

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی -

رسوبی ائوسن-الیگوسن، شمال کاهک سبزوار

نگارنده:

مریم شوقانی مطلق

اساتید راهنما:

دکتر فردین موسیوند

دکتر مهدی جعفرزاده

شهریور ۱۳۹۸

شماره: ۹۸۰۷۱۷۷
تاریخ: ۹۸/۷/۱۵

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم / آقای: مریم شوقانی مطلق با شماره دانشجویی ۹۵۰۸۸۰۴ رشته: زمین شناسی گرایش: زمین شناسی اقتصادی تحت عنوان: کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی انوسن-الیگوسن، شمال کاهک سبزوار، که در تاریخ: ۱۳۹۸/۰۶/۱۶ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: ...): مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

اعضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر فردین موسیوند	۱- استاد راهنمای اول
	استادیار	دکتر مهدی جعفرزاده	۲- استاد راهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مهدی رضایی کپخانی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر فرج الله فردوست	۵- استاد ممتحن اول
	دانشیار	دکتر محمود صادقیان	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز انبیری

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده: ۹۸/۷/۱۵

از مهر: اسفود علی پورزاد

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).



تقدیم به:

پدر بزرگ کرامی ام

((شادوان حاج سید حسین حسینی))

پدر و مادر بزرگوارم

چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند، دستم را گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پرفراز و نشیمن

آموختند.

همسر مهربانم

سایه مهربانش سایه ساز زندگی ام هست، او که اسوه صبر و تحمل بوده و مشکلات را برایم تسهیل نمود.

خواهر عزیزم

که در سایه، همیاری و همدلی او به این منظور نائل شدم.



سپاسگزاری

- ❖ سپاس و ستایش خداوند بخشنده مهربان را که همه مرید اراده اوئیم.
- ❖ در به نتیجه رسیدن این تحقیق، خود را مدیون زحمات و مساعدت‌های عزیزان بسیاری میدانم که بی‌تردید، بدون همکاری و پشتیبانی ایشان، امکان بثمر رسیدن مطلوب آن وجود نمی‌داشت. لذا بر خود لازم میدانم بدین وسیله زحماتشان را ارج نهاده و از همه آن‌ها صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم.
- ❖ خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیبم ساخته تا در سایه درخت پربرار وجودشان بیاسایم و از سایه وجودشان در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم و پدر و مادر همسرم که با لطف و شکیبایی خود مشوق من بوده، والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نامشان دلیلی است بر بودنم.
- ❖ استاد راهنمای دلسوز و بزرگوام، جناب آقای دکتر فردین موسیوند، که بی‌شک راهنمایی‌های ارزنده، دانش و دلسوزی‌های ایشان سبب به انجام رسیدن این تحقیق شده‌است و این حقیر در این راه از دانش و راهنمایی‌های ایشان بهره بسیار برده‌ام استادی که در بسیاری از جنبه‌ها از جمله علمی، اخلاقی، معنوی و اجتماعی الگو و راهنما بودند.
- ❖ استاد راهنمای بزرگوام، جناب آقای دکتر مهدی جعفرزاده که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند.
- ❖ جناب آقایان دکتر فردوست، دکتر علیپور، دکتر صادقیان، دکتر قاسمی و دکتر رضائی استادانی مهربان و دلسوز که صبورانه و دلسوزانه در انجام این تحقیق از راهنمایی‌های ارزشمند این بزرگواران بهره‌مند شده‌ام. همچنین از آقایان مهندس میرباقری مسئول آزمایشگاه اپتیک، مهندس محمدیان مسئول کارگاه مقطع، آقای آقای بخش حمل و نقل، خانم مهندس سعیدی مسئول امور پژوهش دانشکده علوم زمین، خانم فارسی مسئول آموزش دانشکده علوم زمین و جناب آقای آجودانی جهت زحماتشان قدردانی و تشکر می‌نمایم.
- ❖ از فعالین معدنی منطقه، آقایان مهندس فاضلی، عامری و سری‌زن کمال تشکر را دارم.
- ❖ دوستان عزیز و گرامی آقایان نصرالله نیا، عمیدی مهر، پاکیزه، ایمانی خوانی، خلعت بری، سرنخشی و خانم‌ها پزشکی، مددی، آقای، کاظمی، کعبه، غلامی، صفاری، ظفرزاده، اسماعیلی، نبی زاده، مسکینی بخاطر همکاری در طول مراحل تحقیق و همچنین بسیاری از عزیزانی که متأسفانه اینجا امکان تشکر از تک تک ایشان مقدور نیست، تشکر و قدردانی می‌کنم.

این پژوهش با حمایت مالی مجموعه معدنی سردار و سازمان توسعه و نوسازی معدن و صنایع معدنی

ایران انجام شده‌است.

تعهدنامه

اینجانب **مریم شوقانی مطلق** دانشجوی دوره‌ی کارشناسی ارشد رشته‌ی زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده‌ی پایان‌نامه با عنوان **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن-الیگوسن، شمال کاهک سبزوار تحت راهنمایی دکتر فردین موسیوند و دکتر مهدی جعفرزاده** متعهد می‌شوم:

- تحقیقات در این پایان‌نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش‌های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان‌نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ‌جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج بانام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به‌دست آمدن نتایج اصلی پایان‌نامه تأثیرگذار بوده‌اند، در مقالات مستخرج از پایان‌نامه رعایت می‌گردد.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است، ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در تمام مراحل انجام این پایان‌نامه، 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

- تمام حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته‌شده) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد

چکیده

کانه زایی مس در شمال کاهک، در ۱۸۶ کیلومتری شرق شاهرود، در پهنه ساختاری ایران مرکزی و زیرپهنه سبزوار در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن-الیگوسن رخ داده است. توالی میزبان از لحاظ سنگ شناسی از پایین به بالا شامل واحدهای گدازه ای و آگلومرایی بازالتی-آندزیتی ائوسن، آهک نومولیتی ائوسن، واحدهای ماسه سنگی قرمز و خاکستری ائوسن-الیگوسن و مارنهای میوسن می باشد که در تاقدیس کاهک رخنمون دارند. کانه‌زایی مس در این منطقه به دو صورت می باشد: (۱) کانه‌زایی مس با میزبان سنگ‌های آتشفشانی و (۲) کانه‌زایی مس با میزبان رسوبی تخریبی.

کانه زایی مس با میزبان آتشفشانی به صورت چینه‌کران در درون واحدهای آتشفشانی ائوسن در یال جنوبی تاقدیس کاهک بصورت کانسار مس زاواک و در یال شمالی تاقدیس در کمرباطین افق منگنزدار کانسار منگنز و مس سردار بصورت پهنه استرینگر رخ داده‌است. کانه زایی در کانسار مس زاواک بصورت رگه-رگچه ای در داخل واحدهای آگلومرایی و بصورت دانه پراکنده در آهک نومولیتی رخ داده و حاوی کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و مگنتیت بوده که با دگرسانی کلریتی و سربیسیتی همراه است و در کانسار منگنز و مس سردار بصورت رگه-رگچه های کوارتزی سولفیدار و دانه پراکنده حاوی بورنیت، کالکوپیریت و پیریت بوده که با دگرسانی کلریتی همراه می باشد. البته این کانه زایی های اولیه در کانسار زاواک توسط رگچه های کالکوسیتی همراه زئولیت و در کانسار منگنز سردار نیز توسط رگه های حاوی کالکوسیت و یا مس طبیعی ثانویه همراه کلسیت یا زئولیت قطع شده اند.

قابل ذکر است که کانه زایی منگنز نیز بصورت لایه ای (چینه سان) و برونمی در یال شمالی تاقدیس کاهک (کانسار منگنز و مس سردار) در داخل آهک نومولیتی و در یال جنوبی در کانسار مس زاواک بصورت دانه پراکنده داخل ماسه سنگ توفی بر روی واحد آهکی دیده می شود. در کمرباطین واحد منگنز دار لایه ای در هر دو یال تاقدیس، کانه زایی مس بصورت رگه-رگچه ای و دانه پراکنده رخ داده است.

کانه‌زایی مس با میزبان رسوبی در این منطقه غالباً در داخل واحدهای ماسه‌سنگ خاکستری و قرمز بصورت‌های ساخت و بافت عدسی (در امتداد لایه‌بندی سنگ میزبان در محل تجمع فسیلهای گیاهی)، رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده رخ داده است. ماده‌ی معدنی در سنگهای رسوبی حاوی کانی‌های اولیه کالکوسیت و مس طبیعی و کانی‌های ثانویه مالاکیت، کوولیت، کوپریت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. کانی‌های کوارتز، کلسیت و کلریت کانی‌های عمده باطله هستند. آثار و بقایای فسیل گیاهی در افق‌های کانه‌زایی موجود در ماسه سنگهای میزبان یکی از عوامل مهم احیا

کننده محیط و کنترل کننده کانه زایی مس می‌باشد. البته گاهی هم رگه-رگچه های کالکوسیتی و مس طبیعی بصورت قطع کننده در ماسه سنگها دیده می‌شود.

بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، شکل هندسی کانسنگ، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و نوع دگرسانی در کانسارهای مس زاواک و کانسار منگنز و مس سردار اینطور استنباط می‌شود که کانه‌زایی مس در تاقدیس کاهک در چهار مرحله رخ داده است: (۱) مرحله اول: کانه زایی مس در اثر سامانه‌های گرمایی زیردریایی در زیرکف دریا (بصورت همزمان در زیر لایه چینه سان و بروندمی غنی از منگنز) در یک حوضه کششی ریفتی درون کمانی در داخل واحدهای گدازه ای، آگلومرایی و آهک نومولیتی، (۲) مرحله دوم: پرشدگی حوضه ریفتی توسط رسوبات تخریبی و سپس رخداد فاز دیگر کانه زایی مس در طی تدفین و دیاژنز آغازین در محل فسیلهای گیاهی (مس نوع لایه های سرخ) و نیز بصورت رگه-رگچه ای در طی دیاژنز پسین که موجب رخداد رگه-رگچه های کالکوسیتی و مس طبیعی (مس نوع مانتو، آتشفشانی-لایه های سرخ و میشیگان) در واحدهای ماسه سنگی و آتشفشانی شده که در سنگهای آتشفشانی با زئولیت همراه هستند، (۳) مرحله سوم: عملکرد کوهزایی و ایجاد رگه های کلسیتی کالکوسیت دار با روند NW-SE و NE-SW در کانسار منگنز و مس سردار و ایجاد رگه های زئولیتی کالکوسیت دار در کانسار مس زاواک، (۴) مرحله چهارم: سرانجام، این کانه زایی ها دچار فرایند هوازدگی و سوپرژن واقع شده اند.

کلیدواژه‌ها: مس، منگنز، آتشفشانی-رسوبی، ائوسن-الیگوسن، کاهک، مس رسوبی، چینه‌کران، مانتو، میشیگان

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راههای دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....	۳
۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه.....	۴
۴-۱- زمین ریخت‌شناسی.....	۴
۵-۱- وضعیت معیشتی.....	۶
۶-۱- تاریخچه معدنکاری و مطالعاتی.....	۷
۷-۱- طرح مسئله، ضرورت و هدف مطالعه.....	۸
۸-۱- روش مطالعه.....	۹
۸-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع.....	۹
۸-۱-۲- مطالعات صحرایی.....	۹
۸-۱-۳- مطالعات دفتری و آزمایشگاهی.....	۱۰
۹-۱- انواع کنسارهای مس.....	۱۰
۹-۱-۱- کنسارهای ماگمایی - هیدروترمال.....	۱۰
۹-۱-۲- کنسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد.....	۱۱
۹-۱-۳- کنسارهای مس ماگمایی.....	۱۱
۹-۱-۴- کنسارهای مس با میزبان رسوبی.....	۱۱
۹-۱-۵- کنسارهای مس تپ کویناوی (تپ مانتو و آتشفشانی-لایه‌های سرخ).....	۱۳
۱۰-۱- ویژگیهای مهم کنسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی.....	۱۵
۱۱-۱- فازهای کانیزاسی مس در ایران.....	۱۶
۱۲-۱- پراکندگی ذخایر مس ایران.....	۱۷
۱۳-۱- انواع تپهای کانه‌زایی مس در ایران.....	۱۹
۱۳-۱-۱- کنسارهای مس ماگمایی هیدروترمال (پورفیری، اسکارن و رگه ای).....	۲۰
۱۳-۱-۲- کنسارهای مس سولفید توده ای.....	۲۰
۱۳-۱-۳- کنسارهای گروه مس با میزبان رسوبی.....	۲۱
۱۳-۱-۴- کنسارهای گروه میشیگان یا کویناوی یا مانتو (آتشفشانی لایه سرخ).....	۲۱
فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه ای.....	۲۳
۱-۲- مقدمه.....	۲۴
۲-۲- ویژگی های پهنه ساختاری ایران مرکزی در ترشیری.....	۲۵

۲۷	.....چینه‌شناسی	۳-۲
۲۹	.....مزوزوئیک:	۲-۳-۱
۲۹	.....سنوزوئیک:	۲-۳-۲
۳۰	.....ماگماتیسم منطقه:	۴-۲
۳۱	.....سنگهای نفوذی:	۲-۴-۱
۳۱	.....سنگهای بیرونی:	۲-۴-۲
۳۲	.....زمین ساخت منطقه:	۵-۲
۳۲	.....فازهای کوهزایی و جغرافیای دیرینه منطقه:	۲-۵-۱
۳۳	.....ساختارهای زمین ساختی:	۲-۵-۲
۳۹	.....زمین‌شناسی اقتصادی:	۶-۲
۴۱	.....فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی	
۴۲	.....مقدمه	۳-۱
۴۶	.....سنگهای آتشفشانی-رسوبی:	۳-۲
۴۶	.....چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی:	۳-۲-۱
۴۶	.....واحد اول: سنگهای آتشفشانی (E_u^{t2}):	۳-۲-۲
۵۰	.....واحد دوم: آهک توفی نومولیتدار (E_u^1):	۳-۲-۳
۵۱	.....واحد سوم: واحد توف ماسه‌ای (E st):	۳-۲-۴
۵۲	.....واحد چهارم: واحد ماسه‌سنگی (EO^{ms}):	۳-۲-۵
۵۵	.....ساختمانهای رسوبی	۳-۲-۶
۵۶	.....پادگانه‌های آبرفتی کواترنری:	۳-۲-۷
۵۷	.....شرایط تکتونیک کلی منطقه:	۳-۳
۵۷	.....چین خوردگیها:	۳-۳-۱
۵۸	.....گسلها	۳-۳-۲
۵۹	.....مقایسه توالی های چینه‌شناسی یال شمالی و جنوبی تاقدیس کاهک:	۳-۴
۶۳	.....فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی	
۶۴	.....مقدمه	۴-۱
۶۵	.....رخداد کانه‌زایی در تاقدیس کاهک، شرق شاهرود	۴-۲
۶۷	.....کانه‌زایی مس در توالی ائوسن-الیگوسن در منطقه کاهک (شرق شاهرود)	۴-۳
۶۷	.....ویژگیهای کانه‌زایی مس در کانسار زاواک	۴-۴
۶۸	.....واحد‌های سنگی موجود در معدن زاواک:	۴-۴-۱
۶۹	.....واحد‌های کانه‌دار و شکل هندسی ماده معدنی	۴-۴-۲

۷۲	۴-۵-ویژگیهای کانه‌زایی مس در منطقه معدنی کانسار سردار.....
۷۴	۴-۵-۱-واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی سردار.....
۷۴	۴-۵-۲-واحدهای کانه‌دار و شکل هندسی ماده معدنی.....
۸۰	۴-۶-دگرسانی.....
۸۰	۴-۶-۱-دگرسانی در واحدهای آتشفشانی.....
۸۶	۴-۶-۲-دگرسانی و پهنه‌بندی در واحد رسوبی.....
۹۳	فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیکی.....
۹۴	۵-۱-مقدمه.....
۹۵	۵-۲-کانی‌شناسی.....
۹۵	۵-۲-۱-کانیهای اولیه.....
۱۰۵	۵-۲-۲-کانیهای ثانویه.....
۱۱۰	۵-۲-۳-کانیهای باطله.....
۱۱۲	۵-۳-ساخت.....
۱۱۲	۵-۳-۱-ساخت رگه-رگچه‌ای.....
۱۱۴	۵-۳-۲-ساخت نواری.....
۱۱۴	۵-۳-۳-ساخت برشی.....
۱۱۵	۵-۳-۳-ساخت لایه ای تا عدسی.....
۱۱۶	۵-۴-بافت.....
۱۱۷	۵-۴-۱-بافت دانه پراکنده.....
۱۱۸	۵-۴-۲-بافت جانشیني.....
۱۱۹	۵-۴-۳-بافت رگه-رگچه‌ای.....
۱۱۹	۵-۵-بافت و ساخت کانیهای سوپرژن در اندیسه‌های مس رسوبی.....
۱۲۰	۵-۶-توالی پاراژنتیک.....
۱۲۵	فصل ششم: مطالعات ژئوشیمیایی.....
۱۲۶	۶-۱-مقدمه.....
۱۲۶	۶-۲-نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها.....
۱۳۰	۶-۳-ژئوشیمی سنگهای آذرین.....
۱۳۰	۶-۳-۱-تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگهای آتشفشانی.....
۱۳۳	۶-۳-۲-تعیین محیط تکتونیکی.....
۱۳۳	۶-۴-ژئوشیمی عناصر نادرخاکی.....
۱۳۴	۶-۴-۱-الگوی نمودار چند عنصری و REE در سنگهای توالی میزبان کانه‌زایی.....

- ۵-۶- میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر..... ۱۳۶
- ۶-۶- ستونهای لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر در منطقه مورد مطالعه..... ۱۳۸
- ۷-۶- طبقه‌بندی شیمیایی سنگهای رسوبی..... ۱۴۱
- ۶-۷-۱- بررسی ترکیب لیتولوژی سنگ مادر ماسه‌سنگهای مورد مطالعه..... ۱۴۱
- ۶-۷-۲- بررسی جایگاه تکتونیکی منطقه منشأ نهشته های ماسه سنگی..... ۱۴۶
- ۶-۷-۳- مطالعه فراوانی، غنی شدگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ میزبان و کانسنگ اندیسه‌های مس رسوبی ۱۵۰
- ۶-۷-۴- مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در سنگهای میزبان و کانسنگ مس رسوبی ۱۵۱
- ۶-۸- مطالعه میانبارهای سیال..... ۱۵۴
- فصل هفتم: نتیجه‌گیری، الگوی تشکیل، تیپ کانه‌زایی و پیشنهادات اکتشافی..... ۱۵۷
- ۷-۱- مقدمه..... ۱۵۸
- ۷-۲- مختصری از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی..... ۱۵۸
- ۷-۲-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه..... ۱۵۸
- ۷-۲-۲- محیط زمین‌ساختی تشکیل ۱۵۸
- ۷-۲-۳- کانه زایی ۱۵۹
- ۷-۲-۴- ساخت و بافت ماده معدنی..... ۱۶۰
- ۷-۲-۵- کانی شناسی ۱۶۰
- ۷-۲-۶- دگرسانی و منطقه بندی آنها..... ۱۶۱
- ۷-۲-۷- نتایج ژئوشیمی..... ۱۶۲
- ۷-۳- الگوی تشکیل ذخایر معدنی در تاقدیس کاهک..... ۱۶۲
- ۷-۳-۱- مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی- برون‌دمی..... ۱۶۳
- ۷-۳-۲- مرحله ۲: پرشدگی حوضه و عملکرد دیاژنز..... ۱۶۷
- ۷-۳-۳- مرحله ۳: عملکرد کوهزایی..... ۱۷۰
- ۷-۴- تیپ کانه زایی مس در تاقدیس کاهک..... ۱۷۱
- ۷-۴-۱- مقایسه کانه‌زایی مس با میزبان آتشفشانی با کنسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد..... ۱۷۱
- ۷-۴-۲- مقایسه کنسارهای مس با میزبان آتشفشانی با تیپ مانتو..... ۱۷۴
- ۷-۴-۳- مقایسه اندیسه‌های مس با میزبان تخریبی در منطقه با کنسارهای مس رسوبی..... ۱۷۷
- ۷-۵- پیشنهادات اکتشافی..... ۱۸۳
- منابع..... ۱۸۴

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راههای دسترسی به آن..... ۳
- شکل ۱-۲: نمایی از ریخت‌شناسی کاهک دید به سمت شمال..... ۵
- شکل ۱-۳: موقعیت منطقه کاهک و کانه‌زایی مس بر روی تصویر ماهواره‌ای..... ۶
- شکل ۱-۵: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته‌های مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی (Hitzman et al., 1997, 2010)..... ۱۳
- شکل ۲-۵: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته‌های مس تیپ کوبناوی (Kirkham, 1996)..... ۱۵
- شکل ۱-۶: نقشه پهنه‌های ساختاری بر اساس (آقنابتی، 1383 و علوی، ۱۹۹۴) و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس..... ۲۰
- شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی - ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه..... ۲۵
- شکل ۲-۲: پهنه بندی خراسان رضوی و موقعیت زیر پهنه سبزوار در ایران مرکزی حیدری و مناف نژاد ۱۳۷۸..... ۲۷
- شکل ۲-۳: نقشه زمین‌شناسی ناحیه مورد مطالعه که بر اساس تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰..... ۳۰
- شکل ۲-۴: رخنمون دایک قطعکننده‌ی ماسه‌سنگهای ائوسن-الیگوسن..... ۳۲
- شکل ۲-۵: نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن..... ۳۶
- شکل ۲-۶: نمایی از چین خوردگی‌های ماسه‌سنگ ائوسن-الیگوسن..... ۳۷
- شکل ۲-۷: تصویر ماهواره‌ای از دو تاق‌دیس بیزه و کاهک در ناحیه..... ۳۸
- شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بر اساس تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰..... ۴۰
- شکل ۳-۲: داورزن (رادفر و کهنسال ۱۳۷۱) و تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی ترسیم شده است..... ۴۱
- شکل ۳-۳: نمایی از واحد (E_{12}) در زاواک..... ۴۷
- شکل ۳-۴: تقسیم بندی چندتایی سنگهای آذرآواری بر اساس نسبت‌های بمب، بلوک، لاپیلی و خاکستر بر اساس Lemaltre(2002) و موقعیت نمونه‌های کاهک که با علامت ستاره مشخص شده است..... ۴۸
- شکل ۳-۵ الف: نمایی از واحد آگلومرایی و نمونه دستی آن در تاق‌دیس کاهک که میزبان کانه‌زایی مس میباشد. ب و پ: تصویری از مقطع میکروسکوپی واحد آگلومرایی (Px: پیروکسن و Pl: پلاژیوکلاز و Mlc: مالاکیت)..... ۴۹
- شکل ۳-۶: نمایی از واحد آهک نومولیت‌دار و نمونه‌ی دستی از این واحد که حاوی فسیل نومولیت میباشد..... ۵۱

- شکل ۳-۷: تغییرات تراکم نومولیتها به ترتیب از لایه‌های پایینی به بالا در تصاویر (الف، ب، پ) و تصاویر میکروسکوپی (ت، ث، ج)..... ۵۱
- شکل ۳-۸: الف) نمایی از لایه‌ی توف ماسه‌های در معدن منگنز سردار و نمونه‌ی دستی آن، ب و پ) تصویر میکروسکوپی واحد توف ماسه‌های..... ۵۲
- شکل ۳-۹: الف) نمایی از واحد ماسه‌سنگی و نمونه‌ی دستی آن در تاق‌دیس کاهک. ب، پ، ت و ج) تصاویر میکروسکوپی ماسه‌سنگها که بخش اعظم سنگ شامل پلاژیوکلاز: Pl و خرده‌سنگهای آذرین: I-RF و دگرگونی: M-RF میباشد..... ۵۴
- شکل ۳-۱۰: موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوارتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده سنگ (RF) (نمودار فولک، ۱۹۸۰)..... ۵۵
- شکل ۳-۱۱: الف) نمایی از لایه‌بندی ماسه‌سنگ قرمز ب) نمایی از لامیناسیون در ماسه سنگ قرمز پ) ساخت ریپل مارک ت) ساخت ترک گلی ث) وجود آثار گیاهی در ماسه سنگ قرمز (P.F: فسیل گیاهی)..... ۵۶
- شکل ۳-۱۲: نمایی از رسوبات کواترنری در منطقه..... ۵۷
- شکل ۳-۱۳: نمایی از چین‌خوردگی‌ها در تاق‌دیس کاهک..... ۵۸
- شکل ۳-۱۴: نمایی از غسل در واحد ماسه سنگی..... ۵۹
- شکل ۳-۱۵: تصویری از تاق‌دیس کاهک و موقعیت دو کانسار..... ۶۰
- شکل ۳-۱۵: مقایسه توالی چین‌شناسی یال شمالی و جنوبی تاق‌دیس کاهک (بدون مقیاس)..... ۶۱
- شکل ۴-۱: موقعیت تاق‌دیس کاهک در نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) و موقعیت کانه‌زایی‌های مس و منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن..... ۶۶
- جدول ۴-۱: کانسارها و اندیسه‌های مس و منگنز تاق‌دیس کاهک..... ۶۶
- شکل ۴-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی زاواک، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) و برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌های ترسیم شده‌است..... ۶۸
- شکل ۴-۳: الف) پهنه کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای، که رگه‌های vein1 توسط رگه‌های vein2 قطع شده‌است، ب) تصویر نمونه دستی رگه نسل دو، پ) تصویر میکروسکوپی از رگه زئولیتی-کلسیتی ت) تصویر نمونه دستی از رگه نسل یک، تصویر میکروسکوپی از رگه سیلیسی..... ۷۰
- شکل ۴-۴: تصاویری از کانسار زاواک: الف) کانه‌زایی برشی در واحد آگلومرای، ب) توالی واحدهای آذرین همراه با کانه‌زایی و آهک توفی نومولیتدار، پ) توالی ماسه سنگ خاکستری و قرمز ت) کانسنگ نواری..... ۷۱
- شکل ۴-۵: تصویر ماهواره‌های از موقعیت اندیسه‌ها در یال شمالی کاهک..... ۷۲
- ۴-۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی سردار، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) و برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌های ترسیم شده‌است..... ۷۳
- شکل ۴-۷: الف) نمایی از ترانسه مس، ب) دیپوی مس، ج) تصویری از رگه-رگچه‌های مس در واحد گدازه که دارای بافت برشی میباشد..... ۷۵

- شکل ۴-۸: الف) نمایی از واحد توف ماسه‌ای، ب) تصویر نمونه دستی از رگه-رگچه‌های کالکوپیریت، ج) تصویر میکروسکوپی از رگه کالکوپیریت (Ccp: کالکوپیریت، Cv: کولیت، Bn: بورنیت، Mlc: مالاکیت، Ght: گوتیت، Lpdc: لپیدوکروزیت)..... ۷۶
- شکل ۴-۹: الف) تصویر ماسه سنگ خاکستری، ب) تصویری از مقطع میکروسکوپی ماسه سنگ خاکستری..... ۷۷
- شکل ۴-۱۰: الف) نمایی از کانه‌زایی مس رسوبی بصورت پیچ پیچ در ماسه‌سنگ خاکستری، ب) تصویری از فسیل گیاهی همراه با کانه‌زایی بارز مس. (P.F: فسیل گیاهی، Coal: زغال، Cct: کالکوسیت، Gss: ماسه سنگ خاکستری، Mlc: مالاکیت)..... ۷۸
- شکل ۴-۱۱: الف و ب) تصویری از رگهی مس طبیعی در کارگاه قدیمی درون واحد آتشفشانی، پ و ت) نمایی از وجود مس طبیعی و کوپریت درون واحد ماسه سنگ خاکستری در کنار فسیلهای گیاهی..... ۷۹
- شکل ۴-۱۱: الف) نمایی از پهنه دگرسانی کلریتی و زئولیتی در کانسار مس زاواک، ب) دگرسانی زئولیتی، پ) دگرسانی کلریتی که توسط دگرسانی زئولیتی قطع شده‌است، ت) نمونه دستی از دگرسانی کلریتی..... ۸۲
- شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانیهای تشخیص داده شده برای نمونه F41 کانسار زاواک..... ۸۳
- شکل ۴-۱۳: الف) تصویری از نمونه دستی زئولیت، ب) تصویر میکروسکوپی از زئولیت..... ۸۴
- شکل ۴-۱۴: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانیهای تشخیص داده شده برای نمونه F31 کانسار زاواک که بیانگر دگرسانی زئولیتی میباشد که با کانی آنالسیم مشخص شده‌است..... ۸۴
- شکل ۴-۱۵: تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازهای دگرسان شده سرسیتی در کانسار مس زاواک..... ۸۵
- شکل ۴-۱۶: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانیهای تشخیص داده شده برای نمونه F64 اندیس سردار که نشانگر دگرسانی سرسیتی میباشد که با کانیهای کالکوپیریت و کوارتز مشخص شده‌است..... ۸۶
- شکل ۴-۱۷: شکل شماتیک عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه‌گانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی در کانسار مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰)..... ۸۷
- شکل ۴-۱۸: الف) تصویری از پهنه قرمز اکسیدان در منطقه، ب) تصویر میکروسکوپی از ماسه سنگ قرمز..... ۸۸
- شکل ۴-۱۹: پهنه شسته شده در منطقه که بر روی پهنه قرمز قرار گرفته است و به رنگ سبز خاکستری دیده میشود..... ۹۰
- شکل ۴-۲۰: نمای از کانه‌زایی در ماسه سنگ خاکستری ب) تصویری از کانه‌زایی سولفیدی مس که در این کانسار عامل احیا فسیلهای گیاهی میباشد..... ۹۱
- شکل ۵-۱: الف) تصویری از نمونه دستی کالکوسیت در کانسار مس زاواک ب) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی رگه کالکوسیت دار، که دونسل کالکوسیت به وضوح قابل رویت است، پ) تصویری از نمونه دستی از کالکوسیت ثانویه در کانسار مس سردار، ت) تصویر میکروسکوپی از مقطع نازک صیقلی رگه کالکوسیت ثانویه مس سردار، ث) تصویری از نمونه دستی کالکوسیت در کانسار مس سردار، ج) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی رگه کالکوسیت دار..... ۹۷

- شکل ۵-۲: تصویری از نمونه دستی فسیل گیاهی که کانه زایی مس در آن کاملاً مشخص می‌باشد (ب) تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت در فسیل گیاهی..... ۹۸
- شکل ۵-۳: الف) تصویر میکروسکوپی بورنیت در کانسار زاواک (ب) تصویر میکروسکوپی بورنیت در کانسار سردار..... ۹۹
- شکل ۵-۴: الف) تصویر میکروسکوپی از حضور مگنتیت در سنگ میزبان زاواک. (ب) نمایی از حضور مگنتیت پلاسری در معدن منگنز سردار..... ۱۰۰
- شکل ۵-۵: الف) تصویر نمونه دستی سنگ آهک نومولیت دار در کانسار زاواک (ب) تصویر میکروسکوپی پیریت دانه پراکنده در واحد آهکی کانسار زاواک..... ۱۰۱
- شکل ۵-۶: الف) تصویری از حضور کالکوپیریت به همراه دیگر کانیها در کانسار مس سردار، (ب) تصویری از کالکوپیریت دانه پراکنده در کانسار زاواک..... ۱۰۲
- شکل ۵-۷: الف) نمایی از لایه منگنز سوپرژن در معدن زاواک و تصویر میکروسکوپی آن (ب) نمایی از لایه منگنز اگزالاتیو در معدن سردار و تصویر میکروسکوپی آن..... ۱۰۳
- شکل ۵-۸: الف و ب) تصویر میکروسکوپی از مس طبیعی در پلاژیوکلازها در نور طبیعی و پلاریزان..... ۱۰۴
- شکل ۵-۹: تصویر میکروسکوپی از اولیژیت و همراهی کالکوسیت..... ۱۰۵
- شکل ۵-۱۰: الف) تصویر میکروسکوپی از همراهی کانی کولیت و کالکوسیت در معدن مس زاواک، (ب) تصویر میکروسکوپی کولیت در اندیسه‌های مس رسوبی..... ۱۰۷
- شکل ۵-۱۱: الف) تصویر میکروسکوپی از ملاکیت در کانسار مس سردار (ب) تصویر کانی ملاکیت از اندیسه‌های مس رسوبی..... ۱۰۸
- شکل ۵-۱۲: نمایی از نمونه دستی آزوریت در اندیسه‌های مس رسوبی..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱۳: الف) تصویر میکروسکوپی از کوارتز پلی کریستالین و پلاژیوکلازی که در اثر نفوذ سیالات به سریسیت تبدیل شده‌است. (ب) تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازها و کوارتز منوکریستالین..... ۱۱۱
- شکل ۵-۱۴: تصویر میکروسکوپی از کانی باطله کلسیت..... ۱۱۲
- شکل ۵-۱۵: الف) حضور رگه-رگچه‌های حاوی کانه‌زایی در آگلومرای آندزیتی-بازالتی در کانسار مس زاواک (ب) حضور رگه-رگچه‌های حاوی کانه‌زایی در آگلومرای آندزیتی-بازالتی در کانسار مس زاواک به همراه رگه‌های زئولیتی. (پ) تصویری از رگه-رگچه‌های کالکوپیریت در کانسار مس زاواک (ت) تصویری از کانه‌زایی رگه‌های کالکوسیت در معدن منگنز سردار، (ث) تصویری از رگه‌های کالکوسیت که قطع کننده منگنز سردار است، (ج) تصویری از رگه‌های کالکوسیت که قطع کننده ماسه‌سنگ خاکستری در سردار است..... ۱۱۳
- شکل ۵-۱۶: تصویری از ساخت نواری در کانسار زاواک..... ۱۱۴
- شکل ۵-۱۷: تصویری از ساخت برشی در کانسار زاواک..... ۱۱۵
- شکل ۵-۱۸: ساخت لایه ای در اندیسه‌های مس رسوبی..... ۱۱۶
- شکل ۶-۱: موقعیت سنگهای آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار (Hastie et al. (2007)..... ۱۳۱

- شکل ۶-۲: موقعیت سنگهای آتشفشانی منطقه در نمودار Pearce, 1996 ۱۳۲
- شکل ۶-۳: نمودار فراوانی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به گوشته اولیه (Sun & Mc Donough 1989)
- الف) کانسار زاواک، ب) کانسار سردار ۱۳۵
- شکل ۶-۴: نمودار تغییرات میزان عناصر در مقطع کانسار زاواک بر اساس دادههای ICP-MS ۱۳۹
- شکل ۶-۵: نمودار تغییرات میزان عناصر در مقطع کانسار سردار بر اساس دادههای ICP-MS ۱۴۰
- شکل ۶-۶: نمودار متمایز کننده لیتولوژی سنگ مادر مجموعههای ماسهسنگی و گلسنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی (Roser and Korsch, 1988). نمونههای ماسه سنگی مورد مطالعه در محدوده آذرین مافیک قرار گرفتهاند ۱۴۲
- شکل ۶-۷: دیاگرام دوتایی TiO_2 در مقابل Zr (Hayashi et al., 1997)؛ نمونههای ماسه سنگی مورد مطالعه در محدوده سنگ مادرهای آذرین مافیک قرار گرفتهاند ۱۴۳
- شکل ۶-۸: دیاگرام دوتایی La/Sc در مقابل Co/Th (Gu et al., 2002)؛ نمونههای ماسه سنگی مورد مطالعه در نزدیکی سنگ مادرهای آذرین مافیک و بازالتی قرار گرفتهاند ۱۴۴
- شکل ۶-۹: دیاگرام دوتایی Zr/Sc در مقابل Th/Sc (McLennan et al., 1993) و موقعیت نمونههای ماسه سنگی که در نزدیکی سنگ مادرهای بازالتی ترسیم شدهاند ۱۴۵
- شکل ۶-۱۰: دیاگرام مثلثی La-Th-Sc (Bhatia and Crook, 1986) و موقعیت نمونههای ماسه سنگی که در نزدیکی سنگ مادرهای بازالتی قرار گرفتهاند ۱۴۵
- شکل ۶-۱۱: نمودار محتوای SiO_2 در مقابل نسبت K_2O/Na_2O (Roser and Korsch, 1986)؛ ماسه سنگهای مورد مطالعه در محدوده جزایر قوسی قرار گرفتهاند ۱۴۶
- شکل ۶-۱۲: دیاگرام دوتایی بر اساس اندیس قلیایی بودن (نسبت $(Fe_2O_3+MgO)/(SiO_2+Na_2O+K_2O)$) در مقابل نسبت Al_2O_3/SiO_2 ؛ ماسه سنگهای مورد مطالعه در داخل محدوده جزایر قوسی نابالغ قرار گرفتهاند ۱۴۷
- شکل ۶-۱۳: دیاگرام مثلثی Th-La-Sc (Bhatia and Crook, 1986). نشان دهنده جایگاه تکتونیکی جزایر قوسی اقیانوسی برای ماسه سنگ های مورد مطالعه میباشد. چهار محدوده تکتونیکی: حاشیه قاره های غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره های (B) و حاشیه های قاره های فعال (C) ۱۴۹
- شکل ۶-۱۴: دیاگرام مثلثی Th-Sc-Zr/10 (Bhatia and Crook, 1986). نمونههای ماسه سنگی مورد مطالعه در محدوده جزایر قوسی اقیانوسی قرار گرفتهاند. چهار محدوده تکتونیکی: حاشیه قاره های غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره های (B) و حاشیه های قاره های فعال (C) ۱۴۹
- شکل ۶-۱۵: نمودار تهیشدگی و غنیشدگی اکسیدهای اصلی برای کانسنگ و سنگ میزبان ۱۵۱
- شکل ۶-۱۶: نمودار تهی شدگی و غنی شدگی عناصر فرعی و کمیاب برای کانسنگ و و سنگهای میزبان ۱۵۲
- شکل ۶-۱۷: تغییرات فراوانی عناصر S, Cr, Ni, Co, Ag, Pb, Zn, Cu در کانسنگ و سنگ میزبان ۱۵۴
- شکل ۶-۱۸: الف) تصویر رگه ژئولیتی، ب) تصویر رگه کلسیتی، ج) تصویر میکروسکوپی مقطع دوبر صیقل ۱۵۵

- شکل ۷-۱: تصویر شماتیک از محیط تکتونیکی نوار آتشفشانی داورزن (قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵) که منطقه کاهک جزئی از آن می باشد. ۱۵۹
- شکل ۷-۲: مرحله یک کانہ‌زایی در کانسار منگنز و مس سردار. ۱۶۵
- شکل ۷-۳: مرحله یک کانہ‌زایی در کانسار مس زاواک. ۱۶۶
- شکل ۷-۴: الف) مرحله دوم کانہ‌زایی و بطور عمده رخداد کانہ‌زایی مس رسوبی ، ب) عملکرد دیاژنز بر کانہ‌زاییهای زاواک و سردار. ۱۶۹
- شکل ۷-۵: کوهزایی و بالاآمدگی در منطقه کاهک. ۱۷۰
- شکل ۷-۱۱: شکل شماتیک از کانہ‌زایی تیپ رخساره ماسه سنگ احيایی (Einaudi) برگرفته از (cox 1986). ۱۸۰
- شکل ۷-۱۲: شکل شماتیک از کانہ‌زایی تیپ رخساره اکسیدی یه طبقات قرمز (Talbot, 1974) برگرفته از (cox 1986). ۱۸۱

فهرست جداول

- جدول ۴-۱ کانسارها و اندیسه‌های مس و منگنز تافدیس کاهک..... ۶۶
- جدول ۵-۱ : مراحل تشکیل و توالی پارازنتیک کانیها به همراه ساخت و بافت آنها در اندیسه‌های مس رسوبی. ۱۲۱
- جدول ۵-۲: مراحل تشکیل و توالی پارازنتیک کانیها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار مس زاواک..... ۱۲۲
- جدول ۵-۳: مراحل تشکیل و توالی پارازنتیک کانیها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار منگنز و مس سردار..... ۱۲۳
- جدول ۶-۱- مشخصات نمونه‌های آنالیز شده ICP-MS و XRF در کانسارهای مورد مطالعه..... ۱۲۷
- جدول ۶-۲- ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson) برای عناصر کمیاب در معدن مس زاواک و سردار..... ۱۳۷
- جدول ۷-۱ - مقایسه کانسارهای زاواک و سردار با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS)..... ۱۷۴
- جدول ۷-۲- مقایسه کانسارهای سردار و زاواک با کانسارهای تیپ مانتو، طبقات قرمز آتشفشانی و نوع میشیگان..... ۱۷۶
- جدول ۷-۳- مقایسه کانسارهای سردار و زاواک با کانسارهای تیپ مانتو در شیلی..... ۱۷۷
- جدول ۷-۴- مقایسه ویژگی‌های کانسارهای مس مورد مطالعه با انواع کانسارهای مس رسوبی..... ۱۸۲

فصل اول:

کلیات

با توجه به ذخایر متعدد مس در تیپ‌های متفاوت در کشور در حال حاضر بیش از ۶۰۰ اندیس مس در ایران شناسایی شده است. در همین راستا پیش بینی های صورت گرفته حاکی از آن است که کل میزان مس محتوی ذخائر ایران برابر ۱۴ میلیون تن می باشد. لذا با برنامه ریزی‌های صورت گرفته و پس از اجرای طرح‌های برنامه چهارم توسعه، استحصال ۲/۵ درصد از این مقدار مس دست یافتنی خواهد بود. با توجه به پتانسیل های گسترده مس در ایران و تعامل گسترده اش با کشورهای دیگر، می توان اشتغال زایی زیادی در بخش اکتشاف، استخراج، فرآوری، تجارت و صادرات آن ایجاد کرد و تولید ثروت ملی را به میزان قابل توجهی افزایش داد.

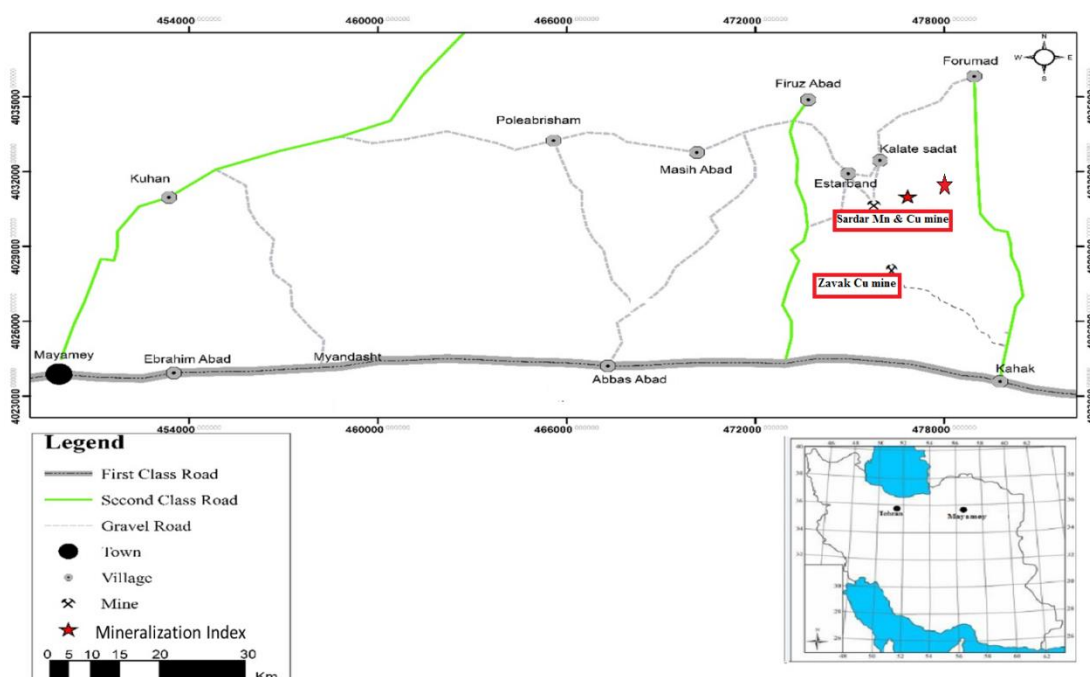
از نظر ژنتیکی کانسارهای مس در دنیا به پنج گروه، کانسارهای مس پورفیری با کانی سازی های رگه ای و اسکارن

، کانسارهای مس ماگمایی، کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی، کانسارهای مس نوع میشیگان و کانسارهای مس تیپ سولفید توده ای قابل تفکیک می باشند. از بین تیپ های مذکور، کانسارهای مس با سنگ میزبان رسوبی و آتشفشانی رسوبی در ایران کم تر مورد مطالعه قرار گرفته اند، لذا اکتشاف و شناسایی این تیپ کانسارها در کشور ضروری به نظر می رسد. برای نیل به این هدف، کانه زایی مس رسوبی در داخل سنگ های رسوبی و آتشفشانی-رسوبی جنوب فرومد و شمال کاهک به عنوان موضوع پایان نامه کارشناسی ارشد انتخاب گردید. در انجام این مطالعه سعی بر آن بوده است با تکیه بر بررسی های صحرائی، کانی شناسی و مطالعات ژئوشیمیایی، مکانیسم تشکیل این تیپ کانی سازی ها در این ناحیه از ایران مشخص شود. امید است نتایج به دست آمده از این بررسی بتواند در اکتشاف و شناسایی پتانسیل هایی از این تیپ کانی سازی ها در سایر نقاط کشور مفید و مؤثر واقع شود.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در ۱۱۶ کیلومتری شرق میامی از توابع شهرستان شاهرود استان سمنان و در ۲۰ کیلومتری جنوب روستای فرومد قرار دارد. منطقه‌ی مورد مطالعه در پهنه‌ی زمین ساختاری ایران مرکزی و در قسمت میانی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (آقاناتی و افتخارنژاد، ۱۳۷۱) و در قسمت شمالی ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) واقع شده‌است.

برای دستیابی به نقاط کانه زایی که در ۱۷ کیلومتری جنوب روستای فرومد واقع است، می‌بایست از طریق جاده آسفالت شاهرود-سبزوار به مسافت ۱۷۰ کیلومتر به سمت شرق تا دوراهی روستای کاهک پیش رفت، سپس از جاده‌ی آسفالت درجه‌ی دو کاهک-فرومد حدود چهار کیلومتر به سمت شمال حرکت کرده در توالی‌های حاشیه‌ای جاده کانه زایی مس در ماسه سنگ‌ها قابل مشاهده است و کانسار زاواک در داخل واحدهای آتشفشانی و آهک نومولیتی ائوسن رخ داده‌است که دسترسی به آن از طریق جاده خاکی امکان‌پذیر می‌باشد. بنابراین بهترین راه ارتباطی منطقه بزرگراه شاهرود-مشهد است (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.

۳-۱- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه

از نظر آب و هوایی، تنها نواحی کوهستانی و مرتفع شمال شرق و شمال غرب ورقه ۱۰۰۰۰۰/۱ داورزن از تابستان‌های معتدل و زمستان‌های سرد برخوردار است و جنوب آن به دلیل نزدیکی و همجواری با کویر، تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد دارد، همین امر موجب شده که میزان بارندگی سالیانه در بخش‌های مرکزی و جنوبی ورقه بسیار ناچیز و حدود ۵۰-۱۰۰ میلی‌متر و در نواحی کوهستانی بویژه شمال شرق به ۱۵۰-۲۰۰ میلی‌متر برسد. منابع تامین کننده آب آشامیدنی در روستاها و مناطق کشاورزی از کاریزها، سدهای محلی (سد فیروزآباد و سد فرومد) چاه‌های عمیق و نیمه عمیق و چشمه سارهاست. به علت سرپانتینی شدن، قدرت آبدهی سنگ‌های اولترامافیک به مراتب بیشتر از سنگ‌های آذرین و آذرآواری ائوسن است، به همین دلیل باغداری و کشاورزی در فرومد و فیروزآباد که در پای این ارتفاعات قرار دارند رونق بیشتری دارد (آقانباتی ۱۳۴۹). کال شور جاجرم، کال شور سبزوار، کال شور، کال چاهدر و کال سرنو و کال سگزی و کال صبری از جمله رودهای منطقه می‌باشد. بجز کال شور جاجرم، در شمال غرب-غرب منطقه، بقیه در بیشتر طول سال بی آب و یا اندک آبی در آنها جریان دارد. گیاهان منطقه اغلب بوته‌ای بوده و به ندرت درختچه‌ای پایا هستند. گیاهان طبیعی ناحیه منحصر به بوته‌های کوتاهی می‌باشند که معروف‌ترین آن‌ها قیچ و تاغ است. این ناحیه تقریباً فاقد درخت و درختچه می‌باشد.

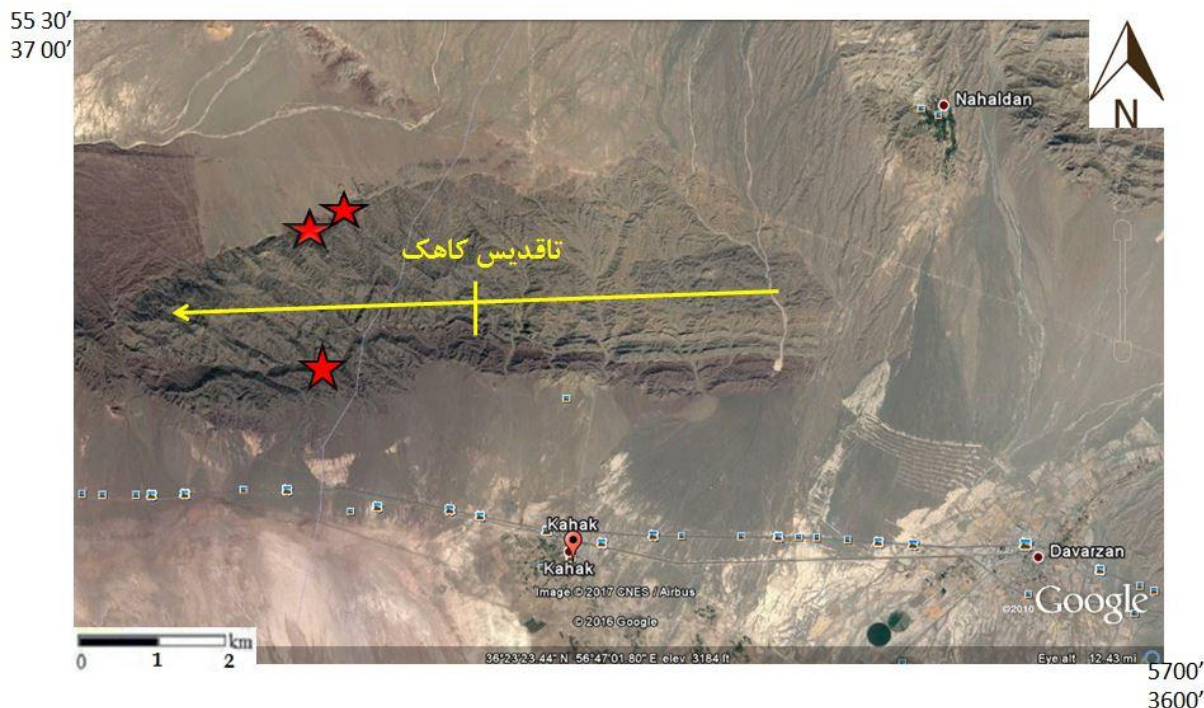
۴-۱- زمین ریخت‌شناسی

ریخت‌شناسی این مناطق تحت تاثیر رخنمون سنگ‌های آتشفشانی و عملکرد فرآیندهای زمین ساختی قرار دارد. آن‌چنان که کوه گر در شمال غرب روستای بیزه‌ی سبزوار، بلندترین نقطه با ارتفاع ۲۷۰۸ متر از سطح دریا و پست‌ترین نقطه در کال شور جاجرم از بخش‌های غربی ورقه با ارتفاع ۷۶۲ متر از سطح دریا می‌باشد. ناحیه به گونه‌ای مشخص به دو بخش کوهستانی در شمال و دشت در مرکز و جنوب

قابل تقسیم است. بخش‌های مرتفع را برونزد سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری، نفوذی و افیولیتی شکل می‌دهد در حالیکه دشت‌ها را آبرفت‌های جوان و مارن‌های نئوژن تشکیل می‌دهند. شکل توپوگرافی منطقه بیشتر مدیون سنگ‌های اولترامافیک و تا اندازه‌ای سنگ‌های آتشفشانی ائوسن می‌باشد. سنگ‌های رسوبی ائوسن به علت سختی کم، فرسوده شده و تقریباً مسطح به نظر می‌رسد (آقانباتی ۱۳۴۹) هرچند که در نزدیکی دماغه تاق‌دیس کاهک در قسمت غربی ریخت‌شناسی مرتفعی دارند، با این وجود سنگ‌های آتشفشانی ائوسن مخصوصاً بخش‌های گدازه‌ای آن نسبت به سنگ‌های رسوبی به علت مقاومت بیشتر در برابر هوازدگی و فرسایش ارتفاع بیشتری دارند (شکل‌های ۱-۲ و ۱-۳).



شکل ۱-۲: نمایی از ریخت‌شناسی کاهک دید به سمت شمال



شکل ۱-۳: موقعیت منطقه گاهک و کانه‌زایی مس بر روی تصویر ماهواره‌ای

۱-۵- وضعیت معیشتی

با توجه به اینکه این منطقه از شمال به کوهستان و از جنوب به دشت ختم می‌شود. دامپروری نسبت به کشاورزی از رونق بیشتری برخوردار است، بطوریکه نواحی شمالی و مرکزی، پرورش بز و گوسفند و نواحی جنوبی بیشتر پرورش شتر می‌باشد. کشاورزی در این منطقه نیز همانند دامپروری، بیشتر در شمال و بخش‌هایی از نواحی مرکزی می‌باشد که شامل محصولات باغی بیشتر انار، گردو، انجیر، توت و انگور و در سال‌های اخیر زیتون، بادام و محصولات زراعی، به مقدار خیلی زیاد فلفل قرمز، خاکشیر، کنجد، چغندر، گندم و جو و محصولات جالیزی چون هندوانه و خربزه می‌باشد. همچنین عده‌ای از مردم با جمع‌آوری انواع مختلف گیاهان دارویی امرار معاش می‌کنند.

از نظر معدنکاری معدن کرومیت فرومد با ۷۶ سال قدمت، قدیمی‌ترین معدنی است که مردم در آن مشغول بوده و هستند. در قدیم معادنی چون منیزیت (گل سرشور) و گچ نیز استخراج می‌شده است. معادن دیگری نیز طی چند سال اخیر شناسایی شده‌اند که در آن‌ها نیز تعدادی کارگر مشغول هستند،

مانند معدن کرومیت شمال فیروزآباد و میرمحمد، منگنز فرومد(سردار) و معادن کوچک دیگری از این نوع.

۱-۶- تاریخچه معدن کاری و مطالعاتی

کارهای مطالعاتی و معدن کاری انجام شده در این منطقه مربوط به کرومیت و منگنز می باشد و در محدوده‌ی کانه‌زایی مورد نظر بر روی کانه‌زایی مس هیچ کار زمین‌شناسی تفصیلی در قالب یک پایان‌نامه انجام نشده است، البته درون واحدهای آتشفشانی ترانشه‌هایی جهت اکتشاف مس انجام شده است. تاکنون هیچ کانسار مس رسوبی در این منطقه گزارش نشده است، ولی کارهای سنگ‌شناسی و تعیین محیط زمین‌ساختی زیادی بصورت گزارش و پایان‌نامه انجام شده است که عبارتند از:

آقناباتی (۱۳۴۹) در پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد خود به مطالعه‌ی زمین‌شناسی منطقه‌ی فرومد و عباس‌آباد پرداخته است. ایشان معتقدند که قدیمی‌ترین سازند منطقه متعلق به کرتاسه زیرین است که شامل یک سری آهک‌های دولومیتی با سنگواره‌ی اریبتولین می‌باشد.

سامانی (۱۳۸۱) با تطبیق ویژگی‌های کانسارهای نوع مانتو با زمین‌شناسی ایران و مقایسه آن با مشخصات کانسارها و یافته‌های مس در حوضه ایران مرکزی (مناطق قم و ساوه، عباس‌آباد سبزوار و شمال دورونه) کانسارهای مس در این مناطق را از نوع مانتو معرفی کرده است.

علی نیا و دهقان‌نژاد (۱۳۸۳) بر اساس مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمیایی معادن مس عباس‌آباد و برآورد پتانسیل معدنی آنها تیپ کانی‌زایی را از نوع رگه‌ای گرمایی و در سری سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی معرفی کرده است.

حیدری و معانی‌جو (۱۳۹۰) با توجه به بررسی‌های صحرایی نشان دادند که کانسار عباس‌آباد شباهت زیادی با کانسارهای مس نوع مانتو دارد.

طائفی و همکاران (۱۳۹۲) الف، بر اساس مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی رخداد کانه زایی‌های مس نرتلویی و استغانی در جنوب شرق شاهرود، تیپ کانه‌زایی در منطقه را مشابه کانه‌زایی کوپناوی در میشیگان آمریکا و تیپ مانتو در نظر گرفت.

طائفی و همکاران (۱۳۹۳) ب، بر اساس مطالعات کانی‌شناسی و ژئوشیمیایی، الگوی رخداد کانه زایی مس در مناطق گریگ و گورخان را مشابه کانه‌زایی تیپ میشیگان آمریکا در نظر گرفته اند. صالحی و همکاران (۱۳۹۴) الف، بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسنگ و داده‌های حاصل از میانبرهای سیال، تیپ کانی زایی مس عباس آباد را قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو بیان کرده است.

صالحی و همکاران (۱۳۹۴) ب، با مقایسه داده‌های ایزوتوپی گوگرد کانسار مس عباس آباد بیان کرده اند که بیشترین شباهت را با کانسارهای مس نوع مانتو در شیلی دارد. حسینی و همکاران (۱۳۹۴) الف، ب) کانسار منگنز فرومد را از نوع آتشفشانی-رسوبی در نظر گرفته است.

اسماعیلی و همکاران (۱۳۹۵) با توجه به بررسی‌های صحرایی نشان دادند که کانسار مس میاندشت شباهت زیادی با کانسارهای مس نوع مانتو دارد.

ظفرزاده و همکاران (۱۳۹۵) بر اساس مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی و ژئوشیمیایی معدن دوچیله را از نوع میشیگان معرفی کرده است.

۱-۷- طرح مسئله، ضرورت و هدف مطالعه

به منظور دستیابی به کلیدهای اکتشافی جهت کشف کانسارهای مشابه در منطقه و نیز بهبود روند فعالیت‌های اکتشافی در این کانسار، انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی در منطقه ضروری می‌باشد. تاکنون مطالعاتی در خصوص توزیع و پراکندگی پهنه‌های کانی سازی و ژنز کانسارهای مس با میزبان رسوبی و رسوبی-آتشفشانی در ایران و ویژگی‌های

پترولوژیکی و ژئوشیمیایی سنگ‌های میزبان آن‌ها صورت گرفته است. از این رو در این تحقیق تلاش گردیده است، تا ضمن شناسایی و پیگیری گسترش کانه‌زایی مس در جنوب فرومد و موقعیت استراتیگرافی آن، ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی و بافتی، ژئوشیمیایی و فرآیندهای مؤثر در تشکیل آن‌ها مورد بررسی قرار گیرد، ضمناً تیپ کانسار مورد مطالعه در مقایسه با تیپ‌های جهانی مس، مشخص و معرفی گردد. با توجه به ارزش اقتصادی بالای کانسارهای مس در جهان، شناسایی این کانسارها و آثار معدنی موجود در منطقه و مطالعه آن‌ها در جهت ارائه مدل و برنامه اکتشافی و نهایتاً فعال شدن بخش معدن و ایجاد اشتغال و کار سالم در این منطقه، از دیگر اهداف این تحقیق به شمار می‌آید.

۸-۱- روش مطالعه

جهت دستیابی به اهداف تعیین شده، روش تحقیق و مراحل اجرایی آن از ابتدا تا انتها به شرح زیر بوده است.

۸-۱-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

نخستین اقدام در انجام این تحقیق، گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع بوده که به شرح زیر می‌باشد:

الف) تهیه و مطالعه کتب و مقالات مختلف در زمینه ذخایر مس با میزبان رسوبی و آتشفشانی رسوبی.

ب) گردآوری اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، عکس‌های هوایی منطقه، تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالا، جهت شنایی کامل با زمین‌شناسی عمومی و تشکیلات موجود در منطقه.

ج) جمع‌آوری گزارش‌ها، مقاله‌ها و مطالعات قبلی انجام شده مرتب با منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن.

۸-۱-۲- مطالعات صحرایی

مطالعات صحرایی به مدت ۸ روز به شرح زیر صورت گرفت:

الف) بازدید صحرائی به منظور آشنایی هر چه بیشتر با کلیات زمین‌شناسی منطقه.

ب) تعیین واحدهای لیتولوژیک و مرز تقریبی آنها.

ج) شکل ماده معدنی و ارتباط کانی‌سازی با سنگ‌های درونگیر.

د) نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی بیش از ۲۵۰ نمونه دستی بر مبنای تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، رنگ و بافت، به منظور مشخص کردن افق‌های کانه‌دار و ارتباط آن با کانه‌زایی، همراه با تغییرات عیار مس و دیگر عناصر همراه نمونه برداری از ذخایر مس و سنگ میزبان‌های آن (که توسط دستگاه GPS تعیین مختصات شدند).

ه) تعیین مناطق دگرسان شده در محدوده مورد مطالعه.

۱-۸-۳ - مطالعات دفتری و آزمایشگاهی

در این مرحله، پس از نمونه‌گیری با توجه به اهداف مطالعه، بر روی این نمونه‌ها مطالعات مختلف به شرح زیر صورت گرفت:

الف) پس از تهیه عکس از نمونه‌های دستی، تعداد ۱۵ مقطع میکروسکوپی نازک صیقلی به همراه ۵۵ مقطع نازک و ۱۰ مقطع صیقلی تهیه و از نظر بافت ماده معدنی، نحوه توزیع کانی‌ها در سنگ‌های درونگیر و پاراژنز کانه‌ها مورد مطالعه قرار گرفتند.

۱-۹-۱ - انواع کانسارهای مس

(Kesler, 1994) کانسارهای مس را بر اساس خصوصیات ژنتیکی آنها به ۵ گروه اصلی تقسیم نموده است که عبارتند از:

۱-۹-۱-۱ - کانسارهای ماگمایی - هیدروترمال

مجموعه کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمال یعنی سیستم‌های پورفیری، اسکارن و رگه‌هایی را شامل می‌شوند که تحت تأثیر تزریق توده‌های نفوذی سیالات هیدروترمال ایجاد شده‌اند.

۱-۹-۲- کانسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد

این تیپ کانسارها خود به روش‌های مختلفی به دسته‌های متعددی از کانسارها تقسیم می‌شوند که یکی از

کاربردی‌ترین این روش‌ها دسته‌بندی آن‌ها بر اساس سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی است که به چند دسته متفاوت تقسیم می‌شوند و هریک شرایط تشکیل و محیط تکتونیکی متفاوتی دارند.

این دسته‌ها شامل بشی، نوراندا، کوروکو، بتورث و قبرسی هستند.

بر اساس دسته بندی دیگر کانسارهای سولفید توده ای به پنج دسته سیلیسی کلاستیک فلسیک، بایمودال فلسیک، بایمودال مافیک، پلیتیک مافیک و مافیک -الترامافیک تقسیم می‌شوند.

۱-۹-۳- کانسارهای مس ماگمایی

این تیپ از کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای مربوط به تکامل ماگما مانند تبلور و جدایش ثقلی ایجاد شده‌اند. تعداد این نوع کانسارها در دنیا محدود است اما بطور معمول تناژ بالایی دارند.

۱-۹-۴- کانسارهای مس با میزبان رسوبی

در این تیپ کانسارها سنگ میزبان کانه‌زایی به طور عمده رسوبات تخریبی هستند که نفوذپذیری بالایی دارند. این کانسارها تحت تاثیر فرآیندهای رسوبی-دیاژنزی و در مواردی اپی ژنتیک ایجاد می‌شوند و معمولاً به دلیل چینه کران بودن دارای ضخامت کم اما گسترش فراوان هستند.

این ذخایر مهم‌ترین منبع کبالت دنیا کمر بند آفریقای مرکزی بوده و تولید کننده مهم محصول جانبی نقره به شمار می‌آیند. عیار بیشتر کانسارهای بهره‌برداری شده یا در دست بهره‌برداری، از ۱/۸ الی ۵ در صد متغیر است. اغلب این تیپ کانسارها در شیل‌های نمکی احیاء شده پیریتی غنی از مواد آلی یا هم ارز دگرگونی آن‌ها و مابقی در ماسه سنگ‌ها یافت می‌شوند. سنگ‌های میزبان این کانسارها، در رسوبات فاقد اکسیژن (Anoxic) مناطق پارالیک (Paralic) دریایی یا رسوبات دریاچه‌ای شور بزرگ مقیاس که بلافاصله بر روی رسوبات تخریبی قاره‌ای قرمز رنگ و اکسیدی واقع شده‌اند، یافت می‌شوند (Hitzman et

al, 2010). این نوع نهشت‌ها در توالی‌های سنگی مربوط به پس از نخستین ظهور لابه‌های قرمز (۲۴۰۰ میلیون سال) قرار دارند. سن آنها معمولاً تا عصر حاضر نیز می‌رسد. مهم‌ترین و فراوان‌ترین این نهشته‌ها، در تشکیلات پروتروزوئیک بالایی و پالئوزوئیک بالایی قرار دارند. آنها معمولاً در نواحی خشک و نیمه خشک محیط‌های کافتی قاره‌ای، حداکثر تا عرض ۲۰ الی ۳۰ درجه از دیرینه استوا (paleoequator) تشکیل شده‌اند (Browm, 1997).

از میان کانسارهای مس رسوبی، چند نمونه از جمله مهم‌ترین و شاخص‌ترین آنها که کارهای مطالعاتی گسترده‌ای روی آن صورت گرفته‌است عبارتند از:

کانسار کوپرشیفر: این تیپ کانسار به طور عمده در لهستان و آلمان واقع بوده و تا هلند و انگلستان نیز کشیده شده است. سنگ شناسی عمده آن از نوع شیل کربناته، کربنات و ماسه سنگ می باشد. این کانسار در محدوده زمانی بین پرمین فوقانی تا تریاس میانی تشکیل شده است (Oszczepalski, 1999; Wagner et al, 2010).

کمر بند مس مرکزی آفریقا: کمر بند مس مرکزی آفریقا از دو کمر بند زئیر و زامبیا تشکیل شده است. الف) کمر بند زئیر (Kamoto) و این کمر بند فلز زایی به طور عمده از دولومیت، شیل کربناته و دولومیت تشکیل شده است و زمان تشکیل آن به پروتروزوئیک محدود می گردد (El Desouky et al, 2007). کمر بند زامبیا (Nchanga) و این کمر بند به طور عمده از ماسه سنگ، آرژیلیت و دولومیت تشکیل شده است و زمان تشکیل آن به پروتروزوئیک محدود می گردد (Cailteux et al 2005).

کانسار مس وایت پاین (White pine): این کانسار در ایالات متحده آمریکا واقع شده است. سنگ شناسی عمده آن از نوع سیلت، شیل کربناته و ماسه سنگ می باشد (Hitzman et al, 2010; Browm, 1997).

پهنه فلز زایی مس رسوبی (Troy) : Spar lake این پهنه در ایالت مونتانا آمریکا واقع شده و به طور عمده از کوارتزیت آرژیلیتی تشکیل شده است (Cox et al, 2007).

کانسار مس Red Stone : این کانسار در کانادا بوده و از نظر سنگ شناسی از آهک دولومیتی پرکامبرین تشکیل شده است (Roz, 1976).

پهنه فلزایی مس رسوبی Igarka: این پهنه فلزایی در ازبکستان واقع بوده و شامل کانسارهای Dzhilandi, Dzheskazgan, Donbass و Mansfeld می‌شود. کانسارهای فوق‌الذکر عمدتاً از ماسه سنگ و کربنات به سن دونین تشکیل شده است (Bogdanov & Berlyand-kozhevnikov, 1990).

کانسار بزرگ Udokan: این کانسار در ناحیه سیبری روسیه واقع بوده و از لحاظ سنگ شناسی شامل ماسه سنگ‌های مختلف نظیر آركوز و متآرنایت به سن پروتروزوئیک می‌باشد (Bogdanov &

Browm (شکل ۱-۵) (Berlyand-kozhevnikov, 1990).



شکل ۱-۵: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته‌های مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی (Hitzman et al, 2010; , 1997).

۱-۹-۵ - کانسارهای مس تیپ کویناوی (تیپ مانتو و آتشفشانی-لایه‌های سرخ)

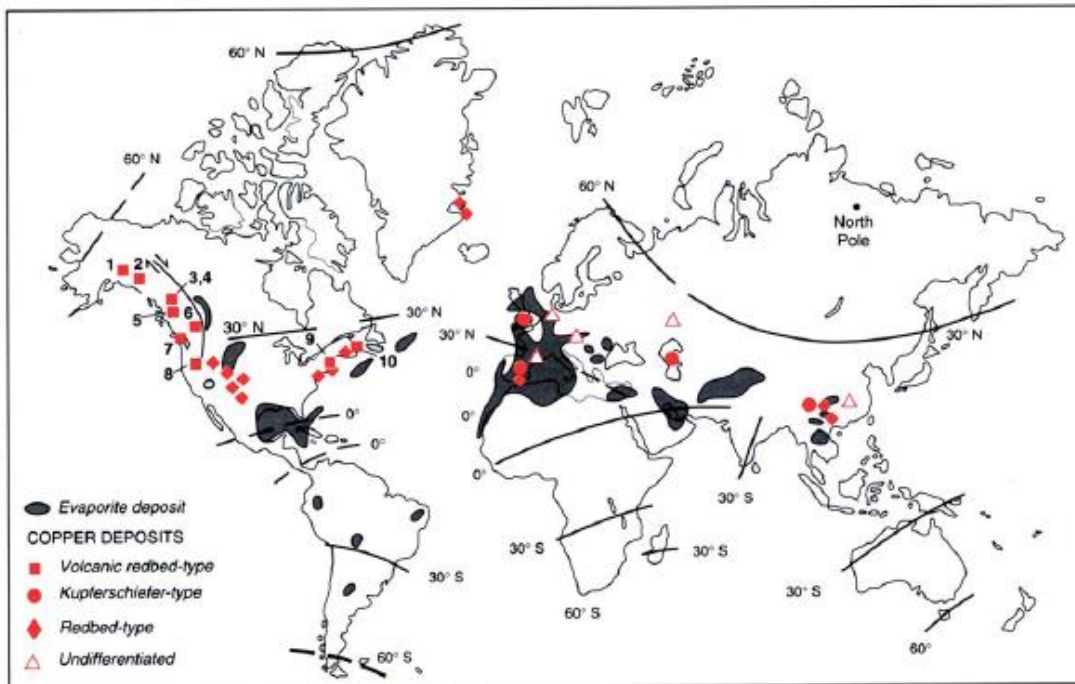
این کانسارها دارای سنگ میزبان آتشفشانی هستند و از نظر بسیاری از خصوصیات مربوط به کانه‌زایی سیستم‌های مانتو (Manto-type) و مس‌های تیپ ولکانیک رددب مشابه هستند. امروزه این تیپ کانسارها را با کانسارهای تیپ مانتو و ولکانیک رددب مشابه می‌دانند. کانسارهای تیپ مانتو در شیلی

گسترش دارند و کانسارهای تیپ ولکانیک رد بد (Volcanic Red) بطور عمده در آمریکای شمالی شناسایی و معرفی شده‌اند.

در بسیاری از مناطق سنگ‌های درونگیر این کانسارها حاوی میان لایه‌هایی از سنگ‌های تبخیری هستند. در مرز اکسایش، کاهش توالی با رونده کانی‌ها در منطقه مینرالیزه، شامل تمامی کانی‌های هماتیت، مس خالص، کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت و پیریت یا برخی از آنهاست. این کانی‌ها در مناطق کانیایی که به سمت بالا و بیرون با یکدیگر همپوشی دارند، یافت می‌شوند.

این نوع کانسارها به تیپ کوپرشیفر نیز معروف هستند (Hitzman et al, 2010; Brown, 1997) مناسب‌ترین نام که تا حال برای آنها بیان شده است، کانسار مس چینه سان با سنگ میزبان رسوبی است Sediment-hosted stratiform copper deposits: SSCD. این کانسارها یکی از مهم‌ترین منابع مس جهان محسوب می‌شوند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۱۰). عیار ثابت و تداوم افقی، این کانسارها را یکی از منابع خیلی مهم برای اکتشاف مس و سایر عناصر همراه نموده است. این کانسارها می‌توانند دارای عیار بالایی از کبالت، روی و نقره نیز باشند. هم چنین می‌توان منابع عظیم طلا، اورانیوم، عناصر گروه پلاتین (PGE) و عناصر نادر خاکی (REE) را به عنوان محصول فرعی از این ذخایر استخراج نمود. کانسارهای مس رسوبی، پس از کانسارهای پورفیری، دومین تولید کننده مس جهان هستند که ۲۵ الی ۳۰ درصد از مس مورد نیاز جهان را تأمین می‌کنند.

اغلب این ذخایر در کمربند مس آفریقا واقع می‌باشد. تناژ این کانسارها از ۱ الی ۱۰۰۰ میلیون تن متغیر است (Brown, 1997).



شکل ۲-۵: نقشه توزیع و پراکندگی نهشته های مس تپ کوبیناوی (Kirkham, 1996).

۱-۱۰- ویژگی های مهم کانسارهای مس چینه سان با سنگ میزبان رسوبی

مهم ترین ویژگی های کانسارهای مس چینه سان با سنگ میزبان رسوبی عبارتند از:

- ۱) حضور مناطق مس دار مهم، و به طور استثنایی سرب و روی و همچنین سایر فلزات نظیر نقره و کبالت که نشان از اهمیت اقتصادی بالای این کانسارها دارد.
- ۲) وجود آنها در سنگ های رسوبی بدون نیاز به فعالیت اساسی آذرین و دگرگونی.
- ۳) شکل تقریباً هم شیب و چینه سان پهنه مس دار.
- ۴) امتداد جانبی کانه زایی در لایه بندی.
- ۵) وفور سولفیدهای فلزی پراکنده در سنگ میزبان.
- ۶) توزیع منطقه های فلزات و کانه ها.
- ۷) رسوبات میزبان که با عوامل احیاء کننده و سولفیدهای فراوان به طور سین دیاژنتیکی جهت ورود مس آماده شده اند.

۸) وجود ضخامتی مناسب از رسوبات تخریبی درشت‌دانه، نفوذپذیر و قرمز رنگ در زیر منطقه مس‌دار.

۹) وجود یک واحد رسوبی مربوط به محیط‌های گرم و خشک مانند واحدهای تبخیری و قرمز رنگ.

۱۰) زمان سنجی مس، زمان پس از رسوبگذاری و دیاژنز را نشان می‌دهد.

۱۱) رسوبگذاری مس از محلول‌های غنی از کلرید در افق تقاطع بین رسوبات قرمز زیرین ولایه‌های خاکستری سولفیددار.

۱۲) ارتباط مکانی با حوضه‌های ریفتی پر شده با رسوبات قرمز قاره‌ای.

آخرین ویژگی در سال‌های اخیر بیشتر مورد ارزیابی قرار گرفته است و هنوز به اطلاعات اساسی نیاز دارد. از وابستگی موضعی این کانسارها با ریفت‌های قاره‌ای و نیز جانشینی مس در رسوبات پرکننده ریفت می‌توان پیشنهاد داد که مکانیزم‌های تشکیل ذخیره می‌تواند اساساً با توسعه و تکامل طبیعی حوضه مرتب باشد (Rose, 1976; Hitzman, 2000; Kirkham, 1989; Brown, 1992, 2009, 2005).

۱-۱۱- فازهای کانی‌سازی مس در ایران

در ایران آثار و نشانه‌های معدنی مس را از پروتروزوئیک پسین تا پلیوسن می‌توان ردیابی نمود، اما بیشتر ذخایر مس در ترشیری و به ویژه الیگومیوسن تشکیل شده‌اند قربانی، به طور کلی فازهای کانی‌سازی مس در ایران به شرح زیر است:

پرکامبرین پسین کامبرین - پیشین: در این برهه زمانی کانسار قابل توجهی از مس شناخته نشده است. ولی چند اثر معدنی در ناحیه یاسوج و شهرکرد در سنگ‌های کامبرین پیشین دیده شده است که از نظر اقتصادی حائز اهمیت نیستند (قربانی، ۱۳۸۱).

پالئوزوئیک پسین: همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک پسین مانند سری تکنار کانسار سولفید توده‌های تکنار آثار و شواهدی از مس شناخته شده است (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۳).

ژوراسیک کرتاسه: نشانه‌های متعدد مس در سنگ‌های رسوبی تخریبی - ژوراسیک کرتاسه - در ناحیه وسیعی از جنوب راور تا شمال طبس به چشم می‌خورد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶). هم‌چنین در این دوره، کانسار مس جیان در بوانات با سن ژوراسیک زیرین قابل ذکر است (موسیوند، ۱۳۸۲).

کرتاسه پالئوسن: همراه - با مجموعه افیولیتی کرتاسه پالئوسن - شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است، مانند نشانه معدنی مس در ناحیه حاجی آباد بندر عباس (قربانی، ۱۳۸۱) و کانسار مس شیخ عالی در جنوب شرق بافت (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷) کانسار نوده و نشانه‌های معدنی جنوب غرب سبزووار (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۰)، نیز مربوط به این دوره زمانی می‌باشند.

ترشیری: بیشتر ذخایر مس ایران در بازه زمانی ترشیری تشکیل شده اند. اغلب این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیری دارند و از نوع پورفیری، اسکارن و رگه ای می‌باشند.

۱۲-۱- پراکندگی ذخایر مس ایران

بر پایه نقشه پراکندگی کانسارهای مس ایران و مقایسه آن‌ها با نقشه‌های سنگ‌های ماگمایی ایران با مقیاس‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ (آقنابتی، ۱۳۷۰) و ۱:۱۰۰۰۰۰ (امامی و دیگران، ۱۳۷۲)، می‌توان ذخایر مس ایران را به شکل زیر پهنه بندی کرد (قربانی، ۱۳۸۱).

-ارومیه- دختر که خود از نظر ذخایر مس به بخش جنوبی و شمالی قابل تقسیم است.

-پهنه البرز باختری محور (طالقان - تارم - هشتجین)

-پهنه سبلان (باختر اردبیل - ناحیه اهر)

-پهنه کویر - سبزووار (بینالود و تکنار)

-پهنه لوت

-پهنه مکران

۱) **پهنه ارومیه - دختر:** سنگ‌های جاگرفته در پهنه ماگمایی ارومیه دختر، به گونه‌ای شاخص، ترکیبی از دیوریت تا گرانودیوریت و گرانیت می‌باشند و سنی از ائوسن تا میوسن دارند. در مورد خاستگاه این سنگ‌ها اتفاق نظری وجود ندارد. گروهی از پژوهشگران آن را کمان ماگمایی و گروهی دیگر آن را کافت می‌دانند و دسته‌ای نیز کمان جزیره‌ای را باور دارند. در مورد کانی‌سازی مس در این پهنه، باید گفت تنها قسمت جنوبی این پهنه (ناحیه کرمان) از نظر کانی‌سازی مس پرمایه است.

بخش شمالی و مرکزی آن در این راستا نمود چندانی ندارند. در حقیقت، ناحیه کرمان خود یک کمر بند مس‌دار را با درازای حدود ۶۰۰ کیلومتر و پهنای ۷۰-۴۰ کیلومتر با روند شمال غربی - جنوب شرقی تشکیل می‌دهد، که از شهر بابک شروع و تا ناحیه بزمان ادامه می‌یابد. در این کمر بند، بیش از ۳۰۰ کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده که بیش از ۲۰ مورد آن‌ها، شواهدی از مس پورفیری نشان می‌دهند. البته قابل توجه است که در این پهنه، از جنوب به سمت شمال از فراوانی کانسارهای مس کاسته می‌شود و مواد معدنی دیگری مانند آهن، سرب و روی فراوان‌تر می‌شوند.

۲) **محور طالقان تارم هشتجین:** در ناحیه تارم، ذخایر نسبتاً زیادی از مس وجود دارد. همه کانسارها و نشانه‌های معدنی ناحیه تارم، در پیوند با سنگ‌های آتشفشانی بیشتر (آندزیت) ائوسن و به ویژه توده‌های نفوذی تونالیتی تا گرانیتی ائوسن است. این سنگ‌ها در ناحیه تارم، بیشتر بی‌هنجاری‌هایی از مس نشان می‌دهند. توده‌های نفوذی گرانیتی منطقه تارم از نوع گرانیت تیپ I است، که با کانی‌سازی گسترده آهن و مس همراه است. در منطقه طالقان همراه با مونزونیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی (به ویژه تراکیت‌ها) که گرایش آلکالن دارند، تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس وجود دارد که بیشتر کانی‌های مس آن - ها از نوع کربناتی است.

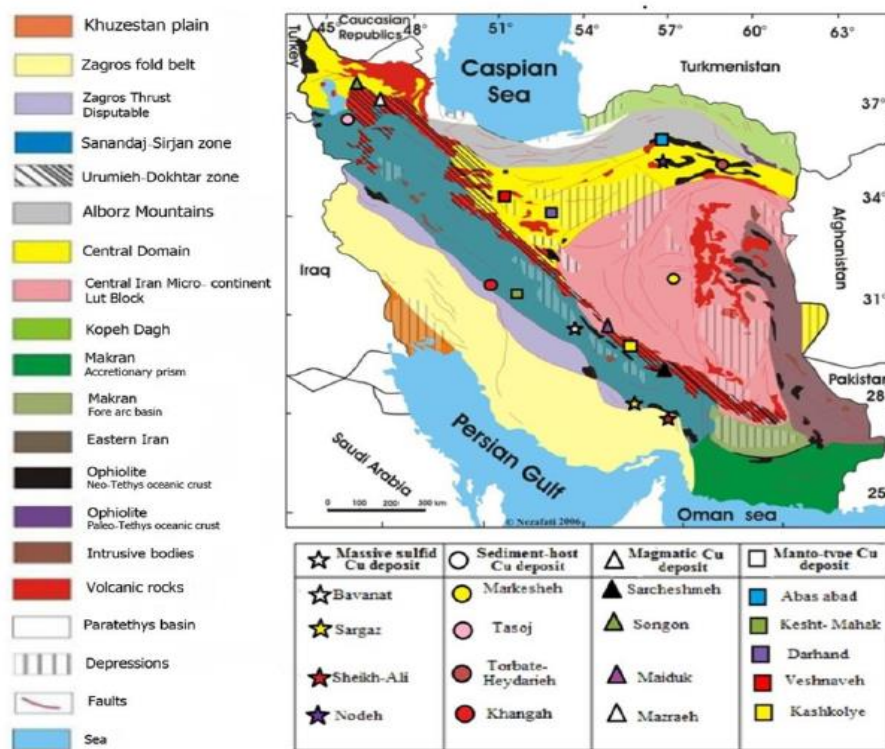
۳) **پهنه کویر - سبزواری (بینالود و تکنار):** این پهنه در شمال گسل درونه، جنوب گسل میامی و جنوب کوه‌های بینالود قرار دارد و تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری در آن وجود دارند. این کانسارها بیشتر از نوع مس رگه‌ای همراه سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی است.

۴) **پهنه لوت**: پهنه لوت، همواره با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، تعداد نسبتاً زیادی کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده است. این کانسارها، بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی پهنه لوت در پیوند هستند که مهم‌ترین آن‌ها کانسار مس قلعه زری است.

۵) **پهنه مکران**: در شمال غربی پهنه مکران و در جنوب و جنوب غرب جازموریان، نواری از کانی‌سازی مس دیده می‌شود که این نوار، روند شمال غربی-جنوب شرقی دارد. البته این نوار در شمال غرب مختار-آباد، روند شرقی-غربی دارد ولی به منطقه فاریاب که می‌رسد، دارای روند شمال غربی-جنوب شرقی می‌شود.

۱-۱۳- انواع تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران

مهم‌ترین کانسارهای مس شناخته شده در ایران، کانسارهای پورفیری و اسکارنی هستند که برخی از این کانسارها مانند سرچشمه، میدوک و سونگون شهرت جهانی دارند. از دیگر تیپ کانسارهای مس در ایران کانسارهای سولفید توده‌ای، کانسارهای گروه میشیگان یا کویناوی و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند. تنها گروه کانساری که در ایران تاکنون شناسایی نشده است، کانسارهای مس ماگمایی است. در زیر شرح مختصری از انواع تیپ‌های مختلف کانساری مس در ایران ارائه می‌شود (شکل ۱-۶).



شکل ۱-۶: نقشه پهنه‌های ساختاری بر اساس (آقناباتی، ۱۳۸۳ و علوی، ۱۹۹۴) و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف

مس.

۱-۱۳-۱- کانسارهای مس ماگمایی هیدروترمال (پورفیری، اسکارن و رگه ای)

این گروه کانسارها در ایران و مخصوصاً در پهنه ارومیه دختر که مهم‌ترین پهنه ولکانوپلوتون ایران را تشکیل می‌دهد به تعداد فراوانی کشف شده‌اند. بزرگ‌ترین معادن مس ایران یعنی سرچشمه، سونگون و میدوک که در این پهنه واقع شده‌اند، در این گروه دسته بندی می‌شوند. هم‌چنین از جمله این کانسارها در شرق ایران می‌توان به کانسار ماهرآباد اشاره نمود (ملک زاده و همکاران، ۱۳۸۸).

مطالعات گسترده‌ای بر روی این تیپ کانه‌زایی در ایران مخصوصاً در ناحیه کرمان، از قدیم تا کنون صورت گرفته است (شفیعی و همکاران، ۲۰۰۹)

۱-۱۳-۲- کانسارهای مس سولفید توده ای

این گروه کانسار در دنیا یکی از مهم‌ترین گروه کانساری مس و سرب و روی را تشکیل می‌دهد. در ایران تقریباً تمامی کانسارهای مس سولفید توده‌ای شناسایی شده‌اند، که به طور عمده در پهنه ساندج-

سیرجان قرار گرفته اند. این کانسارها در حوضه‌های کشتی موجود در محیط‌های مختلف زمین‌ساخت ایجاد می‌شوند. در ایران، این تیپ کانسارها در کشتی‌های ایجاد شده در محیط کمربند ماگمایی مزوزوئیک سنندج سیرجان نیز ایجاد شده اند (موسیوند، ۱۳۸۹). تیپ‌های مس‌دار شناسایی شده از این گروه در ایران شامل کانسار مس- روی (سرب) تیپ بشی بوانات در کمپلکس دگرگون شده سوریان (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۱)، کانسار مس- روی (سرب) تیپ نوراندا سرگز (بدرزاده و همکاران، ۱۳۸۹) در زیر پهنه سرگز متاع، کانسار مس- روی تیپ قبرسی شیخ عالی (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷) و قزل داش (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۵) می‌باشند.

۱-۱۳-۳- کانسارهای گروه مس با میزبان رسوبی

این گروه کانسارها نیز در ایران شناسایی شده‌اند، که عمدتاً دارای سنگ میزبان تخریبی هستند. تشکیل این کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی- دیاژنزی صورت گرفته است (Hitzman et al, 2005). کانسارهای شناسایی شده از تیپ لایه های سرخ (Redbed) در ایران شامل کانسار مارکشه در کرمان (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶)، کانسار تازه کند در شمال تبریز (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۰) کانسار تسوج در آذربایجان شرقی (رجب پور و همکاران، ۱۳۹۲) و کانسارها و نشانه های معدنی واقع در شمال غرب تربت حیدریه در خراسان رضوی (سپهری راد، ۱۳۸۸) می‌باشند.

۱-۱۳-۴- کانسارهای گروه میشیگان یا کویناوی یا ماننو (آتشفشانی لایه سرخ)

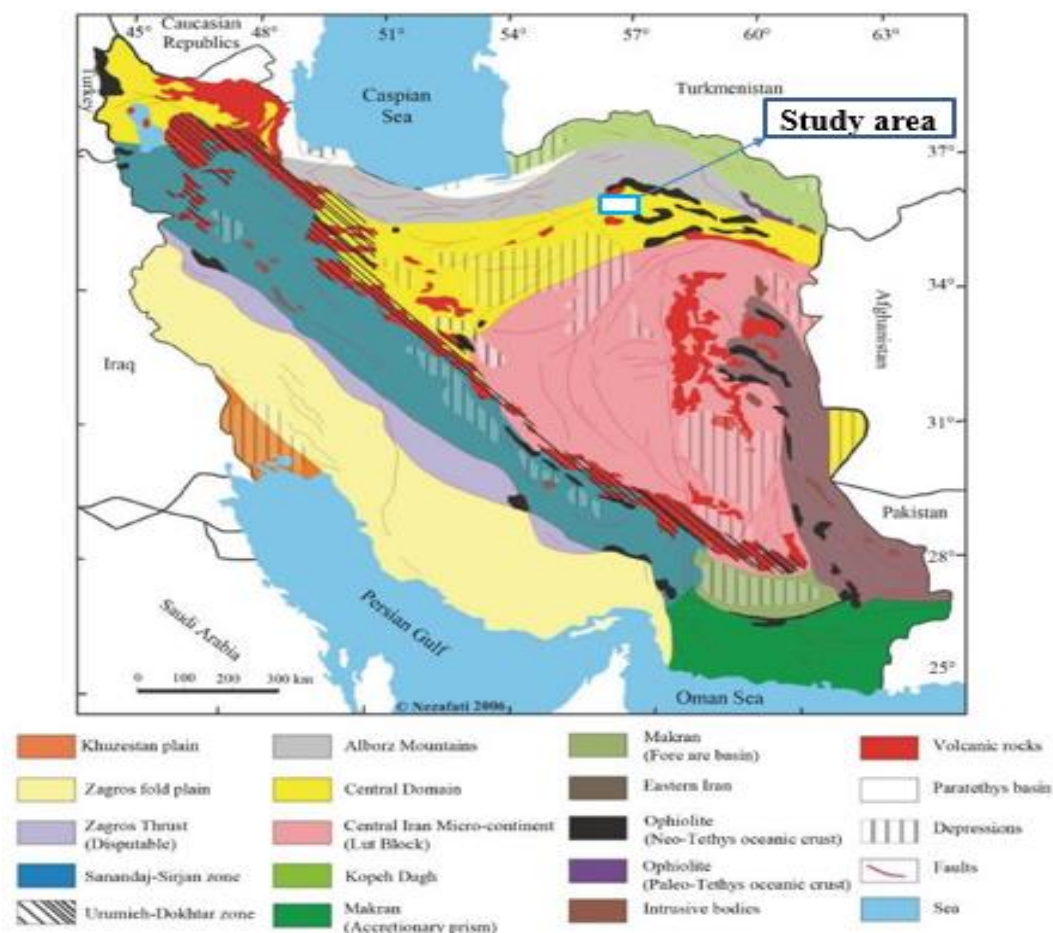
کانسارهای گروه ماننو در ایران به طور عمده دارای سنگ میزبان با سن ائوسن پسین هستند. (سامانی، ۱۳۸۱)، کانسارهای موجود در منطقه عباس‌آباد شاهرود، یکی از مهم‌ترین این کانسارها در ایران را شامل می‌شوند (خادم، ۱۹۶۴). کانسارهای کشت محکی بویری کناری، (بویری کناری، ۱۳۸۹)، قبله بولاغ (بهزادی، ۱۳۷۳) و وشنویه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) نیز در این گروه قرار می‌گیرند. به جز کانسار کشت محکی که در پهنه سنندج سیرجان واقع است و سن کانه‌زایی در آن مربوط به کرتاسه است، سایر کانسارهای گروه ماننو شناسایی شده در ایران دارای سن ائوسن هستند.

فصل دوم:

زمین شناسی ناحیه امی

۲-۱- مقدمه:

سرزمین ایران، از نظر زمین شناسی، به واحدهای مختلفی تقسیم شده است. حد مرز این واحدهای ساختاری -رسوبی، اغلب توسط گسل‌های بزرگ و مهم مشخص می‌گردد. به علاوه، بسیاری از آن‌ها در طول تکامل و فعالیت خود، نقش‌آفرین پدیده‌هایی بوده‌اند که حال آن‌ها در رخساره‌های سازندهای مختلف چینه شناسی ایران به خوبی مشاهده می‌گردد (آقانباتی، ۱۳۸۳). محدوده معدنی فرومد و اندیس‌های مورد مطالعه در شمال کاهک و جنوب فرومد در زیر پهنه ساختاری سبزوار قرار گرفته است. (شکل ۱-۲). این پهنه قسمتی از ایران مرکزی می‌باشد. که از پهنه‌های ساختاری بلوک‌های لوت، طبس، پشت بادام، یزد و زیرپهنه سبزوار تشکیل شده است (Alavi, 1991). در دوران ترشیری در پهنه ساختاری ایران مرکزی فعالیت‌های ماگمایی بسیاری انجام شده است که نتیجه آن ایجاد نوار آتشفشانی عباس‌آباد -کاهک در جنوب نوار افیولیتی سبزوار و در لبه‌ی شمال شرقی پهنه ساختاری ایران مرکزی می‌باشد، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در نوار عباس‌آباد -داورزن در یک محیط کششی درون کمائی نهشته شده است (Ghasemi and Rezaei-Kahkhaei, 2015).



شکل ۱-۲: نقشه زمین‌شناسی - ساختاری ایران و موقعیت منطقه مورد مطالعه.

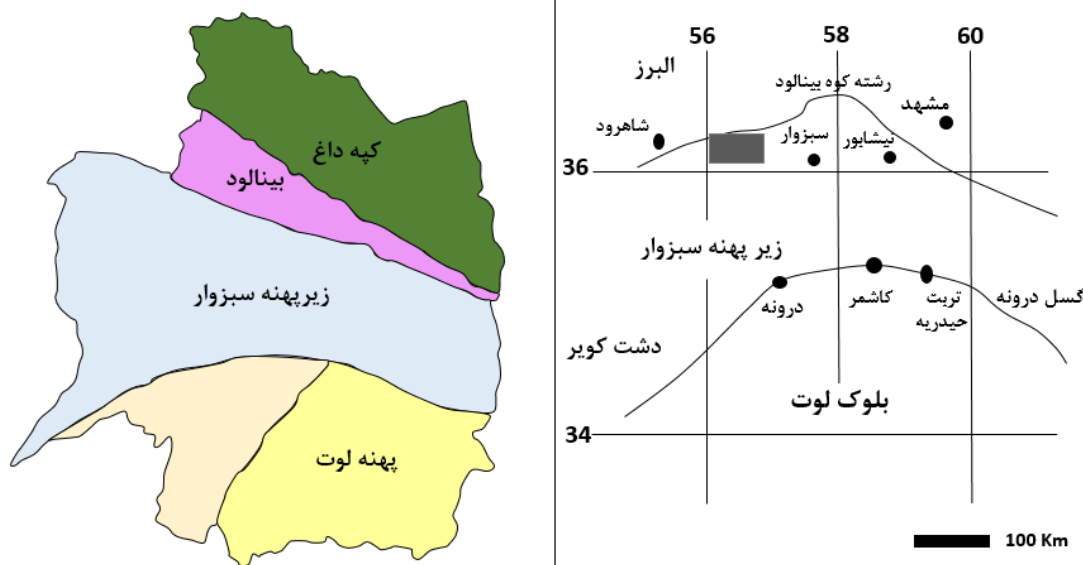
۲-۲- ویژگی‌های پهنه ساختاری ایران مرکزی در ترشیری:

حوضه فروافتاده ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای می‌باشد که به شکل مثلث در مرکز ایران قرار دارد و جزء بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی محسوب می‌شود که از سمت شمال به پهنه زمین‌ساختی البرز و از سمت جنوب‌غرب و غرب به پهنه زاگرس منتهی می‌شود (درویش زاده، ۱۳۸۱). در ایران مرکزی، بیشتر سنگ‌های پالئوسن انباشته‌های کنگلومرایی حاصل از چرخه‌های فرسایشی رخداد لارامین هستند. سنگ‌های آئوسن گاهی نشانگر تکاپوهای آتشفشانی و گاهی انباشته‌های فلیش گونه‌اند که در حاشیه‌ی قاره‌ها انباشته شده‌اند. عملکرد رخداد پیرنئن موجب برقراری محیط‌های اکسیدی-قاره‌ای محدود شده به همین رو سنگ‌های الیگوسن ایران مرکزی

گسترش محدود دارند و بیشتر از نوع مارن-سنگ ماسه و کنگلومرا هستند (سازند سرخ پایینی) که رنگ سرخ دارند. پس از رخداد پیرنئن، در اواخر الیگوسن بخش باختری ایران مرکزی (قم، ماکو، آذربایجان، تفرش، کاشان و...) با دریای پیشرونده‌ی الیگوسن-میوسن پوشیده شده‌است. سنگ‌های این دریای پیشرونده کربنات‌های سکویی نوع رمپاند (سازند قم) که در محیط‌های کم‌ژرفا انباشته شده‌اند و نشان می‌دهند که در این زمان (الیگوسن-میوسن) قسمت‌های باختری ایران مرکزی زیر دریایی پیشرونده‌ای بوده است که به احتمال از زاگرس به این ناحیه آمده است. سنگ‌های نئوژن ایران مرکزی انباشته‌های قاره‌ای-اکسیدی هستند و نشانگر آنند که از میوسن پیشین، با پسروی دریا، محیط‌های قاره‌ای حاکم شده که تا زمان پلیوسن و حتی کواترنر ادامه یافته است (آقناباتی، ۱۳۸۳).

از لحاظ موقعیت تکتونیکی، این منطقه در زیرپهنه تکتونیزه سبزوار قرار گرفته است. زیرپهنه سبزوار از زیر پهنه‌های ساختاری بزرگ ایران مرکزی می باشد. این ناحیه بین دو گسل بزرگ درونه در جنوب و گسل بینالود در شمال واقع شده است. این زیرپهنه از شمال با زیرپهنه بینالود و از جنوب با زیرپهنه بلوک لوت در ارتباط است (شکل ۲-۲). این ارتباط تکتونیکی و گسله می باشد (Lindenberg et al, 1983).

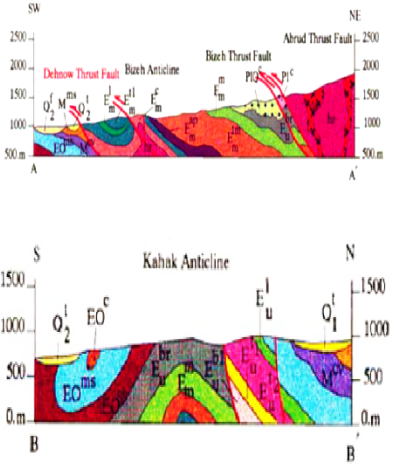
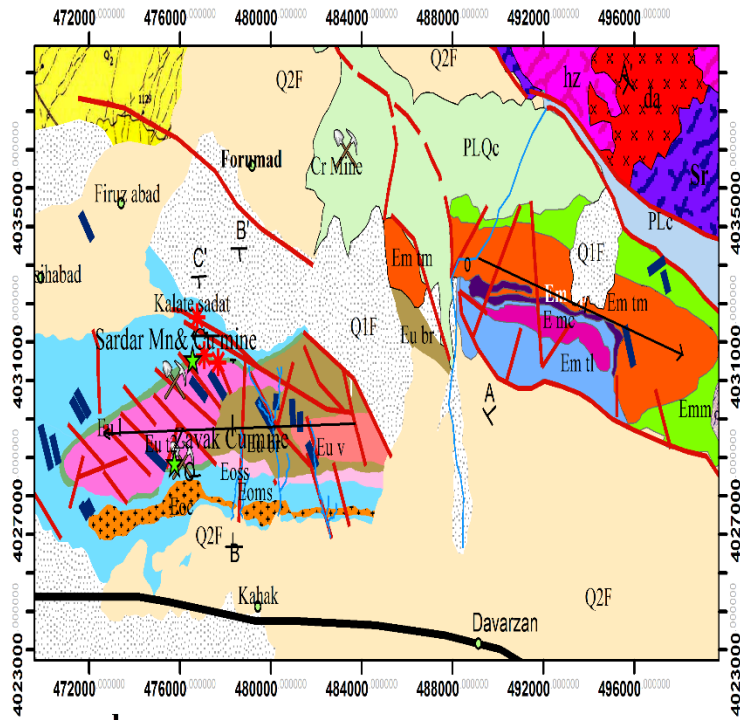
به گفته برخی از مؤلفین، در کرتاسه بالایی، بر اثر همگرایی بلوک لوت و خرده بلوک‌های مجاور آن با البرز شرقی در ناحیه بینالود، حوضه سبزوار که شاخه‌ای از اقیانوس نئوتتیس بوده است، بر اثر فرورانش پوسته اقیانوسی به سوی شمال بسته شده و سبب رخنمون بقایای افیولیتی ناحیه سبزوار شده است (Berberian and King, 1981).



شکل ۲-۲: پهنه بندی خراسان رضوی و موقعیت زیر پهنه سبزوار در ایران مرکزی حیدری و مناف نژاد ۱۳۷۸.

۲-۳- چینه‌شناسی

منطقه مورد مطالعه در قسمت میانی نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (آقانباتی و افتخارنژاد، ۱۳۷۱) و در قسمت شمالی ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفروکهنسال، ۱۳۷۱) واقع شده‌است. نقشه زمین‌شناسی منطقه از قدیم به جدید در زیر به اختصار آورده شده است (شکل ۲-۳).



Legend

Quaternary	Q2	Q2F :High level, old terraces, clastic deposit.
	Q1	Q1F :Low Level, young terraces, clastic deposit.
	PLQc	PLQc:Pale grey-craeunconsolidated,poorly sorted conglomerate.
Neogene	PLc	PLC:Pinkish to brown poorly consolidated conglomerate.
	E o m s	E o m s :Alteration of brownish and pale yellow marl, sandstone, shale and tuffaceous sandstone.
Eocene	E o c	E o c :Grey to brown, moderately sorted, well consolidated conglomerate.
	E o SS	E o SS :Dark grey sandstone and shale with some calcareous sandy tuff.
	E u 1	E u 1 :Nummulitic tuffaceous limestone.
	Eut2	Eut2 :Alternation of spilitic andesybalt, basaltic trachyandesite, porphyritic trachyandesite lavas and tuff with volcanic breccias.
	E u v	E u v :Dark grey trachyandesitic lava.
	Eu br	Eu br :Andesitic basalt volcanoclastic breccia and basaltic to trachyandesitic lava.
	Emm	Emm:Yellowish marland sandstone with intercalation of nummulitic calcareous sandstone.
	Emtm	Emtm:Pale green to yellowish alternation of nummulitic calcareous sandstone.
Prelate.CRE	Em ap	Em ap:Grey to brown porphyritic andesite lava.
	Emtl	Emtl:Dark brown crystal litic tuff and lapilli tuff in association with nummulitic calcareous sandstone.
	Emc	Emc: Polygenic wellconsolidated, poorly sorted conglomerate.
	hz	hz: Harzburgite and locally dioritic gabbro.

SYMBOLS

- First Class Road
- River
- Fault
- City
- Village
- ✕ Mine
- ★ Mn Mineralition
- ✱ Cu Mineralition
- ↖ Anticlinal axis showing plunge
- ↘ Synclinal axis showing plunge
- Geological Section

2 Km

شکل ۲-۳: نقشه زمین شناسی ناحیه مورد مطالعه که بر اساس تلفیقی از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و

کهنسال ۱۳۷۱) و تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرائی ترسیم شده است.

۲-۳-۱- مزوزوئیک:

با توجه به بررسی‌های زمین‌شناسی ورقه‌ی داورزن، بخش‌های شمال‌شرق تا غرب این ورقه متعلق به زون افیولیتی شمال سبزوار می‌باشد که دارای روند شمالی-جنوبی است. افیولیت‌های شمال سبزوار با افیولیت‌های مزوزوئیک حاشیه خردقاره شمال ایران مرکزی وابستگی دارد و در ریفت‌های کوچک کرتاسه تشکیل شده‌است. قدیمی‌ترین واحدهای سنگی منطقه واحدهای هارزبورژیتی و سرپانتینی شده (hr , sr) هستند که در بعضی نقاط با گابرویدیوریت‌ها همراهی دارند و متعلق به زون افیولیتی هستند که سن آن‌ها قبل از کرتاسه پسین بوده است.

۲-۳-۲- سنوزوئیک:

ترشیری با مجموعه فعالیت‌های آتشفشانی آغاز می‌گردد که مربوط به جنبش‌های کوهزایی لارامید می‌باشد که در ائوسن به اوج خود رسیده است. نشست کف حوضه رسوبی و پیش‌روی دریا در اواسط ائوسن با یک واحد کنگلومرای آغاز می‌شود. سپس رسوبات بستر دریایی نومولیت‌دار ائوسن بالایی که معرف محیط کم عمق است در پی آن می‌آیند. بعد از آن با بالا آمدن کف دریا یک رژیم آواری بر سراسر ناحیه حکم‌فرما شده است و سازند قرمز الیگوسن را برجای گذاشته است. در اواخر الیگوسن با نشست دوباره کف حوضه در مدت کوتاهی مجدداً یک رژیم دریایی مستقر می‌گردد و ضخامت بسیار کمی از تناوب شیل و آهک را بوجود می‌آورد. اما پس از آن شرایط دریایی دیگری مشاهده نشده است و یک رژیم آواری کولابی در منطقه حکم‌فرما است. بطور کلی رخساره‌های ترشیری منطقه به دو دسته رخساره‌های پالئوژن و نئوژن تقسیم می‌شود. پالئوژن شامل: پالئوسن، ائوسن و الیگوسن بوده است بطوری‌که رخساره‌های پالئوسن از کنگلومرا و ماسه‌سنگ تشکیل شده که در این منطقه مشاهده نشده‌است. در حالیکه ائوسن عمدتاً شامل رخساره‌های آتشفشانی-رسوبی است و بیانگر اوج فعالیت‌های آتشفشانی در این زمان می‌باشد، در شمال غرب منطقه سنگ‌های گدازه‌ای و آذرآواری با روند شمال شرق-جنوب غرب قابل مشاهده است. به طور عمده واحدهای الیگوسن در این ناحیه متشکل

از واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایبی بوده است که در قسمت‌های شمالی و جنوبی تاقدیس کاهک رؤیت می‌شود. نئوژن شامل مارن‌های میوسن و کنگلومرای پلیوسن می‌باشد که وجه تشابه فراوانی با رخساره‌های قسمت فوقانی سازند قم و سری قرمز فوقانی دارد.

بطور کلی جدا از قسمت‌های شمالی، شرقی و شمال‌شرقی منطقه که مربوط به واحدهای افیولیتی مزوزوئیک می‌باشد، دیگر واحدهای سنگ چینه‌ای منطقه مربوط به ائوسن می‌باشد که شامل:

الف: واحدهای مربوط به ائوسن میانی که در تاقدیس بیزه رخنمون دارد و شامل کنگلومرای چندزادی با جورشدگی ضعیف و سخت‌شدگی خوب، توف قطعه‌دار بلورین و لاپیلی توف قهوه‌ای تیره همراه با ماسه سنگ آهکی، گدازه، آندزیت پورفیری خاکستری تا قهوه‌ای، تناوب مارن، توف بلورین شیشه‌ای اسیدی با ماسه‌سنگ آهکی نومولیت‌دار سبز کم‌رنگ مایل به زرد، مارن و ماسه‌سنگ مایل به زرد با بین لایه‌های ماسه‌سنگ آهکی نومولیت‌دار است و همانطور که بیان شد حاصل رویداد کوهزایی لارامید می‌باشد.

ب: واحدهای مربوط به ائوسن بالایی که در تاقدیس کاهک رخنمون دارد و شامل توالی‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن بالایی و تخریبی‌های ائوسن-الیگوسن است. سنگ‌های آتشفشانی آن شامل آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت بازالت و تراکی آندزی بازالت است که کانی‌های آن به‌طور عمده شامل پلاژیوکلاز، پیروکسن، آمفیبول و بیوتیت می‌باشد. پلاژیوکلازهای آن به سریسیت و کانی‌های فرومنیزین به کلریت دگرسان شده است که بیانگر تشکیل سنگ‌ها در محیط زیرآبی و درون حوضه‌ای رسوبی است.

۲-۴- ماگماتیسیم منطقه:

ماگماتیسیم موجود در منطقه مورد مطالعه شامل دو دسته سنگ است که عبارتند از:

۲-۴-۱- سنگ‌های نفوذی :

سنگ‌های نفوذی سنگ‌های نفوذی این ناحیه، مونزودیوریت-مونزونیت است که در جنوب منطقه، در منتهی الیه شرق تاقدیس کاهک، درون سنگ‌های آتشفشانی تراکی‌آندزیت، به رنگ خاکستری روشن برونزد دارد. این توده‌ی تماماً بلورین، با بافت دانه‌ای متوسط تا درشت دانه، با درشت بلورهای آلکالی فلدسپات و پلاژیوکلاز همراه است. این توده نفوذی، سنگ‌های آتشفشانی ائوسن را بریده و در محل همبری آن‌ها سیلیسی شده است. چون این سنگ‌های آتشفشانی، خود با دایک‌های دیابازی بریده می‌شود، چنین پنداشته می‌شود که سن توده آذرین نفوذی الیگوسن باشد.

۲-۴-۲- سنگ‌های بیرونی:

این نوع سنگ‌ها در این ناحیه عبارتند از:

واحد آندزیت داسیتی، تراکی‌آندزیت (da):

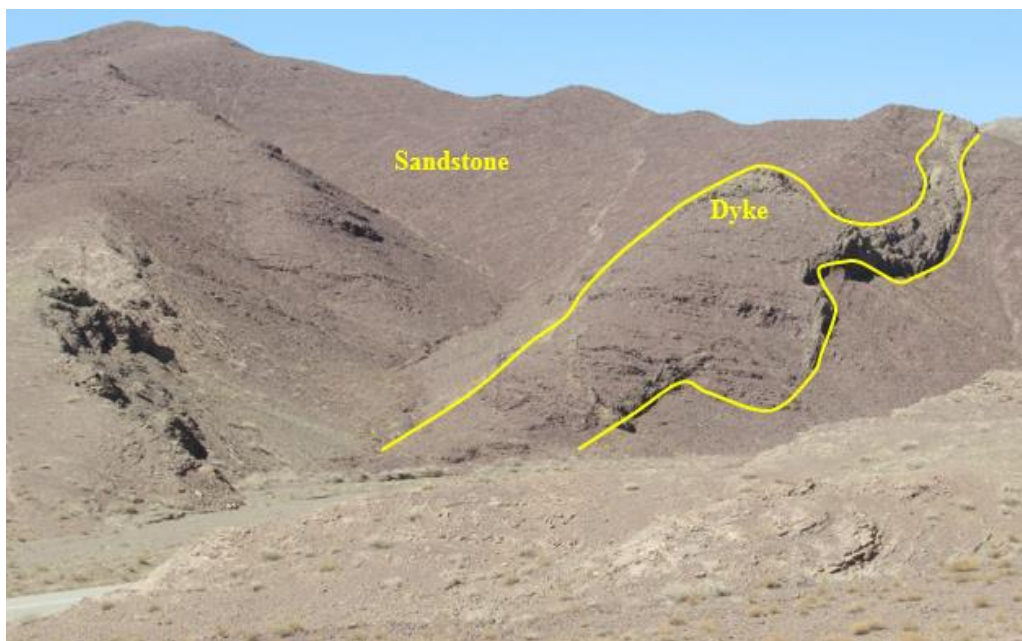
رنگ این واحدها خاکستری روشن مایل به صورتی می‌باشد و به بعد از پلیوسن نسبت داده می‌شود.

واحد دایک و سیل گرانیتی (gr):

این واحد، درون هارزبورژیت‌های شمال شرق منطقه تزریق شده است.

واحد دایک‌های آندزی بازالت و پیروکسن بازالت (ab):

درون واحدهای آتشفشانی ائوسن بالایی و واحدهای تخریبی الیگوسن با روند شمال غرب-جنوب شرق و هم‌روند گسل‌های نرمال منطقه، تزریق شده و از نظر سنی جوان‌تر از این واحدها می‌باشند. واحدهای ائوسن بالایی شامل برش ولکانوکلاستیک آندزی بازالت و گدازه‌های بازالتی تا تراکی‌آندزیت و تناوب گدازه‌های آندزی بازالت اسپلیتی، تراکی‌آندزی بازالت، تراکی‌آندزیت پورفیری و توف با برش آتشفشانی بوده و واحدهای الیگوسن، تناوب مارن، ماسه‌سنگ شیل و ماسه سنگ توفی مایل به قهوه ای و زرد کم‌رنگ می‌باشد (شکل ۲-۴).



شکل ۲-۴: رخنمون دایک قطع کننده‌ی ماسه‌سنگهای ائوسن-الیگوسن.

کواترنری:

در قسمت‌های جنوبی منطقه، بیشترین مساحت را رخساره‌های عهد حاضر پوشش می‌دهند. نهشته‌های کواترنری در منطقه به ترتیب سنی عبارتند از پادگانه‌های قدیمی و جوان، مخروط افکنه‌ها، مخروط‌های آبرفتی، واریزه‌ها، تپه‌ها، پهنه‌های ماسه‌ای، آبرفت‌های عهد حاضر و پهنه‌های رسی می‌باشد.

۲-۵- زمین ساخت منطقه:

در دو بخش، فازهای کوهزایی و ساختارهای زمین‌ساختی مورد بررسی قرار می‌گیرد:

۲-۵-۱- فازهای کوهزایی و جغرافیای دیرینه منطقه:

شروع رخساره‌های سنگی ائوسن، کنگلومرای قرمز رنگی است که به خاطر وقفه زمانی و رسوبگذاری، به صورت ناپیوستگی هم‌شیب بر روی آهک‌های کرتاسه پسین، در ادامه رخداد لارامید و پیشروی دریا در پالئوژن نهشته شده است (جاده نهالدان، تاق‌دیس بیزه). بنابراین رخداد لارامید (کرتاسه-پالئوسن)

فعالیت‌های آتشفشانی و آذرآواری شدیدی را در منطقه سبب شده که تا ائوسن به اوج خود رسیده- است. این آتشفشان‌ها اکثراً در زیر آب‌های کم‌عمق تشکیل شده‌اند و ترکیب اصلی آنها اساساً آندزیتی و توف‌های وابسته به آن می‌باشد. به احتمال زیاد، رخداد پیرنه نیز در ظهور و شدت این آتشفشان‌ها در منطقه موثر بوده‌است. از طرفی دیگر، این رخداد، که در سر حد ائوسن-الیگوسن به وقوع پیوسته است. لذا رسوبگذاری در محیط‌های خشکی به ضخامت بسیار زیاد انجام گرفته‌است. به طور کلی می‌توان چنین گفت که رویدادهای زمین‌ساختی آلپی میانی باعث کج‌شدگی و چین‌خوردگی ملایم سازندهای الیگومیوسن گردیده است که نتیجه این رویداد در عبور از مسیر جاده کاهک-فرومد به وضوح قابل مشاهده است. حرکات آلپ پسین نیز تأثیرات بسیار مهمی در منطقه داشته است از جمله چین‌خوردگیها و فعالیت گسل‌ها و در نتیجه زلزله‌های شدیدی را در منطقه به دنبال داشته است. به اعتقاد اشتوکلین (۱۹۷۲) تغییر شکل‌های آلپ پسین موجب ناپیوستگی در قاعده پلیوسن بالایی و رسوبات رس، مارن و ماسه تورنین، سامارتسین در میوسن پسین گردیده است و جدیدترین حرکات چین‌خوردگی در پلیوسن-پلیوستن رخ داده است. تنها این فاز چین‌خوردگی به نام پاسادنین است که جدیدترین فازهای چهره‌ساز منطقه اعم از تاقدیس‌ها و ناودیس‌های طویل و موازی را ایجاد کرده است و هنوز هم این حرکات خاتمه نیافته است. فرسایش بعدی ارتفاعات، در طی پلیوسن و تهنشست آن‌ها در حوضه‌های جدا و کوچک باعث ایجاد کنگلومراهای پلیوسن گردیده‌است (نادری، ۱۳۷۱).

۲-۵-۲ - ساختارهای زمین‌ساختی:

ساختارهای زمین‌ساختی در منطقه مورد مطالعه شامل گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌باشد.

۲-۵-۲-۱ - گسل‌ها:

در منطقه مورد مطالعه گسل‌ها به دو نوع تقسیم می‌شوند: ۱- گسل‌های راندگی ۲- گسل‌های امتدادی

راستالغز (شکل ۲-۵)

گسل‌های راندگی یا فشارشی :

گسل راندگی آبرود:

این گسل روندی خاوری-باختری دارد، ولی در حوالی روستای بیزه خم‌دار شده و روند شمال باختری-جنوب خاوری پیدا می‌کند. این گسل باعث راندگی بخش‌هایی از سنگ‌های واحد h_2 و sf بر روی کنگلومرای پلیوسن و کنگلومرای پلیوسن-کواترنر شده است. جنبش‌های نخستین این گسل در کرتاسه پسین انجام شده است و موجب در هم آمیختن سنگ‌های گوناگون پوسته اقیانوسی از یک سو و بالا آمدن و راندگی آن‌ها بر روی بخش‌های حاشیه‌ای شده است. دومین جنبش گسل آبرود در ائوسن میانی رخ داده است و بر اثر آن حوضه رسوبی این بخش از ناوه سبزوار به کلی بسته شده است و دریای ائوسن میانی به این بخش‌ها گسترش نیافته است.

گسل راندگی بیزه:

این گسل رورانده، با راستای خم‌دار شمال باختری-جنوب خاوری و شیب $30-45$ درجه به سمت شمال خاوری با درازای نزدیک به ۱۱ کیلومتر، که به تقریب از ۵ کیلومتری جنوب خاوری روستای بیزه وارد منطقه می‌شود و با گذشتن از کنار روستای بیزه با همان روند پیشین خمشی شدید می‌یابد، و در حوالی روستای مور بر اثر سازوکار گسل‌های راستالغز چپ بر که از این محل می‌گذرند (با روند شمال خاوری-جنوب باختری) روند گسل بیزه خاوری-باختری می‌شود. کمی بالاتر با گسل آبرود پیوند می‌خورد و یک شاخه را تشکیل می‌دهد.

گسل راندگی دهنو:

راندگی دهنو در جنوب باختری راندگی‌های بیزه و آبرود جای دارد. تنها ۱۲ کیلومتر از درازای آن در این نقشه قابل رویت است. راستای آن از مرز خاوری نقشه تا حدود مزرعه شورآب خاوری-باختری و از این محل تا شمال باختر روستای دهنو شمال باختری-جنوب خاوری، با شیبی حدود $35-45$ درجه به سمت شمال خاوری است.

گسل روران‌گی قلیچ: این گسل در شمال شرق روستای فرومد گسترش داشته و یکی از گسل‌های اصلی ناحیه محسوب می‌شود که از گسترش طولی قابل توجهی برخوردار است. این روران‌گی مرز میان سنگ‌های افیولیتی ائوسن را با نهشته‌های جوان‌تر کواترنری معین می‌سازد.

گسل ران‌گی سیربابا: این گسل در شمال کوه گر (علی‌آباد) و گسل قلیچ جای دارد و مرز میان سنگ‌های گابرویی، در شمال و سنگ‌های سرپانتینی و هارزبورژیتی در جنوب را مشخص می‌کند. این گسل در ادامه به طرف غرب به گسل قلیچ متصل گردیده و ناپدید می‌شود.

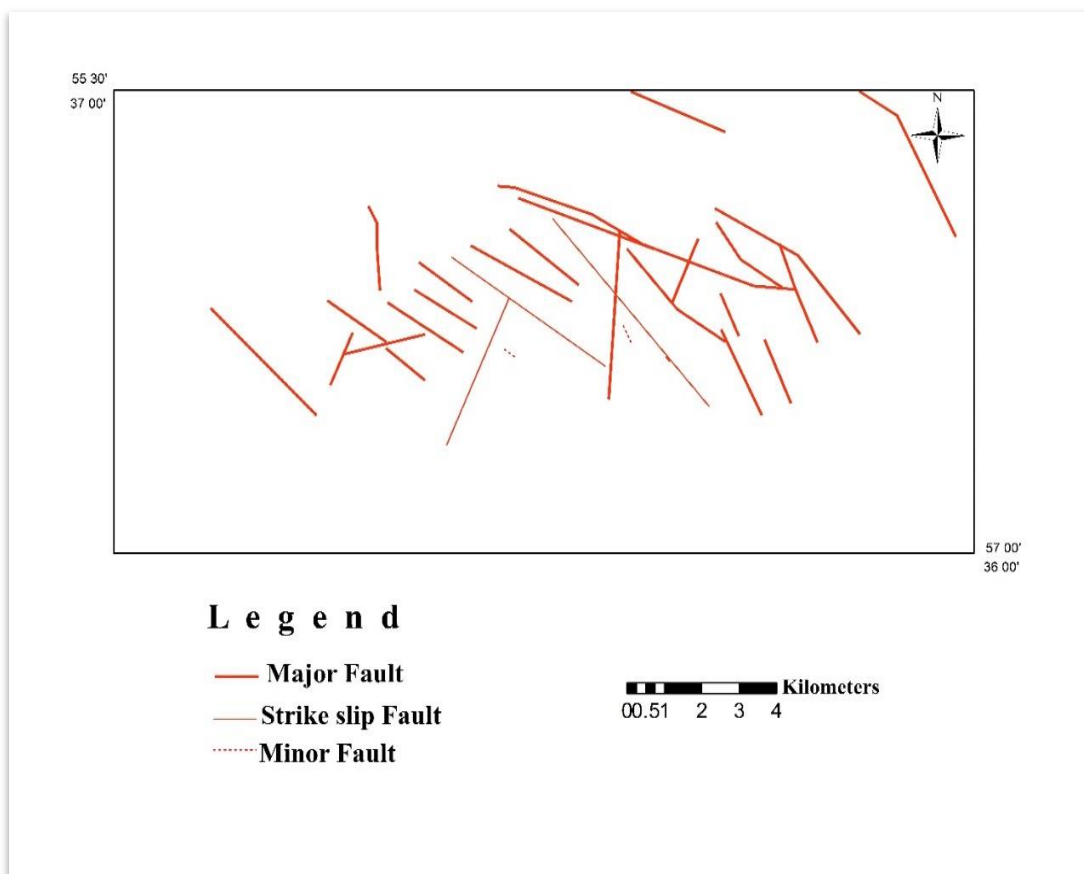
گسل ران‌گی منیدر: این گسل مرز میان واحدهای آتشفشانی-رسوبی کرتاسه (مربوط به افیولیت‌ها) در شمال و واحدهای مخلوط زمین‌ساختی، سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و نهشته‌های نئوزن در جنوب را تشکیل می‌دهد.

گسل ران‌گی دستوران: این گسل از اهمیت بسزایی برخوردار است. چرا که این گسل مرز میان مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن و بخشی از افیولیت‌ها در جنوب با نهشته‌های رسوبی ائوسن و پلیوسن -کواترنر در شمال است. این گسل گسترش مجموعه افیولیتی را به سوی شمال محدود می‌کند، به طوری که در شمال این گسل، رخنمونی از سنگ سنگ‌های افیولیتی وجود ندارد. علاوه بر سنگ‌های افیولیتی، توده‌های نیمه عمیق داسیتی (da)، که در کمربند افیولیتی سبزوار از گسترش قابل توجهی برخوردار است نیز در شمال گسل دستوران ناپدید شده و اثری از آن مشاهده نمی‌شود. این گسل بخشی از گسل طویل میامی است که حد شرقی آن فرورفتگی ناحیه، تربت شیخ جام و حد غربی این گسل در جنوب غربی شاهرود و در زیر رسوبات عهد حاضر و کویر دامغان ناپدید می‌شود. حد شمالی گسل میامی بیشتر زمین‌های آبرفتی و کوهپایه‌ای، ولی حد جنوبی آن کوهستانی است. بخشی از گسل میامی که در میان ورقه فرومد مشاهده می‌شود امتداد شرقی-غربی دارد که حد جنوبی آن جداکننده ملانژهای افیولیتی از واحدهای دیگر است، بنابراین گسل شاهرود(میامی)، حد شمالی ریفت سبزوار-شاهرود، طی زمان کرتاسه به شمار می‌رفته است و به عقیده اشتامپلی(۱۹۷۸)، گسل شاهرود تا آخرین مراحل چین خوردگی آلپی در پلیوسن عملکرد راستگرد داشته‌است. افزون بر

آن‌ها سیستم‌های متقاطع نیز وجود دارد، که فرصتهایی مناسب را برای فوران گدازه‌های آتشفشانی ائوسن ایجاد کرده‌است.

گسل‌های امتداد لغز: در منطقه مورد مطالعه، گسل‌هایی که دارای روند تقریبی شمالی-جنوبی و شمال خاوری-جنوب باختری می‌باشند گسل‌های امتداد لغز به شمار می‌آیند که بطور عموم گسل‌های راندگی بزرگ منطقه را بریده و در برخی موارد جابجا کرده است. گسترش طولی این‌ها نسبت به گسل‌های فشاری کمتر ولی شیب بیشتری دارند. آنچنان که گاه تند و نزدیک به قائم هستند.

گسل فرومد: این گسل در روند شمال غرب-جنوب شرق امتداد یافته و مرز بین نهشته‌های کنگلومرای PLQ^c و آبرفت‌های جوان Q₁^t و Q₂^t را در شمال روستای فرومد تشکیل می‌دهد. این گسل احتمالاً جزو جوان‌ترین گسل‌های منطقه است.



شکل ۲-۵: نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن.

۲-۵-۲-۲- چین خوردگی ها :

در ورقه داورزن ساختمانی چین خورده دیده می‌شود. چین‌های موجود در منطقه بصورت دو تاقدیس بزرگ با طول‌های بیش از ده کیلومتر با شیب لایه‌های ۴۵ تا ۶۰ درجه می‌باشد که دلیل آن عملکرد فاز کششی در منطقه جهت کافت‌زایی و تشکیل افیولیت‌ها و به دنبال آن ایجاد گسل‌های نرمال فراوان با روند عمومی شمال غرب - جنوب شرق است (شکل ۲-۶). همچنین در رسوبات نئوژن منطقه مورد بررسی نیز چین‌هایی ملایم ایجاد شده‌است.



شکل ۲-۶: نمایی از چین خوردگی‌های ماسه‌سنگ ائوسن-الیگوسن.

این تاقدیس‌ها شامل:

۱- تاقدیس بیزه: نام تاقدیس بیزه از نام روستای بیزه که در یال شمالی تاقدیس قرار دارد، گرفته شده‌است. این تاقدیس در یال جنوبی برگشته و سپس در همان یال دچار گسلش رورانده شده و بخش اساسی یال جنوبی را از دست داده‌است. تاقدیس نا متقارن بیزه با روند محوری شمال غرب- جنوب شرق و به سن ائوسن میانی واقع در جنوب واحدهای هارزبورژیته کرتاسه است که توسط دو گسل راندگی آبرود-بیزه از این واحدهای سنگی جدا شده و بطور ناپیوسته روی آن‌ها قرار گرفته‌است.

۲- **تاقدیس کاهک**: نام تاقدیس کاهک از نام روستای کاهک که در جنوب یال جنوبی تاقدیس قرار دارد، گرفته شده است. این تاقدیس با روند محوری شرقی-غربی و به سن ائوسن بالایی در غرب تاقدیس بیزه قرار دارد. در رسوبات الیگوسن جنوب ناحیه مورد بررسی نیز چین‌هایی قابل رویت است که که محور آن‌ها هم راستای گسل‌های اصلی منطقه، با همان روند شمال غرب-جنوب شرق می-باشد (شکل ۲-۷).



شکل ۲-۷: تصویر ماهواره‌ای از دو تاقدیس بیزه و کاهک در ناحیه.

۲-۶- زمین‌شناسی اقتصادی:

در منطقه مورد مطالعه آثار معدنی به چهره کانی‌زایی فلزی به شرح زیر شناخته شده است .

کانی‌های فلزی:

در جنوب تا تا جنوب خاوری روستای کلاته عبدل تا باختر روستای فیروزآباد پایین در واحدهای گوناگون ائوسن بالایی اندیس‌های فراوانی از مس در پیکر کانی‌های مالاکیت و آزوریت یافت می‌شوند. این کانه‌ها رگه و رگچه‌هایی را درون بخش‌های گدازه‌ای و در مواردی آذرآواری پدید آورده‌اند. آثار سرباره‌های ذوب مس در جنوب باختری ورقه حاکی از بهره‌برداری کهن این مواد معدنی است. در همین ارتباط بقایای حفاری قدیمی در محل‌های مورد نظر را می‌توان گواه بود. این گودال‌های عظیم ناشی از برداشت حجم‌هایی شایان توجه از سنگ مس‌دار است. از جمله کانسارهای مهم در منطقه می‌توان به کانسار منگنز سردار، کرومیت فرومد، مس زاواک اشاره کرد.

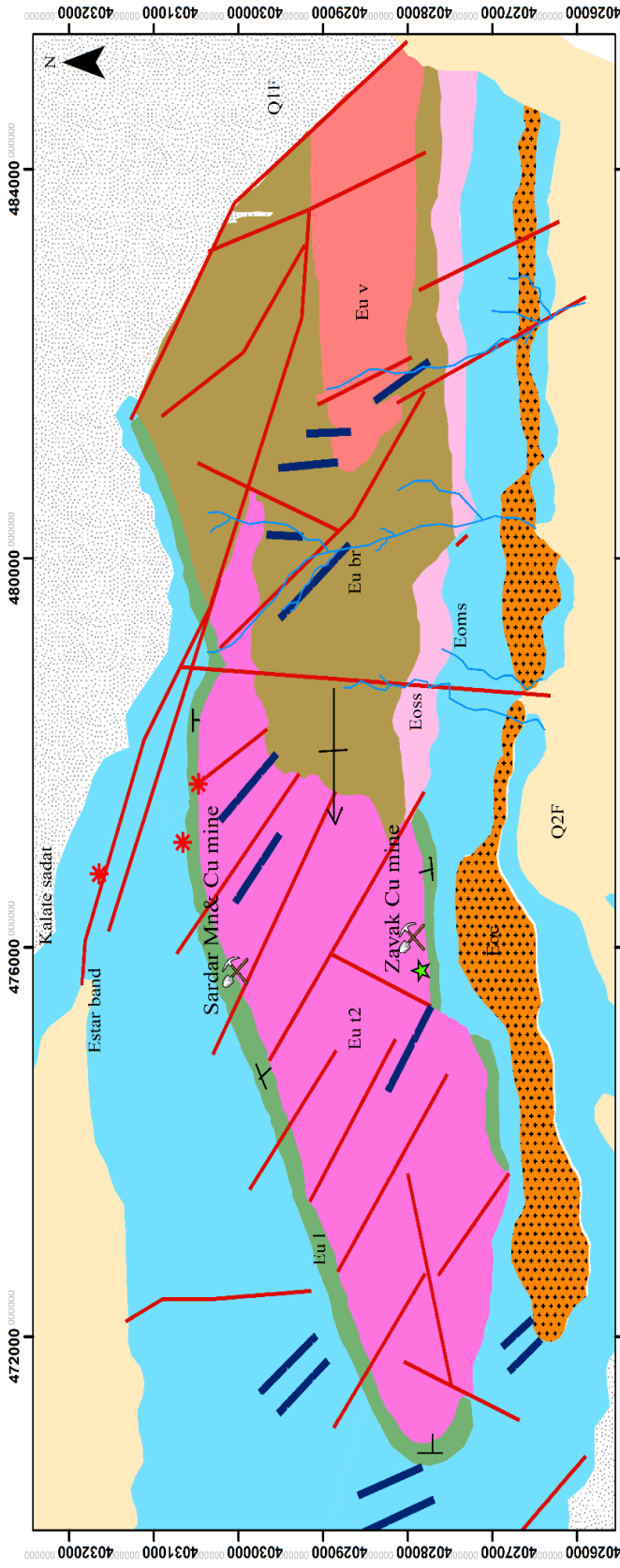
فصل سوم:

زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده

معدنی

۳-۱- مقدمه

در این بخش پتروگرافی دو گروه عمده سنگ‌های ناحیه از لحاظ نمونه دستی و مقطع میکروسکوپی مورد بررسی قرار می‌گیرند شامل: ۱- سنگ‌های آتشفشانی (گدازه و آگلومرا)، ۲- سنگ‌های رسوبی موجود در توالی منطقه معدنی. همانطور که در فصل زمین‌شناسی ناحیه ای ذکر شد، منطقه مورد مطالعه، بخشی از نوار آتشفشانی عباس‌آباد-کاهک، در جنوب نوار افیولیتی سبزوار و در لبه‌ی شمال شرقی پهنه ساختاری ایران مرکزی می‌باشد. از آنجا که توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن میانی میزبان کانه‌زایی مس می‌باشد، لذا سعی گردید تا با استفاده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن، تصاویر ماهواره‌ای و عملیات صحرایی (پیمایش‌های عرضی) صورت گرفته در محدوده معدنی، ابتدا و نقشه زمین‌شناسی منطقه به همراه نیمرخ مربوط و ستون چینه‌شناسی عمومی (شکل ۳-۲) تهیه گردید (شکل ۳-۱).



Legend

Quaternary	Q2	Q1
Eocene - Oligocene	Eo ms	Eo ss
	Eu 12	Eu 1
	Eu br	Eu v

- Q1F :Low Level, young terraces, clastic deposit.
- Q2F :High level, old terraces, clastic deposit.
- E o m s :Alteration of brownish and pale yellow marl, sandstone, shale and tuffaceous sandstone.
- E o c :Grey to brown, moderately sorted, well consolidated conglomerate.
- E o ss :Dark grey sandstone and shale with some calcareous sandy tuff.
- Eu 1 :Nummulitic tuffaceous limestone.
- Eu 12 :Alteration of splitic andesite/basalt, basaltic trachyandesite, porphyritic trachyandesite lavas and tuff with volcanic breccias.
- Eu v :Dark grey trachyandesitic lava.
- Eu br :Andesitic basalt volcanoclastic breccia and basaltic to trachyandesitic lava.

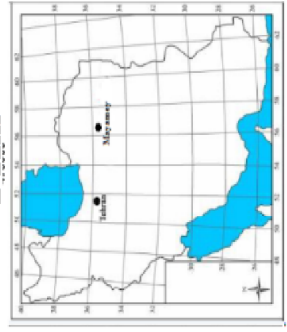
SYMBOLS

- First Class Road
- - - Second Class Road
- - - Gravel Road
- River
- Fault
- City
- Village
- ⌘ Mine
- ★ Mn Mineralization
- ✱ Cu Mineralization

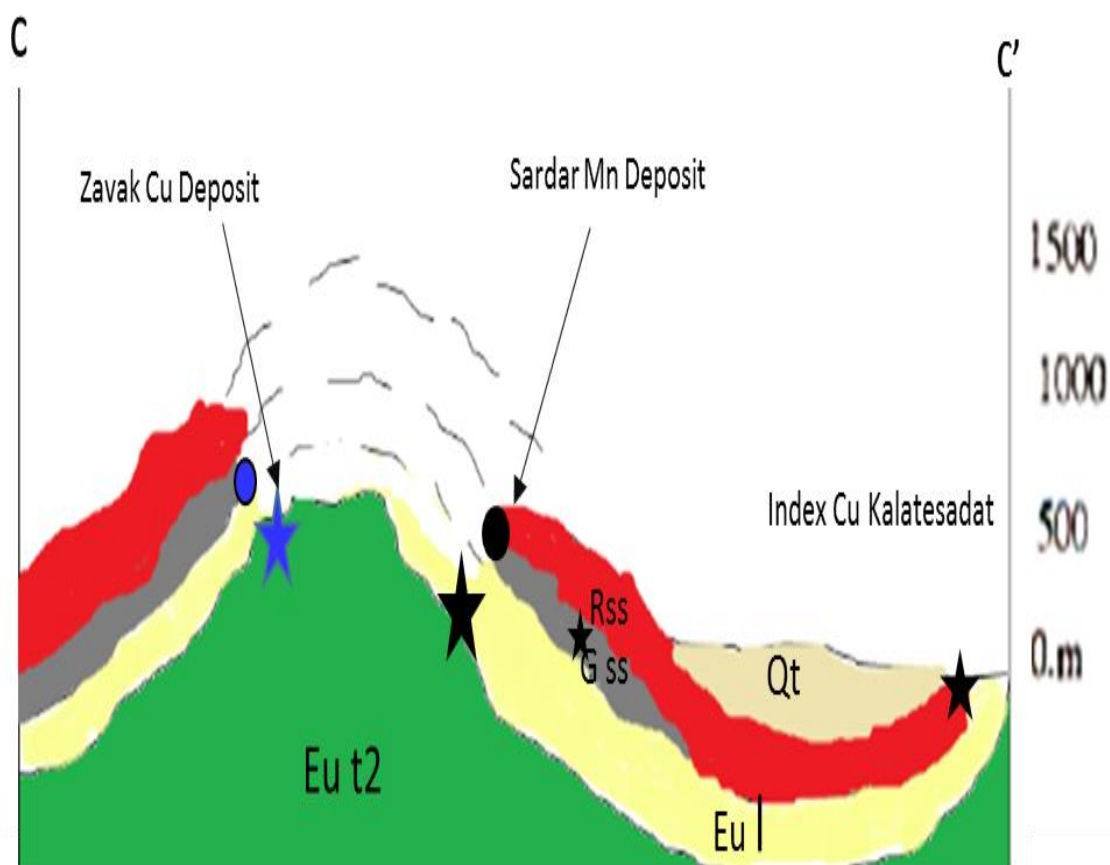
Dyke

- ab:Andesitic basalt and pyroxene basaltic dykes.

2 Km

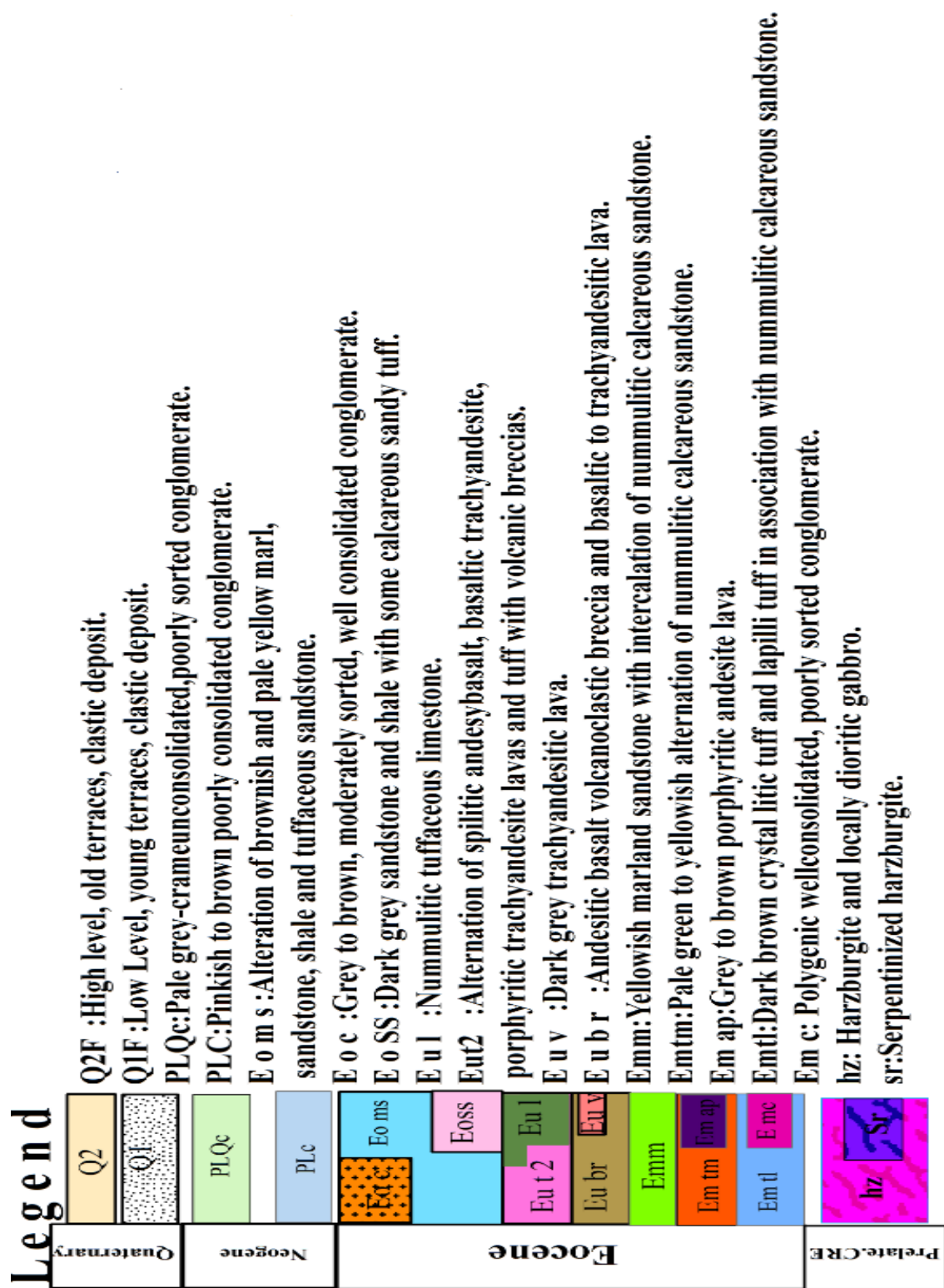


Kahak Anticlinal



Cu Deposit	★	Mn Deposit	●
Cu index	★	Mn index	●

شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که بر اساس تلفیقی از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال ۱۳۷۱) و تصاویر ماهواره‌ای و مشاهدات صحرایی ترسیم شده‌است و مقطع شماتیک عرضی از واحدهای سنگی در تاق‌دیس کاهک که با استفاده از تلفیق مقاطع مختلفی که پیمایش شده ترسیم گردیده‌است.



شکل ۳-۲: ستون چینه شناسی ساده شده منطقه های بیزه-کاهک-عباس آباد بر اساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ عباس آباد و

داورزن.

بنابراین با توجه به ستون چینه‌شناسی منطقه از توالی آتشفشانی-رسوبی هریک از واحدهای سنگی به ترتیب سن در زیر توضیح داده می‌شوند:

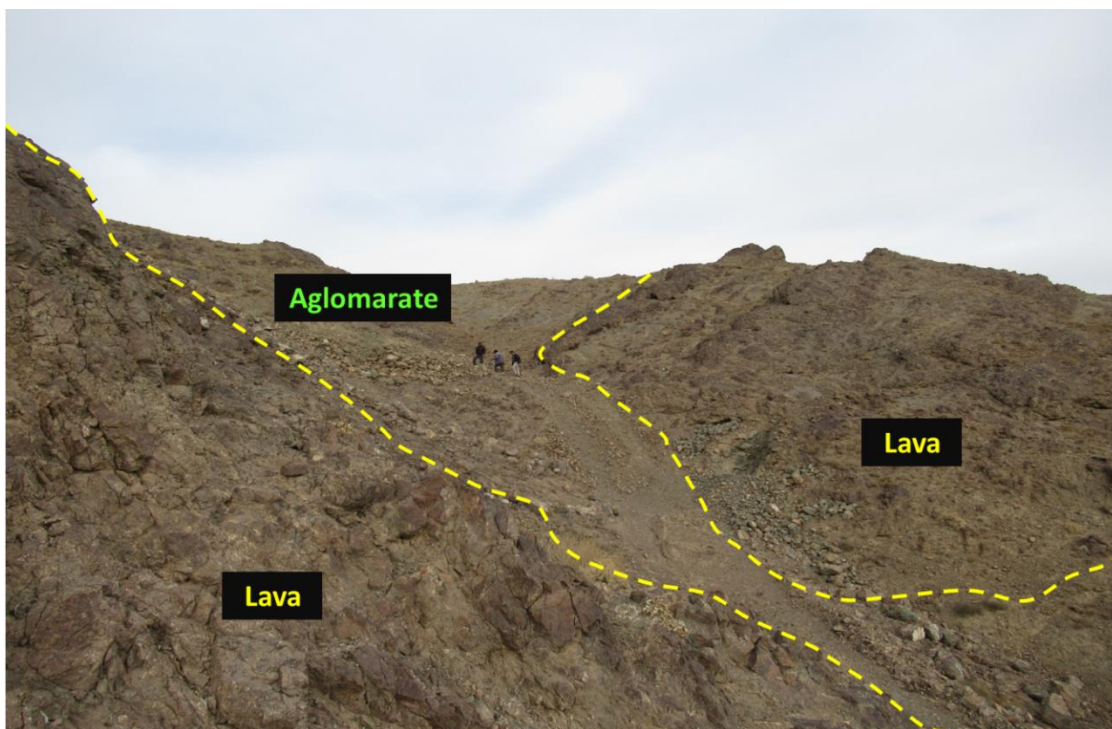
۳-۲- سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی:

۳-۲-۱- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه معدنی:

واحدهای سنگی ائوسن-الیگوسن در منطقه مورد مطالعه بر حسب جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی از پایین به بالا به پنج واحد اصلی (Eut2)، (Eul)، (E st)، (Eo ms) و پادگانه‌های آبرفتی تقسیم می‌شوند.

۳-۲-۲- واحد اول: سنگ‌های آتشفشانی (E_u^{t2})

سنگ‌های آتشفشانی موجود در منطقه، قدیمی‌ترین واحد در محدوده مورد مطالعه است که دارای ستبرایی بیش از سه کیلومتر می‌باشد. این واحد سنگی شامل تناوبی از گدازه‌های آندزیتی-بازالتی و تراکی آندزیت در یال شمالی و تناوب گدازه و آگلومرا با ترکیب آندزیتی بازالتی در یال جنوبی بوده که بصورت لایه‌ای هسته‌ی تاقدیس کاهک را که دارای روند شرقی-غربی است تشکیل داده و از لحاظ ریخت‌شناسی دارای مرتفع‌ترین واحد سنگی در محدوده مورد مطالعه می‌باشد. شیب لایه‌بندی واحدهای سنگی بطور میانگین ۴۵ درجه به سمت شمال می‌باشد. واحد آگلومرایبی در یال جنوبی و در زیر آهک توفی نومولیت دار گسترش دارد که تناوب‌های کوچکی از گدازه در آن مشاهده می‌شود. اما در یال شمالی بیشتر از نوع گدازه بوده و دارای ترکیب تراکی آندزی بازالت می‌باشد و در زیر واحد آهکی گسترش دارد (شکل ۳-۳).



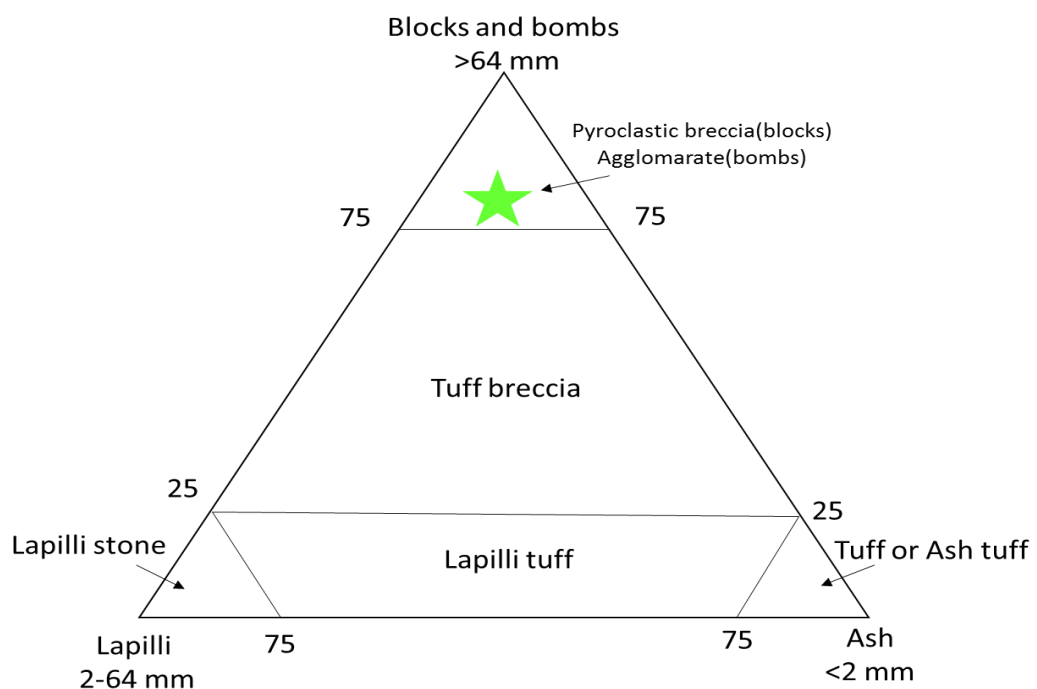
شکل ۳-۳: نمایی از واحد (E_u^{t2}) در زاواک.

۳-۲-۱- گدازه‌ی آندزیت-بازالتی

گدازه‌های آندزیتی-بازالتی در سطح هوازده به رنگ خاکستری متمایل به قهوه‌ایی و در سطح تازه خاکستری تیره و در برخی نقاط به دلیل آغشتگی اکسیدهای آهن به رنگ قرمز مشاهده می‌شود. در مطالعات میکروسکوپی کانی‌های اصلی شامل پلاژیوکلاز و پیروکسن است. بلورهای پلاژیوکلاز بیش از ۶۵-۷۰ درصد حجم این سنگ‌ها را شامل می‌شود. پیروکسن‌ها بصورت فنوکریست‌های بی‌شکل و یا بصورت ریزبلور در زمینه سنگ وجود دارند و به شدت دچار انحلال و خوردگی شده‌اند. کانی‌های ثانویه را کلسیت، کوارتز و کلریت تشکیل می‌دهند. این زیرواحد در تناوب با آگلومرای آندزیتی-بازالتی، واحد اصلی E_u^{t2} را تشکیل می‌دهد که هسته تاقدیس کاهک را شکل داده و با آهک‌های نومولیت دار روی خود بصورت بین‌انگشتی قرار گرفته‌است. احتمالاً گرمای ناشی از این سنگ‌ها دمای لازم برای رشد و تکثیر سریع نومولیت‌ها را فراهم آورده است.

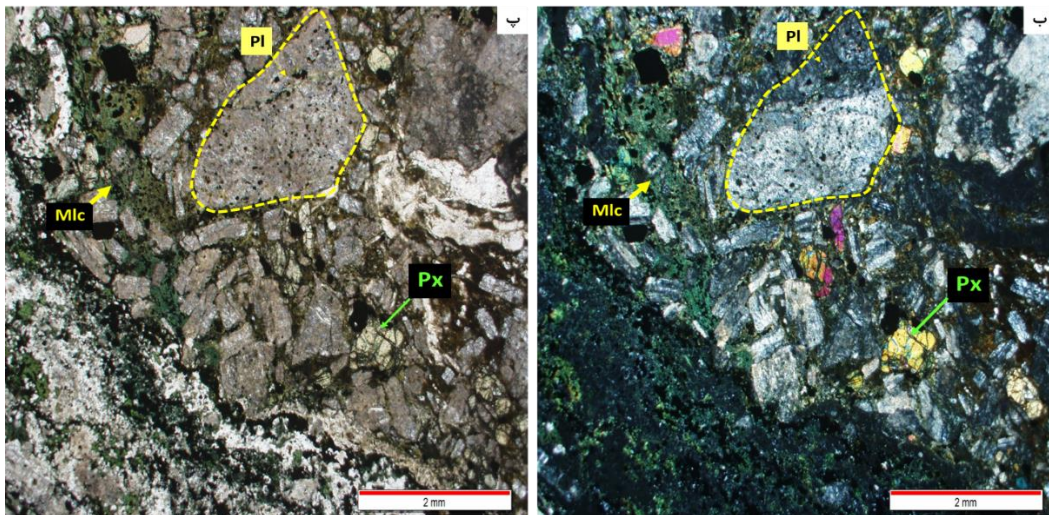
۳-۲-۲-۲- آگلومرای آندزیت-بازالتی

نهبسته‌های آذرآواری منطقه مورد مطالعه به عنوان اولین فاز آتشفشانی پالئوژن و طیف وسیعی از قدیمی‌ترین رخنمون‌های منطقه را در برمی‌گیرند. در مشاهدات صحرایی این واحد بخش اعظم محدوده مورد مطالعه را در برمی‌گیرد و به صورت هم‌روند با واحدهای گدازه‌ای رخنمون دارند و به رنگ‌های قهوه‌ایی تا قرمز و خاکستری متمایل به سبز و با دگرسانی بسیار شدید مشخص می‌شوند. سنگ‌های آذرآواری منطقه در رده کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا قرار می‌گیرند. آگلومراهای مزبور دارای قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب آندزیت و بازالت هستند که در آغاز فعالیت ولکانیکی ناحیه به صورت بمب به شدت پرتاب شده‌اند و در دریای نسبتاً کم عمق اواسط ائوسن رسوب کردند. بر اساس تقسیم بندی (Lemaltre(2002 آگلومرا یک سنگ آذرآواری است که بیش از ۷۵ درصد آن را بمب تشکیل می‌دهد(شکل ۳-۴).



شکل ۳-۴: تقسیم بندی چندتایی سنگ‌های آذرآواری بر اساس نسبت‌های بمب، بلوک، لاپیلی و خاکستر بر اساس Lemaltre(2002 و موقعیت نمونه‌های کاهک که با علامت ستاره مشخص شده‌است.

گدازه نسبت به آگلومرا مقاوم تر و غیرقابل نفوذتر است، بنابراین آگلومرا فرسایش بیشتری می‌یابد. به دلیل این که آگلومراها دارای تخلخل زیادی هستند فضای مناسبی برای نفوذ سیالات گرمایی هستند و در نتیجه فرایند کانه‌زایی و دگرسانی در این واحدها افزایش یافته است. این زیرواحد در یال جنوبی و در زیر واحد آهک توفی نومولیت‌دار و در تناوب با زیرواحد گدازه ای گسترش دارد. این زیرواحد دارای گردشگی خوب و جورشدگی و سخت شدگی ضعیف می‌باشد که بیانگر تلاطم بعد از انفجار در محیط زیر دریایی می‌باشد (شکل ۳-۵ الف، ب و پ).



شکل ۳-۵ الف: نمایی از واحد آگلومرای و نمونه دستی آن در تقادیس کاهک که میزبان کانه‌زایی مس می‌باشد. ب و پ: تصویری از مقطع میکروسکوپی واحد آگلومرای (Px: پیروکسن و Pl: پلاژیوکلاز و Mlc: ملاکیت).

۳-۲-۳ - واحد دوم: آهک توفی نومولیت دار (E_u^1)

واحد آهک توفی نومولیت دار به ضخامت ۵ الی ۱۰ متر می‌باشد که در سرتاسر یال شمالی و جنوبی تاقدیس کاهک بر روی سنگ‌های آتشفشانی و واحد آگلومرایی قابل مشاهده است و حاوی فسیل‌های شاخصی مانند نومولیت، دیسکوسیکلینا، آسیلینا، آلوئولینا، اوربیتولیس و دوکفه‌ای به همراه سیمان کلسیتی اسپارایتی، میکرایت و مقداری کوارتز ریز می‌باشد (شکل ۳-۶). بر اساس مجموعه فسیل‌های رؤیت شده، محیط رسوبگذاری یک محیط عمیق دریایی با شوری پایین است. این واحد به دلیل داشتن فسیل‌های فراوان از واحد آتشفشانی زیرین خود به راحتی قابل تفکیک بوده و شامل آهک قهوه‌ای متوسط لایه نومولیت دار، آهک نخودی رنگ نازک لایه نومولیت دار، آهک خاکستری نومولیت دار و آهک اسپارایتی می‌باشد. سنگ‌های این واحد بر اساس کاهش گل‌های کربناته به سه گروه تقسیم می‌شوند که به ترتیب عبارتند از: مادستون، وکستون و پکستون که در گستره‌ی طولی کانسار دیده می‌شوند. مادستون، نشان‌دهنده‌ی رسوبگذاری در محیط‌های آرام بوده و بیانگر کاهش وجود ارگانسیم‌های مولد دانه در آب، می‌باشد. پکستون، بر اثر تراکم سنگ‌های وکستون حاصل شده و بین دانه‌ها بوسیله رسوبات گلی پر می‌شود (شکل ۳-۷). سیمانی شدن در سنگ‌های کربناته اکثراً به صورت سیمان کلسیتی اسپارای پرکننده حفرات درون دانه‌ای و بین دانه‌ای و شکستگی‌ها می‌باشد. همچنین نومولیت‌ها شواهد تراکم مکانیکی را قبل از سیمانی شدن در خلال تدفین نشان می‌دهند. هم‌راستایی نومولیت‌ها، تماس نقطه‌ای و مماسی که منجر به ایجاد تغییر شکل‌های منعطفی از دانه‌ها می‌شود، در نتیجه افزایش پیش‌رونده فشار لایه‌های بالایی و تراکم مکانیکی است که زمینه را برای ایجاد تراکم شیمیایی و تشکیل استیلولیت‌ها، فراهم می‌کند. خسروتهرانی (۱۳۸۴)، بر این باور است که ظهور میکروفسیل‌هایی نظیر نومولیت و آلوئولین‌ها نشانه آغاز دوران سنوزوئیک بوده است.



شکل ۳-۶: نمایی از واحد آهک نومولیت‌دار و نمونه‌ی دستی از این واحد که حاوی فسیل نومولیت می‌باشد.

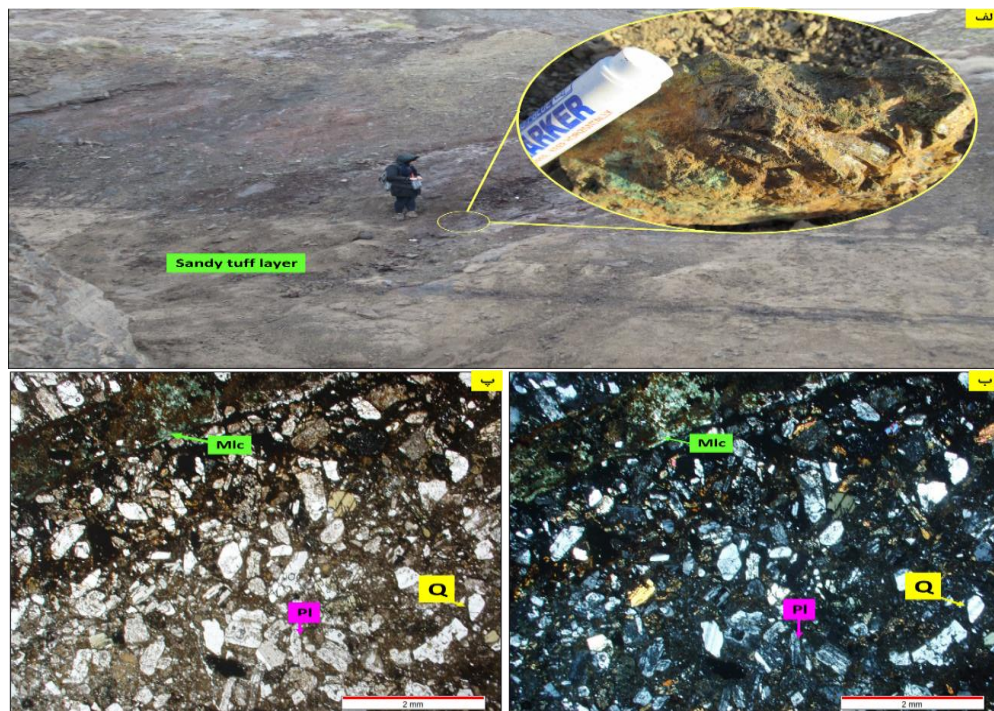


شکل ۳-۷: تغییرات تراکم نومولیت‌ها به ترتیب از لایه‌های پایینی به بالا در تصاویر (الف، ب، پ) و تصاویر میکروسکوپی (ت، ث، ج).

۳-۲-۴ - واحد سوم: واحد توف ماسه‌ای (E st)

گسترش این واحد سنگی بسیار محدود است و ستبرای آن از یک تا چندین متر متغیر می‌باشد که بر روی آهک توفی نومولیت‌دار قرار دارد. در برخی نواحی یال جنوبی این واحد در بین آهک‌ها نیز قابل رؤیت است. این واحد توف ماسه‌ای در نمونه دستی دارای رنگ زرد خیلی روشن می‌باشد. طبق

مشاهدات میکروسکوپی این نمونه دارای کوارتزهای نیمه شکل دار تا شکل دار، پلاژیوکلازها را همراهی می کنند (شکل ۳-۸).



شکل ۳-۸: الف) نمایشی از لایه‌ی توف ماسه‌ای در معدن منگنز سردار و نمونه‌ی دستی آن، ب و پ) تصویر میکروسکوپی واحد توف ماسه‌ای.

۳-۲-۵ - واحد چهارم: واحد ماسه‌سنگی (EO^{ms})

یکی از واحدهای سنگی تشکیل دهنده محدوده کانسار که به فراوانی در منطقه یافت می‌شود واحد ماسه سنگی است این واحد در نمونه دستی دارای رنگ قرمز و خاکستری می‌باشد. ماسه‌سنگهای محدوده مورد مطالعه از سری توالی‌های تخریبی ائوسن-الیگوسن بوده که بر روی آهک‌های توفی نومولیت‌دار و توف ماسه‌ای قرار دارد. این واحد سنگی که به دو بخش قابل تفکیک است که از قاعده توالی به بالا به ترتیب حاوی ماسه‌سنگ خاکستری (Gss) و ماسه‌سنگ قرمز (Rss) همراه با کانه‌زایی مس بصورت ملاکیت می‌باشد. که سترای زیر واحد ماسه سنگی قرمز بسیار گسترده بوده و تا حدود یک کیلومتر می‌باشد. بر اساس مطالعات میکروسکوپی بر روی ۱۵ نمونه، اجزای تشکیل دهنده ماسه

سنگ‌ها شامل فلدسپات، کوارتز، خرده سنگ‌های ولکانیکی، دگرگونی و ماسه سنگی هستند. با توجه به نمودار ارائه شده توسط فولک (۱۹۸۰) این ماسه‌سنگ‌ها دارای ترکیب لیتیک آرکوز و فلدسپاتیک لیتارنایت می‌باشند (شکل‌های ۳-۹ و ۳-۱۰). واحدهای سنگی مشابه که نشان از ورود، تخریبی‌های درون قاره‌ای دارد در سایر مناطق از جمله جنوب شرق شاهرود (سهل-رزه) به خوبی دیده می‌شود. حتی در جاده کاهک_ فرومد نیز، یک افق کنگلومرای سرشار از قلوه‌های آهکی وجود دارد.

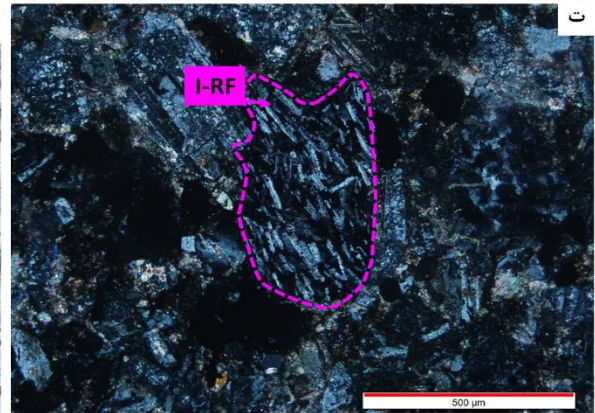
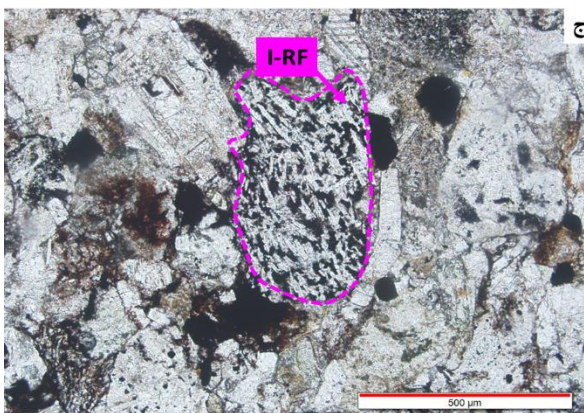
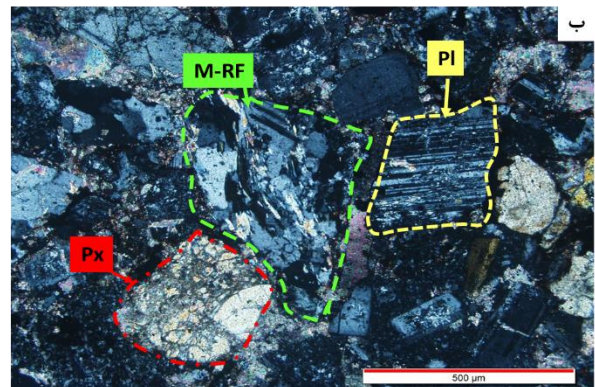
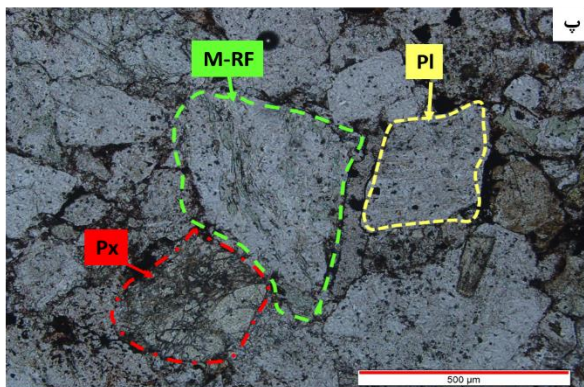
۳-۲-۵-۱- فلدسپاتیک لیت آرنایت‌ها:

این گونه ماسه‌سنگ‌ها با داشتن مقدار فراوان تر خرده سنگ‌ها که از فلدسپات بیشتر است مشخص می‌گردد. از نظر ترکیب، هم در رابطه با نوع دانه و هم شیمی، دارای دامنه گسترده‌ای هستند، که عمدتاً به انواع خرده سنگ‌های موجود در آن وابسته است. البته سایر اجزا شامل ورقه‌های میکا، مقداری فلدسپات و مقدار بیشتری کوارتز می‌باشد. معمولاً سیمان به صورت کلسیت یا کوارتز است. رس‌های درجا نیز فراوان هستند.

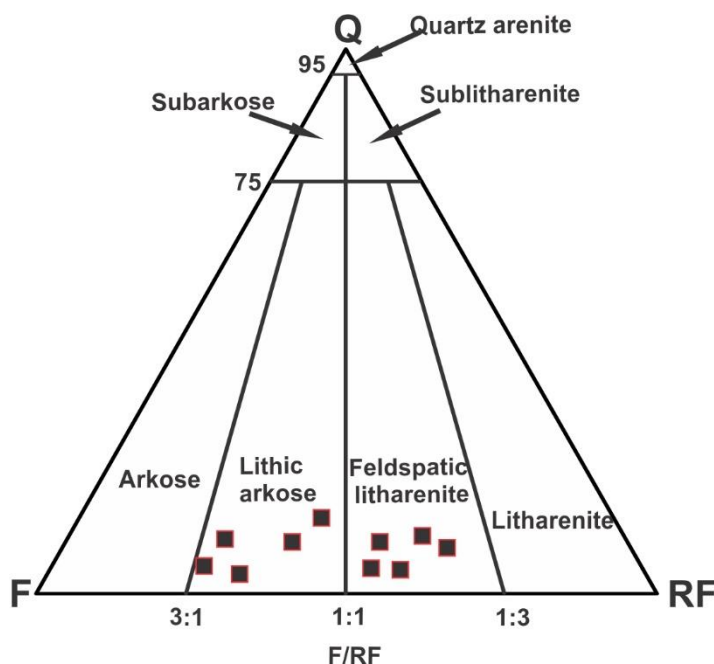
۳-۲-۵-۲- لیتیک آرکوزها:

بطور کلی سنگ‌هایی را تحت عنوان آرکوز می‌شناسند که دارای بیش از ۲۵ درصد فلدسپات، مقدار بیشتری کوارتز و مقداری خرده سنگ هستند. در این نوع سنگ‌ها معمولاً میکاهای آواری و مقداری ماتریکس دانه‌ریز نیز وجود دارد. در نمونه‌های مورد مطالعه فلدسپات‌ها عمدتاً از نوع فلدسپات پتاسیم است که بیشتر آن‌ها از نوع میکروکلین می‌باشد. معمولاً فلدسپات‌ها بصورت تازه هستند، هرچند برخی از آن‌ها ممکن است به سریسیت و کائولینیت دگرسان شده باشند. کوارتز پلی کریستالین و خرده سنگ‌های آذرین نیز فراوان است. بطور کلی آرکوزهای مورد مطالعه به علت رنگ فلدسپات، و بعلاوه به علت وجود دانه‌های ریز و پراکنده هماتیت به رنگ قرمز و صورتی دیده می‌شود.

در بالا، واحدهای ماسه سنگی توسط رسوبات مارنی میوسن و سپس رسوبات آبرفتی کواترنری پوشیده شده اند.



شکل ۳-۹: الف) نمایی از واحد ماسه سنگی و نمونه دستی آن در تاق‌دیس کاهک. ب، پ، ت و ج) تصاویر میکروسکوپی ماسه سنگ‌ها که بخش اعظم سنگ شامل پلاژیوکلاز: PI و خرده سنگ‌های آذرین: I-RF و دگرگونی: M-RF می‌باشد.



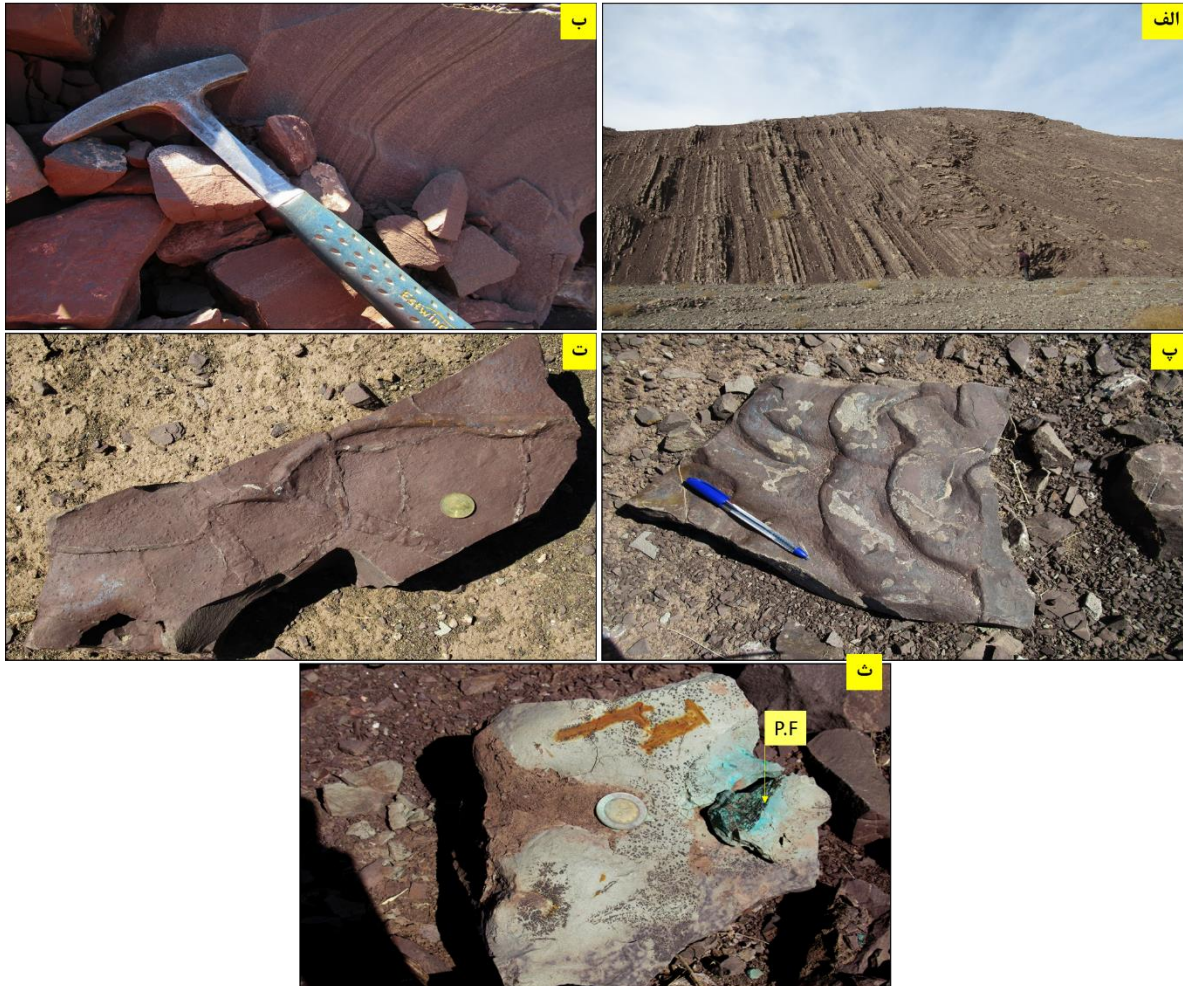
شکل ۳-۱۰: موقعیت نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نمودار سه متغیره کوآرتز (Q)، فلدسپار (F) و خرده سنگ (RF) (نمودار فولک، ۱۹۸۰).

۳-۲-۶ - ساختمان‌های رسوبی

ساختمان‌های رسوبی عمده موجود در این توالی شامل لایه‌بندی، لامیناسیون، ریپل مارک، آثار گیاهی و ترک گلی می‌باشد.

لایه‌بندی که از اشکال ویژه سنگ‌های رسوبی است. عمدتاً بر اثر تغییر شرایط رسوبگذاری (تغییر در ترکیب و یا اندازه دانه‌های رسوب) تشکیل می‌گردد (تاکر، ۲۰۰۱). لامیناسیون که از تغییر اندازه دانه در لامینه‌ها ناشی می‌شود نیز در رسوبات منطقه دیده می‌شود (شکل ۳-۱۱ الف و ب). ریپل‌های موجی از اشکال رسوبی ماسه‌سنگ در عمق کم (رودخانه‌ای و دلتایی) هستند. این ساختمان به فراوانی در ماسه سنگ موجود در توالی سرخ رنگ تشکیل شده‌است. ریپل‌ها در پهنه‌های جزرومدی معمولاً طرح‌های پیچیده را نشان می‌دهند که بر اثر تغییر عمق آب و جهت باد و آب حاصل می‌گردد (Tucker, 2001). ریپل‌های تداخلی از انواع متداول این محیط‌ها می‌باشد که در ماسه‌سنگ منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۱ پ). ترک‌های گلی در رسوبات دانه ریز فراوان هستند و اگر بر اثر خشک

شدن تشکیل شده باشند، نشان‌دهنده رخنمون آن‌ها در معرض هواست (شکل ۳-۱۱-ت). این ساختمان‌ها در رخنه‌های پهنه جزرومدی و رودخانه‌های فراوان هستند (Tucker, 2001).



شکل ۳-۱۱-الف) نمایی از لایه‌بندی ماسه‌سنگ قرمز (ب) نمایی از لامیناسیون در ماسه سنگ قرمز (پ) ساخت ریپل مارک (ت) ساخت ترک گلی (ث) وجود آثار گیاهی در ماسه سنگ قرمز (P.F: فسیل گیاهی).

۳-۲-۷- پادگانه‌های آبرفتی کواترنری:

این واحد بر اثر فعالیت‌های تکتونیکی و یا افزایش دبی رودخانه ایجاد شده‌است و در مسیر رودخانه گسترش داشته و اغلب بصورت افقی دیده می‌شود. پادگانه‌های آبرفتی از رسوبات دانه درشت با جورشدگی ضعیف تشکیل شده‌اند (آقابات، ۱۳۴۹). نهشته‌های آبرفتی موادی فرسایش هستند که از دامنه ارتفاعات تا نواحی پست دشت‌ها گسترده شده‌اند و با دور شدن از ارتفاعات، درشتی دانه‌ها

کاهش یافته و این آبرفت‌ها بیشتر دربرگیرنده قطعات حاصل از خرد شدن گدازه‌ها و سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی بالا دست خود هستند (شکل ۳-۱۲).



شکل ۳-۱۲: نمایی از رسوبات کواترنری در منطقه.

۳-۳- شرایط تکتونیک کلی منطقه:

منطقه مورد مطالعه بصورت یک تاقدیس بزرگ می‌باشد بطوری‌که واحد آتشفشانی-رسوبی میزبان کانه‌زایی از دو طرف توسط واحدهای جوانتر پوشیده می‌شود. این ساختار تاقدیسی در داخل خود دچار چین‌خوردگی‌هایی شده و ناودیس‌ها و تاقدیس‌های متعددی را در بر می‌گیرد.

۳-۳-۱- چین‌خوردگی‌ها:

همانطور که اشاره شد منطقه مورد مطالعه در واحدهای کرتاسه پسین در داخل یک تاقدیس بزرگ قرار دارند که دارای روند محوری شرقی-غربی می‌باشد. این کانسارها و اندیس‌ها در یال‌های شمالی و

جنوبی این تاقدیس پراکنده می‌باشند. واحدهای میزبان کانه‌زایی شامل ریزچین‌های متعدد می‌باشند.

(شکل ۳-۱۳).



شکل ۳-۱۳: نمایی از چین‌خوردگی‌ها در تاقدیس کاهک.

۳-۳-۲ - گسل‌ها:

مهمترین عواملی که منطقه مورد مطالعه را تحت تاثیر قرار داده، گسله‌های نرمال با سیستم درزه‌های مربوطه بوده که با روند عمومی شمال‌غربی- جنوب شرقی و شمال‌شرقی- جنوب‌غربی، دارای نظم مشخصی می‌باشد. این گسله‌ها موجب جابجا شدن سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و به تبع آن لایه آهک نومولیت‌دار می‌شود. همچنین بر اثر عملکرد سیستم گسل‌های فوق، سطوح لغزشی بسیار زیادی، به صورت خش‌ها و برش‌های گسلی در محدوده معدنی قابل مشاهده هستند. با توجه به سیستم درزه-های موازی و خش‌های عمود بر امتداد لایه‌بندی، می‌توان گفت که این نوع گسله‌ها، از نوع گسل‌های شیبی و نرمال می‌باشند. به عبارت دیگر، گسله‌های نرمال زمانی بوجود می‌آیند که سنگ‌ها، تحت

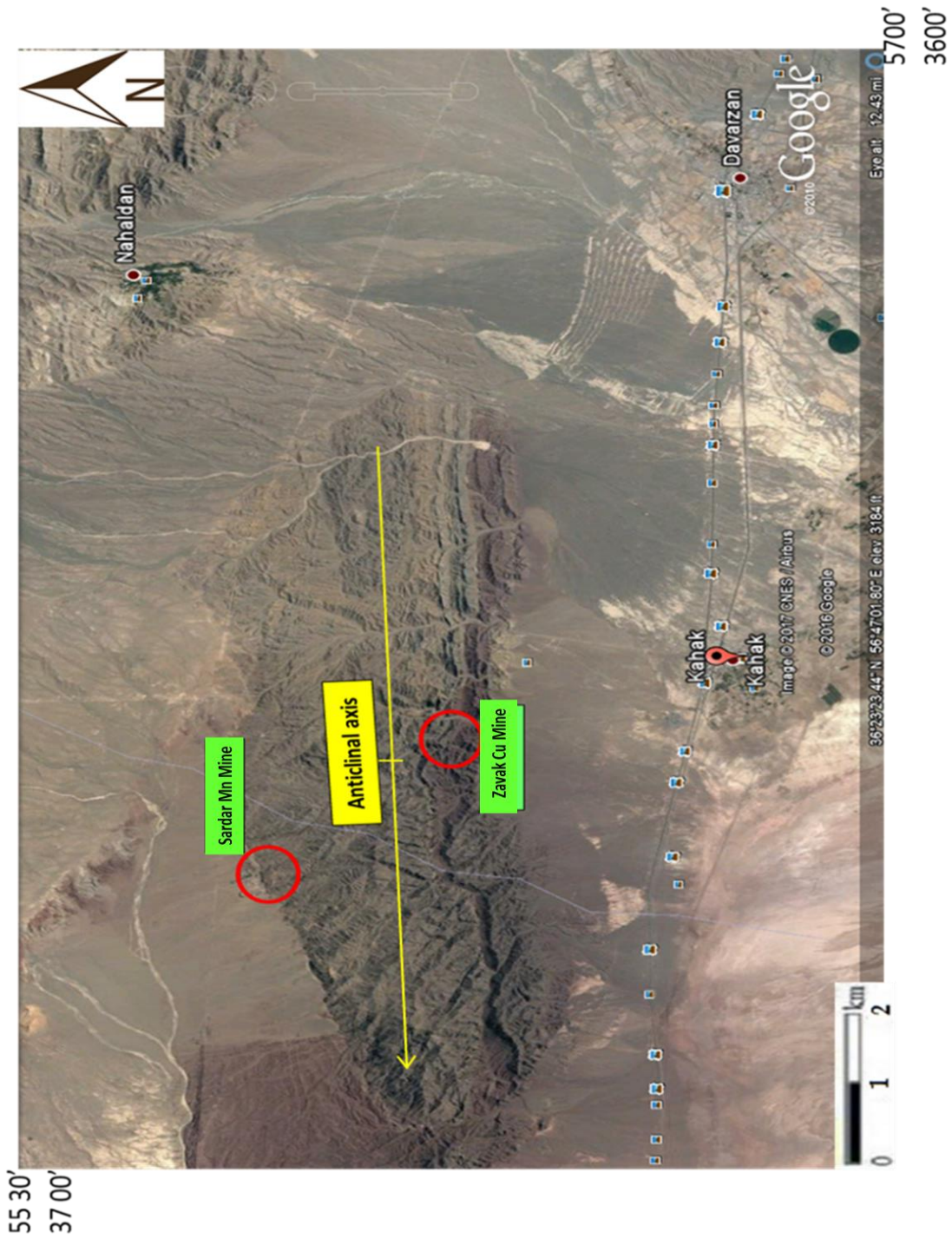
تأثیر کشش قرار بگیرند که عمود بر محور کشش، درز و شکستگی‌هایی ایجاد می‌شود که شواهد صحرایی برای تشخیص این شکستگی‌ها، وجود دیواره‌ی خشن است (شکل ۳-۱۳).



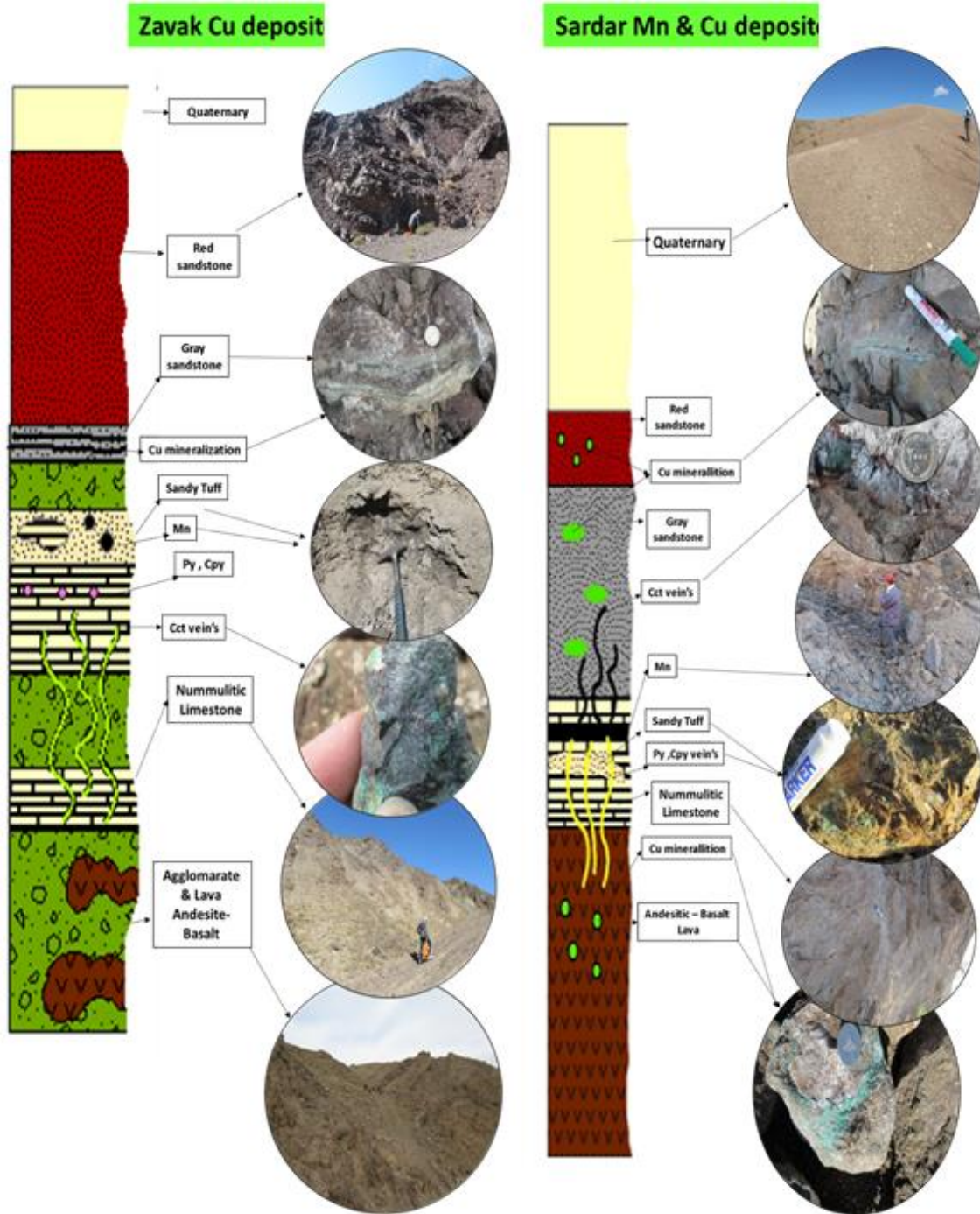
شکل ۳-۱۴: نمایی از گسل در واحد ماسه سنگی.

۳-۴- مقایسه توالی‌های چینه‌شناسی یال شمالی و جنوبی تاقدیس کاهک:

تاقدیس کاهک در منطقه مورد مطالعه بسیار واضح بوده (شکل ۳-۱۴) و واحدهای سنگی یال شمالی و جنوبی تاقدیس کاهک بسیار مشابه هم می‌باشد. فقط در یال جنوبی تاقدیس کاهک، واحدهای آگلومرایی بیشتر از یال شمالی قابل رویت بودند. در یال شمالی منگنز بصورت لایه‌ای به همراهی چند اندیس مس بر روی واحد آهکی قرار گرفته، در حالیکه در یال جنوبی مس ماده معدنی اصلی و یک اندیس منگنز قابل مشاهده می‌باشد. ستبرای لایه‌ی توف ماسه‌ای در یال شمالی بیشتر از یال جنوبی می‌باشد. ماسه سنگ قرمز در یال جنوبی دارای ضخامت حدود ۷۰۰ متر می‌باشد که در یال شمالی این ضخامت کمتر است. ضخامت واحد آهکی نیز در یال شمالی بیشتر از همین واحد در یال جنوبی می‌باشد، همچنین تراکم نومولیت‌ها در این یال بیشتر و درشت تر از یال جنوبی است (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۵: تصویری از تاقدیس کاهک و موقعیت دوکانسار.



شکل ۳-۱۵: مقایسه توالی چینہ‌شناسی یال شمالی و جنوبی تافدیس کاهک (بدون مقیاس).

فصل چهارم:

کانه زایی و دگرسانی

زیر پهنه سبزوار بخشی از پهنه ایران مرکزی می‌باشد، که در شمال شرق ایران جای گرفته‌است. این پهنه شامل گستره‌های محدود بین گسل میامی و گسل درونه است، که در یک روند تقریبی شرقی-غربی از سبزوار تا مرز افغانستان ادامه دارد. در این پهنه سنگ‌های پالئوزیک و مزوزوئیک برون زد محدود دارند. زیر پهنه سبزوار از نظر تنوع کانی‌زایی به خصوص مس بسیار جالب توجه است. مطالعاتی که در چند سال اخیر توسط سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور و همچنین محققین دانشگاهی صورت گرفته‌است، منجر به شناسایی و بازنگری رخدادهای متنوعی از کانه‌زایی فلزات پایه به ویژه مس در این ناحیه گردیده است. از جمله این کانه‌زایی‌ها و اندیس‌های شناخته شده می‌توان به کانسارهای سولفید توده‌ای پلی متال تکنار (Malekzadeh shfarodi et al., 2005). کانسار سولفید توده‌ای غنی از آهن کبودان (مهرابی، ۱۳۹۰)، کانسار مس-طلای پورفیری هلاک آباد (پناهی شهری، ۱۳۸۹)، کانسار مس عباس‌آباد (فیروز علی نیا و همکاران، ۱۳۸۳)، اندیس مس رسوبی منطقه ششتمد (سپهری راد، ۱۳۸۸)، کانسار سولفید توده‌ای مس نوده (مغفوری و همکاران، ۱۳۹۱)، کانسارهای منگنز ذاکری و نوده (تقی زاده ۱۳۹۲؛ نصراللهی، ۱۳۹۲) و اندیس‌های مس گود ایثاق، سوزنده و اولنگ سر در داخل افیولیت‌های شمال سبزوار (روزبه کارگر و همکاران، ۱۳۷۷) نام برد. بازدیدهای صحرائی انجام گرفته در منطقه، پهنه‌های کانه‌زایی به همراه دگرسانی‌ها مورد مطالعه قرار گرفت که در این فصل به تحلیل کانه‌زایی و بررسی انواع دگرسانی در منطقه پرداخته شده‌است.

۴-۲- رخدادهای کاندهزایی در تاقدیس کاهک، شرق شاهرود

بررسی‌های صورت گرفته در تاقدیس کاهک حاکی از وجود تعداد قابل توجهی از کانسارها و اندیس‌های مس و منگنز است، که دارای جایگاه چینه‌شناسی مشخصی می‌باشند. این کانسارها و اندیس‌ها را می‌توان بر اساس نوع ماده معدنی، موقعیت چینه‌شناسی و سنگ میزبان به دو گروه تقسیم نمود (جدول ۴-۱):

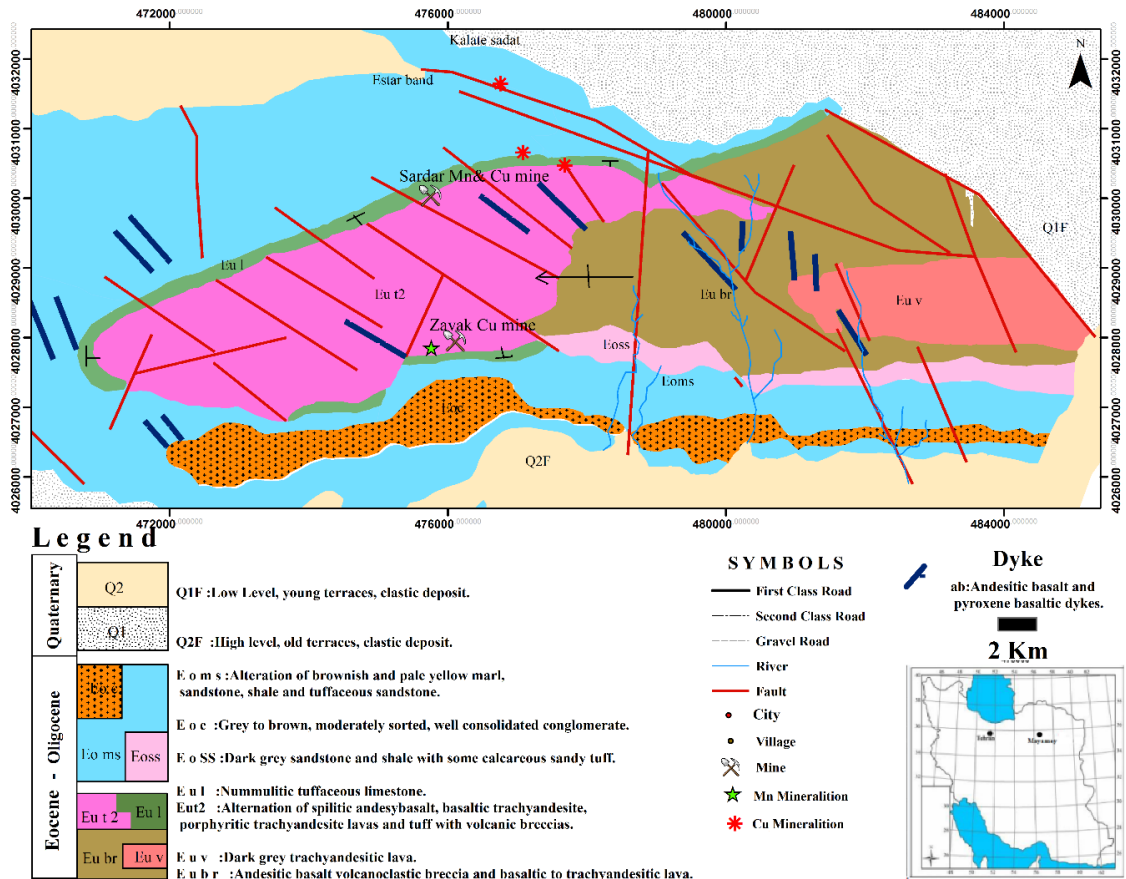
۱- کانسارها و اندیس‌های مس: این ذخایر که خود به دو بخش رسوبی و آتشفشانی قابل تقسیم هستند:

الف) کاندهزایی مس ولکانیکی که همگی در واحد $Eu t2$ ، با سنگ میزبان آندزیتی-بازالتی مربوط به ائوسن قرار گرفته‌اند، که می‌توان کانسارهای مس عباس آباد و میاندشت را نام برد.

ب) کاندهزایی مس رسوبی در واحد $Eo Gss$ ، که دارای سنگ میزبان ماسه سنگ خاکستری می‌باشد (شکل ۴-۱).

۲- کانسارها و اندیس‌های منگنز: این ذخایر همگی در مرز واحد Eu و $Eo Gss$ واحد رخ داده و دارای سنگ میزبان آهک توفی نومولیت دار مربوط به ائوسن است.

کاندهزایی منگنز شامل مانند کانسار منگنز سردار در یال شمالی تاقدیس کاهک و اندیس منگنز در محدوده معدنی زاواک می‌باشد (شکل ۴-۱).



شکل ۴-۱: موقعیت تاقدیس کاهک در نقشه زمین‌شناسی ساده شده ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) و موقعیت کانه‌زایی‌های مس و منگنز در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن.

جدول ۴-۱ کانسارها و اندیس‌های مس و منگنز تاقدیس کاهک

کانسارها و اندیس منگنز	کانسارها و اندیس‌های مس
کانسار منگنز سردار	کانسار مس زاواک
اندیس منگنز زاواک	اندیس‌های مس سردار

۴-۳- کانه‌زایی مس در توالی ائوسن - ایگوسن در منطقه کاهک (شرق)

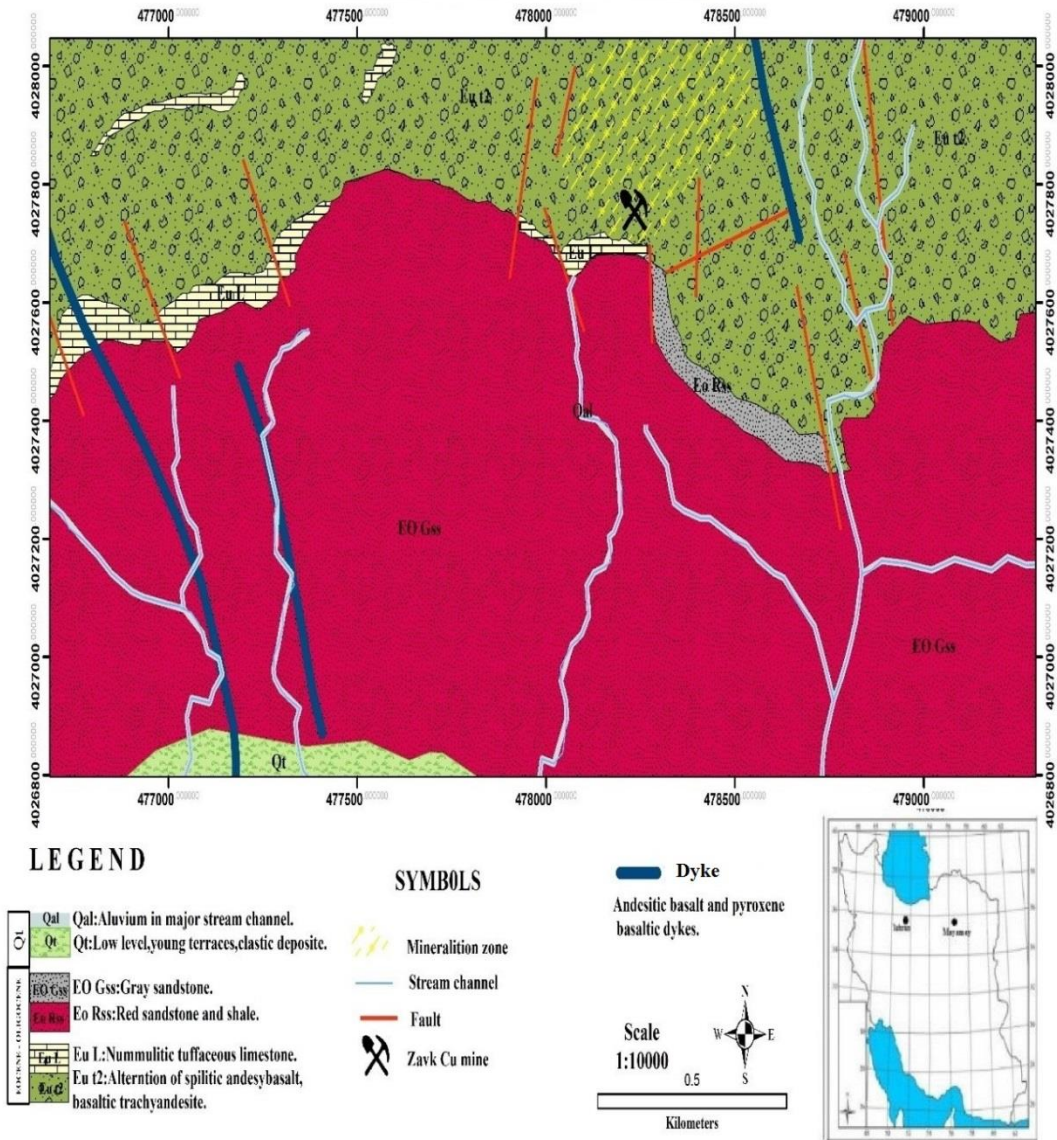
شاهرود)

توالی آتشفشانی-رسوبی کرتاسه پسین در جنوب شرق شاهرود از تناوب گدازه و آگلومرای آندزیتی-بازالتی، آهک توفی نومولیت دار، توف ماسه‌ای، ماسه سنگ خاکستری و قرمز تشکیل شده است (شکل ۴-۱). در ادامه اینکه کانه‌زایی مس در کانسارهای مس زاواک و سردار و اندیس‌های مس رسوبی در یک افق چینه‌ای (شکل ۳-۱۵) و در دو واحد سنگی به صورت رگه-رگچه‌ای و دانه پراکنده در واحد آگلومرای و بصورت جانشینی در واحد ماسه سنگ خاکستری رخ داده است. لازم به ذکر است که کانه‌زایی مس در کانسار مس زاواک با توجه به توالی پاراژنتیک و نوع کانه‌زایی، در دو مرحله با زمان-های مختلف صورت گرفته شده است. در زیر به ترتیب ویژگی‌های هر یک از ذخایر فوق مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴-۴- ویژگی‌های کانه‌زایی مس در کانسار زاواک

روستای کاهک در ۱۸۶ کیلومتری شرق شاهرود واقع شده است (شکل ۴-۱). در حدود ۵ کیلومتری شمال غرب این روستا درون واحدهای آتشفشانی (Eu t2)، کانسار مس زاواک قرار دارد (شکل ۴-۲).

Geological map of Zavaq deposit



شکل ۴-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی زاواک، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال، ۱۳۷۱) و برداشت‌های صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده‌است.

۱-۴-۴ واحدهای سنگی موجود در معدن زاواک:

واحدهای سنگی در محدوده مس زاواک از پایین به بالا عبارتند از:

(۱) آگلومرای آندزیتی-بازالتی که میزبان اصلی کانه‌زایی می‌باشد و در بعضی نقاط در تناوب با گدازه-

ی آندزیتی-بازالتی قرار دارد.

۲) توف ماسه‌ای که لایه‌ای نازک و زرد رنگ است و گاه‌ها در تناوب با آهک توفی نومولیت دار می‌باشد.

۳) سنگ آهک توفی نومولیت دار که دارای فسیل‌های فراوان نومولیت می‌باشد که در طبقات پایینی تراکم نومولیت‌ها فراوان است و به سمت بالا از تمرکز آن کاسته می‌شود.

۴) طبقات ماسه‌سنگی سبتر به همراه میان لایه‌هایی از شیل می‌باشد. عمدتاً ماسه‌سنگ‌ها از نوع آرکوز و فلدسپارلیتارنایت بوده که دارای خرده سنگ‌های ولکانیکی و دگرگونی هستند که در یک سیمان کربناته قرار گرفته‌اند.

۵) رسوبات آبراهه‌ای.

۴-۴-۲ - واحدهای کانهدار و شکل هندسی ماده معدنی

سنگ میزبان اصلی کان‌زایی واحد آگلومرای است اما مقداری کان‌زایی نیز در داخل واحد آهک توفی نومولیت‌دار و واحد توف ماسه‌ای رخ داده است. پهنه کان‌هدار در واحد آگلومرای قرار دارد.

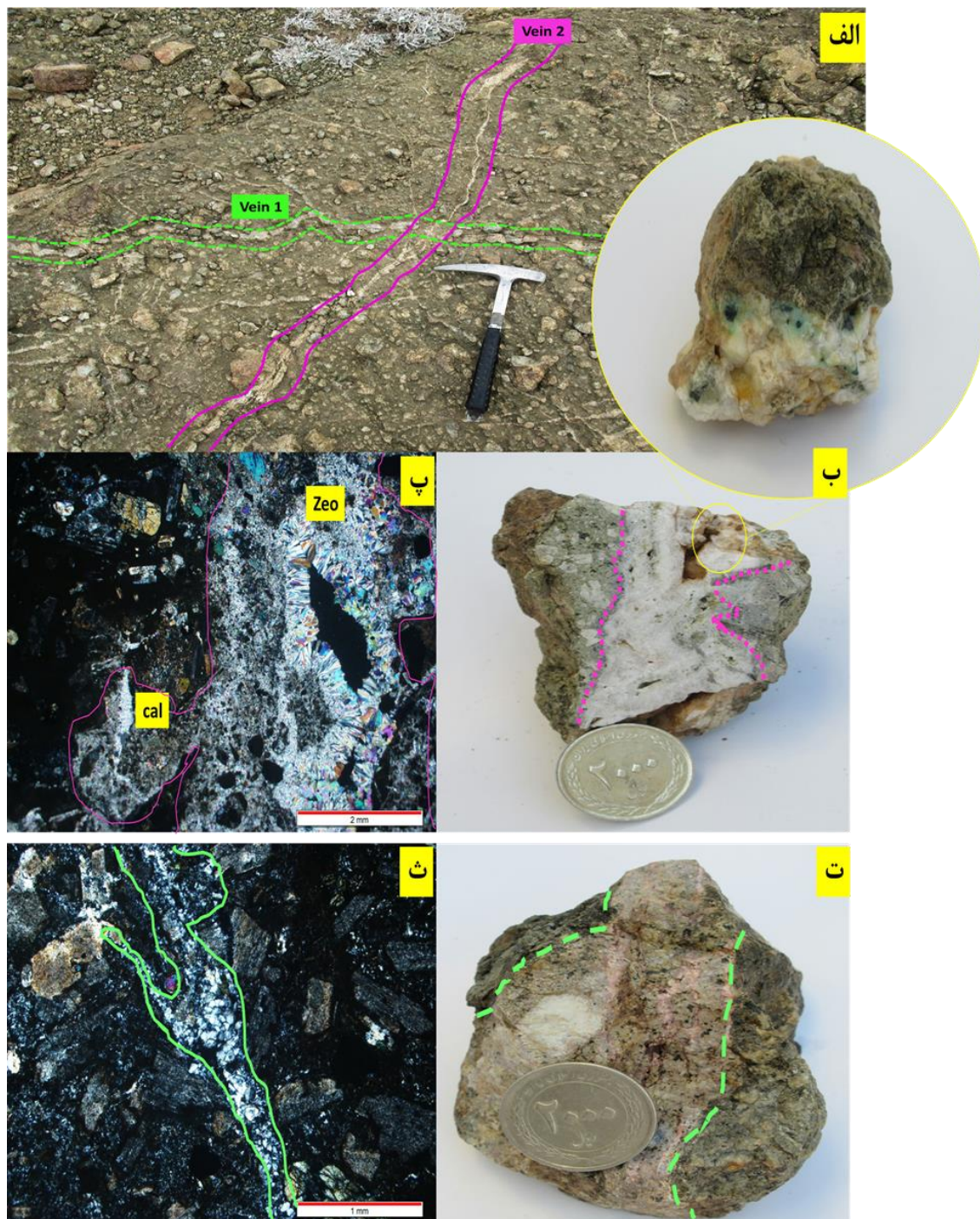
دو نسل رگه در پهنه کان‌زایی وجود دارد:

رگه نسل اول که دارای ترکیبی از کربنات و کوارتز بوده و کان‌زایی در این رگه‌ها شامل کانی‌های اولیه کالکوسیت، بورنیت و کانی‌های ثانویه کالکوسیت و مالاکیت می‌باشد (شکل ۴-۳)، این رگه‌ها دارای جهات مختلف بوده و گاه‌ها جانشین قطعات آگلومرا شده‌اند.

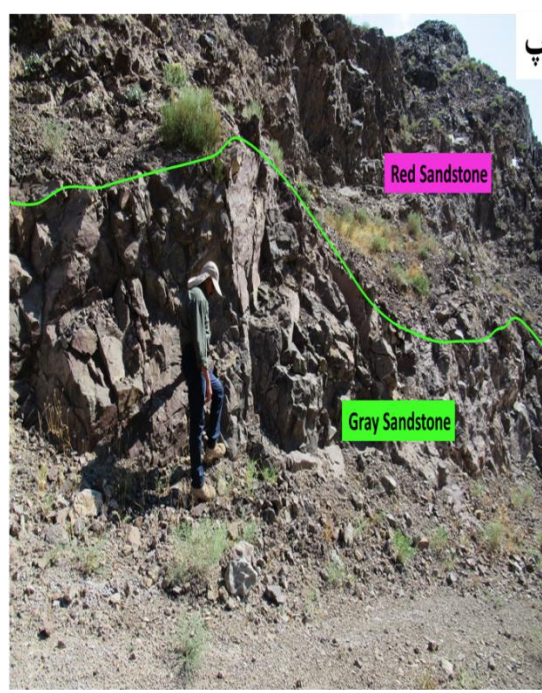
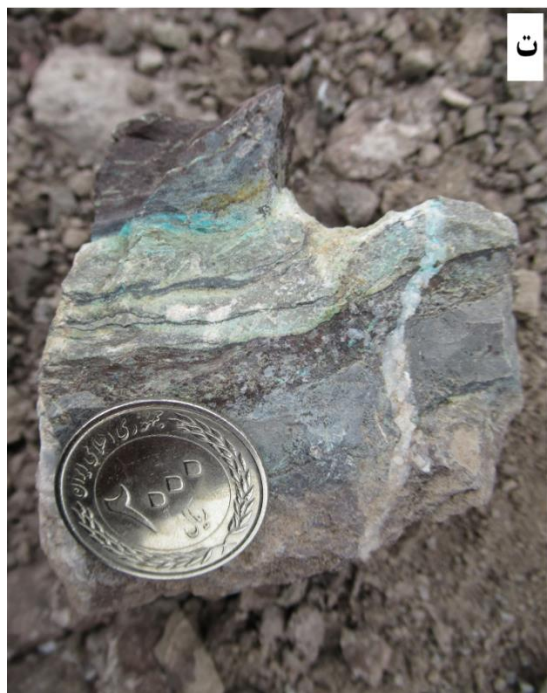
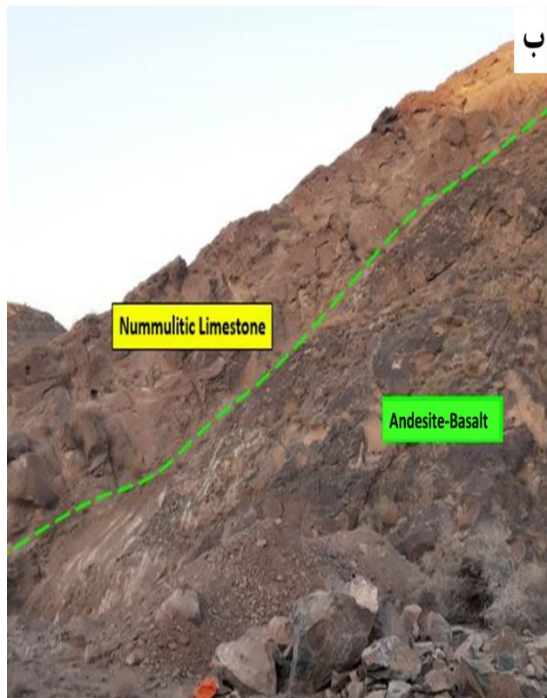
رگه نسل دوم دارای ترکیب کلسیتی و ژئولیتی است که بعضاً حاوی کان‌زایی می‌باشد این رگه‌ها حاصل بال‌آمدگی و کوهزایی در منطقه بوده که رگه‌های نسل اول را قطع نموده است و دارای جهت با روند و شیب تقریبی N 20 W - N 10 E می‌باشد خاصی می‌باشد.

کانه زایی بصورت برشی رگه- رگچه‌ای و دانه پراکنده بوده و از پایین به بالا در سنگ‌های آگلومرای و گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، آهک نومولیتی و توف ماسه‌ای دیده می‌شود (۴-۴، ب، پ و ت). به نظر می‌رسد نفوذپذیری آگلومرا معبر مناسبی برای عبور سیال کان‌هدار ایجاد کرده‌است و منجر به رخداد

دگرسانی‌ها و کانه‌زایی در منطقه شده‌اند. برای استخراج ماده معدنی در این کانسار سه پیشکار و ترانسه احداث شده است که بطور میانگین دارای ابعاد ۳*۴ متر می‌باشند.



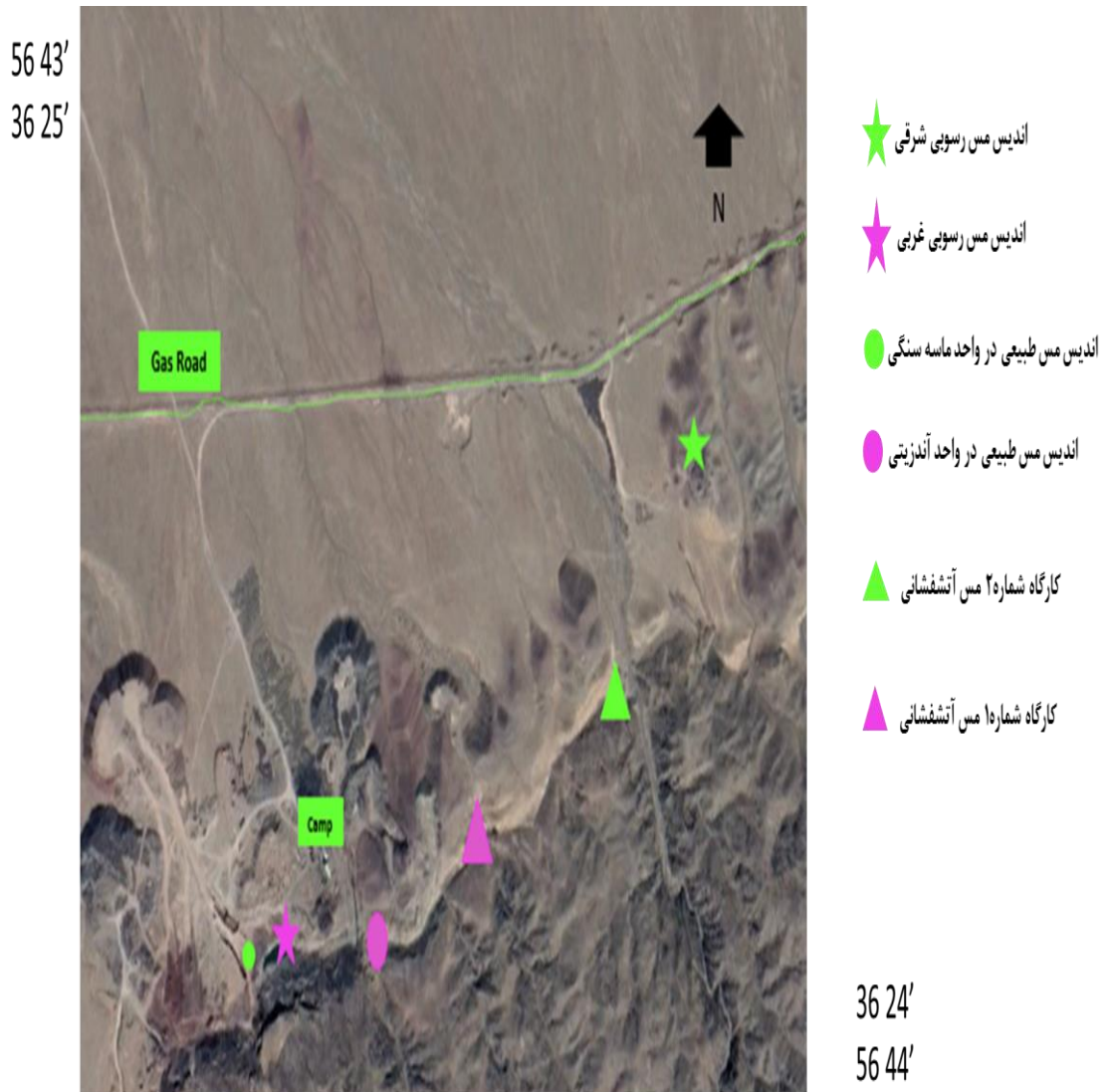
شکل ۳-۴: الف) پهنه کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای، که رگه‌های vein1 توسط رگه‌های vein2 قطع شده‌است، ب) تصویر نمونه دستی رگه نسل دو، پ) تصویر میکروسکوپی از رگه زئولیتی-کلسیتی ت) تصویر نمونه دستی از رگه نسل یک، تصویر میکروسکوپی از رگه سیلیسی.



شکل ۴-۴: تصاویری از کانسار زاواک: الف) کانه‌زایی برشی در واحد آگلومرای، ب) توالی واحدهای آذرین همراه با کانه‌زایی و آهک توفی نومولیت‌دار، پ) توالی ماسه سنگ خاکستری و قرمز (ت) کانسنگ نواری.

۴-۵- ویژگی‌های کانه‌زایی مس در منطقه معدنی کانسار سردار

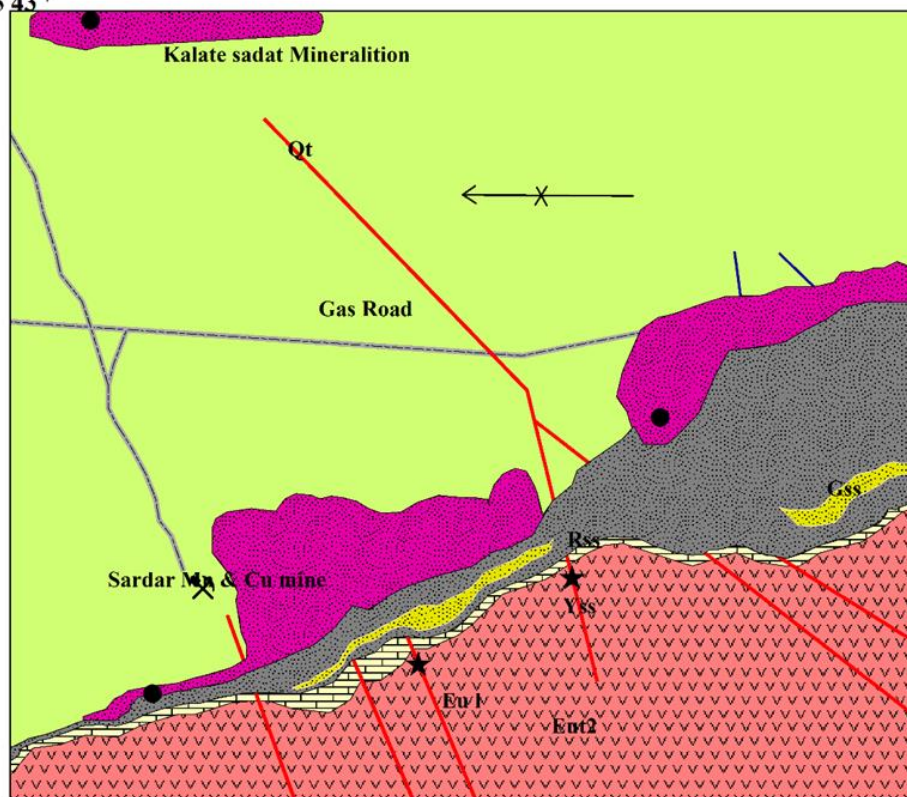
اندیس‌های مس در ۴ کیلومتری جنوب روستای کلاته سادات و در جوار معدن منگنز سردار قرار دارد. کانه‌سازی در واحدهای آتشفشانی (Eu t2) و واحدهای ماسه سنگی رخ داده است (شکل ۴-۵ و ۴-۶).



شکل ۴-۵: تصویر ماهواره‌ای از موقعیت اندیس‌ها در یال شمالی کاهک.

Geological Map of Sardar Mine

56 43 75 '
36 25 43 '



36 24 23 '
56 44 30 '

Legend

Eocene - oligocene		Qt: Low level, young terraces, clastic deposit.
		Rss: Red sandstone and shale.
		Yss: Yellow sandstone.
		Gss: Gray sandstone.
		Eu 1: Nummulitic tuffaceous limestone.
		Eu t2: Alterntion of spilitic andesybasalt, basaltic trachyandesite.

SYMBOLS

	Cu volcanic mineralition		Dyke
	Cu redbed mineralition		Andesitic basalt and pyroxene basaltic dykes.
	Sardar Cu mine		
	Fault		
	Road		



1:10000

0.5

Kilometers

۴-۶: نقشه زمین‌شناسی منطقه معدنی سردار، که بر اساس نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ داورزن (رادفر و کهنسال،

۱۳۷۱) و برداشت‌های صحرائی و تصاویر ماهواره‌ای ترسیم شده‌است.

۴-۵-۱- واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی سردار

واحدهای سنگی موجود در محدوده معدنی سردار از پایین به بالا عبارتند از :

(۱) گدازه آندزیتی بازالتی

(۲) آهک توفی نومولیت‌دار

(۳) توف ماسه‌ای که در برخی نقاط در تناوب با آهک است.

(۴) ماسه سنگ خاکستری احیایی که نسبت به یال جنوبی از ستبرای بیشتری برخوردار است.

(۵) ماسه سنگ زرد که فقط در برخی نقاط از این یال رخنمون دارد.

(۶) ماسه سنگ قرمز رنگ که دارای ضخامت کمتری به نسبت یال جنوبی می‌باشد و به دلیل احداث جاده گاز این لایه در برخی نقاط قابل رؤیت نمی‌باشد.

(۷) مارن‌ها

۴-۵-۲- واحدهای کانه‌دار و شکل هندسی ماده معدنی

کانه‌زایی مس در اندیس‌های سردار در دو تیپ کانه‌زایی آتشفشانی و رسوبی قابل رؤیت است. (۱) مس با میزبان آتشفشانی در دو اندیس در جنوب شرقی معدن منگنز قرار دارد. کانه‌زایی درون واحد آتشفشانی (Eu t2) قرار دارد، این واحد دارای بخش عمده‌ای گدازه آندزیتی-بازالتی و در برخی نقاط آگلومرای آندزیتی-بازالتی می‌باشد. (۲) اندیس‌های مس با میزبان رسوبی.

کانه‌زایی مس آتشفشانی در یال شمالی نسبت به یال جنوبی دارای گسترش کمتری می‌باشد. کانه‌زایی مس با میزبان آتشفشانی خود به دو صورت رخ داده‌است: (۱) در داخل سنگ‌های آتشفشانی همراه با زئولیت‌هاست. (۲) ، درون توف ماسه‌اسی همراه با دگرسانی سربیسیتی می‌باشد که در کمر پایین افق منگنز سردار قرار دارد.

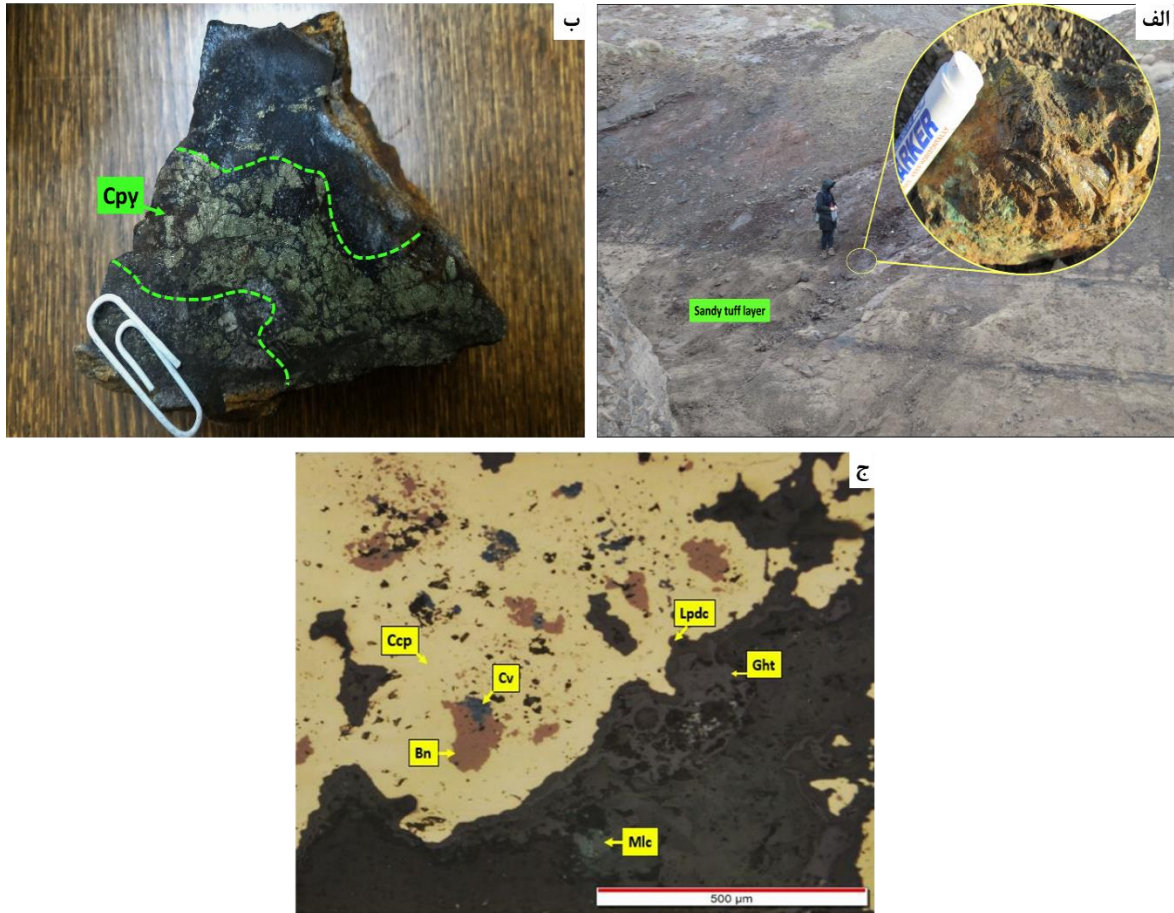
الف) کارگاه ۱: کانه‌زایی مس همراه دگرسانی زئولیتی، ب) کارگاه ۲: کانه‌زایی مس بصورت رگه-رگچه‌ای کالکوپیریت همراه دگرسانی سربیسیتی

کانه‌زایی در کارگاه شماره ۱ بصورت رگه-رگچه‌ای بوده و دارای بافت برشی در واحد توف ماسه‌ای و گدازه می‌باشد، پهنه کان‌زایی در یک افق چینه‌ای خاص قرار دارد. رگه‌ها دارای کانی اولیه کالکوسیت و کان‌زایی ثانویه مالاکیت می‌باشد. برای استخراج مس دو سینه‌کار در ابعاد ۵*۴ متر احداث شده- است (شکل ۴-۷).



شکل ۴-۷: الف) نمایی از ترانسه مس، ب) دپوی مس، ج) تصویری از رگه-رگچه‌های مس در واحد گدازه که دارای بافت برشی می‌باشد.

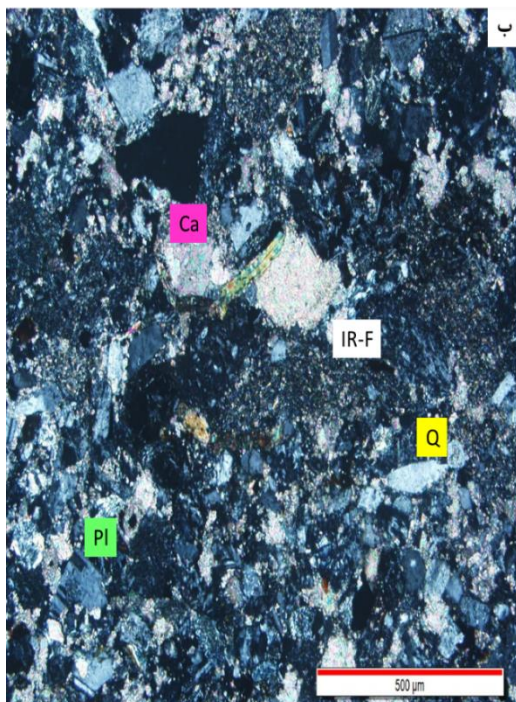
کانه‌زایی مس در کارگاه شماره ۲ سردار همراه دگرسانی سربستی بوده و در واحد توف ماسه‌ای کان‌زایی بصورت رگه-رگچه‌های کالکوپیریت به وضوح قابل مشاهده می‌باشد. این واحد توف ماسه‌ای توسط رگه‌های کالکوپیریت قطع شده اند. ضخامت رگه‌ها از ۰.۵ تا ۳ سانتی متر متغیر می‌باشد (شکل ۴-۸ الف). بر اساس مشاهدات پتروگرافی این رگه‌ها حاوی کالکوپیریت، بورنیت، مالاکیت، کولیت و گوتیت می‌باشد (شکل ۴-۸ ب). سنگ میزبان نیز تحت تاثیر سیال قرار گرفته و دچار دگرسانی سربستی شده است (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸: الف) نمایی از واحد توف ماسه‌ای، ب) تصویر نمونه دستی از رگه-رگچه‌های کالکوپیریت، ج) تصویر میکروسکوپی از رگه کالکوپیریت (Ccp: کالکوپیریت، Cv: کولیت، Bn: بورنیت، Mlc: ملاکیت، Ght: گوتیت، Lpdc: لپیدوکروزیت).

اما کانه‌زایی مس رسوبی در افق احیایی ماسه سنگ خاکستری قرار گرفته است. سنگ میزبان این افق کانه‌دار ماسه سنگ خاکستری است. ضخامت این افق کانه‌سازی از یک تا صد متر متفاوت می‌باشد و طول آن حدوداً یک کیلومتر است و امتداد این افق شرق-غربی می‌باشد (شکل ۴-۹).

سولفیدهای مس اغلب در اطراف فسیل‌هایی که درون واحد ماسه سنگی درشت دانه و نفوذپذیر تجمع یافته‌اند، تشکیل شده‌اند. این در حالی است که در پهنه‌های با نفوذپذیری کم (ریزدانه) درون سنگ میزبان، قطعات فسیلی به ندرت دارای کانه‌زایی هستند. به عبارت دیگر، علاوه بر حضور قطعات فسیل گیاهی، نفوذپذیری واحدهای سنگی درشت دانه، از عوامل عمده و اصلی تمرکز کانه‌زایی مس است (Kirkham, 1996).

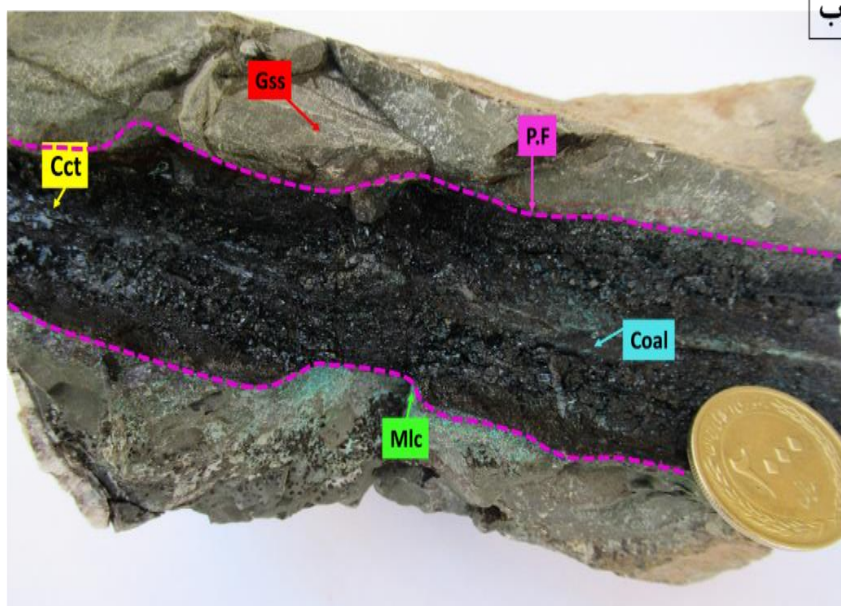


شکل ۴-۹: الف) تصویر ماسه سنگ خاکستری، ب) تصویری از مقطع میکروسکوپی ماسه سنگ خاکستری.

سولفیدهای مس در تمام و یا بخشی از این فسیل‌ها جانشین شده و یا در اطراف آن تمرکز یافته‌اند. مالاکیت در شکستگی‌ها و شکاف‌های بین دانه‌های سنگی و گاهی درون فسیل‌ها گیاهی، بصورت ثانویه تمرکز یافته‌اند که هاله سبز-آبی را در اطراف فسیل‌های گیاهی و سولفیدهای دانه پراکنده ایجاد نموده‌اند. سولفیدهای مس (کالکوسیت) با جانشین شدن در ساختمان‌های موجود در ساقه گیاه، ایجاد استوانه‌هایی از کالکوسیت می‌کنند. فسیل گیاهی در معرض هوازدگی سطحی قرار گرفته، بخش‌های نرم‌تر آن از بین رفته و استوانه‌های کالکوسیت به صورت پراکنده در اطراف محل کانه‌زایی دیده می‌شوند (شکل ۴-۱۰). بخش عمده کانه‌زایی مس رسوبی که بصورت پچ پچ به وضوح قابل رؤیت است. در افق ماسه سنگ خاکستری و گاه در میان ماسه‌سنگ قرمز قرار گرفته که خود این واحد سنگی بر روی لایه‌ی منگنز برون‌دومی در معدن منگنز سردار می‌باشد.



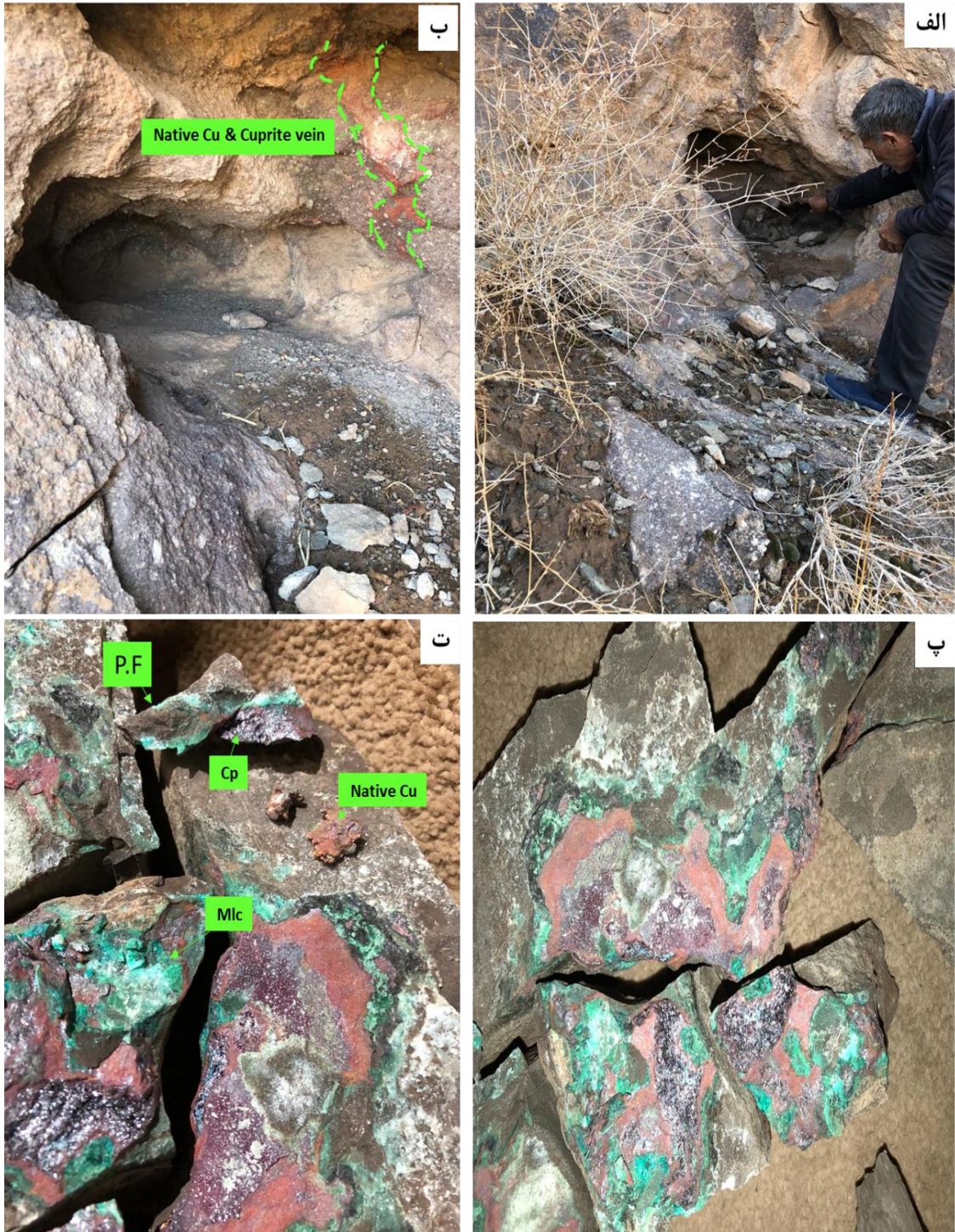
الف



ب

شکل ۴-۱۰: الف) نمایی از کانه‌زایی مس رسوبی بصورت پیچ پیچ در ماسه‌سنگ خاکستری، ب) تصویری از فسیل گیاهی همراه با کانه‌زایی بارز مس. (P.F: فسیل گیاهی، Coal: زغال، Cct: کالکوسیت، Gss: ماسه سنگ خاکستری، Mlc: ملاکیت).

کانه‌زایی مس طبیعی در واحد آتشفشانی و درون کارگاه قدیمی بصورت رگه‌ای حاوی مس طبیعی و کوپریت قابل رویت می‌باشد (شکل ۴-۱۱ الف و ب). همچنین مس طبیعی درون واحد ماسه‌سنگ خاکستری و در اطراف فسیل‌های گیاهی همراه با کوپریت به وضوح قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۴-۱۱ پ و ت).



شکل ۴-۱۱: الف و ب) تصویری از رگه‌ی مس طبیعی در کارگاه قدیمی درون واحد آتشفشانی، پ و ت) نمایی از وجود مس طبیعی و کوپریت درون واحد ماسه سنگ خاکستری در کنار فسیل‌های گیاهی.

۴-۶- دگرسانی

۴-۶-۱- دگرسانی در واحدهای آتشفشانی

دگرسانی به طور شاخص یک فرآیند شستشوی پایه می‌باشد. سنگ‌های دربرگیرنده کانسارهای گرمایی تقریباً همیشه آثار واکنشی نشان می‌دهند که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان کننده کنترل می‌شود. اگر نسبت یون‌های قلیایی به یون هیدروژن در محلول پایین باشد، فلدسپات‌ها و سایر سیلیکات‌ها ناپایدار شده و فرآیند هیدرولیز روی می‌دهد که منجر به خروج کاتیون‌ها شده، در جریان این فرآیند سیال‌ها و سنگ‌ها خود را با شرایط جدید تطبیق می‌دهند که به آن دگرسانی سنگ دیواره گویند. آثار دگرسانی ممکن است در حد پهنای یک یا چند دانه کانی در دیواره رگه بوده یا تا کیلومترها در اطراف شبکه‌ای از رگه‌ها گسترش داشته باشد.

عوامل مؤثر بر دگرسانی عبارتند از:

۱- خصوصیات سنگ دیواره

۲- خصوصیات سیال مهاجم (که تعیین کننده فاکتورهای چون Eh, pH، فشار بخار، ترکیب آنیون- کاتیون و درجه آبکافت)

۳- دما- فشاری که واکنش در آن رخ می‌دهد (McMillan and Pantelyev, 1990).

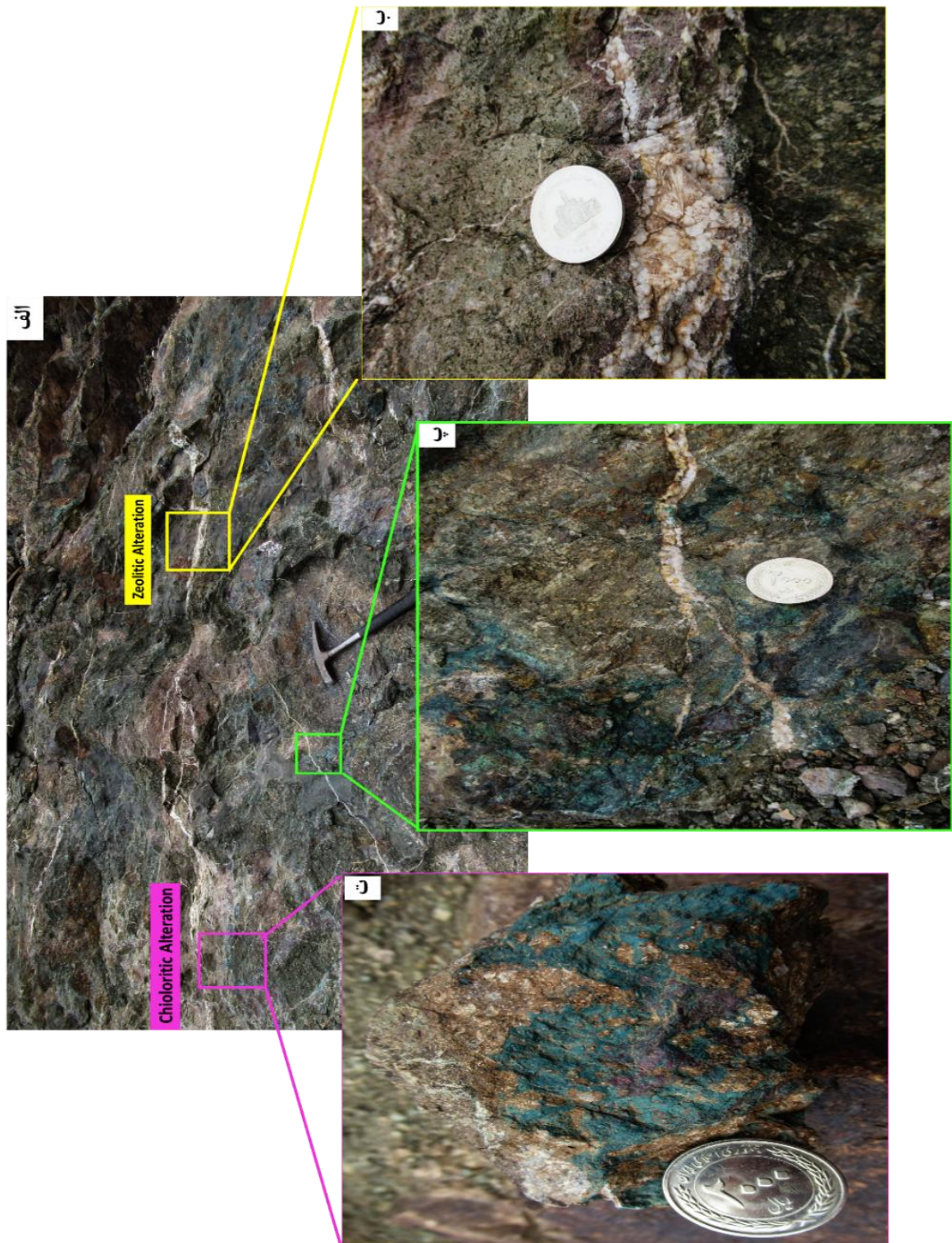
یکی از خصوصیات جالب توجه دگرسانی، منطقه بندی آن است. بیشتر محدوده‌های معدنی مس دگرسانی‌های شاخص و نسبتاً مشابهی دارند که با مطالعات عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای قابل تشخیص است که این خود در اکتشاف کانسارهای مس همراه با دگرسانی بسیار استفاده می‌شود (Lentz, 1998). میزان دگرسانی برحسب فاصله با افق معدنی متفاوت بوده و بیشترین میزان دگرسانی نزدیک به کانه‌زایی است و شدت دگرسانی در پهنه کانه‌زایی بیشتر است.

بر اساس مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر روی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از کانسار زاواک و اندیس‌های مس سردار نشان می‌دهد که به طور عمده بیشترین حجم

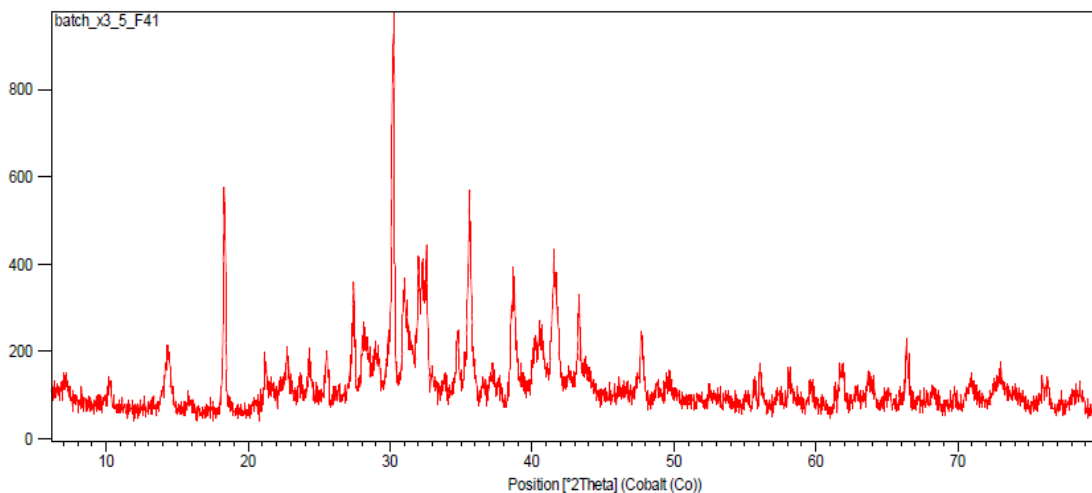
دگرسانی‌ها در کانسار زاواک مربوط به دگرسانی کلریتی، زئولیتی و سریسیتی و در اندیس‌های مس سردار بیشترین حجم دگرسانی مربوطه به کلریتی و سریسیتی می‌باشد. البته دگرسانی کلریتی ناحیه ای نیز در سنگ‌های آتشفشانی منطقه دیده می‌شود که دلیل آن نهشت این سنگ‌ها در محیط آتشفشانی زیردریایی است و در این محیط رخداد دگرسانی کلریتی ناحیه ای طبیعی است (Galley et al., 2007). در کارگاه ۱ مس سردار که داخل سنگ‌های آتشفشانی رخ داده دگرسانی کلریتی با زئولیت همراه است اما در کارگاه ۲ مس سردار که داخل توف ماسه‌ای رخ داده دگرسانی سریسیتی گسترش دارد. در این قسمت دگرسانی‌های موجود در منطقه به اختصار توضیح داده می‌شود.

۴-۶-۱-۱- دگرسانی کلریتی

دگرسانی کلریتی در کانسار مس زاواک و مس سردار گسترده‌ترین نوع دگرسانی است که با رخساره‌های استرینگر همراهی دارد. بیشترین میزان دگرسانی کلریتی در این کانسار مربوط به رخساره رگه-رگچه‌ای می‌باشد که به رنگ سبز دیده می‌شود. بر اساس مطالعات صحرایی و پترولوژی این دگرسانی توسط دگرسانی زئولیتی قطع شده است (شکل ۴-۱۱ و ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۱: الف) نمایی از پهنه دگرسانی کلریتی و زئولیتی در کانسار مس زاواک، ب) دگرسانی زئولیتی، پ) دگرسانی کلریتی که توسط دگرسانی زئولیتی قطع شده است، ت) نمونه دستی از دگرسانی کلریتی.

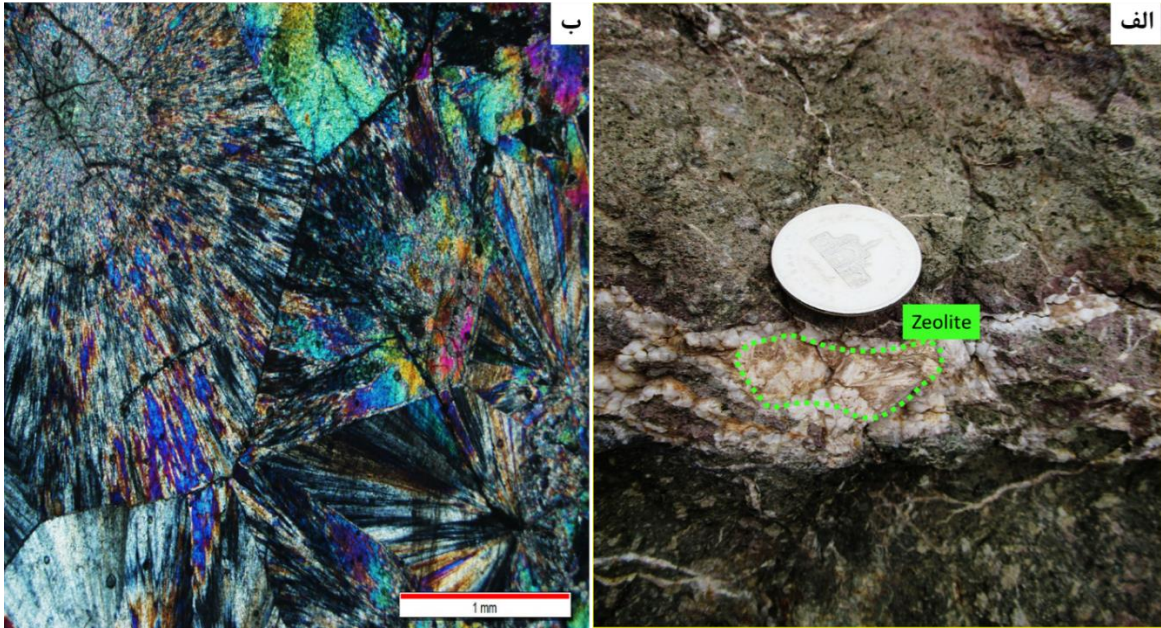


Peak List
01-083-1733; Na ₁₆ .24 Al ₁₈ .00 Si ₃₂ .00 O ₉₆ (H ₂ O) ₁₆ ; Analcime
00-024-0072; Fe ₂ O ₃ ; Hematite
01-083-2465; SiO ₂ ; Quartz
01-076-1819; Na (AlSi ₃ O ₈); Albite low
01-075-1592; KAlSi ₃ O ₈ ; Orthoclase
01-074-1758; Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄ (H ₃ C O N H ₂); Dickite
00-001-0959; Cu ₂ C O ₃ · Cu(OH) ₂ ; Malachite

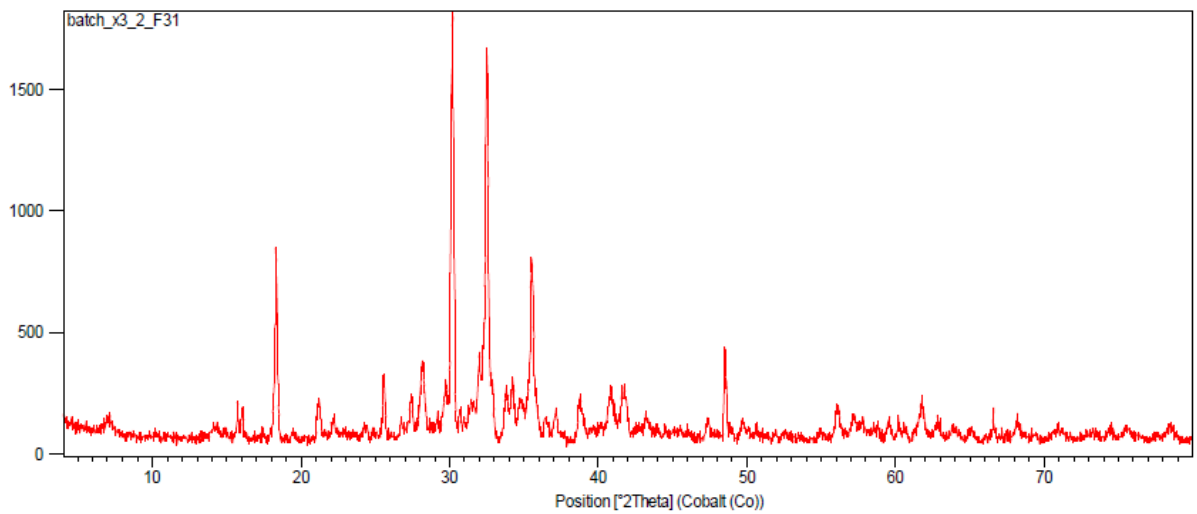
شکل ۴-۱۲: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه F41 کانسار زاواک.

۴-۶-۱-۲- دگرسانی زئولیتی

کانی‌هایی همچون زئولیت، کوارتز، کلریت، موردنیت، کلینوپتیولیت، لامونتیت، وایراکیت و آنالسیم. نشان دهنده رخساره زئولیتی در دگرگونی‌های خفیف تدفینی (زیردریایی) در دما و فشار پایین می‌باشد، ظهور این رخساره معرف پایان دیاژنز و آغاز دگرگونی است و در دمایی در حدود ۲۰۰ تا ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد و فشارهای بین ۲.۵ تا ۸ کیلوبار فشار آب به وجود می‌آید. در دگرسانی زئولیتی میزان سولفید بسیار پایین می‌باشد و به ندرت یافت می‌شود. در دمای پایین و pH خنثی محلول‌های گرمابی در سنگ‌های آذرین موجب جابجایی و تمرکز Na, K, Ca در نقاط خاصی شده است که باعث تشکیل کانی‌های خانواده زئولیت می‌گردد. مطالعات میکروسکوپی و XRD نشان می‌دهد، گستره این دگرسانی در کانسار زاواک در سنگ‌های آندزیتی-بازالتی میزان کانه‌زایی مس می‌باشد (شکل ۴-۱۳ و ۴-۱۴).



شکل ۴-۱۳: الف) تصویری از نمونه دستی زئولیت، ب) تصویر میکروسکوپی از زئولیت.

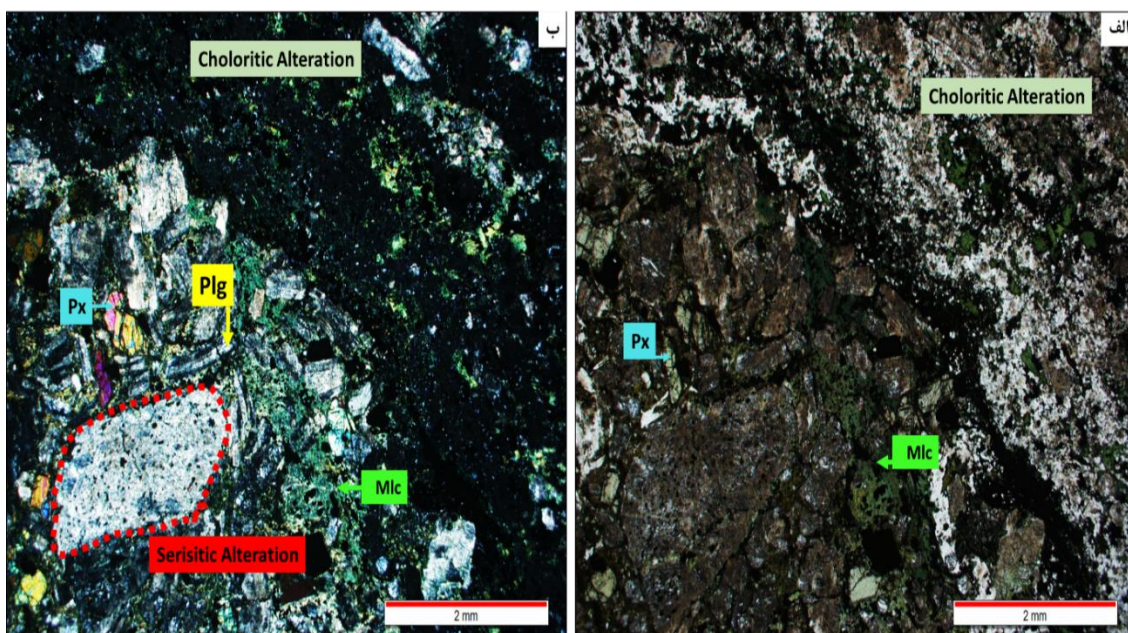


Peak List
01-070-1575; Na (Al Si2 O6) (H2 O); Analcime
01-084-0752; Na (Al Si3 O8); Albite low
01-075-1592; K Al Si3 O8; Orthoclase
01-085-0352; Ca4.17 Na3.31 K0.46 Si14.99 Al8.69 O47.8 Cl0.73 (S O4)0.37 (CO3)0.87; Scapolite

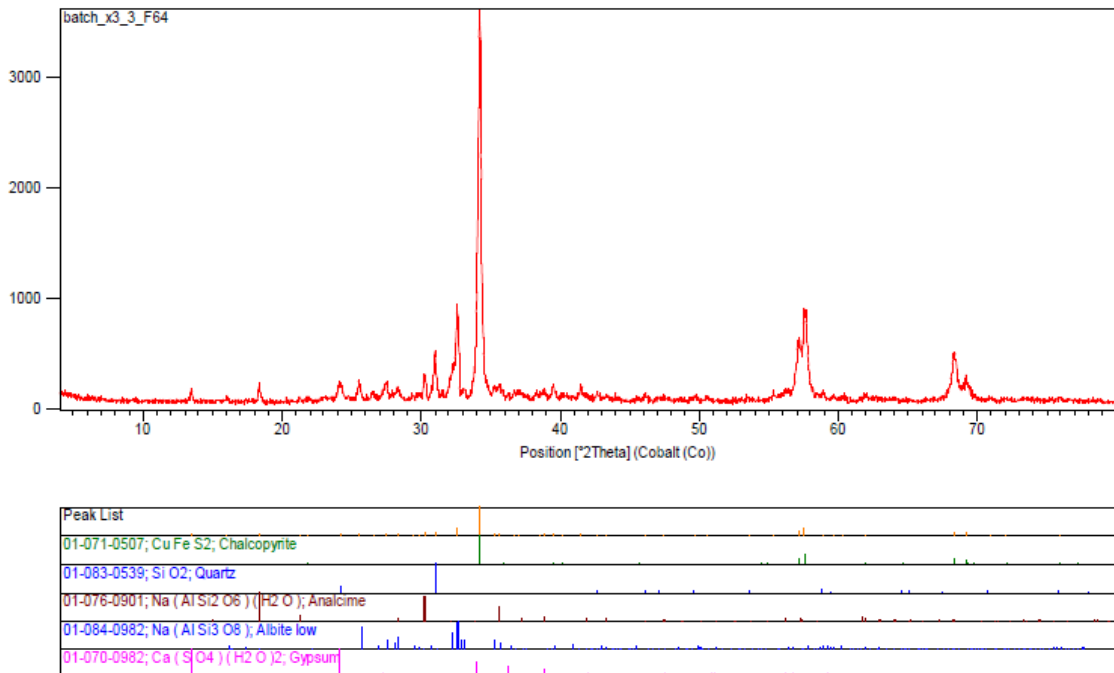
شکل ۴-۱۴: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه F31 کانسار زاواک که بیانگر دگرسانی زئولیتی می‌باشد که با کانی آنالسیم مشخص شده‌است.

۴-۶-۱-۳- دگرسانی سریسیتی

دگرسانی سریسیتی (فیلیک) که از تاثیر محلول‌های اسیدی بر روی سنگ‌های آذرین به ویژه غنی از Al و سنگ‌های رسوبی نظیر شیل‌ها و مارن‌ها ایجاد می‌شود. سیال گرمابی کانی‌های این سنگ‌ها بویژه فلدسپارها را هیدرولیز کرده و بر اثر خارج شدن کاتیون‌های Na, Mg, Ca و باقی ماندن کاتیون K در سیستم، سریسیت تشکیل می‌شود. دگرسانی سریسیتی کم و بیش در واحدهای میزبان کانه‌زایی در مس زاواک و در مس سردار مشاهده می‌شود. بر اساس مطالعات مقاطع نازک، مقدار جزئی از کانی‌های پلاژیوکلاز به سریسیت تبدیل شده‌اند و سریسیت بصورت دانه پراکنده در متن کانی‌های پلاژیوکلاز و آلکالی فلدسپار و همچنین در داخل شکستگی‌های پلاژیوکلاز متمرکز شده است (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵: تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازهای دگرسان شده سریسیتی در کانسار مس زاواک.



شکل ۴-۱۶: نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده برای نمونه F64 اندیس سردار که نشانگر دگرسانی سریسیتی می‌باشد که با کانی‌های کالکوپیریت و کوارتز مشخص شده است.

۴-۶-۲- دگرسانی و پهنه‌بندی در واحد رسوبی

حجم و سرعت جریان سیال درون حوضه‌ای که کانی‌سازی در آن‌ها انجام شده، متغیر است. کانسارهای دیاژنتیک اولیه و نیز حوضه‌هایی که چند اندیس و کانسار کوچک در آن‌ها تشکیل شده است، جریان سیال متوسطی داشته‌اند در صورتی که برای تشکیل کانسارهای بزرگ، حجم سیال زیادی طی دوره‌های زمانی طولانی مورد نیاز می‌باشد. سیالات مربوط به محیط‌های نزدیک سطح، شوری متوسط و درجه حرارت کمی دارند چنین سیالاتی قادر به انجام واکنش با کانی‌های درون سکناس طبقات قرمز هستند. نوع کانی‌هایی که طی دیاژنز تشکیل شده‌اند به ترکیب سیال وابسته‌اند و خود ترکیب سیال نیز به منشا سیال به دام افتاده، آب دریا، شورابه‌های دریاچه‌ای (غنی از سدیم و کلسیم) یا آب ناشی از آب‌زدایی ژئوپس وابسته است. نوع کانی‌های دگرسانی به شیمی شورابه‌ها و شرایط فشار و حرارت بستگی دارد. کانی‌هایی که انتظار می‌رود طی دگرسانی ایجاد شوند، همان کانی‌هایی هستند که طی دیاژنز معمولی تولید می‌شوند (آلبیت، فلدسپات پتاسیم‌دار، کوارتز، انواع

کانی‌های کربناته و تبخیری، کلریت، مگنتیت، هماتیت، آپاتیت و غیره). شدت دگرسانی به بالا بودن نسبت آب/سنگ، طولانی بودن زمان و مسیر مهاجرت سیال بستگی دارد. بر اساس کاکس و همکاران (Cox et al., 2007, Hitzman et al., 2005) دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن (Bleaching) سنگ‌های دربرگیرنده است. سیالات درون سازندی، در مجاورت با مواد آلی، حالت احیایی پیدا می‌کنند و در مسیر خود از میان سنگ میزبان، در نتیجه واکنش با رسوبات قرمز، موجب دگرسانی (Bleaching) می‌شود.

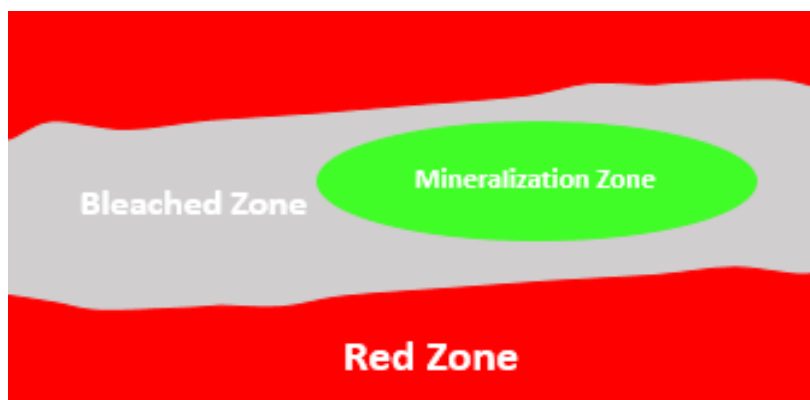
در منطقه مورد مطالعه شاخص‌ترین دگرسانی مربوط به ذخایر مس رسوبی در یال شمالی تاقدیس می‌باشد. در افق‌های میزبان کانه‌زایی در این کانسار بر اساس دگرسانی صورت گرفته، شرایط اکسیداسیون و احیا، کانی‌شناسی و رنگ، سه بخش مجزا از یکدیگر قابل تشخیص است. این بخش‌ها عبارتند از:

۱- پهنه قرمز اکسیدان (Red zone)

۲- پهنه شسته شده (Bleached zone)

۳- پهنه احیایی کانه‌دار (Mineralization zone)

نحوه قرار گیری این سه پهنه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی (که در اینجا ماسه‌سنگ خاکستری احیایی است) بصورت لایه ای در کنار یکدیگر می‌باشد (شکل ۴-۱۷).



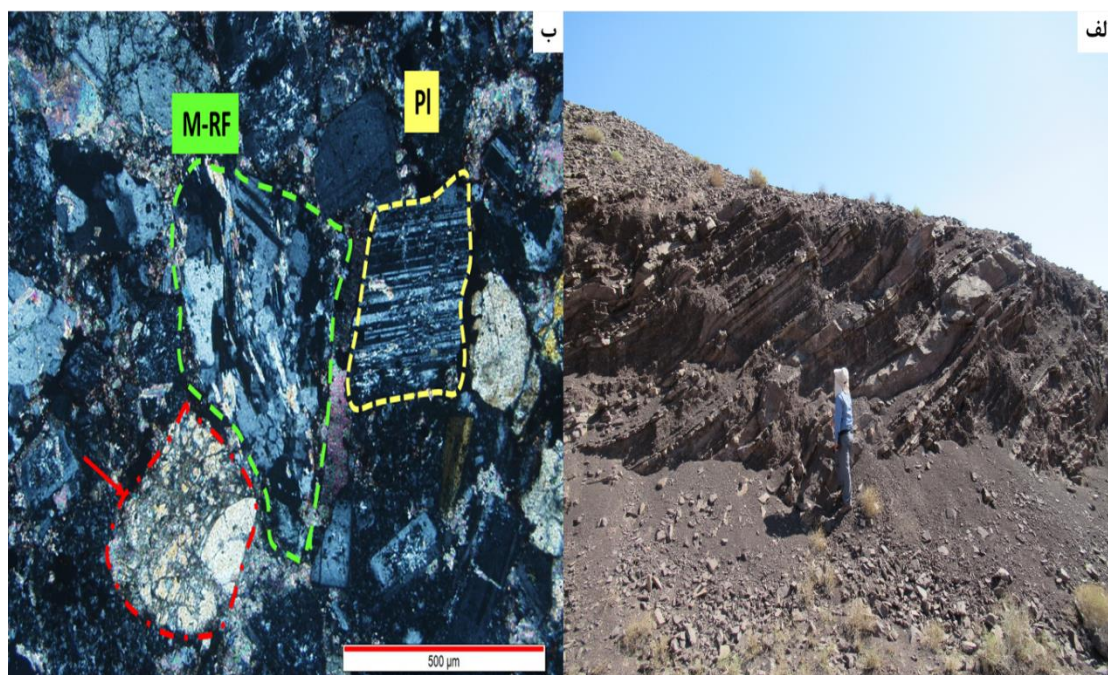
شکل ۴-۱۷: شکل شماتیک عمومی از چگونگی قرارگیری و ارتباط پهنه‌های سه‌گانه در افق احیایی میزبان کانه‌زایی

در کانسار مارکشه (مهدوی و همکاران، ۱۳۹۰).

۴-۶-۲-۱- پهنه قرمز اکسیدان

این پهنه حاوی مقادیر فراوانی اکسیدهای آهن است که به صورت پوشاننده دانه‌ها و ماتریکس کانی-های تشکیل دهنده سنگ می‌باشد. رنگ این بخش از قهوه‌ای تیره تا قرمز تغییر می‌کند. در نمونه‌های دستی بخش‌های دانه‌ریزتر رنگ قرمز تیره‌تری نسبت به قسمت‌های دانه درشت دارد. رنگ قرمز این پهنه به دلیل وجود مقادیر زیادی اکسید آهن است. این بخش از ماسه‌سنگ دانه ریز تا دانه متوسط تشکیل شده است. در این پهنه در برخی نقاط کانه‌زایی به صورت تجمعات پراکنده در ماسه سنگ رسوبی کانه‌دار قرار دارد (شکل ۴-۱۸).

به هنگام ته‌نشست لایه‌های سرخ رنگ، سیلیکات‌های آهن‌دار ناپایدار همراه آن‌ها (مانند پلاژیوکلاز، بیوتیت، مگنتیت) وارد حوضه رسوبی شده‌اند. در اثر تجزیه این سیلیکات‌ها، آهن موجود در ساختمان آن‌ها خارج شده و به صورت اکسید آهن اولیه (Ferric oxide) که ماده اولیه تشکیل هماتیت (در شرایط Eh مثبت و Ph خنثی تا قلیایی در مناطق گرم و قاره‌ای با عرض جغرافیایی کم محسوب می‌شود (Walker, 1989))، دور قطعات آواری را احاطه کرده و باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد.



شکل ۴-۱۸: الف) تصویری از پهنه قرمز اکسیدان در منطقه، ب) تصویر میکروسکوپی از ماسه سنگ قرمز.

۴-۶-۲-۲- پهنه شسته شده (Bleached zone)

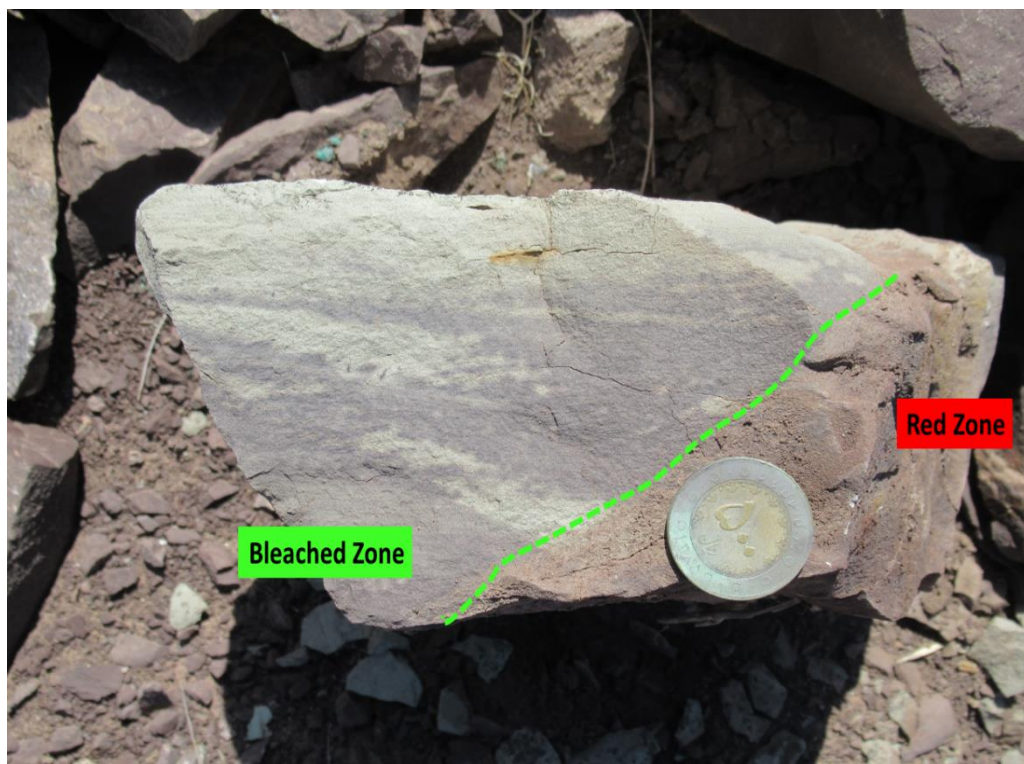
پهنه شسته شده در واقع بخشی از توالی لایه‌های سرخ رنگ است که در آن تاثیر فرایند دگرسانی، با توجه به تغییر رنگ ایجاد شده به خوبی دیده می‌شود. در این پهنه تحت تاثیر سیال احیایی، رنگ قرمز ماسه سنگ به رنگ سفید، قهوه‌ای مایل به خاکستری دیده می‌شود شکل (۴-۱۹).

به دلیل اهمیت سیال احیایی و نقش آن در ایجاد دگرسانی در زیر ویژگی های سیال احیا مورد بررسی قرار گرفته‌است.

حرکت سیال و ایجاد دگرسانی در توالی‌های Redbed به دو طریق صورت می‌گیرد (Kirkham, 1996., Hitzman et al, 2005):

۱- سیال از طریق سیستم‌های گسل‌ها و شکستگی‌ها به درون توالی رسوبی وارد شده و با ایجاد پهنه‌های وسیع و نامنظم از دگرسانی Bleaching در بخش‌های نفوذپذیر، گستره وسیعی از سنگ‌های قرمز رنگ اطراف گسل‌ها نه تمام سنگ را به رنگ خاکستری در می‌آورد. بهترین مثال از این مورد ماسه سنگ شسته شده در حوضه Paradox است. این حوضه در ایالت‌های یوتا و کلرادوی آمریکا، میزبان چندین کانسار مس با میزبان رسوبی است که حرکت سیال در آن توسط گسل‌ها کنترل می‌گردد (Durson., 2005).

۲- در این روش حرکت سیال و ایجاد دگرسانی Bleaching در توالی‌های قرمز رنگ در ارتباط با نفوذپذیری سنگ‌های میزبان است و توسط سیستم‌های گسلی کنترل نمی‌شود (Kirkham, 1996). مثال این مورد، کانسار Nacimiento در نیومکزیکو است، که دگرسانی Bleaching در آن گستردگی کمتری داشته و هم‌روند با لایه‌بندی و در ارتباط با نفوذپذیری سنگ‌های موجود در توالی کانسار می‌باشد (Woodward, 1974).



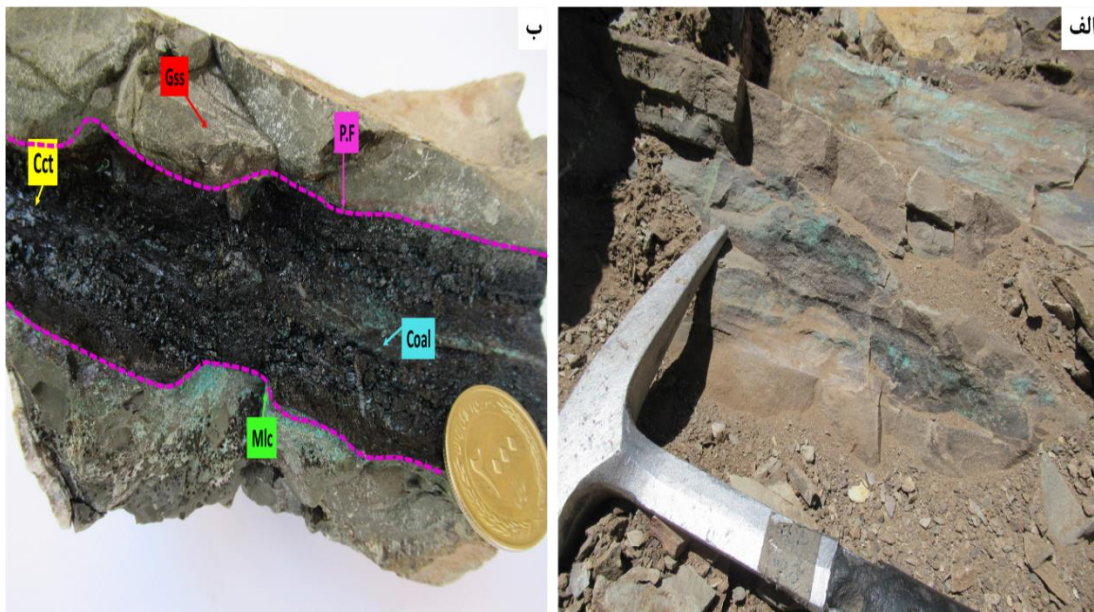
شکل ۴-۱۹: پهنه شسته شده در منطقه که بر روی پهنه قرمز قرار گرفته است و به رنگ سبز خاکستری دیده می‌شود.

۴-۶-۲-۳- پهنه احیایی کانه‌زایی شده

مهم‌ترین عوامل موثر در تشکیل این پهنه، فراوانی قطعات فسیل گیاهی و مواد آلی به عنوان عامل احیا و نیز نفوذپذیری سنگ‌ها در بخش شسته شده می‌باشد. بافت کانه‌زایی غالباً جان‌شینی و دانه پراکنده است. مهم‌ترین کانی‌هایی که در این بخش دیده می‌شود، عبارتست از: کالکوسیت، بورنیت، کولیت و دیژنیت. سوپرژن سولفیدی، سولفیدهای مس اولیه را به کولیت، مالاکیت و کریزوکلا تبدیل نموده‌است. مالاکیت و آزوریت به صورت پراکنده و نیز درون شکستگی‌ها در اطراف بخش‌های کانه‌زایی شده، ایجاد یک هاله سبز رنگ می‌کند که تشخیص پهنه کانه‌زایی شده را آسان می‌کند.

در کانسارهای مس رسوبی، احیا شدگی محیط مانند پهنه‌های حاوی پیریت و مواد آلی از جمله مهم‌ترین عوامل ته‌نشست کانه می‌باشند. البته منشا سولفید بیوژنتیک را نیز باید در نظر گرفت. همچنین نفوذپذیری بالای سنگ میزبان و یا وجود سیستم‌های گسلی در آنها بسیار حیاتی است. فضای خالی بین دانه‌ای در رسوبات دانه‌ریز قبل از تراکم و سنگی شدن، می‌تواند موضع مناسب برای ته‌نشست

باشد. عملکرد واحدهای شیلی و ماری در بخش‌های فوقانی پهنه‌های کانی سازی شده بدین صورت است که به عنوان سدهای ژئوشیمیایی (نفوذپذیری پایین)، مانع از عبور و نفوذ بیشتر سیال حاوی مس به سمت بالای سیستم گشته و ته‌نشست بیشتر مس را سبب می‌شوند. در منطقه مورد مطالعه، پهنه احیایی کانه‌زایی شده به صورت افق‌های کانه‌دار در درون بخش شسته شده احیایی قرار دارند (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰: نمای از کانه‌زایی در ماسه سنگ خاکستری (ب) تصویری از کانه‌زایی سولفیدی مس که در این کانسار عامل احیا فسیل‌های گیاهی می‌باشد.

فصل پنجم:

کافی شناسی، ساخت و بافت

و توالی پارازیتیک

۵-۱- مقدمه

نکات مهمی که در هنگام مطالعات کانی شناسی می‌توان مورد مطالعه و بررسی قرار داد، عبارتند از: شناسایی کانی‌های سازنده یک ذخیره و مطالعه بافت آن. هدف از این مطالعات بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تغییر پاراژنز در مراحل تبلور و تشخیص تعداد مراحل کانی سازی در هر منطقه است. انتخاب روش تغلیظ مناسب، مستلزم شناسایی دقیق کانی‌ها و بافت آن کانسار است. هرچند که به کمک روش پراش اشعه ایکس (XRD) می‌توان کانی‌های یک کانسار را در صورتی که بیش از حدود دو درصد (پودر چند کانی) باشند، تشخیص داد، اما شناسایی دقیق کانی‌های فلزی و مطالعه بافت آن‌ها بر پایه میکروسکوپ نور انعکاسی و یا میکروسکوپ الکترونی استوار است. در ذخایری که دارای عیار پایین و ارزش اقتصادی هستند، تشخیص نوع کانی مفید در نمونه دستی امکان‌پذیر نیست و فقط به کمک میکروسکوپ می‌توان آن را تشخیص داد. بافت کانسارها در واقع، درجه تبلور، اندازه دانه‌ها و فابریک یا رابطه هندسی میان اجزا تشکیل دهنده یک سنگ را مشخص می‌کند. نکاتی که در مورد بافت باید به طور دقیق مورد بررسی قرار گیرد عبارتند از: دامنه اندازه کانی‌های مفید، شکل کانی‌های مفید و باطله، نحوه رشد و ارتباط کانی-های مفید و باطله و بالاخره نوع انکلوژیون‌های واقع در کانی‌های مفید. ویژگی بافتی هر سنگ وابسته به شرایطی است که سنگ در آن تشکیل می‌شود (کریم‌پور، ۱۳۸۴).

بدین منظور جهت بررسی ویژگی‌های ساختی و بافتی و کانی‌شناسی در منطقه مورد مطالعه تعداد ۱۵ مقطع نازک-صیقلی، ۵۵ عدد مقطع نازک و ۱۰ عدد مقطع صیقلی تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعات نقش مهم و کلیدی در پیشبرد اهداف این تحقیق داشته است که در این فصل به شرح آن پرداخته می‌شود.

۵-۲- کانی‌شناسی

کانی‌شناسی مس به طور وسیع مورد مطالعه قرار گرفته و نسبتاً مشخص است، گرچه به علت وجود فازهای نیمه پایدار، پیچیدگی‌هایی در کانسار رسوبی وجود دارد. عمدتاً تنها سولفیدها و فلزات طبیعی از نظر اقتصادی با اهمیت هستند. هرچند کربنات‌هایی چون ملاکیت و آزوریت نیز رایج هستند و حتی بخش عمده تعداد کمی از کانسارها را تشکیل می‌دهند (Maynard, 1983). به همین منظور در ادامه به بررسی کانی‌های مس موجود در کانسارهای مورد مطالعه و ویژگی‌های آن‌ها می‌پردازیم.

۵-۲-۱- کانی‌های اولیه

در کانسار زاواک کانی‌های اصلی شامل کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت می‌باشد و در کانسار سردار شامل مس طبیعی، کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و پیرولولزیت است. در ذخایر مس رسوبی نیز کانی اولیه شامل مس طبیعی و کالکوسیت می‌باشد. که در زیر به اختصار به بررسی کانی‌های اولیه مشاهده شده پرداخته شده است.

۵-۲-۱-۱- کالکوسیت

کالکوسیت با فرمول Cu_2S در سیستم ارتورومبیک متبلور می‌شود و بلورهای پهن منشوری دارد. در ترکیب شیمیایی این کانی ۷۹/۹ درصد مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می‌باشد. این کانی به رنگ خاکستری متمایل به سیاه تا سیاه است و دارای سختی ۵/۲-۳، چگالی ۸/۵-۵/۵، شکستگی صدفی و در سطح شکست دارای جلای فلزی است که فوراً رنگ تیره و جلای مات پیدا می‌کند. خط اثر آن جلای فلزی دارد و غالباً حاوی مقداری آهن و نقره به شکل ناخالصی است. کالکوسیت به صورت کانی اولیه از منشا گرمابی تشکیل می‌شود. در تمامی انواع کالکوسیت، عنصر مس ممکن است با مقداری نقره، آهن و منگنز، در فرم‌های دمابالا جانشین شود (Ramdohr, 1980).

کالکوسیت، در کانسارهای مورد مطالعه به عنوان کانی سولفیدی اصلی و کانی اقتصادی موجود در کانسارهای مورد مطالعه محسوب می‌شود. این کانی با ابعاد کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر تا چند سانتی متر درون بخش‌های احیایی کانه‌زایی شده وجود دارد. کالکوسیت در نمونه دستی کانسارهای زاواک و سردار به صورت دانه پراکنده و رگه‌ای نقره‌ای با جلای فلزی (شکل ۵-۱) و در اندیس‌های مس رسوبی به صورت دانه پراکنده مشاهده می‌شود (شکل ۵-۲).

کانسار زاواک دارای دو نوع کالکوسیت می‌باشد:

۱- کالکوسیت اولیه که طی فرآیند کانه‌زایی همراه با بورنیت تشکیل شده است و به صورت

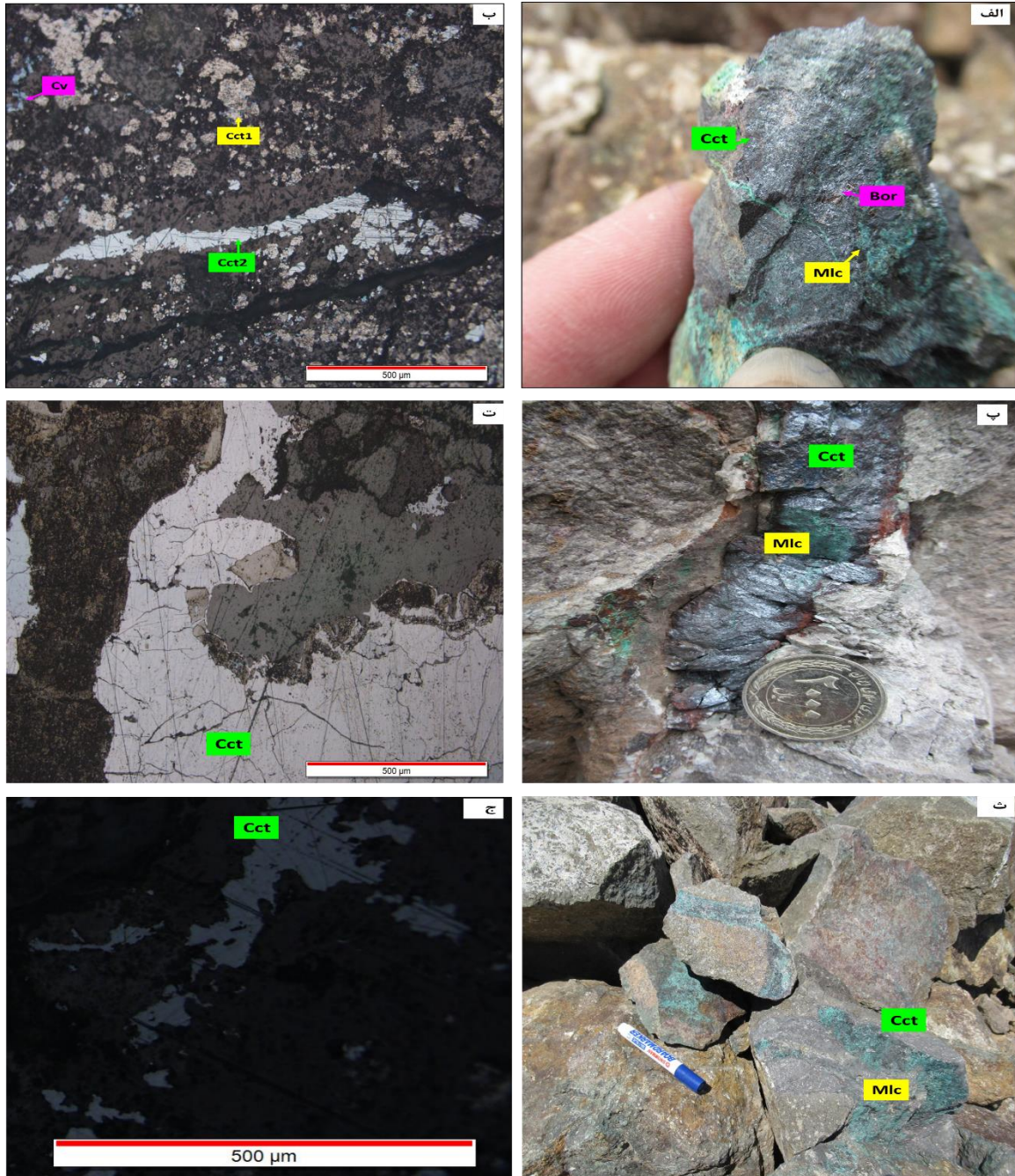
جانشینی و کلوفورمی دیده می‌شود.

۲- کالکوسیت ثانویه که طی مرحله بالآمدگی، فضاهای خالی و خلل و فرج شکستگی‌ها را

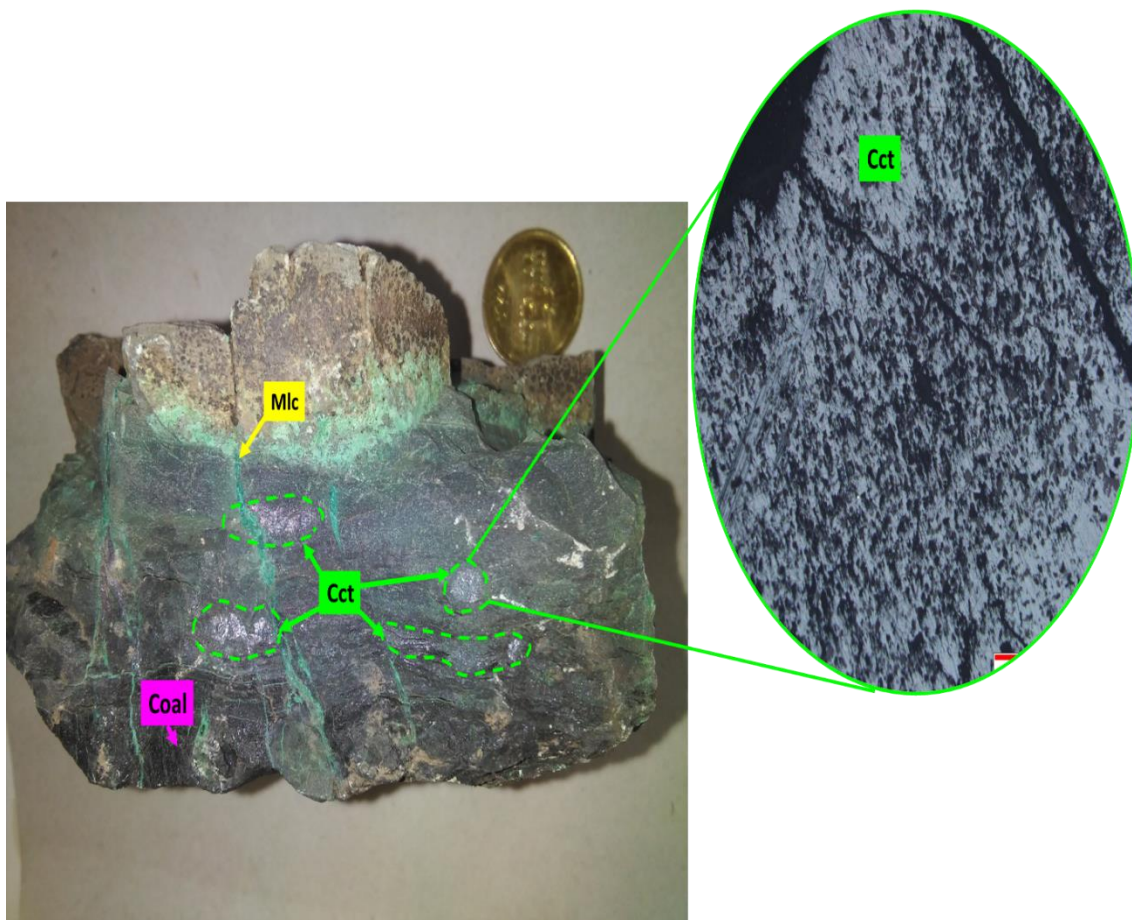
پرنموده‌است.

کالکوسیت اولیه سخت‌تر بوده و دارای رنگ خاکستری متمایل به نقره‌ای می‌باشد و در دمای بالاتر

تشکیل می‌شود. اما کالکوسیت ثانویه نرم‌تر می‌باشد.



شکل ۵-۱: الف) تصویری از نمونه دستی کالکوسیت در کانسار مس زاواک ب) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی رگه کالکوسیت دار، که دونسل کالکوسیت به وضوح قابل رویت است، پ) تصویری از نمونه دستی از کالکوسیت ثانویه در کانسار مس سردار، ت) تصویر میکروسکوپی از مقطع نازک صیقلی رگه کالکوسیت ثانویه مس سردار، ث) تصویری از نمونه دستی کالکوسیت در کانسار مس سردار، ج) تصویر میکروسکوپی از مقطع صیقلی رگه کالکوسیت دار

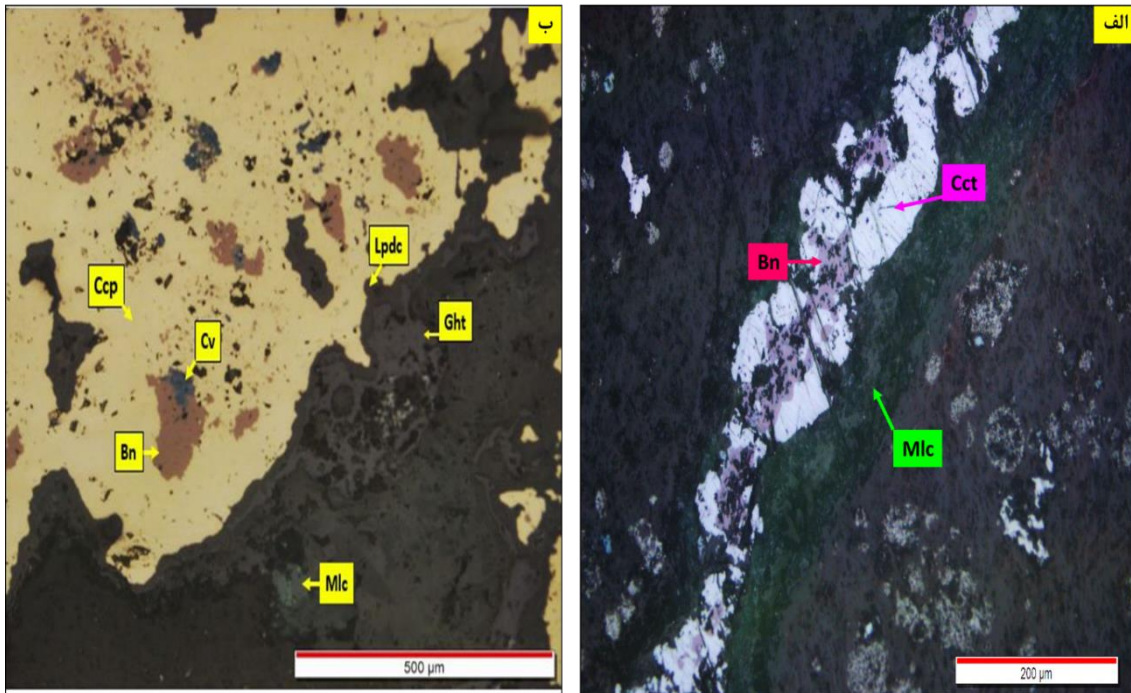


شکل ۵-۲: تصویری از نمونه دستی فسیل گیاهی که کانه زایی مس در آن کاملاً مشخص می‌باشد (ب) تصویر میکروسکوپی از کالکوسیت در فسیل گیاهی.

۵-۲-۱-۲-۵- بورنیت

بورنیت دارای فرمول Cu_5FeS_4 می‌باشد. بورنیت به رنگ قرمز روشن (در سطح صاف) با سطوح زبر دیده می‌شود. بلور بورنیت دارای رخ نامشخص در جهت سطوح مکعبی و واجد شکستگی صدفی است. خط اثر آن خاکستری تا سیاه است. در ترکیب شیمیایی بورنیت ۶۳-۵۵ درصد مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی می‌باشد. بورنیت اکثراً به حالت توده‌ای با دانه‌های درشت و یا فلس مانند دیده می‌شود و به ندرت منشا ماگماتیک و اکثراً از منشا پنوماتولیتی مجاورتی تشکیل می‌شود اما گاهی فقط منشا گرمابی یا رسوبی آن قابل استخراج است. در کانسارهای مورد مطالعه بورنیت در کانسارهای زاواک و سردار دیده می‌شود. این کانی در نمونه دستی به وضوح با چشم غیرمسلح قابل

تشخیص می‌باشد. بورنیت در مقاطع میکروسکوپی بی‌شکل بوده و همراه با کالکوسیت دیده می‌شود. در کانسار زاواک بورنیت در تماس با کالکوسیت ظاهر گشته و دارای رنگ صورتی می‌باشد اما در اندیس‌های معدنی سردار بورنیت‌ها بسیار درشت بوده و در مجاورت کالکوپیریت‌های استرینگر قرار دارند (شکل ۳-۵).

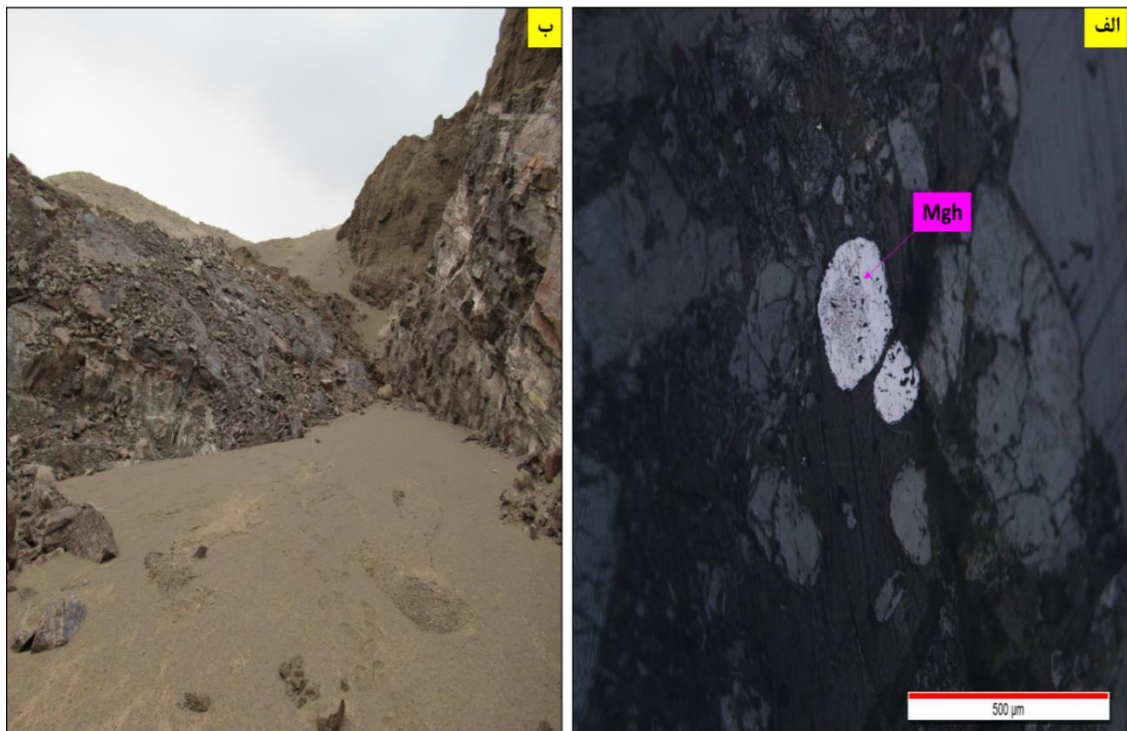


شکل ۳-۵: الف) تصویر میکروسکوپی بورنیت در کانسار زاواک (ب) تصویر میکروسکوپی بورنیت در کانسار سردار.

۳-۱-۲-۵- مگنتیت

مگنتیت یکی از کانه‌های آهن با فرمول شیمیایی Fe_3O_4 است و در حالت خالص ۷۲/۳۶ درصد آهن و ۲۷/۶۴ درصد اکسیژن دارد. رنگ آن از خاکستری تیره تا سیاه تغییر می‌کند و وزن مخصوص آن بین ۵/۱۶ تا ۵/۱۸ می‌باشد. خاصیت مغناطیسی قوی این کانه باعث می‌شود که بتوان آن را به روش جداکننده مغناطیسی از مواد باطله جدا کرد. مگنتیت دارای شبکه کریستالی مکعبی می‌باشد. در محیط‌های کربناته با Eh و Ph پایین مگنتیت بسیار مقاوم است و می‌تواند به صورت پلاسری و لایه‌ای درون سنگ تجمع پیدا کند. مگنتیت در مقاطع میکروسکوپی بصورت دانه‌پراکنده در سنگ میزبان

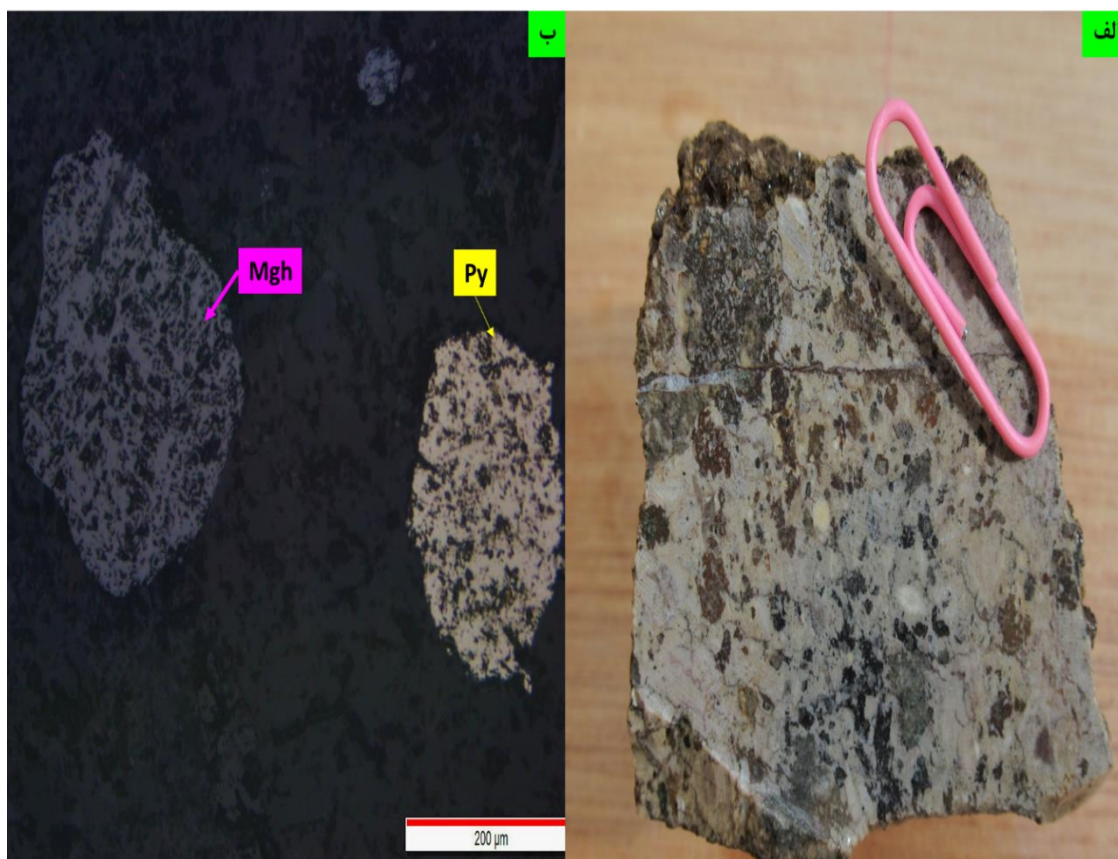
کانه‌زایی زاواک دیده می‌شود. مگنتیت پلاسری نیز در رسوبات آبراهه‌ای در منطقه به وضوح قابل رویت می‌باشد (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵: الف) تصویر میکروسکوپی از حضور مگنتیت در سنگ میزبان زاواک. ب) نمایی از حضور مگنتیت پلاسری در معدن منگنز سردار.

۵-۲-۱-۴- پیریت

فرمول این کانی FeS_2 بوده و در ترکیب شیمیایی آن ۴۴/۶ درصد آهن و ۵۳/۴ درصد گوگرد وجود دارد. سختی بلور در مقیاس موس ۶ تا ۶/۵ و وزن مخصوص آن ۴/۹ تا ۲/۵ است. این کانی در سیستم کوبیک متبلور می‌شود و رنگ آن از زرد برنجی تا زرد متمایل به قهوه‌ای تغییر می‌کند و به طور معمول فاقد خاصیت مغناطیسی است. این کانه از مهم‌ترین سولفورهای آهن محسوب می‌شود. در کانسار زاواک پیریت بصورت دانه پراکنده در واحد آهک نومولیت‌دار دیده می‌شود و اندازه آن حدوداً ۲۰۰ میکرومتر می‌باشد (شکل ۵-۵).

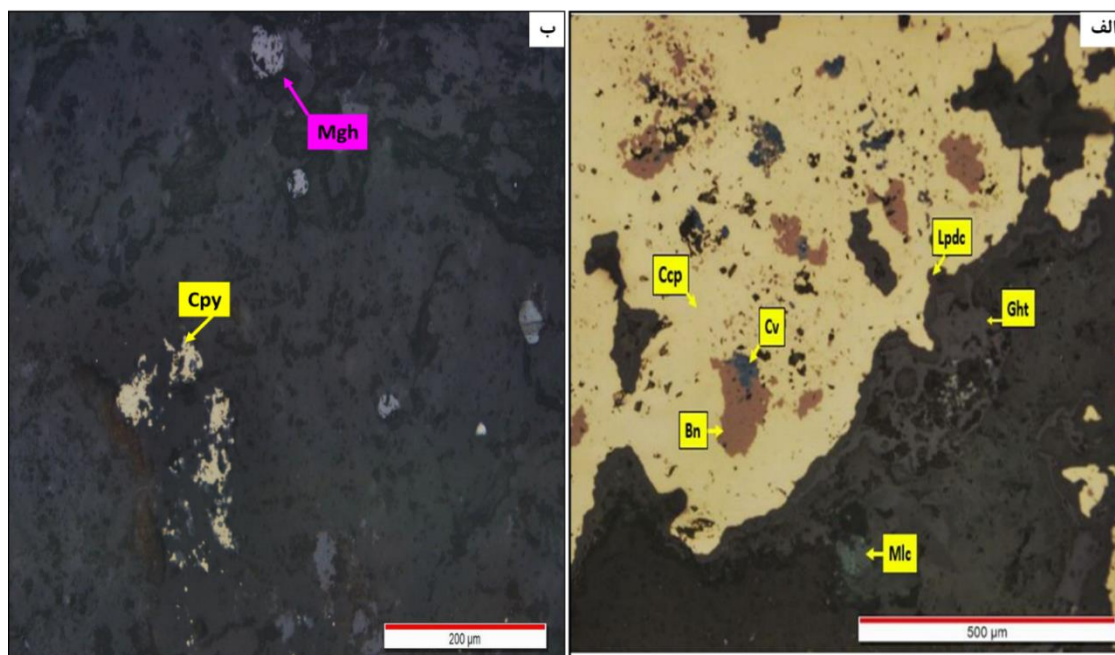


شکل ۵-۵: الف) تصویر نمونه دستی سنگ آهنک نومولیت دار در کانسار زاواک ب) تصویر میکروسکوپی پیریت دانه پراکنده در واحد آهنکی کانسار زاواک.

۵-۲-۱-۵- کالکوپیریت

کالکوپیریت مهمترین و فراوانترین کانی اولیه کانسنگ مس محسوب می‌شود و دارای فرمول شیمیایی $CuFeS_2$ می‌باشد، که در حضور اکسیژن، آب و در محیط‌های پوسته‌ای کم عمق جایی که اکسید می‌شود، ناپایدار است. کالکوپیریت به هنگام قرار گرفتن در محیط آب با اکسیژن کافی، همانند پیریت اکسید می‌شود و محتوای مس آن به صورت محلول‌های اسیدی از آن خارج شده و در نهایت به مجموعه‌ای از اکسید و هیدروکسیدهای آهن تبدیل می‌شود، اما در شرایطی که اکسیژن به اندازه کافی وجود نداشته باشد، می‌تواند به مجموعه‌ای از سولفیدهای ثانوی مس تبدیل شود. به رنگ زرد برنجی متمایل به سبز و در نمونه‌هایی که سطح خارجی آن‌ها اکسید شده است، این کانی به رنگ زرد طلایی و غالباً به رنگ‌های متغیر سطحی تا حد سیاه رنگ است. در اندیس معدنی سردار کالکوپیریت

یکی از مهم‌ترین کانی‌های اولیه مس‌دار می‌باشد، که بصورت رگه-رگچه‌ای درون واحد توف ماسه‌ای دیده می‌شود که در اثر هوازدگی و فرآیند سوپرژن و دگرسانی به کانی‌های ثانویه مانند کولیت، مالاکیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده‌است. به لحاظ فراوانی این کانی در کانسار زاواک بسیار پایین بوده و بصورت دانه‌پراکنده درون سنگ میزبان آهکی مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶).



شکل ۵-۶: الف) تصویری از حضور کالکوپیریت به همراه دیگر کانی‌ها در کانسار مس سردار، ب) تصویری از کالکوپیریت دانه‌پراکنده در کانسار زاواک.

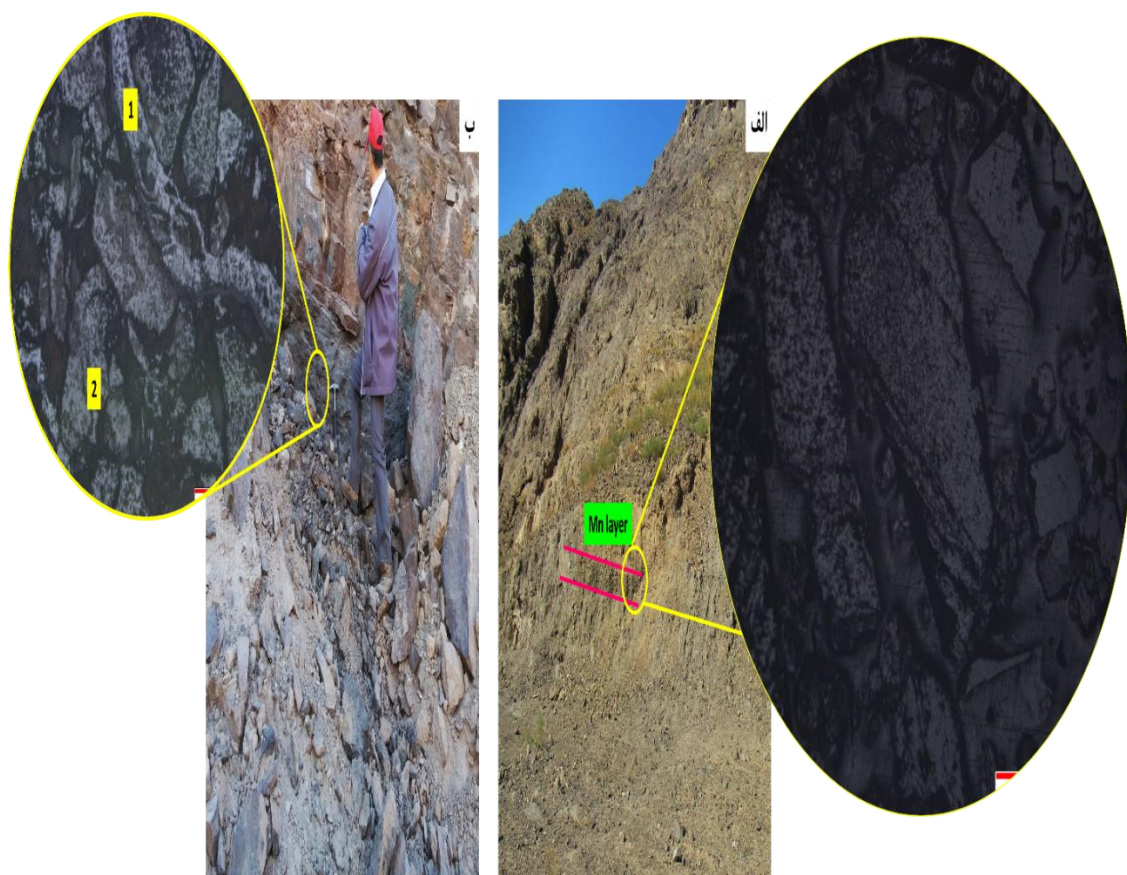
۵-۲-۱-۶- پیرولولوزیت

کانی‌های اکسید منگنز با فرمول شیمیایی MnO_2 را تحت عنوان اکسیدهای منگنز خالص نیز می‌شناسند که شامل دیامورف‌های مختلفی می‌باشند که در این بین، پیرولولوزیت از نظر ترمودینامیکی پایدارترین فاز آن می‌باشد و اغلب عاری از دیگر کاتیون‌هاست. این کانی به مقدار فراوان در کانسارهای منگنز دما پایین، خصوصاً کانسارهای رسوبی یافت می‌شود.

این کانی با رنگ زرد متمایل به خاکستری تا زرد متمایل به قهوه‌ای، داشتن کلیواژهای نامنظم تا منظم، پلی کروئیسیم ضعیف و انیزوتروپی بسیار قوی در مقاطع میکروسکوپی صیقلی از سایر کانی‌های منگنز به راحتی تشخیص داده می‌شود. در کانسار سردار، پیرولولوزیت فراوان‌ترین کانی منگنز می‌باشد

و دارای نسل یک و دو می‌باشد، نسل یک دارای بافت برشی و نسل دو دارای بافت رگه‌ای می‌باشد (حسینی ۱۳۹۵).

علاوه بر وجود منگنز بصورت لایه‌ای در کانسار سردار، منگنزپراکنده بوده و در طی دیاژنز به صورت اگزالاتیو تشکیل شده و سپس دچار سوپرژن شده‌است. در یال جنوبی تاقدیس کاهک و در جوار معدن زاواک قرار دارد و همچنین بصورت دندریتی بر روی سطح سنگ‌ها آغشته شده‌است (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷: الف) نمایی از لایه منگنز سوپرژن در معدن زاواک و تصویر میکروسکوپی آن (ب) نمایی از لایه منگنز اگزالاتیو

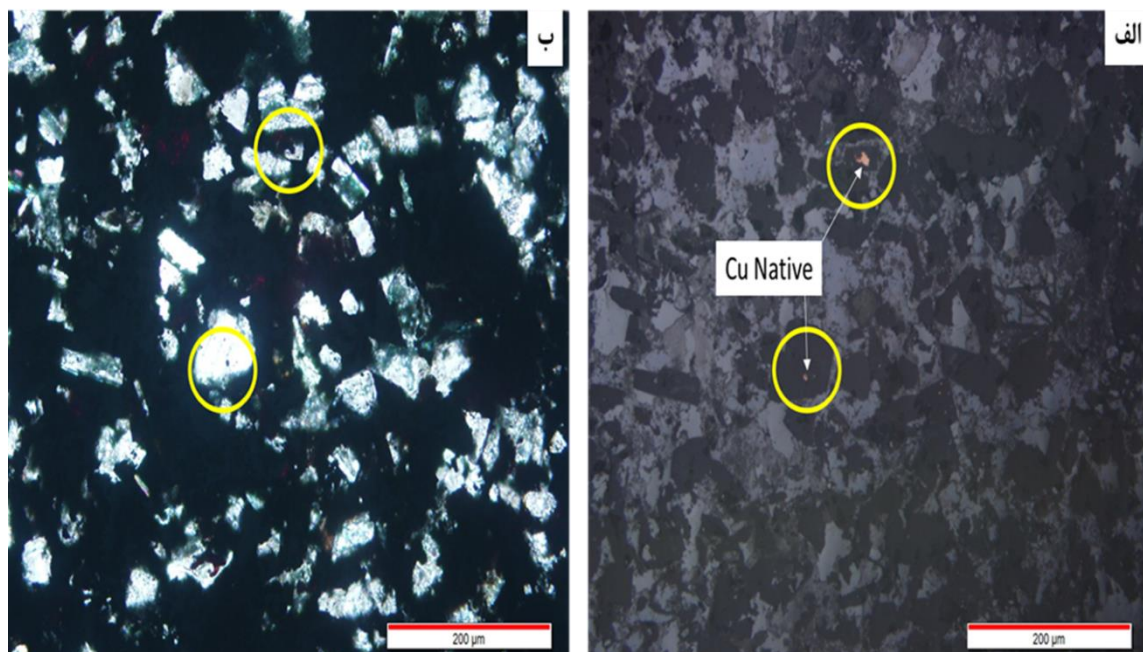
در معدن سردار و تصویر میکروسکوپی آن.

۵-۲-۱-۷- پسیلوملان

پسیلوملان جزو اولین کانی‌های تشکیل شده در کانسار منگنز سردار می‌باشد که بصورت لکه‌ها و جزیره‌های پراکنده نامنظم و پرکننده فضای خالی بوده و تنها پیرولوویت و منگانیت از این کانی فراوان‌تر هستند، در برخی از نمونه‌های مطالعه شده پسیلوملان بر اثر عوامل سطحی و سوپرژن به صورت لکه‌ای و پراکنده و در راستای شکستگی‌ها به پیرولوویت تبدیل شده و گاهیتجمعات سوزنی نیز در آن دیده می‌شود (حسینی، ۱۳۹۵).

۵-۲-۱-۸- مس طبیعی و کوپریت

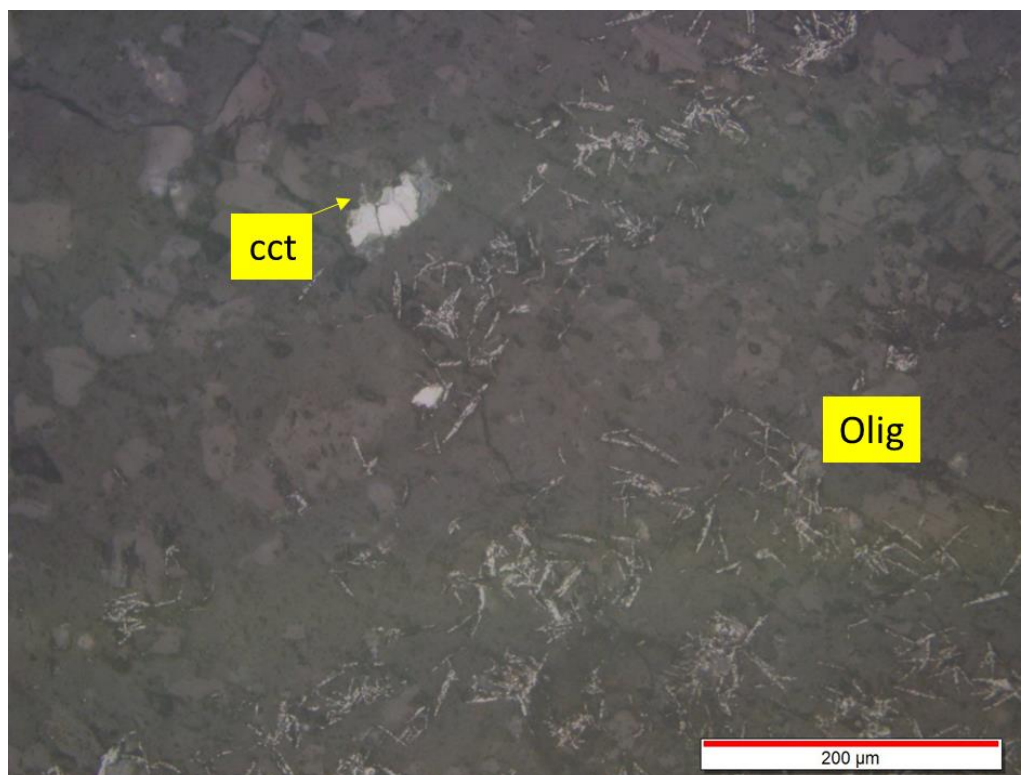
کانه‌زایی مس طبیعی در ذخایر مس رسوبی منطقه در مقیاس میکروسکوپی درون پلاژیوکلازهای سنگ میزبان (شکل ۵-۸) و در مقیاس ماکروسکوپی درون ماسه سنگ خاکستری به وضوح قابل رؤیت است. همچنین مس طبیعی نیز در کارگاه قدیمی درون واحد آندزیتی مشاهده شده است. کوپریت بر اثر اکسیداسیون مس طبیعی بوجود آمده و به وضوح قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵-۸: الف و ب) تصویر میکروسکوپی از مس طبیعی در پلاژیوکلازها در نور طبیعی و پلاریزان

۵-۲-۱-۹-اولیژیست

اولیژیست همان هماتیت است که در ظاهر پولکی است و جلای براقی دارد، که به میکای آهنی معروف می‌باشد. اولیژیست در کانسار زاواک بصورت تیغهای در نوارهای کانسنگ نواری همراه با کالکوسیت قابل رؤیت است (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹: تصویر میکروسکوپی از اولیژیست و همراهی کالکوسیت

۵-۲-۲-کانی‌های ثانویه

کانی‌های ثانویه موجود در کانسار زاواک عبارتند از: کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت، مالاکیت و در کانسار سردار شامل مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت و گوتیت می‌باشد. در ذخایر مس رسوبی نیز کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کوولیت و آزوریت می‌باشد. که در زیر به اختصار کانی‌های ثانویه توضیح داده شده‌اند.

۵-۲-۱- کالکوسیت

کالکوسیت ثانویه در کانسار زاواک بصورت رگه-رگچه‌ای در سنگ میزبان آگلومرایبی قابل مشاهده

است)

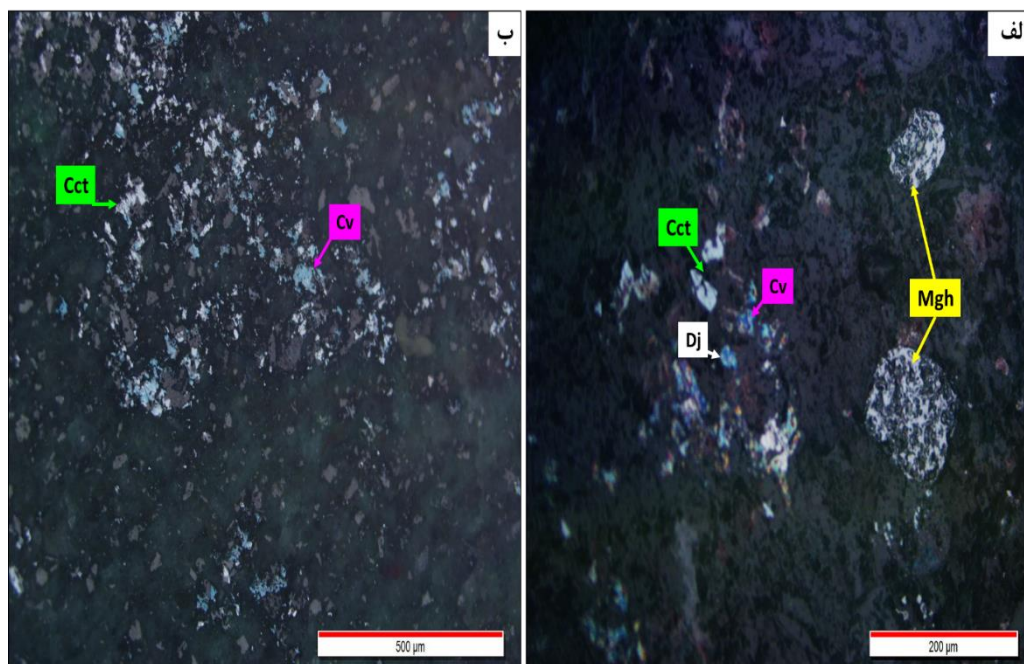
شکل ۵-۱ الف).

۵-۲-۲- کولیت

کولیت با فرمول CuS نمایش داده می‌شود و در سیستم تری‌گوناال متبلور می‌شود و به صورت بلورهای هگزاگوناال و زرد-قهوه‌ای دیده می‌شود و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی است. این کانی به رنگ آبی روشن تا تیره است و دارای سختی ۲-۱/۵، شکننده، چگالی ۴/۶۸ و در ترکیب شیمیایی این کانی ۶۶/۵ درصد مس وجود دارد. بلورهای تجزیه نشده آن جلای چرب دارد. این کانی خاصیت پراکندگی توری قوی دارد و به آسانی ذوب می‌شود. ورقه‌های نازک این کانی نیمه شفاف است که در مقابل هوا به رنگ آبی سیاه در می‌آیند. کولیت فراوانترین کانی منطقه اکسیداسیون است و به ندرت از منشا آب‌های فرورو تشکیل می‌شود.

کولیت، غالباً پس از تشکیل کالکوسیت و در شرایط سوپرژن سولفیدی تشکیل می‌گردد. کولیت در نمونه دستی قابل تشخیص نمی‌باشد ولی در مقاطع میکروسکوپی به رنگ آبی پررنگ و بصورت لکه‌ای و نامنظم در درون و اطراف کالکوسیت و کالکوپیریت دیده می‌شود (شکل‌های ۵-۶ الف و ۵-۱۰). واکنش تجزیه کالکوپیریت به کولیت در زیر آمده است:





شکل ۵-۱۰) الف: تصویر میکروسکوپی از همراهی کانی کولیت و کالکوسیت در معدن مس زاواک، ب) تصویر میکروسکوپی کولیت در اندیس‌های مس رسوبی.

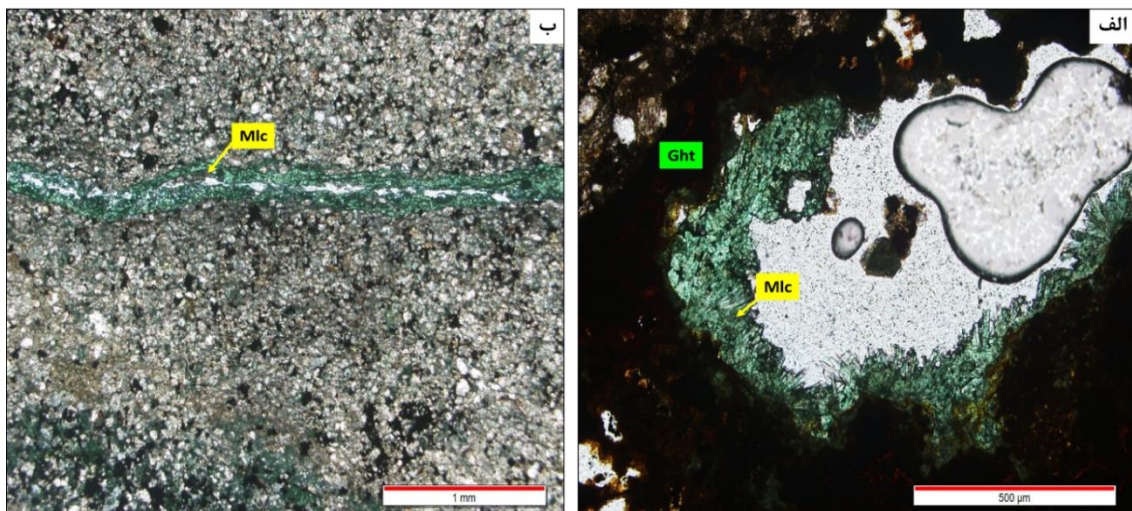
۵-۲-۲-۳- دیژنیت

دیژنیت با فرمول $Cu_{1.8-x}Fe_xS$ در سیستم کوبیک متبلور می‌شود. این کانی دارای رنگ خاکستری متمایل به آبی می‌باشد. تشخیص آن از کولیت از روی رنگ آن صورت می‌گیرد. دیژنیت مقدار کمی آهن در ساختمان خود لازم دارد، و لذا ممکن است یک فاز حدواسط در طی تغییر شکل کالکوسیت به بورنیت یا بالعکس باشد (مینارد، ۱۹۸۳). دیژنیت در کانسار زاواک به صورت جانشینی در بخش کانه‌دار یافت می‌شود. این کانی در اثر هوازدگی کالکوسیت تشکیل شده‌است و دارای رنگ آبی کم-رنگ می‌باشد (شکل ۵-۱۰ الف).

۵-۲-۲-۴- مالاکیت

مالاکیت با فرمول $Cu_2(CO_3)(OH)$ در سیستم مونوکلینیک متبلور می‌شود و در ترکیب شیمیایی آن ۵۷/۵ درصد مس وجود دارد. مالاکیت فراوان‌ترین کانی غیرسولفیدی مس‌دار در کانسارهای مورد مطالعه است، و به دلیل حضور این کانی اکثر رخنمون‌های سطحی را غشای نازک سبز رنگی پوشانده

است. در ذخایر مس رسوبی، مالاکیت می‌تواند از اطراف جانشین کالکوسیت گردد. همچنین مالاکیت در برخی قسمت‌ها دارای بافت دانه‌پراکنده و پرکننده فضای خالی می‌باشد. این کانی در اندیس‌های مورد مطالعه اکثراً همراه با کلسیت دیده می‌شود و یا جانشین سیمان کربناته سنگ شده و به سنگ ظاهری سبز رنگ می‌دهد. به نظر می‌رسد کلسیت کربنات مورد نیاز برای تشکیل مالاکیت را فراهم کرده‌است. در کانسار زاواک و سردار بیش‌ترین حجم پیدایش مالاکیت در آگلومرا و گدازه‌ی آتشفشانی به صورت رگه‌رگچه‌ای و جانشینی دیده می‌شود. پیدایش مالاکیت در این کانسارها احتمالاً ناشی از نفوذ سیالات جوی و اکسیدشدن مس در واحد آتشفشانی به مالاکیت می‌باشد (شکل‌های ۳-۵ الف و ۱۱-۵).



شکل ۱۱-۵: الف) تصویر میکروسکوپی از مالاکیت در کانسار مس سردار ب) تصویر کانی مالاکیت از اندیس‌های مس رسوبی.

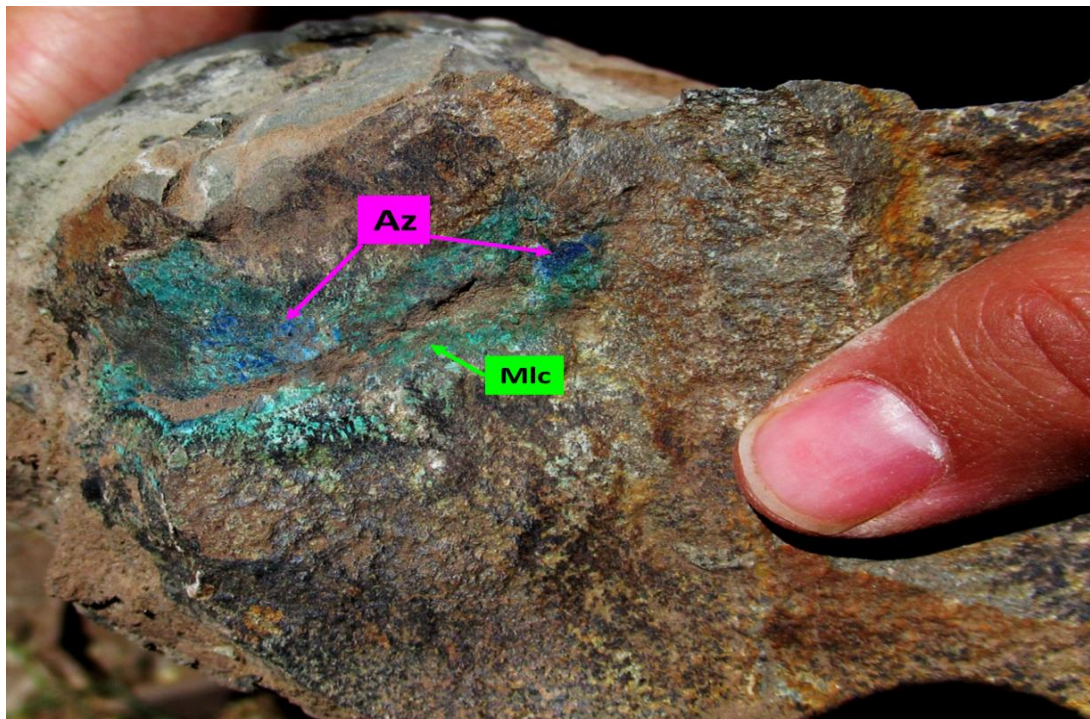
۵-۲-۲-۵- آזורیت

مهم‌ترین عامل در تشکیل کانی‌های کربناته مس، فشار جزئی CO_2 و مقدار مس در آب‌های طبیعی است و در شرایط اکسیداسیون شدید و فشار جزئی بالای CO_2 تشکیل می‌شوند، یعنی این که کربنات‌ها در زون اکسیداسیون شدید و در شرایط CO_2 بالا پایدارند. آזורیت یک کانی ثانویه مس است که از اکسیداسیون و کربناتی شدن اکسیدها و سولفیدهای مس تشکیل می‌شود و به صورت

پراکنده در ماسه‌سنگ‌ها یافت می‌شود. آزوریت همراه با مالاکیت از جمله کانی‌های حاصل از تغییر ترکیبات اولیه مس در منطقه اکسیداسیون است. این کانی به رنگ آبی روشن تا آبی لاجوردی می‌باشد و در ترکیب آن ۵۵ درصد مس وجود دارد. کانی آزوریت از طریق واکنش زیر تشکیل می‌شود:

$$3\text{Cu}^{2+} + 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{HCO}_3^- \rightarrow \text{Cu}_3(\text{OH})_2(\text{CO}_3)_2 + \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$$

این کانی در اثر آبدگی بیشتر و همچنین ناپایدار بودن در هوای آزاد به مالاکیت تبدیل می‌شود. در منطقه مورد مطالعه فراوانی این کانی در منطقه در مقایسه با مالاکیت بسیار کم است و به صورت پراکنده همراه با مالاکیت در فسیل‌های گیاهی مشاهده می‌شود (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲: نمایی از نمونه دستی آزوریت در اندیس‌های مس رسوبی.

۵-۲-۲-۶- گوتیت

گوتیت بر اثر هوازدگی در کانسار مس سردار همراه با کانی‌های اولیه مشاهده می‌شود. گوتیت از کانی‌های هیدروکسید آهن است که توسط هوازدگی و یا دگرسانی کانی‌های حاوی آهن نیز ایجاد می‌شود. بر اثر پدیده انحلال و اکسیداسیون سطحی کانی‌های سولفیدی در قسمت‌های سطحی کانسار دچار

انحلال شده و یون گوگرد آنها خارج و هیدروکسیدهای آهن برجای مانده است. گوتیت همراه با کالکوپیریت یافت می‌شود و دارای بافت رگه‌رگچه‌ای است (شکل ۵-۶ الف).

۵-۲-۳ - کانی‌های باطله

مهم‌ترین کانی باطله مرتبط با کانه‌زایی در کانسار زاواک زئولیت می‌باشد که در فصل چهارم (کانه‌زایی و دگرسانی) به طور مفصل اشاره شده است. اما با توجه به وجود انواع ذرات آذرآواری به عنوان کانی‌های سنگ‌ساز سنگ میزبان، کانی‌های باطله مرتبط با کانه‌زایی در اندیس‌های مس رسوبی شامل کوارتز، فلدسپات و کلسیت می‌باشد که در زیر شرح مختصری از این کانی‌ها آورده شده است.

۵-۲-۳-۱ - کوارتز و فلدسپات

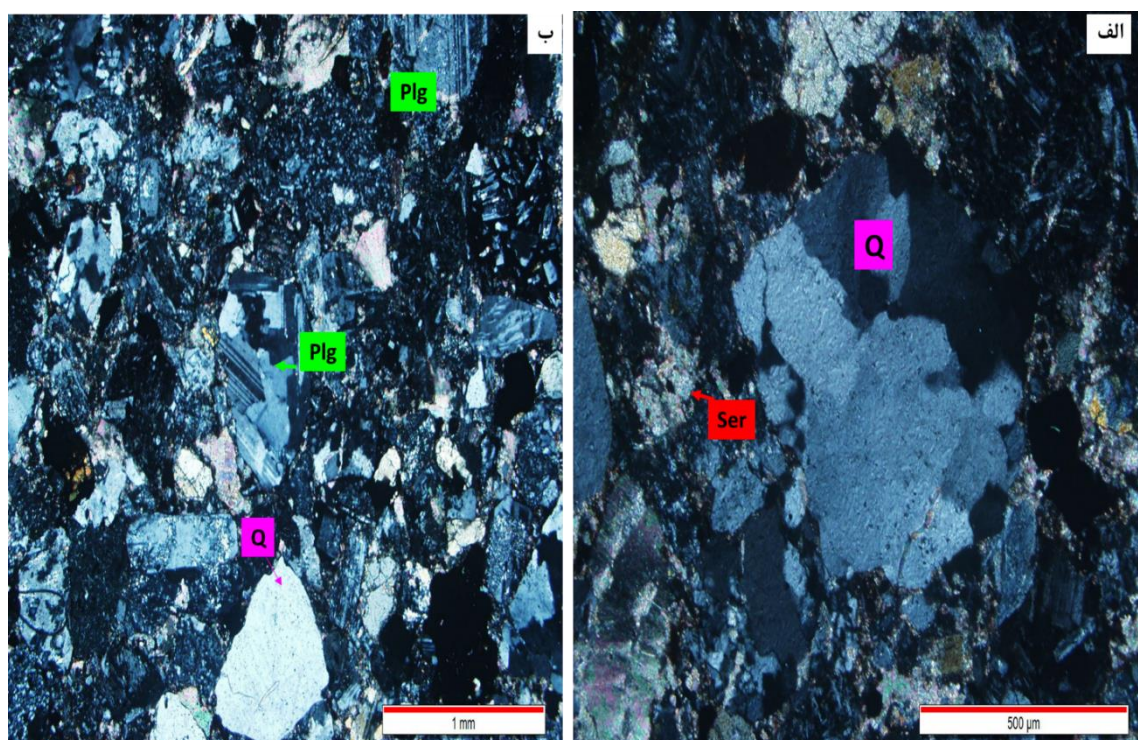
تمام سنگ‌های آذرین و اغلب سنگ‌های دگرگونی به استثنای کوارتزیت که ممکن است تا حدود ۱۰۰ درصد حجم سنگ از کوارتز تشکیل شده باشد، حاوی کوارتز هستند و مقدار آن از خیلی کم تا ۴۰ درصد حجم کل سنگ را تشکیل می‌دهد. ولی برعکس در اکثر سنگ‌های آواری، کوارتز به طور فراوان یافت می‌شود، زیرا مقاومت مکانیکی و ثبات شیمیایی آن در مقابل عمل فرسایش بسیار زیاد است.

مطالعات دقیق پتروگرافی و کانی‌شناسی و نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) بر روی مقاطع میکروسکوپی کانسارهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که دانه‌های تخریبی از جنس کوارتز بوده که به اشکال تک بلوری تقریباً هم اندازه و بعضاً زاویه‌دار توزیع یافته‌اند. در مقاطع میکروسکوپی کوارتزهای پلی کریستالین به همراه کوارتزهای مونوکریستالین به صورت پراکنده حضور دارند (شکل ۵-۱۳).

این نوع کوارتز، بر اثر تحمل فشار دچار حالت پلی کریستالین شده است.

فلدسپات‌ها در سنگ‌های آواری از نظر اهمیت در درجه دوم قرار دارند، زیرا به علت نداشتن رخ، مقاومت مکانیکی کمتری نسبت به کوارتز در مقابل عمل فرسایش دارند و در اثر عوامل شیمیایی به

کانی‌های رسی تجزیه می‌شوند. فلدسپات‌ها در سنگ‌های آذرین و دگرگونی به طور فراوان یافت می‌شوند و بدین جهت در حدود ۱۰ تا ۱۵ درصد رسوبات آواری عهد حاضر را تشکیل می‌دهند. طبق بررسی‌های کانی‌شناسی فراوان‌ترین فلدسپات موجود در اندیس مورد مطالعه پلاژیوکلاز می‌باشد، که بعضاً بر اثر دگرسانی به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند. در برخی نمونه‌ها از دگرسانی پلاژیوکلازها، سریسیت تشکیل شده‌است (شکل ۵-۱۳ ب).

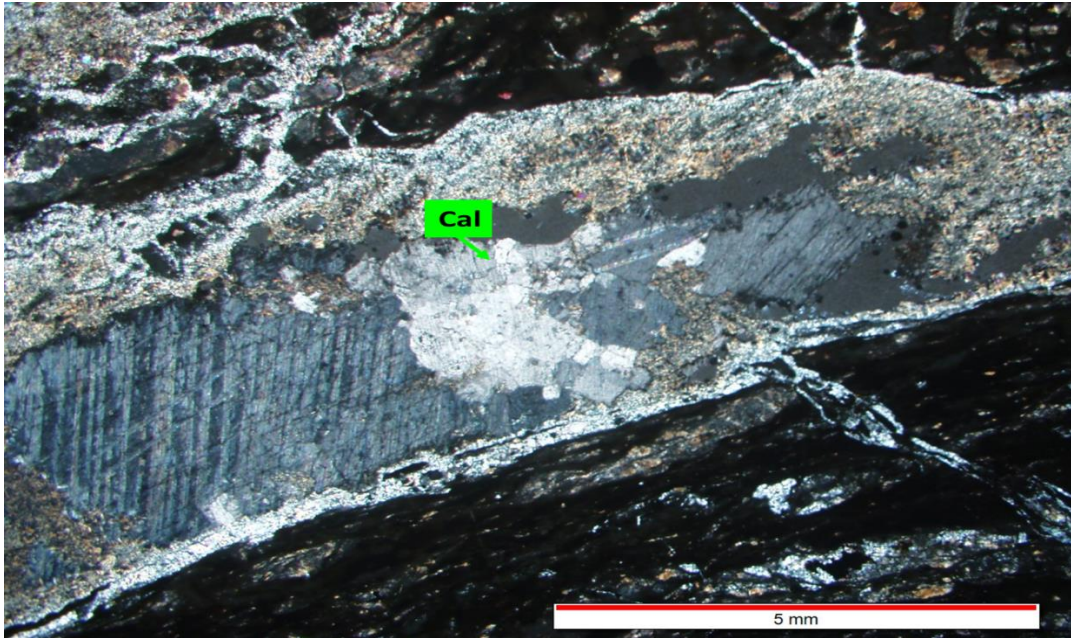


شکل ۵-۱۳: الف) تصویر میکروسکوپی از کوارتز پلی کریستالین و پلاژیوکلازی که در اثر نفوذ سیالات به سریسیت تبدیل شده‌است. ب) تصویر میکروسکوپی از پلاژیوکلازها و کوارتز منو کریستالین.

۵-۲-۳-۲-کلسیت

در اندیس مورد مطالعه مس رسوبی در منطقه، کلسیت اکثراً به صورت سیمان کلسیتی بین اجزای آواری را پر نموده، همچنین درون برخی از شکستگی‌ها توسط کلسیت پر شده است. این کانی در نمونه‌های دستی، مقاطع میکروسکوپی و نتایج XRD تشخیص داده شده‌است. این کانی به صورت

رگه-رگچه‌ای فضاهای خالی را پر کرده و علاوه بر این نیز می‌تواند جانشین دانه‌های فلدسپات شود (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴: تصویر میکروسکوپی از کانی باطله کلسیت.

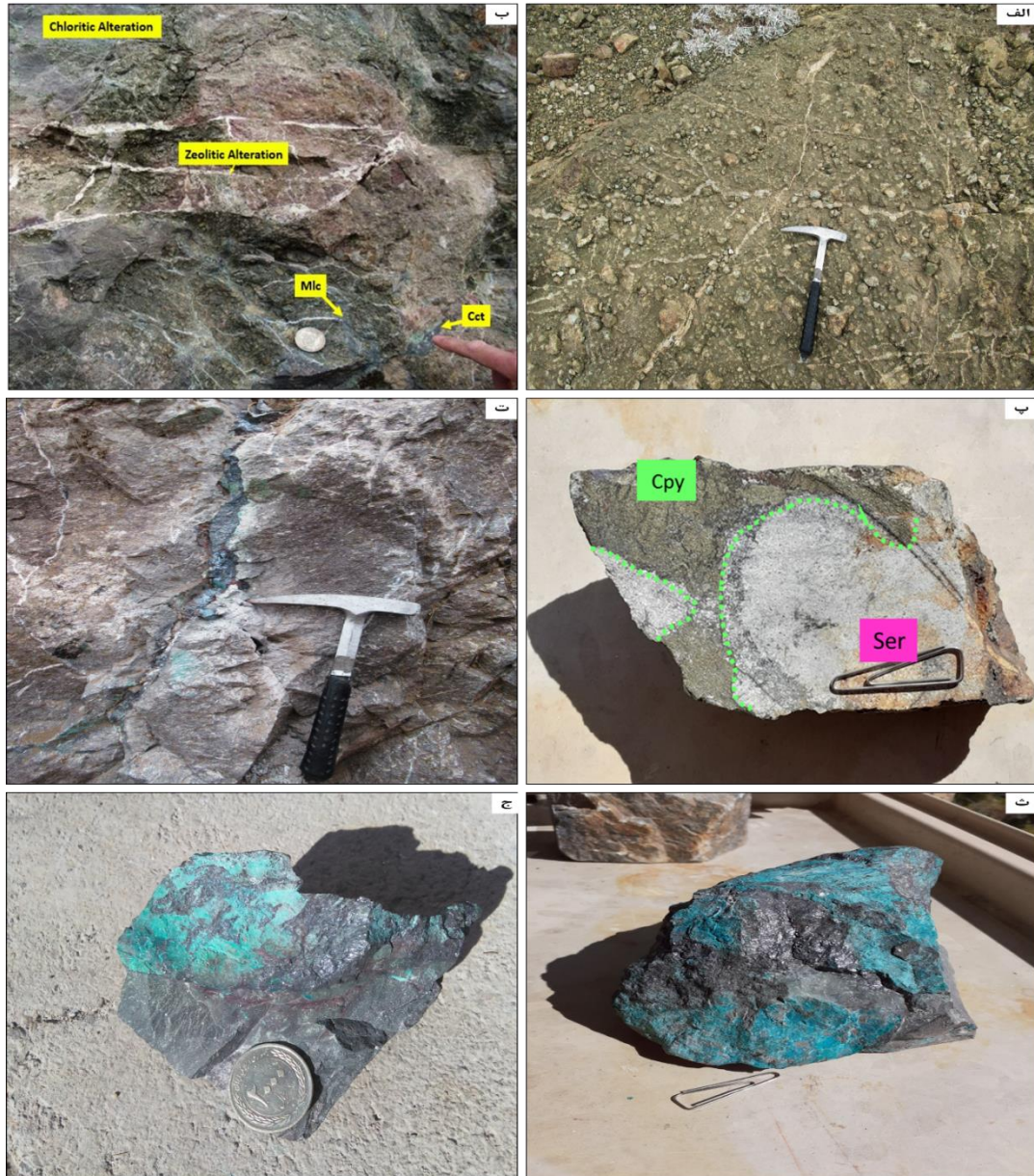
۵-۳- ساخت

ساختمان موجود در سنگ‌ها روی زمین تشخیص داده می‌شود مثل جهت یافتگی، نواربندی، درزه و شکاف. مشخصات سنگ‌ها به نموده‌های ساختی و بافتی سنگ وابسته است. چرا که لایه لایه بودن، توده‌ای بودن، شکل و نوع اندازه کانی یا بلورهای تشکیل دهنده سنگ و ارتباط آن‌ها باهم به ساخت و بافت سنگ مربوط است. ساخت‌های مشاهده شده در توالی کانسارهای مورد مطالعه به شرح زیر می‌باشد:

۵-۳-۱ ساخت رگه-رگچه‌ای

این ساخت در ذخایر آتشفشانی عمدتاً در پهنه کانه‌زایی و در واحد آندزیتی-بازالتی دیده می‌شود که بیشتر این رگه-رگچه‌ها غنی از کالکوسیت، کالکوپیریت و بورنیت می‌باشد همچنین در مرحله بالا

آمدگی نیز این ساخت که رگه‌های غنی از کالکوسیت است به وضوح قابل رؤیت می‌باشد که قطع کننده لایه‌هاست (شکل ۵-۱۵).



شکل ۵-۱۵: الف) حضور رگه-رگچه‌های حاوی کانه‌زایی در آگلومرای آندزیتی-بازالتی در کانسار مس زاواک (ب) حضور رگه-رگچه‌های حاوی کانه‌زایی در آگلومرای آندزیتی-بازالتی در کانسار مس زاواک به همراه رگه‌های زئولیتی. (پ) تصویری از رگه-رگچه‌های کالکوپیریت در کانسار مس زاواک (ت) تصویری از کانه‌زایی رگه‌ای کالکوسیت در معدن منگنز سردار، (ث) تصویری از رگه‌های کالکوسیت که قطع کننده منگنز سردار است، (ج) تصویری از رگه‌های کالکوسیت که قطع کننده ماسه‌سنگ خاکستری در سردار است.

۵-۳-۲- ساخت نواری

ساخت نواری و بافت لامینه در کانسار زاواک به خوبی قابل مشاهده است و ضخامت لامینه‌ها متغیر بوده و از میلی‌متر تا سانتی‌متر تغییر می‌کند (شکل ۵-۱۶). با توجه به وجود دگرسانی در اطراف نوارها و عدم پیوستگی آن‌ها به نظر می‌رسد این نوارها بعد از ته‌نشست سنگ میزبان در اثر نفوذ سیال تشکیل شده باشد. وجود شواهد فوق‌الذکر از نشانه‌های تشکیل بصورت جانشینی در زیر کف دریاست (Doyle, 2003; Tornos et al 2016; Piercey, 2011).



شکل ۵-۱۶: تصویری از ساخت نواری در کانسار زاواک.

۵-۳-۳- ساخت برشی

در کانسارهای زاواک و سردار در قسمت‌های نزدیک به پهنه کانه‌زایی ماده معدنی بصورت رگه-رگچه‌ای، خردشدگی و برشی شدن به وضوح مشاهده می‌شود. این پدیده در ارتباط با سیالات کانه‌دار است. در این قسمت‌ها به علت وجود سیالات دما بالا قطعات سنگ میزبان دچار دگرسانی کلریتی و سریسیتی شده‌اند (شکل ۵-۱۷).



شکل ۵-۱۷: تصویری از ساخت برشی در کانسار زاواک.

۵-۳-۳- ساخت لایه‌ای تا عدسی

این ساخت تحت تاثیر عواملی چون نفوذپذیری، دانه‌بندی و وجود مواد آلی در لایه‌های خاص ایجاد می‌شود. در منطقه مورد مطالعه این ساختار در اندیس‌های مس رسوبی مشاهده می‌گردد و فقط در لایه‌هایی که دارای مواد آلی هستند و همچنین نفوذپذیری بالایی دارند کانه‌زایی رخ داده است. در نتیجه وجود کانه‌زایی در لایه‌های خاص، باعث ایجاد ساخت لایه‌ای تا عدسی شده‌است (شکل ۵-۱۸).



شکل ۵-۱۸: ساخت لایه ای در اندیس‌های مس رسوبی.

۵-۴- بافت

مهم‌ترین بافت‌های موجود در کنسارهای مورد مطالعه شامل بافت دانه پراکنده، جانشینی، پرکننده فضای خالی، رگه-رگچه‌ای، کلوفرمی می‌باشد. که در این میان بافت دانه پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی در نمونه‌دستی مشاهده می‌شود. اما بافت‌های جانشینی، کلوفرمی و پرکننده فضای خالی در مطالعات میکروسکوپی امکان‌پذیر می‌باشد.

۵-۴-۱- بافت دانه پراکنده

بافت دانه پراکنده در بخش‌های نفوذپذیر و همچنین در اطراف قطعات فسیل گیاهی دیده می‌شود. سولفیدهای مس، کانی‌های پیریت، اکسیدهای آهن، مالاکیت دارای این بافت هستند. این بافت در نمونه دستی و مقاطع میکروسکوپی به خوبی قابل مشاهده است (شکل ۵-۵ ب).

۵-۴-۱-۱- سولفیدهای مس با بافت دانه پراکنده

کانه‌زایی سولفیدهای مس (غالباً کالکوسیت) به صورت دانه پراکنده، می‌تواند با تراکم کم یا زیاد تشکیل شود. تراکم سولفیدهای مس پراکنده به فضای خالی موجود در سنگ بستگی دارد. به طوری که هرچه اندازه دانه‌های تشکیل دهنده کانسنگ بزرگتر باشد، تراکم سولفیدهای مس بالاتر است. قابل ذکر است که بافت دانه پراکنده سولفیدهای مس در اندیس‌های مس رسوبی، بافت اولیه همزمان با رسوبگذاری نمی‌باشد. این بافت در کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed، بافتی است که پس از دگرسانی Bleaching و احیای محیط، در اثر برخورد سیال اکسیدان با بخش‌های احیایی و در قسمت‌های نفوذپذیرتر در اثر جانشینی مس به جای پیریت و سیمان کربناته و یا به صورت پرکننده فضای خالی بین دانه‌ها تشکیل می‌شود (Woodward et al., 1974). چنین بافتی در واقع بافت جانشینی است ولی به صورت دانه پراکنده است که در اکثر کانسارهای مس رسوبی دیده می‌شود (Cox et al., 2007).

در کانسار Lisbon Valley بافت غالب، بافت دانه پراکنده است، که در آن سولفیدهای دانه پراکنده جانشین پیریت، سیمان کربناته و مواد هیدروکربنی موجود در بین دانه‌ها شده و در بخش‌های نفوذپذیر، فضای خالی بین دانه‌ها را پر نموده است (Durson, 2005).

۵-۴-۲- بافت جانشینی

اصلی‌ترین بافت در کانسارهای مورد مطالعه بافت جانشینی است. به طوری که در تمام کانی‌های سولفیدی مانند پیریت، کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و نیز کانی غیر سولفیدی مانند مالاکیت به چشم می‌خورد.

۵-۴-۲-۱- جانشینی در کانی‌های احیایی

کالکوسیت می‌تواند جانشین پیریت دانه‌پراکنده شود. در این حالت ساختار اولیه پیریت ممکن است حفظ شده باشد. البته با کامل شدن فرآیند جانشینی این ساختار از بین رفته و کل سطح آن توسط کالکوسیت جانشین می‌گردد (Sawlowicz, 1990). چنین پدیده‌ای در کانسارهای کمربند مس آفریقا نیز متداول است (کی ال تز و همکاران، ۲۰۰۵).

۵-۴-۲-۲- جانشینی در فسیل‌های گیاهی

مواد آلی و فسیل‌های گیاهی به دلیل ایجاد شرایط احیایی، محیط مناسبی را جهت تشکیل و جانشینی کانی‌های سولفیدی در خودشان، ایجاد می‌نمایند (Subias et al., 2003). در اندیس‌های مس رسوبی مورد مطالعه، سولفیدهای مس در مراحل اولیه کانه‌زایی در محل قطعات گیاهی تشکیل و جانشین قطعات فسیل گیاهی شده‌اند. سپس کالکوسیت جانشین شده در فسیل‌های گیاهی توسط کوولیت جانشین می‌گردد. بنابراین تمام یا بخشی از فسیل گیاهی می‌تواند توسط سولفیدها جانشین شود. این جانشینی از اطراف شروع شده و گاهی تمام سطح فسیل گیاهی را دربرمی‌گیرد. طی این جانشینی سیال غنی از مس با عبور از فسیل‌های گیاهی، موجب تشکیل کالکوسیت و پیریت گردیده است.

۵-۴-۳- بافت رگه-رگچه‌ای

بافت رگه‌رگچه‌ای در توالی چینه‌ای و نمونه‌های دستی کانسار زاواک و سردار قابل مشاهده است. به طوری که کانی‌های فلزی در داخل درز و شکاف‌ها قرار گرفته‌اند. این نوع بافت، نوعی بافت پرکننده فضای خالی است

(شکل‌های ۳-۵ و ۱۱-۵ ب).

۵-۴-۴- بافت کلوفرمی

این بافت شامل تجمع کالکوسیت‌های ریز دانه است که به صورت کلوفرمی در کنار یکدیگر قرار گرفته اند و تبلور پیدا کرده اند. این بافت بیانگر مخلوط شدن محلول هیدروترمالی با آب سرد می‌باشد و در کانسار زاواک مشاهده می‌شود (شکل ۱-۵ ب).

۵-۵- بافت و ساخت کانی‌های سوپرژن در اندیس‌های مس رسوبی

آب‌های جوی، ضمن فرورفتن، موجب انحلال کانی‌های سولفیدی اولیه، انتقال آن‌ها و نهایتاً تشکیل کانی‌های سولفید و اکسید ثانویه مس می‌گردند (ایونز، ۱۹۹۷). سیالات جوی حاوی مس به صورت محلول، ضمن حرکت در بین لایه‌های سنگی، موجب تشکیل کانی‌های اکسیدی در بالای سطح آب زیرزمینی و کانی‌های سولفیدی در زیر سطح آب زیرزمینی (در شرایط احیا) می‌گردند. تشکیل کانی‌های اکسیدی و سولفیدی ثانویه مس در طی مرحله سوپرژن در کانسارهای مس با میزبان رسوبی متداول است (Hitzman et al., 2005).

۵-۵-۱- سوپرژن سولفیدی

طی این مرحله کانی ثانویه سولفید مس نظیر کوولیت تشکیل می‌گردد. کوولیت غالباً پس از تشکیل کالکوسیت و در شرایط سوپرژن سولفیدی تشکیل می‌شود. این کانی در بخش کانه‌دار و از تبدیل

کالکوسیت تشکیل می‌گردد. کولیت به صورت لکه‌ای و نامنظم در درون و اطراف کالکوسیت تشکیل می‌گردد.

۵-۵-۲- سوپرژن اکسیدی

طی این فرآیند کانی‌های کربناته مس نظیر مالاکیت به همراه اکسید منگنز تشکیل می‌گردد. این کانی به فراوانی در مناطق سطحی کانسارهای مورد مطالعه مشاهده می‌گردد. مالاکیت فراوانترین کانی غیرسولفیدی مس دار در این کانسارها می‌باشد. به نحوی که در رخنمون‌های سطحی تمام قسمت‌های کانه‌دار دارای یک هاله سبز در اطراف خود هستند. این کانی‌ها جانشین سولفیدهای مس شده‌است. این جانشینی یا بطور کامل انجام می‌گیرد و باعث می‌شود تمام کالکوسیت به مالاکیت تبدیل شود و یا به صورت نوار باریک سبز رنگ در اطراف کانی‌های سولفیدی جانشین می‌گردد. همچنین مالاکیت می‌تواند بافت دانه پراکنده داشته باشد، که بر اثر تبدیل کالکوسیت دانه پراکنده به مالاکیت ایجاد می‌شود.

همچنین در بخش سوپرژن اکسیدی، اکسیدهای منگنز با بافت دندریتی در اطراف درزه‌هایی که توسط این اکسیدها پر شده‌اند قابل مشاهده است.

۵-۶- توالی پاراژنتیک

توالی پاراژنتیک معرف ترتیب یا تقدم و تاخر نهشته شدن فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است (بانز و جکسون، ۱۹۸۰). پاراژنز کانی‌ها یکی از پارامترهای مهمی است که معمولاً به منظور آگاهی چگونگی تشکیل کانسار و مراحل مختلف آن تکوین می‌شود. بر طبق مطالعات بافتی و کانی‌شناسی صورت گرفته در سه منطقه مورد مطالعه شامل کانه‌زایی مس رسوبی و کانسارهای مس زاواک و مس سردار می‌توان توالی‌های پاراژنتی (جداول ۵-۱، ۵-۲، ۵-۳) زیر را برای این کانه‌زایی‌ها ارائه نمود.

جدول ۵-۱: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در اندیس‌های مس رسوبی.

Mineral	Stage	Pre-mineralization		Mineralization		Uplift	Post-mineralization	
		Syndepositional	Diagenesis		Supergene			
			Early diagenesis	Late diagenesis	Sulfide		Oxide	
process	Redding		————					
	Calcite cementation		————					
	Organic destruction			————				
	Porosity generation			————				
	Bleaching			————				
	Compaction			-----				
Mineral	Magnetite		—		————	—		
	Native copper		————		————	—		
	Bornite				—			
	Chalcocite	—	—		————	—		
	cuprite							————
	Covellite						————	
	Malachite							————
	Iron oxide hydroxide							————
Texture	Replacement			-----				
	Vein-veinlet			————				

جدول ۵-۲: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار مس زاواک.

Mineral	Volcanic-exhalative		Diagenesis	Uplift	Weathering and Supergene
	Stratabound	Subseafloor replacement			
	Stringer	Banded ore			
Minerals	Bornite		—————		
	Pyrite		—————		
	Chalcocite		—————	—	—————
	Magnetite	-----			
	Chalcopyrite	—————			
	Covellite				—————
	Malachite				—————
	Dijenite				—————
Alteration	Zeolite		—————	—————	
	Quartz	—			
	Calcite	—			
	Chlorite	—————			
Texture	Colloform	—————			
	Disseminated	—————			
	Banded		—————		
	Vein-veinlet	—————			—————
	Brecciated	—————			

جدول ۳-۵: مراحل تشکیل و توالی پاراژنتیک کانی‌ها به همراه ساخت و بافت آنها در کانسار منگنز و مس سردار.

Mineral	Volcanic-exhalative		Diagenesis	Weathering and Supergene
	Strataband	Stratiform		
Mineral	Chalcopyrite	—————		
	Chalcocite		—————	
	Bornite	—————		
	Pyrolusite		—————	—————
	Psylomelan		—————	
	Goehite		———	
	Covelite			—————
	Malachite			—————
Alteration	Zeolite		———	
	Seresitic	—————		
	Cholorite	—————		
Texture	Replacement	—————		
	Disseminated	———		
	Vein-veinlet	—————		———
	Brecciated	—————		

فصل ششم:

مطالعات ژئوشیمیایی

۶-۱- مقدمه

مطالعات ژئوشیمیایی از جمله مهم‌ترین بخش‌های مورد مطالعه یک کانسار است. سنگ به عنوان یک سیستم ژئوشیمیایی، تحت تأثیر عوامل مختلفی است که تعادل آن را برهم زده و باعث ایجاد شرایط جدیدی می‌شوند. چگونگی توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در محیط‌های سنگی هر منطقه و تشخیص ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که همواره در مطالعات ژئوشیمیایی مد نظر قرار می‌گیرد و با استفاده از این داده‌ها، می‌توان به ویژگی‌های محیط تشکیل و فرآیندهای موثر در تشکیل یک ذخیره معدنی پی برد (Piercey., 2011). بررسی فراوانی و توزیع عناصر اصلی، فرعی و کمیاب موجود در ذخایر سولفیدی، به منظور درک بهتر رفتار سولفیدها و ارتباط آن‌ها با یکدیگر، در ارائه الگوها و روش‌های مناسب، جهت اکتشاف ذخایر مشابه، سودمند می‌باشد (Piercey, 2010, 2011). اهداف ژئوشیمیایی در این فصل بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آذرین و رسوبی توالی میزبان کانه‌زایی، تعیین محیط تکتونیکی و ماهیت ماگمایی سنگ‌های آذرین و طبقه‌بندی آنها، مطالعه ویژگی‌های ژئوشیمیایی و توزیع عناصر در مواد معدنی می‌باشد.

۶-۲- نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها

به این منظور، پس از بررسی‌های صحرایی و انجام مطالعات میکروسکوپی بر روی واحدهای سنگی و به توالی سنگ‌های میزبان و پهنه کانه‌زایی، جهت بررسی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی و عناصر معدنی، ۴۲ نمونه به منظور انجام تجزیه به روش ICP-MS، ۵ نمونه به روش XRD و ۱۳ نمونه به روش XRF در آزمایشگاه‌های شرکت مطالعات مواد معدنی زر آزما تهران و حمایت سازمان توسعه و نوسازی معادن و صنایع معدنی ایران (IMIDRO) در آزمایشگاه‌های مرکز تحقیقات و فرآوری مواد معدنی ایران مورد تجزیه قرار گرفتند (جدول ۶-۱).

جدول ۶-۱ - مشخصات نمونه‌های آنالیز شده ICP-MS و XRF در کانسارهای مورد مطالعه.

شماره نمونه	محل برداشت	نوع نمونه	نام آزمایشگاه	نوع آنالیز
K1	پهنه استرینگر کانه دار زاواک	رگه-رگچه های سیلیسی - کربناتی همراه با کانی های سولفیدی	ایمیدرو	ICP-MS
K1-2	پهنه استرینگر کانه دار زاواک	رگه-رگچه های سیلیسی - کربناتی همراه با کانی های سولفیدی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
K4	لایه آگلومرای برشی زاواک	رگه-رگچه های سولفیدی	ایمیدرو	ICP-MS
K5	محل تناوب آهک و آگلومرا زاواک	آگلومرای آندزیتی-بازالنی و آهک توفی نومولیت دار	ایمیدرو	ICP-MS
K10-2	کانسنگ نواری	توف ماسه ای همراه با نوارهای غنی از کالکوسیت و اولیژیست	ایمیدرو	ICP-MS
K7	محل تناوب آهک و آگلومرا زاواک	آگلومرای آندزیتی-بازالنی و آهک توفی نومولیت دار	ایمیدرو	ICP-MS
K7-1	لایه آهک نومولیتی زاواک	آهک توفی نومولیت دار	ایمیدرو	ICP-MS
K9	لایه آگلومرای برشی زاواک	آگلومرای آندزیتی-بازالنی	ایمیدرو	ICP-MS
K10	کانسنگ نواری	توف ماسه ای همراه با نوارهای غنی از کالکوسیت و اولیژیست	ایمیدرو	ICP-MS
K16	ماسه سنگ خاکستری	ماسه سنگ	ایمیدرو	ICP-MS
F31	پهنه زنولیتی زاواک	آنالسیم	ایمیدرو	ICP-MS
F39	لایه آهک کانه دار زاواک	کربنات به همراه کانه زایی پیریت	ایمیدرو	ICP-MS
Scu	کانسنگ نواری	توف ماسه ای همراه با نوارهای غنی از کالکوسیت و اولیژیست	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
Acu	لایه آگلومرای برشی زاواک	آگلومرای آندزیتی-بازالنی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
MnZ	پهنه کانه زایی سوپرژن زاواک	منگنز سوپرژن	ایمیدرو	ICP-MS

شماره نمونه	محل برداشت	نوع نمونه	نام آزمایشگاه	نوع آنالیز
CU Rb 1-1	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CU Rb1-2	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CU Rb1-3	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CU Rb2-1	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CU Rb2-2	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CU Rb2-3	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
YS	لایه آهک ماسه ای زرد یال شمالی	آهک ماسه ای زرد	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
GS	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	ماسه سنگ خاکستری	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
RS	لایه ماسه سنگ قرمز یال شمالی	ماسه سنگ قرمز	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
P.F	لایه ماسه سنگ خاکستری یال شمالی	کانه زایی مس در فسیل گیاهی	ایمیدرو	ICP-MS

شماره نمونه	محل برداشت	نوع نمونه	نام آزمایشگاه	نوع آنالیز
CuP	مرز بین آهک و واحد گدازه ای در معدن منگنز سردار	آهک نومولیتی همراه با رگه های کالکوسیت	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
CuK	تاقدیس کلاته سادات	ماسه سنگ خاکستری	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
Cpy	پهنه استرینگر کانه دار کانسار سردار	رگه-رگچه های سولفیدی در توف ماسه ای	زرآزما تهران	ICP-MS, GOLDEN PACK
K14	گدازه آندزیتی-بازالتی کانسار سردار	رگه-رگچه های سولفیدی در آگلومرای آندزیتی-بازالتی	ایمیدرو	ICP-MS

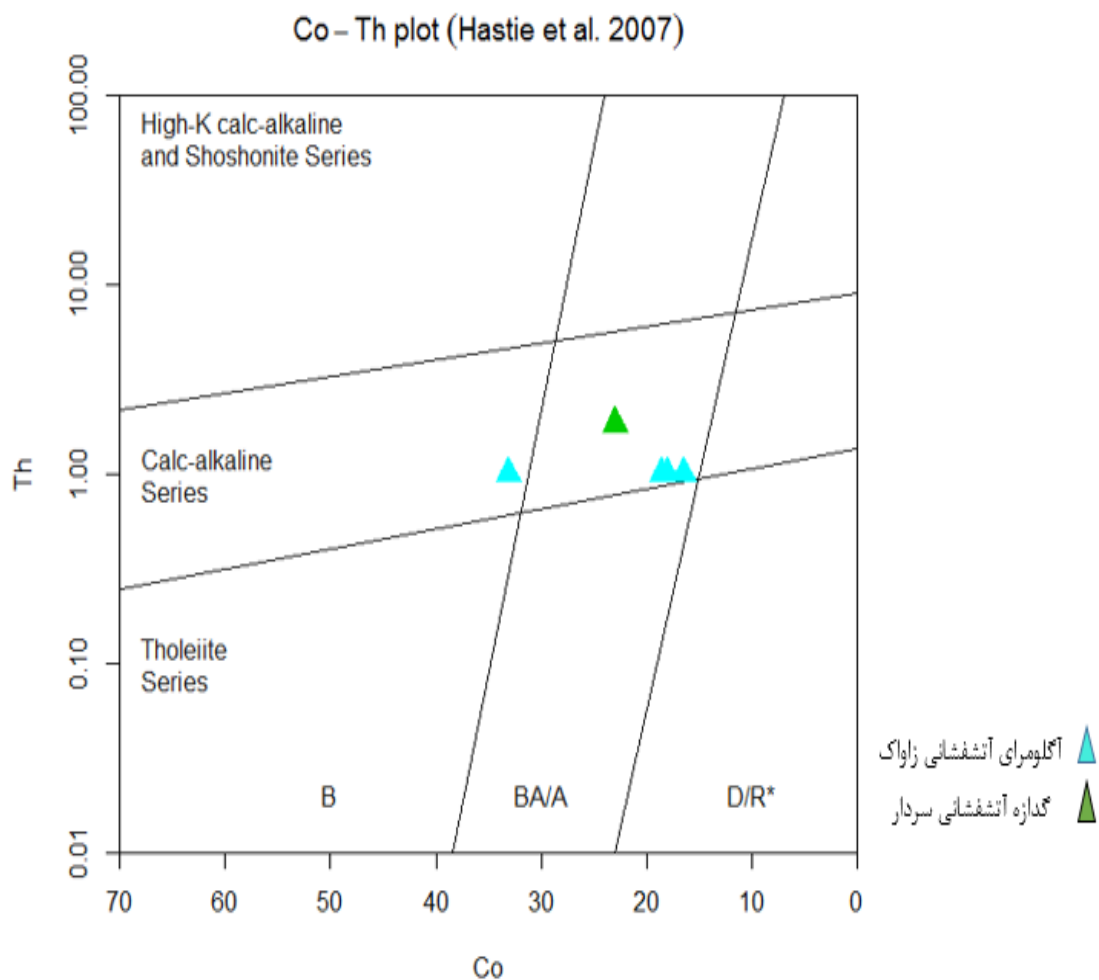
نوع آنالیز	نام آزمایشگاه	نوع نمونه	محل برداشت	شماره نمونه
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK1
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK2
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK3
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK4
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK5
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK6
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK7
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK8
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK9
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK10
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK11
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK12
ICP-MS, XRF	ایمیدرو	ماسه سنگ قرمز	توالی تخریبی در یال جنوبی	SK13

۳-۶- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

سنگ‌های آذرین در منطقه تاق‌دیس کاهک به صورت گدازه‌های آتشفشانی به همراه سنگ‌های رسوبی رخنمون دارد. با توجه به اینکه میزبان کانه‌زایی در منطقه سنگ‌های آتشفشانی مافیک تا حدواسط و رسوبی می‌باشد، لذا مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگ‌های منطقه در اختیار قرار خواهد داد.

۳-۶-۱- تعیین سری ماگمایی و طبقه‌بندی سنگ‌های آتشفشانی

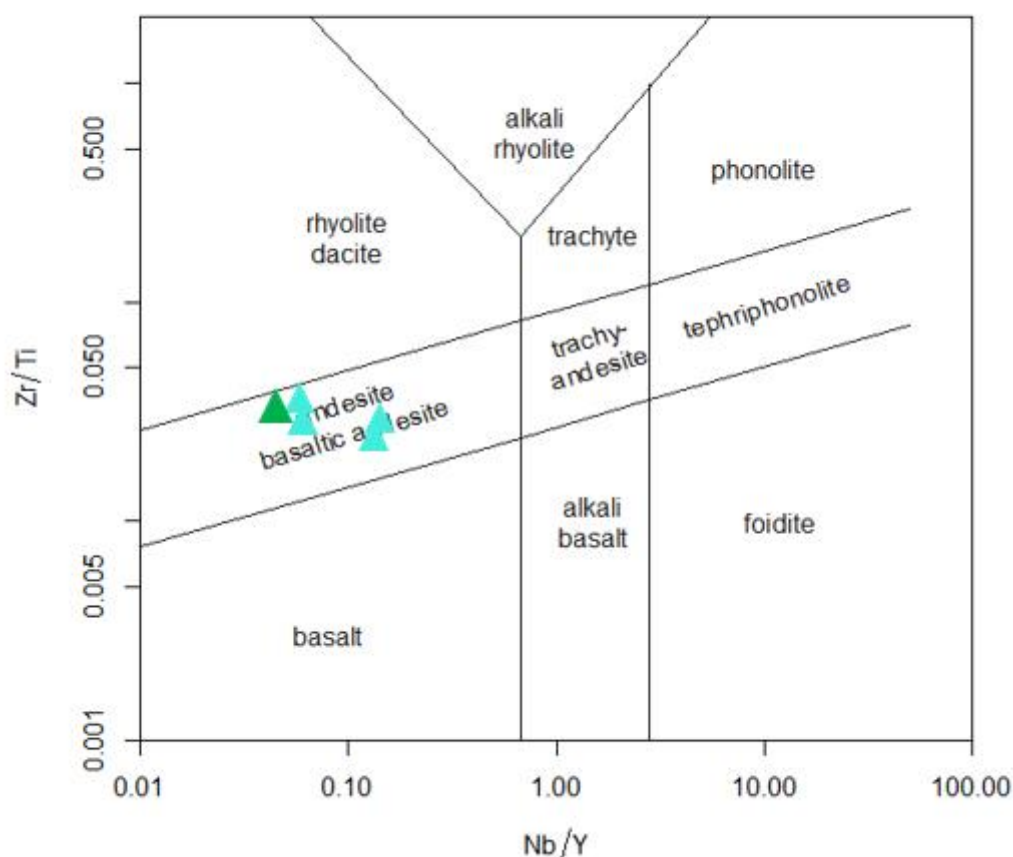
از عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین و تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها استفاده گردیده‌است. بنابراین در این تحقیق برای طبقه‌بندی سری ماگمایی سنگ‌های آذرین از نمودار (Hastie et al. 2007) استفاده شده است. بر اساس این نمودار نسبت Th به Co برای تقسیم‌بندی سنگ‌ها به سه سری تولییتی، سری کالک‌آلکان و شوشونیتی بکار می‌رود. تمامی نمونه‌های آتشفشانی توالی آتشفشانی-رسوبی این منطقه مورد مطالعه در محدوده کالک‌آلکان واقع شده‌اند (شکل ۳-۶-۱).



شکل ۶-۱: موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه در نمودار (Hastie et al. 2007).

برای طبقه بندی سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری منطقه بر اساس نمودار Zr/Ti در برابر Nb/Y (modified by Pearce 1996)، بیشتر نمونه‌ها در محدوده آندزیتی-بازالتی قرار می‌گیرد (شکل ۶-۲).

Nb/Y – Zr/Ti plot (modified by Pearce 1996)



شکل ۶-۲: موقعیت سنگ‌های آتشفشانی منطقه در نمودار Pearce, 1996

برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین و همچنین تعیین محیط تکتونیکی سنگ-های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، از عناصر اصلی و کمیاب استفاده شده و ترکیب شیمیایی این منطقه دارای طیفی از سنگ‌های آندزیتی و آندزیتی بازالتی تا بازالت آلکالن می‌باشد که دارای ترکیب حدواسط تا بازیک با ویژگی کالک آلکالن هستند.

۶-۳-۲- تعیین محیط تکتونیکی

همانگونه که در پیش‌تر عنوان شد، جنس سنگ‌ها در محدوده آندزیتی-بازالتی قرار می‌گیرد. محیط تکتونیکی پیشنهاد شده توسط (Ghasemi & Rezaei, 2014) برای سنگ‌های آتشفشانی منطقه داورزن-عباس‌آباد کمان آتشفشانی می‌باشد.

۶-۴- ژئوشیمی عناصر نادر خاکی

عناصر نادر خاکی (REE) یا لانتانیدها، عناصری با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می‌باشند. این عناصر، مفیدترین عناصر جزئی‌اند و مطالعه آن‌ها، کاربردهای مهمی در سنگ‌شناسی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد. اعضای با عدد اتمی بالا، خاک‌های کمیاب سنگین (HREE) و اعضای با عدد اتمی پایین از این سری عناصر را خاک‌های کمیاب سبک (LREE) نامیده می‌شوند. گاهی اعضای میان این گروه، یعنی Sm تا Ho، خاک‌های کمیاب میانی (MREE) نامیده می‌شوند. در بیشتر مواقع، عناصر جزئی، جایگزین عناصر اصلی کانی‌های سنگ‌ساز می‌شوند و تنها گاهی، عناصر جزئی، کانی‌های خود را می‌سازند. در هر مجموعه‌ای از سنگ که دچار دگرسانی گرمابی یا دگرگونی شده باشد احتمال تحرک عناصر وجود دارد. تحرک عناصر جزئی توسط تغییرات کانی‌شناختی زمان دگرسانی و ماهیت فاز سیال کنترل می‌شود. به عنوان یک اصل کلی، عناصر ناسازگار وابسته به گروه LILE (Cs, Sr, K, Rb, Ba, Pb, Eu) متحرک‌اند در حالی که عناصر HFSE نامتحرک‌اند. گروه HFSE شامل Th, Zr, Hf, U, Ce, Pb, Ti, Nb, Ta می‌شود (پیرس، ۱۹۸۳). افزون بر این، فلزهای واسطه Mn, Zn و Cu به‌ویژه در دماهای بالا متحرک‌اند (Sivald and Seifrid, 1990)، در حالی که V, Ni, Co و Cr نامتحرک‌اند. این اصل‌های کلی به طور طبیعی معتبرند، گرچه استثناهای زیادی برای آن‌ها گزارش شده است. جهت بررسی فرآیندهای پترولوژیکی، از نمودارهای عنکبوتی به‌هنجارشده استفاده می‌شود. در این نمودارها از بهنجارسازی فراوانی عناصر کمیاب نسبت به فراوانی این عناصر در یک سری نمونه

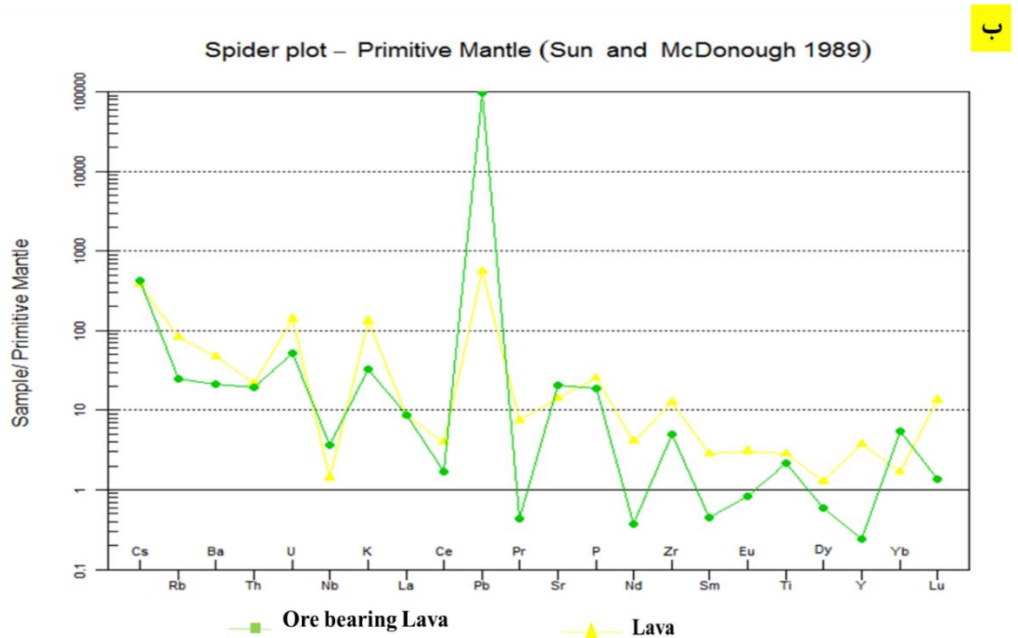
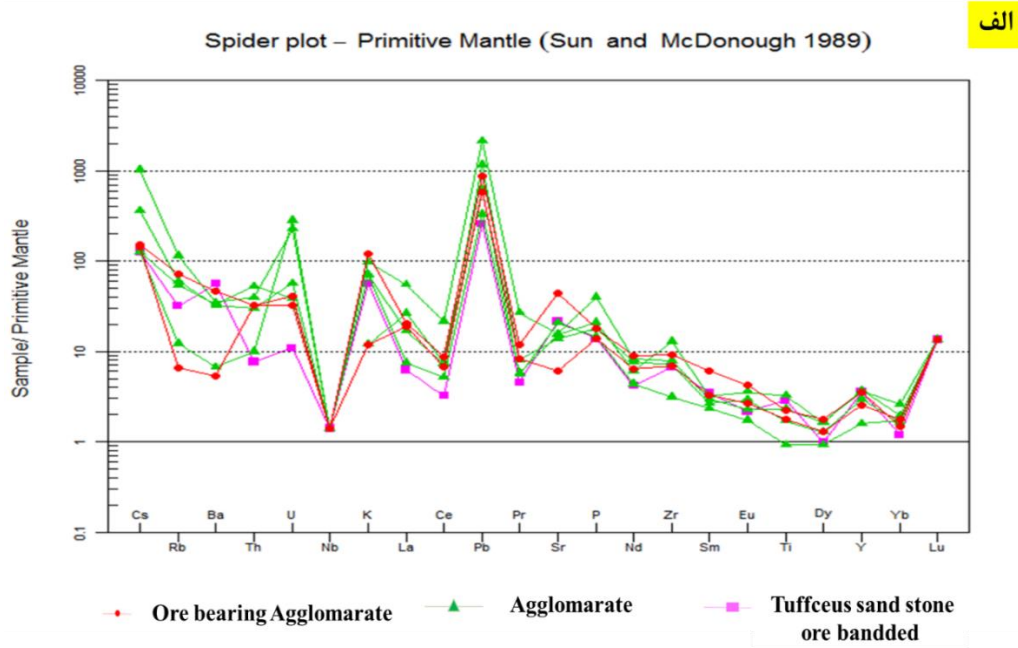
استاندارد خاص استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). برای مطالعه تغییرات عناصر نادر خاکی، نمونه‌هایی از سنگ‌های همراه با کانه‌زایی برداشت شد که پس از آزمایش مورد تجزیه و تحلیل ژئوشیمیایی قرار گرفت. غلظت‌های عناصر نادر خاکی معمولاً به یک مرجع استاندارد مشترک بهنجار می‌شوند. این استاندارد معمولاً شهاب سنگ‌های کندریتی است (Rollinson, 1984). در این پژوهش داده‌ها برحسب ترکیب و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) بهنجار شده‌اند.

۶-۴-۱- الگوی نمودار چند عنصری و REE در سنگ‌های توالی میزبان کانه‌زایی

نمودارهای چند عنصری نسبت به نمودارهای REE دارای مخلوط ناهمگنی از انواع عناصر کمیاب هستند لذا تعداد پستی و بلندی‌های بیشتری در آن‌ها مشاهده می‌شود که نشانگر رفتار متفاوت گروه‌های مختلف عناصر کمیاب است. برای مثال عناصر متحرک LILE (Cs, Eu, Sr, Ba, K, Rb) و عناصر کم تحرک (Ta, Y, Hf, Zr, Ti, Nb) رفتارهای متفاوتی دارند. غلظت عناصر LILE تابعی از نحوه رفتار فاز سیال است در صورتی که غلظت عناصر HFSE به وسیله شیمی سنگ منشا و فرآیندهای بلور مذاب که در حین تشکیل سنگ صورت می‌گیرد، کنترل می‌شود (Rollinson, 1993). از آنجا که فرآیند دگرسانی بر روی عناصر کم تحرک مانند Ti, P, Zr, Y, Nb تأثیر کمتری دارد (Winchester and Floyd, 1977)، این عناصر داده‌های قابل اعتمادتری را برای نامگذاری سنگ‌ها ارائه می‌دهند.

در نمونه‌های مورد مطالعه الگوی عناصر نادر خاکی و کمیاب بهنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun & McDonough, 1989)، تمرکز نسبتاً بالایی از عناصر لیتوفیل بزرگ یون (LILE) مانند Pb و Cs تمرکز پایینی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مخصوصاً Nb و Ti را نشان می‌دهد (شکل ۶-۳). که ماهیت آکالن مرتبط با کمان (حاشیه قاره‌ای فعال) را تداعی می‌کند (Pearce, 1983; Zanetti et al., 1999). آنومالی منفی Nb و Ti به عوامل مختلفی نسبت داده می‌شود، این عوامل عبارتند از: ۱- ماگماتیسم مرتبط با فرورانش است (Zhang et al, 2006; Kuscu and Geneli, 2008; Asran et al.,

Wilson, 2007; 2012)، ۲-وجه مشخصه سنگ‌های پوسته قاره‌ای و دخالت پوسته در فرآیندهای ماگمایی (Reichoe et al., 2005)، و یا فقر منبع، پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آن‌ها طی فرآیند تفریق باشد (Wu et al, 2003).



شکل ۶-۳: نمودار فراوانی عناصر نادر خاکی بهنجار شده به گوشته اولیه (Sun & Mc Donough 1989)

الف) کانسار زاواک، ب) کانسار سردار.

۵-۶ - میزان پراکندگی و ضریب همبستگی عناصر

برای پاسخ دادن به این سوال که بین عناصر چه نوع وابستگی‌هایی وجود دارد، از روش آماری همبستگی استفاده می‌شود. طبق تعریف، همبستگی عبارت است از سنجشی از شدت وابستگی بین دو متغیر اندازه‌گیری شده در یک مجموعه از داده‌های منفرد (Rollinson, 1993). این پارامتر با استفاده از ضریب همبستگی خطی حاصل‌ضرب مومن‌ت پیرسون محاسبه شده و به عنوان ضریب همبستگی معروف است. در جدول همبستگی، ارتباط میان هر عنصر با سایر عناصر، به صورت عددی بین ۱- تا ۱+ نشان داده می‌شود. علامت مثبت بیانگر ارتباط مستقیم بین دو عنصر و علامت منفی بیانگر ارتباط معکوس بین دو عنصر می‌باشد. به هر میزان قدر مطلق ضریب به دست آمده بین دو عنصر به عدد یک نزدیک‌تر باشد، بیانگر ارتباط قوی‌تر (مستقیم یا معکوس) بین آن دو عنصر می‌باشد. جدول ۶-۲ ضریب همبستگی عناصر برای نمونه‌های کانسنگ منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد که با استفاده از نرم‌افزار SPSS تهیه شده است.

جدول ۲-۶- ضرایب همبستگی پیرسون (Pearson) برای عناصر کمیاب در معدن مس زاواک و سردار.

		Ag	Al	As	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Pb	Sr	Zn
Ag	Pearson Correlation	1													
Al	Pearson Correlation	-0.098	1												
As	Pearson Correlation	-0.601	0.405	1											
Ca	Pearson Correlation	-0.328	-0.834	0.065	1										
Cd	Pearson Correlation	.921*	-0.075	-0.724	-0.459	1									
Co	Pearson Correlation	-0.338	0.701	0.011	-0.696	-0.067	1								
Cu	Pearson Correlation	.947*	-0.164	-0.493	-0.294	.922*	-0.368	1							
Fe	Pearson Correlation	0.680	0.278	-0.597	-0.782	.883*	0.398	0.695	1						
Mg	Pearson Correlation	-0.336	0.612	-0.128	-0.588	-0.101	.958*	-0.446	0.319	1					
Mn	Pearson Correlation	-0.049	-0.628	-0.666	0.524	-0.014	-0.136	-0.206	-0.163	0.111	1				
Mo	Pearson Correlation	0.610	-0.127	0.001	-0.173	0.601	-0.405	0.819	0.435	-0.611	-0.575	1			
Pb	Pearson Correlation	.940*	-0.100	-0.339	-0.191	0.749	-0.547	.899*	0.439	-0.562	-0.200	0.673	1		
Sr	Pearson Correlation	-0.462	0.437	.975**	0.038	-0.659	-0.087	-0.402	-0.589	-0.201	-0.677	0.023	-0.169	1	
Zn	Pearson Correlation	0.429	0.627	-0.389	-.938*	0.629	0.702	0.379	.900*	0.641	-0.244	0.128	0.195	-0.381	1

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

Correlations

		Ag	Al	As	Ba	Ca	Cd	Co	Cu	Fe	Mg	Mn	Mo	Pb	Sr	Zn
Ag	Pearson Correlation	1														
Al	Pearson Correlation	-0.061	1													
As	Pearson Correlation	0.573	-0.853	1												
Ba	Pearson Correlation	0.966	-0.317	0.766	1											
Ca	Pearson Correlation	0.759	-0.696	0.968	0.902	1										
Cd	Pearson Correlation	-0.987	-0.103	-0.431	-0.911	-0.643	1									
Co	Pearson Correlation	-0.798	0.650	-0.951	-0.927	-.998*	0.689	1								
Cu	Pearson Correlation	0.668	-0.906	0.551	-0.114	0.326	0.515	-0.268	1							
Fe	Pearson Correlation	-0.964	-0.207	-0.334	-0.862	-0.559	0.994	0.609	0.602	1						
Mg	Pearson Correlation	0.707	0.662	-0.174	0.500	0.077	-0.813	-0.138	-0.917	-0.870	1					
Mn	Pearson Correlation	0.673	-0.779	0.992	0.842	0.992	-0.543	-0.983	0.440	-0.452	-0.047	1				
Mo	Pearson Correlation	0.632	-0.812	.997*	0.811	0.984	-0.497	-0.971	0.489	-0.403	-0.101	.999*	1			
Pb	Pearson Correlation	-0.984	-0.116	-0.419	-0.905	-0.632	1.000**	0.679	0.526	0.996	-0.821	-0.532	-0.485	1		
Sr	Pearson Correlation	-0.986	0.225	-0.701	-0.995	-0.856	0.946	0.886	0.209	0.907	-0.581	-0.786	-0.751	0.942	1	
Zn	Pearson Correlation	-.997*	0.132	-0.630	-0.982	-0.804	0.972	0.839	0.300	0.942	-0.655	-0.724	-0.686	0.969	0.996	1

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

۶-۶- ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و بررسی تغییرات عناصر در منطقه مورد

مطالعه

تغییرات ژئوشیمی عناصر اصلی و کمیاب در مقاطع زمین‌شناسی بررسی می‌شود. به منظور دستیابی به خصوصیات ژئوشیمیایی کانسارها، تغییرات عناصر و همبستگی عناصر در واحدهای کانه‌دار نمونه-برداری به صورت منظم و عمود بر روند کانه‌زایی صورت گرفته‌است و برای مقایسه ویژگی ژئوشیمیایی، تعداد ۴ عنصر انتخاب شده. نتایج حاصل به صورت نمودار منطبق بر توالی ستون چینه در شکل (۶-۴) و ۴-۵ نشان داده شده‌است.

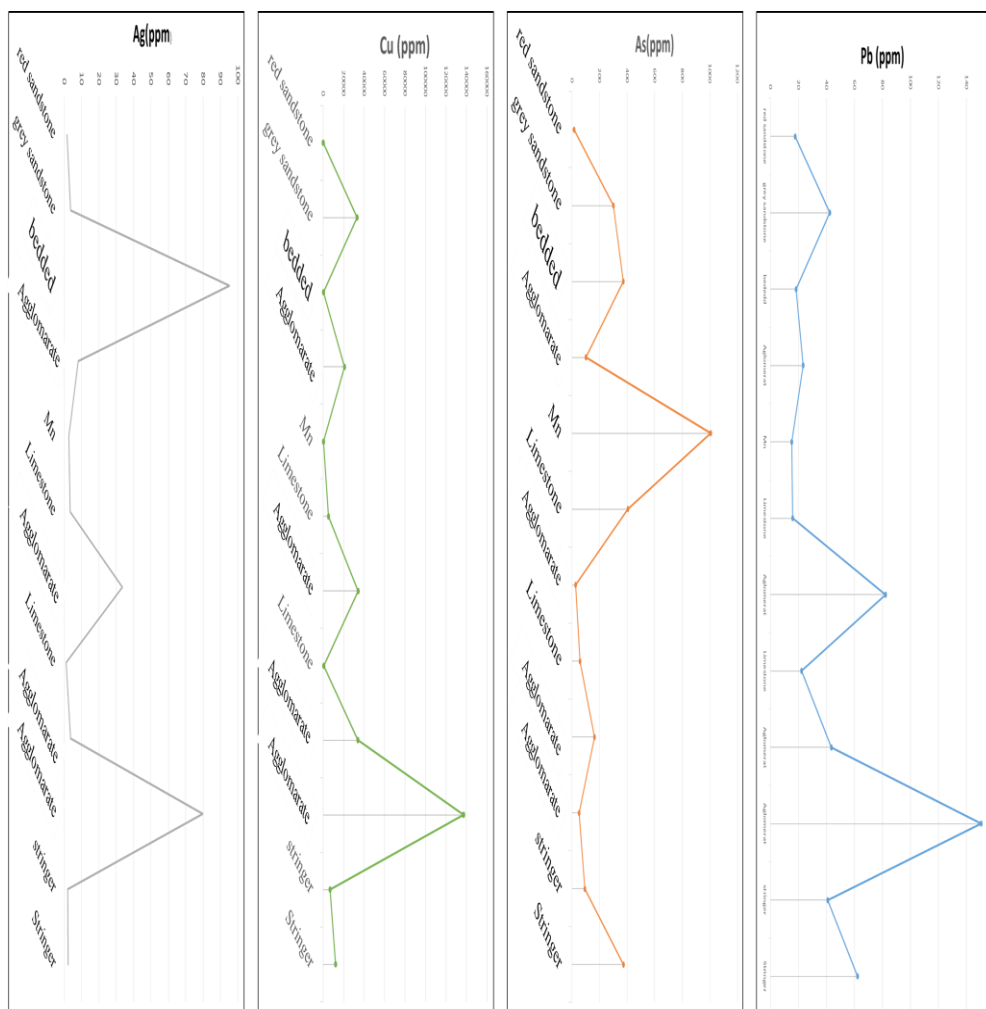
در کانسار زاواک:

مس (Cu): مس در تمام مقاطع لیتوژئوشیمیایی به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود دارد و بیشترین مقدار مس در آگلومرای برشی که حاوی کانه‌زایی کالکوسیت و مالاکیت می‌باشد.

نقره (Ag): میزان نقره نیز در کانسنگ نواری و واحد آگلومرای بسیار قابل توجه است.

آرسنیک (As): میزان آرسنیک نیز در واحد منگنز سوپرژن قابل توجه است دلیل آن می‌تواند تحرک بالای آرسنیک باشد.

سرب (Pb): سرب در تمام مقاطع لیتوژئوشیمیایی به مقدار قابل ملاحظه‌ای وجود دارد و بیشترین مقدار آن در آگلومرای برشی می‌باشد.



شکل ۴-۶: نمودار تغییرات میزان عناصر در مقطع کانسار زاواک بر اساس داده‌های ICP-MS .

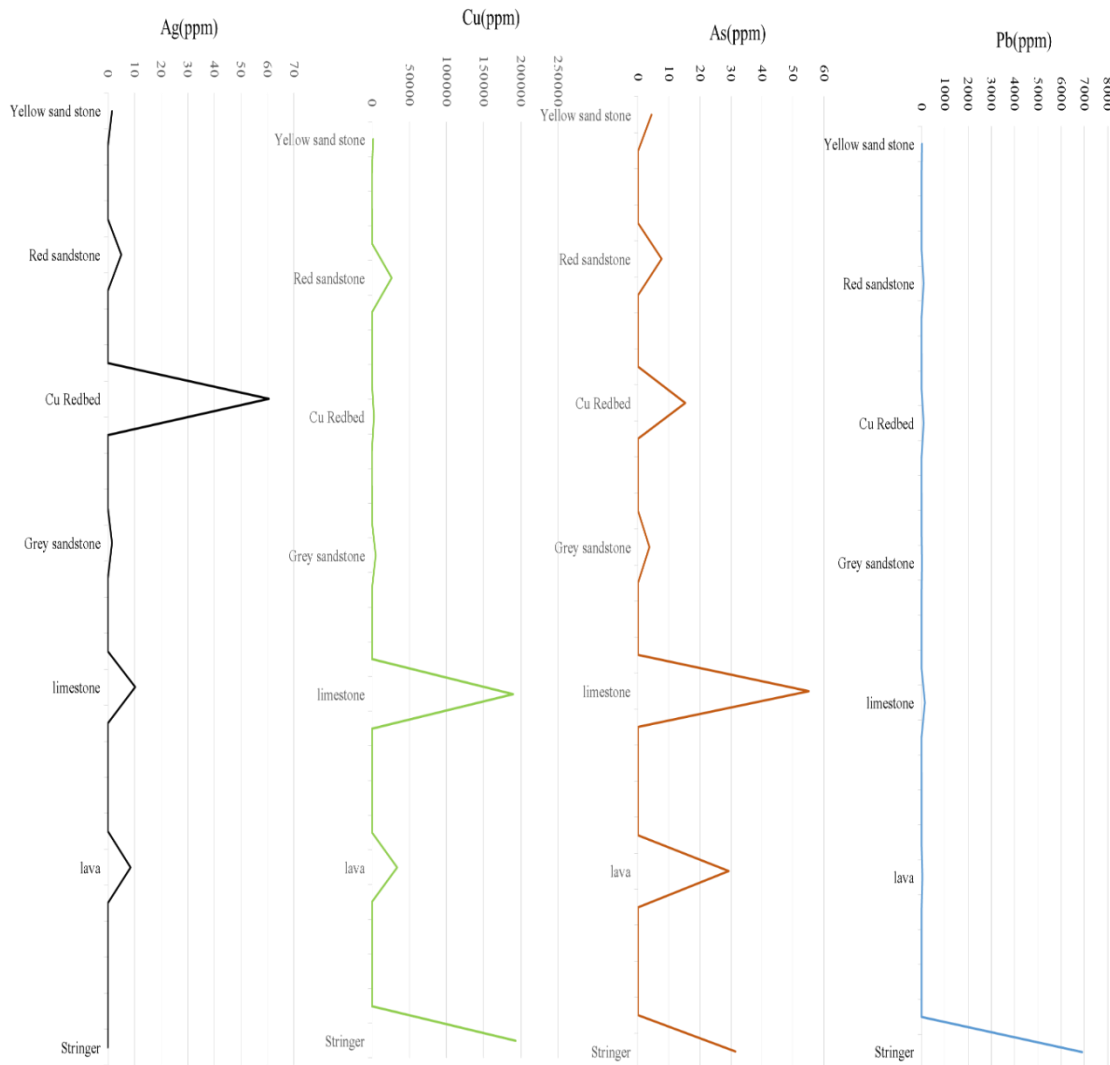
در کانسار سردار:

مس (Cu): بیشترین مقدار مس در بخش استرینگر و لایه آهکی می‌باشد.

نقره (Ag): میزان نقره نیز در فسیل‌های گیاهی موجود در لایه ماسه سنگ خاکستری بسیار قابل توجه است.

آرسنیک (As): میزان آرسنیک نیز در واحد آهکی و استرینگر قابل توجه است و دلیل آن می‌تواند تحرک بالای آرسنیک باشد.

سرب (Pb): سرب در تمام مقاطع لیتوژئوشیمیایی به مقدار خیلی کمی وجود دارد و بیشترین مقدار آن در پهنه استرینگر می باشد.



شکل ۶-۵: نمودار تغییرات میزان عناصر در مقطع کانسار سردار بر اساس داده های ICP-MS

۶-۷- طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی

طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی به گستردگی سنگ‌های آذرین نبوده و در اکثر سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی ویژگی‌هایی را که در نمونه‌های دستی یا مقاطع نازک قابل رویت‌اند، مانند اندازه دانه‌ها و کانی‌شناسی اجزا و ماتریکس، به کار می‌برند.

برخلاف سنگ‌های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی‌شناسی ماسه سنگ و ترکیب شیمیایی آن‌ها مشکل است. به این علت طبقه‌بندی ژئوشیمیایی ماسه سنگ از طبقه‌بندی کانی‌شناسی قراردادی ماسه سنگ بر اساس کوارتز، فلدسپات و خرده سنگ پیروی نمی‌کند، اما رسوبات بالغ و نابالغ را از هم تفکیک می‌نماید.

ماسه سنگ‌هایی با جایگاه زمین ساختی متفاوت در منطقه منشا، دارای درصد اجزای آواری و همچنین ژئوشیمی خاص خود می‌باشند. همچنین جایگاه زمین ساختی محیط‌های ته‌نشینی بر روی فرآیندهای رسوبی، دیانز و در نتیجه ترکیب نهایی سنگ‌های رسوبی تاثیر می‌گذارد و بر همین اساس، مطالعات ژئوشیمیایی رسوبات و سنگ‌های سیلیسی آواری، می‌توان نام‌گذاری، جایگاه زمین ساختی، سنگ منشا ماسه سنگ‌ها و هوازگی شیمیایی در منطقه منشا را تعیین کند. در زیر سنگ‌های میزبان و کانسنگ‌های منطقه مورد مطالعه از منظرهای گوناگون مورد بررسی‌های ژئوشیمیایی قرار گرفته‌اند.

۶-۷-۱- بررسی ترکیب لیتولوژی سنگ مادر ماسه سنگ‌های مورد مطالعه

یکی از فاکتورهای مورد استفاده در تشخیص انواع لیتولوژی سنگ مادر نهشته‌های سیلیسی آواری، استفاده از ترکیب شیمیایی بالک رسوبات می‌باشد (Roser and Korsch, 1988; McLennan et al., 2003). یکی از مهمترین دیاگرام‌های تفکیک کننده لیتولوژی سنگ مادر با توجه به عناصر اصلی، دیاگرام روسر و کورش (Roser and Korsch, 1988)، است که یک نمودار تابعی جهت تمایز بین

رسوباتی است که سنگ مادر اولیه آنها سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط یا فلسیک و یا رسوبات غنی از سیلیس می‌باشند. در این نمودار دو تابع تشخیص ۱ و ۲ به ترتیب در محورهای x و y قرار می‌گیرند. روش محاسبه این توابع در زیر آورده شده است.

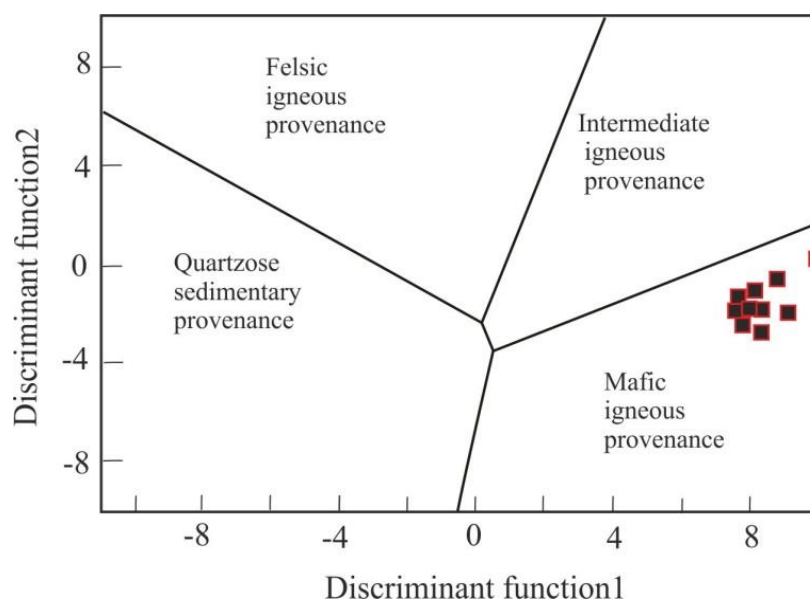
تابع تفکیکی ۱:

$$-1.733\text{TiO}_2 + 0.607\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.76\text{Fe}_2\text{O}_3 (t) - 1.5\text{MgO} + 0.616\text{CaO} + 0.509\text{Na}_2\text{O} - 1.224\text{K}_2\text{O} - 9.09$$

تابع تفکیکی ۲:

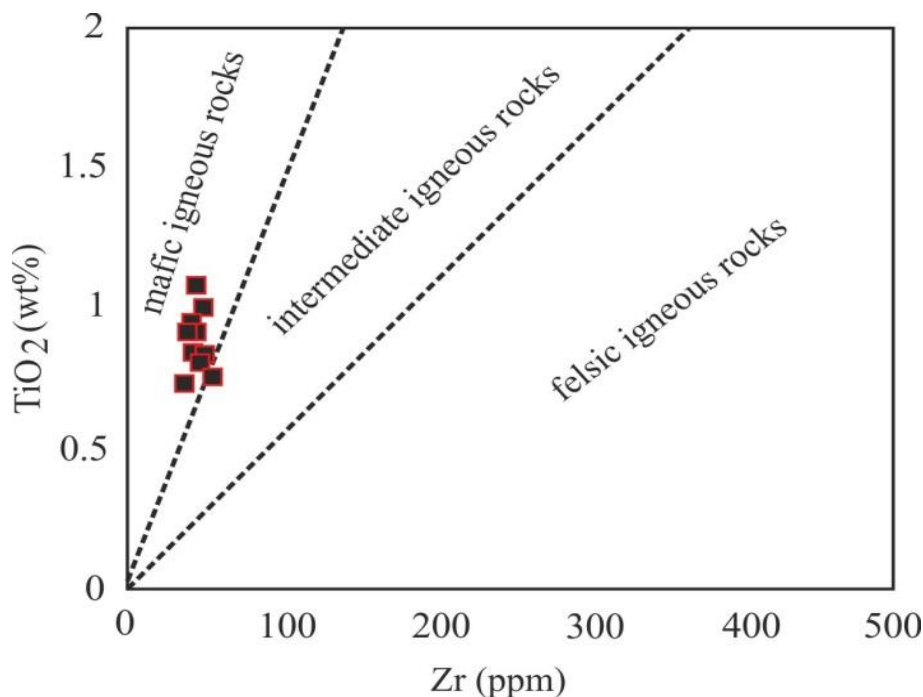
$$1.426 - 0.445\text{TiO}_2 + 0.07\text{Al}_2\text{O}_3 - 0.25\text{Fe}_2\text{O}_3 (t) - 1.142\text{MgO} + 0.438\text{CaO} + 1.475 \text{Na}_2\text{O} - 6.861 \text{K}_2\text{O}$$

با ترسیم داده‌های اکسیدهای نمونه‌های مورد مطالعه بر روی دیاگرام روسر و کورش (Roser and Korsch, 1988)، تمامی نمونه‌ها در محدوده سنگ مادر آذرین مافیک قرار گرفته‌اند که با ترکیب سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه مطابقت می‌نماید (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶: نمودار متمایز کننده لیتولوژی سنگ مادر مجموعه‌های ماسه‌سنگی و گل‌سنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی (Roser and Korsch, 1988). نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در محدوده آذرین مافیک قرار گرفته‌اند.

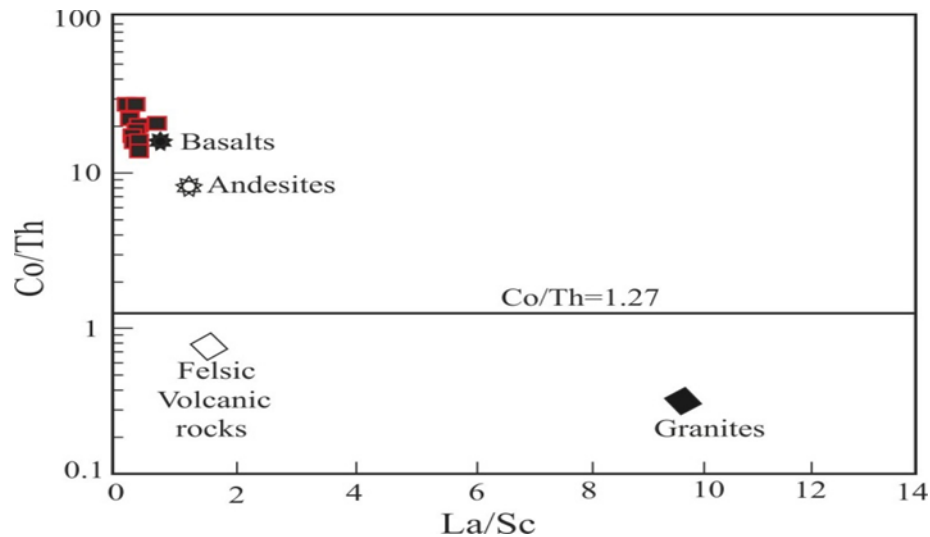
دیاگرام TiO_2 در مقابل Zr (Hayashi et al., 1997) نیز از دیاگرام‌های مهم در تشخیص نوع سنگ مادر رسوبات می‌باشد. بر اساس این دیاگرام (شکل ۶-۷) نیز تمامی نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده سنگ مادرهای آذرین مافیک قرار گرفته‌اند. همچنین براساس نظر هایاشی و همکاران (Hayashi et al., 1997) در صورتی که نسبت Al_2O_3/TiO_2 در رسوبات کمتر از ۱۴ باشد، از سنگ مادرهای مافیک مشتق شده‌اند اما در حالتی که این نسبت حدود ۱۹ تا ۲۸ باشد رسوبات مربوط به سنگ مادرهای فلسیک می‌باشند. این نسبت در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده ۱۰ تا ۱۷ (میانگین ۱۴) می‌باشد که نشان از مشتق شدن آنها از سنگ مادرهای آذرین مافیک می‌باشد.



شکل ۶-۷: دیاگرام دوتایی TiO_2 در مقابل Zr (Hayashi et al., 1997); نمونه‌های ماسه سنگی مورد مطالعه در محدوده سنگ مادرهای آذرین مافیک قرار گرفته‌اند.

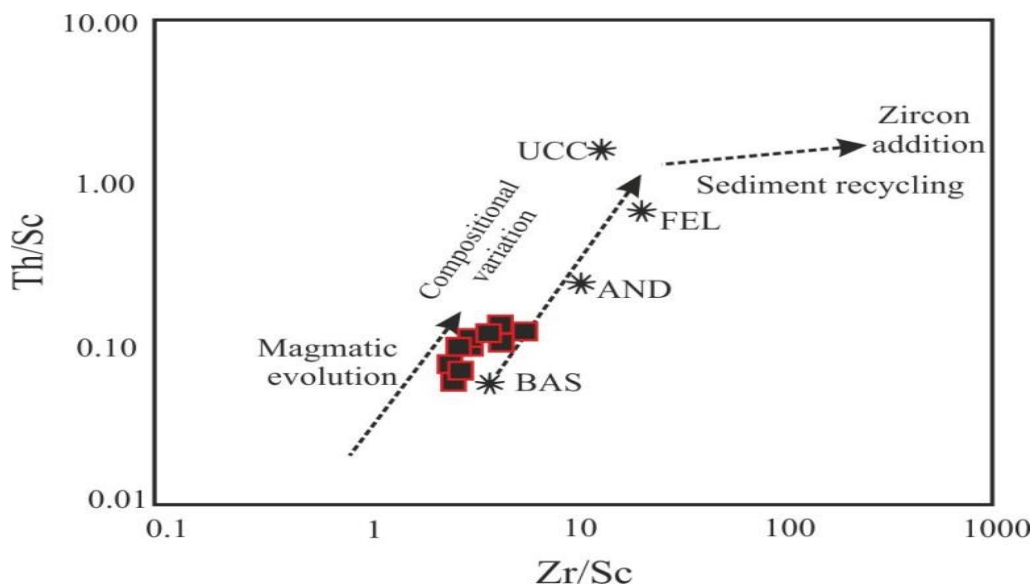
علاوه بر عناصر اصلی، عناصر فرعی بخصوص عناصری که تحرک و انحلال پذیری کمتری در طول فرایندهای رسوبی دارند از فاکتورهای مهم در تفکیک لیتولوژی‌های سنگ مادر رسوبات سیلیسی-آواری می‌باشند (McLennan et al., 2003). بنابراین نسبت این عناصر از جمله La/Sc , Th/Sc , La/Co یکی از موثرترین فاکتورها در تفکیک سنگ مادرهای فلسیک از مافیک می‌باشند

(McLennan et al., 2003). با استفاده از دیاگرام دوتایی La/Sc در مقابل Co/Th (Gu et al., 2012)، بیشتر نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه مقادیر بالای Co/Th را نشان می‌دهند که مربوط به سنگ مادرهای آذرین مافیک می‌باشد (شکل ۶-۸).



شکل ۶-۸: دیاگرام دوتایی La/Sc در مقابل Co/Th (Gu et al., 2002)؛ نمونه‌های ماسه‌سنگی مورد مطالعه در نزدیکی سنگ مادرهای آذرین مافیک و بازالتی قرار گرفته‌اند.

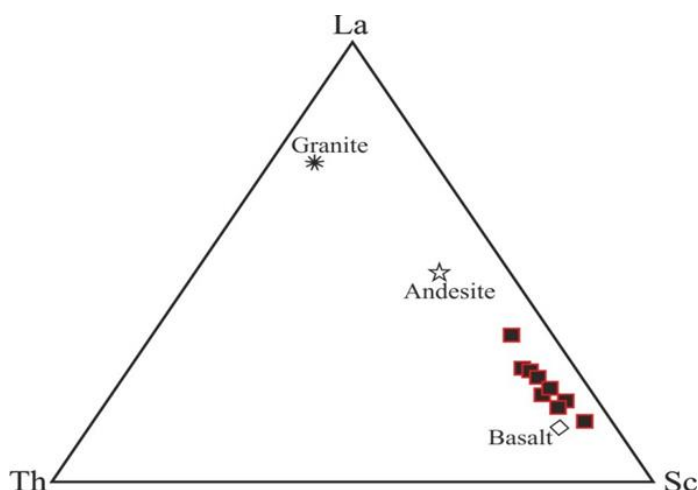
نسبت‌های Zr/Sc و Th/Sc نیز از نسبت‌هایی هستند که تفکیک سنگ مادرهای مختلف و تاثیر چرخه مجدد بر روی سنگ‌های رسوبی آواری توسط آنها امکان‌پذیر است. دیاگرام دوتایی این دو نسبت در کنار یکدیگر (McLennan et al., 1993; McLennan et al., 2003) و ترسیم داده‌های ماسه‌سنگ-های مورد مطالعه بر روی این نمودار نشان می‌دهد که نمونه‌ها از سنگ مادرهای آذرین مافیک و بازالتی مشتق شده‌اند (شکل ۶-۹).



شکل ۶-۹: دیاگرام دوتایی Zr/Sc در مقابل Th/Sc (McLennan et al., 1993) و موقعیت نمونه‌های ماسه

سنگی که در نزدیکی سنگ مادرهای بازالتی ترسیم شده‌اند.

دیاگرام مثلثی $La-Th-Sc$ باتیا و کروک (Bhatia and Crook, 1986) نیز امکان تفکیک سنگ مادرهای مختلف را در نمونه‌های ماسه سنگی فراهم می‌آورد که بر این اساس نمونه‌های مورد مطالعه در نزدیکی محدوده سنگ مادرهای بازالتی قرار گرفته است (شکل ۶-۱۰).

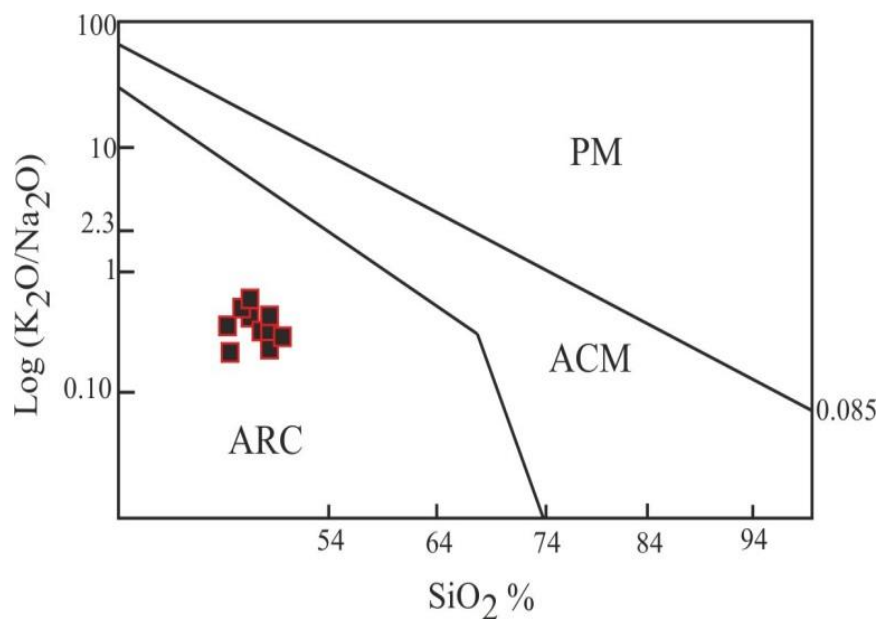


شکل ۶-۱۰: دیاگرام مثلثی $La-Th-Sc$ (Bhatia and Crook, 1986) و موقعیت نمونه‌های ماسه سنگی که در

نزدیکی سنگ مادرهای بازالتی قرار گرفته‌اند.

۶-۷-۲- بررسی جایگاه تکتونیکی منطقه منشأ نهشته‌های ماسه سنگی

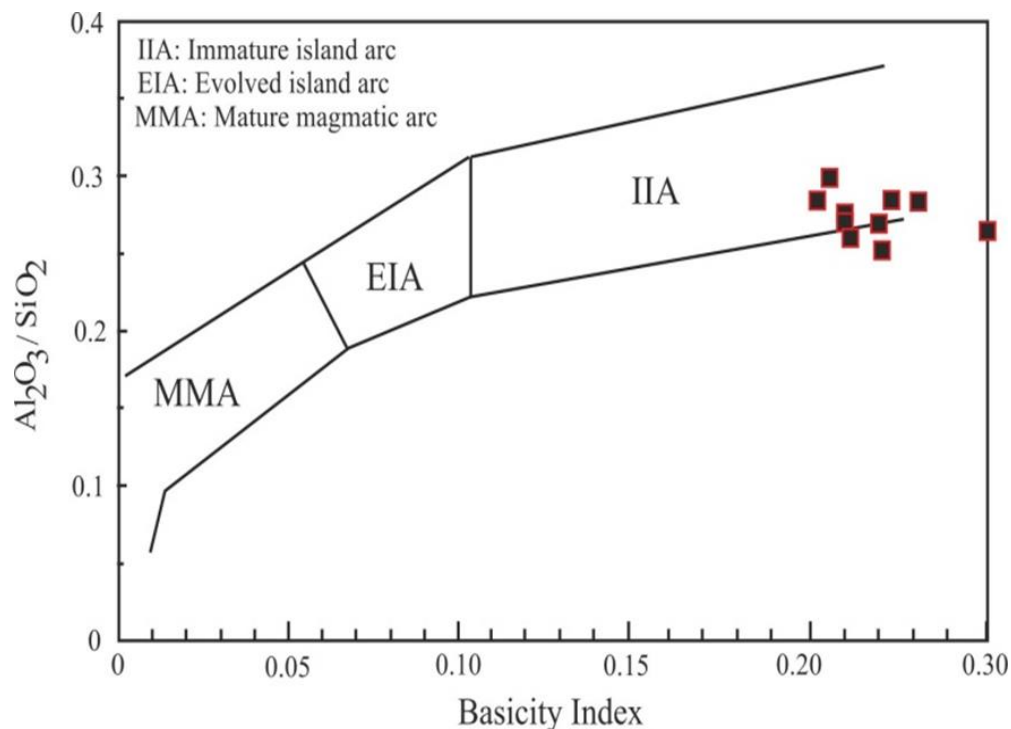
استفاده از ژئوشیمی ماسه سنگ‌ها در بدست آوردن جایگاه تکتونیکی منطقه منشأ ابزاری سودمند می‌باشد (Schwab, 1975; Bathia, 1983). در این مطالعه نیز از دیاگرام‌های مختلف ژئوشیمیایی برای تعیین جایگاه تکتونیکی ماسه سنگ‌های مورد مطالعه استفاده شده است. محتوای SiO_2 و نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ در ماسه سنگ‌ها از حساس‌ترین نشانگرهای تفکیک جایگاه‌های تکتونیکی هستند. بر این اساس، روسر و کورش (Roser and Korsch, 1986) نموداری ارائه کردند که براساس فاکتورهای ذکر شده، تفکیک سه جایگاه تکتونیکی غیرفعال قاره‌ای (PM)، جایگاه فعال قاره‌ای (ACM) و حواشی جزایر قوسی اقیانوسی (ARC) امکان‌پذیر می‌باشد. با قرار دادن مقادیر مربوط به ماسه سنگ‌های مورد مطالعه در این نمودار، مشخص می‌شود که این ماسه سنگ‌ها در داخل محدوده‌های جزایر قوسی قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۱۱).



شکل ۶-۱۱: نمودار محتوای SiO_2 در مقابل نسبت $\text{K}_2\text{O}/\text{Na}_2\text{O}$ (Roser and Korsch, 1986); ماسه سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده جزایر قوسی قرار گرفته‌اند.

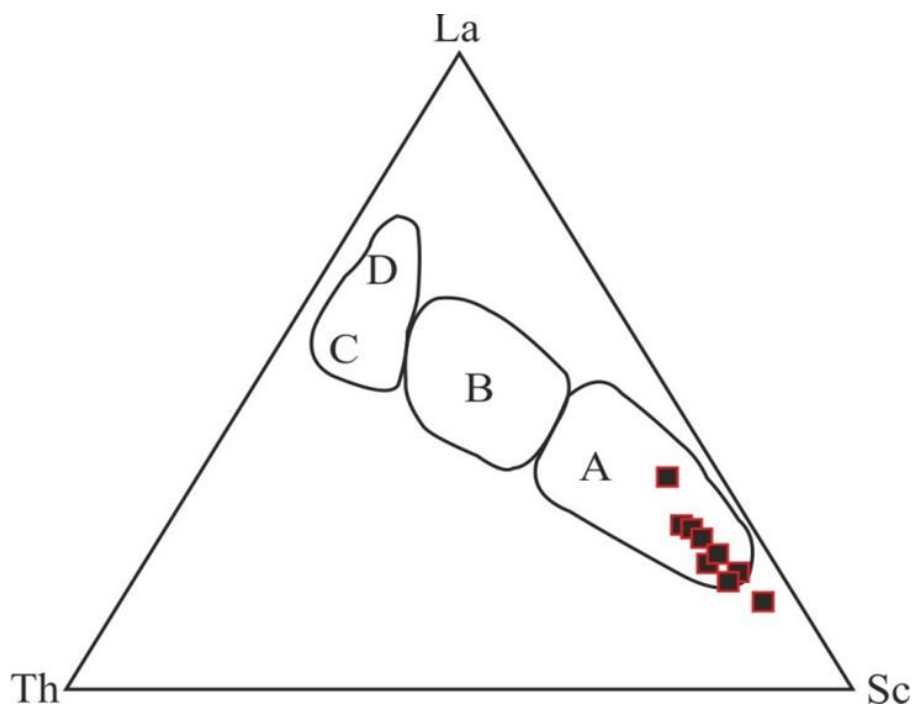
کومون و کیمی‌نامی (Kumon and Kiminami, 1994) نموداری را پیشنهاد نمودند و در آن با استفاده از یک سری نسبت‌های اکسیدهای عناصر اصلی در رسوبات سیلیسی‌آواری، به بررسی وضعیت

جایگاه تکتونیکی رسوبات مرتبط با سنگ مادرهای آذرین پرداختند. محور افقی این نمودار، اندیسی به نام اندیس بازی است که از نسبت $(\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ بدست آمده است. در محور دیگر نمودار نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ قرار می‌گیرد. در واقع در این نمودار، نسبت کوارتز به فلدسپات بررسی می‌گردد و تکامل پترولوژیکی کمان‌های مرتبط با آنها (از لحاظ مافیک یا فلسیک بودن) بوسیله نسبت‌های اکسیدی ذکر شده متمایز می‌گردد. به این ترتیب در این نمودار محدوده‌هایی وجود دارد که رسوبات مرتبط با جزایر قوسی نابالغ، جزایر قوسی رشد یافته و قوس‌های ماگمایی بالغ را از هم تفکیک می‌نماید. در این نمودار، ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در داخل محدوده جزایر قوسی نابالغ قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۲). ماسه سنگ‌هایی که غالباً از خرده سنگ‌های آذرین و پلاژیوکلاز تشکیل شده‌اند و میزان بسیار کمی کوارتز در داخل خود دارند در محدوده جزایر قوسی نابالغ (جزایر قوسی اقیانوسی) قرار می‌گیرند و عموماً در این جایگاه‌های تکتونیکی، ولکانیسم مافیک تا حدواسط رخ می‌دهد (Kumon and Kiminami, 1994).

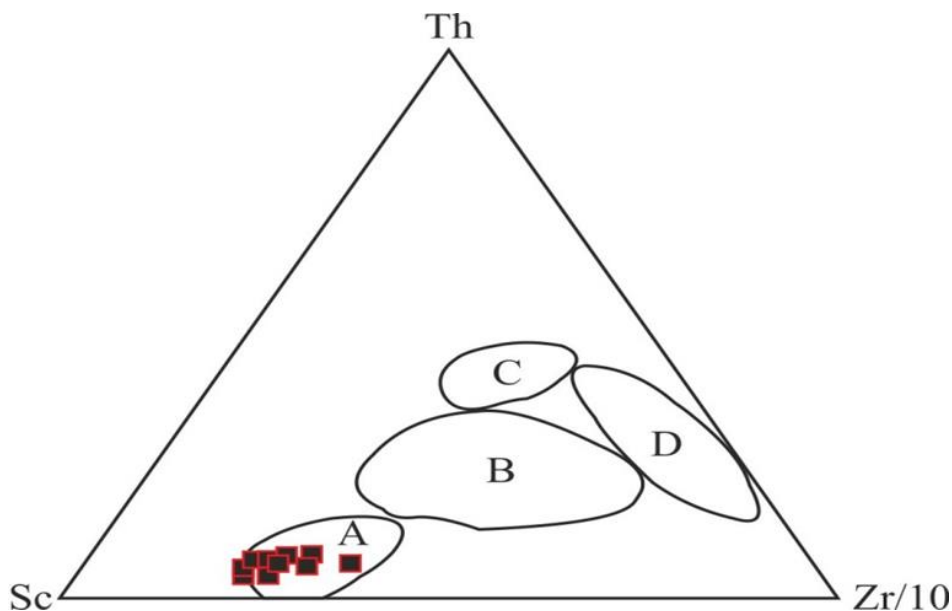


شکل ۶-۱۲: دیاگرام دوتایی بر اساس اندیس قلیایی بودن (نسبت $(\text{Fe}_2\text{O}_3\text{T} + \text{MgO}) / (\text{SiO}_2 + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$) در مقابل نسبت $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ ؛ ماسه‌سنگ‌های مورد مطالعه در داخل محدوده جزایر قوسی نابالغ قرار گرفته‌اند.

استفاده از عناصر فرعی، بخصوص عناصر غیر متحرک مانند لانتانیوم، توریوم، زیرکانیم، هافنیوم، نیوبیوم، اسکاندیوم و تیتانیوم در بررسی جایگاههای تکتونیکی مناطق منشأ رسوبات سیلیسی آواری اثبات شده است (Taylor and McLennan, 1985). در واقع عدم تحرک و زمان اقامت کم این عناصر در آب اقیانوس و رودخانه باعث می شود این عناصر به بخش تخریبی رسوبات وارد شوند و در نتیجه در تفکیک جایگاههای تکتونیکی نقش مهمی را ایفا نمایند (Taylor and McLennan, 1985). باتیا و کروک (Bhatia and Crook, 1986) از لانتانیوم، توریوم و اسکاندیوم در قالب یک دیاگرام مثلثی به منظور تفکیک جایگاه های تکتونیکی در نیوزیلند استفاده کردند. در دیاگرام مثلثی La-Th-Sc، سنگ‌هایی که در محدوده جزایر قوسی اقیانوسی قرار می‌گیرند بیشتر سنگ‌های بازیک هستند و نمونه‌های مرتبط با محدوده جزایر قوسی قاره‌ای بیشتر اسیدی هستند. با توجه به مقادیر این سه عنصر در ماسه سنگ‌های مورد مطالعه، این نمونه‌ها اکثراً در محدوده جزایر قوسی اقیانوسی قرار می‌گیرند (شکل ۶-۱۳). نمونه‌های مورد مطالعه با توجه به مقادیر نسبتاً کم زیرکانیم در آنها، در دیاگرام مثلثی Th-Sc-Zr/10 نیز در محدوده جزایر قوسی اقیانوسی قرار گرفته‌اند (شکل ۶-۱۴) بنابر این نتایج بررسی محیط تکتونیکی سنگ‌های تخریبی ککه نشاندهنده‌ی محیط جزایر قوسی اقیانوسی هستند با محیط تکتونیکی کمان آتشفشانی حاشیه فعال قاره‌های توسط Ghasemi & Rezaei (2014) متفاوت می‌باشد.



شکل ۶-۱۳: دیاگرام مثلثی Th-La-Sc (Bhatia and Crook, 1986). نشان دهنده جایگاه تکتونیکی جزایر قوسی اقیانوسی برای ماسه سنگ های مورد مطالعه می باشد. چهار محدوده تکتونیکی: حاشیه قاره ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره ای (B) و حاشیه های قاره ای فعال (C).



شکل ۶-۱۴: دیاگرام مثلثی Th-Sc-Zr/10 (Bhatia and Crook, 1986). نمونه های ماسه سنگی مورد مطالعه در محدوده جزایر قوسی اقیانوسی قرار گرفته اند. چهار محدوده تکتونیکی: حاشیه قاره ای غیر فعال (D)، جزایر قوسی اقیانوسی (A)، جزایر قوسی قاره ای (B) و حاشیه های قاره ای فعال (C).

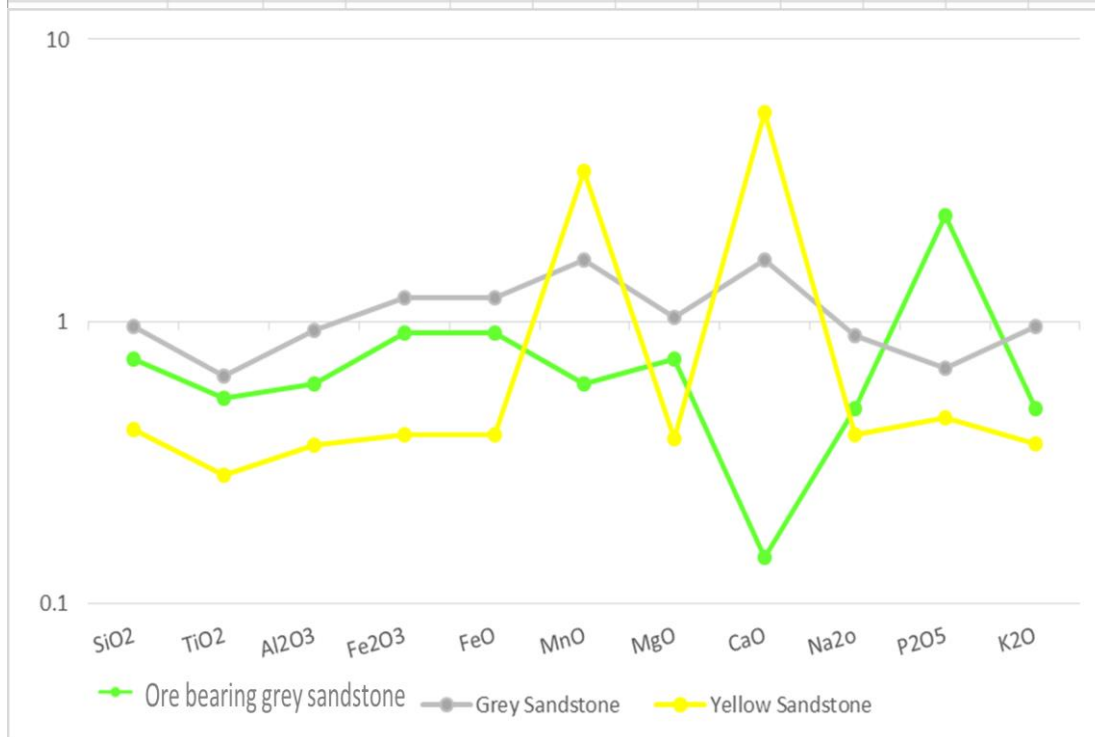
۶-۷-۳ - مطالعه فراوانی، غنی شدگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ میزبان

و کانسنگ اندیس‌های مس رسوبی

مطالعه عناصر اصلی غالباً به ۱۱ عنصری محدود می‌شود که به طور مرسوم در تجزیه شیمیایی به صورت اکسید بیان می‌شوند (Si, Ti, Al, Mn, Fe, Mg, Ca, Na, K, P) (رولینسون، ۱۹۹۳). توزیع عناصر اصلی، منعکس کننده کانی شناسی نمونه‌های مورد مطالعه است. در میان اکسیدها K_2O , MgO , CaO , Na_2O متحرک و اکسیدهای Al_2O_3 و TiO_2 غیر متحرک می‌باشند (بالاز و همکاران، ۲۰۰۰).

در شکل (۶-۱۵) نمودار تهی شدگی-غنی شدگی اکسیدهای اصلی برای کانسنگ و سنگ‌های میزبان اندیس‌های مورد مطالعه نشان داده شده است که بیانگر بهنجار شدن نمونه‌ها به ماسه‌سنگ قرمز می‌باشد، یعنی غنی شدگی و تهی شدگی ماسه سنگ‌های خاکستری که میزبان کانه‌زایی است با ماسه سنگ قرمز ارائه شده است. در این تصویر به نظر می‌رسد که غنی شدگی CaO در آهک ماسه‌ای زرد رنگ به واسطه حضور سنگ آهک توفی نومولیت‌دار در توالی چینه‌شناسی می‌باشد. همچنین غنی-شدگی منگنز در آهک ماسه‌ای و ماسه سنگ خاکستری نیز به دلیل وجود منگنز لایه‌ای در منطقه می‌باشد. تهی شدگی FeO در نمونه‌های ماسه سنگ خاکستری و آهک ماسه‌ای زرد رنگ احتمالاً به علت تمرکز در واحد ماسه‌سنگی قرمز بوده است. در نهایت بررسی اکسیدهای نشان‌دهنده غنی شدگی CaO و MnO و تهی شدگی FeO در افق‌های کانه‌دار می‌باشد.

Element(wt%)	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
Ore bearing grey sandstone	41.59	0.432	9.09	3.55	3.19	0.05	2.19	1.09	2.35	0.51	0.62
Grey Sandstone	53.87	0.52	13.98	4.75	4.27	0.14	3.07	12.29	4.25	0.15	1.21
Yellow Sandstone	23.34	0.23	5.48	1.54	1.39	0.29	1.14	41.04	1.89	0.098	0.46
Red Sandstone	56.26	0.807	15.05	3.9	3.51	0.086	2.97	7.46	4.77	0.22	1.26



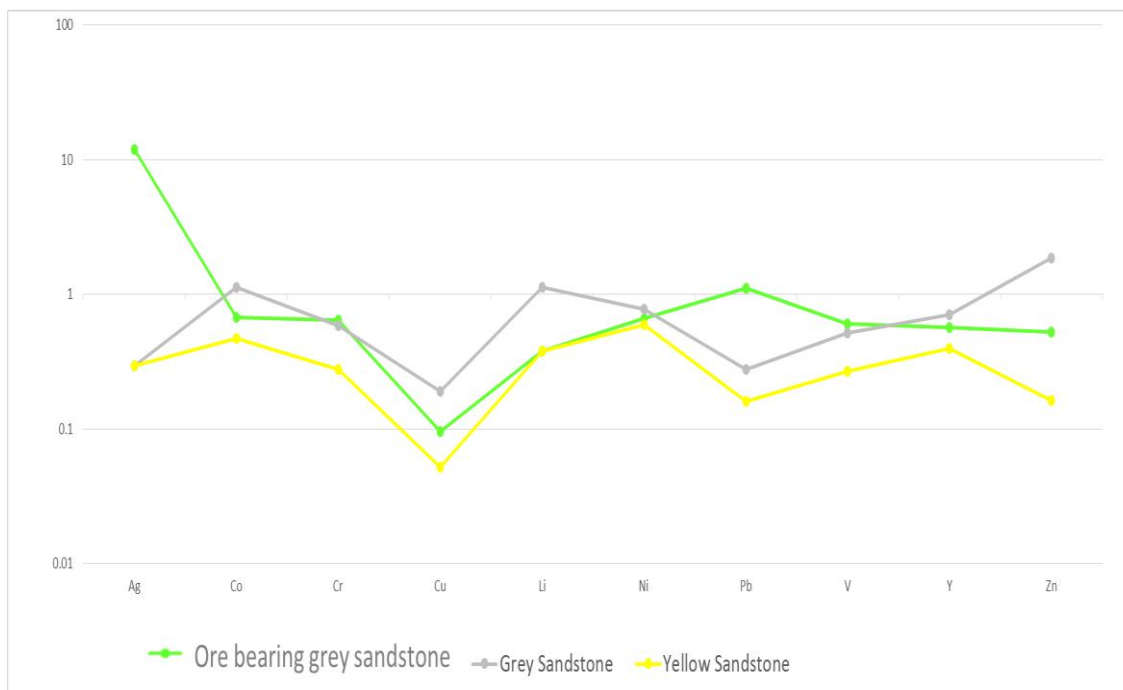
شکل ۶-۱۵: نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی اکسیدهای اصلی برای کانسنگ و سنگ میزبان.

۶-۷-۴ - مطالعه فراوانی، غنی‌شدگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در سنگ-

های میزبان و کانسنگ مس رسوبی

فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده در نمونه‌های مورد مطالعه در تصویر ۶-۱۶ آورده شده است. نمودار تهی‌شدگی و غنی‌شدگی عناصر جزئی و کمیاب برای سنگ‌های میزبان و کانسنگ رسم شده است.

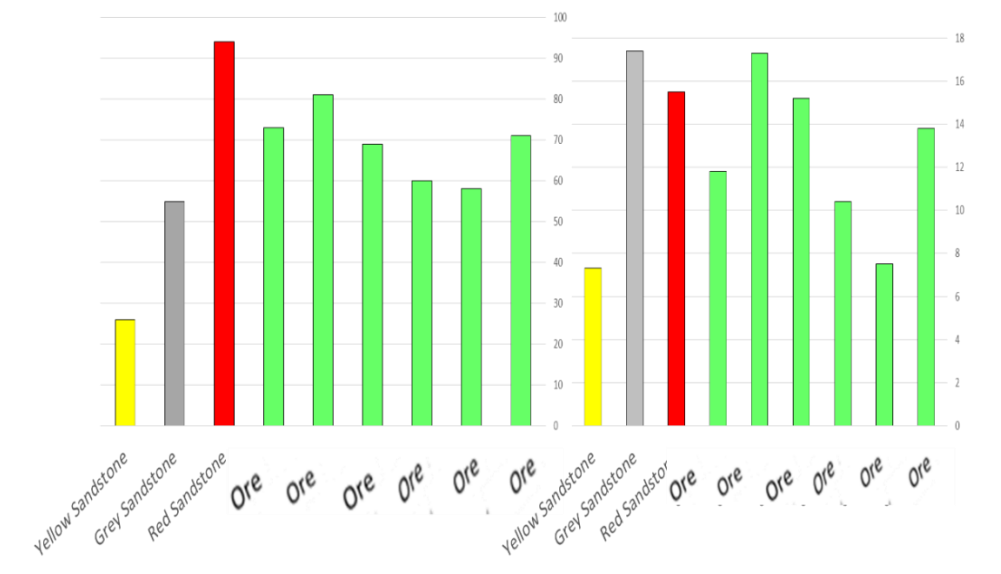
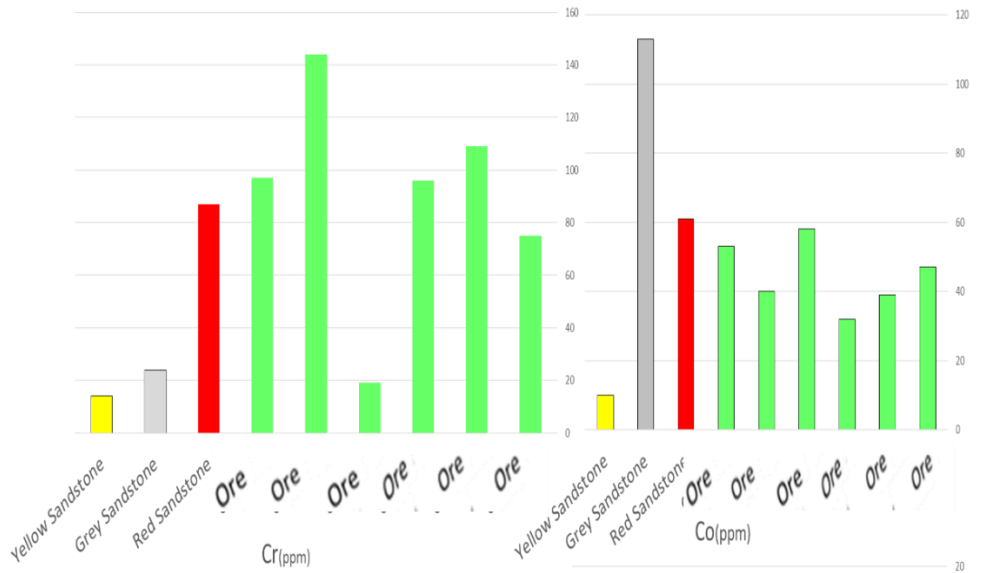
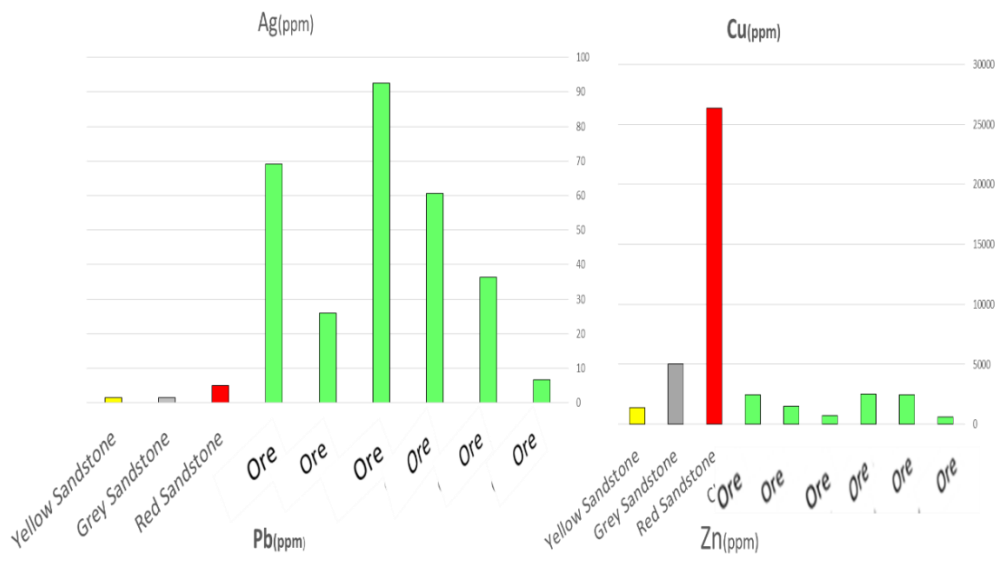
Element(ppm)	Ag	Co	Cr	Cu	Li	Ni	Pb	V	Y	Zn
Orebearing grey sandstone	60.6	10.4	60	2509	6	18	96	150	10.6	32
Grey Sandstone	1.5	17.4	55	5017	18	21	24	129	13.2	113
Yellow Sandstone	1.5	7.3	26	1382	6	16	14	67	7.4	10
Red Sandstone	5.1	15.5	94	26358	16	27	87	250	18.8	61

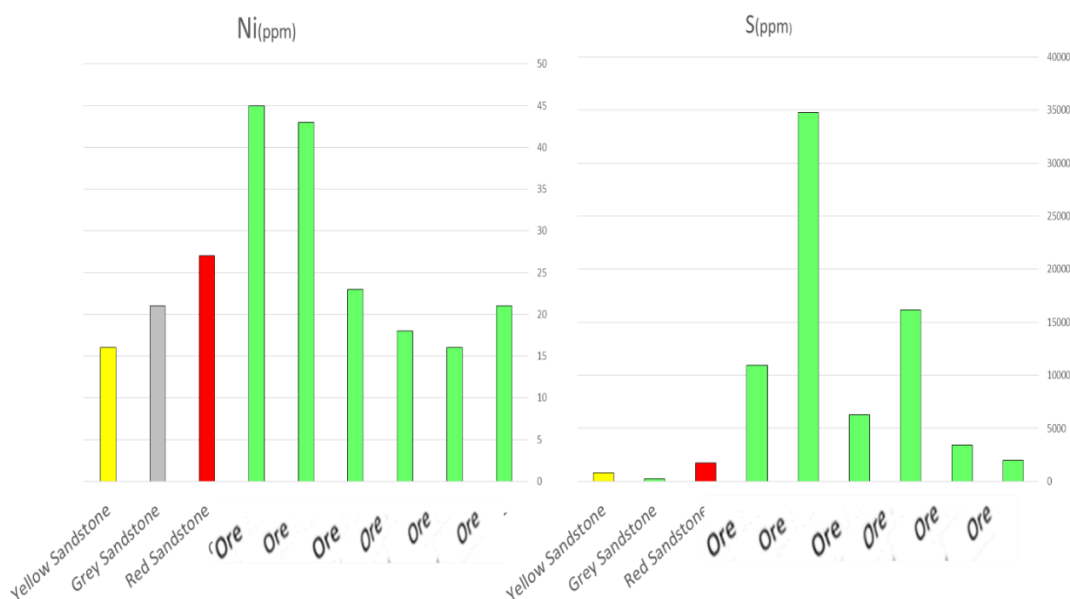


شکل ۶-۱۶: نمودار تپی شدگی و غنی شدگی عناصر فرعی و کمیاب برای کانسنگ و و سنگ‌های میزبان .

در شکل (۶-۱۷) تغییرات فراوانی عناصر S, Cr, Ni, Co, Ag, Pb, Zn, Cu در کانسنگ و سنگ‌های

میزبان اندیس‌های مس رسوبی بصورت هیستوگرام نشان داده شده‌است.



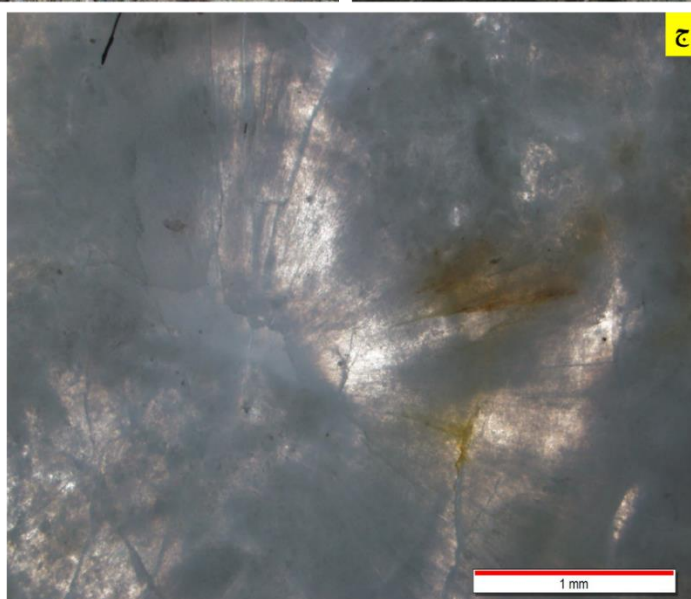


شکل ۶-۱۷: تغییرات فراوانی عناصر S, Cr, Ni, Co, Ag, Pb, Zn, Cu در کانسنگ و سنگ میزبان.

بیشترین فراوانی مس مربوط به ماسه سنگ قرمز رنگ می باشد که نشان دهنده ی بیشترین میزان نقره مربوط به کانسنگ های مس است که بیانگر همبستگی مثبت نقره با مس بوده است و با توجه به اینکه در مطالعات میکروسکوپی کانی مستقل برای نقره تشخیص داده نشده احتمالاً این عنصر در ساختمان کانی های مس مانند کالکوسیت جای گرفته است.

۶-۸ - مطالعه میانبارهای سیال

قابل ذکر است که برای مطالعه میانبارهای سیال، چهار مقطع دوبر صیقل از کانی های شفاف (کلسیت و آنالسیم) به همراه کانه زایی تهیه گردید و در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه صنعتی شاهرود مورد بررسی قرار گرفت. در نتایج بدست آمده از این آزمایشات، میانبارهای سیال بسیار ریز بوده و قابل مطالعه نبودند (شکل ۶-۱۸).



شکل ۶-۱۸: الف) تصویر رگه زئولیتی، ب) تصویر رگه کلسیتی، ج) تصویر میکروسکوپی مقطع دوبر صیقل.

فصل ہفتم: پیشگی
نتیجہ گیری، الگوی سلسلے،

تیب کا نہ زاری و پیشہادات

اکتشافی

۷-۱- مقدمه

در این فصل برمبنای نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، مطالعات آزمایشگاهی (پتروگرافی و کانی‌شناسی) و داده‌های حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی ابتدا به بررسی شواهد جهت ارائه الگو و مدل تشکیل برای این نوع کانه‌زایی‌ها پرداخته و نهایتاً جهت مشخص کردن تیپ کانه‌زایی اقدام به مقایسه آنها با تیپ‌های کانه‌زایی مشابه در جهان و ایران نموده و در آخر هم پیشنهاداتی جهت کارهای اکتشافی و تحقیقات تکمیلی بعدی ارائه گردیده است.

۷-۲- مختصری از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی

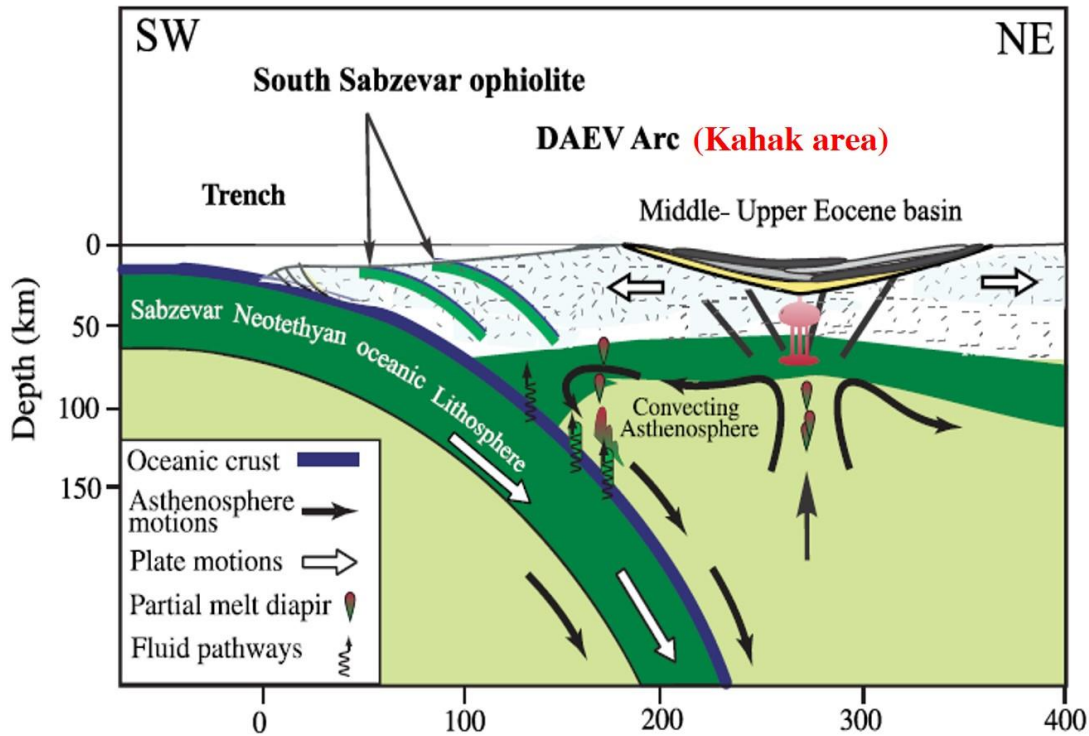
۷-۲-۱- زمین‌شناسی عمومی منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه در کمربند آتشفشانی سنوزوئیک شمال ایران مرکزی و در مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن، در زیرپهنه سبزوار و منتهی الیه شرق استان سمنان واقع شده‌است. واحدهای سنگی منطقه مورد پژوهش با سن ائوسن-الیگوسن تا میوسن و کواترنری بوده که عبارتند از: (۱) مجموعه گدازه و آگلومرا با ترکیب آندزیتی-بازالتی ائوسن، (۲) مجموعه رسوبی ائوسن-الیگوسن شامل آهک توفی نومولیت‌دار، شیل و ماسه‌سنگ، (۳) مارن‌های میوسن و (۴) رسوبات آبرفتی کواترنری. سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی با سن ائوسن-الیگوسن توسط دایک‌های بازیک جوانتر قطع شده‌اند. سنگ‌های آتشفشانی به سری‌های ماگمایی کالک آلکالن پتاسیم متوسط تعلق دارند و در طی یک رژیم زمین‌ساختی از نوع کمان‌های آتشفشانی حاشیه قاره‌ای فعال تشکیل شده‌اند.

۷-۲-۲- محیط زمین‌ساختی تشکیل

با مطالعه زمین‌شناسی و تلفیق آن با داده‌های میکروسکوپی و ژئوشیمیایی توالی‌های سنگی تاقدیس کاهک و مقایسه آن با نوار آتشفشانی ائوسن داورزن-عباس‌آباد (قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵) که

منطقه کاهک نیز جزئی از آن است مشخص گردید که این منطقه از نظر محیط زمین‌ساختی تشکیل، یک حوضه درون کمائی است که در طی ائوسن میانی-بالایی شکل گرفته است (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱: تصویر شماتیک از محیط تکتونیکی نوار آتشفشانی داورزن (قاسمی و رضایی کهخایی، ۲۰۱۵) که منطقه کاهک جزئی از آن می باشد.

۷-۲-۳- کانه زایی

کانه زایی مس در منطقه شمال کاهک بصورت چینه‌کران در افق‌های چینه‌شناسی خاص رخ داده است. کانسارهای مس زاواک و مس سردار بصورت رگه-رگچه ای و دانه پراکنده بوده و در کمربند پایین یک افق چینه سان غنی از منگنز رخ داده‌اند. این پهنه رگه-رگچه ای مشابه پهنه تغذیه کننده یا استرینگر در کانسارهای منگنز آتشفشانی-رسوبی یا کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد (VMS) می باشد (e.g., Large, 1992; Gibson and Kerr, 1998; Franklin et al., 1998; Taylor et al., 1999).

۷-۲-۴ - ساخت و بافت ماده معدنی

در کانسارهای مس زاواک و سردار به طور کلی ماده معدنی بصورت رگه-رگچه‌ای سولفیددار می‌باشد. همچنین ساخت‌های دیگری نظیر ساخت نواری، ساخت برشی و دانه پراکنده نیز مشاهده می‌شود. قابل ذکر است که در کانسارهای فوق‌الذکر بافت رگه-رگچه‌ای به صورت قطع کننده و چینه‌کران در قسمت زیرین افق غنی از منگنز قرار داشته و به طور عمده از کالکوسیت و کالکوپیریت تشکیل شده- است. بافت نواری در بالای کانسار شامل تناوبی از نوارهای غنی از اولیژیست با سنگ میزبان ماسه سنگ خاکستری است. در مقیاس میکروسکوپی نیز بافت‌های جانشینی، برشی، رگه-رگچه‌ای و کلوپورمی دیده می‌شود.

در اندیس‌های مس رسوبی، ساخت لایه‌ای تا عدسی در سنگ میزبان ماسه‌سنگ خاکستری به راحتی قابل مشاهده است. همچنین ماده معدنی در این کانه زایی‌ها دارای بافت دانه پراکنده، جانشینی و رگه‌ای می‌باشد.

۷-۲-۵ - کانی‌شناسی

از لحاظ کانی‌شناسی در کانسار مس زاواک کانی‌های اصلی شامل کانی‌های اولیه کالکوسیت، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت و کانی‌های ثانویه کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و مالاکیت می‌باشد و در کانسار منگنز-مس سردار شامل کانی‌های اولیه کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت و پیرولوزیت و کانی-های ثانویه مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت و گوتیت است، در ذخایر مس رسوبی نیز کانی‌های اولیه شامل کالکوسیت، مس طبیعی و کوپریت بوده و کانی‌های ثانویه شامل مالاکیت، کوولیت و آزوریت - می‌باشد.

۷-۲-۶- دگرسانی و منطقه بندی آنها

مطالعات صحرایی، میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD، بر روی تعدادی از نمونه‌های برداشت شده از کانسار زاواک و کانسار مس-منگنز سردار نشان می‌دهد که به طور عمده بیشترین حجم دگرسانی‌ها در کانسار زاواک مربوط به دگرسانی کلریتی، ژئولیتی و سریسیتی و در کانسار مس-منگنز سردار بیشترین حجم دگرسانی مربوطه به دگرسانی کلریتی، سریسیتی و ژئولیتی می‌باشد. توالی آتشفشانی-رسوبی حاوی سنگ‌های آتشفشانی و تناوب آنها در بالای توالی با آهک نومولیت‌دار در منطقه حاکی از رخداد ولکانیسم در محیط زیردریایی است و این محیط‌ها برای فعالیت سامانه‌های گرمایی زیردریایی مناسب می‌باشد (Galley et al., 2007). با توجه به رخداد کانه‌زایی در محیط زیردریایی و رخداد فرایند دیاژنز بعدی، عمده‌ترین دگرسانی‌ها مربوط به دگرسانی کلریتی، سریسیتی و ژئولیتی می‌باشد که در کانسارهای مس زاواک و مس-منگنز سردار دیده می‌شود. میزان دگرسانی برحسب فاصله با افق معدنی متفاوت بوده و بیشترین میزان دگرسانی نزدیک به کانه‌زایی است و شدت دگرسانی در پهنه کانه‌زایی بیشتر است.

در کانسارهای مس رسوبی حرکت سیال کانه‌ساز در سنگ میزبان باعث ایجاد دگرسانی گسترده می‌شود که به عنوان راهنمای اکتشافی محسوب می‌شود (Hitzman et al, 2005). سنگ‌های میزبان در برگیرنده کانه‌زایی مس، در هنگام ته‌نشست دارای رنگ قرمز نیستند بلکه با گذشت زمان و طی فرآیند دیاژنز آغازین کانی‌های سیلیکاته ناپایدار آهن‌دار مانند پلاژیو کلاز، بیوتیت و هورنبلند موجود در بین رسوبات، دگرسان شده و آهن موجود در شبکه‌های آن آزاد می‌شود و این آهن آزاد شده بصورت آمورف و اکسیدان در اطراف کانی‌ها رسوب کرده و باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد (Hitzman et al, 2005).

بر اساس Cox et al. (2007) و Hitzman et al. (2005) دگرسانی اصلی کانسارهای مس رسوبی اصطلاحاً از نوع سبز، سفید یا خاکستری شدن سنگ‌های در برگیرنده است. سیالات درون سازندی، در مجاورت با مواد آلی، حالت احیایی پیدا می‌کنند و در مسیر خود از میان سنگ میزبان، در نتیجه

واکنش با رسوبات قرمز، موجب دگرسانی شستشو (Bleaching) می‌شوند. افق‌های میزبان کانه‌زایی در این اندیس‌ها بر اساس دگرسانی صورت گرفته، شرایط اکسیداسیون و احیا، کانی‌شناسی و رنگ، سه بخش مجزا از یکدیگر قابل تشخیص است. این بخش‌ها عبارتند از: (۱) پهنه قرمز اکسیدان (Red Zone)، (۲) پهنه شسته شده (Bleached Zone)، (۳) پهنه احیایی کانه‌دار (Mineralized Zone). در کانه‌زایی‌های مس با میزبان رسوبی در منطقه شمال کاهک نیز گاهی این دگرسانی‌ها قابل مشاهده است.

۷-۲-۷- نتایج ژئوشیمی

مطالعات ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که سنگ‌های آتشفشانی منطقه دارای ترکیب آندزیتی-بازالتی و ماهیت کالک آلکالن بوده و در محیط‌های کم‌انرژی نهشته شده‌اند. مقدار عناصر نقره و آرسنیک در کانسار مس زاواک به سمت قسمت‌های فوقانی کانسار افزایش می‌یابد و در کانسار سردار این مقدار نقره افزایش و عناصر مس و آرسنیک و سرب به سمت قسمت‌های فوقانی کاهش می‌یابد. بالاترین مقدار عناصر مس و سرب در کانسار زاواک مربوط به آگلومرای زیرین و در کانسار مس سردار مربوط به بخش استرینگر می‌باشد. مقدار نقره و اورانیوم در اندیس مس رسوبی به ترتیب ۶۰/۶ و ۸/۳ ppm می‌باشد.

۷-۳- الگوی تشکیل ذخایر معدنی در تاق‌دیس کاهک

بطور کلی وجود پهنه‌های کانه‌زایی و نسل‌های مختلف کانی‌ها در ذخایر معدنی تاق‌دیس کاهک، نشان از رخداد کانه‌زایی در چند مرحله می‌باشد. بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، شکل هندسی کانسنگ، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و نوع دگرسانی در کانسارهای مس زاواک و کانسار منگنز و مس سردار اینطور استنباط می‌شود که کانه‌زایی اولیه مس در تاق‌دیس کاهک در چهار مرحله رخ داده است: (۱) مرحله اول: کانه‌زایی در اثر سامانه‌های گرمایی زیردریایی در زیرکف دریا (در زیر لایه چینه‌سان و

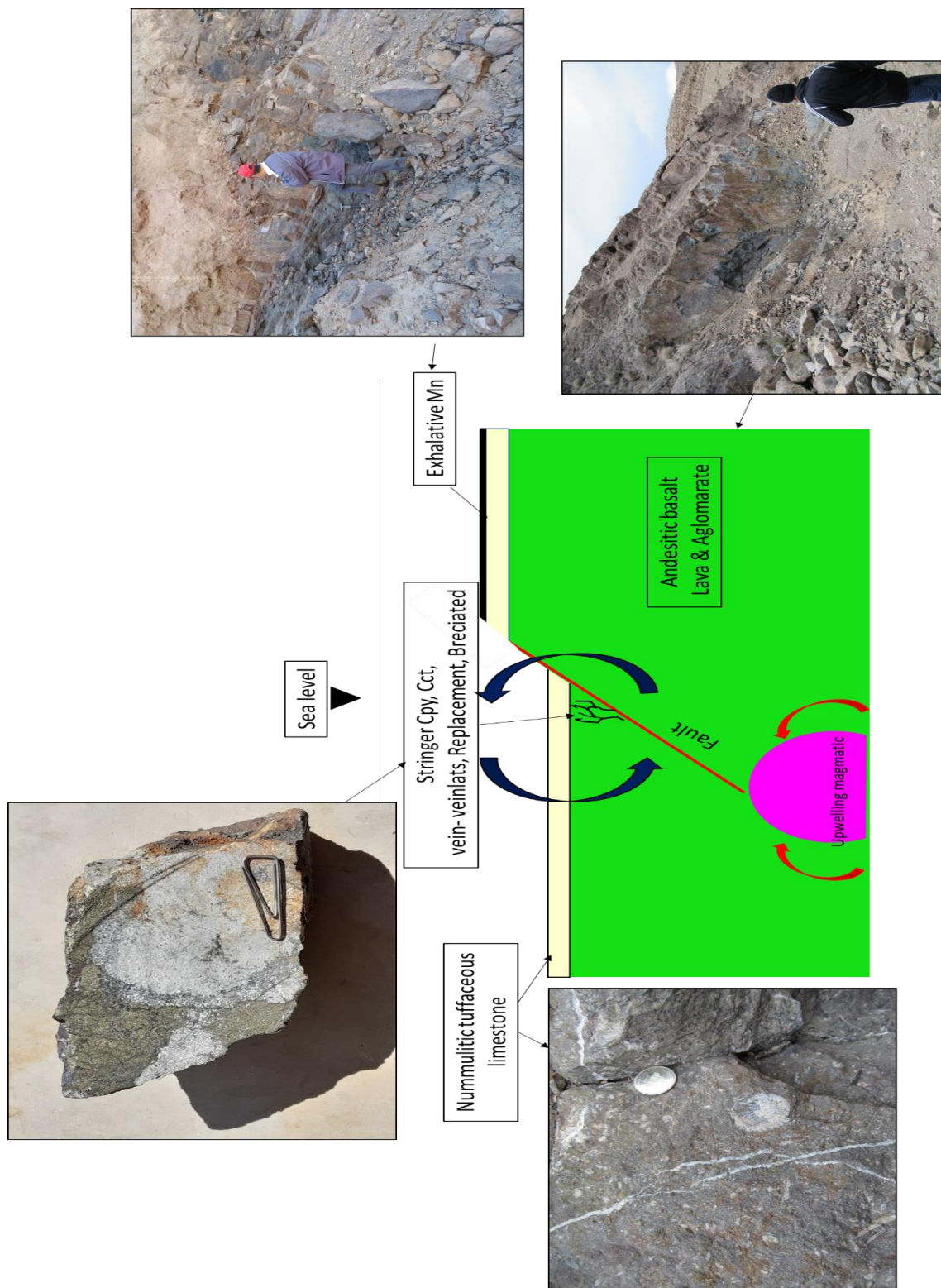
بروندمی منگنز) در یک حوضه کشتی ریفتی درون کمانی در داخل واحدهای گدازه ای، آگلومرایبی و آهک نومولیتی، ۲) مرحله دوم: پرشدگی حوضه ریفتی توسط رسوبات تخریبی و سپس رخداد کانه زایی مس در طی تدفین و دیاژنز آغازین در محل فسیل‌های گیاهی (مس نوع لایه های سرخ) و بصورت رگه-رگچه ای در طی دیاژنز پسین که موجب رخداد رگه-رگچه های کالکوسیتی و مس طبیعی (مس نوع مانتو، آتشفشانی-لایه های سرخ و میشیگان) در واحدهای ماسه سنگی و آتشفشانی شده که در سنگ‌های آتشفشانی با ژئولیت همراه هستند، ۳) مرحله سوم: عملکرد کوهزایی و ایجاد رگه-رگچه‌های کلسیتی کالکوسیت دار در منگنز و مس سردار یا ژئولیتی کالکوسیت دار در کانسار مس زاواک، ۴) مرحله چهارم: سرانجام، این کانه زایی ها دچار فرایند هوازدگی و سوپرژن واقع شده اند.

۷-۳-۱- مرحله ۱: فعالیت‌های آتشفشانی-بروندمی

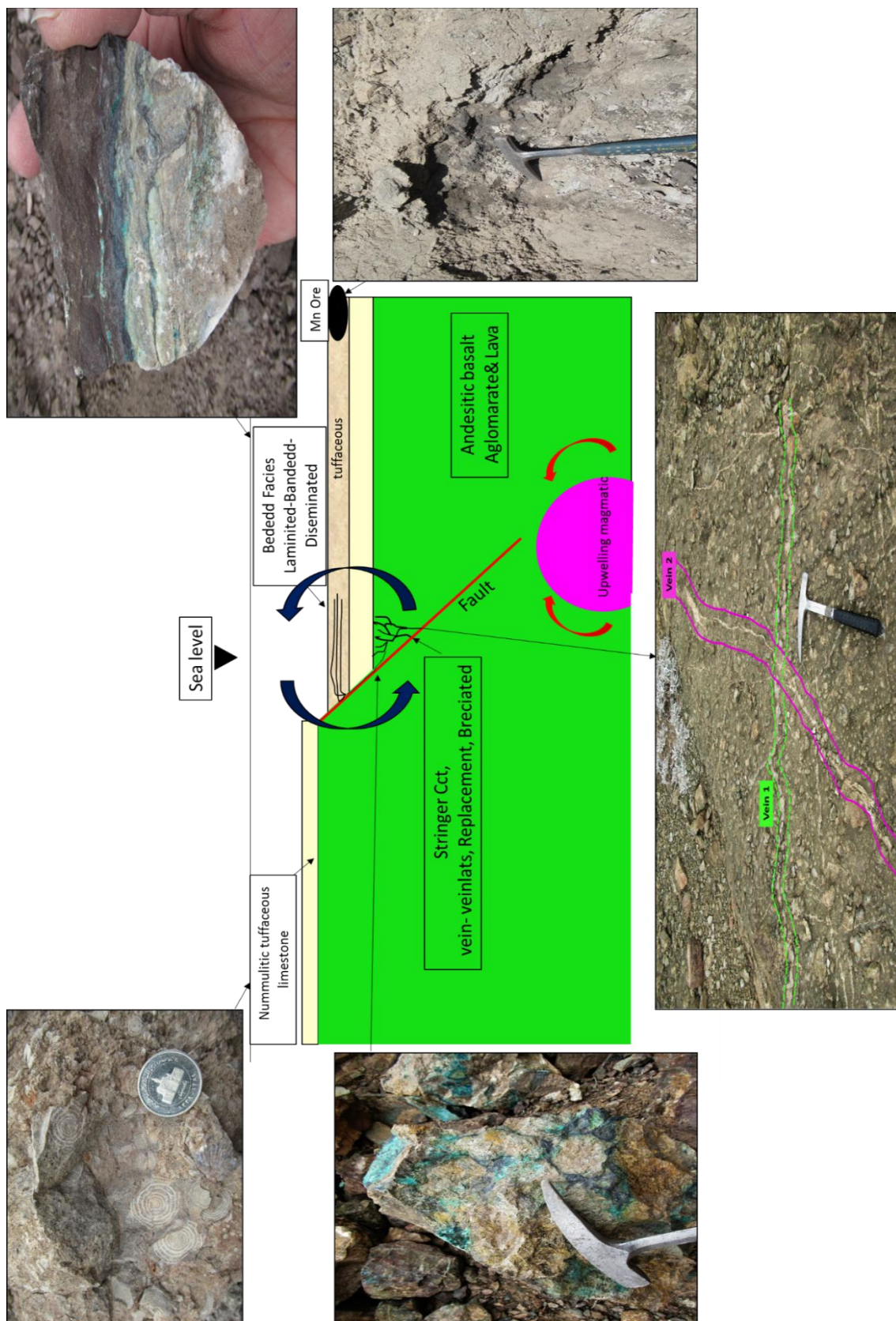
اولین مرحله کانه‌زایی در کانسار زاواک بصورت همزمان با وقوع فعالیت‌های آتشفشانی-بروندمی بوده است. نفوذ ماگمای آندزیتی-بازالتی به داخل حوضه، موجب فعال شدن جریان‌های همرفتی آب دریا شده که نتیجه آن ایجاد سیالات داغ و شور بوده که فلزات و عناصر کانسنگ ساز را از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی کمرباطین شسته و وارد دریا نموده است که در یال شمالی منگنز به علت تحرک بیشتر از مس همراه با آهک بصورت لایه ای در کف دریا ته نشست شده است و در کمرباطین آن در زیر کف دریا مس بصورت رگه-رگچه ای سیلیسی کالکوپیریت دار (مس سردار) نهشته شده است. در یال جنوبی در کانسار زاواک نیز این فرآیند همرفتی سیالات گرمابی فعال بوده است بطوری که چرخش این سیالات موجب پیدایش رگه‌های حاوی کالکوپیریت و بورنیت در واحد آگلومرایبی و نیز بصورت دانه پراکنده در واحد آهک نومولیتی شده و در توف ماسه‌ای نیز به صورت نواری حاوی اولیژیست (و کالکوپیریت که به کالکوسیت تبدیل شده) در زیرکف دریا جانشین گردیده است. بطور کلی، نتیجه فعالیت این سامانه های گرمابی، تشکیل پهنه های استرینگر غنی از مس در زیرکف

دریا و نهشته شدن رخساره های لایه ای و بروندمی منگنزار در کف دریا می باشد که در هر دو یال دیده می شود. باین تفاوت که در یال جنوبی کانه زایی مس قوی (بصورت کانسار مس زاواک) و کانه زایی منگنز بسیار ضعیف (بصورت توف ماسه ای منگنز دار) و در یال شمالی بالعکس است که شامل کانسار منگنز لایه ای سردار و اندیس مس سردار در کمرباطین آن می باشد.

با توجه به ویژگی های کانه زایی مس در کانسار زاواک شامل رخداد کانه زایی بصورت چینه کران (بصورت رگه- رگچه ای و دانه پراکنده در سنگ میزبان آگلومرایی و کمی ساخت نواری جانشینی در توف ماسه ای و نیز رخداد توف ماسه ای غنی از منگنز در بالای آنها، و دگرسانی گسترده کلریتی و نیز رخداد محلی لایه آهکی و تغییر ضخامت آنها که می تواند از شواهد غسل های همزمان بار سو بگذاری باشد، به نظر می رسد این کانه زایی نیز همانند کانسار منگنز و مس سردار در یال شمالی بصورت سامانه گرمایی زیر دریایی تشکیل شده باشد که در کانه زایی زاواک به دلیل غلبه کانه زایی مس، با سامانه های کانسارهای سولفید توده ای آتشفشانزاد (VMS) شباهت زیادی را نشان می دهد اگرچه ماده معدنی با بافت توده ای در کانسار مشاهده نمی شود. بر اساس مطالعات صورت گرفته ساخت و بافت این کانه زایی ها بیشتر به صورت رگه- رگچه ای، برشی، نواری، کلوفرمی و دانه پراکنده می باشد. دگرسانی های عمده شامل دگرسانی های کلریتی و سربسیتی بوده که همراه با کانه زایی و توسط سیالات کانسنگ ساز رخ داده اند. در یال شمالی نیز حسینی (۱۳۹۵) مدل آتشفشانی-رسوبی و سامانه همرفتی گرمایی زیر دریایی را برای کانسار منگنز سردار پیشنهاد داده بود. اما در تحقیق حاضر در کمرباطین آن کانه زایی مس بصورت رگچه های سیلیسی کالکوپیریت دار مشاهده گردید که همان پهنه استرینگر بوده و با دگرسانی کلریتی همراه می باشد.



شکل ۷-۲: مرحله یک کانه‌زایی در کانسار منگنز و مس سردار



شکل ۷-۳: مرحله یک کانه‌زایی در کانسار مس زاواک

۷-۳-۲ - مرحله ۲: پرشدگی حوضه و عملکرد دیاژنز

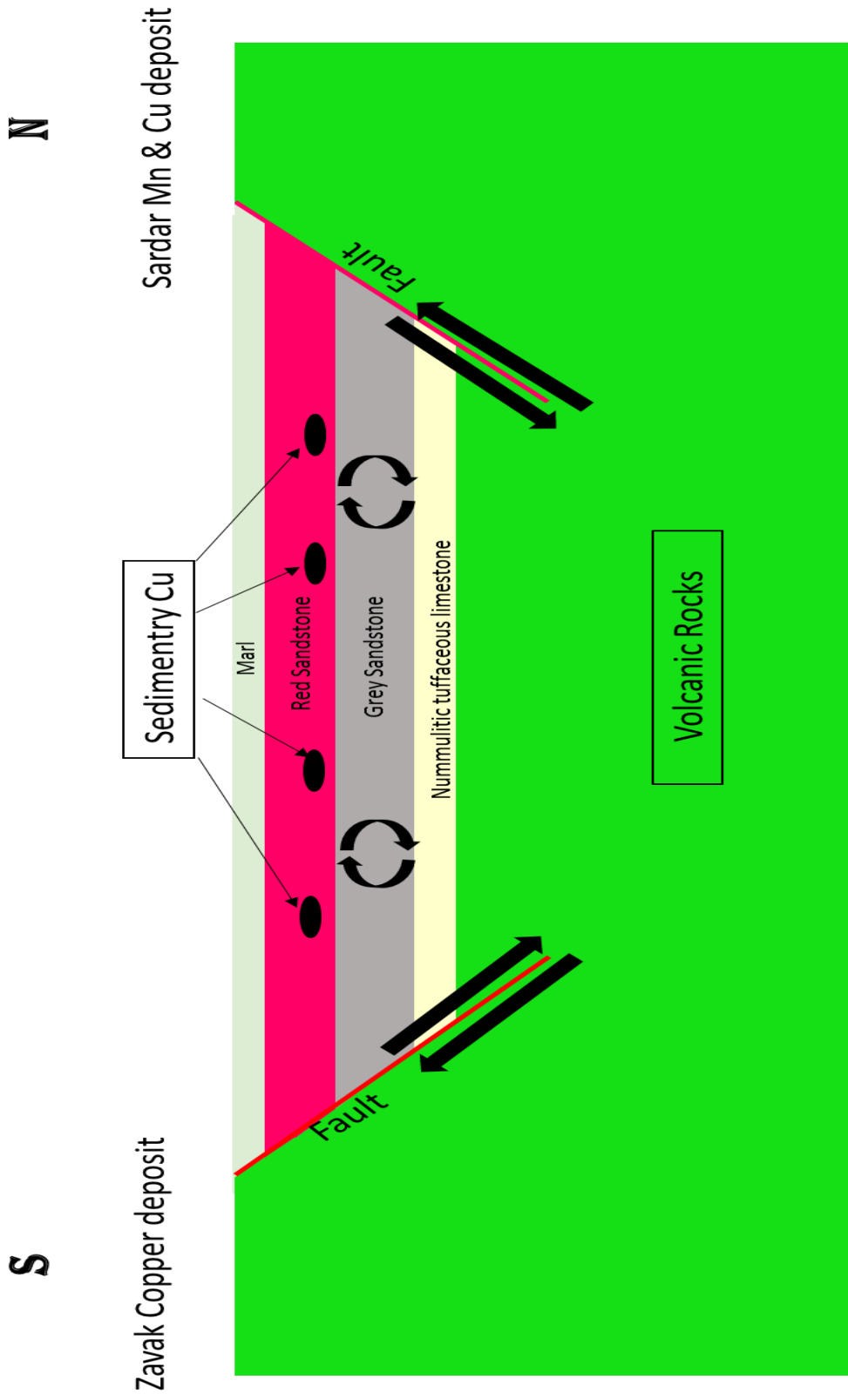
با پر شدن حوضه توسط رسوبات تخریبی و انباشته شدن رسوبات فرایند دیاژنز آغاز می‌گردد. در مرحله دیاژنز آغازین (Early diagenesis)، قرمز شدن رسوبات رخ داده است. این فرآیند شامل تخریب کانی‌های سیلیکاته آهن‌دار (مانند بیوتیت، پلاژیوکلاز، هورنبلند و ...) می‌باشد که طی آن، آهن موجود در شبکه آن‌ها آزاد و اکسید شده، اطراف دانه‌های آواری را احاطه نموده و باعث قرمز شدن رسوبات می‌گردد (Walker, 1989). با ادامه فرآیند دیاژنز، سیمانی شدن کلسیت رخ می‌دهد (Flint, 1989; Durieux & Brown, 2007). با ادامه فرآیند دیاژنز (Middle diagenesis)، با توجه به نفوذپذیری ایجاد شده، معبر لازم جهت عبور سیالات بین سازندی فراهم می‌گردد. سیال بین سازندی اکسیدان و گرم با شوری بالا، در مسیر عبور خود از بین رسوبات قرمز، مس آزاد شده از دانه‌های سیلیکاته ناپایدار را شسته و با خود به درون فسیل‌های گیاهی حمل می‌کند و کالکوسیت اولیه، جانشین فسیل‌های گیاهی می‌شود (شکل ۷-۴).

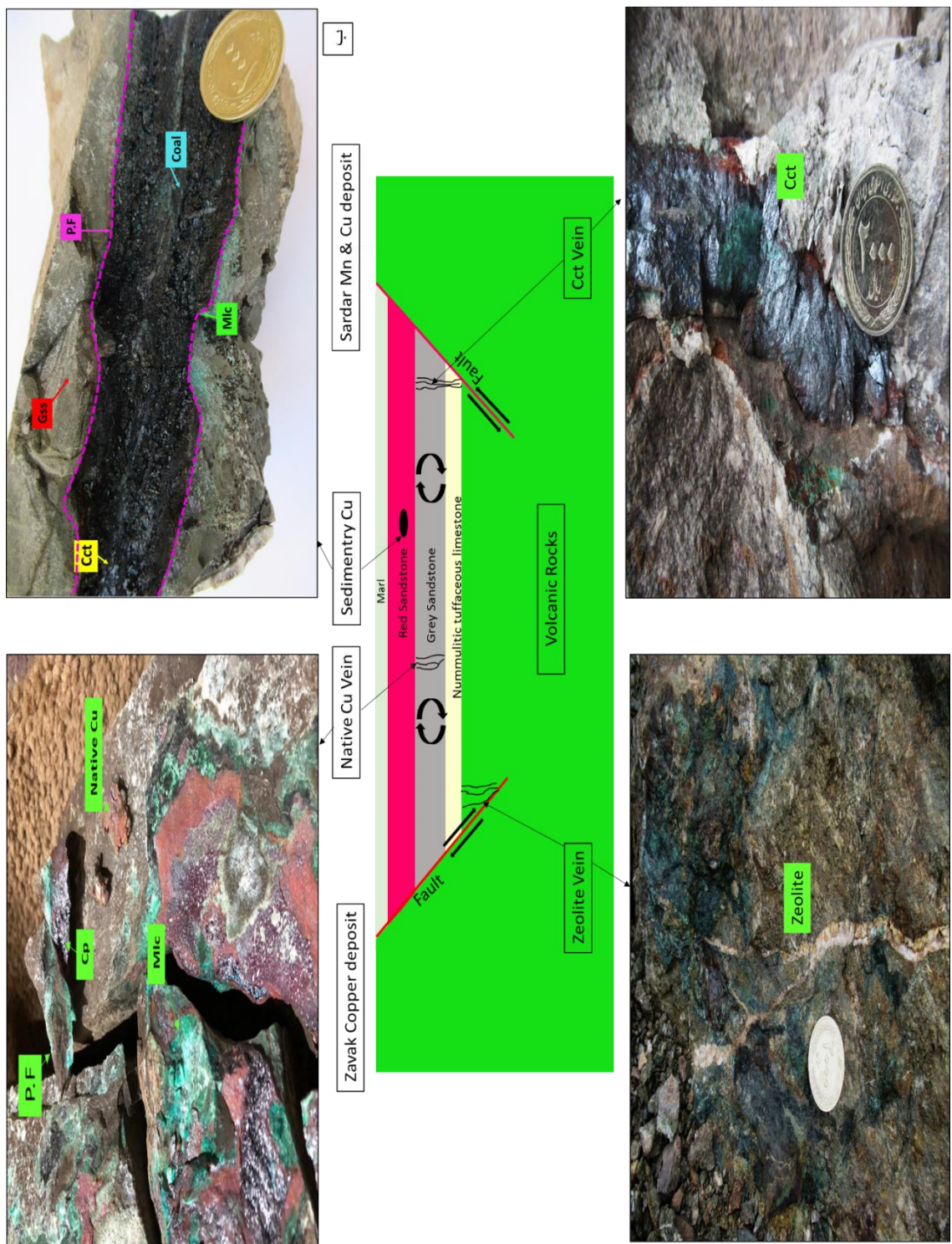
در مرحله دیاژنز تأخیری (Late diagenesis) که باعث فشرده شدن و سنگ شدن رسوبات می‌گردد تحرک مجدد مواد معدنی رخ داده که بصورت دانه پراکنده و رگه-رگچه‌های کالکوسیت و مس طبیعی در ماسه سنگ و نیز سنگهای آتشفشانی نمایان است.

در این مرحله نیز در یالهای جنوبی و شمالی تاقدیس کاهک، وجود زئولیت دانه پراکنده بیانگر رخداد این مرحله می‌باشد که همراه کانه زایی رگچه‌ای کلسیتی یا زئولیتی حاوی کالکوسیت (بویژه در یال جنوبی در کانسار زاواک) یا رگه‌های حاوی کالکوسیت یا مس طبیعی (بویژه در یال شمالی در کانسار منگنز و مس سردار) می‌باشد.

درواقع، در کانسارهای مس زاواک و سردار، بعد از ته نشست سولفیدها و تدفین آنها، فرایند دیاژنز موجب تبلور کانی‌ها و رخداد دگرسانی زئولیتی شده است (شکل ۷-۴).

الف





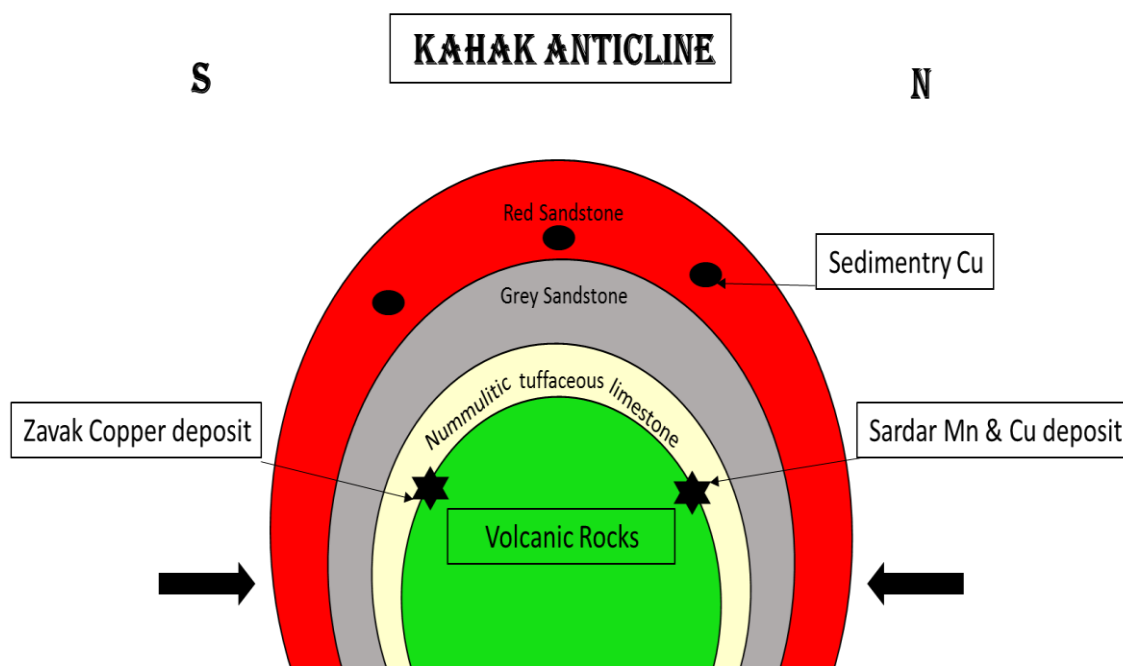
شکل ۴-۷: الف) مرحله دوم کانه زایی و بطور عمده رخداد کانه زایی مس رسوبی ، ب) عملکرد دیاژنز بر کانه زایی‌های

زاواک و سردار

۷-۳-۳ - مرحله ۳: عملکرد کوهزایی

در نتیجه این بالآمدگی و فعالیت‌های تکتونیکی و ساختاری مربوطه، رگه‌های کربناتی حاوی کمی کالکوسیت در یال شمالی شکل گرفته که قطع کننده ماسه‌سنگ خاکستری و آهک نومولیتی است و در برخی نقاط لایه منگنز را نیز قطع کرده‌است. دو روند عمده این رگه‌ها بصورت شمال شرقی-جنوب غربی و شمال غربی-جنوب شرقی می‌باشد. وجود رگه‌های زئولیتی حاوی کمی کالکوسیت نسل دوم در یال جنوبی در کانسار زاواک نیز حاکی از رخداد همین مرحله است (شکل ۷-۴ ب).

در این مرحله، توالی محدوده مورد نظر چین خورده و بالا آمده و در نتیجه این بالآمدگی تاقدیس کاهک ایجاد شده‌است (شکل ۷-۵).



شکل ۷-۵: کوهزایی و بالآمدگی در منطقه کاهک

۷-۳-۴ - مرحله ۴: هوازگی و سوپرژن

سرانجام در طی مرحله هوازگی و سوپرژن، آب‌های سطحی طی مسیر خود، در بالای سطح آب زیرزمینی و در محیط اکسیدان، کانی‌های سوپرژن اکسیدی نظیر مالاکیت و کانی‌های آهن- منگنز را ایجاد می‌نمایند. همچنین برخورد سیالات جوی حاوی مس با کانی‌های سولفیدی موجود در مسیر در زیر سطح ایستابی آب‌های زیرزمینی، موجب ایجاد سولفیدهای ثانویه سوپرژن نظیر کالکوسیت، کوولیت و دیژنیت می‌گردد. در کانسار زاواک بورنیت بطور گسترده به کالکوسیت تبدیل شده است.

۷-۴-۴ - تیپ کانه زایی مس در تاق‌دیس کاهک

۷-۴-۱- مقایسه کانه‌زایی مس با میزبان آتشفشانی با کانسارهای سولفید

توده‌ای آتشفشانزاد

کانسارهای VMS یکی از شناخته شده ترین نوع تیپ کانسارها هستند که تاکنون مورد مطالعه قرار گرفته اند. رخداد این کانسارها در توالی آتشفشانی- رسوبی دریایی در تمام سنین (از ۳/۵ میلیارد سال تا عهد حاضر) در همه قاره ها، و از لحاظ اقتصادی منبع مهم فلزات پایه (مس، سرب، روی)، قیمتی (نقره، طلا) و همچنین دیگر فلزات از قبیل (کبالت، قلع، ایندیم، کادمیم، تیتانیوم، گالیم، سلنیم، آنتیموان، بیسموت،) می باشند (Tornos et al., 2016). کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد به طور معمول در حوضه‌های گسترش کف اقیانوس‌ها و یا محیط‌های کمانی و پشت کمانی تشکیل می‌شوند (Galley et al., 2007; Gibson and Galley, 2007). همچنین ریف‌ها، گسل‌های کششی و نفوذپذیر و تخلخل مورد نیاز برای تغذیه و یا تخلیه سیالات گرمایی مرتبط با ذخایر VMS را فراهم می‌کنند. شیب زمین گرمایی فزاینده در محیط‌های ریف‌تی منجر چرخش سیالات در پوسته زمین شده که همراه با دگرسانی و کانه‌زایی می‌باشد (Spooner and Fyfe 1973). این کانسارها از نظر

جایگاه تکتونیک، سنگ شناسی میزبان و محتوای فلزی به انواع مختلفی طبقه‌بندی شده اند، اما قوی‌ترین و جامع‌ترین طبقه‌بندی پذیرفته‌شده بر اساس مطالعات ترکیب توالی چینه‌شناسی، سنگ-نگاری سنگ درونگیر و جایگاه ژئودینامیکی می‌باشد. طبقه‌بندی کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد براساس ترکیب توالی چینه‌شناسی، شامل پنج گروه می‌باشد (Franklin et al. 2005):

- ۱- تیپ مافیک- اولترامافیک (قبرس)، ۲- تیپ مافیک سیلیسی کلاستیک (یا پلیتیک مافیک یا تیپ بشی)، ۳- تیپ بایمدال مافیک (تیپ نوراندا) ۴- تیپ بایمدال فلسیک (تیپ کروکو) ۵- تیپ بایمدال فلسیک- سیلیسی کلاستیک یا تیپ بثورست). سه گروه اول یاد شده توالی میزبان کم‌پایین به طور عمده از سنگ‌های مافیک تشکیل شده است که مقادیر متنوعی از سنگ‌های سیلیسی آواری، رسوبی-شیمیایی و فلسیک نیز آنها را همراهی می‌کنند. در مقابل، سنگ‌های رسوبی و آذرین فلسیک عمده ترکیبات تشکیل دهنده توالی میزبان دو گروه آخر کانسارهای VMS می‌باشد (Barrie and Hannington 1999; Franklin et al 2005; Galley et al., 2007).

اگرچه در کانسار مس زاواک و سردار، برخلاف کانسارهای VMS رخساره سولفید توده‌ای مشاهده نمی‌شود اما رخساره‌های رگه-رگچه‌ای (استرینگر) و برون‌می (منگنز چینه‌سان) به خوبی مشاهده می‌شود.

کانه‌زایی سولفیدی در تاق‌دیس کاهک به علت داشتن محیط تکتونیک تشکیل، جایگاه زمین‌شناسی تهنشست، سن کانه‌زایی، سنگ میزبان شکل هندسی ماده‌معدنی، رخساره‌های کانه‌دار ساخت و بافت و دگرسانی دارای بیشترین شباهت با فعالیت‌های مرتبط با سامانه‌های گرمایی کانسارهای تیپ پلیتیک مافیک (تیپ بشی) است.

کانسارهای سولفید توده‌ای، به عنوان کانسارهای سولفید توده‌ای مرتبط با میزبان آتشفشانی شناخته می‌شود به صورت عدسی‌هایی از سولفیدهای توده‌ای چند فلزی در نزدیکی کف دریا در محیط‌های

آتشفشانی زیردریایی تشکیل می‌شوند، این کانسارها از سیالات گرمایی غنی از فلزات و برون‌می تشکیل می‌شوند.

بیشتر کانسارهای سولفید توده‌ای آتشفشانزاد دارای دابخش مهم هستند.

-بخش سولفید توده‌ای تپه‌مانند و یا صفحه‌ای

-بخش رگه و رگچه‌دار

کانسارهای VMS در محیط زیر دریایی بیشتر همراه با سنگ‌های آتشفشانی و در سنگ‌های رسوبی از قبیل شیل یافت می‌شوند. این کانسارها در امتداد پشته‌های میان اقیانوسی یا در حوضه‌های پشت قوسی در حال گسترش (مانند کانسارهای قبرس)، بعضی دیگر در جزایر قوسی و یا حاشیه‌های قاره-ای (نظیر کانسازهای کوروکو)، تعدادی در آتشفشان‌های جزیره‌ای درون صفحه‌ای و تعدادی در محیط-های تکتونیکی ناشناخته مربوط به کمربندهای سنگ‌های سبز آرکن کشف می‌شوند.

قابل ذکر است که کانه‌زایی مس با میزبان آتشفشانی در منطقه (مس زاواک و سردار) به دلیل وجود پهنه استرینگر که حاوی دگرسانی‌های کلریتی و سریسیتی و فاقد دگرسانی زئولیتی بوده مشابه با کانه‌زایی سامانه VMS می‌باشد که در زیر کف دریا رخ داده است.

جدول ۷-۱- مقایسه کانسارهای زاواک و سردار با ویژگی‌های انواع کانسارهای سولفیده توده‌ای آتشفشانزاد (VMS)

ویژگی‌های شاخص	کانسار زاواک	کانسار مس سردار	تیپ سیلیسیکلاستک (Bathurst) فلسیک	تیپ بایمدال فلسیک (Kuroko)	تیپ بایمدال مافیک (Noranda)	تیپ پلیتیک مافیک (Besshi)	تیپ مافیک-الترامافیک (Cyprus)
محیط نکتونیکی	کمان	کمان	کمان و پشت کمانی	کمان و پشت کمانی	کمان‌های نوظهور اقیانوسی	پشت کمانی، ریغهای قاره‌ای	پشته‌های میان اقیانوسی، پشت کمانی
سنگ‌های میزبان و همراه	آگلومرای آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک، ماسه سنگ قرمز و خاکستری	گدازه‌های آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک، ماسه سنگ قرمز و خاکستری	داسیت، ریولیت و شیل سیاه	ریولیت و داسیت و سنگ‌های آذرآواری فلسیک	بازالت، آندزیت و آذرآواری	گدازه‌های بازالتی، آندزیت-بازالتی، شیل، سیلستون سیاه، ماسه سنگ	بازالت‌های بالشی و سنگ‌های الترامافیک
کانی‌های معدنی	کالکوسیت، مگنتیت	کالکوپیریت، کالکوسیت	اسفالریت، گالن، پیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت	اسفالریت، گالن، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، تتراهدریت	پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مگنتیت، پیروتیت	پیریت، کالکوپیریت
کانی‌های باطله	کلسیت، کوارتز، سربیسیت، کلریت	کلسیت، کوارتز، سربیسیت، کلریت	کربنات، کوارتز، سربیسیت، باریت	باریت فراوان، کوارتز	کلریت، کوارتز، کربنات	کلریت، کوارتز، سربیسیت، اپیدوت	کوارتز، کلریت
عناصر فلزی	Cu	Cu	Zn-Pb-Cu	Pb-Zn	Cu-(Zn)	Cu-Zn	Cu
دگرسانی	کلریتی، سربستی و زئولیتی	کلریتی، سربستی و زئولیتی	سربستی، سیلیسی، کلریتی، کلسیتی	سربستی، سیلیسی، کلریتی	کلریتی و سربستی	کلریتی، سیلیسی، سربستی، اپیدوتی	کلریتی، سیلیسی، سربستی
مثال از تیپ‌های مشابه در ایران	تحقیق حاضر	تحقیق حاضر	کانسار چاه‌گز Mousivand et al., (2011)، موسیوند و همکاران (۱۳۹۰)	کانسار باریکا (تاج‌الدین و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار ورن‌دان (هاشمی و همکاران، ۱۳۹۶)	کانسار سرگز Badrzadeh et al., (2011)	کانسار بوئات موسیوند و همکاران (۱۳۹۵) و کانسار نوده مغفوری و همکاران، ۱۳۹۳	کانسارهای شیخ-عالی (Rast et al., 2002)، قزل‌داش (امام‌علی-پور و مسعودی، ۱۳۷۶)

۷-۴-۲- مقایسه کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی با تیپ مانتو

کانسارهای مس نوع مانتو از گونه کانسارهای چینه کران با میزبان گدازه‌های آتشفشانی هستند و معمولاً قربات با کانون‌های ولکانیسم که رویکرد آن وجود دایک‌های بازیک است دیده می‌شوند. شناخته‌ترین کانسار نوع مانتو کانسار بوئنا اسپرانزا در شمال شیلی است که خود به سه زیر گونه بوئنا اسپرانزا (Buena Esperanza)، مانتوبلانکو (Mantosub-type) و کارولینا (Carolina de Michilla) (sub-type) تقسیم شده است (Espinoza et al, 1991). گسترده‌ترین مطالعات بر روی این تیپ از

کانسارها در شیلی و کانادا صورت گرفته است (Kojima et al, 2009). سن این ذخایر در کشور شیلی، ژوراسیک و کرتاسه می‌باشد (Kirkham, 1996; Kojima et al, 2009). کانسارهای مس نوع مانتو در شیلی به عنوان سومین تولید کننده مس پس از کانسارهای نوع پورفیری و IOCG شناخته می‌شوند. کانسارهای تیپ مانتو در دنیا محدود است و به طور عمده در شیلی قرار دارند که کانه‌زایی‌های مس تیپ مانتو در شیلی مربوط به دوران‌های مزوزوئیک و سنوزوئیک می‌باشند که در یک مجموعه ولکانوپلوتونیک دیده می‌شوند که این مجموعه در کمان ماگمایی آند قرار دارد (جدول ۷-۳ و ۷-۴). این کانسارها در شیلی در نزدیکی کانسارهای مس پورفیری و در ریفت داخل کمان بوجود آمده‌اند (Wilson et al, 2003; Tosdal et al, 2003). در شیلی، برخی کانسارهای مس تیپ مانتو شامل السولدادو (Elsoldado) و کانسارهای منطقه لاسرنا (Laserana) دارای سنگ میزبان گدازه‌های آذرآواری می‌باشند (Cisternas & Rieger et al, 2008; Wilson & Zentili, 2006; Hermo silla, 2006). طبق پژوهش‌های (Espinonza et al, 1996; Ramirez et al, 2006; Richard et al, 2001) فراوانترین رخدادهای کانه‌زایی مس نوع مانتو در مناطق کششی و در کمربندهای ماگمایی مرتبط با فرورانش ژوراسیک تا کرتاسه صورت گرفته است. سنگ میزبان این نوع کانسارها بیشتر در سنگ‌های آذرآواری آندزیتی و گدازه‌های آندزیتی آمیگدالوئیدال در توالی آتشفشانی آندزیتی-بازالتی کالک آلکالن تا آندزیتی داسیتی است (Wilson et al, 2003; Trista-Aguilera et al, 2006; Haggan et al, 2009; Camus, 1990; Kojima et al, 2009). در کانسارهای نوع مانتو کانه‌زایی به‌طور کلی توسط شکستگی‌های نفوذپذیر کنترل می‌شود و همچنین زمین‌شناسی این تیپ از کانسارها متفاوت می‌باشد (Zentili, 1997) و ماده معدنی نیز به صورت رگه-رگچه ای، لامینه، پرکننده فضاهای خالی و جانیشینی دیده می‌شوند (Espinonza et al, 1996; Kojima et al, 2009; Ramirez et al, 2006). به لحاظ کانی شناسی نیز کانسارهای تیپ مانتو شامل کانی‌های شاخص کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوولیت، مس و نقره طبیعی، به همراه مقادیری اسفالریت و پیریت می‌باشد (Santo, 1984; Wilton & Sinclair, 1988; Wolf et al, 1990; Betzhold & Roth, 2000).

(Haggan et al, 2003; Wilson et al, 2003 ; Kojima et al , 2009; Wilson et al, 2006).

ماده معدنی بطور غالب پرکننده حفرات، رگه-رگچه‌ای، جانشینی و دانه پراکنده است و دگرسانی در

کانسارهای تیپ مانتو معمولاً از نوع سیلیسی، سرسیتی، کلریتی و کربناتی می‌باشد (Espinonza et

. (al, 1996; Wilson et al, 2003; Santo, 1984).

جدول ۷-۲- مقایسه کانسارهای سردار و زاواک با کانسارهای تیپ مانتو، طبقات قرمز آتشفشانی و نوع میشیگان.

Volcanic Redbed	Type Michigan	Manto Type	کانسار مس سردار	کانسار مس زاواک	ویژگی‌های شاخص
کافت درون قاره ای و نزدیک به حواشی صفحات	کافت نیمه قاره ای	محیط کششی مرتبط با فرورانش آند و حوضه های پشت کماتی	کمان	کمان	محیط تکتونیکی
گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک و توف	بازالت آمیگدالوئیدال با میان لایه های کنگلومرای	گدازه های آندزیتی بازالتی	گدازه های آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک و ماسه سنگ قرمز و خاکستری	آگلومرای آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک و ماسه سنگ قرمز و خاکستری	سنگ‌های میزبان و همراه
کالکوسیت، مس طبیعی	مس طبیعی، نقره، کالکوسیت	کالکوسیت، مس طبیعی	کالکوپیریت و کالکوسیت	کالکوسیت، مگنتیت	کانی‌های معدنی
-----	سری تولیتی	-----	کلسیت، کوارتز، کلریت	کلسیت، کوارتز، کلریت	سری ماگمایی
عموما بدون دگرسانی مرتبط با کانه زایی	عموما بدون دگرسانی مرتبط با کانه زایی	سیلیسی، کلسیتی، آلبیتی، پروپیلتیک	کلریتی، سرسیتی و زنولیتی	کلریتی، سرسیتی و زنولیتی	دگرسانی
Boric et al 2002, Cabral & Beaudoin, 2007	Ramirez et al., 2006; Sillito, 1997	Kirkham, 1999, Oliveros et al, 2008	تحقیق حاضر	تحقیق حاضر	مرجع

جدول ۷-۳- مقایسه کانسارهای سردار و زاواک با کانسارهای تیپ مانتو در شیلی

ویژگی‌های شاخص	کانسارمس زاواک	کانسار مس سردار	کانسار مس میان‌دشت	شیلی (بوئنا اسپرانز)	کانسار السولدادو	کانسار Cu-Ag مانتو بلانکو
موقعیت جغرافیایی	ایران (شرق شاهرود)	ایران (شرق شاهرود)	ایران (شرق شاهرود)	شیلی	مرکز شیلی	شمال شیلی
سنگ‌های میزبان و همراه	آگلومرای آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک و سنگ قرمز و خاکستری	گدازه آندزیتی-بازالتی، توف ماسه ای، آهک و ماسه سنگ قرمز و خاکستری	گدازه و واحد آذر آواری با ترکیب آندزیت، آندزیت-بازالت	گدازه های بازالتی و آندزیتی مگاپورفیری	بازالت، ربوداسیت	آندزیت، داسیت و ربولیت
کانی‌های معدنی	کالکوسیت، مگنتیت	کالکوپیریت و کالکوسیت	کالکوسیت، کالکوپیریت	اکالکوسیت، کالکوپیریت، هماتیت	پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت	پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت
کانی‌های باطله	کلسیت، کوارتز، سربیسیت، کلریت	کلسیت، کوارتز، سربیسیت، کلریت	کربنات، کلریت، کوارتز و هماتیت	کبنات، کلریت، سیلیس، هماتیت و آلکالی فلدسپار	کلسیت، آلپیت، فلدسپار پتاسیم و کلریت	-----
سن واحد میزبان	اؤسن میانی	اؤسن میانی	اؤسن میانی	کرتاسه	کرتاسه	ژوراسیک
دگرسانی	کلریتی، سربیسیتی و ژئولیتی	کلریتی، سربیسیتی و ژئولیتی	سربیسیتی، آرژیلی، سیلیسی و کلریتی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی، آلپیتی و هماتیتی	کربناتی، کلریتی، سیلیسی، آلپیتی و هماتیتی	آلبیتی، اپیدوتی، کلریتی، سربستی، ایلیتی، کوارتز
مثال از تیپ‌های مشابه در ایران	تحقیق حاضر	تحقیق حاضر	اسماعیلی و همکاران، ۱۳۹۵	(Kirkham, 1999)	(Boric et al, 2002)	(Ramirez et al, 2006)

۷-۴-۳- مقایسه اندیس‌های مس با میزبان تخریبی در منطقه با

کانسارهای مس رسوبی

کانسارهای مس چینه‌سان - چینه کران بعد از مس پورفیری منبع مهم مس دنیا به شمار می‌روند. این کانسارها از دو میلیارد سال قبل تا میوسن تشکیل شده‌اند (Sawkins, 1984). این کانسارها اکثراً در مراحل ابتدایی ریفت‌ها بوجود آمده‌اند.

کانسارهای مس رسوبی را بر اساس نوع سنگ میزبان، به سه دسته کانسارهای همراه با ماسه سنگ دانه درشت، کانسارهای همراه با کربنات و شیست دولومیتی تقسیم بندی کرد (Rotieh, 1963). این ذخایر به دو زیر گروه Kupferchifer-type که در ته نشست‌های محیط دریایی و یا دریاچه های

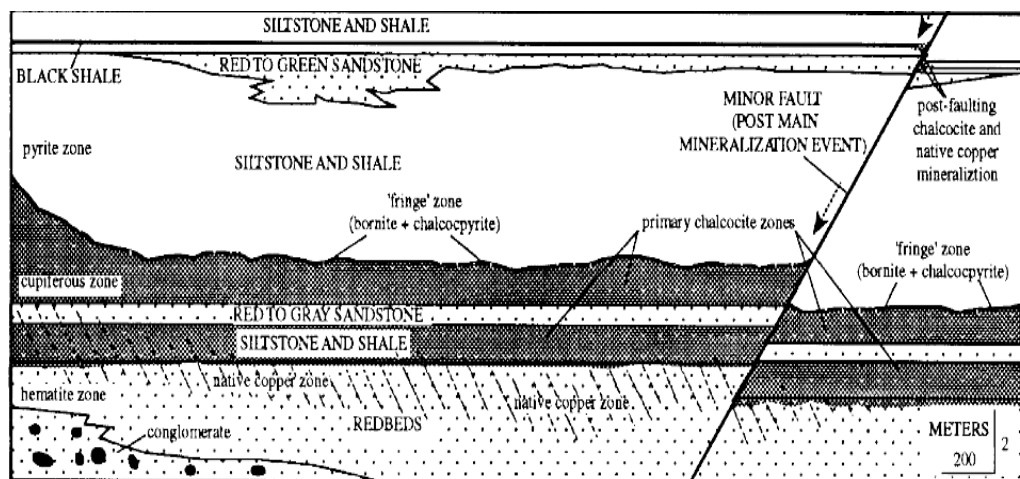
بزرگ تشکیل می‌شوند، و Redbed-type که در سنگ‌های تشکیل شده در محیط قاره‌ای رخ می‌دهند، تقسیم نمود (Kirkham, 1989).

بر اساس هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) کانسارهای مس رسوبی به سه دسته Revett, Reduced facies و Redbed تقسیم می‌شوند. تفاوت این سه دسته در سنگ میزبان، نوع و میزان عامل احیا در محیط رسوبگذاری است.

۱) مدل رخساره احیایی (Reduced facies: RF)

ذخایر تیپ رخساره‌های احیایی در مناطقی یافت می‌شوند که در آن سنگ‌های رسوبی تخریبی قاره-ای توسط شیل‌ها و کربنات‌های دریایی یا دریاچه‌ای غنی از پیریت و مواد آلی با گسترش وسیع در مقیاس ناحیه‌ای پوشیده شده‌باشند. این تیپ کانسارها دارای ذخیره عظیمی می‌باشند و اغلب به صورت معادن زیرزمینی برداشت می‌شوند. سنگ‌های شیلی و کربناتی سد ژئوشیمیایی مناسبی را در مقابل حرکت سیال کانه‌ساز با دمای ۵۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد ایجاد می‌کنند و از این طریق باعث ته‌نشست کانه‌های فلزی می‌گردند. سنگ میزبان شیل‌ها یا کربنات‌ها و یا سنگ‌های مجاور آن‌ها، ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومرا می‌باشند. این نوع کانسارها در موقعیت تکتونیکی آلاکوژن و یا ریفت درون قاره‌ای و محیط جزر و مدی تشکیل می‌شوند (Hitzman et al, 2005; Cox et al 2007). دگرسانی غالب در این کانسارها، Bleaching و دولومیتی شدن می‌باشد. مس در این دسته از کانسارها، از رسوبات Redbed کم‌پایین تامین می‌گردد (Kirkham, 1989; Hitzman et al, 2005) خود رخساره احیایی روی سنگ‌های بازالتی موجود در محیط ریفتی قرار می‌گیرد (شکل ۷-۱۰).

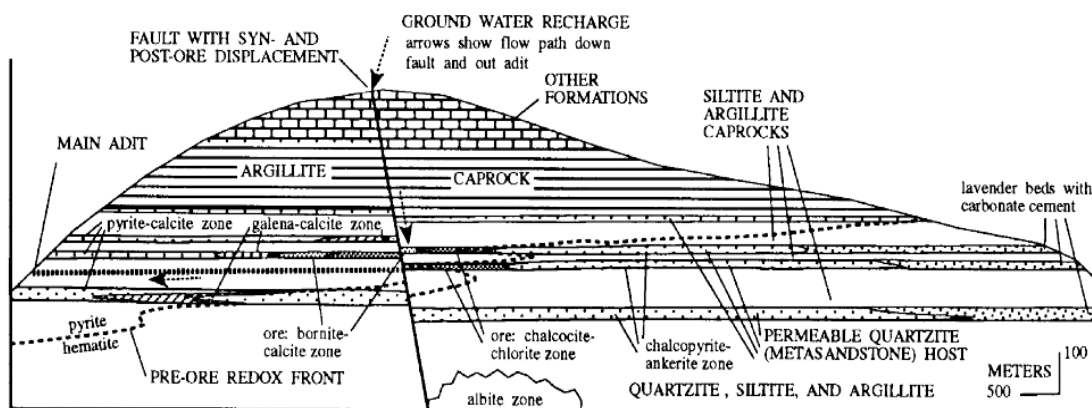
در مواقعی که شاهدهی برای ریفت شدگی دیده نمی‌شود، رخساره احیایی روی سنگ‌های رسوبی تخریبی قدیمی که دارای ماهیت تخریبی از سنگ‌های مافیک است، قرار دارد (Hitzman et al, 2005; Cox et al 2007). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسار کوپرشیفر، کانسارهای مس زامبیا و کانسار Kamoto در کنگو اشاره کرد.



شکل ۷-۱۰: شکل شماتیک از کانه‌زایی در کانسار وایت پین، تیپ رخساره احیایی (Mauk & Hieshima, 1992) بر گرفته از (Cox 1986).

۲) مدل رخساره‌های ماسه‌سنگی احیایی (Revelt: RV)

این مدل که با غنی‌شدگی نقره مشخص می‌گردد، دارای سنگ میزبان ماسه سنگ کوارتزی، متاسیلستون و شیل و رس می‌باشد. این سنگ‌ها معمولاً آثاری از دگرگونی را نشان می‌دهند. این تیپ ذخایر در طبقات ضخیم کوارتزیت احیایی (پیریت دار) که تا حدی دگرگون شده‌اند، یافت می‌شود. در این تیپ کانی‌سازی‌ها، گسل‌ها نقش کنترل‌کننده توزیع کانسنگ‌ها را ایفا می‌کنند (شکل ۷-۱۱). هم‌چنین عامل احیا گسترده و پراکنده بوده و علاوه بر قطعات فسیل گیاهی، در برخی از کانسارها به صورت مایع و یا گاز هیدروکربوری دیده می‌شود (Cox et al, 2007). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ می‌توان به Dzhezkazgan در قزاقستان و کانسار Spar Lake در مونتانا آمریکا می‌باشد.

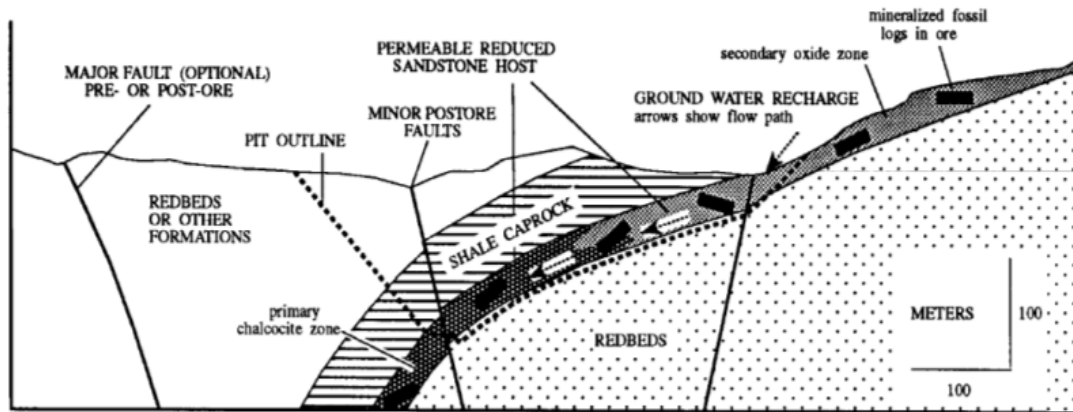


شکل ۷-۱۱: شکل شماتیک از کاندهزایی تیپ رخساره ماسه سنگ احیایی (Einaudi) برگرفته از (cox 1986).

۳) مدل رخساره اکسیدی یا طبقات قرمز (Red Beds: RB)

کانسارهای Redbed، در توالی رسوبی-تخریبی شامل ماسه‌سنگ، کنگلومرا و شیل تشکیل می‌شوند. محیط‌های ریفتی و کششی و نواحی گنبد‌های نمک، برای تشکیل این کانسارها مناسب می‌باشند. محیط تشکیل این کانسارها، محیط‌های ساحلی و نواحی کم عمق است (Hitzman et al, 2005; Kirkham, 1996).

در این نوع کانسارها عامل احیا گستردگی کمتری دارد و غالباً شامل واریزه‌های ارگانیکی موجود در ماسه‌سنگ و به مقدار کمتر پیریت می‌باشد. دگرسانی غالب در این کانسارها، دگرسانی Bleaching بوده که در همه کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed قابل مشاهده است. این مدل کانسارها، ذخایر نسبتاً کمی دارند و اغلب نزدیک به سطح قرار گرفته، از این رو معدن‌کاری آن عمدتاً روباز صورت می‌گیرد (شکل ۷-۱۲). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسار Nacimientو در ایالت نیومکزیکو آمریکا، کانسار Corocoro در بولیوی (Avila-Salinas 1990) اشاره نمود.



شکل ۷-۱۲: شکل شماتیک از کانه‌زایی تیپ رخساره اکسیدی یه طبقات قرمز (Talbot, 1974) برگرفته از (Cox et al., 1986).

هر سه تیپ ذخیره ممکن است در یک ناحیه یافت شوند، زیرا هر سه مدل در ارتباط ژنتیکی با یکدیگر بوده و ممکن است از یک سیال کانه‌ساز سرچشمه گرفته باشند. گسترش زیاد شیل‌های سیاه و سنگ‌های آهکی احتمالاً تیپ رخساره احیایی، وجود شرایط احیایی محلی در طبقات قرمز احتمال تشکیل تیپ ماسه سنگ احیایی را افزایش می‌دهد. کانی‌سازی مس در این ذخایر به صورت پراکنده، چینه‌کران و به صورت موضعی به شکل چینه‌سان یافت می‌شود (Hitzman et al, 2010; Cox et al 2007). با توجه به مقایسه اندیس معدنی مس رسوبی منطقه با هر یک از سه تیپ کانسار مس رسوبی می‌توان نتیجه گرفت که کانه‌زایی منطقه مورد مطالعه در رده کانسارهای مس رسوبی نوع Redbed قرار گیرد (جدول ۷-۵).

جدول ۷-۴- مقایسه ویژگی‌های کانسارهای مس مورد مطالعه با انواع کانسارهای مس رسوبی

مهم ترین خصوصیات کانه‌زائی	Reduced facies Cu	Revett Cu	Redbed Cu	اندیس مس رسوبی مورد مطالعه
موقعیت نکتونیک	ریفت درون قاره ای	ریفت و بطور کلی محیط کششی	محیط کششی و نواحی دارای گنبد نمکی	کمان
محیط ته نشیت	جزر و مدی	حوضه های بسته پلایا و محیط های ساحلی	محیط های ساحلی و نواحی کم عمق	دریایی کم عمق
سنگ میزبان	شیل، سیلتستون، کربنات ریفی، شیل دولومیتی	سکانس ضخیم ماسه سنگی و به مقدار کم سیلتستون و شیل	سکانس تخریبی سرخ شامل ماسه سنگ و کنگلومرا	سکانس تخریبی سرخ شامل تناوب ماسه سنگ و کمی شیل و کنگلومرا
سن	نئوپروتروزوئیک	نئوپروتروزوئیک، اواخر مزوزوئیک و اوایل سنوزوئیک	اؤسن-الیگوسن	
شکل ماده معدنی	لایه ای - عدسی	عدسی همروند با لایه بندی	عدسی همروند با لایه بندی	عدسی همروند با لایه بندی
بافت	دانه پراکنده، جانشینی، لامینه و کلو فرم	دانه پراکنده و جانشینی	دانه پراکنده و جانشینی	عدسی، رگه-رگچه ای - دانه پراکنده
کانی شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کوولیت، کالکوپیریت، دیژنیت، مس طبیعی، پیریت، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، مس و نقره طبیعی	اولیه کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، مالاکیت، کوولیت، دیژنیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
عامل کنترل کننده کانه زایی	محیط احیا شامل شیل سیاه پیریتی، جلبک ها و سولفید بیوزنیک، نفوذپذیری رسوبات کمر پایین	نفوذپذیری لایه های وجود عامل احیا، غسل خوردگی	نفوذپذیری لایه های ماسه سنگ و فسیل های گیاهی	نفوذپذیری لایه های ماسه سنگ و فسیل های گیاهی
دگرسانی	Bleaching و کمی دولومیتی شدن	Bleaching	Bleaching	Bleaching
عامل احیا	مقادیر فراوان پیریت و جلبک	واریزه های فسیل گیاهی و مواد هیدروکربوری	واریزه های فسیل گیاهی و پیریت	واریزه های فسیل گیاهی
منبع مس	رسوبات سرخ کمر پایین	توالی سرخ رنگ	توالی سرخ رنگ	توالی سرخ رنگ
مثال	کوپرفرشیفر در آلمان، زامبیا و کامتو در آفریقا	Dzhezkazgan در قزاقستان و کانسار Spar در مونتانا آمریکا	کانسار Corocoro در بولیوی	تحقیق حاضر

۷-۵- پیشنهادات اکتشافی

- نظر به اینکه کانسار مس زاواک اولین کانسار مس مرتبط با سامانه‌های گرمابی زیردریایی در شرق شاهرود است که در توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن- الیگوسن معرفی می‌شود، پی جویی کانسارهای مشابه زاواک در این محدوده پیشنهاد می‌شود. احتمال رخداد کانه زایی سولفید توده ای غنی از مس در این توالی در منطقه وجود دارد.
- پیشنهاد می‌شود با توجه به ضخامت زیاد توالی آتشفشانی- رسوبی ائوسن در دیگر نقاط ایران که مشابه توالی آتشفشانی- رسوبی در این پهنه از ایران مرکزی می‌باشد، جهت اکتشاف کانسارهای VMS غنی از مس مورد مطالعه دقیق‌تر قرار گیرد.
- با توجه به گسترش کانه‌زایی مس رسوبی در منطقه و حضور چندین اندیس معدنی در این گستره، به‌نظر می‌رسد پتانسیل مس رسوبی در این منطقه بالاست به همین دلیل انجام مطالعات آکادمیک علمی و دقیق بر روی این نشانه‌ها و اکتشاف ذخایر اقتصادی مس رسوبی ضروری است.
- انجام مطالعات ایزوتوپی پایدار (جهت تشخیص منشأ سیال و اجزای سیال کانه ساز) در محدوده معدنی مورد مطالعه (البته نمونه‌ها جهت ایزوتوپی گوگرد آماده سازی و به آزمایشگاهی در خارج از کشور ارسال گردیده است).

منابع فارسی :

- اسماعیلی، ف.، (۱۳۹۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد "کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس میاندشت، شرق میامی"، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- افتخارنژاد، ج. (۱۹۹۲)، نقشه زمین شناسی جاجرم به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور.
- آقاناتی، س.، ع.، و افتخارنژاد، خ.، (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره 40-14 DJ -
- آقاناتی، ع. (۱۳۴۹)، زمین شناسی منطقه فرومد و عباس آباد، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده علوم، دانشگاه تهران، ۷۴ صفحه.
- آقاناتی، ع. (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۵۸۶ صفحه.
- آقاناتی، ع.، (۱۳۸۳)، زمین شناسی ایران. وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور، ۵۸۶ ص.
- بدرزاده، ز.، سبزه یی، م.، امامی، م.، خیمونو، د.، (۱۳۸۹) "مراحل مختلف کانه زایی سولفیدی در کانسار سولفید توده ای نتشفشان زاد سرگز، شمال باختر جیرفت، سندج سیرجان جنوبی"، فصلنامه علوم زمین، شماره ۷۶.
- بشارتی، س.، ذاکری، ل.، فتاحی، ش.، (۱۳۸۵)، "بررسی مینرالیزاسیون و ژنز کانسار مس قزل داش خوی استان آذربایجان غربی"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران.
- بهزادی، م.، (1373)، پایان نامه ارشد " بررسی زمین شناسی اقتصادی اندیس مس قبله بوغ واقع در منطقه طارم سفلی استان زنجان"، دانشگاه شهید بهشتی.

- بویری کوبری، م.، (۱۳۸۹) ، پایان نامه ارشد " زمین شناسی، کانی شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تیپ مس کشت مهکی، شمال باختر فاشهر استان فارس"، دانشگاه تربیت مدرس.
- حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴) الف، ژئوشیمی عناصر اصلی، کمیاب و نادر خاکی (REE) و خاستگاه کانسار منگنز سردار در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در منطقه فرومد، شرق شاهرود، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین المللی علوم زمین، تهران.
- حسینی، س.ر.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۴) ب، الگوی رخداد کانه‌زایی منگنز سردار در توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن در منطقه فرومد، هفتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، دامغان.
- حیدری، ا.، م. ص.، (۱۳۷۸)، گزارش اکتشافات چکشی ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ شامکان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران.
- حیدری، م.، و معانی جو، م.، (۱۳۹۰)، زمین‌شناسی و کانی‌شناسی مس معدن بزرگ (عباس آباد، شرق شاهرود)، دومین همایش ملی انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، خرم‌آباد.
- درویش‌زاده، ع.، (۱۳۸۱)، زمین‌شناسی پوسته اقیانوسی، پترولوژی و دینامیک درونی، انتشارات دانشگاه تهران، ۵۶۹ صفحه.
- رادفر، ج.، کهنسال، ر. (۱۳۷۱)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰/۱ داورزن، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره ۷۳۶۲.
- رجب پور، شاهرخ، عابدینی، علی، علی پور، صمد، & ذاکری. (۲۰۱۳). بررسی کانی سازی و منشأ مس چینه سان در منطقه چشمه کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی. زمین‌شناسی اقتصادی، ص ۴۹-۶۳.
- سامانی، ب.، (۱۳۸۱)، متالوژنی کانسارهای مس "نوع مانتو" در ایران، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.
- سپهری راد، ر.، (۱۳۸۸)، " گزارش پی جویی مس رسوبی در محور کدکن ششتمد شمال تربت حیدریه"، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

- صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س.، و کاظمی مهرنیا، ا.، (۱۳۹۴) ب، ویژگی‌های ایزوتوپی گوگرد کالکوسیت در کانسار مس معدن بزرگ، عباس آباد، - شمال خاور ایران، سی و چهارمین گردهمایی و دومین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران.
- صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س.، و کاظمی مهرنیا، ا.، (۱۳۹۴) الف، کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه ای از کانسارهای مس نوع- مانتو، خاور شاهرود، مجله علوم زمین، شماره جلد ۹۸، صفحات ۹۳ تا ۱۰۴.
- طائفی، ن.، موسیوند، ف.، و صادقیان، م.، (۱۳۹۳) ب، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در مناطق گریگ و گورخان، جنوب شرق شاهرود، ششمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، سیستان و بلوچستان.
- علی‌نیا، ف.، دهقان‌نژاد، م. (۱۳۸۳) مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی ژئوشیمیایی معادن مس عباس آباد شاهرود و برآورد پتانسل معدنی آنها .
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م.، مختاری، ع. ا.، (۱۳۹۰)، "کانی‌سازی مس در سنگ‌های رسوبی میوسن در منطقه تازه‌کند شمال تبریز"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- قربانی، م.، (۱۳۸۱) "دیباچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی، 536 ص.
- کریم‌پور، م. ح.، حیدریان شهری، م. ر.، ملکزاده شفارودی، ن.، (۱۳۸۳)، " آشکارسازی زون های کانی سازی مسیوسولفید تکنار با کاربرد حساسیت مغناطیسی و مگنتومتری"، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مغفوری، س.، راستاد، ا.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۰)، " رخداد کانی‌زایی مس سولفید توده ای نوده در توالی آتشفشانی رسوبی کرتاسه بالایی در جنوب غرب سبزوار"، دومین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه لرستان.

- ملک زاده شفارودی، ن.، کریم‌پور، م. ح.، مظاهری، ا.، 1388 زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی گستره MA-II منطقه پیجویی مس طلای پورفیری ماهرآباد، خراسان جنوبی"، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- منظمی میرعلیپور، ع.، (1377)، پایان نامه ارشد " زمین شناسی، کانی شناسی و ژنز سولفید توده ای مس شیخ عالی"، دانشگاه تربیت مدرس.
- مهدوی، ا.، راستاد، ا.، حسینی برزی، م.، (۱۳۸۶)، " کانی‌شناسی و ساخت و بافت افق‌های کانه‌دار کانسار مس رسوبی مارکشه (Redbed Type) در شمال‌غرب راور"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.
- مهربانی، ب.، فاضلی، ن.، (1380)، " بررسی تیپ کانه زایی مس در کانسار و شنوه جنوب استان قم"، بیستمین گردهمایی علوم زمین.
- موسیوند، ف.، (۱۳۸۲)، پایان نامه ارشد " کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه زایی مس در مجموعه آنتشفشانی رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس"، دانشگاه تربیت مدرس.
- موسیوند، ف.، (1389)، رساله دکتری " زمین شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی-سرب-مس چاه گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسار سولفید توده ای مس-روی-نقره بوانات در پهنه سنندج سیرجان جنوبی"، دانشگاه تربیت مدرس.
- موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، ا.، (۱۳۸۱)، " کانه زایی سولفید توده ای مس-روی-نقره در مجموعه آنتشفشانی رسوبی سوریان در منطقه بوانات در پهنه سنندج سیرجان"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.

- References:
- Alavi M., (1991)"Sedimentary and structural characteristics of the Paleo-Tethys remnants in northeastern Iran" *Geol. Soc Of Amer.Bull.* V. 103, PP.983-992.
- Annels A. E. and Simmonds I. R.,)1984("Cobalt in the Zambian copper belt"
- Asran, M., Ezzat, M., (2012), The pan- African calc- alkaline granitoids and the associated mafic microgranular enclaves (MME) around Wadi Abu Zawal area, North Eastern desert, Egypt: Geology, Geochemistry and petrogenesis, *Journal of Biology and Earth Sciences*, Vol. 2, No.1, p. 1-16.
- Berberian, M. and King, G.C.P.,(1981). Toward a paleogeography and tectonic
- Bogdanov Y. U., Berlyand-kozhevnikov P. V., (1990) "Cupriferous and chromiferous Precambrian deposits in Olekma-Vitim Province, USSR. 8th IAGOD Symposium, Ottawa, Program with Abstracts, A223" *Geological Association of Canada Special Paper* 36.
- Bowen R. and Gunatilak A., (1977) "Copper: Its geology and economics" *Applied Science*, London, 336 p.
- Brill B.A., (1989) "Trace element contents and partitioning of elements in ore minerals from the CSA Cu–Pb–Zn deposit, Australia" *Canadian Mineralogist* 27, 263-274.
- Brown A. C., (1971) "Zoning in the White Pine copper deposit, Ontonogan County, Michigan" *Econ Geol* 66:543–573.
- Brown A. C., (2005) "Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model" *Econ Geol* 100:765–771.
- Brown, A. C. (1992). Sediment-hosted stratiform copper deposits. *Geoscience Canada*. Brown A.C., (1997) "World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: characteristics, genetic concepts and metallogenesis" *Aust J Earth Sci* 44:317–328.
- Brown A.C., (2009) "A process based approach to estimating the copper derived from red beds in the sediment hosted stratiform copper deposit model" *Economic Geology* 104, 857-868.
- Brown, A. C. (1997). World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: Characteristics, genetic concepts and metallogenesis. *Australian Journal of Earth*

Sciences, 44(3), 317-328. Folk R. L., (1980) "Petrology of sedimentary rocks" Hemphill's Book Store. Austin, Texas 185p.

- Chartrand F. M. and Brown A. C., (1985) "The diagenetic origin of stratiform copper mineralization, Coates Lake, Redstone Belt" *Canada* 80, 325-343.
- Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A. and Diggles M.F., (2007) "Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database" US Geological Survey, Open-file report 03-107, 50 p.
- Doyle, M.G., and Allen, R.L. (2003). "Subsea-floor replacement in volcanic-hosted massive sulfide deposits". *Ore Geology Reviews* 23, 183-222.
- Galley, A.G. Hannington, M.D. and Jonasson, I.R. (2007), "Volcanogenic massive sulphide deposits, in Goodfellow, W.D., ed., *Mineral Deposits of Canada: A Synthesis of Major Deposit-Types, District Metallogeny, the Evolution of Geological Provinces, and Exploration Methods*", Geological Association of Canada.
- Ghasemi, H., & Rezaei-Kahkhaei, M. (2015). Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran. *Mineralogy and Petrology*, 109(2), 235-252.
- Hastie A. R., Craig Kerr A., Pearce J., and Mitchell S. F., (2007) "Classification of Altered Volcanic Island Arc Rocks Using Immobile Trace Elements: Development of the Th-Co Discrimination Diagram." *Journal of Petrology* 48 (12). 2341-2357.
- Hitzman M. W., (2000) "Source Basins for Sediment-Hosted Stratiform Copper Deposits - Implications for the Structure of the Zambian Copperbelt", *Journal of African Earth Sciences*, v. 30, p. 855-863.
- Hitzman M. W., Kirkham R., Broughton D., Thorson J. and Selley D (2005) "The sediment-hosted stratiform copper ore system" In: Thompson JFH, Goldfarb RJ, Richards JP (eds) 100th Anniversary volume. Society of Economic Geologists, pp 609-642.
- Hitzman M. W., Selley D. and Bull S., (2010) "Formation of sedimentary rock hosted stratiform copper deposits through Earth History. *Economic Geology* 105, 627-639.
- Kesler, S. E. (1994), "Mineral Resources Economics and the Environment."

- Kirkham R.V., (1989) "Distribution, setting and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits". In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geol Assoc Can Special Paper 36:3–38.
- Kirkham R.V., (1996) "Sediment-hosted stratiform copper" In: Eckstrand OR, Sinclair WD, Thorpe RI (eds) Geology of Canadian mineral deposit types. Geol Surv Can Geol Canada 8:223–240 (also Geological Society of America, the Geology of North America, vol. P-1).
- Kojima S., Trista-Aguilera D., and Hayashi K. i. (2009) "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits". Resource geology, 59(1), 87-98.
- Lemaitre, R. W. (ed.), 2002. Igneous Rocks: A Classification and Glossary of Terms: Recommendations of the International Union of Geological Sciences, Subcommission on the Systematics of Igneous Rocks. Cambridge University Press, Cambridge.
- Lentz, D. (1998) "Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems: the role of extensional geodynamics" OreGeology Reviews 12, pp 289–327
- Lindenberg, H. G., Gorler, K., & Ibbeken, H. (1983). Stratigraphy, structure and orogenic evolution of the Sabzevar Zone in the area of Oryan, Khorasan, NE Iran.
- Lur'ye A.M., (1986) "Formation conditions of copper-sandstone and copper-shale deposits" In, Friedrich, G.H., Genkin, A.D., S.S., Naldrett, A.J., Ridge, J.D., Sillitoe, R.H., Vokes, F.M. eds., Geology and metallogeny of copper deposits, Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, p.477-491.
- Lindenberg, H. G., Gorler, K., & Ibbeken, H. (1983). Stratigraphy, structure and orogenic evolution of the Sabzevar Zone in the area of Oryan, Khorasan, NE Iran.
- Oszczepalski S., (1999) "Origin of the Kupferschiefer polymetallic mineralization in Poland", Mineralium Deposita 34, 599–613.
- Malekzadeh A. Karimpour M.h and Mazaheri S. (2005) "Geology, mineralogy and geochemistry of Taknar polymetal (Cu-Zn-Au-Ag-Pb) deposit (Tak-I) in the Khorasan-Bardaskan" Iran society crystallography and mineralogy, number 2, p.253-272.

- Maynard J.B., (1983) "Geochemistry of sedimentary ore deposits", Springer-Verlag, New York Inc. 305p.
- McMillan W. J. and Panteleyev A. (1990). "Porphyry copper deposits, in: report, R. G. and sheahan, P. A., ed: ore deposit model: Geological Association of Canada. P.45-59.
- Pearce J. A. (1983). "Role of the sub-continental lithosphere in magma genesis at active continental margins."
- Piercey, S. (2015), "a semipermeable interface model for the genesis of subseafloor replacement-type volcanogenic massive sulfide (vms) deposits". *Economic Geology*, Vol. 110, pp. 1655–1660.
- *Precambrian Research.*, v.25, p 75-98.
- Ramdohr P., (1980) "The ore minerals and their intergrowth", 2nd Ed, Pergamon, Press.
- Reichow, M. K., Saunders, A. D., White, R. V., Al'Mukhamedov, A. I., & Medvedev, A. Y. (2005). Geochemistry and petrogenesis of basalts from the West Siberian Basin: an extension of the Permo–Triassic Siberian Traps, Russia. *Lithos*, 79(3-4), 425-452.
- Rose A.W., (1976) "The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits", *Econ.Geol.*, 71, 1036-1048.
- Rose, A. W. (1989). Mobility of copper and other heavy metals in sedimentary environments. *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits*, 36, 97-110.
- Sawlowicz Z., (1990) "Primary copper sulphides from the Kupferschiefer, Poland", *Mineralium Deposita*, v. 25, p. 262–271.
- *sedimentary rocks*", Second edition. Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematic", *Ore Geology Reviews* 23 ,55–70.
- Subias, I., Fanlo, I., Mateo, E., & Garcia-Veigas, J. (2003). A model for the diagenetic formation of sandstone-hosted copper deposits in Tertiary sedimentary rocks, Aragón (NE Spain): S/C ratios and sulphur isotope systematics. *Ore geology reviews*, 23(1-2), 55-70.
- Sun S.S. and McDonough W.F. (1989) "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts; implications for mantle composition and processes", in Saunders, A.D., and Norry, M.J., eds., *Magmatism in the oceanic basins: Geological Society of London Spec. Pub.* 42, p. 313-345.

- "Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, Mew(eds) Sediment-hosted stratiform copper deposits", Geol Assoc Can Special Paper 36:97–110.
- Tornos, F., Peter, J.M., Allen, R., Conde, C. (2015). "Controls on the siting and style of volcanogenic massive sulfide deposits". *Ore Geology Reviews*, doi: 10.1016/j.oregeorev.2015.01.003.
- Tucker, M. E. (2001). *Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks*, third edn.
- Wagner T., Okrusch M., Weyer S., Lorenz J., Lahaye Y., Taubald H. and Schmitt R.T., (2010) "The role of the Kupferschiefer in the formation of hydrothermal base metal mineralization in the Spessart ore district, Germany: insight from detailed sulfur isotope studies", *Mineralium Deposita* 45, 217-239.
- Walker T.R., (1989) "Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits", In: Boyle RW, Brown AC, Jefferson CW, Jowett EC, Kirkham RV (eds) *Sediment-hosted stratiform copper deposits*. Geol Assoc Can Special Paper 36:85–96.
- Wilson N. S., Zentilli M., and Spiro B. (2003). "A sulfur, carbon, oxygen, and strontium isotope study of the volcanic-hosted El Soldado manto-type copper deposit, Chile: the essential role of bacteria and petroleum". *Economic Geology*, 98(1), 163-174.
- Winchester, J., Floyd, P., (1977), Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements. *Chemical geology*. V. 20, p. 325- 343.
- Woodward, L. A., Kaufman, W. H., Schumacher, O. L., & Talbott, L. W. (1974). Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico. *Economic Geology*, 69(1), 108-120.
- Zanetti A., Mazzucchelli M., Rivalenti G., Vannucci, R. (1999). "The Finero phlogopite- peridotite massif: an example of subduction-related metasomatism". *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 134(2-3), pp. 107-122.
- Zhang, H., Zhang, L., Harris, N., Jin, L., Honglin, Y., (2006), U–Pb zircon ages, geochemical and isotopic compositions of granitoids in Songpan-Garze fold belt,

eastern Tibetan Plateau: constraints on petrogenesis and tectonic evolution of the basement, *Contributions to Mineralogy and Petrology*, Vol. 152, p. 75-88.

Abstract:

Copper mineralization at north of Kahak occurred in 186 Km east of Shahrood, in the Central Iran zone and Sabzevar subzone, in Eocene-Oligocene volcano-sedimentary sequence. Lithologically, the host sequence from bottom to top involves Eocene basaltic-andesitic agglomerate and flows, Eocene numulitic limestone, red and grey Eocene-Oligocene sandstones, and Miocene marls, which crop out in the Kahak anticline. Copper mineralization in the area includes: 1) mineralization hosted by volcanic rocks, and 2) mineralization hosted by clastic sedimentary rocks. The volcanic-hosted copper mineralization occurred as stratabound within Eocene volcanic units at southern limb of the Kahak anticline as Zavak copper deposit, and at northern limb of the anticline, as Sardar manganese and copper deposit at footwall of the manganese-bearing horizon. Copper mineralization in the Zavak deposit occurred as vein-veinlets within the agglomerate units and as disseminated within numulitic limestone, and contain chalcocite, pyrite, chalcopyrite, bornite and magnetite, accompanying with chloritic and sericitic alteration. Copper mineralization at the Sardar Mn and Cu deposit occurred as quartz-sulfide veins and disseminations containing bornite, chalcopyrite and pyrite and secondary chalcocite, accompanying with chloritic alteration. These primary mineralization were cross cutted by chalcocite-bearing zeolite veins at the Zavak deposit, and by calcite/ and zeolite-bearing chalcocite or native copper veins and disseminations at the Sardar deposit. It should be noted that manganese mineralization also occurred as layered (stratiform) and exhalative at northern limb of the anticline (i.e., the Sardar Mn and Cu deposit) within numulitic limestone, and at the southern limb as disseminations within tuffaceous sandstone above the limestone unit (i.e., the Zavak deposit). Generally, copper mineralization occurred as vein-veinlets and disseminations at footwall of the Mn-rich layer at both limbs of the anticline.

The sediment-hosted copper mineralization in this area dominantly occurred within the grey and red sandstone units as lenticular (around and within plant fossils aggregations along with layering of the host rocks), vein-veinlets and disseminated textures and structures. Ores within the sedimentary rocks contain primary chalcocite and native copper, and secondary malachite, covellite, cuprite, djajenite and iron oxides-hydroxides. Major gangue minerals are quartz, calcite and chlorite. The plant fossil remnants within the ore horizons were the main reductant agents and ore controls in the host sandstones.

However, some cross-cutting chalcocite and native copper vein-veinlets are observed within the sandstones.

Based on geological, geometry of ores, textures and structures, mineralogy and alteration types in the Zavak copper, and Sardar copper and manganese deposits, it is inferred that copper mineralization in the Kahak anticline occurred through four stages: 1) first stage: copper mineralization due to submarine hydrothermal systems at seafloor (contemporaneously at footwall of the stratiform and exhalative Mn-rich layer), in an extensional intra-rift arc basin within the flows, agglomerates, and numulitic limestone, 2) second stage: basin filling by clastic sediments, and occurring of another copper mineralization phase during burial and early diagenesis processes as lenticular around and within the plant fossils (Redbed-type copper mineralization), and as vein-veinlets during late diagenesis which caused formation of chalcocite and native copper vein-veinlets within sandstones, and within volcanic rocks (similar to the Manto-, Volcanic-Redbed- and Michigan-type copper deposits), 3) third stage: orogenic event resulted in formation of cross-cutting NW-SE and NE-SW chalcocite-bearing calcite veins in the Sardar copper and manganese deposit and formation of chalcocite-bearing zeolite veins in the Zavak copper deposit, and 4) fourth stage: finally, these mineralizations in the Kahak anticline were overprinted by weathering and supergene processes.

Keywords: Copper, manganese, volcano-sedimentary, Eocene, Kahak, sedimentary copper, startabound, manto, Michigan



Faculty of Earth Sciences
M.Sc. Thesis in Economic Geology

Mineralogy, geochemistry and genesis of copper mineralization
in the Eocene-Oligocene volcano-sedimentary sequence,
North of Kahak of Sabzevar

By: Maryam Shoghani Motlagh

Supervisors:

Dr. Fardin Mousivand
Dr. Mahdi Jafarzadeh

September 2019