

صلى الله عليه وسلم



دانشکده علوم زمین
گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار مس - سلسیت بندقیچی

منطقه ترود، جنوب شاهرود

سمیه صالحی نسب

استاد راهنما

دکتر فرج اله فردوست

شهریور ۹۴

فرم صورت جلسه دفاع از پایان نامه تحصیلی دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) نتیجه ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه صالحی نسب به شماره دانشجویی ۹۱۰۴۵۲۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان **کانی شناسی، زمین شناسی و الگوی پیدایش کانسار مس - سلسنتیت بندقیچی منطقه تروود (جنوب شاهرود)** که در تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه : عالی) امتیاز ۱۹/۵۵ دفاع مجدد مردود

۱- عالی (۲۰ - ۱۹)


۲- بسیار خوب (۱۸/۹۹ - ۱۸)

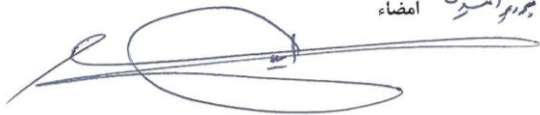
۳- خوب (۱۷/۹۹ - ۱۶)

۴- قابل قبول (۱۵/۹۹ - ۱۴)

۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر فرج الله فردوست	استادیار	
۲- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی	دکتر مریم شیبی	استادیار	
۳- استاد ممتحن	دکتر مسعود علیپور	استادیار	
۴- استاد ممتحن	دکتر مهدی جعفرزاده	استادیار	


رئیس دانشکده :  امضاء






دانشگاه شاهرود

دانشکده: علوم زمین
گروه: پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم سمیه صالحی نسب به شماره دانشجویی: ۹۱۰۴۵۲۴
تحت عنوان: کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و الگوی پیدایش کانسار مس - سلسیتیت بندقیچی منطقه ترو، جنوب شاهرود
در تاریخ ۱۳۹۴ / ۰۶ / ۱۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه ب
مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
			نام و نام خانوادگی: دکتر فرج الله فردوست

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: دکتر مریم شیخی		نام و نام خانوادگی: دکتر مسعود علیپور اصل
			نام و نام خانوادگی: دکتر مهدی جعفرزاده

تقدیم به:

پدر و مادر مهربانم

که همواره دعای خیرشان بدرقه راهم بوده و هست؛

و صبوری و مهرشان تکیه گاه من است.

مشکر و قدردانی

نخستین سپاس و ستایش از آن خداوندی است که بنده کوچکش را در دیامی بی کران اندیشه، قهره‌ای ساخت تا وسعت آن را از دریچه اندیشه‌های ناب آموزگاران بزرگ به تماشایند، لذا اکنون که در سایه سار بنده نوازی‌هایش پایان نامه حاضر به انجام رسیده است بر خود لازم می‌دانم تا مراتب سپاس را از تمامی عزیزانی که در مراحل مختلف پایان نامه مرایاری نموده‌اند به جا آورم و از درگاه خداوند متعال توفیق روز افزون بیکایک آن‌ها را خواستارم.

ابتدا از استاد گرانقدرم جناب آقای دکتر فردوست که زحمات راهنمایی این پایان نامه را بر عهده داشتند و در تمامی مراحل انجام این پایان نامه پیوسته راهنمایی من بودند، قدردانی و تشکر می‌کنم.

از جناب آقای مهندس رحیمی که در تمام مراحل انجام پایان نامه از پیچ‌لگی در این عرصه بر من دریغ ننمودند بی‌نیابت سپاسگزارم.

از اساتید گرامی و بزرگوارم جناب آقای دکتر علیپور و دکتر جعفرزاده که زحمات داورانی این پایان نامه را مقبل شدند و هم‌چنین در طول محارث این مجموعه از نظرات و راهنمایی‌های ارزنده‌شان بهره‌جستم صمیمانه کمال تشکر و قدردانی را دارم.

همچنین تشکر می‌کنم از اساتید و کارشناسان محترم دانشکده علوم زمین به خصوص دکتر موسویزاد، دکتر صادقان، دکتر طاهری، دکتر رضایی، دکتر شیبی، مهندس میرباقری و خانم فارسی و سعیدی که مرا از الطاف بی‌دریغشان محروم نساختند.

از جناب آقای اصغری و احمدی به خاطر بھکاری‌های بی‌شائبه‌شان کمال تشکر و قدردانی را دارم.

نیابت سپاس و قدردانی خود را به خانواده خوبم عرضه می‌دارم که در تمامی مراحل زندگی و تحصیل، همواره پشتیبان و مشوق من بوده‌اند. با سپاس بی‌دریغ خدمت دوستان ارجمند خانم حمید، مصدق، طائفی، میلویش، افروخته، رجایی، حسینی، بزرگری، سلطانی، علیدینی، ممدوری، کرمی، خلیلی، طریقه و آقایان طاشی، وکیلی، هاشمی و عبدالمی که مرا صمیمانه یاری داده‌اند و با تشکر خالصانه خدمت همه کسانی که به نوعی مرا در انجام رساندن این مهم یاری نموده‌اند.

تعهد نامه

اینجانب سمیه صالحی نسب دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه کانی‌شناسی، زمین‌شناسی و الگوی پیدایش کانار مس - سلسیت بندقیچی منطقه ترو، جنوب شاهرود تحت راهنمایی دکتر فرج اله فردوست متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه 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 پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه شاهرود» و یا «Shahrood University» به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا یافته‌های آنها) استفاده شده است شویط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، شویط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ ۱۳۹۴/۰۶/۱۷

امضای دانشجوی سمیه صالحی نسب

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

• متن این صفحه نیز باید در ابتدای نسخه‌های تکثیر شده پایان نامه وجود داشته باشد.

چکیده

کانسار مس بندقیچی در حاشیه شمالی پهنه ساختاری ایران مرکزی، در ۱۲۰ کیلومتری جنوب شاهرود و ۷۰ کیلومتری جنوب شرق تروود واقع شده است. واحدهای رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه محدوده سنی الیگوسن تا کواترنری را در بر می‌گیرند که از قدیم به جدید شامل شامل توالی شیل، گلسنگ، سیلتستون، ماسه‌سنگ و کنگلومرا، توالی مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ، واحدهای آبرفتی عهد حاضر به سن کواترنری، شورابه‌ها و باتلاق‌های سطحی می‌باشد که کانی‌سازی مس با سنگ‌های ماسه‌سنگ، کنگلومرا و سیلتستون با سن الیگوسن همراه می‌باشد. در منطقه بندقیچی کانه‌زایی به سه صورت چینه‌سان (سین‌ژنتیک)، چینه‌کران (اپی‌ژنتیک) و سوپرژن (فرآیندهای سطحی) صورت گرفته است. عواملی نظیر سنگ‌های منشأ مناسب، شورابه‌های کلریدی به عنوان عامل تحرک مس و دیگر فلزات، درزه‌ها و غسل‌ها به عنوان مجراهایی جهت انتقال سیالات، وجود عوامل احیاکننده نظیر مواد آلی و پیریت به منظور ته‌نشست مس از جمله مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی در محدوده کانسار بندقیچی می‌باشند. دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل دگرسانی آرژیلیک و دگرسانی اکسیدهای آهن می‌باشند. کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار به ۶ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل کانی‌های سولفیدی (کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت و پیریت)، کانی‌های کربناته (مالاکیت و آزوریت)، کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی (گوتیت، هماتیت و لیمونیت)، کانی‌های سولفات (سلسیت و ژیپس)، کانی‌های کلریدی (هالیت، آتاکامیت، پارالایورونیت و لایورونیت) و کانی‌های باطله (کلسیت و کوارتز) می‌باشند. مهم‌ترین ساخت‌های مشاهده شده در منطقه ساخت لایه‌ای و رگه‌ای می‌باشد. از جمله مهم‌ترین بافت‌های ماده معدنی در کانسار مورد مطالعه می‌توان به بافت پرکننده فضای خالی، سیمان میان دانه‌ای، دانه‌پراکنده و جانیشینی و توده‌ای اشاره نمود. نتایج حاصل از مطالعات ژئوشیمیایی مشخص نموده است که ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه منشأ فلسیک تا حدواسط دارند. هم‌چنین بررسی ماتریس همبستگی مس با اکسیدهای اصلی و عناصر مختلف نشان‌دهنده همبستگی بالای مس با Fe_2O_3 و MnO و در بین عناصر مختلف بیشترین همبستگی به دست آمده مربوط به مس و نقره و کم‌ترین همبستگی بین مس و استرانسیم می‌باشد. با توجه به گسترش گدازه‌های آندزیتی ائوسن در منطقه مجاور کانسار، فراوانی کانسارها و اندیس‌های مس در منطقه و حضور قطعات آتشفشانی حاوی کانی‌های مس دار در واحدهای کنگلومرایی می‌توان منشأ مس در منطقه را به واحدهای آتشفشانی نسبت داد.

با توجه به ویژگی‌های اساسی کانسار مس بندقیچی از جمله سنگ میزبان، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئومتری، عناصر همراه، محیط ته‌نشست و عوامل موثر در کانه‌زایی می‌توان این کانسار را یک کانسار مس با میزبان رسوبی و از نوع لایه قرمز در نظر گرفت.

کلمات کلیدی: مس رسوبی، ماسه‌سنگ، الیگوسن، لایه قرمز، بندقیچی، ترود

مقالات مستخرج از پایان نامه

- ✓ کانه‌زایی مس بندقیچی در توالی رسوبی الیگوسن در منطقه ترود (جنوب شاهرود)، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، زاهدان، شهریور ۱۳۹۳.
- ✓ کانی‌شناسی و ساخت و بافت کانسار مس بندقیچی در منطقه ترود (جنوب شاهرود)، هجدهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه تربیت مدرس، دی‌ماه ۱۳۹۳.

فهرست مطالب

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

۲	۱-۱- مقدمه.....
۲	۲-۱- موقعیت جغرافیائی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه.....
۴	۳-۱- شرایط آب و هوائی، اقلیمی و پوشش گیاهی.....
۵	۴-۱- وضعیت معیشتی و اجتماعی.....
۵	۵-۱- زمین ریخت‌شناسی.....
۶	۶-۱- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی.....
۸	۷-۱- طرح مسئله و هدف از مطالعه.....
۹	۸-۱- روش مطالعه.....
۹	۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع.....
۹	۲-۸-۱- مطالعات صحرائی.....
۱۰	۳-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی.....
۱۱	۴-۸-۱- مطالعات دفتری.....
۱۱	۹-۱- رده‌بندی کنسارهای مس.....
۱۳	۱۰-۱- کنسارهای مس با میزبان رسوبی.....
۱۴	۱۱-۱- فازهای کانی‌سازی مس در ایران.....
۱۶	۱۲-۱- پراکندگی ذخایر مس ایران.....
۱۹	۱۳-۱- تیپ‌های کانه‌زایی مس در ایران.....
۲۰	۱-۱۳-۱- کنسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال (پورفیری، اسکارن و رگه‌ای).....
۲۱	۲-۱۳-۱- کنسارهای مس سولفید توده‌ای.....
۲۱	۳-۱۳-۱- کنسارهای مس با میزبان رسوبی.....
۲۲	۴-۱۳-۱- کنسارهای مس مانتو (ولکانیک رد بد یا کوبیناوی).....

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

۲۴	۱-۲- مقدمه.....
۲۵	۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی.....
۲۵	۳-۲- چینه‌شناسی.....
۲۸	۱-۳-۲- ترشیری.....
۲۸	۲-۳-۱-۱- رسوبات دریایی نومولیت‌دار (اوسن- الیگوسن) در شمال گسل انجیلو.....
۲۹	۲-۳-۱-۲- رسوبات دریایی ائوسن- الیگوسن در جنوب گسل ترود.....
۳۰	۳-۳-۱-۲- سنگهای آتشفشانی محدوده بین گسل‌های انجیلو- ترود (کوه‌های ترود- چاه‌شیرین).....
۳۴	۲-۳-۲- پلیوسن- کواترنر.....
۳۹	۴-۲- ماگماتیسم.....

۴۰	۵-۲- زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌ساخت
۴۲	۶-۲- زمین‌شناسی اقتصادی
۴۲	۱-۶-۲- کانسارهای فلزی
۴۲	۱-۶-۲-۱- کانسارهای آهن منطقه ترود
۴۳	۱-۶-۲-۲- کانسارهای مس منطقه ترود
۴۴	۱-۶-۲-۳- کانسارهای سرب و روی منطقه ترود
۴۵	۱-۶-۲-۴- کانسارهای طلا منطقه ترود
۴۶	۲-۶-۲- کانی‌سازی غیر فلزی در منطقه ترود

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۴۸	۱-۳- مقدمه
۴۸	۲-۳- واحدهای سنگی موجود در محدوده کانسار بندقیچی
۵۴	۱-۲-۳- واحد M_2 (توالی مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ)
۵۴	۲-۲-۳- واحد OL (توالی شیل، گلسنگ و سیلتستون (OL^{sh}), ماسه‌سنگ، کنگلومرا (OL^s))
۵۶	۱-۲-۲-۳- سیلتستون و شیل
۵۸	۲-۲-۲-۳- واحد ماسه‌سنگی
۶۲	۳-۲-۲-۳- میکروکنگلومرا و کنگلومرا
۶۴	۳-۲-۳- واحدهای آبرفتی عهد حاضر به سن کواترنری و شورابه‌ها (Q^{st}) و باتلاق‌های سطحی (SW)
۶۵	۴-۲-۳- واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن (E^v)
۶۶	۳-۳- ساخت‌های رسوبی موجود در توالی‌های رسوبی محدوده کانسار
۶۶	۱-۳-۳- لایه بندی
۶۷	۲-۳-۳- ساخت کنکرسیونی متحدالمرکز
۶۸	۳-۳-۳- پوسته‌های نمکی شورزده
۶۹	۴-۳- محیط رسوبگذاری
۷۰	۵-۳- زمین‌شناسی ساختمانی محدوده معدنی بندقیچی

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۷۲	۱-۴- مقدمه
۷۲	۲-۴- رخداد کانه‌زایی مس در محدوده معدنی بندقیچی
۷۵	۱-۲-۴- کانه‌زایی به صورت چینه‌سان در منطقه
۷۶	۲-۲-۴- کانه‌زایی به شکل چینه‌کران در منطقه
۷۷	۳-۴- غنی‌شدگی سوپرژن
۸۰	۴-۴- شکل هندسی ماده معدنی
۸۲	۵-۴- لایه‌های احیایی در کانسار مس بندقیچی
۸۴	۶-۴- پهنه قرمز اکسیدان

- ۸۷-۴-۷- دگرسانی
 ۸۸-۴-۷-۱- دگرسانی اکسیدهای آهن
 ۸۹-۴-۷-۲- دگرسانی آرژیلیک

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها

- ۹۲-۵-۱- مقدمه
 ۹۲-۵-۲- کانی‌شناسی
 ۹۴-۵-۲-۱- کانی‌های سولفیدی در کانسار مس بند قیچی
 ۹۴-۵-۲-۱-۱- کالکوسیت Cu_2S
 ۹۶-۵-۲-۱-۲- کولیت CuS
 ۹۷-۵-۲-۱-۳- بورنیت Cu_5FeS_4
 ۹۹-۵-۲-۱-۴- کالکوپیریت $CuFeS_2$
 ۱۰۰-۵-۲-۱-۵- پیریت FeS_2
 ۱۰۱-۵-۲-۲- کانی‌های کربناته در کانسار مس بند قیچی
 ۱۰۱-۵-۲-۲-۱- مالاکیت $Cu_2CO_3(OH)_2$
 ۱۰۲-۵-۲-۲-۲- آزوریت $Cu_3(CO_3)_2(OH)_2$
 ۱۰۳-۵-۲-۳- کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی در کانسار مس بند قیچی
 ۱۰۳-۵-۲-۳-۱- هماتیت، گوتیت و لیمونیت
 ۱۰۴-۵-۲-۳-۲- مگنتیت Fe_3O_4
 ۱۰۵-۵-۲-۴- کانی‌های سولفاته در کانسار مس بند قیچی
 ۱۰۵-۵-۲-۴-۱- سلسیت $SrSO_4$
 ۱۰۷-۵-۲-۴-۲- ژیبس $CaSO_4 \cdot 2H_2O$
 ۱۰۷-۵-۲-۵- کانی‌های کلریدی در کانسار مس بند قیچی
 ۱۰۷-۵-۲-۵-۱- هالیت $NaCl$
 ۱۰۸-۵-۲-۵-۲- آتاکامیت $Cu_2Cl(OH)_3$
 ۱۰۹-۵-۲-۵-۳- پارالایورونیت $PbCl(OH)$
 ۱۱۰-۵-۲-۵-۴- لایورونیت $PbCl(OH)$
 ۱۱۱-۵-۲-۶- کانی‌های باطله در کانسار مس بند قیچی
 ۱۱۱- کوارتز و کلسیت
 ۱۱۲-۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار مس بند قیچی
 ۱۱۲-۵-۳-۱- ساخت لایه‌ای
 ۱۱۲-۵-۳-۲- ساخت رگه‌ای
 ۱۱۳-۵-۳-۳- بافت توده‌ای
 ۱۱۳-۵-۳-۴- بافت پرکننده فضای خالی
 ۱۱۵-۵-۳-۵- بافت سیمان میان دانه‌ای
 ۱۱۵-۵-۳-۶- بافت دانه پراکنده

- ۱۱۶-۷-۳-۵- بافت جانشینی.....
- ۱۱۷-۴-۵- پاراژنز و توالی پاراژنتیک کانی‌ها.....

فصل ششم: ژئوشیمی

- ۱۲۰-۱-۶- مقدمه.....
- ۱۲۰-۲-۶- ژئوشیمی مس.....
- ۱۲۲-۳-۶- طبقه‌بندی شیمیایی سنگهای رسوبی.....
- ۱۲۶-۴-۶- تمایز موقعیت زمین‌ساختی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی.....
- ۱۲۶-۱-۴-۶- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگها با استفاده از عناصر اصلی.....
- ۱۲۷-۲-۴-۶- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ بر اساس عناصر کمیاب.....
- ۱۲۹-۵-۶- تمایز سنگ منشأ ماسه‌سنگها با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی.....
- ۱۲۹-۱-۵-۶- نمودار (روزر و کرش (۱۹۸۸).....
- ۱۳۰-۲-۵-۶- نمودار دوتایی $TiO_2 - Zr$ (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۷).....
- ۱۳۱-۳-۵-۶- نمودارهای متمایزکننده سنگ منشأ ماسه‌سنگها با استفاده از عناصر کمیاب.....
- ۱۳۳-۶-۶- مطالعه فراوانی، همبستگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ‌های میزبان و کانسنگ.....
- ۱۳۷-۷-۶- مطالعه فراوانی، همبستگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در سنگ‌های میزبان و کانسنگ.....
- ۱۳۸-۱-۷-۶- مقایسه عناصر کمیاب منطقه مورد مطالعه با مقادیر پوسته‌ای.....
- ۱۳۹-۲-۷-۶- ضرایب همبستگی عناصر.....
- ۱۴۲-۸-۶- توزیع و پراکندگی عناصر فلزات پایه.....
- ۱۴۴-۹-۶- مطالعه تغییرات عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی.....

فصل هفتم: الگوی تشکیل، تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

- ۱۵۰-۱-۷- مقدمه.....
- ۱۵۰-۲-۷- تقسیم بندی کانسارهای مس با میزبان رسوبی و جایگاه کانسار مس بندقیچی.....
- ۱۵۹-۳-۷- مقایسه کانه‌زایی مس بندقیچی با ذخایر مس رسوبی تیپ لایه قرمز.....
- ۱۵۹-۱-۳-۷- سن کانه‌زایی.....
- ۱۶۱-۲-۳-۷- سنگ میزبان.....
- ۱۶۲-۳-۳-۷- کنترل‌کننده کانه‌زایی.....
- ۱۶۳-۴-۳-۷- محیط تکتونیکي.....
- ۱۶۳-۵-۳-۷- محیط تشکیل.....
- ۱۶۴-۶-۳-۷- ژئومتری ماده معدنی.....
- ۱۶۶-۷-۳-۷- بافت ماده معدنی.....
- ۱۶۷-۸-۳-۷- کانی‌شناسی.....
- ۱۶۸-۹-۳-۷- عیار و تناژ.....
- ۱۶۸-۱۰-۳-۷- هوازدگی.....
- ۱۶۹-۱۱-۳-۷- دگرسانی.....

۱۷۰	۴-۷- انواع شاخص کانسارهای مس رسوبی لایه قرمز و جایگاه کانسار مس بندقیچی
۱۷۲	۵-۷- نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی
۱۷۲	۱-۵-۷- منشأ فلزات
۱۷۴	۲-۵-۷- منشأ سولفور
۱۷۶	۳-۵-۷- تله‌های فلزی
۱۷۶	۴-۵-۷- نوع، منشأ و حرکت سیال
۱۸۱	۶-۷- پیشنهادات اکتشافی
۱۸۳	منابع

فهرست شکل‌ها

صفحه

عنوان

فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱: موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه مورد مطالعه ۳
- شکل ۲-۱: نمایی از پوشش گیاهی محدود و پراکنده در مجاورت کانسار مورد مطالعه ۴
- شکل ۳-۱: نمایی از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای ۶
- شکل ۴-۱: پراکندگی انواع کانسارهای مس در جهان ۱۳
- شکل ۵-۱: زون‌های اصلی کانسارهای مس ۱۷
- شکل ۶-۱: نقشه پهنه‌های ساختاری و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس و گستره زمانی آنها در ایران ۲۰

فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای

- شکل ۱-۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری-رسوبی ایران ۲۴
- شکل ۲-۲: نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای ترود که نشان‌دهنده واحدهای سنگی پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشد ۲۶
- شکل ۳-۲: نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ای ترود بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود که نشان‌دهنده واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه و موقعیت کانسار مس بندقیچی می‌باشد ۳۸

فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

- شکل ۱-۳: نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی و موقعیت کانسار مس با میزبان رسوبی بندقیچی در واحدهای رسوبی الیگوسن ۴۹
- شکل ۲-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در بخش غربی محدوده کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار در آن ۵۰
- شکل ۳-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در بخش مرکزی محدوده کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار ۵۱
- شکل ۴-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در انتهای محدوده شرقی کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار ۵۲
- شکل ۵-۳: نمایی از تطابق و همبستگی ستون‌های چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در سه بخش غربی، مرکزی و شرقی محدوده مورد مطالعه ۵۳
- شکل ۶-۳: نمایی از واحد M_2 بر روی تصویر ماهواره‌ای که به صورت خطوط منظم دایره‌وار و متحدالمرکز (چین‌مانند) مشاهده می‌شود ۵۴
- شکل ۷-۳: نمایی از رخنمون واحدهای رسوبی میزبان کانسارهای (واحد OL) در محدوده شرقی منطقه که در امتداد ماهوری طویل رخنمون یافته‌اند ۵۵
- شکل ۸-۳: الف و ب- نمایی از رخنمون واحد سیلتستونی (Slt) که با رنگ قرمز آجری مشخص شده است و گاهی دارای لایه‌های از ژپس (Gp) می‌باشد، پ- تصویر نمونه دستی سیلتستون دانه ریز با رنگ قرمز آجری، ت- قطعه‌ای از

واحد سیلتستونی درون واحد ماسه‌سنگی با تفاوت رنگ مشخص، ث و ج- تصاویر سیلتستون همراه با اجزای متشکله در مقیاس میکروسکوپی (نور عبوری (XPL)) ۵۷

۹-۳: الف- تصویر نمونه دستی شیل به رنگ خاکستری همراه با بلورهای کوبیک پیریت (Py)، ب- تصویر شیل همراه با آثاری از کانه‌زایی مالاکیت و ماده آلی (بخش‌های سیاه رنگ) ۵۸

۳-۱۰: تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های تشکیل‌دهنده واحد ماسه سنگی در نور عبوری (XPL) ۵۹

۳-۱۱: تصاویری از خرده‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده واحد ماسه‌سنگی ۶۰

۳-۱۲: الف- نمایی از قطعات آواری تشکیل‌دهنده واحد ماسه‌سنگی در زمینه‌ای از سلسیت، ب و ج- تصاویری از سیمان میان دانه‌ای در اطراف قطعات آواری سنگ میزبان توسط کانی‌های کلسیت (Cal- Cement) و اکسیدهای آهن (Fe Oxide-Cement)، در نور عبوری (XPL) ۶۱

۳-۱۳: الف- تصویر نمونه دستی از واحد کنگلومرای، ب- تصویر میکروسکوپی از اجزای تشکیل‌دهنده واحد کنگلومرای و ج تصویر میکروسکوپی از سیمان مالاکیتی شکل گرفته در اطراف قطعات آواری واحد کنگلومرای . . ۶۳

۳-۱۴: نمایی از رسوبات آبرفتی عهد حاضر در منطقه که شامل رسوبات پفکی- نمکی کف کویر (الف)، ساخت تی‌پی(ب) و باتلاق‌های سطحی تیره‌رنگ (ج) می‌باشد ۶۴

۳-۱۵: الف و ب- تصویر نمونه دستی و میکروسکوپی از واحد آتشفشانی (آندزیت) ۶۵

۳-۱۶: الف و ب- نمایی از ساخت لایه‌بندی در واحدهای ماسه‌سنگی در مقیاس رخنمون. ۶۷

۳-۱۷: تصاویری از ساخت کنکرسیونی در مقیاس رخنمون (الف) و نمونه دستی (ب)، کانی‌های اکسید آهن و هالیت و پیریت به صورت لایه‌های متحدالمرکز در واحد سیلتستونی شکل گرفته‌اند ۶۷

۳-۱۸: الف- پهنه گلی شور در پلایای منطقه مورد مطالعه و تبلور هالیت بعد از خشک شدن آب های سیلابی ورودی به پلایا، ب- پوسته های شورزده موجود در پهنه گلی- شور پلایای منطقه ۶۹

فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۴-۱: موقعیت محدوده کانه‌زایی کانسار مس بند قیچی بر روی تصویر ماهواره‌ای ۷۳

۴-۲: نمایی از کانه‌زایی چینه‌سان صورت گرفته در منطقه ۷۶

۴-۳: تصاویر صحرایی از کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای در بخش غربی منطقه مورد مطالعه ۷۷

۴-۴: نمایی کلی از زون غنی‌شده سوپرژن ۷۹

۴-۵: الف، ب و ج - نمایی از تأثیر فرآیندهای سوپرژن در منطقه و تشکیل کانی‌های اکسید آهن و کربناته مس متأثر از این فرآیند که هم‌چنین کانی‌سازی در عهد حاضر را نیز نشان می‌دهد ۸۰

۴-۶: پاراژنز کانیایی و توزیع کانی‌های اکسیدی و مس‌دار در لایه‌های ماسه‌سنگی مس‌دار کانسار مس Samalayuca ۸۱

۴-۷: تصاویری از حضور مواد آلی (بخش‌های تیره) در نمونه دستی (الف و ب) و مقاطع میکروسکوپی (ج و د) ۸۳

۴-۸: الف و ب- نمایی از حضور پیریت به شکل دانه پراکنده در متن واحد ماسه‌سنگی میزبان ۸۴

۴-۹: الف، ب، ج و د- تصاویری از پهنه قرمز اکسیدان در توالی رسوبی منطقه مورد مطالعه ۸۷

۴-۱۰: داده‌های حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، مربوط به دگرسانی آرژیلیکی در کانسار مس بند قیچی ۹۰

فصل پنجم: کانی‌شناسی، ساخت و بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها

- ۱-۵: الف و ب- تصاویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت (Cct) با بافت پر کننده فضای خالی بین‌دانه‌ای در سنگ میزبان ماسه‌سنگی ۹۵
- ۲-۵: تصاویر میکروسکوپی کانی مس طبیعی (Cu) در نور پلاریزه (الف) و نور طبیعی (ب) ۹۶
- ۳-۵: الف- تصویر میکروسکوپی کوولیت (Cv) در فضای خالی میان اجزای آواری ماسه‌سنگ، ب- تصویر کانی کوولیت به صورت پراکنده در داخل واحد ماسه‌سنگی ۹۷
- ۴-۵: الف- تصویر میکروسکوپی بورنیت (Bn) با رنگ قهوه‌ای متمایل به صورتی، ب- تصویر میکروسکوپی بورنیت (Bn) که همراه با کالکوسیت و کوولیت در فضای بین دانه‌های واحد ماسه‌سنگی میزبان شکل گرفته است ۹۸
- ۵-۵: الف- تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت (Ccp) که در بخش‌هایی به کوولیت تبدیل شده است، ب- تصویر کالکوپیریت با بافت پرکننده فضای خالی در فضای بین دانه‌های ماسه‌سنگ ۹۹
- ۶-۵: الف- تصویر هم‌رشدی پیریت (Py) با کالکوپیریت (Ccp) ، ب- تصویر میکروسکوپی پیریت با بافت پرکننده فضای خالی در بین قطعات متشکله واحد ماسه‌سنگی میزبان ۱۰۰
- ۷-۵: الف- تصویر نمونه دستی مالاکیت با رنگ سبز روشن، ب- تصویر میکروسکوپی کانی مالاکیت (Mic) با بافت سیمان میان دانه‌ای در میان اجزای آواری واحد ماسه‌سنگی میزبان (نور انعکاسی (XPL)). ۱۰۲
- ۸-۵: تصاویر آزریت (Az) با رنگ آبی روشن در مقیاس نمونه دستی (الف) و مقیاس میکروسکوپی در نور انعکاسی (XPL) ، (ب) ۱۰۳
- ۹-۵: الف و ب: تصاویر کانی‌های اکسید و هیدروکسیدهای آهن در مقیاس نمونه دستی در اطراف قطعات آواری سنگ میزبان، ج و د- تصاویر میکروسکوپی از کانی مگنتیت در نور انعکاسی (XPL) ۱۰۵
- ۱۰-۵: تصاویر کانی سلسیت (Cit) در مقیاس نمونه دستی به صورت دانه شکری (الف)، منشوری (ب و پ)، قله‌های (ت) و تصاویر میکروسکوپی بلورهای صفحه‌ای و تیغه‌ای سلسیت در نور عبوری (XPL) ، (ث و ج) ۱۰۶
- ۱۱-۵: الف و ب- تصاویر کانی ژپس (Gp) در مقیاس نمونه دستی و مقیاس میکروسکوپی. ۱۰۷
- ۱۲-۵: تصاویر نمونه دستی کانی هالیت به صورت توده‌های دانه ریز و دانه درشت (الف و ب)، کوبیک (ج) و رشته‌ای (د) ۱۰۸
- ۱۳-۵: نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) که نشان‌دهنده حضور کانی آتاکامیت می‌باشد ۱۰۹
- ۱۴-۵: نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) که نشان‌دهنده حضور کانی‌های لایوریونیت و پارالایوریونیت همراه با کانی‌های کوارتز، کلسیت، ژپس و سلسیت می‌باشد ۱۱۰
- ۱۵-۵: الف- تصویر میکروسکوپی کانی کوارتز (Qz) در نور عبوری، ب- تصویر کانی کلسیت (Cal) به صورت سیمان شکل گرفته در میان اجزای آواری سنگ میزبان ۱۱۱
- ۱۶-۵: تصاویر نمونه دستی از ساخت توده‌ای کانی‌های مالاکیت (الف)، سلسیت (ب) و هالیت (ج) ۱۱۳
- ۱۷-۵: الف و ب- تصاویر بافت پرکننده فضای خالی در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی توسط کانی پیریت (Py) و کوولیت (Cv) ، ج - تصویر کانی پیریت با بافت پر کننده فضای خالی در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های واحد ماسه-سنگی میزبان ۱۱۴
- ۱۸-۵: الف و ب تصاویری از بافت دانه پراکنده در مقیاس میکروسکوپی ۱۱۶
- ۱۹-۵: تصاویر میکروسکوپی از بافت جانیشینی در منطقه ۱۱۷

فصل ششم: ژئوشیمی

- ۱-۶: انحلال پذیری مس در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به عنوان تابعی از pH و Eh ۱۲۱
- ۲-۶: طبقه بندی چند متغیره ماسه سنگهای بندقیچی با استفاده از $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ ۱۲۴
- ۳-۶: طبقه بندی ماسه سنگهای بندقیچی با استفاده از $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ ۱۲۵
- ۴-۶: دیاگرام مثلثی کروونبرگ، داده های اکسیدهای اصلی نمونه های ماسه سنگی منطقه بندقیچی در محدوده جزایر قوسی قاره ای (B) قرار می گیرند ۱۲۷
- ۵-۶: نمودار متمایز کننده ماسه سنگها بر اساس La-Th-Sc داده های عناصر کمیاب نمونه های ماسه سنگی منطقه بندقیچی در محدوده جزایر قوسی قاره ای (B) قرار می گیرند ۱۲۸
- ۶-۶: نمودار متمایز کننده ویژگی های خاستگاه مجموعه های ماسه سنگی و گلسنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی داده های اکسید ماسه سنگهای بندقیچی در محدوده خاستگاه فلسیک تا حدواسط قرار گرفته اند ۱۳۰
- ۷-۶: نمودار دوتایی $\text{TiO}_2 - \text{Zr}$ ، براساس این نمودار ماسه سنگهای منطقه بندقیچی در محدوده منشأ آتشفشانی فلسیک تا حدواسط قرار می گیرند ۱۳۱
- ۸-۶: الف و ب - نمودارهای دو تایی تعیین کننده سنگ منشأ ماسه سنگها $\text{Co/Th} - \text{La/Sc}$ و $\text{Th/Sc} - \text{Zr/Sc}$ که نشان دهنده منشأ فلسیک تا حدواسط نمونه های ماسه سنگی منطقه بندقیچی می باشد ۱۳۲
- ۹-۶: بررسی تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به Al_2O_3 در نمونه های مورد مطالعه ۱۳۶
- ۱۰-۶: تغییرات میانگین فراوانی عناصر $\text{Cu, Ag, Pb, Zn, Sr, Cr}$ و V در کانسنگ و سنگهای میزبان کانسار مس بندقیچی در سه محدوده غربی، مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه ۱۴۳
- ۱۱-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت نشان می دهند (مقطع غربی) ۱۴۵
- ۱۲-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی نشان می دهند (مقطع غربی) ۱۴۵
- ۱۳-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت نشان می دهند (مقطع مرکزی) ۱۴۶
- ۱۴-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی نشان می دهند (مقطع مرکزی) ۱۴۶
- ۱۵-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت نشان می دهند (مقطع شرقی) ۱۴۷
- ۱۶-۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی نشان می دهند (مقطع شرقی) ۱۴۷

فصل هفتم: الگوی تشکیل، تیپ کانه زایی، نتیجه گیری و پیشنهادات اکتشافی

- ۱-۷: مقطع عرضی از نهشته های مس با میزبان رسوبی، مدل رخساره احیایی (A)، لایه قرمز (B) و ریوت (C) ۱۵۷
- ۲-۷: توزیع جهانی نهشته های اصلی مس با میزبان رسوبی چینه سان، بسیاری از این کانسارها از نظر زمانی مربوط به پروتروزوئیک تا سنوزوئیک می باشند ۱۵۹
- ۳-۷: توزیع زمانی کانسارهای مس با میزبان رسوبی. بیشترین فراوانی این کانسارها در پروتروزوئیک و اواخر پالئوزوئیک است ۱۶۰
- ۴-۷: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز، بسیاری از کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز در پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک شکل گرفته اند ۱۶۱
- ۵-۷: مدل دیاژنتیکی سبخا برای کانه زایی مس که منشأ نوار مس آفریقا و دیگر نهشته های مس درون کراتونی دیاژنتیکی را توضیح می دهد ۱۶۴
- ۶-۷: منطقه بندی کنایایی و توزیع کانی های مختلف اکسیدی و سولفیدهای مس به شکل هلالی، در لایه های

- ۱۶۵.....Samalayuca مس دار کانسار مس
- ۷-۷ : تناژ نهشته‌های مس با میزبان رسوبی در جهان ۱۶۹
- ۷-۸: عیار مس در نهشته‌های مس با میزبان رسوبی در جهان ۱۷۰
- ۷-۹: تصویری از حضور کانی کالکوپیریت در قطعات سنگی متشکله واحدهای کنگلومرای میزبان ۱۷۴
- ۷-۱۰: محدوده مناسب جهت انحلال مس به صورت کمپلکس‌های کلریدی در یک شورابه دما پایین ۱۸۱

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱: مشخصات مهم کانسارهای مس جهان بر اساس طبقه‌بندی کسلر	۱۲
جدول ۱-۵: توالی پاراژنتیک کانی‌ها در کانسار مس بند قیچی	۱۱۸
جدول ۱-۶: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (بر حسب درصد وزنی) در ماسه‌سنگهای منطقه مورد مطالعه به روش XRF	۱۲۳
جدول ۲-۶: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در ماسه‌سنگهای منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES	۱۲۳
جدول ۳-۶: ضرایب همبستگی پیرسون مربوط به عنصر مس و اکسیدهای اصلی در کانسار مس بندقیچی	۱۳۳
جدول ۴-۶: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (بر حسب درصد وزنی) در سنگهای میزبان و کانسنگ منطقه مورد مطالعه به روش XRF	۱۳۵
جدول ۵-۶: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در سنگهای میزبان و کانسنگ منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES	۱۳۷
جدول ۶-۶: مقایسه میانگین عناصر در منطقه مورد مطالعه با مقادیر پوسته‌ای	۱۳۸
جدول ۷-۶: ضرایب همبستگی پیرسون مربوط به عناصر کانسار مس بندقیچی	۱۴۰
جدول ۱-۷: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس بندقیچی با دیگر کانسارهای مس با میزبان رسوبی	۱۵۸
جدول ۲-۷: سنگهای میزبان متداول بر حسب درصد فراوانی در زیر رده مس لایه قرمز	۱۶۲
جدول ۳-۷: فراوانی کانی‌های مهم کانسارهای مس با میزبان رسوبی همراه با درصد فراوانی در زیر رده لایه قرمز	۱۶۸
جدول ۴-۷: مقایسه کانسار مس بندقیچی با کانسارهای مارکشه و شلپو، Nacimiento و Lisbonvalley	۱۷۱

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

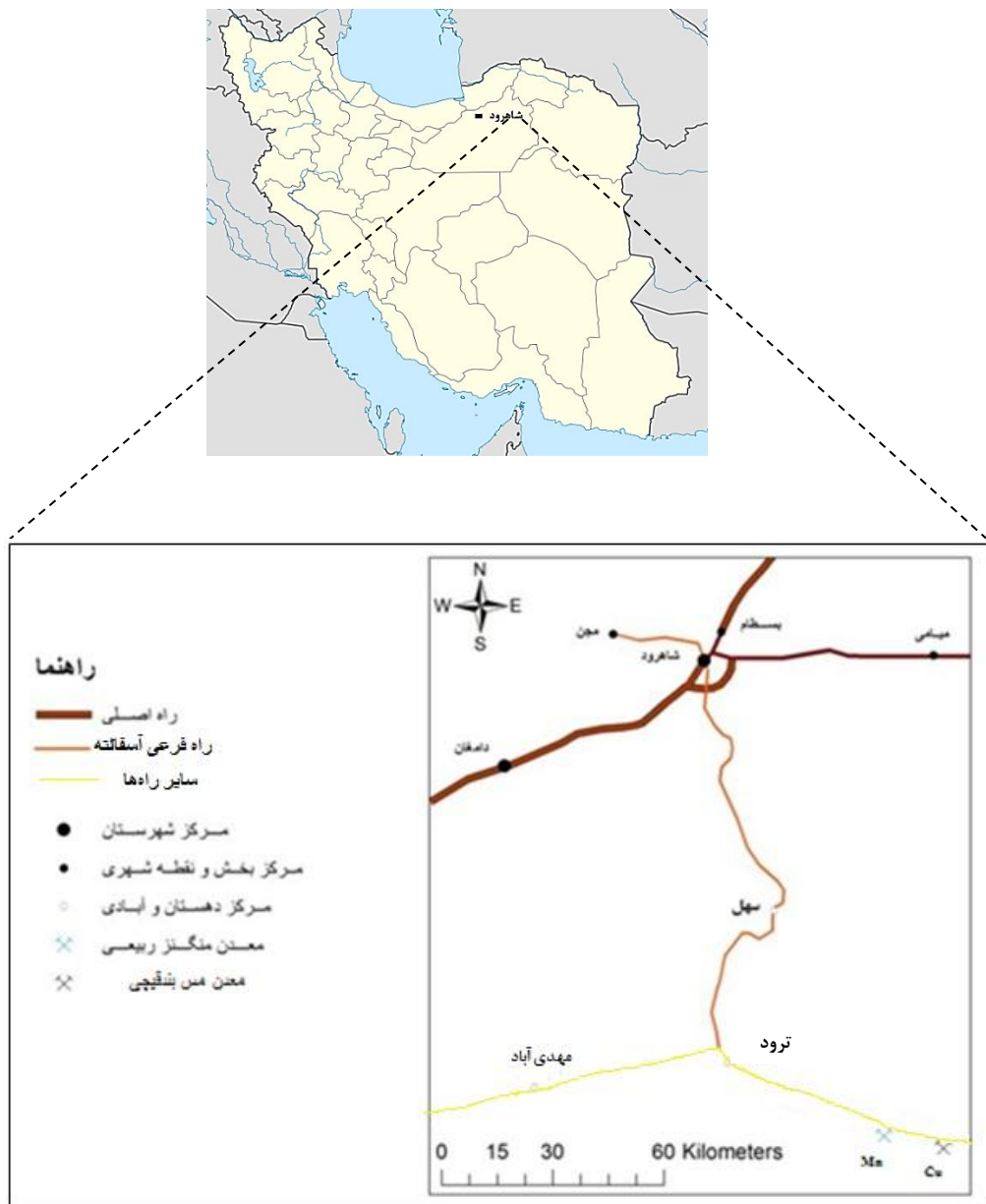
گستره ایران زمین یکی از منابع بالقوه مس جهان را در دل خویش نهفته دارد. این انباشتگی‌های بالقوه مس از گذشته‌های بسیار دور، انگیزه‌ای برای رونق معدن‌کاری در این مرز و بوم بوده است. عبور نوار جهانی مس از ایران که دارای طولی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر می‌باشد باعث تشکیل اندیس‌ها و معادن متعددی در طول مسیر خود شده است (خوئی و همکاران، ۱۳۷۸). مس، از جمله مهمترین مواد معدنی می‌باشد که به دلیل استفاده گسترده آن در صنعت، یکی از عناصر استراتژیک و راهبردی توسعه محسوب شده و ارزش آن روز به روز نیز رو به افزایش می‌باشد. مس به سبب ویژگی‌های خاص شیمیایی و فیزیکی در شمار نخستین فلزاتی است که توسط آدمی شناخته و به کار گرفته شده است و در رده‌بندی مصرف جهانی پس از آهن و آلومینیوم در جایگاه سوم قرار می‌گیرد. مجموعه کانی‌سازی مس در واحدهای رسوبی جنوب تروود با سن الیگوسن، از جمله این کانی‌سازی‌ها بوده و یکی از غنی‌ترین معادن مس استان سمنان را در حاشیه کویر مرکزی ایران تشکیل داده است. به دلیل اهمیت بهره‌برداری از منابع داخلی به منظور جلوگیری از فروش ارز و حرکت به سمت صادرات غیر نفتی و در نتیجه ارزآوری به کشور و استراتژیک بودن مس، از آن جایی که این واحدها در کویر واقع شده و مناطق مسکونی حاشیه کویر معمولاً جزء مناطق محروم محسوب می‌شوند، اکتشاف و بهره‌برداری از مواد معدنی این محدوده‌ها می‌تواند کمک شایانی به وضعیت اقتصادی مردم این محدوده نماید و همچنین به عنوان الگو، در اکتشاف ذخایر مشابه در منطقه و همچنین در سایر نقاط ایران مورد استفاده قرار گیرد.

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

محدوده کانسار مس بندقیچی با مختصات جغرافیایی $35^{\circ} 12'$ تا $35^{\circ} 17'$ عرض شمالی و $55^{\circ} 22'$ تا $55^{\circ} 32'$ طول شرقی در فاصله ۲۰۰ کیلومتری جنوب شاهرود و ۷۰ کیلومتری جنوب شرق تروود در پهنه ساختاری ایران مرکزی واقع شده است. ارتباط با این محدوده، از طریق جاده آسفالتی شاهرود-

فصل اول: کلیات

ترود با فاصله ۱۳۰ کیلومتر از شاهرود و سپس ادامه مسیر به سمت جنوب شرق در طول یک راه خاکی با مسافت ۷۰ کیلومتر از مبدأ دهستان ترود می باشد. مسیری که در آن ابتدا به معدن منگنز بند قیچی (ربیعی) و پس از طی حدود ۱۰ کیلومتر، وارد محدوده معدنی مس بند قیچی می شود (شکل ۱-۱).



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

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

به دلیل قرارگرفتن محدوده در داخل کویر مرکزی ایران، آب و هوای این ناحیه در تابستانها بسیار گرم و خشک و طاقت فرسا می‌باشد. وجود نمکزارها، ریگزارها و تلماسه‌های شمالی، دلیلی بر آب و هوای گرم و خشک می‌باشد. اختلاف درجه حرارت سالیانه زیاد بوده به طوری که در روزهای گرم تابستان دمای هوا بالاتر از ۵۰ درجه سانتی‌گراد و در شبهای سرد زمستان به چند درجه زیر صفر می‌رسد. اختلاف دمای شب و روز نیز زیاد بوده و تفاوت دمای روزهای مختلف، دستخوش تغییرات زیاد می‌باشد. بیشترین میزان بارندگی سالانه در این منطقه معمولاً کمتر از ۱۳۰ میلی‌متر بوده و میانگین سالیانه آن از ۹۰ میلی‌متر تجاوز نمی‌کند. این بارندگی‌ها کوتاه و اغلب به صورت رگبارهای تند است به طوری که مسبب ایجاد جریان‌های سیلابی و فصلی به سمت کویر هستند. به علت قرارگرفتن محدوده در دشت کویر و شوری بیش از حد خاک، امکان رشد گیاه در منطقه بسیار کم می‌باشد. تنها گیاهان اندک از نوع گونه‌های طاق، قیچ و درمنه در دامنه رشته کوه کوچک بندقیچی روییده‌اند که آنها هم به دلیل کمی آب دارای تراکم اندک و پراکندگی نامنظم می‌باشند (شکل ۱-۲).



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

۱-۴- وضعیت معیشتی و اجتماعی

عواملی از جمله شرایط سخت زندگی، آب و هوای گرم و کویری، طوفان‌های ماسه‌ای، کمبود بارش و اندک بودن زمین‌های قابل کشت باعث شده است که در این ناحیه تمرکز جمعیت بسیار پایین باشد. بزرگترین مرکز جمعیتی در این ناحیه، دهستان ترود با جمعیتی در حدود ۳۵۰۰ نفر می‌باشد که اغلب به شغل دامداری، کشاورزی و قالی‌بافی اشتغال دارند. هم‌چنین به دلیل حضور معادن فراوان در منطقه اغلب مردم با کار معدن‌کاری آشنایی دارند و تعدادی از آن‌ها در این زمینه فعالیت دارند. پرورش و نگهداری گوسفند و شتر از مهم‌ترین فعالیت دامداری مردم این منطقه می‌باشد. در این منطقه محصولات سیفی به دلیل شرایط بد آب و هوایی وجود ندارد و در صورت وجود، بسیار اندک و ناچیز است. محصولات از قبیل خرما، انار و انجیر از دیگر تولیدات این منطقه است. در روستای ترود پرورش شتر به صورت بومی از سالها پیش رواج داشته به طوری که به عنوان محور پرورش شتر در سطح کشور مطرح بوده و مرکز پرورش و اصلاح نژاد شتر شمال شرق کشور در آنجا تأسیس شده است.

۱-۵- زمین ریخت‌شناسی

منطقه مورد مطالعه از نظر ریخت‌شناسی عمدتاً شامل دشت هموار و کویری می‌باشد و واحدهای نه چندان مرتفع ماسه‌سنگی و کنگلومرایی به همراه ارتفاعات نسبتاً بلند علی‌نرخه (واقع در جنوب منطقه) مهم‌ترین واحدهای توپوگرافی منطقه محسوب می‌گردند. پایین‌ترین نقطه دشت ۷۱۰ متر و ارتفاع بالاترین نقطه ارتفاعات ۷۳۰ متر از سطح دریا می‌باشد. واحدهای رسوبی دربرگیرنده ماده معدنی در امتداد ماهوری با روند کلی شرقی- غربی و با طول تقریبی ۱۲ کیلومتر و عرض ۲۰ متر که دارای حدود ۳۰ متر اختلاف ارتفاع از زمین‌های هموار می‌باشد، قرار گرفته‌اند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: نمایی از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای.

۱-۶- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

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

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

- خادمی (۱۳۸۶)، ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌ساختی منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده و تکوین ژئودینامیک منطقه ترود را یک سیمای ساختاری اصلی، یعنی گسل امتدادلغز ترود با روند شمال‌شرق - جنوب‌غرب عامل اساسی تعیین ویژگی‌های ساختاری این منطقه می‌داند.

- قربانی (۱۳۸۴)، ماگماتیسم منطقه را در جنوب ترود، بازیک‌تر و در شمال آن اسیدی‌تر می‌داند و در ضمن یک منشأ درون قاره‌ای برای آن قائل است و ولکانیسم و پلوتونیسم این منطقه را بر اساس یافته‌های ژئوشیمیایی و صحرایی بیشتر در ارتباط با سیستم‌های کشتی منطبق می‌داند.

- پورحسینی (۱۳۶۲)، فعالیت‌های ماگمایی منطقه را با همگرایی عربستان-ایران مرتبط دانسته و از نوع پس از برخورد می‌داند. وی توده‌های نفوذی را با فاز ماگمایی ائوسن پسین - الیگوسن مرتبط می‌داند.

- جعفریان (۱۳۶۸)، سنگ‌های آتشفشانی منطقه را عمدتاً آندزیتی و توده‌های نفوذی را از نوع گرانیتهای I معرفی کرده و جایگاه فعالیت‌های ماگمایی منطقه را کمان آتشفشانی قاره‌ای می‌داند.

- امام جمعه (۱۳۸۵)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه‌موسی" در شمال‌غرب ترود بر پایه مجموعه شواهد سنگ‌شناسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی، سیالات درگیر و ژئوشیمی نتیجه گرفته است که کانه‌زایی در محدوده چاه‌موسی - قله‌کفتران مربوط به یک سیستم واحد کانه‌زایی می‌باشد که در ارتباط با تکامل سیالات گرمایی کانه‌دار سبب تشکیل کانه‌زایی افشان - رگچه‌ای مس در عمق بیشتر و کانه‌زایی‌های رگه‌ای در عمق کم‌تر شده است.

- طالع ماسوله (۱۳۸۹)، زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه‌گله شمال‌غرب ترود را مورد مطالعه قرار داده و بیان کرده که ماده معدنی به شکل رگه‌ای است و در کنترل گسله‌ها و شکستگی‌های منطقه می‌باشد و هم‌چنین خاستگاه کانسار را محلول‌های هیدروترمال با درجه حرارت نه چندان زیاد

که از سنگ‌های آتشفشانی نوع آندزیتی و تراکی آندزیتی منشأ گرفته‌اند تعیین نموده است.

- باقرزاده (۱۳۹۳)، در پایان نامه کارشناسی ارشد خود تحت عنوان "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار منگنز ربیعی تروود در جنوب شاهرود به بررسی کانه‌زایی منگنز آتشفشانی- رسوبی درون واحدهای آتشفشانی پرداخته و رخداد کانه‌زایی را گرمایی- برون‌دمی زیردریایی بیان کرده است.

- شاهرودی (۱۳۸۹)، در پایان‌نامه کارشناسی ارشد خود با عنوان بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس علی‌نرخه (جنوب شرق روستای تروود) به معرفی نخستین رخداد مس کلریدی در نوار شمالی کویر مرکزی ایران پرداخته و این اندیس را یک اندیس مس رسوبی با عیار بالا، چینه‌کران و حائز سنگ میزبان اصلی تبخیری معرفی کرده است.

۱-۷- طرح مسئله و هدف از مطالعه

کانه‌زایی مس در ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی تروود (علوی و حقی‌پور ۱۳۵۵)، در بخشی از کمان ماگمایی ایران مرکزی در داخل واحدهای رسوبی با سن الیگوسن رخ داده است. با توجه به اینکه در رابطه با این کانسار، مطالعه دقیقی از نظر کانی‌شناسی، کانه‌نگاری، ساخت و بافت و همچنین چگونگی تشکیل و ژنز صورت نگرفته است، سعی گردیده است تا با اتکا به مطالعه قبلی که توسط شاهرودی (۱۳۸۹)، در بخشی از این منطقه (انتهای محدوده شرقی منطقه) صورت پذیرفته است، ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی و مدل تشکیل تا حد امکان مورد بررسی قرار گیرد. از مهم‌ترین اهداف این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- بررسی ویژگی‌های کانسار از نظر زمین‌شناسی و ژئوشیمیایی.

- مطالعه کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیک کانی‌ها و کانه‌های کانسار.

- ارائه الگوی تشکیل، کنترل‌کننده‌های اصلی کانه‌زایی و تشخیص تیپ کانه‌زایی در منطقه.

- تعیین و اثبات منشأ عناصر و سیال کانه‌دار در منطقه.
- تعیین ارتباط سنگ درونگیر با کانی‌سازی.
- تعیین نوع و شکل کانی‌سازی.
- ارائه الگو و کلیدهای اکتشافی جهت پی‌جویی کانه‌زایی‌های مشابه در منطقه.
- ارائه مدل کانه‌زایی در منطقه و مقایسه کانسار با کانسارهای مشابه در ایران و جهان.

۱-۸- روش مطالعه

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

۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع

- تهیه و مطالعه کتب و مقالات مطرح در زمینه موضوع پایان‌نامه و منطقه مورد مطالعه از طریق ارتباط با سایت‌های اینترنتی و منابع کتابخانه‌ای.
- استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، تصاویر ماهواره‌ای، عکس‌های هوایی به منظور یافتن دید کلی نسبت به منطقه و هم‌چنین تهیه و مطالعه گزارش‌ها و مقالاتی که در ارتباط با منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف منتشر شده‌اند.
- برقراری ارتباط با زمین‌شناسان صاحب‌نظر داخلی جهت تأمین منابع به‌روز و دستیابی به اهداف تعیین‌شده.

۱-۸-۲- مطالعات صحرایی

- مطالعات صحرایی و بازدید از منطقه طی چند مرحله به شرح زیر صورت گرفته است:
- بازدیدهای مقدماتی به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه و ارزیابی کلی از وضعیت

زمین‌شناسی منطقه.

- شناسایی و تفکیک دقیق واحدهای سنگی و چگونگی ارتباط آنها با یکدیگر.

- نمونه‌برداری لیتوژئوشیمیایی از ترانسه‌های معدن عمود بر امتداد لایه‌ها بر مبنای تغییرات سنگ‌شناسی، رنگ و بافت.

- مطالعه ژئومتری، ساخت و بافت ماده معدنی در مقیاس‌های مختلف صحرایی، نمونه دستی و میکروسکوپی.

- تهیه نقشه زمین‌شناسی - معدنی از کانسار بندقیچی.

- بازدید نهایی از منطقه به منظور کنترل نتایج و اطلاعات به دست آمده.

۱-۸-۳- مطالعات آزمایشگاهی و دستگاهی

- تهیه و مطالعه تعداد ۲۵ مقطع نازک از نمونه‌های سنگی مختلف (ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و شیل) و انجام مطالعات پتروگرافی.

- تهیه و مطالعه تعداد ۴۰ مقطع صیقلی و نازک- صیقلی از نمونه‌ها (ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و شیل) جهت مطالعات کانی‌شناسی، بافت و توالی پاراژنتیکی کانه‌ها و سنگ درونگیر.

- انجام آنالیزهای فلورسانس اشعه ایکس (XRF) و ICP-OES بر روی تعداد ۴۲ نمونه (ماسه‌سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و شیل) توسط آزمایشگاه زرآزما و کانساران بینالود (داده‌های متعلق به شرکت گوهرسنگ کویر) و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو)^۱، به منظور تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی و استفاده از نتایج آنها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی، ترسیم ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و تعیین منشأ کانسار.

¹ IMIDRO

- تجزیه ۱۰ نمونه (ماسه سنگ، کنگلومرا، سیلتستون و شیل) به روش پراش اشعه ایکس (XRD)، با هدف تعیین کانی‌های فرعی.

۱-۸-۴- مطالعات دفتری

- مطالعه پایان‌نامه‌ها، مقالات و کتب مرتبط با موضوع تحقیق.

- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی و نقشه راه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Arc GIS.

- تجزیه و تحلیل و پردازش داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مانند SPSS، Excell و GCDkit.

- تلفیق نتایج حاصل از مراحل مختلف تحقیق و تجزیه و تحلیل داده‌ها، نتیجه‌گیری نهایی و تدوین و نگارش پایان‌نامه.

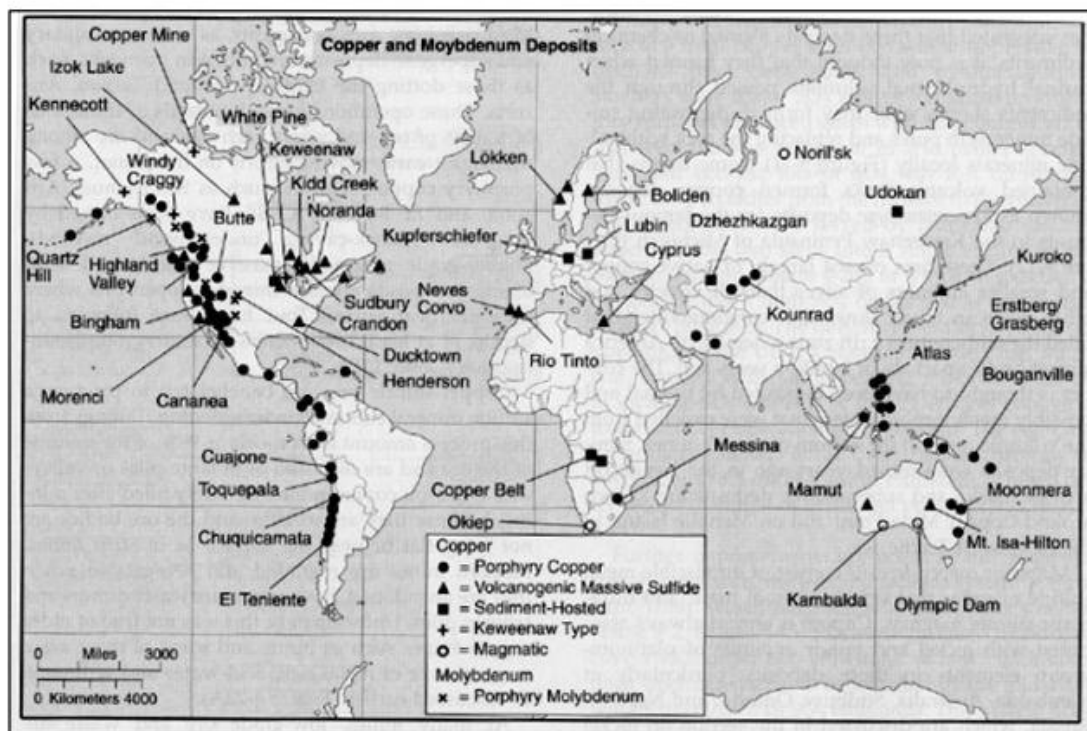
۱-۹- رده‌بندی کانسارهای مس

تاکنون برای کانسارهای مس، تقسیم‌بندی‌های مختلفی ارائه شده است. از جمله این تقسیم‌بندی‌ها، تقسیم‌بندی کسلر^۱ (۱۹۹۴)، بر اساس خصوصیات ژنتیکی می‌باشد که بر این اساس کانسارهای مس را به ۵ گروه اصلی تقسیم نموده است که مشخصات آن‌ها در جدول ۱-۱ و پراکندگی انواع کانسارهای مس در جهان در شکل ۱-۴ نشان داده شده است. این کانسارها از نظر محیط تشکیل زمین‌ساختی، نوع سنگ دربرگیرنده، هندسه ماده معدنی، نحوه تشکیل، عیار و ذخیره با یکدیگر تفاوت دارند.

^۱ kesler

جدول ۱-۱: مشخصات مهم انواع کانسارهای مس جهان بر اساس طبقه‌بندی کسلر (۱۹۹۴).

نوع کانسار	نحوه تشکیل	کانی‌های متشکله	عیار مس (%)
کانسارهای مس ماگمایی - هیدروترمالی	تحت تأثیر تزریق توده‌های نفوذی و سیالات هیدروترمالی ایجاد شده‌اند	کوارتز و کالکوپیریت	۰/۴ - ۱
کانسارهای مس سولفید توده‌ای	به‌صورت لنتزهایی از سولفیدهای توده‌ای پلی‌متال در نزدیکی کف دریا در محیط‌های ولکانیکی- زیردریایی از سیالات هیدروترمالی غنی از فلزات تشکیل می‌شوند	پیریت، پیروتیت، کالکوپیریت، اسفالریت، گالن و بورنیت	۳-۵
کانسارهای مس ماگمایی	تحت تأثیر فرایندهای مربوط به تکامل ماگما مانند تبلور و جدایش نفلی ایجاد شده‌اند	پیروتیت، کالکوپیریت، پنتلادیت، بورنیت، کوپریت، پیریت و مگنتیت	۱-۲
کانسارهای مس با میزبان رسوبی	تحت تأثیر فرایندهای رسوبی- دیازنزی و در مواردی اپی‌ژنتیک به صورت چینه‌سان و چینه‌کران در واحدهای رسوبی میزبان ایجاد می‌شوند	هماتیت، مس طبیعی، کالکوسیت، بورنیت و کالکوپیریت	۱/۸-۵
کانسارهای مس تیپ کوپناوی (تیپ ماتو و ولکانیک رد بد)	در اثر دگرگونی درجه پایین گدازه‌های بازالتی مس و سایر عناصر آزاد و درون حفرات سنگ‌های بازالتی قرار می‌گیرند	مس طبیعی، کالکوسیت، کوپریت، مالاکیت و آزوریت	۴



شکل ۱-۴: پراکندگی انواع کانسارهای مس در جهان (کسلر، ۱۹۹۴).

۱-۱۰-۱ کانسارهای مس با میزبان رسوبی

کانسارهای مس با میزبان رسوبی به صورت چینه‌کران می‌باشند که در لایه‌های نازکی از توالی رسوبی محصور شده‌اند، اما لزوماً لایه‌ای نمی‌باشند. آن‌ها اپی‌ژنتیک و دیاژنتیک می‌باشند و پس از ته‌نشینی رسوبات میزبان تشکیل شده‌اند. این کانسارها مستقل از فعالیت‌های آذرین شکل گرفته‌اند (کاکس^۱ و همکاران، ۲۰۰۳). رسوبات با نفوذپذیری بالا در حوضه‌های دریایی کم‌عمق، سبخاها و محیط‌های با نرخ تبخیر بالا از جمله محیط‌های ته‌نشینی و ریفت‌های بین قاره‌ای، الاکوژن‌ها و حاشیه‌های قاره‌ای غیر فعال از جمله محیط‌های تکتونیکی مساعد شکل‌گیری این کانسارها می‌باشند (کاکس و همکاران، ۱۹۷۹). کالکوسیت و کانی‌های سولفیدی دیگر از جمله بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت در این کانسارها بسیار متداول می‌باشند. این کانسارها از نظر اقتصادی قابل توجه می‌باشند و ۲۳٪ از

^۱ Cox

تولید جهانی مس را به خود اختصاص داده‌اند (سینگر^۱، ۱۹۹۵). هم‌چنین منابع مهمی برای نقره و کبالت می‌باشند. بعضی دیگر از این نهشته‌ها حاوی فلزاتی از جمله سرب، روی، اورانیم و مقدار کمی طلا و عناصر گروه پلاتین می‌باشند. عیار بیشتر این کانسارها از ۱/۸ تا ۵ درصد تغییر می‌کند و ذخیره آن‌ها می‌تواند از چند صد میلیون تن تا اندازه‌های نیمه اقتصادی متغیر باشد. هم‌چنین این کانسارها تداوم جانبی و عیار ثابت دارند. بیشتر این نهشته‌ها در محیط‌های دریایی یا دلتایی غیر آتشفشانی یافت می‌شوند. این نهشته‌ها از نظر زمانی و مکانی توزیع گسترده‌ای از پروتروزوئیک تا ترشیری دارند.

مهم‌ترین ویژگی‌های کانسارهای مس چینه‌سان با سنگ میزبان رسوبی عبارتند از:

۱- حضور مناطق مس‌دار 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 سنگ‌های رسوبی بدون نیاز به فعالیت اساسی آذرین و دگرگونی.

۳- شکل تقریباً هم‌شیب و چینه‌سان پهنه مس‌دار.

۴- امتداد جانبی کانه‌زایی در امتداد لایه‌بندی.

۵- فراوانی سولفیدهای فلزی پراکنده در سنگ میزبان.

۶- توزیع منطقه‌ای فلزات و کانه‌ها.

۱۱-۱- فازهای کانی‌سازی مس در ایران

در ایران، آثار و نشانه‌های معدنی مس را از پروتروزوئیک پسین تا پلیوسن می‌توان ردیابی کرد، اما بیشتر ذخایر مس در ترشیری و به ویژه الیگو-میوسن تشکیل شده‌اند (قربانی، ۱۳۸۱). به طور کلی، فازهای کانی‌سازی مس ایران به شرح زیر می‌باشند:

¹ Singer

- **کانی سازی مس در پرکامبرین پسین - کامبرین:** در این برهه زمانی، هیچ کانسار با اهمیتی از مس شناخته نشده است، ولی چند اثر معدنی در سنگ‌های این زمان دیده شده که از نظر اقتصادی داری اهمیت نبوده‌اند. از آن جمله می‌توان به کانسارهای مس ده‌معدن در دامنه کوه دنا و مس خونگه در ناحیه اردل اشاره کرد که در سنگ‌های کامبرین قرار گرفته است. اصولاً سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی و همچنین سنگ‌های دگرگونی که دارای منشأ آذرین هستند (مانند سنگ‌های ناحیه تکاب، انارک، بافق و ...) فراوانی کمی از مس را نشان می‌دهند، در صورتی که همین سنگ‌ها در نواحی یاد شده، بی‌هنجاری قابل توجهی از سرب و روی دارند.

- **کانی سازی مس در پالئوزوئیک پسین:** همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک پسین مانند سری تکنار (کانسار سولفید توده‌ای تکنار) آثار و شواهدی از مس شناخته شده است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳).

- **کانی سازی مس در ژوراسیک - کرتاسه:** نشانه‌های متعدد مس در سنگ‌های رسوبی - تخریبی ژوراسیک - کرتاسه در ناحیه وسیعی از جنوب راور (کانسار مس رسوبی مارکشه) تا شمال طبس به چشم می‌خورد (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶). همچنین در این دوره کانسار مس جیان در بوانات قابل ذکر است (موسیوند و همکاران، ۱۳۸۱، ۲۰۰۷).

- **کانی سازی مس در کرتاسه - پالئوسن:** همراه با مجموعه افیولیتی کرتاسه - پالئوسن، شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است. به عنوان نمونه می‌توان به نشانه‌های معدنی مس در ناحیه حاجی‌آباد بندرعباس و خوی یا نشانه‌های معدنی مس در جنوب جازموریان و ... اشاره کرد. همچنین در این دوره می‌توان به کانسار نوده در جنوب غرب سبزوار (مغفوری، ۱۳۹۰) نیز اشاره کرد.

- **کانی سازی مس در ترشیری:** بیشتر ذخایر مس ایران در ترشیری تشکیل شده‌اند. این ذخایر

وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیری دارند. فازهای ماگمایی و کانی‌سازی مهم ترشیری عبارتند از:

ائوسن میانی: در این فاز، بیش‌تر سنگ‌های آتشفشانی مطرح هستند و همان‌گونه که گفته شد، این سنگ‌ها معمولاً دارای زمینه بالایی از مس هستند و از سویی، تعدادی از کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در آن‌ها جای دارند.

ائوسن پسین - الیگوسن پیشین: بیشترین توده‌های نفوذی، گرانیتی - گرانودیوریتی، تونالیتی تا دیوریتی ایران متعلق به این زمان می‌باشند. گاهی همراه با این توده، کانی‌سازی مس مشاهده می‌شود که از نوع رگه‌ای و اسکارنی می‌باشد (کانسار مزرعه اهر و کانسار قلعه‌زری).

الیگوسن پسین - میوسن پیشین: در این برهه سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی در خیلی از نقاط ایران تشکیل شده و در حقیقت اوج دوباره بروز سنگ‌های آتشفشانی پس از ائوسن میانی، در این زمان بوده است و تعدادی از ذخایر مس پورفیری و رگه‌ای وابسته به سنگ‌های ماگمایی در این دوره تشکیل شده‌اند.

میوسن میانی - پسین - پلیوسن: بیشتر نفوذی‌های کوچک کم‌عمق می‌باشند و وابستگی ذخایر مس پورفیری با این توده‌های نفوذی کم‌عمق به درستی شناخته نشده است، اما تصور می‌رود که بیشتر ذخایر مس پورفیری به این توده‌ها وابسته باشند.

۱-۱۲- پراکندگی ذخایر مس ایران

کانسارهای مس ایران از نظر زمانی در ۶ زون مختلف قرار گرفته‌اند (قربانی، ۱۳۸۶) (شکل ۱-۵):

۱- زون ارومیه- دختر که خود از نظر ذخایر مس به بخش جنوبی (ناحیه کرمان)، مرکزی (تفت، انارک، کاشان) و شمالی قابل تقسیم است.

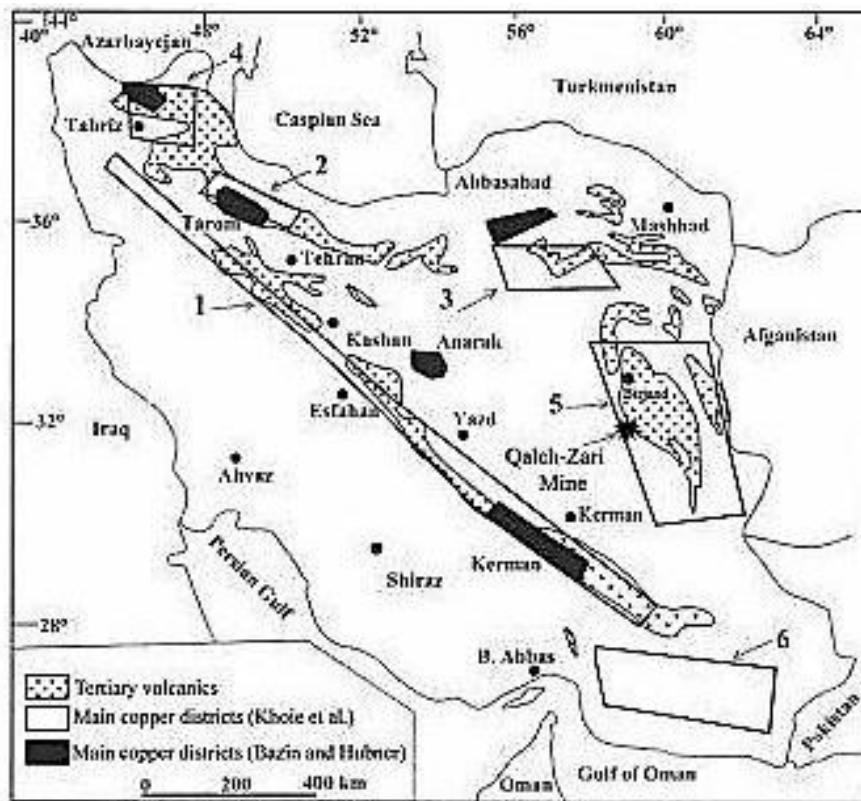
۲- زون محور طالقان- طارم- هشتچین (البرز غربی)

۳- زون سیلان (ناحیه اهر)

۴- زون کویر- سبزواری (بینالود و تکنار)

۵- زون لوت

۶- زون مکران



شکل ۱- ۵: زون‌های اصلی کانه‌زایی مس: ۱- نوار ارومیه - دختر، ۲- زون البرز غربی، ۳- زون کویر- سبزواری، ۴- زون سیلان ۵- منطقه لوت، ۶- منطقه مکران (خویی و همکاران، ۱۳۷۸).

زون ارومیه- دختر: در مورد کانی‌سازی مس در این زون باید گفت تنها قسمت جنوبی این زون (ناحیه کرمان) از نظر کانی‌سازی مس پرمایه است. ناحیه کرمان خود یک نوار مس‌دار را با طول

حدود ۴۰۰ کیلومتر و عرض ۷۰-۴۰ کیلومتر با روند شمال غربی - جنوب شرقی تشکیل می‌دهد که از انار شروع و تا بزمان ادامه می‌یابد. در این نوار بیش از ۲۰۰ کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده که بیش از ۲۰ مورد آن‌ها شواهدی از پورفیری نشان می‌دهند.

زون محور طالقان - طارم - هشتجین: همه کانسارها و نشانه‌های معدنی ناحیه طارم، در پیوند با سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و به ویژه توده‌های نفوذی تونالیتی تا گرانیتی ائوسن پسین - الیگوسن زیرین است. این سنگ‌ها در ناحیه طارم بیشتر، بی‌هنجاری‌هایی از مس را نشان می‌دهند. در منطقه طالقان همراه با مونزونیت‌ها و سنگ‌های آتشفشانی که گرایش آلکالن دارند، تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس وجود دارد که بیشتر کانی‌های مس آن‌ها از نوع کربناتی است (کانسار مس پراچان).

زون سبلان (ناحیه اهر): کانی‌سازی مس ناحیه اهر یا به طور کلی زون سبلان، دارای خاستگاه ماگمایی است که به شکل‌های مختلفی کانسارها و نشانه‌های معدنی مس را تشکیل داده‌اند. به طور کلی ذخایر مس ناحیه اهر را می‌توان از نظر شکل و کانی‌سازی به دو دسته تقسیم کرد:

الف - کانسارهای مس پورفیری: که به آن‌ها کانسارهای مس، مولیبدن‌دار نیز می‌توان گفت، که از جمله آن‌ها می‌توان به کانسار مس سونگون و کیقال اشاره کرد.

ب - کانسارهای مس رگه‌ای و اسکارنی: برخی از این کانسارها طلا نیز دارند، مانند کانسارهای مزرعه، بارملک، انجرد و زندآباد.

زون کویر - سبزواری: در این زون تعدادی کانسار و نشانه معدنی مس همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری وجود دارند. این کانسارها بیشتر از نوع مس رگه‌ای همراه سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی است.

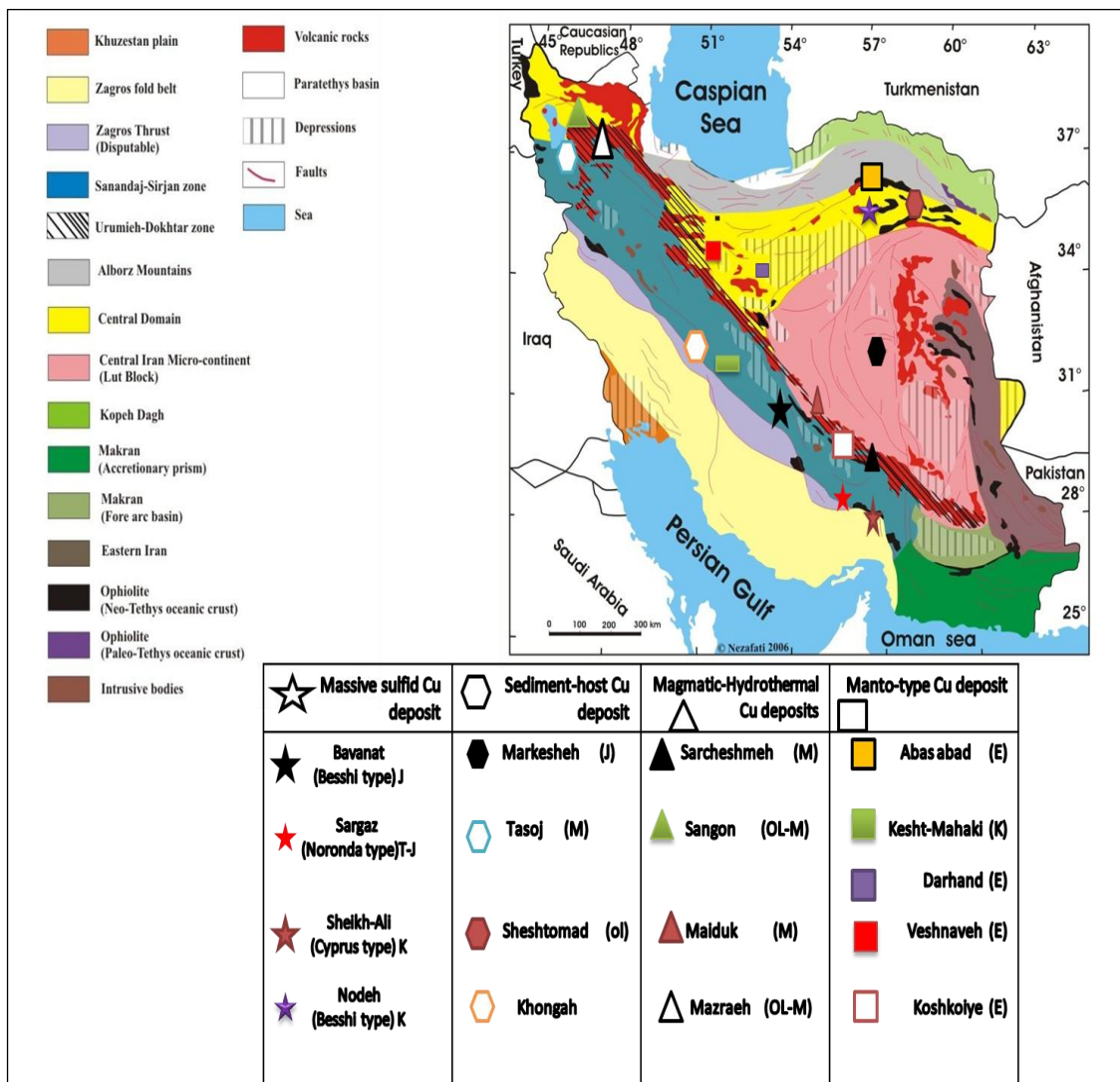
زون لوت: در زون لوت همراه با سنگ‌های آتشفشانی ترشیری، تعداد نسبتاً زیادی کانسار و نشانه معدنی مس شناخته شده است. این کانسارها بیشتر با سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی زون لوت در

ارتباط هستند که مهم‌ترین آن‌ها کانسار مس قلعه‌زری است.

زون مکران: در شمال‌غربی زون مکران و در جنوب و جنوب‌غربی جازموریان، نواری از کانی‌سازی مس دیده می‌شود. در این نوار کانی‌سازی که با سنگ‌های فلیشی و مجموعه‌های آتشفشانی - آندزیتی همراه است، بیش از ۵۰ نشانه معدنی مس شناخته شده است. شواهد زمین‌شناسی نشان از آن دارد که این کانسارها می‌توانند منشأ سولفید توده‌ای داشته باشند.

۱-۱۳- 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 مانتو (ولکانیک رد بد یا کویناوی) و کانسارهای مس با میزبان رسوبی هستند (شکل ۱-۶). تنها گروه کانساری که در ایران تاکنون شناسایی نشده است، کانسارهای مس سولفیدی ماگمایی است. در زیر، شرح مختصری از انواع تیپ‌های مختلف کانساری مس در ایران ارائه می‌شود:



شکل ۱-۶: نقشه پهنه‌های ساختاری (آقا نباتی، ۱۳۸۳؛ علوی، ۱۹۹۴) و موقعیت ذخایر تیپ‌های مختلف مس و گستره زمانی آنها در ایران (تریاس، J (ژوراسیک)، K (کرتاسه)، E (ائوسن)، OL (الیگوسن)، M (میوسن)).

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

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 دسته‌بندی می‌شوند. هم‌چنین از جمله این کانسارها در شرق ایران می‌توان به کانسار ماهرآباد اشاره نمود (ملک‌زاده و همکاران، ۱۳۸۸). مطالعات گسترده‌ای بر روی این تیپ کانه‌زایی در ایران مخصوصاً در ناحیه کرمان، از قدیم تا کنون صورت

گرفته است (واترمن^۱ و همیلتون^۲، ۱۹۷۵).

۱-۱۳-۲- کانسارهای مس سولفید توده‌ای

این گروه کانساری 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 سننج- سیرجان قرار گرفته‌اند. این کانسارها در حوضه‌های کششی موجود در محیط‌های مختلف زمین‌ساخت ایجاد می‌شوند. و در کشش‌های ایجاد شده در محیط نوار ماگمایی مزوزوئیک سنندج- سیرجان نیز ایجاد شده‌اند (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، ۱۳۸۸) در زیرپهنه سرگز- متاع، کانسار مس- روی تیپ قبرسی شیخ عالی (منظمی میرعلیپور، ۱۳۷۷) و قزل‌داش (بشارتی و همکاران، ۱۳۸۵) می‌باشند. کانسار تکنار نیز به عنوان تیپ خاص سولفیدی غنی از مگنتیت معرفی شده است (کریم‌پور و همکاران، ۱۳۸۳).

۱-۱۳-۳- کانسارهای مس با میزبان رسوبی

این کانسارها نیز در ایران شناسایی شده‌اند، که عمدتاً دارای سنگ میزبان تخریبی هستند. تشکیل این کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی- دیازنزی صورت گرفته است (هیتزمن^۳ و همکاران، ۲۰۰۵). کانسارهای تیپ لایه‌های سرخ در ایران شامل کانسار مارکشه در کرمان (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶)، کانسار تازه‌کند در شمال تبریز (عنایتی کولایی و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار تسوج در آذربایجان شرقی (رجب‌پور و همکاران، ۱۳۹۲) و کانسارها و نشانه‌های معدنی واقع در شمال- شمال غرب تربت‌حیدریه در خراسان رضوی (سپهری راد، ۱۳۸۸) و ... می‌باشند.

¹ Waterman

² Hamilton

³ Hitzman

۱-۱۳-۴- کانسارهای مس مانتو (ولکانیک رد بد یا کویناوی)

این کانسارها مشابه با کانسارهای تیپ سولفید توده‌ای در محیط‌های کشتی تشکیل می‌شوند و با مجموعه‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی یافت می‌شوند (کرخام^۱، ۱۹۹۶). در شیلی این گروه از کانسارها در میان سیستم‌های پورفیری عظیم واقع شده‌اند، به عنوان سومین منبع مهم مس پس از سیستم‌های پورفیری و IOCG مطرح هستند و با نام مانتو شناسایی می‌شوند. کانسارهای گروه مانتو در ایران به طور عمده دارای سنگ میزبان با سن ائوسن پسین هستند (سامانی، ۱۳۸۱). کانسارهای موجود در منطقه عباس آباد شاهرود، یکی از مهم‌ترین این کانسارها در ایران را شامل می‌شوند (کرخام، ۱۹۹۶). کانسارهای کشت محکی (بویری کناری، ۱۳۸۹)، قبله‌بولاغ (بهزادی، ۱۳۷۳)، وشنویه (مهرابی و فاضلی، ۱۳۸۰) و نیز در این گروه قرار می‌گیرند. به جز کانسار کشت محکی که در پهنه سندرچ- سیرجان واقع است و سن کانه‌زایی در آن مربوط به کرتاسه است، سایر کانسارهای گروه مانتو شناسایی شده در ایران دارای سن ائوسن هستند.

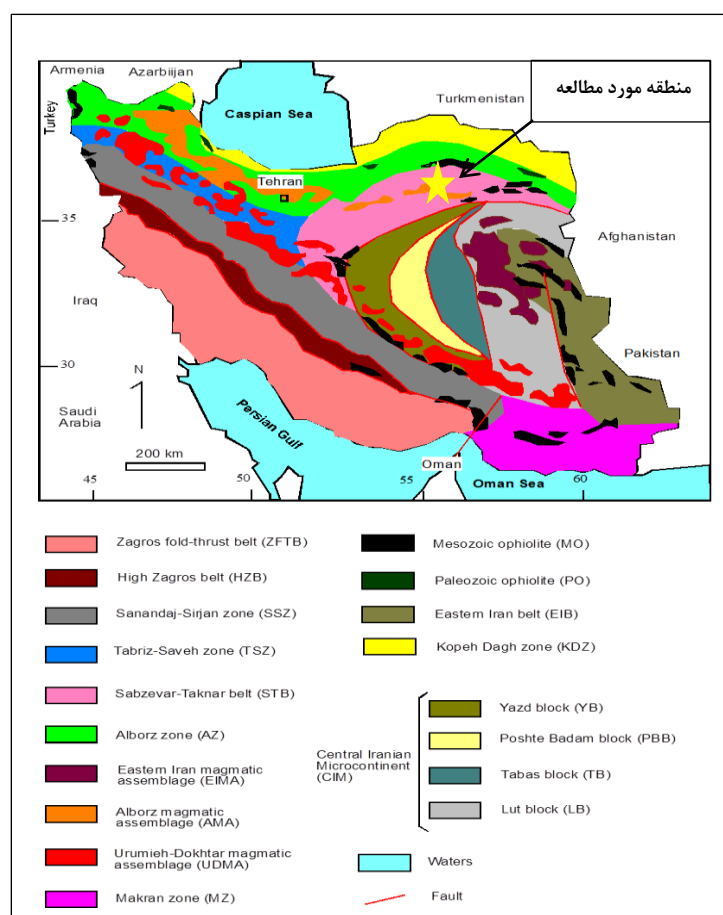
¹ Kirkham

فصل دوم

زمین شناسی ناحیه ای

۱-۲- مقدمه

محدوده معدنی مس بندقیچی، در حاشیه شمالی زون زمین‌ساختی ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱-۲). این زون در ترشیری شاهد فعالیت ماگمایی بسیار گسترده‌ای بوده که حاصل آن در منطقه ترود، نوار آتشفشانی ترود- چاه‌شیرین با روند شمال شرقی- جنوب غربی، حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران را تشکیل می‌دهد. زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه نیز تحت تأثیر شرایط کلی حاکم بر این منطقه شکل گرفته است. در این فصل ضمن شرح چینه‌نگاری، ماگماتیسم، زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک و هم‌چنین زمین‌شناسی اقتصادی در مقیاس ناحیه‌ای بر اساس ورقه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، در ادامه به شرح زمین‌شناسی محدوده کانسار پرداخته خواهد شد.



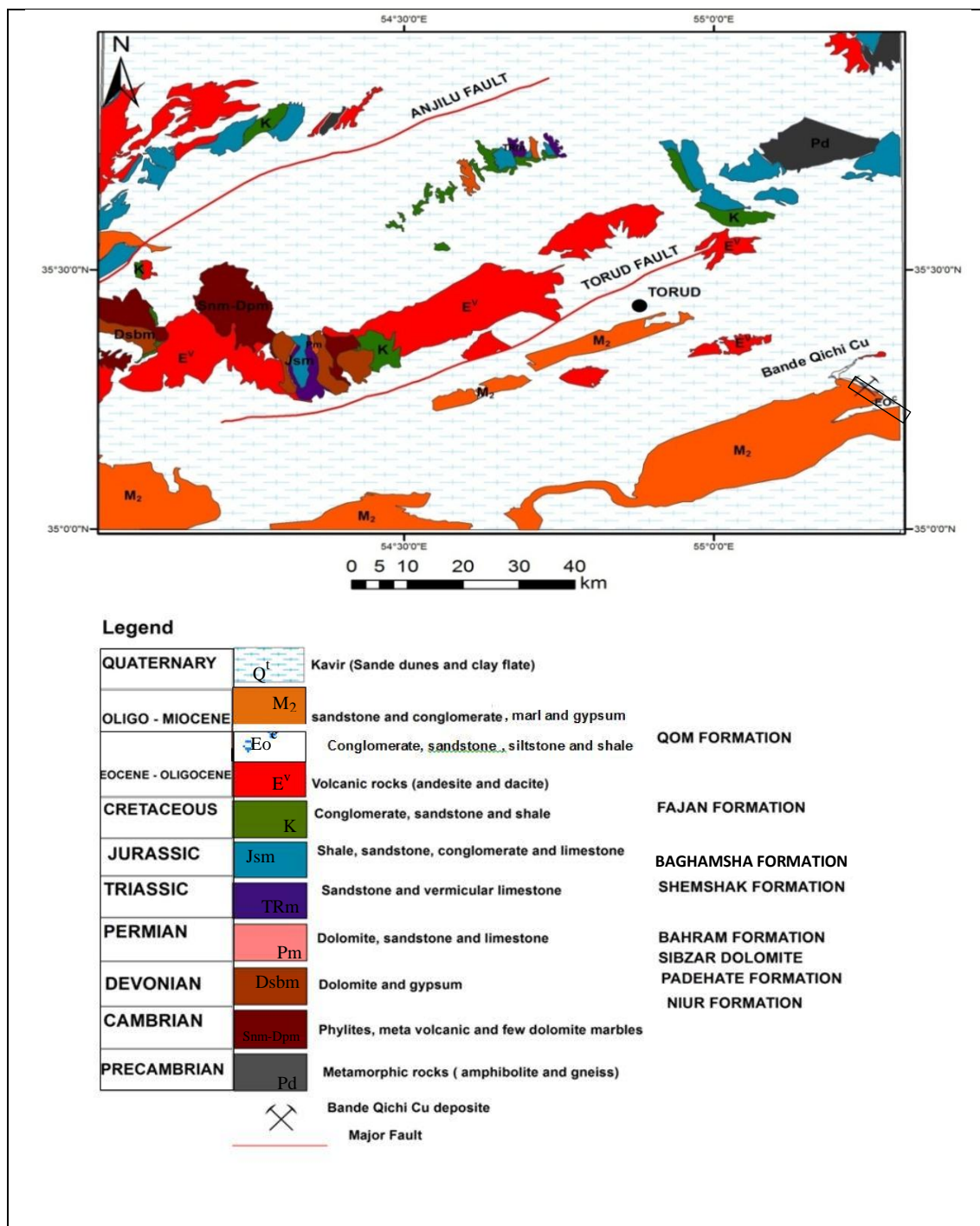
شکل ۱-۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی نقشه پهنه‌بندی ساختاری- رسوبی ایران (علوی، ۱۹۹۴؛ آقا نباتی، ۱۳۸۳).

۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری ایران مرکزی

پهنه ایران مرکزی یکی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلثی در مرکز ایران قرار دارد و بزرگترین و پیچیده‌ترین واحد زمین‌شناسی ایران به شمار می‌آید. در این واحد سنگ‌های با سن پرکامبرین پسین تا کواترنر را می‌توان مشاهده کرد و در آن فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی رخ داده است (قربانی، ۱۳۸۶). این خردقاره بخشی از ایران میانی است که با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نائین، بافت، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده و توسط گسل‌های طویلی که به سمت باختر خمیدگی دارند و از نوع امتدادلغز راستگردند، قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین شتری، فرونشست طبس، فرازمین کلرد، بلوک پشت‌بادام، فروافتادگی بیاضه- بردسیر و بلوک یزد می‌باشد. الگوهای ساختاری حاکم بر این خردقاره از نوع بلوک‌های جدا شده با گسل‌های عمده است که هر یک ویژگی‌های جداگانه دارند و پویایی خرد قاره در همه جا یکسان نیست (آقاباتی، ۱۳۸۳).

۲-۳- چینه‌شناسی

در ناحیه تروند سنگ‌های منسوب به پرکامبرین تا عهد حاضر البته نه به طور پیوسته برونزد دارند. قدیمی‌ترین سنگ‌های ناحیه را سنگ‌های دگرگونی مربوط به پرکامبرین تشکیل می‌دهند که در کوه‌شتر رخنمون دارد و جوان‌ترین آن‌ها را رسوبات کواترنر تشکیل می‌دهد. چینه‌شناسی و زمین‌شناسی در مقیاس ناحیه‌ای و منطقه‌ای بر مبنای نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ تروند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷) به شرح زیر معرفی می‌گردد. شکل ۲-۲ بخشی از نقشه زمین‌شناسی ناحیه‌ای تروند را نشان می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌گردد واحدهای رخنمون‌یافته در آن محدوده سنی پرکامبرین تا عهد حاضر را در بر می‌گیرند. واحدهای رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ تروند مربوط به ترشیری تا عهد حاضر می‌باشند. شکل ۲-۳ بخشی از نقشه زمین‌شناسی منطقه‌ای تروند را نشان می‌دهد.



شکل ۲-۲: نقشه زمین شناسی ناحیه‌ای ترود (علوی و همکاران، ۱۳۵۵) که نشان دهنده واحدهای سنگی پرکامبرین تا عهد حاضر می‌باشد.

- **پرکامبرین (Pd):** سنگ‌های منسوب به پرکامبرین در شمال و شرق روستای سهل شامل مجموعه‌ای از گنیس، آمفیبولیت و میکاشیست می‌باشد که به تدریج به طرف بالا جای خود را به فیلیت - کوارتز - شیست و سربیسیت شیست می‌دهد. این مجموعه از نظر سنگ‌شناسی شباهتی به ترادف‌های پالئوزوئیک پسین تا مزوزوئیک نداشته و درجه دگرگونی آن بسیار بالاتر می‌باشد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- **پالئوزوئیک (Snm-Dpm, Dsbm, Pm):** سنگ‌های پالئوزوئیک پایین شامل تناوبی از طبقات دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ به همراه آهک‌های توده‌ای و گدازه‌های آندزیتی می‌باشد که قابل مقایسه با سازند نیور است. به عقیده هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، رسوبات کربونیفر در این ناحیه یافت نمی‌شوند، ولی رسوبات کربناتی و فسیل‌دار پرمین با طبیعت تقریباً آواری و کم‌عمق و تناوبی از کالک‌شیست، کوارتزیت و آهک نازک لایه می‌باشند که مستقیماً بر روی سازند بهرام قرار می‌گیرند.

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

- **کرتاسه (K):** دریای کرتاسه پس از جنبش‌های تکتونیکی شدیدی که در جنوب گسل انجیلو به یک دگرشیبی پیشرفته می‌انجامد، پیشروی خود را با رسوبات آواری قرمز رنگ شروع می‌کند و سپس با نشست کف آن و تغییر رژیم رسوبگذاری، تناوبی از آهک و شیل برجای گذاشته می‌شود که در پایین‌ترین بخش آن فسیل‌های مربوط به آپسین و در بالاترین قسمت، فسیل‌های مربوط به سنونین و

احتمالاً تا کامپانین موجود می‌باشند. سرانجام دریا با پسروی دوباره، رسوبات آواری قرمز رنگی به جا می‌گذارد که جز در باختر معدن سرب خانجار، فرسایش ترشیری اثری از آن به جای نگذاشته است. از نظر سنگ‌شناسی و چینه‌شناسی، کرتاسه در سراسر ناحیه وضعیت نسبتاً یکسانی دارد و تمام سازندهای پیش از خود را با یک دگرشیبی زاویه‌ای که گاه به ۸۰ درجه می‌رسد (کوه خرگوشی) می‌پوشاند.

۲-۳-۱- ترشیری

ترشیری در منطقه تروود همراه با فعالیت‌های چشمگیر آتشفشانی بوده که بخشی از مجموعه ماگمایی چاه‌شیرین- سبزوار- تایباد را شامل می‌گردد. از آنجا که نهشته‌های آغازگر ترشیری در ناحیه تروود در محدوده‌هایی که توسط گسل‌های انجیلو و تروود به وجود آمده است با هم متفاوت است، این محدوده زمانی که در ائوسن آغاز و در الیگوسن خاتمه می‌یابد را به ترتیب زیر مورد بررسی قرار می‌دهند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

۲-۳-۱-۱- رسوبات دریایی نومولیت‌دار (ائوسن- الیگوسن) در شمال گسل انجیلو

رسوبات دریایی ائوسن - الیگوسن را در این قسمت از ناحیه می‌توان به چهار مجموعه با لیتولوژی مشخص و متفاوت تقسیم نمود، شامل ۱- یک مجموعه کنگلومرایی مربوط به ائوسن زیرین، ۲- یک مجموعه توف، شیل سیاه‌رنگ و سنگ‌های آتشفشانی، ۳- مجموعه‌ای از ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن که مشخص ائوسن میانی است و ۴- مارن و توف‌های آبی‌رنگ مربوط به ائوسن بالایی تا الیگوسن زیرین و یا حتی میانی که بالاترین حد این سری را تشکیل می‌دهد.

- واحد E^C (افق کنگلومرایی (معادل تشکیلات فجن)): ائوسن با تناوبی از کنگلومرا و سنگ‌آهک ماسه‌ای نومولیت‌دار شروع می‌شود که می‌تواند معادل سازند فجن کوه‌های البرز باشد. قطعات کنگلومرا بسیار متفاوت است و بیشتر از قطعات آهکی- دولومیتی پرمین و ژوراسیک تشکیل شده‌اند.

- واحد E و E^{V2} : توف، شیل و سنگ‌های آتشفشانی ائوسن میانی (سازند کرج): روی سنگ‌آهک ماسه‌ای نومولیت‌دار را تناوبی از توف و شیل سیاه رنگ، گدازه‌ها و برش آتشفشانی می‌پوشاند که در حدود ۱۶۰۰ متر ضخامت دارد. این سری رسوب، فسیلی به‌دست نمی‌دهد تا بتوان سن آن را تعیین کرد ولی در ۵۰۰ متری شمال دهکده جام در میان این سری یک عدسی آهک ماسه‌سنگی ظاهر می‌شود که حاوی مقادیر فراوانی نومولیت است.

- واحد Eo^c : تناوب مارن، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (مارن دوظهیر): روی تناوب ضخیم آتشفشانی- رسوبی، تناوبی از مارن گچ‌دار، ماسه‌سنگ آهکی و گاه کنگلومرا می‌نشیند که ضخامتی حدود ۱۵۰۰ متر را نشان می‌دهد و با توجه به فسیل‌های به‌دست آمده از این مجموعه، سنی معادل لوتسین بالائی تا شروع ائوسن بالایی تعیین شده است.

- واحد E: تناوب توف و مارن (واحد توفی کوه‌رزاقی): رسوبات دریایی نومولیت‌دار با ۴۰۰ متر تناوب مارن کرم رنگ، توف سفید و توف کرم رنگ خاتمه می‌یابد. این مجموعه همیشه با یک کنگلومرای قاعده‌ای روی مارن دوظهیر قرار می‌گیرد ولی در بین آن‌ها یک دگرشیبی مشهود نیست. فسیل‌هایی که در افق‌های مختلف این مجموعه یافت می‌شود برای قسمت بالای آن سن الیگوسن زیرین را به‌دست می‌دهد.

۲-۳-۱-۲- رسوبات دریایی ائوسن - الیگوسن در جنوب گسل ترود

در دامنه جنوبی کوه‌های چاه‌مسی - رشم - چاه‌شیرین و در حاشیه دشت کویر، یک ترادف رسوبی آتشفشانی وجود دارد که از نظر چینه‌شناسی و فسیل‌های اندکی که به دست داده است مربوط به ائوسن تا الیگوسن می‌باشد. و از پایین به بالا متشکل از طبقات زیر می‌باشد.

- تناوبی از کنگلومرا، ماسه‌سنگ، برش آتشفشانی و گدازه‌های آتشفشانی: قطعات کنگلومرایی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود. برش‌ها بیشتر شامل برش توفی، آندزیتی است و

به‌طور کلی تمام عناصر کنگلومرا، ماسه‌سنگ، برش‌های آتشفشانی و گدازه‌ها، آندزیتی است.

روی این تناوب یک لایه سنگ‌آهک ماسه‌ای می‌نشیند که تقریباً به‌طور کلی از نومولیت‌های درشت، گاستروپود و دوکفه‌ای لاملی‌برانشیا تشکیل می‌شود. در قسمت پایین، این سنگ‌آهک به‌صورت پراکنده و عدسی‌مانند همراه با گدازه‌های آندزیتی دیده می‌شود که هم‌زمان بودن این آهک نومولیت‌دار با گدازه آتشفشانی را نشان می‌دهد.

- تناوبی از توف‌های سبزرنگ، لاپیلی توف، شیل‌های سبز مایل به سیاه و ماسه‌سنگ و طبقاتی از کنگلومرا: ضخامت این قسمت حدود ۱۵۰-۱۰۰ متر می‌باشد و قابل مقایسه با تناوب توف- شیل سازند کرج است.

- واحد M₂: طبقات ماسه‌سنگ، کنگلومرا و مارن‌های ژئوپس‌دار مربوط به سازند قرمز بالایی.

۲-۳-۱-۳- سنگ‌های آتشفشانی محدوده بین گسل‌های انجیلو- ترود (کوه‌های ترود- چاه‌شیرین)

تمام رشته‌کوه‌های شمال ترود تا سوسنوار و نیز زمین‌های ناهموار بین کوه‌های غارو- چاه‌شیرین را تناوبی از برش و گدازه‌های آتشفشانی تشکیل می‌دهد که بیشتر ترکیب آندزیتی دارند. ضخامت آن‌ها از شرق به غرب کم می‌شود چنان‌که در شمال ستوه ضخامت از ۲۰۰۰ متر تجاوز نمی‌کند و در غرب، این ضخامت به حدود ۱۰۰۰ متر تقلیل می‌یابد و در منتهی‌الیه غربی منطقه از چند متر تجاوز نمی‌کند و جای خود را به تناوبی از مارن‌های زرد رنگ، ماسه‌سنگ و توف‌های سبزرنگ می‌بخشد. این سنگ‌ها معمولاً به‌طور دگرشیب روی سنگ‌های مختلف کرتاسه یا سنگ‌های قدیمی‌تر کرتاسه را می‌پوشاند. چهار قسمت مشخص را می‌توان از نظر آتشفشانی و طبیعت سنگ‌ها در این تناوب تشخیص داد که شامل گدازه قاعده‌ای یا آندزیت ستوه، برش‌های آتشفشانی زیرین، برش آتشفشانی میانی و برش آتشفشانی بالایی می‌باشد.

- **آندزیت ستوه:** ترادف ضخیمی است از گدازه‌های آتشفشانی که قسمت پسین آن برونزد ندارد و آنچه دیده می‌شود، در شمال کوه دوشاخ حدود ۷۰۰ تا ۸۰۰ متر ضخامت دارد. احتمالاً قطعات حاصل فرسایش همین گدازه‌ها منبع کنگلومرای قاعده برش آتشفشانی زیرین را در ناحیه ترود تشکیل می‌دهد. در میان این ترادف گاه افق‌های نازکی از برش‌های آندزیتی دیده می‌شود ولی بیشترین حجم آن را گدازه‌های آندزیتی تشکیل می‌دهد که گاه حالت برش‌مانندی به خود می‌گیرد. این گدازه‌ها به تناوب دارای بلورهای درشت پیروکسن و یا هورنبلند هستند و در بیشتر آن‌ها بیوتیت نیز وجود دارد.

- **برش‌های آتشفشانی زیرین:** این ترادف با رسوبات آواری شامل کنگلومرا و ماسه‌سنگ شروع می‌شود و سپس به صورت تناوبی از برش‌های توفی و برش‌های آتشفشانی و گدازه ادامه می‌یابد. در باختر معدن باغو، این واحد به صورت هم‌شیب بر روی آندزیت قاعده‌ای یا آندزیت ستوه قرار می‌گیرد.

- **برش‌های آتشفشانی میانی:** این واحد، سنگ‌های با ماهیت اسیدی‌تر از سنگ‌های آتشفشانی زیرین و بالایی را در بردارد و از توف‌های ریزدانه تا برش‌های توفی با ترکیب داسیتی پدید آمده است که در کوه کاهوان رخنمون دارد.

- **برش‌های آتشفشانی بالایی:** این بخش در ۱۷ کیلومتری شمال ترود رخنمون دارد و به طور هم‌شیب بر روی برش‌های آتشفشانی زیرین قرار گرفته است. این بخش از پایین به بالا شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ توفی، برش توفی، کنگلومرا، برش آتشفشانی آندزیتی و برش توفی آندزیتی است. سنگ‌های آتشفشانی در جنوب منطقه (جنوب گسل ترود) با ترکیب الیوین‌بازالت، الیوین‌بازالت تفریق‌یافته و پیروکسن‌آندزیت که به طور متناوب با سنگ‌های رسوبی قرار گرفته‌اند می‌باشد. در بخش شمالی (شمال گسل ترود) منطقه، ترکیب سنگ‌ها اسیدی‌تر و ترکیب بیشتر آن‌ها آندزیتی و کم‌تر داسیتی و بازالتی می‌باشد. در ادامه به بررسی سازند قرمز زیرین، سازند قم و سازند قرمز بالایی در منطقه پرداخته می‌شود.

- سازند قرمز زیرین: سازند قرمز زیرین در شمال گسل انجیلو و نیز در حد فاصل گسل‌های انجیلو و رشته کوه‌های ترود- چاه‌شیرین یافت نمی‌شود. در ۲۵ کیلومتری جنوب چاه‌شیرین، در شرق و غرب گنبد نمکی، سازند قرمز زیرین با ۲۳۰ متر ضخامت به طور هم‌شیب روی ماسه‌سنگ و توف‌های ائوسن تا الیگوسن را می‌پوشاند. این سازند در قسمت پایین با ۱۰ تا ۱۵ متر کنگلومرا شروع می‌شود که بیشتر تکه‌های آن را سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های سیلیسی تشکیل می‌دهند. در قسمت‌های بالاتر طبقات کنگلومرا با مارن قرمز رنگ و ماسه‌سنگ رسی و مارن گچی و گل گچ‌دار در تناوب است. حد بالایی سازند قرمز زیرین به‌طور هم‌شیب زیر اولین لایه آهکی فسیل‌دار دریایی قرار می‌گیرد. در ۱۰ کیلومتری شمال غرب کلاته رشم کنگلومرای تشکیلات قرمز زیرین درشت دانه‌تر است و با طبقات ضخیمی از سیلت‌سنگ قرمز قهوه‌ای که دارای کنکرسیون‌های آهکی است در تناوب است. سازند قرمز زیرین به طرف شرق تقلیل می‌یابد به طوری که در شرق رشم- معلمان اثری از آن نیست.

- سازند قم: تناوب مارن و آهک سازند قم در شمال گسل انجیلو انتشار چندانی ندارد و به جز در شمال غرب دشت یزدان‌آباد، آن هم به صورت رخنمون‌های پراکنده دیده نمی‌شود. در فاصله بین گسل‌های انجیلو و ترود سازند قم به کلی غائب است و در جنوب گسل ترود حاشیه کویر به ویژه در غرب ناحیه با ضخامتی حداکثر ۴۱۰ متر ظاهر می‌شود. در جنوب چاه‌شیرین سازند قم با ۴۱۰ متر از مارن‌های دریایی لایه‌های صدف‌دار و آهک رخنمون دارد. در سوسن‌وار در ۲۰ کیلومتری شرق- شمال شرق کلاته رشم الیگوسن به کلی حذف می‌شود و قسمت پایینی سازند قم با میوسن زیرین شروع می‌گردد. در اینجا نیز این طبقات حاوی مجموعه فسیل‌های میوسن زیرین است که به واسطه ۱۰ متر کنگلومرای قرمز، مربوط به سازند قرمز زیرین، روی طبقات سبز ائوسن می‌نشیند و دیگر به طرف شرق یا جنوب شرق اثری از سازند دریایی دیده نمی‌شود.

- سازند قرمز بالایی: در شمال گسل انجیلو سازند قرمز بالایی در شمال چشمه بی‌بی و در اطراف رودخانه سهل رخنمون دارد. این سازند در قسمت پایین خود دارای افق‌های گچی است که با

سنگ‌های رسی، مارن‌های ژئوپس‌دار قهوه‌ای روشن و ماسه‌های آهکی قرمز در تناوب است. قسمت بالای آن از ماسه‌سنگ آهکی و کنگلومرای قرمز تشکیل می‌گردد. سازند قرمز بالایی از غرب به شرق تقلیل می‌یابد و به‌طور کلی از نهشته‌های یک رژیم کولابی تشکیل می‌شود. بیشتر محتوای این سازند را سنگ‌لای مارنی-رسی به رنگ زرد، صورتی و قرمز قهوه‌ای تشکیل می‌دهد که مقادیر متغیری مواد رس ماسه‌ای و نیز لایه‌هایی از مارن و سیلت‌های سبزرنگ را در خود دارد. ماسه‌سنگ در این سازند کم است و در عوض مقدار رسوبات تبخیری بسیار زیاد می‌باشد. به‌طور کلی از پایین به بالا سه بخش را می‌توان در میان این تشکیلات تشخیص داد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- **بخش پایینی (M_1):** این قسمت با محتوای فراوان رسوبات تبخیری مشخص است و بهترین رخنمون‌های آن در تاقدیس جنوب معلمان دیده شده است. این قسمت به‌طور کلی از تناوب طبقات چند متری گچ، نمک و سنگ‌لای قرمز و سبز تشکیل می‌شود. گچ معمولاً گره‌دار است و به دلیل لایه‌های رس سبزرنگی که به‌طور متناوب دارد، لایه‌بندی خوبی نشان می‌دهند. نمک‌ها گاهی خالص ولی غالباً لایه‌هایی از رس و ماسه قرمز رنگ را در خود دارند.

- **بخش میانی (M_2):** ضخامت این بخش در شمال تاقدیس معلمان حدود ۱۳۰۰ تا ۱۵۰۰ متر است. جنوب چاه‌شیرین، بخش میانی (M_2) سازند قرمز بالایی تناوبی از ماسه‌سنگ‌های قرمز و سبز خاکستری، سنگ‌لای و سنگ‌رس ماسه قهوه‌ای روشن تا تیره و طبقات ماسه‌سنگ درشت‌دانه و ضخیم می‌باشد و در آن‌ها گاه لایه‌بندی مورب دیده می‌شود.

- **بخش فوقانی: میو- پلیوسن ($M-P_1$):** این قسمت از سازند قرمز بالایی در هسته ناودیس جنوب معلمان حفظ شده است. این بخش از تناوبی از ماسه‌سنگ و کنگلومرای تشکیل می‌شود که اندازه قطعات آن به طرف بالا درشت‌تر می‌گردد. به طرف شرق و غرب، رخساره این بخش عوض می‌شود و به تناوبی از ماسه‌سنگ، سنگ‌رس، ماسه گچ و نمک‌دار تبدیل می‌شود و در جنوب چاه‌شیرین به تناوبی از گچ، نمک، سنگ‌لای و ماسه‌سنگ تبدیل می‌شود که ضخامتی بیش از ۱۰۰۰ متر دارد.

این تغییر سریع در رخساره نشان می‌دهد که احتمالاً رسوب سازند قرمز بالایی در حوضه‌ای با شرایط امروزی کویر نهشته شده است. سازند قرمز بالایی در تمامی دشت کویر در چهارگوش تروند گسترش دارد ولی همیشه به وسیله پوسته‌ای به ضخامت ۰/۵ تا ۱ متر از مواد آبرفتی پوشیده شده است. به طوری که برای دسترسی به سازند اصلی باید ترانشه زد. به نظر می‌رسد که کویر را بخش میانی (M_2) پوشانده است. به این دلیل در ترانشه‌ها به تناوبی از سنگ‌لای قرمز قهوه‌ای رنگ، مارن قهوه‌ای رنگ، مارن سبز و ماسه‌سنگ قرمز برمی‌خوریم که از گچ و نمک بارور است.

۲-۳-۲- پلیوسن - کواترنر

نهشته‌های جوان منطقه به صورت کنگلومرا و مارن، به گونه دگرشیب واحدهای قدیمی‌تر منطقه را می‌پوشانند. نهشته‌های پس از میو- پلیوسن بیشتر از کنگلومرا، رس و مارن‌های گچ‌دار تشکیل شده است که روی تمام سازندهای قدیمی‌تر را با دگرشیبی می‌پوشاند. نهشته‌های پلیو- پلیستوسن به نوبه خود چین‌خورده است و جوان‌ترین سازندی است که زیر تأثیر جنبش‌های کوهزایی قرار گرفته است. با اینکه نهشته‌های پلیوسن - کواترنر در سراسر ناحیه تقریباً مشابه است ولی باز اختلافاتی در طبیعت آن‌ها از شمال تا جنوب رشته‌کوه‌های تروند- چاه‌شیرین دیده می‌شود. این نهشته‌ها در شمال رشته‌کوه‌های تروند- چاه‌شیرین به سه بخش مشخص تقسیم شده‌اند (علوی، ۱۹۷۲).

نهشته‌های پلیو- پلیستوسن: جدیدترین سازندی است که از حرکات کوهزایی متأثر است و تناوبی است از کنگلومرا، رس و مارن‌های گچی که رنگ‌شان به تناسب بخش‌های زیرین آن‌ها تغییر می‌کند. عناصر تشکیل‌دهنده کنگلومرا، از تمام واحدهای سنگی اعم از دوران اول تا میوسن سرچشمه می‌گیرد و اندازه آن‌ها از شمال به جنوب کم می‌شود. در غرب دشت یزدان‌آباد با رس‌های گچی کمی مونت‌موریلونیتی شروع می‌شود که از دگرسانی سنگ‌های سبز ائوسن و سازند قم حاصل می‌شود. قسمت‌های بالایی این رس‌ها حاوی اندکی نمک است که از سازند قرمز بالایی سرچشمه می‌گیرد. به طرف بالا این نهشته‌ها به تناوبی از رس‌های رنگارنگ، کنگلومرا و ماسه‌سنگ سفت نشده می‌انجامد که

ضخامت کلی این نهشته‌ها را گاه به حدود ۲۵۰ متر می‌رساند.

- واحد Q^{t1} (تراس یا آبرفت‌های قدیمی): روی نهشته‌های پلیو- پلیستوسن را که آشکارا چین خورده‌اند تراس‌های آبرفتی یا آبرفت‌های قدیمی می‌پوشاند که گاه تشخیص آن‌ها از نهشته‌های بالایی مشکل است. این آبرفت‌ها معمولاً از کنگلومرایی تشکیل می‌شود که درجه چسپندگی آن مختلف است. بیشتر اوقات یک دگرشیبی مهم این آبرفت‌ها را از سازندهای قدیمی‌تر دوران اول تا پلیوسن جدا می‌کند که خود مبین یک فاز کوهزایی پس از پلیوسن و فعالیت خشکی‌زایی کواترنر قدیمی است.

- واحد Q^{a1} (آبرفت‌های کنونی): شامل نهشته‌های سطحی کنونی و آبرفت‌هایی است که از فرسایش تراس‌ها و سازندهای قدیمی‌تر به وجود می‌آید. مخروط‌های افکنه و قلوه‌سنگ‌ها جزء این قسمت است. ضخامت این نهشته‌ها از ۴۰ متر تجاوز نمی‌کند.

در جنوب کوه‌های ترود- چاه‌شیرین، هوبر^۱ نیز سه بخش متمایز نهشته‌های پلیو- پلیستوسن، تراس‌ها و دشت کویر را در میان این نهشته‌ها تشخیص داده‌اند.

- (نهشته‌های پلیو- پلیستوسن): کنگلومرای مربوط به این نهشته‌ها دو پشته بزرگ در شرق و غرب کلاته رشم تشکیل می‌دهد. آبرفت‌های کنونی با شیبی حدود ۳۰ درجه به سمت جنوب در این محل با نهشته‌های پلیو- پلیستوسن دگرشیبی دارد. لایه‌بندی این نهشته‌ها تنها در امتداد رودخانه مشخص است. قطعات این کنگلومرا گرد است و در شرق کلاته رشم این کنگلومرا به طرف پایین به رس ماسه و ماسه تبدیل می‌شود که درجه سنگ‌شدگی آن کم است. در شمال ترود نیز نهشته‌های گل و رس ماسه که روی سازند قرمز بالایی قرار می‌گیرد حالت نیمه افقی دارد ولی توسط گسل‌های شرقی- غربی قطع شده است.

¹ Huber

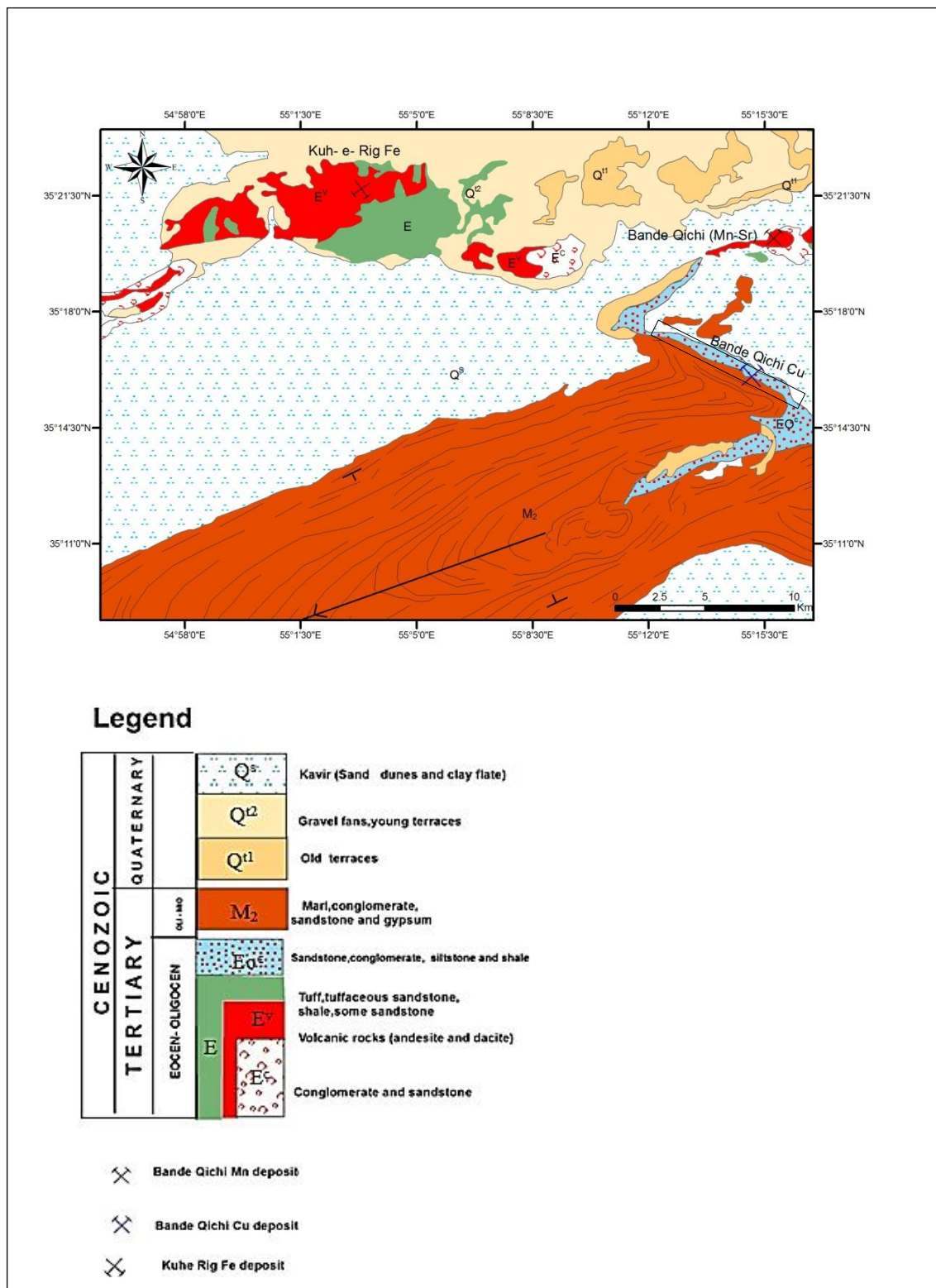
- **تراس‌ها (Q^{t1}, Q^{t2}):** این قسمت شامل مخروط‌های افکنه کنونی و نیز تراس‌های قدیمی می‌شود. تراس‌های قدیمی معمولاً ۲۰ الی ۳۰ متر از کف دره‌های کنونی ارتفاع دارد و روی آن‌ها را طبقه نازکی از قلوه‌سنگ می‌پوشاند. قلوه‌سنگ‌ها از کنگلومراهای میو- پلیوسن سرچشمه می‌گیرد. نزدیک گنبد‌های نمکی، این تراس‌ها تا حدود ۱۰ درجه به سمت بالا خم شده است و این چیزی است که ادامه حرکت این گنبد‌ها را تا زمان کنونی نشان می‌دهد.

- **واحد Kavir (دشت کویر):** در ناحیه تروند نهشته‌های کواترنر تنها به قسمت‌های گودتر محدود می‌شود. رودخانه‌های سیلابی در این قسمت‌ها جوشش‌های نسبتاً نازکی از گل و رس و ماسه گسترده‌اند و در برخی جاها تبخیر این آب‌ها نمک خالصی به جا گذاشته که گاه برای استخراج مورد استفاده قرار می‌گیرد. به طور کلی این نهشته‌های کواترنر کم‌ضخامت است و حوضه‌ها عمق چندانی ندارد. بقیه کویر را سازند قرمز زیرین می‌پوشاند. روی این سازند را پوسته نازکی به ضخامت ۰/۵ تا ۱ متر گل بارور از نمک فرا می‌گیرد که آبرفتی است و محصول تجزیه شدن رسوبات زیرین است.

- **گنبد‌های نمکی:** در جنوب‌غرب به گنبد‌های متعدد نمکی برمی‌خوریم که اشکال گوناگون گرد تا بیضی دارند و یا توده‌های درازی را در هسته تاقدیس‌های دیابیری تشکیل می‌دهد.

- **نمک‌های دیابیری هسته تاقدیس‌ها:** این گنبد‌ها دارای سنین مختلفی است. به طوری که در جنوب‌شرق چاه‌شیرین، سنگ‌نمک خالص که لاقل مربوط به ائوسن است هسته تاقدیس را در همین محل پر می‌کند. لایه‌های متناوب چین‌خورده و پیچ و تابدار گچ و گل‌های قرمز به صورت درگیر در این توده نمک‌ها دیده می‌شود که با نهشته‌های دوره‌ای بخش M_1 تطابق دارد.

- گنبد‌های نمکی پراکنده: این گنبد‌ها با قسمت‌های مختلف سازند قرمز بالایی در تماس است و بین ۵۰ تا ۸۰ متر از دشت ارتفاع می‌گیرد. گنبد نمکی که در ۳۰ کیلومتری جنوب چاه‌شیرین بخش (M_2) سازند قرمز را قطع می‌کند دارای کلاهدک نازکی از گچ و قطعات بزرگ و عدسی‌هایی از سنگ‌های آتشفشانی است. در ۲۸ کیلومتری جنوب‌شرق چاه‌شیرین گنبد بزرگ هرم‌مانندی دیده می‌شود. در قسمت شمالی مجاورت سنگ‌نمک با سنگ‌لای و مارن‌های سبزرنگ موازی است ولی در جنوب، مقاطعی چین‌خورده را از سازند قرمز بالایی در بر می‌گیرد. در قسمت شرقی، نمک به‌وسیله گسل‌های متعددی در امتداد شمال‌شرق قطع می‌گردد. ترک‌هایی که توسط این گسله‌ها ایجاد شده، از توده‌های گردمانند اکسید آهن، گچ و کنکریون‌های بزرگی از هماتیت خالص پر شده است. نمک بخش M_1 ضخامتی بین ۳۰۰ تا ۷۰۰ متر دارد که برای تمام گنبد‌هایی که توسط این قسمت احاطه می‌شود کافی است. قطعاتی از قسمت M_1 سازند قرمز بالایی، شیل‌های بیتومین‌دار، آهک گاستروپوددار و مارن‌های گچی به فراوانی در میان این گنبد‌ها دیده می‌شود که خود ریشه‌گرفتن این نمک‌ها را از میان بخش M_1 تایید می‌کند.



شکل ۲-۳: نقشه زمین شناسی منطقه ای ترود بر اساس نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (علوی و حقی پور، ۱۳۵۵) که نشان دهنده واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه مورد مطالعه و موقعیت کانسار مس بندقیچی می باشد.

۲-۴- ماگماتیسزم

ناحیه تروند از قدیمی‌ترین زمان‌های زمین‌شناسی شاهد فعالیت‌های ماگمایی بوده است. این فعالیت‌ها در دوران اول و دوم به فراخور حوادث تکتونیکی اندک اندک آغاز می‌شود و در دوران سوم به اوج خود می‌رسد و از خود حجم قابل ملاحظه‌ای از سنگ‌های آذرین را در میان ترادف‌های این دوران به جای می‌گذارد. بستگی فعالیت‌های ماگمایی با تکتونیک منطقه بسیار بدیهی است ولی شدت آن از نقطه نظر این که با چه نوع حرکتی می‌تواند همراه باشد مسئله‌ای قابل توجه است. مثلاً در آغاز دوران اول فعالیت چشمگیر است و دلیل آن نیز حرکات اپیروژنیکی است که این قسمت را از پهنه البرز جدا می‌کند ولی پس از آن علی‌رغم وجود این حرکات در طول دوران اول از فعالیت ماگمایی خبری نیست. حرکات کوهزایی اوایل و نیمه‌های دوران دوم جز به ظهور برخی گدازه‌های متفرق نمی‌انجامد ولی در اوایل دوران سوم که حرکات کوهزایی در آن در مقام مقایسه با حرکات پیش از کرتاسه چندان شدید نیست، فعالیت چنان است که می‌توان نام این دوران را دوران فعالیت‌های ماگمایی نام گذاشت (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

- فازهای ماگمایی ترشیری: در ترشیری همه عوامل زمین‌شناسی منطقه تحت تأثیر فعالیت‌های ماگمایی قرار می‌گیرد و محصولات آن سراسر ناحیه را از توف- گدازه و توده‌های مختلف نفوذی می‌پوشاند و حجم قابل ملاحظه‌ای از ترادف‌های این دوران را به خود اختصاص می‌دهد. فعالیت ماگمایی این دوران در لوتسین آغاز می‌گردد و در سرتاسر ائوسن میانی ادامه می‌یابد، در ائوسن پسین این فعالیت متوقف می‌شود و سپس در اواخر ائوسن پسین فعالیت باز از سر گرفته می‌شود. پس از خاموشی الیگوسن پسین، فعالیت ماگمایی باز از سر گرفته می‌شود ولی تعیین زمان آن ممکن نیست. به این دلیل که محصولات آن به صورت دایک و سیل و توده‌های کوچک نفوذی ظاهر می‌شود که تمامی ترادف‌ها را تا الیگوسن می‌پیماید. در شمال گسله انجیلو فعالیت ماگمایی با تناوب‌هایی از گدازه و توف میان سازندهای آواری ائوسن تظاهر دارد. گدازه‌ها بیشتر از جنس آندزیت پیروکسن‌دار و

توف‌های داسیتی است. بیشترین فعالیت در نوار بین کوه‌های ترود- رشم دیده می‌شود. در اینجا فعالیت ماگمایی با خروج گدازه‌های آندزیتی آغاز می‌شود که بیشتر از ۷۰۰ متر ضخامت دارد و سپس به تناوبی از برش‌گدازه‌ای، برش‌توفی و مقادیر کم‌تری توف می‌انجامد. بیشتر حجم ۲۰۰۰ متری محصولات ماگمایی این قسمت از ناحیه را آندزیت تشکیل می‌دهد و تنها پس از یک زمان نسبتاً طولانی به حالت اسیدی‌تر تبدیل می‌شود و محصولات داسیتی با حجم کم به دست می‌دهد. به نظر می‌رسد فعالیت ماگمایی ائوسن میانی و بالایی مربوط به حرکات پس از کرتاسه و پیش از لوتسین باشد و گدازه‌های میوسن را شاید بتوان با حرکات بین الیگوسن و میوسن در ارتباط دانست.

۲-۵- زمین‌شناسی ساختمانی و زمین ساخت

از نظر زمین‌شناسی ساختاری، محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی زون ایران مرکزی واقع شده است (شکل ۱-۲). این بخش روند شمال‌شرقی- جنوب‌غربی (روند کالدونی) دارد و می‌توان محدوده آن را بین گسل‌های درونه (کویر بزرگ) و میامی - عطاری یا سمنان جای داد که قسمت غربی گسل میامی ممکن است به گسل عطاری و یا سمنان پیوسته باشد. گسل‌های عطاری و سمنان (که نسبت به هم فاصله‌ای ۱۰ تا ۲۵ کیلومتر دارند) به‌عنوان جداکننده زون‌های ایران مرکزی و البرز معرفی شده است. این دو گسل ممکن است در دشت آهوان- قوشه به یکدیگر پیوندند و به نظر می‌رسد که گسل عطاری و گسل میامی در اصل یکی بوده باشند و در شمال آن‌ها زون تدریجی بین ایران مرکزی و البرز قرار گرفته باشد. از سوی دیگر ناحیه مورد مطالعه، فازهای دینامیکی بسیاری از سر گذرانده است. به نظر می‌رسد که کلیه تحولات زمین‌شناسی این ناحیه را یک دسته گسله‌هایی تعیین می‌کند که امتدادی موازی با گسل درونه دارد.

- حرکات ترشیری (لارامید، آلپین میانی، آلپین پسین): به نظر می‌رسد اوج حرکت فاز لارامین در پالئوسن بوده که اوایل ائوسن نیز پایان آن می‌باشد. این فاز اثرات مهمی در ناحیه داشته و آن را برای همیشه به نوارهای مشخصی تقسیم کرده است. چنان‌که رسوبات دریایی ائوسن تا الیگوسن در

شمال گسله انجیلو بیش از ۳۰۰۰ متر ضخامت دارد. در کوه‌های دولتیار- مارکوه (نوار بین گسله انجیلو و رشته‌کوه‌های ترود- چاه‌شیرین) یعنی در فاصله کم‌تر از چند ده کیلومتر از ناحیه شمال گسله انجیلو پس از کرتاسه هیچ نوع رسوبی دیده نمی‌شود. در نوار کوه‌های شتر- ترود- چاه‌شیرین که احتمالاً در جنوب گسله ترود محدود می‌شود که به طور کلی از سنگ‌های آتشفشانی تشکیل می‌شود، طبقات کنگلومرا و ماسه‌سنگ نیز وجود دارد و بالاخره در جنوب گسله ترود ضخامت رسوبات دریایی از ۶۰۰ متر تجاوز نمی‌کند. از سوی دیگر فاز لارامید یک چین‌خوردگی نسبتاً ملایم نیز به همراه دارد به طوری که هرچنانچه مستقیماً روی کرتاسه می‌نشیند با یک دگرشیبی زاویه‌ای همراه است. حرکات تکتونیکی پس از آئوسن شدت نسبتاً کم‌تری داشته است. حرکات آلپین میانی (پیرنه‌ای) به صورت عمومی بوده است. درحالی‌که حرکات اواخر الیگوسن باعث چین‌خوردگی مختصری می‌شود که نشانه آن دگرشیبی زاویه‌ای بین سازند کم‌عمق قم و سازند قرمز پایینی در شمال گسله انجیلو می‌باشد. اواخر میوسن کم شدن عمق دریا و تشکیل سازند قرمز بالایی، مقدمه حرکاتی است که در اواخر پلیوسن باعث چین‌خوردگی طبقات می‌شود (آلپین پسین). به طوری‌که نهشته‌های پلیو- پلیستوسن با دگرشیبی زاویه‌ای روی تمام طبقات قدیمی‌تر خود می‌نشیند. پس از پلیستوسن باز حرکاتی که باعث چین‌خوردگی می‌شود آغاز به کار می‌کند به طوری‌که نهشته‌های کواترنر و تراس‌های قدیمی روی یک کف چین‌خورده قرار می‌گیرند. این حرکات هرگز از فعالیت باز نمی‌ایستند، چنان‌که آبرفت‌های کواترنر با یک دگرشیبی آشکار روی تراس‌های قدیمی قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، یک دسته گسل اصلی از کامبرین به بعد بر ناحیه تأثیر گذاشته است. روند این گسله‌ها N-60-70-E است و شیبی نزدیک به قائم دارند. آخرین حرکات گسله‌های جنوب رشته‌کوه‌های ترود- چاه‌شیرین دارای دو نوع حرکت است، یکی افقی و چپ‌گرا که قسمت جنوبی گسله را به سمت شرق می‌راند و دیگری عمودی که این قسمت را به طرف پایین سوق می‌دهد. دلیل این دو حرکت، همان خراش‌های روی صفحات گسله‌ای است که زاویه‌ای بین ۳۰ تا ۵۰ درجه با افق می‌سازند. گسل‌های فرعی، به ترتیب طول و گسترش، دارای امتدادهای شمال‌شرقی- جنوب‌غربی، شمال‌غربی- جنوب

شرقی و کم‌تر شمالی - جنوبی و شرقی - غربی هستند. روند چین‌خوردگی در زمان‌های مختلف و در نواحی مختلف متفاوت است. روند چین‌خوردگی‌ها مربوط به اواخر تریاس (فاز کیمبرین قدیمی)، به علت ضعف آن و شدت چین‌خوردگی‌های بعدی مشخص نیست. چین‌خوردگی بین ژوراسیک بالا و کرتاسه پایین (کیمبرین جدید) در نوار کوه‌های شتر - ترود - چاه‌شیرین دارای روندی به سمت شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد. در ناحیه شمال گسله انجیلو روند این چین‌ها در مجاورت گسله انجیلو به سمت شمال می‌گراید. چین‌خوردگی پس از کرتاسه و پیش از ائوسن (فاز لارامین)، تاقدیس و ناودیس‌های ملایم و محورهای رو به شمال داشته است که به علت شکستگی‌های پیایی، وضعیت این چین‌خوردگی‌ها در نوار کوه‌های شتر - ترود - چاه‌شیرین در ابهام باقی می‌ماند. چین‌خوردگی‌های پس از ائوسن روندهای مختلفی دارد و اکثراً حتی در یک نوار از شمال تا شرق تغییر می‌کند. در ناحیه شمال گسله انجیلو بیشتر، روند آن‌ها حدود N-70-E می‌باشد. در نوار کوه‌های شتر - ترود - چاه‌شیرین در جنوب گسله ترود روندها مختلف است چنان‌که بین کوه‌های غارو و رشم، شمالی - جنوبی و در کوه‌های ترود دارای روندی N-70-E می‌باشد.

۲-۶- زمین‌شناسی اقتصادی

به‌طور کلی در منطقه معدنی ترود دو گونه شاخص از کانی‌سازی اقتصادی دیده می‌شود که شامل کانی‌سازی فلزی و غیرفلزی می‌باشد.

۲-۶-۱- کانسارهای فلزی

۲-۶-۱-۱- کانسارهای آهن منطقه ترود

نشانه‌هایی از کانه‌زایی آهن به صورت اکسیدهای آهن مانند هماتیت، گوتیت، الیزبیت در پنج‌کوه دیده می‌شود. کانی‌سازی غنی از آهن در پنج‌کوه از نوع کانی‌سازی ترود - چاه‌شیرین همراه با مگنتیت می‌باشد. این کانی‌سازی‌ها در نزدیکی سنگ‌های کربنات‌دار و درزه‌ها تشکیل شده است و منشأ

گرماپی دارد.

- کانسار آهن پرعیار در کوه کم‌انجیر (محدوده رباعی): در دامنه شمالی کوه کم‌انجیر در یک زون گسله همراه با دایک آندزیتی، کانی‌سازی آهن با عیار متوسط تا خوب برونزد دارد که با توجه به گسترش طولی آن می‌توان به عنوان یکی از بهترین رگه‌های آهن‌دار منطقه برشمرد (اشرفی و جعفریان، ۱۳۷۴).

- **کانسار آهن چالو:** در شرق دره چالو و معدن مس چالو کانی‌سازی آهن به صورت اولیژیست و هماتیت در داخل سنگ‌های آهکی کرتاسه فوقانی دیده می‌شود. این سنگ‌آهک‌ها بر اثر عمل متامورفیسم همبری با توده نفوذی مونزونیتی به اسکارن تبدیل شده‌اند.

۲-۶-۱-۲- کانسارهای مس منطقه ترود

در بسیاری از نقاط محدوده آغشتگی کانه‌های مس‌دار دیده شده است. در مواردی کانه‌های مس‌دار با طلا، آهن، سرب و روی همراه است.

- **کانی‌سازی مس در محدوده کلوت‌بند:** سنگ‌های متشکله ناحیه کلوت‌بند و چاه‌آباد را تکرار باندهایی از سنگ‌های آتشفشانی پورفیری‌تیک آلترا شده، کنگلومرای با قطعات ولکانیکی و ماسه‌سنگ توفی دانه‌درشت و توف همراه با گدازه‌های زیردریایی آندزیتی می‌دانند که کانی‌سازی مس در این سنگ‌ها به صورت هیدروترمال دیده می‌شود که اغلب در شکستگی‌ها و شکاف‌های کوچک سنگ‌ها به جا گذاشته شده است.

- **کانسار مس، آهن و طلا در محدوده رباعی - هشده:** همراه با سنگ‌های آتشفشانی و سنگ‌های کربناتی قدیمی، کانی مس و آهن طلا‌دار به صورت رگچه‌ها و رگه‌های کوچک و پراکنده قابل مشاهده است.

- **کانسار مس چالو:** این کانسار در ۱۲ کیلومتری شمال شرق معلمان واقع شده است. لیتولوژی

محدوده معدن را گدازه آندزیتی و توده نفوذی و سنگ‌های میلونیتی کاتاکلاستی تشکیل می‌دهد. کانی‌سازی عمدتاً مربوط به مس است که درون شکستگی‌های سنگ‌میزبان آندزیتی مشاهده می‌شود.

- **کانسار مس چاه فراخ:** این کانسار در ۲۱ کیلومتری شمال‌شرق روستای معلمان قرار دارد. کانی‌سازی عمدتاً مربوط به مس است که درون سنگ‌های آندزیتی ائوسن تشکیل شده است. کانه‌های اصلی این کانسار از نوع مالاکیت، کوولیت، کالکوسیت و گالن است و منشأ کانی‌سازی از نوع رگه‌ای می‌باشد.

- **کانسار مس چاه موسی:** این کانسار در شمال‌غرب ترود واقع شده است. سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی شامل توده‌های نیمه‌عمیق تونالیتی تا گرانودیوریتی و سنگ‌های آتشفشانی و نیمه‌آتشفشانی با ترکیب آندزیتی و تراکیتی تا داسیتی به سن ائوسن است. کانه‌های تشکیل‌دهنده کانسار شامل مالاکیت، کالکوسیت، کوپریت و گاه پیریت و کالکوپیریت به همراه گالن می‌باشد. کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه در منطقه کانسار دیده می‌شود (صادقی فلک‌دهی، ۱۳۸۲).

۲-۶-۱-۳- کانسارهای سرب و روی منطقه ترود

بیشتر کانسارهای سرب و روی منطقه از نوع گرمابی هستند و مهم‌ترین اندیس‌های شناخته شده آن‌ها شامل کانسارهای زیر می‌باشند.

- **کانی‌سازی سرب چاه شیرین:** این معدن در جنوب‌شرق سمنان در دامنه جنوب‌شرق کوه چاه‌شیرین واقع شده است. ماده معدنی به صورت سولفیدی (گالن) در داخل رگچه‌های باریت قرار دارد. سنگ درونگیر آن آهک دولومیتی کمی متبلور شده به رنگ خاکستری روشن است.

- **کانی‌سازی سرب و روی و باریم در کوه تنوره:** کوه تنوره در بخش غربی ناحیه ترود قرار دارد. سنگ درونگیر ماده معدنی، آهک و آهک دولومیتی سیلورین-دونین می‌باشد و کانه‌زایی در قاعده این رسوبات کربناته و در درزه‌ها و شکاف‌های موجود در آن انجام شده است. منشأ کانه‌زایی گرمابی است.

گالن و اسفالریت در شکاف‌های موجود دیده می‌شود. سرب علاوه بر نوع گالن به صورت سروزیت و آنگلزیت دیده شده است (اشرفی و جعفریان، ۱۳۷۴).

- **کانسار سرب خانجار:** کانسار سرب-نقره- روی خانجار در ۶ کیلومتری شمال شرق روستای رشم واقع است. گاهی سرب در میان طبقات آهنی به صورت گالن رگه‌هایی را تشکیل می‌دهد و یا ترک‌ها و حفره‌ها را پر می‌کند. کانه‌های آن شامل گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، کوولیت، باریت و کلسیت می‌باشد. ژنز ماده معدنی هیدروترمال می‌باشد.

۲-۶-۱-۴- کانسارهای طلای منطقه ترود

نشانه‌هایی از کانی‌سازی طلا در نواحی باغو- کوه‌زر، دارستان و گندی به دست آمده است که ویژگی‌های آن‌ها بیشتر با تیپ کانسارهای گرمابی چند فاز به‌ویژه اپی‌ترمال با سنگ میزبان آتشفشانی همخوانی نسبی دارد و در پیوند با سیالات مشتق شده از ماگماتیسم ائوسن- الیگوسن تشکیل شده است.

- **طلای باغو:** کانی‌سازی طلا در باغو در یک رگه سیلیسی به طول ۷۰۰ متر روی داده است. کانی‌سازی این رگه سیلیسی نیز ساده و متشکل از تورمالین، پیریت، کالکوپیریت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی نشانگر ارتباط کانه‌سازی طلا و مس با سیالات سیلیسی تأخیری مرتبط با نفودی‌های نیمه عمیق در محدوده باغو می‌باشد.

- **کانسار طلای چشمه‌حافظ:** این کانسار در بخش‌های شمال تا شمال غربی کلاته چشمه بابا حافظ واقع است. سنگ‌های منطقه شامل آندزیت- داسیت، تراکی آندزیت- بازالت، داسیت و میکروکوآرتزدیوریت است. کانی اصلی در قسمت‌های سطحی زون کانه‌ساز، مالاکیت است که به صورت دانه پراکنده، رگچه و آغشتگی وجود دارد. گالن در برخی قسمت‌ها وجود دارد اما میزان آن نسبت به مالاکیت کم‌تر است.

۲-۶-۲- کانی‌سازی غیر فلزی در منطقه ترود

در منطقه ترود، ذخایر غیر فلزی به‌خصوص خاک‌های صنعتی قابل توجهی وابسته به توف‌های اسیدی یافت می‌شود. در محور رشم تا شمال باختر ترود یک افق توفی مربوط به ائوسن وجود دارد که دارای ترکیب توف‌های اسیدی-ریولیتی می‌باشد. در محدوده‌هایی از افق یاد شده، توف‌ها به کانی‌های صنعتی مانند مونت‌موریلونیت و کائولینیت تبدیل شده‌اند و در جایی که کانی اصلی مونت‌موریلونیت است این توف‌ها تشکیل معادن بنتونیت را داده‌اند. در جایی که کانی اصلی کائولینیت است این توف‌ها تشکیل معادن کائولن و در جایی که این توف‌ها تقریباً سالم و آلتره نیستند و میزان فلدسپات آن‌ها بالاست تشکیل معدن فلدسپات داده‌اند.

- **کانی‌سازی بنتونیت رشم:** این کانسار در فاصله ۱۰ کیلومتری شرق دهکده رشم قرار دارد. سنگ‌های ائوسن از چند متر برش‌های آتشفشانی، توف سبزرنگ و مارن‌های سیلتی زرد رنگ پدید آمده است. قسمت توفی دگرسان شده سبز کم‌رنگ در محدوده معدنی و شرق رشم ضخامت بیشتری دارد، ماده معدنی بنتونیت رشم در ارتباط با این توف سبزرنگ است.

- **سیلیس:** در نقاطی که سنگ‌های شیستی پالئوزوئیک گسترش دارند رگه‌های سیلیسی مشاهده می‌شود. در اثر دگرگونی این شیست‌ها، رگه‌های سیلیسی به‌صورت موبیلیزاسیون در آن آزاد شده و بعضاً رگه‌های قابل توجهی را به وجود آورده‌اند که در برخی نقاط نیز از کیفیت خوبی برخوردار می‌باشند.

- **نمک و گچ:** در نیمه جنوبی ورقه کلاته رشم، چندین گنبدنمکی رخنمون یافته‌اند. به‌طور معمول بر روی گنبدن‌های نمکی ضخامتی از لایه‌های گچ دیده می‌شود که در صورت اقتصادی بودن می‌تواند مطرح باشد. از چندین نقطه در محدوده مورد مطالعه از مصالح ساختمانی نظیر سنگ‌های آهکی، سنگ‌لاشه، ماسه‌سنگ توفی می‌توان جهت سنگ مالون و پودر سنگ موزائیک استفاده کرد.

فصل سوم

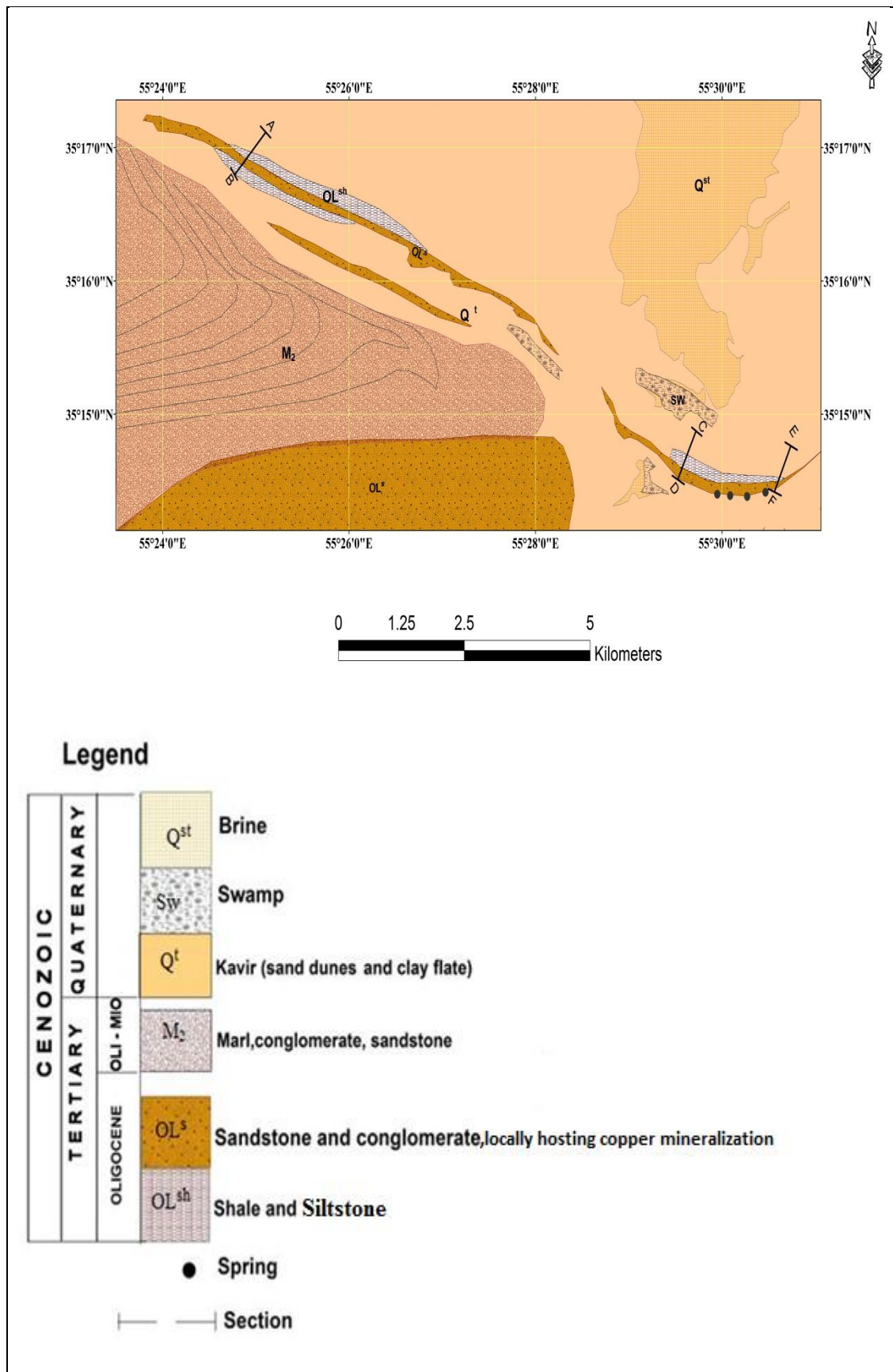
زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۳-۱- مقدمه

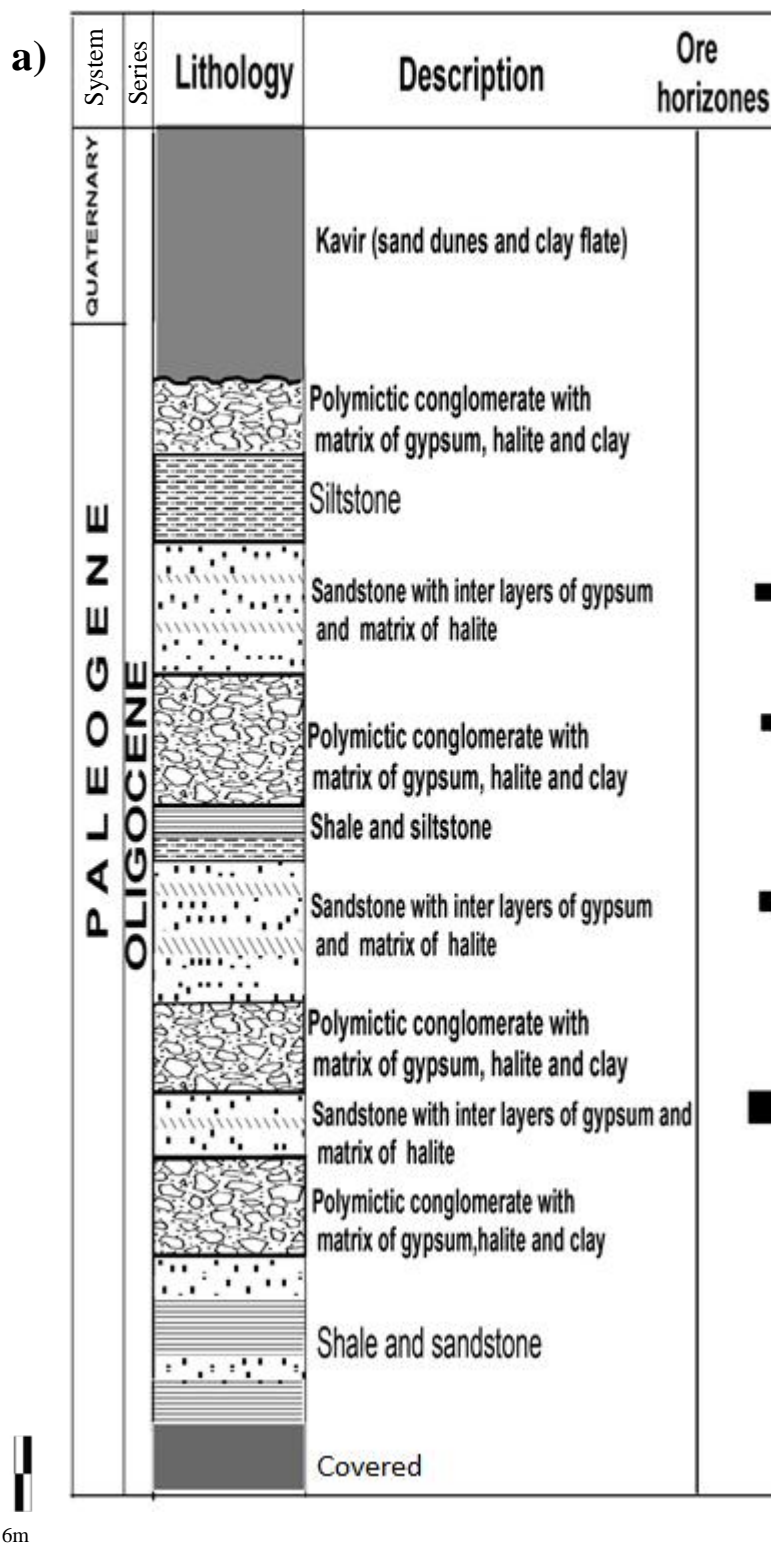
محدوده معدنی بندقیچی بر اساس تقسیم‌بندی ساختاری ایران در زون ایران مرکزی و از نظر زمین‌شناسی ناحیه‌ای در ورقه ۱/۲۵۰۰۰۰ ترود واقع شده است. در این بخش به منظور مطالعه واحدهای سنگی و بررسی نحوه کانه‌زایی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی منطقه، تصاویر ماهواره‌ای و بررسی‌های صحرایی تهیه نقشه محدوده معدنی از منطقه مورد مطالعه به عمل آمد (شکل ۳-۱). هم‌چنین ۳ پروفیل عرضی (عمود بر روند لایه‌بندی) انتخاب و نمونه‌برداری صورت گرفت و ستون چینه‌شناسی مربوط به آن‌ها ترسیم گردید. شکل‌های ۳-۲ تا ۳-۴ ستون چینه‌شناسی مقاطع و شکل ۳-۵ همبستگی و تطابق ستون‌های چینه‌شناسی را نشان می‌دهد. در این فصل به بررسی واحدهای سنگی رخنمون‌یافته در منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین بررسی و مطالعه زمین‌شناسی ساختمانی محدوده مورد نظر پرداخته شده است.

۳-۲- واحدهای سنگی موجود در محدوده کانسار بندقیچی

بر اساس نقشه محدوده معدنی بندقیچی، واحدهای سنگ‌چینه‌ای رخنمون یافته در محدوده کانسار که بخشی از سازند قرمز زیرین می‌باشند محدوده سنی الیگوسن تا الیگومیوسن را در بر می‌گیرند که شامل توالی شیل، گل‌سنگ، سیلتستون (OL_2^{sh})، ماسه‌سنگ و کنگلومرا (OL_2^s) که میزبان کانه‌زایی می‌باشد، توالی مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ (M_2)، واحدهای آبرفتی عهد حاضر به سن کواترنری و شورابه‌ها (Q^{st}) و باتلاق‌های سطحی (SW) می‌باشند. از دیگر واحدهای رخنمون یافته در محدوده می‌توان به واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی به سن ائوسن (E^v) که اطراف محدوده معدنی را در بر گرفته‌اند و از واحدهای رسوبی دربرگیرنده کانسار قدیمی‌تر می‌باشند اشاره کرد. در ذیل به ویژگی‌های هر یک این واحدها به اختصار اشاره می‌شود.



شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی و موقعیت کانسار مس با میزبان رسوبی بند قیچی در واحدهای رسوبی الیگوسن.



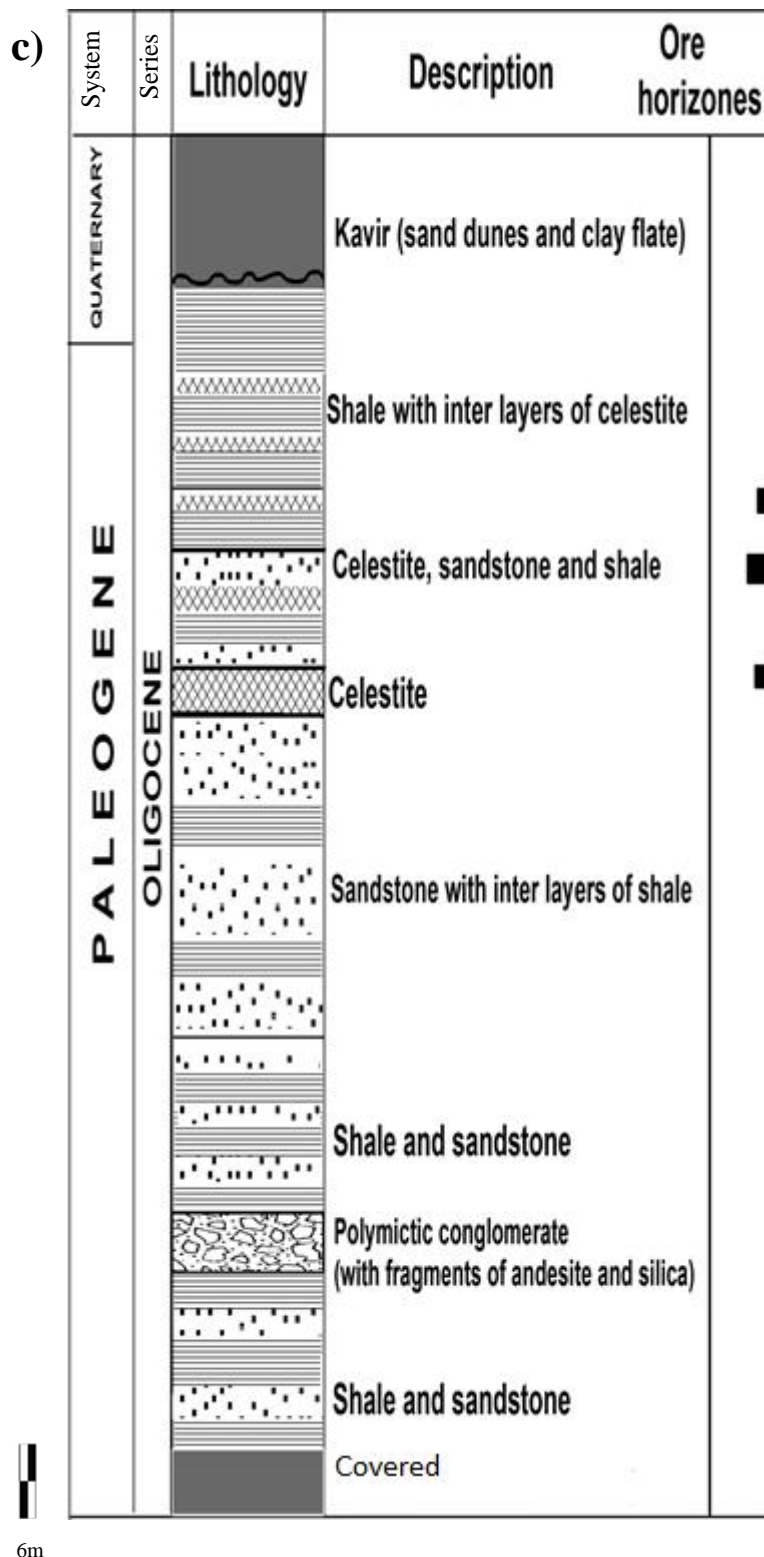
شکل ۲-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در بخش غربی محدوده کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار در آن.

b)

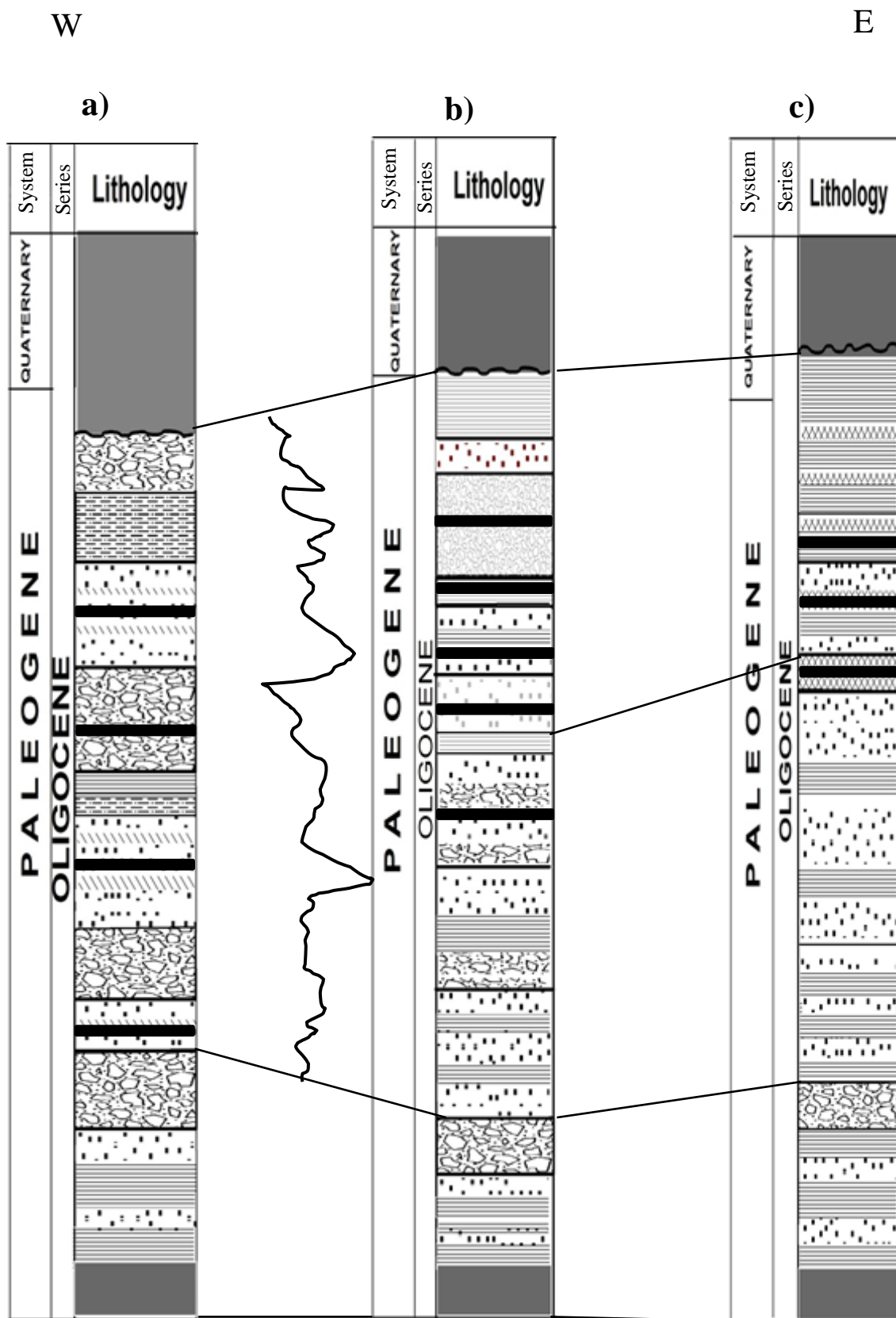
System	Series	Lithology	Description	Ore horizons
QUATERNARY			Kavar (sand dunes and clay flate)	
			Grey shale with matrix of halite and gypsum	
PALEOGENE	OLIGOCENE		Bricky sandstone	
			Grey microconglomerate	
			Grey shale with matrix of halite and gypsum	
			Sandstone with inter layers of shale	
			Grey sandstone with matrix of halite and gypsum	
			Grey shale	
			Sandstone and conglomerate	
			Conglomerate, shale and sandstone	
			Sandstone with inter layers of shale	
			Polymictic conglomerate with fragments of andesite and silica	
			Shale and sandstone	
			Covered	

6m

شکل ۳-۳: ستون چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود در بخش مرکزی محدوده کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار.



شکل ۳-۴: ستون چین‌شناسی واحدهای سنگی موجود در انتهای محدوده شرقی کانسار بندقیچی و موقعیت افق‌های احیایی کانه‌دار.



شکل ۳-۵: نمایی از تطابق و همبستگی ستون‌های چینه‌شناسی واحدهای سنگی موجود همراه با افق‌های کانهدار در سه بخش غربی، مرکزی و شرقی محدوده مورد مطالعه.

۳-۲-۱- واحد M_2 (توالی مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ)

این واحد بر روی واحد OL^{sh} و OL^s قرار گرفته است و تناوبی از واحدهای مارن، کنگلومرا و ماسه‌سنگ با سن الیگومیوسن که بدون هیچ گونه اختلاف ارتفاعی از سطح کویر (دشت) رخنمون نسبتاً وسیعی در جنوب نقشه ترود دارد که در عکس‌های هوایی و سنجش از دور خطوط منظم، دایره‌وار و متحدالمرکزی را ایجاد می‌نمایند (شکل ۳-۶).



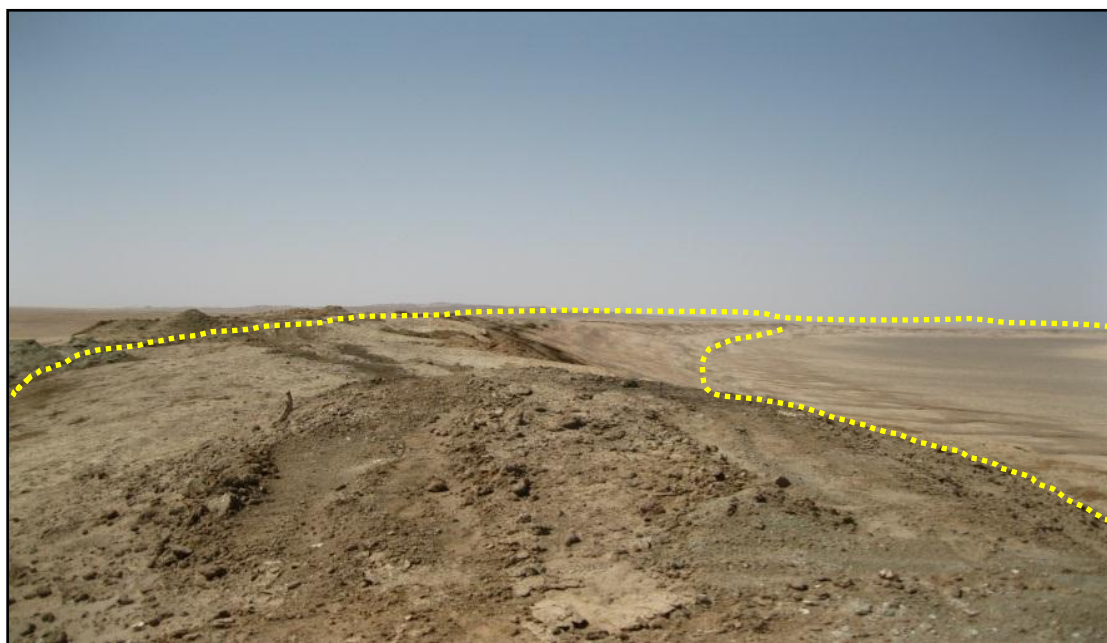
شکل ۳-۶: نمایی از واحد M_2 بر روی تصویر ماهواره‌ای که به صورت خطوط منظم دایره‌وار و متحدالمرکز (چین‌مانند) مشاهده می‌شود.

۳-۲-۲- واحد OL (توالی شیل، گل‌سنگ و سیلتستون (OL^{sh}))، ماسه‌سنگ،

کنگلومرا (OL^s))

این واحد در امتداد یک ماهور مدور به طول ۱۲ کیلومتر با روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی و اختلاف ارتفاع حدود ۳۰ متر از سطح کویر در دو محدوده شرقی و غربی رخنمون دارد که از شرایط کلی زمین‌شناسی حاکم بر جنوب گسل ترود در حاشیه شمالی کویر ایران مرکزی تبعیت می‌کند.

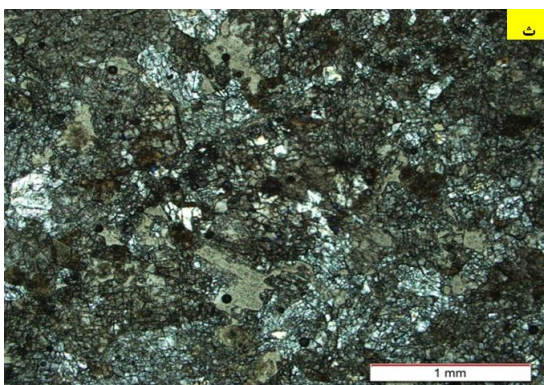
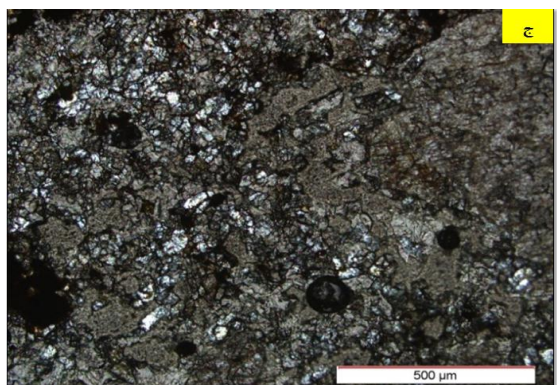
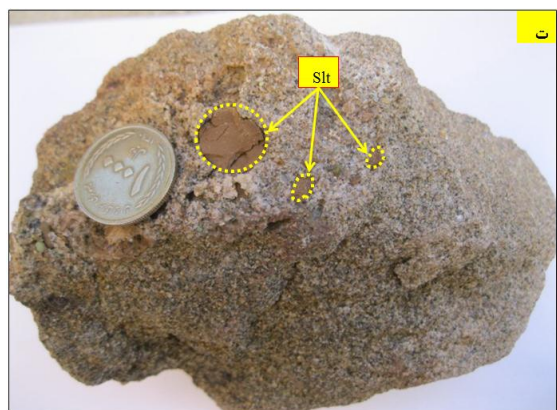
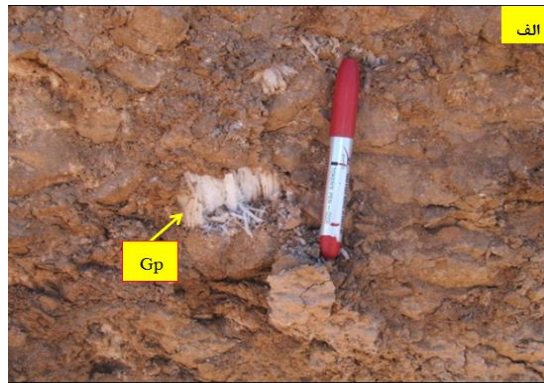
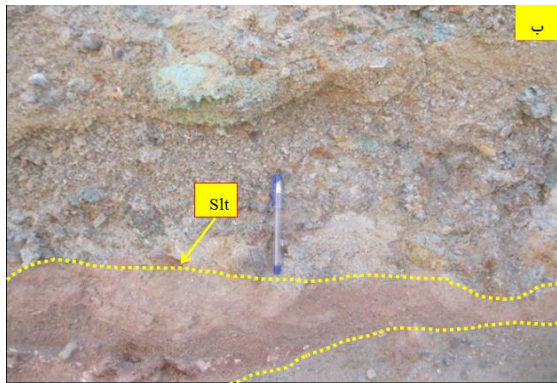
واحد مذکور شامل دو توالی مجزا می‌باشد که با شیل، گل‌سنگ و سیلتستون شروع و در ادامه با توالی ماسه‌سنگ و کنگلومرا پایان می‌یابد. قابل ذکر است که کانه‌زایی در این محدوده بیشتر در توالی کنگلومرای و ماسه‌سنگی صورت پذیرفته است. این توالی‌ها به طور جانبی در مسافت‌های بسیار اندک دچار تغییر رخساره‌های نسبتاً جزئی تا کلی نیز می‌باشند. این واحد بر روی یال جنوبی یک چین‌خوردگی بزرگ قرار گرفته است که به دلیل مقاومت نسبتاً بالای سنگ‌های رسوبی خود، به صورت ماهوری طویل در میان رسوبات کویر مرکزی ایران رخنمون یافته است (شکل ۳-۷). چین‌خوردگی افق کانه‌دار و وجود گسل‌های عرضی با روند عمود بر امتداد طبقات از ویژگی‌های ساختاری و ساختمانی منطقه به شمار می‌رود که در ادامه به چینه‌شناسی و زمین‌شناسی ساختمانی محدوده پرداخته خواهد شد.



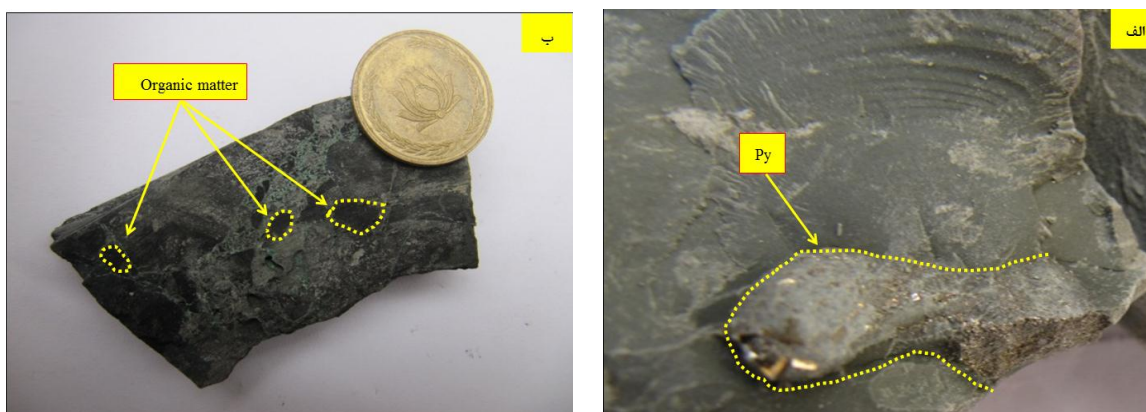
شکل ۳-۷: نمایی از رخنمون واحدهای رسوبی میزبان کانه‌زایی (واحد OL) در محدوده شرقی منطقه که در امتداد ماهوری طویل رخنمون یافته‌اند (دید به سمت شرق).

۳-۲-۱- سیلتستون و شیل

سنگ‌های رسوبی آواری سیلیسی دانه‌ریز از جمله سیلتستون‌ها از واحدهای اصلی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه می‌باشند که نسبت به واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایبی از فراوانی کمتری برخوردارند. شکل ۳-۸ ب، نمایی از این واحد سنگی را در مقیاس رخنمون و شکل ۳-۸ الف، لایه‌های از ژپس را در واحد سیلتستون نشان می‌دهد. اجزای اصلی متشکله سیلتستون‌ها در منطقه شامل کوارتز، کانی‌های رسی، فلدسپات و میکا می‌باشند که توسط سیمان کلسیتی به یکدیگر متصل شده‌اند (شکل ۳-۸، ث و ج). زمینه این واحد سنگی را رس و کانی‌های تبخیری از جمله هالیت و ژپس تشکیل داده‌اند. سیلتستون‌ها در نمونه دستی به رنگ قرمز آجری (در اثر وجود اکسید فریک و هماتیت) و هم‌چنین به رنگ زرد دیده می‌شوند (شکل ۳-۸، پ). هم‌چنین گاهی قطعاتی از این واحد سنگی درون واحدهای ماسه‌سنگی منطقه نیز مشاهده می‌شود (شکل ۳-۸، ت). سیلتستون‌ها در مقایسه با ماسه‌سنگ و کنگلومرا دارای آثار کانه‌زایی محدودتری می‌باشند و تنها آثاری از کانه‌زایی ملاکیت و آزوریت به صورت محدود در آن‌ها مشاهده می‌شود. واحد سیلتستون در بسیاری از افق‌های توالی چینه‌شناسی با بین‌لایه‌های شیل دیده می‌شود. واحد شیلی در نمونه دستی به رنگ خاکستری و هم‌چنین سیاه (به دلیل حضور مواد آلی) مشاهده می‌شود (شکل ۳-۹، ب). هم‌چنین در نمونه دستی واحد شیلی بلورهای کوبیک پیریت مشاهده می‌شود (شکل ۳-۹، الف). حضور مواد آلی و هم‌چنین پیریت که در شیل‌های منطقه مشاهده شده‌اند در ایجاد شرایط احیایی به منظور ته‌نشینی مس نقش عمده‌ای داشته‌اند. هم‌چنین آثاری از کانه‌زایی ملاکیت و آزوریت نیز در آن‌ها مشاهده می‌شود.



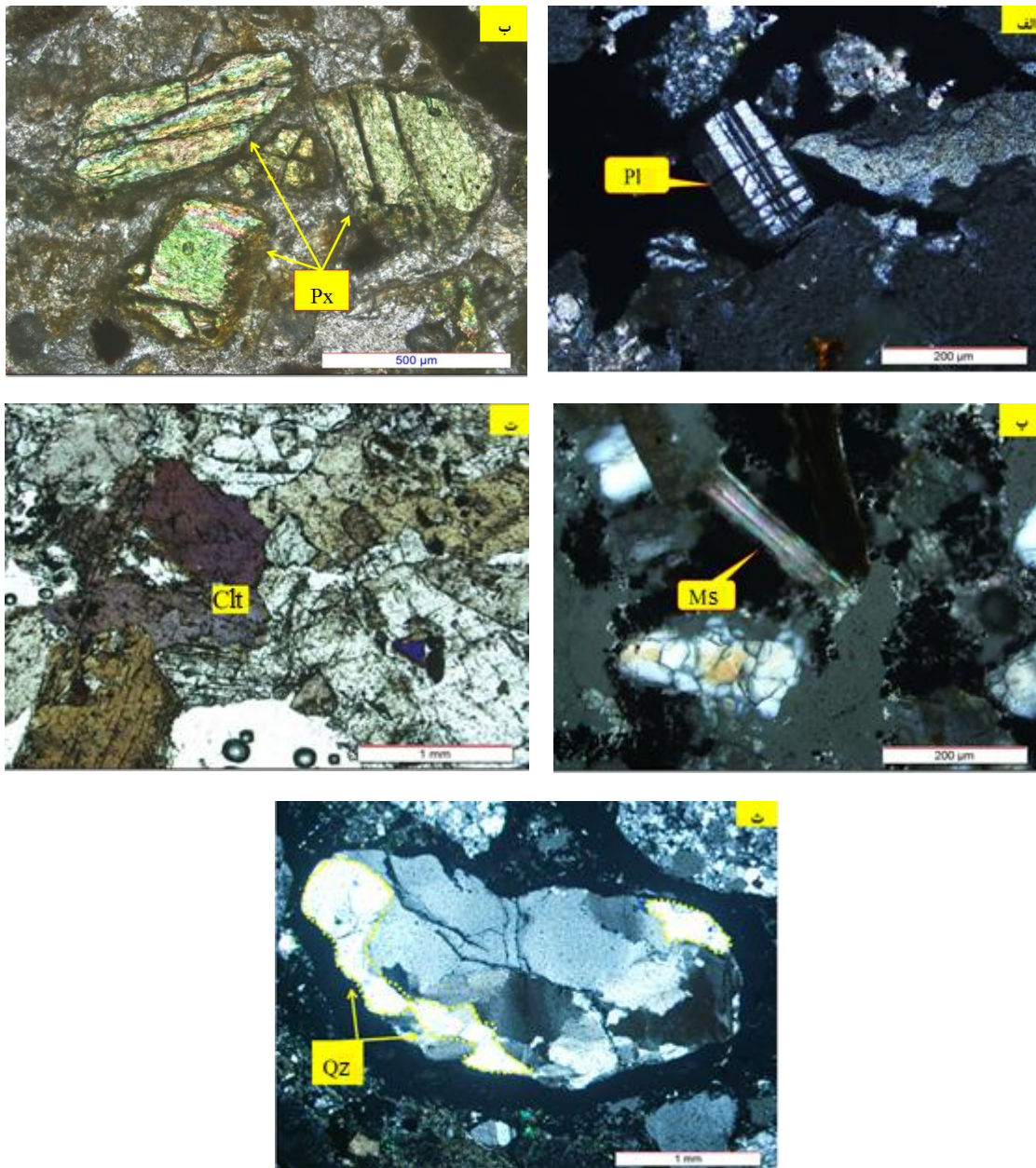
شکل ۳-۸: الف و ب- نمایی از رخنمون واحد سیلتستونی (Slt) که با رنگ قرمز آجری مشخص شده است و گاهی دارای لایه‌های از ژپس (Gp) می‌باشد، پ - تصویر نمونه دستی سیلتستون دانه ریز با رنگ قرمز آجری، ت- قطعه‌ای از واحد سیلتستونی درون واحد ماسه‌سنگی با تفاوت رنگ مشخص، ث و ج- تصاویر سیلتستون همراه با اجزای متشکله در مقیاس میکروسکوپی (نور عبوری (XPL)).



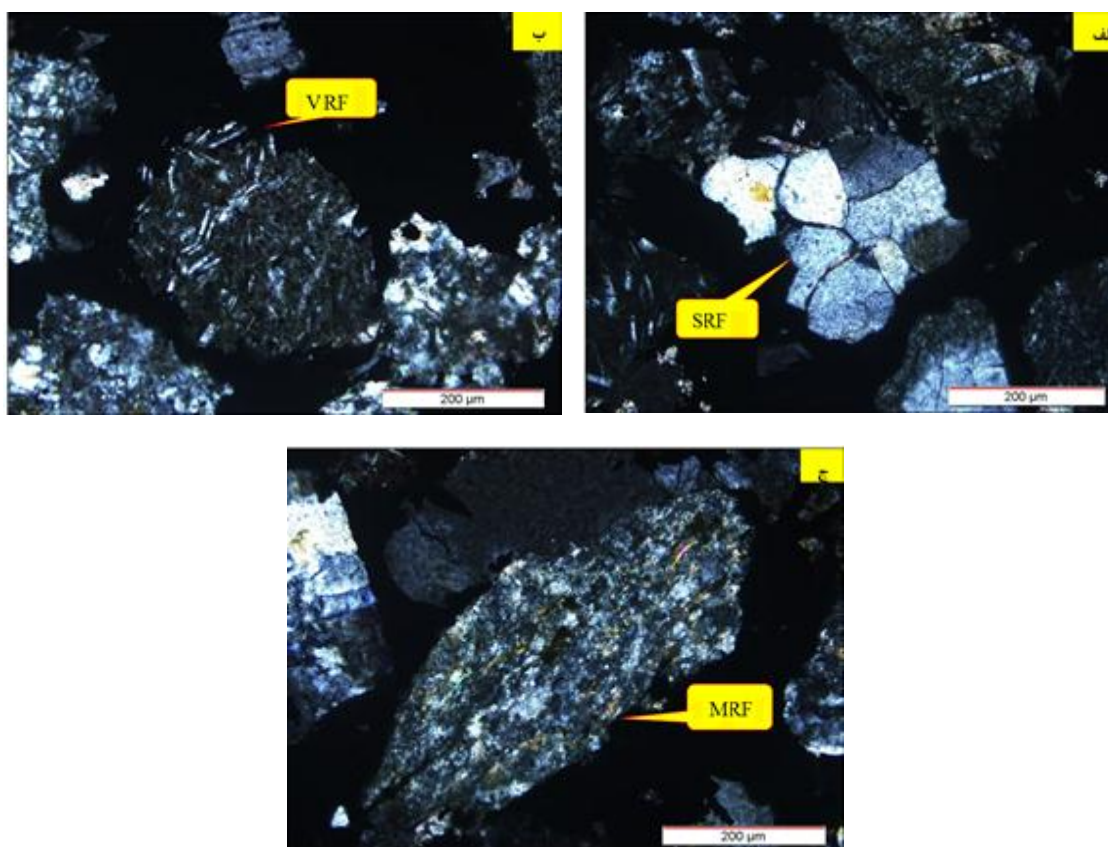
شکل ۳-۹: الف- تصویر نمونه دستی شیل به رنگ خاکستری همراه با بلورهای کوبیک پیریت (Py)، ب- تصویر شیل همراه با آثاری از کانه‌زایی مالاکیت و ماده آلی (بخش‌های سیاه رنگ).

۳-۲-۲-۲- واحد ماسه‌سنگی

یکی از مهم‌ترین واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده محدوده کانسار که به فراوانی در منطقه یافت می‌شود، واحد ماسه‌سنگی است. در نمونه دستی این واحد سنگی به رنگ خاکستری و گاهی به رنگ قرمز آجری رنگ دیده می‌شود. از جمله اجزای تخریبی در ماسه سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌توان به کوارتز، چرت، فلدسپات (پلاژیوکلاز، ارتوز و میکروکلین)، موسکویت، کانی‌های فرومنیزین (شکل ۳-۱۰) و خرده‌سنگ (آذرین، رسوبی و دگرگونی (شکل ۳-۱۱)) اشاره کرد. میزان کوارتز در ماسه‌سنگ‌های منطقه بسیار پایین بوده، به طوری که کمتر از ۲۰ درصد حجم کل سنگ را به خود اختصاص می‌دهند و هم‌چنین به شدت دگرسان شده‌اند. بیشترین حجم اجزای تشکیل‌دهنده این واحدهای سنگی را خرده سنگ‌های از جنس‌های مختلف تشکیل داده‌اند.



شکل ۳-۱۰: تصاویر میکروسکوپی از اجزای تشکیل‌دهنده واحد ماسه سنگی در نور عبوری (XPL)، شامل پلاژیوکلاز (الف) Pl، پیروکسن (ب) Px، موسکویت (پ) Ms، سلسیت (ت) Clt و کوارتز (ث) Qz.



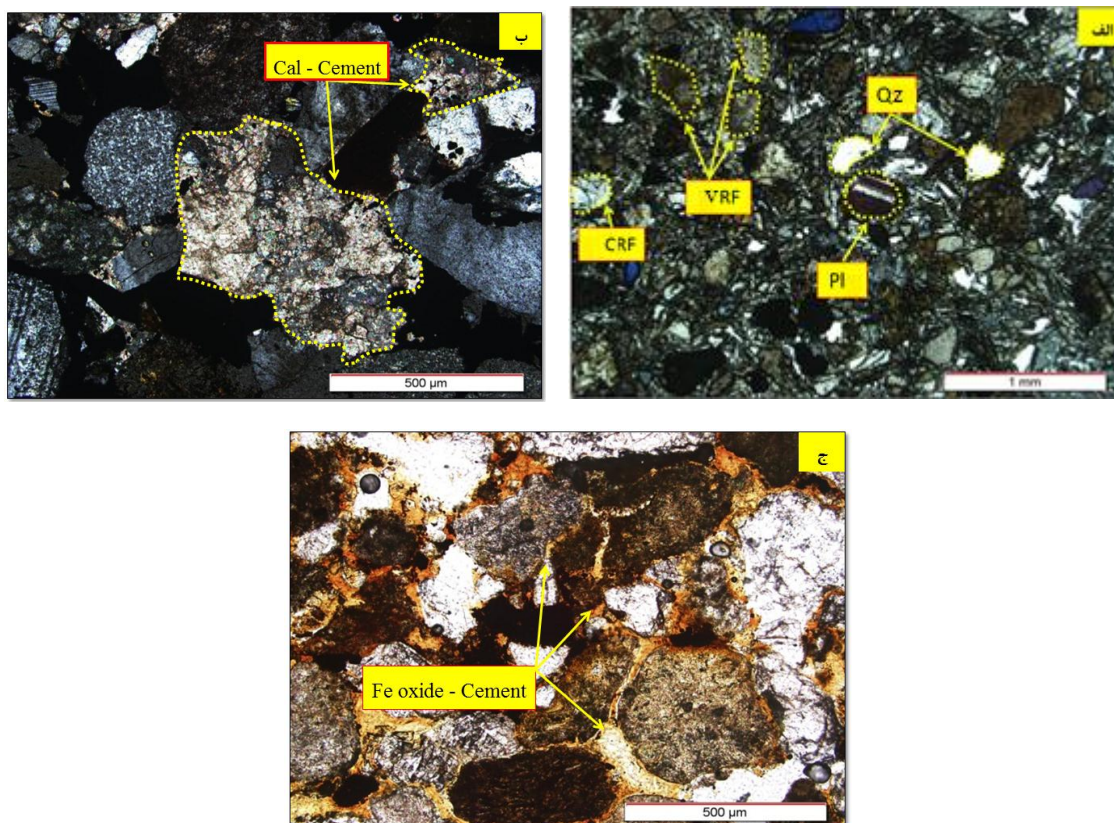
شکل ۳-۱۱: تصاویری از خرده‌سنگ‌های تشکیل‌دهنده واحد ماسه سنگی که شامل خرده‌سنگ‌های رسوبی

(SRF (الف))، آتشفشانی (VRF (ب)) و دگرگونی MRF (ج)) می‌باشد (نور عبوری (XPL)).

از لحاظ اندازه دانه، ماسه‌سنگ‌های منطقه در سه گروه دانه‌ریز، دانه‌متوسط و دانه‌درشت قرار می‌گیرند. این واحد سنگی از لحاظ بافتی دارای بلوغ متوسط تا بالغ می‌باشند. مچوریتی بافتی در ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً منعکس‌کننده فرآیندهای رسوبگذاری است. هر چند ممکن است در اثر فرآیندهای دیاژنتیکی نیز تغییر کند (تا کر^۱، ۲۰۰۱). ماسه‌سنگ‌های بالغ یعنی مقدار کمی ماتریکس داشته و از نظر جورشدگی خوب تا متوسط و دارای دانه‌های نیمه گرد شده تا گرد شده هستند، به این مفهوم که کانی‌های تشکیل‌دهنده این سنگ‌ها مسافت زیادی را حمل کرده‌اند و مجموع انرژی و زمان مصرف شده برای تشکیل سنگ مناسب بوده است. بلوغ متوسط یعنی میزان ماتریکس کم، جورشدگی

¹ Tucker

ضعیف و گردش‌دهی خوب نیست. این اجزا در زمینه‌ای از رس، سیلت، املاح فراوان (هالیت و ژپس) و هم‌چنین سلسیت (سولفات استرانسیوم) قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱۲، الف). سیمان در ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً شامل سیمان کربناته (مالاکیت و آزوریت)، اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و هم‌چنین سیمان کلسیتی و سیلیسی می‌باشد (شکل ۳-۱۲، ب و ج)، که البته سیمان کلسیتی و سیلیسی از درجه اهمیت بسیار کمتری در مقایسه با سیمان کربناته مس و اکسیدهای آهن برخوردارند. میزان سیمان در واحدهای سنگی میزبان منطقه مورد مطالعه بسیار ناچیز بوده و بنابراین دانه‌ها بیشتر به سبب فشردگی به یکدیگر متصل شده‌اند و در نتیجه سست و شکننده می‌باشند. سیمان در ماسه‌سنگ‌ها در اطراف قطعات آواری میزبان تجمع پیدا کرده‌اند.



شکل ۳-۱۲: الف- نمایی از قطعات آواری تشکیل دهنده واحد ماسه‌سنگی در زمینه‌ای از سلسیت، ب و ج- تصاویری از سیمان میان دانه‌ای در اطراف قطعات آواری سنگ میزبان توسط کانی‌های کلسیت (Cal-Cement) و اکسیدهای آهن، (Fe Oxide-Cement)، در نور عبوری (XPL).

رخساره سنگی این واحد سنگی بر اساس نامگذاری پتی جان^۱ (۱۹۸۷)، در محدوده گریوک (به دلیل حجم بالای ماتریکس دربرگیرنده اجزای ماسه‌سنگ) و بر اساس طبقه‌بندی فولک^۲ (۱۹۷۴)، در محدوده لیت‌آرنایت تا فلدسپاتیک لیت‌آرنایت قرار می‌گیرند. لیت‌آرنایت‌ها با داشتن مقداری خرده‌سنگ که از فلدسپات بیشتر است مشخص می‌شوند. از نظر ترکیب هم در رابطه با نوع دانه‌ها و هم شیمی، دارای دامنه گسترده‌ای هستند که عمدتاً به انواع خرده‌سنگ‌های موجود در آن وابسته است (تاگر، ۲۰۰۱). ماسه‌سنگ‌های منطقه در مقایسه با واحدهای کنگلومرا و سیلتستون دارای بیشترین آثار کانی‌سازی می‌باشند و فازهای کانی‌سازی مختلف از جمله سولفیدی، کربناته، اکسیدی و هیدروکسیدی، سولفات و کلریدی در آن‌ها صورت گرفته که در ادامه (فصل ۵) به شرح این فازهای کانیایی به طور مفصل پرداخته خواهد شد.

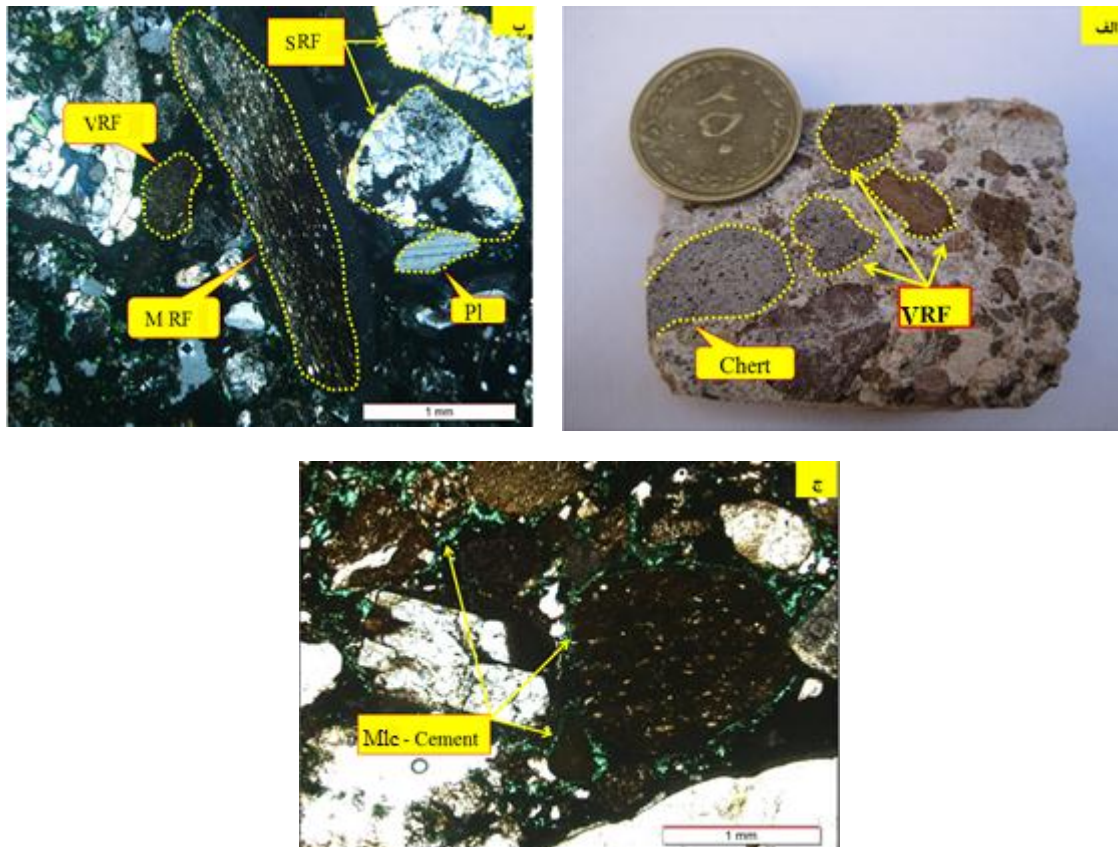
۳-۲-۲-۳- میکروکنگلومرا و کنگلومرا

یکی دیگر از واحدهای رسوبی رخنمون‌یافته در محدوده کانسار مورد مطالعه واحد کنگلومرای می‌باشد. قطعات آتشفشانی، قطعات سیلیسی (چرت)، خرده‌سنگ‌های رسوبی، قطعات آهکی و هم‌چنین کانی‌های فرومنیزین با دگرسانی شدید اجزای تشکیل‌دهنده کنگلومرا می‌باشند که قطعات موجود در این واحد سنگی با توجه به نمونه‌ی دستی نیمه زاویه‌دار تا گردشده می‌باشند (شکل ۳-۱۳، الف و ب). این اجزا در بین سیمان ضعیف کلسیتی، سیلیسی و مالاکیتی و هم‌چنین اکسیدهای آهن محصور شده‌اند (شکل ۳-۱۳، ج). زمینه واحد کنگلومرای را سیلت، رس، هالیت، ژپس و هم‌چنین سلسیت تشکیل داده است. با توجه به اینکه حجم عمده این واحد سنگی را اجزای با جنس‌های مختلف تشکیل داده‌اند بنابراین کنگلومراهای منطقه از نوع ارتوکنگلومرا و کنگلومرای پلی‌میکتیک می‌باشند. واحد کنگلومرای رخنمون‌یافته در محدوده کانسار دارای آثار کانه‌زایی کمتری نسبت به واحد ماسه‌سنگی می‌باشد و کانه‌زایی در این واحد به دو صورت اپی‌ژنتیک و سین‌ژنتیک

¹ Pettijohn

² Folk

صورت گرفته است. کانه‌زایی سطحی مالاکیتی و آزوریت به فراوانی در این واحد دیده می‌شود. این واحد سنگی در نمونه دستی به رنگ خاکستری روشن و هم‌چنین سبز تیره دیده می‌شود.



شکل ۳-۱۳: الف- تصویر نمونه دستی از واحد کنگلومرایی که پیل درشت مشخص شده در آن چرت می‌باشد و خرده‌سنگ‌های مختلف نیز در آن قابل مشاهده هستند. ب- تصویر میکروسکوپی از اجزای تشکیل دهنده واحد کنگلومرایی (پلاژیوکلاز (Pl) و خرده‌سنگ (RF)) و ج تصویر میکروسکوپی از سیمان مالاکیتی شکل گرفته در اطراف قطعات آواری واحد کنگلومرایی (Mlc- Cement)، در نور عبوری (XPL).

۳-۲-۳- واحدهای آبرفتی عهد حاضر به سن کواترنری و شورابه‌ها (Q^{st}) و باتلاق‌های

سطحی (SW)

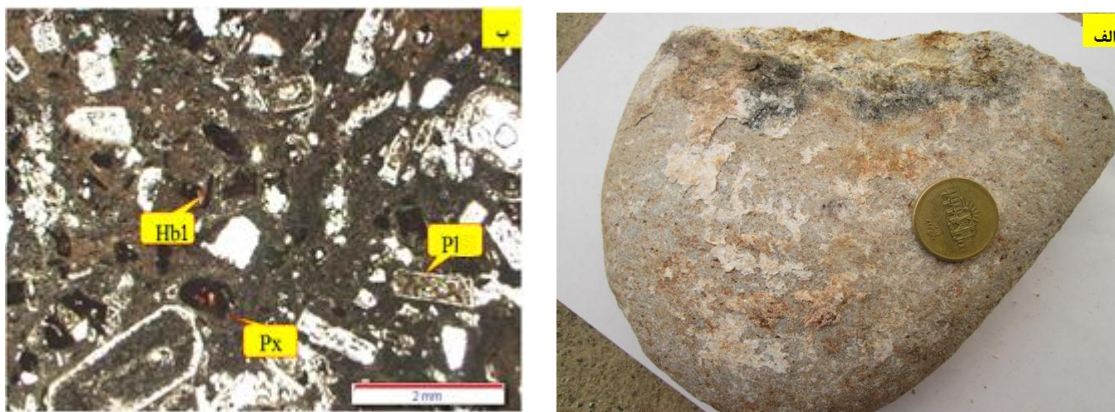
بخش وسیعی از منطقه مورد مطالعه که شامل دشت کویر است، توسط رسوبات رسی- نمکی عهد حاضر پوشیده شده است که عمدتاً ناشی از هوازدگی و تجزیه واحدهای سنگی منطقه می‌باشد (شکل ۳-۱۴). تجزیه و انحلال سنگ‌های منطقه سبب آزاد شده یون‌های متحرک از جمله سدیم، پتاسیم، کلسیم و ... شده که در نهایت به مناطق پست و کویری منتقل می‌شوند. هم‌چنین رسوبات آواری دانه‌ریز مانند رس‌ها نیز به این محل انتقال می‌یابند که پس از تبخیر به صورت طبقات رسی، نمکی و گچی (ژئوپس) ته‌نشست می‌شوند. در نتیجه حرکت رو به بالای آب به شکل موئینه اشکال پفکی به صورت ساخت تی‌پی در آن‌ها ظاهر می‌شوند (شکل ۳-۱۴، ب).



شکل ۳-۱۴: نمایی از رسوبات آبرفتی عهد حاضر در منطقه که شامل رسوبات پفکی- نمکی کف کویر (الف)، ساخت تی‌پی (ب) و باتلاق‌های سطحی تیره‌رنگ (ج) می‌باشد.

۳-۲-۴- واحدهای آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی به سن ائوسن (E^v)

واحدهای آتشفشانی ائوسن به طور مستقل در محدوده معدنی مشاهده نشده‌اند، اما با مشاهده قطعاتی از واحدهای آتشفشانی درون واحدهای رسوبی میزبان در مقاطع میکروسکوپی (شکل ۳-۱۵) می‌توان نتیجه گرفت که این واحدهای آتشفشانی پی‌سنگ واحدهای رسوبی میزبان بوده‌اند که نقشه‌های ژئومغناطیس هوایی نیز وجود سنگ‌های آذرین (احتمالاً آتشفشانی) را در اعماق زیاد در این ناحیه احتمال می‌دهد با این فرض می‌توان منشأ مس در منطقه را به این واحدهای آتشفشانی پی‌سنگی و هم‌چنین واحدهای آتشفشانی رخنمون‌یافته در مجاورت کانسار مورد مطالعه نسبت داد که تغذیه کننده مس به حوضه‌های رسوبی و تشکیل کانه‌های مس می‌باشند. واحدهای آتشفشانی - رسوبی ائوسن متشکل از توف‌های سبز رنگ به همراه بین لایه‌هایی نازک از ماسه‌سنگ و سیلتستون می‌باشند که به صورت هسته فرسایش‌یافته یک تاقدیس کوچک با امتداد محور تاقدیس شمال شرقی - جنوب غربی، بر روی نقشه رخنمون دارند.



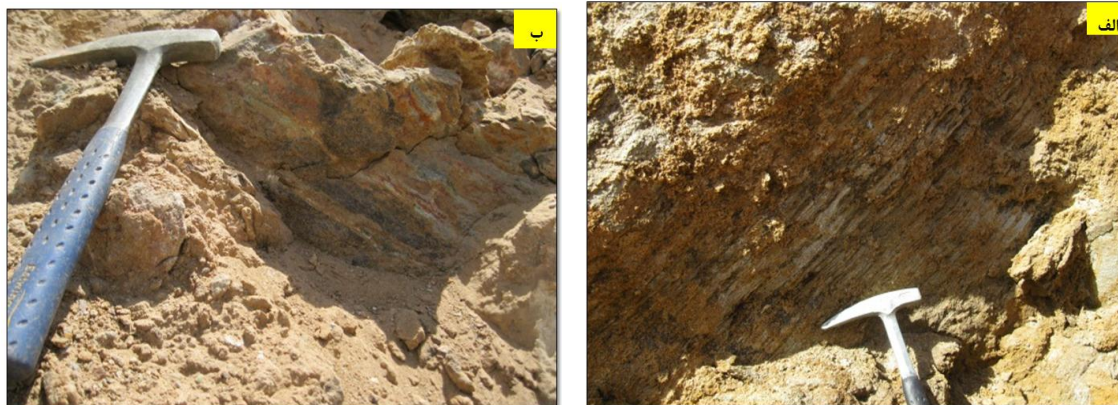
شکل ۳-۱۵: الف- تصویر نمونه دستی از واحد آتشفشانی (آندزیت) ، ب- تصویر میکروسکوپی از کانی‌های تشکیل‌دهنده واحد آندزیتی (پلاژیوکلاز (Pl)، هورنبلند (Hbl) و پیروکسن (Px) در محدوده مورد مطالعه در نور عبوری.

۳-۳- ساخت‌های رسوبی موجود در توالی‌های رسوبی محدوده کانسار

ساخت‌های رسوبی به‌ویژه آن‌هایی که در طی رسوبگذاری تشکیل می‌شوند، برای تفسیر محیط رسوبگذاری و نیز برای تعیین جهت جریان قدیمه و جغرافیای قدیمه به‌کار می‌روند (تاگر، ۲۰۰۱). ساخت‌های رسوبی عمده مشاهده شده در توالی‌های رسوبی محدوده کانسار شامل ساخت‌های رسوبی موجود در طبقات رسوبی قدیمی (لایه‌بندی و کنکرسیون) و ساخت‌های رسوبی در طبقات رسوبی عهد حاضر می‌باشد. ساخت‌های رسوبی ایجاد شده در طبقات رسوبی عهد حاضر، به علت میزان شوری بالا، محدود به ساخت‌های شیمیایی است. که از آن جمله می‌توان به پوسته نمکی شور زده که در پهنه گلی- شور ایجاد می‌شوند اشاره کرد.

۳-۳-۱- لایه بندی

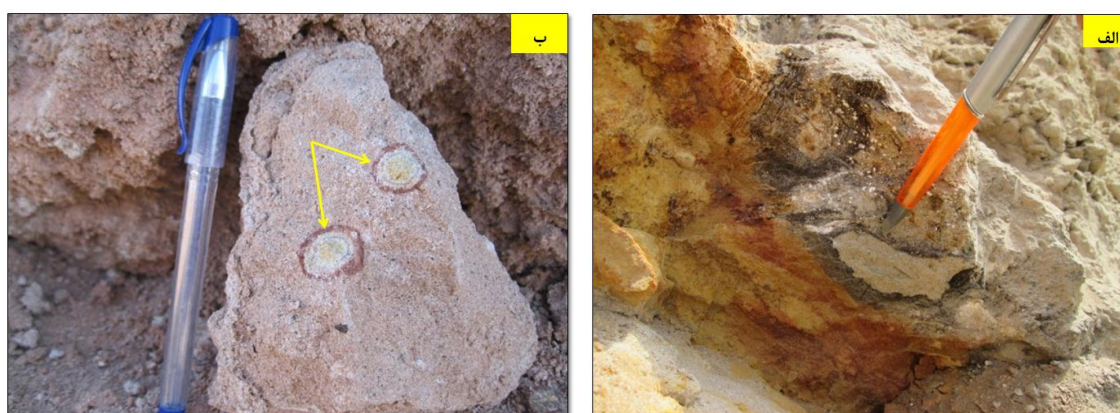
فراوانترین ساخت در بین سنگ‌های رسوبی لایه‌بندی می‌باشد. لایه‌بندی یا چین‌بندی که از اشکال ویژه سنگ‌های رسوبی است، از جمله ساخت‌های همزمان با رسوبگذاری می‌باشند که عمدتاً بر اثر تغییر شرایط رسوبگذاری تشکیل می‌گردد (تاگر، ۲۰۰۱). از مهم‌ترین عوامل ایجاد لایه‌بندی، تغییر در شرایط شیمیایی و فیزیکی حوضه رسوبی از جمله تغییر در ترکیب شیمیایی، نوع، اندازه، شکل و جورشدگی دانه‌ها می‌باشد. در محدوده مورد مطالعه، این ساخت رسوبی عمدتاً در واحدهای ماسه‌سنگی مشاهده می‌شود که بیش از ۱ سانتی‌متر ضخامت دارند (شکل ۳-۱۶).



شکل ۳-۱۶: الف و ب- نمایی از ساخت لایه‌بندی در واحدهای ماسه‌سنگی در مقیاس رخمون که شامل لایه‌هایی از پیریت (بخش‌های تیره رنگ) می‌باشد.

۳-۳-۲- ساخت کنکرسیونی متحدالمرکز

کنکرسیون‌ها از جمله ساختمان‌های رسوبی ثانویه هستند که بعد از رسوبگذاری و تحت تأثیر فرآیندهای دیاژنز ایجاد می‌شوند. این‌گونه ساختمان‌ها در اثر انحلال و رسوبگذاری مجدد مواد محلول تشکیل می‌گردند و عبارتند از ساختمان‌های گردشده‌ای که منشأ غیر آلی داشته و رسوبات به صورت لایه‌های متحدالمرکزی در اطراف یک هسته مرکزی رسوب کرده‌اند. در محدوده مورد مطالعه کانی‌های اکسید آهن و هم‌چنین هالیت و پیریت در واحدهای سیلتستونی میزبان این ساخت را ایجاد نموده‌اند که به صورت لایه‌های متحدالمرکز مشاهده می‌شوند (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷: تصاویری از ساخت کنکرسیونی در مقیاس رخمون (الف) و نمونه دستی (ب)، کانی‌های اکسید آهن و هالیت و پیریت به صورت لایه‌های متحدالمرکز در واحد سیلتستونی شکل گرفته‌اند.

۳-۳-۳- پوسته‌های نمکی شورزده

پوسته‌های نمکی شورزده، یک ساخت همیشه حاضر در پهنه‌های گلی - شور دریاچه‌ای عهد حاضر و یک سیمای مهم خاک‌های نمکی‌اند. پوسته‌ها عموماً در برگیرنده تنوعی از کانی‌های بسیار محلول هستند (ایوگستر^۱ اسموت^۲ و هاردی^۳، ۱۹۷۸). این پوسته‌ها به وسیله تبخیر کامل آب منفذی ایجاد می‌شوند. اغلب پوسته‌های شورزده از هالیت تشکیل شده‌اند اما پوسته‌هایی که در آن‌ها ژپس غالب است نیز وجود دارند. تشکیل پوسته‌های شورزده تحت دو فرآیند اساسی هیدرولیکی متفاوت تشکیل می‌شوند که عبارتند از:

۱- تبخیر آب زیرزمینی نزدیک سطح، در اثر نیروی موئینه.

۲- بارش باران و انحلال گرد و غبار نمکی موجود در کویر، پس از تبخیر و سپس رسوب مواد به صورت پوسته‌های شورزده.

در منطقه مورد مطالعه پوسته‌های شورزده از جمله ساخت‌های رسوبی در طبقات رسوبی عهد حاضر می‌باشد که عمدتاً از هالیت تشکیل شده‌اند و پهنه گلی- شور را پوشانده‌اند. هنگامی که کانی‌های تبخیری توسط بارش یا آب‌های سیلابی حل می‌شوند به داخل رسوبات فرو می‌روند و پس از تبخیر مجدد، کانی‌ها به صورت یک پوسته شورزده جدید تشکیل می‌شوند که چنین فرآیندی در منطقه مورد مطالعه صورت گرفته است و این ساخت رسوبی را ایجاد کرده است (شکل ۳-۱۸).

¹ Eugster

² Smoot

³ Hardie



شکل ۳-۱۸: الف- پهنه گلی شور در پلایای منطقه مورد مطالعه و تبلور هالیت بعد از خشک شدن آب های سیلابی ورودی به پلایا، ب- پوسته‌های شورزده موجود در پهنه گلی- شور پلایای منطقه.

۳-۴- محیط رسوبگذاری

با توجه به شکل‌گیری کانسار در یک محیط کویری گرم و خشک با درجه حرارت بالا و پوشش گیاهی اندک و با توجه به حضور گسترده کانی‌های تبخیری از جمله هالیت، ژیپس و سلسیت و دیگر کانی‌های کلریدی و تشکیل رسوبات پفکی- نمکی و ساخت تی‌پی در مقیاس وسیع، نقش مهم شورابه‌ها در انتقال مس و دیگر عناصر معدنی در منطقه مورد مطالعه و همچنین حاکم بودن شرایط تبخیری در آن، می‌توان استنباط کرد که محیط تشکیل سنگ‌های میزبان محدوده مورد مطالعه حوضه رسوبی تبخیری می‌باشد که می‌توان از آن به عنوان پلایا یاد کرد. پلایاها از اشکال ویژه حوضه‌های خشک در مناطق بیابانی هستند و جزو محیط‌های غیردریایی محسوب می‌شود و از جمله مهم‌ترین محیط‌های تشکیل کانی‌های تبخیری می‌باشد. در پست‌ترین مناطق بعضی از حوضه‌های آبریز، عمدتاً در مناطق خشک و به نسبت گرم و کم‌باران قرار گرفته‌اند و اغلب توسط نهشته‌های دریاچه‌ای عهد حاضر (تناوب لایه های رس و سیلت و نمک) پوشیده شده است. توزیع کانی‌ها در پلایا دارای الگوی منظمی است. کانی‌های رسی مونت‌موریلونیت، کلریت و ایلیت کانی‌های اصلی رسی بوده و کائولینیت به عنوان کانی فرعی و به صورت درجا‌زا در پلایا وجود دارد. عناصر سدیم، کلسیم و استرانسیم به صورت شیمیایی در پلایا ته نشین می‌شوند.

۳-۵- زمین‌شناسی ساختمانی محدوده معدنی بندقیچی

محدوده مورد مطالعه به لحاظ زمین‌شناسی ساختمانی در منتهی‌الیه شمال شرقی یک ناودیس بزرگ قرار دارد. لایه‌های تشکیل‌دهنده این ناودیس دارای امتداد شمال شرقی - جنوب غربی می‌باشند. در یال شمال غربی، شیب لایه‌ها به سمت شرق - جنوب شرق و در یال جنوب شرقی، شیب لایه‌ها به سمت شمال - شمال غرب می‌باشد. محور این ناودیس دارای روند شمال شرقی - جنوب غربی است که دارای پلانچ به سمت جنوب غرب می‌باشد (شکل ۲-۳).

فصل چهارم

کانه زایی و دگرسانی

۴-۱- مقدمه

محدوده معدنی بندقیچی در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران رخنمون دارد. در این منطقه به دلیل فعالیت‌های گسترده ماگمایی - آتشفشانی و آتشفشانی - رسوبی صورت گرفته در ائوسن و الیگوسن، کانه‌زایی‌های مختلفی از عناصر مس، سرب، روی، منگنز و آهن رخ داده است. که از جمله این کانه‌زایی‌ها می‌توان به کانسار مس (سرب، روی) چاه موسی (امام جمعه، ۱۳۸۵)، کانسار مس چاه گله (طالع ماسوله، ۱۳۸۹)، کانسار مس رگه‌ای کلاته‌مهران (پورشعبان و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار پلی‌متال چشمه‌حافظ (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار آهن لجنه (تاتاری و همکاران، ۱۳۹۰)، کانسار سرب - نقره (روی) خانجار (مهری، ۱۳۷۷)، کانسار مس علی‌نرخه (شاهوردی، ۱۳۸۹) و کانسار منگنز ربیعی (باقرزاده، ۱۳۹۳)، اشاره کرد. از آنجایی که در منطقه ترود بیشتر کانه‌زایی‌های گزارش شده در توالی‌های آتشفشانی صورت گرفته است و این کانسار نخستین کانساری است که کانه‌زایی در واحدهای رسوبی میزبان صورت گرفته است و تاکنون در این منطقه کانساری مشابه این تیپ گزارش نشده است، لذا در این فصل تلاش گردیده است به بررسی کانه‌زایی مس در توالی رسوبی میزبان در محدوده کانسار بندقیچی پرداخته شود.

۴-۲- رخداد کانه‌زایی مس در محدوده معدنی بندقیچی

کانه‌زایی مس در این محدوده در رخنمونی از واحدهای رسوبی (ماسه‌سنگ، کنگلومرا و به میزان خیلی کم سیلتستون) در امتداد یک ماهور کشیده به طول ۱۲ کیلومتر با اختلاف ارتفاع حدود ۳۰ متر از سطح کویر در دو محدوده شرقی و غربی صورت گرفته است که از شرایط کلی زمین‌شناسی حاکم بر جنوب گسل ترود در حاشیه شمالی کویر مرکزی ایران تبعیت می‌کند. توالی رسوبی حاوی افق کانه‌دار بخشی از یال جنوبی یک چین‌خوردگی بزرگ به حساب می‌آید که به دلیل مقاومت واحدهای سنگی خود از جمله ماسه‌سنگ و کنگلومرا نسبت به رسوبات کواترنری اطراف به صورت برجسته باقی مانده است. روند عمومی آن شمال‌غربی - جنوب‌شرقی و شیب لایه‌ها حدود ۳۰ درجه به سمت

جنوب می‌باشد (شکل ۴-۱). کانزایی در طول ماهور در دو محدوده شرقی و غربی صورت گرفته است که به منظور بررسی و مطالعه دقیق کانسار از سه پروفیل عمود بر روند لایه‌بندی در بخش‌های مختلف ماهور نمونه‌برداری شد و ستون چینه‌شناسی مربوط به آن‌ها ترسیم گردید که در ادامه به تفصیل به بررسی کانزایی در طول ماهور در دو محدوده شرقی و غربی پرداخته می‌شود.



شکل ۴-۱: موقعیت محدوده کانزایی کانسار مس بند قیچی بر روی تصویر ماهواره‌ای.

توالی رسوبی میزبان کانزایی در منطقه در یک محیط رسوبی تبخیری کم عمق (پلایا) ته‌نشست نموده است. واحدهای ماسه‌سنگی از نوع لیتارنایت و فلدسپاتیک‌لیتارنایت و واحدهای کنگلومرایی از نوع ارتوکنگلومرای پلی‌میکتیک می‌باشد که میزبان کانزایی در منطقه می‌باشند. عواملی نظیر وجود سنگ‌های منشأ مناسب، شورابه‌های کلریدی حاصل از انحلال لایه‌های تبخیری به عنوان عامل تحرک مس و دیگر فلزات، درزه‌ها، گسل‌ها و نفوذپذیری سنگ میزبان به عنوان مجراهایی جهت انتقال سیالات، وجود لایه‌های احیایی مانند تمرکز مواد آلی و پیریت برای ته‌نشست مس از جمله مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده کانزایی در محدوده معدنی بندقیچی می‌باشند. کانزایی در منطقه به صورت‌های

چینه کران و چینه سان و هم‌چنین سوپرژن صورت گرفته است. فرآیندهای سطحی در منطقه به صورت قابل توجهی عمل نموده‌اند که شاهد آن کان‌سازی در عهد حاضر می‌باشد. کان‌های کربناته مس از قبیل مالاکیت و آزوریت به شکل آغشتگی و در رگه‌ها و شکستگی‌های سنگ میزبان متداول می‌باشند. از آن جایی که توالی رسوبی میزبان کان‌زایی در منطقه در یک حوضه رسوبی کم‌عمق قرار گرفته است و به دلیل نوسانات زیادی که در حوضه رسوبی وجود دارد در نتیجه تغییرات زیادی از جهات مختلف از جمله ضخامت لایه‌های سنگی میزبان، ضخامت افق‌های کان‌زایی، لایه‌بندی و امتداد لایه‌ها، تنوع کان‌شناسی، فازهای کان‌سازی در طول ماهور در بخش‌های مختلف مشاهده شده است. ضخامت افق‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرایی میزبان در طول ماهور در دو محدوده شرقی و غربی در همه جا یکسان نبوده است و در برخی قسمت‌ها دارای بیشترین ضخامت، برخی جاها ضخامت کم شده است و حتی در برخی قسمت‌ها در طول ماهور این واحدها رخنمون ندارند که متناسب با تغییرات ضخامت لایه‌های میزبان ضخامت افق‌های کان‌سازی نیز تغییر می‌کند و می‌توان بیان کرد که در طول ماهور کان‌سازی به طور یکنواخت صورت نگرفته است. در جاهایی که واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی رخنمون ندارند کان‌زایی هم مشاهده نمی‌گردد. از نظر لایه‌بندی و هم‌چنین امتداد و شیب لایه‌ها، در همه جا یکسان نبوده و تغییر در مقدار شیب و جهت آن در طول لایه‌بندی در برخی قسمت‌ها دیده می‌شود. شرایط رسوبگذاری در منطقه نیز دائماً در حال تغییر است به طوری که در برخی بخش‌ها (شرق محدوده) کان‌های سولفیدی بیشتر دیده می‌شوند و با حرکت در طول ماهور به طرف غرب محدوده شاهد تغییر فازهای کان‌سازی از سولفیدی به کلریدی، کربناتی، سولفاتی و هم‌چنین اکسیدی می‌باشیم. از نظر کان‌شناسی نیز می‌توان بیان کرد که در شرق محدوده تنوع کان‌شناسی بیشتر بوده به طوری که سولفیدهای مس از جمله کالکوسیت، کوولیت و بورنیت بیشتر در این بخش دیده می‌شوند و در غرب محدوده بیشتر شاهد حضور کان‌های کربناته مس از جمله مالاکیت و آزوریت و هم‌چنین اکسیدهای آهن از جمله هماتیت، لیمونیت و گوتیت می‌باشیم. به طور کلی در منطقه بندقیچی کان‌زایی به سه صورت چینه‌سان (سین‌ژنتیک)، چینه‌کران

(آبی ژنتیک) و سوپرژن (فرآیندهای سطحی) صورت گرفته است که در ادامه به بررسی کان‌زایی‌های صورت گرفته در منطقه می‌پردازیم.

۴-۲-۱- کان‌زایی به صورت چین‌سان در منطقه

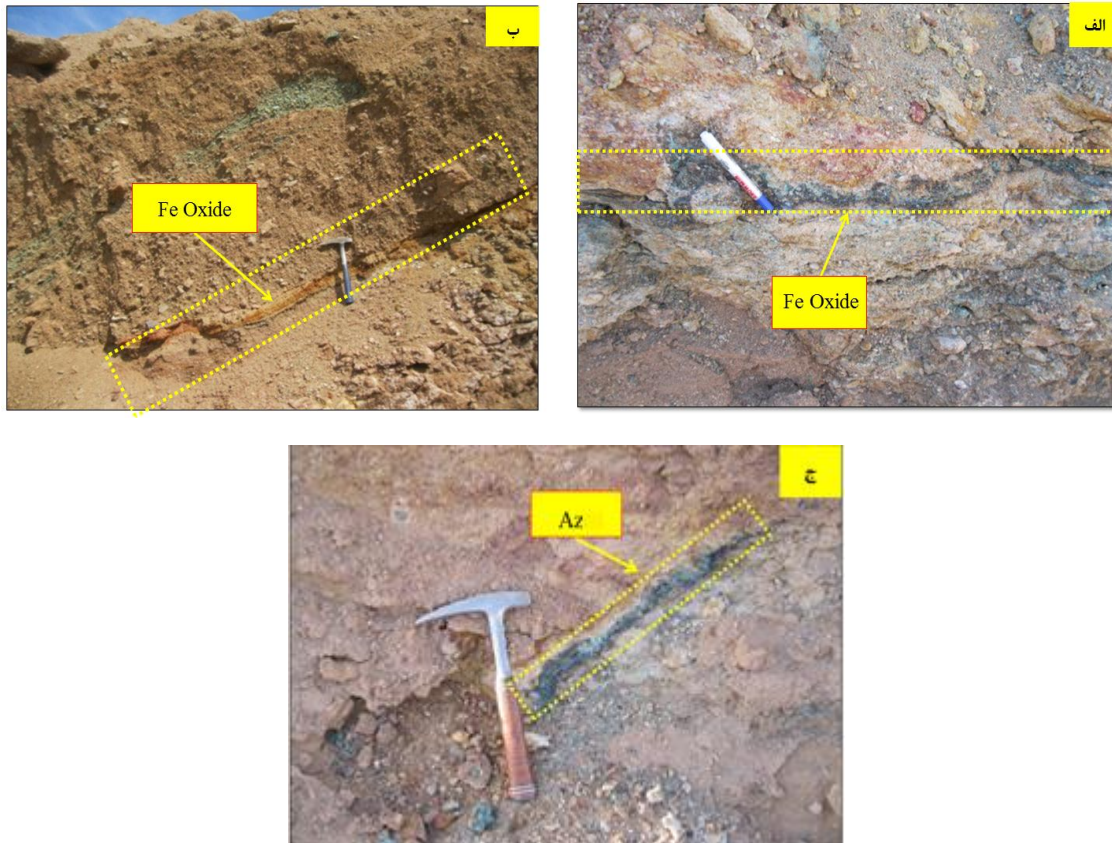
کانسارهایی که هم‌زمان با رسوبگذاری به صورت موازی و هم‌شیب با طبقات دربرگیرنده تشکیل می‌شوند اصطلاحاً چین‌سان می‌نامند. با توجه به شواهد حاصل از مطالعات صورت گرفته در منطقه بندقیچی مشخص شده است که بخش محدودی از کان‌زایی صورت گرفته در منطقه به صورت چین‌سان بوده است که در این بخش‌ها، کان‌زایی اولیه بوده و هم‌زمان با رسوبگذاری سنگ میزبان شکل گرفته است. در این نوع کان‌زایی لایه‌های اولیه شکل گرفته به صورت هم‌ساز و هم‌شیب با لایه‌بندی سنگ در برگیرنده می‌باشند. در منطقه مورد مطالعه این نوع کان‌زایی نسبت به کان‌زایی چین‌کران به طور محدودتری صورت گرفته است و فقط در برخی قسمت‌ها لایه‌هایی از کانی‌های سولفیدی و کربناته مس و هم‌چنین اکسیدهای آهن به صورت هم‌روند با لایه‌بندی به صورت سین‌ژنتیک تشکیل شده‌اند. هم‌چنین در انتهای محدوده شرقی منطقه سلسیت نیز به صورت لایه‌ای شکل گرفته است که نشان‌دهنده تشکیل هم‌زمان با رسوبگذاری سنگ میزبان می‌باشد (شکل ۴-۲).



شکل ۴-۲: نمایی از کانه‌زایی چینه‌سان صورت گرفته در منطقه، لایه‌های از پیریت (بخش‌های تیره رنگ) به صورت هم‌شیب با لایه‌بندی واحد ماسه‌سنگی میزبان در مقیاس رخنمون (الف و ب) و مقیاس نمونه دستی (ج) و د- نمایی از سلسیت لایه‌ای شکل گرفته در انتهای محدوده شرقی منطقه مورد مطالعه.

۴-۲-۲- کانه‌زایی به شکل چینه‌کران در منطقه

چینه‌کران به کانسارهایی گفته می‌شود که به واحد یا افق چینه‌شناسی خاصی محدود هستند و به صورت هم‌شیب یا متقاطع نسبت به طبقات در برگیرنده خود قرار می‌گیرند. بخش عمده کانه‌زایی در منطقه بندقیچی از نوع چینه‌کران و اپی‌ژنتیک است. کانی‌های مس به صورت پرکننده فضای خالی موجود در واحد‌های ماسه‌سنگی و کنگلومرای میزبان ته‌نشین شده‌اند که گاهی نقش سیمان را ایفا نموده‌اند. و هم‌چنین به صورت رگه- رگچه‌ای در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های سنگ میزبان شکل گرفته است که قطع کننده لایه‌بندی است (شکل ۴-۳).



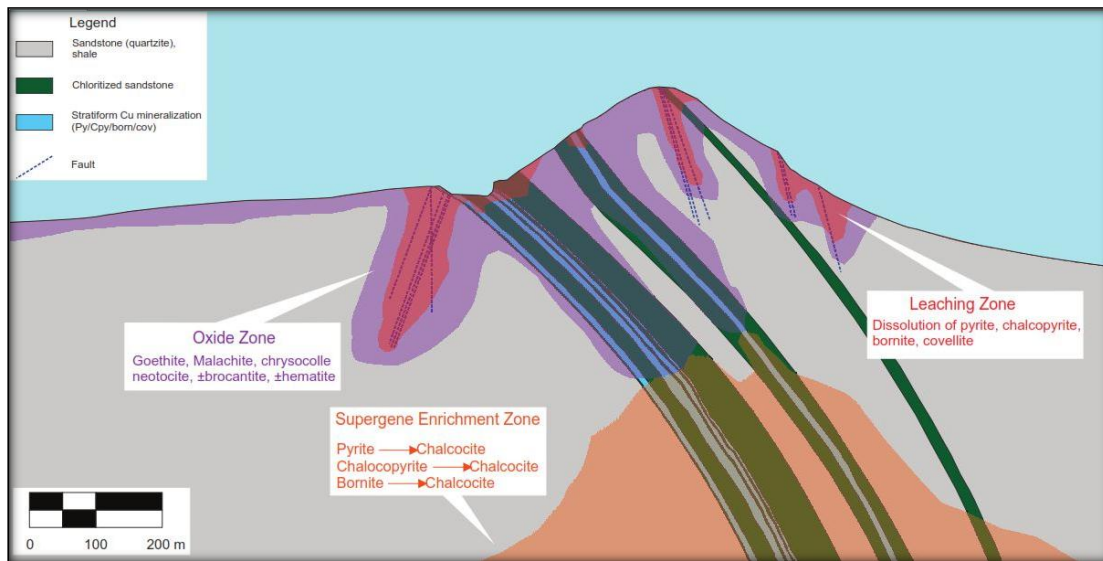
شکل ۴-۳: الف، ب و ج - تصاویر صحرایی از کانه‌زایی رگه- رگچه‌ای در بخش غربی منطقه مورد مطالعه، رگه‌های معدنی (آزوریت و اکسیدهای آهن) به صورت متقاطع با لایه‌بندی طبقات می‌باشند و در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های واحدهای رسوبی میزبان شکل گرفته‌اند.

۴-۳- غنی‌شدگی سوپرژن

بخش غنی‌شدگی سوپرژن بخشی از کانسار است که در آن غنی‌شدگی مواد اولیه به دلیل لیچینگ و شستشوی مواد معدنی از بخش‌های بالایی توسط عوامل گوناگون از جمله آب‌های سطحی صورت می‌گیرد. لازمه فرآیندهای سوپرژن وجود مقادیر زیادی پیریت، نفوذپذیری بالا و آب‌های اکسیژن‌دار سطحی است. این فرآیند تأثیر مهمی را در جهت بافت، کانی‌شناسی و ترکیب شیمیایی کانسارها داشته است. اگرچه که در نهشته‌های مس با میزبان رسوبی غنی‌شدگی سوپرژن متداول نمی‌باشد، اما ممکن است در محیط‌های کویری مربوط به دوره ترشیری رخ دهد. همانطور که در کانسار مس رسوبی

چینه‌سان Sierra Samalayuca در شمال مکزیک رخ داده است (بویلی^۱، ۲۰۱۳) (شکل ۴-۴). هم‌چنین در کانسار مس رسوبی زامبیا در نوار مس آفریقای مرکزی که از جمله بزرگترین و غنی‌ترین ناحیه مس‌دار چینه‌سان با میزبان رسوبی می‌باشد پدیده غنی‌شدگی سوپرژن صورت گرفته است (کرخام، ۱۹۸۹). واکنش‌های صورت گرفته در غنی‌شدگی سوپرژن مشابه با هوازدگی اسیدی است (تیتلی و ماروزاس، ۱۹۹۵). که شامل تبدیل فلدسپات به موسکویت و یا موسکویت به کائولینیت است. 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 زمین می‌گردد. تشکیل کانی‌های اکسیدی و سولفیدی ثانویه مس در طی مرحله سوپرژن در کانسارهای مس با میزبان رسوبی متداول است (بر اساس اینکه کانی‌های ثانویه در بالای سطح آب زیرزمینی (شرایط اکسیدان) و یا در زیر سطح آب (شرایط احیایی) تشکیل شوند، فرآیند سوپرژن به ترتیب به دو گروه سوپرژن اکسیدی و سوپرژن سولفیدی قابل تقسیم می‌باشد. در طی مرحله سوپرژن اکسیدی کانی‌های کربناته، اکسیدی، سولفات و سیلیکاته مس شکل می‌گیرند و در طی مرحله سوپرژن سولفیدی کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت ثانویه، کولیت و مس طبیعی تشکیل می‌گردد که در کانسارهای مس با میزبان رسوبی تشخیص کالکوسیت ثانویه حاصل از سوپرژن از کالکوسیت اولیه بسیار مشکل است (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

¹ Boily

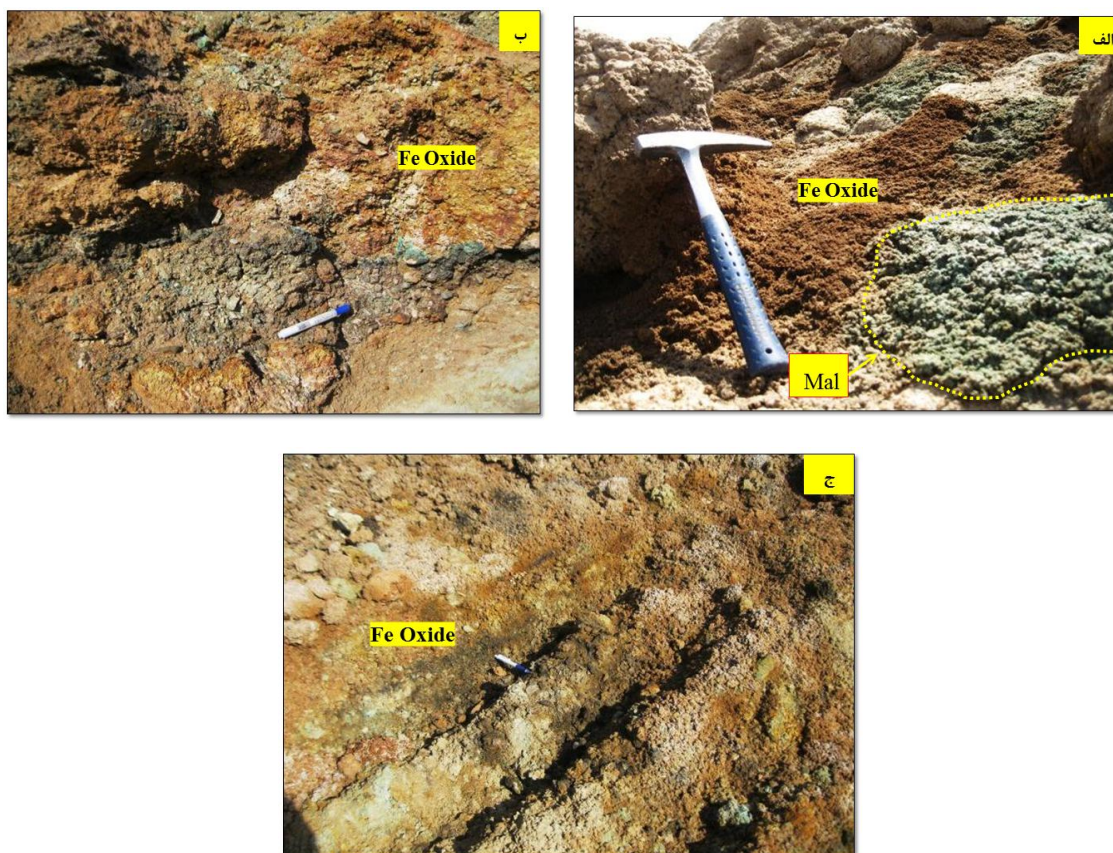


شکل ۴-۴: نمایی کلی از زون غنی‌شده سوپرژن در عمق تقریباً متوسط، جایی که زون شستشو و اکسیده مشاهده شده‌اند و تبدیل کانی‌های پیریت، کالکوپیریت و بورنیت را به کالکوسیت نشان می‌دهد (پلتییر^۱، ۲۰۱۱).

در منطقه بندقیچی شواهدی از جمله حضور گسترده کانی‌های سوپرژن سولفیدی (کالکوسیت ثانویه، کوولیت و مس طبیعی) و کانی‌های سوپرژن اکسیدی (مالاکیت و آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت)، حاکی از این است که منطقه تحت تأثیر فرآیندهای سطحی و سوپرژن قرار گرفته است. وجود عواملی از جمله حضور پیریت که متداولترین سولفید سوپرژن در منطقه است و فرآیندهای سوپرژن با آن شروع می‌شود، هم‌چنین آب‌های اسیدی که به دلیل برخورد با سولفورهای موجود در منطقه خاصیت اسیدی پیدا کرده‌اند و نفوذپذیری واحدهای سنگی میزبان از جمله عوامل مهم و تأثیرگذار در غنی‌شدگی سوپرژن در منطقه می‌باشد. در این منطقه اکسیداسیون سوپرژن به طور محلی پیریت و کالکوپیریت را به کالکوسیت ثانویه، کوولیت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت تبدیل کرده است. هم‌چنین در منطقه بخش‌های سطحی به طور کلی در معرض شستشو و هوازگی قرار گرفته‌اند و رخنمون‌های سطحی آمیختگی و آغشتگی با مالاکیت و آزوریت را نشان می‌دهند که مقدار مالاکیت بیش از آزوریت است. بر اساس شواهد می‌توان نتیجه گرفت که در منطقه ابتدا کانه‌زایی اولیه

¹ Pelletier

به شکل چینه‌سان و چینه‌کران صورت گرفته است و سپس فرآیندهای سطحی و سوپرژن که شواهد آن به طور گسترده در منطقه مشاهده می‌شود، به طور کلی کانه‌زایی‌های اولیه در منطقه را تحت تأثیر قرار داده‌اند به طوری که بخش عمده کانی‌سازی صورت گرفته در منطقه متأثر از فاز کانه‌زایی ثانویه می‌باشد و در حال حاضر نیز کانی‌سازی در منطقه صورت می‌گیرد و جریان آب زیرزمینی با pH اسیدی سبب شستشو، انتقال و ته‌نشینی مجدد ماده معدنی می‌شود (شکل ۴-۵).

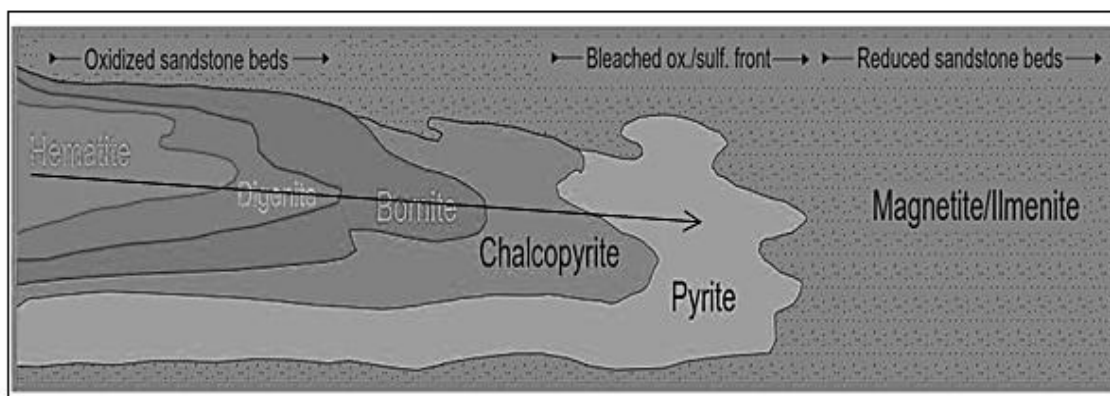


شکل ۴-۵: الف، ب و ج - نمایی از تأثیر فرآیندهای سوپرژن در منطقه و تشکیل کانی‌های اکسید آهن و کربناته مس متأثر از این فرآیند که هم‌چنین کانی‌سازی در عهد حاضر را نیز نشان می‌دهد.

۴-۴ - شکل هندسی ماده معدنی

در منطقه بندقیچی بیشترین کانه‌زایی صورت گرفته به شکل رگه‌ای است که نشان‌دهنده فرم کانه‌زایی از نوع چینه‌کران و اپی‌ژنتیک می‌باشد. در این میان می‌توان به رگه‌هایی از کانی‌های

مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت اشاره نمود. هم‌چنین زون‌های کانی‌دار به صورت لنزها، عدسی‌ها و یا لایه‌هایی که در حالت محلی به صورت هم شیب با لایه‌بندی رسوبات در برگیرنده می‌باشند نیز دیده شده است که نشان دهنده چینه‌سان بودن کانساز است. ماده معدنی به دو صورت اولیه (دانه پراکنده) و ثانویه (به صورت سیمان و پرکننده فضای خالی) نیز در واحدهای سنگی میزبان شکل گرفته است. ضخامت افق‌های کانه‌دار در منطقه متفاوت می‌باشد و زون‌های کانه‌دار گسترش طولی و عرضی زیادی دارند. بسیاری از نهشته‌های مس یا میزبان رسوبی در مقطع عرضی شکل رول‌فرونت دارند (لفیبر^۱ و آلدریک^۲، ۱۹۹۶). منطقه‌بندی کانیایی افقی و عمودی در این کانسازها مهم می‌باشد و منطقه‌بندی سولفیدی قائم و افقی برجسته با توالی کلی بدون سولفید (اغلب هماتیت)، کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت و پیریت دیده می‌شود. در کانساز Sierra Samalayuca در شمال مکزیک نیز این منطقه‌بندی کانیایی وجود دارد که در شکل ۴-۶ نشان داده شده است.



شکل ۴-۶: پارازنز کانیایی و توزیع کانی‌های اکسیدی و مس‌دار در لایه‌های ماسه‌سنگی مس‌دار کانساز مس Samalayuca (برانو^۳، ۱۹۹۵).

در منطقه بندقیچی نیز این منطقه‌بندی کانیایی مشاهده شده است اما به دلیل عواملی چون به‌هم‌ریختگی توالی‌های رسوبی توسط نفوذ کانی‌های تبخیری از جمله نمک و ژپس حالت

^۱ Lefebure

^۲ Alldrick

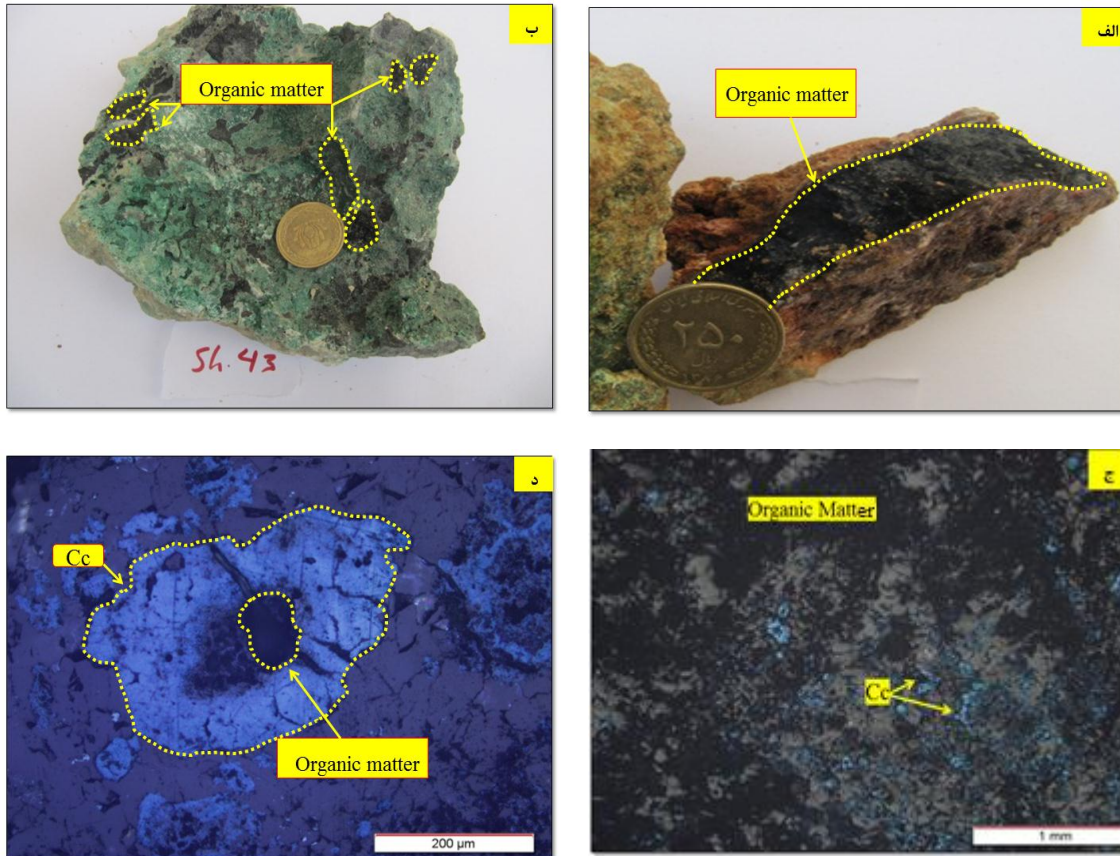
^۳ Bruno

منطقه‌بندی منظمی را نمی‌توان برای این توالی کانیایی در نظر گرفت و امکان تفکیک دقیق کانی‌ها از یکدیگر وجود ندارد.

۴-۵ - لایه‌های احیایی در کانسار مس بندقیچی

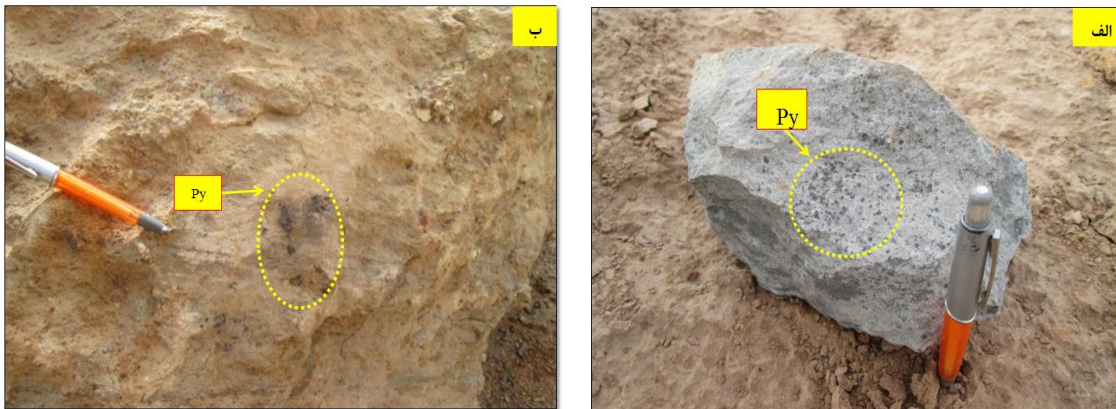
در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، لایه‌های احیایی کانی‌دار به صورت عدسی‌ها و لایه‌های هم‌شیب با رسوب دربرگیرنده می‌باشند. اما معمولاً به طور جزئی متقاطع نیز می‌باشند و ضخامت‌هایی از سانتی‌متر تا یک متر و ابعاد جانبی یک متر تا کیلومتر را در برمی‌گیرند و در مقایسه با رسوبات اکسیدی قرمز احاطه‌کننده، زون احیایی کانی‌دار به طور تیپیک خاکستری تا متمایل به سبز و عمدتاً شامل آهن در نواحی آهن‌دار همراه با گوگرد احیایی و کربن می‌باشند (رز^۱، ۱۹۷۶). در این نوع کانسارها ته‌نشینی مس نیازمند منبعی از سیالات احیایی می‌باشد که این سیالات از شیل‌های غنی از مواد آلی، سنگ‌های کربناته و هر سیال رسوبی در تعادل با پیریت و یا از طریق واکنش با سولفات به وسیله مواد کربن‌دار شکل می‌گیرند. در منطقه بندقیچی کانی‌های سولفیدی مس در لایه‌های احیایی میزبان در توالی‌های رسوبی تشکیل شده‌اند. به طور کلی لایه‌های احیایی منطقه در طول ماهور بسیار محدود بوده و نسبت به زون اکسیدان از گستردگی و ضخامت بسیار کمتری برخوردار است و فقط تعداد اندکی از کانی‌ها به ویژه در محدوده شرقی منطقه در شرایط احیایی تشکیل شده‌اند. از آن جایی که به دلیل نفوذ لایه‌های تبخیری، توالی‌های رسوبی منطقه دچار بهم‌ریختگی شده‌اند تعیین محل دقیق لایه‌های احیایی و موقعیت آن‌ها نسبت به زون اکسیدان در توالی‌های رسوبی امکان‌پذیر نمی‌باشد. مهم‌ترین عوامل موثر در تشکیل این لایه‌های احیایی وجود پیریت، مواد آلی و نفوذپذیری سنگ میزبان می‌باشد که به ایجاد شرایط احیایی در منطقه کمک نموده است و باعث ته‌نشینی کانی‌های سولفیدی مس در لایه‌های احیایی شده است. هم‌چنین در برخی مقاطع میکروسکوپی کانی‌های مس سولفیدی از جمله کالکوسیت جانشین مواد آلی و زغالی شده‌اند (شکل ۴-۷).

¹ Rose



شکل ۴-۷: تصاویری از حضور مواد آلی (بخش‌های تیره) در نمونه دستی (الف و ب) و مقاطع میکروسکوپی (ج و د) که به عنوان عامل احیا در منطقه عمل کرده‌اند، همانطور که در مقاطع میکروسکوپی مشاهده می‌گردد کالکوسیت (Cc) جانشین این مواد آلی شده است.

مهم‌ترین کانی‌هایی که در زون احیایی دیده می‌شوند عبارتند از کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت و به میزان خیلی کمتر مس طبیعی. هم‌چنین پیریت نیز در این بخش دیده می‌شود که به عنوان عامل احیاکننده محلی عمل می‌کند. در اثر احیای باکتریایی سولفات، H_2S ایجاد می‌شود که علاوه بر احیای محیط منبع مهمی جهت تأمین گوگرد مورد نیاز برای تشکیل پیریت به شمار می‌رود (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). پیریت موجود در لایه‌های احیایی به شکل‌های کوبیک، دانه‌پراکنده و نودول‌های پیریت دیده می‌شود. بلورهای کوبیک پیریت در شیل‌های خاکستری موجود در محدوده شرقی منطقه مشاهده شده‌اند. نودول‌های پیریت نیز در اثر پدیده‌های سطحی به طور محلی اکسید شده و هاله‌هایی از اکسیدهای آهن را در اطراف خود ایجاد کرده‌اند (شکل ۴-۸).



شکل ۴-۸: الف و ب- نمایی از حضور پیریت به شکل دانه پراکنده در متن واحد ماسه‌سنگی میزبان که در اثر پدیده‌های هوازدگی به شکل دانه‌های سیاه تا قهوه‌ای در آمده‌اند.

اکسیداسیون سوپرژن به طور محلی سولفیدهای مس اولیه را به کالکوسیت ثانویه، کولیت و مالاکیت و آزوریت تبدیل می‌کند. در کانسار مس بندقیچی سولفیدهای مس عمدتاً به صورت پرکننده فضاهای خالی در میان اجزای تشکیل‌دهنده سنگ ایجاد شده‌اند. هم‌چنین این کانی‌ها به صورت دانه پراکنده نیز در مقاطع یافت می‌شوند. لیتولوژی لایه‌های احیایی در منطقه بیشتر شامل لیت‌ارنایت و فلدسپاتیک لیت‌ارنایت و هم‌چنین ارتوکنگلومرای پلی‌میکتیک و در موارد بسیار جزئی سیلتستون و شیل می‌باشد. در انتهای محدوده شرقی منطقه در محل حضور سلسیت می‌توان هم‌رشدی کانی‌های سولفیدی مس با سلسیت را مشاهده نمود که حاصل فرآیندهای مؤثر در شکل‌گیری کانی‌سازی‌های چینه‌سان و چینه‌کران هستند.

۴-۶- پهنه قرمز اکسیدان

مطالعات نشان می‌دهد که ارتباط مهمی بین نهشته‌های مس با میزبان رسوبی چینه‌سان با لایه‌های قرمز وجود دارد (براون^۱، ۲۰۰۵). در طی فرآیند اکسیداسیون دیاژنتیکی رسوبات آواری دانه‌درشت غیر قرمز، محلول‌های موجود در خلل و فرج حالت اسیدی پیدا می‌کنند و ماکزیمم توانایی را برای شستشو و انتقال مقادیر کمیاب مس از لایه‌های قرمز به دست می‌آورند. با مصرف بیشتر اکسیژن در

¹ Brown

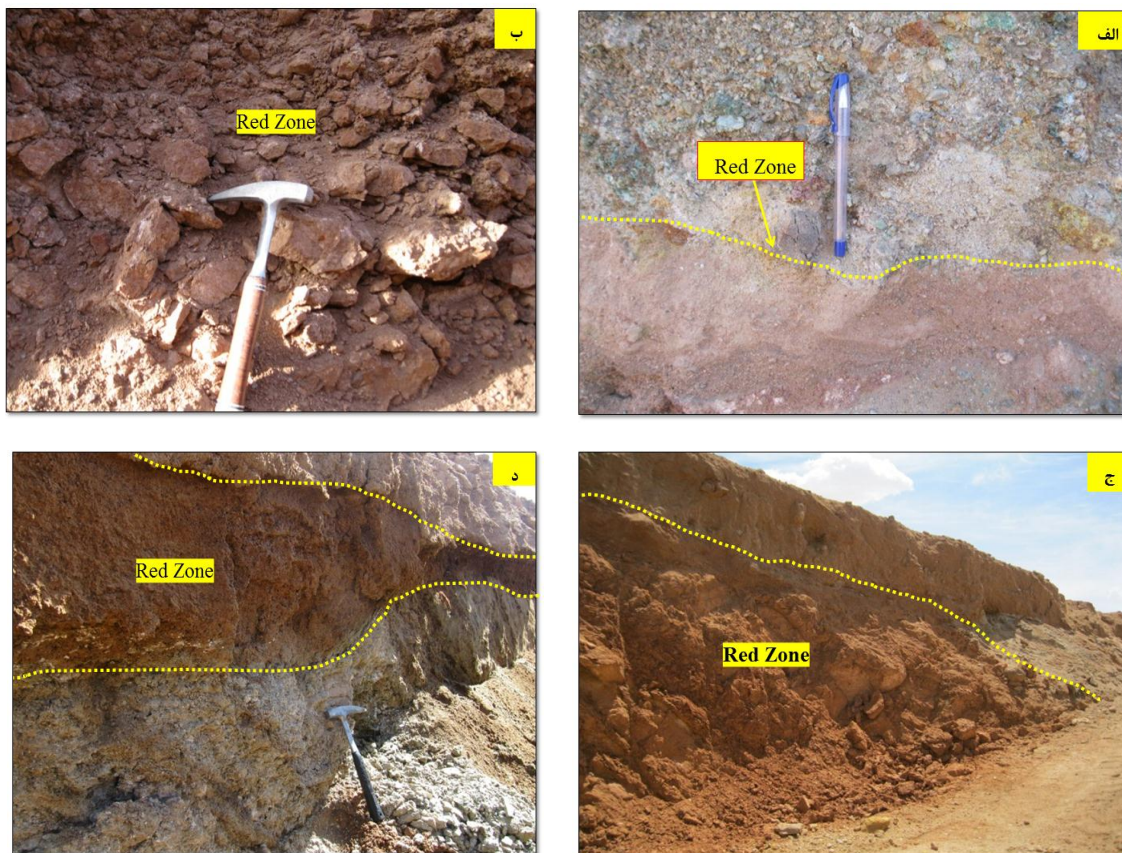
طی فرآیند اکسیداسیون، شورا به ممکن است بیشتر احیا شود و قادر به انتقال میزان بیشتری آهن به محلول می‌باشد که این فرآیند باعث ته‌نشینی اکسیدهای آهن شده و بدین ترتیب منطقه اکسیدان در کانسارهای مس چینه‌سان تشکیل می‌شود. از نظر پتروگرافیکی اثبات شده است که کانی‌های ناپایدار در رسوبات دانه‌درشت با بلوغ بافتی ضعیف سیکل اول حوضه ریفتی به وسیله جانشینی دیاژنتیک اولیه (مگنتیت به وسیله هماتیت، پلاژیوکلاز و بیوتیت به وسیله اسمکتیت و پتاسیم فلدسپات) و قرمزشدگی پیشرونده از شستشوی سطحی و اکسیداسیون آهن از کانی‌های آهن‌دار منشأ ناشی می‌شود و آهن دوباره ته‌نشین می‌شود به صورت هاله‌هایی از اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن متمایل به قرمز در فضاها و روی دانه‌های شبکه‌ای رسوبات منشأ و تا مرحله قرمزشدگی دیاژنتیکی اولیه پیش می‌رود (والکر^۱، ۱۹۶۷، ۱۹۸۹؛ والکر و همکاران، ۱۹۷۸؛ زیلینسکی^۲ و همکاران، ۱۹۸۳). در منطقه بندقیچی زون اکسیدان در دو محدوده شرقی و غربی گسترش بسیار زیادی دارد که در نتیجه عوامل کانی‌سازی چینه‌سان و چینه‌کران ایجاد شده است که بعداً فرآیندهای سوپرژن آن را تحت تأثیر قرار داده است (شکل ۴-۹). کانی‌های شاخص آن از جمله اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت) و کانی‌های کربناته مس (مالاکیت و آزوریت) با فراوانی قابل توجهی در بخش‌های مختلف ماهور در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های واحدهای سنگی میزبان و به صورت رگه‌ای پس از تشکیل سنگ میزبان شکل گرفته‌اند. این کانی‌ها در مقاطع میکروسکوپی نیز به صورت آغشتگی در اطراف دانه‌ها و هم‌چنین به عنوان سیمان میان‌دانه‌ای در مرحله دیاژنز عمل کرده‌اند. هم‌چنین کانی‌های آتاکامیت، لایوریونیت، پارالایوریونیت از جمله کلریدهای مس می‌باشند که در زون اکسیدان این منطقه به دلیل شرایط بسیار خشک تشکیل شده‌اند (در صحرای آتاکامای شیلی نیز وجود کانی آتاکامیت در زون اکسیدان تحت شرایط بسیار خشک گزارش شده است). نتایج حاصل از آنالیز XRD وجود این کانی‌ها را در منطقه به اثبات رسانده است. با توجه به مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع میکروسکوپی و هم‌چنین نتایج حاصل از آنالیز XRD می‌توان نتیجه گرفت که بیشتر کانی‌ها در این منطقه مربوط

¹ Walker

² Zielinski

به زون اکسیدان بوده و در شرایط اکسیدی شکل گرفته‌اند. از آنجایی که نفوذ واحدهای تبخیری باعث به هم ریختگی توالی‌های رسوبی منطقه گردیده است، بنابراین نمی‌توان به طور دقیق محل پهنه اکسیدان و موقعیت آن را نسبت به زون‌های کانهدار در توالی‌های رسوبی مشخص نمود. رنگ این بخش از قهوه‌ای کم‌رنگ تا قرمز تغییر می‌کند. رنگ قرمز این زون به دلیل وجود مقدار زیادی اکسید آهن از جمله هماتیت، لیمونیت و گوتیت است. این بخش از لیتارنایت تا فلدسپاتیک لیتارنایت بسیار دانه‌ریز تا دانه متوسط و کنگلومرا و سیلتستون تشکیل شده است. مهم‌ترین اجزای تشکیل دهنده این بخش شامل کوارتز، فلدسپات، پلاژیوکلاز، خرده‌سنگ و کانی‌های رسی است. سیمان در سنگ‌های پهنه قرمز اکسیدان شامل سیمان از نوع اکسیدهای آهن، سیلیسی و کلسیتی می‌باشد. زمینه این بخش از کانی‌های تبخیری از جمله هالیت و ژیپس و همچنین کانی‌های رسی و سلسیت است که در مقاطع میکروسکوپی قابل تشخیص نیستند اما آنالیز XRD وجود کانی‌های رسی را به اثبات می‌رساند. در این منطقه شرایط اکسیدی ایجاد شده در انحلال‌پذیری و انتقال کلریدهای مس به حوضه به صورت اولیه نقش داشته است و همچنین لایه‌های قرمز کم‌پایین متمایل به قهوه‌ای باعث شستشو و انتقال مس در طی اکسیداسیون پیش‌رونده آهن شده‌اند. در منطقه بندقیچی آهن از کانی‌های فرومنیزین (هورنبلند، بیوتیت و پلاژیوکلاز) قطعات آتشفشانی موجود در واحدهای کنگلومرایی شسته شده و در طی قرمزشدگی به صورت اکسی‌هیدروکسیدهای آهن آمورف ته‌نشین می‌شود و سپس قطعات هماتیت متمایل به قرمز را تشکیل می‌دهد که باعث قرمز شدن لایه‌ها در منطقه می‌شود. حضور مقادیر بالای پیریت در منطقه و تخریب آن تحت شرایط اکسیدان در مجاورت با سیال جوی نیز در ایجاد سیال اسیدی و گسترش زون اکسیدان در منطقه نقش داشته است. این سیال اسیدی باعث انحلال بیشتر پیریت و فلزات پایه گردیده و کانی‌های کربناته مس و همچنین اکسیدهای آهن را درون درز و شکاف‌های سنگ میزبان شکل داده است. به نظر می‌رسد لایه‌های قرمز کم‌پایین هماتیتی در منطقه به عنوان منشأ مس و میزبان مناسب برای شوره‌های مس‌دار و همچنین لایه آبدار مناسب برای چرخش شوره‌های مس‌دار تحت شرایط اکسیدان پایدار عمل

کرده‌اند.



شکل ۴-۹: الف، ب، ج و د- تصاویری از پهنه قرمز اکسیدان در توالی رسوبی منطقه مورد مطالعه.

۷-۴- دگرسانی

دگرسانی می‌تواند شاخص یک فرآیند شستشوی اساسی باشد که توسط نسبت کاتیون‌های فلزی به یون هیدروژن در محلول دگرسان‌کننده کنترل می‌شود. مؤثرترین عوامل در کنترل واکنش‌های دگرسانی دما، فشار، ترکیب شیمیایی، رفتار دینامیکی سیال و میزان واکنش‌پذیری سنگ درونگیر می‌باشد (مک میلان^۱ و پانتلیو^۲، ۱۹۹۰). شناخت محصولات و فرآیندهای دگرسانی که معمولاً همراه کانه‌زایی هستند، یکی از پایه‌های شناسایی فرآیندهای مربوط به تشکیل کانسار است که در اکتشاف

^۱ McMillan

^۲ Panteleyev

کانسارها نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد (لنتز^۱، ۱۹۹۸). با توجه به مطالعه سنگ‌شناسی منطقه از جمله دگرسانی‌های غالب منطقه می‌توان به آغشتگی‌های اکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت، گوتیت) و دگرسانی آرژیلیک اشاره نمود. زون‌های دگرسانی در منطقه توسط سیالات کانی‌ساز ایجاد شده‌اند که بعداً تحت تأثیر فرآیندهای سوپرژن توسط آب‌های جوی رو به پایین قرار گرفته است.

۴-۷-۱- دگرسانی اکسیدهای آهن

این نوع دگرسانی به‌طور گسترده در منطقه قابل مشاهده می‌باشد. این پدیده با رنگ زرد آجری تا زرد متمایل به نارنجی و قرمز متمایل به قهوه‌ای قابل تشخیص است. حضور اکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) در کانسار بندقیچی، درون شکاف‌های سنگ میزبان، حاکی از حضور جریان سیالی دارد که به راحتی پیریت و کالکوپیریت را دگرسان نموده و ترکیبات اکسیدی آهن را به خصوص درون درز و شکاف سنگ‌ها بر جای گذاشته است. حضور دگرسانی که موجب پدید آمدن اکسیدهای آهن شده، تنها زمانی می‌تواند به عنوان راهنمای اکتشافی در منطقه مورد استفاده قرار گیرد که درون و یا اطراف ساختارهای خطی از نوع سیستم درزه و گسل‌ها باشند، در کانسار بندقیچی، اکسیدهای آهن در برخی مقاطع بررسی شده درون شکستگی‌ها و رگه‌ها دیده می‌شوند (شکل ۳-۴، الف و ب). هم‌چنین در نمونه‌های دستی و مقاطع میکروسکوپی اکسیدهای آهن عمدتاً به صورت سیمان در میان اجزای تشکیل‌دهنده سنگ و هم‌چنین به صورت آغشتگی در اطراف دانه‌ها مشاهده می‌شود (شکل ۳-۱۲ ج). فراوانی اکسیدهای آهن در کانسار را می‌توان به دلیل شرایط کاهنده در محیط‌های دیاژنتیکی، فراوانی مواد آواری و تأثیر جوی نسبت داد.

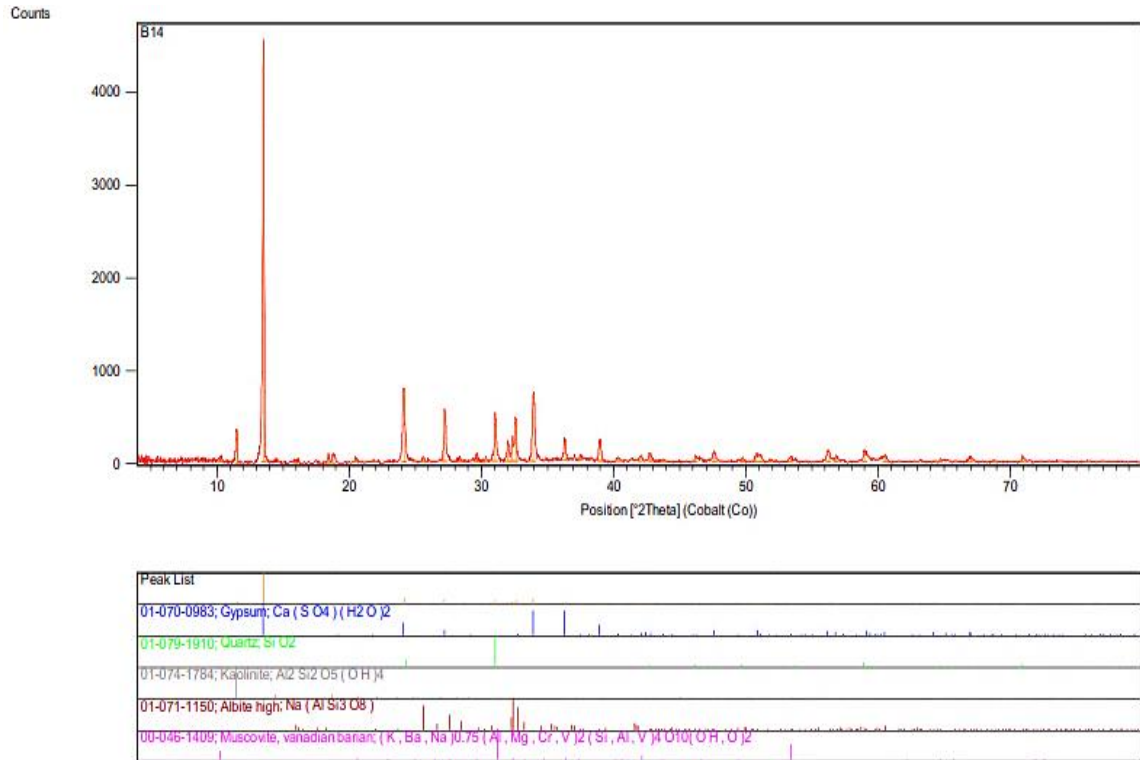
¹ Lentz

۴-۷-۲- دگرسانی آرژیلیک

به دلیل تبدیل و دگرسانی کانی‌های مختلف از جمله فلدسپات‌های پتاسیک و پلاژیوکلازها به کانی‌های رسی دگرسانی آرژیلیک ایجاد می‌شود. اکسیداسیون سولفات‌ها در بالای سطح ایستابی سبب تشدید آلتراسیون آرژیلیک می‌شود و در این دگرسانی، به احتمال زیاد هوازگی سنگ‌های غنی از پیریت و اکسیده شدن سولفیدها ایجاد اسید سولفوریک نموده و سبب گسترش دگرسانی آرژیلیک شده است. در دگرسانی آرژیلیکی سلیکات‌های آلومینیوم در محیط اسیدی هیدرولیز شده و کانی‌های رسی از جمله کائولینیت را تشکیل می‌دهند (کاکس و همکاران، ۱۹۷۹). این نوع دگرسانی در شرایط اسیدی و با حضور آب فراوان در محیط تشکیل می‌شود (تیتلی^۱ و بین^۲، ۱۹۸۱). در منطقه بندقیچی دگرسانی آرژیلیک ایجاد شده به دلیل تبدیل فلدسپات‌های پتاسیک و پلاژیوکلازهای موجود در قطعات آتشفشانی داخل واحدهای کنگلومرایی منطقه به کانی‌های رسی می‌باشد و هم‌چنین هوازگی و اکسیداسیون سنگ‌های غنی از پیریت نیز در ایجاد این نوع دگرسانی نقش داشته‌اند. با توجه به این که دگرسانی آرژیلیک ایجاد شده در منطقه از مورفولوژی تبعیت می‌کند، می‌تواند بیانگر این موضوع باشد که فرآیندهای سطحی در شکل‌گیری آن نقش داشته‌اند. بنابراین انتظار می‌رود که گسترش آن‌ها در بخش‌های سطحی کانسار باشد. با مطالعه مقاطع میکروسکوپی، رس‌های اوتوزنیک به عنوان زمینه عمل کرده‌اند و کانی‌های تشکیل‌دهنده واحدهای ماسه‌سنگی و کنگلومرایی میزبان در زمینه‌ای از مواد رسی جای گرفته‌اند که البته به دلیل ریز بودن در مقاطع قابل مشاهده نمی‌باشند. بر اساس نتایج حاصل از آنالیز XRD از نواحی دگرسانی آرژیلیکی کانی کائولینیت شناسایی شده است (شکل ۴-۱۰). دگرسانی آرژیلیک با اکسیدهای آهن در منطقه همراه است.

¹ Titley

² Bean



شکل ۴-۱۰: داده‌های حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، مربوط به دگرسانی آرژیلیکی در کانسار مس بندقیچی.

فصل پنجم

کافی‌شناسی، ساخت و بافت و توالمی پارازیتیک

کافی‌ها

۵-۱- مقدمه

بررسی دقیق ویژگی‌های کانی‌شناسی، ساختی و بافتی در تعیین توالی کانی‌شناسی، اکتشاف، نوع کانی‌سازی و الگوی کانه‌زایی، فرآیندهای اعمال شده بر روی کانسار در طول زمان (تکوین کانسار) از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هم‌چنین بررسی ویژگی‌های ساختی و بافتی موجود در کانسار می‌تواند در شناخت ویژگی‌های محیط تشکیل و شرایط حاکم به هنگام تشکیل یک کانسار مفید باشد که این اطلاعات در تعیین ارزش اقتصادی کانسار و تعیین روش فرآوری ماده معدنی بسیار کاربردی می‌باشد. هدف از این مطالعات بررسی شرایط و چگونگی تشکیل کانسار، تغییر پاراژنز در مراحل تبلور و تشخیص تعداد مراحل کانی‌سازی هر منطقه است. هم‌چنین آگاهی از بافت‌های ماده معدنی و اندازه ذرات به بحث کانه‌آرایی ماده معدنی کمک می‌کند. هم‌روند بودن یا نبودن ماده معدنی با سنگ میزبان و لایه‌بندی آن‌ها در فهم و درک زایشی کانسارهای سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک بسیار مؤثر است و حتی در تصمیم‌گیری و طراحی شیوه استخراج نقش اساسی دارد. مطالعات ساخت و بافت ماده معدنی و تعیین دقیق پاراژنز و توالی پاراژنتیکی کانی‌ها از مهم‌ترین اصول بررسی ژنز کانسارهای مختلف، به خصوص کانسارهای رسوبی به شمار می‌رود. در این بخش به منظور تعیین کانی‌شناسی، ساخت و بافت، تعدادی نمونه از بخش‌های مختلف کانسار برای تهیه مقاطع صیقلی و نازک‌صیقلی برداشت گردید. در این فصل ابتدا به کانی‌شناسی و سپس به انواع ساخت و بافت‌های ماده معدنی اشاره و در ادامه به بررسی توالی پاراژنتیک کانی‌ها پرداخته خواهد شد.

۵-۲- کانی‌شناسی

مطالعات کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها، اطلاعات سودمندی درباره ویژگی‌های محیط تشکیل هر کانسار در اختیار می‌گذارد و رفتار کانی‌های تشکیل دهنده هر کانسار بازتاب ویژگی‌های تشکیل دهنده آن کانسار است (کرایگ^۱ و وایوگان^۲، ۱۹۹۴). در یک تقسیم‌بندی کلی کانی‌های مس معمولاً به

¹ Craig

² Vaughan

سه دسته کلی تقسیم می‌شوند که عبارتند از:

۱- کانی‌هایی که در اثر پدیده ماگمایی در عمق زیاد بوجود می‌آیند. از این جمله می‌توان کانی‌های کالکوپیریت، بورنیت و انارژیت را نام برد.

۲- کانی‌های اکسیده، کربناته، سولفات‌ه و کلراته مس که دلایل تشکیل آن بیشتر عمل فرسایش و هوازدگی است. از این دسته می‌توان کانی‌های کوپریت، مالاکیت، آتاکامیت، بروکانتیت و آزوریت را نام برد.

۳- عنصر مس، اکسیده‌ها، سولفیدها، کانی‌های خاکستری یا کمبود مس، سولفات‌ها، کربنات‌ها، سیلیکات‌ها و کلرورها.

در این بخش با هدف مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز در کانسار مس بندقیچی از بخش‌های مختلف ماده معدنی و سنگ‌های درونگیر نمونه برداری و به دو روش میکروسکوپی و آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD) مورد بررسی قرار گرفت. در روش میکروسکوپی تعداد ۴۰ مقطع نازک- صیقلی و صیقلی تهیه و مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین به منظور تشخیص کانی‌های با فراوانی کم و کانی‌هایی که به دلیل ریز بودن مشاهده و بررسی آن‌ها در مقاطع میکروسکوپی امکان پذیر نمی‌باشد، تعداد ۱۰ نمونه نیز به روش پراش اشعه ایکس (XRD) مورد مطالعه قرار گرفت. در مطالعه به روش XRD، علاوه بر تأیید کانی‌های شناسایی شده در مطالعات میکروسکوپی، کانی‌های آلبیت، ارتوکلاز، کائولینیت، آتاکامیت، آنتارستیسیت، لایوریونیت، پارالایوریونیت، موسکویت، آنالسیم، کریستوبالیت، فروسیلیت و کلینوکلر تشخیص داده شد. این تنوع کانی‌شناسی تا حدودی متأثر از ماهیت تخریبی سنگ‌های میزبان می‌باشد. در ضمن کانی‌های رسی در مقیاس میکروسکوپی قابل شناسایی و تفکیک نیستند و نتایج حاصل از آنالیز XRD، حضور آن‌ها را در منطقه به اثبات می‌رساند. بر اساس مطالعات میکروسکوپی و هم‌چنین نتایج حاصل از آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، کانی‌های تشکیل‌دهنده

کانسار به ۶ گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شوند که شامل گروه‌های زیر می‌باشند:

۱- کانی‌های سولفیدی: کالکوسیت، کوولیت، بورنیت، کالکوپیریت و پیریت

۲- کانی‌های کربناته: مالاکیت و آزوریت

۳- کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی: گوتیت، هماتیت، لیمونیت و مگنتیت

۴- کانی‌های سولفات: سلسیت و ژیپس

۵- کانی‌های کلریدی: هالیت، آتاکامیت، پارالایوریونیت^۱ و لایوریونیت^۲

۶- کانی‌های باطله: کوارتز و کلسیت

۵-۲-۱- کانی‌های سولفیدی در کانسار مس بند قیچی

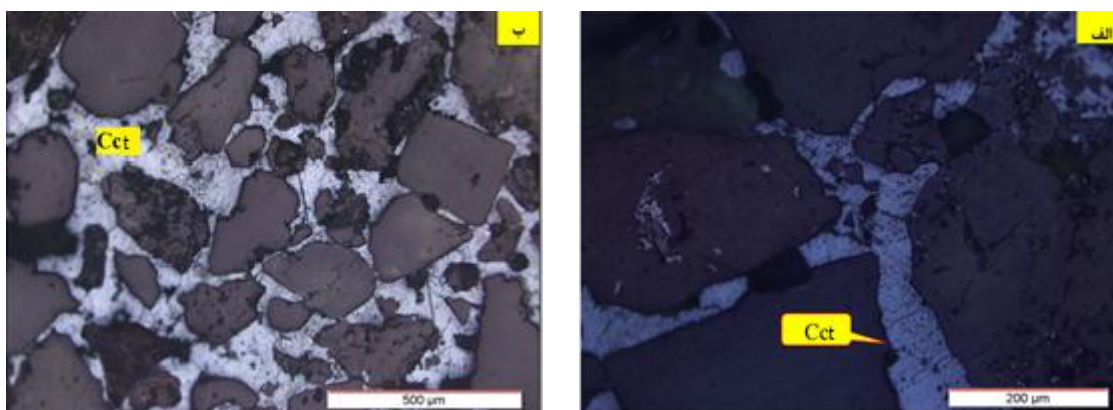
۵-۲-۱-۱- کالکوسیت Cu_2S

کالکوسیت یکی از مهم‌ترین کانه‌های سولفیدی مس است که در نمونه دستی به رنگ خاکستری متمایل به سیاه تا سیاه می‌باشد. در ترکیب شیمیایی این کانی ۷۹/۹٪ مس وجود دارد و گوگرد آن به عنوان محصول فرعی است و غالباً حاوی مقداری آهن و نقره به شکل ناخالصی می‌باشد. این کانی در نواحی غنی از سولفید یافت می‌شود. در کانسار مس بندقیچی کالکوسیت به دو شکل اولیه و ثانویه در منطقه مشاهده شده است که کالکوسیت‌های ثانویه در نتیجه دگرسانی سوپرژن کالکوپیریت ایجاد شده‌اند. در مقطع میکروسکوپی این کانی همراه بورنیت، کالکوپیریت و پیریت یافت می‌شود. بافت غالب این کانی در منطقه مورد مطالعه به صورت پرکننده فضای خالی است که در میان اجزای متشکله واحدهای رسوبی میزبان شکل گرفته است. هم‌چنین این کانی به صورت جانشینی (کالکوسیت‌های موجود در منطقه جانشین مواد آلی در بخش‌های احیایی شده‌اند) و دانه پراکنده نیز

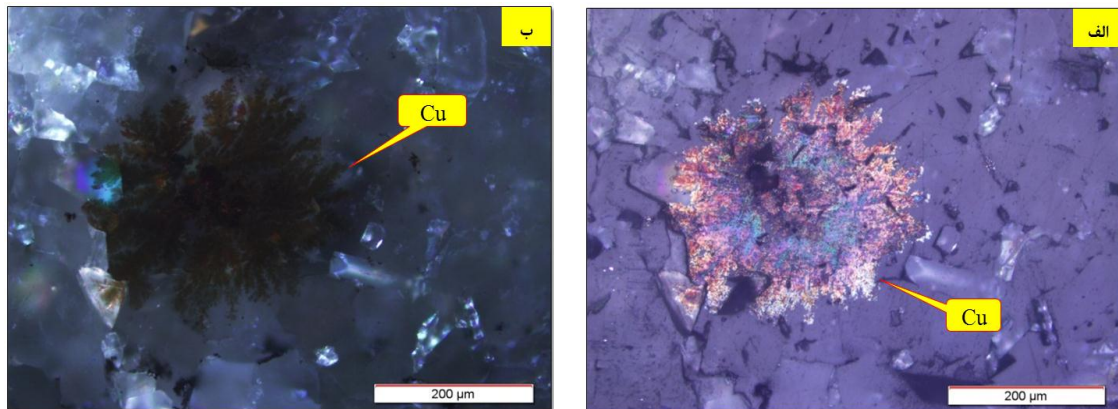
¹ Paralaurionite

² Laurionite

در مقاطع مشاهده می‌شود. تبدیل کالکوسیت‌های موجود در منطقه به کوولیت در بسیاری از مقاطع میکروسکوپی مشاهده شده است. این کانی در زیر میکروسکوپ به رنگ سفید خاکستری متمایل به آبی مشاهده می‌شود که به راحتی از کوولیت قابل تشخیص می‌باشد (شکل ۵-۱). در مقایسه با کوولیت این کانی از فراوانی کمتری برخوردار است که دلیل آن تبدیل بخش قابل توجهی از کالکوسیت‌های موجود در منطقه به کوولیت است. در بعضی از مقاطع میکروسکوپی همراه با این کانی، مس طبیعی (Cu) نیز مشاهده می‌شود. فراوانی مس طبیعی در منطقه بسیار پایین بوده و در گذر از محیط‌های اکسیدان به احیایی شکل می‌گیرد. مس طبیعی در زیر میکروسکوپ به رنگ قرمز متمایل به مسی مشاهده می‌شود و دارای بافت دانه پراکنده می‌باشد (شکل ۵-۲).



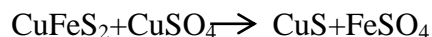
شکل ۵-۱: الف و ب- تصاویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت (Cct) با بافت پر کننده فضای خالی بین دانه‌ای در سنگ میزبان ماسه‌سنگی.



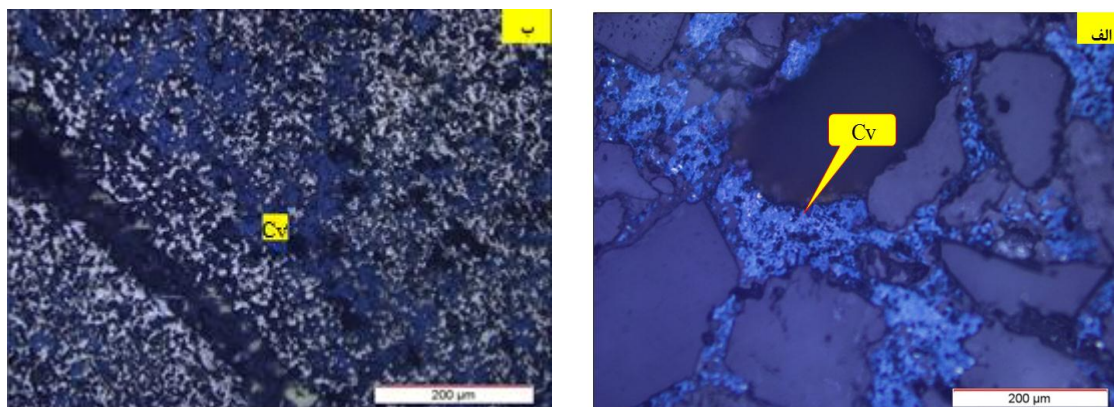
شکل ۵-۲: تصاویر میکروسکوپی کانی مس طبیعی (Cu) در نور پلاریزه (الف) و نور طبیعی (ب).

۵-۲-۱-۲-۵- کوولیت CuS

کوولیت از جمله کانی‌های سوپرژن سولفیدی است که در گذر از محیط اکسیدان به احیایی با افزایش تدریجی گوگرد شکل می‌گیرد. در ترکیب شیمیایی این کانی ۵/۶۶٪ مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی است. کوولیت را می‌توان کانی ثانویه حاصل از دگرسانی کانی‌های سولفیدی مس در نظر گرفت. این کانی با کانی‌های دیگر سولفیدی شامل پیریت، کالوپیریت، کالکوسیت و بورنیت همراه است. در منطقه مورد مطالعه، بخش قابل توجهی از کوولیت‌های منطقه در نتیجه دگرسانی کالکوپیریت ایجاد می‌شوند. این کانی در مقاطع میکروسکوپی به رنگ آبی تیره تا آبی نفتی مشاهده می‌شود و دارای چندرنگی قوی و آنیزوتروپی بالا می‌باشد (شکل ۵-۳). کوولیت با بافت دانه پراکنده و پرکننده فضای خالی در منطقه مشاهده می‌شود. که البته بافت غالب این کانی به صورت پرکننده فضای خالی می‌باشد که فضای خالی میان اجزای آواری تشکیل دهنده سنگ میزبان را پر کرده است (شکل ۵-۳). این کانی در منطقه مورد مطالعه در مقایسه با کالکوسیت از فراوانی بیشتری برخوردار است. کوولیت‌های منطقه هم‌چنین در بخش‌های احیایی جانشین مواد آلی شده‌اند. این کانی غالباً پس از تشکیل کالکوسیت و در شرایط سوپرژن ایجاد می‌شود. واکنش تجزیه کالکوپیریت به کوولیت در زیر آمده است.



(۱-۵)



شکل ۳-۵: الف- تصویر میکروسکوپی کوولیت (Cv) در فضای خالی میان اجزای آواری ماسه‌سنگ، ب- تصویر کانی کوولیت به صورت پراکنده در داخل واحد ماسه‌سنگی.

۳-۱-۲-۵ - بورنیت Cu_5FeS_4

بورنیت از جمله کانی‌های اولیه کانسارهای مس با میزبان رسوبی می‌باشد که در طی مرحله اولیه کانه‌زایی ایجاد می‌شود (کرخام، ۱۹۹۶؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). در ترکیب شیمیایی این کانی ۶۳-۵۵٪ مس وجود دارد و گوگرد در آن به عنوان محصول فرعی است. بورنیت اکثراً به حالت توده‌ای با دانه‌های درشت و یا فلس‌مانند دیده می‌شود و در مجاورت هوا به رنگ بنفش تا آبی تغییر رنگ می‌دهد. این کانی به همراه کالکوپیریت در زون اکسیدان بسیار ناپایدار است و در چنین شرایطی به سرعت تخریب می‌شود و کالکوپیریت باقی می‌ماند. بورنیت را بیشتر یک کانی درون‌زاد می‌دانند و در موارد بسیار نادر به صورت برون‌زاد نیز تشکیل می‌شود. بورنیت در اثر جانشینی به کالکوسیت و کوولیت تبدیل می‌شود (رامدور^۱، ۱۹۸۰). این کانی قبل از کالکوسیت شکل می‌گیرد و مقادیر بالای مس باعث پایداری بورنیت می‌شود. از جمله محیط‌هایی که بورنیت در آن شکل می‌گیرد می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

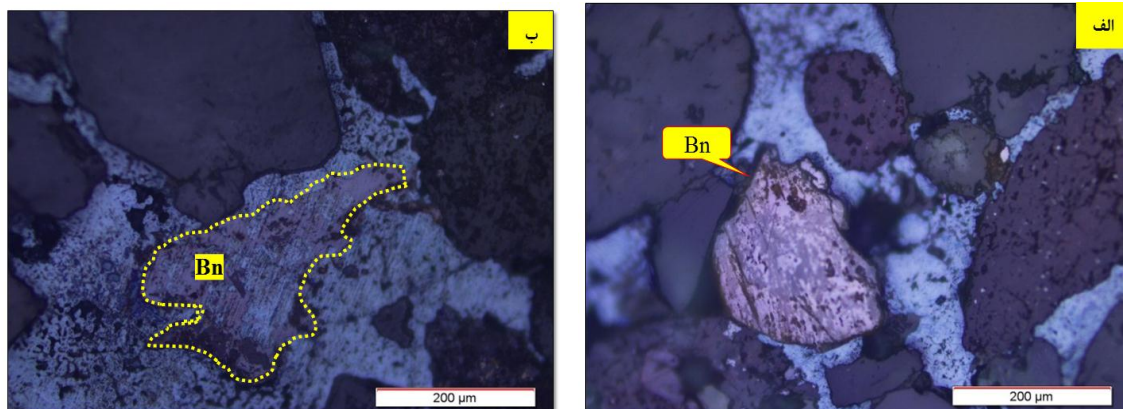
¹ Ramdor

۱- شکل‌گیری در سری‌های ماگمایی: به صورت یک نهشته ماگمایی عادی، در پگماتیت‌ها و به صورت رگه‌های گرمابی دما بالا و دما پایین.

۲- شکل‌گیری در چرخه‌های رسوبی: در طول پدیده غنی‌شدگی ثانویه سطحی، بورنیت به ندرت شکل می‌گیرد و بیشتر به صورت پوششی روی کالکوپیریت دیده می‌شود و در نهشته‌های نوع کوپفرشیفر و نهشته‌های لایه‌سرخ نیز مقداری بورنیت تشکیل می‌شود.

۳- در سکانس‌های دگرگونی به عنوان محصولی از دگرگونی ناحیه‌ای

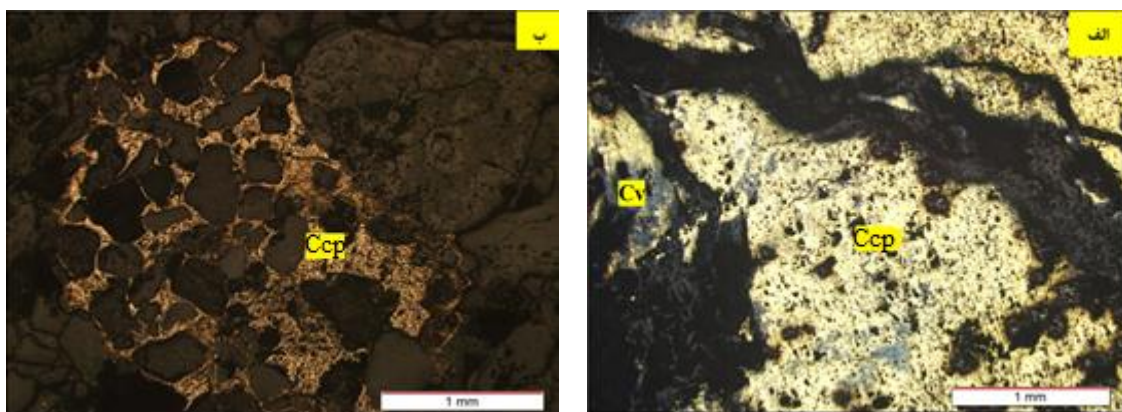
در مقاطع میکروسکوپی این کانی به رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای متمایل به صورتی دیده می‌شود و هم‌رشدی خوبی را با کالکوپیریت و کولیت نشان می‌دهد و از لحاظ دمای تشکیل همراهی این سه کانی با هم قابل توجه است. بافت بورنیت در مقاطع به صورت دانه پراکنده می‌باشد که به صورت دانه‌های پراکنده نامنظم در فضاهای بین دانه‌های ماسه‌سنگ مشاهده می‌شود (شکل ۴-۵).



شکل ۴-۵: الف- تصویر میکروسکوپی بورنیت (Bn) با رنگ قهوه‌ای متمایل به صورتی، ب- تصویر میکروسکوپی بورنیت (Bn) که همراه با کالکوسیت و کولیت در فضای بین دانه‌های واحد ماسه‌سنگی میزبان شکل گرفته است.

۵-۲-۱-۴- کالکوپیریت CuFeS_2

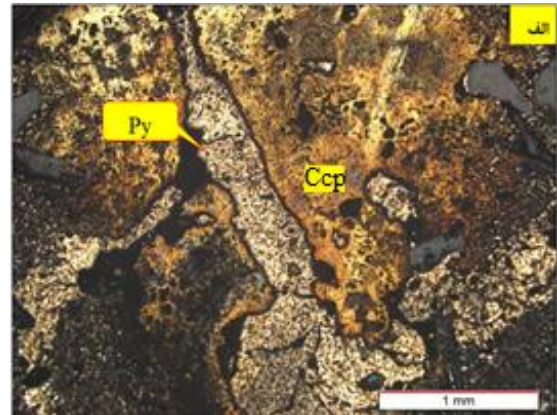
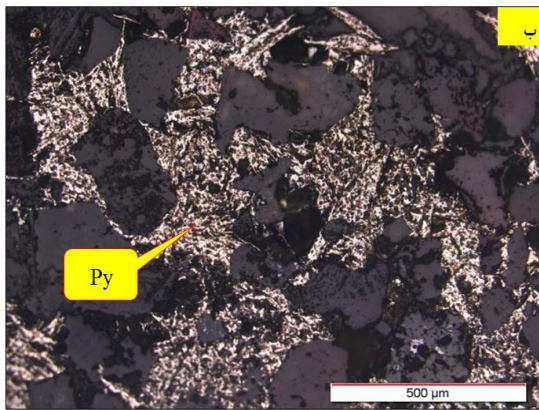
کالکوپیریت مهمترین و فراوانترین کانی اولیه کانسنگ مس محسوب می‌شود که در حضور اکسیژن، آب و در محیط‌های پوسته‌ای کم‌عمق جایی که اکسید می‌شود، ناپایدار است. کالکوپیریت به هنگام قرارگرفتن در محیط آب با اکسیژن کافی، همانند پیریت اکسید می‌شود و محتوای مس آن به صورت محلول‌های اسیدی از آن خارج شده و در نهایت 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، به رنگ زرد طلایی و غالباً به رنگ‌های متغیر سطحی تا حد سیاه رنگ است. در کانسار مورد مطالعه کالکوپیریت مهم‌ترین کانی اولیه مس‌دار می‌باشد که در اثر هوازدگی و فرآیند سوپرژن و دگرسانی به کانی‌های ثانویه مثل کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است. بافت غالب کالکوپیریت پرکننده فضای خالی (شکل ۵-۵، ب) و جانیشینی (شکل ۵-۵، الف) می‌باشد. کالکوپیریت‌های موجود در منطقه در بسیاری از موارد به کوولیت تبدیل شده‌اند (شکل ۵-۵، الف) که تغییر شرایط از احیایی به اکسیدان را نشان می‌دهد. در زیر میکروسکوپ به دلیل دمای کم تشکیل، چندرنگی در این کانی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۵-۵: الف- تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت (Ccp) که در بخش‌هایی به کوولیت (Cv) تبدیل شده است، ب- تصویر کالکوپیریت با بافت پرکننده فضای خالی در فضای بین دانه‌های ماسه‌سنگ.

۵-۱-۲-۵- پیریت FeS_2

پیریت گسترده‌ترین و فراوانترین کانی سولفیدی در پوسته زمین بوده و معمولاً فاز کدر اولیه نهشته‌های معدنی را تشکیل می‌دهد (کرایگ و واکز^۱ و سولبرگ^۲، ۱۹۹۸). در نمونه‌های دستی این کانی با رنگ کرمی قابل شناسایی است. پیریت در پهنه قرمز اکسیدان در کانسار مس بندقیچی کاملاً اکسید شده و به صورت دانه‌های کروی اکسید آهن در متن سنگ پراکنده است. در مقاطع صیقلی بلورهای نیمه شکل‌دار تا شکل‌دار پیریت به صورت دانه پراکنده در زمینه سنگ دیده می‌شود. این کانی در نمونه‌های دستی دارای ساخت لامینه می‌باشد به طوری که لایه‌های غنی از پیریت به موازات لایه‌بندی سنگ میزبان شکل گرفته‌اند. در بسیاری از مقاطع هم‌رشدی این کانی با کالکوپیریت مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶، الف). در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت پرکننده فضای خالی می‌باشد و همراه دیگر کانی‌های سولفیدی مس در فضای بین قطعات آواری سنگ میزبان ماسه‌سنگی شکل گرفته‌اند (شکل ۵-۶، ب). این کانی در اثر هوازدگی و اکسیداسیون اکسید شده و اکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوتیت و لیمونیت را شکل می‌دهد.



شکل ۵-۶: الف- تصویر هم‌رشدی پیریت (Py) با کالکوپیریت (Ccp)، ب- تصویر میکروسکوپی پیریت با بافت پرکننده فضای خالی در بین قطعات متشکله واحد ماسه‌سنگی میزبان.

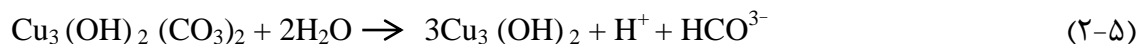
¹ Vokes

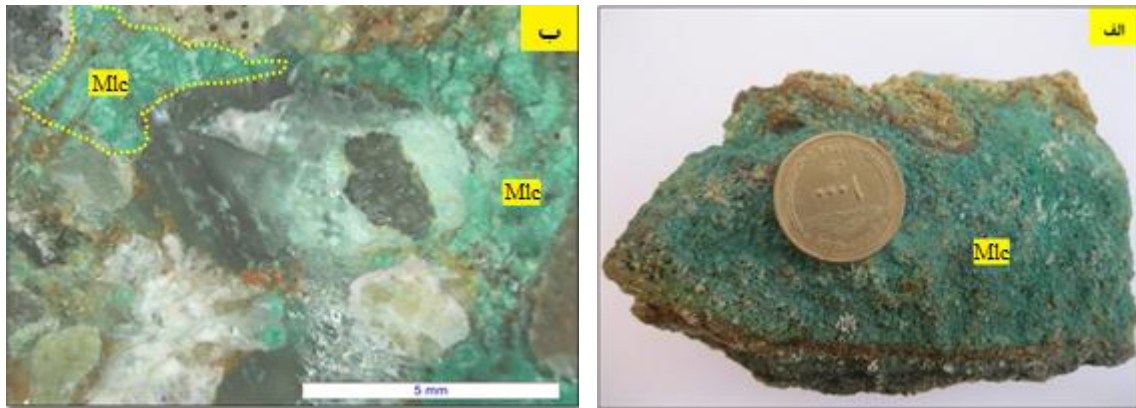
² Solberg

۵-۲-۲- کانی های کربناته در کانسار مس بندقیچی

۵-۲-۲-۱- مالاکیت $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$

مالاکیت یک کانی کربناته مس آبدار است که در اثر عوامل ثانویه از قبیل فرآیندهای جوی در مناطق سطحی تشکیل می شود. خنثی شدن محلول های اسیدی مس دار حاصل از دگرسانی کالکوپیریت توسط کانی های کربناته سنگ میزبان، مهم ترین عامل تشکیل کربنات های آبدار مس می باشد. غالباً بصورت رشته های شعاعی، متراکم، قلوهای، دانه انگوری، گرهک مانند تا استالاگیتی تشکیل می شود و در ترکیب شیمیایی آن ۵۷/۵٪ مس وجود دارد. در منطقه مورد مطالعه، مالاکیت مهمترین و فراوانترین کانی منطقه اکسیداسیون می باشد. این کانی از جمله کانی های ثانویه منطقه می باشد که در اثر اکسیداسیون کانی های اولیه و سولفیدی مس به وجود می آید و همراه اکسیدهای آهن مشاهده می گردد. این کانی که از دگرسانی و اکسیداسیون کالکوپیریت به وجود آمده است با رنگ های سبز و آبی لاجوردی در بخش های سطحی کانسار به وفور مشاهده می گردند. مالاکیت در نمونه دستی به رنگ سبز روشن تا تیره یا سبز متمایل به سیاه است (شکل ۵-۷، الف). و همچنین به صورت سیمان در میان اجزای متشکله سنگ شکل گرفته است. بافت غالب این کانی سیمان میان دانه ای می باشد (شکل ۵-۷، ب). به طور کلی ته نشینی کانی مالاکیت از محلول های مس دار در pH تقریبی ۷-۸ و نیز فشار جزئی نرمال CO_2 در اتمسفر صورت می گیرد. کانی آزوریت تشکیل شده، در شرایط سطحی و اکسیدان به مالاکیت تبدیل می شود:





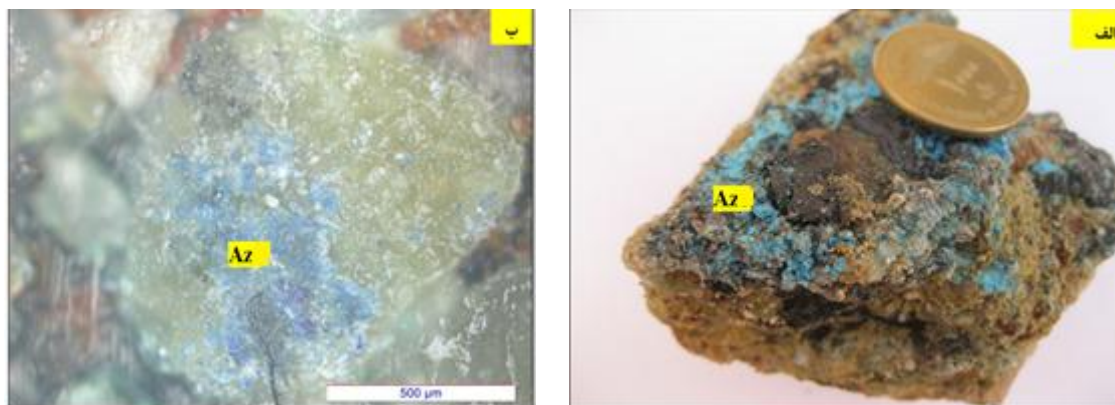
شکل ۵-۷: الف- تصویر نمونه دستی مالاکیت با رنگ سبز روشن، ب- تصویر میکروسکوپی کانی مالاکیت (Mlc) با بافت سیمان میان دانه‌ای در میان اجزای آواری واحد ماسه‌سنگی میزبان (نور انعکاسی (XPL)).

۵-۲-۲-۲-۵ - آزوریت $\text{Cu}_3 (\text{CO}_3)_2 (\text{OH})_2$

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 اکسیدان شدید و در شرایط CO_2 بالا پایدارند. آزوریت 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٪ مس وجود دارد. کانی آزوریت از طریق واکنش زیر تشکیل می‌شود:



این کانی در اثر آبگیری 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 منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸: تصاویر آزوریت (Az) با رنگ آبی روشن در مقیاس نمونه دستی (الف) و مقیاس میکروسکوپی در نور انعکاسی ((XPL)، ب).

۵-۲-۳- کانی های اکسیدی و هیدروکسیدی در کانسار مس بندقیچی

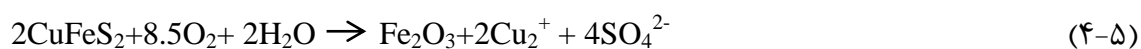
۵-۲-۳-۱- هماتیت، گوتیت و لیمونیت

اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوتیت و لیمونیت کانی های فلزی ثانویه در منطقه مورد مطالعه می باشند که دارای فراوانی و گستردگی بالایی می باشند. این کانی ها بیشتر در نمونه های هوازده و اکسیده کانسار در نتیجه اکسایش و هوازدگی کانی های پیریت و کالکوپیریت شکل می گیرند. اکسایش پیریت طی چند مرحله انجام می گیرد. این مراحل شامل آزادسازی یون S^{2-} ، Fe^{2+} ، اکسایش Fe^{2+} به Fe^{3+} ، هیدرولیز Fe^{3+} و تبدیل آن به $Fe(OH)_3$ و اکسایش یون S^{2-} به یون سولفات SO_4^{2-} می باشد. طی اکسایش، Fe^{2+} به صورت $Fe(OH)_2$ هیدرولیز می شود که دارای انحلال پذیری کمی می باشد. این مرحله با ادامه اکسایش به صورت $Fe(OH)_3$ ظاهر می شود (چندر^۱ و بریسنو^۲، ۱۹۸۷). هیدروکسید فریک [$Fe(OH)_3$] تحت تأثیر آبدایی تبدیل به گوتیت شده و گوتیت نیز می تواند طی همین عمل، سرانجام به هماتیت تبدیل شود. واکنش های مذکور اسیدیته محلول را افزایش می دهند. هم چنین هیدروکسیدهای آهن از تبدیل کالکوپیریت به اکسید آهن و آزاد سازی یون Cu^{2+} نیز به

¹ Chander

² Briceno

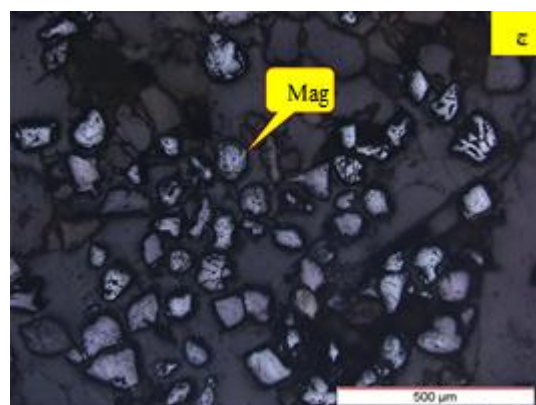
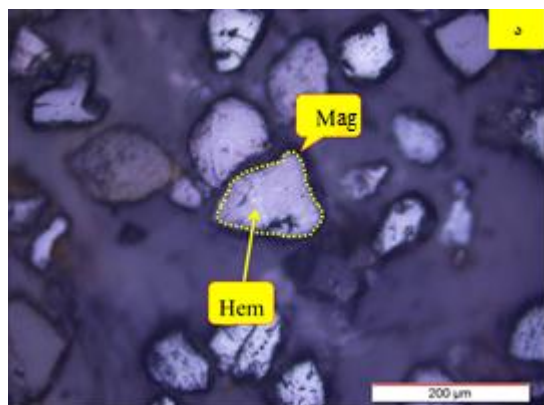
وجود می‌آیند. این مجموعه طبق فرمول زیر به وجود می‌آیند (رامدور ۱۹۸۰).



در منطقه مورد مطالعه کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن عمدتاً به صورت سیمان در میان اجزای تشکیل‌دهنده سنگ و همچنین به صورت آغشتگی در اطراف دانه‌های سنگ میزبان مشاهده می‌شود (شکل ۵-۹، الف و ب). بافت غالب این کانی‌ها در منطقه به صورت سیمان میان‌دانه‌ای (۳-۱۲، ج)، رگه‌ای، لایه‌ای و جانشینی می‌باشند. اکسیدهای آهن طی فرآیندهای ثانویه، سوپرژن و اکسیدی در کانسار تشکیل شده است. گوتیت از جمله کانی‌های هیدروکسیدی آهن است که به فراوانی در منطقه مشاهده می‌شود. علاوه بر گوتیت، هیدروکسیدهای دیگر آهن، لیمونیت نیز به مقدار کمتر در بخش‌های متأثر از فرآیندهای سوپرژن دیده می‌شوند.

۵-۲-۳-۲- مگنتیت Fe_3O_4

مگنتیت از جمله دیگر کانی‌های اکسیدی در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در زیر میکروسکوپ به رنگ سفید تا خاکستری کم‌رنگ به دو صورت شکل‌دار و نیمه شکل‌دار مشاهده می‌گردد. مهم‌ترین بافت قابل مشاهده در این کانی، بافت دانه پراکنده می‌باشد. به طوری که کانی‌های مگنتیت به صورت پراکنده در متن واحدهای سنگی میزبان شکل گرفته‌اند. همچنین در برخی مقاطع پدیده مارتیتی شدن و تبدیل مگنتیت به هماتیت مشاهده شده است (شکل ۵-۹، ج و د). مارتیتی شدن نوع خاصی از جانشینی است که در طی آن مگنتیت توسط هماتیت جانشین می‌شود (شهاب پور، ۱۳۸۰). در محیط هوازدگی این کانی به آسانی به هماتیت، لیمونیت، گوتیت و هیدروکسیدهای آهن دگرسان می‌شود.



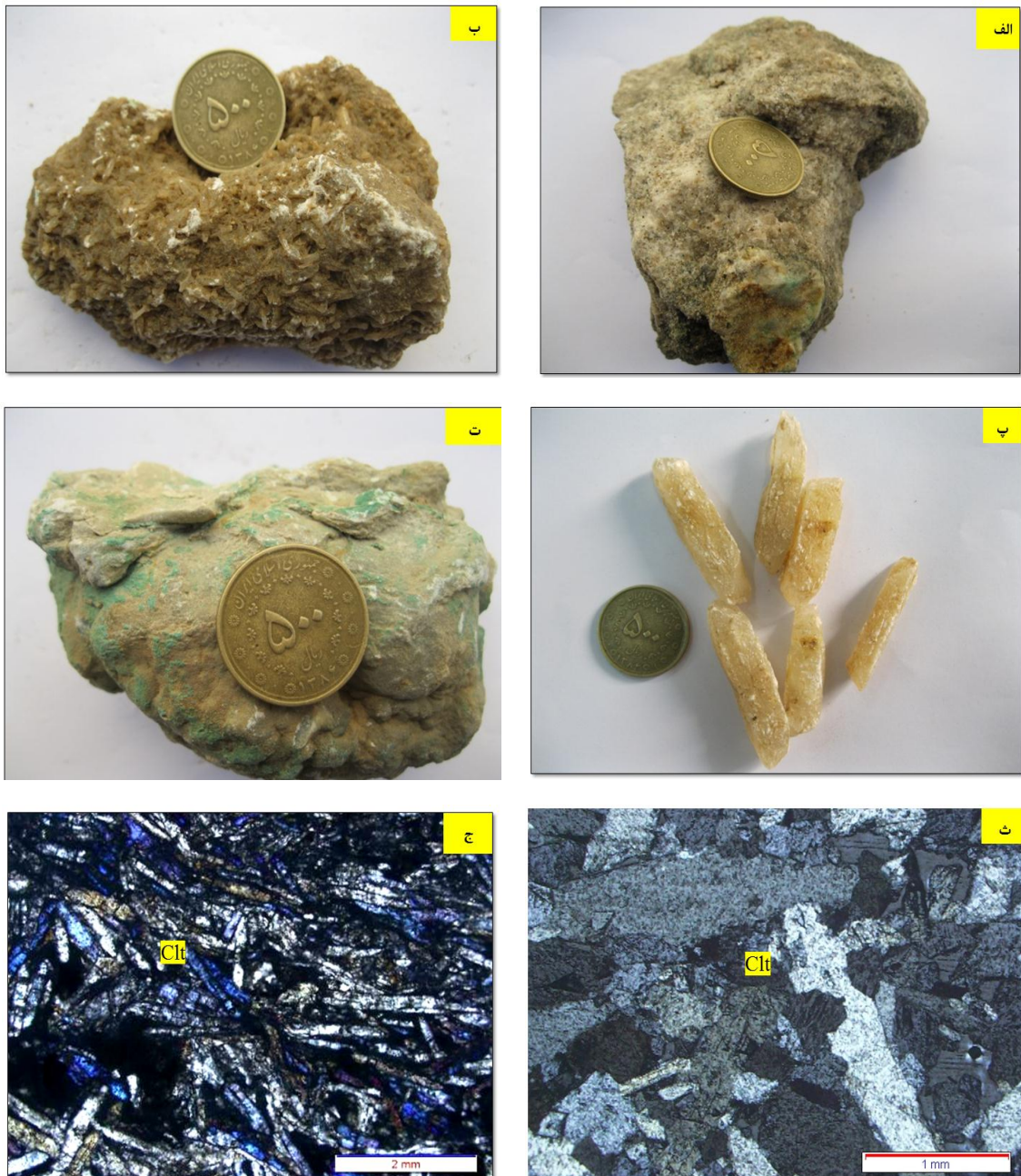
شکل ۵-۹: الف و ب: تصاویر کانی‌های اکسید و هیدروکسیدهای آهن در مقیاس نمونه دستی در اطراف قطعات آواری سنگ میزبان، ج تصویر میکروسکوپی از کانی مگنتیت (Mag) با بافت دانه پراکنده در متن واحد ماسه‌سنگی میزبان و د- تصویر میکروسکوپی از مگنتیت مارتیتی شده در نور انعکاسی (XPL).

۵-۲-۴- کانی‌های سولفات‌ها در کانسار مس بند قیچی

۵-۲-۴-۱- سلسنتیت $SrSO_4$

سلسنتیت از جمله کانی‌های غیر فلزی مهم سولفات‌ها در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. سلسنتیت در انتهای محدوده شرقی منطقه به شکل‌های مختلف لایه‌ای (رسوبی اولیه)، بلوری، دانه‌شکری (اولیه) و قلوهای (ثانویه) مشاهده می‌گردد (شکل ۵-۱۰). در برخی نمونه‌ها سلسنتیت نقش زمینه را دارد هم‌چنین بافت توده‌ای در این کانی به دو صورت دانه‌ریز و دانه‌درشت مشاهده می‌گردد. بافت دانه‌ریز در نمونه دستی به شکل تجمع دانه‌های ریز شکر مشاهده می‌شود و بافت توده‌ای دانه‌درشت به صورت بلورهای خودشکل می‌باشد. رنگ این کانی در نمونه دستی بی‌رنگ تا سفید و زرد کم‌رنگ می‌باشد.

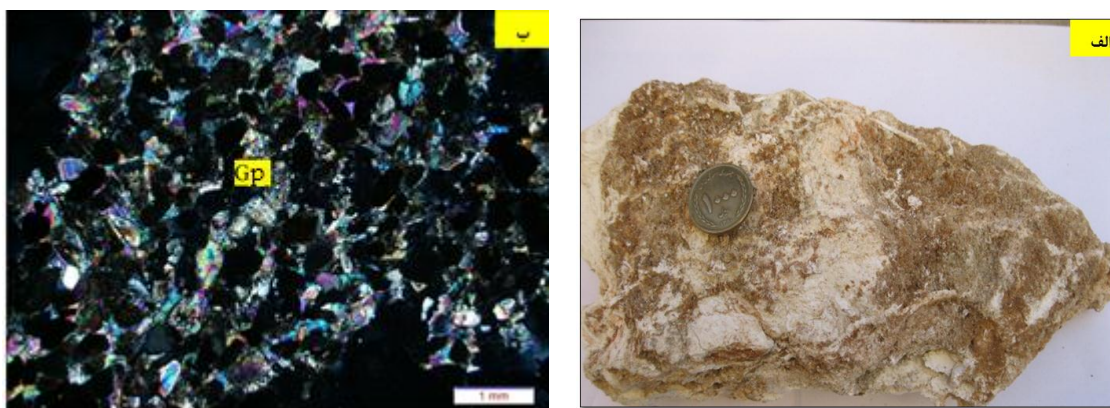
این کانی در مقاطع میکروسکوپی به صورت بلورهای منشوری و خودشکل می‌باشد که در نور عبوری به راحتی قابل تشخیص است. هم‌رشدی مس با سلسیت نیز در منطقه دربرخی مقاطع میکروسکوپی مشاهده گردیده است.



شکل ۵-۱۰: تصاویر کانی سلسیت (Clt) در مقیاس نمونه دستی به صورت دانه شکری (الف)، منشوری (ب و پ)، قلوهای (ت) و تصویر میکروسکوپی بلورهای صفحه‌ای و تیغه‌ای سلسیت در نور عبوری (XPL)، (ث و ج).

۵-۲-۴-۲-۵ - ژیپس $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

ژیپس از جمله کانی‌های سولفات‌ها آبدار مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد که در شرایط تبخیری به وجود می‌آید و از جمله رسوبات حاصل از پدیده تبخیر می‌باشد که از نظر توالی رسوبگذاری بر سنگ نمک تقدم دارد. فراوانی این کانی در منطقه بسیار کم می‌باشد. در واحدهای رسوبی میزبان کانسار لایه‌هایی از ژیپس به صورت ثانویه تشکیل شده است. همچنین این کانی به همراه هالیت در زمینه این واحدهای سنگی میزبان شکل گرفته‌اند. این کانی در مقیاس رخنمون و نمونه دستی به رنگ سفید دیده می‌شود (شکل ۵-۱۱).



شکل ۵-۱۱: الف و ب- تصاویر کانی ژیپس (Gp) در مقیاس نمونه دستی و مقیاس میکروسکوپی.

۵-۲-۵ - کانی‌های کلریدی در کانسار مس بند قیچی

۵-۲-۵-۱ - هالیت NaCl

از آن جایی که محیط ته‌نشینی کانسار مورد مطالعه حوضه رسوبی تبخیری می‌باشد و با توجه به نرخ بالای تبخیر و حاکم بودن شرایط تبخیری در منطقه مورد مطالعه کانی‌های تبخیری به ویژه هالیت به وفور در منطقه مشاهده می‌شود. ته‌نشینی نمک همراه با دیگر کانی‌های تبخیری در آب‌های شور صورت می‌گیرد. این کانی به همراه سیلویت یا نمک تلخ در محیط‌های تبخیری و گرم و خشک یافت می‌شود. مزه شور و جلای شیشه‌ای و سختی کم این کانی باعث شده است تا به راحتی میان گروهی

از کانی‌های مشابه خود، تشخیص داده شود. این کانی به شکل‌های مختلف از جمله بلورهای کوبیک، توده‌ای و رشته‌ای در منطقه مورد مطالعه شکل گرفته است (شکل ۵-۱۲). نمک‌های توده‌ای در منطقه به دو شکل توده‌ای دانه‌درشت و دانه‌ریز دیده می‌شوند. در بخش‌هایی از منطقه که سطح آب اشباع از نمک بوده است بلورهای کوبیک نمک شکل گرفته‌اند و در بخش‌هایی که سطح آب غیر اشباع از نمک است کانی‌های نمک به صورت رشته‌ای شکل می‌گیرند. این کانی به همراه ژئوپس و کانی‌های رسی زمینه واحدهای رسوبی میزبان را شکل داده‌اند. هالیت در نمونه دستی به رنگ سفید و گاهی به دلیل وجود ناخالصی به رنگ زرد کم‌رنگ مشاهده می‌گردد.

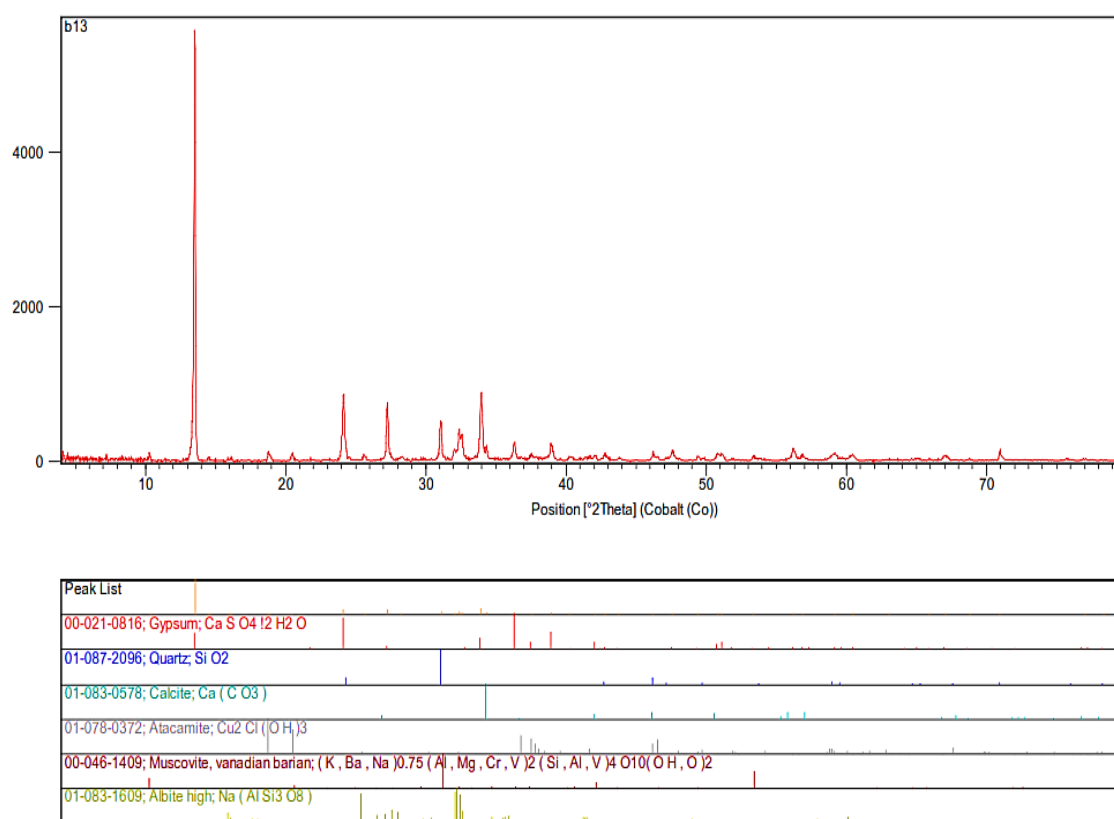


شکل ۵-۱۲: تصاویر نمونه دستی کانی هالیت به صورت توده‌ای دانه‌ریز و دانه‌درشت (الف و ب)، کوبیک (ج) و رشته‌ای (د).

۵-۲-۵-۲- آتاکامیت $\text{Cu}_2\text{Cl}(\text{OH})_3$

آتاکامیت از جمله کانی‌های کلریدی مس‌دار در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. این کانی همراه با

مالاکیت و آزوریت طی فرآیند سوپرژن اکسیدی ایجاد می‌گردند. رنگ این کانی سبز چمنی تا تیره و خط اثر آن سبز روشن است و حاوی ۶۰٪ مس است. این کانی از مالاکیت توسط عدم جوشش در اسیدها متمایز می‌شود. آتاکامیت جلای شیشه‌ای و حالت شفاف دارد و دارای خاصیت چندرنگی است. این کانی به عنوان یک کانی سوپرژن در نواحی اکسایشی نهشته‌های مس در شرایط بسیار خشک به وجود می‌آید. همانطور که وجود آتاکامیت در آتاکامای شیلی نیز در زون اکسیدان گزارش شده است. این کانی توسط انجام آنالیز XRD، در منطقه شناسایی شده است (شکل ۵-۱۳).



شکل ۵-۱۳: نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) که نشان دهنده حضور کانی آتاکامیت می‌باشد.

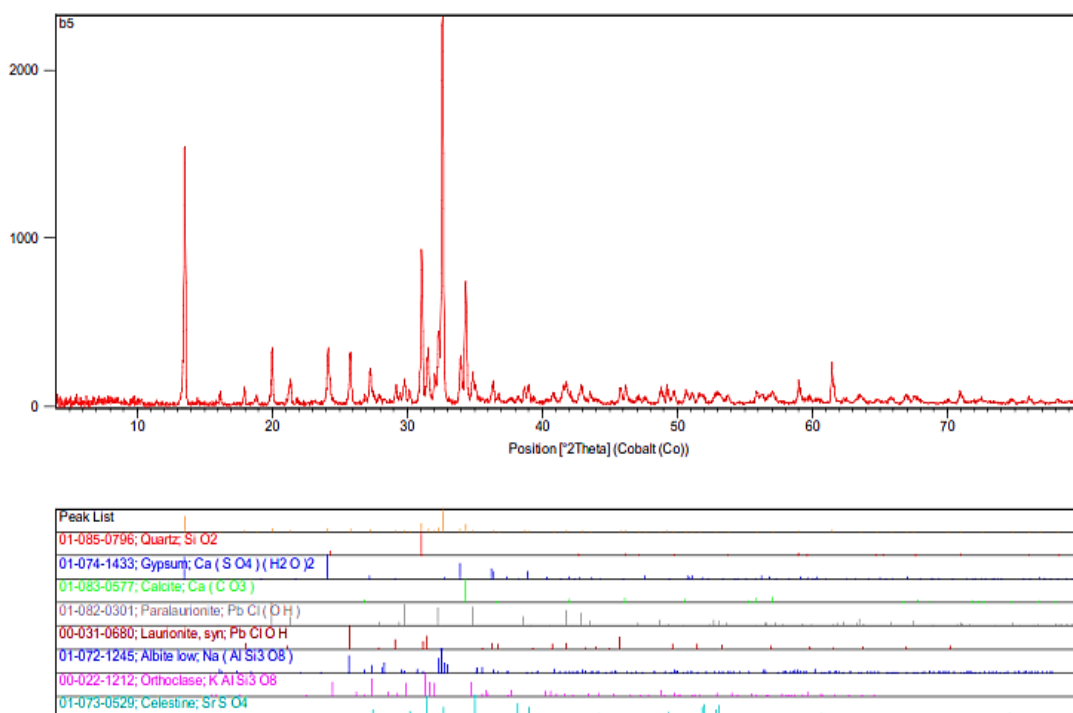
۵-۲-۳- پارالایورینیت $PbCl(OH)$

این کانی از جمله کانی‌های کلریدی سرب‌دار می‌باشد که حضور آن را در منطقه نتایج حاصل از XRD به اثبات رسانده است (شکل ۵-۱۴). این کانی به رنگ‌های سفید، سبز و آبی کمرنگ و

هم‌چنین نارنجی و به ندرت به رنگ بنفش مشاهده می‌شود. از نظر شکل بلوری به صورت کشیده و صفحه‌ای می‌باشد. این کانی دی مورف لایوریونیت می‌باشد و همراه با لایوریونیت و سروزیت می‌باشد و در سرباره‌های سرب‌داری که در معرض آب دریا قرار دارند شکل می‌گیرد.

۵-۲-۴-۵ - لایوریونیت (PbCl(OH))

این کانی در گروه کانی‌های هالیدی قرار می‌گیرد که فرمول مشابه پارالایوریونیت دارد. از نظر شکل دارای بلورهای منشوری کشیده می‌باشد. لایوریونیت به عنوان محصول حاصل از اکسیداسیون در زون‌های اکسیدی کنسارهای سرب‌دار مشاهده می‌شود. در سرباره‌های سرب‌دار از طریق واکنش با محلول‌های شور به وجود می‌آید. از جمله کانی‌های همراه آن پارالایوریونیت، سروزیت و آنگلیزیت می‌باشد.

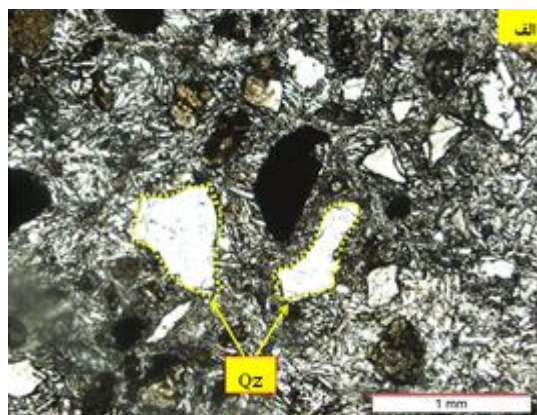
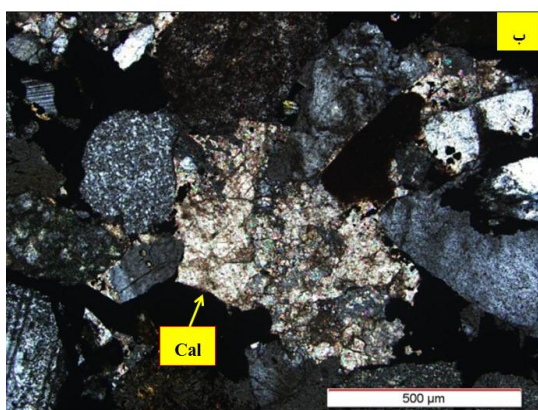


شکل ۵-۱۴: نتایج حاصل از پراش اشعه ایکس (XRD) که نشان دهنده حضور کانی‌های لایوریونیت و پارالایوریونیت همراه با کانی‌های کوارتز، کلسیت، ژیپس و سلسیت می‌باشد.

۵-۲-۶- کانی‌های باطله در کانسار مس بند قیچی

کوارتز و کلسیت

کوارتز (SiO_2) و کلسیت (CaCO_3) از مهم‌ترین باطله‌هایی می‌باشند که ماده معدنی را در کانسار مورد مطالعه همراهی می‌کنند. این دو کانی هم به عنوان یکی از اجزای آواری تشکیل‌دهنده واحدهای رسوبی میزبان و هم به عنوان سیمان در بین قطعات آواری تجمع پیدا کرده‌اند (شکل ۵-۱۵) که البته در مقایسه با سیمان کربناته و اکسیدهای آهن از اهمیت و فراوانی کمتری برخوردار می‌باشند. میزان کوارتز در واحدهای سنگی میزبان به کمتر از ۲۰ درصد می‌رسد. کلسیت در مقایسه با کوارتز دارای فراوانی بیشتری در نمونه‌های سنگی بوده و حجم عمده برخی از مقاطع نازک را تشکیل می‌دهد. این کانی در زیر میکروسکوپ به رنگ قهوه‌ای کمرنگ تا آجری مشاهده می‌گردد.



شکل ۵-۱۵: الف- تصویر میکروسکوپی کانی کوارتز (Qz) در نور عبوری، ب- تصویر کانی کلسیت (Cal) به صورت سیمان شکل گرفته در میان اجزای آواری سنگ میزبان.

۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها در کانسار مس بندقیچی

در این قسمت با توجه به کانی‌های تشکیل دهنده کانسار به انواع ساخت و بافت‌های مشاهده شده در منطقه اشاره می‌شود.

۵-۳-۱- ساخت لایه‌ای

یکی از ساخت‌هایی که شرایط رسوبی اولیه را نشان می‌دهد ساخت لایه‌ای است. در مقیاس رخنمون هم‌شیب و همروند با لایه‌بندی بوده و از لایه‌بندی سنگ میزبان تبعیت می‌کنند و نشان‌دهنده همزمانی تشکیل با رسوبگذاری (سین‌ژنتیک) است. در کانسار مس بندقیچی این لایه‌ها بیشتر از پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت و هم‌چنین کانی‌های اکسیدی آهن در واحد ماسه‌سنگی تشکیل شده‌اند. سلسیت نیز در این منطقه به خصوص در انتهای محدوده شرقی به صورت لایه‌ای شکل گرفته است که افزایش شرایط رسوبگذاری در یک محیط آرام و ته‌نشست استرانسیوم را نشان می‌دهد. این ساخت در مقایسه با ساخت رگه‌ای در منطقه به صورت محدودتری مشاهده می‌شود (شکل ۴-۲).

۵-۳-۲- ساخت رگه‌ای

این ساخت از جمله اصلی‌ترین ساخت‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. رگه‌هایی از مالاکیت و آزوریت و هم‌چنین اکسیدهای آهن از جمله هماتیت، لیموتیت و گوتیت واحدهای رسوبی میزبان از جمله ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها را به طور نامنظم در جهات مختلف قطع نموده‌اند. این ساخت از جمله ساخت‌های اپی‌ژنتیک می‌باشد که پس از تشکیل سنگ میزبان شکل گرفته است. در این ساخت کانی‌ها از لایه‌بندی سنگ میزبان تبعیت نمی‌کنند و به صورت ثانویه در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های سنگ میزبان شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۳).

۵-۳-۳- بافت توده‌ای

در منطقه مورد مطالعه این بافت بیشتر در کانی‌های غیر سولفیدی مشاهده می‌شود. کانی‌های با این بافت ماهیت سخت و فشرده دارد و به طور عمده شامل مالاکیت، سلسیت، هالیت و ژپس می‌باشد. این بافت در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی و به دو صورت توده‌ای دانه‌ریز و دانه‌درشت قابل مشاهده می‌باشد (شکل ۵-۱۶).



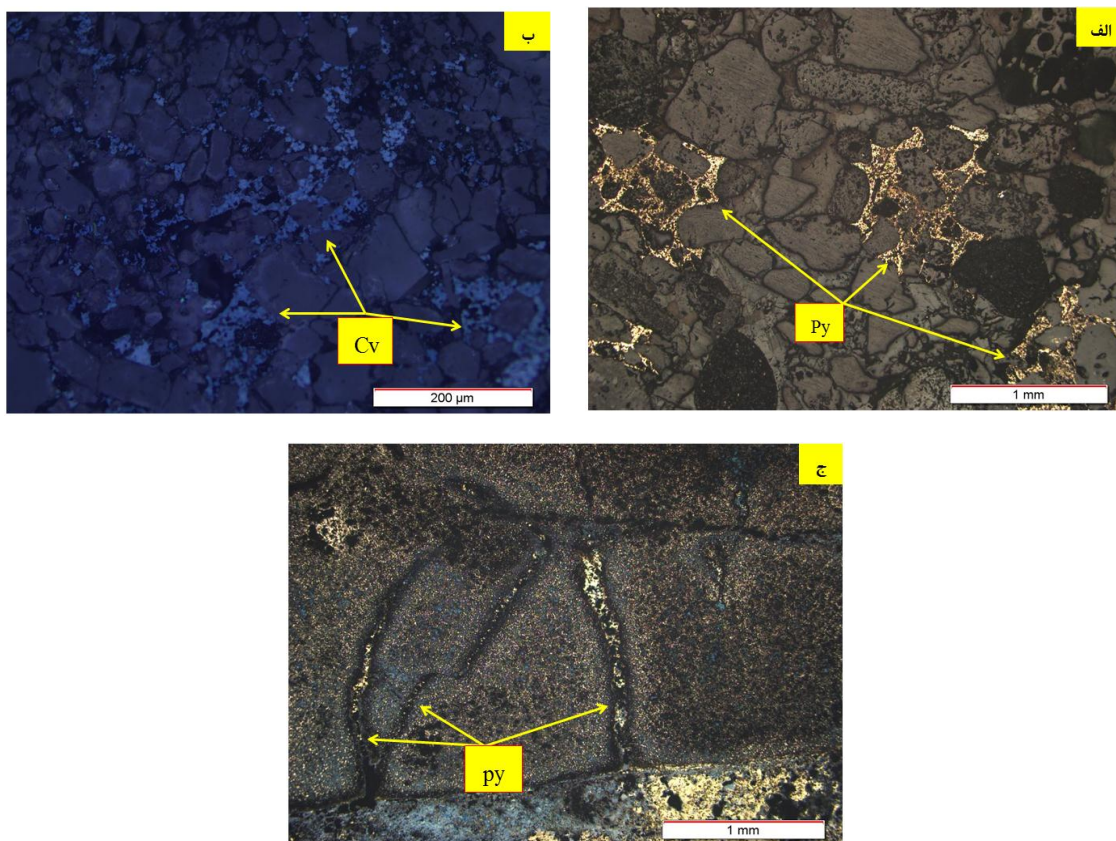
شکل ۵-۱۶: تصاویر نمونه دستی از ساخت توده‌ای کانی‌های مالاکیت (الف)، سلسیت (ب) و هالیت (ج).

۵-۳-۴ - بافت پرکننده فضای خالی

یکی از سیماهای مواد معدنی در منطقه مورد مطالعه، حضور آن‌ها در نقش پرکننده فضاهای خالی می‌باشد. این بافت از جمله شاخص‌ترین بافت‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بافت پرکننده فضای خالی در منطقه بندقیچی به دو شکل متفاوت مشاهده می‌شود:

الف: بافت پرکننده فضای خالی در میان اجزای متشکله ماسه‌سنگ‌ها و کنگلومراها که نقش سیمان را ایفا می‌کند (شکل ۵-۱۷، الف و ب).

ب: بافت پرکننده فضای خالی در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های سنگ میزبان (شکل ۵-۱۷، ج).
در این بافت بسیاری از کانی‌های سولفیدی از جمله پیریت، کالکوپیریت، کالکوسیت و کوولیت در فضای خالی میان اجزای ماسه‌سنگ‌ها و هم‌چنین در امتداد شکستگی‌ها شکل گرفته‌اند. این بافت از جمله بافت‌های پس از رسوبگذاری می‌باشد که پس از تشکیل واحدهای رسوبی میزبان، سیال کانه‌دار به درون واحدهای سنگی میزبان نفوذ کرده است و فضاهای خالی موجود در میان اجزای متشکله سنگ را پر نموده است. بافت پرکننده فضای خالی در دو مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی قابل مشاهده می‌باشد.



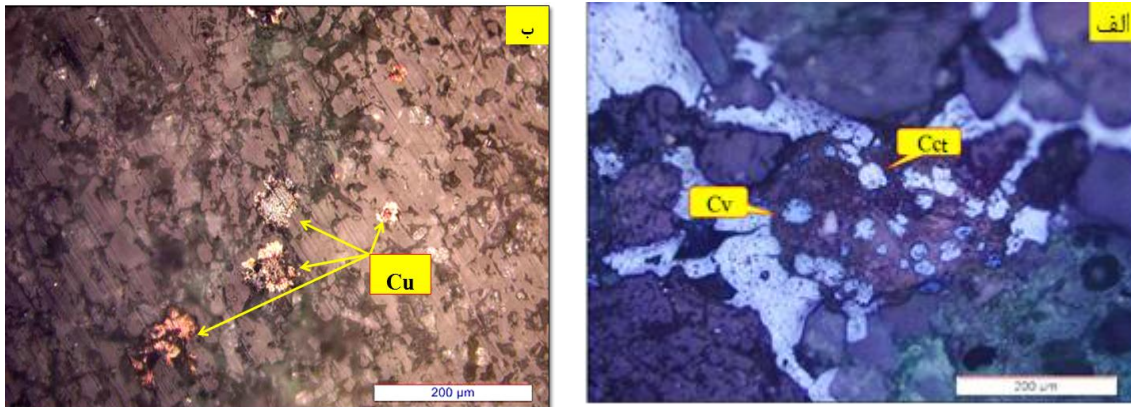
شکل ۵-۱۷: الف و ب- تصاویر بافت پرکننده فضای خالی در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی توسط پیریت (Py) و کوولیت (Cv)، ج - تصویر پیریت با بافت پرکننده فضای خالی در امتداد درزه‌ها و شکستگی‌های واحد ماسه‌سنگی.

۵-۳-۵- بافت سیمان میان دانه‌ای

یکی دیگر از بافت‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه بافت سیمان میان دانه‌ای است که در آن کانی‌ها در اطراف ذرات آواری تشکیل‌دهنده سنگ میزبان تجمع یافته‌اند و باعث اتصال و به هم پیوستگی این اجزا شده‌اند. از آن جایی که واحدهای رسوبی در منطقه بسیار سست و شکننده می‌باشند به نظر می‌رسد سیمان در بین اجزای تشکیل‌دهنده این واحدها ضعیف می‌باشد. کانی‌های کربناته مس، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و همچنین به میزان خیلی کم کلسیت و سیلیس، سیمان میان دانه‌ها را شکل داده‌اند (شکل‌های ۳-۱۲، ب و ج و ۳-۱۳، ج).

۵-۳-۶- بافت دانه پراکنده

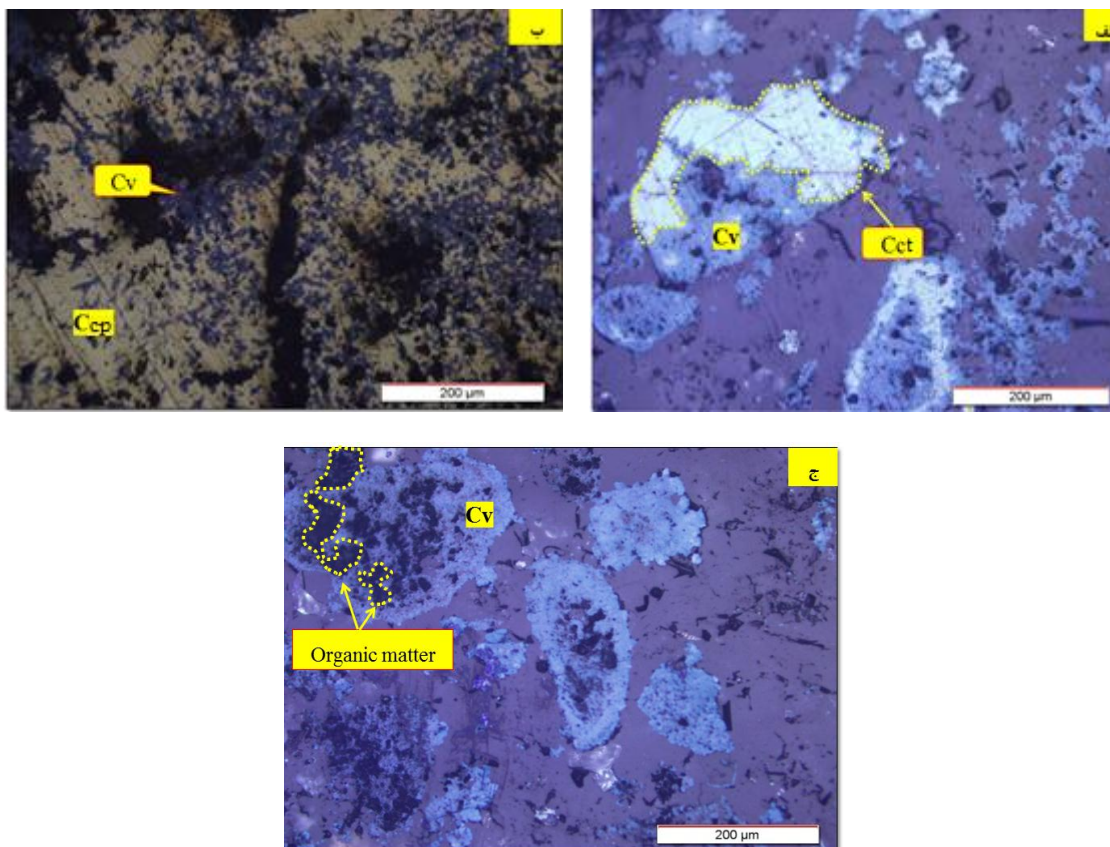
بافت دانه پراکنده در بخش‌هایی از کانسنگ که فراوانی سولفیدها کم است قابل مشاهده است. در این بافت کانی‌های فلزی به صورت پراکنده در سنگ میزبان وجود دارند. در منطقه مورد مطالعه کانی‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت و کوولیت این بافت را نشان می‌دهند و به صورت پراکنده در متن واحد سنگی میزبان وجود دارند (شکل ۵-۱۸). از دیگر کانی‌هایی که بافت دانه پراکنده را در کانسار ایجاد نموده‌اند می‌توان به کالکوپیریت، پیریت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت اشاره نمود. این بافت هم در نمونه دستی و هم در مقیاس میکروسکوپی قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۵-۱۸: الف و ب تصاویری از بافت دانه پراکنده در مقیاس میکروسکوپی با حضور کانی‌های کالکوسیت (Cct)، کولیت (Cv) و مس طبیعی (Cu).

۵-۳-۷ - بافت جانشینی

بافت جانشینی در اغلب کنسارهای مس رسوبی مشاهده می‌شود و از جمله بافت‌های اصلی و شاخص در این کنسارها می‌باشد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷؛ هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). در منطقه مورد مطالعه این بافت، یکی از بافت‌های ثانویه است. در این بافت کانی‌های اولیه مانند پیریت و کالکوپیریت توسط کانی‌های ثانویه مانند گوتیت، لیمونیت، هماتیت و کولیت جایگزین شده‌اند. نمونه‌ای شاخص از بافت جانشینی، جانشین شدن کولیت ثانویه به جای کالکوپیریت می‌باشد. هم‌چنین در برخی مقاطع مواد آلی توسط سولفیدهای مس جایگزین شده‌اند و بافت جانشینی را ایجاد کرده‌اند (شکل ۵-۱۹).



شکل ۵-۱۹: تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی در منطقه، الف تبدیل کالکوسیت (Cct) به کولیت (Cv)، ب- جانشینی کولیت (Cv) به جای کالکوپیریت (Ccp)، ج- جانشینی کولیت (Cv) به جای مواد آلی.

۵-۴- پاراژنز و توالی پاراژنتیک کانی‌ها

توالی پاراژنتیک معرف ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار است (باتز^۱ و جکسون^۲، 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 منطقه مورد مطالعه می‌توان توالی پاراژنزی زیر را برای کانه‌زایی تعیین کرد (جدول ۵-۱).

¹ Bates

² Jackson

جدول ۵-۱: توالی پاراژنتیک کانی ها در کانسار مس بند قیچی.

Stage Mineral	Detrital & Sedimentary	Diagenetic	Weathering & Supergene
Quartz	—————	—————	
Feldspar	—————		
Magnetite	—————		
Chert		—————	
Calcite	—————	—————	
Hematite	—————	—————	—————
Pyrite	—————	—————	
Chalcopyrit		—————	
Bornite		—————	
Limonite	—————	—————	—————
Malachite	—————		—————
Azurite	—————		—————
Atacamite			—————
Covelite		—————
Chalcocite		—————	—————
Native Copper		—————
Celestite	—————		—————
Gypsum		—————	—————
Halite		—————	—————

فصل ہشتم

پڑوسی

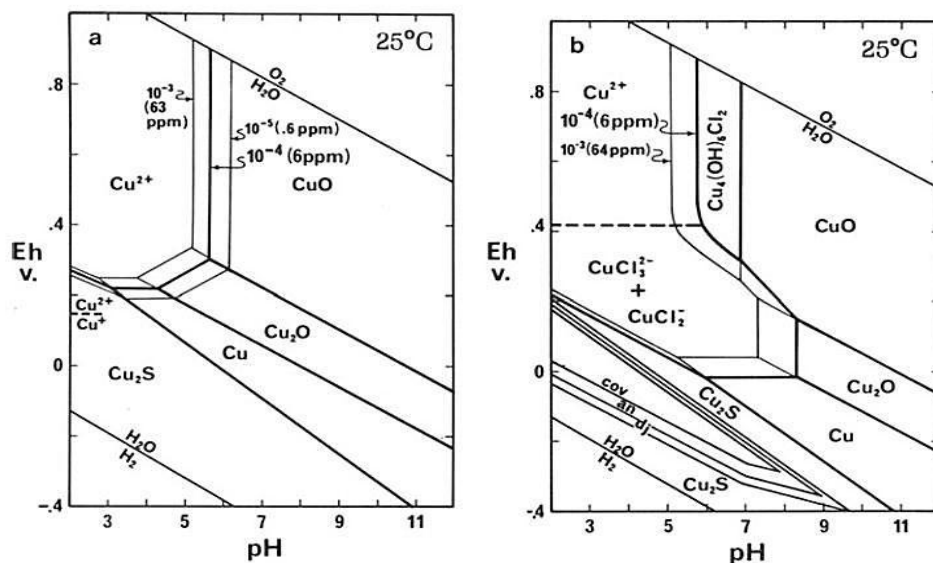
۶-۱- مقدمه

مطالعه توزیع و پراکندگی عناصر در واحدهای سنگی هر منطقه و همچنین ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر از مهم‌ترین جنبه‌هایی است که معمولاً در مطالعات ژئوشیمیایی مدنظر می‌باشد و با استفاده از این ارتباط تا حدودی می‌توان به محیط و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسار پی برد. به منظور مطالعه ترکیب شیمیایی و رفتار عناصر، تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی و استفاده از نتایج آن‌ها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی، مطالعه تغییرات عناصر در ستون‌های لیتوژئوشیمیایی و تعیین منشأ کانسار، تعداد ۴۲ نمونه از بخش‌های مختلف کانسار مس بندقیچی انتخاب و جهت تجزیه به روش XRF و ICP-OES به آزمایشگاه زرآزما و کانساران بینالود (داده‌های متعلق به شرکت گوهرسنگ کویر) و مرکز تحقیقات فرآوری مواد معدنی ایران (ایمیدرو) ارسال گردیدند. در این فصل ابتدا به نامگذاری سنگ، تعیین سنگ منشأ و جایگاه زمین ساختمانی ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از نمودارهای ژئوشیمی پرداخته شده است و در ادامه همبستگی مس با عناصر و اکسیدها و همچنین تغییرات عناصر در ستون‌های لیتوژئوشیمیایی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است.

۶-۲- ژئوشیمی مس

مس یک عنصر فلزی با قابلیت انعطاف (چکش خواری)، شکل‌پذیر، به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز، دارای جلائی فلزی، وزن اتمی ۵۴/۶۳، دمای ذوب آن ۲۵۹۵ درجه سانتی‌گراد، مقاوم در برابر خوردگی و دیامغناطیس است. مس تنها فلزی است که به صورت خالص به مقدار زیاد در توده‌های بزرگ یافت می‌شود و رسانای الکتریکی و حرارتی خوبی می‌باشد. مس یکی از فلزات غیر آهنی است که بیشترین کاربرد را بعد از آلومینیوم در گروه فلزات غیر آهنی دارا است. خواص عالی نظیر هدایت الکتریکی و حرارتی بالا، قابلیت ماشین‌کاری و شکل‌پذیری خوب، مس را به یک فلز اساسی در صنعت امروزی جهان مبدل کرده است. مس از فلزات اصلی و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی مس در پوسته زمین ۰/۰۱٪ می‌باشد. نماد این عنصر، Cu و عدد اتمی آن ۲۹ می‌باشد. از

لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت سیدروفیل و کالکوفیل دارد. تغییرات Eh - pH و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس و نقره را در دماهای پایین کنترل می‌کنند (شکل ۶-۱). مس تحت شرایط اکسیداسیون و pH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. همچنین از آنجایی که مس تحت شرایط احیایی، بایستی به صورت سولفید یا مس طبیعی ته‌نشین شود، از این رو مس تمایل دارد از نواحی اکسیداسیون مهاجرت کرده و در نواحی احیایی متمرکز شود. اکثر کانسارهای مس همچنین حاوی نقره هستند. نسبت مس به نقره این کانسنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد (رز، ۱۹۷۶). یک استثنای مهم، نوار مس آفریقای مرکزی است که به جای نقره حاوی کبالت است. محلول‌های حاوی کلرید در حمل این فلزات نقش مهمی دارند، چون حلالیت آن‌ها در نتیجه تشکیل کمپلکس‌های کلریدی افزایش می‌یابد (رز، ۱۹۷۶).



شکل ۶-۱: انحلال‌پذیری مس در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد به عنوان تابعی از pH و Eh، که نشان‌دهنده افزایش pH در حضور کلر می‌باشد. به دلیل حضور کلر محدوده پایداری مس به شکل محلول کمپلکس افزایش می‌یابد. (a) بدون کلر و (b) در حضور کلر (رز، ۱۹۷۶).

۳-۶- طبقه‌بندی شیمیایی سنگ‌های رسوبی

طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های رسوبی آواری به گستردگی سنگ‌های آذرین نبوده و اکثر سیستم‌های طبقه‌بندی سنگ‌های رسوبی، ویژگی‌هایی را که در نمونه دستی یا مقاطع نازک قابل رؤیت‌اند مانند اندازه دانه‌ها و کانی‌شناسی اجزا و ماتریکس به کار می‌برند. بر خلاف سنگ‌های آذرین، یافتن رابطه ساده بین کانی‌شناسی ماسه‌سنگ‌ها و ترکیب شیمیایی آن‌ها مشکل است. معیار خیلی معمول ژئوشیمیایی برای بلوغ رسوبات، مقدار SiO_2 و نسبت $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ است (پوتر^۱، ۱۹۷۸)، که فراوانی کوارتز، رس و فلدسپات‌ها را منعکس می‌کند. پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۲) با استفاده از نمایه بلوغ شیمیایی و نسبت $(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ یک طبقه‌بندی برای ماسه‌سنگ‌ها پیشنهاد کردند که با ترسیم $\log(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ صورت می‌گیرد. آنها اذعان داشتند که این نمودار برای نامگذاری مفید نبوده اما به سادگی برخی از روابط میان ترکیب عنصری، کانی‌شناسی و تیپ سنگی را نشان می‌دهد. این روش به طور وسیع کاربرد دارد. در جدول‌های ۱-۶ و ۲-۶ نتایج حاصل از آنالیز نمونه‌های ماسه‌سنگی که برای ترسیم نمودارهای مربوط به طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌ها، منشأ و جایگاه زمین‌ساختی این واحدهای سنگی به کار گرفته شده است به دو روش XRF و ICP-OES نشان داده شده است.

¹ Potter

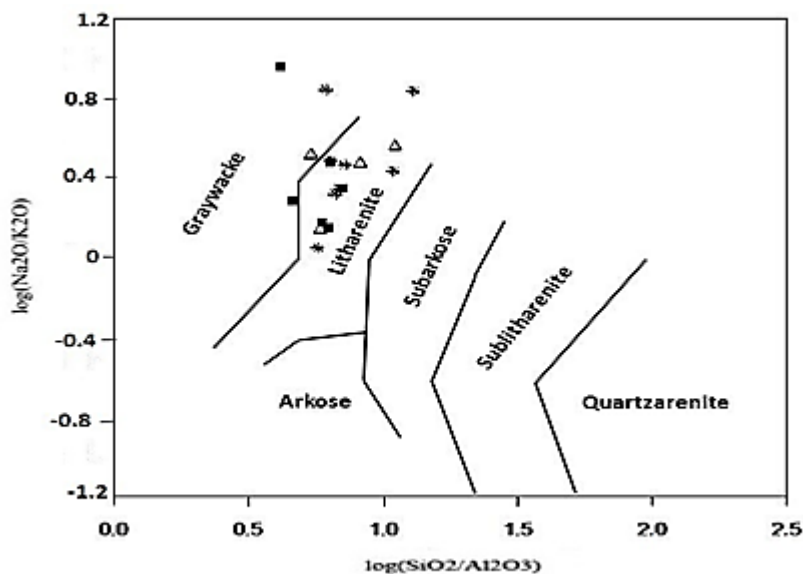
جدول ۶-۱: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (بر حسب درصد وزنی) در ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه به روش XRF

شماره نمونه	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Na ₂ O	MgO	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	MnO	P ₂ O ₅	TiO ₂
18	4.21	22.68	25.34	5.79	2.69	0.56	0.82	2.23	0.59	0.07	0.19
19	3.58	39.55	20.98	7.22	2.79	0.45	0.77	6.82	0.1	0.07	0.17
28	3.85	22.41	37.52	7.77	1.3	0.3	0.94	3.67	0.01	0.08	0.18
20	2.73	22.37	32.98	9.26	1.67	0.61	0.56	1.99	0.08	0.05	0.23
22	0.41	3.08	43.06	0.79	2.69	0.02	0.07	12.97	0.02	0.02	0.04
23	3.42	44.31	4.19	5.26	4.75	1.31	0.69	1.63	0.03	0.04	0.12
29	5.77	36.88	2.65	22.79	4.23	1.17	1.37	2.5	0.18	0.1	0.46
24	1.94	8.04	9.06	5.1	3.43	0.7	0.38	0.75	0.07	0.03	0.08
25	4.92	30.79	25.56	15.33	1.71	0.81	1.21	8.69	0.1	0.08	0.08
30	5.93	41.88	13.84	7.51	2.64	1.02	1.19	2.44	0.17	0.07	0.26
26	6.46	38.21	14.23	19.41	2.09	1.01	1.4	5.67	0.11	0.12	0.25
31	10.08	46.26	1.16	12.69	3.52	2.24	1.83	3.55	0.08	0.16	0.48
27	2.45	16.26	50.51	8.4	1.4	0.06	0.67	1.59	0.01	0.25	0.11
32	4.31	31	17.72	5.03	2.49	1.05	0.85	1.27	0.05	0.07	0.12
34	1.01	8.63	8.89	2.25	11.45	0.16	0.2	0.47	0.02	0.02	0.06
33	2.57	17.74	49.16	8.32	1.53	0.07	0.69	3.54	0.02	0.04	0.14
35	2.64	16.18	27.41	5.23	3.43	0.42	0.49	1.54	0.03	0.05	0.13
36	6.62	37.79	0.07	29.05	1.97	1.19	1.76	1.69	0.16	0.1	0.33

جدول ۶-۲: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES

شماره نمونه	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Ag (ppm)	30.2	0.47	13.6	0.21	11.5	16.5	148.6	2.5	0.7	5.7
Al (ppm)	36934	35928	38722	25439	2421	33761	18582	36521	40282	38599
As (ppm)	32	21.8	2.4	141.9	3.2	163.8	44.3	2.4	2.5	40.2
Be (ppm)	0.9	0.5	0.4	0.3	0.1	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
Ca (ppm)	50357	69702	86895	45696	4002	68175	58092	98701	101839	81482
Cd (ppm)	391.6	149.2	56.4	5.6	0.26	7.9	0.32	5.7	8.5	6
Ce (ppm)	30	21	28	14	2	12	19	26	20	24
Co (ppm)	32	29	12	4	10	5	3	9	7	13
Cr (ppm)	37	60	130	25	3	22	20	36	58	28
Cu (ppm)	41688	437	474	245	85602	626	14375	796	4602	4909
Fe (ppm)	35133	47975	19172	63942	138293	71871	8898	59340	51982	24689
K (ppm)	9888	10029	9866	11840	709	10798	6137	11847	11947	12508
La (ppm)	12	12	13	9	0.5	6	5	16	11	12
Li (ppm)	14	10	12	3	2	8	19	16	12	10
Mg (ppm)	3227	4044	5458	450	416	1180	4572	3436	3643	1509
Mn (ppm)	4508	1237	941	83	293	135	710	682	708	243
Mo (ppm)	1.5	44.1	4.3	483	42.7	1.77	1.42	4.2	6.8	297.4
Na (ppm)	14545	13480	11235	20154	3449	17677	27553	16108	17446	21629
Ni (ppm)	57	45	36	0.5	21	11	31	24	16	19
P (ppm)	490	230	267	503	469	214	251	253	304	233
Pb (ppm)	74903	69565	46859	3938	186	408	27	484	1028	1550
S (ppm)	44421	34084	43217	75698	205572	132243	39117	86242	76928	85129
Sb (ppm)	0.93	1.05	1.05	1.03	1.04	1.04	0.98	1.05	1.03	1.09
Sc (ppm)	6.4	6.3	7.7	3.7	1.4	3.9	4	3.9	5.9	5.2
Ti (ppm)	1467	1676	2508	2207	166	995	882	1348	1355	1212
V (ppm)	57	67	99	46	6	38	33	34	49	44
Y (ppm)	26	9	9	3	1	4	6	8	9	7
Zn (ppm)	1346	36414	18228	246	430	81	81	189	59	939
Ba (ppm)	145	192	724	182	204	190	154	351	166	1519
Sr (ppm)	588	1196	9887	482	7708	4898	14368	2836	482	8523
Th (ppm)	5.8	6.5	11.6	6.8	6.7	7.9	10	8.9	7.3	15.9
U (ppm)	3.4	4.1	2.8	4.7	6.7	4.9	3.2	4.8	4.4	2.9
Yb (ppm)	3.5	1.2	1.3	0.8	0.9	1	0.8	1.4	1.4	1
Zr (ppm)	30	30	29	41	10	29	19	32	31	27

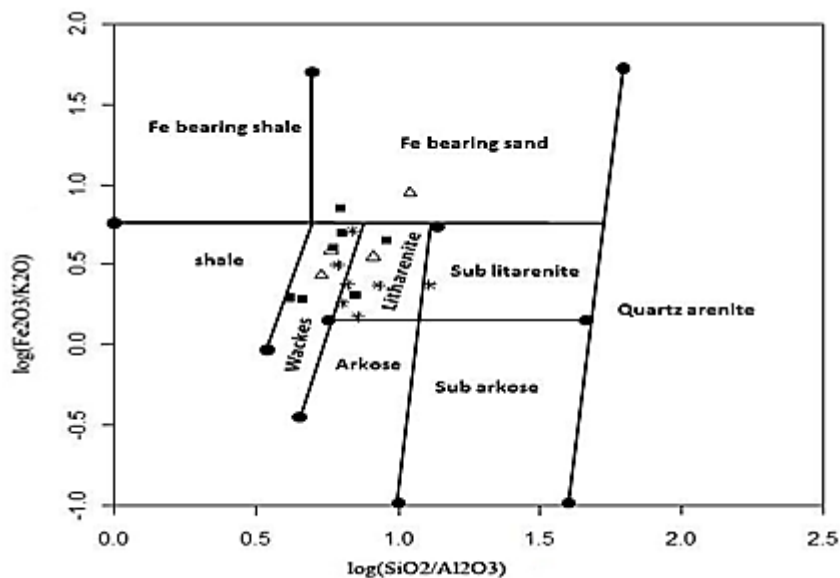
طبقه‌بندی شیمیایی نمونه‌های ماسه‌سنگ آنالیز شده کانسار مس بندقیچی به روش پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۲)، در شکل ۶-۲ نشان داده شده است (علت به کار بردن نمادهای متفاوت در ترسیم نمودارهای این بخش جهت تفکیک محدوده‌های غربی (Δ)، مرکزی (*) و شرقی (\blacksquare) منطقه مورد مطالعه می‌باشد).



شکل ۶-۲: طبقه‌بندی چند متغیره ماسه‌سنگ‌های بندقیچی با استفاده از $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ ، اقتباس از پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۲). مرزها توسط هررون^۱ (۱۹۸۸) مجدداً ترسیم شده‌اند، بر اساس این نمودار نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه بندقیچی در محدوده لیت‌آرنایت و گری‌وک قرار می‌گیرند.

نمودار پتی‌جان و همکاران (۱۹۷۲) به وسیله هررون (۱۹۸۸) اصلاح شد. هررون نمودار پتی‌جان و همکاران را چنین تصحیح کرد که در محور y به جای $\text{Log}(\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O})$ از $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ استفاده کرد (شکل ۶-۳). نسبت $\text{Fe}_2\text{O}_{3\text{total}} / \text{K}_2\text{O}$ این امکان را می‌دهد که آركوزها با موفقیت طبقه‌بندی شوند و نیز این نسبت سنجشی برای پایداری کانی‌هاست. زیرا کانی‌های فرومنیزین در طی هوازدگی پایداری کم‌تری دارند.

¹ Herron



شکل ۶-۳: طبقه‌بندی ماسه‌سنگ‌های بندقیچی با استفاده از $\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ در مقابل $\text{Log}(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$

اقتباس از هرون (۱۹۸۸). اعداد داخل پرانتز مختصات ترسیمی برای مرزها هستند که به صورت $[\text{Log}(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})]$ نوشته شده‌اند، نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه در محدوده لیت‌آرنایت و وک‌ها جای گرفته‌اند.

داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های منطقه بندقیچی بر روی نمودارهای هرون و پتی‌جان در محدوده لیت‌آرنایت و گری‌وک قرار می‌گیرند که این نتایج با نتایج حاصل از مطالعات پتروگرافی همخوانی دارد. بر اساس شواهد پتروگرافی ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بر اساس نامگذاری فولک (۱۹۷۴)، در محدوده لیت‌آرنایت (به دلیل حجم بالای خرده‌سنگ‌های متشکله) و بر اساس نامگذاری پتی‌جان و دیگران (۱۹۸۷)، در محدوده گری‌وک (به دلیل درصد بالای ماتریکس) قرار می‌گیرند (فصل ۳).

۴-۶- تمایز موقعیت زمین‌ساختی با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

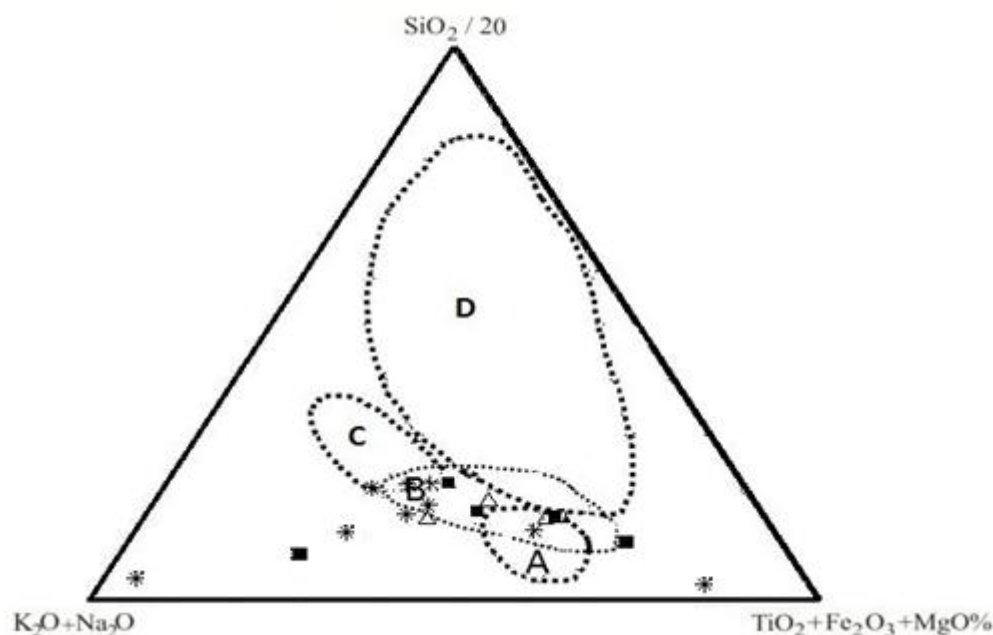
بررسی ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌ها به عنوان ابزار قوی در بررسی موقعیت زمین‌ساختی محیط رسوبی ماسه‌سنگ‌ها و شناسایی خاستگاه آن‌ها استفاده می‌شود (نورس^۱ و همکاران، ۲۰۰۵). مطالعات ژئوشیمیایی نشان داده است که ترکیب این سنگ‌ها ارتباط نزدیکی با خاستگاه و نیز موقعیت زمین‌ساختی حوضه دارد.

۴-۶-۱- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از عناصر اصلی

در دیاگرام مثلثی ارائه شده توسط کروونبرگ^۲ (۱۹۹۴)، بر اساس مقادیر اکسید عناصر اصلی نمونه‌های ماسه‌سنگی، محدوده‌هایی برای ۴ جایگاه تکتونیکی (جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال قاره‌ای) تعیین شده است. با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمی عناصر اصلی ماسه‌سنگ‌های منطقه بندقیچی در این دیاگرام سه‌تایی، نمونه‌ها در منطقه مشترک جزایر قوسی اقیانوسی و جزایر قوسی قاره‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۴-۶).

¹ North

² Kroonenberg



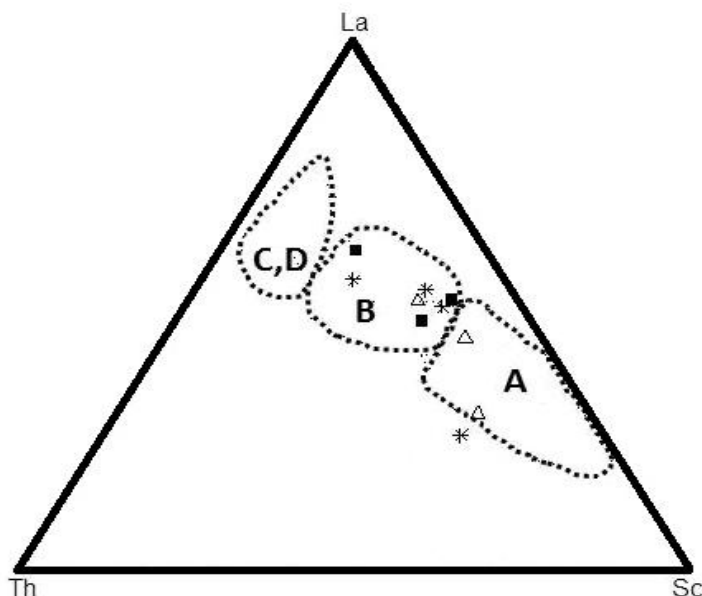
شکل ۴-۶: دیاگرام مثلثی کرومبیرگ (۱۹۹۴)، داده‌های اکسیدهای اصلی نمونه‌های ماسه سنگی منطقه بندقیچی در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای (B) قرار می‌گیرند (محدوده‌ها عبارتند از A، جزایر قوسی اقیانوسی؛ B، جزایر قوسی قاره‌ای؛ C، حواشی فعال قاره‌ای و D، حواشی غیر فعال).

۴-۶-۲- نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ بر اساس عناصر کمیاب

باتیا^۱ و کروک^۲ (۱۹۸۶)، عناصر La، Th، Zr، Nb، Y، Sc، Co و Ti را به عنوان مفیدترین عناصر جهت تمایز محیط‌های تکتونیکی گری و ک‌های مختلف شناسایی کردند. بر روی نمودارهای سه متغیره La-Th-Sc محدوده‌های مشخصی برای چهار محیط (جزایر قوسی اقیانوسی، جزایر قوسی قاره‌ای، حواشی فعال قاره‌ای و حواشی غیرفعال) شناسایی شده‌اند (شکل ۶-۵). با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز ماسه‌سنگ‌های منطقه بندقیچی بر روی دیاگرام سه‌تایی باتیا و کروک (۱۹۸۶)، نمونه‌ها در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای قرار می‌گیرند. بر اساس نمودارهای سه‌تایی کرومبیرگ و باتیا و کروک می‌توان بیان کرد جایگاه زمین‌ساختی منشأ ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه جزایر قوسی قاره‌ای می‌باشد (شکل ۶-۵).

¹ Bahatia

² Crook



شکل ۶-۵: نمودار متمایزکننده ماسه‌سنگ‌ها بر اساس La-Th-Sc (اقتباس از باتیا و کروک، ۱۹۸۶)، داده‌های عناصر کمیاب نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه بندقیچی در محدوده جزایر قوسی قاره‌ای (B) قرار می‌گیرند (محدوده‌ها عبارتند از: A، جزایر قوسی اقیانوسی؛ B، جزایر قوسی قاره‌ای؛ C، حواشی فعال قاره‌ای و D، حواشی غیر فعال).

بر اساس اظهارات دیکینسون^۱ (۱۹۸۵)، ماسه‌سنگ‌های مشتق شده از محیط‌های تکتونیکی مختلف به شرح زیر می‌باشند:

۱- داخل قاره یا حاشیه فعال قاره: ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با مقدار بالایی از کوارتز مونوکریستالین نسبت به کوارتز پلی کریستالین و فلدسپات‌های پتاسیم‌دار نسبت به انواع پلاژیوکلاز.

۲- کنار ریفت گسیختگی: ماسه‌سنگ‌های کوارتز فلدسپاتی با مقدار کم خرده‌های سنگی.

۳- جزیره قوسی یا قوس قاره‌ای: ماسه‌سنگ‌های فلدسپات-خرده‌سنگ آذرآواری با مقدار بالایی از نسبت خرده‌سنگ‌های ولکانیکی به رسوبی.

۴- کمپلکس فرورانش: ماسه‌سنگ‌های کوارتز-خرده‌سنگی با مقدار کمی فلدسپات و خرده‌سنگ‌های ولکانیکی و نسبت بالای کوارتز مونوکریستالین به پلی کریستالین و کوارتز پلی کریستالین به

¹ Dickinson

خرده‌سنگ‌های رسوبی.

بر اساس شواهد پتروگرافیکی به دست آمده حاصل از مطالعه ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، مشخص شده است که که خرده‌سنگ‌های مختلف حجم اصلی اجزای متشکله ماسه‌سنگ‌های منطقه را تشکیل داده‌اند که در این میان فراوانی خرده‌سنگ‌های ولکانیکی بیش از خرده‌سنگ‌های رسوبی و هم‌چنین دگرگونی می‌باشد که این نتیجه تأییدی بر نتایج حاصل از نمودارهای ژئوشیمی تعیین‌کننده موقعیت زمین‌ساختی منشأ ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

۶-۵- تمایز سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از داده‌های ژئوشیمیایی

۶-۵-۱- نمودار (روزر و کرش (۱۹۸۸))

نمودار متمایزکننده تابعی روزر^۱ و کرش^۲ (۱۹۸۸)، برای تمایز بین رسوباتی که منشأ اولیه آن‌ها سنگ‌های آذرین مافیک، حدواسط یا فلسیک و یا رسوبات دارای کوارتز است، پیشنهاد شده است. این نمودار بر اساس اکسیدهای Ca, Mg, Fe, Al, Ti, Na و K چهار منشأ مذکور را از یکدیگر جدا می‌کند. در این تابع اکسیدها به صورت خام در محاسبه استفاده می‌شوند. تحلیل آن‌ها بر اساس ۲۴۸ تجزیه شیمیایی است که در آن‌ها Al_2O_3/SiO_2 , K_2O/Na_2O و $Fe_2O_3total+MgO$ مشخصه‌های خیلی با ارزشی محسوب می‌شوند. 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.

Discriminant Function 1: $-1.733 TiO_2 + 0.607 Al_2O_3 + 0.76 Fe_2O_{3(t)} - 1.5 MgO + 0.616 CaO + 0.509 Na_2O - 1.224 K_2O - 9.09$

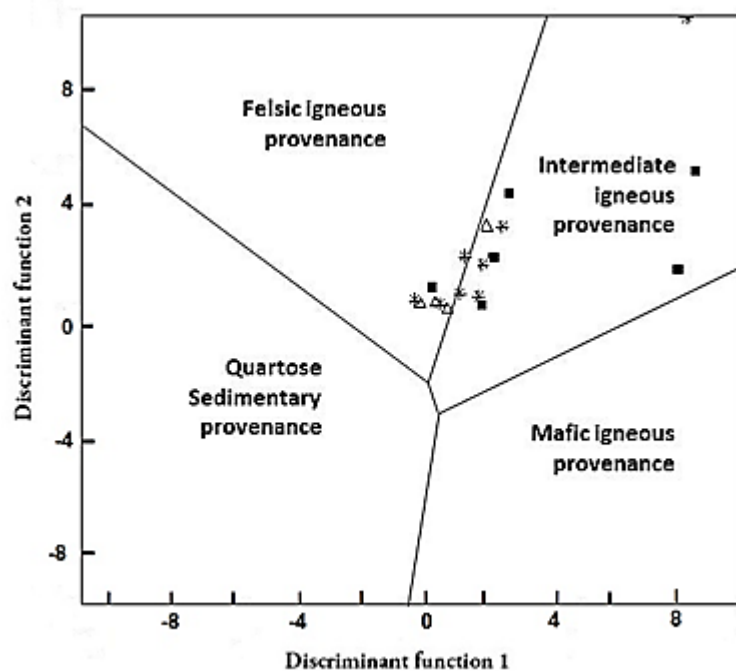
Discriminant Function 2: $0.445 TiO_2 + 0.07 Al_2O_3 - 0.25 Fe_2O_{3(t)} - 1.142 MgO + 0.438 CaO + 1.475 Na_2O + 1.426 K_2O - 6.861$

داده‌های اکسیدی نمونه‌های ماسه‌سنگی منطقه مورد مطالعه در این نمودار تابعی در محدوده فلسیک

¹ Roser

² Korsch

تا حدواسط قرار می‌گیرند و سنگ مادر مخلوط فلسیک تا حدواسط را نشان می‌دهند (شکل ۶-۶).

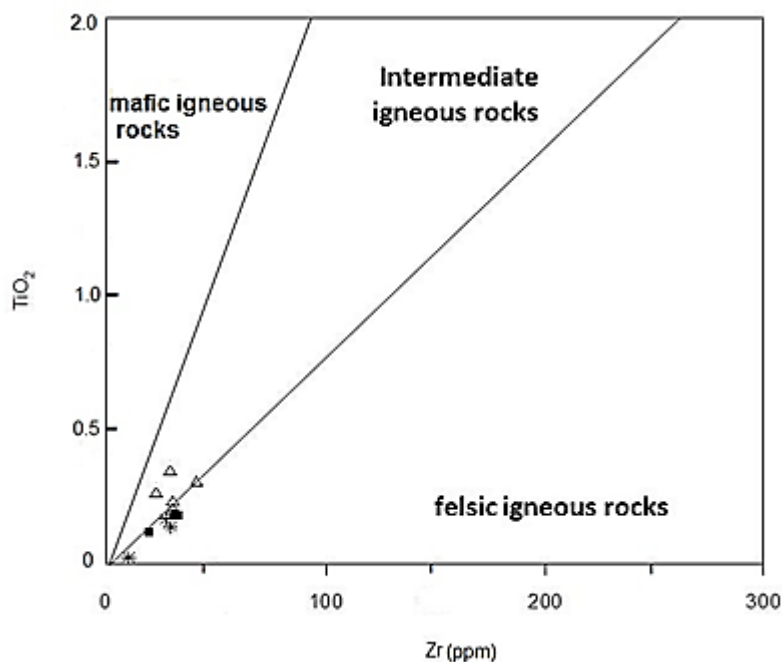


شکل ۶-۶: نمودار متمایزکننده ویژگی‌های خاستگاه مجموعه‌های ماسه‌سنگی و گلسنگی با استفاده از اکسید عناصر اصلی (اقتباس از روزر و کرش، ۱۹۸۸)، داده‌های اکسید ماسه‌سنگ‌های بندقیچی در محدوده خاستگاه فلسیک تا حدواسط قرار گرفته‌اند.

۶-۵-۲- نمودار دوتایی $TiO_2 - Zr$ (هایاشی و همکاران، ۱۹۹۷)

نمودار دوتایی $TiO_2 - Zr$ برای شناسایی رسوبات با منشأ آذرین فلسیک، حدواسط و مافیک توسط هایاشی^۱ و همکاران (۱۹۹۷)، ارائه گردیده است. در این نمودار TiO_2 بر حسب درصد وزنی و Zr بر حسب پی‌پی‌ام می‌باشد. با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیزهای ژئوشیمیایی ماسه‌سنگ‌های منطقه بندقیچی در این نمودار مشخص شده است که منشأ نمونه‌های ماسه‌سنگی در محدوده سنگ‌های آتشفشانی فلسیک تا حدواسط قرار می‌گیرند (شکل ۶-۷).

¹ Hayashi



شکل ۶-۷: نمودار دوتایی TiO_2 - Zr هایابی و همکاران (۱۹۹۷)، براساس این نمودار ماسه‌سنگ‌های منطقه بندقیچی در محدوده منشأ آتشفشانی فلسیک تا حدواسط قرار می‌گیرند.

۳-۵-۶- نمودارهای متمایزکننده سنگ منشأ ماسه‌سنگ‌ها با استفاده از عناصر

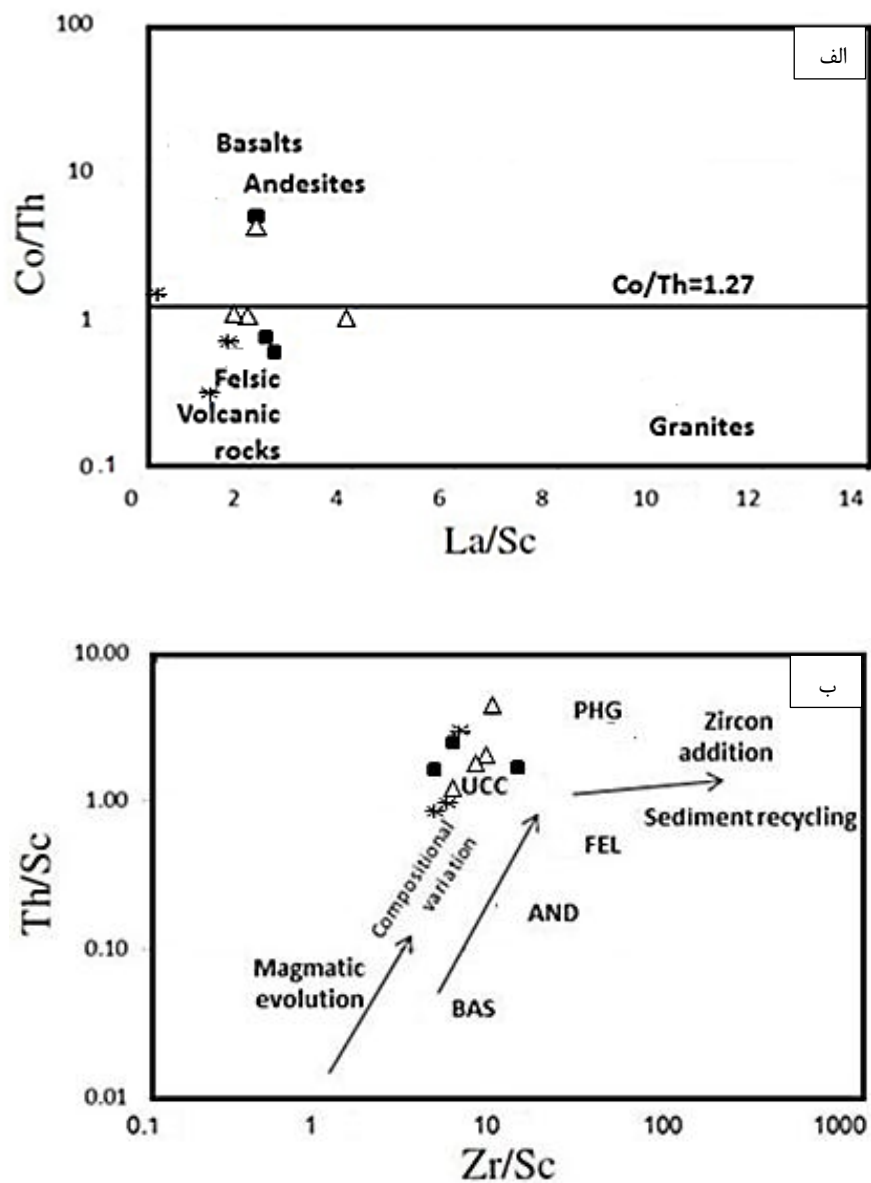
کمیاب

در این بخش جهت مشخص نمودن منشأ ماسه‌سنگ‌ها از ژئوشیمی عناصر کمیاب نیز استفاده شده است. با ترسیم داده‌های حاصل از آنالیز ژئوشیمیایی نمونه‌های ماسه سنگی بر روی نمودارهای دوتایی $\text{La/Sc} - \text{Co/Th}$ (گو^۱ و همکاران، ۲۰۰۲) و $\text{Th/Sc} - \text{Zr/Sc}$ (مکلینان^۲ و همکاران، ۱۹۹۳)، نمونه‌های آنالیزشده در محدوده خاستگاه فلسیک قرار می‌گیرند (شکل ۶-۸). بدین ترتیب این نمودارها تأییدی بر نتایج حاصل از نمودارهای روزر و کرش (۱۹۸۸) و نمودار هایابی و همکاران (۱۹۹۷) می‌باشد. در بررسی‌های پتروگرافیکی، خرده‌سنگ‌های آتشفشانی موجود در ماسه‌سنگ‌های منطقه مورد مطالعه بیشتر ترکیب فلسیک تا حدواسط نشان داده‌اند که شاهدهی بر تأیید نتایج حاصل از

^۱ Gu

^۲ Mc Lennan

مطالعات ژئوشیمیایی می باشد.



شکل ۶-۸: الف و ب - نمودارهای دو تایی تعیین کننده سنگ منشأ ماسه سنگها $Co/Th - La/Sc$ و $Th/Sc - Zr/Sc$ که نشان دهنده منشأ فلسیک تا حدواسط نمونه های ماسه سنگی منطقه بندقیچی می باشد (PHG: گرانیت فانروزوئیک، UCC: پوسته قاره ای فوقانی، FEL: سنگ های آتشفشانی فلسیک، AND: آندزیت، BAS: بازالت).

۶-۶- مطالعه فراوانی، همبستگی و تغییرات اکسیدهای اصلی در سنگ‌های

میزبان و کانسنگ

مطالعه عناصر اصلی محدود به عناصری است که به صورت اکسید در تجزیه شیمیایی عناصر اصلی ذکر می‌شوند و عبارتند از Si، Ti، Al، Fe، Mn، Mg، Ca، Na، K و P (رولینسون^۱، ۱۹۹۳). توزیع عناصر اصلی منعکس کننده کانی‌شناسی نمونه‌های مورد مطالعه است. در این بخش به منظور مطالعه فراوانی، تغییرات و بررسی همبستگی میان اکسیدهای مختلف (در جدول ۶-۴ فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده در کانسنگ و سنگ‌های میزبان منطقه آورده شده است) و همچنین همبستگی عنصر مس با اکسیدهای اصلی از دو روش مختلف استفاده شده است که عبارتند از تعیین ضرایب همبستگی با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون (بر اساس داده‌های نرمال) مربوط به عنصر مس و اکسیدهای اصلی و تعیین همبستگی نسبتی بین Al_2O_3 و اکسیدهای مختلف بر روی نمودارهای دو متغیره. در جدول ۶-۳ ضرایب همبستگی عنصر مس و اکسیدهای مختلف محاسبه شده است و نتایج به صورت ماتریس همبستگی نشان داده شده است.

جدول ۶-۳: ضرایب همبستگی پیرسون مربوط به عنصر مس و اکسیدهای اصلی در کانسار مس بندقیچی.

	Cu	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO
Cu	1							
Al ₂ O ₃	-0.34	1						
SiO ₂	-0.34	0.90	1					
Fe ₂ O ₃	0.33	-0.08	-0.03	1				
K ₂ O	-0.31	0.98	0.91	-0.09	1			
Na ₂ O	-0.37	-0.08	0.02	-0.12	-0.17	1		
P ₂ O ₅	-0.09	0.71	0.60	0.08	0.75	-0.39	1	
MnO	0.07	0.52	0.34	0.09	0.48	0.09	0.13	1

¹ Rollinsone

ماتریس همبستگی عنصر مس با اکسیدهای اصلی نشان می‌دهد که مس بیشترین همبستگی را با Fe_2O_3 و MnO داشته و همبستگی مس با دیگر اکسیدها رابطه معناداری را نشان نمی‌دهد. دلیل همبستگی مثبت (متوسط به پایین) میان مس با Fe_2O_3 و MnO را می‌توان این گونه توجیه کرد که در شرایط رسوبی اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و منگنز می‌توانند جاذب مس محلول در آب باشند و از طریق جذب سطحی، عناصر مس، نیکل و کبالت را جذب کنند و همراه با هم رسوب دهند. هم‌چنین بر طبق جدول ۳-۶ Al_2O_3 با SiO_2 ، K_2O ، MnO و P_2O_5 بیشترین همبستگی و با Na_2O و Fe_2O_3 کمترین همبستگی را نشان می‌دهد که در شکل ۹-۶ نیز همبستگی مثبت و منفی Al_2O_3 با اکسیدهای اصلی نشان داده شده است. Al_2O_3 معمولاً به عنوان فاکتوری برای مقایسه میان سنگ‌شناسی‌های مختلف به کار برده می‌شود، به دلیل این‌که Al_2O_3 در طی هوازدگی، دیاژنز و دگرگونی نسبتاً بدون تغییر است. این در حالی است که CaO ، Na_2O ، K_2O و CaO به عنوان بیشترین فازهای متغیر در ماسه‌سنگ‌ها شناخته می‌شوند (گاتنه^۱، ۲۰۰۰). در نمونه‌های بررسی شده که Al_2O_3 در برابر دیگر اکسیدها قرار گرفته است (شکل ۹-۶)، مشاهده می‌گردد که بیشتر اکسیدها روند مشخصی را با Al_2O_3 نشان می‌دهند. پیروی بیشتر اکسیدها از روند Al_2O_3 نشان‌دهنده فراوانی کانی‌های رسی در سنگ‌هاست، زیرا این عنصر به طور ویژه در رس‌ها وجود دارد (پتی‌جان و همکاران، ۱۹۸۷؛ دس^۲ و همکاران، ۲۰۰۶). در شکل ۹-۶ که همبستگی نسبتی Al_2O_3 با دیگر اکسیدها مشخص شده است، مشاهده می‌گردد که Al_2O_3 با SiO_2 ، K_2O و P_2O_5 دارای بیشترین همبستگی و با Na_2O و Fe_2O_3 کمترین همبستگی می‌باشد (نقاط به صورت تصادفی پراکندگی زیادی را نشان می‌دهند). انطباق مثبت K_2O و Al_2O_3 نشان‌دهنده تمرکز کانی‌های پتاسیم‌دار در نمونه‌های مورد بررسی است که تأثیر مهمی را بر روی پراکندگی آلومینیم دارد و حاکی از کنترل فراوانی این عنصر به وسیله محتوای کانی‌های رسی و میکایی است (جین^۳ و همکاران، ۲۰۰۶). از آنجایی که

¹ Gateneh

² Das

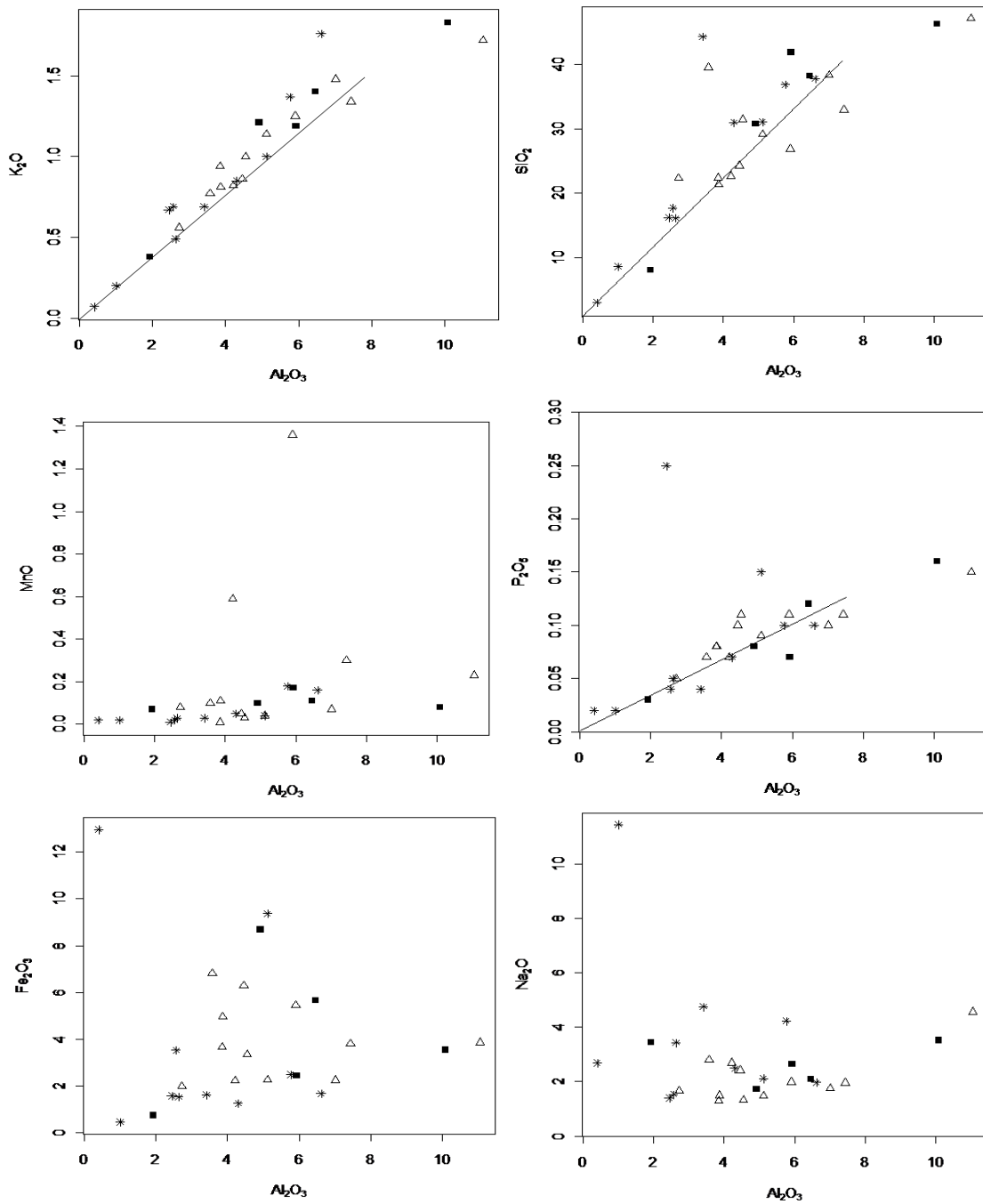
³ Jin

میزان SiO_2 به دلیل فراوانی کم کانی‌های کوارتز و چرت در نمونه‌های مورد مطالعه پایین است (جدول ۴-۶)، شاید بتوان این‌طور تفسیر کرد که پایین بودن میزان سیلیس نمونه‌ها دلیل انطباق و همبستگی مثبت بین SiO_2 و Al_2O_3 باشد. همبستگی مثبت Al_2O_3 و P_2O_5 به دلیل مشارکت این دو اکسید در تشکیل کانی‌های فسفردار است. دلیل عدم انطباق Al_2O_3 و Na_2O را می‌توان به تحرک زیاد عنصر Na در طی هوازگی شیمیایی، فرآیندهای دیاژنزی و دگرسانی‌های ثانویه نسبت داد (دس و همکاران، ۲۰۰۶) افزون بر آن در طی مراحل اولیه دیاژنز، Na به همراه Ca از پلاژیوکلازها حذف می‌شود (نسبیت^۱، ۲۰۰۳). همبستگی منفی Al_2O_3 و Fe_2O_3 ممکن است به دلیل جانشینی آهن (Fe^{+2}) فرو به جای Al_2O_3 در ساختمان سیلیکات‌ها و یا به علت مصرف Fe_2O_3 در تشکیل کانی‌های اکسیدی هماتیت، گوتیت و لیمونیت باشد.

جدول ۴-۶: فراوانی اکسیدهای اندازه‌گیری شده (بر حسب درصد وزنی) در سنگ‌های میزبان و کانسنگ منطقه مورد مطالعه به روش XRF.

شماره نمونه	Al_2O_3	K_2O	Na_2O	SiO_2	MnO	P_2O_5	Fe_2O_3
58	7.44	1.34	1.95	32.95	0.3	0.11	3.82
57	5.9	1.25	1.98	26.88	1.36	0.11	5.46
55	11.05	1.72	4.57	47.14	0.23	0.15	3.86
18	4.21	0.82	2.69	22.68	0.59	0.07	2.23
59	7.01	1.48	1.76	38.38	0.07	0.1	2.26
60	3.87	0.81	1.5	21.39	0.11	0.08	4.96
19	3.58	0.77	2.79	39.55	0.1	0.07	6.82
28	3.85	0.94	1.3	22.41	0.01	0.08	3.67
20	2.73	0.56	1.67	22.37	0.08	0.05	1.99
63	4.55	1	1.33	31.47	0.03	0.11	3.35
64	4.45	0.86	2.41	24.25	0.05	0.1	6.3
65	5.12	1.14	1.47	29.14	0.04	0.09	2.27
62	5.12	1	2.12	31.09	0.04	0.15	9.38
22	0.41	0.07	2.69	3.08	0.02	0.02	12.97
23	3.42	0.69	4.75	44.31	0.03	0.04	1.63
29	5.77	1.37	4.23	36.88	0.18	0.1	2.5
24	1.94	0.38	3.43	8.04	0.07	0.03	0.75
25	4.92	1.21	1.71	30.79	0.1	0.08	8.69
30	5.93	1.19	2.64	41.88	0.17	0.07	2.44
26	6.46	1.4	2.09	38.21	0.11	0.12	5.67
31	10.08	1.83	3.52	46.26	0.08	0.16	3.55
27	2.45	0.67	1.4	16.26	0.01	0.25	1.59
32	4.31	0.85	2.49	31	0.05	0.07	1.27
34	1.01	0.2	11.45	8.63	0.02	0.02	0.47
33	2.57	0.69	1.53	17.74	0.02	0.04	3.54
35	2.64	0.49	3.43	16.18	0.03	0.05	1.54
36	6.62	1.76	1.97	37.79	0.16	0.1	1.69

¹ Nesbitt



شکل ۶-۹: بررسی تغییرات اکسیدهای عناصر اصلی نسبت به Al_2O_3 در نمونه‌های مورد مطالعه.

جدول ۶-۵: فراوانی عناصر اصلی و کمیاب اندازه‌گیری شده (بر حسب ppm) در سنگ‌های میزبان و کانسنگ منطقه مورد مطالعه به روش ICP-OES.

نمرد نمونه	18	59	60	19	20	21	66	64	65	62	22	23	24	25	26	27
Ag (ppm)	30.2	1.4	0.26	0.47	13.6	0.21	0.21	0.49	16.3	0.45	11.5	16.5	148.6	2.5	0.7	5.7
Al (ppm)	36934	52981	38200	35928	38722	25439	24960	36080	42561	41010	2421	33761	18582	36521	40282	38599
As (ppm)	32	7.2	2.9	21.8	2.4	141.9	2.8	30.9	18	603.4	3.2	163.8	44.3	2.4	2.5	40.2
Be (ppm)	0.9	0.6	0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.5	0.6	0.6	0.1	0.5	0.4	0.6	0.5	0.5
Ca (ppm)	50357	63554	81698	69702	86895	45696	93980	98131	76096	50237	4002	68175	58092	98701	101839	81482
Cd (ppm)	391.6	16	8.8	149.2	56.4	5.6	0.9	14.1	8	22.7	0.26	7.9	0.32	5.7	8.5	6
Ce (ppm)	30	22	18	21	28	14	14	36	19	19	2	12	19	26	20	24
Co (ppm)	32	6	8	29	12	4	5	16	7	11	10	5	3	9	7	13
Cr (ppm)	37	49	64	60	130	25	46	20	21	32	3	22	20	36	58	28
Cu (ppm)	41688	13058	3419	437	474	245	124	4252	15252	4805	85602	626	14375	796	4602	4909
Fe (ppm)	35133	23537	50595	47975	19172	63942	51879	44985	19461	75878	138293	71871	8898	59340	51982	24689
K (ppm)	9888	15411	10810	10029	9866	11840	8131	10522	12980	13213	709	10798	6137	11847	11947	12508
La (ppm)	12	11	10	12	13	9	7	16	10	11	0.5	6	5	16	11	12
Li (ppm)	14	12	16	10	12	3	6	9	9	12	2	8	19	16	12	10
Mg (ppm)	3227	5524	2861	4044	5458	450	1459	2512	3241	3085	416	1180	4572	3436	3643	1509
Mn (ppm)	4508	533	783	1237	941	83	144	1268	1116	766	293	135	710	682	708	243
Mo (ppm)	1.5	1.34	16.1	44.1	4.3	483	10.7	23.1	1.23	53.9	42.7	1.77	1.42	4.2	6.8	297.4
Na (ppm)	14545	18646	19499	13480	11235	20154	26202	11415	34357	16321	3449	17677	27553	16108	17446	21629
Ni (ppm)	57	21	15	45	36	0.5	5	36	21	22	21	11	31	24	16	19
P (ppm)	490	473	294	230	267	503	182	352	443	318	469	214	251	253	304	233
Pb (ppm)	74903	1059	992	69565	46859	3938	338	5200	1596	419	186	408	27	484	1028	1550
S (ppm)	44421	33739	60572	34084	43217	75698	86945	63865	30827	107537	205572	132243	39117	86242	76928	85129
Sb (ppm)	0.93	1	0.99	1.05	1.05	1.03	0.95	1.01	1	1.01	1.04	1.04	0.98	1.05	1.03	1.09
Sc (ppm)	6.4	8	6.8	6.3	7.7	3.7	5.8	6	8.1	5.7	1.4	3.9	4	3.9	5.9	5.2
Ti (ppm)	1467	2200	1711	1676	2508	2207	1891	1482	1606	1444	166	995	882	1348	1355	1212
V (ppm)	57	94	83	67	99	46	66	66	69	54	6	38	33	34	49	44
Y (ppm)	26	10	8	9	9	3	3	15	10	10	1	4	6	8	9	7
Zn (ppm)	1346	343	419	36414	18228	246	310	4643	581	80	430	81	81	189	59	939
Ba (ppm)	145	238	158	192	724	182	134	150	212	184	204	190	154	351	166	1519
Sr (ppm)	588	576	485	1196	9887	482	875	304	1135	1965	7708	4898	14368	2836	482	8523
Th (ppm)	5.8	7.8	6.8	6.5	11.6	6.8	7.3	6.7	6.7	7.5	6.7	7.9	10	8.9	7.3	15.9
U (ppm)	3.4	3.9	4.6	4.1	2.8	4.7	4.8	4.2	4.2	5.1	6.7	4.9	3.2	4.8	4.4	2.9
Yb (ppm)	3.5	1.4	1.3	1.2	1.3	0.8	1	1.7	1.4	1.4	0.9	1	0.8	1.4	1.4	1
Zr (ppm)	30	45	31	30	29	41	26	29	35	38	10	29	19	32	31	27

۶-۷- مطالعه فراوانی، همبستگی و تغییرات عناصر جزئی و کمیاب در

سنگ‌های میزبان و کانسنگ

عناصر کمیاب کمتر از ۰/۱ درصد وزنی سنگ را به خود اختصاص می‌دهند. بعضی اوقات خود تشکیل کانی مستقل می‌دهند، اما اکثراً جایگزین عناصر اصلی می‌گردند. توانایی عناصر کمیاب برای تمایز میان فرآیندهای سنگ‌شناختی از عناصر اصلی بیشتر است.

۶-۷-۱- مقایسه عناصر کمیاب منطقه مورد مطالعه با مقادیر پوسته‌ای

در این بخش میانگین مقادیر برخی از عناصر در منطقه مورد مطالعه نسبت به فراوانی آن‌ها در پوسته زمین مقایسه شده است و در این بررسی‌ها از مقادیر پوسته‌ای بیان شده توسط مک لنان (۱۹۹۵)؛ تیلور^۱ (۱۹۸۵) و ودپول^۲ (۱۹۹۵) استفاده شده است. در جدول ۶-۶ میانگین فراوانی هریک از عناصر منطقه نسبت به این دو مقادیر سنجیده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در منطقه مورد مطالعه عناصر Mn، Zn، Cu، As و Sr نسبت به مقادیر پوسته‌ای ناهنجاری شدید و عناصر V، Co و Ni مقدار کمی ناهنجاری نشان می‌دهند.

جدول ۶-۶: مقایسه میانگین عناصر در منطقه مورد مطالعه با مقادیر پوسته‌ای.

عناصر	میانگین عناصر در پوسته با دو دیدگاه		میانگین عناصر در منطقه
	T & M	Wedepohl	
Ti (ppm)	3000 (4560)	3117	1509.38
V (ppm)	60	35	50.94
Mn (ppm)	600	572	1594.55
Co (ppm)	10	11.6	12.21
Ni (ppm)	20	18.6	23.29
Cu (ppm)	25	14.3	17229.67
Zn (ppm)	71	52	2242.91
As (ppm)	1.5	-	87.66
Sr (ppm)	350	316	3519.25

¹ Taylor

² Wedepohl

مس: فراوانی مس در پوسته ۲۵ پی پی ام است (مکلنن، ۱۹۹۵؛ تیلور، ۱۹۸۵) و در منطقه مورد مطالعه مقادیر مس از فراوانی آن در پوسته بسیار بالاتر می‌باشد.

روی: فراوانی روی در پوسته زمین ۷۱ پی پی ام می‌باشد (مکلنن، ۱۹۹۵؛ تیلور، ۱۹۸۵). همانطور که در جدول ۶-۶ مشاهده می‌گردد متوسط روی در منطقه مورد مطالعه از پوسته زمین بیشتر است. کبالت: فراوانی کبالت در پوسته ۱۰ پی پی ام می‌باشد (مکلنن، ۱۹۹۵؛ تیلور، ۱۹۸۵). همانطور که مشاهده می‌گردد مقدار کبالت در منطقه بیشتر از پوسته می‌باشد (جدول ۶-۶).

۶-۷-۲- ضرایب همبستگی عناصر

شناخت ارتباط و همبستگی ژنتیکی متقابل موجود بین عناصر مختلف می‌تواند در تفسیر صحیح یافته‌های ژئوشیمیایی و شناخت دقیق‌تر تغییرات موجود در محیط‌های ژئوشیمیایی مختلف به کار گرفته شود. برای این که مشخص شود ارتباط معناداری بین تغییرات متغیرهای آواری وجود دارد یا نه، ضرایب همبستگی بین آن‌ها محاسبه می‌شود. برای به دست آوردن ضرایب همبستگی از دو روش ضریب همبستگی پیرسون (برای داده‌های نرمال) و ضریب همبستگی اسپیرمن (برای داده‌های خام) استفاده می‌شود. نزدیک بودن این ضرایب به هم و اختلاف کم ضرایب همبستگی پیرسون و اسپیرمن حاکی از توزیع نرمال عناصر و عدم تأثیر نمونه‌های دور افتاده است. در محاسبه ضریب همبستگی همانند بسیاری از پارامترهای آماری دیگر فرض نرمال بودن داده‌ها الزامی است. ضریب همبستگی بین دو عدد ۱- و ۱+ متغیر است. وجود همبستگی مثبت بیشتر از ۰/۵+ نشان‌دهنده خروج یا ورود همزمان دو عنصر از یک محیط و یا معرف منشأ یکسان دو عنصر است. همبستگی منفی بیشتر از ۰/۵- نشان‌دهنده ارتباط معکوس این دو عنصر با یکدیگر است. به این معنی که ورود یک عنصر به یک محیط، همزمان با خروج دیگری صورت می‌پذیرد و یا دو عنصر از دو منبع جدا از یکدیگر مشتق شده‌اند. اعداد ۰/۵+ تا صفر و ۰/۵- تا صفر نشان از همبستگی‌های ضعیف یا عدم همبستگی بین زوج

عناصر دارد. مطالعات توزیع و پراکندگی و محاسبه ضرایب همبستگی عناصر با استفاده از نرم افزار SPSS بر روی نمونه‌های معدنی منطقه مورد مطالعه صورت گرفت. در جدول ۶-۷ ضرایب همبستگی پیرسون برای عناصر مس، نقره، سرب، روی، نیکل، کبالت، مولیبدن، کروم، باریوم، وانادیم، آرسنیک، اورانیم و استرانسیم در تعدادی نمونه سنگ‌های میزبان و کانسنگ (جدول ۶-۵) محاسبه و نتایج به صورت ماتریس همبستگی نشان داده شده است. مطابق ضرایب همبستگی به دست آمده بیشترین همبستگی مربوط به مس با نقره (۰/۵۱) و کمترین همبستگی مربوط به مس با استرانسیم (۰/۰۹) می‌باشد. همچنین همبستگی مثبت خیلی بالا بین عناصر مختلف مشاهده نشده است.

جدول ۶-۷: ضرایب همبستگی پیرسون مربوط به عناصر کانسار مس بندقیچی.

	Ag	As	Co	Cr	Cu	Mo	Ni	Pb	V	Zn	Ba	Sr	U
Ag	1												
As	0.08	1											
Co	-0.04	-0.02	1										
Cr	-0.30	-0.21	0.15	1									
Cu	0.51	0.01	0.18	-0.52	1								
Mo	-0.55	0.27	0.14	-0.18	-0.26	1							
Ni	0.45	-0.19	0.60	0.09	0.49	-0.48	1						
Pb	-0.14	-0.03	0.75	0.48	-0.19	0.10	0.20	1					
V	-0.32	0.02	0.12	0.88	-0.40	-0.21	0.05	0.48	1				
Zn	-0.05	-0.19	0.70	0.30	-0.17	0.15	0.38	0.80	0.32	1			
Ba	0.23	-0.10	0.17	0.18	-0.08	0.27	0.14	0.18	0.04	0.29	1		
Sr	0.68	0.05	-0.18	-0.28	0.09	-0.05	0.24	-0.34	-0.48	-0.04	0.55	1	
U	-0.39	-0.02	-0.19	-0.54	0.01	0.19	-0.33	-0.39	-0.54	-0.40	-0.53	-0.23	1

بر اساس جدول ۶-۷ استنباط می‌شود که مس با عناصر نقره، نیکل و کبالت دارای همبستگی مثبت (متوسط به پایین) و با عناصر کروم، سرب، روی، مولیبدن، باریوم و وانادیم همبستگی منفی نشان می‌دهد. در میان عناصر، مس با نقره دارای بیشترین همبستگی می‌باشد به این دلیل که اکثر کانسارهای مس حاوی نقره هستند و نسبت Cu/Ag این سنگ‌ها نزدیک به نسبت پوسته‌ای می‌باشد.

بررسی‌های صورت‌گرفته توسط وودوارد^۱ و همکاران (۱۹۷۴) بر روی کانسارهای Corocoro و Nacimiento، نشان‌دهنده غنی بودن کانسارهای مس با میزبان رسوبی از این عنصر و همبستگی مثبت بین مس و نقره در این کانسارها می‌باشد. همچنین همبستگی بالای بین مس و نقره می‌تواند نشانه قرارگیری این فلزات در ساختمان کالکوپریت باشد، زیرا کالکوپریت میزبان خوبی برای این عناصر است (هاستون^۲ و همکاران، ۱۹۹۵؛ کابری^۳ و همکاران، ۱۹۸۵). همبستگی مثبت مس با کبالت به دلیل تحرک ژئوشیمیایی مشابه مس و کبالت در شرایط اکسیدی و اسیدی می‌باشد. از لحاظ ژئوشیمیایی کبالت مانند مس در محیط‌های اسیدی دارای تحرک زیاد و در محیط‌های احیایی دارای تحرک ژئوشیمیایی خیلی کم تا بی تحرک می‌باشد. دلیل همبستگی مثبت بین مس با نیکل به دلیل آن است که در شرایط رسوبی عناصر مس، نیکل و کبالت همراه با هم ته‌نشین می‌شوند. همچنین همبستگی بین مس و نیکل نشان می‌دهد که این عنصر عمدتاً در ساختمان کالکوپریت حضور دارد. همبستگی منفی مس با روی را می‌توان به ضریب حلالیت بالای روی و مهاجرت آن در منطقه مورد مطالعه ارتباط داد. همبستگی منفی مس با سرب را می‌توان به تحرک بالای سرب نسبت به مس نسبت داد. به طوری که در جاهایی که مس ته‌نشین می‌شود سرب و روی تمایل به مهاجرت دارند. دلیل عدم انطباق مس با مولیبدن در تیپ‌های رسوبی به منشأ این عناصر ارتباط پیدا می‌کند. در سنگ‌های رسوبی مس حاصل ناپایداری کانی‌های پیروکسن، آمفیبول و گارنت می‌باشد. در صورتی که مولیبدن در این کانی‌ها زمینه بالایی ندارد و در واقع فرآیندهای جداکننده مس در کانسارهای رسوبی قابلیت جداسازی مولیبدن از کانی‌ها را ندارد.

¹ Woodward

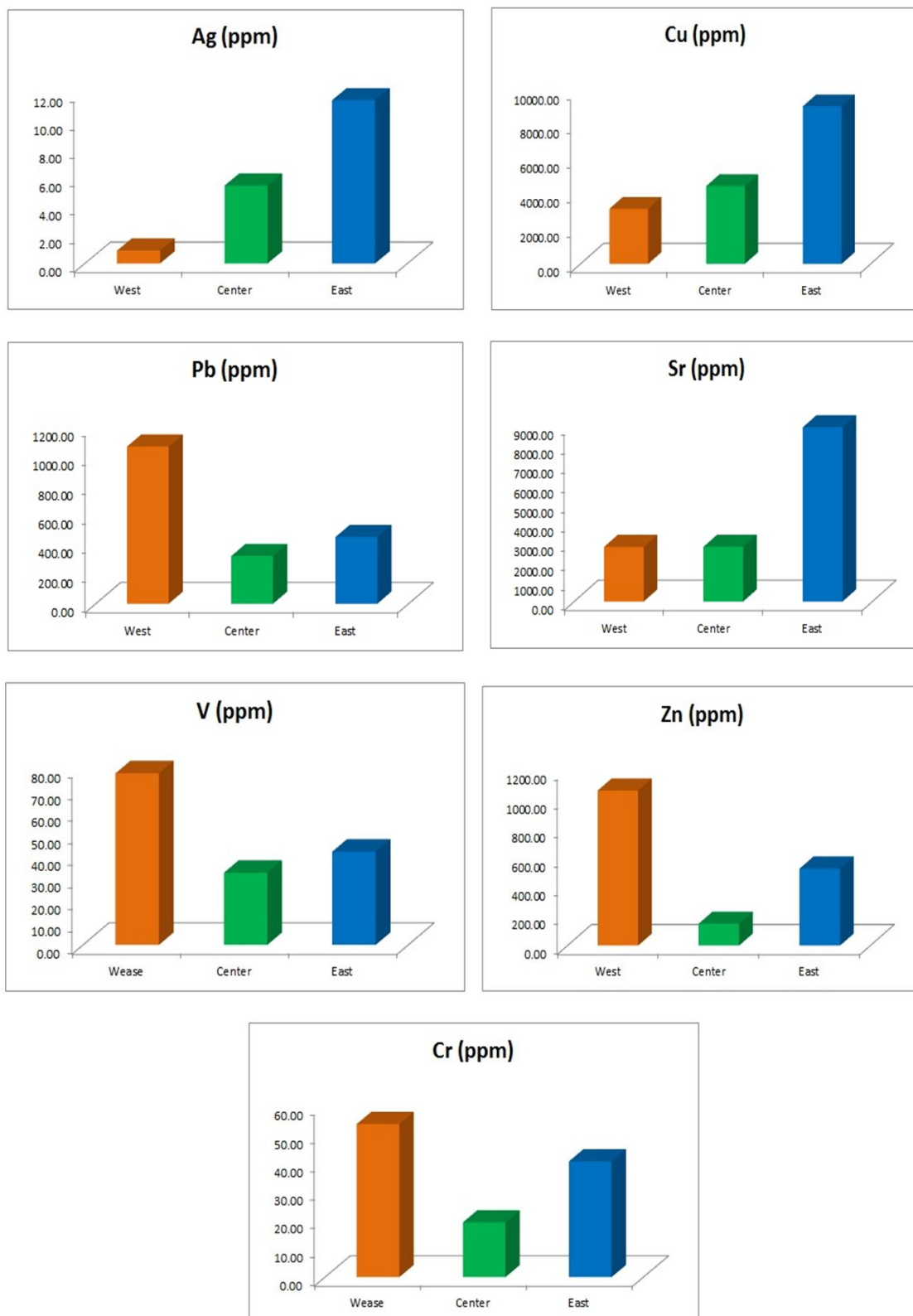
² Huston

³ Cabri

همبستگی منفی مس با کروم به شرایط Eh-pH محیط بستگی دارد به این صورت که کروم در شرایط اکسیدی ولی مس در شرایط احیایی ته‌نشین می‌شود. هم‌چنین همبستگی منفی مس با باریم و وانادیم به ضریب حلالیت این عناصر مربوط است و عواملی مانند دگرسانی و مهاجرت مسبب این همبستگی منفی بوده است.

۶-۸- توزیع و پراکندگی عناصر فلزات پایه

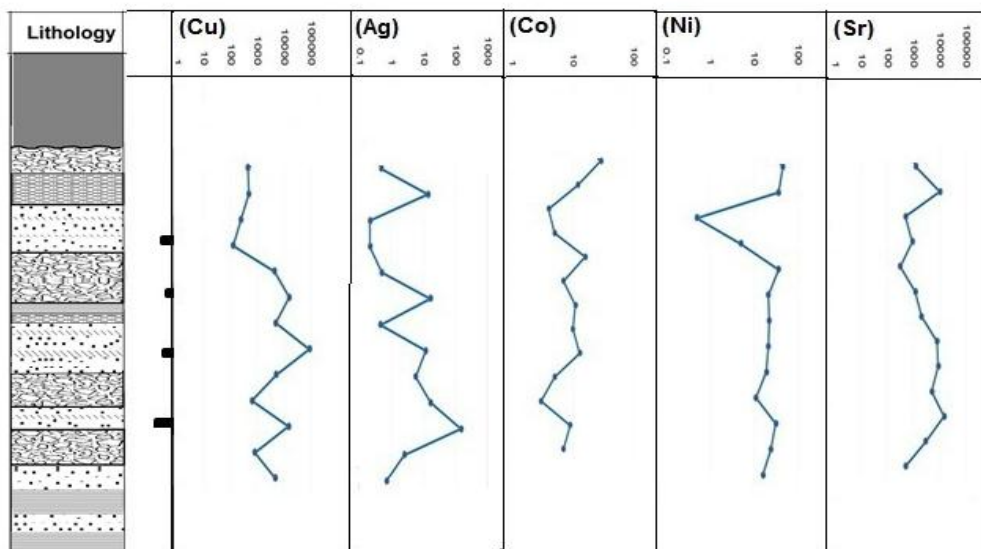
تغییرات میانگین فراوانی عناصر Cu, Ag, Pb, Zn, Sr, Cr و V در کانسنگ و سنگ میزبان کانسار مس بندقیچی در سه محدوده مختلف منطقه (غربی، مرکزی و شرقی) بررسی شده است (شکل ۶-۱۰). همانطور که مشاهده می‌گردد فراوانی مس از محدوده غربی منطقه به سمت محدوده شرقی منطقه افزایش می‌یابد و تغییرات عنصر نقره و استرانسیم در سه محدوده منطقه مورد مطالعه کاملاً مشابه تغییرات مس بوده که نشان‌دهنده همبستگی مثبت این عناصر با یکدیگر است و بررسی ماتریس همبستگی نیز همبستگی مثبت بین این عناصر را نشان می‌دهد (جدول ۶-۷). در صورتی که فراوانی عناصر سرب، روی، وانادیم و کروم از غرب به شرق منطقه کاهش می‌یابد که نشان‌دهنده همبستگی منفی مس با این عناصر می‌باشد.



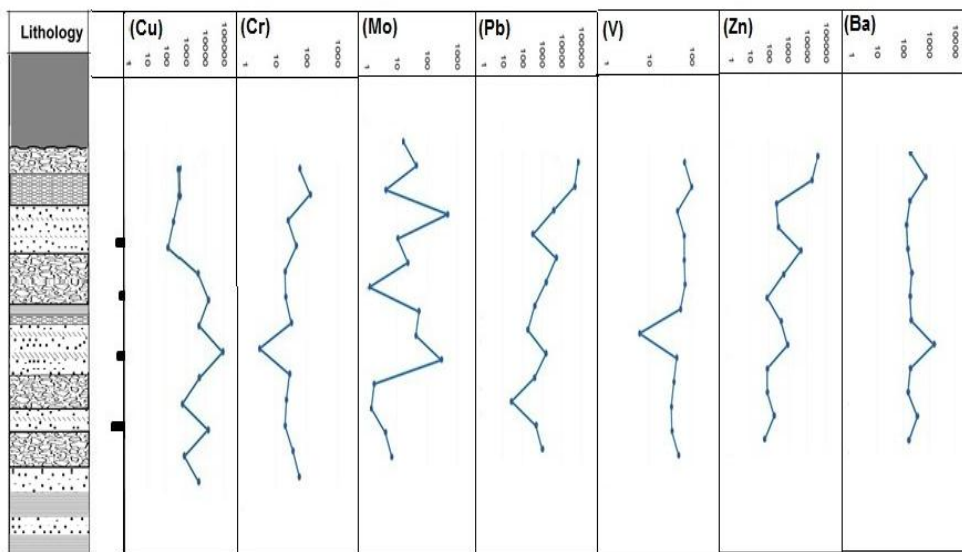
شکل ۶-۱۰: تغییرات میانگین فراوانی عناصر Ag, Cu, Pb, Zn, Sr, Cr و V در کانسنگ و سنگ‌های میزبان کانسار مس بندقیچی در سه محدوده غربی، مرکزی و شرقی منطقه مورد مطالعه.

۹-۶ - مطالعه تغییرات عناصر در مقاطع لیتوژئوشیمیایی

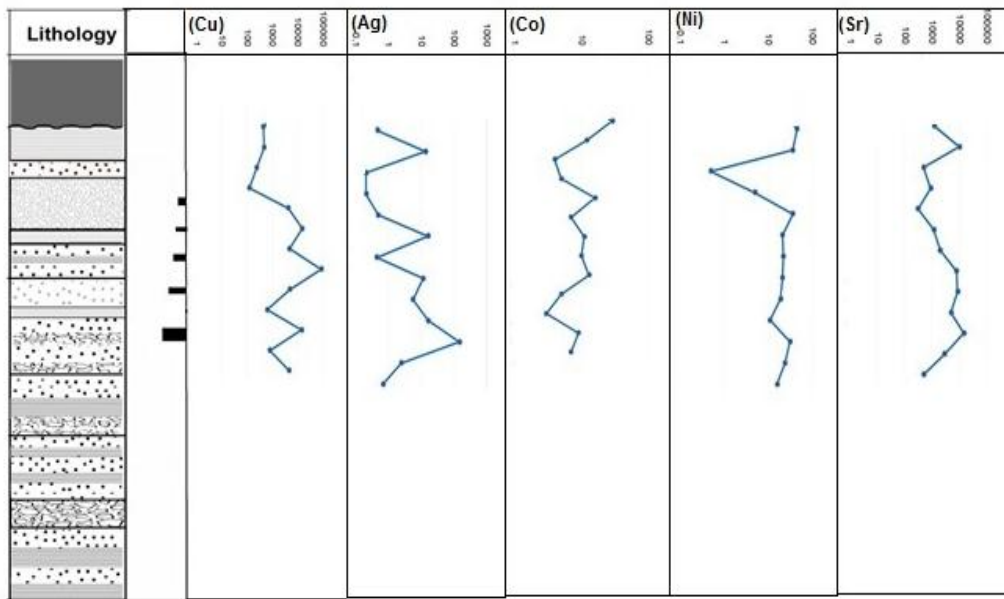
یکی از مناسب‌ترین روش‌های مطالعات ژئوشیمیایی در کانسارهای تشکیل شده در محیط‌های رسوبی، بررسی تغییرات و مقدار عناصر معدنی و رابطه آن‌ها با عناصر همراه در توالی رسوبی دربرگیرنده آن‌ها می‌باشد. به همین دلیل بخشی از مطالعات ژئوشیمی به بررسی مقاطع لیتوژئوشیمیایی در منطقه مورد مطالعه اختصاص یافته است. به منظور مطالعه و بررسی چگونگی توزیع عناصر ژئوشیمیایی مس و عناصر مختلف در منطقه مورد مطالعه ۳ مقطع لیتوژئوشیمیایی در سه بخش مختلف غربی، مرکزی و شرقی منطقه تهیه گردید (شکل‌های ۶-۱۱ تا ۶-۱۶). برای این منظور نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک و عمود بر روند لایه‌بندی از بخش‌های مختلف صورت گرفت. هدف از این کار بررسی تغییرات و همبستگی عناصر در افق‌های کانه‌دار و سنگ‌های میزبان آن‌ها می‌باشد. با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز ICP-OES (جدول ۶-۵) تغییرات برخی از عناصر در طول ستون مورد نظر در سه بخش مختلف منطقه (محدوده غربی، مرکزی و شرقی منطقه) ترسیم گردیده است. ترسیم و مطالعه این ستون‌ها تکمیل‌کننده و تأییدکننده نتایج پیشین ما در این فصل می‌باشد. همانطور که در شکل‌های ۶-۱۱ تا ۶-۱۶ مشاهده می‌گردد مس و عناصر نقره، نیکل، کبالت و استرانسیم در افق‌های کانه‌دار دارای بیشترین فراوانی می‌باشند و تغییرات این عناصر در بخش‌های مختلف مقاطع لیتوژئوشیمیایی مشابه بوده است که نشان‌دهنده همبستگی مثبت میان این عناصر می‌باشد. این در حالی است که عناصر کروم، سرب، روی، مولیبدن، باریوم و وانادیم روندی متفاوت با مس را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده همبستگی منفی میان عنصر مس با این عناصر است.



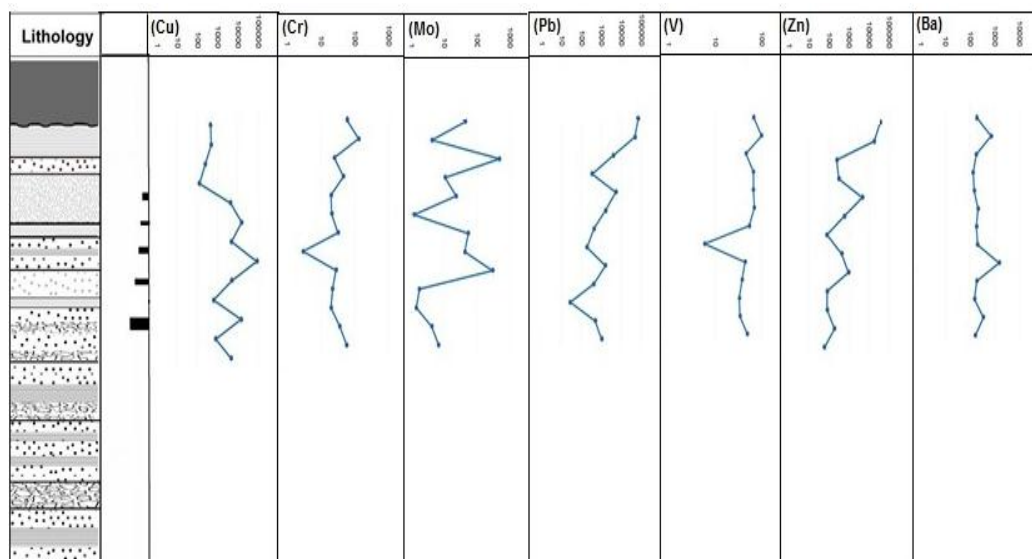
شکل ۶-۱۱: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت با مس نشان می‌دهند (مقطع غربی).



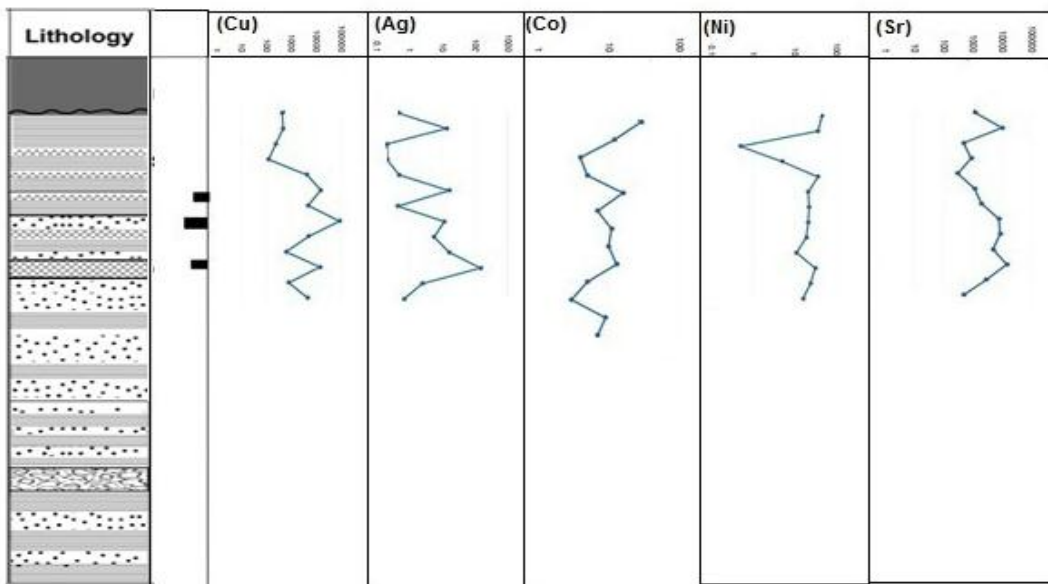
شکل ۶-۱۲: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی با مس نشان می‌دهند (مقطع غربی).



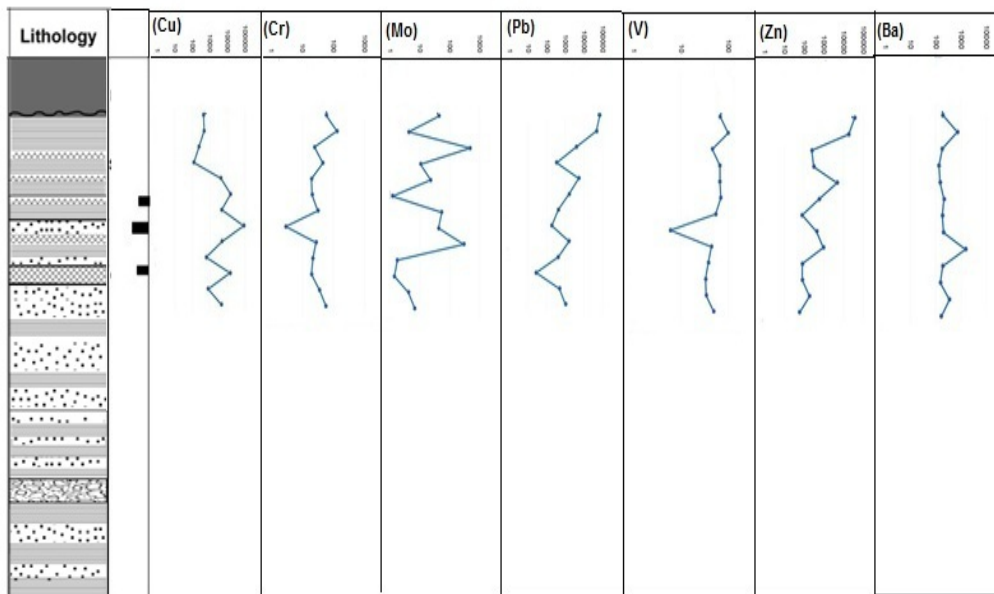
شکل ۶-۱۳: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت با مس نشان می‌دهند (مقطع مرکزی).



شکل ۶-۱۴: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی با مس نشان می‌دهند (مقطع مرکزی).



شکل ۶-۱۵: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی مثبت با مس نشان می‌دهند (مقطع شرقی).



شکل ۶-۱۶: نمودار تغییرات عناصری که همبستگی منفی با مس نشان می‌دهد (مقطع شرقی).

فصل ہفتم

الگوی سسٹم، تپ کا زاپی، نتیجہ گیری و

پیشہدات اکتشافی

۷-۱- مقدمه

از مهم‌ترین فاکتورهای مطالعه هر کانسار، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی به منظور معرفی و ارائه الگویی مناسب جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید در مناطق با شرایط زمین‌شناسی مشابه می‌باشد. ارائه یک الگوی زمین‌شناختی و پیشنهاد یک راهکار اکتشافی مبتنی بر مطالعه کانسارهای مشابه، یکی از مهم‌ترین اهداف مطالعه هر کانسار می‌باشد که در گرو شناخت دقیق عوامل کنترل‌کننده تشکیل و نحوه تمرکز ماده معدنی است. کانه‌زایی مس رسوبی بندقیچی در منطقه ترود، درون توالی رسوبی الیگوسن در پهنه ایران مرکزی رخ داده است. در این فصل پس از بررسی نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی و آزمایشگاهی از جمله مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت و ژئوشیمی، شرایط و چگونگی تشکیل کانه‌زایی مس در کانسار مس بندقیچی در منطقه ترود و مقایسه آن با دیگر کانسارهای مشابه در دنیا جهت مشخص کردن تیپ کانسار مورد توجه و در پایان، پیشنهادات لازم جهت مطالعات اکتشافی و تحقیقات آتی ارائه خواهد شد. اما در ابتدا اشاره مختصری به تقسیم‌بندی کانسارهای مس رسوبی داشته و پس از آن جایگاه کانه‌زایی مس بندقیچی را در این تقسیم‌بندی مشخص خواهیم نمود.

۷-۲- تقسیم‌بندی کانسارهای مس با میزبان رسوبی و جایگاه کانسار مس

بندقیچی

کانسارهای مس با میزبان رسوبی دومین منبع مهم مس جهان پس از کانسارهای مس پورفیری می‌باشند و ۲۳٪ از تولید جهانی مس را به خود اختصاص می‌دهند (سینگر، ۱۹۹۵). هم‌چنین منبع مهمی از نقره و کبالت و شامل ۱۲/۴٪ نقره و ۲۳/۴٪ از مس کشف شده جهان می‌باشند و بسیاری از این نهشته‌ها تولیدکننده دیگر فلزات از قبیل سرب، روی، اورانیم، طلا و عناصر گروه پلاتین می‌باشند.

این کانسارها با مشخصات اساسی از جمله عیار ثابت و پیوستگی و تداوم افقی به عنوان هدف اکتشافی مهم و قابل توجه می‌باشند (کرخام، ۱۹۸۹). طبیعت چندفلزی و گسترش افقی رسوبات با میزبان رسوبی آن‌ها را جالب توجه کرده است. این کانسارها مستقل از فرآیندهای آذرین شکل گرفته‌اند. تقسیم‌بندی‌های متفاوتی برای کانسارهای مس با میزبان توسط افراد مختلف صورت گرفته است که از جمله می‌توان کاکس (۱۹۸۶)، هیتزمن و همکاران (۲۰۰۵) و کرخام (۱۹۸۹) را نام برد. جامع‌ترین تقسیم‌بندی موجود توسط کاکس و همکاران (۲۰۰۳)، انجام شده است که این طبقه‌بندی شماتیک سه بخشی بر اساس میزان و نوع عامل احیا، شکل نهشته‌ها و محیط ته‌نشینی پیشنهاد شده است. این سه زیررده مشخصات زمین‌شناسی، عیار و تناژ متفاوت دارند که عبارتند از:

۱- نهشته‌های با میزبان فراوان مواد آلی به صورت درجا که نوع رخساره احیایی^۱ نامیده می‌شود.

۲- تیپ لایه قرمز^۲، که در توالی‌های میزبان لایه قرمز محصور شده‌اند و دارای لکه‌ها و لامینه‌هایی از مواد آلی می‌باشند.

۳- نهشته‌های برزگ با میزبان ماسه‌سنگی با میزبان مواد آلی فراوان به صورت پراکنده که تیپ ماسه‌سنگ احیایی^۳ نامیده می‌شود.

۱- زیررده مس رخساره احیایی تحلیل رفته

محدوده سنی: بسیاری از این نهشته‌ها در سنگ‌های پروتروزوئیک میانی و پسین رخ داده‌اند. که از آن جمله می‌توان کانسار اودکان در روسیه با سن پروتروزوئیک را نام برد (بولودین^۴ و همکاران، ۱۹۹۴).

¹ Reduced facies

² Redbed

³ Revett

⁴ Bolodin

کنترل کننده کانه‌زایی: محیط‌های احیایی از قبیل شیل‌های سیاه پیریت‌دار، پوشش‌های جلبکی و کلنی‌های ریفی و هم‌چنین نفوذپذیری رسوبات کم‌پایین از جمله کنترل‌کننده‌های مهم کانه‌زایی می‌باشند. در بسیاری از این نهشته‌ها، کانی‌های مس در لایه‌های ماسه‌سنگی که در زیر رسوبات رخساره احیایی به طور مستقیم قرار گرفته‌اند تمرکز یافته‌اند. توسعه شکستگی‌ها، نفوذپذیری و فشار بار هیدرولیکی برای حرکت فرآیندهای اختلاط سیالات در مواد آلی مهم است.

تیپ سنگ‌های میزبان: سنگ‌های میزبان دریایی یا دریاچه‌ای رخساره احیایی از قبیل شیل‌های خاکستری، سیاه یا سبز، سیلتستون، رخساره‌های جزرومدی لایه‌ای نازک یا سنگ‌های کربناته ریفی و شیل‌های دولومیتی می‌باشد. کربن آلی و پیریت انتشاری دانه‌ریز از جمله اجزای اصلی متداول می‌باشند. سنگ‌های میزبان تعدادی از این نهشته‌ها به صورت کربن‌دار، بیتومین‌دار، جلبک‌دار یا استروماتولیت‌دار توصیف شده‌اند.

کانی‌شناسی: کانی‌های سولفیدی از جمله کالکوسیت و بورنیت از کانی‌های تعیین‌کننده اصلی می‌باشند. نهشته‌ها ممکن است دارای منطقه‌بندی باشند و در بخش‌های مرکزی با کالکوسیت-بورنیت و در زون‌های بیرونی کالکوپیریت و پیریت و اسفالریت و گالن قرار می‌گیرند. بسیاری از نهشته‌ها شامل کارولیت و عمدتاً پیریت کبالت‌دار در زون پیریت - کالکوپیریت و کانی‌های ژرمانیوم‌دار در زون بورنیت- کالکوسیت می‌باشند. کانی‌های غنی از کربن (بیتومین، گرافیت و زغال سنگ)، اگرچه از اجزای مهم سنگ‌های میزبان نفوذپذیر می‌باشند، اما به طور کمیاب در کانسنگ‌های مس یافت شده‌اند و در اثر واکنش‌های اکسیداسیون- احیا که مسئول ته‌نشست کانسنگ می‌باشند تحلیل رفته‌اند. کالکوسیت عمدتاً در زون‌هایی در سطح مشترک بین شورابه‌ها و سیالات احیایی شکل می‌گیرد (ریپلی^۱ و همکاران، ۱۹۸۵). کولیت در زون انتقالی بین رسوبات احیایی و اکسیدی گسترش پیدا می‌کند. پیریت در بخش‌های خارجی زون کالکوپیریت شکل می‌گیرد.

¹ Ripley

بافت و ساخت: به صورت سولفیدهای انتشاری دانه‌ریز، چینه‌کران و به طور محلی چینه‌سان می‌باشد. پیریت‌های گل‌کلمی یا دانه‌تمشکی متداول می‌باشد که جانشین سولفیدهای مس شده‌اند. در این زیررده بورنیت جانشین کالکوپیریت و کالکوپیریت جانشین پیریت می‌شود. کانی‌های سولفیدی در پیرامون فسیل‌ها و قطعات کربن‌دار وجود دارند.

محیط ته‌نشینی: این نهشته‌ها در حوضه‌های رسوبی آواری قاره‌ای قرار گرفته‌اند، در حوضه‌های دریایی یا دریاچه‌ای کم‌عمق و در عرض‌های جغرافیایی ۳۰ درجه از مدار استوا شکل گرفته‌اند. تبخیری‌ها، سبخاها و دیگر منابع شورابه‌ای نیز در این مورد مهم می‌باشند. مواد آلی به عنوان تله‌هایی برای ته‌نشینی کانی‌ها عمل می‌کنند. بسیاری از این نهشته‌ها در طی پیشروی رسوبات دریایی احیایی و در بخش‌های فوقانی لایه‌های قرمز شکل گرفته‌اند (چارترند^۱، ۱۹۸۶).

محیط‌های تکتونیکی: یک ریفت درون قاره‌ای یا الاکوژن با جریان دریایی محصور به همراه نهشته‌های دریایی احیاکننده گسترده، از جمله محیط‌های مطلوب برای ته‌نشینی این نهشته‌ها می‌باشند. دیاپیرسم نمک، گسل‌های رورشدی اصلی، نازک‌شدگی واحدهای رسوبی و دگرشیبی ممکن است باعث تمرکز جریان سیالات به طور محلی در نهشته‌ها شود. مثال‌ها شامل کوپرفرشیفر، نهشته‌های مس زامبیا (آنلز^۲، ۱۹۸۹)، Comoto (بارتولوم^۳ و همکاران، ۱۹۷۶) و Redstone (چارترند و همکاران، ۱۹۸۶).

۲- زیررده مس لایه قرمز

این کانسارها در زون‌های احیایی توالی‌های قرمز رنگ شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و سیلتستون ایجاد می‌شوند (کرخام، ۱۹۸۹). در این تیپ از کانسارها عامل احیا گسترده‌تری دارد و غالباً شامل واریزه‌های ارگانیکی موجود در ماسه‌سنگ و به مقدار کمتر پیریت می‌باشد. محیط تشکیل این

¹ Chartrand

² Annels

³ Bartholome

کانسارها نواحی ساحلی و کم‌عمق است (کرخام، ۱۹۹۶ و هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). از مهم‌ترین کانسارهای این تیپ می‌توان به کانسار Corocoro (فلینت^۱، ۱۹۸۹؛ اویلا-سالیناس^۲، ۱۹۹۰)، Nacimiento (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴) و Stuber (استیوبر^۳، ۱۹۳۰) و Paoli-Oklahoma اشاره کرد.

۳- زیررده مس نوع ماسه‌سنگ احیایی

محدوده سنی: نهشته‌های پروتروزوئیک میانی در نوار سوپرگروه مونتانا می‌باشند. وسیع‌ترین نهشته‌های ماسه‌سنگ احیایی در Dzhezkazgan کربونیفر پایینی می‌باشند.

کنترل کننده کانه‌زایی: لایه‌های با نفوذپذیری بالا و پیریت از جمله کنترل کننده اصلی کانه‌زایی می‌باشند. اکسیداسیون رول فرونت در سیالات کانه‌دار کنترل کننده ته‌نشینی مس می‌باشد. گسل‌های همزمان با ته‌نشینی به صورت کنترل کننده کانه‌زایی در نهشته‌های مونتانا عمل می‌کنند. مس از طریق شورا به‌های اکسیدی متحرک شده است. عامل احیاکننده یک سیال انتشاری با گستردگی وسیع و به طور تپیک یک مایع یا گاز هیدروکربن یا گاز ترش غنی از سولفید می‌باشد.

مدل ته‌نشینی: مس ماسه‌سنگ احیایی در لایه‌های ضخیم احیایی کوارتزیت نزدیک مرز اکسیداسیون- احیا قبل از کانه‌زایی صورت می‌گیرد (هایز^۴ و ایناودی^۵، ۱۹۸۶؛ هایز، ۱۹۹۰). این نهشته‌ها ممکن است نزدیک گسل‌ها انباشته شوند (بالا^۶، ۱۹۹۳). در مدل مس ماسه‌سنگ احیایی، مس در ارتباط با مواد آلی جامد نمی‌باشد اما ممکن است به وسیله عامل احیای گازی ناپایدار ایجاد شده از طریق تخریب مواد آلی ته‌نشین شود.

¹ Flint

² Avila-Salinas

³ Stuber

⁴ Hayes

⁵ Einavdi

⁶ Balla

تیپ سنگ‌ها: محیط چینه‌شناسی مشخص برای نهشته‌های مس این زیررده توالی ماسه‌سنگی نازک می‌باشد. ماسه‌سنگ‌ها عمدتاً به رنگ قرمز و شامل زون‌های دگرسانی خاکستری، سبز یا سفید می‌باشند (سوسورا^۱ و همکاران، ۱۹۸۶). در دونین و سنگ‌های جوانتر لایه‌های میزبان عمدتاً شامل بیتومین‌ها یا شواهدی از سیالات پترولیم می‌باشند. لایه‌های تبخیری نیز در برخی موارد حضور دارند. نهشته‌ها در نتیجه اختلاط شورابه‌های غنی از مس با آب زیرزمینی در تعادل با پیریت یا با سیالات هیدروترمال شکل می‌گیرد. در نهشته Spar lacke سیال احیایی به صورت یک عامل احیا که مسئول ته‌نشینی سولفیدهای مس است فرض شده است. شواهدی برای این سیال حضور پیریت، کلسیت و یا آنکریت غنی از آهن در ماسه‌سنگ‌ها می‌باشد (هایز، ۱۹۹۰). در میان نهشته‌های مس با میزبان رسوبی، زیر رده ماسه‌سنگ احیایی متداولترین سنگ میزبان ماسه‌سنگ و به میزان کمتر سنگ‌های آواری دانه‌ریز می‌باشند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۳).

کانی‌شناسی: کانی‌های کاربردی در این نهشته‌ها شامل کالکوسیت و دیگر کانی‌های سولفیدی شامل کالکوپیریت، بورنیت و هم‌چنین نقره طبیعی می‌باشد. زون‌هایی از کانی‌های کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، پیریت، گالن و اسفالریت بر اساس مرزهای احیا مرتب شده‌اند. کانی‌های باطله متداول شامل کوارتز، کلسیت غنی از آهن و آراگونیت می‌باشند.

ساخت و بافت: کانی‌ها به صورت سیمان ثانوی در توده‌های عدسی شکل انتشار یافته‌اند. زون‌های کانیاپی عمدتاً رول فرونت‌ها را به دنبال دارد.

محیط ته‌نشینی: بسیاری از سنگ‌های میزبان به صورت دلتاهای بادبزی در ورودی پلایه‌های حوضه‌ای بسته، محیط‌های ساحلی مختلف، دریا‌های قاره‌ای کم‌عمق و حوضه‌های تبخیری وابسته ته‌نشین شده‌اند. رسوبات ته‌نشین شده در این محیط‌ها دارای سنگ میزبان نفوذپذیر برای اکسیداسیون هماتیت پایدار و سیالات شور مستعد شستشو و انتقال مس می‌باشد.

¹ Susura

محیط تکتونیکی: نهشته‌های مس ماسه‌سنگ احیایی در حوضه‌های کران‌دار گسلی در محیط‌های تکتونیکی مختلف از جمله ریفت‌ها، حوضه‌های بین کوهستانی در زون‌های وسیع کششی و حوضه‌های مولاسی فورلند صورت می‌گیرند.

مثال: نهشته Spar lacke (هایز و اینیودی^۱، ۱۹۸۶)، نهشته Montanore (آدکینز^۲، ۱۹۹۳) و نهشته Dzhezkazgan (گابلینا^۳، ۱۹۸۱).

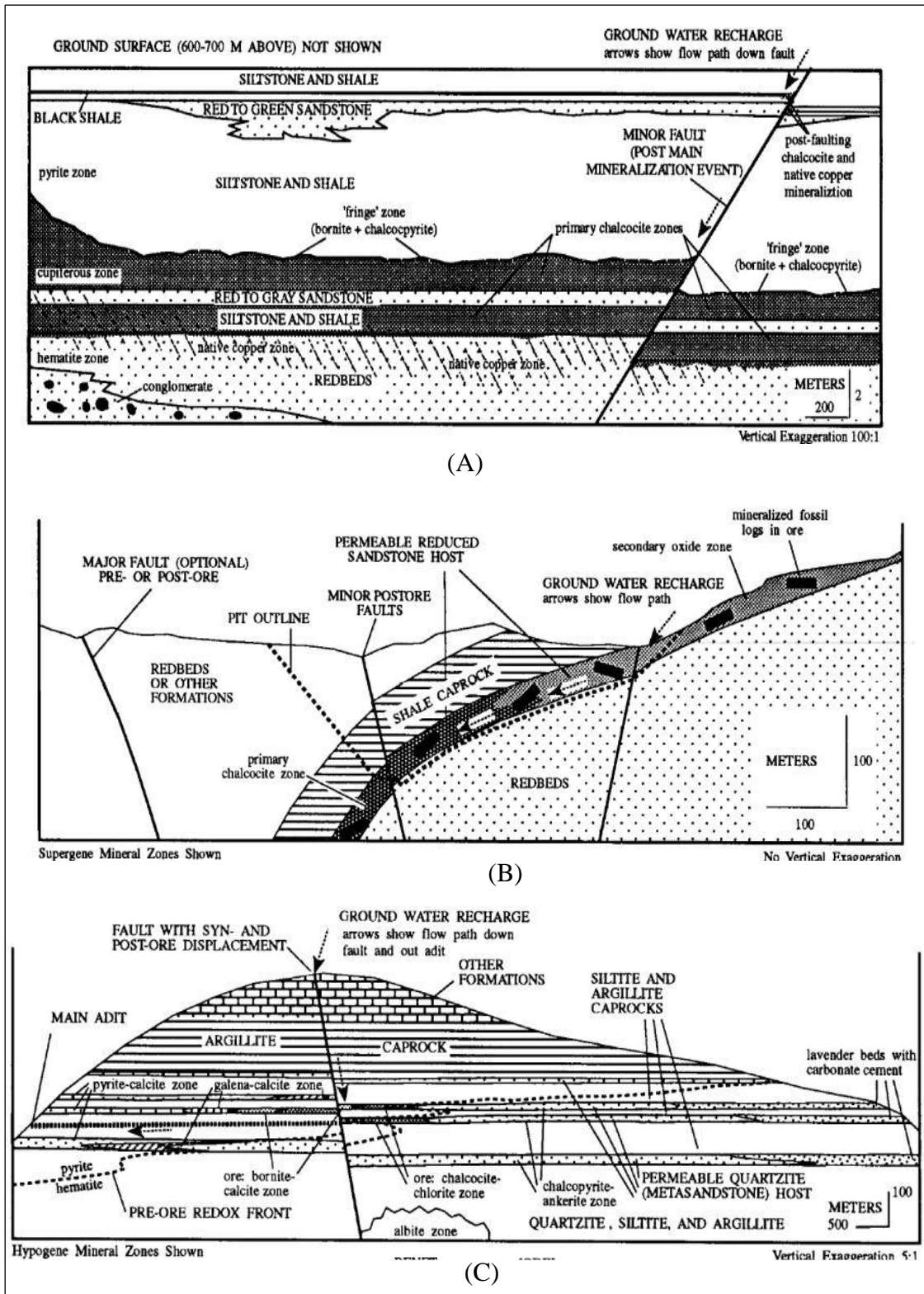
مشخصات اساسی این سه زیر رده به صورت هندسی در شکل ۷-۱ و توزیع جهانی نهشته‌های مس با میزبان رسوبی چینه‌سان در شکل ۷-۲ نشان داده شده است.

در جدول ۷-۱ به مقایسه ویژگی‌های کانسار مس بندقیچی با سه تیپ از نهشته‌های مس با میزبان رسوبی پرداخته شده و سپس با توجه به مشابهت بیشتر کانسار مس بندقیچی با مس تیپ لایه قرمز، و همچنین به منظور روشن شدن تیپ‌کا‌زایی مس بندقیچی این کانسار از جهات مختلف نوع سنگ میزبان، عامل احیا، محیط ته‌نشست، عناصر همراه، کانی‌شناسی و ساخت و بافت با تیپ لایه قرمز مقایسه شده است.

¹ Einaudi

² Adkins

³ Gablina

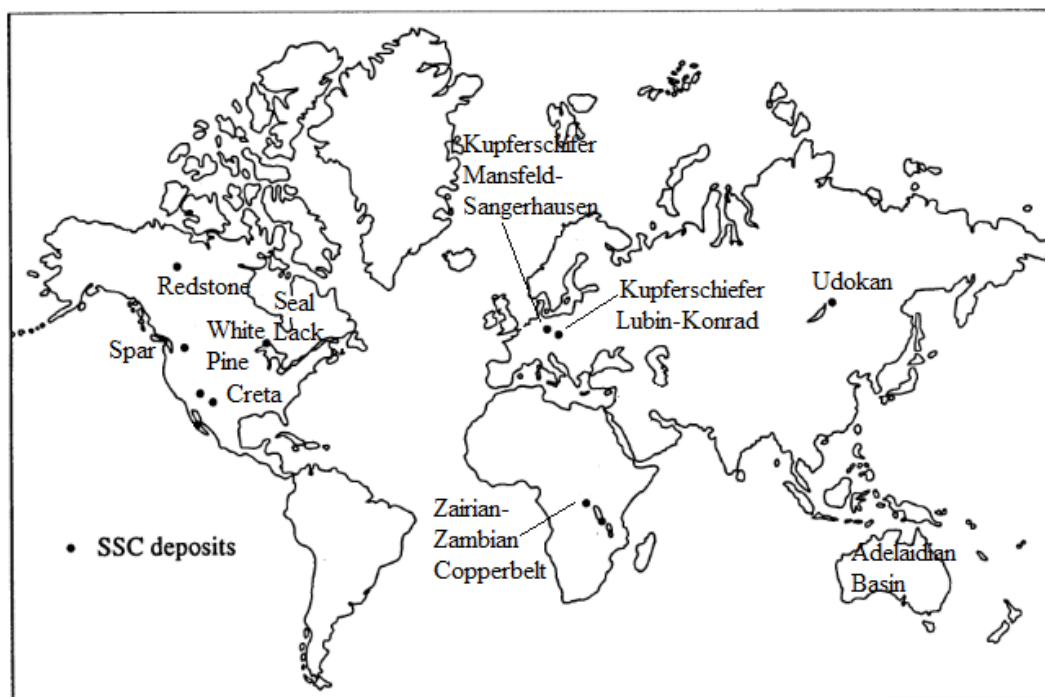


شکل ۷-۱: مقطع عرضی ساده شده از نهشته‌های مس با میزبان رسوبی، مدل رخساره احیایی (A)، لایه قرمز (B) و ریوت (C)، (تالбот^۱، ۱۹۷۴؛ وودوارد، ۱۹۷۴؛ هایز، ۱۹۹۰؛ هایز و اینیودی، ۱۹۸۶).

¹ Talbot

جدول ۷-۱: مقایسه ویژگی‌های کانسار مس بندقیچی با دیگر کانسارهای مس با میزبان رسوبی.

ویژگی	مس رخساره احیایی (Reduced facies Cu)	مس لایه قرمز (Redbed Cu)	مس ماسه‌سنگ احیایی (Revelt Cu)	مس بندقیچی (Bande Ghichi Cu)
مس	پروتروزوئیک	پروتروزوئیک	پروتروزوئیک زیرین- کربونیفر	الیگوسن
سنگ میزبان	سنگ‌های کربناته، شیل‌های دولومیتی، ماسه‌سنگ کنگلومرا و سیلتستون	سکانس تخریبی لایه قرمز شامل ماسه‌سنگ و کنگلومرا	ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل کوارتزیت، آرکوز و سیلتستون	ماسه‌سنگ، کنگلومرا، شیل و سیلتستون
عوامل مؤثر در کانه‌زایی	نفوذپذیری رسوبات کم‌ریابین و محیط احیا	نفوذپذیری لایه ماسه‌سنگی و وجود واریزه‌های فسیل گیاهی	وجود لایه‌های ماسه‌سنگی نفوذپذیر و پیریت احیایی	نفوذپذیری واحد ماسه‌سنگی مواد آلی و پیریت احیایی
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، دیژنیت، پیریت مس طبیعی، گالن، اسفالریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، پیریت، مس و نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کالکوپیریت، بورنیت، نقره طبیعی، گالن و اسفالریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی، کالکوپیریت و پیریت
بافت و ساخت	دانه پراکنده، جانشینی، لامینه و کلو فرم	دانه پراکنده، لایه‌ای و جانشینی	دانه پراکنده و جانشینی	لایه‌ای، رگه‌ای، جانشینی و دانه پراکنده
موقعیت تکنونیک	الاکوژن یا ریفت درون قاره‌ای	ریفت و محیط کششی	ریفت و محیط کششی	محیط کششی
محیط ته‌نشینی	جزر و مدی	محیط‌های ساحلی و نواحی کم‌عمق	حوضه‌های بسته پلایا و حوضه رسوبی کم‌عمق و محیط‌های ساحلی دیگر	حوضه رسوبی تبخیری کم‌عمق (پلایا)
عناصر همراه	Co-Ag-Pb - Zn-Ge -Au	Ag- Pb -Zn -(U-V-Mo)	Ag-Pb-Zn-(Mo-V-Re)	Ag- Pb -Zn
ژئومتری	لایه‌ای، عدسی	عدسی، همروند با لایه‌بندی	عدسی، همروند با لایه‌بندی	استراتاباند و به طور محلی استراتای فرم
مثال‌ها	Kupferschiefer Zambiacopperbelt, Kamoto, Redestone	Nacimiento, Corocoro Lisbon valley, Stuber	Montanore, Spar Lake Dzhezkazgan	مس بندقیچی
منبع	Cox et al., 2007 Hitzman et al., 2005 Annels, 1989 Oszczepalski, 1999 Sweeney et al., 1989 Chartand et al., 1986 Bartholome et al., 1976	Woodward et al., 1974 Cox et al., 1991 Thorson, 2005 Avila-Salinas, 1990 Flint, 1989 Stauber, 1930	Cox et al., 2007 Gblina, 1981 Adkins, 1993 Hayes & Einaudi, 1986	تحقیق حاضر

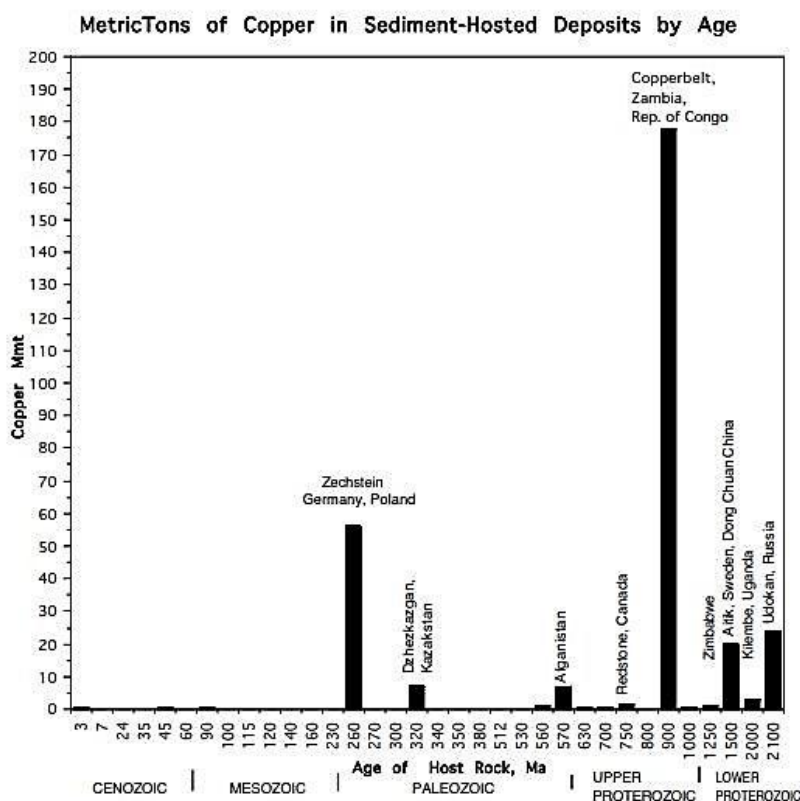


شکل ۷-۲: توزیع جهانی نهشته‌های اصلی مس با میزبان رسوبی چینه‌سان، بسیاری از این کانسارها از نظر زمانی مربوط به پروتروزوئیک تا سنوزوئیک می‌باشند (براون، ۱۹۹۲؛ کرخام، ۱۹۹۴، ۱۹۸۹).

۷-۳- مقایسه کان‌زایی مس بندقیچی با ذخایر مس رسوبی تیپ لایه قرمز

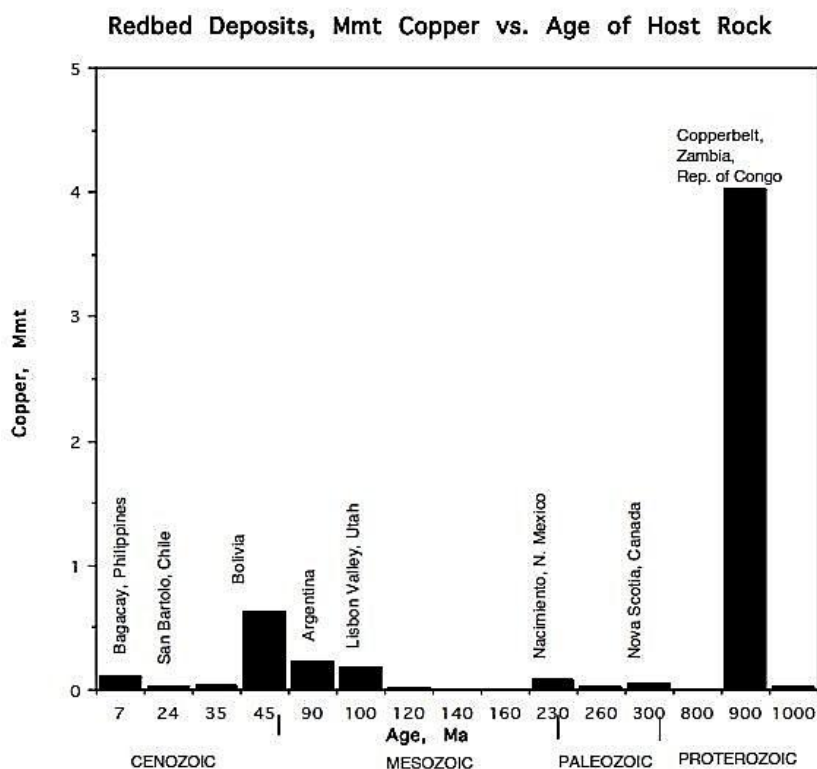
۷-۳-۱- سن کان‌زایی

زمان کان‌سازی در این سیستم‌ها در ارتباط با ته‌نشینی سنگ میزبان می‌باشد و کان‌سازی ممکن است قبل از دیاژنز رسوبات میزبان اتفاق بیفتد. نهشته‌های مس با میزبان رسوبی به سن آرکئن شناخته نشده‌اند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). توزیع سنی این کانسارها می‌تواند به وسیله مقدار فلز مس ته‌نشین شده در طول دوره‌های زمانی مختلف توصیف شود شکل (۷-۳). سنگ‌های پروتروزوئیک بالایی و مخصوصاً نئوپروتروزوئیک بسیار پربار هستند. نهشته‌های کوچک دیگری نیز در فانروزوئیک یافت شده‌اند.



شکل ۳-۷: توزیع زمانی کانسارهای مس با میزان رسوبی. بیشترین فراوانی این کانسارها در پروتروزوئیک و اواخر پالئوزوئیک است (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷).

بسیاری از نهشته‌های پروتروزوئیک در ماسه‌سنگ‌های کم‌پایین نوار مس‌دار زامبیا شناخته شده‌اند. این نهشته‌ها در ماسه‌سنگ‌های قرمز که در زیر حجم وسیعی از نهشته‌های رخساره‌های احیایی که اصطلاحاً کانسارهای کم‌پایین نامیده می‌شوند قرار گرفته‌اند. بسیاری از نهشته‌ها در پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۷). کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز علاوه بر پروتروزوئیک، گسترش زیادی در اواخر مزوزوئیک و اوایل ترشیری دارند. از کانسارهای به سن مزوزوئیک می‌توان به کانسارهای Lisbon valley (کرتاسه تحتانی)، Cashin mine (ژوراسیک تحتانی) و Nacimiento (تریاس) اشاره کرد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). در کانسار مس بندقیچی کانه‌زایی در واحدهای رسوبی میزان به سن الیگوسن صورت گرفته است.



شکل ۷-۴: توزیع زمانی کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز، بسیاری از کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز در پالئوزوئیک، مزوزوئیک و سنوزوئیک شکل گرفته‌اند.

۷-۳-۲- سنگ میزبان

توالی لایه قرمز شامل زون‌های سفید یا خاکستری شسته شده در ماسه‌سنگ و لایه‌های شیلی، احیایی سبز یا خاکستری و سیلتستون می‌باشند. در دونین و سنگ‌های جوانتر لایه‌های میزبان عمدتاً حاوی قطعات گیاهی فسیلی می‌باشد. لایه‌های تبخیری محلی در برخی نهشته‌ها حضور دارند. تله‌های احیایی شکل گرفته به وسیله قطعات گیاهی گسترش عرضی محدودی دارند، بنابراین نهشته‌های مس لایه قرمز عمدتاً کوچک می‌باشند. بر اساس جدول ۷-۲ در کانسارهای با میزبان رسوبی، ۶۵٪ از نهشته‌های لایه قرمز میزبان‌شان کنگلومرا و ماسه‌سنگ می‌باشد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). هم‌چنین کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز در فصل مشترک ماسه‌سنگ و کنگلومرای قرمز اکسیدان (هماتیت‌دار) و خاکستری نسبتاً احیایی تشکیل می‌شوند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

جدول ۷-۲: سنگ‌های میزبان متداول بر حسب درصد فراوانی در زیر رده مس لایه قرمز.

زیر رده	ماسه‌سنگ، کوارتزیت، آرکوز	کنگومرا	سیلتستون، شیل و گلسنگ	آهک، دولومیت، مارن	گدازه‌های مافیک
مس لایه قرمز	۳۹	۲۶	۱۳	۸	۱۳

کانه‌زایی مس بندقیچی در توالی ماسه‌سنگ، کنگومرا و به میزان خیلی کم در سیلتستون و شیل‌های خاکستری رنگ در واحدهای احیایی صورت گرفته است. بخش عمده کانه‌زایی در این منطقه در میزبان ماسه‌سنگی میزبان صورت گرفته است. وجود مواد آلی و هم‌چنین پیریت در واحدهای سنگی میزبان، شرایط احیایی را به منظور ته‌نشینی مس و دیگر فلزات فراهم نموده است.

۷-۳-۳- کنترل‌کننده کانه‌زایی

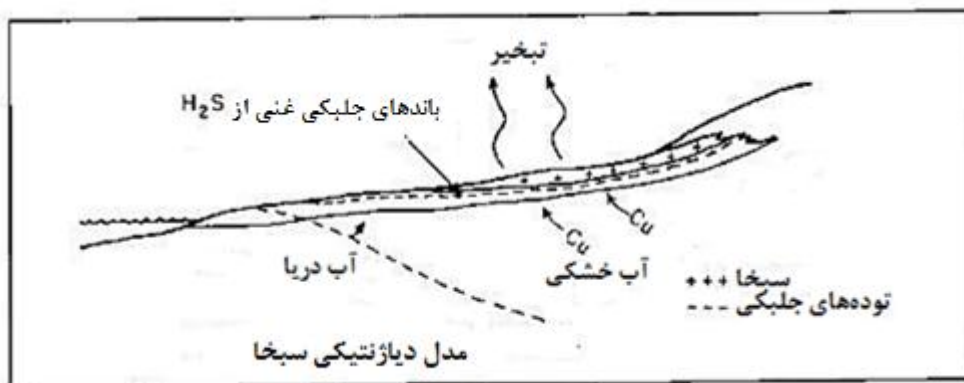
در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، لایه‌های ماسه‌سنگی نفوذپذیر از جمله کنترل‌کننده‌های اصلی می‌باشند. به عنوان مثال در کانسار Nacimiento در نیومکزیکو سولفیدهای مس در پیرامون عامل احیا کننده از قبیل قطعات گیاهی و بیشتر پیرامون سیالات هیدروکربن شکل می‌گیرند (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴). پیریت در صورت فراوانی یک عامل احیاکننده و قابل توجه می‌باشد. محیط‌های احیایی با pH بالا از قبیل شیل‌های سیاه، چوب‌های فسیلی و اجزای جلبکی از آن‌جایی که میزان بالایی سولفیدهای بیوژنیک و رسوبات پیریتی دارند دارای اهمیت هستند. مرزهای بین سیالات هیدروترمال یا سیالات احیایی دیگر و یا سیالات اکسیدی در رسوبات نفوذپذیر مکان‌های متداول ته‌نشینی کانی‌ها می‌باشند. در کانسار مس بندقیچی عواملی از جمله نفوذپذیری لایه‌های ماسه‌سنگی میزبان، وجود مواد آلی و پیریت احیایی از جمله عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی در منطقه می‌باشند.

۷-۳-۴- محیط تکتونیکی

کانسارهای مس چینه‌سان در ریفت‌های درون قاره‌ای، حاشیه‌های قاره‌ای غیر فعال و الاکوزن‌ها شکل می‌گیرند. در این نهشته‌ها گسل‌ها ممکن است مجراهایی را به منظور انتقال سیالات برای ته‌نشینی کانه‌ها فراهم کنند. نهشته‌های مس لایه قرمز در حوضه‌های کران‌دار سنگی در محیط‌های مختلف شامل ریفت‌ها، حوضه‌های بین کوهستانی در زون‌های کششی وسیع و حوضه‌های مولاسی فورلند گسترش دارند. نهشته‌های مس لایه قرمز ممکن است در حوضه‌های اینتراکراتونی یا ریفتی وجود داشته باشند. کانسار مس بندقیچی در حوضه رسوبی کم‌عمق قاره‌ای در یک محیط کششی شکل گرفته است که این محیط‌ها توسط گسل‌های همزمان با رسوبگذاری کنترل می‌شوند.

۷-۳-۵- محیط تشکیل

حوضه‌های دریایی کم عمق قاره‌ای نزدیک دیرینه استوا، محیط‌های ساحلی، دریاچه‌ای و سبخاها و محیط‌های با نرخ تبخیر بالا از جمله محیط‌های ته‌نشینی این رسوبات می‌باشند. این نهشته‌ها به وسیله سیستم‌های رسوبی - آبرفتی از رودخانه‌های پرپیچ و خم وارد پلایاهای حوضه‌ای بسته یا محیط‌های ساحلی مختلف، دریا‌های قاره‌ای کم‌ژرفا شده‌اند و در ارتباط با حوضه‌های تبخیری می‌باشند. رسوبات نهشته شده در این محیط‌ها، سنگ‌های مناسب برای اکسیداسیون، سیالات شور مستعد برای شستشو و انتقال مس می‌باشند. وجود توالی‌های ضخیم لایه قرمز و سنگ‌های تبخیری، بیانگر تشکیل سنگ‌های میزبان این کانسارها در آب و هوای گرم و خشک و عرض‌های جغرافیایی پایین می‌باشد (کاکس و همکاران، ۲۰۰۵). در شکل ۷-۵ مدل دیاژنتیکی سبخا برای کانه‌زایی مس درون کراتونی ارائه شده است.



شکل ۷-۵: مدل دیاژنتیکی سیخا برای کانه‌زایی مس که منشأ نوار مس آفریقا و دیگر نهشته‌های مس درون کراتونی دیاژنتیکی را توضیح می‌دهد.

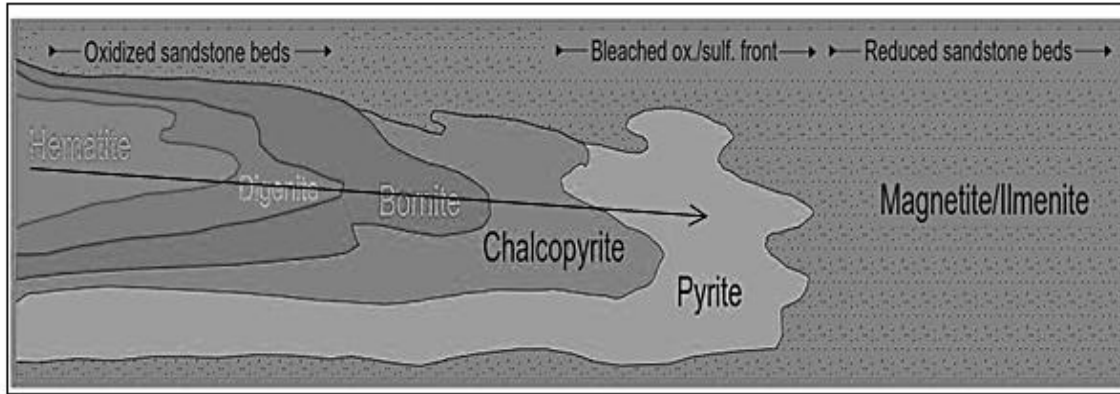
با توجه به شکل‌گیری کانسار در یک محیط کویری گرم و خشک با درجه حرارت بالا و پوشش گیاهی اندک و با توجه به حضور گسترده کانی‌های تبخیری از جمله هالیت، ژیپس و سلسیت و دیگر کانی‌های کلریدی و تشکیل رسوبات پفکی- نمکی (شکل ۳-۱۴، الف) و ساخت تی‌پی (شکل ۳-۱۴، ب) در مقیاس وسیع، نقش مهم شوره‌ها در انتقال مس و دیگر عناصر معدنی در منطقه مورد مطالعه و هم‌چنین حاکم بودن شرایط تبخیری در آن می‌توان استنباط کرد که محیط تشکیل کانسار حوضه رسوبی تبخیری کم‌عمق بوده است.

۷-۳-۶- ژئومتری ماده معدنی

کانسارهای مس با میزبان رسوبی به دو صورت چینه‌کران و چینه‌سان شکل گرفته‌اند. کانسارهای مس با میزبان رسوبی چینه‌کران در لایه‌های نازکی از توالی رسوبی محصور شده‌اند اما لزوماً لایه‌ای نمی‌باشند. این کانسارها اپی‌ژنتیک و دیاژنتیک می‌باشند و پس از ته‌نشینی رسوبات میزبان شکل گرفته‌اند. اما در برخی موارد قبل از سنگ‌شدگی سنگ میزبان نیز تشکیل می‌شوند. کانسارهای مس چینه‌سان، سین‌ژنتیک می‌باشند و هم‌زمان با ته‌نشینی سنگ میزبان و به موازات لایه‌بندی شکل گرفته‌اند و از لایه‌بندی سنگ میزبان تبعیت می‌کنند. نهشته‌های مس چینه‌سان به دلیل گسترش افقی در طول واحدهای چینه‌شناسی تناژ بالا دارند. بسیاری از کانسارهای مس با میزبان رسوبی

شناخته شده، چینه‌سان می‌باشند و هم‌روند با لایه‌بندی سنگ میزبان شکل گرفته‌اند (براون، ۱۹۸۹ و ۱۹۹۷). زون‌های کانی‌دار به صورت عدسی‌ها و لایه‌هایی که در حالت کلی به صورت هم‌شیب با طبقات دربرگیرنده می‌باشند اما به طور جزئی متقاطع نیز می‌باشند و با ضخامت‌هایی از سانتی‌متر تا یک متر و ابعاد جانبی یک متر تا کیلومتر می‌باشد. گاهی اوقات زون‌های صفحه‌ای به طور افقی تا ده‌ها کیلومتر گسترش یافته‌اند. بسیاری از نهشته‌ها در مقطع عرضی شکل رول فرونت دارند (لفیبر و آلدریک، ۱۹۹۶). مانند نهشته Samalayuca مکزیک (شکل ۷-۶). رول فرونت عموماً به شکل هلالی یا S مانند هستند و منطقه‌بندی به صورت قائم و جانبی نشان می‌دهند که حالت کلی آن‌ها به صورت زیر می‌باشد. نهشته‌ها توصیف شده‌اند توسط منطقه‌بندی سولفیدی قائم و برجسته با توالی کلی:

هماتیت ← کالکوسیت ← بورنیت ← کالکوپیریت ← (گالن و اسفاریت) ← پیریت



شکل ۷-۶: منطقه‌بندی کانیایی و توزیع کانی‌های مختلف اکسیدی و سولفیدهای مس به شکل هلالی، در لایه‌های ماسه‌سنگی مس‌دار کانسار مس Samalayuca (براون، ۱۹۹۵).

در کانسار مس بندقیچی بیشترین فرم کانه‌زایی از نوع چینه‌کران و اپی‌ژنتیک می‌باشد. هم‌چنین زون‌های کانی‌دار به صورت عدسی‌ها و یا لایه‌هایی که در حالت محلی به صورت هم‌شیب با لایه‌بندی رسوبات در برگیرنده می‌باشند نیز دیده شده است که نشان دهنده چینه‌سان بودن کانسار است.

ضخامت افق‌های کانه‌دار در منطقه متفاوت می‌باشد و زون‌های کانه‌دار پرکننده فضای بین‌دانه‌ای ماسه‌سنگ و کنگلومراهای گسترش طولی و عرضی زیادی دارند. در منطقه بندقیچی نیز این منطقه‌بندی کانیایی مشاهده شده است اما به دلیل عواملی چون به‌هم‌ریختگی توالی‌های رسوبی توسط نفوذ کانی‌های تبخیری از جمله نمک و ژئوپس نمی‌توان حالت منطقه‌بندی منظمی را برای این توالی کانیایی در نظر گرفت و امکان تفکیک دقیق کانی‌ها از یکدیگر وجود ندارد (منطقه بندی نامنظم دارند).

۷-۳-۷ - بافت ماده معدنی

در کانسارهای مس با میزبان رسوبی سولفیدها دانه‌ریز و به صورت انتشاری در طول لایه‌بندی تمرکز یافته‌اند. اصولاً دانه‌های درشت‌تر شکسته شده‌اند و یا به صورت سیمان بین دانه‌ای می‌باشند. در این کانسارها پیریت کلوئیدی، کلوفرم و فرامبوئیدال متداول می‌باشد. به طور کلی بافت‌های غالب در کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز دانه پراکنده و جانشینی است (براون، ۱۹۹۷؛ کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). سولفیدهای مس و مس خالص جانشین زمینه، سیمان ماسه‌سنگ‌ها و در برخی نهشته‌ها جانشین قطعات گیاهی فسیل و توده‌های کربن‌دار و پیریت می‌شوند. در کانسار Nacimiento، سولفیدهای مس و مس - آهن جانشین قطعات فسیل گیاهی شده‌اند (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴). اصلی‌ترین و مهم‌ترین بافت قابل مشاهده در کانسار مس بندقیچی، بافت پرکننده فضای خالی می‌باشد که کانی‌های سولفیدی در فضای خالی میان اجزای آواری سنگ میزبان شکل گرفته‌اند و نقش سیمان را ایفا نموده‌اند. هم‌چنین از دیگر بافت‌های مشاهده شده در منطقه می‌توان به بافت سیمان میان دانه‌ای، دانه پراکنده و جانشینی اشاره نمود. کانی‌های کربناته مس و اکسیدهای آهن در اطراف قطعات آواری واحدهای رسوبی میزبان تجمع کرده‌اند و بافت سیمان میان دانه‌ای را شکل داده‌اند. در منطقه مورد مطالعه سولفیدها جانشین مواد آلی و پیریت احیایی شده‌اند و بافت جانشینی را ایجاد کرده‌اند. هم‌چنین جانشینی پیریت و کالکوپیریت توسط کانی‌های کربناته مس

(مالاکیت و آزوریت) و هم‌چنین جانشین‌های سولفیدی مس از جمله کالکوسیت و کوولیت به جای مواد آلی مشاهده شده است.

۷-۳-۸- کانی‌شناسی

در کانسارهای مس رسوبی تیپ لایه قرمز، کانی‌های اصلی، از جمله کالکوسیت، بورنیت و پیریت و هم‌چنین نقره طبیعی و مس طبیعی می‌باشد (جدول ۷-۳) که مس طبیعی از جمله کانی‌های غالب در محیط‌های فقیر از گوگرد می‌باشد. در این زیررده کالکوسیت فراوانترین کانی می‌باشد که میزان آن در این نهشته‌ها ۵۸٪ می‌باشد. کالکوسیت نزدیک منشأ اکسیدی مس و پیریت نزدیک سنگ‌های احیایی شکل می‌گیرد. نقره طبیعی هم در این کانسارها متداول می‌باشد. کانی‌های موجود در کانسار مس بندقیچی شامل کالکوسیت، کوولیت، بورنیت و مس طبیعی می‌باشند. هم‌چنین کانی‌های کربناته مس (مالاکیت و آزوریت) و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن از جمله هماتیت، گوتیت و لیمونیت از جمله کانی‌های ثانویه مشاهده شده در بخش‌های سطحی کانسار می‌باشند. کانی‌های کلریدی از جمله آتاکامیت، پارالایوریونیت و لایوریونیت به همراه کانی‌های رسی و هم‌چنین دیگر کانی‌هایی که به دلیل ریز بودن در مقاطع میکروسکوپی مشاهده نشده‌اند، از جمله کانی‌هایی شناسایی شده توسط آنالیز پراش اشعه ایکس (XRD)، در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. ژئپس، سلسیت، کلسیت و کوارتز از دیگر کانی‌های مشاهده شده در منطقه در مقیاس نمونه دستی و میکروسکوپی می‌باشند.

جدول ۷-۳: فراوانی کانی‌های مهم کانسارهای مس با میزبان رسوبی همراه با درصد فراوانی آن‌ها در زیررده لایه قرمز.

زیررده	کالکوسیت، دیژنیت، دیجورلیت	بورنیت	کالکوپیریت	گالن	اسفالریت	پیریت
لایه قرمز	۵۸	۳۰	۳۴	۳	۳	۲۸

۷-۳-۹- عیار و تناژ

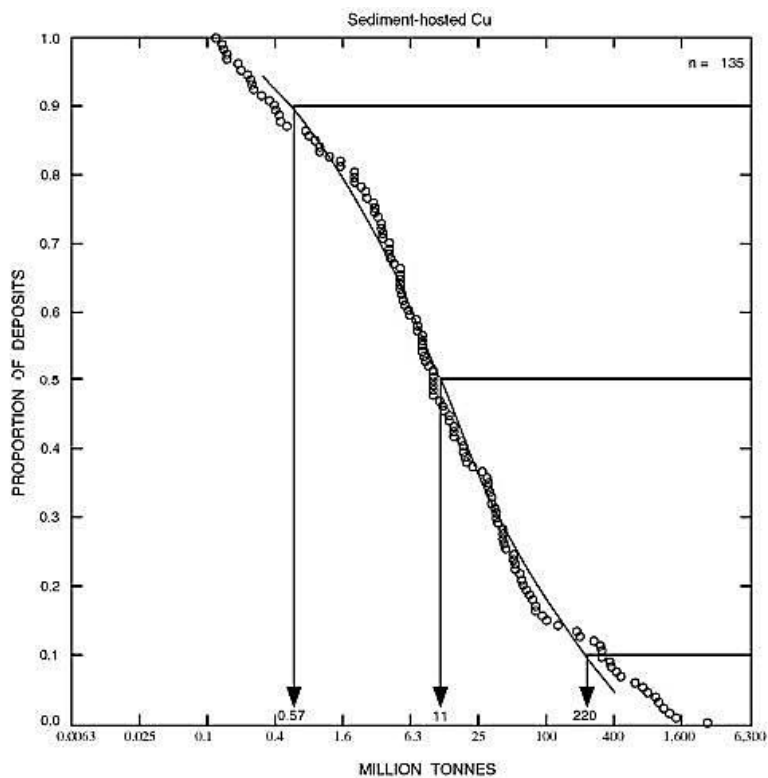
بر اساس شکل‌های ۷-۷ و ۷-۸ متوسط عیار بسیاری از نهشته‌های مس با میزبان رسوبی شامل ۱/۷٪ مس در نوع لایه قرمز، ۲/۳٪ در نوع رخساره احیایی و ۰/۷۹٪ در نوع ماسه‌سنگ احیایی، ۲۳ گرم بر تن نقره (موسیر و همکاران، ۱۹۸۶) و تقریباً ۲۰٪ از این نهشته‌ها به طور متوسط ۰/۲۴٪ کبالت دارند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷). تناژ متوسط کانسارهای مس رسوبی ۱۱ میلیون تن است. با این تفاوت که تناژ متوسط کانسارهای تیپ لایه قرمز ۱/۲ Mt، نوع رخساره احیایی تحلیل رفته ۳۳ Mt و نوع ماسه سنگ احیایی ۱۴ Mt می‌باشد. عیار میانگین کانسار مس بندقیچی ۱/۵٪ می‌باشد.

۷-۳-۱۰- هوازگی

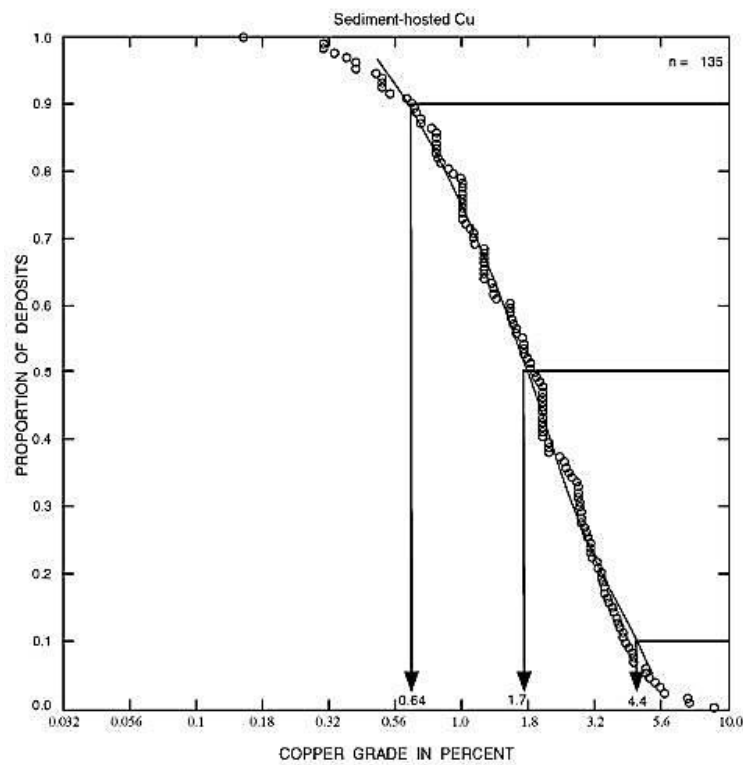
در رخنمون‌های سطحی نهشته‌های مس با میزبان رسوبی، حضور مالاکیت و آزوریت متداول است. اما در بعضی از سنگ‌های نفوذپذیر، رخنمون‌های سولفیدهای هوازده تا کربناته و هیدروکسیدی سطحی ممکن است به طور کامل شسته شود. کالکوسیت ثانویه غنی شده نزدیک سطح در بعضی از نهشته‌ها حضور دارد که دور از رخنمون‌ها در اثر آلتراسیون سوپرژن ممکن است صورت گیرد. اما در دیگر نهشته‌ها به دلیل میزان کم پیریت و محصولات اسیدی کم در طی هوازگی وجود ندارد.

۷-۳-۱۱- دگرسانی

در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، لایه‌های میزبان شسته شده، سفید تا خاکستری‌اند و احیای لکه‌ها و هاله‌ها پیرامون اجزای گیاهی متداول می‌باشند. هماتیت و کانی‌های رس‌دار جانشین کلریت و کلسیت آهن‌دار می‌شوند. کانی‌های دیاژنتیک اولیه و آواری حل می‌شوند و به وسیله کانی‌ها جانشین می‌شوند. رسوبات لایه قرمز به رنگ سفید تا خاکستری متمایل به سبز یا خاکستری روشن در جاهایی که در تماس با سیالات احیایی قرار می‌گیرند، سنگ‌های سفید، خاکستری و سبز غنی از کلسیت‌های آهن‌دار و کلریت در نتیجه واکنش سیالات احیایی با لایه‌های قرمز ایجاد می‌شوند.



شکل ۷-۷: تناژ نهشته‌های مس با میزبان رسوبی در جهان.



شکل ۷-۸: عیار مس در نهشته‌های مس با میزبان رسوبی در جهان.

۷-۴- انواع شاخص کانسارهای مس رسوبی لایه قرمز و جایگاه کانسار مس

بندقیچی

در جدول ۷-۴ کانسار مس بندقیچی با کانسارهای مس رسوبی لایه قرمز از جمله کانسار مس مارکشه در شمال غرب راور (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶)، کانسار مس شلیو در غرب لوت (اسلامی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱)، کانسار مس رسوبی اسفیز، قندو و قنچی در شمال غرب تربت حیدریه (میلویش و همکاران، ۱۳۹۳) و هم‌چنین با دو کانسار Nacimiento (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴) در نیومکزیکو و کانسار Lisbon valley (تورسون، ۲۰۰۵) در ایالت کلرادو به عنوان کلاس جهانی این کانسارها مقایسه شده است.

جدول ۷-۴: مقایسه کانسار مس بندقیچی با کانسارهای مارکشه و شلیپو، Lisbonvalley و Nacimiento (تیپ لایه قرمز).

کانسار	Lisbonvalley	Nacimiento	مارکشه	شلیپو	اسغیز، قندو و قنچی	بندقیچی
موقعیت	یوتا - آمریکا	نیومکزیکو - آمریکا	شمال غرب راور - ایران	غرب لوت، جنوب بلوک طبس، شمال - شرق بهاباد، ایران	شمال، شمال غرب تربت حیدریه، ایران	جنوب شرق ترود، جنوب شاهرود، ایران
سن	کرتاسه تحتانی	تریاس	ژوراسیک	ژوراسیک بالایی - کرتاسه زیرین	ائوسن - الیگوسن	الیگوسن
عناصر معدنی	Cu	Cu- Ag	Cu- (Ag)	Cu- (Ag)	Cu	Cu- Ag
ژئومتری	عدسی - همروند با لایه‌بندی	عدسی - همروند با لایه‌بندی	عدسی - همروند با لایه‌بندی	لایه‌ای	رگه - رگچه‌ای، عدسی، رول فرونت	رگه‌ای و لایه‌ای
سنگ میزبان	ماسه‌سنگ	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	ماسه‌سنگ و میکروکنگلومرا	لیتیک آرنایت - ساب آرنایت آهکی	ماسه‌سنگ و کنگلومرا	ماسه‌سنگ و کنگلومرا
کانی‌شناسی	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، تنوریت، گالن، کوپریت و اسفالریت	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکلا و نقره	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، کالکوپیریت، مالاکیت، کریزوکلا، آزوریت، تنوریت و (نقره)	کالکوسیت، کولیت، روتیل و مالاکیت	کالکوسیت، بورنیت، کولیت، دیزنیت، کوپریت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، کولیت، بورنیت، مس طبیعی، مالاکیت و آزوریت
عامل احیا	فسیل گیاهی، پیریت و مواد هیدروکربنی	فسیل گیاهی و پیریت دیازنتیکی	فسیل گیاهی و پیریت دیازنتیکی	فسیل گیاهی و پیریت، آریستوپیریت دیازنتیکی	پیریت، مگنتیت و واریزه‌های فسیل گیاهی	وجود مواد آلی و پیریت
عوامل کانه‌زایی	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و فسیلی، نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان	وجود عامل احیا و نفوذپذیری سنگ میزبان
محیط ته‌نشست	جزر و مدی	کم‌عمق	جزر و مدی	زیر سطح ایستایی	رودخانه‌ای	کم‌عمق
تیپ کانه‌زایی	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC	Red Bed SHC
منبع	Hahn and Thorson, 2005	Woodward et al., 1974 Cox and Heran, 1986	مهدوی و همکاران، ۱۳۸۶	اسلامی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱	میلویش و همکاران، ۱۳۹۳	تحقیق حاضر

۷-۵- نحوه تشکیل و مدل ژنتیکی

کانسارهای مس با میزبان رسوبی لایه قرمز در نتیجه یک مجموعه از فاکتورهایی که شامل منابعی از فلز و سولفور، منابعی از سیالات انتقال‌دهنده فلزات، مسیرهای انتقال سیالات، یک پمپ حرارتی یا هیدرولیکی به منظور حرکت سیالات انتقال‌دهنده فلزات و گوگرد و فرآیندهای فیزیکی و شیمیایی که در نهایت باعث ته‌نشینی سولفیدها می‌شود ایجاد می‌شوند. در ادامه هر یک از این پدیده‌ها در رابطه با کانسار بندقیچی به اختصار مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

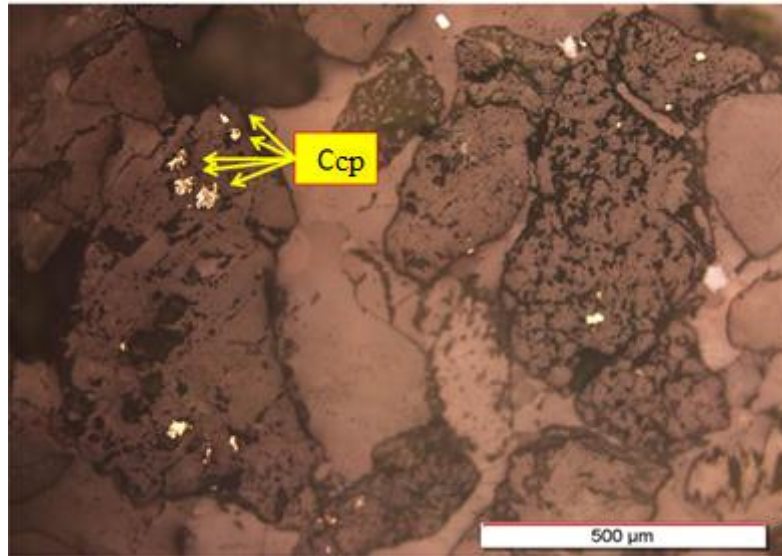
۷-۵-۱- منشأ فلزات

در کانسارهای مس با میزبان رسوبی لایه قرمز، فلزات ته‌نشین شده از شورابه شور اکسیدی درجه حرارت پایین از مرز اکسیداسیون- احیا با رنگ روشن بین لایه‌های خاکستری میزبان و رسوبات لایه قرمز نابالغ پرکننده حوضه‌های ریفتی قاره‌ای به چرخش در می‌آید. فلزات در درجه حرارت‌های کم تا متوسط و توسط سیالات آبدار با شوری زیاد تا متوسط انتقال می‌یابد. منشأ فلزات در این نهشته‌ها، سنگ‌های رسوبی لایه قرمز قاره‌ای می‌باشند که به طور نرمال در زیر نهشته مس چینه‌سان و چینه‌کران قرار گرفته است (دیویدسون، ۱۹۶۵). طبقات قرمز منشأ این فلزات دارای نفوذپذیری بالا بوده که در بخش‌های تحتانی و یا به صورت بین‌لایه‌ای با طبقات احیایی نهشته‌های مس چینه‌سان قرار دارند (وایت، ۱۹۶۸؛ لاستورک^۱ و رز، ۱۹۸۳).

طبقات قرمز به طور معمول حاوی کانی‌های ناپایداری نظیر پیروکسن، بیوتیت، هورنبلند، مگنتیت و فلدسپات می‌باشند که حاوی مقادیر جزئی از مس هستند (والکر، ۱۹۶۷، ۱۹۷۸، ۱۹۸۹). در کانسارهای مس رسوبی و در طی فرآیند دیاژنز اولیه، هیدرولیز کانی‌های سیلیکاته مانند پلاژیوکلاز، هورنبلند و بیوتیت موجب آزاد شدن آهن موجود در شبکه آن‌ها به صورت هیدروکسید فریک آهن می‌گردد که با تجمع در پیرامون دانه‌های آواری باعث سرخ شدن رسوبات در مرحله اولیه دیاژنز

¹ Lustwerk

می‌گردد (والکر، ۱۹۸۹). هم‌چنین در طی دیاژنز اولیه و در اثر تخریب مواد آلی، اسید هومیک ایجاد می‌شود و در محیط اسیدی ناشی از آن تخریب برخی از کانی‌های سیلیکاته ادامه می‌یابد. در اثر تخریب کانی‌های سیلیکاتی، جانشینی پلاژیوکلاز توسط پتاسیم فلدسپات در جازا و نیز شسته شدن بیوتیت، عناصر فلزی موجود در شبکه آن‌ها آزاد و این عناصر توسط هیدروکسید آهن و اسمکتیت موجود در زمینه رسی ماسه‌سنگ جذب می‌شوند (براون، ۲۰۰۳). در مراحل بعدی دیاژنز، طی تبلور و بلوغ اکسیدهای آهن بی‌شکل و تبدیل آن‌ها به هماتیت و هم‌چنین تبدیل اسمکتیت به ایلیت، محتوای فلزی درون این کانی‌ها آزاد و وارد سیال اکسیدان می‌شوند و می‌توانند توسط آن حمل شوند. در منطقه بندقیچی اجزاء و قطعات آواری از جنس‌های مختلف حاوی مس و دیگر فلزات توسط عوامل مختلف از جمله آب‌های سطحی از بخش‌های اطراف منطقه حمل و در ترکیب سنگ‌های رسوبی تخریبی مانند کنگلومرا و ماسه‌سنگ قرار گرفته‌اند و در مرحله دیاژنز در اثر تماس با آب‌های اسیدی و عمل شستشو مس درون این اجزا آزاد شده و توسط سیالات اکسیدکننده حمل می‌گردد و در مرز محیط‌های اکسیداسیون و احیا به دلیل شرایط احیایی محیط ته‌نشین می‌شوند. در کانسار مس بندقیچی با توجه به گسترش گدازه‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه مجاور کانسار، فراوانی اندیس‌ها و کانسارهای مس در منطقه و هم‌چنین حضور قطعات آتشفشانی حاوی کانی‌های مس‌دار (کالکوپیریت و مالاکیت) در واحدهای کنگلومرایی میزبان می‌تواند با احتمال زیاد منشأ مس را به این واحدهای آتشفشانی نسبت داد (شکل ۷-۹). مس موجود در این واحدها در اثر تماس با آب‌های اسیدی و از طریق فرآیند شستشو آزاد می‌گردد.



شکل ۷-۹: تصویری از حضور کانی کالکوپیریت در قطعات سنگی متشکله واحدهای کنگلومرایی میزبان.

۷-۵-۲- منشأ سولفور

در مدل‌های دیاژنتیکی نهشته‌های مس چینه‌سان با میزبان رسوبی منبع مهم سولفور، کانی‌های سولفات تبخیری و پیریت دیاژنتیک در رسوبات میزبان است و احیای باکتریایی سولفات در طی دیاژنز اولیه رسوبات میزبان مهم است. گوگرد ممکن است از تبخیری‌های دریایی یا دریاچه‌ای و احیای آب دریا حاصل شود.

در حوضه‌های رسوبی چندین منشأ برای گوگرد وجود دارد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵)، که عبارت است از:

۱- سولفاتی که مستقیماً از آب دریا به دست می‌آید: در بعضی از کانسارها، سولفیدهای مس در عمق بسیار کم تشکیل می‌شوند. در این حالت سولفات موجود در آب دریا، توسط باکتری‌های احیاکننده سولفات ایجاد می‌گردد. به طور کلی احیای باکتریایی سولفات قبل از دفن رسوبات و در عمق کم صورت می‌گیرد.

۲- سولفیدهای دیاژنتیکی: H_2S ایجاد شده در مجاورت Fe^{2+} محلول، در اطراف بخش‌های دارای مواد آلی باعث تشکیل FeS شده که در نهایت توسط پیریت جانشین می‌شود و پیریت دیاژنتیکی را می‌سازد. به همین دلیل در کانسارهای مس رسوبی، پیریت دیاژنتیکی در مکان‌هایی دیده می‌شود که مواد آلی فراوانی بیشتری دارند.

۳- سولفید هیدروژن موجود در نفت: H_2S حاصل از تجزیه مواد نفتی علاوه بر احیای محیط نقش مهمی را در تأمین گوگرد ایفا می‌کنند. وجود مواد نفتی در بین واحدهای ماسه‌سنگی میزبان کانه‌زایی نقش اصلی را در تأمین گوگرد و ته‌نشست سولفیدها ایفا نموده است. نقش مواد نفتی به عنوان منبع گوگرد در کانسار کوپفرشیفر و نوار مس زامبیا مورد توجه قرار گرفته است.

۴- سولفات موجود در شورابه‌های حاصل از انحلال تبخیری‌ها: سولفات موجود در واحدهای تبخیری توالی لایه قرمز در طی دیاژنز پیشین می‌تواند توسط باکتری‌های بی‌هوازی احیا شود. در این حالت این باکتری‌ها انرژی خود را از مواد آلی موجود در رسوبات تأمین می‌کنند. باکتری‌های احیاکننده سولفات باعث ایجاد H_2S می‌شود. در نتیجه وجود واحدهای تبخیری، در نهشته‌های مرتبط با توالی لایه قرمز نقش مهمی را در تأمین گوگرد جهت کانه‌زایی مس ایفا می‌کند (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵).

در کانسار مس رسوبی بندقیچی منشأ سولفور را می‌توان به حضور گسترده کانی‌های سولفات‌ها از جمله ژیپس و سلسیت نسبت داد. هم‌چنین وجود گسترده واحدهای تبخیری به دلیل حاکم بودن شرایط گرم و خشک نقش مهمی را جهت تأمین گوگرد در منطقه جهت کانه‌زایی مس ایفا می‌کند. واحدهای تبخیری در منطقه بندقیچی می‌توانند حل شوند و شورابه‌های غنی از سولفات را پدید آورند که در اثر احیایی باکتریایی این سولفات‌ها، H_2S ایجاد می‌گردد که منبع مهمی برای گوگرد خواهد بود.

۷-۵-۳- تله‌های فلزی^۱

مطالعات ژئوشیمیایی و ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که عامل احیا، اولین عامل ته‌نشینی در نهشته‌های مس چینه‌سان با میزبان رسوبی می‌باشد (کرخام، ۱۹۸۹؛ براون، ۱۹۸۹؛ رز، ۱۹۷۶). عوامل احیا در حوضه‌های رسوبی میزبان این نهشته‌ها شامل مواد آلی، هیدروکربن‌های متحرک و سولفیدهای از قبل موجود از جمله پیریت دیاژنتیک می‌باشد (هیتزمن و همکاران، ۲۰۰۵). دیاژنز پیریت یک عامل احیای مشخص برای تعداد زیادی از نهشته‌ها می‌باشد. در این نهشته‌ها یک عامل احیا برجا می‌تواند از طریق تجزیه مواد آلی در شیل‌های کربناته و سیلتستون ایجاد شود مانند کوپفرشیفر، وایت‌پاین میشیگان و کانسارهای مس زامبیا- زئیر. خرده‌های چوبی گیاهی موجود در لایه‌های قرمز کانسار Nacimiento (وودوارد و همکاران، ۱۹۷۴)، شرایط احیایی مناسب جهت ته‌نشست فلزات را ایجاد نموده است. در کانسار مس بندقیچی وجود مواد آلی و همچنین حضور سولفیدهای دیاژنتیک از جمله پیریت نقش مهمی را در احیای محیط جهت ته‌نشست سولفیدها ایفا نموده‌اند.

۷-۵-۴- نوع، منشأ و حرکت سیال

از نظر ژنتیکی، کانسارهای مس با میزبان رسوبی به وسیله اختلاط سیال در رسوبات نفوذپذیر و به میزان کم‌تر در سنگ‌های آذرین رخ می‌دهند. دو نوع سیال در تشکیل این نهشته‌ها نقش دارند (کاکس و همکاران، ۲۰۰۷):

۱- یک شورا به اکسیدی که مس را به صورت کمپلکس کلریدی حمل می‌کند.

۲- یک سیال احیایی که در حضور باکتری‌های احیا کننده سولفات غیر هوازی ایجاد می‌شود. سیالات کانه‌زا در این نهشته‌ها دارای درجه حرارت ۴۰۰-۵۰ درجه سانتی‌گراد، شوری متوسط تا زیاد و دارای ترکیبات شیمیایی از جمله سدیم، کلسیم، پتاسیم و منیزیم می‌باشند که در اثر فرآیندهای بیولوژیکی و غیر بیولوژیکی شکل گرفته‌اند. از جمله عواملی که سبب تحرک سیالات در این نهشته‌ها

¹ Metal traps

می‌شود می‌توان به فشردگی، تغییرات سطح دریا و جریان گراویده به سمت پایین در میدان‌های رسوبی اشاره نمود.

ساده‌ترین مدل ژنتیکی که برای منشأ نهشته‌های مس چینه‌سان با میزبان رسوبی ارائه شده عبارت است از:

۱- یک شورابه کلریدی درجه حرارت پایین اکسیدی که مس را از کانی‌های ناپایدار تشکیل‌دهنده لایه‌های قرمز کم‌پایین می‌شوید.

۲- گردش شورابه مس‌دار از میان لایه‌های آبدار قرمز درشت‌دانه و ورود به لایه‌های احیایی ریزدانه خاکستری که در بخش‌های فوقانی قرار گرفته‌اند.

۳- ته‌نشینی سولفیدهای مس‌دار انتشاری در لایه‌های خاکستری در واکنش با سولفیدها (بویلی و همکاران، ۱۹۸۹؛ کرخام، ۱۹۸۹، ۱۹۹۵؛ براون، ۱۹۹۲، ۱۹۹۷).

برای تشکیل یک کانسار مس با میزبان رسوبی وجود ۴ شرط اساسی می‌باشد:

۱- بایستی یک سنگ منشأ اکسیدی وجود داشته باشد. این سنگ‌ها بایستی هماتیته باشند و شامل کانی‌های فرومنیزین یا قطعاتی از سنگ‌های مافیک که بتوانند مس را در نتیجه شستشو آزاد کنند. در زامبیا عقیده بر این است که سنگ منشأ مس یک نهشته مس پورفیری اولیه است که دچار فرسایش شده است. سنگ‌های منشأ تیپیک شامل ماسه‌سنگ قرمز، شیل، کنگلومرا و سنگ‌های آتشفشانی خشکی می‌باشند. شستشوی مس از سنگ منشأ در pH نسبتاً کم توسط معادله زیر توصیف می‌شود:



۲- بر طبق معادله بالا بایستی یک منبع از شورابه به منظور حرکت و مهاجرت مس وجود داشته باشد. تبخیری‌هایی که به صورت بین لایه‌ای با لایه‌های قرمز قرار گرفته‌اند در بسیاری از نهشته‌ها به عنوان منبع شورابه عمل می‌کنند. اما می‌توان گفت در هر محیط رسوبی که میزان تبخیر بیشتر از

بارندگی باشد شورابه ایجاد خواهد شد. شورابه‌ها هم‌چنین ممکن است از طریق تبخیر آب در جاهایی که ارتباط با دریای باز به صورت دره‌های ریفتی محصور شده است نیز صورت گیرد. شورابه‌ها به طور کلی غنی از سدیم، پتاسیم، کلسیم و منیزیم می‌باشند که در اثر شستشوی رس‌ها، سولفات‌ها و کربنات‌ها حاصل شده است. در بسیاری از بخش‌های جهان انطباق مستقیمی بین نهشته‌های تبخیری با کانسارهای مس چینه‌کران با میزبان رسوبی فانروزوئیک وجود دارد و هم‌چنین شورابه‌ها از تبخیری‌هایی مشتق شده‌اند که نقش حمل‌کننده مس و دیگر فلزات را بر عهده داشته‌اند (دیویدسون، ۱۹۶۵). بسیاری از نهشته‌های بزرگ مس با میزبان رسوبی در ارتباط با تبخیری‌ها و لایه‌های قرمز می‌باشند. بسیاری از نهشته‌های مس لایه قرمز نزدیک لایه‌های تبخیری می‌توانند شورابه‌های کلردار را تشکیل دهند. رها شدن شورابه‌ها از رسوبات دریایی نزدیک لایه‌های قرمز در طی فشردگی رسوبات یا در محیط‌های تکتونیکی صورت می‌گیرد.

۳- بایستی یک منبع از سیالات احیایی وجود داشته باشد تا مس را ته‌نشین کند و نهشته مس با میزبان رسوبی را شکل دهد. سیالات احیایی از شیل‌های غنی از مواد آلی و سنگ‌های کربناته، هیدروکربن‌های گازی یا مایع در رسوبات میزبان و یا هر سیال رسوبی در تعادل با پیریت ایجاد می‌شوند.

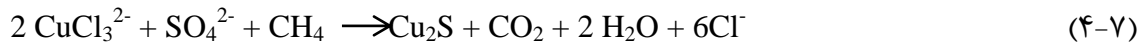
میزان پیریتی که به طور تیپیک در شیل‌های سیاه وجود دارد قادر به تولید همه گوگرد در نهشته‌های مس پرعیار نخواهد بود. یک منبع فراوان از سولفید از طریق احیای سولفات به وسیله کانی‌های کربن‌دار و توسعه فعالیت‌های باکتریایی در رسوبات ایجاد شده است.



واکنش کمپلکس‌های کلریدی با سولفید، کالکوسیت را ایجاد می‌کند:



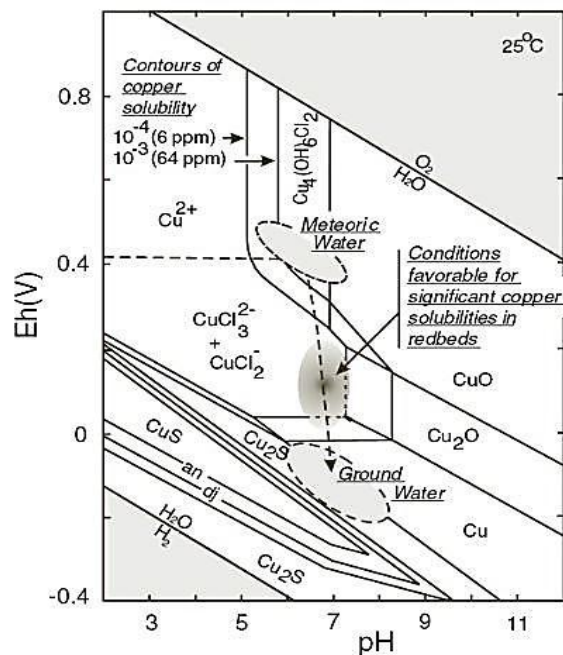
یون سولفات در شورابه‌های حاصل از تبخیری‌ها فراوان است و ممکن است همراه محلول‌های اکسیدی غنی از مس باشند. جایی که این شورابه‌ها با سیالات احیایی ترکیب شده‌اند و نتایج آن بر طبق معادله زیر توصیف شده‌اند.



فعالیت باکتریایی احیاکننده سولفات نیازمند انجام این واکنش نزدیک درجه حرارت‌های سطحی می‌باشد.

۴- بایستی شرایط مناسبی برای اختلاط سیال وجود داشته باشد. نفوذپذیری قبل از سنگ‌شدگی در شیل‌ها مکان‌های مناسبی را برای اختلاط سیالات فراهم می‌کنند. فشار سیالات که از فشردگی رسوبات نتیجه می‌شود فاکتور مهمی برای اختلاط سیالات می‌باشند. این نهشته‌ها عمدتاً در حاشیه حوضه‌ها جایی که امکان اختلاط بیشتر است واقع شده‌اند. گسل‌ها و چین‌خوردگی‌ها ممکن است یک فشار بار هیدرولیکی ایجاد کنند که تأمین‌کننده یک سیال برای نفوذ به محل دیگری می‌باشد. به‌هم‌ریختگی توالی‌های رسوبی به وسیله نفوذ نمک می‌تواند هم‌چنین اختلاط سیالات را باعث شود. (اویلا- سالیناس، ۱۹۹۰). یک سنگ میزبان نفوذپذیر با فضاهای باز دیگر بایستی در سیال وجود داشته باشد تا اختلاط سیال صورت گیرد. در کانسارهای مس با میزبان رسوبی، وجود لایه‌های قرمز از سه نظر مهم است. اول اینکه در صورت وجود رسوبات تخریبی دارای قطعات سنگ مافیک و یا کانی‌های فرومنیزین این رسوبات می‌توانند به عنوان منبعی برای شستشوی عنصر مس از سنگ به حساب آیند، در این صورت لایه‌های قرمز به عنوان منشأ تأمین‌کننده عنصر مس می‌توانند مطرح باشند. دوم آن‌که لایه‌های قرمز به دلیل داشتن میان‌لایه‌های تبخیری مناسب، می‌توانند به عنوان تأمین‌کننده شوری لازم برای سیال حمل‌کننده مس در این لایه‌ها به شمار آیند که سبب تسهیل مهاجرت عنصر مس است. سوم آن‌که در صورتی که منشأ عنصر مس و سیال با شوری مناسب در خارج از این لایه‌ها باشد، این لایه‌ها به دلیل وجود شرایط اکسیدان، محیط مناسبی برای پایداری و

مهاجرت کمپلکس‌های دارای عنصر مس تا مسافت‌های زیاد می‌باشند. تفاوت در شیمی محلول‌ها مخصوصاً pH و درجه حرارت ممکن است حرکت واحدهای فلزی مختلف (مس، نقره، کبالت، سرب، روی، مولیبدن و طلا) را کنترل کند. در بسیاری از آب‌های اکسیدی نرمال قابلیت انحلال مس در مقدار pH مناسب کمتر از ۱ پی‌پی‌ام است. بنابراین این آب‌ها تقریباً در انتقال مس تأثیر زیادی ندارند. از آنجایی که یون مس (Cu^+)، کمپلکس‌های یونی CuCl_2^- ، CuCl_3^{2-} را شکل می‌دهد باعث انحلال ۱۰۰ پی‌پی‌ام مس در نیم میلی لیتر کلر در Eh متوسط در میدان پایداری هماتیت در $\text{pH} = 2$ می‌شود. مس تقریباً در آب‌های طبیعی و تازه غیر محلول است و به صورت کمپلکس‌های کلریدی مس‌دار در شورابه‌های کلریدی در حالت اکسیداسیون میانه در درجه حرارت پایین محلول است (شکل‌های ۷-۱۰). در کانسار مس بندقیچی منشأ سیال شورابه‌های محلول در حوضه رسوبی، آب‌های محبوس بین دانه‌ای، چرخه هیدروترمالی منشأ گرفته از سنگ‌های آتشفشانی منطقه و جریان آب زیرزمینی در واحدهای سنگی میزبان و عامل حرکت سیال تراکم و فشردگی رسوبات، درجه حرارت که سبب ایجاد چرخه هیدروترمال شده است و اختلاف پتانسیل آب در بخش‌های مختلف، می‌باشد.



شکل ۷-۱۰: محدوده مناسب جهت انحلال مس به صورت کمپلکس‌های کلریدی در یک شورابه دما پایین، بهترین شرایط برای حمل کلرید مس $pH=7$ و Eh پایین‌تر از آب جوی (که با مصرف مقداری از اکسیژن موجود در آب‌های جوی در فرآیند قرمز شدن رسوبات حاصل می‌شود) و بالاتر از شورابه‌های زیرزمینی (که در حضور لایه‌های تبخیری به دست می‌آید) می‌باشد (براون، ۲۰۰۵).

۶-۷- پیشنهاد اکتشافی

۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی- معدنی بزرگ مقیاس $1/6000$ و یا $1/10000$ بسته به مساحت رخنمون‌های سنگی

۲- حفر ترانشه‌های اکتشافی و برداشت‌های زمین‌شناسی و معدنی ترانشه‌ها

۳- انجام مطالعات گسترده ژئوفیزیکی زمینی به روش‌های IP و RS در کل منطقه مورد مطالعه

۴- حفر گمانه‌های اکتشافی، مغزه‌گیری و مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و شیمیایی مغزه‌ها

۵- انجام مطالعات دقیق ایزوتوپی (ایزوتوپی گوگرد و استرانسیم) به منظور پی بردن به منشأ سیال

کانه‌دار، منشأ گوگرد و محیط ته‌نشست کانسار

منابع

منابع فارسی

- آقازاده، م.، بدرزاده، ز.، (۱۳۸۹)، "معرفی افق‌های کانه‌زایی مس رسوبی در ایران"، بیست و نهمین گردهمایی علوم زمین.
- آقاباتی، ع.، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران، وزارت صنایع و معادن، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور"، ۵۸۶ صفحه.
- اسلامی زاده، ع.، سامانی راد، ش.، حسن‌پور، ش.، (۱۳۹۱) "تشکیل مس رسوبی چینه‌کران در ماسه‌سنگ‌های شلپو واقع در غرب لوت"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست، سال ششم، شماره ۱۸.
- امام جمعه، ا.، (۱۳۸۵) پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی شمال غرب تروود، استان سمنان"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۸۵ صفحه.
- اشرفی، ع.، جعفریان، م.ج.، (۱۳۷۴) "گزارش اکتشاف سرب و روی چاه‌شیرین در منطقه معلمان، جنوب شرق سمنان"، سازمان صنایع و معادن استان سمنان.
- باقرزاده، ز.، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار منگنز ربیعی تروود جنوب شاهرود"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شاهرود.
- بدرزاده، ز.، (۱۳۸۸)، رساله دکتری: "پتروولوژی و ژئوشیمی گدازه‌های بالشی بازالتی شمال غرب جیرفت با نگرشی ویژه بر کانه‌زایی مس- روی (VMS) همراه آن‌ها"، دانشگاه تربیت مدرس.
- بشارتی، س.، ذاکری، ل.، فتاحی، ش.، (۱۳۸۵)، "بررسی مینرالیزاسیون و ژنز کانسار مس قزل‌داش خوی (استان آذربایجان غربی)"، چهاردهمین همایش بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران.
- بویری کناری، م.، (۱۳۸۹)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تیپ مس کشت مهکی، شمال باختر صفاشهر (استان فارس)"، دانشگاه تربیت مدرس.
- بهزادی، م.، (۱۳۷۳)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس قبله بولاغ واقع در منطقه طارم سفلی- استان زنجان"، دانشگاه شهید بهشتی.

- پورحسینی، ف.، (۱۳۶۲)، " پژوهشی در منشأ توده‌های آذرین ایران زمین، بررسی ژرف توده‌های نفوذی نطنز و بزمان"، گزارش شماره ۵۳، سازمان زمین‌شناسی کشور.
- پورشعبان، ا.، خاکزاد، ا.، ابراهیمی، ا.، (۱۳۸۹)، " مطالعات کانه‌نگاری و لیتوژئوشیمیایی در کانسار مس رگه‌ای کلاته مهران سمنان"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره چهارم.
- تاتاری، ا.، شیبی، م.، موسیوند، ف.، (۱۳۹۰)، "نتایج تحقیقات مقدماتی بر روی توده نفوذی و اسکارن آهن لجنه (جنوب شرق شاهرود)"، مجموعه مقالات سی امین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- جعفریان، ع.، (۱۳۶۸)، پایان نامه کارشناسی ارشد " بررسی پترولوژی قوس ولکانوپلوتونیک رشته کوه زر- ترود و مجموعه‌های کانه‌زایی وابسته"، دانشگاه تهران.
- خادمی، م.، (۱۳۸۶)، رساله دکتری: " ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ص.
- خوئی، ن.، قربانی، م.، تاجبخش، پ.، (۱۳۷۸)، "کانسارهای مس در ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور"، ۴۲۱ص.
- رجب پور، ش.، عابدینی، ع.، علی پور، ص.، ذاکری، ل.، (۱۳۹۲) " بررسی کانی‌سازی و منشاء مس چینه‌سان در منطقه چشمه کنان تسوج، استان آذربایجان شرقی"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول.
- سامانی، ب.، (۱۳۸۱)، "متالوژی کانسارهای مس (نوع مانتو) در ایران"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.
- سپهری‌راد، ر.، (۱۳۸۸)، "گزارش پی‌جویی مس رسوبی در محور کدکن - ششتمد (شمال تربت‌حیدریه)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شاهوردی، م.، (۱۳۸۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد: " بررسی زمین‌شناسی اقتصادی اندیس مس علی نرخه، جنوب شرق ترود"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات.
- شرکت مهندسی گوهر سنگ کویر، (۱۳۹۰)، "گزارش توجیهی عملیات و اکتشافات مس بند قیچی،

جنوب شرق ترود".

- شهاب پور، ج.، (۱۳۸۰)، "زمین شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ۵۴۳ ص.
- صادقی فلک‌دهی، ص.، (۱۳۸۲)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی اقتصادی کانسار چاه موسی در شمال غرب ترود سمنان"، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال، ۱۹۴ ص.
- طالع ماسوله، س.، قربانی، م.، حکیمی آسیابر، س.، (۱۳۸۹)، "مطالعه زمین شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله، شمال غرب ترود سمنان"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره اول.
- علوی، م.، حقی پور، ا.، (۱۳۵۵)، "نقشه زمین شناسی ترود، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین شناسی ایران".
- عنایتی کولایی، س.، یزدی، م.، مختاری، ع. ا.، (۱۳۹۰)، "کانی سازی مس در سنگ‌های رسوبی میوسن در منطقه تازه‌کند (شمال تبریز)"، سی‌امین گردهمایی علوم زمین.
- قربانی، م.، (۱۳۸۱) "دیبچه ای بر زمین شناسی اقتصادی ایران"، انتشارات سازمان زمین شناسی، ۶۹۵ ص.
- قربانی، ق.، (۱۳۸۴)، رساله دکتری: "پترولوژی و پتروژنز سنگ‌های آذرین جنوب شرق دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
- قربانی، م.، (۱۳۸۶)، "زمین شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران، انتشارات آریین زمین"، ۳۶۲ ص.
- کریم پور، م. ح.، حیدریان شهری، م. ر.، ملک‌زاده سفارودی، آ.، (۱۳۸۳)، "آشکار سازی زون‌های کانی سازی مسیوسولفید تکنار با کاربرد حساسیت مغناطیسی و مگنتومتری"، دوازدهمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- مغفوری، م.، (۱۳۹۰)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه زایی مس در توالی آتشفشانی- رسوبی کرتاسه پسین در جنوب غرب سبزوار با تاکید بر کانسار نوده، دانشگاه تربیت مدرس".

- ملک‌زاده، آ.، کریم‌پور، م.، مظاهری، ا.، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی، دگرسانی، کانی‌سازی و ژئوشیمی منطقه مس-طلای ماهرآباد، خراسان جنوبی، مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران، سال هفدهم، از صفحه ۶۳۹ تا ۶۵۴.

- منظمی میرعلیپور، ع.، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژنز سولفید توده‌ای مس شیخ عالی"، دانشگاه تربیت مدرس.

- موسیوند، ف.، راستاد، ا.، امامی، ا.، (۱۳۸۱)، "کانه‌زایی سولفید توده‌ای مس-روی (نقره) در مجموعه آتشفشانی-رسوبی سوریان در منطقه بوانات در پهنه سندرچ-سیرجان"، بیست و یکمین گردهمایی علوم زمین.

- موسیوند، ف.، (۱۳۸۲)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانه‌زایی مس در مجموعه آتشفشانی-رسوبی سوریان در منطقه بوانات، استان فارس"، دانشگاه تربیت مدرس.

- موسیوند، ف.، (۱۳۸۹)، رساله دکتری "زمین‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار روی-سرب-مس چاه‌گز در جنوب شهر بابک و مقایسه آن با کانسار سولفید توده‌ای مس-روی-نقره بوانات در پهنه سندرچ سیرجان جنوبی"، 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 شمال غرب راور"، بیست و ششمین گردهمایی علوم زمین.

- مهرابی، ب.، فاضلی، آ.، (۱۳۸۰)، "بررسی تیپ کانه‌زایی مس در کانسار و شنه جنوب استان قم"، بیستمین گردهمایی علوم زمین.

- مهرابی، م.، قاسمی سیانی، م.، (۱۳۸۹)، "کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه حافظ، استان سمنان"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، شماره اول.

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

- میلیویش، ز.، موسیوند، ف.، سپهری راد، ر.، (۱۳۹۲)، "کانه‌سازی مس رسوبی نوع redbed در سنگ‌های تخریبی الیگوسن در شمال-شمال غرب تربت‌حیدریه و افق‌های کانه‌دار آن"، سی و

دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، تهران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشاف معدنی کشور.

- هوشمندزاده، ا.، علوی نائینی. م.، حقی پور. ا.، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده های زمین شناسی ناحیه تروود (از پرکامبرین تا عهد حاضر)، سازمان تحقیقات زمین شناسی و معدنی کشور"، ۱۳۸ص.

References

- Adkins A.R.,(1993) "Geology of the Montanore stratabound Cu-Ag deposit, Lincoln and Sanders Counties, Montana: Montana Bureau of Mines and Geology" Open File Report 381, 3 p.
- Alavi M., (1994) "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations":**Tectonophysics**, 229, p.211-238.
- Alavi M., (1972) " Etude geologique de la region de Djam" G.S.I.Report: No.23.
- Annels A.E., (1989) "Ore genesis in the Zambian Copperbelt with particular reference to the northern sector of the Chambishi Basin", in Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V. eds., Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada Special Paper 36. p. 427-452.
- Avila-Salinas W., (1990) "Origin of the copper ore at Corocoro, Bolivia" in Fontbote, Amstutz G. C., Cardozo M., Cedillos E. and Frutas J., eds., Stratabound Ore Deposits of the Andes: Berlin-Heidelberg, Springer Verlag, p. 659-670.
- Balla J.C.,(1993) "Geology of theRock Creek deposit, Sanders County, Montana", in Belt Symposium III, August 14-21, 1993, Whitefish, Montana, Program and abstracts: Belt Association, Inc., Spokane, Washington, unpaginated.
- Bartholome P., Evrard P., Katekesha F., Lopez-Ruiz J. and Ngongo M., (1976) "Diagenetic ore-forming processes at Kamoto, Katanga, Republic of Congo", in Amstutz G. C. and Barnard A. J., eds., Ores in sediments: New York, SpringerVerlag, p. 21-42.
- Bates, R.L Jackson, J. A., (1980), "Glossary of geology. American Geological Institute", Falls church, Virginia, 751p.
- Bhatia M.R., Crook K.A.W., (1986) " Trace element characteristics of greywackes and tectonic setting discrimination of sedimentary basins", **Contribution to Mineralogy and Petrology** 92:181– 193.

-
- Boily M., (2013) "The Samalayuca stratiform sediment-hosted copper mineralization", North Chihuahua State, Mexico, **Technical**, Report, from 43-101F1.
 - Bolodin R.N., Chechetkin V.S., Bogdanov Yu.V., Narkelyun L.F. and Trubachev A.I., (1994) "The Udokan cupriferous sandstone deposits (Eastern Siberia)": *Geologiya Rudnykh Mestorozhdenii*, Tom 36, p.3-30 (in Russian).
 - Brown A.C., (1989) "Sediment-hosted copper deposits: deposit-type name and related terminology", in Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V., eds., *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada, Special Paper 36*, p. 39-52.
 - Brown A.C., (1992) "Sediment-hosted stratiform copper deposits": *Geoscience Canada*, v. 19, no. 3, p. 125–141 (reprinted in Sheahan, P.A., and Cherry, M.E., eds., *Ore deposit models, Volume 2, Geological Association of Canada Reprint Series 6*, 1993, p. 99–115).
 - Brown A.C., (1997) "World-class sediment-hosted stratiform copper deposits: Characteristics, genetic concepts and metallogenesis": **Australian Journal of Earth Sciences**, v. 44, p. 317–328.
 - Brown A.C., (2003) "Redbeds: Source of metals for sediment-hosted stratiform copper, sandstone copper, sandstone lead, and sandstone uranium-vanadium deposits": **Geological Association of Canada Geotext** 4, p. 121–133.
 - Brown A.C., (2005) "Refinements for footwall red-bed diagenesis in the sediment-hosted stratiform copper deposits model". **Economic Geology** 100:765–771.
 - Bruno C.B., (1995) "A mineralogical and geochemical study of the sandstone-hosted stratiform copper deposits at Sierra de Samalayuca, Chihuahua, Mexico". MSc. thesis, University of Colorado at Boulder; 219 pp.
 - Cabri L.J., Campbell J.H.G., Leigh R.G., Maxwell J.A., Scott J.D., (1985) "Protomicroprobe analysis of trace elements in sulfides from some massive sulfide deposits": **Canadian Mineralogist**, v.23,p.133-148.
 - Chartrand F.M., Brown A.C. and Kirkham R.V., (1986) "Diagenesis, sulphides, and metal zoning in the Redstone copper deposit, Northwest Territories", in Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V. eds., *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada Special Paper 36*. p. 189-206.
 - Cox K. G., Bell J.D. and Pankhurst R. J., (1979) "The interpretation of igneous rocks" Unwin Hyman, London, and 450p.

-
- Cox D. P., Lindsey D. A., Singer D. A. and Diggles M.F., (2003) "Sediment-hosted copper deposits of the world: deposit models and database" US Geological Survey, Open-file report 03-107, 50 p.
 - Cox D.P., Lindsey D.A., Singer D.A., Moring B.C., Diggles M.F.,(2007) "Sediment-Hosted Copper Deposits of the World: Deposit Models and Database". USGS Open File Report, 03-1017; 53 pp.
 - Craig G.R. and Vaughan P., (1994) "Ore Microscopy and Ore Petrography". John Wiley and Sons, 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p. Craige J. R., Vokes F.M. and Solberg T. N., (1998) Pyrite: physical and chemical texture. Min. Dep., 34: 82- 101.
 - C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V., (eds) Sediment-hosted stratiform copper deposits. Geol Assoc Can Special Paper 36:85–96.
 - Das B.K., AL-Mikhlaifi A.S. and Kaur P., (2006) "Geochemistry of Mansar Lake sediments, Jammu, India: Implication for source-area weathering, provenance, and tectonic setting". **Journal of Asian Earth Science**, 26: 649-668.
 - Davidson C.F., (1965) "A possible mode of origin of strata-bound copper ores": **Economic Geology**, 60, p. 942-954. V.
 - Dickinson W.R., (1985) "Interpreting provenance relation from detrital modes of sandstones", In: Zuffa G.G. (Ed.), Provenance of Arenites, Reidel, Dordrecht, p. 333–363.
 - Flint S. S., (1989) "Sediment-hosted stratabound copper deposits of the Central Andes" in Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V., Sediment-hosted stratiform copper deposits, Geological Association of Canada Special Paper 36, p. 371-400.
 - Folk R. L., (1974a) "Petrology of Sedimentary rocks , Hemphill, Austin, Texas, 159 p. 33- Gablina I.F., (1981) " New data on formation conditions of the Dzhezkazgan copper deposit": International Geology Review, v. 23, no. 11, p. 1303-1311.
 - Gateneh W., (2000) " Geochemistry provenance and depositional tectonic setting of the Adigrat Sandstone northern Ethiopia". **Journal of African Earth Sciences** ,35, pp. 185-198.
 - Gu X.X., Liu J.M., Zheng M.H., Tang J.X. and Qi L., (2002) "Provenance and tectonic setting of the Proterozoic turbidites in Hunan, south China": Geochemical evidence. **Journal of Sedimentary Research**, 72: 393-407.

-
- Hardie L.A., Smoot J.P. and Eugster H.P., (1978) "Saline lakes and their deposits": a sedimentological approach. In: Matter A. and Tucker M.E. (eds.), *Modern and Ancient Lake Sediments*. International Association of Sedimentologists, Special Publication, 2, 7-42.
 - Hayashi K., Fujisawa H., Holland H.D. and Ohmoto H., (1997), "Geochemistry of 1.9 Ga sedimentary rocks from northeastern Labrador, Canada", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 61: 4115-4138.
 - Hayes T.S. and Einaudi M.T., (1986) "Genesis of the Spar Lake strata-bound copper-silver deposit, Montana": Part 1. Controls inherited from sedimentation and preore diagenesis: **Economic Geology**, v. 81, pp. 1899-1931.
 - Hayes T.S.,(1990) "A preliminary study of thermometry and metal sources of the Spar Lake stratabound copper-silver deposit, Belt Supergroup", Montana: U.S. Geological Survey Open File Report 90-0484, 30 p.
 - Herron M.M., (1988) "Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data", **Sedimentary Petrology** 58:820–829.
 - Hitzman M., Kirkham R., Broughton D., Thorson J. and Selley, D., (2005) "The sediment-hosted stratiform copper ore system", **Economic Geology** 100th Anniversary Volume, p. 609-642.
 - Huber H.,(1957) "Geology of the East Semnan area", N.I.O.C.Geol, Report, Unpublished 40 p.
 - Hustone D.L., Sie S.H., Suter G.F., Crook D.R., Both R.A., (1995) "Trace elements in Sulfide minerals from eastern Australian volcanic- hosted massive sulfide deposits". **Economic Geology**, V.90, P.1167-1196.
 - Jin Z., Li F., Cao J., Wang S. and Yu J., (2006) "Geochemistry of Daihai Lake sediments, Inner Mongolia, north China": Implications for provenance, sedimentary sorting and catchment weathering. *Geomorphology*, 80: 147–163.
 - Kesler S.E., (1994) "Mineral Resources Economics and the environment".
 - Kirkham R.V., (1989) "Distribution, settings, and genesis of sediment-hosted stratiform copper deposits ", in Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson C.W., Jowett E.C. and Kirkham R.V. eds., *Sediment-hosted Stratiform Copper Deposits: Geological Association of Canada Special Paper 36*. p. 3-38.

-
- Kirkham R.V, Carriere J.J., Laramée R.M. and Garson D.F., (1994) "Global distribution of sediment-hosted stratiform copper deposits and occurrences": Geological Survey of Canada Open File 2915b, 256 p.
 - Kirkham R.V., (1995) "Sediment-hosted stratiform: Geological Society of America", Decade of North American Geology, **Geology of North America**, v. P-1, p.223-233.
 - Lustwerk R.L., Rose A.W., (1983) "Source and segregation of transition metals during diagenetic formation of the Redstone stratiform copper deposit", MacKenzie Mts., NWT, Canada. Geol Soc Am (Abstracts with Programs) 15:632.
 - Kirkham R.V., (1996) "Volcanic red bed copper", Geol. Sur. Of Canada Canadian mineral deposit types, 8: pp 241- 252.
 - Kroonenberg S.B., (1994) "effects of provenance, sorting and weathering on the geochemistry of fluvial sands from different tectonic and climatic environments", Proceedings of the 29th International Geological Congress, Part A, 69-81.
 - Lefebvre D. V. and Alldrick D. J., (1996) "Sediment-Hosted Cu +/- Ag +/- Co"; in Selected British Columbia Mineral Deposit Profiles, Volume 2 - Metallic Deposits: D. V. Lefebvre and T. Hoy (eds.), British Columbia Ministry of Employment and Investment, Open File Report, 1996-13, p. 13-16.
 - Lentz D., (1998) "Petrogenetic evolution of felsic volcanic sequences associated with Phanerozoic volcanic-hosted massive sulphide systems": the role of extensional geodynamics, **Ore Geology Reviews** 12, 289–327.
 - McLennan S.M. and Taylor, S.R., (1991) " Sedimentary rocks and crustal evolution: Tectonic setting and secular trends". **Journal of Geology**, 799: 1-21.
 - McMillan W. J. and Panteleyev A., (1990) "Porphyry copper deposits", in: reports R. G. and Sheahan P. A., ed.: ore deposit models: **Geological Association of Canada**, P. 45-59.
 - Mosier D.L., Singer D.A. and Cox D.P., (1986) "Grade and tonnage model of sediment-hosted copper" in Cox D.P. and Singer D.A., eds., Mineral deposit models: U.S. Geological Survey Bulletin 1693, p. 206.
 - Mousivand F., Rastad E., Hoshino K. and Watanabe M., (2007) "The Bavanat Cu-Zn- Ag orebody, First recognition of a Besshi- type VMS deposit in Iran" , N. Jb. Miner. Abh. V. 183/3. pp 297- 315.
 - Nesbitt H.W.,(2003) "Petrogenesis of siliciclastic sediments and sedimentary rocks". In: Lenz D.R. (Ed.), Geochemistry of Sediments and Sedimentary Rocks, Geotext4. Geological Association of Canada, Newfoundland, 39–51.

-
- North C. P., Hole M. J. and Jones D. G., (2005) "Geochemical correlation in deltaic successions: a reality check", *Geol. Soc. Amer. Bull.* 117, 620-632.
 - Oszczepalski S., (1999) "Origin of the Kuferschiefer polymetallic mineralization in Poland": *Mineralium Deposita*, v. 34, p. 599-613.
 - Pelletier J., (2011) "Exploration activities report", Samalayuca Project, Samalayuca, Chihuahua, Mexico. Internal report, Samalayuca Cobre SA. de CV.; 47 pp.
 - Pettijohn F.J., Potter P.E., Siever R., (1987) "Sand and Sandstone", Springer – Verlag, New Yourk, 553 p.
 - Potter P.E., (1978) "Petrology and chemistry of modern big river sands", **Journal of Geology**, 86:423–449.
 - Ramdohr P., (1980) "The ore mineral and their intergroths" 1207 Page. Pergamon, Oxford, England.
 - Reilly C., (1967) " Accumulation of copper by some Zambian plants": *Nature*, v. 215, no. 5101, p. 667-668.
 - Rollinson H.R., (1993) "Using Geochemical Data: Evaluation, Presentation, Interpretation", Longman, UK., 352.
 - Rose A.W., (1976) "The effect of cuprous chloride complexes in the origin of red-bed copper and related deposits", **Economic Geology**, v.71, p. 1036-1048.
 - Roser, B.P. and Korsch., R.J., (1988), "Provenance signature of sandstone-mudstone suite determined using discriminate function analysis of major element data", **Chemical Geology**, 67: 119–139.
 - Singer D.A., (1995) "World - class base and precious metal deposits": A quantitetitive analysis, **Economic Geology**, v.90,p 88-104.
 - Stauber I. J., (1930) "A sandstone copper deposit": **The Mining Journal**, December, p. 929-931.
 - Susura B.B., Glybovsky V.O. and Kislitsin A.V.,(1986) "Red-colored terrigenous Sediments — specific copper-forming systems", in Friedrich G.H., Genkin A.D., Naldrett A.J., Ridge J.D., Sillitoe R.H. and Vokes F.M. *Geology and Metallogeny of Copper Deposits*, Proceedings 27th International Geological Congress, Moscow, 1984: Berlin, Springer-Verlag, p. 504-512.
 - Talbott L. W., (1974) " Nacimiento pit, a Triassic strata-bound copper deposit in

Ghost Ranch, New Mexico Geological Society Guidebook", 25th Field Conference, p. 301-303.

- Taylor S.R., McLennan S.M., (1985) "The continental crust: its composition and evolution", Blackwell, Oxford, 312.

- Titley S.R. and Bean R.F., (1981) "Porphyry coppers deposits" **Economic geology**, 75, P, 214- 269.

- Titley S.R., Marozas D.C., (1995) "Processes and Products of supergene copper enrichment. In Porphyry copper deposits of the American Cordillera, Arizona" Geological Society Digest 20, Pierce F.W. and Bolm J.G., editors; p. 156-168.

- Tucker M.E., (2001) "Sedimentary petrology, an introduction to the origin of Sedimentary rocks", second edition.

- Walker T. R., (1967) "Formation of red beds in modern and ancient deserts": **Geological Society of America Bulletin**, v. 78, p. 353- 368.

- Walker T.R., Waugh B. and Crone A.J., (1978) "Diagenesis in first-cycle alluvium of Cenozoic age, southwestern United States and northwestern Mexico": **Geological Society of America Bulletin**, v. 89, p. 19–32.

- Walker T.R., (1989) "Application of diagenetic alterations in redbeds to the origin of copper in stratiform copper deposits". In: Boyle R.W., Brown A.C., Jefferson.

- Waterman G.C., Hamilton R.L., (1975) "The Sar – cheshmeh porphyry copper deposit", **Economic Geology** 70, 568-576.

- Wedepohl KH., (1995) "The composition of the continental crust". *Geochim Cosmochim Acta* 59:1217–1232.

- White D. E., (1968) "Environments of genatation of some base metal ore derosits", **Economic geology**. 63:301-335., 1968.

- Woodward L. A., Kaufman W.H., Schumacher O. L. and Talbott, L.W., (1974) "Strata-bound copper deposits in Triassic sandstone of Sierra Nacimiento, New Mexico": **Economic geology**, v. 69, no. 1, p. 108-120.

- Zielinski A., Bloch S., Walker T.R., (1983) "The mobility and distribution of heavy metals during the formation of first cycle red beds": **Economic geology**, v. 78, p. 1574–1589.

Abstract:

From geologic point of view, Band-e-Ghichy copper deposit is located in northern border of central Iran structural zone and geographically located in 120 km south of Shahrood and 70 km south East of Torud. Rocks exposed in the studied area ranging from Oligocene to Quaternary. These exposed rocks from oldest to youngest include a sequence of shale, mudstone, siltstone, sandstone and conglomerate, a sequence of marl, conglomerate and sandstone and finally Quaternary alluvial sediments, brine and swamp. Copper mineralization is associated with Oligocene sandstone, conglomerate and siltstone rocks. There are three kind of mineralization in Band-e-Ghichy area: stratiform (syngenetic), stratabound (epigenetic) and supergen (the surface). Factors including the suitable source rocks, chloride brine as a mobility agent of copper and other metals, joints and faults as channels for fluids transport and reducing agent such as organic material and pyrite, are the most important controlling factors of mineralization in Band-e-Ghichy copper deposit. Two important alteration observed in the area are argillic and iron oxides. Main mineral assemblage of deposit are divided into 6 groups: sulphide minerals (chalcocite, covellite, bornite, chalcopyrite and pyrite), carbonate minerals (malachite and azurite), oxide and hydroxide minerals (goethite, hematite and limonite), sulphate minerals (celestite and gypsum), chloride minerals (halite, atacamite, paralaurionite and laurionite) and gangue minerals (calcite and quartz). The most important structures which observed in the area are layer and vein. Open space filling, cement among grains, disseminated, replacement and massive are the most important mineral textures. Geochemical study results show that the sandstones have felsic to intermediate volcanic source rocks. Also check of copper correlation matrix with main oxides and different elements indicate high correlation between copper and Fe_2O_3 and MnO. The highest correlation is between copper and silver and the lowest correlation between copper and strontium. Eocene andesitic units significant development adjacent of deposits, abundance of copper indicates and deposits in the region and the presence of volcanic fragments containing copper minerals in the host conglomerate units in the region indicate that the andesitic fragments can be considered as origin of copper. According to the basic characteristics of Band-e-Ghichy copper deposit including host rock, mineralogy, structure, texture, geometry, element paragenesis, depositional environment and important mineralization factors Band-e-Ghichy copper deposit can be considered as a sediment-hosted Redbed type.

Key word: sedimentary copper, Sandstone, Oligocene, Redbed, Band-e-Ghichy, Torud



University of Shahrood

Faculty of Earth Sciences

Department of Petrology and Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of The Band - e - Ghichy
Copper- Celestite deposit Torud area, South of Shahrood**

Somayeh Salehinasab

Supervisor:

Dr. F. Fardoost

September 2015