محلی بوده و سبب پیدایش ساختارهای شکستگی به ویژه ساختارهای کششی-لغزشی شده است. این ساختارها و ساختارهای مشابهی که از قبل وجود داشته‌اند، مکان‌های مناسبی برای عبور سیالات

^۱ Partitioning

^۲ Transpression

^۳ Pool apart

ماگمایی شده‌اند و در نقاط متعددی از آنها کانسارهای ارزشمندی تشکیل شده‌اند. از جمله این معادن که برخی از دیرباز فعال بوده‌اند و بخشی جدید هستند، می‌توان کانسارهای طلای کوه‌زر، فیروزه باغو، سرب و روی رشم، سوسنوار، گندی و مس چاه‌موسی را نام برد. این شیوه‌های متغیر و متنوع معرف دگرشکلی درون قاره‌ای است. واکنش ناشی از همگرایی صفحه‌های عربستان و اوراسیا در درون خردقاره ایران منجر به چرخش بلوک لوت و پیدایش گسل‌های بزرگ امتدادلغز منطقه‌ای شده است. تغییرات جهت این همگرایی و تغییرات مقدار چرخش درون قاره‌ای که در زمان‌های مختلف روی داده است، تأثیر مستقیم بر میدان تنش محلی و رژیم زمین‌ساختی منطقه داشته و آن را به صورت‌های متفاوتی که گفته شد، درآورده است. وی از مجموع مطالعات انجام شده به این نتیجه می‌رسد که ابتدا یک رژیم کششی گسل‌های پی سنگی عمیق را فعال کرده است که به تدریج در اواسط ائوسن یک حوضه رسوبی کم عمق در منطقه به وجود می‌آورد. سپس با توسعه این حوضه کششی و به کمک مجاری به وجود آمده توسط گسل‌های عمیق، ماگمای حد واسط تا بازیک نشأت گرفته از گوشته فوقانی، به درون این حوضه‌های رسوبی راه یافته یا به عبارتی به درون آن‌ها فوران کرده‌اند. همچنین در ادامه اظهار می‌نماید، با توجه به مشاهدات صحرایی، فوران این ماگماها در طی چند مرحله صورت گرفته و سپس در ائوسن بالایی خروج گدازه‌ها به تدریج متوقف شده و حوضه آتشفشانی-رسوبی نیز به تدریج دچار بالآمدگی شده و عمق حوضه کاهش یافته و رسوبات ماسه‌سنگی مربوط به محیط‌های کم‌عمق در آن نهشته و در اواخر ائوسن این حوضه‌ها کاملاً از آب خارج شده‌اند. در حد فاصل اواخر ائوسن تا میوسن، ماگماهایی با ترکیب بازیک تا حد واسط و به مقدار کمتر اسیدی با ماهیت کالک‌آلکالن به درون مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن تزریق شده‌اند و پیامدهای متعددی از جمله دگرگونی، دگرسانی و کانه‌زایی را به همراه داشته‌اند. در میوسن دوباره در اثر عملکرد رژیم‌های کششی، هورست و گرابن، حوضه‌های رسوبی کم عمق در منطقه ایجاد شده که شاهد آن حضور سنگ‌های مارنی و ماسه‌سنگی میوسن در جنوب‌شرق منطقه مورد مطالعه در حد فاصل معلمان-ترود می‌باشد. سپس در طی پلیوسن-پلیستوسن، رسوبات

آواری تخریبی حاصل از فرسایش سنگ‌های قدیمی‌تر به صورت مخروط افکنه‌های بزرگ و نهشته‌های کنگلومرای پلیوسن-پلیستوسن رخنمون پیدا کرده‌اند. براساس مطالعات صورت گرفته توسط هوشمندزاده و همکاران، (۱۳۵۷) و خادمی، (۱۳۸۶) و غیره مشخص گردید که سنگ‌های نفوذی و نیمه‌عمیق مورد نظر در پهنه‌های کششی مرتبط با عملکرد گسل‌های بزرگ منطقه جایگزین شده‌اند.

۲-۶- ماگماتیسم

فعالیت‌های ماگمایی در پالئوزوئیک و مزوزوئیک با شدت کمتر وجود داشته و در سنوزوئیک به اوج خود رسیده و حجم قابل ملاحظه‌ای از سنگ‌های آذرین را به جای گذاشته است. فعالیت‌های ماگمایی ترشیر در لوتسین آغاز شده، در سراسر ائوسن میانی ادامه یافته و در ائوسن پایانی به حداقل خود رسیده است. ماگماتیسم در اواخر ائوسن پایانی و یا الیگوسن آغازی دوباره از سر گرفته می‌شود اما شدت آن کمتر از دوره اول بوده و به زودی به خاموشی گراییده است. پس از آن، فعالیت‌های ماگمایی به صورت جایگیری توده‌های نفوذی کوچک و بزرگ و دایک‌ها تظاهر می‌یابند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). رخنمون‌های ماگمایی این پهنه به دو گروه تفکیک شده‌اند:

الف- سنگ‌های آتشفشانی-تخریبی ائوسن

ب- توده‌های نفوذی کم‌عمق و گنبدی شکل ائوسن پایانی-الیگوسن آغازی

ترکیب سنگ‌شناسی مجموعه واحدهای سنگ‌های آذرآواری ائوسن را آندزیت، آندزیت بازالت، تراکی-آندزیت، بازالت، داسیت و ریولیت می‌باشد که به صورت بین لایه‌ای در میان آن‌ها طبقات توف، ماسه-سنگ، سیلتستون و کنگلومرا تشکیل شده است. این سنگ‌ها اکثراً در تماس با آب سرد تشکیل شده‌اند و جزء آتشفشان دریایی محسوب می‌شوند. محیط تشکیل آن‌ها، کرانه‌ای تا کم‌عمق (لاگون) بوده است. سنگ‌های نفوذی کم‌عمق و گنبدی شکل نیز با ترکیب آندزیت، آندزیت-داسیت و دیوریت-پورفیری رخنمون دارند (ذوالفقاری، ۱۳۷۷).

۲-۶-۱- فعالیت‌های آتشفشانی

بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵)، فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن از لوتسین آغاز می‌شود. شروع ائوسن در این کمان با افق کنگلومرای می‌باشد که معادل کنگلومرای فجن است. این افق کنگلومرای بر روی شیل‌ها و آهک‌های کرتاسه قرار گرفته است. فعالیت‌های آتشفشانی منطقه به ۴ واحد EV₁ تا EV₄ قابل تفکیک می‌باشند. بر روی این توالی‌ها، توف، ماسه‌سنگ توفی، شیل و مارن به سن ائوسن-الیگوسن قرار دارد. مشخصات هر یک از واحدهای فوق به شرح زیر می‌باشد:

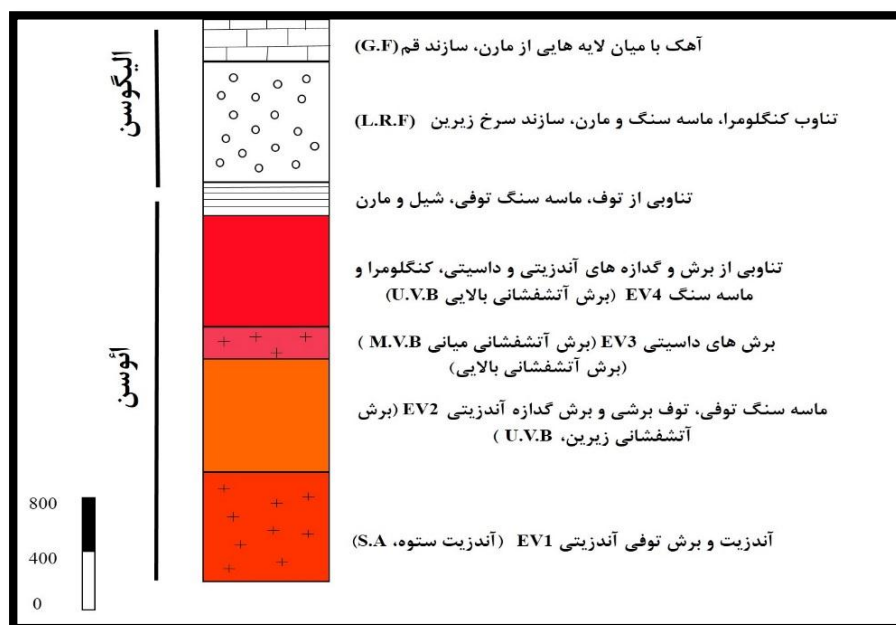
EV₁-: این واحد شامل ۸۰۰ متر گدازه آندزیتی و برش‌های آتشفشانی آندزیتی و در پایین‌ترین قسمت، لایه‌های اندک از برش و توف است. این واحد مساحتی در حدود ۲۰۰ کیلومتر مربع، از شمال معدن گندی تا غرب معدن پوسیده را دربر می‌گیرد. بهترین رخنمون این واحد در منطقه شمال ستوه دیده می‌شود و به همین دلیل از این واحد در گزارش شرح نقشه (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷) به عنوان آندزیت ستوه (S.A) نام برده شده است.

EV₂ -: این واحد از توف‌ها و گدازه‌های برشی اکثراً آندزیتی و کمی کنگلومرا و ماسه‌سنگ در قاعده تشکیل شده است. این واحد در بخش وسیعی از نوار ترود-چاه‌شیرین، از چاه‌شیرین در غرب تا رشم و از جنوب معدن باغو تا غرب و جنوب منطقه چاه‌موسی (حدود ۵۰۰ کیلومتر مربع) گسترش دارد. در گزارش شرح نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)، از این واحد به عنوان برش آتشفشانی زیرین (L.V.B) نامبرده شده است.

EV₃-: این واحد فقط در شمال غرب ترود مشاهده شده است و شامل برش‌های داسیتی با قطعات درشت می‌باشد که اندازه این قطعات گاهی به ۲ متر نیز می‌رسد. تمام زمین‌شناسی که تا به حال از این ناحیه بازدید نموده‌اند از جمله؛ هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷) و ذوالفقاری (۱۳۷۷)، بر ارتباط ژنتیکی این توالی برشی با توده‌های داسیتی و آندزیتی نیمه‌ژرف منطقه (چاه‌موسی، قله کفتران، قله چفت و قله سوخته) تأکید نموده‌اند، زیرا قطعات این برش‌ها همان داسیت‌ها و آندزیت‌های نیمه ژرف بوده و این برش‌ها فقط در اطراف توده‌های مذکور دیده می‌شوند. به دلیل قرارگیری بر روی واحد

(L.V.B) و EV₂، در گزارش شرح نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)، از این واحد به عنوان برش آتشفشانی میانی (M.V.B) نام برده شده است.

EV₄ - این واحد با کنگلومرا و ماسه‌سنگ شروع می‌شود و شامل توف‌های برشی و گدازه‌های آندزیتی می‌باشد. گسترش این واحد در شمال و شمال شرق قله کفتران با مساحت حدود ۱۵۰ کیلومتر مربع است. این واحد معادل برش‌های آتشفشانی بالایی (U.V.B) در گزارش شرح نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷) است. این توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری، توسط توف، ماسه‌سنگ توفی، شیل و مارن به سن ائوسن-الیگوسن پوشیده می‌شود. رخساره‌های آتشفشانی-آذرآواری ائوسن-الیگوسن، به ترتیب با تناوب کنگلومرا، ماسه‌سنگ و مارن (سازند سرخ زیرین)، آهک با میان لایه‌هایی از مارن (سازند قم) و آبرفت‌های کوارتزی پوشیده می‌شوند. (شکل ۲-۴)، ستون عمومی و شماتیکی از توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن و توالی‌های رسوبی الیگوسن-میوسن را بر اساس نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)، نشان می‌دهد.



شکل ۲-۴: ستون عمومی و شماتیک از توالی‌های آتشفشانی و آذرآواری ائوسن-الیگوسن و توالی‌های رسوبی الیگوسن-میوسن در نوار ترود-چاه‌شیرین، برگرفته از گزارش نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود، هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷).

سنگ‌های نفوذی این ناحیه، اکثراً ترکیب کالک‌آلکالن دارند و در محدوده متآلومین قرار می‌گیرند (ذوالفقاری، ۱۳۷۷).

پلوتونیسیم نوار ترود-چاه‌شیرین به صورت زیر رخنمون دارد:

۱- توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و کاملاً بلورین (گرانیت تا مونزودیوریت)

۲- توده‌های نیمه‌عمیق (داسیت-داسیت آندزیت)

۳- دایک‌ها (مافیک تا انواع اسیدی)

۲-۶-۱- توده‌های نفوذی عمیق

این توده‌ها در منطقه باغو و دارستان به صورت گرانیت تا گرانودیوریت، در شمال خانجار و رشم، به صورت دیوریت، در شمال گندی به صورت کوارتزیدیوریت و گرانیت، در جنوب غرب چاه‌موسی به صورت کوارتزمونزودیوریت و کوارتزمونزونیت رخنمون دارند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۷۱).

۲-۶-۲- توده‌های نیمه‌عمیق

در انتهای شمال شرقی پهنه ترود-چاه‌شیرین، سنگ‌های نیمه‌عمیق داسیتی، داسیت آندزیتی گسترش دارند (کهنسال، ۱۳۷۷). وسعت این واحد در این منطقه حدود ۳۰ کیلومتر مربع است. به جز آن، در محل کوه قله‌سوخته نیز این واحد رخنمون دارد. این سنگ‌ها به دلیل عمق تبلور کم، دارای زمینه ریزبلور هستند و در نگاه ماکروسکوپی به سنگ‌های آتشفشانی شبیه هستند ولی ساخت نفوذی دارند. این سنگ‌ها میزبان کانه‌زایی مس، سرب، روی و باریت در مناطق چاه‌موسی، قله کفتران و قله سوخته هستند.

۲-۶-۳- دایک‌ها

در این پهنه دایک‌های زیادی از بازیک تا اسیدی رخنمون دارند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷). روند اکثر این دایک‌ها موازی با روند کلی ناحیه و گسل‌های ترود و انجیلو می‌باشد. این دایک‌ها آخرین تظاهرات ماگمایی ناحیه هستند زیرا توده‌های نیمه‌عمیق داسیتی را قطع نموده‌اند. دایک‌ها از لحاظ جنس، محل و نقش متفاوتند. این دایک‌ها شامل انواع زیر هستند (ذوالفقاری، ۱۳۷۷):

۱- دایک‌های آندزیتی-داسیتی: این دایک‌ها در مناطق رباعی، چشمه حافظ و دره بید محمدحسن رخنمون دارند و از قدیمی‌ترین دایک‌های منطقه می‌باشند. این دایک‌ها از نوع تغذیه کننده بوده (زیرا در سطح به افق‌های برشی مربوط می‌شوند) و سبب ایجاد سنگ‌های آتشفشانی ناحیه شده است. این برش‌ها دارای لایه‌بندی مشخصی نبوده و در برش همگن محسوب می‌شوند. هرچه از محل دایک‌ها دور می‌شویم از اندازه قطعات برش‌ها کاسته می‌شود، که این خصوصیات دایک‌های تغذیه کننده است (ذوالفقاری، ۱۳۷۷).

۲- دایک‌های بازیک: این دایک‌ها در جنوب کوه‌زر، دهنو و جنوب-جنوب شرق علی‌خان گسترش دارند (رشیدنژاد عمران، ۱۳۷۱). این دایک‌ها گدازه‌های ائوسن و توده‌های نیمه‌عمیق ائوسن پسین-الیگوسن پیشین منطقه را قطع می‌نمایند، پس سنی بعد از الیگوسن دارند. روند عمومی این دایک‌ها شمالی-جنوبی تا شمال شرقی-جنوب غربی است.

۳- دایک‌های دولریتی: این دایک‌ها در شمال دهکده سوسنوار مشاهده شده است (ذوالفقاری، ۱۳۷۷) و مربوط به ائوسن بالایی هستند.

۲-۷- توان معدنی نوار ترود-چاه‌شیرین

کانسارها و نشانه‌های معدنی پهنه ترود-چاه‌شیرین به دو دسته فلزی و غیرفلزی تقسیم می‌شوند که در ادامه به شرح هر دو مورد پرداخته می‌شود.

۲-۷-۱- کانی‌سازی فلزی

در ناحیه ترود-چاه‌شیرین می‌توان به معادن قدیمی و جدید اشاره کرد (شکل ۲-۵). کانسارها و نشانه-

های معدنی فلزی نوار ترود-چاه‌شیرین را می‌توان بر حسب سنگ میزبان به ۲ دسته تقسیم نمود:

الف) کانسارها با سنگ درون‌گیر رسوبی:

در آهک‌ها و دولومیت‌های تریاس و کرتاسه نوار ترود-چاه‌شیرین، کانی‌زایی سرب و روی به صورت

معادن متروکه و نشانه‌های معدنی گزارش شده‌اند. مهم‌ترین این کانه‌زایی‌ها را می‌توان در کانسار سرب

و روی خانجار رشم و آهک‌های کرتاسه فوقانی مشاهده نمود. مهری (۱۳۷۷)، این کانسار را مشابه تیپ

دره می‌سی‌سی‌پی (MVT) معرفی می‌نماید.

ب) کانسارها با سنگ میزبان آتشفشانی و نفوذی: تشکیل این دسته از کانسارها و نشانه‌های معدنی،

اکثراً تحت کنترل توده‌های نفوذی و ساختارهای تکتونیکی می‌باشند.

۲-۷-۲- کانی‌سازی غیرفلزی

– **بنتونیت:** در محدوده کلاته‌رشم، در برخی نواحی توف‌های سفید رنگ دگرسان شده با ترکیب اسید

در حد ریوداسیت و داسیت برونزد دارند. در نقاطی که شرایط دگرسانی وجود داشته است بنتونیت

مشاهده می‌شود که از میان آن می‌توان به معدن بنتونیت رشم اشاره کرد. توف‌های دگرسان شده فوق

در یک خط با روند تقریبی شرقی-غربی از رشم تا مدخل ورودی دره کلوت به طور منقطع دیده می‌شود.

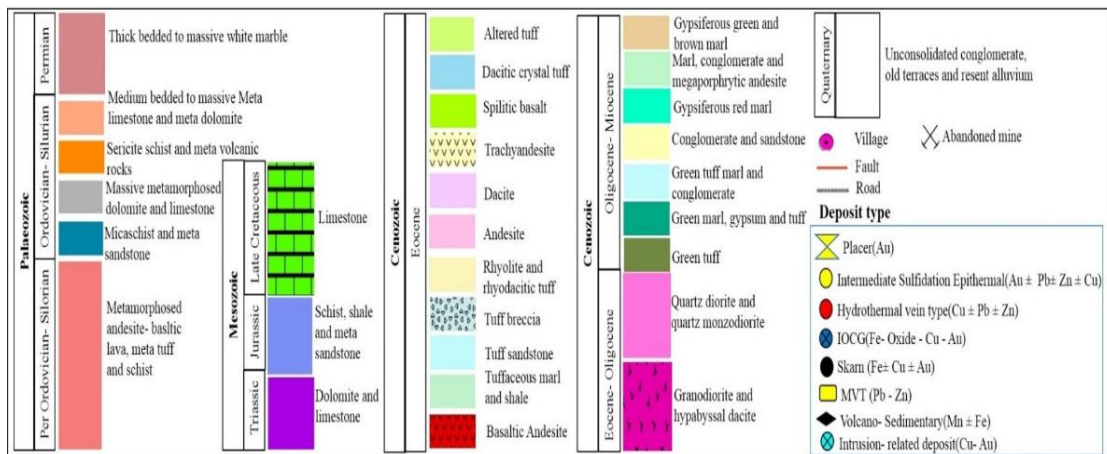
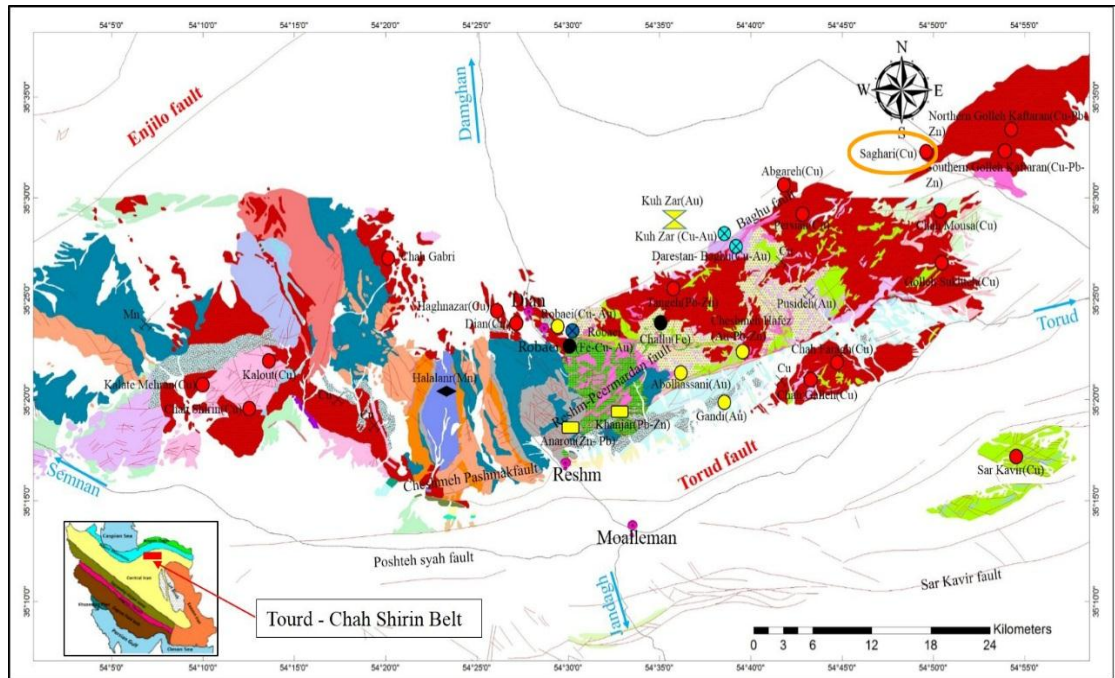
یک افق از این نوع توف‌های دگرسان شده در شرق روستای دیان وجود دارد.

– **سیلیس:** در نقاطی که سنگ‌های شیستی پالئوزوئیک گسترش دارند رگه‌های سیلیسی مشاهده

می‌شود. در اثر دگرگونی این شیست‌ها، رگه‌های سیلیسی در نتیجه تحرک در آن آزاد شده و بعضاً

رگه‌های قابل توجهی را به وجود آورده‌اند که در برخی نقاط نیز از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشند.

– نمک و گچ: در نیمه جنوبی ورقه کلاته‌رشم، چندین گنبد نمکی وجود دارد. به طور معمول بر روی گنبد‌های نمکی لایه‌های گچ دیده می‌شود که در صورت اقتصادی بودن مطرح می‌باشند.



شکل ۲-۵: موقعیت برخی کنسارهای مس در نوار تروود-چاه‌شیرین (عبداللهی، ۱۳۹۵) و کنسار مس ساغری (بیضی نارنجی).

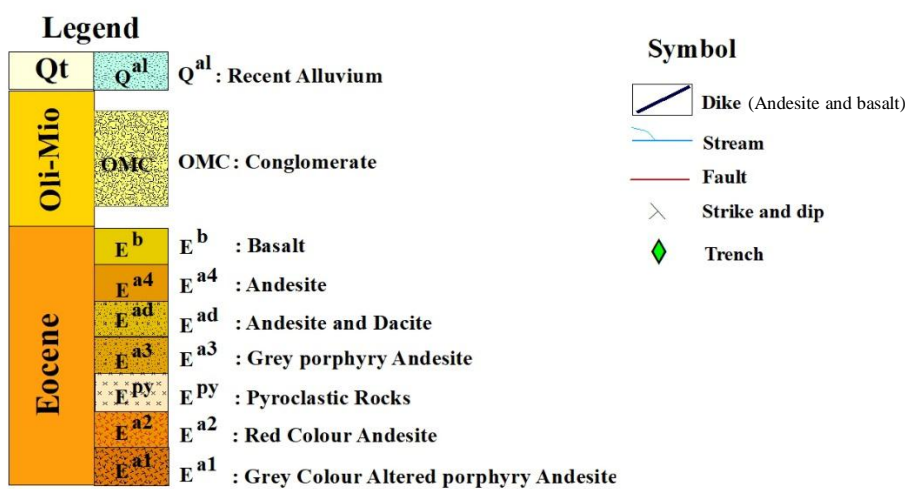
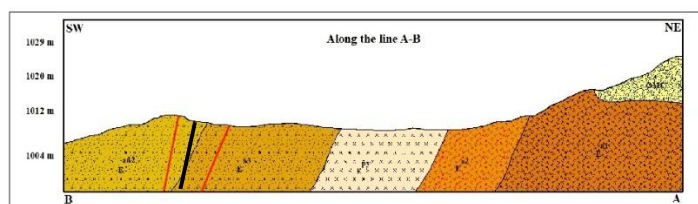
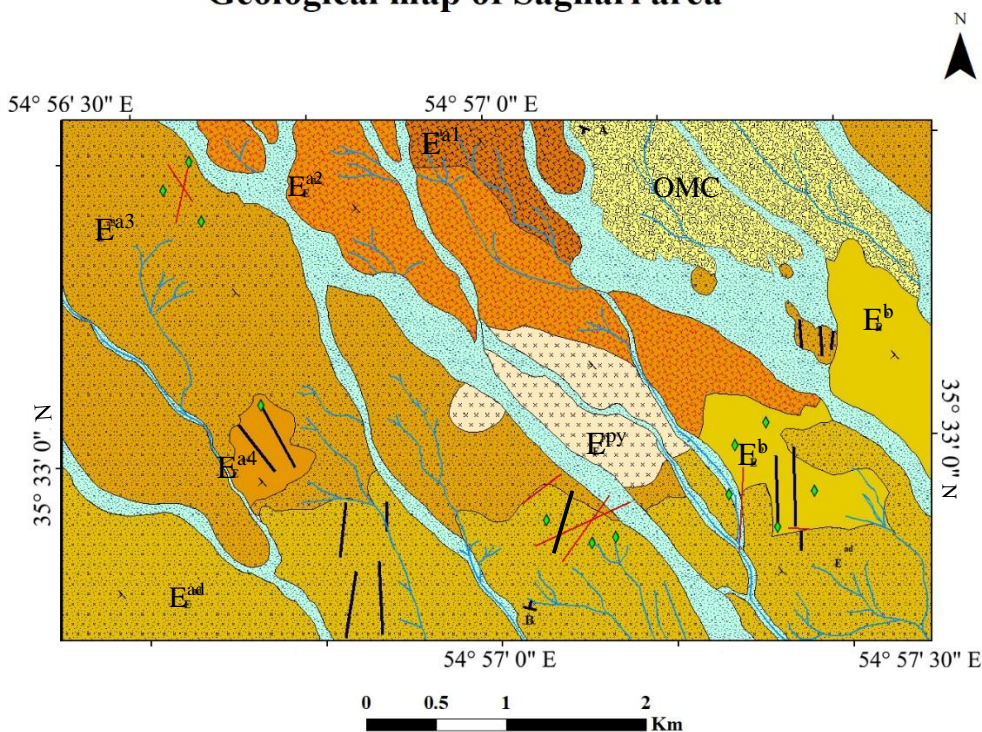
فصل سوم

زمین‌شناسی محدوده معدنی

۳-۱- مقدمه

هدف از بررسی زمین‌شناسی یک محدوده معدنی مطالعه‌ی واحدهای سنگی، روابط آن‌ها، تکتونیک و ارتباط هر یک از این پدیده‌ها با کانی‌سازی 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 منشأ و تحول ماگما، مطالعات پتروگرافی جهت بررسی ساخت، بافت و ترکیب کانیایی سنگ‌ها صورت گرفت. منطقه معدنی ساغری بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری ایران در پهنه ایران مرکزی و از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در ورقه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و هوشمندزاده، ۱۳۵۵) واقع شده است. این منطقه در شمال شرقی ترود قرار دارد و مجموعه‌ای از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و آذرآواری با سن ائوسن می‌باشد که توسط توده‌های نفوذی با ترکیب گرانیتی و گرانودیوریتی به سن الیگوسن مورد نفوذ واقع شده است. در این بخش به منظور مطالعه واحدهای سنگی و بررسی نحوه کانی‌زایی با استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی پیشین منطقه، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های صحرایی تهیه نقشه زمین-شناسی محدوده معدنی و همچنین نیم‌رخ عرضی عمود بر روند واحدهای سنگی از منطقه به عمل آمد (شکل ۳-۱).

Geological map of Saghari area



شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس ۱/۵۰۰۰ محدوده معدنی (بر اساس تصاویر ماهواره‌ای Google earth و برداشت‌های صحرایی).

۳-۲- واحدهای سنگی چینه‌ای موجود در منطقه

بر اساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ مقیاس و ستون چینه‌شناسی محدوده معدنی، واحدهای سنگی مختلف به ترتیب از قدیم به جدید معرفی می‌شوند.

۳-۲-۱- ائوسن

از نظر سنگ‌شناسی مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن در این محدوده به ۷ واحد زیر تقسیم شدند:

۱- واحد آندزیت (E^{a1}): قدیمیترین واحد ائوسن در محدوده است. ترکیب کلی آن آندزیت به رنگ خاکستری روشن می‌باشد. دگرسانی آرژیلیتی و سریسیتی در آن توسعه یافته که به این سبب از مقاومت فرسایشی کمی برخوردار بوده و مورفولوژی تپه ماهوری از خود به نمایش می‌گذارد (شکل ۳-۲، الف).

۲- واحد آندزیت (E^{a2}): از آندزیت قرمز رنگ (به دلیل آغشتگی اکسیدهای آهن) تشکیل شده است. روند شمال غربی-جنوب شرقی دارد در قسمت شمال و مرکز نقشه گسترش دارد. مورفولوژی پست، رنگ قرمز، رگه-رگچه‌های کلسیت، ژیپس، لیمونیت و گوتیت از خصوصیات صحرایی آن می‌باشند (شکل ۳-۲، الف).

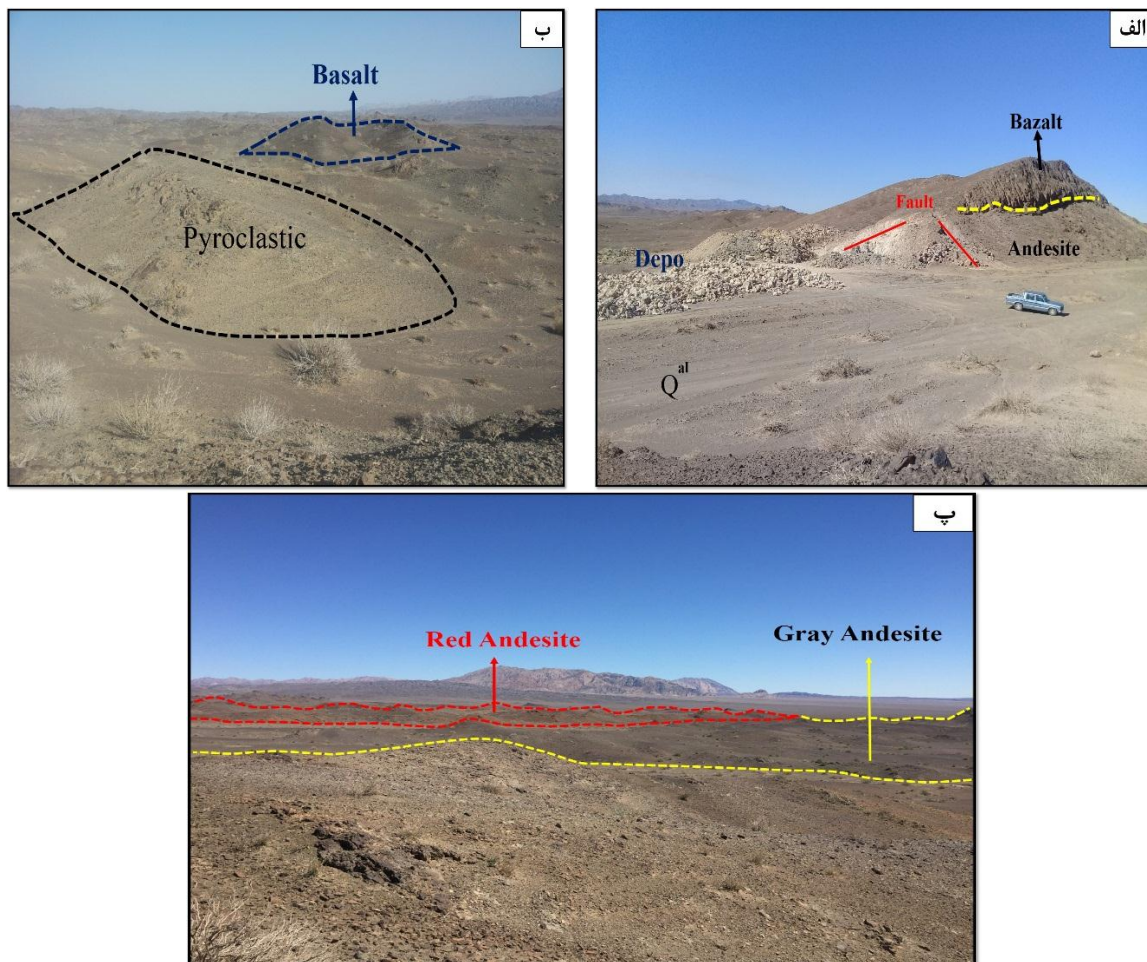
۳- واحد پیروکلاستیک (E^{py}): این واحد از توف و آگلومرا با قطعات ریز، متوسط و درشت از بازالت، آندزیت و خاکستر آتشفشانی تشکیل شده است (شکل ۳-۲، ب).

۴- واحد آندزیت (E^{a3}): این واحد گسترش زیاد در بخش شمال غربی و شرق نقشه دارد. ترکیب کلی آن آندزیت به رنگ خاکستری روشن است و تعداد سه ترانشه اصلی کانه‌دار در داخل آن حفر شده‌اند. میزبان اصلی کانه‌زایی است و ماده معدنی در امتداد گسل‌های با روند شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی جایگیر شده است.

۵- واحد آندزیت-داسیت (E^{ad}): این واحد از آندزیت و داسیت به رنگ خاکستری تیره تا قرمز تشکیل شده است. گسترش نسبتاً زیاد در بخش جنوب، جنوب شرق و جنوب غرب نقشه نشان می‌دهد. کانه‌زایی اغلب در مرز این واحد با واحد ۵ و منطبق با گسل‌های عرضی کوچک رخ داده است.

۶- واحد آندزیت پورفیری (E^{a4}): رخنمون کوچکی از آندزیت پورفیری به شکل گنبدی و به رنگ خاکستری در بخش مرکز به سمت غرب نقشه قرار گرفته که در برگیرنده دو دایک بازالتی با روند شمال غربی-جنوب شرقی است.

۷- واحد بازالت (E^b): این واحد جوانترین واحد ائوسن با ترکیب بازالت تیره‌رنگ و فاقد دگرسانی است که با گسترش کم در بخش شرق و جنوب شرقی نقشه مشاهده می‌شود. رنگ سیاه، مورفولوژی برجسته و صخره‌ای و همچنین سطح ورنی از خصوصیات بارز صحرایی آن می‌باشد (شکل ۳-۲، پ)

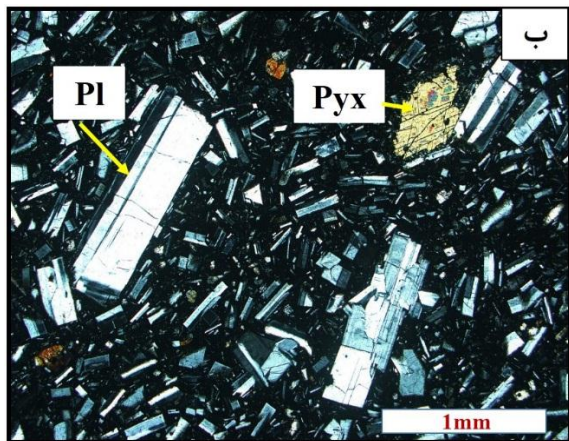


شکل ۳-۲: (الف) تصویر صحرایی از واحد آندزیت‌های قرمز رنگ و خاکستری رنگ منطقه ساغری نمایان است (دید به سمت شمال شرقی) (ب) تصویر صحرایی از واحد آذرآواری (Pyroclastic)، همچنین واحد بازالتی قابل رؤیت می‌باشد (دید به سمت شرق) و (پ) تصویر صحرایی از واحد بازالت به همراه واحد بخش زیرین که از جنس آندزیت پورفیری است (دید به سمت جنوب غرب).

۳-۲-۲- الیگوسن

الف- دایک‌های آندزیتی و بازالتی

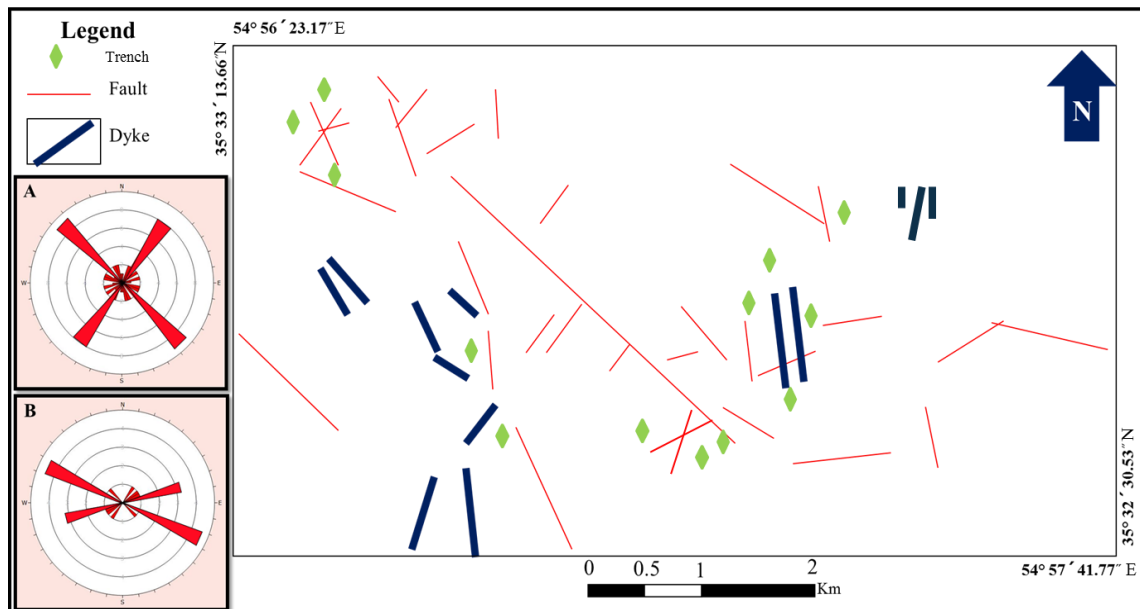
فعالیت ماگمایی بعد از ائوسن (احتمالاً الیگوسن)، در منطقه به اشکال نیمه‌عمیق و دایک ظهور یافته است. توده‌های نیمه‌عمیق در مجاور منطقه و در محدوده معدن چاه موسی بصورت استوک‌های متعددی رخنمون دارند. مطابق نقشه بزرگ مقیاس منطقه (شکل ۳-۱)، در محدوده مورد مطالعه دایک‌های آندزیتی و بازالتی به رنگ سبز تیره تا قهوه‌ای تیره با دو روند شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی دیده می‌شوند و در نمونه میکروسکوپی با بافت گرانولار متشکل از پلاژیوکلازهای دگرسان شده به کلسیت، سریسیت، پیروکسن و هورنبلندهای کلریتی دیده می‌شوند (شکل ۳-۳، الف، ب). دایک‌ها احتمالاً نقش موتور حرارتی را در کانه‌زایی مس داشته‌اند.



شکل ۳-۳: الف) تصویر صحرایی یکی از دایک‌های منطقه ساغری و ب) تصویر میکروسکوپی از آن که شامل پلاژیوکلاز (Pl) و پیروکسن (Pyx) مشاهده می‌شود، نور (XPL). علائم اختصاری توسط Rolf Schmid و Jaakko Sivola تهیه شده است.

در شکل (۳-۴) نقشه گسل‌ها و دایک‌های منطقه ساغری با استفاده از اطلاعات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای

(Google earth) به همراه نمودار گل‌سرخ‌های آن‌ها به نمایش درآمده است



شکل ۳-۴: نقشه پراکندگی دایک‌ها، گسل‌ها و ترانشه‌های منطقه ساغری با استفاده از مشاهدات صحرائی و تصاویر. A = نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی گسل‌ها و B = نمودار گل‌سرخ‌ی فراوانی دایک‌های منطقه ساغری.

ب- واحد OMC: در بخش شمال شرق منطقه یک واحد کنگلومرای (پلی‌ژنتیک) به رنگ روشن به صورت دگرشیب بر روی مجموعه ائوسن قرار گرفته است. قطعات با ابعاد درشت تا بسیار ریز با ترکیب آهک، ماسه‌سنگ، توف، آگلومرا و گدازه‌های آندزیتی و بازالتی اجزاء آن را تشکیل می‌دهند. جورشدگی ضعیف و گردشگی متوسط تا ضعیف از خصوصیات این کنگلومرا می‌باشد (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۵: تصویر صحرائی از واحد کنگلومرای منطقه ساغری مشاهده می‌شود.

۳-۲-۳- کوآترنری

واحد Q^{al} : رسوبات جوان کوآترنری به دو شکل آلوویال در بستر رودخانه و بصورت آبرفت‌های قدیمی واحدهای قبلی را می‌پوشانند. از نظر ترکیب سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی مشابه واحدهای بالا دست خود و از نظر بافتی دارای ابعاد مختلف رس و سیلت تا قطعات بلوک با جورشدگی و گردشگی ضعیف و فاقد سیمان (منفصل)، می‌باشند (شکل ۳-۲، پ).

۳-۴- پتروگرافی سنگ‌های محدوده کانسار ساغری

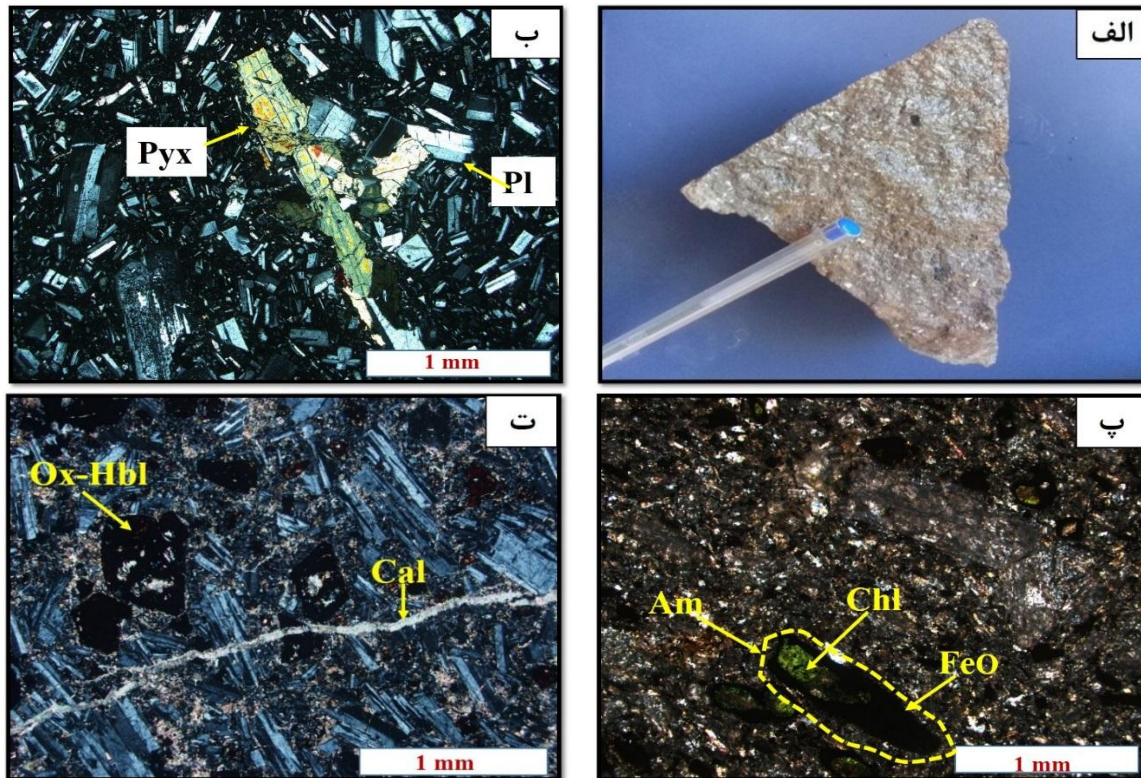
براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، واحدهای سنگی محدوده اکتشافی به دو گروه؛ گدازه (آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت و داسیت) و آذرآواری (توف و آگلومرا) تفکیک شدند که در ادامه به شرح هر یک از آنها می‌پردازیم.

۳-۵- رده‌بندی سنگ‌ها بر اساس مطالعات میکروسکوپی و صحرایی

۳-۵-۱- آندزیت

آندزیت منطقه ساغری، در سطح تازه به رنگ خاکستری روشن و دارای بافت پورفیری می‌باشند که کانی‌های فرومنیزین (پیروکسن و هورنبلند) و پلاژیوکلاز آن به صورت درشت‌بلور قابل مشاهده‌اند (شکل ۳-۶، الف). وجود بافت پورفیری در آندزیت‌ها متداول است و حضور این بافت نشان‌گر پایین بودن سرعت خروج ماگما می‌باشد (Gill, 2012). پلاژیوکلازها به صورت نیمه‌شکل تا خودشکل و با ماکل پلی‌سنتتیک مشاهده می‌شوند که گاهی سالم و در برخی موارد به کانی‌های ثانویه کلسیت، کلریت و سریسیت دگرسان شده‌اند. درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز گاهی حالت منطقه‌بندی نشان می‌دهند که نمایانگر کندتر بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت رشد بلورها است (Shelly, 1993)، (شکل ۳-۶، ب). کانی‌های فرومنیزین این سنگ‌ها

شامل هورنبلند، آمفیبول و بیوتیت هستند. بلورهای کشیده و لوزوجه (مقطع عرضی) هورنبلند به اکسید آهن در حاشیه‌ها (آپاسیتی شدن) و کلریت در مرکز تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۶، پ). کانی‌های آپک شامل پیریت، مگنتیت و هماتیت حدود ۳ درصد حجم سنگ را تشکیل می‌دهند. کانی‌های ثانویه نظیر کلسیت و کوارتز درزه و شکاف موجود در آندزیت را پر کرده‌اند (شکل ۳-۶، ت).

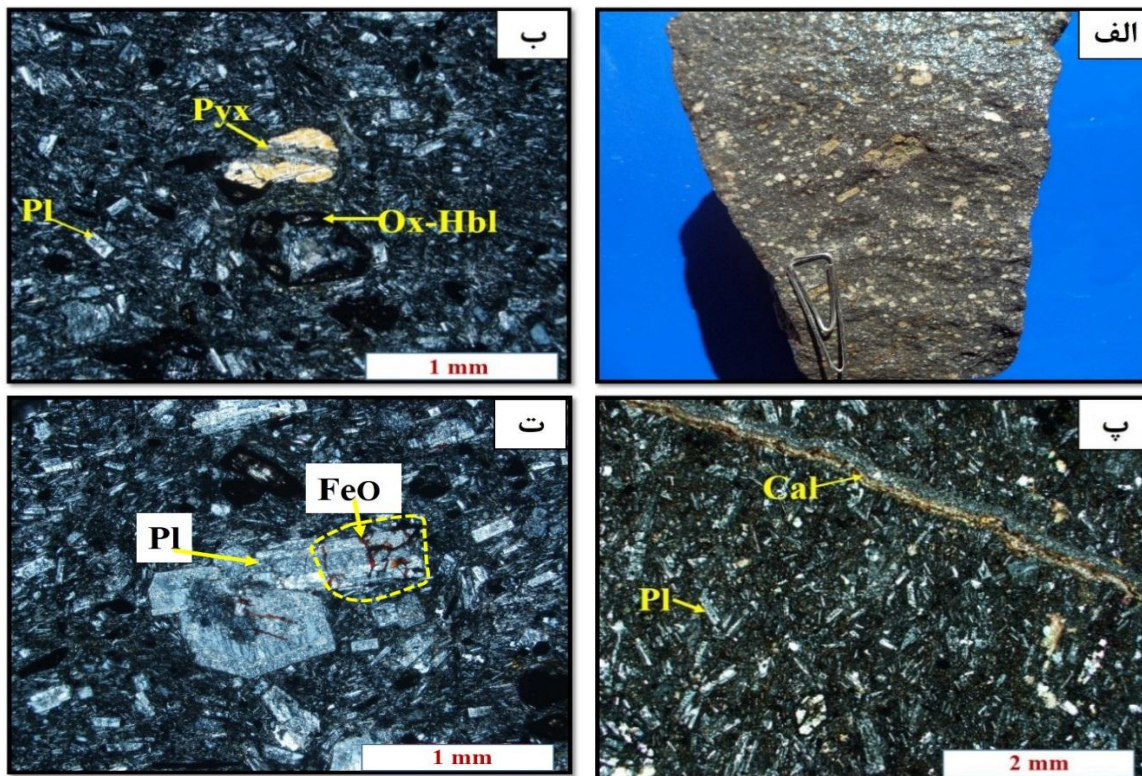


شکل ۳-۶: (الف) تصویر نمونه دستی از یک آندزیت محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی یک نمونه آندزیت با بافت پورفیری، منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز (Pl) به همراه پیروکسن (Pyx) کلریتی شده (پ) تصویر میکروسکوپی از آمفیبول (Am)، آپاسیتی شدن در حاشیه‌ها و کلریتی شدن در مرکز کانی (ت) تصویر میکروسکوپی کانی از رگچه‌های کلسیت در آندزیت به همراه اکسی هورنبلند مشاهده می‌شود، (تمام تصاویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

۳-۵-۲- آندزیت بازالتی

آندزیت بازالتی یکی دیگر از واحدهای منطقه است که از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۷، الف و ب). خصوصیات این سنگ‌ها بین آندزیت و بازالت می‌باشد و بافت‌های غالب این سنگ‌ها

شامل پورفیری، میکرولیتی، جریان‌ی و جانشینی می‌باشد (شکل ۳-۷، پ). بیشتر کانی‌های تشکیل‌دهنده آن پلاژیوکلاز که دگرسانی به کلسیت و سریسیت را نیز نشان می‌دهند (شکل ۳-۷، ت).

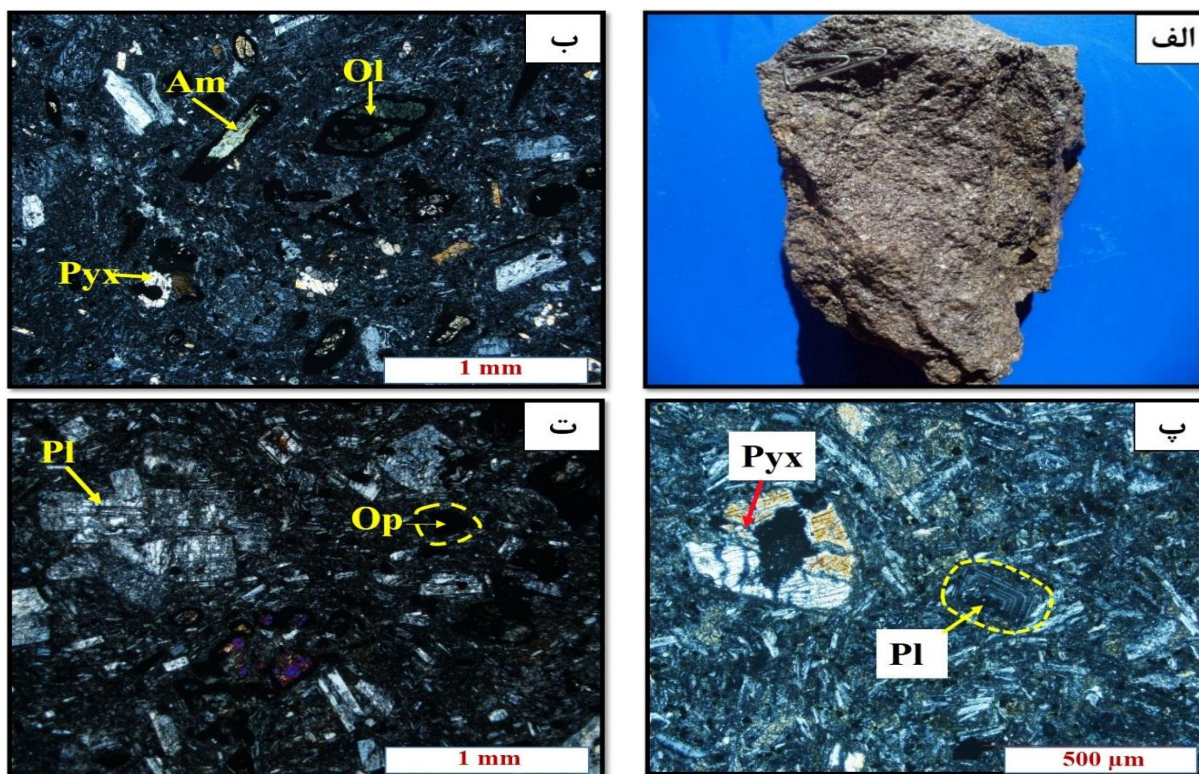


شکل ۳-۷: (الف) تصویر نمونه دستی از یک آندزیت بازالتی محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی از آندزیت بازالتی که اکسی‌هورنبلند (Ox-Hbl) توسط کلسیت (Cal) در مرکز جانشین شده است، به همراه پیروکسن (Pyx) و پلاژیوکلازها (Pl) بصورت فنوکریست و تشکیل بافت پورفیری، (پ) تصویر میکروسکوپی از بافت میکرولیتی پورفیری و جریان‌ی در یک نمونه آندزیت بازالتی و (ت) تصویر میکروسکوپی از یک آندزیت بازالتی متشکل از پلاژیوکلاز (Pl) به همراه آغستگی اکسید آهن (FeO) نمایان است، (تمام تصاویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

۳-۵-۳- بازالت

بازالت‌ها معمولاً سنگ‌های آتشفشانی مافیک، شیشه‌ای و ریزدانه هستند که در اصل از پلاژیوکلاز (معمولاً لابرادویت) یک یا چند پیروکسن و همچنین مقادیر کمتری از اکسیدهای آهن و تیتان تشکیل شده‌اند. بازالت منطقه ساغری در نمونه دستی، به رنگ خاکستری تیره با بافت پورفیری دیده می‌شود (شکل ۳-۸، الف). در مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های الیوپن و آمفیبول دارای حاشیه سوخته و واکنشی (ایدینگزیتی)

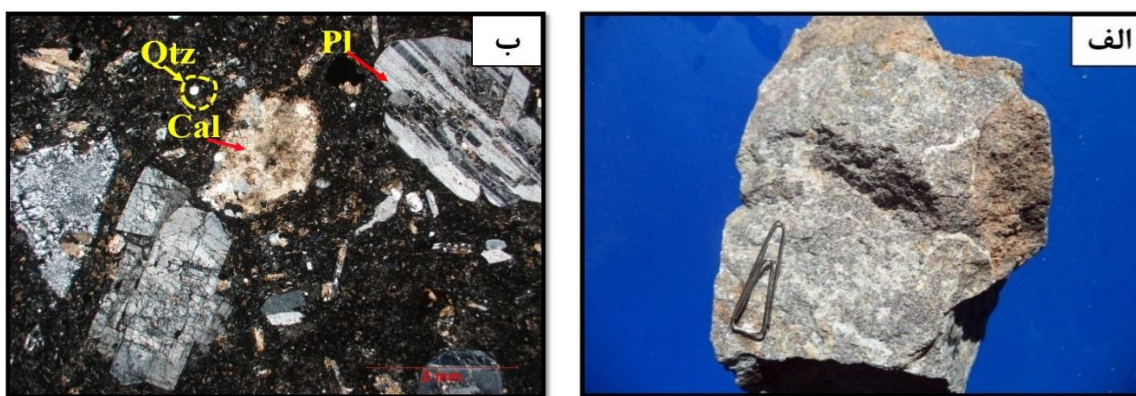
است که محصول فرآیند دگرسانی می‌باشند (شکل ۳-۸، ب). درشت‌بلورهایی از کانی‌های شکل‌دار تا نیمه-شکل‌دار، در خمیره‌ای از کانی‌های پیروکسن و پلاژیوکلاز، به صورت میکرولیتی تا جریان‌ی قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۸، پ). همچنین بافت گلومروپورفیری که حاصل هم‌رشدی چند کانی می‌باشد در بلوره‌های پلاژیوکلاز موجود در بازالت‌ها مشاهده شده است (شکل ۳-۸، ت). این بافت به علت وجود آشفستگی در ماگما و نیروی کشش سطحی موجود در ماگما ایجاد می‌شود (خان‌نصر اصفهانی، ۱۳۸۴).



شکل ۳-۸: (الف) تصویر نمونه دستی از یک بازالت محدوده ساغری، (ب) تصویر میکروسکوپی از بازالت که در آن الیوین (OI) با حاشیه سوخته (ایدینگزیتی شدن) به همراه پیروکسن (Pyx) و آمفیبول (Am) می‌باشد، (پ) تصویر میکروسکوپی که نشان‌دهنده درشت‌بلور پیروکسن (Pyx) و ماگل پلی‌سنتتیک در زمینه بافت جریان‌ی و (ت) تصویر میکروسکوپی از بافت گلومروپورفیری به همراه کانی‌های آپک (Op) فراوان مشاهده می‌شود، (تمام تصاویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

۳-۵-۴- داسیت

این سنگ دارای بافت ناویدا^۱ (ریزبلور) تا پورفیری بوده و ترکیب آن حد میانه بین آندزیت و ریولیت است. داسیت در محدوده مورد نظر دارای رنگ زرد تیره تا خاکستری بوده و در توالی چینه‌ای بر روی آندزیت‌ها قرار گرفته است (شکل ۳-۹، الف). از لحاظ ویژگی‌های پتروگرافی این واحد آتشفشانی از فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کوارتز تشکیل شده است که در زمینه میکروکریستالین قرار دارد و در داخل پلاژیوکلازها بیوتیت (بافت غربالی) و کلسیت (حاصل دگرسانی)، مشاهده می‌شود (شکل ۳-۹، ب).

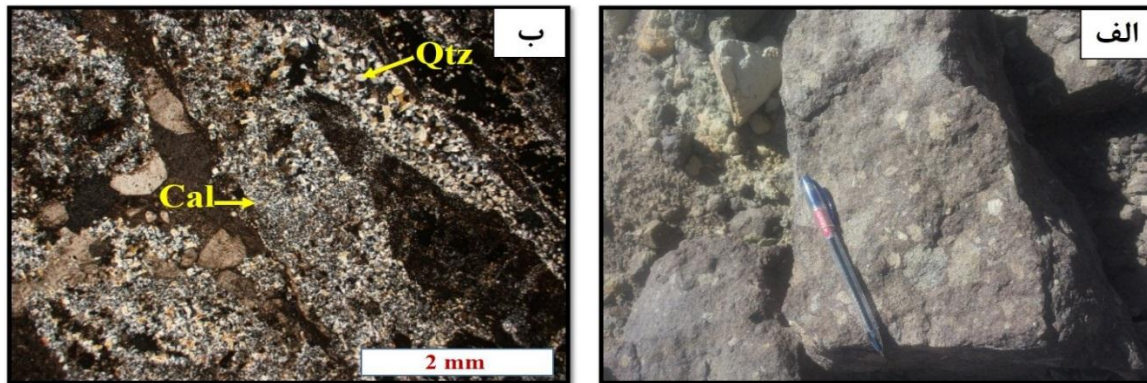


شکل ۳-۹: (الف) تصویر نمونه دستی از داسیت‌های منطقه مس ساغری و (ب) نمونه میکروسکوپی از داسیت مورد مطالعه که پلاژیوکلاز (pl)، کوارتز (Qtz) و حفرات پر شده از کلسیت (Cal) در نور (XPL) مشاهده می‌شود.

۳-۵-۵- آگلومرا

آگلومرا سنگی است که از به هم پیوستن قطعات گرد شده آذرآواری با ابعادی بیش از ۶۴ میلی‌متر که توسط یک ماتریکس از قطعات آذرین ریزبلور و خاکستر آتشفشانی به هم متصل شده است (فشارکی، ۱۳۷۹). آگلومراها ممکن است حاصل از یک انفجار آتشفشانی بوده و یک نوع سنگ آذرآواری محسوب شوند، اما اصطلاحاً آگلومرا برای سنگ‌های برشی شده با منشأ نامشخص به کار می‌رود. این نهشته‌ها ممکن است از برش‌های رگه‌ای تا انواع تخریبی حاصل از جریان‌های گل یا نهشته‌های نوع لاهار در تغییر باشند (Tilling, 2007)، (شکل ۳-۱۰، الف و ب).

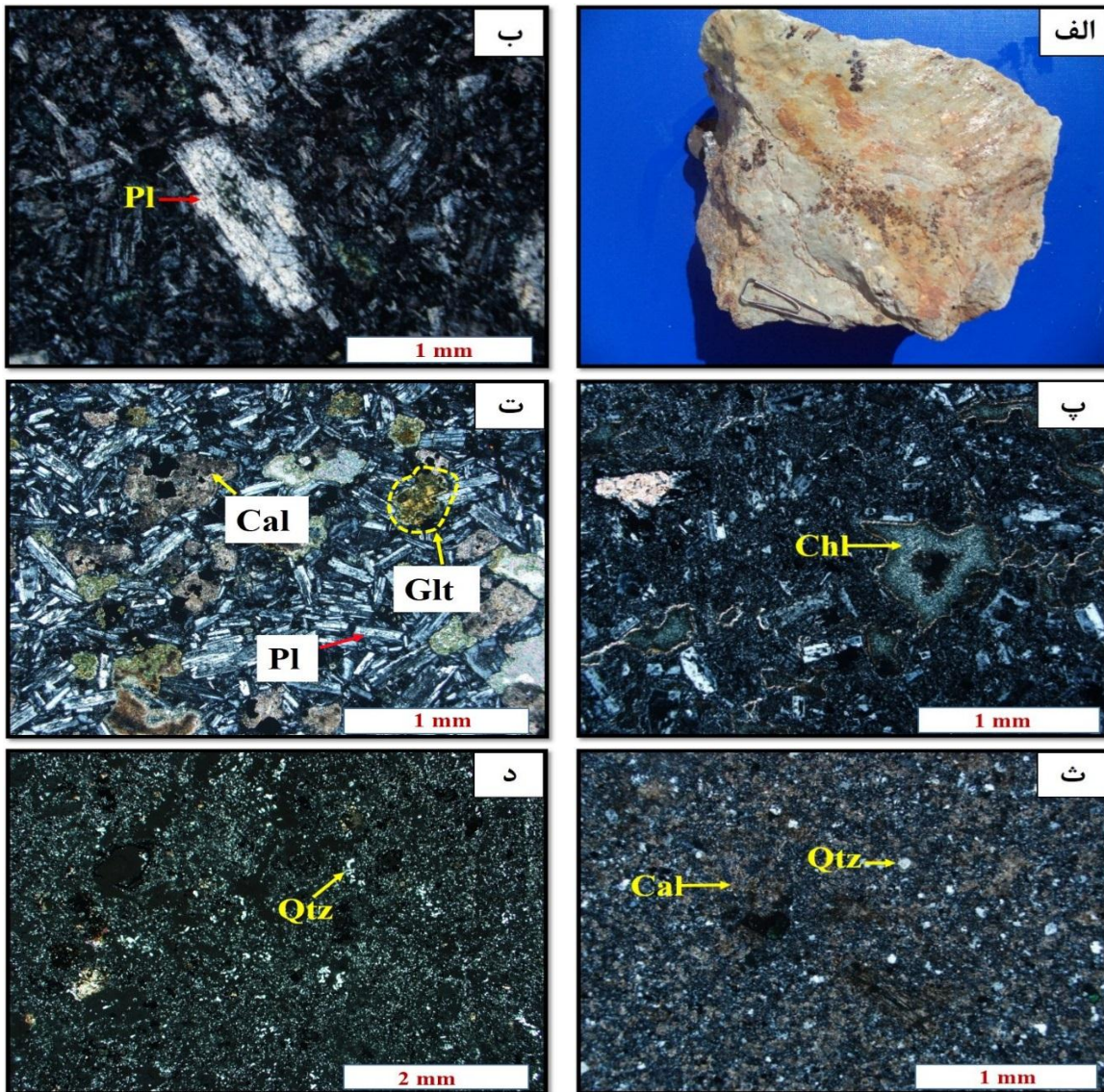
^۱ Aphanite



شکل ۳-۱۰: (الف) تصویر صحرایی از یک آگلومرای محدوده ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی آگلومرای حاوی قطعات آذرآواری که حفرات و شکستگی‌ها توسط کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal) پر شده است، در نور (XPL)، نمایان است.

۶-۵-۳- توف

سنگ‌های آذرآواری بر اساس اندازه مواد (خاکستر، لاپیلی، بمب یا بلوک)، به پنج گروه: توف، لاپیلی توف، لاپیلی، لاپیلی توف برشی و آگلومرا دسته‌بندی می‌شوند. توف‌ها در نمونه دستی به رنگ روشن متمایل به زرد و گاهی خاکستری تا تیره رنگ دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۱، الف). و دارای کانی‌های اکسی‌هورنبلند، پلاژیوکلاز، کلسیت، کوارتز و آپک هستند. در برخی موارد پلاژیوکلازها حالت تحلیل رفتگی دارند که ناشی از تغییرات دما و فشار در طی صعود ماگما یا تغییرات شیمیایی آن می‌باشد (Chen and Zhang, 2008)، (شکل ۳-۱۱، ب). کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌های آذرین دگرسان شده شامل؛ اکسیدهای آهن، کلسیت و کلریت دگرسان شده که در حفرات تجمع یافته‌اند (شکل ۳-۱۱، پ). کریستال توف در مطالعات میکروسکوپی متشکل از پلاژیوکلاز، بیوتیت، گلاکونیت و کانی‌های آپک (پیریت، مگنتیت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت) می‌باشد. حضور کانی گلاکونیت، معرف محیط رسوبی و آبی تشکیل است و کانی فرومنیزین خیلی کم دیده می‌شود (شکل ۳-۱۱، ت). توف کربناته به همراه ذرات کوارتز، پلاژیوکلاز و کلسیت گاهی پرکننده درزه‌ها و شکاف‌ها و همچنین توف سیلیسی شده با ذرات کوارتز و کلسیت ثانویه دانه‌ریز و اکسید آهن نیز دیده می‌شود (شکل ۳-۱۱، ث و د).



شکل ۳-۱۱: الف) تصویر نمونه دستی از یک توف مربوط به محدوده ساغری، ب) تصویر میکروسکوپی که نشان دهنده پلاژیوکلاز (Pl) تحلیل رفته (پ) تصویر میکروسکوپی که در آن کلریت (Chl) حفرات بادامکی را پر کرده است، ت) تصویر میکروسکوپی کانی گلوکونیت (Glt)، پلاژیوکلاز (Pl) و کلسیت (Cal)، ث) تصویر میکروسکوپی از یک توف با اجزاء کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal) و د) تصویر میکروسکوپی از توف سیلیسی شده که کوارتز (Qtz) آن ثانویه و سیلیسی شده است، نمایان می‌باشد، (تمام تصاویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

فصل چهارم

دگرسانی و کانه‌زایی

۴-۱- مقدمه

همان‌طور که در فصل‌های گذشته ذکر شد محدوده معدنی مس ساغری در حاشیه شمالی پهنه ایران مرکزی و بخش شمال شرقی نوار آتشفشانی-رسوبی تروند-چاه‌شیرین واقع شده است. در این منطقه به دلیل فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن و در ادامه فعالیت ماگمایی الیگوسن، گسترش کانه‌زایی را مشاهده می‌کنیم. فعال شدن آب‌های زیرزمینی و جوی تحت تأثیر حرارت حاصل از توده‌های نفوذی (احتمالاً آب‌های ماگمایی نیز مؤثر بوده است) و ایجاد چرخه گرمایی در سنگ‌های آتشفشانی سبب دگرسانی و شستشوی سنگ منشأ و آزادسازی فلزات مختلف، مخصوصاً مس شده و پس از مهاجرت و ته‌نشینی در فضای شکستگی‌ها و حفرات موجود در سنگ میزبان، تشکیل نهشته‌های معدنی داده است. در این فصل انواع دگرسانی‌ها و کانه‌زایی در محدوده ساغری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

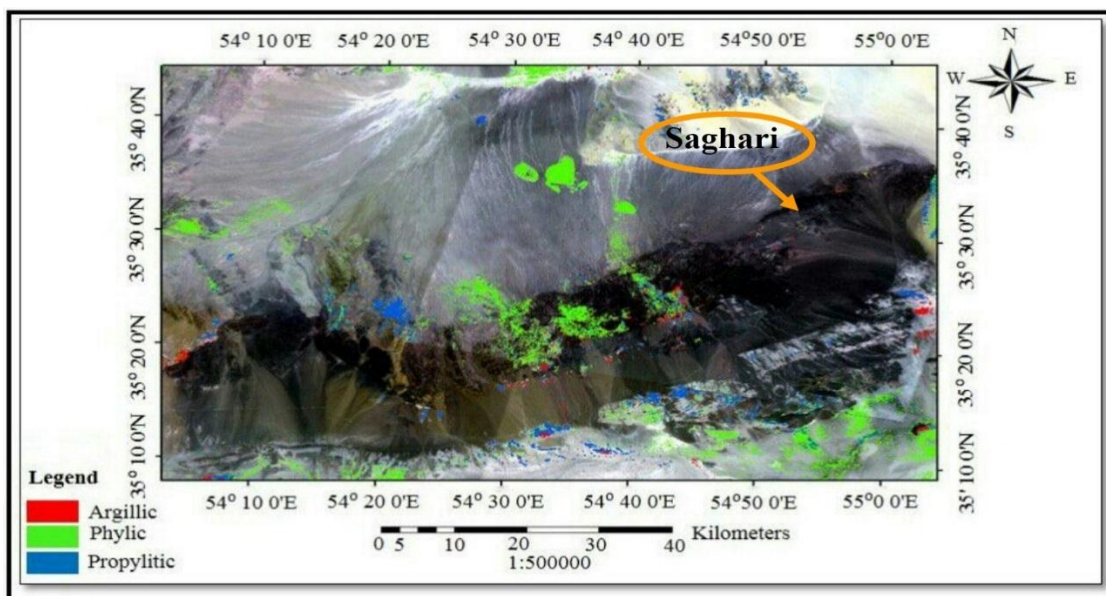
۴-۲- دگرسانی

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌های اطراف کانه‌زایی ایجاد می‌شود را دگرسانی یا آلتراسون گویند (گیلبرت و پارک، ۱۳۷۸). عوامل کنترل‌کننده نوع تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی عبارتند از: ترکیب شیمیایی محلول گرمایی یا ماگمایی، ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ‌های مسیر، دما، عمق، شرایط فوگاسیته اکسیژن و گوگرد، pH، Eh محلول و غیره. گسترش و شدت دگرسانی به عوامل مختلفی از جمله حجم محلول‌های گرمایی یا ماگمایی، میزان ساختمان‌های اولیه و ثانویه مفید، واکنش‌پذیری سنگ‌ها، دما و فشار محلول بستگی دارد. در زمین‌شناسی اقتصادی، به نوع خاصی از دگرسانی به نام دگرسانی گرمایی تأکید می‌شود که در آن، سیالات داغ عامل دگرسانی شناخته می‌شوند. سیالات گرمایی از طریق تخلخل اولیه (فضاهای خالی بین ذرات) و یا تخلخل ثانویه (شکستگی‌ها) ایجاد و در سنگ‌ها تا مسافت زیاد جابه‌جا شده و موجب دگرسانی در سنگ‌های دیواره

می‌گردند. دگرسانی در کانسارهای رگه‌ای محدود به رگه است، حال آنکه در کانسارهای پورفیری منطقه‌ای وسیع را دربرمی‌گیرد. دگرسانی‌ها به دلیل گسترش زیاد نسبت به نهشته معدنی، اهمیت خاصی در اکتشاف دارند (Gifkins et al., 2005). مؤثرترین عوامل در کنترل واکنش‌های دگرسانی عبارتند از: دما، فشار، ترکیب شیمیایی، رفتار دینامیکی سیال و واکنش‌پذیری سنگ میزبان (McMillan and Pateleyev, 1990). شناسایی مناطق دگرسانی که احتمالاً از نظر ژنتیکی مرتبط با ذخایر معدنی باشند، گام مهمی در پی‌جویی ذخایر است و موجب تسریع در امر اکتشاف و همچنین پایین آمدن هزینه‌های اکتشافی می‌شود.

۴-۳- دگرسانی‌های موجود در منطقه

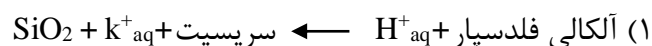
مطالعه و شناسایی دگرسانی در سه مقیاس دورسنجی، صحرایی و میکروسکوپی صورت می‌گیرد. طول نوار ترو-چاه‌شیرین به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی با استفاده از طیف‌های حاصل از طیف‌سنجی نمونه‌ها، در زمینه‌ای از تصویر RGB=4,6,8 (نوری، ۱۳۹۳)، انجام گرفته که براساس آن سه نوع دگرسانی آرژیلیتی، سریسیتی و پروپیلیتی در منطقه شناسایی شدند (شکل ۴-۱). برحسب مطالعات صحرایی صورت گرفته در منطقه ساغری، دگرسانی‌های آرژیلیتی، کلریتی، سریسیتی، اکسیدهای آهن (هماتیتی و لیمونیتی)، کربناتی و سیلیسی مشاهده شدند. در مقیاس میکروسکوپی کانی‌های ثانویه کلریت، سریسیت، کوارتز، کلسیت، ژیپس، گوتیت و لیمونیت شناسایی شدند که هر یک معرف نوع خاصی از دگرسانی هستند. برخی کانی‌های ثانویه مثل کانی‌های رسی که معرف دگرسانی آرژیلیتی هستند توسط میکروسکوپ قابل شناسایی نیستند و برای تشخیص آن‌ها از روش پراش اشعه ایکس (XRD) استفاده می‌شود. به این منظور تعداد ۵ نمونه از بخش‌های دگرسان شده سنگ میزبان برای این آزمایش انتخاب شدند. در ادامه به شرح هر یک از دگرسانی‌های منطقه می‌پردازیم.

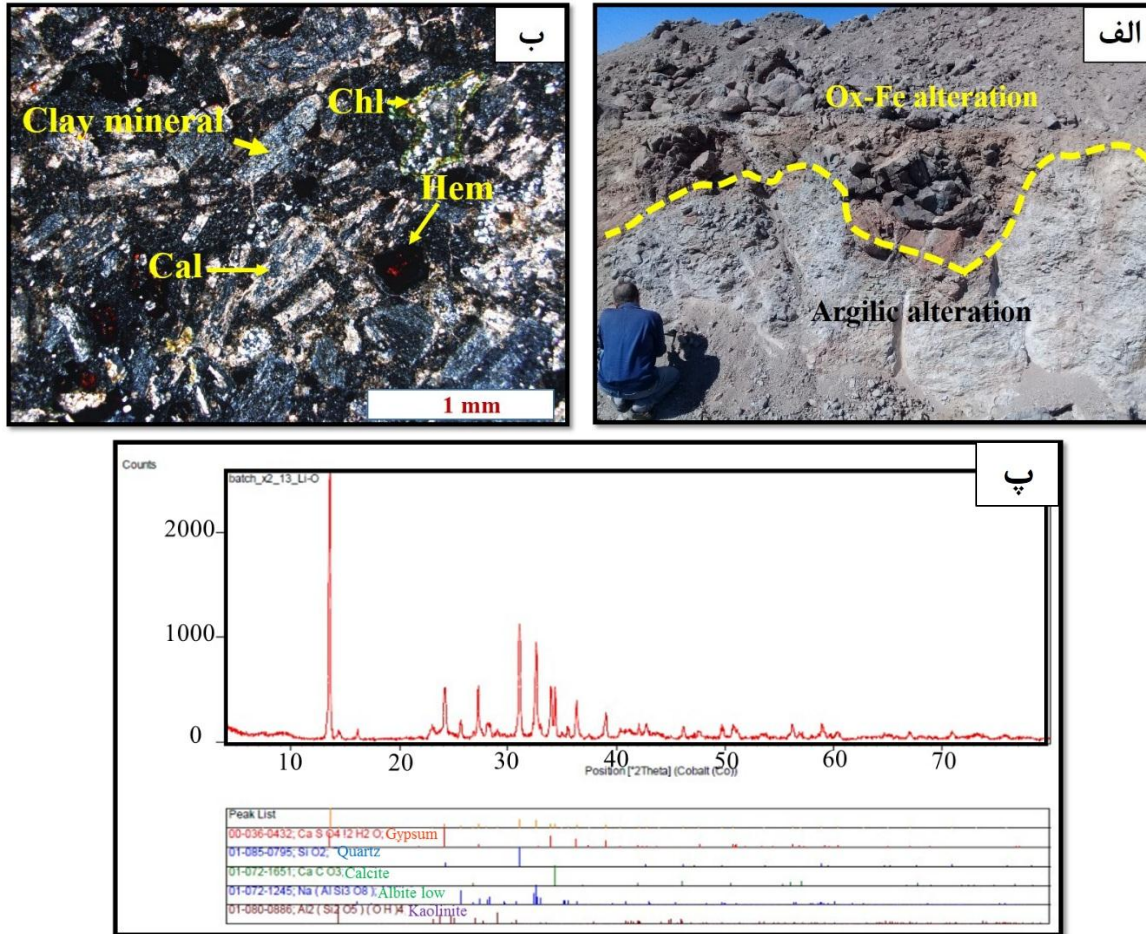
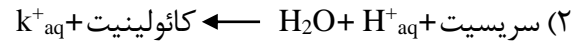


شکل ۴-۱: نمایش دگرسانی‌های نوار ترود-چاه‌شیرین به روش نقشه‌برداری زاویه طیفی با استفاده از طیف‌های حاصل از طیف‌سنجی نمونه‌ها، در زمینه‌ای از تصویر RGB=4,6,8 منطقه (نوری، ۱۳۹۳).

۴-۳-۱- دگرسانی آرژیلیتی حد واسط

کانی‌های سیلیکاته آلومینیوم‌دار اولیه (فلدسپات آلکان و پلاژیوکلاز)، در نتیجه هیدرولیز شدید (محیط اسیدی) به کانی‌های رسی تبدیل می‌شوند (Montoya and Hemley, 1975)، (فرمول ۱)، که به آن دگرسانی آرژیلیتی گفته می‌شود. مجموعه مینرالی این دگرسانی کانی‌های دیکیت، کائولینیت، مونتموریونیت هستند که گاهی با مقداری کوارتز، سریسیت، کلسیت، ژپس، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز همراه می‌باشند. شکل (۴-۲، الف)، تصویر صحرایی از گسترش آلتراسیون آرژیلیتی در محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در زیر میکروسکوپ تجزیه پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ورود پتاسیم توسط محلول گرمابی به محیط می‌باشد (شکل ۴-۲، ب). کائولینیت به همراه ژپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت در نتایج آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) مشاهده می‌شوند (شکل ۴-۲، پ).



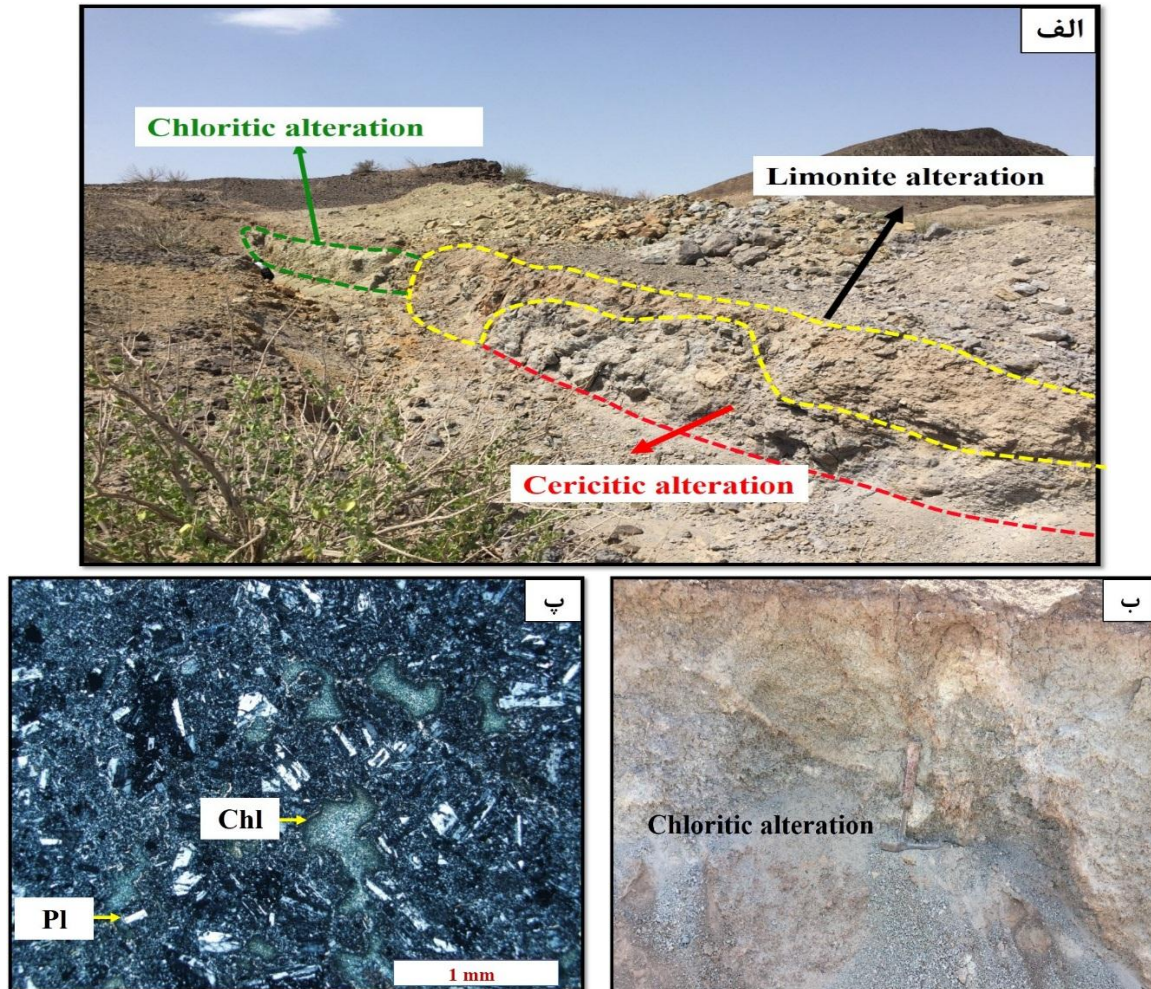


شکل ۴-۲: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیتی منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی که در آن کانی‌های رسی مشاهده می‌شود، نور (XPL). (پ) نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) که کانی‌های کائولینیت (دگرسانی آرژیلیتی) به همراه دیگر کانیهای ثانویه، ژپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت را نمایش می‌دهد.

۴-۳-۲- دگرسانی کلریتی

دگرسانی کلریتی حالتی از دگرسانی پروپیلیتی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از آهن و منیزیم ایجاد می‌شود و در اثر این فرآیند سنگ ظاهری سبزرنگ پیدا می‌کند (Gally, 2007). شکل (۴-۳، الف، ب)، تصویر صحرایی این دگرسانی را نشان می‌دهد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی، کلریت به صورت پراکنده و حفره‌پرکن در داخل سنگ میزبان قرار دارد و یا در اثر دگرسانی کانی‌های مافیک مانند پیروکسن

و هورنبلند که در حال تبدیل شدن به کلریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند، تشکیل شده‌اند (شکل ۳-۴، پ).

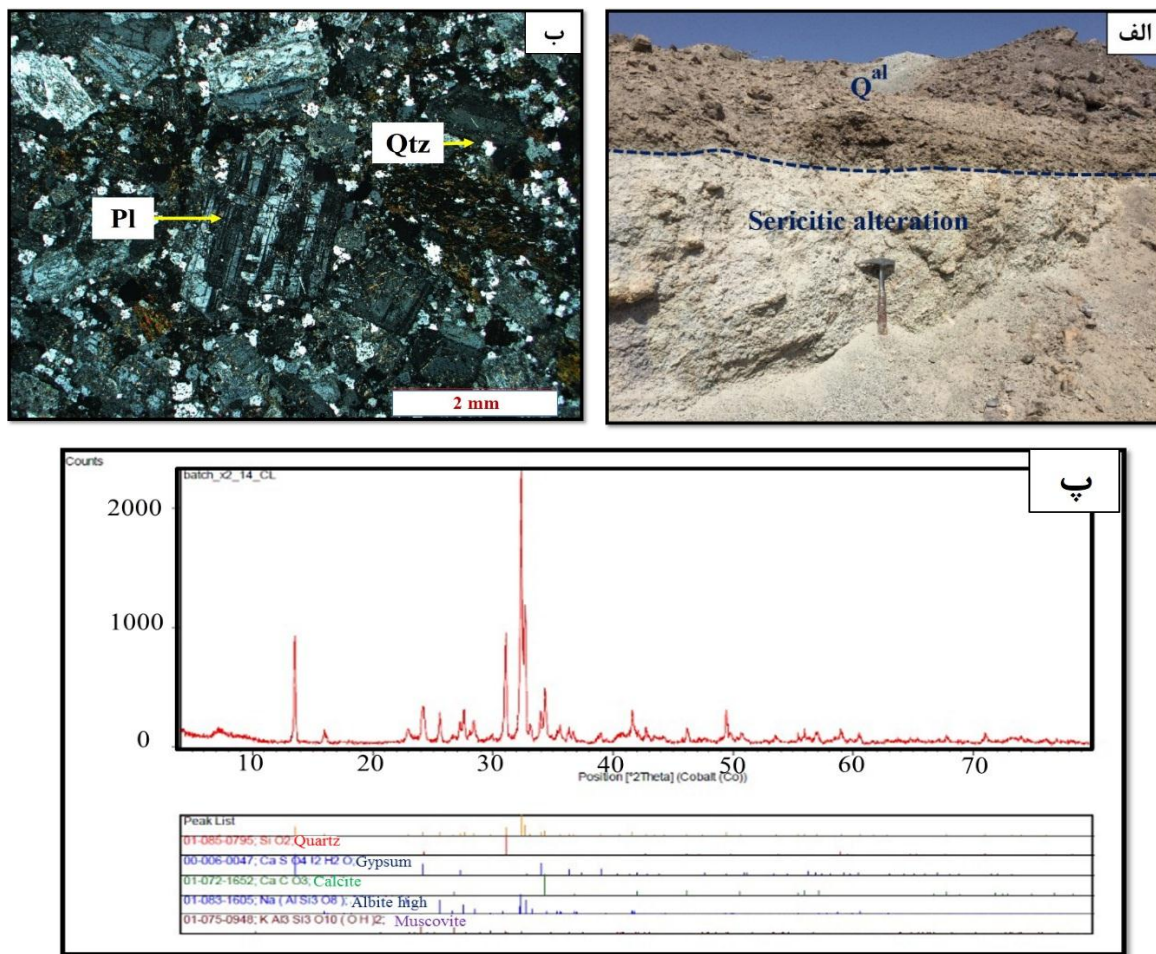


شکل ۳-۴: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی در منطقه که به رنگ سبز در کنار دگرسانی لیمونیتی و سریسیتی مشاهده می‌شود. (ب) تصویر صحرایی از دگرسانی کلریتی در منطقه نمایان است. (پ) تصویر میکروسکوپی که پرشدگی حفرات توسط کلریت ثانویه را در نور (XPL) نشان می‌دهد.

۳-۳-۴- دگرسانی سریسیتی

دگرسانی سریسیتی یا فیلیک به واسطه شستشوی سدیم، کلسیم و منیزیم از سنگ‌های دارای سیلیکات‌های آلومینیوم به وجود می‌آید. فلدسپات آلکالن عمده‌ترین کانی سیلیکاته سازنده سریسیت در نتیجه هیدرولیز می‌باشد ولی پلاژیوکلاز نیز در حضور محلول غنی از پتاسیم می‌تواند به سریسیت دگرسان شود. دگرسانی

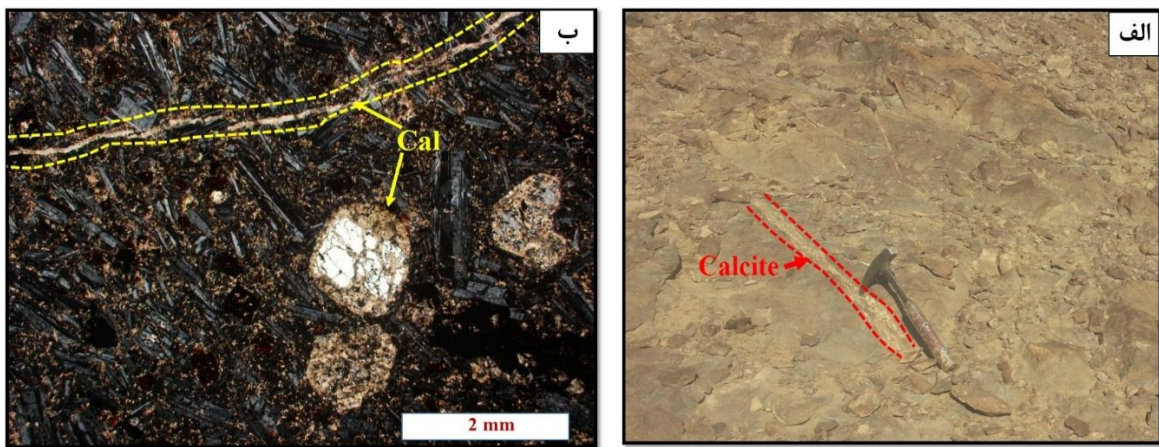
سریسیتی را یک متاسوماتیسم H^+ در دمای متوسط نیز دانسته‌اند (Pirajno, 1987). در محدوده ساغری این دگرسانی گسترش متوسط (کمتر از آرژیلیتی و بیشتر از سایر دگرسانی‌ها)، دارد و به رنگ خاکستری تا سفید دیده می‌شود (شکل ۴-۴، الف). در تصویر میکروسکوپی پلاژیوکلازهای سریسیتی شده نمایان است (شکل ۴-۴، ب). کانی‌های موسکویت بعنوان کانی معرف دگرسانی سریسیتی به همراه کانی‌های ثانویه؛ ژیپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت در نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) مشخص شده‌اند (شکل ۴-۴، پ).



شکل ۴-۴: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی سریسیتی منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازهای (Pl) سریسیتی شده نمایان است، نور (XPL). (پ) نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) که مسکویت بعنوان کانی معرف دگرسانی سریسیتی به همراه کانی‌های ثانویه؛ ژیپس، کوارتز، کلسیت و آلبیت مشخص شده است.

۴-۳-۴ دگرسانی کربناتی

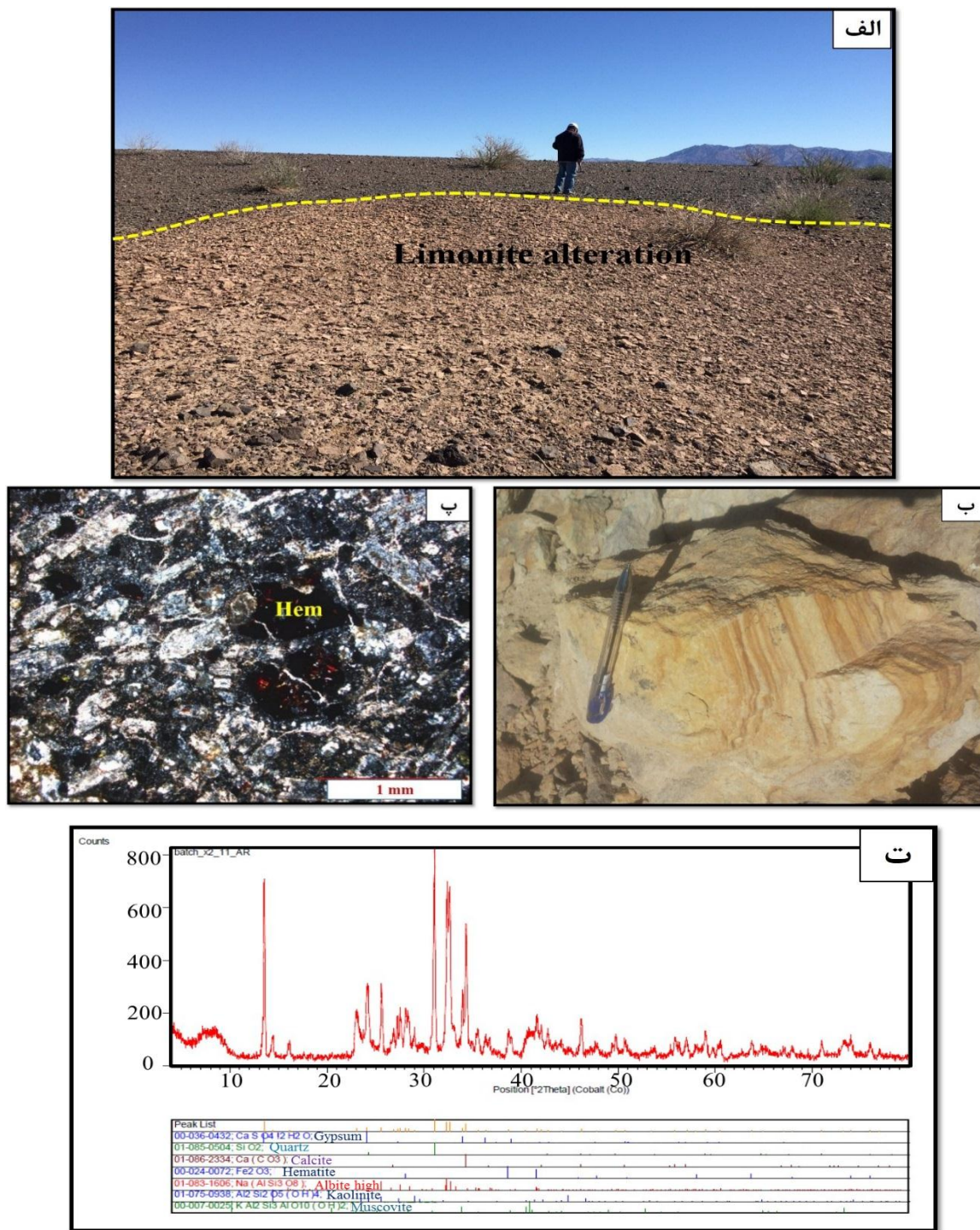
دگرسانی کربناتی معمولاً در دمای پایین، حضور سیال با شوری کم و غنی از CO_2 در داخل سنگ میزبان رخ می‌دهد (Robb, 2004). کربناتی شدن در منطقه مورد نظر عمدتاً به صورت کلسیت رگه-رگچه و پرکننده فضای خالی نمود دارد (شکل ۴-۵، الف و ب). به نظر می‌رسد پلاژیوکلازهای موجود، Ca لازم برای این دگرسانی را فراهم نموده است. همچنین نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) وجود دگرسانی کربناتی را در منطقه ساغری تأیید می‌کند (شکل ۴-۴، پ).



شکل ۴-۵: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلسیتی به صورت رگه‌ای در منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی که در آن کلسیت (Cal) به صورت رگه‌ای و پرکننده حفرات نمایان است، نور (XPL).

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

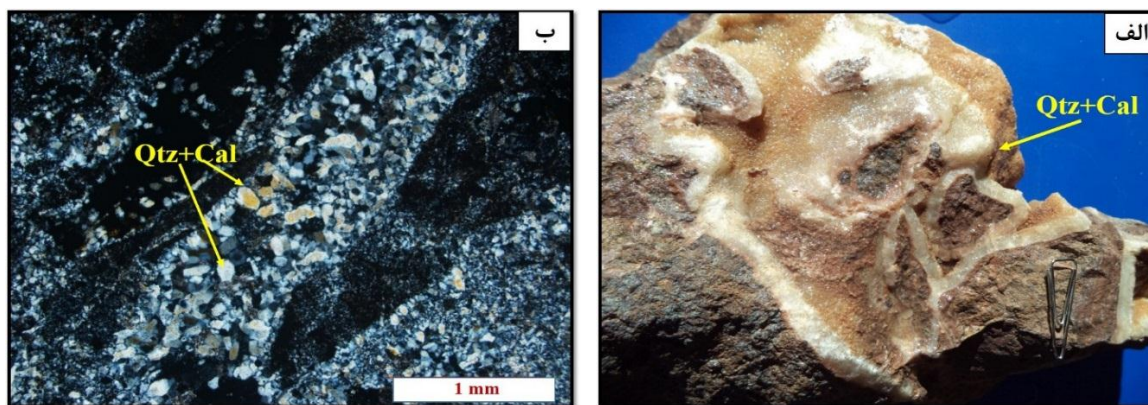
در محدوده ساغری، آغستگی اکسیدهای آهن در برخی واحدها به‌طور واضح (به عنوان مثال واحد آتشفشانی E^{a2}) و همچنین در دیواره رگه‌ها و ترانشه‌ها، افق‌های اکسید آهن مشاهده می‌شود (شکل ۴-۶، الف و ب). تجزیه کانی‌های سیلیکاته آهن‌دار و تشکیل اکسید آهن در زیر میکروسکوپ در شکل (۴-۶، پ)، مشاهده می‌شود. در شکل (۴-۶، ت) نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) نمایان است که نشان‌دهنده دگرسانی هماتیته می‌باشد.



شکل ۴-۶: (الف) تصویر صحرایی از دگرسانی لیمونیتی در منطقه ساغری، (ب) تصویر نمونه دستی از دگرسانی لیمونیتی و (پ) تصویر میکروسکوپی که در آن هماتیت (Hem) نمایان است، نور (XPL). (ت) نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) نشان‌دهنده دگرسانی هماتیتی، کربناتی و سیلیسی شامل کانی‌های ژپس، کوارتز، کلسیت، هماتیت، آلبیت، کائولینیت و مسکویت.

۴-۳-۶- دگرسانی سیلیسی

سیلیسی شدن یکی از متداول‌ترین انواع دگرسانی‌های گرمابی است که در اثر افزایش کوارتز و سایر اشکال سیلیس (چرت، اوپال و کلسدون) در سنگ همراه می‌باشد (Piranjo, 1992). در منطقه ساغری دگرسانی سیلیسی گسترش زیادی نداشته و بیشتر به صورت پرکننده رگه‌ها و یا فضاهای خالی بین درزه و شکاف‌ها و حفرات موجود در سنگ درونگیر مشاهده می‌شود. حضور این دگرسانی اغلب همراه با دگرسانی کربناته است (شکل ۴-۷، الف و ب). این نوع دگرسانی در نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) به صورت کانی کوارتز مشخص گردیده است (شکل ۴-۴، پ).

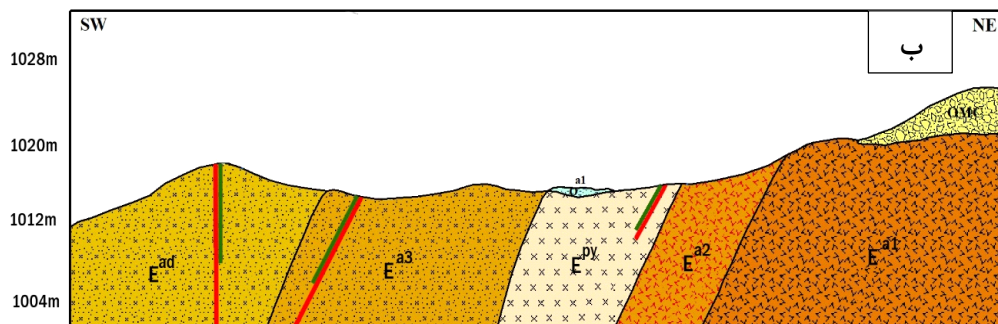
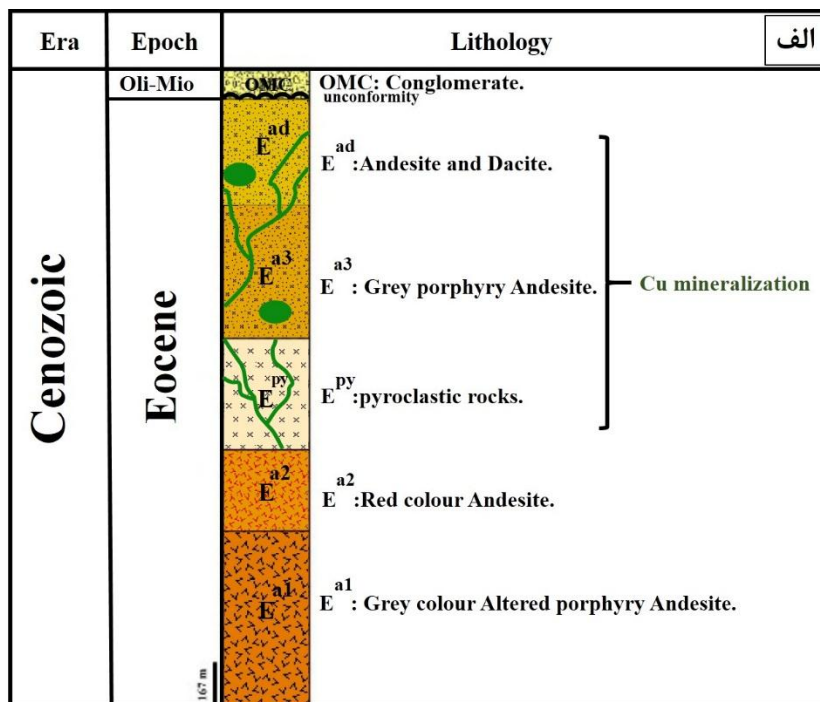


شکل ۴-۷: الف) تصویر نمونه دستی از دگرسانی سیلیسی منطقه ساغری و ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی - کربناته شامل کوارتز (Qtz) و کلسیت (Cal)، نور (XPL).

۴-۴- کانه‌زایی در منطقه ترود-چاه شیرین

در نتیجه عملکرد گسل‌های اصلی انجیلو، ترود و سایر گسل‌های فرعی وابسته به آن‌ها، منطقه به شدت گسله شده است. محل تلاقی گسل‌های اصلی، می‌تواند محیط مناسبی برای نفوذ ماگما و چرخه محلول‌های کانه‌دار باشد. همچنین فضاهای باز موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن به صورت محلول کانه‌دار به مناطق سطحی می‌گردد. بنابراین برپایه مشاهدات

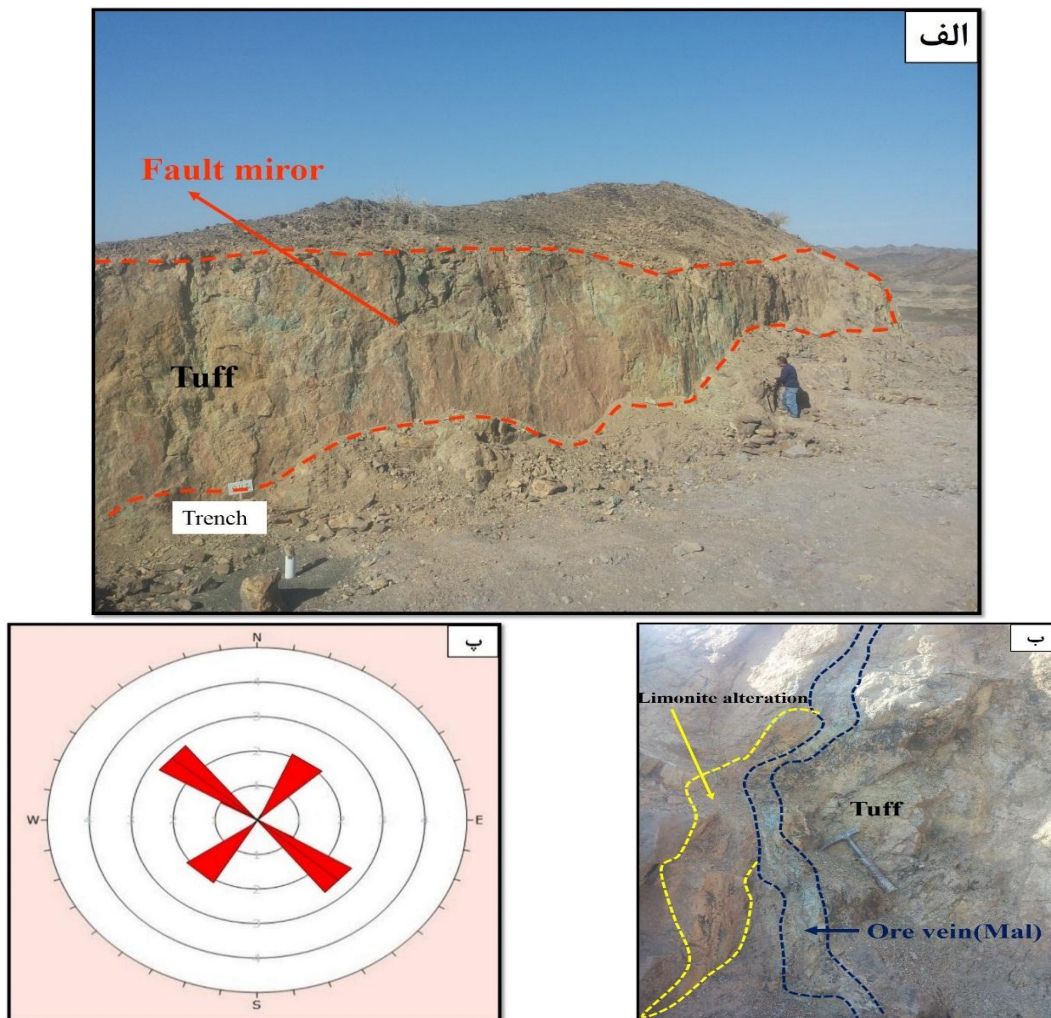
سنگی موجود در محدوده اکتشافی ساغری را نشان می‌دهند. کانه‌زایی مس در محدوده ساغری در سه واحد سنگی E^{ad} ، E^{a3} ، E^{py} رخ داده است که بخش E^{a3} بالاترین مقدار ذخیره ماده معدنی را دارا می‌باشد. در منطقه ساغری کانه‌زایی اساساً به شکل غیرهمزاد (اپی ژنتیک) صورت گرفته است. بر اساس کانی‌شناسی، ساخت، بافت، شکل و نوع ارتباط با سنگ میزبان، کانه‌زایی به سه نوع رگه-رگچه، پرکننده حفرات و فضای بین دانه‌ای، دانه‌پراکنده تقسیم می‌شود.



شکل ۴-۸: (الف) ستون چینه‌شناسی منطقه ساغری براساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس در فصل سوم ب) نیم‌رخ عرضی محدوده معدنی بر اساس نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس در فصل سوم.

۳-۴-۴- کان‌زایی رگه-رگچه‌ای

کان‌زایی رگه‌ای عمدتاً در طول صفحات گسلی و شکستگی‌های بزرگ در داخل سنگ میزبان رخ داده است. این گسل‌ها و شکستگی‌ها، فضای مناسب جهت نفوذ محلول‌های گرمایی را فراهم نموده که سبب رخداد کان‌زایی و دگرسانی شده است (شکل ۴-۹، الف و ب). براساس شواهد صحرایی و نمودار گل‌سرخ‌ها، کان‌زایی به صورت شبکه‌ای نامنظم از رگه-رگچه‌های مالاکیت بوده که بیشتر دارای روند شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد (شکل ۴-۹، پ).



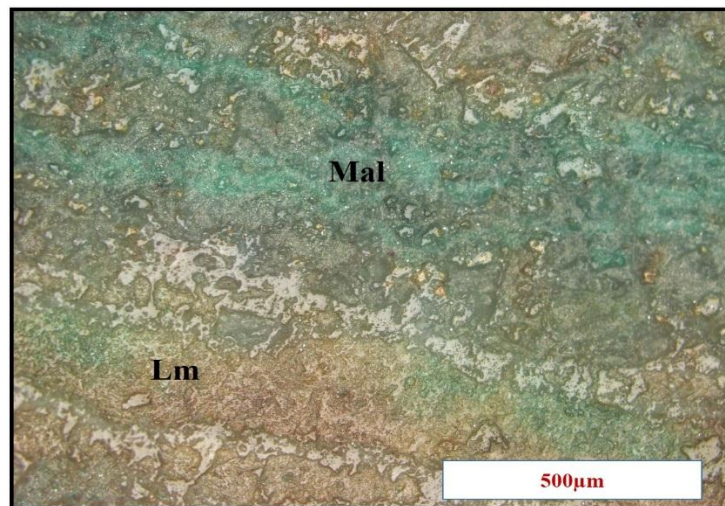
شکل ۴-۹: (الف) تصویر صحرایی از آینه گسلی و روند رگه‌های معدنی و همچنین نمایش یکی از ترانشه‌های موجود در منطقه ساغری، (ب) تصویر صحرایی از رگه معدنی مالاکیت (Mal) به همراه دگرسانی لیمونیتی، (پ) نمودار گل‌سرخ‌ها برای رگه‌های معدنی که نشانگر روند غالب شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی است.

۴-۴-۵- کانی‌سازی به صورت پرکننده حفرات و فضای بین دانه‌ای

توف‌ها به دلیل تخلخل و نفوذپذیری فراوان، فضای مناسب را جهت نفوذ محلول‌های گرمابی فراهم نموده‌اند که پس از شستشو و مهاجرت، مس در بخشی از بار محلول در فضای خالی بین دانه‌ای و همچنین حفرات موجود در واحد توف ته‌نشین شده است (شکل ۴-۱۰).

۴-۴-۶- کانی‌سازی به صورت دانه‌پراکنده

شکل دانه‌پراکنده کانه‌زایی به دو حالت متفاوت مشاهده گردید. حالت اول که در واقع قبل از کانه‌زایی مس است و بیشتر از کانی‌های مگنتیت، هماتیت و پیریت در متن سنگ میزبان تشکیل شده است و حالت دوم که به داخل رگه‌های کانه‌دار محدود می‌باشد و شامل کانی‌هایی مانند پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت به شکل دانه‌پراکنده در داخل باطله‌ها می‌باشد.



شکل ۴-۱۰: تصویر میکروسکوپی از مالاکیت (Mal) و لیمونیت (Lm) که به صورت پرکننده حفرات و فضای بین دانه‌ای نمایان است، در نور (PPL).

فصل پنجم

کانی شناسی، ساخت، بافت و

توالی پارازنتیکی

۵-۱- مقدمه

بررسی ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساخت و بافت در تعیین نوع کانه‌زایی، فرآیندهای زمین‌شناسی مؤثر بر تشکیل آن، اکتشاف، ارزیابی کمیت و کیفیت، کانه‌آرایی و استحصال عناصر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. ویژگی‌های ساختی و بافتی موجود در کانسار می‌تواند در شناخت ویژگی‌های محیط تشکیل مفید باشد که این اطلاعات در تعیین ارزش اقتصادی کانسار و تعیین روش فرآوری ماده معدنی بسیار کاربردی می‌باشد. هدف از این فصل، بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تغییر پاراژنزی در مراحل تبلور و تشخیص شرایط و تعداد مراحل کانی‌سازی است. جهت انجام مطالعات مذکور طی چند مرحله بازدید صحرایی، ۶۵ نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده کانسار با مختصات جغرافیایی و بر مبنای تنوع و تغییرات سنگ‌شناسی به صورت سیستماتیک جمع‌آوری شد. برای انجام مطالعات میکروسکوپی ۶۹ عدد مقطع نازک و ۱۳ عدد مقطع صیقلی، ۸ نمونه با روش پراش اشعه ایکس (XRD) مورد آنالیز و مطالعه قرار گرفت.

۵-۲- کانی‌شناسی منطقه ساغری

مطالعات کانی‌شناسی و پاراژنزی کانی‌ها، اطلاعات سودمندی درباره ویژگی‌های محیط تشکیل هر کانسار در اختیار می‌گذارد و رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار بازتاب شرایط تشکیل آن است (Craig and Vaughan, 1994). بر اساس مطالعات میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس (XRD)، کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار ساغری از نظر ترکیب شیمیایی در ۶ گروه کانیایی و به شرح جدول (۵-۱)، دسته‌بندی شدند؛

(۱) کانی‌های گروه سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت)

(۲) کانی‌های گروه کربناته (مالاکیت)

(۳) کانی‌های گروه سیلیکاته (کریزوکلا)

۴) کانی‌های گروه اکسیدی و هیدروکسیدی (مگنتیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت و اکسید منگنز)

۵) کانی‌های گروه کلریدی (آتاکامیت)

۶) کانی‌های گروه باطله (کلسیت، کوارتز، ژیپس، باریت و کانی‌های رسی)

۷) مس خالص

جدول ۵-۱: کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار مس ساغری که با پراش اشعه ایکس (XRD) شناسایی شده‌اند.

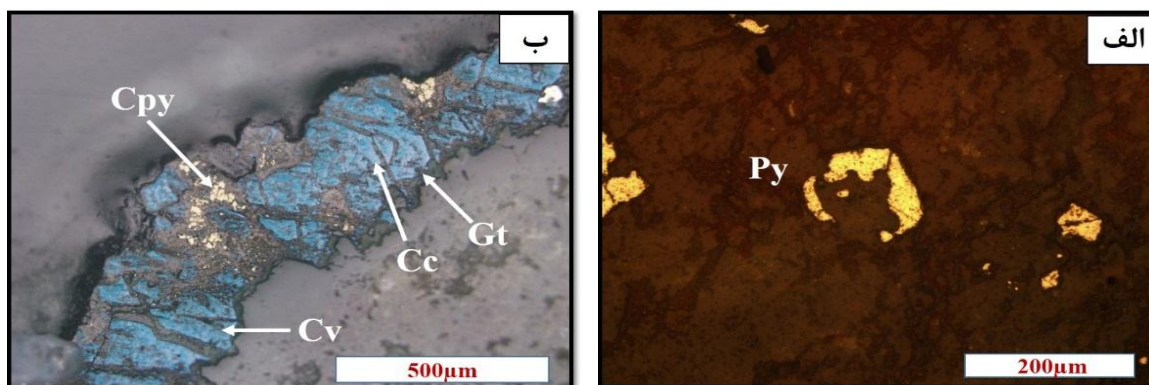
Sample	Major(s)	Minor(s)
s-t ₁ -136	Quartz+Kaolinite+Calcite	Goethite+Atacamite
s-t ₅ -13	Albite+Calcite+ Quartz	Kaolinite+Atacamite+Malachite+Hematite
2os ₃	Albite	Kaolinite+ Malachite+Hematite+Laumontite
2t	Quartz+Kaolinite	Calcite+Dolomite+pyrite

۵-۲-۱- کانی‌های گروه سولفیدی

- پیریت FeS_2 : این کانی گسترده‌ترین کانی سولفیدی در سطح پوسته زمین شناخته شده است. پیریت جزء سخت‌ترین سولفیدها و سیستم تبلور کوبیک، سطح شکست صدفی و ناصاف و رنگ زرد از خصوصیات فیزیکی آن می‌باشد. معمولاً در حضور اکسیژن، آب و در محیط‌های سطحی که شرایط برای اکسید شدن آن مهیا باشد، ناپایدار است (Ramdohr, 1980). پیریت کانی منطقه هیپوژن (اولیه) می‌باشد که به صورت شکل‌دار تا نیمه شکل‌دار و دانه‌ریز دیده می‌شود. در محدوده مورد مطالعه از فراوانی کمی برخوردار که احتمالاً در نتیجه قرارگیری در شرایط اکسیدان به اکسیدهای آهن تبدیل شده است. یکی از منابع آهن موجود در طبقات قرمز، آهن آزاد شده از کانی‌های سولفیدی آهن‌دار، مخصوصاً پیریت می‌باشد. پیریت در مقاطع مورد مطالعه به صورت دانه‌پراکنده در سنگ میزبان یافت می‌شود (شکل ۵-۱، الف).

- کالکوپیریت $CuFeS_2$: کالکوپیریت یکی از فراوان‌ترین کانه‌های اولیه کانسنگ مس محسوب می‌شود. در نمونه دستی رنگ زرد برنجی و خط اثر مایل به سبز تیره دارد. در مقاطع صیقلی با رنگ زرد برنجی،

انعکاس بالا و آنیزوتروپی ضعیف مشخص می‌گردد. کالکوپیریت یک کانی هیپوژن (اولیه) دما بالا است که در مرکز سیستم کانه‌زایی گرمابی رگه‌ای تشکیل و در شرایط سطحی و اکسیدان با حضور اکسیژن بسیار ناپایدار بوده و به کانی‌های ثانویه آهن‌دار و مس‌دار تجزیه می‌شود. شکل (۵-۱، ب)، تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت را نشان می‌دهد. در این شکل تجزیه آن به گوتیت، کالکوسیت و کوولیت نشان داده شده است. آهن آزاد شده از تجزیه کالکوپیریت با اکسیژن محیط، تشکیل گوتیت و مس آزاد شده با گوگرد تشکیل کالکوسیت و کوولیت و در برخی مقاطع سبب تشکیل مالاکیت شده است. بافت جانشینی و بافت باقیمانده (جزیره‌ای) حاصل این فرایند می‌باشد.

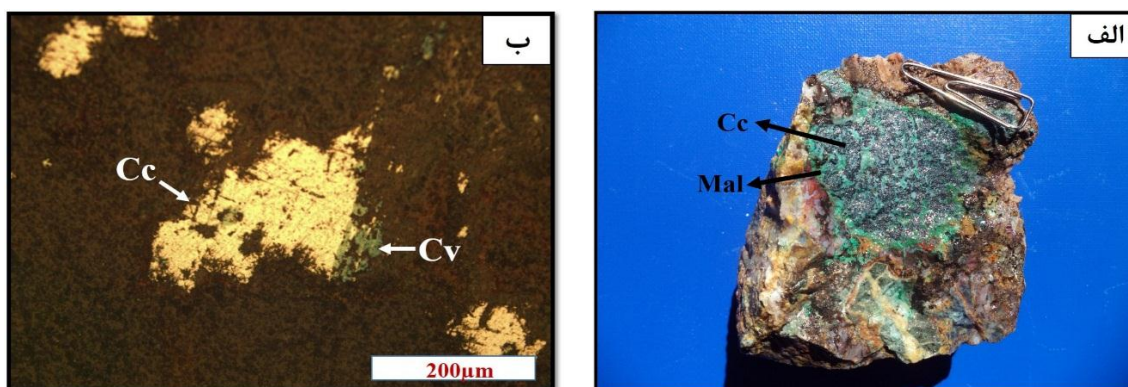


شکل ۵-۱: (الف) تصویر میکروسکوپی پیریت (Py) نیمه شکل‌دار با بافت خلیجی و دانه‌پراکنده در زمینه سنگ میزبان و (ب) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت (Cpy) با بافت جانشینی حاصل از تجزیه آن به کالکوسیت، کوولیت، گوتیت دیده می‌شود، (هر دو تصویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

- **کالکوسیت Cu_2S** : در نمونه دستی به رنگ سیاه تا نقره‌ای با جلای فلزی و از لحاظ محیط تشکیل بیشتر در کانسارهای گرمابی رگه‌ای، پورفیری و سوپرژن دیده می‌شود (Marshall et al., 2004) (شکل ۵-۲، الف). در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، آهن و منگنز، دست کم در فرم‌های حرارت بالا جانشین شود. به جای گوگرد نیز، عناصر سلنیم و یا تلوریم می‌توانند در شبکه ساختمانی این کانی وارد شوند (Ramdohr, 1980). کالکوسیت در مقاطع صیقلی به صورت بافت دانه‌پراکنده و بیشتر جانشینی، همراه با کوولیت و مالاکیت می‌باشد. جانشینی معمولاً در دما و فشارهای بالا و زمانی که فضاهای

خالی مناسب در دسترس نیست و یا جریان سیال دشوار می‌باشد، رایج‌تر است (شکل ۵-۲، ب). در محدوده ساغری کالکوسیت به دو صورت اولیه (تبلور مستقیم از سیال) و ثانویه (حاصل تجزیه کالکوپیریت) و در محل ترانشه‌های اکتشافی و در داخل فضای خالی گسلی قابل رؤیت است.

- **کولیت CuS**: حضور کولیت در یک منطقه می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر آبگون‌های اکسیدی و آبشویی مس در منطقه باشد (اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۳). این کانه ثانویه در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید مایل به آبی، چندرنگی قوی و آنیزوتروپی بالا می‌باشد و به صورت جانشینی در حاشیه کانی‌های کالکوپیریت و کالکوسیت و با بافت جانشینی، توده‌ای و پراکنده مشاهده می‌شود (شکل ۵-۲، ب).



شکل ۵-۲: (الف) تصویر نمونه دستی از کالکوسیت (Cc) در حال تبدیل شدن به مالاکیت (Mal) و (ب) تصویر میکروسکوپی کولیت (Cv) که به صورت پراکنده یا جانشین شدن کالکوسیت مشاهده می‌شود، در نور (XPL).

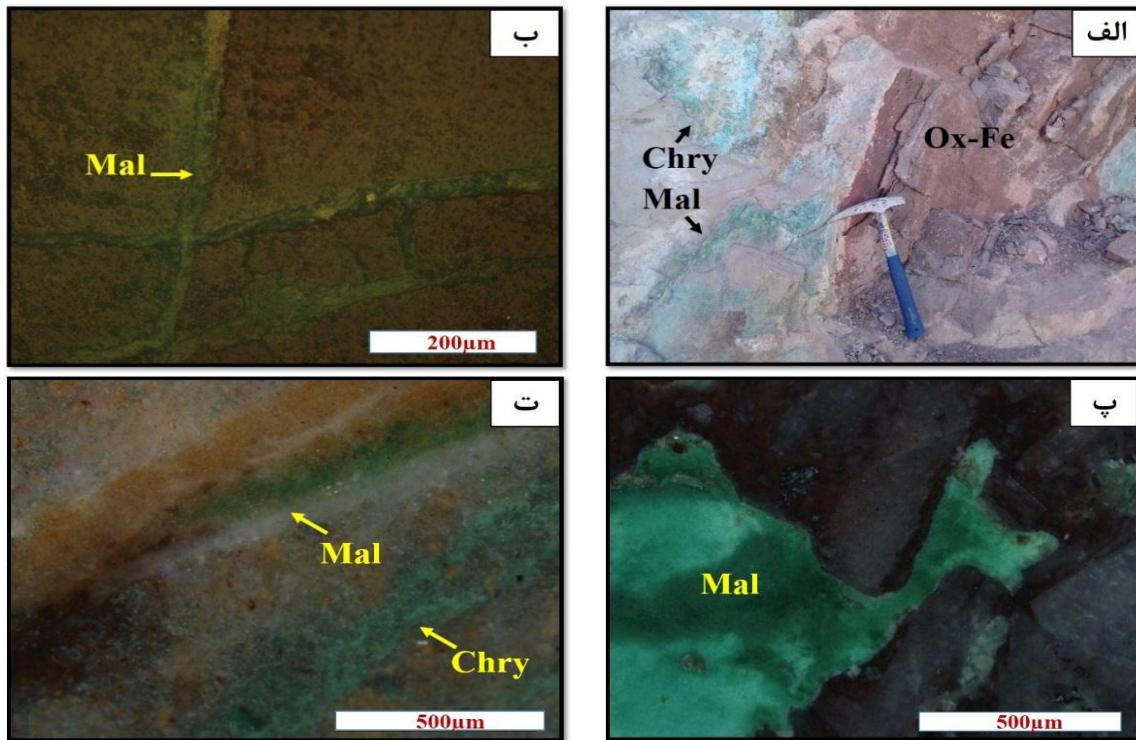
۵-۲-۲- کانی کربناتی

- **مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$** : نام دیگر مالاکیت مرمر سبز و کانه کربناتی مس در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که معمولاً همراه با کالکوپیریت و کالکوسیت دیده می‌شود. مالاکیت فراوان‌ترین کانه مس در کانسار ساغری است. این کانه در نمونه دستی به رنگ سبز و در مقاطع صیقلی به رنگ سبز با انعکاس کم، آنیزوتروپی و انعکاس داخلی قوی (سبز) با بافت رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن، جانشینی و پراکنده می‌باشد.

بافت رگه-رگچه از اصلی‌ترین ساخت‌های مشاهده شده و از جمله ساخت غیرهمزاد (اپی‌ژنتیک) در منطقه مورد مطالعه است (Haynes et al, 1995)، (شکل ۳-۵، الف، ب و پ).

۳-۲-۵- کانی سیلیکاته

- کریزوکلا $(\text{Cu,Al})_2\text{H}_2\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$: کریزوکلا دارای رنگ آبی تا سبز-آبی، خط اثر سفید، شکستگی صدفی و جلای شیشه‌ای تا خاکی است. همچنین حضور این کانی نشان از بالا بودن غلظت Si در سیال می‌باشد. کریزوکلا به صورت رگه‌ای و یا پراکنده با فراوانی بسیار کم در بعضی نمونه‌ها به همراه مالاکیت دیده می‌شود (شکل ۳-۵، الف و ت).



شکل ۳-۵: (الف) تصویر نمونه صحرایی از مالاکیت (Mal) و کریزوکلا (Chry) در کنار اکسیدهای، (ب) تصویر میکروسکوپی مالاکیت (Mal) که به صورت رگه-رگچه‌های متقاطع تشکیل شده است، در نور (XPL). (پ) تصویر میکروسکوپی مالاکیت (Mal) به صورت حفره پرکن، در نور (PPL). (ت) تصویر میکروسکوپی از کریزوکلا (Chry) به صورت رگه‌ای در کنار مالاکیت (Mal) مشهود است، در نور (PPL).

۵-۲-۴- کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی

- **هماتیت Fe_2O_3** : هماتیت یک کانی محیط اکسیدان است و اغلب در افق بالایی کانسارهای سولفوری تشکیل می‌شود. برای تشکیل این کانی، حضور اکسیژن ضروری است که برای این امر یک منبع خارجی لازم است تا اکسیژن مورد نیاز را فراهم کند و محتمل‌ترین منبع اکسیژن، آب‌های جوی هستند که در اثر چرخش در قسمت بالای کانسار باعث اکسیده شدن قسمت فوقانی کانسار می‌شود. از کانی‌های همراه می‌توان به مگنتیت، گوتیت و لیمونیت اشاره نمود. به نظر می‌رسد هماتیت بیشتر جایگزین پیریت شده است. در برخی نمونه‌ها این کانه خود به گوتیت تبدیل شده است (شکل ۴-۵، الف).

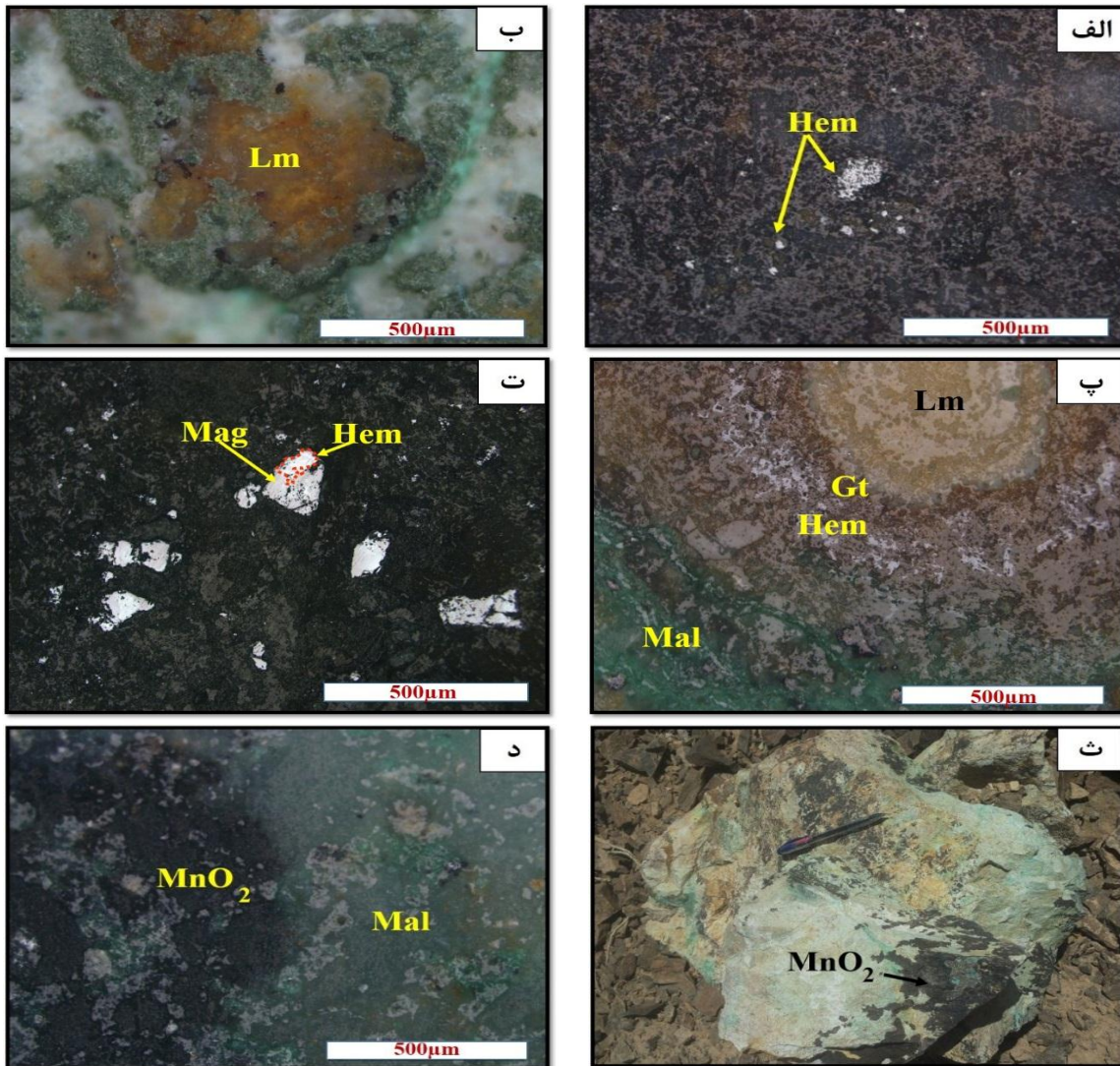
- **لیمونیت $FeOOH.nH_2O$** : لیمونیت غالباً به رنگ زرد مایل به قهوه‌ای می‌باشد که بیشتر در قسمت‌های اکسیدان و به صورت ثانویه در سطح کانسار دیده می‌شود. این کانی محصول نهایی دگرسانی و هوازدگی اکسید و سولفیدهای آهن (هماتیت، پیریت و مگنتیت) است (شکل ۴-۵، ب).

- **گوتیت $FeO.OH$** : گوتیت بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی، کانی‌های سولفیدی در قسمت سطحی کانسار دچار انحلال شده و یون گوگرد آن‌ها از محیط خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای مانده است. حضور گوتیت نشانگر نسبت اندک پیریت به کالوپیریت، اسیدیته کم و میزان سولفید کل پایین است (Siltoe and Perello, 2005)، (شکل ۴-۵، پ).

- **مگنتیت Fe_3O_4** : مگنتیت در منطقه مورد نظر بصورت اولیه و همزاد (سین‌ژنتیک) داخل سنگ میزبان تشکیل شده است. این کانی در مقاطع صیقلی به رنگ خاکستری تا قهوه‌ای دیده می‌شود. مگنتیت در کانسار مس ساغری فراوانی خیلی کمی دارد و به علت فوگاسیته بالای اکسیژن محیط، به هماتیت تبدیل شده است. در شکل (۴-۵، ت) مگنتیت در حال تبدیل به هماتیت (پدیده مارتیتی شدن) با بافت جانشینی و دانه‌پراکنده می‌باشد.

- **اکسیدهای منگنز MnO_2** : اکسیدهای آمورف منگنز به میزان کم به همراه مالاکیت در درزه‌ها و شکاف‌ها

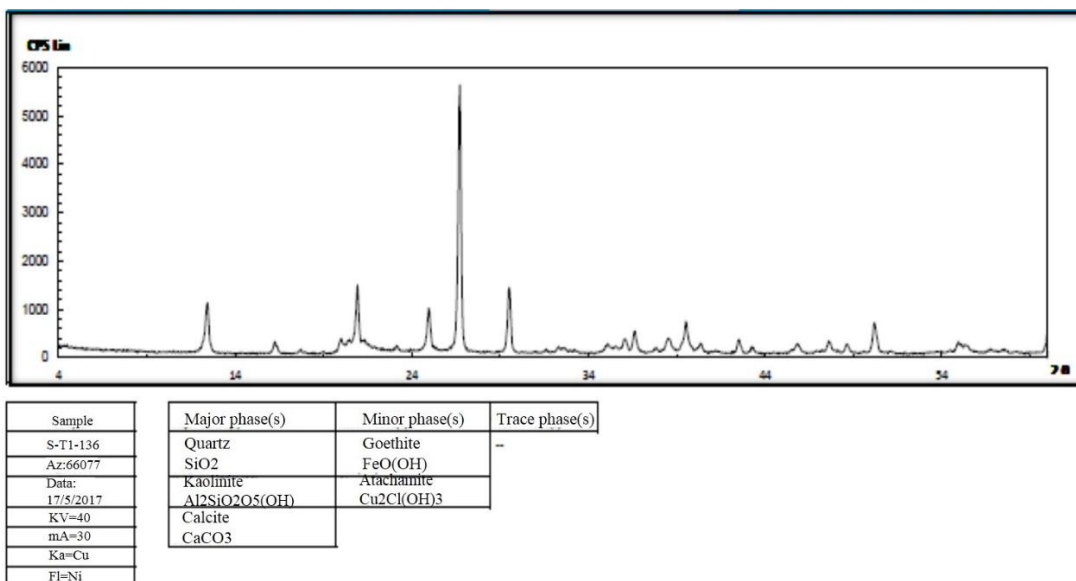
به شکل دندریتی و نقطه‌ای دیده می‌شوند (شکل ۵-۴، ۵-۳ و ۵-۲).



شکل ۵-۴: (الف) تصویر میکروسکوپی از هماتیت (Hem) بافت جان‌شینی و پراکنده، در نور (XPL)، (ب) تصویر میکروسکوپی از لیمونیت (Lm) که به صورت توده‌ای، در نور (XPL). (پ) تصویر میکروسکوپی از گوتیت (Gt) در کنار لیمونیت (Lm)، هماتیت (Hem) و ملاکیت (Mal) با ساخت متحدالمرکز و کلوفرمی، در نور (XPL)، (ت) تصویر میکروسکوپی از مگنتیت (Mag) که طی پدیده مارتیتی شدن در حال تبدیل به هماتیت (Hem) است، در نور (XPL)، (ث) تصویر نمونه دستی از اکسیدهای منگنز (MnO_2) و (د) تصویر میکروسکوپی از اکسید منگنز (MnO_2) در کنار ملاکیت (Mal)، در نور (PPL) مشاهده می‌شود.

۵-۲-۵- کانی کلریدی

- آتاکامیت $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$: آتاکامیت از جمله کانی‌های کلریدی مس‌دار در منطقه می‌باشد. این کانی همراه با مالاکیت طی فرآیند سوپرژن اکسیدی ایجاد می‌گردد. رنگ این کانی سبز چمنی تا تیره، خط اثر آن سبز روشن و حاوی ۶۰ درصد مس است و از مالاکیت توسط عدم جوشش در اسیدها متمایز می‌شود. آتاکامیت جلای شیشه‌ای و حالت شفاف دارد و دارای خاصیت چند رنگی است. این کانی به عنوان کانی سوپرژن در نواحی اکسایشی نهشته‌های مس در شرایط بسیار خشک به وجود می‌آید. آتاکامیت توسط آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) در منطقه شناسایی شد (شکل ۵-۵)



شکل ۵-۵: نمودار پراش اشعه ایکس (XRD) که نشان از حضور کانی آتاکامیت می‌باشد.

۵-۲-۶: مس خالص

- مس خالص (Native): در مقاطع میکروسکوپی مس خالص به صورت نقاط بسیار ریز و نورانی به صورت بسیار محدود مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶، ت).

۵-۲-۷: کانی‌های باطله

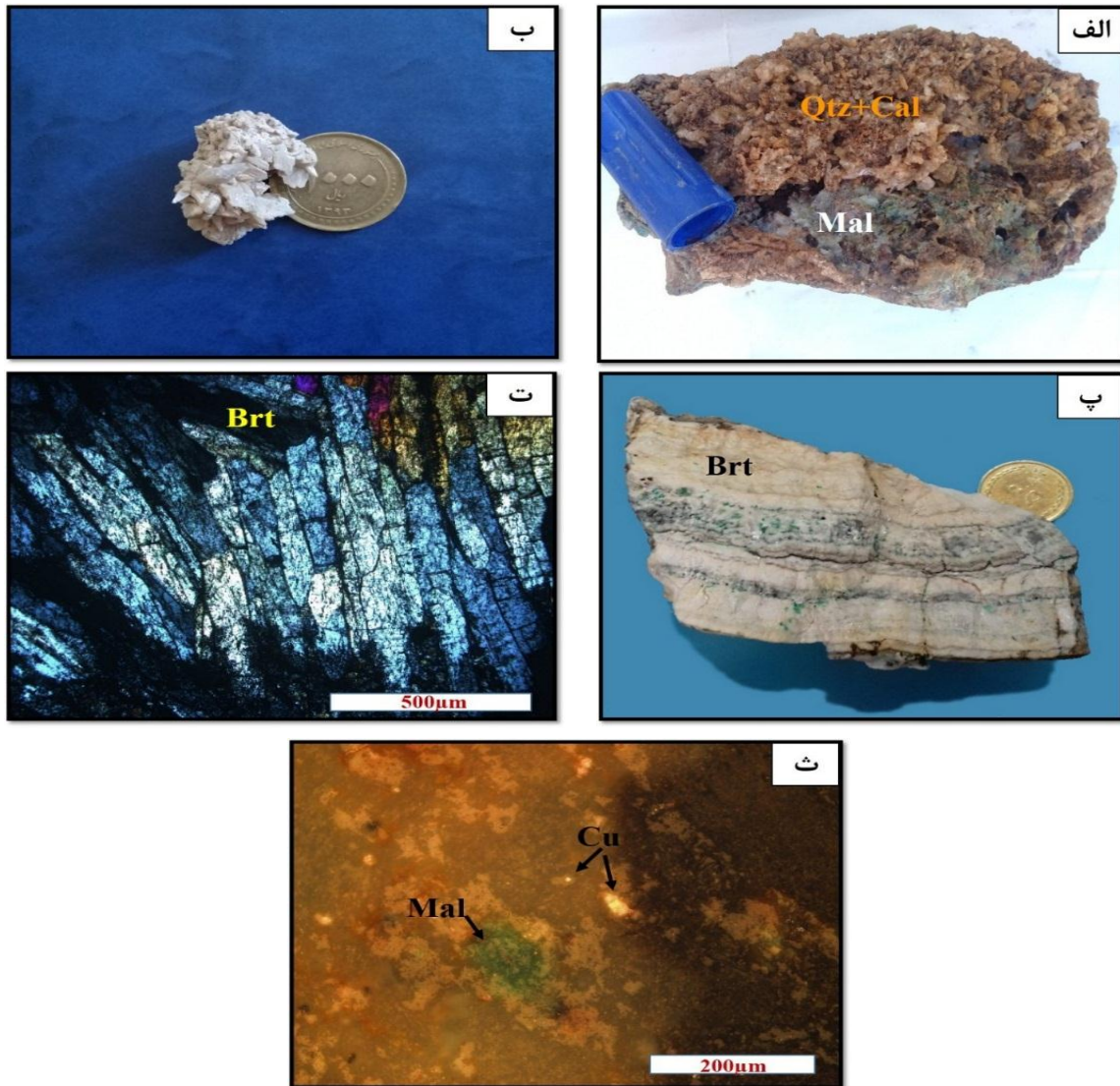
کانی‌های باطله جزء غیر اقتصادی و بی‌ارزش کانسنگ‌ها محسوب می‌شوند ولی از این منظر که با کانه‌ها ارتباط زایشی دارند مورد توجه قرار می‌گیرند. بیشترین کانی‌های باطله شناسایی شده در کانسار مس ساغری شامل؛ کلسیت، کوارتز، ژیپس، باریت و کانی‌های رسی می‌باشد که براساس نمونه دستی، مقاطع میکروسکوپی و همچنین آنالیزهای پراش اشعه ایکس (XRD) شناسایی شده‌اند.

- **کلسیت (CaCO_3)**: از فراوان‌ترین کانی باطله محدوده مورد نظر می‌توان به کلسیت اشاره کرد که در نتیجه دگرسانی پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین کلسیم‌دار به وجود آمده است و بیشتر به صورت پرکننده فضای خالی و رگه‌ای شکل گرفته است (شکل ۵-۶، الف).

- **کوارتز (SiO_2) و ژیپس ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)**: کوارتز یکی از کانی‌هایی است که در اکثر کانسارها به خصوص کانسارهای رگه‌ای یافت و به عنوان باطله در نظر گرفته می‌شود. این کانی در کانسار ساغری به صورت رگه‌ای به ندرت یافت شده ولی در برخی قسمت‌ها به شکل توف سیلیسی شده گسترش دارد. ژیپس، کانی سولفات آب‌داری است که در نتیجه تأثیر آب‌های جوی بر روی کانی‌های سولفوری تشکیل می‌شود. چند نمونه کانی ژیپس هم در منطقه مشاهده شده و حضور این دو کانی در آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) نیز تأیید گردید (شکل ۵-۶، الف و ب).

- **باریت (BaSO_4)**: باریت عمدتاً در محدوده دمایی پایین دیده می‌شود (Pirajno, 2009)، (شکل ۵-۶، پ و ت). در محدوده مس ساغری فراوانی بسیار ناچیزی دارد و در نمونه دستی و میکروسکوپی شناسایی گردید.

- **کانی‌های رسی**: کانی‌های رسی شامل کائولینیت، ایلیت، مونتموریونیت و مسکویت توسط آنالیزهای پراش اشعه (XRD) شناسایی شده‌اند (مراجعه به فصل ۴).



شکل ۵-۶: الف) تصویر نمونه دستی از کلسیت (Cal) و کوارتز (Qtz) در کنار مالاکیت (Mal) و ب) تصویر نمونه دستی از ژئپس در منطقه ساغری نمایان است. پ) تصویر نمونه دستی از باریت (Brt)، ت) تصویر میکروسکوپی از باریت (Brt)، در نور (XPL) و ث) تصویر میکروسکوپی از مس خالص (Cu) در کنار مالاکیت (Mal) دیده می‌شود، در نور (PPL).

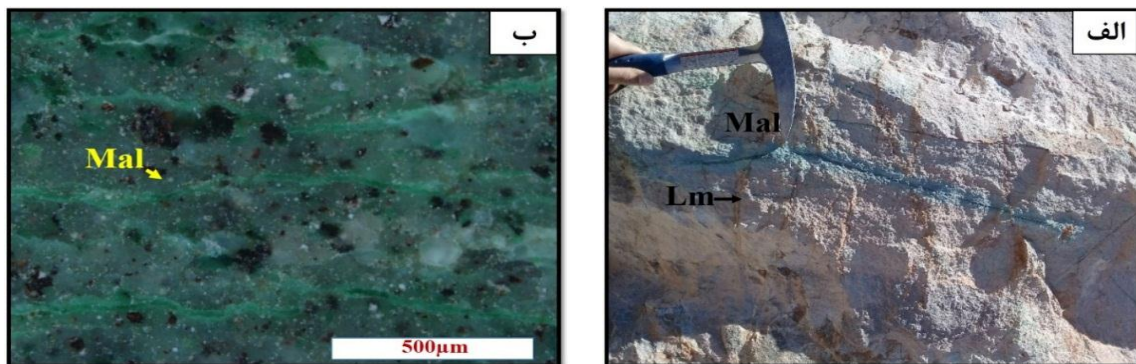
۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها

در کتاب‌های علمی، مفاهیم متفاوتی برای واژه‌های ساخت و بافت ارائه شده است. به عنوان مثال در کتاب‌های انگلیسی ساخت به خصوصیات گفته می‌شود که در بیرون‌زدگی‌ها قابل مشاهده و یا خصوصیات که به طور ماکروسکوپی نمایان است. بافت به خصوصیات گفته می‌شود که در زیر میکروسکوپ و یا در

نمونه‌های دستی قابل رؤیت می‌باشد (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). بافت در کانسارهای گوناگون متفاوت است و این به مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگ‌های میزبان، سیال‌های کانه‌سازی و شیوه جایگزینی کانسنگ بستگی دارد. عمده‌ترین بافت کانی‌ها در کانسار مس ساغری بافت رگه-رگچه‌ای است و از بافت‌های دیگر می‌توان به بافت پرکننده فضای خالی و بین دانه‌ای، جانشینی، دانه‌پراکنده و کلوفرمی اشاره کرد. ساخت‌های مشاهده شده در منطقه شامل ساخت رگه‌ای و پرکننده فضای خالی است.

۵-۳-۱- ساخت رگه-رگچه‌ای

عمده‌ترین رخنمون معدنی در بخش کانه‌دار، حضور آن‌ها به صورت رگه‌ای و رگه-رگچه‌ای است که در واحدهای سنگی دیده می‌شود. این نوع ساخت به صورت غیرهمزاد (اپی ژنتیک) است. در اینجا راستای عمده رگه‌ها و پهنه‌های کانه‌دار به پیروی از ساختارهای اصلی (گسل و شکستگی‌ها) می‌باشد. در واقع سیال کانه‌زا با نفوذ در درزه و شکستگی و گسل‌های موجود در واحدهای گدازه و آذرآواری، کانی‌هایی نظیر مالاکیت و کریزوکولا را برجای گذاشته است (شکل ۵-۷، الف و ب).

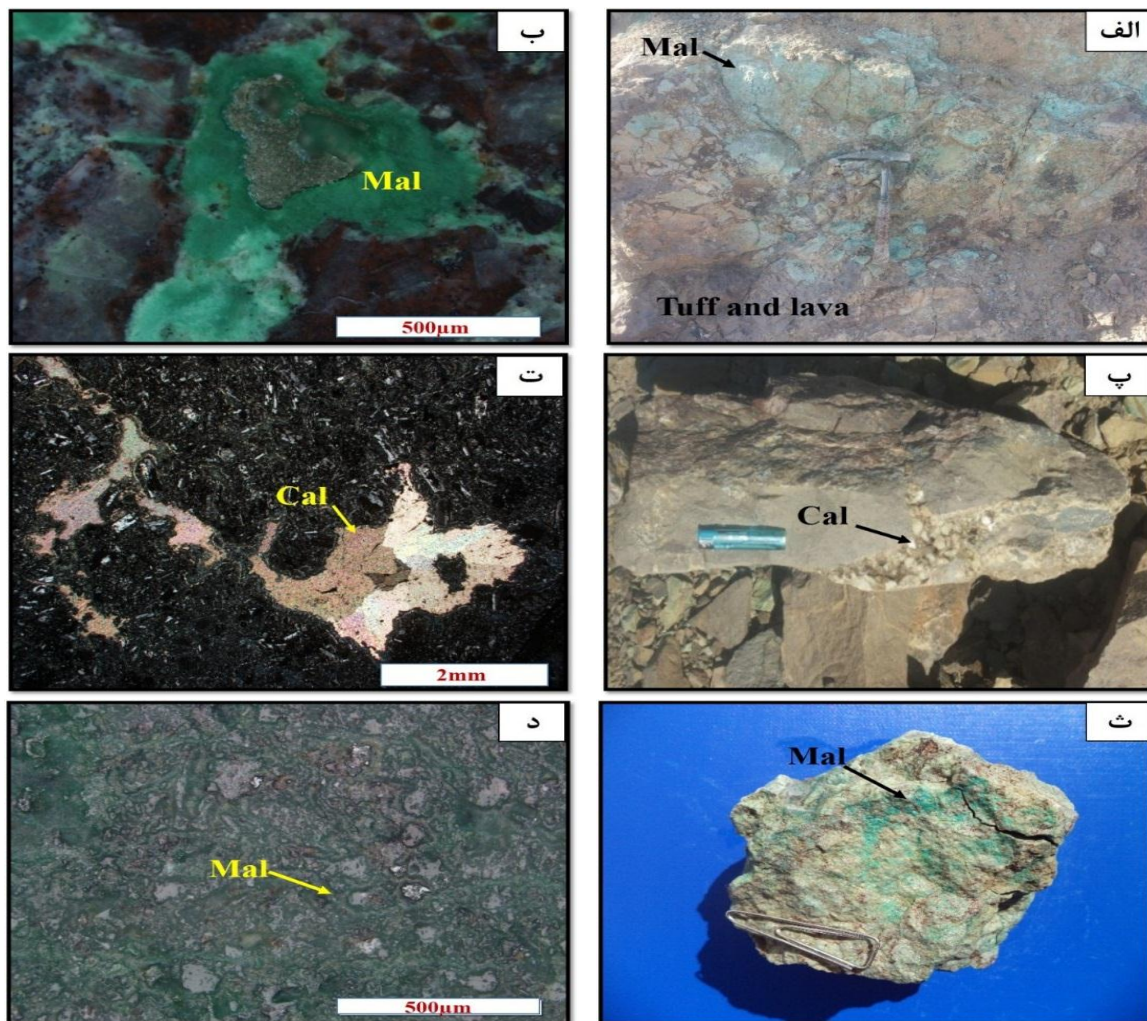


شکل ۵-۷: (الف) تصویر صحرایی از مالاکیت (Mal) با ساخت رگه‌ای در داخل شکستگی‌ها در کنار رگه لیمونیتی (Lm) در منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت (Mal) به صورت رگچه‌ای نمایان است، نور (PPL).

۵-۳-۲- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی

در پی بالآمدن محلول‌های گرمابی و ماگمایی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها، فضای خالی داخل گسل‌ها مکان مناسبی برای ته‌نشست بار محلول‌ها می‌باشند که ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی

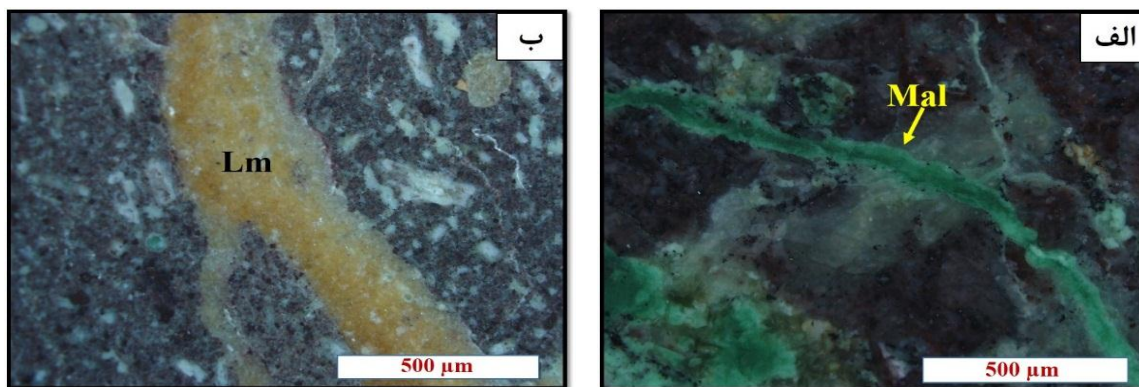
را به‌وجود می‌آورند (Craig and Vaughan, 1981). کانی‌هایی از قبیل مالاکیت، کالکوسیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله، درزه و شکاف‌ها و همچنین فضاهای خالی بین ذرات و حفرات ناشی از انحلال را پر کرده‌اند (شکل ۸-۵، الف، ب، پ و ت). همچنین بافت پرکننده فضای بین دانه‌های توف‌های منطقه مشاهده می‌شود که مالاکیت در بین دانه‌های توف متخلخل جایگیر شده است. (شکل ۸-۵، ث و د).



شکل ۵-۸: (الف) تصویر صحرایی از ساخت و بافت پرکننده فضای خالی توسط مالاکیت (Mal) در منطقه ساغری و (ب) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت (Mal) با بافت پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود، در نور (PPL). (پ) تصویر نمونه دستی از رگه کلسیت (Cal) با ساخت پرکننده فضای خالی در داخل توف سیلیسی شده و (ت) تصویر میکروسکوپی از کلسیت (Cal) با بافت پرکننده فضای خالی نمایان است، در نور (XPL). (ث) تصویر نمونه دستی از توف متخلخل که فضای خالی بین دانه‌ها با مالاکیت (Mal) پر شده است و (د) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت (Mal) که فضای خالی بین دانه‌های توف را پر کرده است، در نور (XPL).

۵-۳-۳- بافت رگه-رگچه‌ای

این بافت از عمده‌ترین بافت‌های مشاهده شده در کانسار ساغری می‌باشد که در نتیجه حرکت سیال در امتداد درزه و شکستگی و گسل‌ها به وجود آمده است. از جمله کانی‌های مشاهده شده با بافت رگه-رگچه‌ای می‌توان به مالاکیت، کریزوکولا، کلسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن از جمله لیمونیت اشاره نمود (شکل ۵-۹، الف و ب).

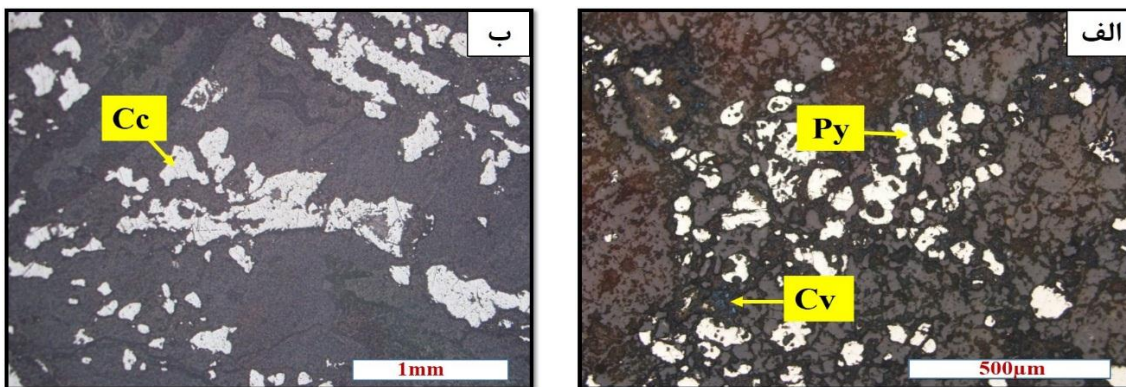


شکل ۵-۹: (الف) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت (Mal) و (ب) تصویر میکروسکوپی از لیمونیت (Lm) با بافت رگه رگچه‌ای مشاهده می‌شود، (هر دو تصویر میکروسکوپی در نور (PPL) رؤیت شده است).

۵-۳-۴- بافت دانه‌پراکنده

این بافت در کانسارهای گرمابی به صورت کانی‌های پیریت، کالکوپیریت یافت می‌شود که نشان‌دهنده‌ی تشکیل همزمان کانی‌ها در حین تشکیل سنگ میزبان (سین‌ژنتیک) می‌باشد (۵-۱۰، الف). این نوع بافت گاهاً در بخش سطحی کانسار همراه با سنگ‌های آذرآواری نیز دیده می‌شود که احتمالاً بصورت انتشار بین دانه‌ای تشکیل شده و حالت اپی‌ژنتیک دارد. پیریت دانه‌پراکنده مربوط به دو نسل است که در منطقه مس ساغری بیشتر پیریت نسل اول مشاهده شده است. همچنین در مگنتیت‌های موجود بافت دانه‌پراکنده مشاهده می‌شود که شواهدی بر تشکیل همزمان با سنگ میزبان (سین‌ژنتیک) است (شکل ۵-۴، ت). تشکیل

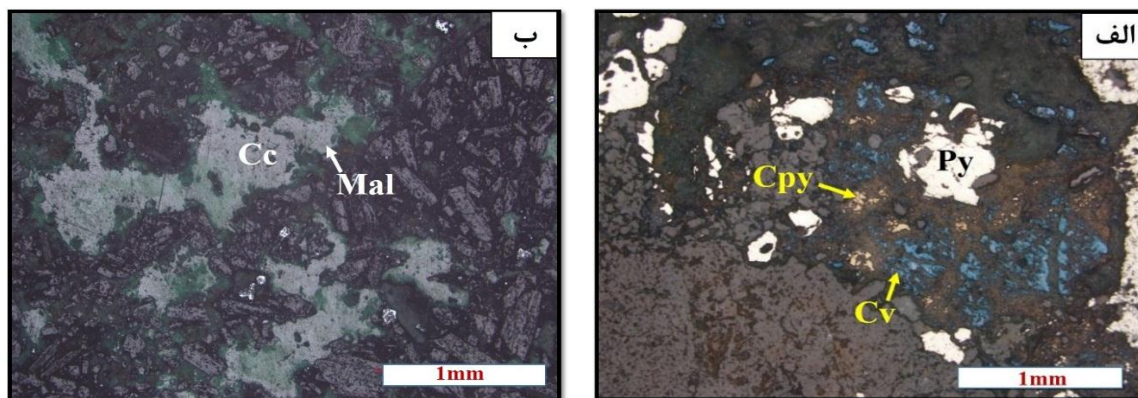
کالکوسیت و مالاکیت در فضای بین دانه‌های سنگ میزبان می‌تواند نشان از بافت دانه‌پراکنده در این نوع کانسارها باشد (Kouzmanov and Ramboz, 2004)، (شکل ۵-۱۰، ب).



شکل ۵-۱۰: (الف) تصویر میکروسکوپی از پیریت (Py) با بافت دانه‌پراکنده در زمینه سنگ میزبان به همراه کولیت و (ب) تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت (Cc) با بافت دانه‌پراکنده در زمینه باطله نمایان است (هر دو تصویر میکروسکوپی در نور (XPL) رؤیت شده است).

۵-۳-۵- بافت جانشینی

این بافت در اثر جانشین شدن یک کانی اولیه توسط یک کانی ثانویه، بیشتر در کانسارهای گرمابی و حاصل از هوازدگی به وجود می‌آید (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). بافت جانشینی ممکن است در اثر فرایندهایی نظیر انحلال و رسوبگذاری مجدد و یا اکسیداسیون و انتشار در حالت جامد رخ دهد. در کانسار مورد مطالعه می‌توان به جانشینی سولفیدهای فلزی (نظیر کالکوپیریت) با کالکوسیت و کولیت (شکل ۵-۱۱، الف)، جانشینی حاشیه‌ای (تبدیل کالکوسیت به کولیت)، (شکل ۵-۲، الف) جانشینی از نوع مارتیتی شدن (تبدیل مگنتیت به هماتیت)، (شکل ۵-۴، ت) و جانشینی کالکوسیت توسط مالاکیت اشاره نمود (شکل ۵-۱۱، ب).



شکل ۵-۱۱: تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوپیریت (Cpy) توسط کولیت (Cv) دیده می‌شود، در نور (XPL). (ب) تصویر میکروسکوپی از جانشینی کالکوسیت (Cc) توسط مالاکیت (Mal) نمایان است، در نور (PPL).

۵-۳-۶- بافت کلوفرمی

این نوع بافت در قسمت‌هایی از کانسار مس ساغری دیده می‌شود که بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت به گوتیت و لیمونیت تبدیل شده‌اند، به شکل (۵-۴، پ) مراجعه شود. بافت کلوفرمی در نتیجه تهنشینی محلول‌های کلوئیدی در محیط‌های سطحی حاصل می‌شود.

۵-۴- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

در پی شناسایی کانی‌ها و تعیین ویژگی‌های بافتی آن‌ها، تعیین ترتیب تبلور کانی‌های مرتبط در توالی زمانی و مکانی را پاراژنز 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). در منطقه مورد نظر مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت‌های مشاهده شده، حضور دو نوع سیال کانه‌زایی را بر ما آشکار می‌سازند؛ ۱- مرحله درون‌زاد (هیپوژن): صعود سیالات داغ کانه‌دار به داخل درزه و شکستگی‌ها و تهنشست کانی‌هایی نظیر پیریت و کالکوپیریت، ۲- مرحله برون‌زاد (سوپرژن): رقیق شدگی به وسیله آب‌های سرد جوی و تشکیل کانی‌های ثانویه نظیر مالاکیت، کالکوسیت، کولیت، کریزوکولا و اکسید و هیدروکسیدهای آهن. در کانسار مس ساغری، محتمل‌ترین توالی همبود (پاراژنتیک) در جدول (۵-۲) ارائه شده است.

جدول ۵-۲: مراحل تشکیل کانه‌زایی و توالی پاراژنتیک کانه‌ها و کانی‌ها و بافت آن‌ها در کانسار مس ساغری

Stages Minerals		Pre- mineralization	Hypogene	Supergene	
				Reduction	Oxidation
Mineralization	Magnetite	_____			
	Hematite		_____		_____
	Pyrite	_____	_____		
	Chalcopyrite		_____		
	Chalcocite		_____	_____	
	Covellite			_____	
	Malachite				_____
	Cu				_____
	MnO ₂				_____
	Chrysocolla				_____
	Goethite				_____
	Limonite				_____
	Atacamite				_____
	gangues	Quartz		_____	
Calcite			_____		
Barite			_____		
Clay mineral			_____		_____
Gypsum			_____		_____
textures	Disseminated		_____	_____	_____
	Vein-veintle		_____	_____	_____
	Open space filling		_____	_____	_____
	Replacement		_____	_____	_____
	Colloform		_____	_____	_____

فصل ششم

ژئوشیمی

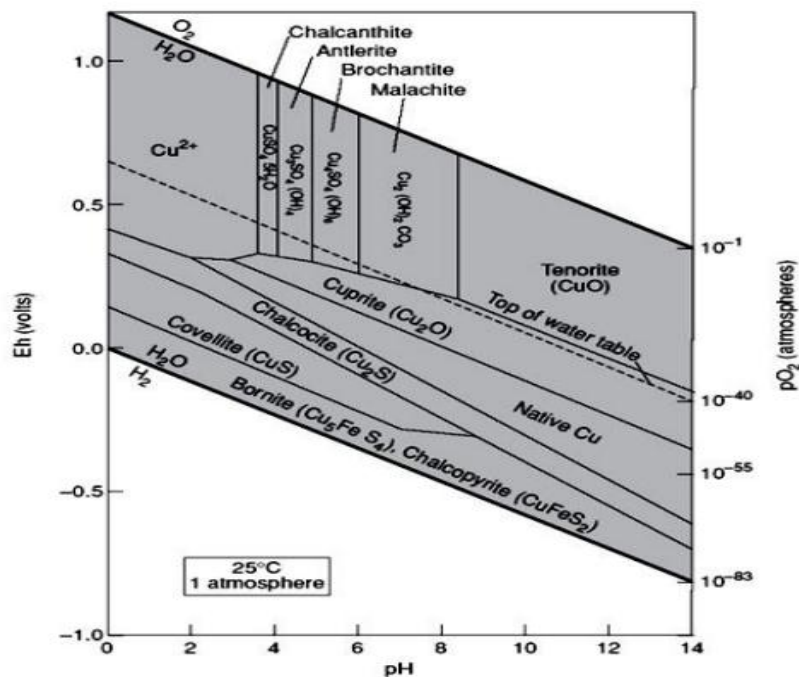
۶-۱- مقدمه

توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی هر منطقه و ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر یکی از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مدنظر می‌باشد. با استفاده از این روابط تا حدودی می‌توان به محیط و فرایندهای مؤثر در کانه‌زایی پی برد (Barnes, 1997). داده‌های ژئوشیمیایی جهت تعیین نام سنگ‌های میزبان، سنگ منشأ و همچنین رابطه ژئوشیمیایی عناصر کانسار ساز با یکدیگر و با سنگ منشأ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ابتدا به کلیاتی در مورد ژئوشیمی مس و سپس به تفسیر نتایج آنالیزهای انجام شده پرداخته می‌شود.

۶-۲- ژئوشیمی مس

از ویژگی‌های مس می‌توان به قابلیت چکش‌خواری، شکل‌پذیر، رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز، جلای فلزی، وزن اتمی $54/63$ ، دمای ذوب 2595 درجه سانتی‌گراد، مقاوم در برابر خوردگی و خاصیت هدایت الکتریکی و دیامغناطیس اشاره کرد. مس تنها فلزی است که به صورت خالص به مقدار زیاد در توده‌های بزرگ یافت می‌شود و رسانای الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشد. این عنصر از فلزات پایه و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین (55ppm) با نماد Cu، عدد اتمی ۲۹، جرم اتمی ۶۴، حالات اکسیداسیونی $(+1)$ و $(+2)$ است. مس دارای ایزوتوپ‌های Cu^{63} و Cu^{65} است که فراوانی آن‌ها به ترتیب $30/83\%$ و $69/17\%$ می‌باشد. از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت سیدروفیل و کالکوفیل دارد. تغییرات Eh-pH و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس را در دماهای پایین‌تر کنترل می‌کنند (شکل ۶-۱). مس تحت شرایط اکسیدان مهاجرت می‌کند و در pH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. همچنین از آنجایی که مس تحت شرایط احیایی، بایستی به صورت سولفید یا مس طبیعی ته‌نشین شود، از این رو مس تمایل دارد از نواحی اکسیداسیون مهاجرت کرده و در نواحی احیایی متمرکز شود. اکثر کانسارهای مس حاوی نقره (به استثنای

نوار مس آفریقای مرکزی که حاوی کبالت است) هستند. محلول‌های حاوی کلرید در حمل این فلزات نقش مهمی دارند، زیرا حلالیت آن‌ها در نتیجه تشکیل کمپلکس‌های کلریدی افزایش می‌یابد (Robb, 2009).



شکل ۶-۱: نمودار Eh-PH که میدان پایداری کانی‌های مس‌دار را در حرارت ۲۵ درجه سانتی‌گراد و فشار یک اتمسفر نشان می‌دهد (Robb, 2009).

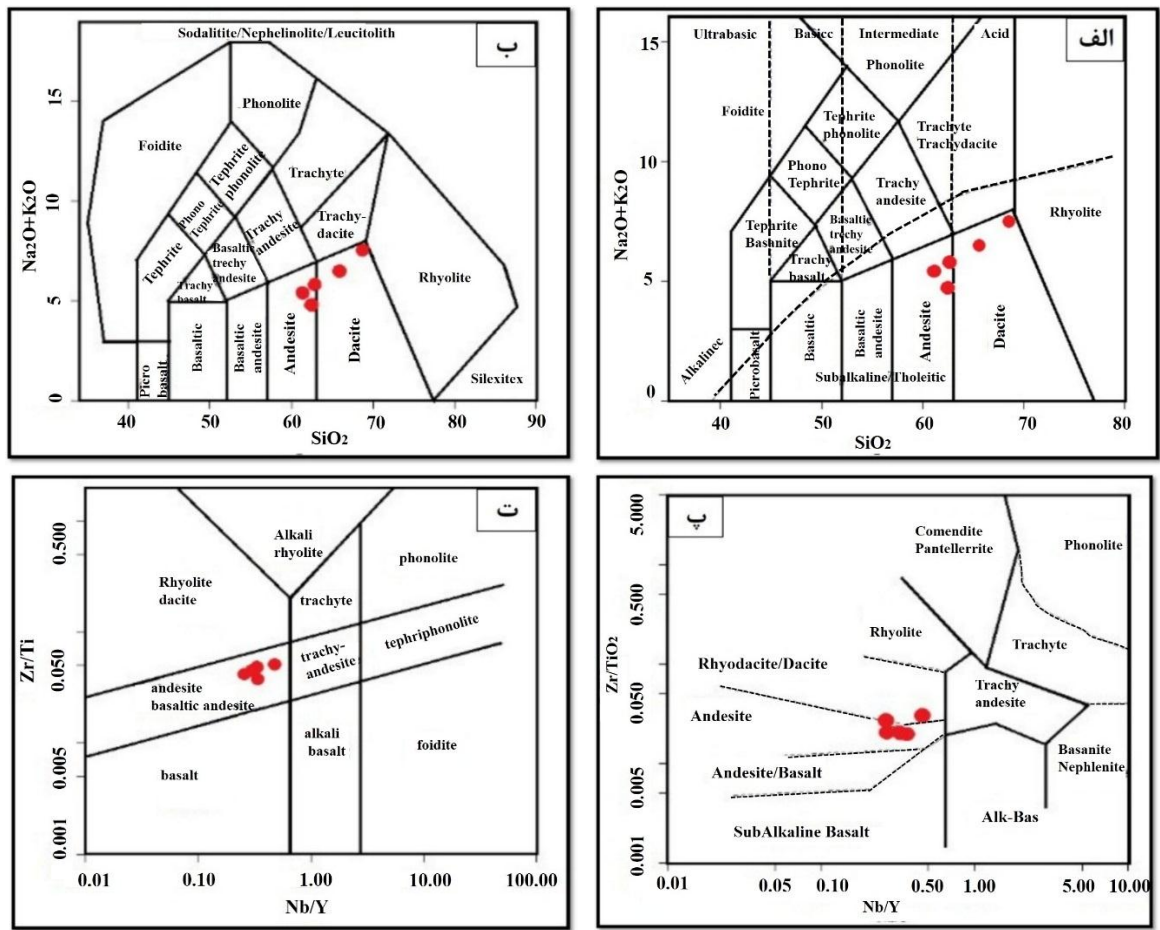
۶-۳- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

برای شناخت چگونگی رخداد فرآیند کانه‌زایی و عناصر اصلی سنگ میزبان در کانسار مس ساغری، در چندین بازدید صحرایی تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ ماده معدنی مبتنی بر تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافتی و دگرسانی، با مختصات جغرافیایی مشخص برداشت شد. پس از مطالعات میکروسکوپی، جهت بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی و تعیین مقادیر عناصر اصلی، فرعی و کمیاب، ۵ نمونه آنالیز XRF، ۱۳ نمونه آنالیز ICP-MS و ۱ نمونه Fire Assay در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآزما (ZARAZMA) انجام گرفت. ۶ نمونه از محیط کانسنگ و ۷ نمونه از محیط سنگی برداشت شده است. در

این بخش سعی شده است که با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی و نمودارهای مختلف، نام، ماهیت شیمیایی و جایگاه تکتونیکی سنگ‌های میزبان، همچنین شرایط ژئوشیمیایی تشکیل کانسار مورد بررسی قرار گیرد.

۶-۳-۱- نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی

جهت نام‌گذاری سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد نظر از نمودارهای طبقه‌بندی آلکالی ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$) در مقابل سیلیس (SiO_2) استفاده شده است (Le Bas et al., 1986; Middlemost, 1994). SiO_2 به عنوان اصلی‌ترین اکسید سازنده ماگمایی پوسته زمین شناخته می‌شود. تفاوت این نمودارها در نحوه مرزبندی میدان‌های مختلف است و در هر دو این نمودارها سنگ‌های آتشفشانی منطقه ساغری در محدوده آندزیت تا داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۶-۲، الف و ب). با توجه به گستردگی دگرسانی در سنگ‌های مورد مطالعه و با توجه به اینکه دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی اثر می‌گذارد، استفاده از نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب شامل Nb، Ti، Zr و Y که در درجات کم دگرسانی نامتحرکند، مفیدتر می‌باشد (Mania et al., 2007). در شکل (۶-۲، پ)، نسبت Zr/TiO_2 بر روی محور y و نسبت Nb/Y بر روی محور x ارائه شده است. نمونه‌های منطقه ساغری بر روی این نمودار در محدوده آندزیت تا داسیت و ریوداسیت قرار می‌گیرند (Winchester and Floyd, 1977). همچنین در شکل (۶-۲، ت) از نسبت Zr/Ti به Nb/Y استفاده شد که سنگ‌های مورد نظر در محدوده آندزیت تا آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند (Pearce, 1996).

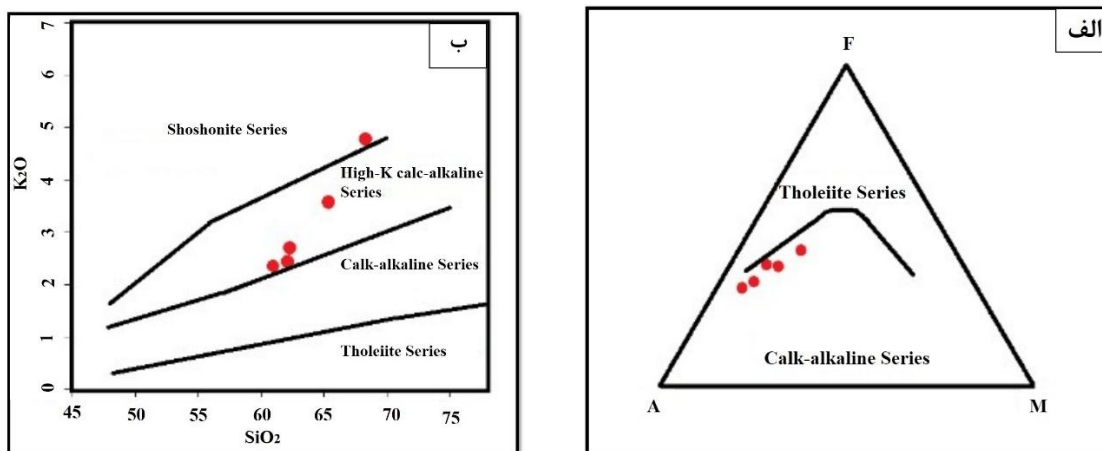


شکل ۶-۲: موقعیت سنگ‌های آتشفشانی و دایک‌های محدوده مس ساغری بر روی نمودارهای مختلف، الف) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 ، سنگ‌های منطقه مورد نظر در بازه آندزیت تا داسیت دیده می‌شوند (Le Base et al, 1986)، ب) $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ در برابر SiO_2 ، سنگ‌های منطقه مورد نظر در بازه آندزیت تا داسیت قرار می‌گیرند (Middlemost, 1994)، پ) نمودار نسبت Zr/TiO_2 به Nb/Y ، که نمونه‌های مورد نظر در محدوده داسیت و ریوداسیت جایگیر می‌شوند (Winchester and Floyd, 1977)، ت) نمودار نسبت Zr/Ti به Nb/Y نشان می‌دهد، که نمونه‌های مورد نظر در بازه آندزیت و آندزیت بازالتی مشخص می‌شوند (Pearce, 1996).

۶-۳-۲- تعیین سری ماگمایی

سنگ‌های مورد بررسی براساس نمودار AFM (Irvine and Baragar, 1971) و نمودار K_2O در مقابل SiO_2 (Peccerilo and Taylor, 1976) در قلمروی کالک‌آلکان و کالک‌آلکان پتاسیم بالا و به مقدار جزئی

شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۳-۶، الف و ب). ماگماهای کالک‌آلکالن حاصل اختلاط ماگماهای منشأ گرفته از گوشته و پوسته هستند (Tatsumi and Takahashi, 2006).

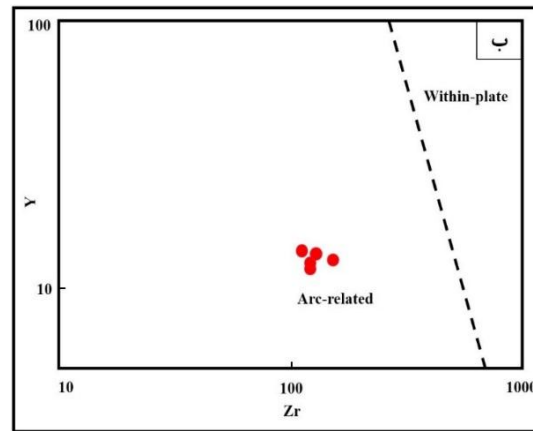
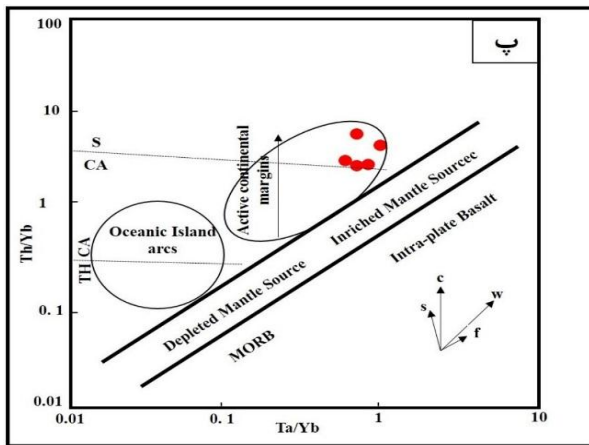
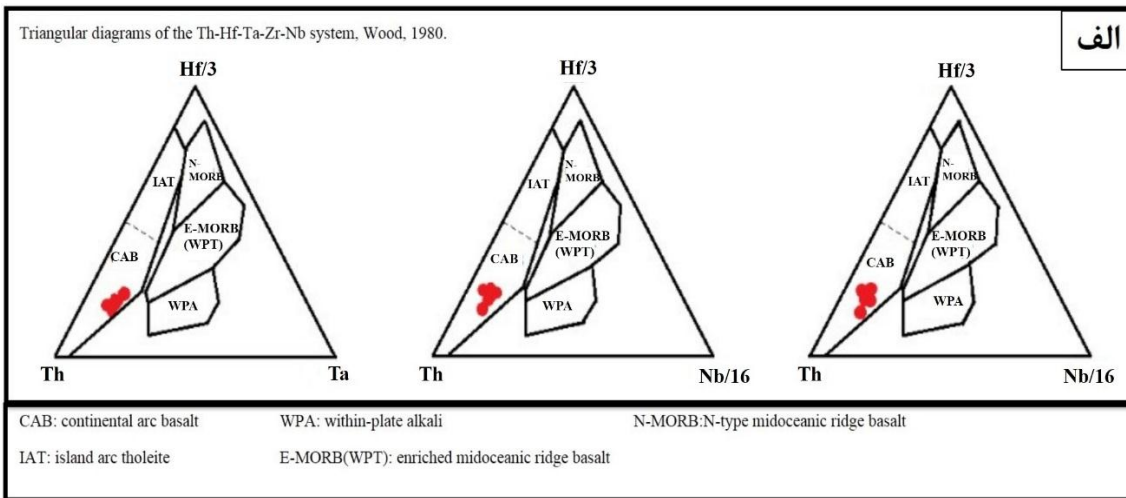


شکل ۳-۶: (الف) نمودار تعیین سری ماگمایی AFM، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند، (Irvine and Baragar, 1971). (ب) نمودار تعیین سری ماگمایی در نمودار K_2O در برابر SiO_2 ، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا و به مقدار جزئی شوشونیتی نمایان می‌شوند، (Peccerillo and Taylor, 1976).

۳-۳-۶- جایگاه تکتونیکی سنگ‌های میزبان

محیط تکتونیکی، تعیین کننده نوع ماگما و خود ماگما نیز نوع کانه‌زایی را مشخص می‌کند. به منظور تعیین محیط تکتونیکی از نمودارهای مبتنی بر عناصر کمیاب، نسبت‌های بین آن‌ها و عناصر کم تحرک استفاده شده است. باتوجه به شکل (۳-۶، الف)، تمامی نمونه‌ها نزدیک به رأس Th ، زیر خط جداکننده $Hf/Th=3$ در گستره کمان قاره‌ای (CAB) واقع می‌شوند و دارای ماهیت کالک‌آلکالن می‌باشند (Wood, 1980). از نمودار پیشنهاد شده توسط (Muller and Groves, 1993)، به‌منظور تفکیک محدوده‌های مرتبط با کمان ماگمایی و درون صفحه‌ای استفاده شده است. در نمودار نام‌برده، نمونه‌های مورد مطالعه در ارتباط با کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش قرار می‌گیرند (شکل ۳-۶، ب). همچنین برای تفکیک کمان ماگمایی قاره‌ای از نوع کمان‌های جزایر قوسی از نمودار (Th/Yb) در مقابل (Ta/Yb) ، استفاده شده است (Pearce, 1983).

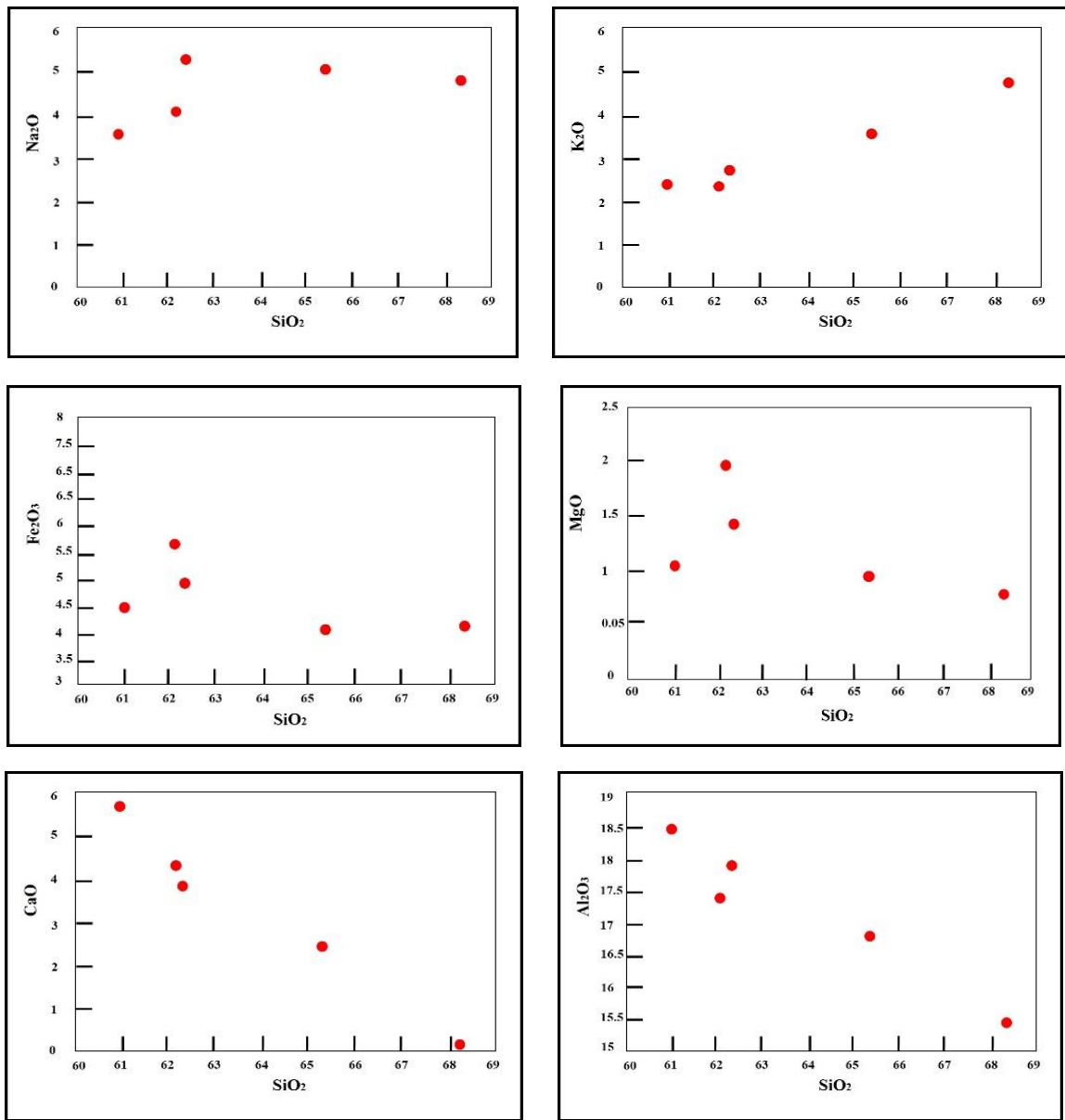
این نسبت‌ها عموماً جدا از تبلور تفریقی عمل می‌کنند، بنابراین آلودگی‌های احتمالی را به خوبی نشان می‌دهند (شکل ۴-۶، پ). فرآیندهای فرورانشی دارای Th بیشتر و به مقدار کم‌تر Ta می‌باشند (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳).



شکل ۴-۶: الف) نمودارهای مثلثی و موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای (CAB)، ب) تفکیک محدوده‌های کمان آتشفشانی از درون صفحه‌ای، (Muller and Groves, 1993)، پ) محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه و تفکیک کمان آتشفشانی مرتبط با فرورانش از نوع کمان‌های جزیره‌ای بر اساس تغییرات نسبت (Th/Yb) و (Ta/Yb)، مشاهده می‌شود، (Pearce, 1983).

۶-۳-۴- نمودار تغییرات اکسید عناصر اصلی نسبت به SiO_2

یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها برای نمایش ارتباط ژنتیکی میان سنگ‌های منطقه استفاده از نمودار تغییرات اکسید اصلی عناصر نسبت به SiO_2 است (Harker, 1909). مهم‌ترین کاربردهای این نمودار در سنگ‌شناسی، پی‌بردن به فرایندهای تفریق ماگمایی، هضم و ذوب می‌باشد. هنگامی که ماگما، فرایند تبلور جدایشی را بدون آلودگی پوسته طی کند، داده‌های مربوط به تجزیه شیمیایی آن‌ها در نمودار هارکر، یک روند خطی پیوسته به نمایش می‌گذارد (سلطانی، ۱۳۹۵). این روند خطی در مورد سنگ‌های منطقه مورد نظر دیده می‌شود ولی پیوسته نیست و مقداری پراکندگی دارد که می‌تواند به علت آغستگی ماگمای مادر با پوسته باشد. در نمودارهای هارکر با افزایش SiO_2 ، اکسیدهای عناصر اصلی نظیر MgO ، Fe_2O_3 ، Al_2O_3 و CaO روند نزولی، K_2O و Na_2O روند صعودی مشخصی را از آندزیت‌ها به سمت داسیت‌ها نشان می‌دهند. پراکندگی در توزیع K_2O و Na_2O تحت تأثیر فرایندهای جدایشی ماگمایی است که حین صعود دستخوش آن شده است. روند تغییرات MgO در مقابل SiO_2 ، به علت سهم بودن آن در تبلور کانی‌های فرومنیزین می‌باشد. SiO_2 در مذاب باقی مانده و غلظت آن از آندزیت‌ها به سمت داسیت افزایش یافته است که نشان‌دهنده تفریق یافتگی پیوسته از مذاب اولیه می‌باشد. Fe_2O_3 مشابه MgO عمل می‌کند و Fe_2O_3 در شبکه بلوری الیومین و پیروکسن وارد و با تبلور این کانی‌ها در مراحل اولیه تفریق و کاهش آن در ماگما، با افزایش SiO_2 روند نزولی در آن دیده می‌شود. به دلیل حضور پلاژیوکلاز ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$) در آندزیت‌ها و حضور آلکالی فلدسپار (KAlSi_3O_8) در داسیت‌های موجود در نمودار مورد نظر، روند نزولی Al_2O_3 نسبت به SiO_2 دیده می‌شود. وجود CaO در نمونه‌های مورد نظر با وجود هورنبلند، پیروکسن و پلاژیوکلاز قابل اثبات است. روند نزولی تغییرات CaO نسبت به SiO_2 به دلیل افزایش تفریق و کاهش کانی‌های نام‌برده می‌باشد (شکل ۶-۵).

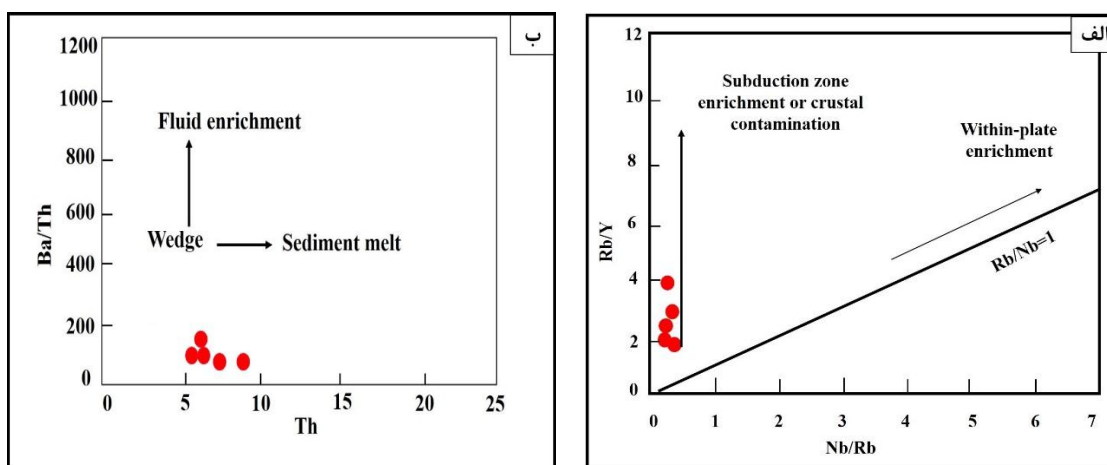


شکل ۶-۵: نمودار تغییرات مقادیر اکسیدهای اصلی در برابر درصد وزنی SiO₂، مشاهده می‌شود (Harker, 1909).

۶-۳-۵- عوامل مؤثر بر ماگماتیسم منطقه

از عوامل کنترل کننده ماگماتیسم در کمان‌های ماگمایی می‌توان به گوه گوشته‌ای، ورقه اقیانوسی فرورونده، رسوبات فرورونده، ضخامت پوسته و شیب ورقه فرورونده اشاره کرد. ماگمای مرتبط با فرورانش، درجات بالایی از غنی‌شدگی را نشان می‌دهند که احتمالاً نتیجه سرچشمه گرفتن از خاستگاه گوشته‌ای غنی‌شده و

آلودگی با ورقه پوسته‌ای می‌باشد. برای تشخیص غنی‌شدگی در پهنه فرورانش و یا آلودگی ورقه پوسته‌ای از نمودار ارائه شده توسط (Temel et al., 1998) استفاده شد. در نمودار نام‌برده اگر $Rb / Nb = 1$ باشد، نشان‌دهنده غنی‌شدگی درون صفحه‌ای می‌باشد، در حالی که نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در محدوده گوشته غنی‌شده با آغستگی پوسته‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۶-۶، الف). عناصر Rb و Th در سنگ‌های پوسته‌ای بیشتر از سنگ‌های گوشته‌ای دیده می‌شوند و همچنین تحت تأثیر تبلور با حضور آب یا بدون آب قرار نمی‌گیرند. از آنجایی که Th در تعیین نقش رسوبات فرورانده در سیستم کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، برای تعیین نقش رسوبات فرورانده شده از نمودار Ba/Th در مقابل Th، استفاده شد (Hawkesworth et al., 1997). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه میزان نسبتاً بالایی Th و نسبت پایینی از Ba/Th را نشان می‌دهند که احتمالاً ناشی از نقش رسوبات فرورانده در تشکیل ماگمای مادر این سنگ‌ها است (شکل ۶-۶، ب).

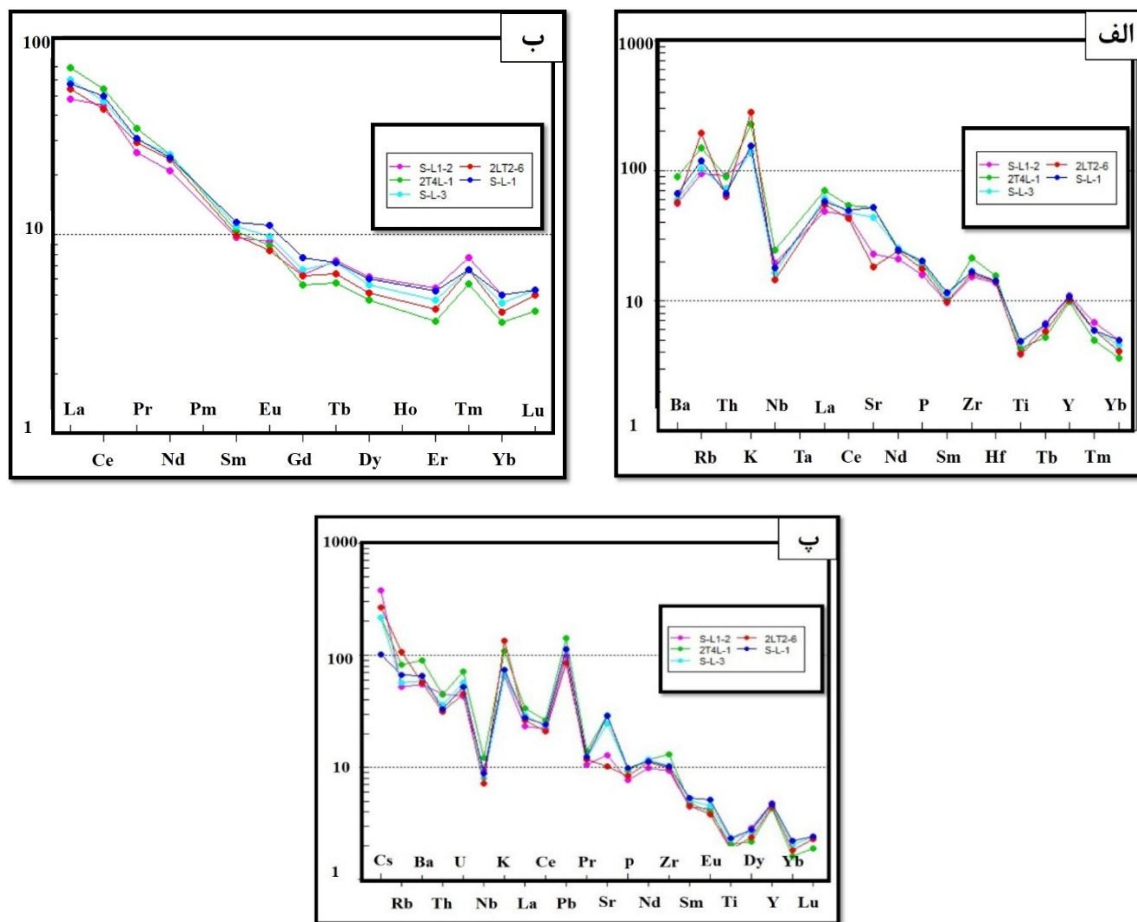


شکل ۶-۶: (الف) موقعیت سنگ‌های منطقه ساغری در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb ، که در محدوده گوشته غنی‌شده با آغستگی پوسته‌ای قرار گرفته‌اند، (Temel et al, 1998)، (ب) تعیین نقش رسوبات فرورانده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th، مشاهده می‌شود (Hawkesworth et al., 1997).

۶-۳-۶- ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی

کانسارهایی که توسط سامانه‌های گرمایی تشکیل می‌شوند دارای ترکیباتی از عناصر کمیاب بوده که منعکس کننده شرایط حمل و ته‌نشینی توسط محلول‌های گرمایی هستند. این عناصر کمیاب به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ LILE (عناصر لیتوفیل بزرگیون، مانند Pb, Rb, Cs, Sr, Ba, K, Eu²⁺ و Pb²⁺) و HFSE (عناصر با شدت میدان قوی، مانند U, Ta, Nb, Th, Zr, Ce و Ti)، (منصوری، ۱۳۹۰). عناصر نادر خاکی (REE)، به عنوان ردیاب و شناساگر در مطالعات ژئوشیمی کاربرد فراوان دارند و شامل؛ عناصر نادر خاکی سبک (LREE) با عدد اتمی پایین، عناصر نادر خاکی متوسط (MREE) با عدد اتمی متوسط و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) با عدد اتمی بالا می‌باشند. برای شناخت بهتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، از نمودارهای به‌هنجار شده مربوط به عناصر نادر خاکی و نمودارهای عنکبوتی نسبت به کندریت و گوشته اولیه استفاده شد. بر پایه نمودار (Tampson (1982)، عناصر K و Rb، غنی‌شدگی و عناصر Ti و Nb، تهی‌شدگی از خود نشان می‌دهند (شکل ۶-۸، الف). غنی‌شدگی عناصر K و Rb نشان‌دهنده آغستگی ماگمای اولیه با پوسته می‌باشد. عناصر Ti و Nb در ورقه پوسته‌ای به صورت محدود وجود دارند و آرایش مواد آتشفشانی با ورقه پوسته‌ای، این عناصر را در سطوح بالاتر آشکار می‌سازد. بدین ترتیب روند تغییرات این نمونه‌ها نشان‌دهنده محیط کمان ماگمایی است (Cabral and beaudion, 2007; Mehrabi et al., 2012). با توجه به نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، از عناصر LREE به سمت عناصر HREE، نسبت شیب عناصر رو به کاهش است. لازم به ذکر است این امر از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکالن است (بهرام‌پور، ۱۳۹۳)، (شکل ۶-۸، ب). همچنین نمودار به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonogh, 1989)، تمرکز بالایی از عناصر LILE مانند Pb و K و تمرکز پایینی از عناصر HFSE مانند Nb و Ti نشان می‌دهد (شکل ۶-۸، پ). غنی‌شدگی از LILE می‌تواند در نتیجه درجات پایین ذوب بخشی از منشأ گوشته‌ای، تحرک

عناصر طی دگرسانی، نقش گوشته‌ی متاسوماتیزه، آلودگی به وسیله مواد پوسته‌ای و یا دخالت پوسته در تولید سنگ‌های منطقه باشد. آنومالی منفی Nb و Ti به عوامل گوناگونی نسبت داده می‌شود که فهرست‌وار عبارتند از: ۱- مشخصه ماگماتیسم مرتبط با فرآیند فرورانش است (Kuster and Harms, 1998). ۲- وجه مشخصه سنگ‌های پوسته قاره‌ای و شرکت پوسته در فرایندهای ماگمایی است (Rolinson, 1993). ۳- نشانه فقر این عناصر در منشأ، پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آن‌ها در طی فرآیند تفریق است (Wu et al., 2003).



شکل ۶-۸: (الف) غلظت عناصر کمیاب به‌هنجار شده نسبت به کندریت، (Tampson, 1982)، (ب) نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، (پ) نمودار به‌هنجار شده عناصر کمیاب سنگ‌های منطقه در برابر گوشته اولیه (Sun and McDonogh, 1989).

۴-۶- ژئوشیمی کانسنگ

۴-۶-۱- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمی بین عناصر

در مطالعات ژئوشیمیایی اهمیت آماری تحلیل همبستگی داده‌ها در دو سطح اطمینان ۰/۰۱ و ۰/۰۵ مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در همبستگی پیرسون فرض عادی بودن داده‌ها الزامی است و در واقع درجه نزدیکی رابطه میان دو متغیر را در یک خط راست نشان می‌دهد (حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). با توجه به عادی بودن توزیع داده‌ها در این تحقیق از روش پیرسون استفاده شد. تحلیل همبستگی یا ضریب همبستگی دو متغیر برای توصیف ارتباط جفت متغیرها به کار برده می‌شود. به طور صریح می‌توان گفت متغیرهایی که $r > 0.7$ نشان می‌دهند، همبستگی قوی، $0.5 < r < 0.7$ همبستگی متوسط و $r < 0.5$ همبستگی ضعیف نشان می‌دهند (Onim et al., 2012). بررسی ضرایب همبستگی بین مس و سایر عناصر در منطقه ساغری، باتوجه به جدول (۴-۱) به این شرح می‌باشد؛ همبستگی مثبت بالا بین عنصر مس و نقره ($r = 0.884$) و همبستگی مثبت پایین بین عناصر مس و مولیبدن ($r = 0.242$)، بیسموت ($r = 0.238$)، آنتیموان ($r = 0.220$) و آرسنیک ($r = 0.202$) مشاهده می‌شود. همچنین همبستگی منفی بالا بین عناصر مس و سرب ($r = -0.705$)، آلومینیوم ($r = -0.676$) و روی ($r = -0.661$) و همبستگی منفی پایین با کبالت ($r = -0.331$)، سرب ($r = -0.322$)، منگنز ($r = -0.128$) و آهن ($r = -0.110$) نمایان است. نقره در شرایط اکسیدان بدون توجه به تغییرات PH به صورت محلول باقی می‌ماند. همراه بودن مس با نقره نشان‌دهنده پایین بودن فشار مؤثر گوگرد است. همچنین باتوجه به آگاهی از این مطالب که نقره به خوبی در شبکه کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت و کولیت جایگزین می‌شود (Klein, 2005)، انتظار می‌رود نقره در شبکه کانی‌های مس قرار گرفته باشد ولی کانی خاصی برای حضور نقره در مطالعه مقاطع میکروسکوپی و پراش اشعه ایکس (XRD) یافت نشد.

جدول ۶-۱: ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson) عناصر مورد مطالعه در منطقه ساغری.

Ag	Al	As	Ba	Bi	Ce	Co	Cu	Fe	K	Mn	Mo	Nb	Ni	Pb	Sb	Sn	Zn	
1																		
	1																	
		1																
			1															
				1														
					1													
						1												
							1											
								1										
									1									
										1								
											1							
												1						
													1					
														1				
															1			
																1		
																	1	
																		1

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)
*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

۶-۴-۲- آنالیز آتلیز Fire Assay

در آنالیزهای انجام شده با روش ICP-MS، یکی از نمونه‌ها مقدار بالایی از عنصر Ag (25.5ppm) و همچنین As (>100ppm) را نشان می‌دهد. با توجه به رابطه ژئوشیمیایی بین عنصر نقره و آرسنیک با طلا انتظار می‌رفت فراوانی طلا در نمونه قابل توجه باشد. بر این اساس نمونه فوق با روش Fire Assay مورد آنالیز قرار گرفت که نتیجه آن در جدول (۶-۲) نشان داده شده است. میزان طلا در این نمونه 5ppb گزارش شده است که میزان بسیار کم و قابل چشم‌پوشی می‌باشد.

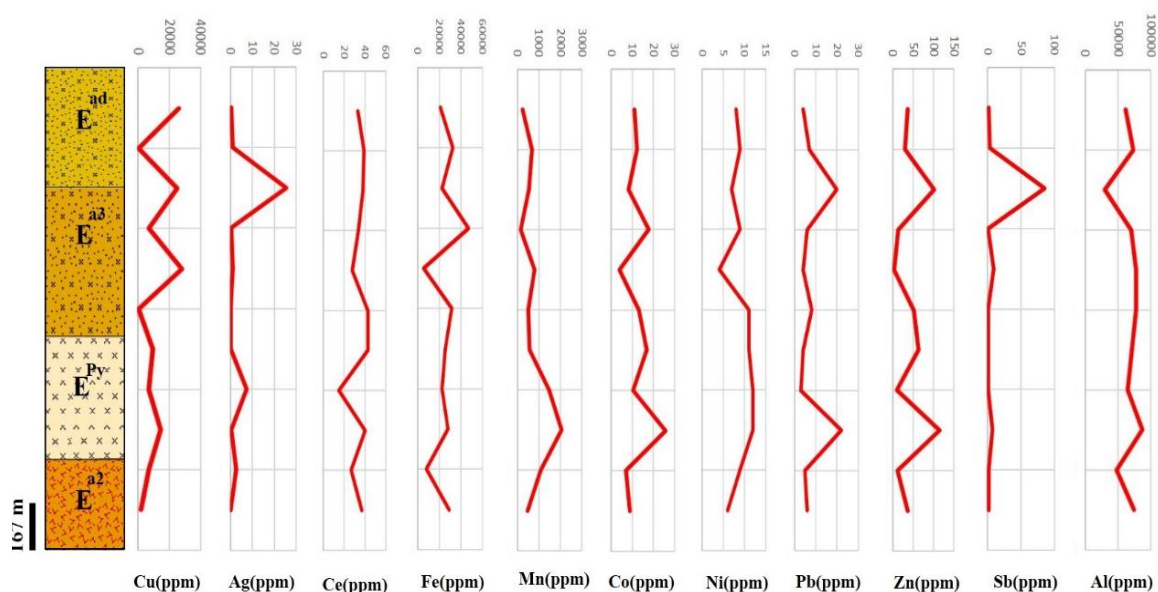
جدول ۶-۲: نتیجه نمونه آنالیز شده به روش Fire Assay برای عنصر طلا.

Sample No.	Lab code	Au (ppb)
S-T5-13	96Zr-1222	5

۶-۴-۱- پراکندگی و همبستگی عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی منطقه ساغری

با توجه به اهمیت بررسی ژئوشیمیایی واحدهای میزبان، تغییرات برخی عناصر در بخشی از ستون چینه-شناسی منطقه مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن در ذیل ارائه می‌گردد.

رخنمون‌های سطحی: جهت بررسی پراکندگی عناصر و همچنین بررسی همبستگی آن‌ها، از مقاطع لیتوژئوشیمیایی استفاده شده است. نمونه‌برداری به صورت منظم و عمود بر روند کانه‌زایی از بخش‌های مختلف انجام و رفتار بعضی عناصر از جمله Cu, Ag, Pb, Zn, Fe, Al, Ce, Ni, Co, Sb, Mn مورد بررسی قرار گرفت (شکل ۶-۹). باتوجه به بررسی‌های انجام شده بر روی کانسار ساغری، در افق‌های کانه‌دار به خصوص واحد E^{a3} ، بیشترین میزان Cu (۲۵۹۲۱ppm) مشاهده می‌شود. همچنین در واحد نام‌برده شاهد افزایش Ag به همراه Cu هستیم و همبستگی مثبت با یکدیگر نشان می‌دهند. در سایر واحدهای موجود به جز واحد E^{Py} میزان Ag بسیار کم دیده می‌شود. با افزایش Ce میزان Cu در بیشتر مقاطع لیتوژئوشیمیایی کم می‌شود و نشان از همبستگی منفی این دو عنصر دارد. Cu در شرایط اکسیدان و pH متوسط تا پایین، محلول می‌باشد در صورتی که Fe در همین شرایط انحلال کمتری از خود نشان می‌دهد و همین امر سبب همبستگی منفی پایینی در این دو عنصر شده است. Fe و Mn رفتار مشابهی با یکدیگر دارند ولی Mn برای ته‌نشست به شرایط pH بالاتر احتیاج دارد (pH=8). بنابراین در شرایطی که Fe ته‌نشست می‌شود (pH=6)، Mn هنوز تمایل به مهاجرت دارد. Fe و Co و Ni با یکدیگر همبستگی مثبت بالا دارند و Co می‌تواند در کانی‌های پیریت و کالکوپیریت جانشین Fe شود (Krauskopf, 1979).



شکل ۶-۹: میزان تغییرات تعدادی از عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی کانسار مس ساغری (بر اساس داده‌های ICP-MS) نمایان است.

روند کاهش عناصر Ni و Co نشان از جدایش این عناصر در طی فرایند تفریق ماگمایی است. همچنین Pb و Zn با یکدیگر همبستگی مثبت بالا و Zn بیشتر از Pb همبستگی منفی با Cu نشان می‌دهد. Ag و Sb رفتاری مشابه به یکدیگر دارند و میزان Sb همانند Ag در واحد E^{a3} بیشترین میزان و در واحدهای دیگر به صورت بسیار کم گزارش شده است. Al نیز همبستگی منفی تقریباً بالایی با Cu نشان می‌دهد. با توجه به مباحث انجام شده می‌توان نتیجه گرفت Cu و عناصر همراه آن در واحدهای میزبان کانه‌زایی بالاترین تمرکز را دارا می‌باشند و با دور شدن از رگه‌ها این عناصر افت محسوسی را نشان می‌دهند.

فصل هفتم

میانبار سیال

۷-۱- مقدمه

یکی از راه‌های مطالعه منشأ و تعیین دمای کانه‌زایی، مطالعه سیال درگیر است (Sorby, 1980). فرایند کانه‌سازی توسط عواملی از قبیل حرارت، فشار، pH و عملکرد آب‌های جوی کنترل می‌شود (Piranjo, 1992). به سیالی که درون یک جامد (مانند کانی) در حین تبلور، قرار گرفته باشد، سیال درگیر یا میان‌بار سیال اطلاق می‌گردد. سیال به‌دام افتاده می‌تواند مایع، گاز و یا سیال فوق بحرانی باشد. بر پایه نظریه (Goldstein and Reynolds, 1994) یک مجموعه میان‌بار سیال، بر پایه همراهی سنگ‌نگاری همه میان‌بارهایی تعریف می‌شود که در یک بازه زمانی خاص در یک زون رشدی یا شکستگی تشکیل شده‌اند. به‌منظور مطالعات سیال درگیر، ۲ نمونه کانی شفاف (کوارتز و کلسیت) همراه با کانه‌زایی در محدوده مورد نظر برداشت و با مطالعه آن‌ها ۹ عدد میان‌بار سیال تشخیص داده شد که نتایج به‌دست آمده به شرح زیر می‌باشد.

۷-۲- روش مطالعه

جهت تعیین دما، شوری، چگالی، ترکیب احتمالی سیال مسئول کانه‌زایی و دگرسانی در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، ۲ نمونه از رگه‌های همراه با کانه‌زایی از جنس کوارتز، کلسیت و باریت انتخاب شد (شکل ۷-۱، الف و ب).



شکل ۷-۱: (الف) تصویر نمونه دستی از نمونه مورد مطالعه که دارای کوارتز و کلسیت است. (ب) نمونه مورد مطالعه که دارای باریت می‌باشد.

این نمونه‌ها پس از تهیه مقاطع نازک دوبرصیقل، در دانشگاه صنعتی شاهرود مطالعه شدند. نتایج حاصل از این مطالعات در جدول (۷-۱) ارائه شده است. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی بر روی مقاطع مورد نظر با استفاده از استیج (Stage) گرمایشی-سرماایشی مدل MDSG600 که بر روی میکروسکوپ ZEISS نصب است در آزمایشگاه سیال درگیر دانشگاه صنعتی شاهرود صورت گرفت. دامنه حرارتی دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰+ می‌باشد. همچنین این دستگاه مجهز به دو کنترل گر گرمایشی (TP94) و سرماایشی (LNP)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. جهت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده شده است:

Heating: ± 0.6 , Freezing: ± 0.2

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

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

کالیبراسیون استیج در گرمایش با دقت ± 0.1 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 ان-هگزان (n-Hexane) با نقطه ذوب 94.3 درجه سانتی‌گراد انجام گرفت.

جدول ۷-۱: نتایج مطالعات حرارت‌سنجی بر روی میان‌بارهای سیال کانی‌های کوارتز و کلسیت منطقه ساغری (N): شماره میان‌بار سیال. T_m : دمای ذوب نهایی یخ. T_E : دمای یوتکتیک. T_H : دمای همگن شدن سیال.

sample	N	Size(μ)	Type	T_E ($^{\circ}\text{C}$)	T_m ($^{\circ}\text{C}$)	Wt%NaCl	T_H ($^{\circ}\text{C}$)
S ₁ (Calcite)	1	4	L+V	nv	-4	6.71	109
	2	4	L+V	nv	-3	5.22	111
S ₂ (Quartz)	1	5	L+V	nv	-8	12	100
	2	6	L+V	nv	-6	9.48	107
	3	4	L+V	nv	-7	10.77	110
	4	6	L+V	nv	-5	8.06	121
	5	5	L+V	nv	-10	14.26	135
	6	8	L+V	nv	-12	16	139
	7	7	L+V	nv	-11	15.32	140

غیر قابل مشاهده: nv:

۷-۳- طبقه بندی سیالات درگیر

از طبقه‌بندی‌هایی که برای سیالات درگیر می‌توان نام برد، طبقه‌بندی پاراژنتیک توسط (Rodder, 1976) است. در طبقه‌بندی پاراژنتیکی، میان‌بارهای اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (PS) معرفی شده‌اند. مسلماً میان‌بارهای اولیه و ثانویه کاذب معرف خصوصیات سیالات موجود در طی رشد هستند در حالیکه میان‌بارهای ثانویه معرف سیالات بعدی هستند که احتمالاً هیچ ارتباطی با سیالات مسئول تبلور اولیه بلور ندارند. طبقه‌بندی بعدی براساس نسبت‌های مختلف جامدات، مایعات و بخار موجود در میان‌بارها ارائه شده‌اند. این الگو به وضوح کاربرد آسان‌تری نسبت به طبقه‌بندی‌های پاراژنتیک دارند چون فردیت در آن‌ها حداقل است. غالباً بهتر است طبقه‌بندی‌ها را براساس فازهای اصلی موجود در دمای اتاق انجام داد. یک طبقه‌بندی ساده ولی مناسب در ادامه توضیح داده می‌شود:

- میان‌بارهای تک فاز مایع (L): این‌ها ساده‌ترین نوع میان‌بارها بوده و تماماً از مایع (معمولاً آبگین) پر شده‌اند.

- میان‌بارهای دو فاز غنی از مایع (L+V): فاز مایع در این‌ها غالب‌تر است اما یک حباب بخار کوچک نیز همیشه وجود دارد و حداکثر حدود ۴۰ تا ۵۰٪ کل حجم میان‌بار را اشغال می‌کند.

- میان‌بارهای دو فاز غنی از بخار (V+L): یک فاز بخار غالب است و بیش از نیمی از حجم میان‌بار را اشغال می‌کند. با وجود این، حاشیه باریکی از مایع هنوز قابل مشاهده است.

- میان‌بارهای تک فاز بخار (V): این‌ها تماماً توسط یک فاز بخار با چگالی کم (معمولاً مخلوطی از CO_2 ، H_2O و N_2) بدون هیچ فاز مایع مرئی پر شده‌اند.

- میان‌بارهای چند فازی جامد و چند جامدی ($S+L\pm V$): هر دوی این‌ها از نظر داشتن یک یا چند فاز بلورین جامد به‌عنوان یک جزء اصلی در کنار مایع و بخار، بهم شباهت دارند. اگر فازهای جامد بیش از ۵۰٪ میان‌بار را اشغال کنند به آن‌ها میان‌بارهای چند جامدی گویند و نه چند فازی.

- میان‌بارهای مایع نامیژاک ($L_1+L_2\pm V$): این‌ها توسط حضور دو مایع نامیژاک مشخص می‌شوند که یکی آبگین بوده و دیگری غنی از CO_2 (یا گاهاً نفت) است. فاز غنی از CO_2 ممکن است حاوی مقادیر قابل توجهی CH_4 و N_2 باشد. یک حباب بخار غنی از CO_2 نیز ممکن است وجود داشته باشد که به چگالی کل فاز غنی از CO_2 بستگی دارد. در میان‌بارهای ۳ فازی از این نوع، فاز آبگین همیشه مایع غنی از CO_2 را احاطه می‌کند و خود مایع غنی از CO_2 ، حباب بخار غنی از CO_2 را در برمی‌گیرد.

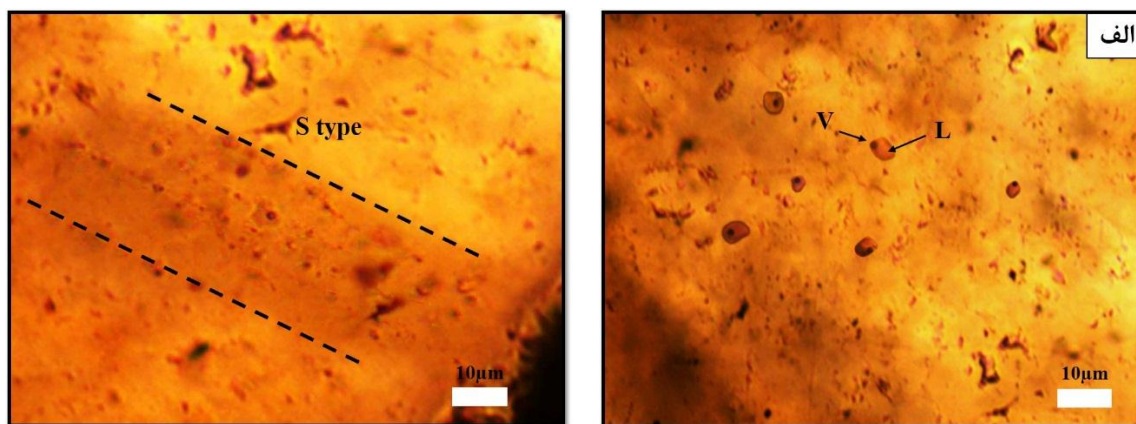
۷-۴- پتروگرافی میان‌بارهای سیال

مطالعه پتروگرافی میان‌بارهای سیال اولین گام در مطالعات آنها بوده و اطلاعات مفید و ارزشمندی از شرایط به دام افتادن سیال و تشکیل بلور از آن حاصل می‌شود. در مطالعه پتروگرافی، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میان‌بارها، رده‌بندی ژنتیکی (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، محتویات آنها ($V+L+S$) و نسبت V/L مورد بررسی قرار می‌گیرند. ۱۰ کانی اصلی که در آن‌ها میان‌بار سیال گزارش شده‌اند عبارتند از: کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتريت. مهم‌ترین ویژگی کانی‌هایی که سیالات درگیر به خوبی در آن‌ها دیده می‌شود، شفاف بودن و غیررنگین بودن آن‌ها است که اساسی‌ترین لازمه هر مطالعه نوری روی میان‌بارهای سیال می‌باشد (Shepherd et al., 1985). در نمونه‌های مورد مطالعه در کانسار مس ساغری این مطالعه بر روی دو نمونه S_1 (از نوع کلسیتی) و S_2 (از نوع کوارتزی) بررسی شده است. در نمونه S_3 (از نوع باریتی) میان‌بار سیالی که قابل اندازه‌گیری باشد مشاهده نگردید.

شکل ظاهری سیالات درگیر: اشکال سیالات درگیر شدیداً متنوع بوده و تا حدودی توسط شکل بلوری کانی میزبان کنترل می‌شوند (Shepherd et al., 1985). اشکال ظاهری در این میان‌بارها اغلب از نوع چندوجهی نامنظم است.

فراوانی میان‌بارهای سیال: تعداد میان‌بارهای سیال در هر دو نمونه (S_1 و S_2) به تعداد کم تا متوسط ولی در نمونه S_1 (کلسیتی) به مقدار خیلی کم‌تر (احتمالاً به علت دمای پایین تشکیل کلسیت نسبت به کوارتز) مشاهده شده و اندازه‌گیری آنها به مراتب سخت‌تر از نمونه S_2 (کوارتزی) بود.

اندازه و نوع میان‌بارهای سیال: اکثر میان‌بارهای سیال کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون هستند و اندازه معمول آنها برای مطالعه میکروسکوپی، بین ۲۰-۲ میکرون می‌باشد، اما اطلاعات میان‌بارهای سیالی که اندازه آنها کمتر از ۴ میکرون باشد فاقد ارزش است (Shepherd et al., 1985). اندازه سیالات درگیر در کانسار مس ساغری از ۱ تا ۸ میکرون متغیر و فازهای مشاهده شده در آنها به صورت دوفازی غنی از مایع ($L+V$) است (شکل ۲-۷، الف). همچنین میان‌بارهای ثانویه در شکل (۲-۷، ب) قابل رؤیت است.



شکل ۲-۷: (الف) سیال دوفازی غنی از مایع و گاز (ب) میان‌بارهای ثانویه مشاهده می‌شود.

۷-۵- مطالعات دماسنجی میان‌بارهای سیال

مطالعه دماسنجی میان‌بارهای سیال به منظور تعیین منشأ و ماهیت سیالات کانه‌دار صورت می‌گیرد که عمدتاً برای تعیین دمای تشکیل و ذوب قطعه یخ، همگن شدن، میزان شوری و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آن‌ها ساخته شده است، توسط عملیات سرمایش (Freezing) و گرمایش (Heating) انجام می‌شوند. هدف از سرد کردن میان‌بارهای سیال، پی بردن به میزان املاح موجود در نمونه یا اصطلاحاً درجه شوری است. برای انجام این عملیات، ابتدا سیال را تا -120 درجه سانتی‌گراد سرد نموده تا کلیه فازهای موجود در سیال منجمد شوند. سپس عملیات سرمایش را متوقف کرده و دما را تا رسیدن به دمای اتاق (25 درجه سانتی‌گراد) افزایش می‌دهیم. پس از مدتی، سیال از حالت انجماد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌کند. اولین قطره مایعی که دیده می‌شود دمای یوتکتیک (T_E) نامیده می‌شود که مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه افزایش دما قطعات یخ همگی ذوب شده و به دمایی که آخرین قطعه یخ ذوب می‌شود، دمای نهایی ذوب یخ (T_m) اطلاق می‌شود. برحسب این دما میزان شوری سیال به دست می‌آید. پس از این مرحله، عملیات گرمایش صورت گرفت که هدف از حرارت دادن میان‌بارها، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده آن است. دمای همگن‌شدگی (T_H) در کانسار ساغری 100 تا 140 درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

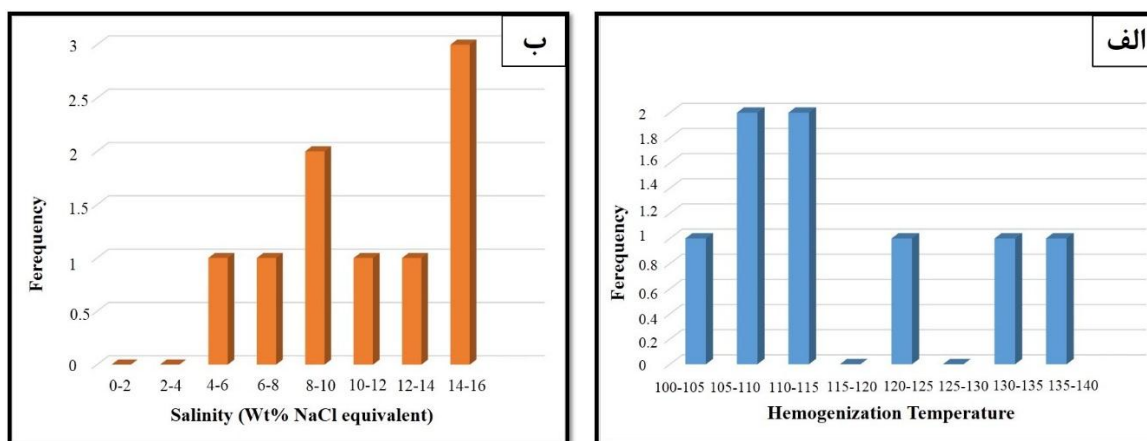
۶-۷- تعیین شوری میان‌بارهای سیال

دمای همگن شدن و شوری معادل درصد وزنی و ارتباطی که با یکدیگر دارند در سیستم‌های گرمایی حائز اهمیت است. باتوجه به اینکه نقطه انجماد آب خالص، صفر درجه سانتی‌گراد است، از روی میزان افت نقطه انجماد یا ذوب، درجه شوری سیال محاسبه می‌شود (Rodder, 1976). با استفاده از دمای نهایی آخرین قطعه یخ (T_m) و دیاگرام مربوطه یا معادله مخصوص، درجه شوری برحسب معادل درصد وزنی کلرید سدیم (NaCl) محاسبه می‌شود. در صورتی که میان‌بار سیال حاوی نمک‌های نوزاد نباشد محاسبه درجه شوری از

فرمول زیر امکان پذیر است (Shepherd et al., 1985). در صورتی که سیال درگیر، حاوی کانی‌های نوزاد هالیت و سیلویت باشد، ناپدید شدن هر کانی مورد توجه قرار گرفته و از دیاگرام خاصی جهت محاسبه درجه شوری استفاده می‌شود.

$$(\text{Wt\% NaCl}) = 1.76958 T_m - 4.2384 \times 10^{-2} T_m^2 + 5.3 \times 10^{-4} T_m^3 + 0.28$$

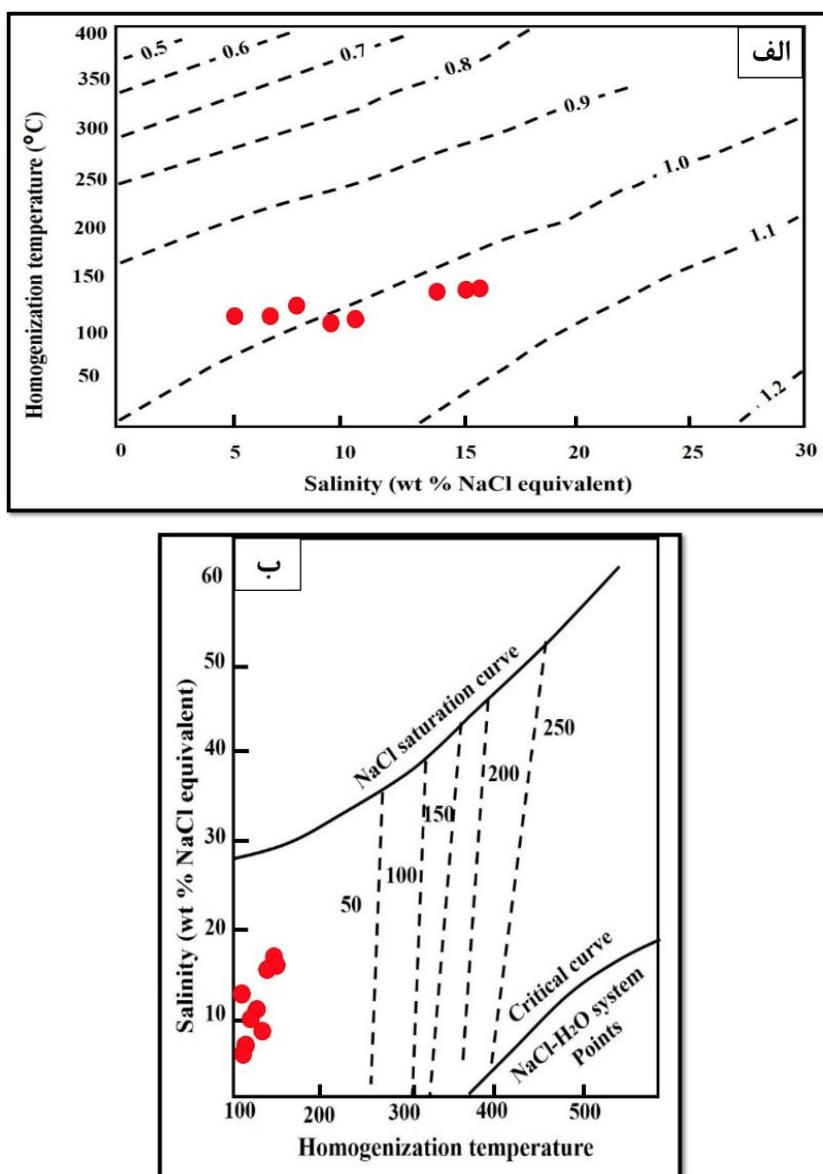
باتوجه به نمودار هیستوگرام فراوانی، میزان شوری در منطقه ساغری برحسب معادل درصد وزنی کلرید سدیم (NaCl)، حدود ۵ تا ۱۶ درصد است (شکل ۷-۳، الف). نمودار شوری در مقابل دمای نهایی ذوب یخ (Large and et al., 1988) رسم شده است (شکل ۷-۳، ب).



شکل ۷-۳: الف) نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن در کانسار مس ساغری و ب) نمودار میزان شوری در میان‌بارهای سیال در کانسار مس ساغری (Large et al., 1988).

۷-۷- تعیین چگالی و فشار بخار میان‌بار سیال

جهت تعیین دمای همگن شدن در مقابل شوری سیال از نمودار (Wilkinson, 2001) و دمای همگن شدن در مقابل میزان شوری از نمودار (Ramdohr, 1980) استفاده شد. چگالی سیالات در بازه ۰/۹ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب (g/cm^3) (شکل ۷-۴، الف) و فشار بخار محلول کمتر از ۵۰ بار است (شکل ۷-۴، ب).

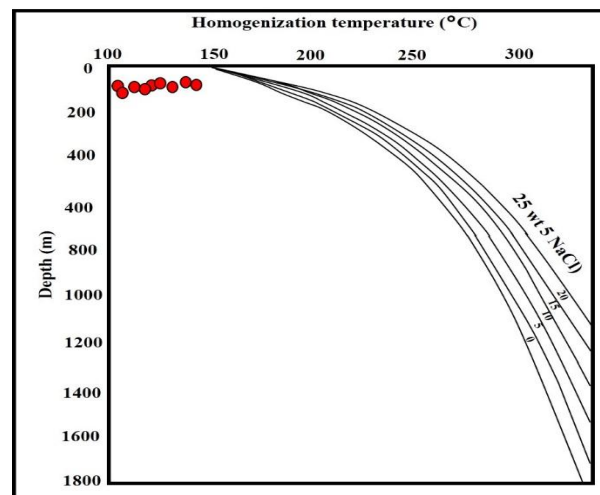


شکل ۷-۴: (الف): نمودار دمای همگن شدن در برابر شوری و تعیین چگالی سیال در نمونه‌های مورد مطالعه (Wilkinson, 2001). (ب) نمودار تعیین فشار بخار محلول بر اساس شوری و دمای همگن شدن (Ramdohr, 1980).

۷-۸- تعیین عمق تشکیل سیالات با استفاده از میان‌بارهای سیال

به‌منظور تعیین عمق به‌دام افتادن میان‌بار سیال از نمودار (Hass, 1971) استفاده شد. براساس این نمودار عمق به‌دام افتادگی میان‌بار سیال بسیار کم (حدود ۱۰۰-۱۵۰ متر) است (شکل ۷-۵). اگر سیال ضمن جوشش به‌دام افتاده باشد، دمای همگن شدن برابر با دمای به‌دام افتادن سیال است. از مهم‌ترین نشانه

جوشش، وجود میان بارهای غنی از مایع و غنی از گاز است که در دمای یکسان به حالت بخار همگن می‌شوند (Roedder, 1984). باتوجه به مطالعات انجام شده در منطقه ساغری پدیده جوشش مشاهده نشده است، پس دمای همگن شدن برابر دمای تشکیل کانسار نمی‌باشد.

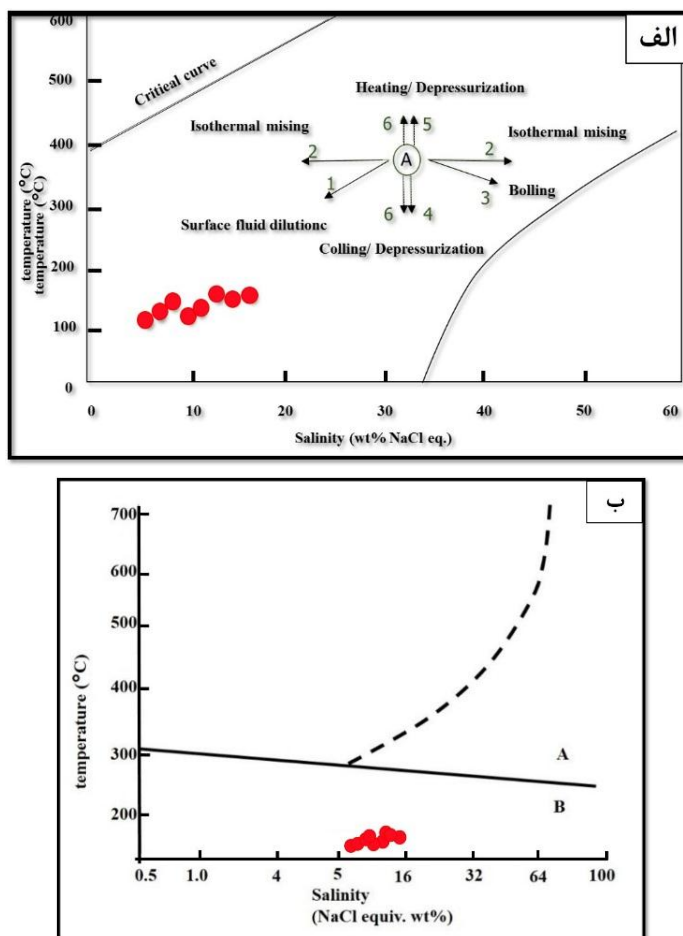


شکل ۷-۵: تعیین عمق به دام افتادن میان بارهای سیال در منطقه مورد مطالعه (Hass, 1971).

۷-۹- تعیین عوامل تهنشست کانه‌ها و نوع کمپلکس‌های احتمالی برای حمل فلزات

در این تحقیق از نمودار (Wilkinson, 2001) برای تعیین مسیر تحول سیال استفاده شد. این نمودار دمای همگن شدن در مقابل شوری را باتوجه به روند میان بارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد (شکل ۷-۶، الف). روند ۱: نشان از آمیخته شدن سیال با سیالات سردتر و دارای شوری پایین دارد. روند ۲: آمیخته شدن سیال ایزوترمال با سیالاتی که شوری متفاوت دارند را نمایش می‌دهد. سیالات جوی با نفوذ به اعماق پوسته‌ای داغ می‌شوند و پس از بالا آمدن به سمت قسمت‌های سطحی‌تر با سیالات گرمایی عمیق آمیختگی پیدا می‌کنند درحالیکه سرد شدن ساده روند ۴ را ایجاد خواهد کرد. روند ۳: جوشش سیال باعث افزایش شوری فاز مایع باقی‌مانده خواهد شد که در منطقه ساغری جوشش رخ نداده است. روند ۵: مسیر نابهنجار یعنی نشت میان بارها را در طی گرم شدن نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن روندهای ۱، ۲ و ۴ برای میان بارهای

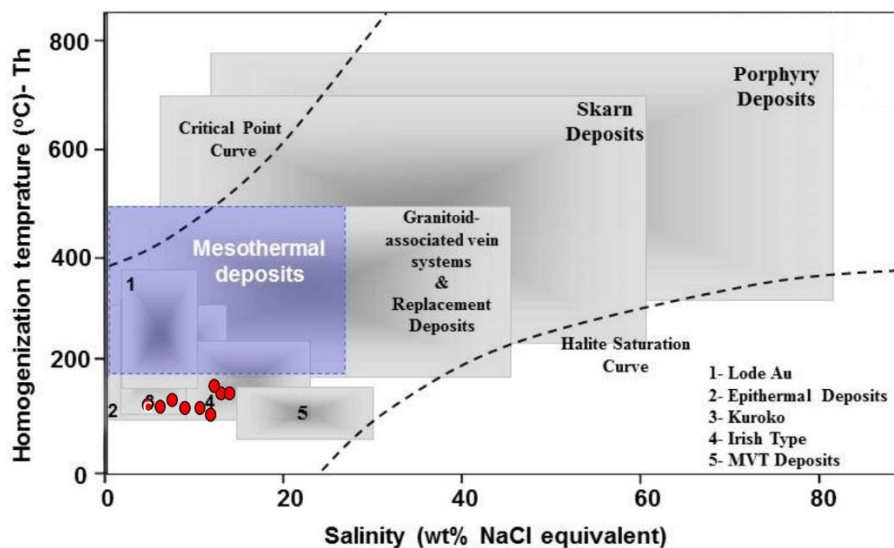
سیال مورد مطالعه فرآیندهای رقیق‌شدگی با سیال‌های سطحی، اختلاط با سیال هم‌دم، سرد شدن و کاهش فشار، باعث ایجاد تحول در سیال شده است. در نمودار بررسی شده نقش آب‌های جوی به‌خوبی نمایان است. در سیال‌های گرمابی با شوری و دمای بالا، کمپلکس‌های کلروری و در دماهای پایین و شوری کم، کمپلکس‌های سولفیدی فلزات پایدارند (Barnes, 1977). در منطقه ساغری دما و شوری پایین است که نمودار (Large et al., 1988) این امر را تأیید می‌کند و نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمپلکس‌های سولفیدی قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۷، ب).



شکل ۶-۷: (الف) نمودار شوری در مقابل دمای همگن شدن جهت تعیین فرآیندهای مؤثر در تکامل سیال و نهشت (Wilkinson, 2001). (ب) نمودار شوری در مقابل دما (Large et al., 1988)، در محدوده A کمپلکس کلریدی و در محدوده B کمپلکس سولفیدی غلبه دارند. نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده B قرار می‌گیرند که معرف نقش کمپلکس‌های سولفیدی در مهاجرت عناصر می‌باشد.

۷-۱۰- تعیین نوع کانسار احتمالی

باتوجه به نمودار دمای همگن شدن و شوری سیال (Wilkinson, 2001)، میانبارهای سیال مورد مطالعه در محدوده کانسار اپی ترمال قرار می‌گیرند (شکل ۷-۷).



شکل ۷-۷: نمودار محدوده دما و شوری میانبارهای سیال در کانسار مس ساغری و تعیین نوع احتمالی کانسار (Wilkinson, 2001). نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده اپی ترمال قرار می‌گیرند.

فصل هشتم

نتیجه‌گیری، تیپ و الگوی تشکیل

کانسار و پیشنهادها

۸-۱- مقدمه

توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی به منظور ارائه الگویی مناسب جهت شناسایی و اکتشاف ذخائر جدید از مهم‌ترین فاکتورهای مطالعه هر کانسار می‌باشد. در این فصل نخست بررسی‌های صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی از جمله سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت، ژئوشیمی و مطالعات دفتری، سپس شرایط و چگونگی تشکیل کانه‌زایی مس ساغری مورد بررسی قرار گرفت. جهت تعیین تیپ کانه‌زایی کانسار مورد نظر با کانسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه و در نهایت تیپ احتمالی کانسار معرفی و پیشنهادات لازم جهت انجام عملیات اکتشافی ارائه می‌گردد.

۸-۲- خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی

۸-۲-۱- جایگاه زمین‌شناسی و زمین‌ساخت

کمان ماگمایی البرز به عنوان بخشی از نوار زمین‌ساختی فعال آلپ-همالیا در شمال ایران به ۳ بخش غربی، مرکزی و شرقی قابل تقسیم است (Stoklin, 1968). نوار ترود-چاه‌شیرین میان دو گسل ترود و انجیلو در بخش مرکزی و شرقی کمان ماگمایی البرز قرار دارد. نخستین مطالعات زمین‌شناسی در این ناحیه توسط اشتوکلین (Stoklin, 1986) انجام شده است که شروع تکاپوی ماگمایی را به سن ائوسن نسبت می‌دهد. این نوار به طور چیره از سنگ‌های آذرین مزوزوئیک پسین تا ترشیری ساخته شده است که بر پایه مطالعات هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، اوج فعالیت ماگمایی در این مجموعه طی ائوسن میانی تا پسین رخ داده است. واحدهای زمین‌شناسی منطقه به ترتیب فراوانی شامل؛ ۱) سنگ‌های آذرآواری از جمله توف، لاپیلی توف و خاکسترهای ریولیتی و به صورت فرعی مارن و ماسه‌سنگ، ۲) گدازه با ترکیب آندزیت و آندزیت بازالتی و ۳) واحد کنگلومرایی الیگومیوسن. بر اساس مطالعات جعفریان و ولی‌زاده (۱۳۶۸)، گدازه‌های

آتشفشانی حجم قابل توجهی را در نوار ترود-چاه‌شیرین تشکیل می‌دهند و این سنگ‌ها بیشتر در محدوده آندزیت قرار می‌گیرند. سنگ‌های منطقه در محدوده سری کالک‌آکالن پتاسیم بالا و به مقدار جزئی شوشونیتی می‌باشند و از دیدگاه زمین‌ساختی در موقعیت کمان ماگمایی و مرتبط با پهنه فرورانش قاره‌ای قرار می‌گیرند.

۸-۲-۲- سنگ میزبان و سنگ‌های همراه

واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه شامل گدازه‌های آتشفشانی (آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت و داسیت)، آذرآوری (توف و آگلومرا) به سن ائوسن و توالی رسوبی تخریبی الیگومیوسن (کنگلومر) هستند. گدازه‌های آندزیتی و بازالتی حاوی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و کانی‌های فرومنیزین در زمینه دانه‌ریز می‌باشند که بافت پورفیری نشان می‌دهند. واحدهای گدازه و آذرآوری میزبان اصلی کانه‌زایی هستند که توسط مجموعه‌ای از دایک‌های بازیک با روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی و شمال‌شرقی-جنوب‌غربی قطع شده‌اند. ماده معدنی به صورت رگه-رگچه‌ای در درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان تشکیل شده است. عوامل ساختاری به خصوص گسل‌ها نقش اساسی در کانه‌زایی داشته‌اند.

۸-۲-۳- شواهد کانی‌شناسی

پیریت و کالکوپیریت از کانی‌های اولیه کانسار محسوب می‌شوند که تحت آبشویی تجزیه و به کانی‌های کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و مقدار جزئی کریزوکولا به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده‌اند. به دلیل هوازدگی سطحی و حضور آنیون بی‌کربنات سولفیدهای مس بیشتر به صورت کانی کربناته مالاکیت با ساختار رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و فضای بین دانه‌ای

گسترش یافته که نشان از فاز ثانویه کانه‌زایی می‌باشد. از کانی‌های باطله می‌توان به کوارتز، کلسیت، ژیپس، باریت و کانی‌های رسی اشاره نمود.

۸-۲-۴- شواهد کانه‌زایی و دگرسانی

کانه‌زایی در منطقه ساغری درون واحدهای آذرآواری (توف) و آتشفشانی (آندزیت تا آندزیت داسیتی) با روند شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی در داخل درزه و شکستگی‌های موجود رخ داده است که نشان از زایش غیرهمزاد (اپی ژنتیک) دارد. از مهم‌ترین عوامل کانه‌زایی می‌توان به؛ سنگ منشأ و میزبان مناسب، عوامل ساختاری (گسل، درزه و شکستگی)، تخلخل و نفوذپذیری سنگ‌های آذرآواری، توده‌های نفوذی و دایک‌ها، اشاره نمود. آندزیت، بازالت و سنگ‌های آذرآواری به‌طور ذاتی محتوی مس می‌باشند که در منطقه گسترش قابل توجه داشته و نقش سنگ منشأ را بازی کرده‌اند. حضور درزه‌ها و شکستگی‌ها و گسل‌ها علاوه بر ایجاد مسیری برای نفوذ آب‌های سطحی، چرخش سیال، فضای مناسبی برای ته‌نشینی ماده معدنی مهیا نموده‌اند. توده‌های نفوذی و دایک‌های موجود در منطقه نقش موتور حرارتی در گرم کردن آب‌های نفوذی و ایجاد چرخه گرمایی داشته‌اند. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی دگرسانی‌های موجود در منطقه عبارتند از: آرژیلیتی، کلریتی، سریسیتی، کربناتی، اکسیدهای آهن (هماتیتی و لیمونیتی) و سیلیسی. این دگرسانی‌ها واحدهای سنگی منطقه را تحت تأثیر قرار داده و باعث تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در آن‌ها شده‌اند که با فاصله گرفتن از محل کانه‌زایی، از شدت آن‌ها کاسته شده است. بیشترین دگرسانی از نوع آرژیلیتی حد واسط و پس از آن دگرسانی سریسیتی و کربناتی می‌باشد. دگرسانی سیلیسی به صورت محدود با دگرسانی کربناته همراه است. بعضی از واحدهای سنگی به دلیل دگرسانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن به رنگ قرمز دیده می‌شوند که حاکی از عبور سیالی است که کانی‌های اولیه پیریت و کالکوپیریت را شسته و ترکیبات اکسید آهن به جای گذاشته است. دگرسانی کلریتی به رنگ سبز به صورت بسیار محدود در منطقه ساغری به چشم می‌خورد.

۸-۲-۵- شواهد ژئوشیمیایی

با توجه به نمودار (Temel et al, 1998)، عوامل کنترل‌کننده ماگماتیسم در منطقه ساغری شامل خصوصیات گوشته غنی‌شده و آلودگی پوسته‌ای می‌باشد. در نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، از عناصر LREE به سمت عناصر HREE، شیب عناصر رو به کاهش است که از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکان می‌باشد. همچنین نمودار به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonogh, 1982)، تمرکز بالای از عناصر LILE مانند Pb و K و تمرکز پایینی از عناصر HFSE مانند Nb و Ti نشان می‌دهد که این امر مشخصه ماگماتیسم مرتبط با فرآیند فرورانش است. بررسی ضرایب همبستگی بین مس و سایر عناصر در منطقه ساغری نشان از همبستگی مثبت بین عنصر مس و نقره و همچنین همبستگی منفی بین عناصر مس، سرب، روی، سربیم و آلومینیوم دارد.

۸-۲-۶- شواهد میان‌بار سیال

باتوجه به نمودار دمای همگن شدن و شوری سیال (Wilkinson, 2001)، میان‌بارهای سیال مورد مطالعه در محدوده کانسار اپی‌ترمال قرار می‌گیرند که با تحقیقات انجام شده هم‌خوانی دارد. درجه همگن شدن میان‌بارهای سیال ۱۴۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد، دامنه تغییرات شوری برحسب معادل درصد وزنی کلرید سدیم (NaCl)، ۵/۲۳ تا ۱۶ درصد و با توجه به روند تغییرات شوری نسبت به دمای همگن شدن، عمق تشکیل سیالات و کانی‌سازی کم و در حدود ۱۰۰ تا ۱۵۰ متر می‌باشد. چگالی سیالات در بازه ۰/۹ تا ۱/۱ گرم بر متر مکعب (g/cm^3) و فشار بخار محلول کمتر از ۵۰ بار است (Wilkinson, 2001). به احتمال بسیار زیاد کاهش دما و شوری در طی صعود سیال و رقیق‌شدگی ناشی از اختلاط سیال کانه‌زا با آب‌های جوی، سبب تشکیل رگه‌های معدنی شده است. تمامی اطلاعات به دست آمده مربوط به آخرین مرحله تشکیل کانسار می‌باشد.

۸-۳- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص جهان

طبقه‌بندی کانسارهای مختلف براساس خصوصیات مشابه (زایش، مکان، عوامل تشکیل و غیره)، توانایی ما را در پی‌جویی و اکتشاف بالا می‌برد. تقسیم‌بندی نهشته‌های کانسار می‌تواند مبتنی بر گروه‌های کانساری (اپی‌ترمال، پورفیری و غیره) و یا براساس لیتولوژی‌های میزبان (کانسارهای وابسته به توده‌های نفوذی فلسیک و کانسارهای وابسته به توده‌های پورفیروآفانتیک) باشد (Kojima et al., 2009). با توجه به فصول گذشته و تمامی اطلاعات به دست آمده در این تحقیق، کانسار مس ساغری با ۴ تیپ کانه‌زایی مس قابل مقایسه می‌باشد:

(۱) کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی‌ترمال)^۱

(۲) کانسارهای مس نوع مانتو^۲

(۳) کانسارهای مس لایه‌های سرخ آتشفشانی^۳

(۴) کانسارهای مس نوع میشیگان^۴

از آنجایی که تعیین تیپ کانه‌زایی در اکتشاف نواحی معدنی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، بدین جهت به مقایسه خصوصیات کلی کانسار ساغری و تیپ‌های نام‌برده با استناد به موقعیت جغرافیایی، محیط تکتونیکی، سری ماگمایی، سنگ میزبان و همراه، سن، کانی‌شناسی، باطله، دگرسانی، ساخت، بافت و عوامل کنترل‌کننده در جدول (۸-۱) پرداخته شده است. با توجه به شاخص‌های اصلی که مورد بررسی قرار گرفته است، کانسار ساغری بیشترین شباهت را به کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی‌ترمال سولفید پایین) از خود نشان می‌دهد. در ادامه جهت آشکار شدن بیشتر این شباهت‌ها، به بررسی تیپ کانسارهای رگه‌ای گرمابی پرداخته شده است.

1 Hydrothermal vein-type (Epithermal)

2 Manto-type Copper

3 Volcanic red bed Copper

4 Michigan (Keweenaw) Type

۸-۴- خصوصیات کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی‌ترمال)

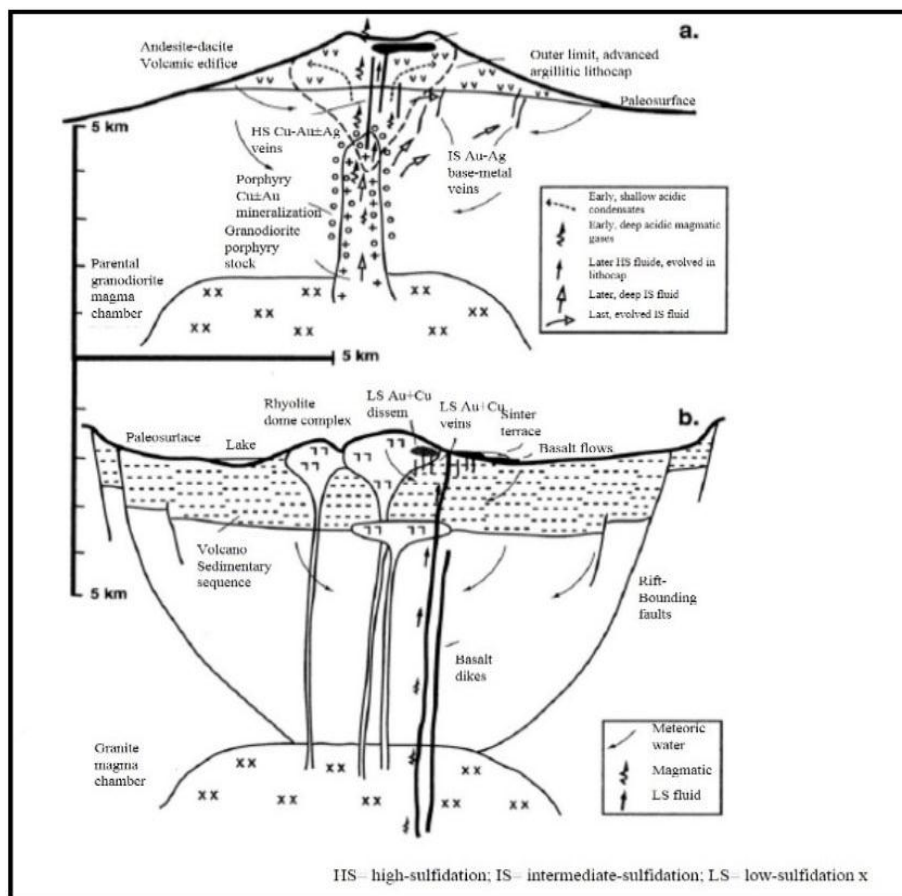
کانسارهای رگه‌ای گرمابی معمولاً در قسمت فوقانی پوسته زمین تا عمق ۱۵۰۰ متری، زیر سطح ایستایی و در دماهای بین ۱۵۰ تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد، بر اثر آب‌های جدا شده از ماگما و یا آب‌های جوی فرورونده در درون گدازه‌ها حاصل می‌شوند. بنابراین در بعضی مناطق، سیالات کانسارساز اساساً ماگمایی می‌باشند و درجه مخلوط شدگی آب‌های جوی و تأثیرات آن متفاوت است. محیط تکتونیکی این کانسارها اغلب با پهنه فرورانش جزایر قوسی و حاشیه قاره‌ها ارتباط دارد (White and Hedenquist, 1995). طبقه‌بندی‌های متفاوتی از جمله کانی‌شناسی، دگرسانی، pH، سولفیداسیون و اکسیداسیون برای آن‌ها در نظر می‌گیرند و در حال حاضر بیشتر به دو نوع کانی‌سازی سولفیداسیون بالا و سولفیداسیون پایین قابل تفکیک می‌باشند (Zhong et al., 2017). کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون پایین از نظر تعداد بیشتر از نوع اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا هستند ولی میزان ذخیره نوع سولفیداسیون بالا بیشتر است. در تقسیم‌بندی دیگر بر اساس ترکیبات سولفیدی درون‌زاد (هیپوژن) توسط (Silotoe and Hedenquist, 2003)، کانسارهای اپی-ترمال به سه دسته سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون متوسط و سولفیداسیون پایین تقسیم می‌شوند. خلاصه-ای از این تقسیم‌بندی در جدول (۸-۲) به نمایش درآمده است. همچنین در شکل (۸-۱) نحوه تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون متوسط و سولفیداسیون پایین بر اساس مدل شماتیک دیده می‌شود (Einaudi et al., 2003).

جدول ۸-۲: برخی از مشخصات مهم کانسارهای گرمابی رگه‌ای موجود در دنیا (Silito and Hedenquist, 2003;)

(Einaudi et al, 2003)

Epithermal Types	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
	Magma Types	Oxidized magma		Reduced magma	-	Subalkaline magma	Alkaline magma
Control	Influenced by the pressure and reactivity of fluids				
Alteration	Propylitic-Argilic		Argilic	Argilic	
Igneous rock composition	Calc-alkaline, andsite-dacite		Calc-alkaline, andsite-rhyolite	Calc-alkaline, alkaline, tholeiitic bimodal basalt-rhyolite	
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, chalcopyrite	Minor to very minor arsenopyrite ± pyrrhotite; minor sphalerite, galena, tetrahedrite tennantite, chalcopyrite	
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, manganese 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 ۸-۱: نحوه تشکیل کانسارهای اپی ترمال سولفیداسیون بالا (LH)، سولفیداسیون متوسط (SI) و سولفیداسیون پایین (LS) بر اساس مدل شماتیک (Siltoe and Hedenquist, 2003) دیده می‌شود.

۸-۴-۱- مقایسه کانسار مس ساغری با تیپ گرمابی رگه‌ای (اپی ترمال)

ویژگی‌های شاخص کانسارهای اپی ترمال با سولفیداسیون بالا شامل؛ شوری نسبتاً زیاد، منشأ ماگمایی، دگرسانی گسترده (آرژیلیتی) و حضور فلزات Au و Cu و به مقدار کمتر Bi، Ag و Te می‌باشد. همچنین از ویژگی‌های کانسارهای اپی ترمال سولفیداسیون پایین می‌توان به شوری کم، منشأ سیالات جوی، گسترش دگرسانی محدود (پروپیلیتی تا آرژیلیتی) و حضور فلزات Au، Cu، Ag، Pb و Zn و به مقدار کمتر Sb، As، Hg و Se اشاره کرد (Zhong et al, 2017). به منظور تعیین تیپ احتمالی، مقایسه‌ای بین کانسار مس

ساغری و تیپ گرمابی رگه‌ای صورت گرفته است (جدول ۸-۳)، (Bartwaite et al, 2001). ملاحظه می‌گردد که از نظر خصوصیات مختلف کانه‌زایی کانسار مس ساغری بیشترین شباهت را با تیپ گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال) دارد. در (جدول ۸-۴) به مقایسه کانسار مس ساغری با انواع کانسارهای اپی‌ترمال در جهان پرداختیم.

جدول ۸-۳: مقایسه کانسار مس ساغری با کانسار گرمابی رگه‌ای

مشخصات	کانسار گرمابی رگه‌ای	کانسار مس ساغری
محیط تکتونیکی	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش
سنگ میزبان	آندزیت، ریولیت، توف و داسیت	آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت، داسیت، توف و آگلومرا
سن تشکیل	عمدتاً سنوزوئیک	ائوسن
عمق و دمای تشکیل	عمق کمتر از ۴۰۰ متر	۱۰۰ تا ۲۰۰ متر
دگرسانی‌های رایج	سریسیتی، آجولاریا و آرژیلیتی متوسط	آرژیلیتی، سیلیسی، کربناتی، سریسیتی، اکسید آهن و کلریتی
بافت	شکافه‌پرکن و رگه‌ای	رگه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و بین دانه‌ای و جانشین
کانی‌شناسی	اسفالریت، گالن، کالکوپیریت و پیریت	مگنتیت، هماتیت، کالکوپیریت و پیریت به مقدار کم، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت و کریزوکولا
فلزات اصلی	Au±Ag (Pb-Zn-Cu)	Cu
ماهیت سیال کانه‌ساز	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی	خنثی، فقیر از گوگرد و احیایی
منشاء سیال کانه‌ساز	آب‌های جوی و ماگمایی	آب‌های جوی و تا حدودی ماگمایی

کانسار ویژگی‌ها	ساغری	فرسنیلو	یوئی‌یانگ	ساهی‌نلی
موقعیت جغرافیایی	ایران	مکزیک	چین	ترکیه
محیط تکنونیک	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	—	—	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش
سنگ میزبان و همراه	آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت، داسیت، توف و آگلومرا	آندزیتی	باتولیت گرانیتی	آندزیت و به طور محلی داسیت
سن	ائوسن	—	ژوراسیک	ائوسن
فلزات اصلی	مس	طلا، نقره، سرب، روی و مس	طلا، نقره، مس	طلا، نقره، سرب، روی و مس
کانی‌شناسی	پیریت، کالکوپیریت، مگنتیت، لیمونیت، هماتیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت، کریزوکولا و اکسیدهای آهن	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، آرسنو پیریت و سولفوسالت نقره، لیمونیت، هماتیت، مالاکیت، آزوریت و نقره خالص	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، آرژنیت، گالن، آدولاریا، گالن، اسفالریت، الکتروم و طلا و نقره طبیعی	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، تتراهدیریت، مولیبدنیت، بورنیت، کالکوسیت، کولیت، سروزیت و گوئنتیت
باطله	کلسیت، کوارتز، باریت، ژبیس و کانی‌های رسی	کوارتز، کلسیت، کلریت و کلسدونی	کوارتز، کلسیت و آپاتیت	کوارتز، باریت و کربنات
دگرسانی	آرژیلیتی، سیلیسی، کربناتی، سربستی و اکسید آهن و کلریتی	—	سربستی، کربنات و آدولاریا	آرژیلیتی، پروپیلیتی و سیلیسی
ساخت و بافت	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و بین دانه‌ای	رگه‌ای	رگه-رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی و کلوفرمی	بافت شانه‌ای کوارتز هیدروترمال، پراکنده، توده‌ای، برش هیدروترمالی
دمای همگن شدن	۱۴۰-۱۰۰ °C	۲۰۰-۳۰۰ °C	۱۸۴-۳۷۹ °C	۲۲۰-۳۰۰ °C
شوری (% wt NaCl)	۵/۲۳-۱۶	۱۲	۰/۴-۷/۴	۰/۵-۹
مرجع	تحقیق حاضر	Simmons et al., 1988	Zhong et al., 2017	Yilmiz et al, 2010

۸-۴-۲- مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص ایران

کانسارهای رگه‌ای گرمابی مربوط به فلزات پایه و گران‌بها در ایران از پتانسیل بالایی برخوردار می‌باشند. این ذخایر معمولاً در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری و در موقعیت کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش قاره‌ای رخ داده‌اند. در جدول (۸-۵)، کانسار مس ساغری با برخی از کانسارهای تیپ گرمابی رگه‌ای شناسایی شده در رشته‌کوه ترود-چاه‌شیرین و همچنین سایر نقاط ایران مقایسه شده است.

۸-۵- عوامل مؤثر در تشکیل کانسار مس ساغری

منشأ و جایگاه تکتونیکی: محدوده کانسار ساغری در پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و دربخش شمال شرقی نوار ترود-چاه‌شیرین واقع شده است. یکی از نظریات در مورد شکل‌گیری نوار ترود-چاه‌شیرین، بسته شدن اقیانوس نئوتتیس در انتهای کرتاسه و ابتدای پالئوسن و فرورانش آن به زیر ورقه ایران مرکزی است که موجب افزایش شدید ماگماتیسم در دوران ائوسن و در انتها سبب شکل‌گیری حوضه‌های آتشفشانی-رسوبی در این ناحیه می‌باشد (آقناباتی، ۱۳۸۳). کانسارهای گرمابی رگه‌ای (سولفید پایین) بیشتر مرتبط با کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش تشکیل می‌شوند (White and Hedenquist, 1995). با توجه به مطالعات ژئوشیمیایی و نمودار (Wood, 1980) در فصل ۶، سنگ‌های منطقه ساغری در بخش بازالت‌های کمان قاره‌ای سری کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند که نشان‌دهنده یک جایگاه تکتونیکی کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش است که برای تشکیل کانسارهای گرمابی رگه‌ای مناسب می‌باشد.

سنگ میزبان: براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی سنگ‌های میزبان کانه‌زایی در منطقه شامل؛ آندزیت، آندزیت بازالتی، بازالت، داسیت، توف و آگلومرا می‌باشند. افق‌های کانه‌دار در داخل واحدهای توف و گدازه‌های آتشفشانی به شکل رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شود. این واحدها به دلیل وجود تخلخل، فضای کافی و شکستگی‌های فراوان محیط مناسبی را برای تمرکز ماده معدنی فراهم کرده‌اند.

جدول ۸-۵: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس ساغری با کانسارهای شاخص ایران

ویژگی	کانسار	ساغری	رباعی	دیان	چاه موسی	چشمه حافظ
موقعیت جغرافیایی	جنوب شاهرود	جنوب دامغان	جنوب دامغان	جنوب دامغان	جنوب شاهرود	جنوب شرق دامغان
محیط تکتونیکی	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش
سنگ میزبان	آندزیت تا بازالت، داسیت، توف و آگلومرا	آندزیت و آندزیت بازالتی	الیوین بازالت، بازالت	بیوتیت- هورنبلند	آندزیت، بازالت، توف برش، ماسه سنگ	آندزیت، بازالت، توف برش، ماسه سنگ
سری ماگمایی	کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی	کالک‌آلکان	آلکان تا کالک آلکالغنی از پتاسیم	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان
دگرسانی	آرژیلیتی، سیلیسی، کربناتی، سریسیتی، اکسید آهن و کلریتی	آرژیلیتی، کلریتی، کربناتی، سیلیسی، سریسیتی	آرژیلیتی، پروپلیتی و سیلیسی	فیلیک، پروپلیتی، اپیدوتی- کلریتی- کلسیتی	پروپلیتی، آرژیلیتی، سریسیتی و سیلیسی	پروپلیتی، آرژیلیتی، سریسیتی و سیلیسی
روند کانی‌زایی	شمال غرب-جنوب شرق و شمال شرق-جنوب غرب	شمال شرق جنوب غرب	-	شمال شرق- جنوب غرب	شمال شرق- جنوب غرب	شمال شرق- جنوب غرب
کانه‌های اصلی	مالاکیت، کالکوسیت، کولیت، پیریت، کالکوپیریت و مس طبیعی	کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کالکوپیریت و مس طبیعی	کالکوپیریت، کالکوسیت، طبیعی، تنوریت و کوپریت	کالکوپیریت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، نئوتوسیت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهیدریت، دیژنیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و طلا	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، تتراهیدریت، دیژنیت، کولیت، کالکوسیت، مالاکیت و طلا
باطله	کلسیت، کوارتز، ژپس، کانی‌های رسی	کلسیت، دولومیت، کوارتز، کانی‌های رسی، پیریت، هماتیت	کوارتز، باریت، کلسیت، پیریت، هماتیت و لیمونیت	کوارتز، کلسیت و پیریت	کوارتز، کلسیت و هماتیت	کوارتز، باریت، کلسیت، پیریت، هماتیت
ساخت و بافت	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و بین دانه‌های	رگه- رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی، جانشینی، دانه پراکنده و اکسلوشن	شکافه‌پرن، رگه- رگچه‌ای و جانشینی	افشان و رگچه‌ای	پرکننده فضای خالی، رگه رگچه‌ای، دانه پراکنده، شانهای و برشی	پرکننده فضای خالی، رگه رگچه‌ای، دانه پراکنده، شانهای و برشی
دمای سیال (TH)	۱۴۰-۱۰۰ °C	۱۷۰-۱۴۰ °C	-	-	-	۲۸۰-۱۴۰ °C
شوری (Wt%NaCl)	۵/۲۳-۱۶	۲-۶	-	-	-	۴/۴۷-۱۸
تیپ کانی‌زایی	گرمایی رگه‌ای (سولفیداسیون پایین)	گرمایی رگه- ای (سولفیداسیون متوسط)	گرمایی رگه‌ای (سولفیداسیون متوسط)	گرمایی رگه‌ای (سولفیداسیون پایین)	گرمایی رگه‌ای (سولفیداسیون متوسط)	گرمایی رگه‌ای (سولفیداسیون متوسط)
مرجع	تحقیق حاضر	عبداللهی، ۱۳۹۵	ناهدی‌فر، ۱۳۹۳	امام جمعه و همکاران، ۱۳۸۷	مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳	مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳

ادامه جدول ۸-۵: مقایسه ویژگی‌های کنسار مس ساغری با کنسارهای شاخص اپی‌ترمال ایران

ویژگی	کنسار	یارالوجه	چالو	گلوچه
موقعیت جغرافیایی	شمال غربی اهر	جنوب شاهرود	شمال زنجان	
محیط نکتونیک	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	حاشیه فعال قاره‌ای	کمان ماگمایی مرتبط با فرورانش	
سنگ میزبان	توده نفوذی میکرودیوریتی	تراکی‌اندزیت، آندزیت بازالتی و بازالت اسپیلیتی	آندزیت، آندزی‌بازالت، تراکی‌اندزیت، داسیت و توف	
سری ماگمایی	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	ساب‌آلکان تا کالک‌آلکان غنی از پتاسیم	
دگرسانی	سریسیتی و کربناتی	سیلیسی، سولفیدی، سریسیتی و پتاسیک	فیلیک، پروپلیتی، آرژیلیتی، سریسیتی و سیلیسی	
روند کانی‌زایی	-	شمال شرق - جنوب غرب	شمال غرب - جنوب شرقی	
کانه‌های اصلی	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت و پیریت	مگنتیت، بورنیت، گالن، تتراهدردیت، طلا، کالکوپیریت، پیریت، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، کریزوکولا و هماتیت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، سروزیت، انگلزیت، مالاکیت، آزوریت	
باطله	کوارتز و کربنات	کلسیت، کوارتز، باریت و اکسیدهای آهن	کوارتز، کلسیت، فلوریت، پیریت، پیرولوزیت، هماتیت و گوتیت	
ساخت و بافت	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضای خالی و جانیشینی	رگه-رگچه‌ای، شکافه‌پرکن، برشی و انتشاری	پرکننده فضای خالی، جانیشینی و برشی	
دمای سیال (TH)	۲۰۰-۳۰۰ °C	۲۹۰-۳۵۰ °C	۱۵۰-۳۴۰ °C	
شوری (Wt%NaCl)	-	۳-۱۱	۰/۱-۱۳/۳	
تیپ کانی‌زایی	گرمابی رگه‌ای (سولفیداسیون پایین)	گرمابی رگه‌ای (سولفیداسیون پایین)	اپی‌ترمال سولفید بالا تا متوسط گرمابی رگه‌ای (سولفیداسیون متوسط تا بالا)	
مرجع	جبارزاده و همکاران، ۱۳۹۵	Mehrabi et al., 2015	Mehrabi et al., 2016	

ساختار زمین‌شناسی: برآمدگی نوار ترود-چاه‌شیرین در میان دو دشت شمالی و جنوبی تحت تأثیر عملکرد دو گسل اصلی ترود در جنوب و انجیلو در شمال حاصل شده است. در نتیجه سازوکار چپ‌گرد این دو گسل، تعدادی گسل‌های فرعی در داخل این نوار به‌وجود آمده‌اند که غالباً دو روند شمال شرقی-جنوب غربی (مشابه روند دو گسل اصلی) و روند شمال غربی-جنوب شرقی دارند. این ساختار گسلی نقش بسیار

مهمی در فرو رفتن (نفوذ) آب‌های جوی، چرخه گرمایی، شستشو و دگرسانی سنگ‌های مسیر، مهاجرت مس و در نهایت ته‌نشینی و تجمع ماده معدنی را داشته‌اند.

منبع حرارتی: آب‌های جوی که از امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها به اعماق نفوذ می‌کنند در ابتدا سرد بوده و قابلیت شستشو و انحلال عناصر فلزی را ندارند. این آب‌ها در مجاورت با توده‌های نیمه‌عمیق و دایک‌ها گرم شده و به سمت بالا حرکت می‌کنند. ضمن حرکت این آب‌ها به سطح عناصر فلزی و غیرفلزی انحلال-پذیر را مهاجرت داده و در سطوح بالاتر با کاهش دما و فشار و در نتیجه ناپایدار شدن کمپلکس‌ها، عناصر به شکل کانی مناسب محیط ژئوشیمیایی حاکم، ته‌نشین می‌شوند. حضور دایک‌های فراوان بازیک تا حد واسط در محدوده می‌تواند گواهی بر این مدعا باشد.

منشأ و ماهیت سیالات: در سیستم‌های گرمایی رگه‌ای سولفیداسیون پایین آب‌های جوی نقش اساسی دارند. در صورت وجود توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق، کانسارهای گرمایی رگه‌ای سولفیداسیون پایین در اثر اختلاط آب‌های جوی و ماگمایی تشکیل می‌شوند. در کانسار مس ساغری دمای همگن شدن بین ۱۰۰ تا ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد و شوری حدود ۵ تا ۱۶ درصد وزنی نمک طعام است که بیشتر فرآیند رقیق‌شدگی با آب‌های جوی را نشان می‌دهد. نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده و دگرسانی اطراف آن و همچنین پایین بودن شوری سیال، نشان از ماهیت کمی قلیایی تا نزدیک به خنثی سیال کانه‌ساز می‌باشد.

منشأ عناصر کانه‌ساز: در مورد منشأ احتمالی مس و عناصر همراه آن، می‌توان به سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت تا بازالت و داسیت) و آذرآواری (توف) اشاره نمود. این سنگ‌ها حاوی کانی‌های سیلیکاته ناپایدار (پلاژیوکلاز، پیروکسن و هورنبلند) می‌باشند که مقادیری مس و عناصر همراه در داخل شبکه ساختاری خود دارند. مس و عناصر همراه آن توسط سیالات گرمایی، از داخل شبکه ساختاری کانی‌های نام‌برده شسته شده و وارد سیال کانه‌ساز محیط می‌شوند. از عواملی که بر روی این سیالات اثر می‌گذارد می‌توان به دما، PH، ترکیب شیمیایی سیال و سنگ دیواره اشاره نمود. سیالات حاوی مس ممکن است به طور مستقیم از

ماگما منشأ گرفته باشد که مشارکت آن در کانسار ساغری بسیار محدودتر به نظر می‌رسد. الگوی تشکیل کانسار مورد نظر به صورت شماتیک در شکل (۸-۲) به نمایش درآمده است.

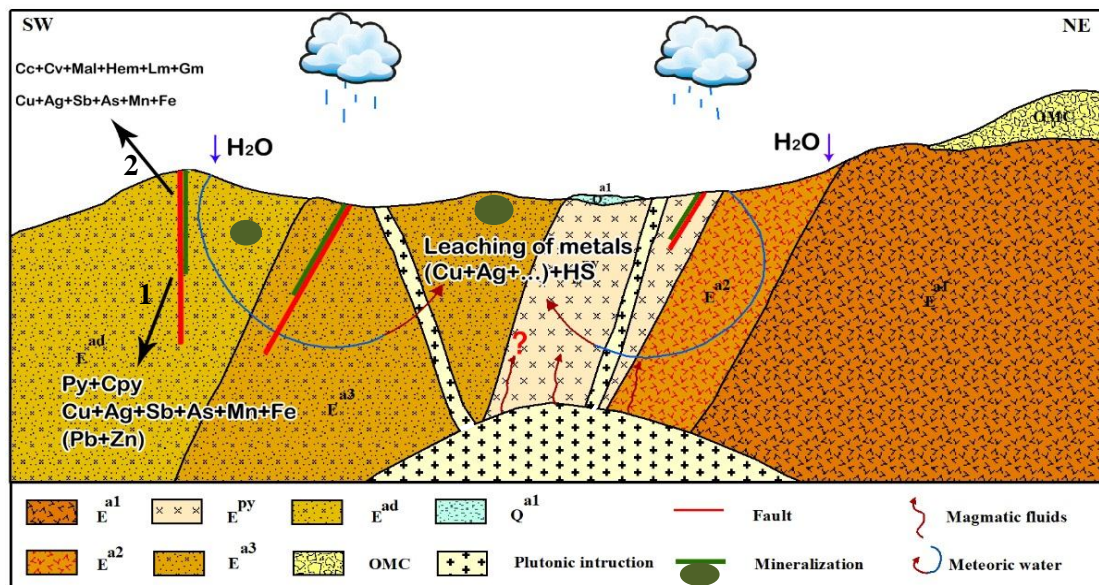
۸-۶- پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی

۱- با توجه به ارتباط کانه‌زایی با سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری به همراه دگرسانی‌های مرتبط با آن و همچنین ارتباط کانه‌زایی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، پیشنهاد می‌شود پی‌جویی مس در مقیاس ناحیه‌ای با استفاده از تکنیک دورسنجی و ژئوفیزیک هواپردی انجام پذیرد.

۲- نتایج به دست آمده در این تحقیق با استفاده از اطلاعات سطحی و حداکثر عمق ۱۰۰ متری کانسار می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی کیفیت و کمیت کانه‌زایی در عمق تعدادی گمانه اکتشافی عمیق در بخش‌های کانه‌دار و مناطق مجاور آن حفر شود.

۳- به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی در این تحقیق بررسی کافی برای تعیین فراوانی طلا صورت نگرفت. با توجه به حضور طلا در برخی نقاط نوار ترود-چاه‌شیرین، نمونه‌برداری و انجام آزمایشات مناسب برای اندازه‌گیری طلا پیشنهاد می‌شود.

۴- انجام مطالعات ایزوتوپی اکسیژن و گوگرد جهت دستیابی دقیق به منشأ سیال گرمابی انجام گردد.



شکل ۸-۲: الگوی تشکیل کانسار مس ساغری به صورت شماتیک نمایان است.

منابع

منابع فارسی

اسماعیلی زینلی م، کریم‌پور م ح و ملک‌زاده شفارودی آ، (۱۳۹۳)، "سنگ‌نگاری، دگرسانی، کانی‌سازی و پی‌جویی‌های ژئوشیمیایی در منطقه‌ی شمال غرب ارغش نیشابور"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال ۲۲، شماره ۱، ص ۶۳ تا ۷۴.

آقناباتی ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ص ۸۵.

امام جمعه ا، راستاد ا، بوذری ف و رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۸۷)، "معرفی سامانه واحد کانه‌زایی افشان-رگچه‌ای و رگه‌ای (مس، سرب، روی) در محدوده معدنی چاه‌موسی-قله‌کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین"، مجله علوم زمین، سال ۱۸، شماره ۷۰، ص ۱۱۲-۱۲۵.

بهرام‌پور م، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پتروژنز، ژئوشیمی و نقش توده‌های سابولکانیک در زایش مس محدوده چاه مورا، شمال ترود"، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

جبارزاده ز، حسین‌زاده م. ا، مؤید م و فرامرزی ر، (۱۳۹۵)، "بررسی ژئوشیمی عناصر فرعی و کمیاب (نادر خاکی) در کانی‌سازی رگه‌ای فلزات پایه منطقه یارالوجه، شمال غرب اهر-آذربایجان شرقی"، فصلنامه زمین‌شناسی ایران، دوره ۱۰، شماره ۳۷، ص ۴۵-۶۱.

جعفریان ع، ولی‌زاده م، (۱۳۶۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی پترولوژی قوس ولکانوپلوتونیک رشته کوه کوه زر-ترود و مجموعه‌های کانه‌زایی وابسته"، دانشگاه تهران.

حسینی پاک ع ا، (۱۳۸۴)، "تحلیل داده‌های اکتشافی"، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه تهران، ۹۸۷ ص.

خادمی م، (۱۳۸۶)، رساله دکتری، "ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ ص.

خان نصر اصفهانی ع، احمدی م، (۱۳۸۴)، "پتروگرافی سنگ‌های آذرین"، انتشارات دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.

- خوبی ن، قربانی م و تاجبخش پ، (۱۳۷۸)، "کانسارهای مس در ایران"، طرح تدوین کتاب، شماره ۶۸، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- ذولفقاری ص، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی پترولوژی سنگ های آتشفشانی ائوسن در محدوده معلمان دامغان"، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران شمال.
- رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تحولات سنگ شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانی‌سازی طلا در منطقه باغو، جنوب شرق دامغان"، دانشگاه تربیت معلم.
- سازمان جغرافیایی ارتش، (۱۳۵۵)، "نقشه توپوگرافی ترود با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰"، شماره ۱-۱۴۰ NII
- سلطانی ا، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار ابری، رهبری و چشمه مرضیه شمال غرب درونه"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شهاب پور ج، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- صادقی فلکدهی ص، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی اقتصادی کانسار چاه موسی در شمال غرب ترود سمنان"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۱۹۴ ص.
- صالحی نسب س، (۱۳۹۴)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و الگوی پیدایش کانسار مس-سلسیت بندقیچی منطقه ترود، جنوب شاهرود"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- طالع ماسوله س، قربانی م، حکیمی آسیابر، س، (۱۳۸۹)، "مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب ترود"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره اول.
- عابدیان ن، دری م، (۱۳۷۵)، "بررسی معادن مس استان سمنان"، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- عبداللهی حیدرباغی ا، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- علوی م، هوشمندزاده ا، (۱۳۵۵)، "نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ منطقه طرود"، انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، نقشه شماره. H5
- فشارکی پ، (۱۳۷۹)، "فرهنگ جغرافیا"، انتشارات امیرکبیر.
- قربانی ق، (۱۳۸۴)، "پترولوژی سنگ‌های ماگمایی جنوب دامغان"، رساله دکتری، دانشگاه شهید بهشتی.
- کاظمی صفا، ا، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "تحلیل ساختاری آرایه شکستگی‌ها در جنوب گسل انجیلو در جنوب دامغان"، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.
- کهنسال ر، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی توده‌های نفوذی نیمه ژرف در محدوده ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان دامغان"، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران 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.
- منصوری، س، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پتروگرافی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای شمال کبود هنگ و اسکارن مرتبط"، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه ابوعلی سینا
- مهرابی ب، قاسم سیانی م و طالع فاضل ا، (۱۳۹۳)، "بررسی سامانه کانه‌زایی فلزات پایه و گرانیتها در محدوده‌های معدنی چشمه حافظ و چالو کمان ماگمایی ترود-چاه شیرین"، فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۴، شماره ۹۳، ص ۱۱۸-۱۰۵.
- مهری، ب، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی، آنالیز رخساره و ژنز کانسار سرب و نقره خانجار (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- ناهدی‌فر م، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.

نوری ل، (۱۳۹۳)، پایاننامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی "بررسی هاله‌های دگرسانی رشته کوه ترود-چاه شیرین با استفاده مطالعات میدانی و پردازش تصاویر ماهواره‌های ASTER" دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان.

نوگل سادات، م ع الف، (۱۹۹۳)، "نقشه سائیزموتکتونیک ایران ۱:۱۰۰۰۰۰"، چارت آزمایشی، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی کشور.

هوشمندزاده ع، علوی نائینی م و حقی پور ع، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود) از پرکامبرین تا عهد حاضر"، سازمان تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی کشور، ص ۱۳۸

- Barnes H. L. (1997). **“Geochemistry of hydrothermal ore deposits”**, (Vol. 1). John Wiley & Sons
- Bates R. L. Jolson J.A. (1980), **" Glossary of geology American Geological Institute"**, Fall church, Virginia, **pp. 151**
- Brathwaite R. L., Simpson M., Faure K., Skinner D. (2001). **“Telescoped porphyry Cu-Mo-Au mineralisation, advanced argillic alteration and quartz-sulphide-gold-anhydrite veins in the Thames District, New Zealand.Mineralium Deposita”**, 36(7), **pp.623-640.**
- Brookins D.G. (1989). **“Aqueous geochemistry of rare earth elements in geochemistry and mineralogy of rare earth elements”**, (editors Lipin, B. R. and Mook, G.A) 12, **pp. 201-225**
- Cabral A. R., Beaudoin G. (2007). **"Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre"**, Quebec Appalachians, Canada. *Mineralium Deposita*, 42 (8), **pp. 901-912**
- Chen Y. and Zhang Y. (2008), **“Olivine dissolution in basaltic melt”**, *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 72(19), **pp.4756-4777.**
- Chen Y. J., Pirajno F., Wu, G., Qi, J. P., Xiong, X. L. (2012). **“Epithermal deposits in north Xinjiang, NW China. International Journal of Earth Sciences”**, 101(4), **pp. 889-917.**
- 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, pp. **176-195.**
- Clark A. M. (1996). **“Mineralogy of the Rare Earth Element, in Rare Earth Geochemistry”**, ELSEVIER. P. **509.**
- Cornwall, H. R., (1951). **" Differentiation in magma of the Keweenawan series"**, *Jour, Geology*, v. 59, **pp. 151-112.**
- Craig G.R., Vaughan, P. (1994), **“Ore Microscopy and Ore Petrography”**. John Wiley and Sons, **434p.** Institute, Falls Church, Virginia, **751p.**
- Craig J.R., Vaughan D.J. and Hagni R.D. (1981), **“Ore microscopy and ore petrography”**, (Vol. 406). New York: Wiley.

Einaudi M. T., Hedenquist J. W., Inan E. E. (2003). **“Sulfidation state of fluids in active and extinct hydrothermal systems: transitions from porphyry to epithermal environments”**. Special Publication-Society of Economic Geologists, 10, pp. 285-314.

Galley A. G. Hannington M. D., Jonasson I. R. (2007), **"Volcanogenic massive sulphide deposits, in Good fellow, W. D., ed., Mineral Deposits of Canada: A synthesis of Major Deposits Division"**, special publication No, 5. pp. 141-161.

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

Gill J. (2012), **"Orogenic andesites and plate tectonics"**, Vol. 16, Springer Science and Business Media, pp. 382.

Goldstein, R. H. , Reynolds, T. J., (1994). **“systematics of fluid inclusions in diagenetic minerals”**, SEPM (society of sedimentary Geology), short course Notes 31, p. 199

Haldar S. K. (2012), **"Mineral exploration: principles and applications"**, Newnes, pp. 334.

Harker, A., (1909). **“The Natural History of Igneous Rock”**, Methuen Co. London. p.344

Hass 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.

Hawkesworth C. Turner S. Peate D. McDermott F., Calsteren p. (1997). **"Elemental U and Th variations in island arc rocks: implications for U-series isotopes"**, Chemical Geology, 139 (1-4), pp. 207-221.

Irvine T.N.J, 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.

Klein, C., (2005). **“Some Precambrian banded iron-formations (BIFs) from around the world: their age, geologic setting, mineralogy, metamorphism, geochemistry, and origin”**, American Mineralogist, 90(10), pp.1473-1499.

Kojima S., Trista-Aguilera D., Hayashi, K. I. (2009). **“Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits”**. Resource geology, 59(1), pp. 87-98.

- Kouzmanov, K., Ramboz, C., (2004). "Genesis of High-sulfidation vinciennite-bearing Cu-As-Sn (\pm Au) assemblage from Thr radka epithermal copper deposit", V, 42, pp. 501-1521.
- Krauskopf, K-B., (1979). "Introduction to Geochemistry. MC Graw Hill Book Company", McGraw-Hill
- Kuster D., Harms U., (1998). "post- Collisional potassic granitoids from the southern and northwestern parts of the late Neoprotozoic East African Orogen", a review. Lithos. 45: p.177-195
- 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.
- 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., Mumin H. (2004), "Ore Mineral Atlas", 107 Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaze.
- McMillan W. J., Panteleyev A., (1990). "Porphyry copper deposits", in: reports R. G. and Sheahan P. A., ed.: ore deposit models" Geological Association of Canada, p. 45-59.
- Mehrabi B., Ghasemi S. M., Tale F. E. (2015). "structural control on epithermal mineralization in the Troude-Chahshirin belt using point pattern and Fry analyses, north of Iran", Geotectonics, 49(4), pp 320-331.
- 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.

Montoya, J.W., Hemley., J.J., (1975). **“Activity relations and stabilities in alkali feldspar and Mica alteration reactions”**, Econ.Geol., V.70., pp. **577-594**.

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, **p.76**

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**.

Oinam, J.D., Ramanathan, A.L., Singh, G., (2012). **“Geochemical and statistical evaluation of groundwater in Imphal and Thoubal district of Manipur, India”**, Journal of Asian Earth Sciences, 48, pp.**136-149**.

Pearce J. A. (1983). **“Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins”**.

Pearce J. A. (1996). **“A user’s guide to basalt discrimination diagrams. Trace element geochemistry of volcanic rocks: applications for massive sulphide exploration”**, Geological Association of Canada, short course Notes, 12 (79), pp **113**.

Peccerillo, A., Taylor, S. R. (1976). **“Geochemistry of Eocen calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey”**, Contributions to Mineralogy and Petrology 58, p.**63-81**.

Pirajno F.J. (1992) **“Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and fundamental concepts for the Exploration Geologist”** Springer, verlag, p. 706.

Pirajno H. U., (1987). **“The alteration-mineralization of the Krantzberg tungsten deposit, south West Africa/Namibia”**, South African Journal of Geology, 90(4), pp. **499-508**.

Pirajno, F., (2009). **“Hydrothermal processes associated with meteorite impacts. In Hydrothermal Processes and Mineral Systems”**, Springer Netherlands. pp. **1097-1130**.

Ramdohr P. (1980). **“The ore minerals and their intergrowths, 2nd edn”**, International Series in Earth Sciences 35.

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

Robb L., (2009). **“Introduction to Ore-Forming processes”**, Blackwell publishing, p. **386**

- Rodder E. (1976). **"Fluid inclusions: Reviews in mineralogy"**. v.12, miner. Soc. Am. Reston, Virginia.
- Roedder, E. (1984). **"Fluid inclusions"**, Mineralogical Society of America, Volume 12: pp. 12-45
- Rollinson H. R., (1993). **"Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation"**, Longman, UK, 352.
- 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.
- Shelly D. (1993). **"Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, Microstructures and mineral preferred orientations"**, Chapman & 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., 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. (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., 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., Gemmel J. B., Sawkins F. J. (1988). **"The Santo Nino silver-lead-zinc vein, Fresno District, Zacatecas; Part II, Physical and chemical nature of ore-forming solutions"**. Economic Geology, 83(8), pp. 1619-1641.
- Sorby. H. C. (1980). **"On microscopic structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks"**, Journal of Geological Society, London.
- Stocklin J. (1968). **"structural history and tectonics of Iran: A review"**, American Association of Petroleum Geologist Bulletin, 52 (7), pp. 1229-1258.

- 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.
- Tatsumi Y., Takahashi T. (2006). **“Operation of subduction factory and production of andesite”**. Journal of Mineralogical and Petrological Sciences, 101(3), pp. 145-153.
- Temel A., Gündoğdu M. N., Gourgaud A. (1998). **“Petrological and geochemical characteristics of Cenozoic high-K calc-alkaline volcanism in Konya, Central Anatolia, Turkey”**. Journal of Volcanology and Geothermal Research, 85(1), pp. 327-354.
- Thompson R. N. (1982). **“Magmatism of the British Tertiary volcanic province. Scottish Journal of Geology”**, 18(1), pp. 49-107.
- Tilling, R., (2007). Tuff. In: **McGraw Hill Encyclopedia of Science & Technology, 10th Edition. McGraw-Hill.** Volume 18. 680-682.
- White N. C., Hedenquist J. W. (1995). **“Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration”**. SEG newsletter, 23(1), pp. 9-13.
- Wilkinson J.J. (2001). **“Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits”**, Lithos, 55(1), pp.229-272.
- Winchester J. A., Floyd P. A. (1997). **“Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements”**, Chemical geology, 20, pp. 325-346.
- 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.
- Wu, F.Y., Jahn, B.M., Wilde, S.A., Lo, C.H., Yui, T.F., Lin, Q., Ge, W.C., Sun, D.Y., (2003). **“Highly fractionated I-type granites in NE China (I): geochronology and petrogenesis”**, Lithos, 66(3-4), pp.241-273.
- 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.

Zheng. C. H., Zhang . Z., Wu. C., H, Yao. J., (2017). "**Genesis of the Ciemas Gold Deposit and Relationship with Epithermal Deposits in West java, Indonesia**", constraints from Fluid inclusions and stable Isotopes, *Jornal of the Geological Society of China*, V, 91, pp.1025-1040.

Zhong J. Chen Y. J. QiJ. P. Chen J. Dai M. C., Li J. (2017). "**Geology, fluid inclusion and stable isotope study of the Yueyang Ag-Au-Cu deposite, Zijinshan ore field, Fujian province, china**", *Ore Geology Review*, 86. PP. 254-210.

پیوست

پیوست ۱: جدول مقادیر غلظت اکسیدهای اصلی بر حسب درصد وزنی (به روش XRF). (منطقه ساغری)

شماره نمونه	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5
SiO ₂	۵۶/۹۸	۶۲/۸۸	۵۷/۲۱	۶۵/۵۹	۶۰/۴۷
Al ₂ O ₃	۱۵/۹۸	۱۶/۲	۱۷/۳۱	۱۴/۸۱	۱۷/۲۰
Fe ₂ O ₃	۵/۱۵	۳/۷۸	۴/۱۸	۳/۹۵	۷/۸۹
CaO	۶/۶۵	۵/۲۳	۸/۰۸	۲/۹	۵/۷۷
Na ₂ O	۲/۲	۲/۸۴	۲/۹۵	۲/۷	۲/۰۸
K ₂ O	۲/۲۲	۳/۴۳	۲/۲	۴/۵۸	۳/۰۶
MgO	۱/۷۹	۰/۹۱	۰/۹۶	۰/۷۶	۳/۴۱
BaO	<	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۰۵	۰/۰۵
P ₂ O ₅	۰/۲۲	۰/۲۷	۰/۲۷	۰/۲۳	۰/۲۷
TiO ₂	۰/۴۲	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۳۹	۰/۵
Loi	۸/۲۱	۳/۴۹	۶/۱۱	۰/۷۸	۲/۸۶

پیوست ۲: جدول مقادیر فراوانی عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های منطقه ساغری به روش ICP- MS (گرم در تن).

شماره نمونه	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6	A-7	A-8	A-9	A-10	A-11
Ag	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۲	۰/۸	۷/۵	۱/۱	۲۵/۵	۱/۲	۰/۵	۲/۶
Al	۷۰۵۰۴	۶۴۷۸۰	۷۱۸۶۲	۷۴۴۱۲	۷۷۱۱۲	۶۴۸۷۱	۷۲۷۵۹	۲۹۸۱۷	۷۰۸۴۲	۸۷۰۴۶	۴۷۸۹۷
As	۱۳/۳	۳/۹	۶/۳	۱۱	۱۰/۷	۱۴/۸	۲۰/۵	۱۳۳	۱۰/۷	۲۴/۹	۵/۷
Ba	۳۸۳	۶۲۳	۴۱۵	۳۹۵	۴۵۷	۳۷۲	۱۶۴	۲۰۶	۲۱۸	۱۳۶	۲۶
Be	۱/۲	۱/۶	۱/۳	۱/۲	۱/۳	۱	۰/۸	۰/۸	۱/۳	۰/۸	۰/۵
Bi	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۵	۰/۴	۰/۵	۰/۶	۴/۵
Ca	۳۸۴۱۷	۳۱۹۱۷	۴۹۹۰۵	۱۸۴۷۹	۳۹۷۴۸	۱۴۱۶۱	۳۵۲۳۴	۷۴۷۷۷	۴۳۷۳۲	۳۹۴۲۳	۵۸۳۵۰
Cd	۰/۱	۰/۱	۰/۴	۰/۱	۰/۴	۱	۰/۴	۴/۷	۰/۳	۰/۳	۰/۱
Ce	۳۹	۴۷	۴۱	۳۷	۴۳	۳۴	۳۸	۱۵	۴۳	۴۰	۲۷
Co	۱۲/۱	۸/۷	۱۱/۹	۸/۹	۱۳/۱	۱۷/۸	۸/۱	۱۰/۵	۱۶/۸	۲۵/۷	۷
Cr	۱۰	۱۹	۹	۹	۱۱	۷	۱۱	۲۳	۸	۱۰	۱/۸
Cs	۳	۱/۷	۱/۷	۲/۱	۰/۸	۱/۶	۰/۸	۳/۹	۷	۱/۸	۱/۸
Cu	۱۴۰	۲۲۳	۹۳	۱۷۱۰۴۱	۴۱	۶۵۰۰۰	۲۴۸۳۳	۶۵۰۰۰	۹۲۷۵	۱۴۳۱۸	۶۵۰۰۰
Dy	۲/۱۱	۱/۱۶	۱/۹۳	۱/۷۶	۲/۰۶	۲/۵۶	۱/۷۴	۰/۹	۲/۱	۲/۱۱	۱/۸
Er	۱/۲۲	۰/۸۳	۱/۰۶	۰/۹۵	۱/۱۷	۱/۵۳	۰/۹۵	۰/۴۱	۱/۱۶	۱/۲۶	۱/۰۷
Eu	۰/۷۱	۰/۶۸	۰/۷۶	۰/۶۴	۰/۸۶	۰/۸۵	۰/۶	۰/۱۳	۰/۷۴	۰/۷۵	۰/۴۱
Fe	۳۲۵۴۵	۲۴۷۲۲	۲۷۹۴۷	۲۸۸۹۸	۳۱۴۶۴	۴۷۳۲۸	۲۲۷۸۰	۲۲۷۴۴	۲۵۷۵۶	۲۸۳۶۳	۸۲۷۹
Gd	۱/۷۳	۱/۵۵	۱/۸۵	۱/۷۱	۲/۱۱	۲/۱۴	۱/۵۶	۰/۴۷	۱/۸۴	۲/۰۶	۱/۴۴
Hf	۲/۷۶	۳/۱۱	۲/۸	۲/۸	۲/۸۶	۲/۲۱	۰/۴	۲/۷	۲/۸۱	۱/۴۱	۲/۵۱
In	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۰/۴

پیوست ۲: ادامه جدول مقادیر فراوانی عناصر فرعی و کمیاب در نمونه‌های منطقه ساغری به روش ICP- MS (بر حسب گرم در تن).

K	۱۶۴۰۴	۲۷۱۳۷	۱۶۷۹۲	۳۳۵۵۹	۱۸۴۲۷	۲۶۲۱	۳۶۸۲	۱۳۵۶۷	۴۸۸۸	۵۲۲۲۸	۱۵۱۰۸
La	۱۶	۲۳	۲۰	۱۸	۱۹	۹	۱۹	۵	۲۰	۲۰	۱۲
Li	۳۹	۱۷	۳۲	۱۵	۱۳	۱۱	۸۰	۲۸	۴۱	۷۴	۴۴
Lu	۰/۸۱	۰/۴۱	۰/۱۸	۰/۱۷	۰/۱۸	۰/۲۲	۰/۱۷	۰/۴	۰/۱۹	۰/۲	۰/۱۶
Mg	۹۸۲۰	۵۳۷۷	۵۷۶۶	۵۰۳۶	۸۲۷۷	۵۸۹۹	۷۷۶	۵۸۲۳	۹۳۵۴	۱۰۶۵	۱۶۲۲
Mn	۶۷۳	۵۷۰	۷۰۴	۴۸۹	۴۹۷	۱۵۱	۵۴۶	۱۴۸۰	۵۶۵	۲۰۴۴	۱۰۹۷
Mo	۰/۶	۲/۵	۱/۳	۰/۶	۱/۳	۱/۴	۲/۹	۴/۹	۱	۱/۲	۱/۱
Na	۲۱۱۹۱	۲۵۹۱۹	۲۶۹۵۹	۲۲۷۳۷	۲۵۶۳۳	۳۳۳۵۰	۸۳۵	۹۲۵۲	۱۸۶۴۳	۹۷۳	۵۳۱
Nb	۶/۸	۸/۶	۵/۷	۵/۱	۶/۳	۵/۷	۴/۵	۰/۴	۵/۸	۵/۲	۴/۵
Ni	۹	۱۲	۱۱	۶	۱۱	۹	۷	۱۲	۱۱	۱۲	۹
P	۷۲۹	۸۸۸	۹۱۱	۸۰۳	۹۳۵	۱۶۱۲	۹۱۷	۸۹۱	۱۱۲۲	۹۹۴	۱۱۶۲
Pb	۷	۱۰	۸	۶	۸	۶	۲۰	۳	۴	۲۲	۵
Pr	۲/۹۱	۳/۸۳	۳/۳۸	۳/۲۶	۳/۴۳	۲/۱۷	۳/۱۱	۱/۰۵	۳/۵۱	۳/۸	۱/۹۴
Rb	۳۳	۵۲	۳۶	۶۸	۴۲	۳۸	۱۳	۲۱	۳۶	۱۸	۱۸
S	۳۷/۵	۹۴	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۳۷/۵	۵۲۴۸	۱۰۸	۶۴	۳۷/۵
Sb	۰/۴	۰/۴	۰/۴	۱/۴	۰/۴	۰/۴	۳/۷	۸۵/۱	۰/۴	۷	۱/۲
Sc	۶/۶	۴	۶/۸	۵/۳	۷/۳	۱۱/۲	۷/۱	۵/۷	۶/۷	۸	۳/۴
Se	۰/۷۹	۰/۶۵	۱/۱۴	۰/۶۹	۰/۹۴	۲/۶۵	۰/۸۶	۰/۹۶	۱/۰۸	۱/۲۸	۱/۲۳
Sm	۱/۹۸	۲/۱۱	۲/۲۳	۲/۱۰	۲/۳۵	۲/۳۹	۱/۹۲	۰/۲۲	۱/۹	۲/۴۱	۱/۵۸
Sn	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۵	۰/۸	۰/۸	۰/۷	۰/۵	۰/۸	۰/۷	۰/۹
Sr	۲۷۰/۳	۶۲۰/۶	۵۱۴/۲	۲۱۴/۵	۶۱۱/۱	۴۰۷/۵	۱۷۵/۳	۱۷۳/۴	۲۵۴	۲۱۵/۲	۸۳
Ta	۰/۷	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۶	۰/۶	۰/۴	۰/۱	۰/۶	۰/۵	۰/۴
Tb	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۵	۰/۳	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۳
Te	۰/۲	۰/۴	۰/۴	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۴	۰/۱	۰/۳
Th	۳/۸	۳/۸	۰/۴	۰/۱	۰/۳	۰/۲	۰/۳	۰/۵	۰/۴	۰/۱	۰/۳
Ti	۲۴۶۲	۲۶۶۹	۲۹۷۰	۲۴۱۶	۳۰۳۶	۴۷۴۰	۲۷۸۹	۱۹۴۶	۲۷۳۸	۳۱۲۷	۱۸۰۶
Tl	۰/۳	۰/۴	۰/۲	۰/۵	۰/۲	۰/۲	۰/۱	۰/۱	۰/۲	۰/۱	۰/۱
Tm	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۲	۰/۳	۰/۲	۰/۱	۰/۲	۰/۲	۰/۲
U	۰/۹	۱/۵	۱/۲	۰/۹	۱/۱	۱/۶	۳/۳	۴/۴	۲/۱	۲/۳	۱/۹
V	۷۷	۸۰	۱۲۸	۴۷	۱۰۵	۱۶۲	۱۱۰	۱۴۲	۱۰۸	۹۷	۷۳
W	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۰/۸	۱/۲	۰/۸
Y	۷۷	۸۰	۱۲۸	۴۷	۱۰۵	۱۶۲	۱۱۰	۱۴۲	۱۰۸	۹۷	۷۳
Yb	۱/۱	۰/۸	۱	۰/۹	۱/۱	۱/۴	۰/۹	۰/۴	۱/۲	۱/۱	۱
Zn	۳۰	۲۲	۶۴	۳۷	۵۲	۱۴	۱۰۱	۱۰	۶۴	۱۱۵	۱۲
Zr	۱۰۴	۱۴۷	۱۱۷	۱۱۱	۱۱۴	۸۷	۱۰۲	۳۰	۱۰۲	۱۰۶	۷۵

Abstract

Saghari copper deposit is located 120 Km south of Shahrood, part of volcanic-sedimentary Troudeh-Chah Shirin belt has facies in the northern edge structural-sedimentary zones of Central Iran. Field and petrographical studies, deposit area, consist of andesite, basaltic andesite, basalt, dacite, tuff and agglomerate that indicate Eocene. The rocks are high-K, calc-alkaline in nature and are formed in a magmatic arc setting in a subduction zone. Mineralization in Saghari areas occurred as vein-veintle along the fault planes in a lava and pyroclastic units. The mineral is formed as veins and vein-veintle, cavities, open space filling and disseminated. Fractures resulting from operation of faults in the rocks of the region have created a favorable location for the influence of hydrothermal solution and it is considered as the main controller of mineralization. According to the field observations and mineralogical studies, the mineralization in the region was carried out in two stages: hypogene (pyrite and chalcopyrite) and supergene (chalcocite, covellite, malachite and chrysocolla). The most textures observed in the occurrence of mineralization include vein-veintles, disseminated, replacement, open space filling, colloform and banded. Alterations include: argillitic, sericitization, carbonatization and oxide-Fe and chloritization. In chondrite and primitive mantle normalizing diagrams they have significant enrichment in LREE (K and Pb) and HFSE (Nb and Ti) which is related to the subduction zone. In variation diagrams there is a continuous trend between the mentioned rocks and indicates that they evolved by fractional crystallization. Geochemical studies indicate that copper has only relative correlation with silver. Since silver has not founded as an independent crystalline phase. The results of fluid inclusion studies, frequency homogeneous temperature and salinity fluid in the Saghari copper deposit is respectively 100-140°C and 5/6-15/7 Wt% NaCl. This system was related to evolution of mineralizing hydrothermal fluids and their mixing with cold and low salinity meteoric waters causing in element and mineralogical zonations. Based on petrography, structural control of mineralization, alteration type and its extension and simple mineralogy, fluid inclusion and geochemical studies, it can be concluded that mineralization at Saghari district has characteristics of an individual mineralization system. This system is related to evolution of hydrothermal fluid mineralization resulted in vein-veintle Cu (low-sulfidation epithermal) mineralization.

Keyword: copper, Epithermal Vein, mineralogy, Geochemistry, Eocene, Saghari, Troudeh-Chah Shirin.



Shahrood University Technology

Faculty of Earth Sciences

M.Sc Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Saghary copper deposit,
south of Shahrood**

By: Yeganeh Khoramtaash

Supervisor:

Dr. Farajollah Fardoost

July 2018