





دانشکده علوم زمین
پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

عنوان
کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس دوچیله، شرق میامی

نگارنده
محبوبه ظفرزاده

اساتید راهنما
دکتر فردین موسیوند

استاد مشاور
دکتر رمضان رضانی اومالی

شهریور ۹۷

شماره: ۱۳۰۵۲
تاریخ: ۹۷/۴/۲۱

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم محبویه ظفرزاده با شماره دانشجویی ۹۴۱۱۶۳۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس دوجبله، شرق میامی که در تاریخ ۹۷/۶/۱۷ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با درجه: خیلی خوب) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد اهنمای اول	دکتر فردین موسیوند	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر رمضان رضائی اومالی	دانشیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر افشین قشلاقی	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر مسعود علیپور اصل	استادیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر فرج الله فردوست	استادیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدي

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

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



این پایان نامه را ضمن تشکر و سپاس بیکران و در کمال افتخار و امتنان تقدیم می نمایم به
روح پرفخوح عموی عزیزم شهید نصرالله طفرزاده
و والدینی که بودندشان تاج افتخاری است بر سرم
و نامشان دلیلی است بر بودنم، چرا که این دو وجود، پس از پروردگار، مایه هستی ام بوده اند، دستم را
گرفتند و راه رفتن را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

شکر و قدردانی

بدون شک جایگاه و منزلت معلم، اجل از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه‌ی او، بازبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بکاریم.

اما از آنجایی که تحلیل از معلم، پاس از انسانی است که هدف و غایت آفرینش را تأمین می‌کند و سلامت امانت‌هایی را که به دستش سپرده‌اند، تضمین؛ بر حسب وظیفه و از باب "من لم یشکر المنعم من المخلوقین لم یشکر الله عزوجل:"

از استاد راهنمای محترم و دلسوزم؛ جناب آقای دکتر فردین موسیوند که در کمال سع و صدر، با حسن خلق و فروتنی، از بیچ لکی در این عرصه بر من دریغ ننمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند، کمال شکر و قدردانی را دارم.

از استاد مشاور بزرگوارم؛ جناب آقای دکتر رمضان رضانی اومالی که با قبول زحمت مشاوره در این تحقیق، دریغ تقایص و مشکلات علمی از بیچ کوششی فروگذار نکردند، سپاسگزارم.

از اساتید گرانقدرم؛ جناب آقای دکتر مسعود علیپور و دکتر فرج‌الله فردوست که قبول زحمت نموده و داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند، کمال شکر را دارم.

از اساتید محترم؛ جناب آقای دکتر مهدی رضایی و دکتر محمود صادقیان که مرا از الطاف بی‌دریغشان و پاسخ‌گویی به سوالات پیش آمده محروم نساختند، کمال سپاسگزاری را دارم.

از فعالین معدنی منطقه، آقایان مهندس بیاری و مهندس مهدیزاده کمال تشکر را دارم.

با سپاس فراوان از دوستان عزیزم و همه کسانی که به نوعی مراد انجام رساندن این مهم یاری رساندن، به ویژه از سرکار خانم با؛ راضیه بهزادی، راضیه مهابادی، یگانه خرم تاش، فائزه یحیی زاده، عاطفه الله بخشی، سکوفه امرایی، سیده مرضیه حسینی، فرزانه اسدالله نژاد و جناب آقای قربانی و رضانی کمال تشکر و قدردانی را دارم.

در پایان، دستان پرمهر پدر و مادر عزیزم را بی بدسم و از برادرانم تشکر می کنم که اگر فداکاری و صحبت های بی شائبه ایشان نبود، من نیز به پایان این راه نمی رسیدم...

محبوبه ظفرزاده

شهریور ۹۷

اینجانب **محبوبه ظفرزاده** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **زمین‌شناسی** گرایش **اقتصادی** دانشکده **علوم زمین** دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس دوچپله، شرق میامی** تحت راهنمایی **دکتر فردین موسیوند و دکتر رمضان رضانی اومالی** 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 صنعتی شاهرود" و یا "Shahrood University of Technology" به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت‌های آن‌ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

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

چکیده

کانسارهای مس دوچپله و توران در ۷۲ کیلومتری شرق شاهرود، ۱۵ کیلومتری شرق شهر میامی و در کمربند آتشفشانی شمال ایران مرکزی واقع شده است. توالی چینه‌شناسی منطقه دربرگیرنده حجم قابل توجهی از نهشته‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن بوده که توسط نهشته‌های نئوژن و کواترنر بطور محلی پوشیده می‌شود. کانه‌زایی بطور غالب در امتداد گسل و شکستگی‌های با روند غالب NW-SE در داخل سنگهای بازالتی به صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی رخ داده است. براساس مطالعات میکروسکوپی کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار شامل کانی اولیه مس خالص و هماتیت و کانی‌های ثانویه کوپریت، مالاکیت، گوتیت، هماتیت بوده و کانیهای باطله شامل کلسیت، زئولیت و آنالسیم می‌باشد. دگرسانی‌های موجود در سنگ میزبان شامل کلریتی، کربناتی، و زئولیتی می‌باشد. سنگ‌های آتشفشانی میزبان کانه‌زایی دارای طیف ترکیبی بازالت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت بازالت هستند که غالباً حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (اوژیت) می‌باشند. اکسیداسیدن کانی‌های مافیک مثل پیروکسن و هم‌چنین کانی مگنتیت عامل احیا مس و گسترش دگرسانی هماتیتی بوده است. سنگ‌های آتشفشانی میزبان از عناصر نادرخاکی (REE) سبک و عناصر لیتوفیل بزرگ یون، غنی شدگی نشان می‌دهند. آنومالی منفی عناصر با شدت میدان بالا مانند Nb و Ti در سنگهای مورد مطالعه از ویژگی‌های شاخص محیط‌های کم‌انرژی است. محیط تکتونیکی کانسار مس دوچپله با توجه به بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته، محیط کششی است که در حوضه پشت کمان تشکیل گردیده است. براساس مطالعات صحرایی، به نظر می‌رسد کانسارهای مس دوچپله و توران در طی مرحله کوهزایی و چین‌خوردگی منطقه در امتداد شکستگی‌های عمود بر چین‌خوردگی‌ها تشکیل شده است. کانسارهای مس دوچپله و توران، از نظر محیط زمین‌ساختی، سنگ دربرگیرنده، کانی‌شناسی، دگرسانی، کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی و محتوای فلزی، شباهت زیادی با کانسارهای مس تیپ میشیگان دارد. شرکت اشکان مس آریا در حال فعالیت معدن کاری، بهره‌برداری و استخراج مس در محدوده مطالعاتی می‌باشد.

کلمات کلیدی: کانی‌شناسی، مس خالص، میشیگان، دوچپله، توران، میامی

مقاله مستخرج شده از این پایان نامه

الگوی رخداد کانه‌زایی مس توران، شرق میامی؛ بر مبنای مطالعات ساخت و بافت و کانی‌شناسی مواد معدنی،
کنفرانس ملی مهندسی مواد، متالورژی و معدن ایران، دانشگاه شهید چمران اهواز، اسفند ۹۶

فهرست مطالب

فصل ۱ کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی	۲
۳-۱- آب و هوا و جغرافیای انسانی	۳
۴-۱- ریخت‌شناسی منطقه	۴
۵-۱- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی	۵
۶-۱- طرح مسئله و اهمیت موضوع	۶
۷-۱- هدف مطالعه	۷
۸-۱- روش مطالعه	۸
۱-۸-۱- گردآوری اطلاعات	۸
۲-۸-۱- مطالعات صحرایی	۸
۳-۸-۱- مطالعات دفتری و آزمایشگاهی	۹
۹-۱- رده‌بندی کنسارهای مس	۹
۱-۹-۱- کنسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال	۱۰
۲-۹-۱- کنسارهای مس سولفید توده‌ای آتشفشانزاد	۱۰
۳-۹-۱- کنسارهای مس ماگمایی	۱۰
۴-۹-۱- کنسارهای مس با میزبان رسوبی	۱۰
۵-۹-۱- کنسارهای مس تیپ کویناوی یا میشیگان (تیپ مانتو و آتشفشانی لایه‌های سرخ)	۱۱
فصل ۲ زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی	۱۳
۱-۲- مقدمه	۱۴
۲-۲- زمین‌شناسی عمومی	۱۵
۳-۲- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه	۱۸
۴-۲- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک	۲۳
۱-۴-۲- گسل خوردگی‌ها	۲۳
۲-۴-۲- چین خوردگی‌ها	۲۶
۵-۲- زمین‌شناسی اقتصادی	۲۷
۶-۲- سنگ‌شناسی محدوده معدنی	۲۹
فصل ۳ کانه‌زایی و دگرسانی	۳۵
۱-۳- مقدمه	۳۶
۲-۳- رخداد کانه‌زایی در کنسار مورد مطالعه	۳۶

۳۷	..... ۱-۲-۳ کانه‌زایی در منطقه دوچيله
۴۲	..... ۲-۲-۳ کانه‌زایی در منطقه توران
۴۷	..... ۳-۳ دگرسانی
۴۸	..... ۱-۳-۳ دگرسانی‌های موجود در منطقه
۴۸	..... ۲-۳-۳ دگرسانی کربناتی
۴۹	..... ۳-۳-۳ دگرسانی آنالسیم- زئولیت
۵۳	..... ۴-۳-۳ دگرسانی کلریتی
۵۳	..... ۵-۳-۳ دگرسانی هماتیته
۵۳	..... ۴-۳-۳ پهنه‌بندی دگرسانی
۵۴	..... ۵-۳-۳ ارتباط گسل‌ها با کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه
۵۷	..... فصل ۴ کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها
۵۸	..... ۱-۴-۱ مقدمه
۵۸	..... ۲-۴-۲ کانی‌شناسی
۵۸	..... ۱-۲-۴ مس طبیعی Cu
۶۰	..... ۲-۲-۴ مگنتیت Fe ₃ O ₄
۶۲	..... ۳-۲-۴ کوپریت Cu ₂ O
۶۲	..... ۴-۲-۴ مالاکیت Cu ₂ (CO ₃)(OH) ₂
۶۳	..... ۵-۲-۴ هماتیت Fe ₂ O ₃ ، گوتیت FeO.OH و لیمونیت FeOOH.nH ₂ O
۶۴	..... ۶-۲-۴ کلسیت، آنالسیم و زئولیت
۶۵	..... ۷-۲-۴ کلریت و اپیدوت
۶۶	..... ۳-۴-۳ ساخت و بافت کانیها
۶۶	..... ۱-۳-۴ ساخت و بافت رگه- رگچه‌ای
۶۷	..... ۲-۳-۴ ساخت و بافت پرکننده فضای خالی
۶۷	..... ۳-۳-۴ بافت جانیشینی
۶۸	..... ۴-۴-۴ توالی پاراژنزی کانی‌ها
۷۱	..... فصل ۵ ژئوشیمی
۷۲	..... ۱-۵-۱ مقدمه
۷۲	..... ۲-۵-۲ ژئوشیمی مس
۷۳	..... ۳-۵-۳ نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها
۷۷	..... ۱-۳-۵ نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی
۷۸	..... ۲-۳-۵ تعیین محیط زمین‌ساخت سنگهای میزبان
۷۹	..... ۳-۳-۵ تعیین سری ماگمایی

- ۵-۳-۴ عوامل مؤثر بر ماگماتیسم منطقه ۸۰
- ۵-۳-۵ ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی ۸۱
- ۵-۳-۶ پراکندگی و همبستگی برخی از عناصر در مناطق مورد مطالعه ۸۳
- ۵-۳-۷ تغییرات لیتوژئوشیمیایی در رگه‌های کانه‌دار ۸۴
- ۵-۳-۸ مطالعه میانبارهای سیال ۸۶
- فصل ۶ الگوی تشکیل، تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات ۸۹
- ۶-۱-۱ مقدمه ۹۰
- ۶-۲-۱ شواهد ژنتیکی حاصل از مطالعات انجام شده ۹۰
- ۶-۲-۲ ۱- شواهد ساختاری ۹۰
- ۶-۲-۲ ۲- شواهد سنگ‌شناسی و محیط تکتونیکی تشکیل ۹۰
- ۶-۲-۳ شواهد دگرسانی و پهنه‌بندی آن ۹۱
- ۶-۲-۴ کانه نگاری و ساخت و بافت ۹۱
- ۶-۲-۵ ژئوشیمی ۹۱
- ۶-۳-۱ الگوی تشکیل کنسارهای مس دوچپله و توران ۹۲
- ۶-۳-۲ ۱- فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی- رسوبی کمانی ۹۳
- ۶-۳-۳ ۲- دیاژنز و دگرگونی دفنی ۹۴
- ۶-۳-۳ ۳- بالا آمدگی و چین خوردگی و کانه‌زایی ۹۵
- ۶-۳-۴ ۴- مرحله هوازدگی و سوپرژن ۹۷
- ۶-۴-۱ مدل پیشنهادی تیپ کانه‌زایی کنسار مورد مطالعه ۹۷
- ۶-۴-۲ ۱- کنسارهای مس تیپ میشیگان ۹۸
- ۶-۴-۲ ۲- کنسارهای مس نوع آتشفشانی - لایه‌های سرخ ۹۹
- ۶-۴-۳ ۳- کنسارهای مس نوع ماتو ۱۰۲
- ۶-۵-۱ شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل ۱۰۵
- ۶-۵-۲ ۱- منشأ عنصر مس ۱۰۵
- ۶-۵-۳ ۲- شرایط ته‌نشست ۱۰۶
- ۶-۶-۱ پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی ۱۰۸
- ۶-۶-۲ منابع ۱۰۹

فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به محدوده‌های کانسارهای مس دوچپله و توران (برگرفته از نقشه جامع راه-های کشور، ۱۳۹۴)، که موقعیت کانسارها با علامت ستاره مشخص شده است. ۳.....
- شکل ۱-۲: تصویر پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه. ۴.....
- شکل ۱-۳: الف) تصویر ماهواره‌ای مناطق مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر، ب) تصویر صحرایی افق آتشفشانی و آگلومرای. ۴.....
- شکل ۱-۴: الف) تصویر ترانسه‌های قدیمی که در گذشته به منظور استخراج مس حفر شده است، ب) سرباره‌های مس موجود در پیرامون شدادی‌های قدیمی منطقه دوچپله. ۷.....
- شکل ۱-۲: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه زمین‌شناسی_ ساختاری ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳) در پهنه آتشفشانی شمال ایران مرکزی. ۱۴.....
- شکل ۲-۲: الف) نقشه زمین‌شناسی ساده شده آتشفشان‌های ائوسن داورزن-عباس‌آباد (DAEV) که بخش‌هایی از کمرندهای افیولیت سبزوار-عباس‌آباد هستند، ب) تصویر شماتیک یک مدل تکتونو ماگمایی برای تکامل کمرندهای افیولیت سبزوار-عباس‌آباد را نشان می‌دهد. همانطور که نشان داده شد، سنگ‌های ماگمایی ناحیه داورزن-عباس‌آباد در واکنش به فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئو تتیس در منطقه سبزوار در زیر البرز شرقی تشکیل شده است. ۱۷.....
- شکل ۲-۳: محدوده‌های اکتشافی دوچپله و توران، برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (آقنابتی و همکاران، ۱۳۷۱). ۲۰.....
- شکل ۲-۴: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت کانسارهای دوچپله و توران در آن (بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی از امینی و همکاران، ۱۳۷۱). ۲۱.....
- شکل ۲-۵: ستون چینه‌شناسی منطقه معدنی دوچپله براساس شواهد صحرایی بر پایه نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱). ۲۲.....
- شکل ۲-۶: پروفیل منطقه معدنی دوچپله در امتداد ترانسه جاده شاهرود-مشهد بر اساس شواهد صحرایی بر پایه نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱). ۲۳.....
- شکل ۲-۷: نمایی از گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه و ارتباط کانی‌زایی با گسل‌ها بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱). ۲۵.....

- شکل ۲-۸: تعدادی از اندیس های معدنی مشخص شده در ارتباط با نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی در تصویر ماهواره ای (گوگل ارث) (منطقه مورد مطالعه توسط کادر مشخص شده است). ۲۸
- شکل ۲-۹: الف) تصویر صحرایی از رخنمون سنگ های بازالتی، ب) نمای نزدیکتر از سنگ میزبان کانه زایی، پ) تصویر نمونه دستی بازالت بادامکی ۳۰
- شکل ۲-۱۰: تصویر میکروسکوپی از بازالت، الف) بافت منطقه بندی در پلاژیوکلاز (XPL)، ب) تبدیل کانی پیروکسن به کانیهای اپک (XPL)، پ) حضور انالسیم و کلسیت در سنگ بازالتی (XPL)، ت) ایدنگزیتی شدن الیوین (PPL)، پلاژیوکلاز (Plg)، کلینوپیروکسن (Cpx)، الیوین (Oli)، کلسیت (Cal)، آنالسیم (Ana)، اپک (Opq). ۳۱
- شکل ۲-۱۱: الف) تصویر صحرایی رخنمون توفی، ب) تصویر نمونه دستی توف فیامی، پ) تصویر نمونه دستی توف دارای لایه بندی ۳۲
- شکل ۲-۱۲: تصویر مقطع میکروسکوپی توف، الف) حاوی قطعات سنگی پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (XPL)، ب) توف شیلی لایه ای دارای قطعات خیلی خورد شده. پلاژیوکلاز (Plg)، کلینوپیروکسن (Cpx) ۳۳
- شکل ۲-۱۳: تصویر صحرایی نمونه آگلومرا ۳۳
- شکل ۲-۱۴: تصویر رخنمون کنگلومرایی و نحوه قرارگیری آن نسبت به واحد بازالتی ۳۴
- شکل ۳-۱: نقشه زمین شناسی محدوده معدنی مورد مطالعه و موقعیت کانسارهای دوچپله و توران در آن (بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی از امینی و همکاران، ۱۳۷۱). ۳۶
- شکل ۳-۲: توالی سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه که افق کانه دار در آن مشخص شده است. ۳۷
- شکل ۳-۳: تصویر ماهواره ای موقعیت کارگاه های منطقه دوچپله ۳۸
- شکل ۳-۴: الف) تصویر صحرایی ترانشه ایجاد شده در کارگاه (۱)، ب) تصویر صحرایی کانه زایی مس طبیعی، کوپریت و ملاکیت در بازالت به صورت دانه پراکنده ۳۹
- شکل ۳-۵: تصاویر صحرایی از کارگاه (۱/۱)، الف) ترانشه شمالی، ب) کانه زایی موجود در ترانشه شمالی، پ) ترانشه جنوبی، ت) کانه زایی موجود در ترانشه جنوبی. ۴۰
- شکل ۳-۶: الف) تصویر صحرایی از ترانشه های کارگاه (۲)، ب) تصویر صحرایی از رگه کلسیتی کانه دار و دگرسانی های همراه آن در سینه کار (۲)، پ) تصویر نمونه دستی از کلسیت حاوی کانه زایی ملاکیت (Mal)، ت) تصویر صحرایی مغزه کانه دار کارگاه دوچپله ۴۱

- شکل ۳-۷: الف) تصویر صحرایی ترانشه کارگاه (۳)، ب) رگه زئولیت- آنالسیم و کانه‌زایی‌های کوپریت و مالاکیت همراه با آن که در اطراف آن دگرسانی کلریتی مشاهده میشود، پ) کانه‌زایی کوپریت و مالاکیت با ساخت پرکننده فضای خالی. ۴۲
- شکل ۳-۸: تصویر ماهواره‌ای موقعیت قرارگیری کارگاه‌های منطقه توران. ۴۳
- شکل ۳-۹: الف) تصویر صحرایی از سینه‌کار (۱) در منطقه توران، ب) تصویر نمونه‌دستی کانه‌زایی کوپریت (Cpr) و مالاکیت (Mal)، پ) تصویر صحرایی از رگه‌های کلسیتی که همراه کانه‌زایی مشاهده شده است. ۴۴
- شکل ۳-۱۰: الف) تصویر صحرایی از سینه‌کار (۲) در منطقه توران، ب) تصویر نمونه دستی کانه‌زایی مس (Cu)، کوپریت (Cpr) و مالاکیت (Mal)، پ) تصویر صحرایی زئولیت‌های نسل اول به صورت بادامکی در میزبان بازالتی، ت) تصویر صحرایی زئولیت‌های برشی نسل دوم همراه با کانه‌زایی مالاکیت (Mal) ۴۵
- شکل ۳-۱۱: نمایش راستای گسل‌ها و شکستگی‌های کانه‌دار با روند غالب NW- SE در منطقه مورد مطالعه. ۴۷
- شکل ۳-۱۲: الف) تصویر صحرایی رگه- رگچه کلسیت، ب) تصویر صحرایی رگه کلسیتی، پ) تصویر میکروسکوپی کلسیت، کلسیت (Cal) ۴۹
- شکل ۳-۱۳: تصویر صحرایی از کانی‌های پرکننده حفرات در سنگ بازالتی، الف) آنالسیم، ب) زئولیت. ۴۹
- شکل ۳-۱۴: نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) که در آن آنالسیم و کلسیت شناسایی شده است. ۵۰
- شکل ۳-۱۵: تصویر صحرایی کانی‌های دگرسانی و مواد معدنی همراه با آنها، الف) دگرسانی کلریتی، هماتیستی و لیمونیتی به همراه مالاکیت، ب) کلسیتی و مالاکیت، پ) آنالسیم به همراه مس، کوپریت و مالاکیت، ت) نسل اول زئولیت و رگه نسل دوم زئولیت، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal)، آنالسیم نسل اول (Anl I) و (Anl II) آنالسیم رگه‌های نسل دوم، کلسیت (Cal) ۵۱
- شکل ۳-۱۶: تصویر صحرایی از رخنمون مورد مطالعه، الف) بازالت حاوی بادامک‌های زئولیتی، ب) بازالت حاوی نسل دوم زئولیت زایی، پ) واریزه‌های آگلومرایی حاوی رگه‌های کلسیت- زئولیت حاوی دگرسانی کلریتی به صورت محدود. ۵۲
- شکل ۳-۱۷: هاله‌های دگرسانی کلریتی، کربناتی و اکسید آهن. ۵۳

- شکل ۳-۱۸: تصویر شماتیک کانه‌زایی و دگرسانی‌های همراه. ۵۴
- شکل ۳-۱۹: تصویر صحرایی از سیستم گسلی مشاهده شده در منطقه و کانه‌زایی مرتبط با آن. ۵۵
- شکل ۴-۱: الف) تصویر نمونه صحرایی از جانشینی مس، کوپریت و مالاکیت، ب) تصویر صحرایی مس خالص و مالاکیت، پ) تصویر میکروسکوپی مس و کوپریت، مس (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal) ۵۹
- شکل ۴-۲: جانشینی مس خالص در مگنتیت و تبدیل آن به هماتیت. ۶۰
- شکل ۴-۳: تصاویر میکروسکوپی پیروکسن، الف) جانشینی کوپریت در نور عبوری، ب) جانشینی کوپریت در نور انعکاسی. ۶۰
- شکل ۴-۴: نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) که در آن مگنتیت به عنوان فاز اصلی شناسایی شده است. ۶۱
- شکل ۴-۵: الف) تصویر میکروسکوپی غالب باقی مانده مگنتیت، ب) تصویر میکروسکوپی همراهی کوپریت و مگنتیت که در آن مگنتیت تبدیل به هماتیت شده است. ۶۱
- شکل ۴-۶: الف) تصویر نمونه صحرایی مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت، ب) تصویر مقطع میکروسکوپی از مالاکیت با تجمع سوزنی یا شعاعی، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal) ۶۲
- شکل ۴-۷: الف) تصویر میکروسکوپی هماتیت تیغه‌ای در نور عبوری، ب) تصویر میکروسکوپی هماتیت تیغه‌ای در نور انعکاسی، پ) جانشینی هماتیت تیغه‌ای در مگنتیت. ۶۳
- شکل ۴-۸: الف) تصویر مقطع میکروسکوپی کانی‌های مالاکیت، هماتیت و گوتیت، ب) تصویر میکروسکوپی هماتیت و گوتیت، پ) تصویر صحرایی لیمونیت، هماتیت (Hem)، گوتیت (Gt)، لیمونیت (Lm) و مالاکیت (Mal) ۶۴
- شکل ۴-۹: الف) تصویر نمونه صحرایی کلسیت، ب) تصویر نمونه صحرایی آنالسیم، پ) بازالت بادامکی حاوی نسل اول زئولیت، ت) بازالت بادامکی حاوی نسل دوم زئولیت به صورت رگه-رگچه و پرکننده فضای خالی (ث) تصویر مقطع میکروسکوپی آنالسیم و کلسیت، د) تصویر صحرایی زئولیت، کلسیت (Cal)، آنالسیم (Anl) و زئولیت (Zeo) ۶۵
- شکل ۴-۱۰: تصویر مقطع میکروسکوپی آندزیت بازالتی دگرسان شده که حاوی کلریت می‌باشد. ۶۶
- شکل ۴-۱۱: الف) تصویر صحرایی ساخت رگه-رگچه در مالاکیت، ب) تصویر صحرایی ساخت که در آن کوپریت جانشین مس شده است و در اطراف مالاکیت تشکیل شده است. ۶۷

شکل ۴-۱: تصویر مقطع میکروسکوپی، الف) بافت رگه-رگچه، ب) بافت پرکننده فضای خالی، پ) بافت
جانشینی مس توسط کوپریت، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr) و گوتیت (Gt) ۶۸

شکل ۵-۱: انحلال پذیری مس در دمای ۲۵ درجه سانتی گراد به عنوان تابعی از pH و Eh، که نشان دهنده
افزایش pH در حضور کلر می باشد. به دلیل حضور کلر محدوده پایداری مس به شکل محلول کمپلکس
افزایش می یابد. a) بدون کلر، b) در حضور کلر، (Rose 1976) ۷۳

شکل ۵-۲: الف) رده بندی سنگ های آتشفشانی منطقه در نمودار TAS ($\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2/\text{SiO}_2$)،
Middlemost 1994 ۷۸

شکل ۵-۳: الف) موقعیت نمونه های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودارهای مثلثی Th-Hf-Ta-Zr-
Nb و موقعیت قرارگیری نمونه های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره ای (CAB)، (Wood, 1980)،
ب) تفکیک محدوده های کمان آتشفشانی از درون صفحه ای، (Muller and Groves, 1993)، پ)
محیط تکتونیکی سنگ های منطقه و تفکیک کمان آتشفشانی مرتبط با فرورانش از نوع کمان های
جزیره ای بر اساس تغییرات نسبت (Th/Yb) و (Ta/Yb)، مشاهده می شود، (Pearce, 1983) ۷۹

شکل ۵-۴: الف) موقعیت سنگ های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودار Co-Th از Hastie et al., (2007)،
ب) در نمودار K_2O در مقابل SiO_2 ، (Peccerillo & Taylor (1975) ۸۰

شکل ۵-۵: الف) موقعیت سنگ های منطقه دوچپله در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb، که در محدوده
گوشته غنی شده با آغشتگی پوسته ای قرار گرفته اند، (Temel et al, 1998)، ب) تعیین نقش رسوبات
فرورانده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th، مشاهده می شود (Hawkesworth et al., 1997) ۸۱

شکل ۵-۶: الف) غلظت عناصر کمیاب به هنجار شده نسبت به کندریت، (Sun et al., 1980)، ب) نمودار به-
هنجار شده عناصر کمیاب سنگ های منطقه در برابر گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)، پ)
نمودار به هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)،
ت) نمودار به هنجار شده عناصر کمیاب سنگ های منطقه در برابر گوشته اولیه McDonough
(Sun., 1995) ۸۳

شکل ۵-۷: نمودار تغییرات میزان برخی از عناصر در محدوده دوچپله و توران ۸۴

شکل ۵-۸: شکل شماتیک نمونه برداری سیستماتیک از رگه کانه دار، سنگ دگرسان و سنگ غیر دگرسان ۸۵

شکل ۵-۹: نمودار تغییرات میزان برخی از عناصر در رگه کانه دار، سنگ دگرسان و سنگ غیر دگرسان ۸۶

- شکل ۵-۱۰: تصویر نمونه دستی کانی‌های شفاف برای تهیه مقطع دوبر صیقل، الف) کلسیت، ب) آنالسیم، پ) تصویر میکروسکوپی مقطع دوبر صیقل. ۸۷
- شکل ۶-۱: فعالیت‌های ریف‌زایی حاصل از رژیم کششی و گسترش سیستم‌های گرابنی در منطقه ریف‌ت درون کمائی و تشکیل حوضه آتشفشانی - رسوبی و گسترش بیشتر حوضه. ۹۴
- شکل ۶-۲: فرآیند دیاژنز و دگرگونی تدفینی بر اثر فشار ناشی از حجم عظیمی از رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی بالایی. ۹۵
- شکل ۶-۳: بالآمدگی و چین‌خوردگی‌ها باعث ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها شده و شرایط لازم برای رسیدن سیال به قسمت‌های بالایی را فراهم آورده است (دید به سمت جنوب غرب). ۹۶
- شکل ۶-۴: موقعیت و پراکندگی کانسارهای با میزبان آتشفشانی - رسوبی و با تیپ‌های مختلف (Kirkham, 1996). ۹۷
- شکل ۶-۵: الف) طرح شماتیک از کانه‌زایی در رسوبات هم‌شیب، ب) طرح شماتیک از کانه‌زایی در رسوبات غیرهمشیب (Kirkham, 1996). ۱۰۰
- شکل ۶-۶: طرح شماتیکی از توالی آتشفشانی و نمایش مهاجرت سیالات مس‌دار، به صورت انشعابی به سمت بالا و نهشته شدن فلزات در طول گسل‌ها و رگه‌ها (Kirkham, 1996). ۱۰۱
- شکل ۶-۷: طرح شماتیکی از نمایش پهنه‌بندی کانی‌های شاخص نهشته‌های مس آتشفشانی لایه‌های سرخ که در واحدهای چینه‌شناسی و در طول گسل و پهنه‌های شکستگی تشکیل می‌شود (Kirkham, 1996). ۱۰۲
- شکل ۶-۸: ترکیبات مس در دیاگرام Eh, PH در سطح زمین و شرایط اسیدی، مس به صورت محلول توسط آب حمل و در عمق زمین در شرایط احیایی راسب می‌گردد (مینارد، ۱۹۸۳). ۱۰۷
- شکل ۶-۹: ترکیبات مس در دیاگرام Eh, PH (Naoto Takeno (2005) ۱۰۷

فهرست جدول

- جدول ۱-۳: امتداد رگه‌های کانه‌دار و مشخصات هر یک از آنها..... ۴۶
- جدول ۱-۴: توالی پاراژنزی کانی‌ها، بافت و ساخت ماده معدنی در کانسار مس دوچپله ۷۰
- جدول ۱-۵: مشخصات نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده در مناطق معدنی دوچپله و توران ۷۴
- جدول ۲-۵: نتایج آنالیز اکسیدهای عناصر اصلی به روش ICP MS (بر حسب درصد) ۷۵
- جدول ۳-۵: نتایج آنالیز عنصری به روش ICP MS ۷۵
- جدول ۱-۶: مقایسه برخی ویژگی‌های کانسار دوچپله با کانسارهای مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان. (علامت - به معنای عدم وجود اطلاعات کافی می‌باشد). ۱۰۴
- جدول ۲-۶: مقایسه برخی ویژگی‌های کانسار دوچپله با کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی در دنیا. ۱۰۴
- جدول ۳-۶: مقایسه کانسار مس دوچپله با بعضی از کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی در ایران ۱۰۵

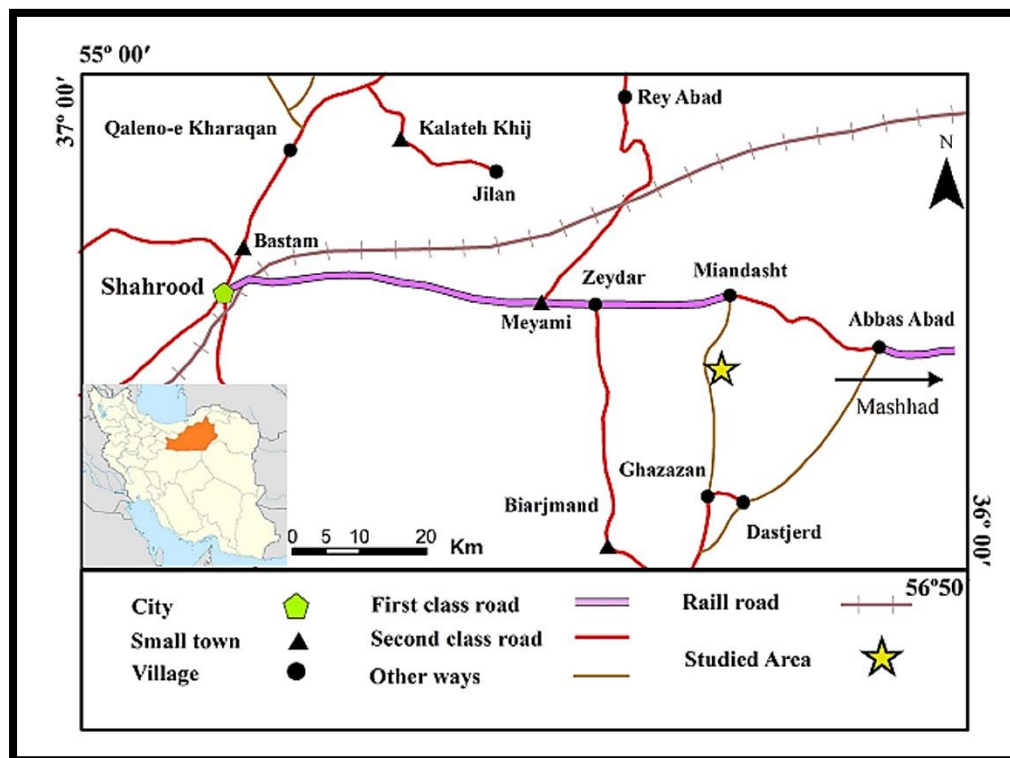
فصل ۱ کلیات

۱-۱- مقدمه

از مهم‌ترین زیرساخت‌های اقتصادی هر کشوری، می‌توان به منابع و ذخایر معدنی آن اشاره کرد. در این میان مس و آلایزهای آن به دلیل خواص فیزیکی و شیمیایی و کاربردهای فراوان در صنعت به ویژه در صنایع مخابراتی، الکتریکی، نظامی، کشتی سازی، راه‌آهن و غیره همواره مورد توجه بوده است. میزان مصرف آن در رده‌بندی جهانی فلزات پس از آهن و آلومینیوم قرار گرفته است. از آنجایی که سیاست‌های اقتصادی کشور توجه ویژه‌ای به فعالیت تولیدی و صادرات غیر نفتی دارد، بایستی منابع معدنی موجود را به خوبی شناخته و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهیم، و این مهم فقط با مطالعات و بررسی‌های علمی امکان‌پذیر است. بنابراین جهت کشف ذخایر جدید مس انجام مطالعات دقیق زمین‌شناسی اقتصادی بر روی کانسارهای شناخته شده موجود جهت دستیابی به کلیدهای اکتشافی ضروری است. در این راستا کانسارهای مس دوجبله و توران در شرق شاهرود برای مطالعات دقیق زمین‌شناسی اقتصادی جهت این پایان‌نامه انتخاب گردیده است. در این مناطق کارگاه‌های قدیمی و یک معدن فعال می‌باشد (مس اشکان). قابل ذکر است که منطقه جنوب، جنوب شرق و شرق شاهرود با توجه به رخداد کانه‌زایی‌های متعدد مس از اهمیت بسیار زیادی برخوردار بوده و نتایج این تحقیق می‌تواند به اکتشاف ذخایر جدید کمک نماید.

۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی

محدوده مورد مطالعه در استان سمنان در ۷۲ کیلومتری شرق شاهرود، ۱۵ کیلومتری شرق شهر میامی، در مختصات جغرافیایی "۴۶/۱۰' ۵۶° تا "۲۵/۲۰' ۵۶° ۵۵° طول شرقی و "۹/۳۰' ۲۳° ۳۶° تا "۵۷/۶۰' ۲۳° عرض شمالی واقع شده است. این منطقه از نظر زمین‌شناسی در کمربند آتشفشانی شمال ایران مرکزی قرار دارد. دسترسی به منطقه از جاده شاهرود- میامی- عباس‌آباد میسر است. منطقه مورد مطالعه به همراه راه ارتباطی در شکل ۱-۱ آورده شده است.



شکل ۱-۱: راه‌های دسترسی به محدوده‌های کانسارهای مس دوچپله و توران (برگرفته از نقشه جامع راه‌های کشور، ۱۳۹۴)، که موقعیت کانسارها با علامت ستاره مشخص شده است.

۱-۳- آب و هوا و جغرافیای انسانی

این منطقه از لحاظ آب‌وهوایی، دارای آب‌وهوای گرم و خشک می‌باشد. پوشش گیاهی منطقه بیشتر از گونه‌های کویری و بیابانی شامل بوته‌ها و درختچه‌های کوتاه است، که در مقابل خشکی مقاوم می‌باشند (شکل ۱-۲). دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های سرد توأم با ریزش برف در ارتفاعات می‌باشد. به علت شرایط اقلیم صحرایی، پراکندگی جمعیت زیاد است و نزدیکترین آبادی به معدن روستای قزازان می‌باشد. روستاهای اطراف به کشاورزی و دامداری اشتغال دارند. از جاذبه‌های گردشگری منطقه میتوان از مجموعه کاروانسراهای میاندشت نام برد. پناهگاه حیات وحش و منطقه حفاظت شده توران در جنوب منطقه مورد مطالعه واقع شده

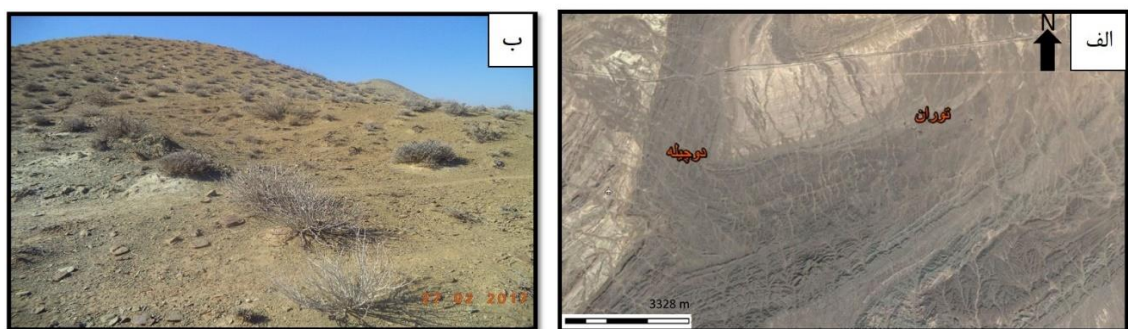
است. باتوجه به جمعیت جوان شهرستان میامی و فعالیت‌های معدنی منطقه با تقویت زیرساخت‌ها و ترغیب بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری می‌توان به اهداف ذکر شده در چشم انداز توسعه شهرستان رسید.



شکل ۱-۲: تصویر پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه.

۱-۴- ریخت‌شناسی منطقه

به‌طور کلی منطقه مورد مطالعه دارای ریخت‌شناسی تپه‌ماهوری و کم‌ارتفاع بوده و تنوع لیتولوژی زیادی در آن مشهود نیست. توالی ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی، آذرآوری و رسوبی در منطقه رخنمون دارد. شیب کلی این منطقه 30° تا 40° می‌باشد. با بررسی تصاویر ماهواره‌ای و بازدیدهای صحرایی از منطقه می‌توان نتیجه گرفت که واحد مرتفع‌تر غالباً شامل افق‌های گدازه‌ای با ترکیب بازالتی می‌باشد و واحدهای کم‌ارتفاع‌تر و هموارتر را آگلومراها و کنگلومراها تشکیل می‌دهند (شکل ۱-۳).



شکل ۱-۳: الف) تصویر ماهواره‌ای مناطق مورد مطالعه و موقعیت قرارگیری آنها نسبت به یکدیگر، ب) تصویر صحرایی افق آتشفشانی و آگلومرایی.

۱-۵- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

فعالیت‌های مرتبط با معدن کاری در حوزه استان سمنان سابقه بسیار زیادی دارد و شناخته شده است، به طوری که کانه‌سازی‌های مس در شرق و جنوب شرق شاهرود از دیرباز مورد توجه محققین بسیاری قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- آقابات‌ی و همکاران، (۱۳۷۱) نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم را در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و ارائه کرده‌اند، که وجود سنگ‌های آتشفشانی آندزیت بازالتی به همراه سنگ‌های آذرآواری با سن ائوسن مشخص شده است.

- امینی و همکاران، (۱۳۷۱) نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی را تهیه کرده‌اند، که در آن واحدهای سنگی، چینه‌شناسی و ساختمانی را به خوبی تفکیک کرده‌اند.

- ابراهیمی (۱۳۹۱) گزارش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ منطقه مس دوچپله را تهیه نموده است.

- گرگانی (۱۳۹۲) در قالب پایان‌نامه کارشناسی ارشد اکتشاف معدن تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی به منظور اکتشاف مس دوچپله- میامی را انجام داده است.

- ابراهیمی و همکاران (۱۳۹۲) به مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و حفاری کانی‌سازی مس دو چپله پرداخته است.

- احمدی (۱۳۹۴) نیز به برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های EM34-3 و VLF در اندیس مس دوچپله- میامی و مقایسه نتایج حاصله با داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی پرداخته است.

- سامانی (۱۳۸۱) با تطبیق ویژگی‌های کانسارهای نوع مانتو با زمین‌شناسی ایران و مقایسه آن با مشخصات کانسارها و یافته‌های مس درحوزه ایران مرکزی (مناطق قم و ساوه، عباس آباد سبزوار و شمال درونه) میزبان کانسارهای مس را از نوع مانتو معرفی کرده است.

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

- حیدری و معانی‌جو (۱۳۹۰) با توجه به بررسی‌های صحرایی، بیان می‌کند که کانسار عباس آباد شباهت زیادی با کانسارهای مس نوع مانتو دارد.

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

- طائفی و همکاران (۱۳۹۲) ب، بر اساس کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در مناطق گریگ و گورخان را می‌توان مشابه کانه‌زایی تیپ میشیگان آمریکا در نظر گرفت.

- صالحی و همکاران (۱۳۹۴) الف، بر پایه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانسنگ و داده‌های حاصل از میانبارهای سیال تیپ کانی‌زایی را قابل مقایسه با کانسارهای مس نوع مانتو بیان کرده است.

۱-۶- طرح مسئله و اهمیت موضوع

کانه‌زایی‌های متعدد مس در ورقه ۱/۲۵۰۰۰۰ زمین‌شناسی جاجرم (آقانباتی و همکاران، ۱۳۷۱)، در ایران مرکزی در مجموعه سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی ائوسن رخنمون دارند. با توجه به اهمیت فلز مس در سطح جهانی و برداشت‌هایی که از معادن مس در طی سالهای گذشته در کشورمان صورت گرفته است، تدوین برنامه‌های بلندمدت، به منظور مطالعه و اکتشاف ذخایر جدید امری ضروری به نظر می‌رسد. انجام تحقیق حاضر با توجه به اینکه تاکنون هیچ‌گونه مطالعه جامع زمین‌شناسی اقتصادی بر روی کانه‌زایی مس در منطقه انجام نگرفته است، حائز اهمیت می‌باشد. با انجام این پژوهش درصدد تشخیص فرآیندهای مؤثر بر کانه‌زایی و الگوی تشکیل کانسار در منطقه مورد مطالعه هستیم که نتیجه آن را به عنوان کلیدهای اکتشافی جهت پی‌جویی و اکتشاف منابع و ذخایر جدید و گسترش فعالیت‌های معدنی معرفی نماییم.

۱-۷- هدف مطالعه

در داخل سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن شرق شاهرود اندیس و کانسارهای متعددی از کانه‌زایی مس تشکیل شده است، به‌طوری‌که در برخی مناطق آثار شدادی و سرباره‌های ذوب مشاهده می‌شود (شکل ۱-۴). در این تحقیق سعی شده است، براساس مطالعه و بررسی زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی، به چگونگی رخداد کانه‌زایی و نحوه تشکیل آن در این منطقه پی ببریم.

سؤالات اصلی قابل طرح در این تحقیق عبارتند از :

-کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها در منطقه مورد مطالعه چگونه است؟

-انواع دگرسانی در کانسار کدامند و پهنه‌بندی در آنها چگونه می‌باشد؟

-کنترل‌کننده‌های کانه‌زایی کدامند؟

-ویژگی‌های ژئوشیمیایی منطقه معدنی مورد مطالعه کدامند؟

-الگوی تشکیل کانسارهای مس دوچپله و توران چگونه است؟

- تیپ کانه‌زایی‌های مس دوچپله و توران در مقایسه با موارد مشابه در ایران و جهان کدام است؟

-کلیدهای اکتشافی جهت کشف ذخایر جدید در منطقه کدامند؟



شکل ۱-۴: الف) تصویر ترانسه‌های قدیمی که در گذشته به منظور استخراج مس حفر شده است، ب) سرباره‌های مس موجود در پیرامون شدادی‌های قدیمی منطقه دوچپله.

۱-۸- روش مطالعه

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

۱-۸-۱ گردآوری اطلاعات

- مطالعه کتب، مقالات و جمع‌آوری اطلاعات در ارتباط با موضوع و منطقه مورد مطالعه از طریق کتابخانه و اینترنت.

- گردآوری اطلاعات مربوط به محدوده مورد مطالعه از جمله تهیه و مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم و ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی، تصاویر ماهواره‌ای، گزارش‌های پیرامون این منطقه.

- بررسی مطالعات صورت گرفته در منطقه و مقایسه آن با مناطق همجوار در ایران و موارد مشابه در جهان.

- مطالعه منابع لازم جهت این پژوهش از جمله تهیه مقالات داخلی و خارجی مرتبط با موضوع تحقیق.

۱-۸-۲ مطالعات صحرایی

- انجام چندین نوبت عملیات صحرایی به مدت ۶ روز و بازدید از ترانشه‌های حفر شده در منطقه دوجیله و معادن مس اشکان و مس توران (شرکت توسعه معادن امرتات).

- بررسی منطقه برای پی بردن به ارتباط کانه‌زایی و سنگ میزبان، پهنه‌های دگرسانی، وضعیت دگرریختی، و غیره.

- انجام نمونه برداری از سنگ‌های منطقه به منظور تهیه: مقاطع نازک (مطالعات سنگ شناسی، نام‌گذاری)،

مقاطع صیقلی (مطالعه بافت و نوع کانی‌سازی)، مقاطع نازک صیقلی (به منظور مطالعه رابطه میان کانی‌سازی

با سنگ میزبان)، مقاطع دوبر صیقلی (مطالعات مربوط به سیالات درگیر) و نمونه‌های برای انجام آنالیزهای

ژئوشیمیایی (نام‌گذاری سنگ و مطالعه دگرسانی‌ها).

- بررسی ارتباط کانه‌زایی با پدیده‌های ساختاری مثل گسل‌ها و شکستگی‌ها.

۳-۸-۱ مطالعات دفتری و آزمایشگاهی

- به منظور انجام مطالعات آزمایشگاهی، ۳۲ مقطع نازک (سنگ‌شناسی و نام‌گذاری)، ۵ مقطع نازک صیقلی (بافت و پاراژنز کانه‌زایی) و ۴ مقطع دوبر صیقلی از کانی‌های شفاف همراه با کانه‌زایی جهت مطالعه سیالات درگیر تهیه گردید.

- آنالیز ۱۴ نمونه به منظور تعیین میزان عناصر کمیاب (Trace) و عناصر نادر خاکی به روش ICP-MS در آزمایشگاه شرکت مطالعات مواد معدنی زرآزما.

- آنالیز ۴ نمونه به روش (XRD) به منظور شناسایی دقیق دگرسانی‌های منطقه در آزمایشگاه شرکت تحقیقاتی کانساران بینالود.

- ترسیم نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و راه‌ها با استفاده از نرم‌افزار Google Earth، Arc GIS.

- تجزیه و تحلیل داده‌های ژئوشیمیایی توسط نرم‌افزارهای، Excel، IGPET، GCDket، Global Mapper، CorelDraw، Grapher ...

- جمع‌بندی نتایج حاصل از مطالعات صحرایی، پتروگرافی، و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیز نمونه‌های ژئوشیمیایی، فرآیندهای مؤثر زمین‌ساخت در تشکیل کانسار مورد نظر و مطالعات تکمیلی به منظور تعیین منشأ و تیپ کانه‌زایی و مقایسه آن با کانسارهای مشابه در جهان و ایران.

سرانجام پاسخ‌های مناسب برای سوالات بدست آمد و در نهایت به نتیجه‌گیری و تدوین پایان‌نامه اقدام شده است.

۹-۱- رده‌بندی کانسارهای مس

Kesler (۱۹۹۴)، کانسارهای مس را بر اساس خصوصیات ژنتیکی آن‌ها به ۵ گروه اصلی تقسیم نموده است

که عبارت اند از:

۱-۹-۱ کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال

مجموعه کانسارهای مس ماگمایی- هیدروترمال شامل سیستم‌های پورفیری، اسکارنی و رگه‌های حاوی کانه‌های مس دار می‌باشد. از سیستم‌های پورفیری در ایران که شهرت جهانی دارند می‌توان کانسارهای سرچشمه و سونگون، را نام برد (Shafiei et al., 2009).

۱-۹-۲ کانسارهای مس سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد

این تیپ کانسارها خود به روش‌های مختلفی به دسته‌های متعددی از کانسارها تقسیم می‌شوند که یکی از کاربردی‌ترین این روش‌ها دسته‌بندی آن‌ها بر اساس سنگ دربرگیرنده کانه‌زایی است. بر این اساس کانسارهای مس سولفید توده‌ای به چهار دسته قبرسی، بتورست، کوروکو و نوراندا تقسیم می‌شوند که هر یک شرایط تشکیل و محیط تکتونیکی متفاوتی دارند (Franklin, 1996; Mosier et al., 2009). کانسارهای چاه‌گز، بوانات، مس نوده و مس شیخ عالی از جمله کانسارهای مس سولفید توده‌ای آتشفشان‌زاد در ایران به شمار می‌روند (موسیوند، ۱۳۸۸؛ موسیوند، ۱۳۸۲؛ مغفوری، ۱۳۹۰ و منظمی و همکاران، ۱۳۷۷).

۱-۹-۳ کانسارهای مس ماگمایی

تنها گروه کانسار مس که تاکنون در ایران شناسایی نشده است، کانسارهای مس ماگمایی است. تشکیل این تیپ کانسارها در نتیجه تبلور تفریقی ماگما به وجود آمده‌اند. تعداد این کانسارها در دنیا محدود است اما به طور معمول ذخیره بالایی دارند.

۱-۹-۴ کانسارهای مس با میزبان رسوبی

در این تیپ کانسارها سنگ میزبان کانه‌زایی به طور عمده رسوبات تخریبی هستند که نفوذپذیری بالایی دارند. این کانسارها تحت تأثیر فرآیندهای رسوبی- دیاژنزی و در مواردی اپی‌ژنتیک ایجاد می‌شوند و معمولاً به دلیل چینه‌کران بودن دارای ضخامت کم اما گسترش فراوان هستند. مس شمال تربت حیدریه (سپهری راد، ۱۳۸۸) و کانسار مس تسوج (تقی زاده و همکاران، ۱۳۸۶) از نمونه‌های این کانسارها در ایران می‌باشند.

۱-۹-۵ کانسارهای مس تیپ کویناوی یا میشیگان (تیپ مانتو^۱ و آتشفشانی لایه‌های سرخ^۲)

این کانسارها دارای سنگ میزبان آتشفشانی هستند و از نظر بسیاری خصوصیات مشابه کانه‌زایی سیستم‌های مانتو و مس‌های تیپ آتشفشانی- لایه‌سرخ می‌باشند (Lefebure, 1996). کانسارهای تیپ مانتو در شیلی گسترش دارند و کانسارهای تیپ آتشفشانی- لایه‌سرخ به طور عمده در آمریکای شمالی شناسایی و معرفی شده‌اند. یکی از بارزترین خصوصیات این گروه از کانسارها هندسه چینه‌کران و واقع شدن آن‌ها در سنگ میزبان آتشفشانی یا آتشفشانی- رسوبی است و به همین دلیل این کانسارها به نام کانسارهای مس بازالتی نیز در جهان معروف‌اند (Kirkham, 1996). در شیلی این گروه از کانسارها به عنوان سومین منبع مس پس از سیستم‌های پورفیری و IOCG مطرح هستند و با نام مانتو شناسایی می‌شوند (Maksaev et al., 2003). در آمریکا این تیپ کانساری را تحت عنوان کویناوی نام‌گذاری نموده‌اند و در کانادا نیز به نام آتشفشانی- لایه سرخ معروف هستند (Kirkham, 1996). از جمله کانسارهای این گروه در ایران میتوان به مس عباس‌آباد و چغندرسر (Khadem, 1964) و مس کشت محکی واقع در پهنه سنندج - سیرجان به سن کرتاسه اشاره کرد (بویری و همکاران، ۱۳۸۹).

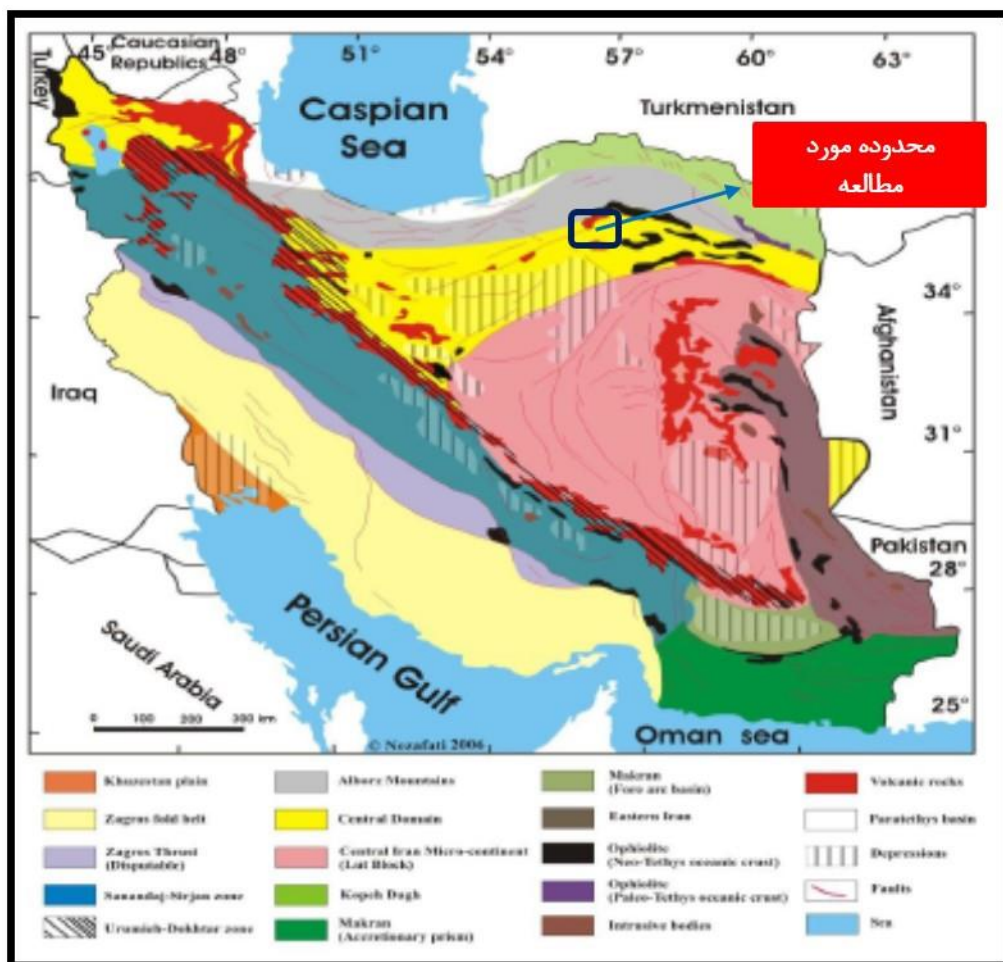
¹Manto- type

²Volcanic Red Bed

فصل ۲
زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

۲-۱- مقدمه

محدوده مورد مطالعه در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ میامی جای دارد (امینی و همکاران، ۱۳۷۱). این محدوده در شرق و جنوب شرق شاهرود واقع شده و بخشی از شمال پهنه زمین ساختی ایران مرکزی محسوب می‌شود (شکل ۲-۱). غالب منطقه به لحاظ چینه‌شناسی برون‌زدهایی از سنوزوئیک را در بر می‌گیرد. در این فصل به تشریح چینه‌شناسی، ماگماتیسم، زمین‌شناسی ساختار و زمین‌شناسی اقتصادی محدوده مورد مطالعه و در انتها به بیان ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسار پرداخته خواهد شد.



شکل ۲-۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه در نقشه پهنه زمین‌شناسی_ ساختاری ایران (آقناباتی، ۱۳۸۳) در پهنه آتشفشانی شمال ایران مرکزی.

۲-۲- زمین‌شناسی عمومی

براساس امتدادهای ساختاری (گسل‌های اصلی)، اشتوکلین و نبوی (۱۹۷۳)، فلات ایران را به هشت پهنه زاگرس چین خورده، زاگرس رانده، پهنه دگرگونی سنندج- سیرجان، کمان ماگمایی ارومیه- دختر، ایران مرکزی، البرز، کپه داغ و شرق ایران تقسیم کرده‌اند. محدوده مورد مطالعه در بخش شمالی پهنه ایران مرکزی قرار دارد این پهنه از نظر زمین ساخت منطقه‌ای فعال می‌باشد و در کمربند کوهزایی آلپ- هیمالیا قرار گرفته است. ظاهراً فعالیت ماگمایی این پهنه در همه‌ی زمان‌ها وجود داشته، اما اوج این فعالیت‌ها در ائوسن بوده است. به‌طور کلی قبل از ائوسن فعالیت ماگمایی کم بوده است. ژئوشیمی سنگ‌های ماگمایی کرتاسه‌ی پسین و سنوزوئیک (ائوسن) نشان می‌دهد که آن‌ها غالباً در حاشیه‌ی قاره‌ای فعال تشکیل شده‌اند (تکین، ۱۹۷۲؛ بربریان، ۱۹۸۱؛ سنگور، ۱۹۸۴؛ معین وزیری، ۱۹۸۵؛ سنگور و همکاران، ۱۹۹۳؛ ریکو، ۱۹۹۴؛ سنگور و ناتالین، ۱۹۹۶؛ مهجلی و فرگوسن، ۲۰۰۰؛ عزیزی و جهانگیری، ۲۰۰۶؛ عزیزی و معین وزیری، ۲۰۰۷ و ۲۰۰۸). با دور شدن از محل فرورانش (در سمت جنوبی ایران مرکزی) ماهیت ماگماها تغییر می‌کند، به طوری که از سمت زاگرس به سمت ایران مرکزی، عمق شروع ذوب افزایش یافته و ماهیت ماگماها بیشتر از نوع کالک آلکالن با درصد ذوب بالاتر به آلکالن با درصد ذوب کم‌تر تغییر می‌کند. کمربند ماگمایی سنوزوئیک ایران مرکزی، شامل سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی ائوسن تا کواترنری است. به دنبال فاز فشارشی کرتاسه پایانی که با دگرگونی، چین‌خوردگی، بالآمدگی و جابجایی افیولیت‌ها همراه بوده است. سنگ‌های ماگمایی ائوسن، دارای تنوع رخساره‌ای بوده و با توجه به فعال بودن ایران مرکزی از نظر زمین ساختی در طول ائوسن، در ارتباط با رخساره‌های نهشته شده‌ی مربوط به محیط‌های قاره‌ای تا دریایی، وجود رسوبات کم‌عمق دریایی و رخساره‌های قاره‌ای، نشانه‌ی تناوب پیشروی‌ها و پسروی‌های دریای کم عمق می‌باشد که روی مواد آتشفشانی را پوشانده است (درویش زاده، ۱۳۸۲). همراه این مجموعه‌های آتشفشانی و آتشفشانی رسوبی، اندیس‌ها و کانسارهای متعددی از کانه‌زایی مس مشاهده شده است. محدوده مورد مطالعه از نظر زیر پهنه‌های ساختاری، جزئی از پهنه ساختاری سبزواری محسوب

می‌شود. سیر تکامل پهنه سبزوار بر اساس مدل ارائه شده به‌وسیله‌ی (Rosseti et al., 2010) از زمان کرتاسه ی زیرین تا ائوسن عبارت است از:

(۱) **کرتاسه زیرین:** شرایط زمین ساخت پهنه سبزوار را می‌توان با شروع فرورانش اقیانوس نئوتتیس در طول پهنه سنندج- سیرجان در زمان کرتاسه‌ی زیرین بازسازی کرد به طرف شمال شرق، این پهنه فرورانشی به اقیانوس سیستان وصل می‌شود و همین عامل باعث شکل‌گیری یک پهنه فرورانشی مرکب (اقیانوس نئوتتیس و اقیانوس سیستان) در طول حاشیه اوراسیا می‌شود (Ghasemi & Talbot, 2007; Rosseti et al., 2010). (2006; Agard et al

(۲) **کرتاسه پسین:** در زمان کرتاسه پسین فرورانش درون اقیانوسی^۱ در نئوتتیس توسعه یافته که با شکل‌گیری زمین‌درز جزایر کمانی^۲ و راندگی افیولیت‌ها در طول حاشیه‌ی غربی (افیولیت‌های عمان) دنبال شده است. در ادامه فرورانش، حوضه کششی پشت کمانی^۳ سبزوار- نائین، در بخش بالایی پلیت فرورانش نئوتتیس تشکیل شده که با فاز اصلی ماگماتیسم در پهنه سنندج- سیرجان همزمان بوده است (Agard et al., 2007; Omrani et al., 2008; Rosseti et al., 2010)

(۳) **پالئوسن- ائوسن:** زمین‌درزی بین ورقه ایران و عربی تشکیل شده است که حاصل بسته شدن حوضه پشت کمان اقیانوسی سبزوار و حاشیه اوراسیا می‌باشد (Berbrin, 1981; Arvin et al., 2007; Omrani et al., 2008; Rosseti et al., 2010). در شکل ۲-۲ (الف) موقعیت منطقه مورد مطالعه مشخص شده است.

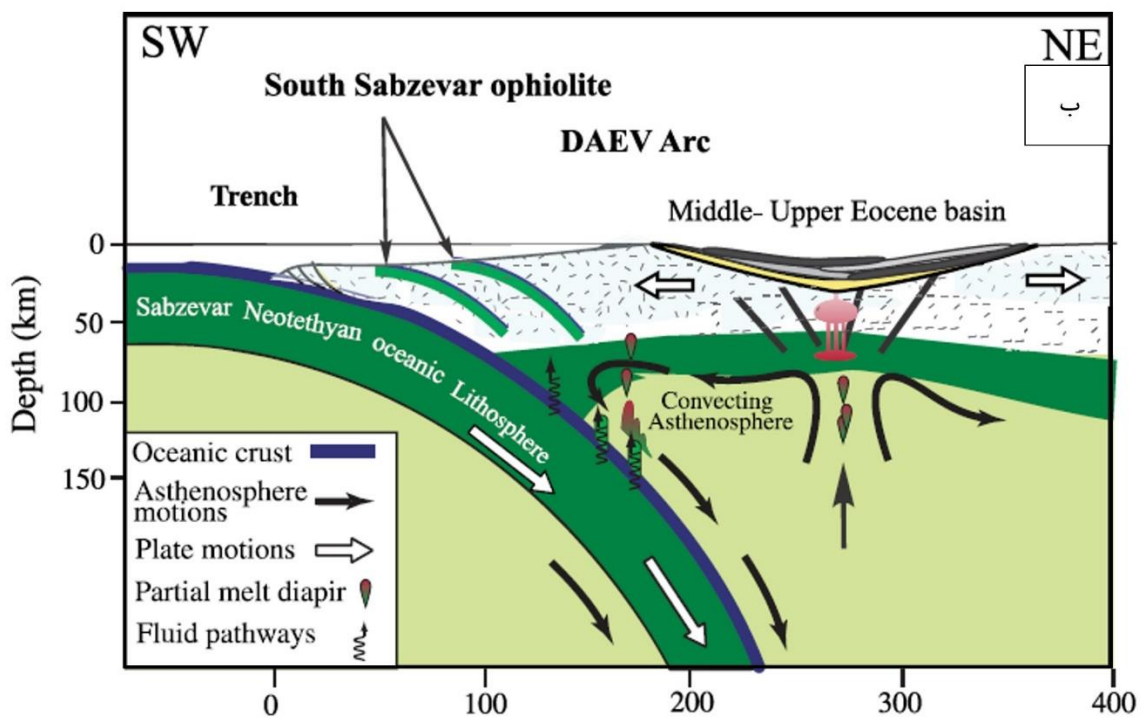
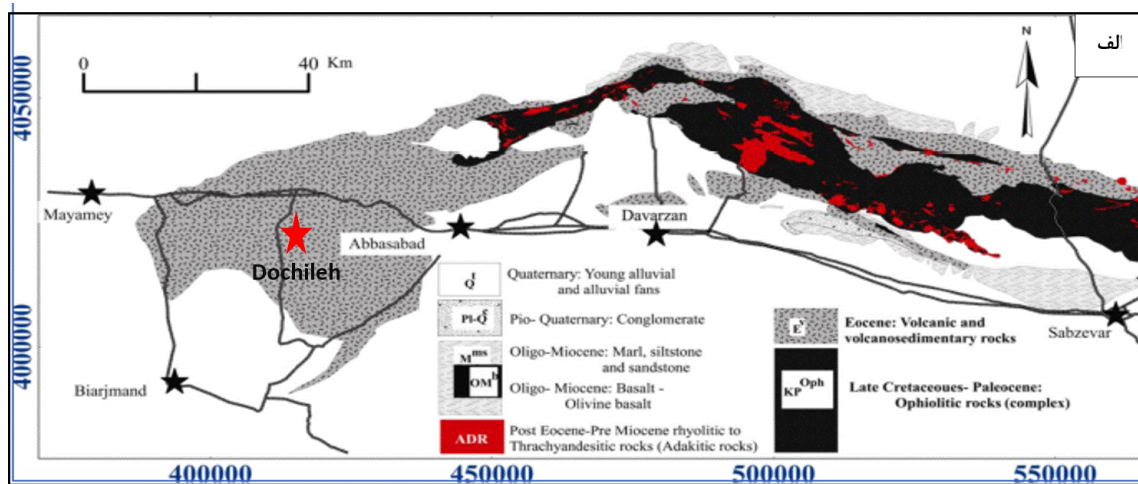
با توجه به همگرایی مداوم صفحات عربستان- اوراسیا و ضخیم شدن و چین‌خوردگی پوسته قاره ایران، فعالیت آتشفشانی از اوایل دوران سوم تا عهد حاضر در ایران مرکزی و البرز ادامه دارد. کمربند آتشفشانی، در منطقه شمال شرقی زون ایران مرکزی واقع شده است. سنگ‌های ماگمایی روند شرق- غرب را نشان می‌دهند و در

1 Intra oceani

2 Island Arc- Continent Suturing

3 Extensional Back Arc basin

حین فرورانش لیتوسفر اقیانوس نئوتتیس به زیر البرز شرقی در منطقه سبزوار توسعه یافته اند. پتروژنز ولکانیک‌ها ارتباط تنگاتنگی با فعالیت‌های اصلی تکتونیکی در طی تکامل ژئودینامیکی شمال ایران دارد (Ghasemi and Rezaei kakhaei, 2015) (شکل ۲-۲ ب).



شکل ۲-۲: الف) نقشه زمین‌شناسی ساده شده آشفشان‌های ائوسن داورزن-عباس‌آباد (DAEV) که بخش‌هایی از کمربندهای افیولیت سبزوار-عباس‌آباد هستند، ب) تصویر شماتیک یک مدل تکتونو ماگمایی برای تکامل کمربندهای افیولیت سبزوار-عباس‌آباد را نشان می‌دهد. همان‌طور که نشان داده شد، سنگ‌های ماگمایی ناحیه داورزن-عباس‌آباد در واکنش به فرورانش لیتوسفر اقیانوسی نئوتتیس در منطقه سبزوار در زیر البرز شرقی تشکیل شده است.

۲-۳- زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

واحدهای سنگ چینه‌ای این محدوده، شامل رخنمونی از توالی آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن بالایی می‌باشد (شکل ۲-۳).

واحد E_{II}^{ab} : گسترش قابل توجهی دارد و یک آندزیت بازالت قهوه‌ای و سبزرنگ با بافت پورفیریتیک با زمینه میکرولیتیک با پورفیرهای پلاژیوکلاز (آندزین و لابرادوریت) و کلینوپیروکسن است که در بعضی موارد به یک برش با ترکیب آندزیتی تبدیل می‌شود. ضخامت واحد حدود ۱۳۵۰ متر است.

واحد E_{II}^{tba} : در درون و بالای واحد پیشین جای دارد یک تراکی‌بازالت تجزیه شده با درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و اولیوین تجزیه شده است که در قسمت‌هایی برشی شده و آثار دگرگونی ضعیف نیز در آن دیده می‌شود. ضخامت آن حدود ۱۸۰۰ متر تخمین زده می‌شود. واحد یاد شده در بالا توسط آپوفیزها و دایک‌های پر شمار میکرومونوزودیوریت بریده می‌شوند. بخشی از واحد E_{II}^{ab} به صورت یک گدازه آندزیتی مگاپورفیری سبز تیره با پورفیرهای پلاژیوکلاز (آندزین) و پیروکسن (اوزیت) و احتمالاً اولیوین در زمینه‌ای از پلاژیوکلازهای اسیدی (آلبیت و الیگوکلاز) تفکیک می‌شود و واحد E_{II}^{ap} را پدید می‌آورد که حداکثر تا ۲۰۰ متر ضخامت دارد.

واحد E_{II}^{ca} : یک کنگلومرای ریز تا متوسط دانه است با قطعات اکثراً آتشفشانی ائوسن، به ندرت سنگ آهک کرتاسه و گرانیت با جورشدگی بد و گردشدگی متوسط تا خوب به ضخامت ۳۴۰ متر در روی واحد E_{II}^{ab} به‌طور نرمال جای گرفته است.

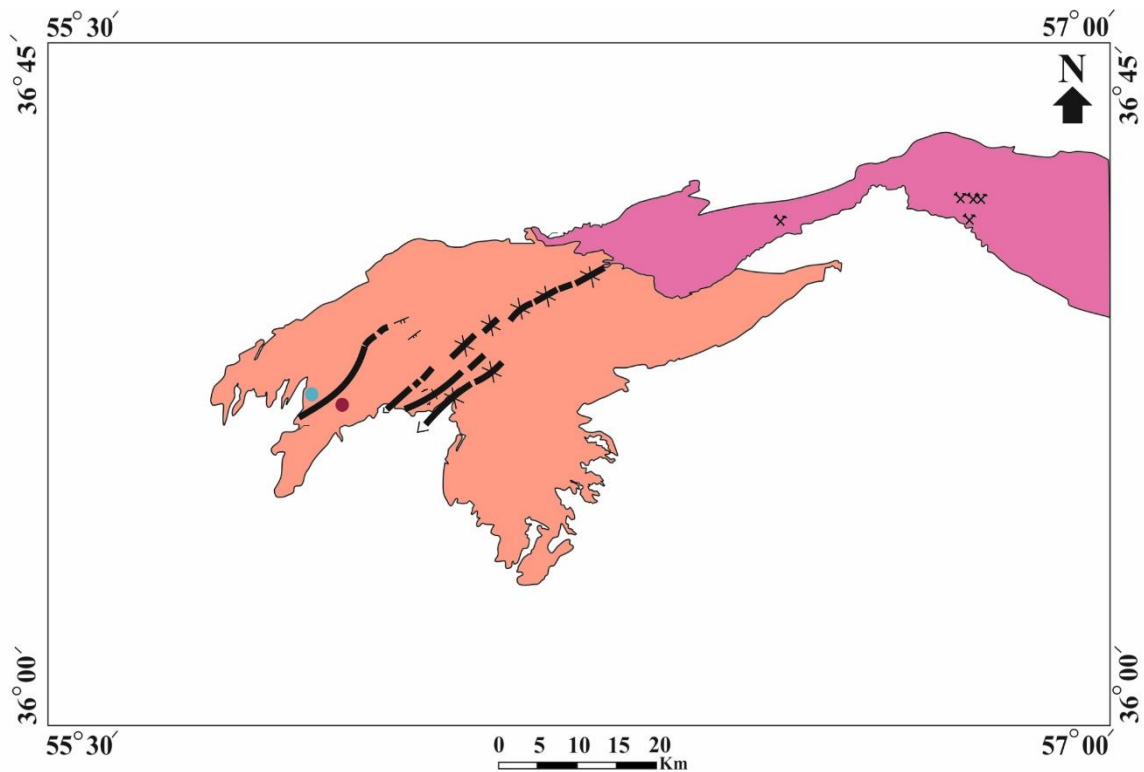
واحد E_{II}^{sc} : تناوبی از ماسه‌سنگ کمتر سخت شده سبز روشن با کنگلومرای متوسط تا ریزدانه و میان‌لایه‌هایی از مارن به ضخامت حدود ۴۶۰ متر است که به تدریج به واحد E_{II}^{sm} با تناوبی از ماسه‌سنگ و مارن نازک‌لایه با لایه‌بندی منظم تبدیل می‌شود. ضخامت واحد حدود ۳۵۰ متر است.

واحد E_{II}^{cs} : یک کنگلومرای ریز تا متوسط‌دانه با قطعات اغلب سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و آندزیتی بازالتی، سنگ آهک کرتاسه با جورشدگی ضعیف و گردشدگی خوب با لایه‌بندی متوسط و منظم است که میان‌لایه‌هایی از ماسه‌سنگ صورتی رنگ دارد (ضخامت ۳۲۰ متر) واحد یاد شده به تدریج تبدیل به مارن زرد و قرمز همراه

با لایه‌ها و عدسی‌های گچی (E_{II}^m) واحد می‌شود که یک واحد کنگلومرایی با سیمان رسی و میان‌لایه ماسه سنگ رسی (E_{II}^{cb}) از آن تفکیک می‌شود. ضخامت دو واحد حدود ۲۰۰ متر تخمین زده می‌شود. این واحدها در واقع جوان‌ترین بخش توالی‌های ائوسن هستند و نهشته‌های پلیوکواترنر به صورت دگرشیب روی آن می‌نشینند.

شکل (۳-۲) نقشه ساده شده ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم می‌باشد که قرارگیری واحد کرتاسه و ائوسن نسبت به یکدیگر و برخی از کانی‌سازی‌های آن‌ها را نشان داده است.


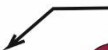





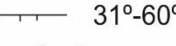


شکل‌های (۵-۲) و (۶-۲) به ترتیب، ستون چین‌شناسی و مقطع عرضی واحدهای سنگی موجود در محدوده اکتشافی دوچیله بر پایه نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱) را نشان می‌دهند (شکل ۴-۲).



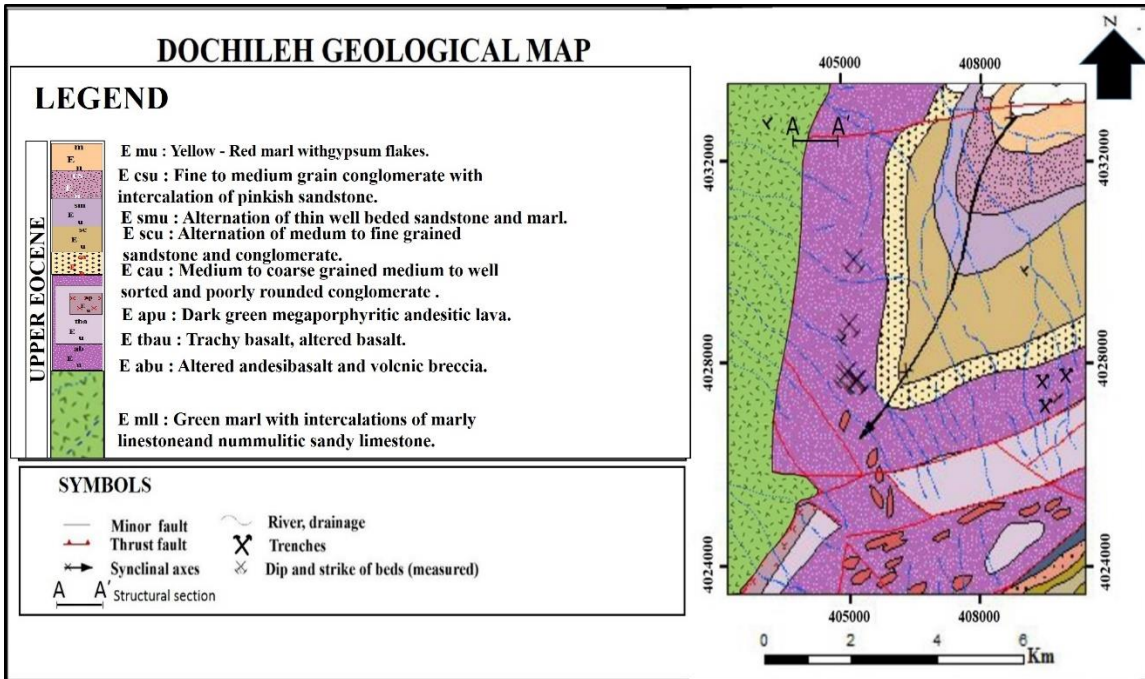
Legend

Eocene		Conglomerate, sandstone, marl, limestone, andesitic basaltic lava, agglomerate, tuff
Upper Cretaceous		"Forumad" Ophiolitic complex

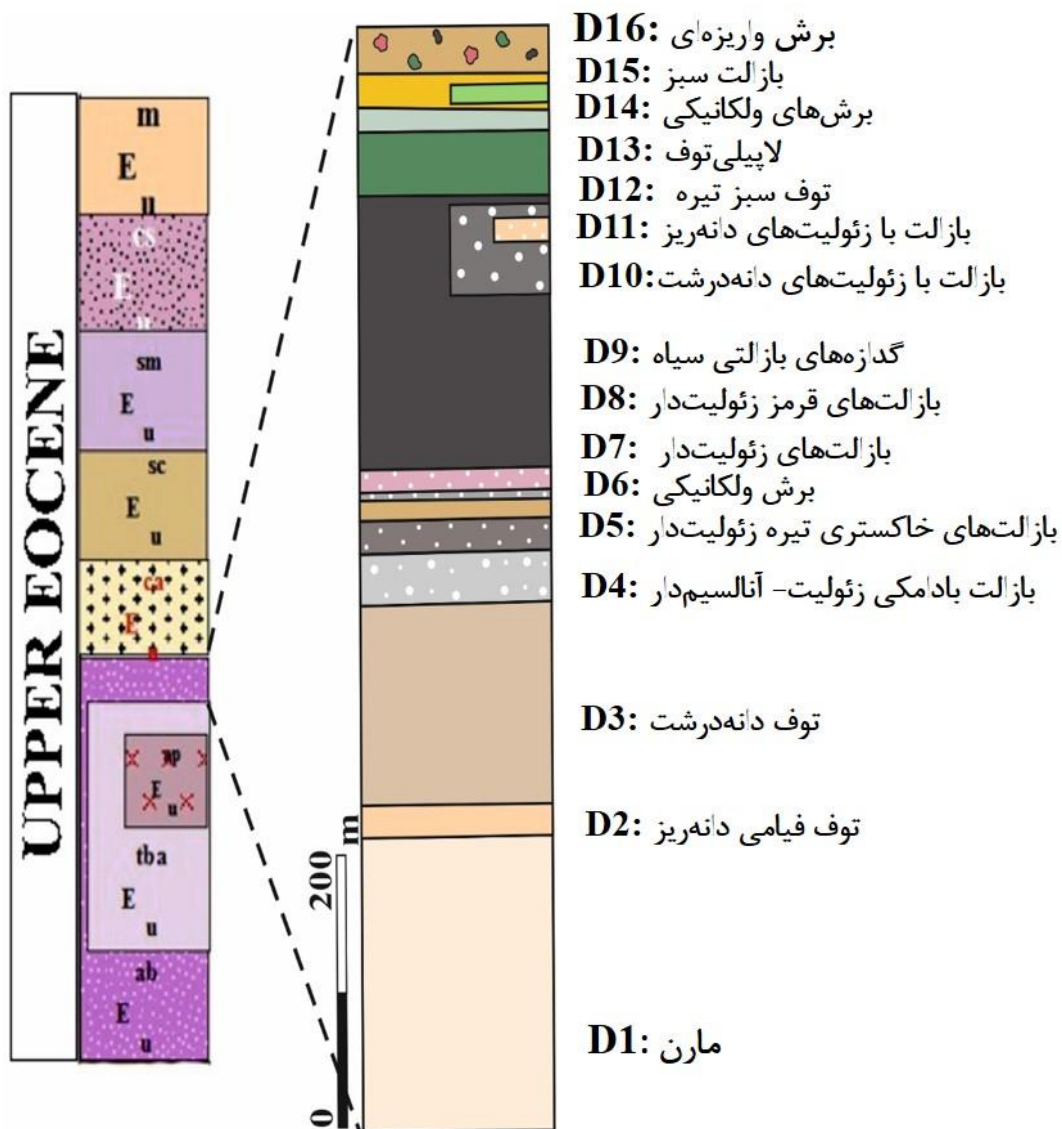
Symbol

	Mine (in operation- abandoned)	
	(Ore indication)	
	Touran	
	Dochileh	
	Anticline definite	 1°-30°
	Syncline definite	 31°-60°
	Syncline, with direction of plong	
	Syncline, app.located	

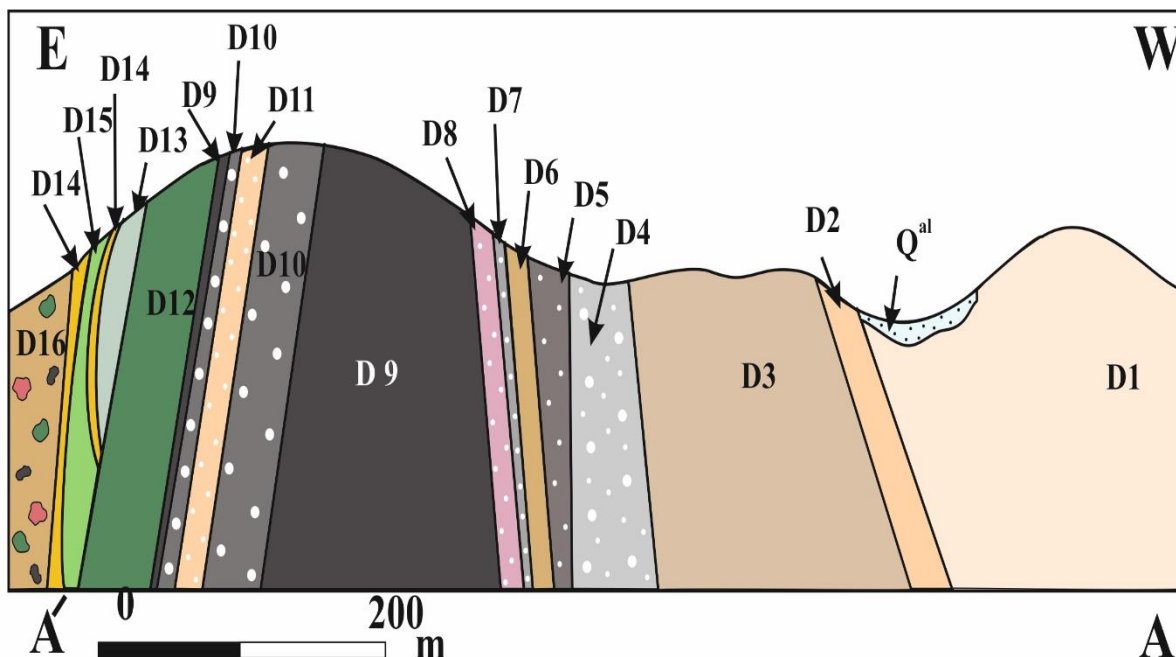
شکل ۲-۳: محدوده‌های اکتشافی دوچيله و توران، برگرفته از نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم (آقناباتی و همکاران ۱۳۷۱).



شکل ۲-۴: نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه و موقعیت کنسارهای دوچیله و توران در آن (بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی از امینی و همکاران، ۱۳۷۱)



شکل ۲-۵: ستون چینه‌شناسی منطقه معدنی دوچپله براساس شواهد صحرایی بر پایه نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱)



شکل ۲-۶: پروفیل منطقه معدنی دوچپله در امتداد ترانشه جاده شاهرود- مشهد بر اساس شواهد صحرایی بر پایه نقشه
 ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی (امینی و همکاران، ۱۳۷۱)

۲-۴- زمین‌شناسی ساختمانی و تکتونیک

گستره مورد بررسی در منطقه مرزی پهنه ایران مرکزی و پهنه بینالود و یا البرز خاوری جای دارد. بخش اصلی ورقه مورد مطالعه که در جنوب گسل میامی قرار دارد، در شمار پهنه ایران مرکزی و مناطق شمال این گسل در محدوده پهنه بینالود است. به‌طور کلی عناصر اصلی ساختاری ناحیه، شامل شکستگی‌ها، گسل‌ها و چین خوردگی‌های وابسته به گسلش‌اند. بر پایه مطالعات صحرایی، الگوی جابه‌جایی منطقه از نوع برشی، فشارشی است و به همین دلیل گسل‌های اصلی منطقه در بیشتر موارد هر دو مؤلفه جابه‌جایی افقی و قائم را دارا هستند. روند ساخت‌های منطقه شمال‌خاور- جنوب‌باختری است و به تقریب از روند البرز خاوری پیروی می‌کند (شکل ۲-۷).

۲-۴-۱ گسل خوردگی‌ها

گسل میامی با طول گسلش بیش از ۱۵۰ کیلومتر، پس از بریدن واحدهای سنگی از عرض ورقه مورد مطالعه گذر می‌کند. گسل میامی یک شکستگی واحد نیست. در حقیقت یک زون گسله (متشکل از چند گسل به

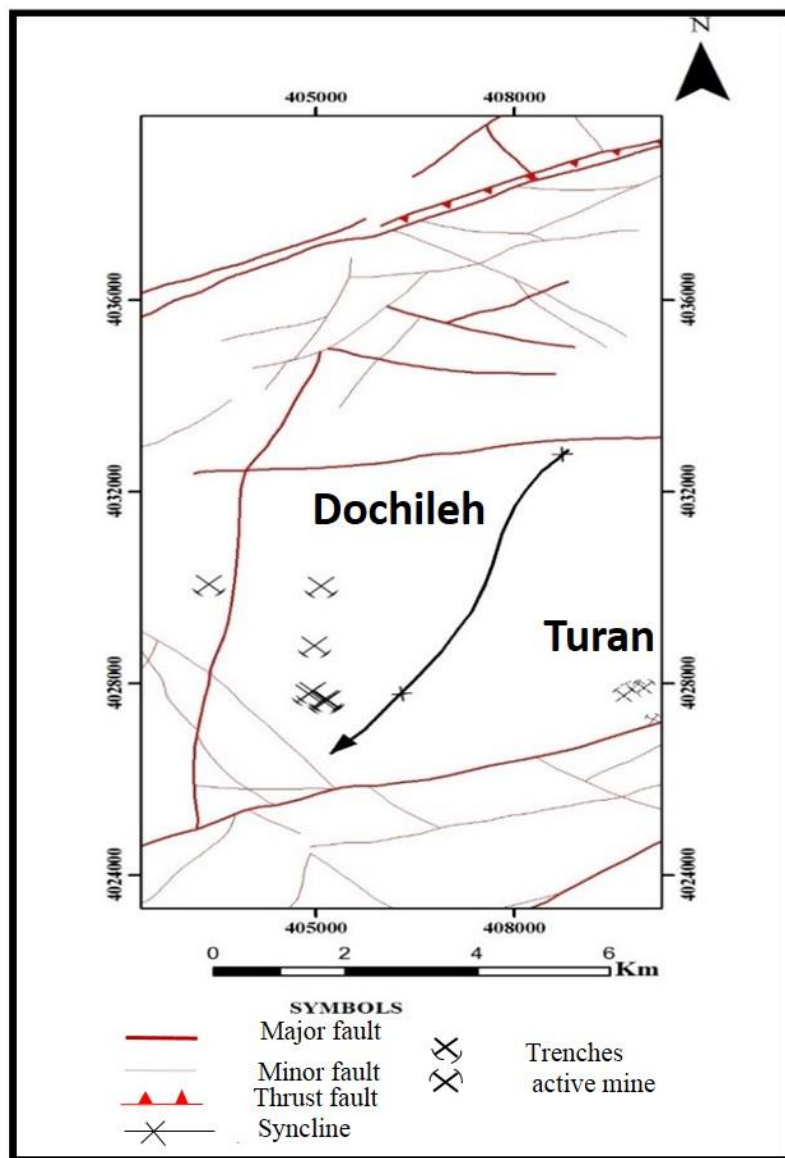
موازات یکدیگر) است. روند کلی گسل میامی N75E است و شیب صفحه گسله میامی متغیر و در زمین نزدیک به ۷۵ تا ۸۵ درجه به سمت جنوب است. این گسله دارای مؤلفه امتداد لغز راستگرد و مؤلفه شیب لغز از نوع معکوس یا راندگی است که در مجموع می توان آن را از نوع گسل های اریبلغز معرفی کرد. جابه جایی شیب لغز این گسل موجب بیرون زدگی بقایای افیولیتی در اطراف آن شده است. گسل میامی را می توان حد شمالی زون برشی مرکزی (در محدوده ورقه یک صد هزارم میامی) معرفی کرد. گسل چاه سیدان که مرز جنوبی بخش بالا آمده مرکزی را پدید می آورد، موجب راندگی واحدهای سنگی ائوسن بر روی واحدهای تخریبی نئوژن شده است. این گسل نیز افزون بر مؤلفه شیب لغز، دارای مؤلفه امتداد لغز از نوع راستگرد است. هر چند این گسل تا گوشه جنوب غربی نقشه به طور نمایان، دیده نمی شود؛ ولی به نظر می رسد به سوی باختر به تقریب به موازات گسل میامی ادامه داشته باشد که مرز جنوبی زون برشی را پدید می آورد.

گسل های سکون و شیرمار با روند شمال خاوری-جنوب باختری به موازات گسل میامی هستند و یا زاویه ای کوچک با آن می سازند، در شمار گسل های ریدل گسل میامی به حساب می آیند و به همین دلیل دارای سازوکار و جابه جایی مشابه آن هستند.

گسل های آب آسمانو، کال طالق و دوچپله با روند شمال خاوری-جنوب باختری در بخش خاوری محدوده مورد مطالعه نمایان هستند. این نوع شکستگی ها با زاویه ای کوچک از گسل میامی منشعب شده اند و به وضوح دارای جابه جایی امتداد لغز راستگرد هستند. بر پایه زاویه و موقعیت این گسل ها نسبت به سیستم برشی-فشارشی حاکم بر بخش مرکزی محدوده مورد مطالعه و قرار گرفتن این گسل ها به موازات گسل راندگی سوخته کوه، یک مؤلفه فشارشی قوی در این گسل ها وجود دارد که در مطالعات صحرایی به دلیل فرسایش شدید و مورفولوژی سست و واریزه ای، نشانه های دقیقی از آن ها یافت نشده است.

گسل راندگی سوخته کوه در بخش مرکزی ورقه مورد مطالعه باعث راندگی واحد K^1_1 بر روی واحد K^{ml}_2 شده است. روند کلی این گسل شمال خاوری-جنوب باختری است و جهت شیب گسل رانده به سوی باختر است. در بخش جنوب باختری منطقه، یک سیستم شکستگی با روند کلی شمال خاوری-جنوب باختری حاکم است که مهم ترین این شکستگی ها، گسل های سالک و کی کی با طول گسلش بیش از ۳۰ کیلومتر در خاور گسل

سالک و به موازات آن قرار گرفته است. روند کلی گسل‌های کی کی و سالک نسبت به سیستم برشی-فشارشی حاکم بر منطقه، توازی آنها با محور چین‌های منطقه (ناودیس سالک و تاق‌دیس خاوری آن) و موازی بودن این گسل‌ها با گسل رانده سوخته کوه، نمایانگر وجود مؤلفه فشاری با اهمیت در این گسل‌ها است که به دلیل تخریبی بودن واحدهای پیرامون این گسل‌ها، در صحرا چندان قابل رؤیت نیستند (امینی و همکاران، ۱۳۷۱).



شکل ۲-۷: نمایی از گسل‌های مهم منطقه مورد مطالعه و ارتباط کانی‌زایی با گسل‌ها بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ (امینی و همکاران، ۱۳۷۱)

۲-۴-۲ چین خوردگی‌ها

در ورقه مورد بررسی در صفحات بین گسل‌ها، چین خوردگی‌های پر شمار را می‌توان مشاهده کرد. بسیاری از این چین‌ها، کوچک‌اند و امکان نمایش در مقیاس یک‌صد هزارم را ندارند. چین خوردگی‌ها از نظر اندازه، توزیع و گسترش بسیار متغیرند و در اغلب موارد به موازات گسل‌های اصلی و یا با زاویه کمی نسبت به آن‌ها جای دارند. ناودیس سالک و دوچپله هر دو سنگ‌های تخریبی و آتشفشانی ائوسن و نئوژن را تحت تأثیر قرار داده و دارای محور S شکل هستند که به کمان با حرکت راستگرد گسل میامی در ارتباط هستند.

سازوکار چین خوردگی‌ها به‌طور عمده از نوع خمش لغزش بوده است و نازک شدگی و ضخیم شدگی در لولای چین‌ها دیده نشده است؛ ولی در سنگ‌های دگرگونی (واحد q.sh در جنوب کلاته اسد و واحد Mt^s در غرب چاه‌تلخ) انواعی از چین‌های مشابه در مقیاس رخنمون دیده شده است. شیب سطح محوری بیشتر چین‌های اصلی به سوی جنوب خاوری است.

بیشتر چین خوردگی‌های منطقه مربوط به Post Eocene هستند که می‌تواند در فرآیند فاز Mid-Alpine انجام شده باشد. از سن سنگ‌های دگرگونی واحدهای PE^{sh} و q.sh اطلاع چندانی در دست نیست. از این‌رو فازهای کوهزایی که موجب این دگرگونی شده‌اند، دانسته نیست. با توجه به نبود بیرون‌زدگی سنگ‌های ماقبل ژوراسیک، این گمان وجود دارد که در روند پالئوزوئیک، ناحیه مورد مطالعه به‌صورت بخش خشکی و فاقد رسوب‌گذاری قابل ملاحظه بوده است و یا این‌که در اثر حرکات خشکی‌زایی بعدی و فرسایش پی‌آمد آن، نهشته‌های پالئوزوئیک و قدیمی‌تر حذف شده‌اند.

در اواخر ژوراسیک فازهای کوهزایی سیمیرین بالایی، منطقه را تحت تأثیر قرار داده و سنگ‌های ژوراسیک را دچار چین خوردگی و گاه دگرگونی می‌کند. این فاز کوهزایی همزمان با پیدایش توده‌های نفوذی در منطقه مورد مطالعه بوده است که به صورت توده‌های گرانودیوریتی (واحد g_1 و g_2) عمل کرده است و در ادامه فرآیند این فاز کوهزایی باعث خشکی‌زایی و خارج شدن ناحیه از آب بوده است. آن‌چنان که آغاز کرتاسه با پیشروی گسترده‌ای همراه با کنگلومرای قاعده‌ای بوده است.

میان کرتاسه زیرین و بالایی، ناپیوستگی هم‌شیب وجود دارد که نشان‌دهنده خروج حوزه رسوبی برای مدت کوتاه از آب بوده است که شاید تحت تأثیر فاز استریشین (Austrian) این ناپیوستگی رخ داده باشد و کرتاسه بالایی به صورت پیش‌رونده و با قاعده ماسه‌سنگ آهکی منطقه را می‌پوشاند.

فاز لارامید در مرز کرتاسه-پالئوسن از فازهای مهم بوده که به گمان باعث جایگیری افیولیت‌ها در ناحیه مورد مطالعه و آغاز فرورانش احتمالی در بخش شمالی منطقه شده است و از سوی دیگر این فاز با یک دگرشیبی کاملاً برجسته در قاعده نهشته‌های ترشیر مشخص است. با توجه به این‌که تنها یک رخنمون بسیار کوچک پالئوسن در منطقه دیده شده است، از چگونگی سازوکار این فاز در پالئوسن اطلاع چندانی نداریم؛ ولی در آغاز ائوسن این فاز موجب بالا آمدن منطقه و تشکیل کنگلومرا با گسترش قابل ملاحظه می‌شود که اغلب قطعات از فرسایش سنگ‌های قدیمی‌تر (ژوراسیک و توده‌های نفوذی) حاصل شده است. در ادامه گسترش رسوبات ژرف‌تر شیل و مارن و گدازه‌های گوناگون بازالتی و آندزیت‌بازالتی وجود دارند. از طرفی نفوذ توده‌های واحد g و md و da می‌تواند در ارتباط با این فاز کوهزایی مورد توجه قرار بگیرد. الیگوسن با رخنمون بسیار محدود در منطقه دیده می‌شود و ارتباط آن با سایر واحدها دانسته نیست. آلپ پایانی در ناحیه دارای حرکات متعددی بوده است که مهم‌ترین آن‌ها در اول نئوژن و با پیشروی دریا و تشکیل کنگلومرا همراه است. تشکیل کنگلومرای پلیوکواترنر (واحد PLQ^c) و چین‌خوردگی آن را می‌توان بر اثر جنبش‌های پاسادنین دانست که در پایان پلیوسن و شروع کواترنر به اوج خود رسیده است و دگرشیبی مابین نهشته‌های کواترنر و پلیوسن را پدید آورده است (امینی و همکاران، ۱۳۷۱).

۲-۵- زمین‌شناسی اقتصادی

با توجه به فعالیت‌های زمین‌ساختی و ماگماتیسم در گستره ورقه ۱/۲۵۰۰۰۰ جاجرم و موقعیت این ورقه در پهنه‌های ساختاری ایران، شاهد کانه‌زایی‌ها و تشکیل کانسارهای متنوعی در این ناحیه هستیم که می‌توان به کانه‌زایی‌های مس، آهن، منگنز، سرب و تشکیل کانسارهای منیزیت و سیلیس اشاره نمود. در تصویر ماهواره‌ای زیر تعدادی از اندیس‌های معدنی مرتبط با نوار شمالی ایران مرکزی مشخص شده است (شکل ۲-۸).



شکل ۲-۸: تعدادی از اندیس های معدنی مشخص شده در ارتباط با نوار ماگمایی شمال ایران مرکزی در تصویر ماهواره ای (گوگل ارث) (منطقه مورد مطالعه توسط کادر مشخص شده است).

در ورقه میامی تنها یک معدن فعال شن و ماسه وجود دارد. آثار مواد معدنی فلزی و غیرفلزی به شرح زیر در ورقه میامی برونزد دارند.

- مس

کانی سازی مس به طور پراکنده و به صورت آلودگی های مالاکیت و آزوریت در سنگ های رسوبی و آتشفشانی ائوسن دیده می شود. کانی سازی به طور عمده به صورت رگه های کوچک و کم ضخامت و یا در سنگ های آتشفشانی به صورت ثانویه در حفره ها پر شده از کوارتز و فلدسپات، به وجود آمده اند. در جنوب باختر چاه تلخ، بر پایه چشم انداز رخنمون سطحی، پتانسیلی قابل توجه از کانی سازی مس به چشم می خورد و در جنوب خاور تاقدیس دوچپله و جنوب دجو نیز آثار کانی سازی مالاکیت، آزوریت دیده می شود. در بسیاری از نقاط ورقه، آثار معدنکاری قدیمی (شدادی) و بقایای ذوب مواد به صورت Slag مشاهده می شود که در جنوب خاور چاه تلخ کوره های ذوب و حفرات استخراج در گسترده ای وسیع برجای مانده است.

- سیلیس

سیالات اسیدی حاصل شده از توده های نفوذی در سنگ های قدیمی تر منطقه نفوذ کرده و رگه های متعدد سیلیسی و کوارتز فلدسپاتی به وجود آورده است که یک مورد آن در جنوب کی کی با طول ۲۵ متر و عرض ۷

متر حداقل تا ۶۰ هزار تن ذخیره دارد. این سیلیس از خلوص بالایی در حد ۹۹٪ برخوردار است. رگه کوارتز فلدسپاتی مهمی نیز در باختر چاه تلخ دیده می‌شود. در گوشه شمال خاور ورقه نیز رگه سیلیسی با درصد خلوص ۹۸٪ و طول حدود ۴۰۰ متر وجود دارد که از نظر اقتصادی شایان توجه است.

- سنگ نمک

در گوشه شمال باختر ورقه یک لایه نمک به عرض ۲۰ متر و طول بیش از ۲۰۰ متر دیده می‌شود که برای مصارف صنعتی قابل بررسی است. این نمک به صورت بین‌لایه‌ای در میان رسوبات مارنی و گچی نئوژن (واحد Ng^m) جای گرفته است.

- سنگ گچ

در واحدهای نئوژن شمال باختر نقشه، عدسی‌ها و لایه‌های متعدد گچ وجود دارد که چندان قابل توجه نیستند. در حدود چهار کیلومتری سه راه میامی بیارجمند به سمت بیارجمند، رگه‌ای به طول ۸۰۰ متر و عرض ۷ متر از گچ در امتداد یک گسل تشکیل شده است و در شمال سوخته کوه نیز رگه‌ای از گچ به طول ۵۰۰ متر وجود دارند که به دلیل خلوص بالا برای موارد خاص قابل بهره‌برداری است.

- شن و ماسه

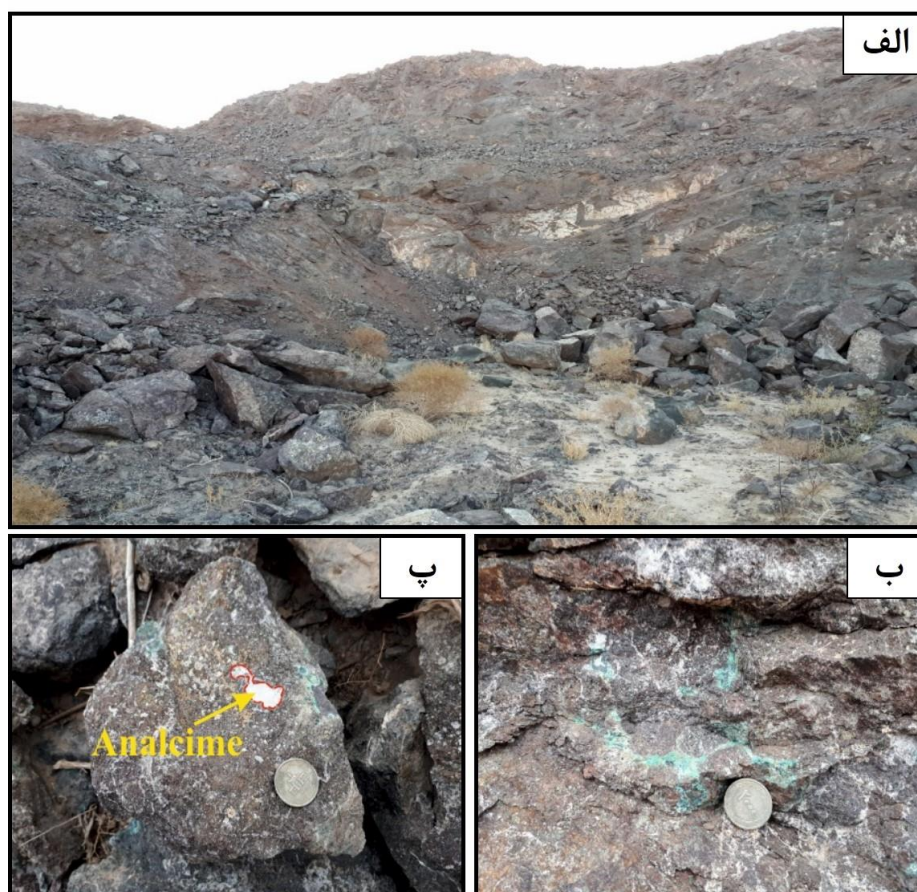
تنها معدن فعال منطقه، شن و ماسه مستقر در ابتدای دره زیدر است که فرآورده‌های خود را جهت آسفالت‌کاری جاده‌های منطقه، عرضه می‌کند. آبرفت‌های کف رودخانه زیدر، ضخامت زیادی دارند و ذخیره و کیفیت بسیار مناسبی برای استفاده طولانی از این معدن به چشم می‌خورد.

- سنگ‌های ساختمانی

توده‌های نفوذی منطقه به ویژه توده‌های گرانیتی چاه تلخ، در مناطقی که تکتونیک کمتری را تحمل نموده و برش‌دهی مناسب داشته باشد، به عنوان سنگ تزئینی قابل بررسی است. آهک‌های کرتاسه زیرین نیز در مناطقی که سالم باشند برای سنگ‌نما قابل استفاده هستند.

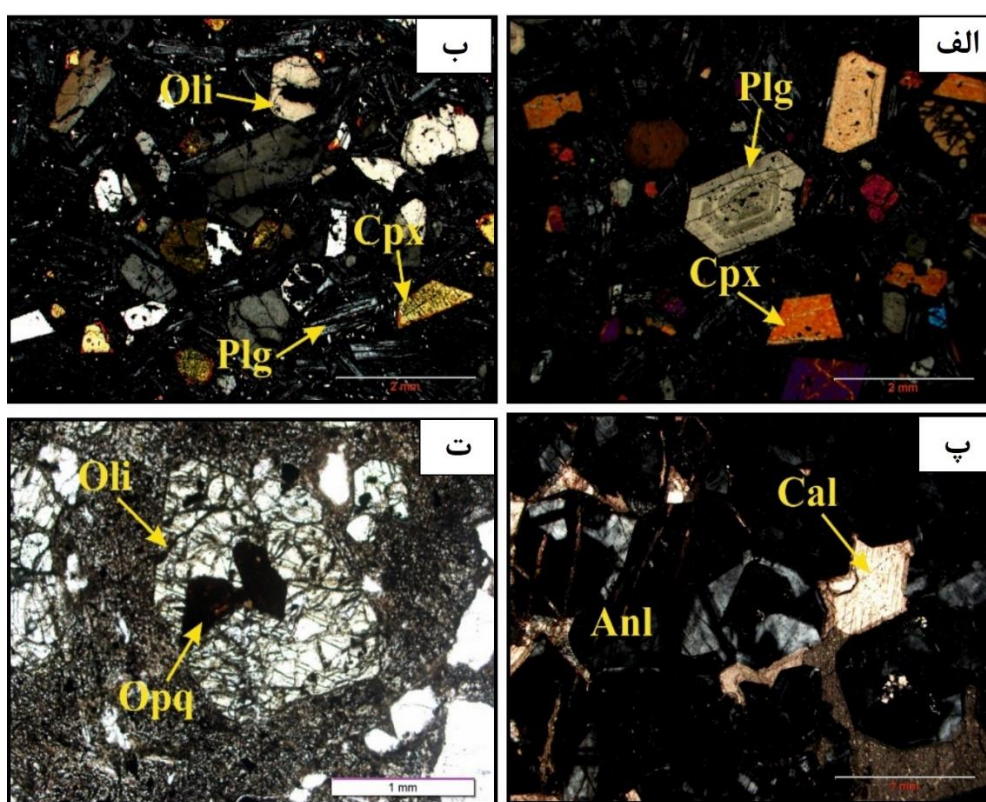
۲-۶- سنگ‌شناسی محدوده معدنی

واحد گدازه (بازالت): واحدهای گدازه در مشاهدات صحرایی با ریخت شناسی برجسته و تیره‌رنگ به همراه واحدهای آذرآواری دیده می‌شوند. این واحدهای سنگی در سطح تازه به رنگ خاکستری تیره و گاهی متمایل به قرمزقهوه‌ای تا سبز می‌باشند (شکل ۲-۹) و در مقاطع میکروسکوپی دارای بافت پورفیری و میکرولیتی پورفیری هستند که نشان‌دهنده سرد شدن گدازه در دو مرحله می‌باشد. پلاژیوکلازها به صورت درشت‌بلورهای خودشکل و با ماکل پلی‌سنتتیک مشاهده می‌شوند که گاهی سالم و در برخی موارد به کانی‌های کلسیت و سربیسیت دگرسان شده‌اند. پیدایش منطقه‌بندی در کانی‌های سنگ آذرین به علت برقرار نبودن تعادل کامل در خلال تبلور است که این منطقه بندی عمدتاً در پلاژیوکلازها معمول‌تر است. معمولاً این حالت نشانه آهسته‌تر بودن سرعت ایجاد تعادل نسبت به سرعت تبلور می‌باشد (شکل ۲-۱۰ الف)، (Shelly, 1993).



شکل ۲-۹: الف) تصویر صحرایی از رخنمون سنگ‌های بازالتی، ب) نمای نزدیک‌تر از سنگ میزبان کانه‌زایی، پ) تصویر نمونه‌دستی بازالت بادامکی

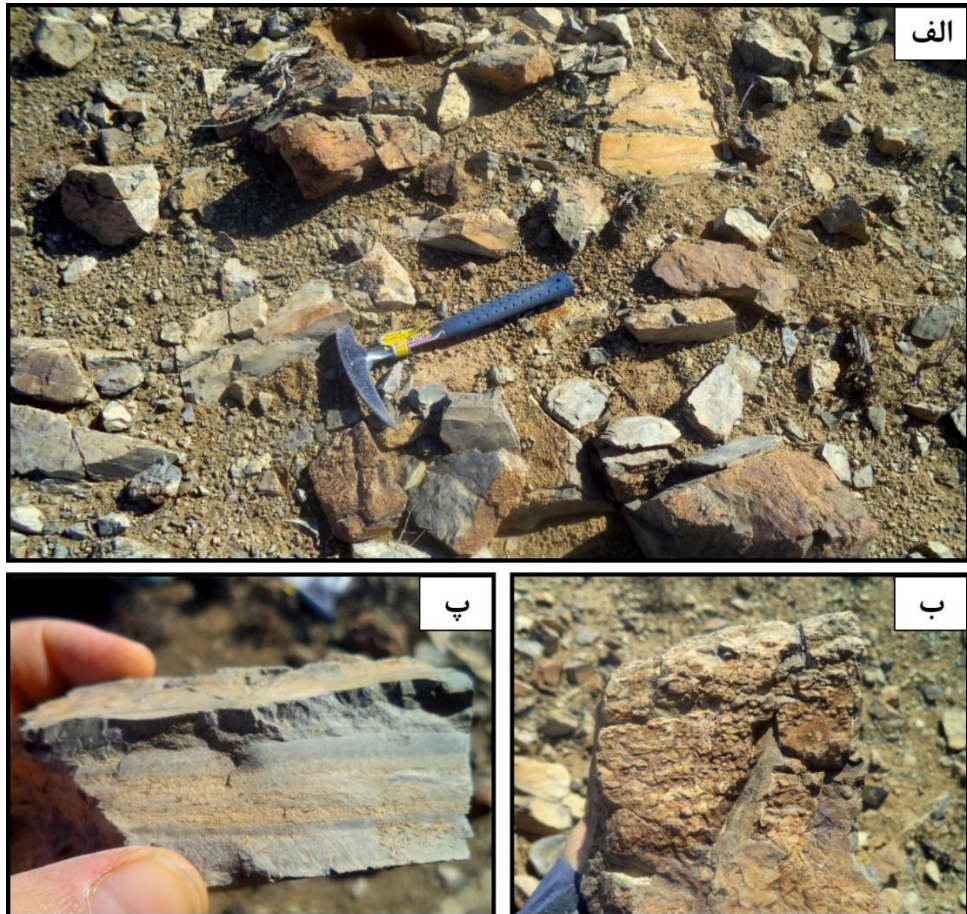
واحدهای آتشفشانی ائوسن سنگ میزبان کانی‌سازی می‌باشند که کانه‌زایی اکثراً در بازالت‌های قهوه‌ای و سبز رنگ با بافت غالب پورفیریتیک رخ داده است. این سنگ‌ها حاوی فنوکریست‌های پلاژیوکلاز، کلینوپیروکسن (اوپیت) و الیوین است و هماتیت، و کانی‌های اپک همراه با آن دیده می‌شود (شکل ۲-۱۰ ب). کانی‌های ثانویه ناشی از دگرگونی تدفینی و دگرسانی نیز نظیر کلسیت و زئولیت و آنالسیم هستند که درز و شکاف و حفرات موجود در بازالت (امیگدال یا بازالت بادامکی) را پر کرده‌اند (شکل ۲-۱۰ پ). ایدنگزیتی شدن الیوین یکی از محصولات دگرسانی الیوین می‌باشد که یک شبه کانی قرمز رنگ حاوی اکسید آهن سه ظرفیتی است (شکل ۲-۱۰ ت).



شکل ۲-۱۰: تصویر میکروسکوپی از بازالت، الف) بافت منطقه‌بندی در پلاژیوکلاز (XPL)، ب) تبدیل کانی پیروکسن به کانی‌های اپک (XPL)، پ) حضور آنالسیم و کلسیت در سنگ بازالتی (XPL)، ت) ایدنگزیتی شدن الیوین (PPL)، پلاژیوکلاز (Plg)، کلینوپیروکسن (Cpx)، الیوین (Oli)، کلسیت (Cal)، آنالسیم (Ana)، اپک (Opq).

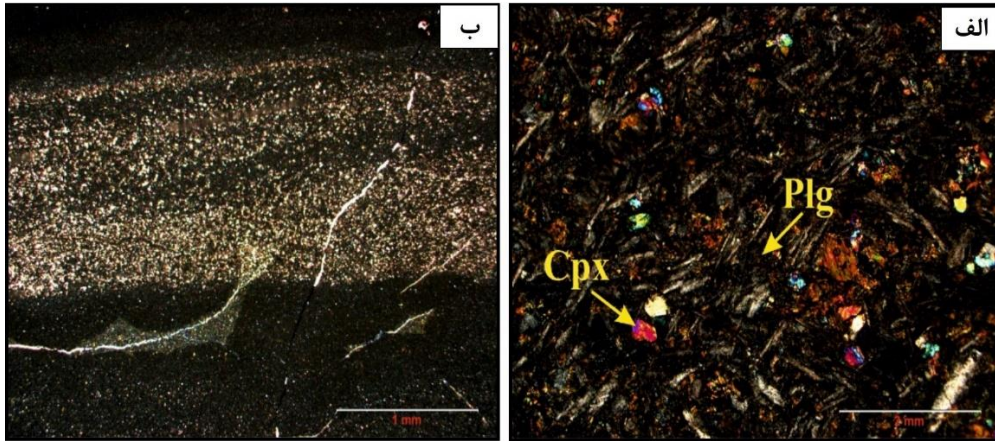
واحدهای آذرآواری (توف و آگلومرا): سنگ‌های آذرآواری بر اساس اندازه مواد (خاکستر، لاپیلی، بمب یا بلوک)، به پنج گروه توف، لاپیلی توف، لاپیلی توف برشی و آگلومرا دسته‌بندی می‌شوند. توف‌ها، سنگ‌های آذرین خروجی می‌باشند که از خاکسترهای آتشفشانی با ترکیبی از تکه‌های بزرگ و کوچک قطعات سنگی دیگر (آندزیت، بازالت و غیره) تشکیل شده‌اند و پس از سنگ‌شدگی و تراکم، به توف برشی و برش‌های

آتشفشانی تبدیل می‌شوند (Damerson, 1990). توف‌ها در نمونه دستی به رنگ روشن متمایل به زرد و گاهی تحت تأثیر سیالات جوی به رنگ متمایل به قرمز دیده می‌شوند (شکل ۲-۱۱).



شکل ۲-۱۱: الف) تصویر صحرایی رخنمون توفی، ب) تصویر نمونه دستی توف فیامی، پ) تصویر نمونه دستی توف دارای لایه بندی

توف‌های منطقه حاوی قطعات سنگی، کریستال، و شیشه می‌باشند که ترکیب سنگی شامل پیروکسن، پلاژیوکلاز و کانی‌های کدر است (شکل ۲-۱۲).



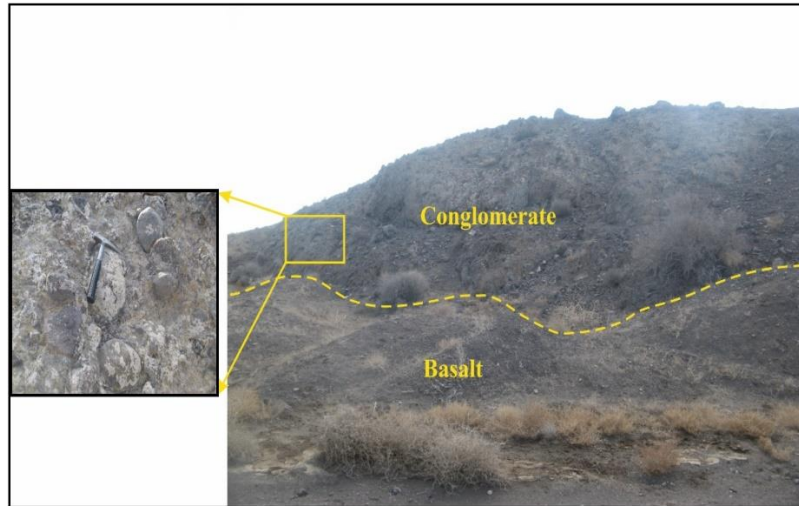
شکل ۲-۱۲: تصویر مقطع میکروسکوپی توف، الف) حاوی قطعات سنگی پلاژیوکلاز و کلینوپیروکسن (XPL)، ب) توف شیلی لایه‌ای دارای قطعات خیلی خورد شده. پلاژیوکلاز (Plg)، کلینوپیروکسن (Cpx)

آگلومرا سنگی است که از به هم پیوستن قطعات گرد شده آذرآواری با ابعادی بیش از ۶۴ میلی‌متر که توسط یک ماتریکس از قطعات آذرین ریزبلور به هم متصل شده است، تشکیل شده‌اند (شکل ۲-۱۳).



شکل ۲-۱۳: تصویر صحرایی نمونه آگلومرا

واحدهای کنگلومرا: کنگلومراها در ابعاد مختلف با جورشدگی ضعیف و گردشدگی خوب از قطعات واریزه ولکانیکی تشکیل شده است که با سن ائوسن بالایی به صورت پیوسته بر روی واحدهای قدیمی تر آتشفشانی-رسوبی قرار گرفته‌اند (شکل ۲-۱۴).



شکل ۲-۱۴: تصویر رخنمون کنگلومرایی و نحوه قرارگیری آن نسبت به واحد بازالتی

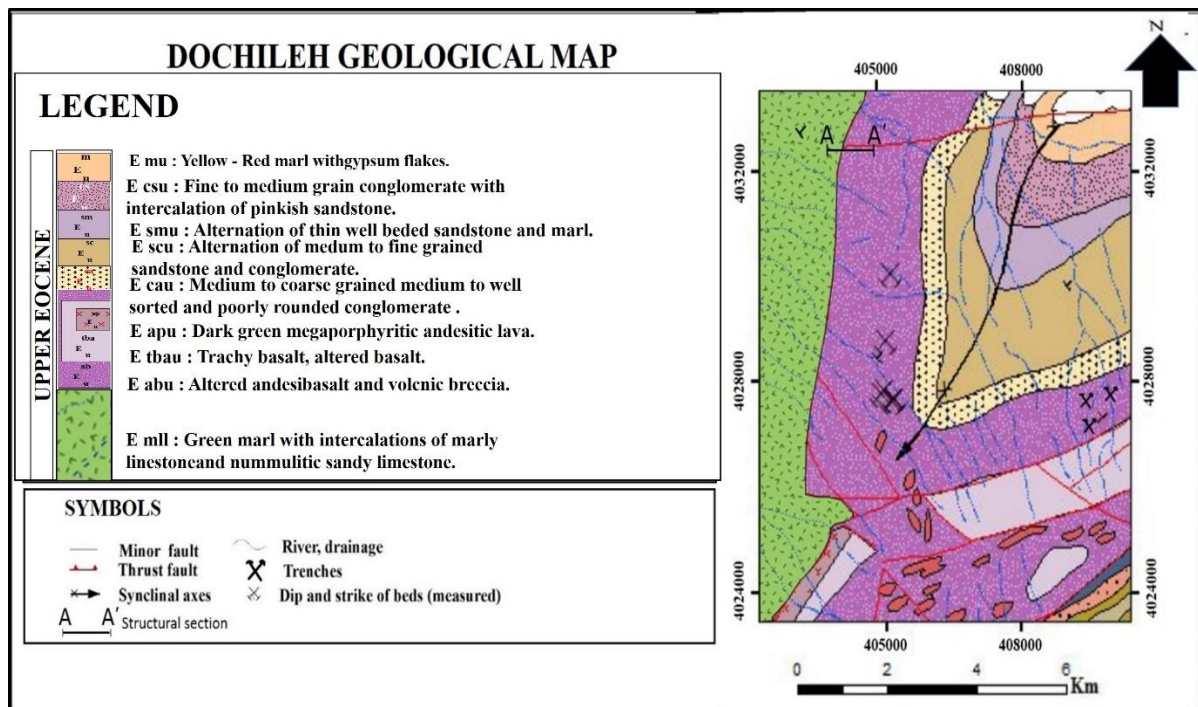
فصل ۳ کانه‌زایی و دگرسانی

۳-۱- مقدمه

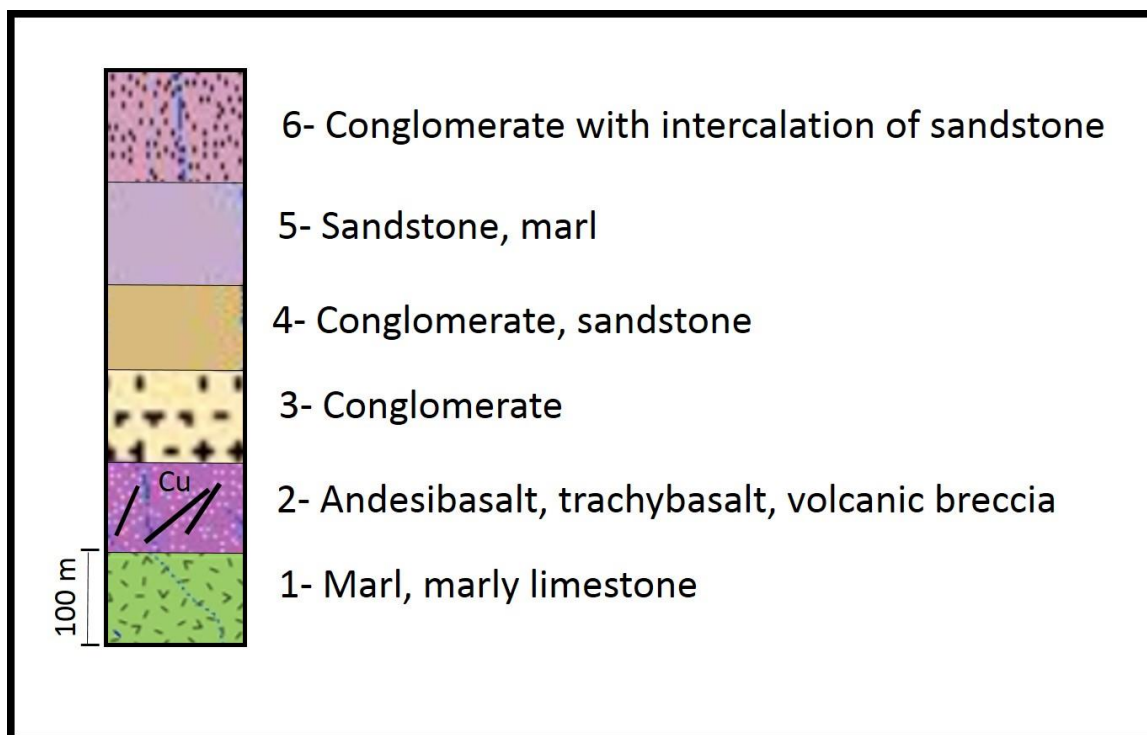
نقش پدیده‌های زمین‌شناسی ساختمانی از قبیل چین‌خوردگی‌ها، گسلش‌ها و سیستم‌های درز شکاف در جایگیری گدازه و گسترش مناطق دگرسانی گرمایی و کانه‌زایی بسیار مهم است به طوری که در مناطق متأثر از فعالیت‌های ولکانیکی کمک شایانی جهت شناسایی و اکتشاف مواد معدنی می‌کند. لذا با مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی منطقه مورد مطالعه، زون‌های کانه‌زایی به همراه گستره‌هایی از دگرسانی‌ها مورد بررسی قرار گرفته است.

۳-۲- رخداد کانه‌زایی در کانسار مورد مطالعه

سنگ‌های در برگیرنده محدوده معدنی به سه بخش گدازه، آذرآواری و رسوبی تقسیم می‌شوند که مجموعه گدازه‌های بازالتی میزبان کانه‌زایی می‌باشند و بخش اعظم رخنمون محدوده مورد بررسی را تشکیل می‌دهند (شکل ۳-۱ و شکل ۳-۲).



شکل ۳-۱: نقشه زمین‌شناسی محدوده معدنی مورد مطالعه و موقعیت کانسارهای دوچیله و توران در آن (بر اساس نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی از امینی و همکاران، ۱۳۷۱).



شکل ۳-۲: توالی سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه که افق کانهدار در آن مشخص شده است.

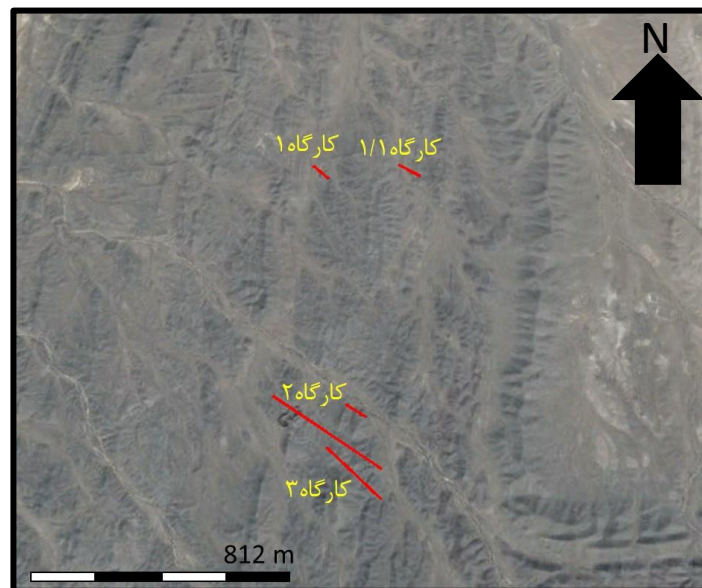
با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی در داخل واحدهای گدازه و منطبق با امتداد گسل‌ها با روند غالب NW-SE و درزه و شکستگی‌های مربوطه تشکیل شده است. بر پایه همین مطالعات کاندهای تشکیل‌دهنده کانسار به دو صورت اولیه مس خالص و ثانویه کوپریت، مالاکیت می‌باشد.

یکی از عوامل مؤثر در کاندهایی در هر ناحیه‌ای گسلش و شکستگی‌های موجود می‌باشد که در واقع راهی برای نفوذ سیالات کانهدار هستند. همچنین فضاهای باز موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم‌شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن‌ها به صورت محلول کانهدار به مناطق سطحی می‌گردد.

۱-۲-۳ کاندهایی در منطقه دوچپله

آثار عملیات اکتشافی در منطقه دوچپله، محدود به حفر ترانشه‌هایی است که در سال‌های اخیر انجام شده‌اند (شکل ۳-۳).

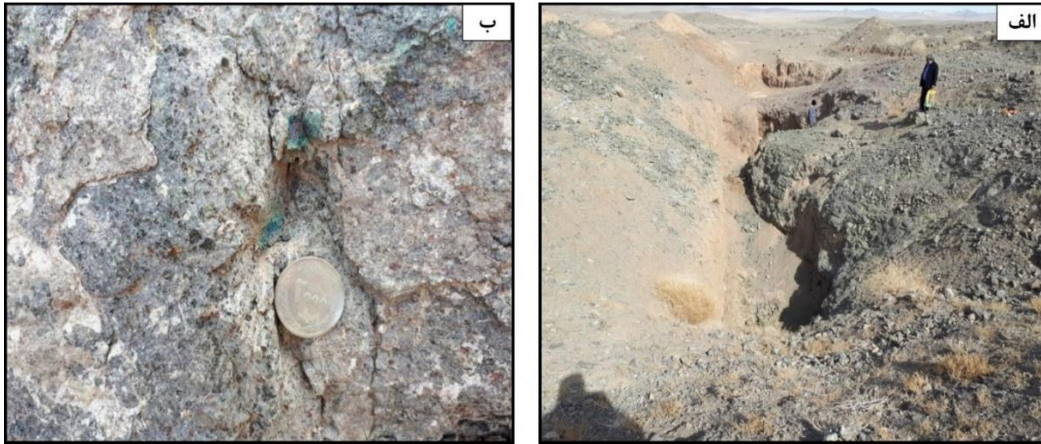
برای سهولت بررسی و مطالعه کانه‌زایی در ترانشه‌های حفرشده، آن‌ها را در غالب سه کارگاه بررسی می‌کنیم.



شکل ۳-۳: تصویر ماهواره‌ای موقعیت کارگاه‌های منطقه دوچپله

-کارگاه ۱:

عرض زون گسلی در این حفاری به ۲ متر می‌رسد. رگه و رگچه‌های ژئولیتی در جهات مختلف، در زون گسلی داخل سنگ میزبان قرار دارند. کانه‌زایی با ساخت دانه‌پراکنده و رگه- رگچه‌ای همراه با ژئولیت‌های نسل دوم می‌باشد، که حاوی مس طبیعی است و از اطراف تبدیل به کوپریت و مالاکیت شده است (شکل ۳-۴). عیار مس در این کارگاه ۰/۲ درصد است. نکته قابل توجه این است که ژئولیت‌های نسل اول در همه لایه مشاهده نشده است ولی ژئولیت نسل دوم در جاهایی که نسل یک وجود دارد مشاهده میشود. امتداد لایه بندی تقریباً شمالی- جنوبی است (N20W).



شکل ۳-۴: الف) تصویر صحرایی ترانشه ایجاد شده در کارگاه (۱)، ب) تصویر صحرایی کان‌زایی مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت در بازالت به صورت دانه پراکنده

-کارگاه ۱/۱:

طول ترانشه ۴ متر، عرض ترانشه معدنی حدود ۱/۵-۱ متر و عمق حفاری ۲/۵ متر می‌باشد. امتداد لایه‌بندی شمالی- جنوبی می‌باشد که کان‌زایی و کلسیت- زئولیت‌زایی با روند N80E تقریباً بر آن عمود است. کان‌زایی با ساخت دانه پراکنده حاوی کوپریت و مالاکیت در گدازه‌های بازالتی می‌باشد که تغییرات زئولیت‌زایی در آن مشهود است. عیار مس در این کارگاه ۰/۶ درصد است (شکل ۳-۵ الف و ب). ترانشه جنوبی مشاهده شده در کارگاه با طول ۱۵ متر و ضخامت ۱-۰/۸ متر و عمق ۲ متر، که دارای مشخصات تقریباً مشابه می‌باشد (شکل ۳-۵ پ و ت).



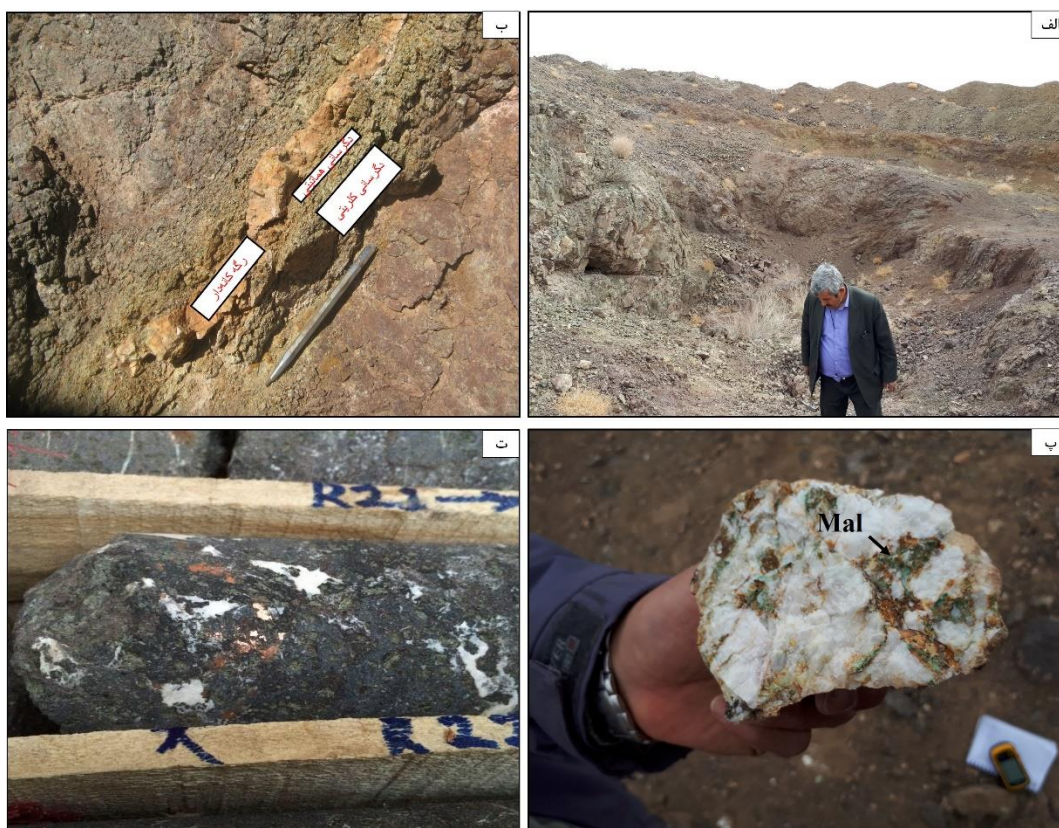
شکل ۳-۵: تصاویر صحرایی از کارگاه (الف)، (ب) ترانشه شمالی، (ب) کانه‌زایی موجود در ترانشه شمالی، (پ) ترانشه جنوبی، (ت) کانه‌زایی موجود در ترانشه جنوبی.

-کارگاه ۲:

این کارگاه از دو سینه‌کار تشکیل شده است و شامل چند حفاری در امتداد یکدیگر هستند که در زیر به هم متصل می‌باشند (شکل ۳-۶ الف). امتداد لایه‌بندی در هر دو بخش کارگاه شمالی- جنوبی می‌باشد که رگه‌های متعددی با روند غالب شرقی- غربی بر آن عمود است.

نمونه انتخاب شده در سینه کار اول را از رگه حاوی کانه‌زایی و کلسیت- زئولیت‌زایی با روند N60W برداشتیم که در اطراف آن دگرسانی کلریتی- اپیدوتی به صورت محدود مشاهده شده است. عیار مس در این نمونه ۰/۹ درصد می‌باشد.

نمونه انتخاب شده در سینه کار دوم را از رگه کلسیتی حاوی کانه‌زایی با روند N40W برداشتیم که در اطراف آن دگرسانی کلریتی با ضخامت ۱۰ سانتی‌متر مشاهده می‌شود. ضخامت رگه کلسیتی ۵-۰/۵ سانتی‌متر می‌باشد (شکل ۳-۶ ب و پ). عیار مس در این سینه کار ۳/۵۲ درصد می‌باشد، که نشان دهنده بیشترین مقدار در تمامی کارگاه‌های منطقه دوچپله است.



شکل ۳-۶: الف) تصویر صحرایی از ترانسه‌های کارگاه (۲)، ب) تصویر صحرایی از رگه کلسیتی کانه‌دار و دگرسانی‌های همراه آن در سینه کار (۲)، پ) تصویر نمونه‌دستی از کلسیت حاوی کانه‌زایی مالاکیت (Mal)، ت) تصویر صحرایی مغزه کانه‌دار کارگاه دوچپله .

-کارگاه ۳:

طول سینه کار ۵۰ متر، عرض ۱/۵ تا ۲ متر و عمق ۲/۵ تا ۳ متر است. امتداد لایه‌بندی شمالی - جنوبی می‌باشد که کانه‌زایی و زئولیت - آنالسیم‌زایی با روند N75W نسبت با آن تشکیل شده است (شکل ۳-۷ الف). آنالسیم و زئولیت‌زایی در دونسل اتفاق افتاده است : نسل اول در متن سنگ به صورت بادامکی و فاقد دگرسانی می‌باشد

ولی نسل دوم همراه با کانه‌زایی کوپریت و مالاکیت با ساخت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی مشاهده می‌شود، که در اطراف برخی از رگه‌ها دگرسانی کلریتی نیز وجود دارد (شکل ۳-۷ ب و پ). عیار مس در این کارگاه ۰/۳ درصد است.



شکل ۳-۷: الف) تصویر صحرایی ترانشه کارگاه (۳)، ب) رگه زئولیت- آنالسیم و کانه‌زایی‌های کوپریت و مالاکیت همراه با آن که در اطراف آن دگرسانی کلریتی مشاهده می‌شود، پ) کانه‌زایی کوپریت و مالاکیت با ساخت پرکننده فضای خالی.

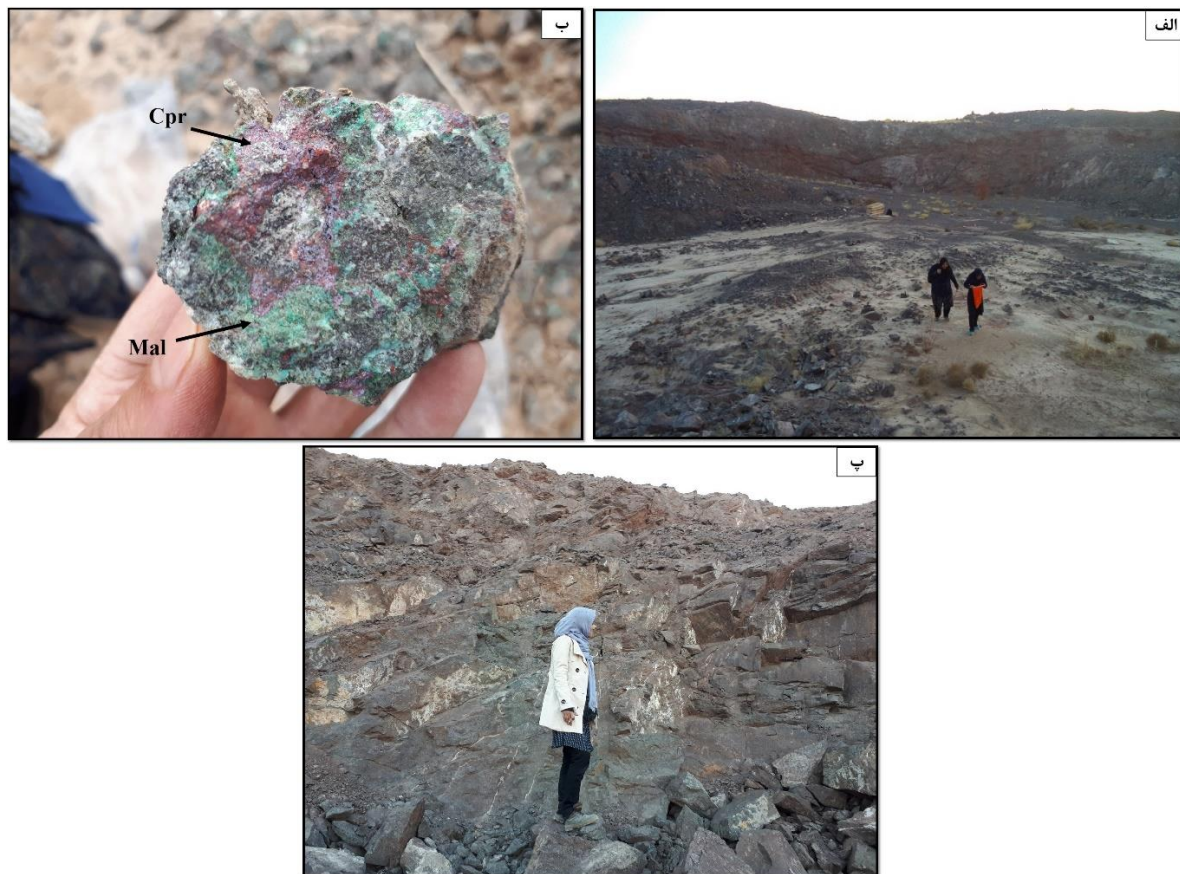
۳-۲-۲ کانه‌زایی در منطقه توران

عملیات اکتشافی در منطقه توران شامل دو سینه‌کار است. در این منطقه نیز روند لایه‌بندی شمالی- جنوبی است و کانه‌زایی بر آن عمود می‌باشد (شکل ۳-۸).



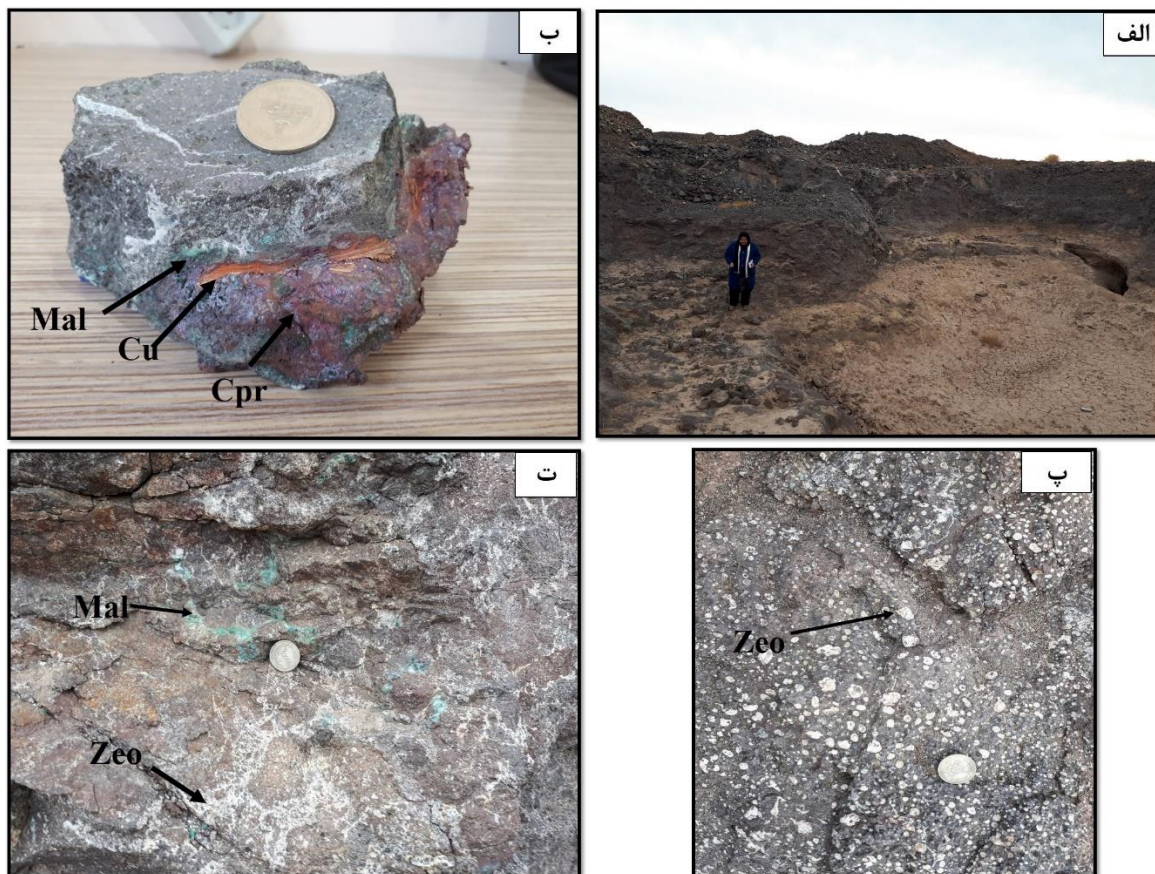
شکل ۳-۸: تصویر ماهواره‌ای موقعیت قرارگیری کارگاه‌های منطقه توران.

شواهد موجود در دیواره‌های سینه‌کار اول نشان دهنده کانه‌زایی شامل مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت با ساخت رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی می‌باشد که رگه‌های کلسیتی همراه آن مشاهده می‌شود. عیار عنصر مس در نمونه برداشت شده ۱ درصد می‌باشد (شکل ۳-۹).



شکل ۳-۹: الف) تصویر صحرایی از سینه کار (۱) در منطقه توران، ب) تصویر نمونه دستی کانه‌زایی کوپریت (Cpr) و مالاکیت (Mal)، پ) تصویر صحرایی از رگه‌های کلسیتی که همراه کانه‌زایی مشاهده شده است.

شواهد موجود در سینه کار دوم، نشان‌دهنده دو نسل زئولیت است که نسل اول به صورت بادمکی و نسل دوم دارای ساخت برشی در سنگ میزبان می‌باشند. روند کانه‌زایی N70W و گسل برداشت شده N20E می‌باشد. کانه‌زایی در این قسمت مشابه سینه کار اول است (شکل ۳-۱۰). عیار عنصر مس در نمونه برداشت شده ۵/۱۱ درصد گزارش شده است که بیانگر بیشترین میزان مس در مناطق توران و دوچپله می‌باشد.

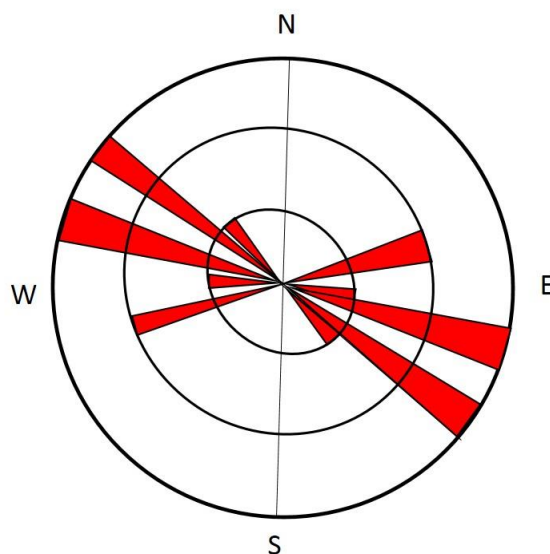


شکل ۳-۱۰: الف) تصویر صحرایی از سینه کار (۲) در منطقه توران، ب) تصویر نمونه دستی کانه‌زایی مس (Cu)، کوپریت (Cpr) و مالاکیت (Mal)، پ) تصویر صحرایی زئولیت‌های نسل اول به صورت بادامکی در میزبان بازالتی، ت) تصویر صحرایی زئولیت‌های برشی نسل دوم همراه با کانه‌زایی مالاکیت (Mal)

امتداد کانه‌زایی‌های موجود در مناطق مورد مطالعه و خصوصیات هر یک در غالب جدول نیز برای سهولت در مقایسه هر یک ارائه می‌گردد (جدول ۳-۱).

جدول ۳-۱: امتداد رگه‌های کانه‌دار و مشخصات هر یک از آنها			
توضیحات	درصد مس	امتداد رگه برداشت شده	مشخصات محل برداشت
رگه زئولیت‌دار نسل دو در آگلومرا که حاوی دگرسانی کلریتی می‌باشد.	—————	N302 یا N58E	رخنمون جاده
رگه مس طبیعی که از اطراف به مالاکیت و کوپریت تبدیل شده است (رگه-رگچه و حفره پرکن) همراه زئولیت نسل دوم. عرض زون گسلی ۲ متر است.	۰/۲	N340 یا N20W	کارگاه ادوچیله
لایه‌بندی جهت شمالی جنوبی دارد و رگه کانه‌دار به همراه کلسیت و زئولیت‌زایی بر لایه‌بندی عمود می‌باشد. ضخامت رگه ۱ تا ۱/۵ متر، طول کارگاه ۴ متر و عمق ۲/۵ متر، و ترانشه جنوبی کارگاه با طول ۱۵ متر و ضخامت ۸۰ سانتی‌متر و عمق ۲ متر است.	۰/۶	N280 یا N80E	کارگاه ۱،۱ دوچیله
چند تا حفاری در امتداد هم دیده شده است که از زیر به هم متصل هستند. رگه‌های متعدد عمود بر لایه‌بندی وجود دارد همراه رگه‌های کلسیت و زئولیت‌دار با ضخامت ۵-۰/۵ سانتی‌متر که در اطراف دارای دگرسانی کلریتی می‌باشد (۱۰ سانتی‌متر).		N90E یا EW	کارگاه ۲ دوچیله
رگه مس‌دار همراه دگرسانی کلریتی می‌باشد.	۰/۹	N300 یا N60W	کارگاه ۲: سینه‌کار ۱ دوچیله
رگه مس‌دار همراه کلسیت‌زایی و زئولیت‌زایی می‌باشد.	۳/۵۲	N320 یا N40W	کارگاه ۲: سینه‌کار ۲ دوچیله
آنالسیم و زئولیت‌زایی در دو نسل اتفاق افتاده است: نسل اول به‌صورت بادامکی و فاقد دگرسانی است ولی نسل دوم به‌صورت رگه-رگچه‌ای و و پرکننده فضای خالی همراه با دگرسانی کلریتی و کانه‌زایی می‌باشد. طول سینه‌کار ۵۰ متر، عرض ۱/۵ تا ۲ متر و عمق ۲/۵ تا ۳ متر است.	۰/۳	N303 یا N75W	کارگاه ۳ دوچیله
رگه کانه‌دار همراه کلسیت‌زایی می‌باشد.	۱	N270 یا N90W	سینه‌کار ۱ توران
زئولیت‌زایی دارای ساخت برشی می‌باشد. امتداد گسل محدوده معدنی N20E می‌باشد.	۵/۱۱	N290 یا N70W	سینه‌کار ۲ توران

نمودار گل سرخی نشان دهنده گسل‌ها و شکستگی‌های کانه‌دار با روند غالب NW-SE در منطقه مورد مطالعه می‌باشد (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۱: نمایش راستای گسل‌ها و شکستگی‌های کانه‌دار با روند غالب NW-SE در منطقه مورد مطالعه.

۳-۳- دگرسانی

به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود، دگرسانی می‌گوییم (کریم پور و همکاران، ۱۳۸۴). عوامل کنترل کننده واکنش‌های دگرسانی؛ دما، فشار، فراوانی، ترکیب شیمیایی، رفتار دینامیکی سیال میزان واکنش‌پذیری سنگ درون‌گیر می‌باشد (McMillan., & Panteleyev, 1990). دگرسانی‌ها بر حسب ترکیب شیمیایی و کانی‌های شاخص خود دارای اسامی مختلف هستند، که براین اساس شناسایی انواع آنها در هر منطقه ممکن می‌شود. اهمیت مطالعه دگرسانی پیدا کردن رابطه یک یا چند نوع دگرسانی خاص با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی است و به علت داشتن وسعت فراوان‌تر نسبت به مناطق کانی‌سازی شده، شناسایی این مناطق را آسان‌تر کرده است. دراکتشافات هدفمند و سیستماتیک در سراسر دنیا از دگرسانی‌ها برای تشخیص مناطق کانی‌سازی شده به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود که این امر خود موجب کاهش هزینه و زمان لازم برای امر اکتشاف شده است و این امر را سودمند می‌کند. در این قسمت دگرسانی‌های موجود در منطقه شرح داده شده است.

۳-۳-۱ دگرسانی‌های موجود در منطقه

دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه کم است. بر اساس بررسی‌های صحرائی و آزمایشگاهی مجموعه دگرسانی‌ها در مناطق مورد مطالعه عبارتند از: (۱) دگرسانی کلریتی، (۲) دگرسانی کربناتی، (۳) دگرسانی آنالسیم- زئولیتی، (۴) دگرسانی هماتیتی.

۳-۳-۲ دگرسانی کربناتی

کربناتی شدن یک دگرسانی معمول برای تشکیل انواع کانی‌های کربناته است که رایج‌ترین آنها در منطقه مورد مطالعه کلسیت می‌باشد. تشکیل کلسیت در محدوده‌ی دمایی وسیع صورت می‌گیرد و در سنگ‌هایی با تخلخل و نفوذپذیری کم که در حضور سیالات غنی از CO₂ جانشین کانی‌های کلسیم‌دار (مانند پلاژیوکلاز کلسیم‌دار، زئولیت و اپیدوت) و شیشه‌های آتشفشانی می‌شود. دگرسانی کربناتی از زیر مجموعه‌های دگرسانی پروپیلیتیک است و به دلیل تشکیل مقدار بالای کربنات به کربناتی شدن معروف است (شهاب پور، ۱۳۸۵). کربناتی شدن در منطقه عمدتاً با وجود رگه- رگچه‌های کلسیتی در امتداد شکستگی‌ها و حفرات همراه با ماده معدنی مشاهده شده است. دگرسانی کربناتی همچنین در آنالیز XRD نیز با کانی کلسیت مشخص گردید (شکل ۳-۱۲).



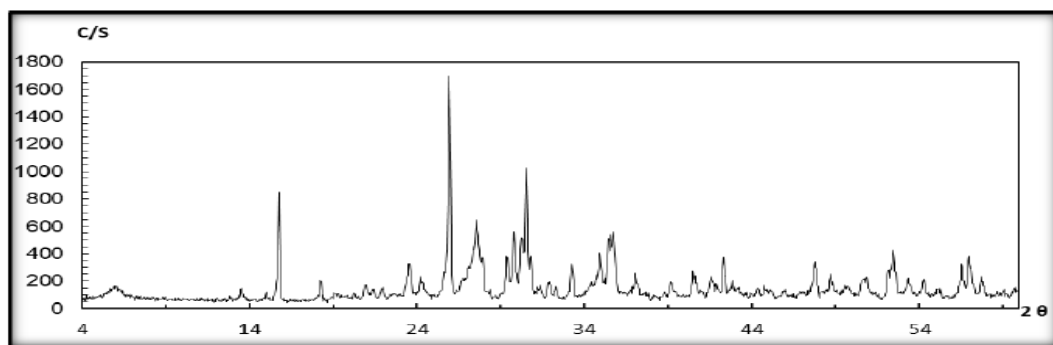
شکل ۳-۱۲: تصویر صحرایی رگه- رگچه کلسیت، (ب) تصویر صحرایی رگه کلسیتی، (پ) تصویر میکروسکوپی کلسیت، کلسیت (Cal)

۳-۳-۳ دگرسانی آنالسیم- زئولیت

زیر مجموعه‌ای از دگرسانی پروپلیتیک است که کانی‌های شاخص در آن عبارتند از مورونیت، کلینوتیپولیت، لامونتیت، هیولاندیت و آنالسیم می‌باشد (شکل ۳-۱۳). این دگرسانی در منطقه مورد مطالعه در سنگ‌ها مشاهده شد، همچنین در آنالیز XRD نیز با کانی آنالسیم مشخص گردید (شکل ۳-۱۴).



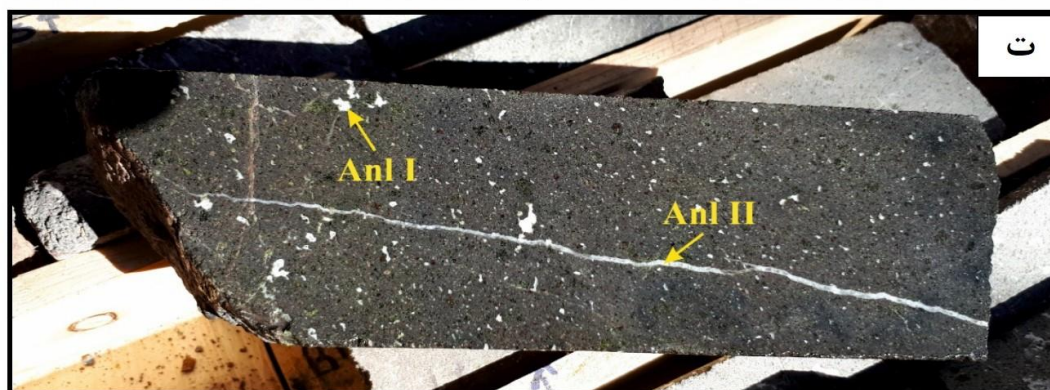
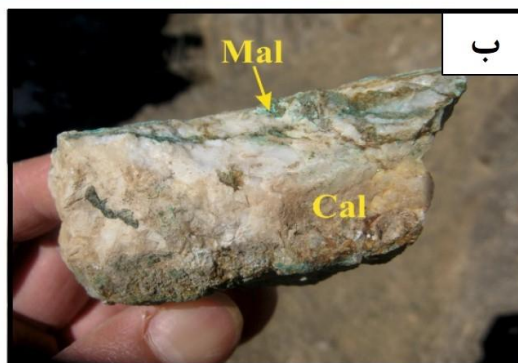
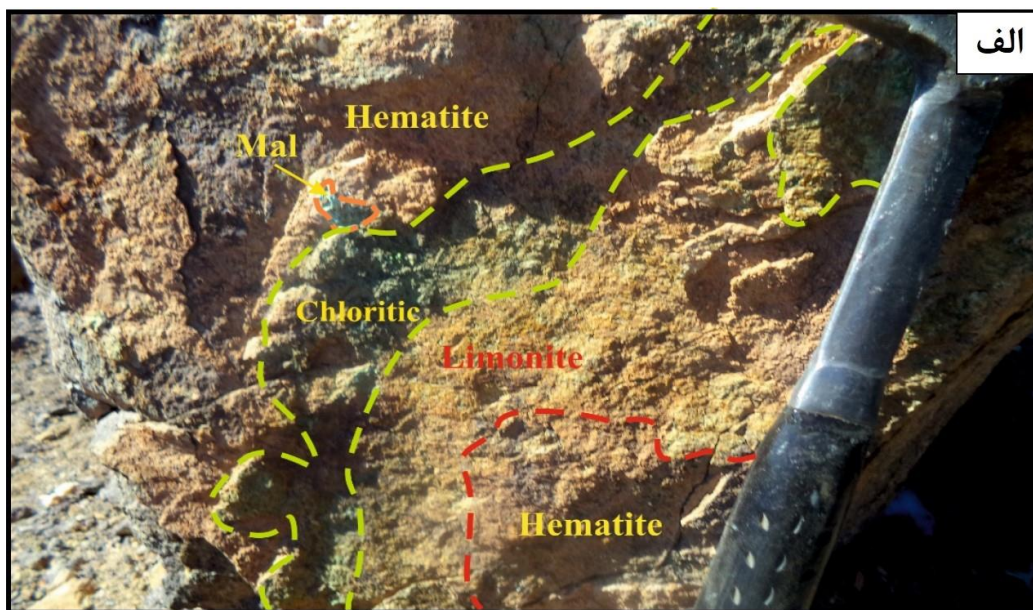
شکل ۳-۱۳: تصویر صحرایی از کانی‌های پرکننده حفرات در سنگ بازالتی، (الف) آنالسیم، (ب) زئولیت.



Sample:	Major Phase(s)	Major Phase(s)	Minor Phase(s)
رخمون زئولیت	Analcime (41-1478)	Albite (09-0466)	Quartz (33-1161)?
Az: 18424-81681	Na(Si2Al)O6.H2O	NaAlSi3O8	SiO2
Date : 4/4/2018	Augite (24-0203)	Magnetite (19-0629)	Calcite (05-0586)
kV = 40	Ca(Fe,Mg)Si2O6	FeFe2O4	CaCO3
mA = 30	Montmorillonite (13-0135)		
Ka. = Cu	Ca0.2(Al,Mg)2Si4O10(OH)2.xH2O		
Fil. = Ni	Orthoclase (31-0966)		
	KAlSi3O8		

شکل ۳-۱۴: نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) که در آن آنالسیم و کلسیت شناسایی شده است.

در محدوده مورد مطالعه دو نوع از کانی‌های کلسیتی و آنالسیم- زئولیتی مشاهده شده است، نوع اول از ابتدا در سنگ میزبان بازالتی وجود داشته است و اثری از کانه‌زایی در آن‌ها مشاهده نمی‌شود و اغلب به صورت بادامک‌ها مشاهده می‌شوند، ولی در نوع دوم آثار کانه‌زایی قابل تشخیص است و بیشتر به صورت رگه مشاهده میشوند (شکل ۳-۱۵ ت). در شکل ۳-۱۵ دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی در تصاویر صحرایی مشخص شده است.



شکل ۳-۱۵: تصویر صحرایی کانی‌های دگرسانی و مواد معدنی همراه با آنها، الف) دگرسانی کلریتی، هماتیتی و لیمونیتی به همراه مالاکیت، ب) کلسیتی و مالاکیت، پ) آنالسیم به همراه مس، کوپریت و مالاکیت، ت) نسل اول زئولیت و رگه نسل دوم زئولیت، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal)، آنالسیم نسل اول (Anl I) و آنالسیم رگه‌ای نسل دوم، کلسیت (Cal)

رخنمون منطقه مورد مطالعه در حاشیه جاده مواصلاتی شاهرود سبزوار با مختصات جغرافیایی $55^{\circ} 55' 46.20''$ طول شرقی و $36^{\circ} 24' 41.90''$ عرض شمالی واقع شده است، که در توالی بازالتی بادامک های ژئولیتی نسل اول به وفور مشاهده می شود و در واریزه های آگلومرای، رگه های ژئولیت دار نسل دوم با امتداد N58E حاوی دگرسانی کلریتی مشاهده می شود (شکل ۳-۱۶).



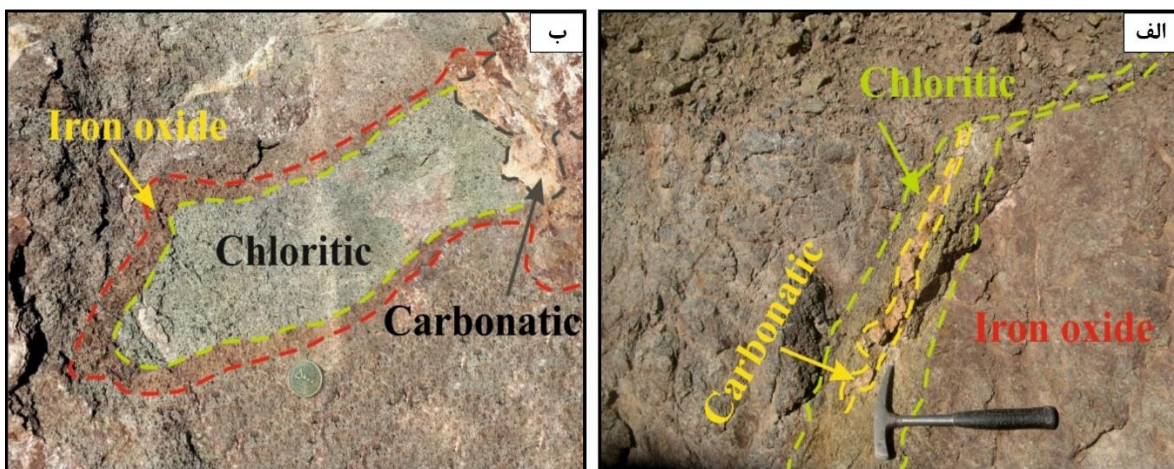
شکل ۳-۱۶: تصویر صحرایی از رخنمون مورد مطالعه، الف) بازالت حاوی بادامک های ژئولیتی، ب) بازالت حاوی نسل دوم ژئولیت زایی، پ) واریزه های آگلومرای حاوی رگه های کلسیت- ژئولیت حاوی دگرسانی کلریتی به صورت محدود.

۴-۳-۳ دگرسانی کلریتی

در بعضی از قسمت‌های کانسار، هاله کلریتی در درون سنگ‌های بازالت میزبان دیده می‌شود، که معرف دگرسانی کلریتی می‌باشد. از ویژگی‌های بارز این دگرسانی، تغییر رنگ متمایل به رنگ سبز سنگ‌ها است. تحت تأثیر این دگرسانی در واحدهای رخنمون یافته، کانی‌های فرومنیزین (الیوین و پیروکسن) به کانی کلریت دگرسان شده‌اند (شکل ۳-۱۷).

۵-۳-۳ دگرسانی هماتیتی

هماتیت نسل اول محصول دگرسانی مگنتیت و کانی‌های مافیک در اثر سیال کانه‌ساز مس‌دار که معمولاً به صورت تیغه‌ای و شکل‌دار است هماتیت نسل دوم به همراه گوتیت و لیمونیت محصول هوازدگی کانی‌های مافیک و مگنتیت هستند که بی‌شکل بوده و بیشتر در قسمت‌های سطحی دیده می‌شوند (شکل ۳-۱۷).



شکل ۳-۱۷: هاله‌های دگرسانی کلریتی، کربناتی و اکسید آهن

۴-۳-۴ پهنه‌بندی دگرسانی

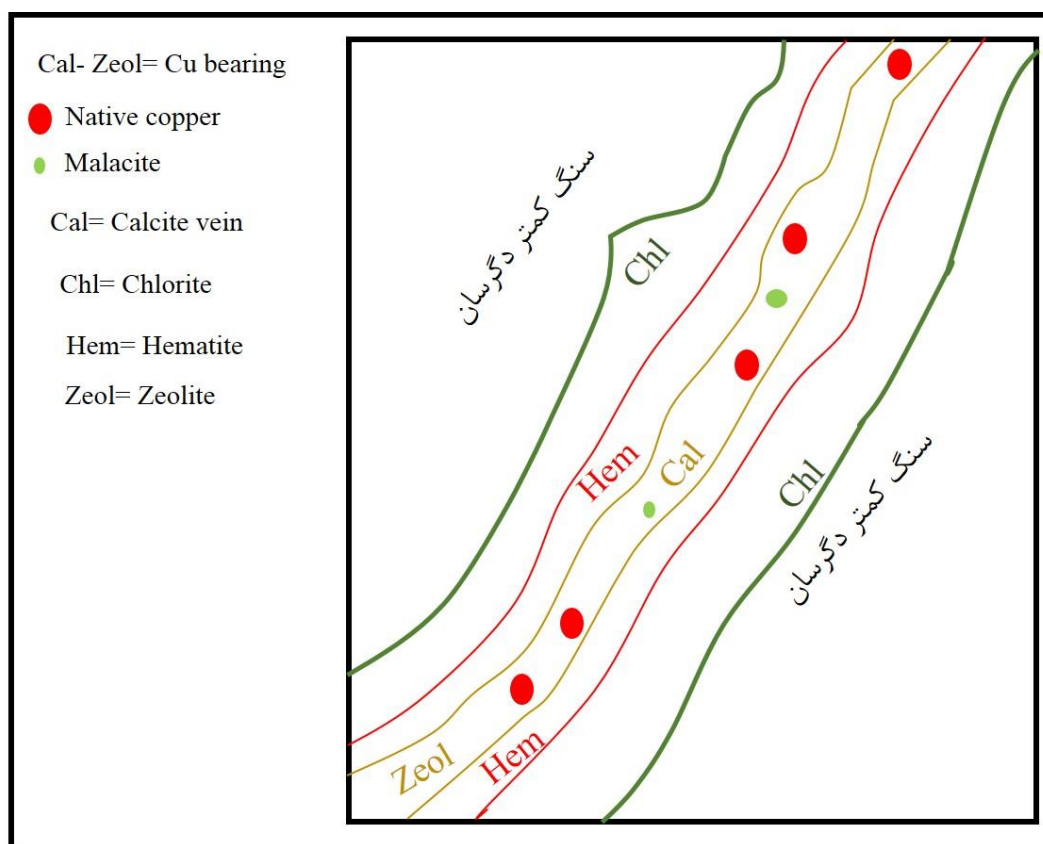
پهنه‌بندی دگرسانی در کانسارهای دوچپله و توران در برخی نقاط مثل کارگاه ۲ کانسار دوچپله به صورت واضح بوده به طوری که از مرکز رگه کانه‌دار به سمت اطراف به ترتیب دگرسانی‌های زیر مشاهده می‌شود:

الف- دگرسانی زئولیتی- کربناتی کانه‌دار

ب- دگرسانی هماتیته

ج- دگرسانی کلریتی

در شکل ۳-۱۸ تصویر شماتیکی از ارتباط کانه‌زایی و دگرسانی‌های مشاهده شده همراه با آن‌ها در منطقه مطالعاتی ترسیم شده است.

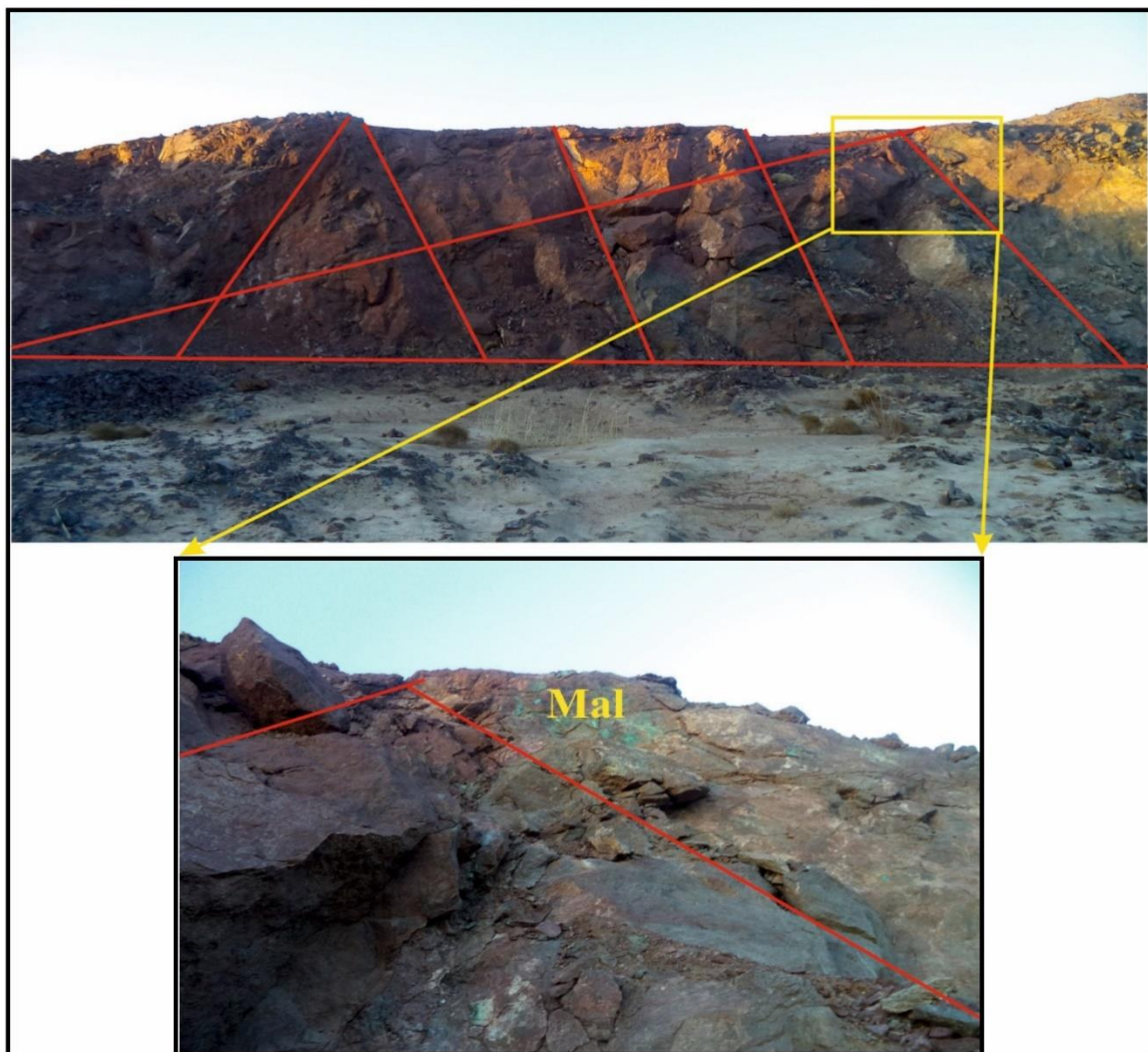


شکل ۳-۱۸: تصویر شماتیک کانه‌زایی و دگرسانی‌های همراه.

۳-۵- ارتباط گسل‌ها با کانه‌زایی در محدوده مورد مطالعه

جهت تعیین نوع گسل‌های محدوده معدنی استفاده از شواهد گسلی مانند صفحه‌های گسلی، پله گسلی و خش‌لغزها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در گستره معدن سطوح گسلی و نشانه‌های آن کاملاً واضح و قابل برداشت هستند. این ساختارها در نگاه اول فاقد هرگونه نظم و جهت به نظر می‌رسند، اما با بررسی دقیق‌تر

می‌توان به نظم پنهان شده در منطقه پی برد. گسل از نوع امتداد لغز با خش لغزهای ۷۵-۸۰ درجه می‌باشد که پله گسلی نیز در آن مشاهده شده و برداشت‌ها از فرود دیواره می‌باشد. در این دیواره مرتبط با گسل کانه‌زایی مشاهده شده است (شکل ۳-۱۹).



شکل ۳-۱۹: تصویر صحرایی از سیستم گسلی مشاهده شده در منطقه و کانه‌زایی مرتبط با آن.

فصل ۴ کان‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پارازنزی کان‌ها

۴-۱- مقدمه

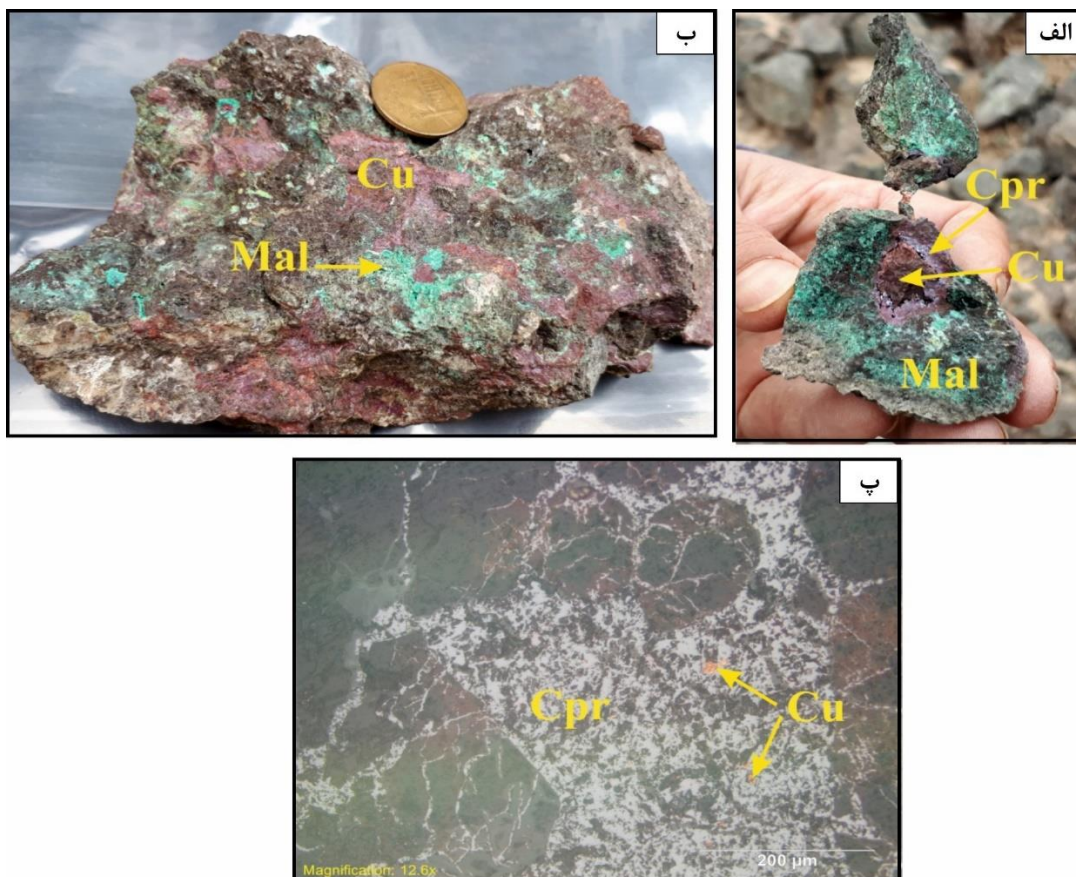
مطالعه کانی‌شناسی ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنز و توالی پاراژنزی کانی‌های معدنی و سنگ‌ساز از پایه‌های اساسی بررسی ژنز نهشته‌های کانساری و تعیین رابطه بین کانه‌های معدنی و سنگ درونگیر آن‌ها است و اطلاعات سودمندی درباره ویژگی‌های محیط تشکیل کانسار در اختیار می‌گذارد که این اطلاعات در تعیین ارزش اقتصادی کانسار و تعیین روش فرآوری ماده معدنی بسیار کاربردی می‌باشد، رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده‌ی آن کانسار است (Craig and Vaughan, ۱۹۹۴). به منظور انجام مطالعات مذکور، از ماده‌ی معدنی و سنگ‌های میزبان منطقه، تعداد ۳۲ مقطع نازک، ۵ مقطع نازک صیقلی تهیه شده است. در مطالعات کانی‌شناسی، به منظور تشخیص برخی کانی‌ها، تعداد ۴ نمونه به روش XRD مورد بررسی قرار گرفت.

۴-۲- کانی‌شناسی

بر اساس مطالعات میکروسکوپی کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار شامل کانی اولیه مس خالص، مگنتیت و هماتیت، کانی‌های ثانویه کوپریت، مالاکیت، گوتیت، هماتیت و لیمونیت کانی‌های باطله کلسیت، زئولیت و آنالسیم و کلریت می‌باشد، که در ادامه به شرح هر یک خواهیم پرداخت.

۴-۲-۱- مس طبیعی Cu

مس خالص با رنگ مسی تا دارچینی در سه سینه‌کار به صورت کانی‌سازی اصلی و اولیه مشاهده می‌شود. در مقطع میکروسکوپی، مس طبیعی بصورت لکه‌های بی‌شکلی دیده می‌شود که از حاشیه توسط کوپریت جانشین شده است (شکل ۴-۱).



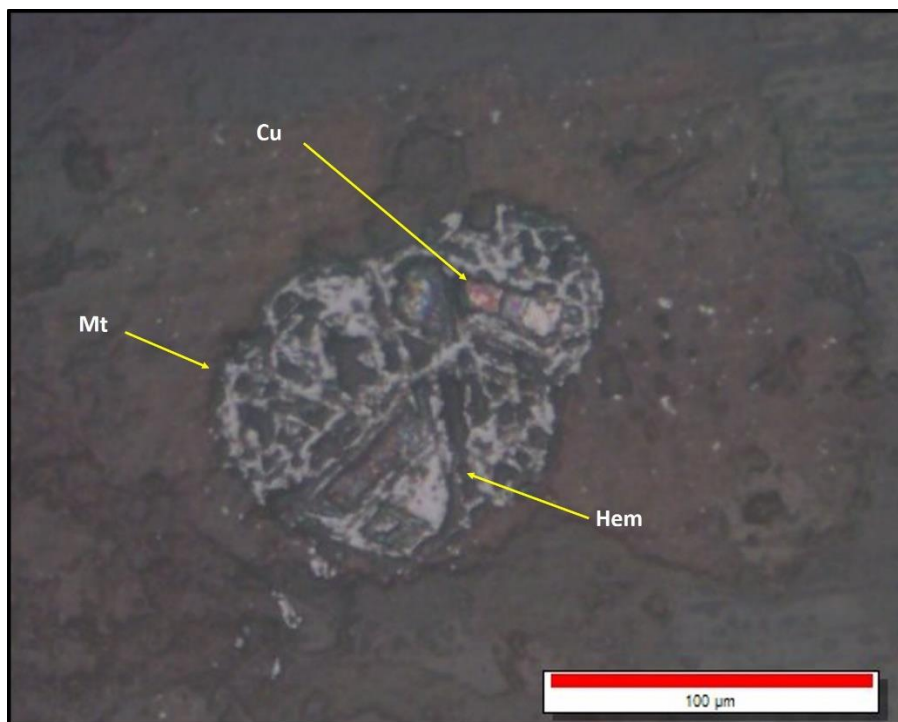
شکل ۴-۱: الف) تصویر نمونه صحرایی از جانشینی مس، کوپریت و مالاکیت، ب) تصویر صحرایی مس خالص و مالاکیت، پ) تصویر میکروسکوپی مس و کوپریت، مس (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal)

در بررسی مقاطع میکروسکوپی دو عامل سبب احیا مس خالص و ته‌نشست آن شده است:

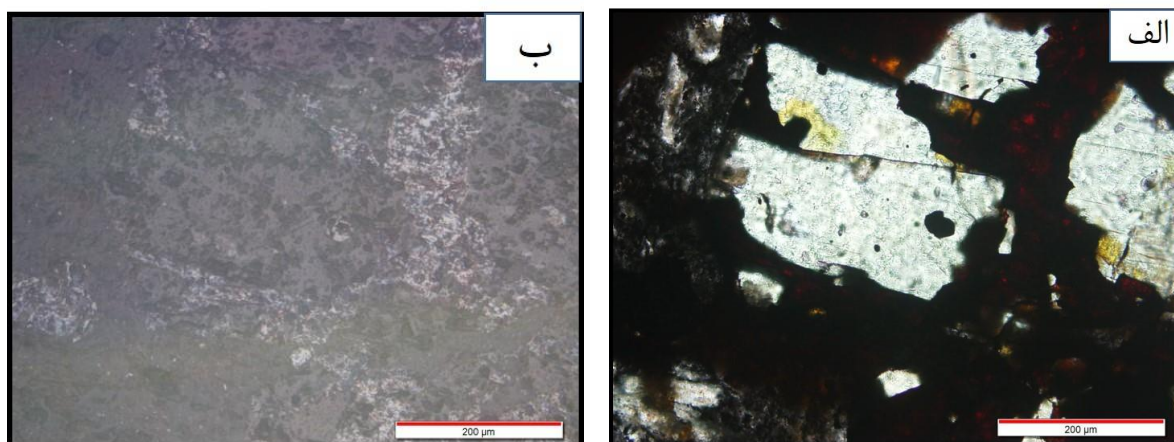
الف) مس خالص جانشین مگنتیت شده و مگنتیت به هماتیت تبدیل شده است (شکل ۴-۲).

ب) کانی مافیک مثل پیروکسن سبب احیا مس خالص شده است و داخل پیروکسن مس و کوپریت راسب

شده است (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۲: جانشینی مس خالص در مگنتیت و تبدیل آن به هماتیت.

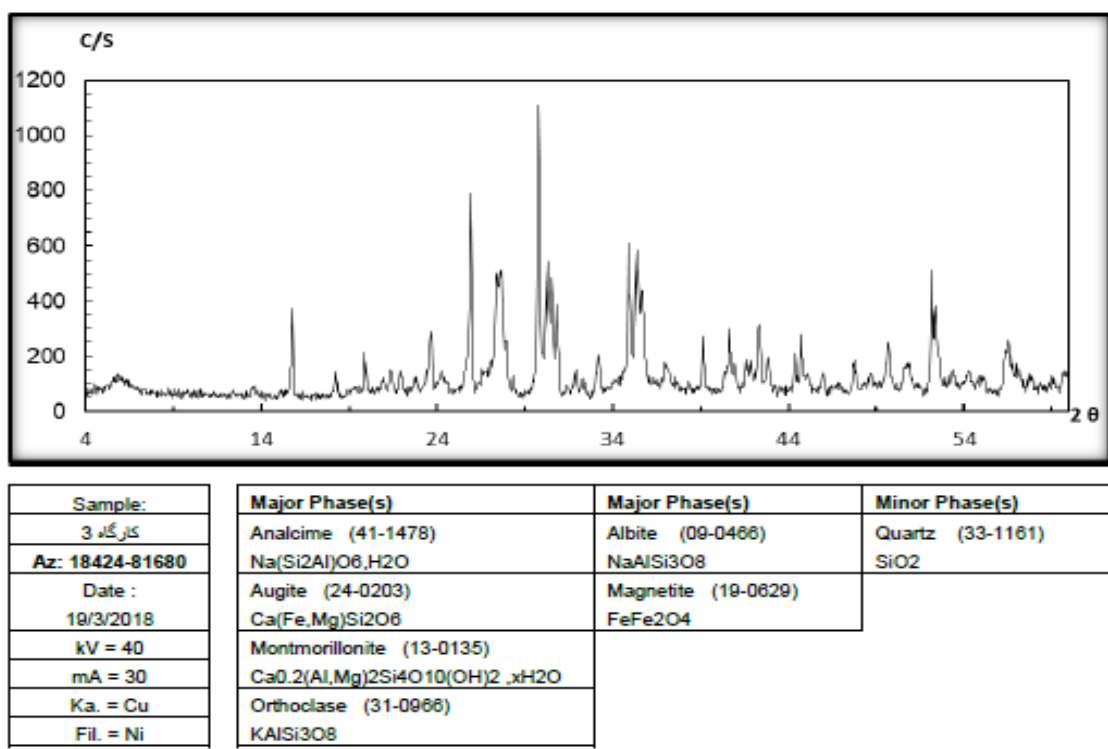


شکل ۴-۳: تصاویر میکروسکوپی پیروکسن، الف) جانشینی کوپریت در نور عبوری، ب) جانشینی کوپریت در نور انعکاسی.

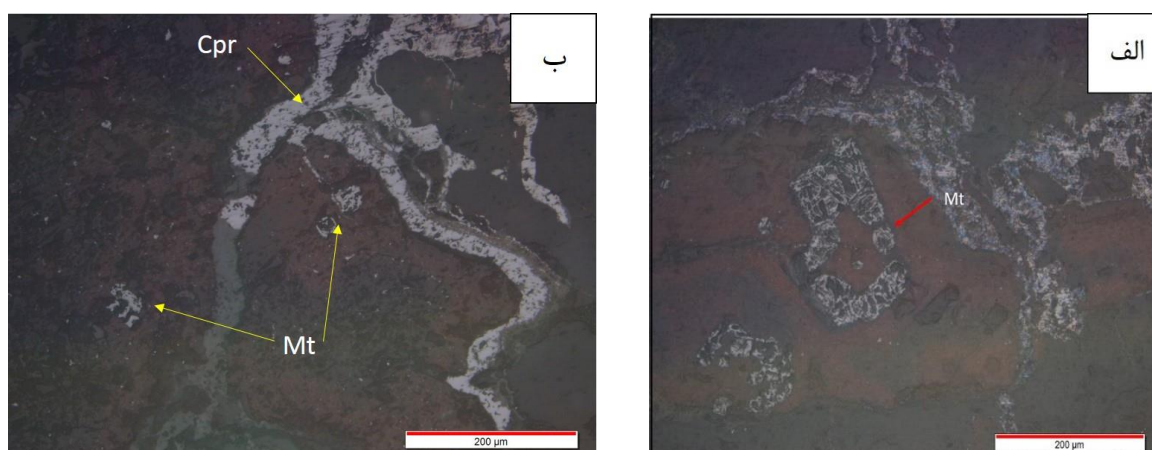
۲-۲-۴ مگنتیت Fe_3O_4

از جمله کانی‌های اکسید آهن است که در سیستم کوبیک متبلور می‌شود، سطح شکست صدفی تا ناصاف، رنگ سیاه و جلای فلزی و خاصیت شدید مغناطیسی از ویژگی‌های آن در نمونه دستی است. مگنتیت در کانسارهای دوچپله و توران در مقیاس نمونه دستی مشاهده نشده اما در نمونه‌های XRD و مقاطع میکروسکوپی قابل مشاهده است و بر اساس روابط هم‌رشدی کانی مگنتیت با سایر کانی‌های سنگ‌ساز موجود در سنگ‌های

آشفشانی به نظر می‌رسد این کانی به صورت اولیه ماگمایی در طی ولکانیسم تشکیل شده است و ارتباطی با کانه‌زایی ندارد. در نتیجه اکسیداسیون و پدیده جاننشینی به هماتیت و گوتیت تبدیل شده است (شکل ۴-۴ و شکل ۴-۵).



شکل ۴-۴: نتایج پراش اشعه ایکس (XRD) که در آن مگنتیت به عنوان فاز اصلی شناسایی شده است.



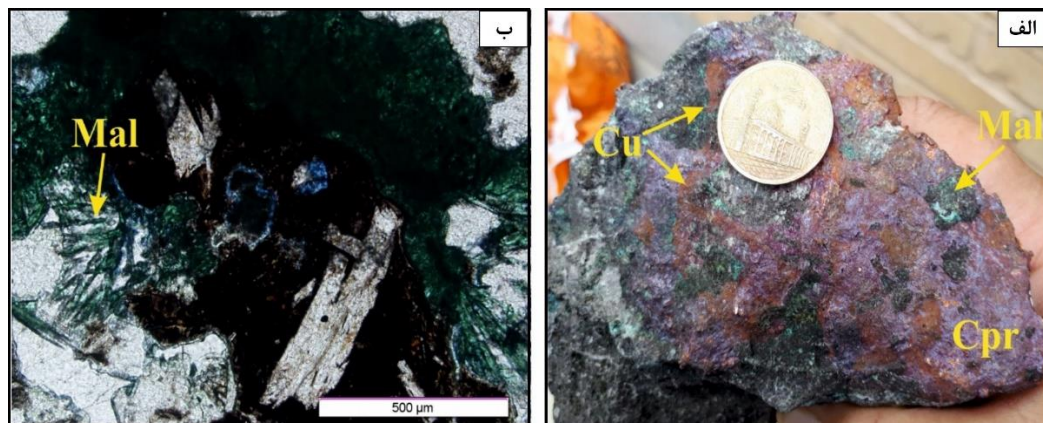
شکل ۴-۵: الف) تصویر میکروسکوپی غالب باقی مانده مگنتیت، ب) تصویر میکروسکوپی همراهی کوپریت و مگنتیت که در آن مگنتیت تبدیل به هماتیت شده است.

۳-۲-۴ کوپریت Cu_2O

این کانه در نمونه دستی به صورت قهوه‌ای مایل به قرمز، قرمز، خاکستری سربی تا سیاه مشاهده می‌شود. در مقطع میکروسکوپی، کوپریت به صورت بی‌شکل دارای ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای و شکافه پرکن می‌باشد. در برخی از نمونه‌ها و مقاطع کوپریت جانشین مس طبیعی شده است (شکل ۴-۶).

۴-۲-۴ مالاکیت $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$

این کانی در نمونه دستی به رنگ سبز و در مقاطع صیقلی به رنگ سبز با انعکاس کم، آنیزوتروپی و انعکاس داخلی قوی به صورت ثانویه با بافت رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن و پراکنده می‌باشد (شکل ۴-۶).

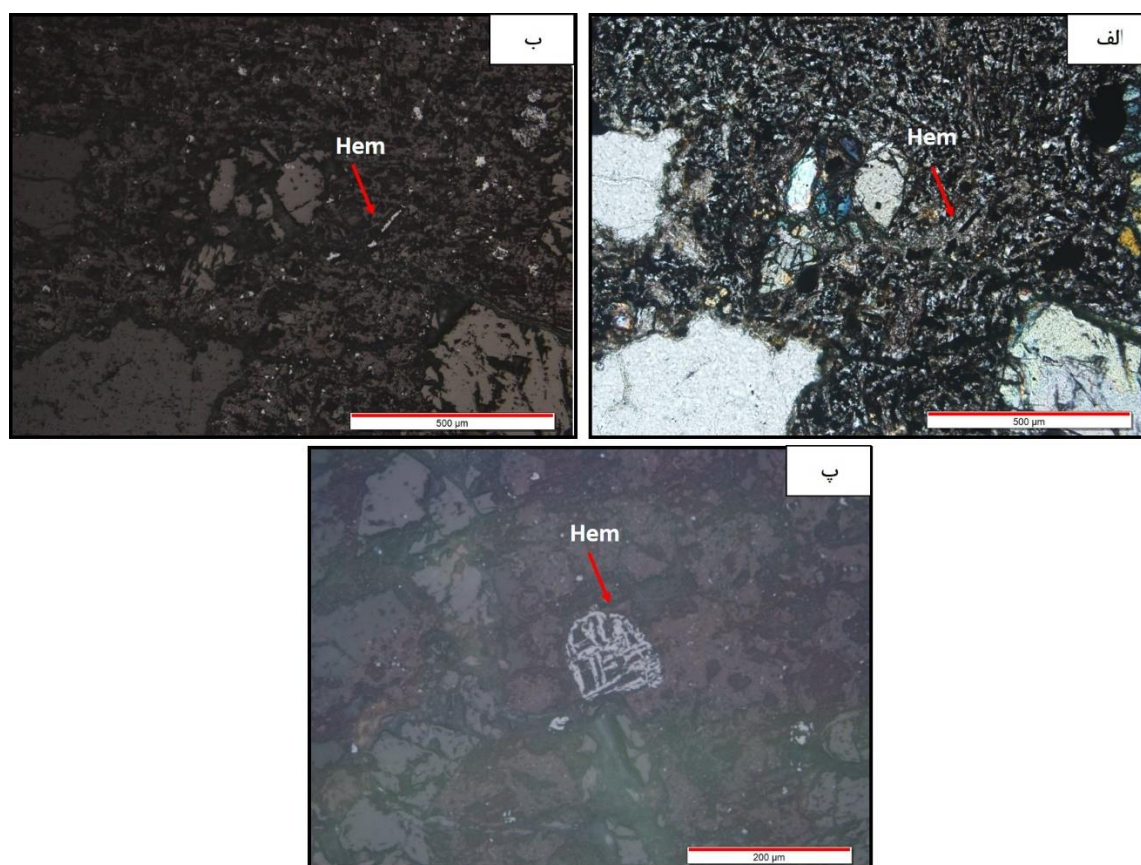


شکل ۴-۶: الف) تصویر نمونه صحرایی مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت، ب) تصویر مقطع میکروسکوپی از مالاکیت با تجمع سوزنی یا شعاعی، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr)، مالاکیت (Mal).

۴-۲-۵ هماتیت Fe_2O_3 ، گوتیت $FeO.OH$ و لیمونیت $FeOOH.nH_2O$

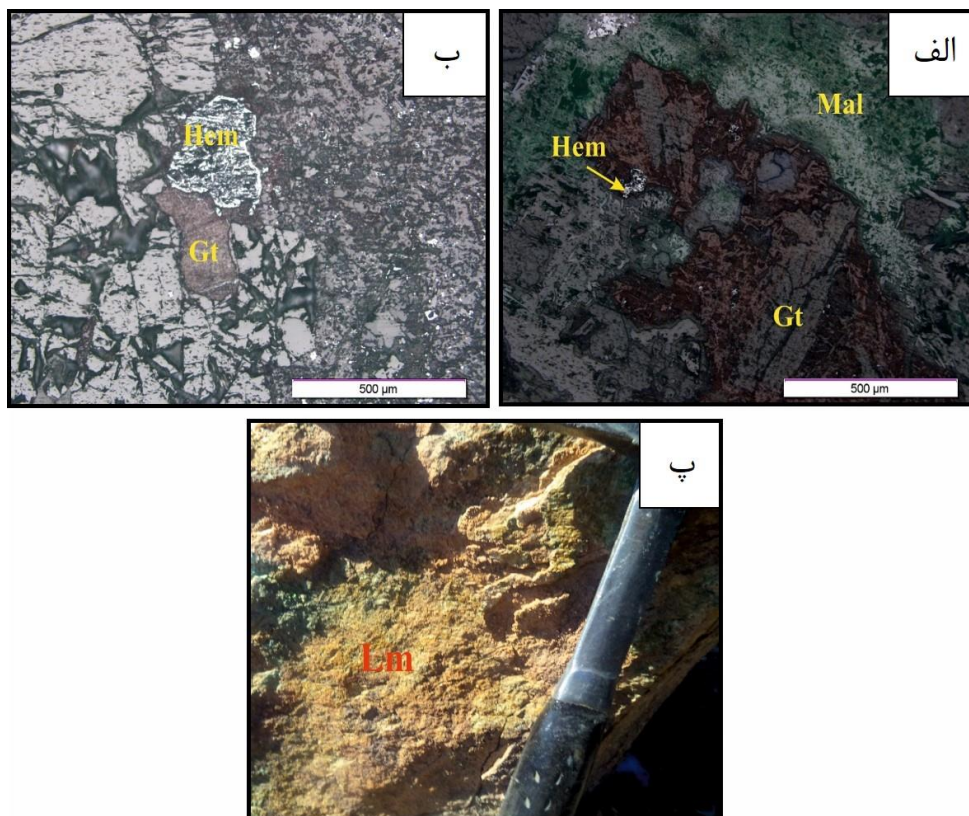
هماتیت به صورت بی شکل تا نیمه شکل دار با بافت دانه پراکنده، تیغه‌ای و جانشینی به جای مگنتیت در مقاطع مشاهده می‌شود (شکل ۴-۷). گوتیت نیز به صورت ثانویه و بی شکل داخل مقاطع قابل مشاهده است (شکل ۴-۸ الف و ب).

لیمونیت اکسید آهن آبداری است که در قسمت‌های سطحی مشاهده شده است، این کانی اکسیدی آهن از تجزیه هماتیت و مگنتیت به دست می‌آید. رنگ زرد آن در نمونه دستی، تشخیص آن را بی‌نیاز از مطالعات دقیق‌تر می‌کند (شکل ۴-۸ پ).



شکل ۴-۷: الف) تصویر میکروسکوپی هماتیت تیغه‌ای در نور عبوری، ب) تصویر میکروسکوپی هماتیت تیغه‌ای در نور

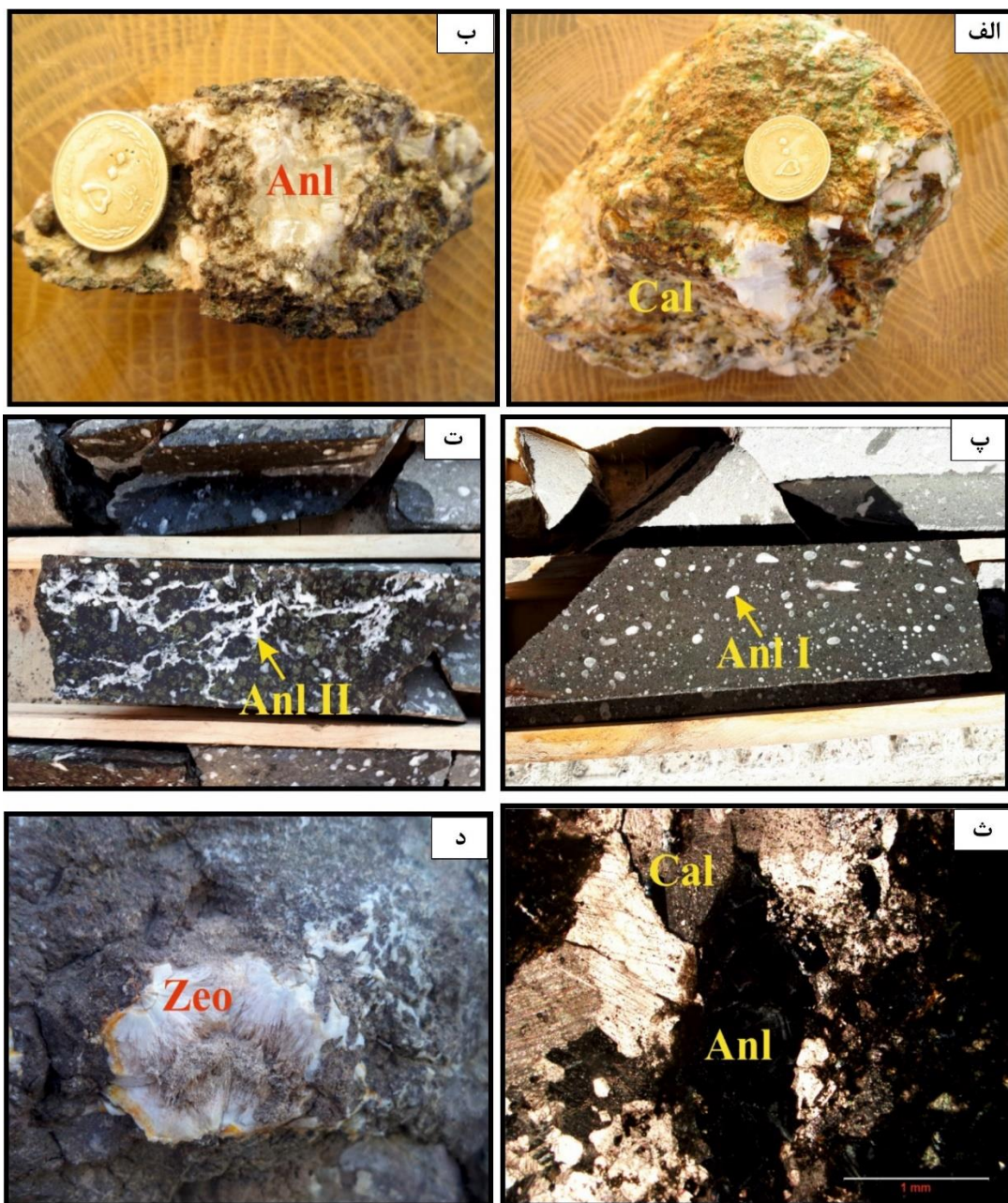
انعکاسی، پ) جانشینی هماتیت تیغه‌ای در مگنتیت.



شکل ۴-۸: الف) تصویر مقطع میکروسکوپی کانی‌هی مالاکیت، هماتیت و گوتیت، ب) تصویر میکروسکوپی هماتیت و گوتیت، پ) تصویر صحرایی لیمونیت، هماتیت (Hem)، گوتیت (Gt)، لیمونیت (Lm) و مالاکیت (Mal).

۴-۲-۶ کلسیت، آنالسیم و زئولیت

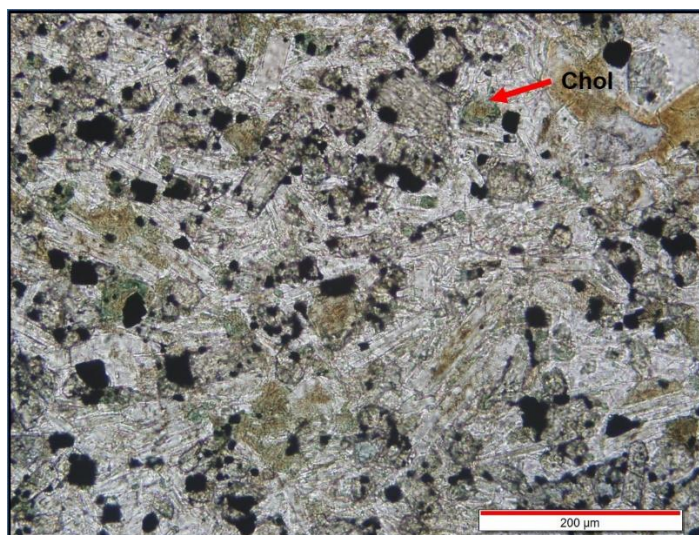
کلسیت، زئولیت و آنالسیم از جمله کانی‌های باطله و محصول دگرسانی موجود در کانسار مس دوچپله می‌باشند، که بیشتر به صورت حفره‌پرکن دیده شده است. آنالسیم از زیرگروه خانواده زئولیت‌ها است. این کانی در نمونه دستی به رنگ سفید، زرد و دارای جلای شیشه‌ای است. زئولیت‌ها غالباً به صورت شعاعی مشاهده شده است. شواهد نشان دهنده دو نوع از این کانی‌ها است، به طوری که گروه اول در متن سنگ میزبان به صورت بادامک‌ها دیده می‌شود (شکل ۴-۹ پ)، در حالیکه گروه دوم به صورت پرکننده فضای خالی و رگه-رگچه‌ای هم‌زمان با کانه‌زایی به وجود آمده است (شکل ۴-۹ ت).



شکل ۴-۹: الف) تصویر نمونه صحرایی کلسیت، ب) تصویر نمونه صحرایی آنالسیم، پ) بازالت بادامکی حاوی نسل اول زئولیت، ت) بازالت بادامکی حاوی نسل دوم زئولیت به صورت رگه-رگچه و پرکننده فضای خالی ث) تصویر مقطع میکروسکوپی آنالسیم و کلسیت، د) تصویر صحرایی زئولیت، کلسیت (Cal)، آنالسیم (Anl) و زئولیت (Zeo).

۴-۲-۷ کلریت و اپیدوت

کلریت یکی از کانی‌های دگرسانی پروپلتیک است که در مشاهدات صحرایی به رنگ سبز دیده می‌شود. این کانی در مقاطع میکروسکوپی (pp1) با ته‌رنگ سبز تشخیص داده شده است (شکل ۴-۱۰).



شکل ۴-۱۰: تصویر مقطع میکروسکوپی آندزیت بازالتی دگرسان شده که حاوی کلریت می‌باشد.

۴-۳- ساخت^۱ و بافت^۲ کانی‌ها

به مجموعه‌ای از ویژگی‌های سنگ‌ها که قابل تشخیص بر روی زمین و یا در نمونه دستی باشد، ساخت و به ارتباطی که بین کانی‌های تشکیل دهنده سنگ، از نظر شکل، اندازه، طرز قرار گرفتن و غیره وجود دارد، بافت می‌گویند. مهمترین ساخت‌ها و بافت‌های مشاهده شده در کانسار دوچپله به شرح زیر می‌باشد:

۴-۳-۱ ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای^۳

ساخت رگه-رگچه‌ای از جمله ساخت‌های مشاهده شده در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. کانی‌هایی که به صورت رگه-رگچه‌ای مشاهده می‌شوند و شامل مس خالص، کوپریت، مالاکیت و کانی‌های باطله مثل کلسیت و رئولیت است که در امتداد درزه و شکاف‌ها تشکیل شده‌اند (شکل ۴-۱۱ الف و شکل ۴-۱۲).

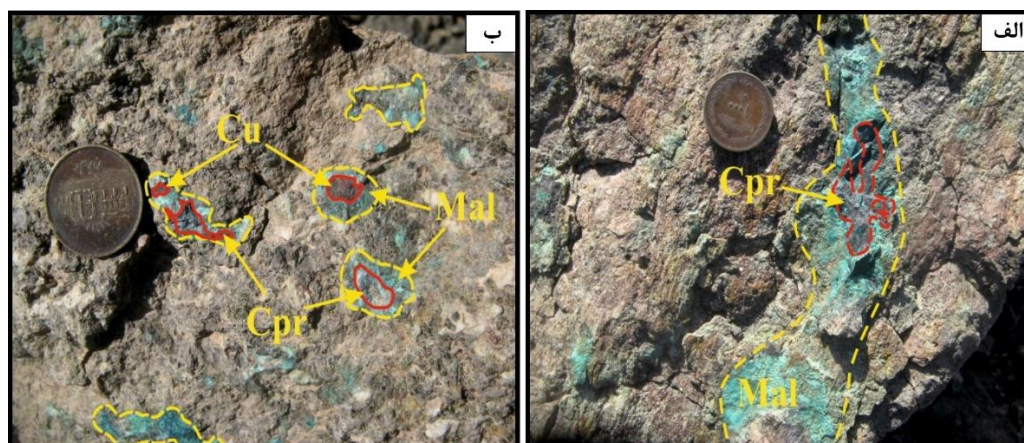
-
- 1 Structure
 - 2 Texture
 - 3 Vein- veinlet
 - 4 Open space filling

۲-۳-۴ ساخت و بافت پرکننده فضای خالی^۱

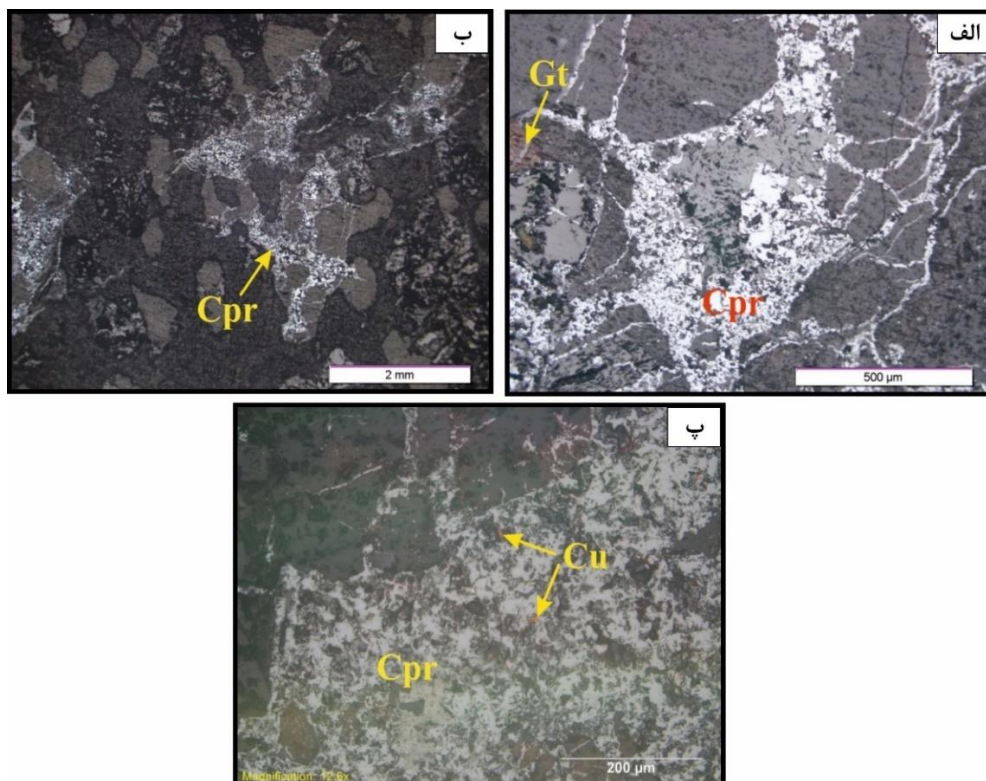
محلول‌های گرمایی یا ماگمایی هنگام عبور از فضای بین قطعات سنگ‌های آذرآواری، در فضاهاى خالی و حفرات مواد خود را برجای می‌گذارند، و ساخت و بافت پرکننده فضای خالی را تشکیل می‌دهند (Craig & Vaughan, 1981). این نوع ساخت و بافت در کانسار مس دوچپله به وفور یافت می‌شود که کانی‌هایی از قبیل مس طبیعی و کوپریت و مالاکیت درز و شکاف‌ها و همچنین فضاهاى خالی بین ذرات سنگ میزبان کانه‌زایی را پر کرده است (شکل ۴-۱۲).

۳-۳-۴ بافت جانشینی

جانشینی فرآیندی است که در طی دگرسانی و هوازگی یک کانی توسط کانی دیگر رخ می‌دهد. این نوع بافت ممکن است در اثر فرآیندهایی نظیر؛ انحلال و رسوب‌گذاری مجدد، اکسیداسیون و انتشار در حالت جامد رخ دهد. در کانسار مس دوچپله مگنتیت و کانی‌های فرومنیزین به هماتیت، گوتیت و لیمونیت تبدیل شده است. در نمونه دستی و میکروسکوپی کوپریت جانشین مس طبیعی شده است (شکل ۴-۱۱ ب و شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۱: الف) تصویر صحرایی ساخت رگه-رگچه در مالاکیت، ب) تصویر صحرایی ساخت که در آن کوپریت جانشین مس شده است و در اطراف مالاکیت تشکیل شده است.



شکل ۴-۱۲: تصویر مقطع میکروسکوپی، الف) بافت رگه-رگچه، ب) بافت پرکننده فضای خالی، پ) بافت جانیشینی مس توسط کوپریت، مس طبیعی (Cu)، کوپریت (Cpr) و گوتیت (Gt)

۴-۴- توالی پاراژنزی کانی‌ها

به مجموعه‌ای از کانیها و باطله‌های همراه، که در حال تعادل نسبت به همدیگر تشکیل می‌شوند، پاراژنز^۱ گفته می‌شود و به ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به صورت فازهای جدا یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار توالی پاراژنتیکی^۲ می‌گویند (Bates and Jackson, 1980).

با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و کانی‌شناسی سیر تحول کانی‌سازی (پاراژنز) و طبق مشاهدات بافتی که در طی مطالعات میکروسکوپی در کانسار دوچپله صورت گرفت می‌توان توالی پاراژنتیکی را برای کانه‌زایی در این مناطق به صورت مراحل زیر در نظر گرفت (جدول ۴-۱):





















الف) مرحله ولکانیسم: رخداد فعالیت‌های آتشفشانی بازیک و تشکیل سنگ‌های بازالت و آندزیت بازالتی در منطقه مورد مطالعه که حاوی مگنتیت اولیه می‌باشند.

1 Paragenesis
2 paragenetic sequence

ب) مرحله دیاژنز: تدفین و تشکیل نسل اول زئولیت، آنالسیم و مقدار کمتری کلریت و اپیدوت.
پ) مرحله بالا آمدگی و دگرشکلی: چین خوردگی و متعاقب آن گسل خوردگی منطقه که نتیجه آن کانه‌زایی در طول گسل‌های عمود بر روند محوری چین‌ها می‌باشد. در اثر برخورد سیال حاوی مس با سنگ‌های آتشفشانی میزبان و در اثر اکسیداسیون مگنتیت، یون مس احیا شده و به صورت مس خالص نهشته شده است. اکسیداسیون مگنتیت موجب گسترش رخدادهای هماتیت شده است. محصولات دگرسانی ناشی از برخورد سیال کانه‌ساز به سنگ‌های آتشفشانی باعث ایجاد کانی‌های کلریت، اپیدوت، کلسیت، زئولیت و آنالسیم نسل دوم شده است.

ت) مرحله هوازدگی و سوپرژن: در این مرحله کانی مس طبیعی تبدیل به کانی‌های کوپریت و مالاکیت و کانی مگنتیت تبدیل به کانی‌های هماتیت و گوتیت شده‌اند.

جدول ۱-۴: توالی پاراژنزی کانی ها، بافت و ساخت ماده معدنی در کانسار مس دوچپله

		Volcanism	Diagenesis	Uplift and deformation	Weathering
Minerals	Magnetite				
	Native Copper				
	Hematite				
	Cuprite				
	Malachite				
	Goethite				
	Alteration	Chlorite			
Epidote					
Zeolites					
Analcime					
Calcite					
Textures	Vein-veinlet				
	Open space filling				
	Replacement				

فصل ۵ ژئوشیمی

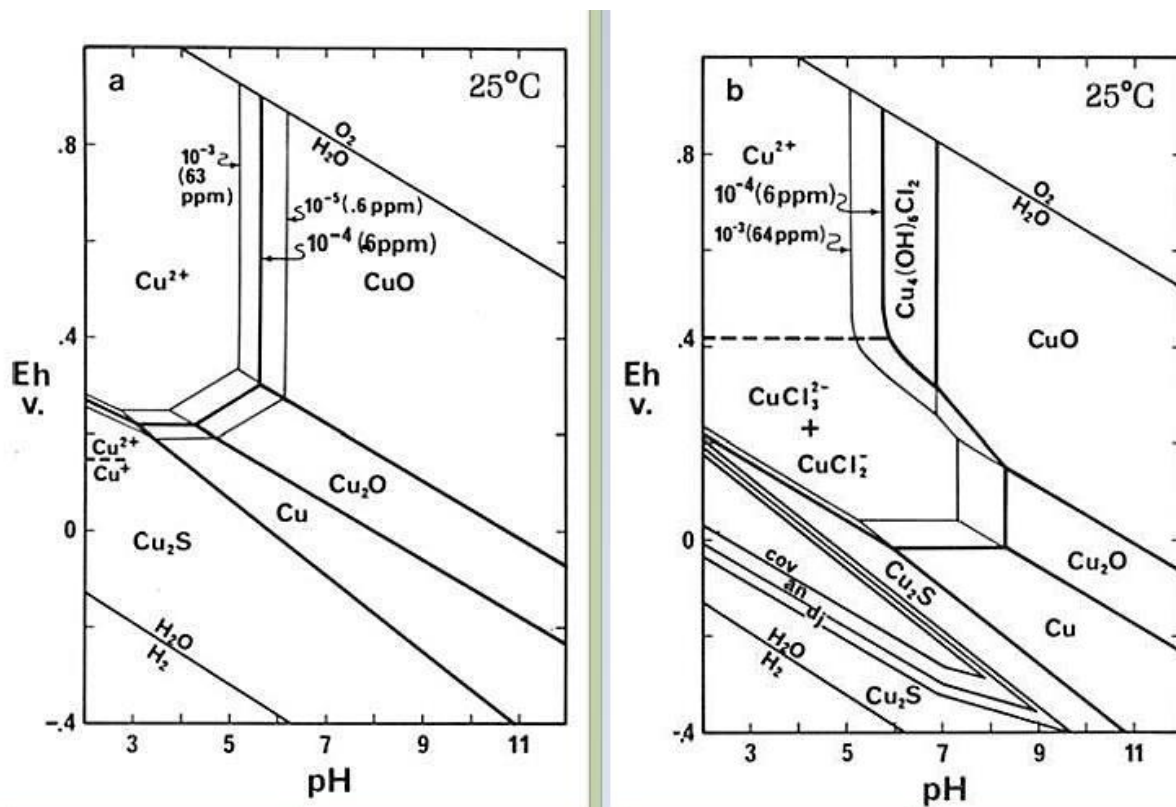
۵-۱- مقدمه

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 (Barnes, 1997). با اندکی دقت در بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌ها در مکان‌های که کانی‌سازی، دگرسانی و هوازدگی اتفاق افتاده است، می‌توان دید که نقش جابجایی عناصر در آنها بسیار پر رنگ است و منجر به غنی‌شدگی یک عنصر و یا تعدادی از عناصر خاص برای تشکیل کانسارها می‌شود. داده‌های ژئوشیمیایی جهت تعیین نام سنگ میزبان، سنگ منشأ و هم‌چنین رابطه ژئوشیمیایی عناصر کانسار ساز با یکدیگر و با سنگ منشأ مورد استفاده قرار می‌گیرند. در ابتدا به کلیاتی در مورد ژئوشیمی مس و سپس به تفسیر نتایج آنالیزهای انجام شده پرداخته می‌شود.

۵-۲- ژئوشیمی مس

مس یک عنصر فلزی با قابلیت انعطاف (چکش‌خواری)، شکل‌پذیر، به رنگ قهوه‌ای متمایل به قرمز دارای جلالی فلزی، وزن اتمی $63/54$ ، دمای ذوب آن 2595 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 پایه و بیست و چهارمین عنصر فراوان در پوسته زمین است و فراوانی مس در پوسته زمین 55 ppm می‌باشد. نماد این عنصر Cu ، و دارای عدد اتمی 29 ، جرم اتمی 64 و حالت اکسیداسیونی $(+1)$ و $(+2)$ است. از لحاظ ژئوشیمیایی مس خاصیت سیدروفیل و کالکوفیل دارد که در ردیف اول فلزات واسطه و در گروه یازدهم جدول تناوبی قرار می‌گیرد. تغییرات $\text{pH} - \text{Eh}$ و کمپلکس‌های کلریدی، رفتار مس و نقره را در دماهای پایین

کنترل می‌کنند (شکل ۵-۱). مس تحت شرایط اکسیداسیون و pH متوسط تا پایین، دارای محدوده قابلیت انحلال وسیعی می‌باشد. همچنین از آن جایی 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 (Rose, 1976).



شکل ۵-۱: انحلال پذیری 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، (b) در حضور کلر، (Rose 1976)

۵-۳- نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها

برای شناخت چگونگی رخداد فرآیند کانه‌زایی، تعیین میزان عناصر اصلی و فرعی و استفاده از نتایج آن‌ها جهت تعبیر و تفسیر ژئوشیمیایی سنگ‌های دربرگیرنده ماده معدنی و کانسنگ مس و تعیین منشأ کانسار، تعداد ۱۴ نمونه از بخش‌های مختلف منطقه مورد مطالعه مبتنی بر تغییرات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، بافتی و دگرسانی، انتخاب شد و جهت تجزیه به روش ICP-MS به آزمایشگاه زراژما ارسال شده است (جدول

۵-۱). با استفاده از نتایج حاصل از آنالیز عنصری به روش ICP-MS و اعمال یک سری تغییرات در آن‌ها درصد اکسیدهای اصلی محاسبه گردید (جدول ۵-۲). البته مقادیر بقیه عناصر هم در این آنالیز مشخص شده است (جدول ۵-۳). نتایج تجزیه شیمیایی نمونه‌ها برای اکسیدهای عناصر اصلی به صورت درصد وزنی (Wt%) و برای عناصر کمیاب و کمیاب خاکی به صورت قسمت در میلیون (ppm) می‌باشد. البته قبل از پردازش آنها، تصحیحات لازم از جمله حذف مواد فرار (LOI) و تصحیح نسبت Fe_2O_3/FeO در مورد آن‌ها اعمال گردیده است.

جدول ۵-۱: مشخصات نمونه‌های ژئوشیمیایی برداشت شده در مناطق معدنی دوچپله و توران

ردیف	شماره نمونه	سنگ آتشفشانی- بازالت	محل برداشت
1	A1DO1	کانسنگ	کارگاه ۱ دوچپله
2	A1DO2	کانسنگ	کارگاه ۲ دوچپله
3	A2DO2	کانسنگ	کارگاه ۲ دوچپله
4	A1MD1	کانسنگ	کارگاه ۱ توران
5	A2MD2	کانسنگ	کارگاه ۲ توران
6	B1DO1/1	سنگ دگرسان	کارگاه ۱.۱ دوچپله
7	B1DO2	سنگ دگرسان	کارگاه ۲ دوچپله
8	B1DO3	سنگ دگرسان	کارگاه ۳ دوچپله
9	C1DO1/1	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۱/۱ دوچپله
10	C1DO2	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۲ دوچپله
11	C1DO2/1	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۲/۱ دوچپله
12	C1DO3	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۳ دوچپله
13	C1MD1	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۱ توران
14	C2MD2	سنگ غیر دگرسان	کارگاه ۲ توران

جدول ۵-۲: مقادیر اکسیدهای عناصر اصلی (بر حسب درصد)

Sampel	SiO ₂	Al ₂ O ₃	K ₂ O	P ₂ O ₅	Na ₂ O	MnO	MgO	TiO ₂	CaO	Fe ₂ O ₃
A1DO1	57.84	12.2	1.7374	0.4155	3.4181	0.1575	9.1201	0.8561	13.71	10.27
A1DO2	57.57	7.84	1.9406	0.5759	2.5425	0.1145	7.5946	0.7795	9.98	9.86
A2DO2	51.62	10.57	2.8861	0.5023	2.6459	0.1299	6.5167	0.6859	7.22	8.44
A1MD1	51.02	10.25	3.5613	0.5035	2.6894	0.1305	7.3458	0.6264	12.27	8.12
A2MD2	56.22	9.47	2.4437	0.4975	3.4377	0.1313	7.9925	0.7465	9.84	9.51
B1DO1/1	52	12.6	4.5136	0.4661	3.401	0.1134	5.1736	0.7226	7.77	8.39
B1DO2	55.06	6.37	2.0822	0.4036	1.7207	0.1024	8.3242	0.8064	9.65	9.89
B1DO3	54.23	5.69	1.8055	0.4329	1.6994	0.156	7.9428	0.6724	4.21	9.92
C1DO1/1	56.65	14.49	3.4409	0.5103	3.8577	0.1582	5.0907	0.8459	8.95	11.07
C1DO2	59.96	11.72	1.6757	0.4201	3.7186	0.1698	9.2859	0.8664	14.34	10.34
C1DO2/1	55.96	10.05	3.2637	0.4315	3.1442	0.1809	7.777	0.8087	11.26	9.89
C1DO3	57.67	11.61	2.8142	0.4352	3.7793	0.1731	8.3076	0.6864	11.66	10.87
C1MD1	56.67	12.14	2.8424	0.4535	3.4365	0.1571	8.9045	0.8019	12.17	10.17
C2MD2	56.3	11.37	2.2715	0.4386	3.2729	0.1571	7.9759	0.7169	11.47	9.69

جدول ۵-۳: نتایج آنالیز عنصری به روش ICP MS (ppm)

Sampel	Ag	Al	As	Ba	Be	Bi	Ca	Cd	Ce	Co	Cr	Cs	Cu	Dy	Er
A1DO1	0.8	6.36	0.08	323	1.4 0	0.08	9.8	0.08	40	34.5	428	1.1	2631	4.21	2.28
A1DO2	3.1	3.96	0.08	296	1.7	0.08	7.13	0.08	36	31.4	310	2	9330	3.48	1.63
A2DO2	8.9	5.59	0.08	381	1.4	0.08	5.16	0.08	32	29	191	2.5	35200	3.54	1.9
A1MD1	7.8	5.43	0.6	304	1.3	0.08	8.77	0.08	36	26.3	278	2	51100	3.42	1.66
A2MD2	2.6	5.01	0.08	278	1	0.08	7.03	0.10	37	31	289	2.1	10293	3.59	1.77
B1DO1/1	4	6.67	0.08	437	1.5	0.08	5.55	0.08	37	24.7	93	2.4	19135	3.5	1.83
B1DO2	0.4	3.37	0.08	256	1.1	0.08	6.9	0.1	31	28	400	1.1	967	3.31	1.59
B1DO3	0.0 8	3.01	0.08	217	1.4	0.08	6.69	0.08	26	36	338	1.2	117	2.87	1.38
C1DO1/1	0.1	7.67	0.08	538	1.7	0.08	6.4	0.08	44	33.7	111	0.7	76	3.41	1.78
C1DO2	0.7	6.2	0.08	311	1.4	0.08	10.2 5	0.08	39	37.3	433	0.8	2764	3.78	1.98
C1DO2/1	0.0 8	5.32	0.08	438	1.5	0.08	8.05	0.08	37	34.2	382	2.2	59	3.56	1.84
C1DO3	0.0 8	6.14	0.08	311	1.8	0.08	8.33	0.08	34	35.6	382	1.8	247	3.47	1.73
C1MD1	0.1	6.43	0.08	401	1.6	0.08	8.7	0.08	42	32.4	328	1.7	192	3.72	1.93
C2MD2	0.1	6.02	0.08	302	1.7	0.08	8.2	0.08	40	31.4	317	1.6	384	3.57	1.77
Sampel	Eu	Fe	Gd	Hf	In	K	La	Li	Lu	Mg	Mn	Mo	Na	Nb	Nd
A1DO1	1.5 1	7.18	4.6	2.3 5	0.2 5	1442 3	18	17	0.3 3	5500 0	122 0	0.0 8	25357	6.70	26.6
A1DO2	1.2 3	6.90	3.60	1.9 4	0.2 5	1611 0	16	10	0.2 5	4580 0	887 8	0.0 8	18861	5.1	23.2
A2DO2	1.0 9	5.90	3.52	1.9 6	0.2 5	2395 9	15	15	0.2 8	3930 0	100 6	0.0 8	19628	4.3	21.3
A1MD1	1.1 8	5.68	3.62	2.1 8	0.2 5	2956 4	15	17	0.2 7	4430 0	101 1	0.0 8	19951	4.6	21.9
A2MD2	1.2 7	6.65	3.72	2.4 4	0.2 5	2028 6	17	12	0.2 6	4820 0	101 7	0.0 8	25502	4.4	23.6
B1DO1/1	1.2 9	5.87	3.64	2.2 4	0.2 5	3747 0	15	20	0.2 8	3120 0	878	1.5	25230	4.4	21.3
B1DO2	1.1	6.92	3.38	1.6	0.2 5	1728 5	14	9	0.2 5	5020 0	793	1.6	12765	4.40	21.1
B1DO3	0.9 5	6.94	2.8	1.1 6	0.2 5	1498 8	12	12	0.2	4790 0	120 8	0.0 8	12607	3.2	18.6

C1DO1/ 1	1.2 2	7.74	3.7	2.6 3	0.2 5	2856 5	20	15	0.2 8	3070 0	122 5	0.0 8	28618	6.8	21.3
C1DO2	1.3 2	7.23	4.06	2.0 1	0.2 5	1391 1	17	16	0.2 9	5600 0	131 5	0.0 8	27586	5.4	22.9
C1DO2/ 1	1.2 5	6.92	3.66	1.7 5	0.2 5	2709 4	16	15	0.2 7	4690 0	140 1	0.0 8	23325	4.8	21.9
C1DO3	1.1 6	7.6	3.52	1.9 5	0.2 5	2336 2	15	25	0.2 7	5010 0	134 1	0.0 8	28036	3.3	21.3
C1MD1	1.4	7.11	4.24	2.5 2	0.2 5	2359 6	19	26	0.2 9	5370 0	121 7	0.0 8	25493	4.3	24.4
C2MD2	1.3 7	6.78	4.05	2.3 5	0.2 5	1885 7	18	13	0.2 6	4810 0	121 7	0.0 8	24280	4.5	23.7
Sampel	Ni	P	Pb	Pr	Rb	S	Sb	Sc	Se	Si	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb
A1DO1	55	181 3	4	6.3 3	44	360	0.7	35	3.8 1	27.04	5.25	1.7	604	0.6	0.62
A1DO2	51	251 3	0.75	5.6 3	51	254	0.6	16.4	3.7 1	26.91	4.34	1.5	334.8	0.49	0.5
A2DO2	34	219 2	0.75	5.1 2	88	621	0.6	24.4	3.3 4	24.13	4.08	1.5	276.7	0.44	0.47
A1MD1	33	219 7	6	5.3 1	101	339	0.8	29.6	3.4 6	23.85	4.18	1.4	326.9	0.46	0.51
A2MD2	39	217 1	0.75	5.7 1	62	275	0.6	23.2	3.0 4	26.28	4.44	1.5	321.6	0.46	0.52
B1DO1/ 1	25	203 4	4	5.1 4	108	486	0.7	23.7	3.6 1	24.31	4.23	1.6	372.3	0.46	0.51
B1DO2	52	176 1	1	4.9 5	50	284	0.8	19.2	2.3 2	25.74	4.05	1.2	220.7	0.44	0.47
B1DO3	44	188 9	0.75	4.4 6	40	243	0.7	15.1	2.0 2	25.35	3.4	1.3	220.5	0.47	0.4
C1DO1/ 1	28	222 7	3	5.1 9	55	1662	0.7	28.3	1.9 3	26.48	4.17	1.5	865	0.52	0.51
C1DO2	55	183 3	4	5.4 4	36	318	0.6	35.9	2.5 4	28.03	4.47	1.4	575.7	0.51	0.52
C1DO2/ 1	54	188 3	0.75	5.2 6	99	293	0.6	29.6	2.4 1	26.16	4.34	1.3	336.3	0.49	0.51
C1DO3	45	189 9	0.75	5.0 2	69	336	0.5	38.2	2.2 8	26.96	4.13	1.3 0	474.8	0.41	0.48
C1MD1	48	197 9	0.75	5.7 7	62	335	0.5	38.8	2.2 4	26.49	4.82	1.5	526.1	0.46	0.56
C2MD2	40	191 4	0.75	5.7 3	52	335	0.6	34.5	2.1 9	26.32	4.63	1.6 0	498.6	0.51	0.51
Sampel	Te	Th	Ti	Tl	Tm	U	V	W	Y	Yb	Zn	Zr			
A1DO1	0.2 4	3.32	513 2	0.0 8	0.3 1	1.4	252	0.75	16. 9	2.80	63	107			
A1DO2	0.1 8	2.91	467 3	0.0 8	0.2 4	2.1	266	0.75	10. 7	1.9	46	99			
A2DO2	0.1 2	3.14	411 2	0.1 3	0.2 6	3.8	275	0.75	14	2.2	72	98			
A1MD1	0.0 8	2.96	375 5	0.1 5	0.2 4	2.11	238	0.75	12. 9	1.9	97	105			
A2MD2	0.1 0	3.11	447 5	0.0 8	0.2 6	2	31	0.75	12. 4	2.1	60	109			
B1DO1/ 1	0.0 8	4.01	433 2	0.3 9	0.2 6	1.4	332	0.75	15. 1	2.6	57	114			
B1DO2	0.1 3	1.92	483 4	0.1 6	0.2 3	1.5	261	0.75	11	1.9	40	87			
B1DO3	0.1 2	1.56	403 1	0.6 7	0.1 9	1.5	266	0.75	8.5	1.6	46	76			
C1DO1/ 1	0.1 3	3.98	507 1	0.1 3	0.2 5	2.2	302	0.75	17. 4	3	67	127			
C1DO2	0.0 8	2.58	519 4	0.0 8	0.2 7	1.4	250	0.75	16. 8	2.7	66	111			
C1DO2/ 1	0.1 2	2.87	484 8	0.1 9	0.2 5	1.4	222	0.75	14. 1	2.2	66	103			
C1DO3	0.0 8	2.85	411 5	0.1 8	0.2 5	1.7	264	0.75	14. 8	2.5	62	104			
C1MD1	0.1 2	3.5	480 7	0.0 8	0.2 7	1.7	222	0.75	16. 4	2.4	62	123			
C2MD2	0.0 8	3.1	429 8	0.0 8	0.2 5	1.8	247	0.75	15. 2	2.3	61	115			

C: سنگ غیردگرسان (بازالت) ♦ ، B: سنگ میزبان دگرسان شده ▲ ، A: کانسنگ ■

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

۵-۳-۱ نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های آتشفشانی

رده‌بندی‌های مختلفی توسط سنگ‌شناسان مختلف برای سنگ‌های آتشفشانی پیشنهاد شده است. در این تحقیق برای طبقه‌بندی سری ماگمایی سنگ‌های آذرین مناطق مورد مطالعه از نمودارهای،

Middlemost (1994) ، Modified & Pearce (1996) استفاده شده است. در نمودار Middlemost (1994)

که براساس مقادیر $Na_2O + K_2O$ در مقابل درصد وزنی SiO_2 ترسیم شده است، سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده تراکی بازالت، بازالت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۲ الف). با توجه به اینکه دگرسانی بر روی انتشار و تمرکز عناصر اصلی اثر می‌گذارد، استفاده از نمودارهای مربوط به عناصر کمیاب که در درجات

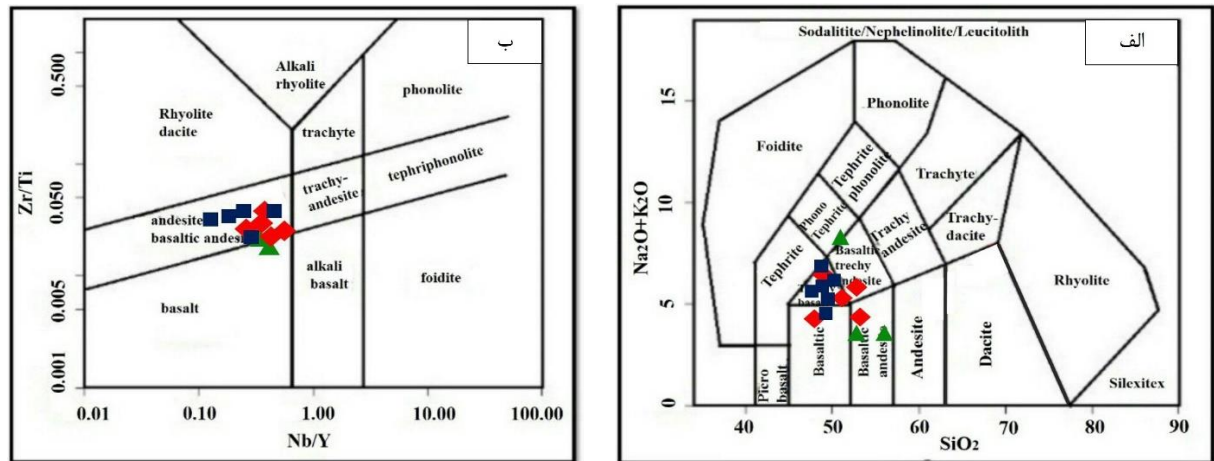
کم دگرسانی نام‌تحرکند، دقیق‌تر می‌باشد (Manya and et al, 2007)، لذا در نمودار Nb/Y در برابر

Zr/Ti Modified & Pearce (1996) که براساس عناصر نام‌تحرک (HFS) ارائه شده است، سنگ‌های

آتشفشانی مورد نظر دارای ترکیبی بین آندزیت و آندزیت‌بازالتی می‌باشند (شکل ۵-۲ ب). در مجموع با توجه

به مشاهدات صحرایی و پتروگرافی و ملاحظات ژئوشیمیایی نام بازالت، تراکی‌بازالت و آندزیت‌بازالت برای این

سنگ‌ها مناسب و منطقی است.



شکل ۵-۲: الف) رده بندی سنگ های آتشفشانی منطقه در نمودار TAS (Na₂O+K₂/SiO₂)، Middlemost 1994،

ب) موقعیت نمونه های مورد مطالعه بر روی نمودار Zr/Ti در مقابل Nb/Y، Modified & Pearce 1996،

۵-۳-۲ تعیین محیط زمین ساخت سنگهای میزبان

نمودارهای متمایز کننده محیط های تکتونوماگمایی، نمودارهای تغییرات ژئوشیمیایی هستند که در آن ماگماهای تولید شده در جایگاه های متفاوت تکتونیکی می توانند براساس شیمی شان از یکدیگر متمایز شوند. در این نمودارها ماگمای تشکیل شده در جایگاه های زمین ساختی مختلف براساس تغییرات ژئوشیمیایی متفاوت عناصر اصلی، فرعی و کمیاب از یکدیگر جدا می شوند.

محیط تکتونیکی، تعیین کننده نوع ماگما و خود ماگما نیز نوع کانه زایی را مشخص می کند. به منظور تعیین محیط تکتونیکی از نمودارهای مبتنی بر عناصر کمیاب، نسبت های بین آن ها و عناصر کم تحرک استفاده شده

است. باتوجه به شکل (۵-۳، الف)، تمامی نمونه ها نزدیک به رأس Th، زیر خط جداکننده $Hf/Th=3$

در گستره کمان قاره ای (CAB) واقع می شوند و دارای ماهیت کالک آلکالن می باشند (Wood, 1980). از نمودار

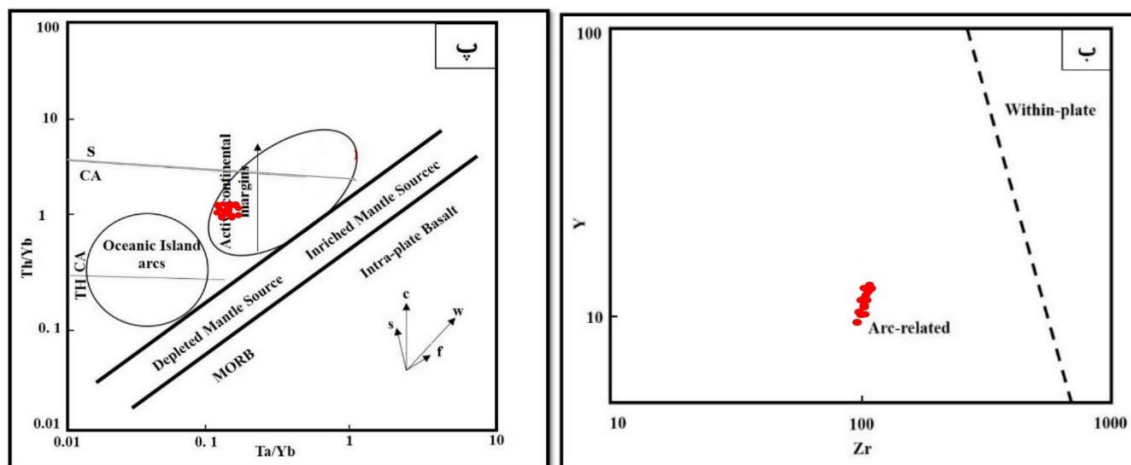
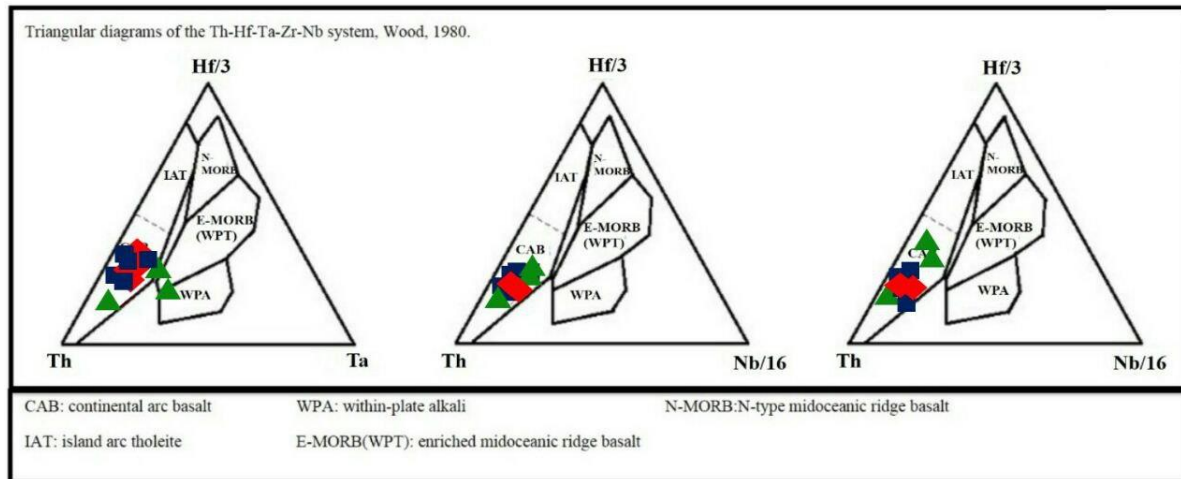
پیشنهاد شده توسط (Muller and Groves, 1993)، به منظور تفکیک محدوده های مرتبط با کمان ماگمایی

و درون صفحه ای استفاده شده است. در نمودار نام برده، نمونه های مورد مطالعه در ارتباط با کمان ماگمایی

مرتبط با فرورانش قرار می گیرند (شکل ۵-۳ ب). همچنین برای تفکیک کمان ماگمایی قاره ای از نوع کمان های

جزایر قوسی از نمودار (Th/Yb) در مقابل (Ta/Yb)، استفاده شده است (Pearce, 1983). این نسبت ها عموماً

جدا از تبلور تفریقی عمل می‌کنند، بنابراین آلودگی‌های احتمالی را به خوبی نشان می‌دهند (شکل ۳-۵، پ). فرآیندهای فرورانشی دارای Th بیشتر و به مقدار کم‌تر Ta می‌باشند (ناهدی‌فر، ۱۳۹۳).

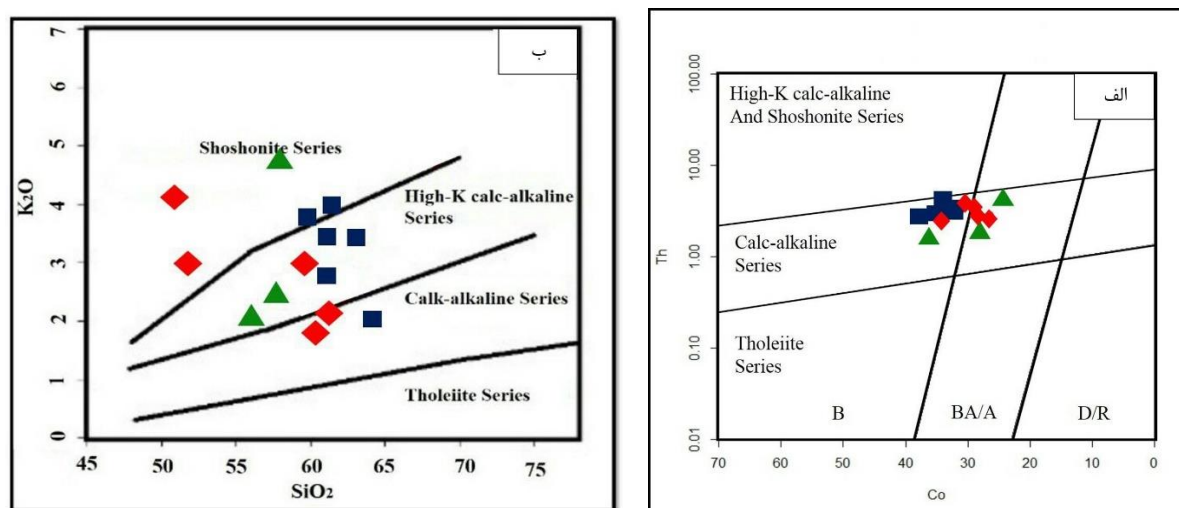


شکل ۳-۵: الف) موقعیت نمونه‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودارهای مثلثی Th-Hf-Ta-Zr-Nb و موقعیت قرارگیری نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کمان قاره‌ای (CAB) (Wood, 1980)، ب) تفکیک محدوده‌های کمان آتشفشانی از درون صفحه‌ای، (Muller and Groves, 1993)، پ) محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه و تفکیک کمان آتشفشانی مرتبط با فرورانش از نوع کمان‌های جزیره‌ای بر اساس تغییرات نسبت (Th/Yb) و (Ta/Yb)، مشاهده می‌شود، (Pearce, 1983).

۳-۳-۵ تعیین سری ماگمایی

در نمودار Co-Th Hastie et al (2007) سنگ‌های آتشفشانی در محدوده سری ماگمایی کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند (شکل ۴-۵ الف). در نمودار K₂O در مقابل SiO₂، Peccerillo & Taylor (1975) سنگ‌های

مورد بررسی در قلمروهای کالک‌آلکالن پتاسیم متوسط تا بالا و به‌ندرت در قلمرو سری شوشونیتی قرار می‌گیرند (شکل ۴-۵ ب) ماگماهای کالک‌آلکالن حاصل اختلاط ماگماهای منشأ گرفته از گوشته و پوسته‌اند (Tatsumi and Takahashi, 2006).

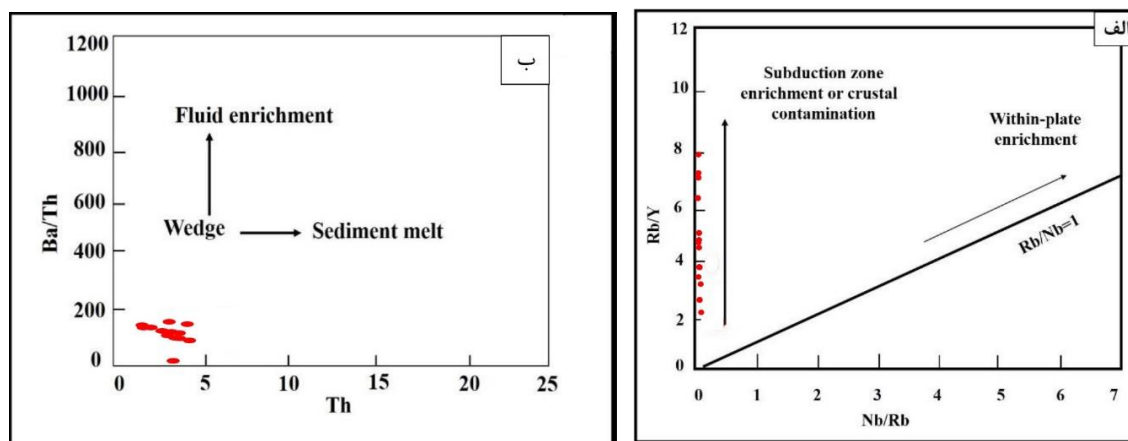


شکل ۴-۵: الف) موقعیت سنگ‌های آتشفشانی محدوده مورد مطالعه در نمودار Co-Th از Hastie et al., (2007) ب) در نمودار K2O در مقابل SiO2 ، Peccerillo & Taylor (1975)

۴-۳-۵ عوامل مؤثر بر ماگماتیسم منطقه

از عوامل کنترل‌کننده ماگماتیسم در کمان‌های ماگمایی می‌توان به گوه گوشته‌ای، ورقه اقیانوسی فرورونده، رسوبات فرورونده، ضخامت پوسته و شیب ورقه فرورونده اشاره کرد. ماگمای مرتبط با فرورانش، درجات بالایی از غنی‌شدگی را نشان می‌دهند که احتمالاً نتیجه سرچشمه گرفتن از خاستگاه گوشته‌ای غنی‌شده و آلودگی با ورقه پوسته‌ای می‌باشد. برای تشخیص غنی‌شدگی در پهنه فرورانش و یا آلودگی ورقه پوسته‌ای از نمودار ارائه شده توسط (Temel et al., 1998) استفاده شد. در نمودار نام‌برده اگر $Rb / Nb = 1$ باشد، نشان‌دهنده غنی‌شدگی درون صفحه‌ای می‌باشد، در حالی‌که نمونه‌های مورد مطالعه در این تحقیق در محدوده گوشته غنی‌شده با آغشتگی پوسته‌ای قرار می‌گیرند (شکل ۴-۵، الف). عناصر Rb و Th در سنگ‌های پوسته‌ای بیشتر از سنگ‌های گوشته‌ای دیده می‌شوند و همچنین تحت تأثیر تبلور با حضور آب یا بدون آب قرار نمی‌گیرند. از آنجایی که Th در تعیین نقش رسوبات فرورانده در سیستم کمان‌های ماگمایی مرتبط با فرورانش، از اهمیت به‌سزایی برخوردار است، برای تعیین نقش رسوبات فرورانده شده از نمودار Ba/Th در مقابل Th ، استفاده شد

(Hawkesworth et al., 1997). نمونه‌های منطقه مورد مطالعه میزان نسبتاً بالایی Th و نسبت پایینی از Ba/Th را نشان می‌دهند که احتمالاً ناشی از نقش رسوبات فرورانده در تشکیل ماگمای مادر این سنگ‌ها است (شکل ۵-۵، ب).

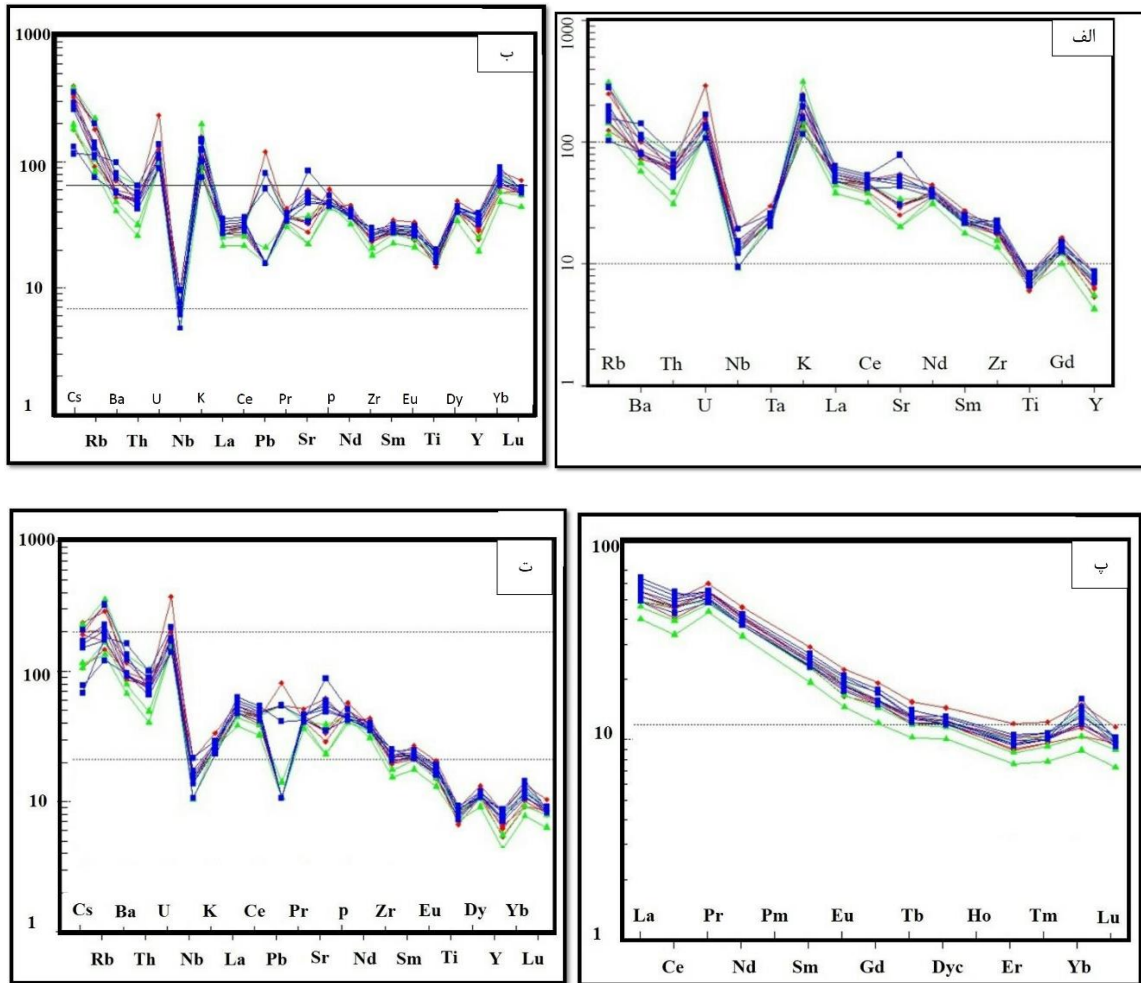


شکل ۵-۵: الف) موقعیت سنگ‌های منطقه دوجبله در نمودار Rb/Y در برابر Nb/Rb، که در محدوده گوشته‌غنی شده با آغستگی پوسته‌ای قرار گرفته‌اند، (Temel et al, 1998)، ب) تعیین نقش رسوبات فرورانده با استفاده از نمودار Ba/Th در برابر Th، مشاهده می‌شود (Hawkesworth et al., 1997).

۵-۳-۵ ژئوشیمی عناصر کمیاب و نادر خاکی

الگوی پراکندگی عناصر کمیاب و نادر خاکی برای تفسیر تاریخچه تشکیل و ژنز کانسارها کاربرد زیادی دارد (Lottemoser, 1992). کانسارهایی که توسط سامانه‌های گرمایی تشکیل می‌شوند دارای ترکیباتی از عناصر کمیاب بوده، که منعکس کننده شرایط حمل و ته‌نشینی توسط محلول‌های گرمایی هستند. این عناصر کمیاب به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ LILE (عناصر لیتوفیل بزرگ یون، مانند Pb^{2+} و Pb , Rb , Cs , Sr , Ba , K , Eu^{2+} و HFSE (عناصر با شدت میدان قوی، مانند Zr , Th , Nb , Ta , Hf , U و REE)، (منصوری، ۱۳۹۰). عناصر نادر خاکی (REE)، به عنوان ردیاب و شناساگر در مطالعات ژئوشیمی کاربرد فراوان دارند و شامل؛ عناصر نادر خاکی سبک (LREE) با عدد اتمی پایین، عناصر نادر خاکی متوسط (MREE) با عدد اتمی متوسط و عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) با عدد اتمی بالا می‌باشند. برای شناخت بهتر ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه مورد مطالعه، از نمودارهای به‌هم‌نجا شده مربوط به عناصر نادر خاکی و نمودارهای عنکبوتی

نسبت به کندریت و گوشته اولیه استفاده شد (Sun et al., 1980; McDonough and Sun., 1989; McDonough and Sun., 1995)، بر پایه این نمودارها، عناصر K و Rb، غنی‌شدگی و عناصر Ti و Nb، تهی‌شدگی از خود نشان می‌دهند (شکل ۵-۶، الف و ب و ت). غنی‌شدگی عناصر K و Rb نشان‌دهنده آغشتگی ماگمای اولیه با پوسته می‌باشد. عناصر Nb و Ti در ورقه پوسته‌ای به صورت محدود وجود دارند و آرایش مواد آتشفشانی با ورقه پوسته‌ای، این عناصر را در سطوح بالاتر آشکار می‌سازد. بدین ترتیب روند تغییرات این نمونه‌ها نشان‌دهنده محیط کمان ماگمایی است (Cabral and beaudion, 2007; Mehrabi et al., 2012). به عبارت دیگر تهی‌شدگی عناصر با پتانسیل یونی بالا مانند Ta، Nb، Ti، P و آنومالی مثبت عنصر K، Pb (شکل ۵-۶، الف و ب و ت) نشان‌دهنده یک جایگاه کمان قاره‌ای مرتبط با فرورانش (Wilson, 1989) است. با توجه به نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، الگوی توزیع عناصر نادر خاکی در سنگ‌های ولکانیکی محدوده اکتشافی مورد مطالعه نشان‌دهنده روند نزولی از سمت عناصر نادر خاکی سبک به سمت عناصر نادر خاکی سنگین است (شکل ۵-۶، پ). این الگو نشان‌دهنده سازگاری سنگ‌های ولکانیکی منطقه با سری ماگمایی کالک‌آلکان مرتبط با کمان آتشفشانی است (Muller et al., 1993).



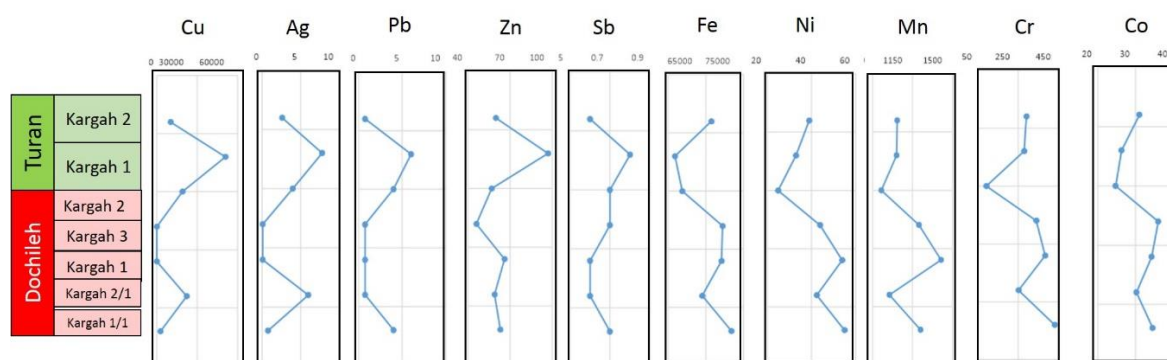
شکل ۵-۶: الف) غلظت عناصر کمیاب بهنجار شده نسبت به کندریت، (Sun et al., 1980)، ب) نمودار بهنجار شده عناصر کمیاب سنگ‌های منطقه در برابر گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989)، پ) نمودار بهنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، ت) نمودار بهنجار شده عناصر کمیاب سنگ‌های منطقه در برابر گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995).

۵-۳-۶ پراکندگی و همبستگی برخی از عناصر در مناطق مورد مطالعه

با توجه به اهمیت بررسی ژئوشیمیایی واحد میزبان، تغییرات برخی از عناصر از جمله Mn، Sb، Co، Ni، Cr، Fe، Zn، Pb، Ag و Cu در نمونه‌های کانسنگ که از کارگاه‌های موجود در مناطق دوچپله و توران برداشت شده است، مورد ارزیابی قرار گرفت که نتیجه آن در ذیل ارائه می‌گردد (شکل ۵-۷).

باتوجه به بررسی‌های انجام شده بر روی آنالیزهای حاصل از این مناطق، در کارگاه ۱ توران، بیشترین میزان Cu (۵/۱۱ درصد) مشاهده می‌شود. همچنین شاهد افزایش Ag به همراه Cu هستیم و همبستگی مثبت با یکدیگر نشان می‌دهند (۷/۸ ppm). میزان Ag در سایر کارگاه‌های موجود به جز کارگاه ۲/۱ دوچپله که مقدار آن تا

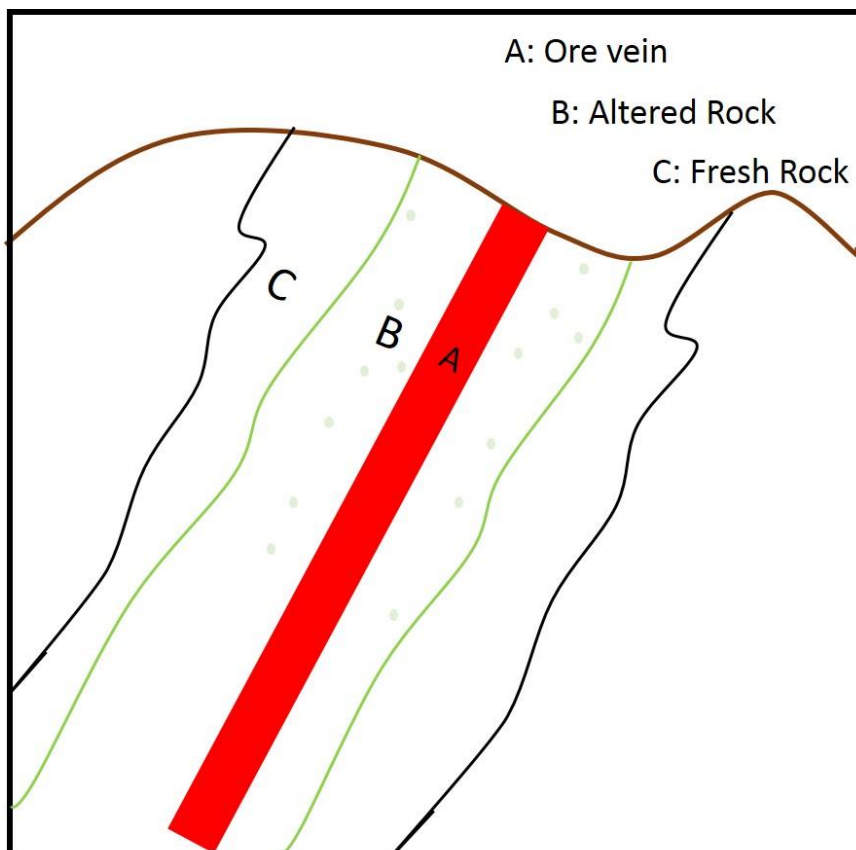
۸/۹ppm می‌رسد، قابل توجه نیست (جدول ۵-۲). همچنین Zn, Pb و Sb با یکدیگر همبستگی مثبت بالایی دارند و تقریباً پراکندگی و همبستگی مثبت با Cu نشان می‌دهند. مقدار Cu و عناصری که همبستگی مثبت با آن داشتند، در کارگاه ۱ توران بیشترین میزان گزارش شده است. در شرایط اکسیدان و pH متوسط تا پایین، محلول می‌باشد در صورتی که Fe در همین شرایط انحلال کمتری از خود نشان می‌دهد و همین امر سبب همبستگی منفی در این دو عنصر شده است. Fe و Mn رفتار مشابهی با یکدیگر دارند ولی Mn برای ته‌نشست به شرایط pH بالاتر احتیاج دارد (pH=8). بنابراین در شرایطی که Fe ته‌نشست می‌شود (pH=6)، Mn هنوز تمایل به مهاجرت دارد. Fe, Co, Cr, Ni و Mn با یکدیگر همبستگی مثبت بالا دارند ولی با عنصر Cu و عناصر همراهش همبستگی منفی نمایش می‌دهند. روند کاهش عناصر Ni, Cr و Co نشان از جدایش این عناصر در طی فرآیند تفریق ماگمایی است.



شکل ۵-۷: نمودار تغییرات میزان برخی از عناصر در محدوده دوچپله و توران

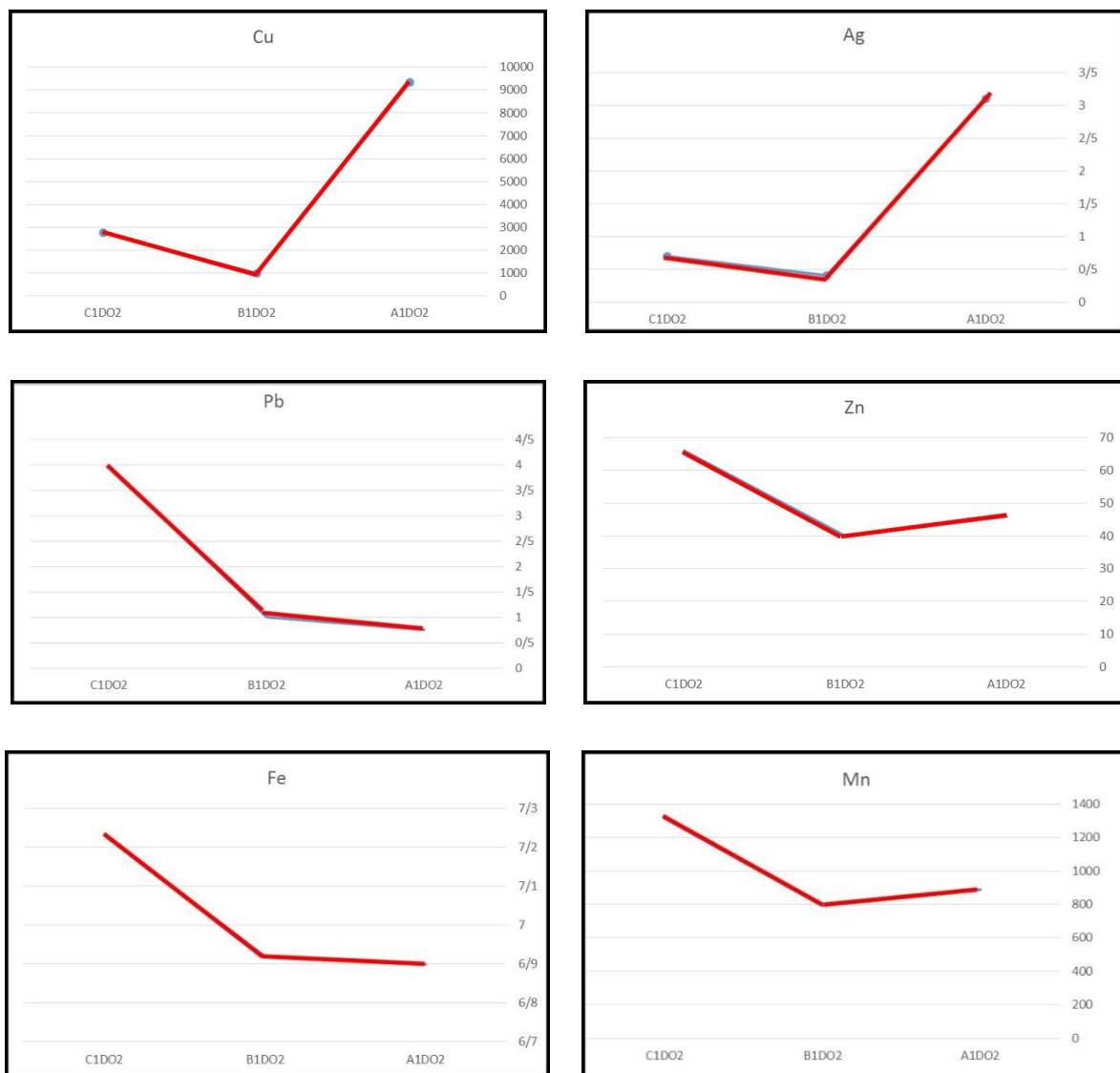
۵-۳-۷ تغییرات لیتوژئوشیمیایی در رگه‌های کانهدار

تغییرات میزان عناصر در یکی از رگه‌های کانهدار که در آن نمونه‌برداری به صورت سیستماتیک انجام گرفته، بررسی شده است. نمونه‌ها به ترتیب از رگه کانهدار، سنگ دگرسان و سنگ غیر دگرسان برداشت شده است (شکل ۵-۸).



شکل ۵-۸: شکل شماتیک نمونه برداری سیستماتیک از رگه کانه دار، سنگ دگرسان و سنگ غیر دگرسان

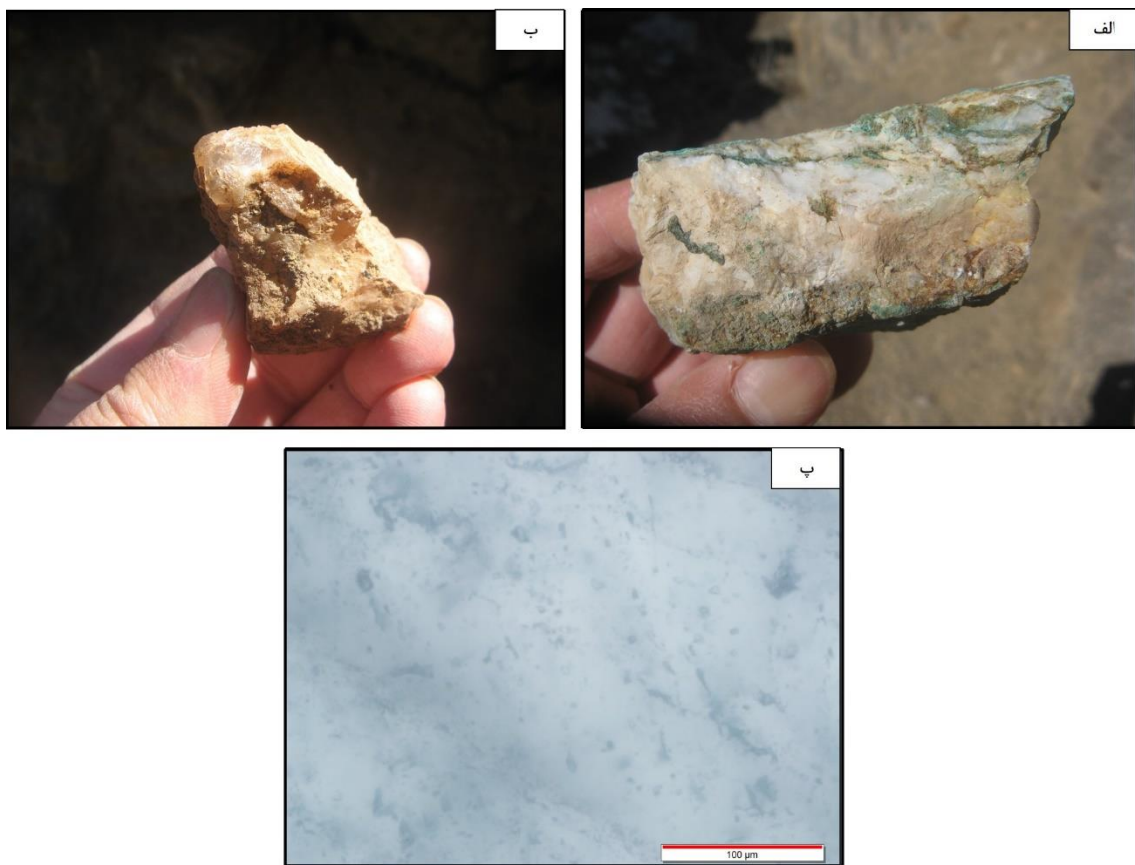
بر طبق نمودارهای رسم شده، منشا عناصر سنگ میزبان بازالتی می باشد و شاهد آن این است که در سنگ دگرسان نسبت به سنگ غیر دگرسان میزان عناصر کمتر شده است. مس و نقره سریع تر از عناصر دیگر داخل رگه ته نشست کرده اند ولی عناصری که تحرک بیشتری دارند از قسمت دگرسان شسته و در دور دست ته نشست کرده اند، به همین دلیل در رگه کانه دار میزان این عناصر نسبت به سنگ غیر دگرسان کاهش یافته است (شکل ۵-۹).



شکل ۵-۹: نمودار تغییرات میزان برخی از عناصر در رگه کانه‌دار، سنگ دگرسان و سنگ غیر دگرسان.

۵-۳-۸ مطالعه میانبارهای سیال

قابل ذکر است که برای مطالعه میان‌بارهای سیال، چهار مقطع دوبرصیقل از کانی‌های شفاف (کلسیت و آنالسیم) به همراه کانه‌زایی تهیه گردید و در آزمایشگاه سیالات درگیر دانشگاه صنعتی شاهرود مورد بررسی قرار گرفت. در نتایج به دست آمده از این آزمایش میان‌بارهای سیال بسیار ریز بوده و قابل مطالعه نبودند (شکل ۵-۱۰).



شکل ۵-۱۰: تصویر نمونه دستی کانی‌های شفاف برای تهیه مقطع دوبر صیقل، الف) کلسیت، ب) آنالسیم، پ) تصویر میکروسکوپی مقطع دوبر صیقل.

فصل ۶ الگوی تشکیل، تیپ کانه‌زایی، نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱- مقدمه

در این فصل با استفاده از مطالعات صحرایی، آزمایشگاهی و میکروسکوپی، آنالیزهای ژئوشیمیایی و مطالعات دفتری صورت گرفته، و شناسایی پدیده‌هایی که منجر به تشکیل و تمرکز عناصر در کانسار شده است به ارائه الگوی مناسب جهت شناسایی و اکتشاف ذخایر جدید می‌پردازیم. پارامترهای شناخته شده برای یک تیپ نهشته خاص در یک ناحیه می‌تواند برای مناطق دیگر با زمین‌شناسی مشابه استفاده شود. برای بررسی‌های بیشتر برخی از ویژگی‌های کانسار دوچپله را با تعدادی از کانسارهای مشابه در ایران و جهان مقایسه کردیم و در نهایت یک سری از پیشنهادات اکتشافی برای انجام ادامه کار ارائه می‌گردد.

۶-۲- شواهد ژنتیکی حاصل از مطالعات انجام شده

۶-۲-۱ شواهد ساختاری

گسل میامی یا گسل شاهرود با روند تقریباً شرقی - غربی، حد جدا کننده پهنه ساختاری البرز شرقی از ایران مرکزی است. ساختارهای زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه غالباً از نوع گسل‌ها، شکستگی‌ها و چین‌خوردگی‌ها می‌باشند. گسل‌ها و شکستگی‌ها محیط مناسبی را برای نقل و انتقال سیالات کانه‌ساز فراهم کرده‌اند. همچنین موجب تسهیل نفوذ آب‌های سطحی به اعماق، گرم‌شدن، افزایش انحلال‌پذیری و برگشت آن‌ها به صورت محلول کانه‌دار به مناطق سطحی می‌گردد. روند کانی‌سازی‌ها در هر منطقه تقریباً از روند اصلی گسل‌ها تبعیت می‌کند.

۶-۲-۲ - شواهد سنگ‌شناسی و محیط تکتونیکي تشكيل

منطقه مورد مطالعه در بخشی از نوار آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی ائوسن می‌باشد که توسط نهشته‌های نئوژن و کواترنر به طور محلی پوشیده می‌شود، و از سمت شمال شرق تا تربت حیدریه و از جنوب غرب تا سمنان ادامه دارد. توالی سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه از سنگ‌های گدازه، آذرآواری و رسوبی تشکیل شده است. گدازه‌های آتشفشانی دارای ترکیبی بازالتی، آندزیت بازالتی می‌باشد. سنگ‌های منطقه رباعی در بخش بازالت‌های کمان قاره‌ای سری کالک‌آلکالن قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد منطقه مورد مطالعه احتمالاً به دلیل قرارگیری روی کمان ماگمایی حاشیه قاره‌ای مکان مناسبی برای تشکیل این نوع کانسارها است.

۳-۲-۶ شواهد دگرسانی و پهنه‌بندی آن

دگرسانی در توالی آتشفشانی- رسوبی محدوده مورد مطالعه کم است. براساس بررسی‌های صحرایی و آزمایشگاهی مجموعه دگرسانی‌ها در مناطق مورد مطالعه عبارتند از: (۱) دگرسانی کلریتی- اپیدوتی، (۲) دگرسانی کربناتی و (۳) دگرسانی آنالسیم- زئولیتی.

۴-۲-۶ کانه نگاری و ساخت و بافت

با توجه به مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی کانی‌سازی عمدتاً به صورت رگه- رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی در داخل واحدهای گدازه و منطبق با امتداد گسل‌ها با روند غالب NW-SE و درزه و شکستگی‌های مربوطه تشکیل شده است. بر پایه همین مطالعات کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار شامل کانی‌های اولیه مس خالص و هماتیت و کانی‌های ثانویه کوپریت، مالاکیت، گوتیت، هماتیت و لیمونیت بوده و کانی‌های باطله شامل کلسیت، زئولیت و آنالسیم می‌باشد. از عمده‌ترین بافت‌های مشاهده شده می‌توان به بافت رگه- رگچه‌ای، بافت پرکننده فضاهای خالی و دانه پراکنده اشاره کرد.

۵-۲-۶ ژئوشیمی

در این تحقیق برای طبقه‌بندی سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه شرق شاهرود از نمودارهای Middlemost (1994) ، Modified & Pearce (1996) استفاده شده است. در نمودار Middlemost (1994) سنگ‌های مورد مطالعه در محدوده تراکی بازالت، بازالت و آندزیت بازالتی قرار می‌گیرند که با نتایج مطالعات سنگ نگاری در انطباق کامل می‌باشد.

براساس مطالعات ژئوشیمیایی عناصر اصلی سنگ‌های میزبان، کانسارهای مورد مطالعه عمدتاً دارای ماهیت کالک‌آلکانل پتاسیم بالا هستند. بیشترین حجم مجموعه ماگمایی منطقه مورد مطالعه دارای ترکیب اولیوین بازالت، بازالت و تراکی آندزیت بازالت می‌باشد. روندهای موجود بر روی نمودارهای تغییرات عناصر اصلی و کمیاب، نمایانگر منشأ واحد تشکیل‌دهنده سنگ‌های مناطق مورد مطالعه و منشأ واحد از یک سیال می‌باشد. روند موازی نمونه‌ها در نمودارهای عنکبوتی، تحول سنگ‌های منطقه‌ی مورد مطالعه در نتیجه فرآیند تبلور تفریقی و منشأ واحد آن‌ها را تأیید می‌کند.

میانگین عیار مس در این کانسار ۱/۶۹ و حداکثر مقدار مس ۵/۱۱ درصد وزنی می‌باشد. حداکثر مقدار عیار نقره (ppm) ۸/۹ است. ذخایر مس خالص خیلی کم و به ندرت تشکیل می‌شوند زیرا محلول‌های فقیر از گوگرد غیرمعمول هستند (Wang and et al., 2008).

تمامی ویژگی‌هایی که در مورد کانسار مورد مطالعه در بخش‌های بالا بیان شد، سبب گردید به مطالعه دقیق‌تر محیط تشکیل آن پرداخته شود. بدین منظور، براساس تقسیم‌بندی Corenwall (1956) انواع مس‌های خالصی که در محیط‌های مختلف تشکیل شده‌اند را به صورت زیر بیان کرده است:

- مس در گدازه‌های آتشفشانی بازالتی
- مس در توده‌های نفوذی مافیک نیمه عمیق
- مس در توده‌های نفوذی اولترامافیک
- مس در سنگ‌های رسوبی تخریبی
- مس در کانسنگ‌های اکسیده شده زون سولفیدی
- مس در باتلاق‌های جدید

براساس مطالعه، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت و ارتباط کانه‌زایی با سنگ میزبان بازالتی می‌توان کانسارهای دوچپله و توران را در گروه اول از این دسته‌بندی (مس در گدازه‌های بازالتی) قرار داد.

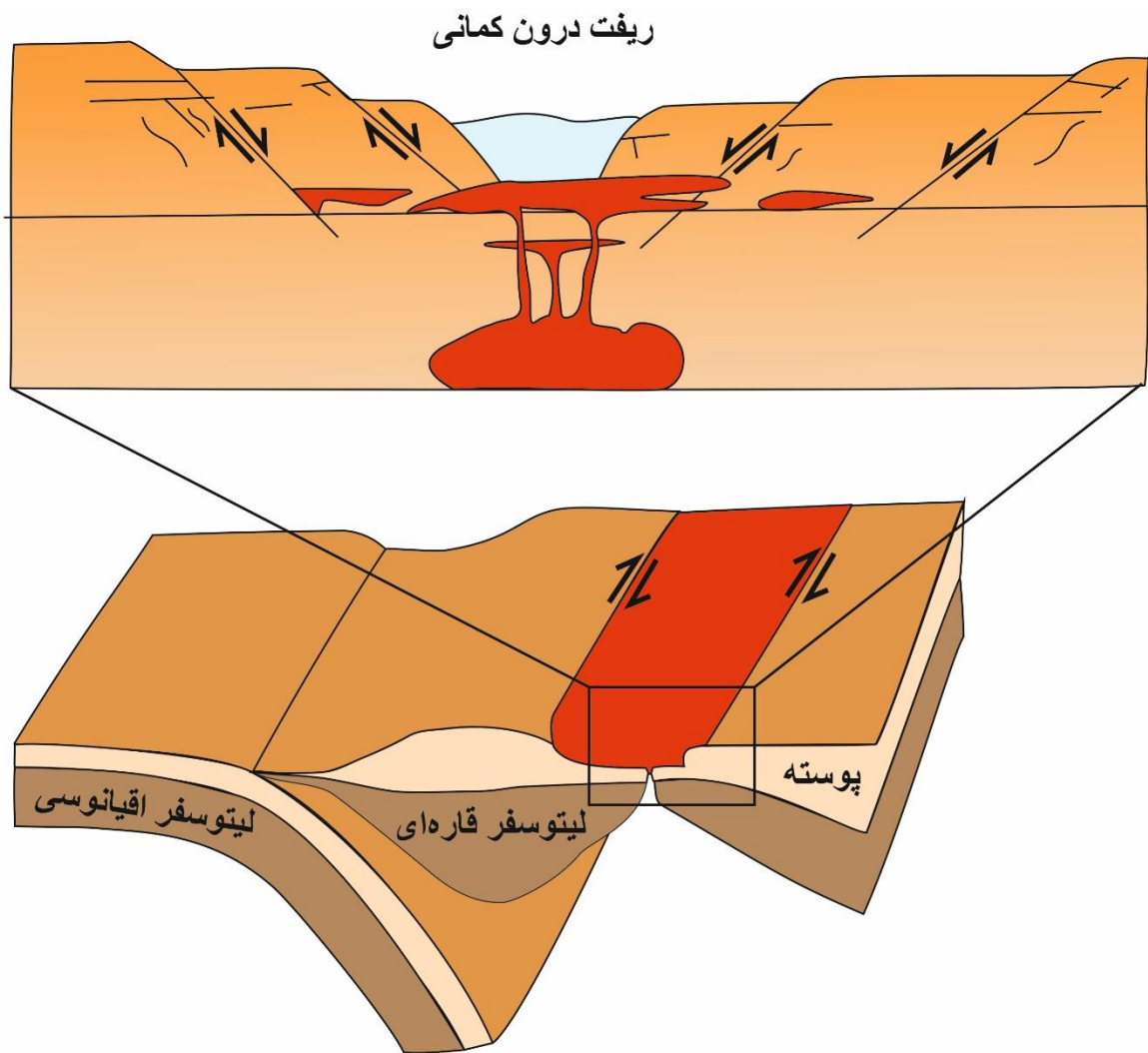
۳-۶- الگوی تشکیل کانسارهای مس دوچپله و توران

براساس مطالعات و مشاهدات صحرائی، شواهد زمین ساخت، مشاهدات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، مراحل زیر را می‌توان برای تحولات زمین شناسی کانه‌زایی مس در منطقه در نظر گرفت:

۶-۳-۱ فرورانش و تشکیل حوضه آتشفشانی- رسوبی کمانی

فرورانش ورقه اقیانوسی نئوتتیس به زیر ایران مرکزی، در ائوسن باعث ایجاد رژیم کششی در بخش‌های شمالی پهنه ایران مرکزی و تشکیل حوضه‌های فروافتاده^۱ وسیع و نسبتاً عمیق شده است (شکل ۶-۱). در این حوضه‌ها فوران‌های مکرر آتشفشانی با ماهیت بازالتی و آندزیت بازالتی صورت گرفته است، که میزبان کانه‌زایی عنصر مس می‌باشند. به اعتقاد (Ghasemi and Rezaei kakhaei (2015) محیط تکتونیکی تشکیل توالی آتشفشانی منطقه که ادامه توالی موجود در تاقدیس کاهک می‌باشد، از نوع کمان آتشفشانی حاشیه قاره است.

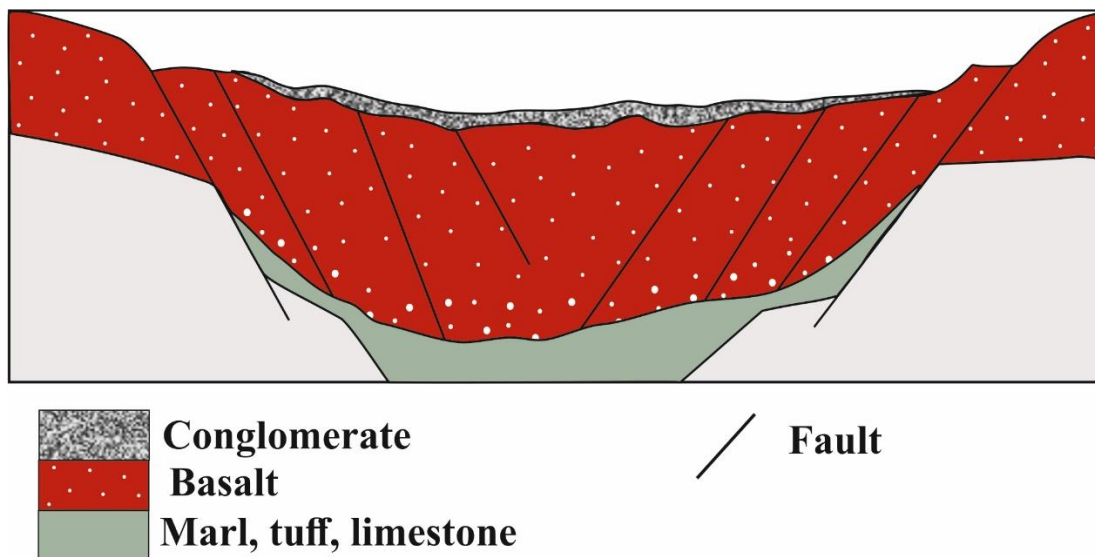
1 Graben



شکل ۶-۱: فعالیت های ریفیت‌زایی حاصل از رژیم کششی و گسترش سیستم های گرابنی در منطقه ریفیت درون کمائی و تشکیل حوضه آتشفشانی - رسوبی و گسترش بیشتر حوضه.

۶-۳-۲ دیاژنز و دگرگونی دفنی

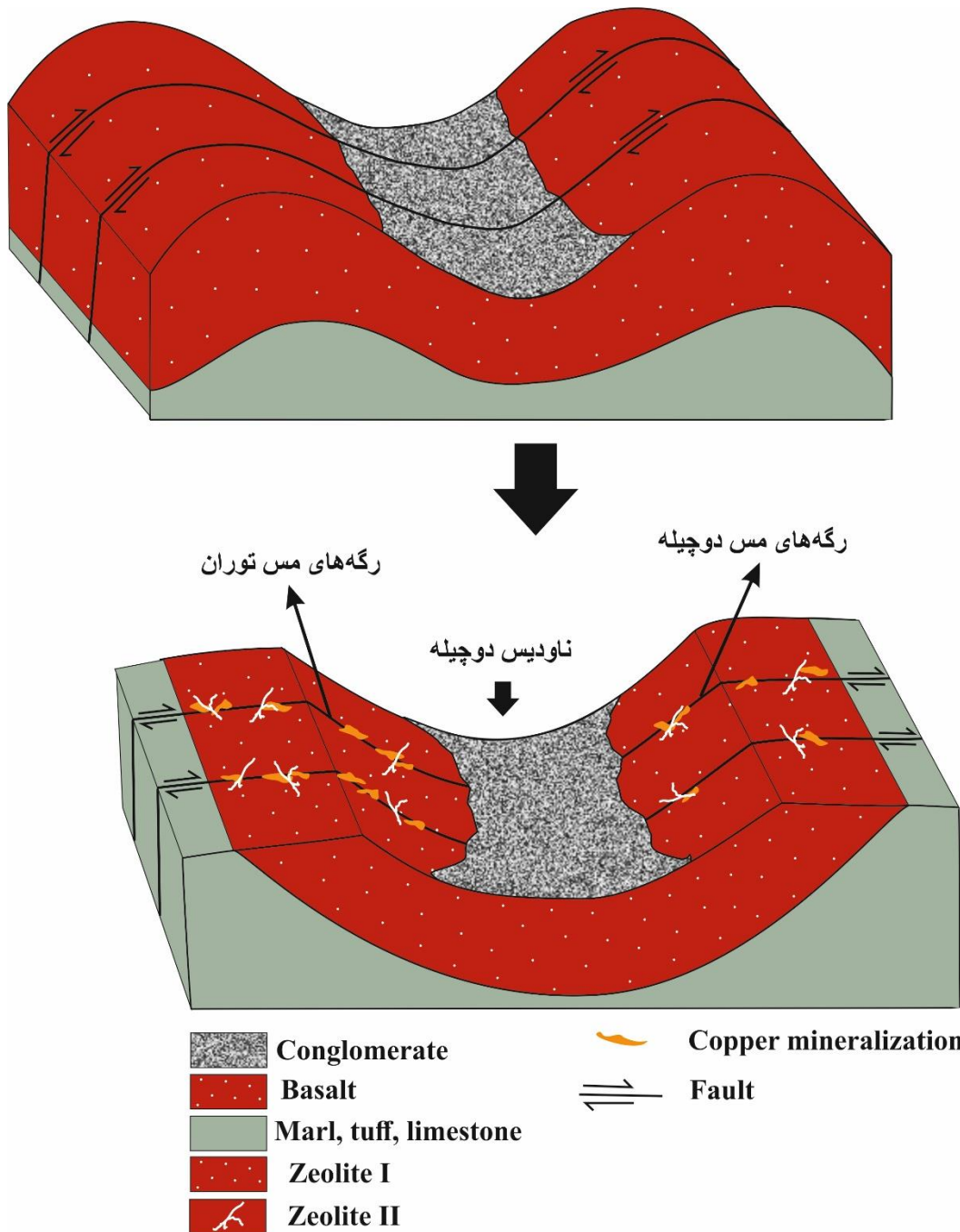
در مرحله دیاژنز و دگرگونی تدفینی، سیالات در حین مهاجرت به افق‌های بالاتر، بازالت‌های غنی از مس را شسته و عناصر فلزی آن‌ها را حمل و در شرایط مناسب در فضاهای خالی (گسل‌ها، درزه‌ها، شکاف‌ها، محور چین‌ها، سطوح محوری چین‌ها، حفرات، خلل و فرج سنگ میزبان) ته‌نشین می‌کنند (شکل ۶-۲).



شکل ۶-۲: فرآیند دیاژنز و دگرگونی تدفینی بر اثر فشار ناشی از حجم عظیمی از رسوبات و سنگ‌های آتشفشانی بالایی.

۳-۳-۶ بالا آمدگی و چین خوردگی و کانه‌زایی

در مرحله بالا آمدگی و چین خوردگی منطقه با ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها، شرایط لازم برای رسیدن سیال به قسمت‌های بالاتر توالی فراهم می‌شود. در این مرحله سیال مس‌دار ناشی از دیاژنز با راه یافتن و چرخش خود درون پهنه برشی، سبب تمرکز عنصر مس و کانه‌زایی به صورت رگه-رگچه‌ای و حفره‌پرکن همراه با دگرسانی عمده کلریتی و کلسیتی-ژئولیتی در منطقه می‌شود (شکل ۶-۳). سیال عامل احیاء کانی‌های مگنتیت و کانی‌های مافیک مثل پیروکسن موجود در سنگ‌های آتشفشانی بوده است. در واقع سیال کانه‌ساز مس‌دار با برخورد با سنگ‌های آتشفشانی، کانی‌های مافیک و مگنتیت را اکسید کرده، که نتیجه آن احیاء مس به صورت خالص بوده است. اکسیداسیون کانی‌های مافیک و مگنتیت موجب گسترش دگرسانی هماتیتی شده است.



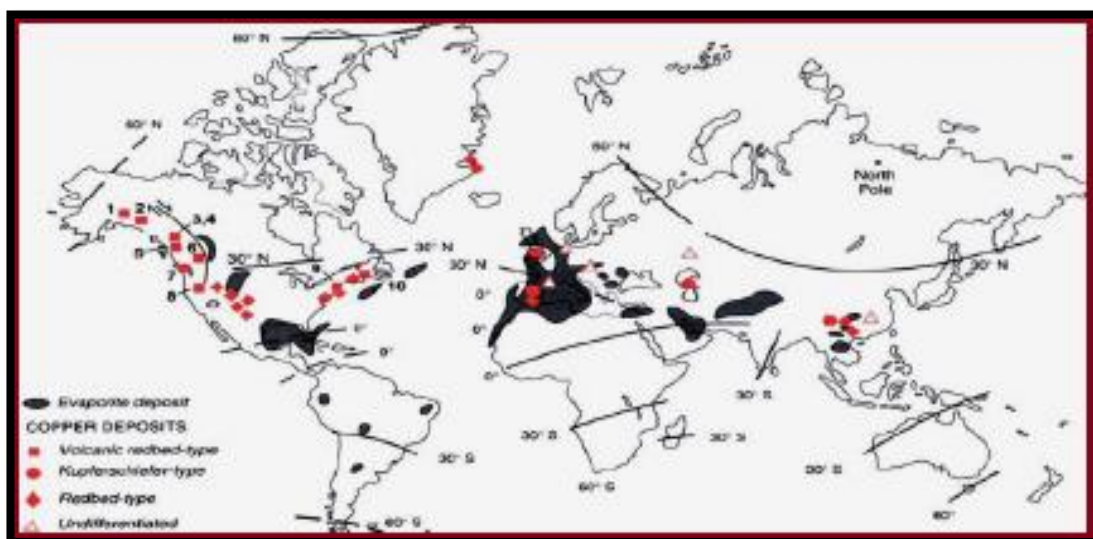
شکل ۳-۶: بالآمدگی و چین خوردگی‌ها باعث ایجاد گسل‌ها و شکستگی‌ها شده و شرایط لازم برای رسیدن سیال به قسمت‌های بالایی را فراهم آورده است (دید به سمت جنوب غرب).

۴-۳-۶ مرحله هوازگی و سوپرژن

در این مرحله، واکنش‌های هوازگی شیمیایی سبب تبدیل مس طبیعی به کانی‌های ثانویه کوپریت و مالاکیت و مجموعه کانی‌های اکسیدی می‌شوند.

۴-۶- مدل پیشنهادی تیپ کانه‌زایی کانسار مورد مطالعه

با توجه به تمامی ویژگی‌هایی که در فصل‌های قبلی ذکر شد به مطالعه و مقایسه کانسارهایی می‌پردازیم که به صورت چینه‌کران در سنگهای آتشفشانی- رسوبی تشکیل شده‌اند. برای این کار در ابتدا باید پراکندگی تیپ‌های مشابه در جهان را بررسی کنیم (شکل ۴-۶). این ذخایر فقط در برخی نقاط دنیا مانند ایران، بولیوی، چین، شیلی و دریاچه سوپریور در ایالت متحده آمریکا مشاهده شده است (Guilbert and Park 1999). ذخایر مس طبیعی در ایران نیز بیشتر مرتبط با کانه‌زایی تیپ میشیگان یا ناشی از فرآیند هوازگی سولفیدهای مس و آزاد شدن مس به صورت Cu می‌باشد، همچون کانی‌زایی مس طبیعی عباس آباد شاهرود، به عنوان کانه زایی مرتبط با تیپ میشیگان از آن‌ها یاد می‌شود (طائفی و همکاران، ۱۳۹۳).



شکل ۴-۶: موقعیت و پراکندگی کانسارهای با میزبان آتشفشانی- رسوبی و با تیپ‌های مختلف (Kirkham, 1996).

با توجه به شواهد صحرایی و مطالعات آزمایشگاهی و کتاب نگاری‌های صورت گرفته و مقایسه با انواع تیپ‌های کانسارهای مس، شاهد آن هستیم که کانسار مورد مطالعه با سه تیپ زیر دارای شباهت‌های قابل تأمل هستند.

۱- ذخایر نوع میشیگان^۱

۲- ذخایر نوع آتشفشانی^۲ لایه‌های سرخ

۳- ذخایر نوع مانتو^۳

۶-۴-۱ کانسارهای مس تیپ میشیگان

Guilbert & Park (1986) از دو نوع کانسارهای مس آندزیتی-بازالتی و کانسارهای مس آندزیتی نام برده‌اند. کانسارهای نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان نیز معروف‌اند و در شبه‌جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) یافت می‌شوند، در گروه کانسارهای مس آندزیتی-بازالتی قرار می‌گیرند. در این کانسارها مس طبیعی کانه اصلی است. کانسارهای مورد بحث تقریباً فاقد گوگرد هستند، از این رو مس آزاد، کانه غالب است و همراه آن فقط مقدار اندکی کالکوسیت و دیژنیت وجود دارد. مس آزاد معمولاً با نقره آزاد همراه است. White (1968) کانی‌سازی درون سنگ‌های بازالتی با ماهیت تولییتی بادامکی و نیز در زمینه لایه‌های کنگلومرای بین‌لایه‌ای را گزارش کرده است. کانسارهای آندزیتی، رگه-رگچه‌ها و حباب‌گونه‌های حاصل از آکندگی حفره‌ها و افشاندگی‌هایی از مس و نقره آزاد، کالکوسیت، بورنیت و اندکی کالکوپیریت در سنگ‌های آتشفشانی کلسیمی-قلیایی مزوزوئیک میانی تا پلیوسن در کردیلرای آمریکا هستند. انباشته‌های اقتصادی این نوع کانسنگ تاکنون در شیلی و بولیوی تا ده‌ها متر ضخامت دارد. این کانسارهای مانتویی مس عموماً چند کیلومتر در امتداد راستای خود گسترش دارند. پرتفداترین فرض در مورد زایش کانه‌سازی نوع میشیگان، نظریه دیرزاد (اپی‌ژنتیک) بودن این گونه ذخایر است. طبق این نظریه در اثر دگرگونی درجه پایین (در حد رخساره پرهنیت-پومپله‌ایت)، عنصر مس موجود در درون شبکه

1 Michigan Type

2 Volcanic Redbed Copper

3 Manto

سیلیکات‌ها، آزاد و سپس توسط محلول‌های گرمابی به بخش‌های بالایی حمل شده است. در همین زمان در محیط بدون گوگرد، مس به صورت طبیعی نهشته شده است. بائلر و همکاران (۱۹۶۸) با مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی خود به این نتیجه رسیدند که دگرگونی گدازه‌ها در اعماق، مسبب دگرسانی بازالت به اپیدوت-پره‌نیت-کلریت و رهایی مس گشته است. می‌توان این چنین نتیجه گرفت که سیال‌های کم دما مس را در امتداد مناطق نفوذپذیر به سمت بالا حمل و وارد فضاها یا باز در افق‌های نزدیک سطح کرده‌اند.

سن کانی‌سازی منطقه مورد مطالعه ائوسن و در تیپ میشیگان پالئوزویک می‌باشد. سری ماگمایی کانسارهای دوچپله و توران کالک‌آلکان است ولی در تیپ میشیگان تولوئیتی می‌باشد.

براساس مطالعات صورت گرفته بر روی محدوده‌ی مطالعاتی و مشاهده و حضور مس طبیعی و نیز ویژگی‌های کانی‌شناسی، بافتی و سنگ میزبان، کانی‌سازی در کانسارهای دوچپله و توران در سنگ‌های آتشفشانی اذهان را به سمت ذخایر نوع تیپ میشیگان شبه جزیره کویناوی آمریکا معطوف می‌دارد، زیرا در منطقه مورد مطالعه مقدار کانه مس طبیعی تشکیل شده زیاد است و مانند کانسار میشیگان، کانه اصلی، مس طبیعی می‌باشد و اندازه تکه‌های مس آزاد گاه به بیش از ۱۲ سانتی‌متر نیز می‌رسد. بنابراین در پارائز کانیایی منطقه مورد مطالعه مس طبیعی بیشترین سهم را دارد.

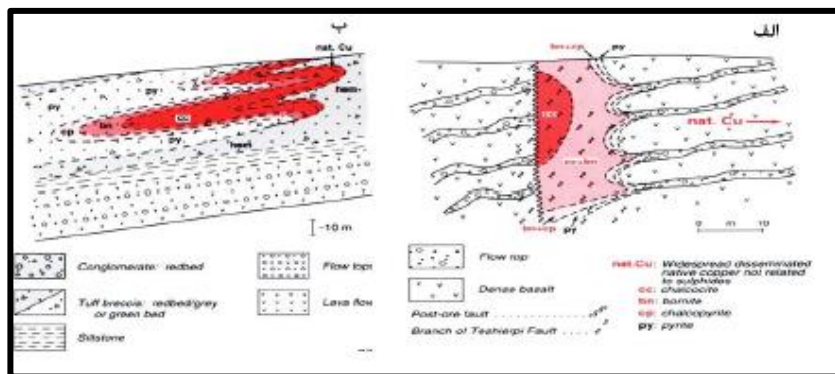
۶-۴-۲ کانسارهای مس نوع آتشفشانی - لایه‌های سرخ

این گونه کانی‌سازی مس به طور معمول از زمان پروتروزوئیک تا ترشیری رخ داده است. سنگ میزبان کانی‌سازی شامل گدازه‌های مافیک تا فلسیک به‌ویژه گدازه‌های بازالتی بادامکی، توف، برش و سنگ‌های رسوبی وابسته از جمله کنگلومرا، ماسه‌سنگ و غیره است. سنگ‌های آتشفشانی از نظر ترکیب، طیفی از بازالت تا ریولیت را پوشش می‌دهند. برخی نهشته‌ها ساختار تخت دارند، برخی به صورت پهنه‌های چینه‌کران هستند و بقیه توسط ساختارها و چینه‌شناسی متقاطع کنترل می‌شوند. محصول فرعی همراه مس در این نوع ذخایر، نقره است. کانی‌های اصلی مس شامل کالکوسیت، بورنیت و مس طبیعی است. کانی‌سازی به صورت پراکنده، رگه‌ای، پرکننده بادامک‌ها و شکستگی‌ها رخ داده است. چنین نهشته‌هایی به طور معمول در جایگاه‌های زمین‌ساختی کافت‌های درون قاره‌ای همراه با توالی‌های بازالت سیلابی سطحی در تماس با هوای آزاد و نزدیک حاشیه

صفحات به همراه جزایر و آتشفشان‌های کمان قاره‌ای یافت می‌شوند. جایگاه‌های آتشفشانی قاره‌ای تا دریایی کم‌ترفا در عرض‌های پایین تا متوسط و محیط‌های خشک تا نیمه‌خشک مخصوص این گونه ذخایر است. کانی‌های باطله شامل هماتیت، مگنتیت، کلسیت، کوارتز، اپیدوت، کلریت و زئولیت هستند.

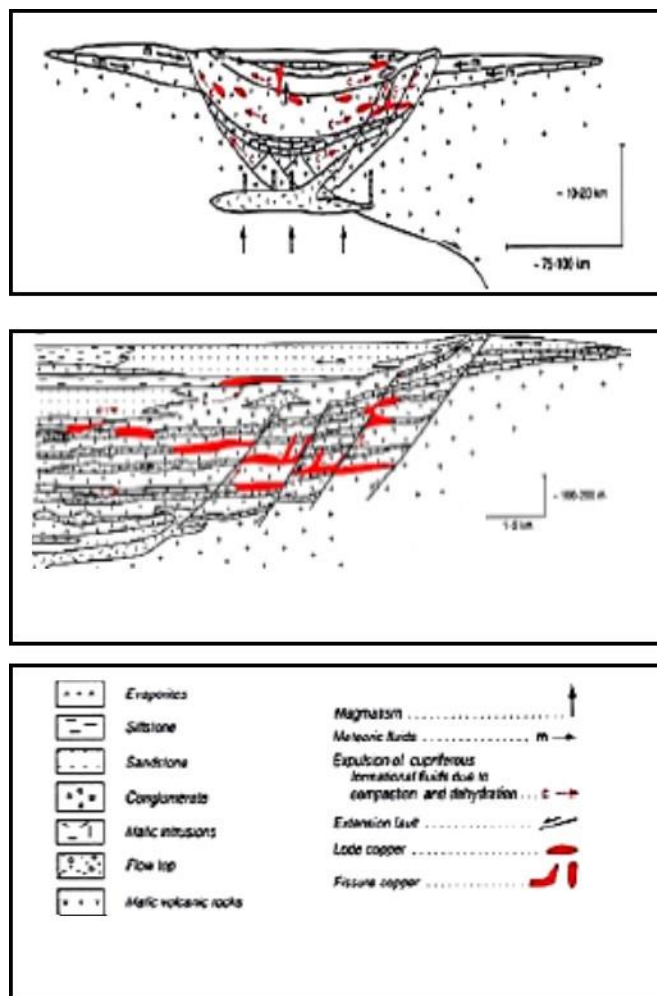
Cabral & Beaudoin (2006) در مدل کنونی مس آتشفشانی - لایه‌سرخ بیان می‌دارند، فعالیت آتشفشانی باید سطحی باشد، یا دست‌کم بخش بیشتری از انباشته‌های آتشفشانی برای مدتی در تماس با هوای آزاد باشد تا بتواند اکسایش گدازه‌های آتشفشانی را توجیه کند. بررسی‌های Cabral & Beaudoin (2006) بر روی پهنه مونت‌الکساندر کبک کانادا، رشته کوه آپالاشین نشان داد که نه تنها جایگاه‌های بازالتی سطحی برای این گونه نهشته‌ها مناسب‌اند، بلکه بازالت‌های زیردریایی اکسیده شده توسط آب‌های دریایی گرم نیز جایگاه مناسبی برای آن‌ها هستند. آب‌ها می‌تواند نقش یکسانی مانند آب زیرزمینی در محیط‌های قاره‌ای، برای شستشو و حمل و نقل مس از بازالت‌ها در طول اسپیلیتی شدن ایفا کند.

Kirkham معتقد است نهشته‌های مس آتشفشانی - لایه‌سرخ به صورت هم شیب و غیرهم‌شیب می‌باشد. مس طبیعی عمدتاً در توالی‌های آتشفشانی به وسیله گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل می‌شود. این نهشته‌ها دارای تنوع زیادی از ریخت‌شناسی شامل رگچه‌های ساده، انتشاری هم‌شیب و غیر هم‌شیب، رگه-رگچه‌های پیچیده، نهشته‌های برشی گسلی و نهشته‌های تقریباً هم‌شیب می‌باشد. در بسیاری از نهشته‌های هم‌شیب و غیرهم‌شیب، کانی‌های مس به صورت منظم، پرکننده فضاهای خالی در سنگ‌های میزبان قرار می‌گیرد (شکل ۶-۵).



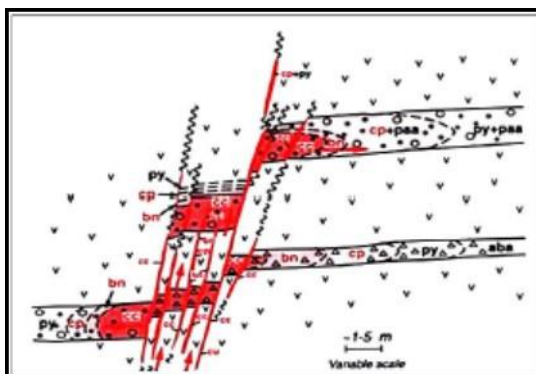
شکل ۶-۵: الف) طرح شماتیک از کان‌زایی در رسوبات هم‌شیب، ب) طرح شماتیک از کان‌زایی در رسوبات غیرهم‌شیب (Kirkham, 1996).

این نهشته‌ها به وسیله مجموعه‌های کانیاپی مس طبیعی یا سولفیدهای مس تقریباً ساده همراه با مقادیر متغیری از نقره مشخص می‌شوند. بسیاری از نهشته‌های مس آتشفشانی - لایه سرخ به وسیله کانی‌های دگرگونی دمای کم از قبیل کوارتز، اپیدوت، آلبیت، کلریت، کلسیت، پرهنیت، پامپلی‌ایت و لامونتیت که به صورت پراکنده حفرات و شکاف‌ها و هم‌چنین به صورت جانشینی می‌باشد (شکل ۶-۶).



شکل ۶-۶: طرح شماتیکی از توالی آتشفشانی و نمایش مهاجرت سیالات مس‌دار، به صورت انشعابی به سمت بالا و نهشته شدن فلزات در طول گسل‌ها و رگه‌ها (Kirkham, 1996).

مس طبیعی، کالکوسیت، دیژنیت، بورنیت و هماتیت و همچنین پیریت و مقادیر کم نقره خالص از جمله کانی‌های تیپیک نهشته‌های مس در کانسارهای آتشفشانی - لایه سرخ می‌باشد. گالن، اسفالریت‌دیگر سولفیدها و سولفوسالت‌ها از جمله کانی‌های فرعی می‌باشد. مس در این نهشته‌ها در بسیاری موارد در پهنه‌های گسلی سنگ‌های برشی بادامی‌شکل و توف‌های فلسیک تمرکز یافته است (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷: طرح شماتیکی از نمایش پهنه‌بندی کانی‌های شاخص نهشته‌های مس آتشفشانی لایه‌های سرخ که در واحدهای چینه‌شناسی و در طول گسل و پهنه‌های شکستگی تشکیل می‌شود (Kirkham, 1996).

کانسارهای دوچپله و توران از نظر ویژگی سنی با این تیپ متفاوت است (ائوسن و سیلورین). کانی‌شناسی منطقه مورد مطالعه شامل مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت می‌باشد، در حالیکه تیپ آتشفشانی - لایه سرخ شامل مجموعه‌ای از کانی‌های سولفیدی، سولفوسات‌ها، مس و نقره خالص است. تفاوت کانی‌های باطله در این کانسارها این است که علاوه بر کلسیت، کلریت و هماتیت در دوچپله و توران آنالسیم و زئولیت و در آتشفشانی - لایه سرخ کوارتز مشاهده شده است.

۶-۴-۳ کانسارهای مس نوع مانتو

کانسارهای مس نوع مانتو از گونه کانسارهای چینه‌کران با میزبان گدازه‌های آتشفشانی هستند. شناخته شده‌ترین کانسار نوع مانتو کانسار بوئنااسپرانزا در شمال شیلی است، که خود به سه زیرگونه بوئنااسپرانزا (Buena Esperanza)، کارولینا (Carolina de Michilla sub type) و مانتوبلانکو (Manto sub-type)، تقسیم شده است (Sergio Espinoza et al., 1994). این کانسارها نتیجه فرآیند جایگزینی گرمایی در آندزیت‌ها و گاهی ریولیت‌ها هستند. چینه‌کران کانسارهای نوع مانتو به گروهی از کانسارها گفته می‌شود که معمولاً منطبق

با لایه‌بندی و یا درون طبقات یا گدازه‌ها هستند. کانی‌های اصلی مس، کالکوسیت و بورنیت هستند. سنگ میزبان در این ذخایر، گدازه‌های بازالتی و آندزیتی است. کانی‌سازی در این گروه، عموماً با دایک‌ها، نفوذی تنورهای و سیل‌های دارای ترکیب گابرودیوریت همراه هستند و برخلاف دیگر انواع کانسارها، نبود یا کم بودن پدیده‌های گرمایی سنگ میزبان بسته به شرایط رخنمون، درجات متفاوتی از اکسایش وجوه آشکار آن‌هاست. نتایج حاصل از مقایسه کانسار منطقه مورد مطالعه با کانسارهای تیپ مانتو، نشان می‌دهد که سنگ میزبان مشابهی دارند، با این تفاوت که در کانه‌سازی تیپ مانتو گاهی توده‌های نفوذی دخالت دارند ولی با توجه به شواهد صحرایی وجود هیچ گونه توده نفوذی در دوچپله و توران اثبات نشده است. کانسارهای دوچپله و توران از نظر ویژگی سنی با این تیپ متفاوت است (اوسن و ژوراسیک). کانی‌شناسی تیپ مانتو علاوه بر کانی‌های یافت شده در کانسارهای دوچپله و توران شامل کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، و کریزو کلا است. دگرسانی‌ها در کانسارهای دوچپله و توران شامل کلریتی، کربناتی، آنالسیم-ژئولیتی و اکسید آهن است، در حالیکه در تیپ مانتو شامل سیلیسی، کلسیتی، آلبیتی و پروپلتیک می‌باشد.

از آنجایی که تعیین تیپ کانه‌زایی در اکتشاف نواحی معدنی بسیار حائز اهمیت می‌باشد، بدین جهت به مقایسه خصوصیات کلی کانسار دوچپله و تیپ‌های نام برده با استناد به موقعیت جغرافیایی، محیط تکتونیکی، سری ماگمایی، سنگ میزبان و همراه، سن، کانی‌شناسی، باطله، دگرسانی، ساخت، بافت و عوامل کنترل‌کننده در جدول (۶-۱) پرداخته شده است. با توجه به شاخص‌های اصلی که مورد بررسی قرار گرفته است، کانسار دوچپله بیشترین شباهت را به کانسار میشیگان از خود نشان می‌دهد. در ادامه جهت بررسی بیشتر، به مقایسه تیپ کانسارهای با میزبان آتشفشانی در جهان و ایران پرداخته شده است (جدول ۶-۲ و ۶-۳).

جدول ۶-۱: مقایسه برخی ویژگی‌های کانسار دوچپله با کانسارهای مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان. (علامت - به معنای عدم وجود اطلاعات کافی می‌باشد).

ویژگی کانسار	کانسارهای دوچپله و توران	مانتو	مس آتشفشانی - لایه‌های سرخ	میشیگان
موقعیت جغرافیایی	ایران (شرق شاهرود)	شیلی و آمریکای لاتین	مونت الکساندر (کانادا)	میشیگان (جزیره کوبنا و ایالت متحده)
محیط تکتونیکی	کمان حاشیه قاره‌ای	کمان حاشیه قاره‌ای	بازالت‌های کماتی	-----
سری ماگمایی	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	سری تولنییتی
سنگ میزبان و همراه	گدازه واحد آذرآوری با ترکیب بازالت، آندزیت - بازالت	آندزیتی و بازالتی	بازالت‌های اسپیلیتی شده	بازالت آمیگدالوبیدال با میان لایه - های کنگلومرای
سن	ائوسن	ژوراسیک	سیلورین	پالئوزویک
کانی‌شناسی	مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت	مالاکیت، کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، کوپریت، کریزوکولا و مس طبیعی	بورنیت، مس طبیعی، کالکوپیریت، دیژنیت، کالکوسیت، کولیت و مالاکیت	مس طبیعی، دیژنیت و کرولیت، کوپریت، مالاکیت، کالکوسیت، نقره طبیعی، دیژنیت
باطله	کلسیت، زئولیت، آنالسیم، کلریت و هماتیت	کلریت، آلبیت، کوارتز و اپیدوت	کلسیت، کوارتز، هماتیت و کلریت	کلسیت، اپیدوت، کلریت و هماتیت
دگرسانی	کلریتی، کربناتی، آنالسیم - زئولیتی و اکسید آهن	سیلیسی، کلسیتی، آلبیتی و پروپیلیتی	کلریتی، آلبیتی و هماتیتی	اپیدوت به پومپلنیت و کلریت
ساخت و بافت	پرکننده فضاهای خالی، رگه‌رگچه‌ای و جانشین	رگه‌ای و پرکننده فضای خالی	رگه‌ای و پرکننده فضای خالی	افشان و پرکننده فضای خالی
عوامل کنترل‌کننده	گسل و درز و شکستگی	-	گسل	گسل و شکستگی
مرجع	تحقیق حاضر	Sillitoe, 1997	Cabral and Beaudian, 2007	Cornwall, 1956

جدول ۶-۲: مقایسه برخی ویژگی‌های کانسار دوچپله با کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی در دنیا.

موقعیت جغرافیایی	ایران (شرق شاهرود)	ایالت‌های یونان و گوئیزو (Guizhou)	مونت الکساندر کبک. آپالاشین کانادا	شبه جزیره کوبناوی در شمال میشیگان	شمال شیلی	مونت الکساندر (کانادا)	بخش‌های جنوبی آند مرکزی (Chily)
سن	ائوسن	پرمین پسین	سیلورین	پالئوزویک	کرتاسه و ژوراسیک	پروتروزویک تا ترشیاری	کرتاسه پایین
سنگ میزبان و همراه	گدازه واحد آذرآوری با ترکیب بازالت، آندزیت - بازالت	سنگ‌های بیتومین سیلیسی، برش‌های ولکانیکی و گدازه‌های حفره دار	بازالت	واحدهای شیل، سیلستون	آتشفشانی رسوبی وعمدتاً آندزیتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	آتشفشانی

			قاعده‌ای، برش، بازالت‌ها				
کانی‌شناسی	مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت	مس طبیعی، اکسیدهای مس با مقادیر کمی کالکوسیت	کالکوسیت، مس طبیعی، بورنیت، یارویت (Cu ₉ S)	مس طبیعی، پیریت دانه ریز و هماتیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، اکسیدهای مس با مقادیر کمی کالکوسیت	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت	
دگرسانی	کلریتی، کربناتی، آنالسیم-ژئولیتی و اکسید آهن	کلریتی، کربناتی، سلیسی، ژئولیتی و بیتومینی شدن	هماتیتی، کلریتی، کربناتی و کلسیتی	اپیدوت به پومپلیت و کلریت	کلریتی، کربناتی، سلیسی، ژئولیتی و بیتومینی شدن	کلسیت، زئولیت، اپیدوت، کلریت، آلبیت	کلسیتی، آلبیتی، سیلیسی و اپیدوت
شکل ماده معدنی	پرکننده فضاهای خالی، رگه رگچه‌ای و جانشینی	مس‌های طبیعی رگه‌ای، دانه‌ای و ورقه‌ای شکل، تنوریت‌های آغشته شده و کالکوسیت‌های عدسی شکل	رگه و رگچه‌ای	رگه‌های مس خالص استراتاباند و استراتی فرم	پرکننده فضاهای خالی، رگه رگچه‌ای و جانشینی	پرکننده، پرکننده فضای خالی، رگه- رگه رگچه‌ای	چینه کران

جدول ۶-۳: مقایسه کانسار مس دوجیله با بعضی از کانسارهای مس با میزبان آتشفشانی در ایران

ویژگی- های شاخص	کانسار دوجیله	شرق و جنوب- شرق شاهرود	اندیس معدنی مس‌دار هند	اندیس معدنی مس قبله بولاغ	وشنوه(جنوب قم)	مس معدن بزرگ (عباس‌آباد)
سنگ میزبان	بازالت بادامکی	بازالت، تراکی آندزیت- بازالت	بازالت آمیگدال	بازالت آمیگدال	آندزیت بازالت تا بازالت آندزیتی	آندزیت و تراکی آندزیت
ساخت وبافت	پرکننده فضاهای خالی، رگه رگچه‌ای و جانشینی	رگه- رگچه ای و دانه پراکنده	رگه‌ای	دانه پراکنده و پرکننده فضاهای خالی	پرکننده فضاهای خالی و رگه رگچه‌ای	پرکننده فضاهای خالی، رگه رگچه‌ای
پاراژنز	مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت	بورنیت، کالکوسیت، کولین	مس طبیعی، کوپریت و مالاکیت، تنوریت و اندکی پیریت	مس طبیعی، تنوریت، مالاکیت، آزوریت، همتایت، پیریت	کالکوسیت، کولین و مالاکیت	کالکوسیت، کولین و بورنیت
دگرسانی	ژئولیت- آنالسیم کربناته، همتایتی	کلریت، کربنات، کلسیت، هماتیت، ژئولیت	-	-	کلریت و سرسیت، پومپله ایت، اکتینولیت، کوارتز	سرسیتی، سیلیسی، ژئولیت کلریت
مراجع	این تحقیق	طائفی(۱۳۹۳)	نظافتی (۱۳۷۹)	بهزادی (۱۳۷۳)	حق نظر(۱۳۸۷)	معانی جو، حیدری ۱۳۹۰

۶-۵- شرایط فیزیکوشیمیایی تشکیل

۶-۵-۱ منشأ عنصر مس

شواهد نشان دهنده این است که فلز مس از شبکه بلوری کانی‌های تشکیل دهنده بازالت‌ها آزاد شده است.

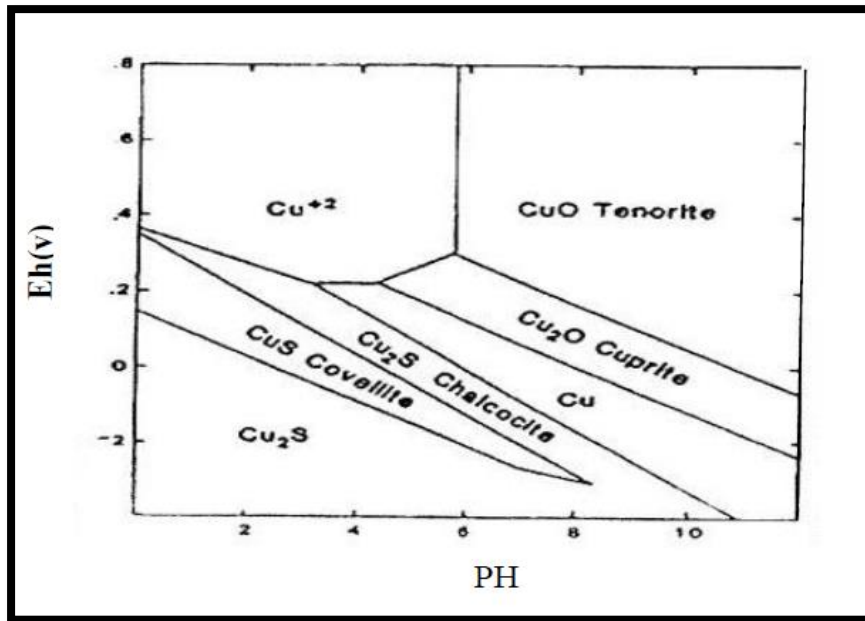
جهت تعیین منشأ عنصر Cu در این منطقه از تمام واحدهای کارگاه‌های موجود در منطقه من جمله

بازالت‌های دگرسان شده، دگرسان نشده و کانسنگ نمونه برداری و جهت تعیین مقدار مس (و همچنین سایر

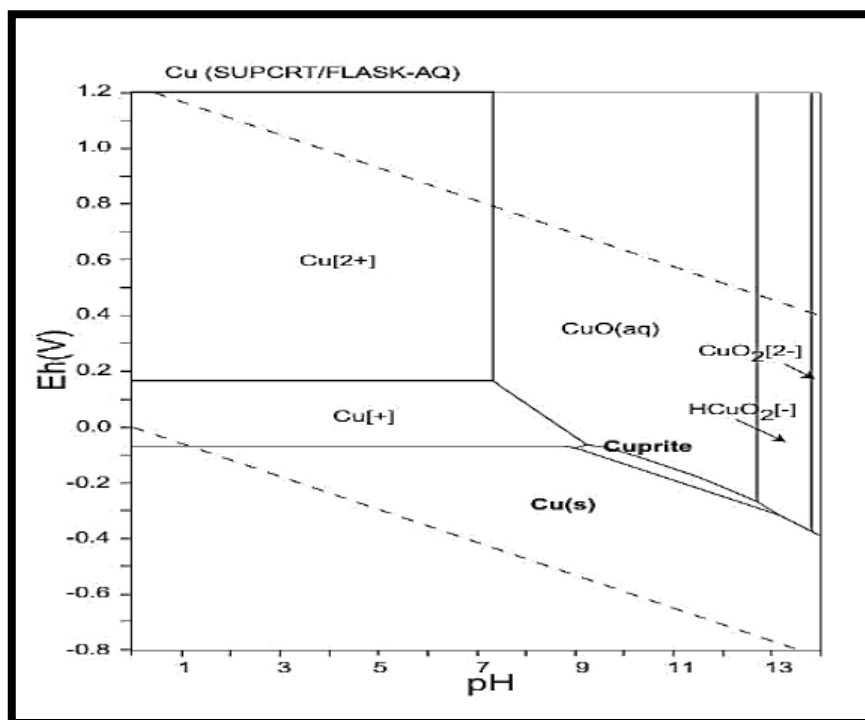
عناصر همراه) آنالیز صورت گرفت. با مقایسه مقدار مس در هر یک از این نمونه‌ها، ملاحظه می‌شود که میزان مس و سایر عناصر همراه در کانسنگ و بازالت‌های دگرسان شده و دگرسان نشده از یک روند خاصی پیروی می‌کنند که نشان دهنده منشاء واحد مس و سایر عناصر می‌باشد.

۶-۵-۲ شرایط نهشت

جریان‌های اکسیدی بالارونده و سنگ‌های رسوبی بین لایه‌های قرمز احتمالاً در ژنز این نهشته‌ها مهم می‌باشد. محیط زمین‌شناسی، این تیپ از نهشته‌ها به‌طور وسیع در توالی‌های بازالتی خشکی توزیع شده‌اند و با عنوان نهشته‌های مس با میزبان بازالتی معرفی می‌شوند، عوامل شیمیایی احتمالاً نقش مهمی در ته‌نشینی عنصر مس در منطقه مطالعاتی داشته است، زیرا بر طبق شکل (۶-۸) و (۶-۹) عنصر مس در شرایط اسیدی و اکسیدکننده در سیالات هیدروترمالی می‌تواند انتقال یابد و با توجه به این مسئله که فلزات قلیایی و قلیایی خاکی، در منطقه حضور دارند، مانند رگه‌های کلسیت، آنالسیم-ژئولیت فراوانی که در سیستم درز و شکستگی‌ها و حفره‌ها مشاهده گردید، می‌توان نتیجه گرفت که با وارد شدن عناصری مانند Ca به سیالات کانه‌دار، این سیالات قلیایی‌تر شده و در نتیجه تفکیک و تجزیه کمپلکس‌های کلریدی مس صورت گرفته است (شکل ۶-۸ و ۶-۹).



شکل ۶-۸: ترکیبات مس در دیاگرام Eh، PH در سطح زمین و شرایط اسیدی، مس به صورت محلول توسط آب حمل و در عمق زمین در شرایط احیایی راسب می‌گردد (مینارد، ۱۹۸۳).



شکل ۶-۹: ترکیبات مس در دیاگرام Eh، PH (Naoto Takeno 2005)

۶-۶- پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی

- توالی‌های آتشفشانی- رسوبی مشابه کانسار دوچیله، در سایر نقاط ایران، جهت اکتشاف این تیپ نهشته‌ها مورد توجه و مطالعه دقیق‌تر قرار گیرند.
- با توجه به ارتباط کانه‌زایی با سنگ‌های آتشفشانی و گسل‌ها و شکستگی‌های با روند NW- SE، پیشنهاد می‌شود، پتانسیل‌یابی نهشته‌های معدنی (مس، غیره) در مقیاس ناحیه‌ای و با تکنیک‌هایی مثل دورسنجی و ژئوفیزیک هوایی در منطقه با دقت‌های بالا انجام پذیرد، و مناطق امیدبخش شناسایی و برای کارهای اکتشافی به زمین‌شناسان معرفی گردد.
- نتایج به‌دست آمده در این تحقیق با استفاده از اطلاعات سطحی کانسار می‌باشد. از این رو پیشنهاد می‌گردد جهت بررسی کیفیت و کمیت کانه‌زایی در منطقه توران در عمق تعدادی گمانه اکتشافی عمیق در بخش‌های کانه‌دار و مناطق مجاور آن حفر شود.

منابع

ابراهیمی س. (۱۳۹۱) "گزارش زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰ منطقه مس دوچپله"، دانشگاه صنعتی شاهرود.

ابراهیمی س، عرب‌امیری ع، کامکار روحانی ا، و بیاری ه. (۱۳۹۲) "مطالعات زمین‌شناسی، ژئوفیزیکی و حفاری کانی‌سازی مس دوچپله، شمال شرق شاهرود" ایران، اولین کنفرانس ملی مهندسی اکتشاف منابع زیرزمینی، شاهرود، دانشگاه شاهرود.

احمدی م، عرب‌امیری ع، مرادزاده، زارعی. (۱۳۹۴) "برداشت، پردازش و تفسیر داده‌های $EM34-3$ و VLf در اندیس مس دوچپله- میامی و مقایسه نتایج حاصله با داده‌های مقاومت ویژه و پلاریزاسیون القایی" پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.

افتخارنژاد خ، آقناباتی س.ع، ناظر، ن.خ، حامدی، ع، واعظی‌پور، م.ج، نبوی، م.ج، عظیمی، م.ا.و بارویانت، و. (۱۳۷۱) نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ جاجرم، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره ۱۴-۴۰ DJ.

امینی، م، قلمقاش، ج، مهرپرتو، م. (۱۳۷۱)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ میامی، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور به شماره ۷۱۶۲.

آقناباتی، س. ع. (۱۳۸۳) زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ صفحه.

بویری م، راستاد آ و رشید نژاد عمران ن، (۱۳۸۹)، رساله کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت و بافت، ژئوشیمی، ژنز و تیپ کانسار مس کشت محکی شمال غرب صفا شهر (استان فارس)". دانشگاه تربیت مدرس.

تقی زاده ر، دری و، شیوا ع و ریاضی ن، (۱۳۸۶)، "بررسی صحرایی کانی‌سازی مس رسوبی در منطقه تسوج استان آذربایجان شرقی".

حیدری، م.، معانی جو، م.، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی و کانی‌شناسی مس معدن بزرگ" (عباس‌آباد، شرق شاهرود) دومین همایش ملی انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، چهارمین همایش ملی زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه بوعلی‌سینا همدان.

درویش زاده، ع.، (۱۳۸۲)، "زمین‌شناسی ایران"، انتشارات امیرکبیر، تهران ۴۳۴ص.

سامانی، ب.، (۱۳۸۱)، "متالوژنی کانسارهای مس نوع مانتو" در ایران، بیست و سومین گردهمایی علوم زمین.

سپهری راد، ر.، (۱۳۸۸)، "گزارش پی جویی مس رسوبی در محور کدکن - ششتمد (شمال تربت حیدریه)"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی.

صالحی، ل.، رسا، ا.، علیرضایی، س.، و کاظمی مهرنیا، ا. (۱۳۹۳) "کانسار مس معدن بزرگ با میزبان آتشفشانی، نمونه ای از کانسارهای مس نوع مانتو، خاور شاهرود"، چهارمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه شهید بهشتی تهران.

طائفی، ن.، موسیوند، ف.، و صادقیان، م.، (۱۳۹۲) الف، "کانی‌شناسی، ساخت و بافت و الگوی رخداد کانه‌زایی های مس نرتلویی و استغانی در جنوب - شرق شاهرود"، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین المللی تخصصی علوم زمین، تهران.

طائفی، ن.، موسیوند، ف.، و صادقیان، م. (۱۳۹۳) ب، "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی رخداد کانه‌زایی مس در مناطق گریگ و گورخان، جنوب شرق شاهرود"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران.

علی‌نیا، ف.، دهقان نژاد، م.، (۱۳۸۳) "مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی ژئوشیمیایی معادن مس عباس‌آباد شاهرود و برآورد پتانسل معدنی آنها"، کنفرانس مهندسی معدن ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر تهران.

گرگانی، ی. (۱۳۹۲)، "تلفیق داده‌های ژئوفیزیکی مقاومت ویژه الکتریکی و پلاریزاسیون القایی به منظور اکتشاف مس دوچپله - میامی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه صنعتی شاهرود.

معین وزیری، ح؛ احمدی، ع.، (۱۳۷۱)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آذرین"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، صفحه ۵۵۵.

معین وزیری، ح.، احمدی، ع.، (۱۳۸۳)، "پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آذرین"، انتشارات دانشگاه تربیت معلم تهران، صفحه ۵۴۵.

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 تأکید بر کانسار نوده"، دانشگاه تربیت مدرس.

منظمی میر علیپور ع، (۱۳۷۷)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی و ژنز کانسار سولفید توده ای مس شیخ عالی (جنوب شرق دولت آباد)"، دانشگاه تربیت مدرس.

موسیوند ف، (۱۳۸۲)، "مس بوانات: کانی زایی سولفید توده ای آتشفشان زاد تیپ بشی در ایران"، بیست و دومین گردهمایی علوم زمین. ۱۴ تا ۱۶ بهمن ماه. سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.

موسیوند ف، راستاد آ، پیتر ج و سولومون م، (۱۳۸۸)، "کانسار چاه گز: کانه زایی سولفید توده ای در ایران. مجموعه روی-سرب-مس تیپ Bathurst"، مقالات بیست و هفتمین گردهمایی علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

Arvin M., Pan Y., Dargahi S., Malekizadeh A., Babaei A., (2007). "*Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction*". Journal of Asian Earth Sciences 30. pp. 474–489.

Agard, P., Omrani, J., Jolivet, L., Whitechurch, H., Vrielynck, B., Spakman, W., Monie, P., Meyer, B., Wortel, R., (2011). "*Zagros orogeny: a subduction-dominated process*", Geol. Mag. pp 1- 34.

Berberian, M., & King, G. P. (1981), "*Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran*". Can. J. Earth Sci , 18, pp.210-265.

Arvin M., Pan Y., Dargahi S., Malekizadeh A., Babaei A., (2007). "*Petrochemistry of the Siah-Kuh granitoid stock southwest of Kerman, Iran: Implications for initiation of Neotethys subduction*". Journal of Asian Earth Sciences 30. pp. 474–489.

Azizi H., & Jahangiri A., (2008). "*Cretaceous subduction-related volcanism in the northern Sanandaj-Sirjan Zone*", Iran. Journal of Geodynamics 45. pp. 178–190.

Berberian, F. and Berberian, M., (1981). "*Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Zagros–Hindu Kush–Himalaya Geodynamic Evolution*" (H.K. Gupta and F.M. Delany, Eds), pp. 5–32. American Geophysical Union & Geological Society of America, Washington.

Berberian, M. (1981). "*Active faulting and tectonics of Iran, in Zagros, Hindu Kush, Himalaya*". Geodynamic Evolution, Geodyn. Ser., vol. 3. pp. 5–32

Cabral, A. R. and G. Beaudoin (2007). "*Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre, Quebec Appalachians, Canada.*" Mineralium Deposita 42(8): 901-912.

Cornwall, H. R., (1951), "*Differentiation in magmas of the Keweenaw series*": Jour. Geology, v. 59, p. 151-112. Craig, G.R. and Vaughan, P., (1994), "*Ore Microscopy and Ore Petrography*. John Wiley and Sons", 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p.

Damerson L.M.,1990. "*The petrology of tuffs and tuff braccias of the Thirtyone Mile Mountain area, central Colorado*". Department of Geology, The College of Wooster, OH 44691.

Franklin, J.M.,(1996), "*Volcanogenic- associated massive sulfide base metals, in Geology of Canadian mineral deposit types*", (eds), O. R. Eckstrand, W.D. Sinclair, and R.I.Throp, Geological survey of Canada, Geology of Canada, no.8, p. 158-183.

Franklin, J.M., Gibson, H.L., Jonasson, I.R., Galley, A.G., (2005) "*Volcanogenic massive sulphide deposits*". Economic Geology. 523-560. 35.

Ghasemi, A. and Talbot, C.J., (2006). "*A new tectonic scenario for the Sanandaj–Sirjan Zone (Iran)*". J. Asian Earth Sci, 26, 683–693.

Ghasemi, H. and Rezaei- kakhraei, M., (2015). "*Petrochemistry and tectonic setting of the Davarzan-Abbasabad Eocene Volcanic (DAEV) rocks, NE Iran*". Springer, Vol1,109,No.2.

Guilbert, J.M. and Park, C.F.J., (1999), "*The geology of ore deposits*": Freeman, W.H. and company.

Kesler, S. E., copper, (1973). "*molybdenum and gold abundance in porphyry copper Deposites*". Econ.Geol., Vol168, pp. 106-112.

Khadem N. (1964) "*Type of copper deposit in Iran,*" in symposium on mining geology and the base metals central treaty organization, Ankara.

Kirkham, R. (1996). "*Volcanic redbed copper*". Geology of Canadian mineral deposit types: Geological Survey of Canada, Geology of Canada(8), 241-252.

Kirkham, R.V, (1996). "*Volcanic red bed copper*", Geol. Sur. Of Canada, Canadian mineral deposit types, 8, pp. 241- 252.

Maksaev, V., Townely, B., Palacios, C., Camus, F., 2003, "*Metallic ore deposits in Genesis of copper mineralization and associated alterations an Jurassic volcanic rocks of Buena Esperanza*", The geology of Chile, Moreno

McMillan, W. J., Panteleyev, A. (1990), "*Porphyry copper deposits* ", in: reports, R. G., and sheahan, P. A., ed.: ore deposit models: Geological Association of Canada, P.

Middlemost, E.A.K. (1985). "*Magma and magmatic rocks, an introduction to igneous petrology*". Longman Group U.K., pp: 73-86.

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

Mohajjel, M., Fergusson, C.L., (2000). "*Dextral transpression in Late-Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan zone*", Western Iran. J. Struct. Geol. 22. pp.1125–1139.

Nakamura N. (1974). "*Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites*". Geochim. Cosmochim. Acta, 38, pp. 757 – 775.

Lefebure ,D.V .&Church ,B.N., (1996) "*Volcanic Redbed Cu, in selected British Colombia Mineal Deposit Profiles* ".Lefebure, D. V., & Ray, G. E. Unconventional Metal Deposits in Volcanic Arcs.

Omrani J., Agard Ph., Whitchurch H., Benoit M., (2008)."*Arc magmatism and subduction history beneath the Zagros mountains, Iran: A new report of adakites and geodynamic consequences*". Lithos 106. pp. 380 – 398.

Rossetti, F, Nasrabady.M, Vignaroli.G, Theye.T, Gerdes.A, Razavi.m, and Moin Vaziri.H, (2010). "*Early Cretaceous migmatitic mafic granulites from the Sabzevar range (NE Iran): implications for the closure of the Mesozoic peri-Tethyan oceans in central Iran*". Terra Nova, v 22, pp 26-34.

Sengor, A. M. C.(1984) " *The Cimmerideorogenic system and the Tectonics of Eurasia*". Geological society of America ,Special, pp. 195.

Stocklin, J and nabavi, M.H. (1973)." *Tectonic Map of Iran 1:2500000 Geological Survey of Iran*".

Shafiei B. Haschke M. and Shahabpour J. (2009) "*Recycling of organic arc crust triggers porphyry Cu mineralization in Kerman Cenozoic arc rocks, southeastern Iran,*" *miner Deposit* 44: pp 256- 283.

Shelly, D.,(1993), "*Igneous and metamorphic rocks under microscope classification features, microstructures and mineral preferred orientations*". Chapman and Hall, London.pp.405.

Sillitoe, R. H. (2010). "*Porphyry copper systems*". *Economic Geology*, 105(1), 3-41.

Takin, M., (1972). "*Iranian, Geology and Continental Drift in the Middle East*", *Nature*,Vol. 235.

Takin, M., (1972). "*Iranian, Geology and Continental Drift in the Middle East*", *Nature*,Vol. 235.Pearce, J. A., Cann, J. R., (1973). "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses". *Earth Planetary Science Letters* 19. pp.290 – 300.

Stocklin, J and nabavi, M.H. (1973)." *Tectonic Map of Iran 1:2500000 Geological Survey of Iran*".

White, D. E., "*Enviroments of genatation of some base metal ore derosits*". *Econ. Geol.* 63:301-335., 1968.

Wang, Q., Wyman, D.A., Xu, J.F., Wan, Y.S., Li, C.F., Zi, F., Jiang, Z.Q., Qiu,H.N., Chu, Z.Y., Zhao, Z.H., Dong, Y.H., (2008). "*Triassic Nb-enriched basalts,magnesian andesites, and adakites of the Qiangtang terrane (Central Tibet): evidence for metasomatism by slab-derived melts in the mantle wedge*". *Contributions to Mineralogy and Petrology* 155, pp.473– 490.

Wood D. A., (1980)." *The application of Th- Hf- Ta diagram to problems of tectonomagmatic classification and to establishing the nature of crustal contamination of basaltic lavas of the British Tertiary volcanic province*". *Earth Planet. Sci. Lett.*, 50, pp. 11 – 30.

Abstract

Dochileh and Touran copper deposits are located 72 km east of Shahrood, 15 km east of Mayamey and in the volcanic belt of northern Central Iran. The stratigraphic sequence of the region contains a considerable amount of volcanic and volcanic-sedimentary deposits of Eocene, which are covered locally by Neogen and Quaternary deposits. The volcanic rocks hosting mineralization are comprised of a compositional range of basalt, andesite basalt and trachy andesite basalt spectrum that often contain plagioclase and clinopyroxene phenocrysts (agite). The copper mineralization mostly occurred along the faults and fractures with the dominant trend of NW-SE in the basalt rocks as vein-veinlet and open space filling. According to microscopic studies, ore mineralization includes primary native copper and hematite, and secondary minerals such as malachite, goethite, hematite, and waste minerals calcite, zeolite and analcime. The alterations in the host rock include carbonate, analcime-zeolite and iron oxide. The oxidation of mafic minerals such as pyroxene and also magnetite has been responsible for copper resuscitation and hematitic alteration. These rocks show enrichment of light REE and large ion lithophile elements and depletion of heavy rare earth elements (REE). Negative anomalies in high field strength elements such as Ti and Nb in the studied rocks is one of the typical characteristics of arc environments. According to geochemical surveys, Dochileh copper deposit tectonic environment is consistent of a stretch region that formed in a back-arc basin. According to field studies, the Dochileh and Touran copper deposit appears to be formed during the process of orogeny along the perpendicular fractures of the folds. Dochileh deposit has a large resemblance to Michigan type copper deposits in terms of tectonic, host rock, mineralogy, metal content, alteration and mineralization controls.

Key words: mineralogy, native copper, Michigan type, Dochileh, Touran, Mayamey



Faculty of Earth Sciences

M.Sc. Thesis in Economic Geology

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Dochileh copper
deposit, east of Mayamey**

By:

Mahboubeh Zafarzadeh

Supervisor:

Dr.F. Mousivand

advisor:

Dr.R. Ramazani

September 2018