

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

رشته زمین‌شناسی گرایش اقتصادی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس زرنديه،

شمال شرق ساوه

نگارش:

سیران یوسفی

استاد راهنما:

دکتر علیپور اصل

شهریور ۱۳۹۶

شماره: ۱۳۸۲۹
تاریخ: ۹۶/۷/۲۶

باسمه تعالی



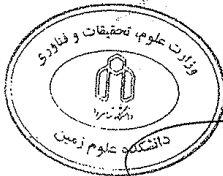
مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد بتنام سیران یوسفی با شماره دانشجویی ۹۳۱۸۶۲۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس زرنده، شمال شرق سناوه که در تاریخ ۹۶/۶/۱۹ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

قبول (با امتیاز درجه عالی) مردود
نوع تحقیق: نظری عملی

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	استادیار	دکتر مسعود علی پور اصل	۱- استاد راهنمای اول
	-	-	۲- استاد راهنمای دوم
	-	-	۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر مریم شبی	۴- نماینده تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر فرج اله فردوست	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر فردین موسیوند	۶- استاد ممتحن دوم



نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر پرویز امیدی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیم به:



گوهران درخشان زندگی ام
پدر و مادر عزیز و گرانقدرم،
که با خلوص و عشقی غیرقابل
وصف

در راه تحصیلم همراه و

پشتیبانم

بوده‌اند.

تشکر و قدردانی:

حمد و سپاس بیکران خداوند سبحان را که چون همیشه بر بنده خویش منت نهاد و توانایی و توفیق تحقیق در گوشه‌ای از میهن عزیز را بر او عنایت فرمود. در انجام این تحقیق خود را مدیون زحمات و مساعدت‌های عزیزان بسیاری می‌دانم که بی‌تردید بدون یاری و همکاری ایشان، امکان به نتیجه رسیدن آن وجود نمی‌داشت. در اینجا بر خود لازم می‌دانم که زحمات‌شان را ارج نهاده و صمیمانه از همه آنان تشکر نمایم:

➤ استاد گرانقدر، جناب آقای دکتر مسعود علیپوراصل که راهنمایی این تحقیق را بر عهده داشتند. بزرگواری که با پشتکار و تلاش زایدالوصف، دلسوزانه و با خلوص نیت، برای این مهم زحمت بسیاری کشیدند و در تمام طول تحصیل از راهنمایی‌های ارزنده و بی‌دریغ ایشان بهره‌مند شدم. دقت و تیزبینی ایشان، نقش غیرقابل انکاری در هرچه پربارتر شدن پایان‌نامه داشته است. سپاسگذاری از آن استاد عالی-قدر را بر خود واجب میدانم.

➤ از مدیریت محترم شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، جناب آقای دکتر سید احمد مشکانی به دلیل همکاری‌های فراوان، فراهم آوردن امکانات بازدید از منطقه و قبول هزینه پاره‌ای از تجزیه‌های شیمیایی مراتب قدردانی خود را ابراز می‌دارم.

سخن آخر آنکه، عزت نزد خداوند است. سپاس بیکران، آن یاری‌دهنده متعال را سزاست که ما را ره‌پوی مسیری قرار داده تا بتوانیم سهمی کوچک در راه اعتلای میهن عزیزمان، ایران، داشته باشیم.

تعهد نامه

این جانب سیران یوسفی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی - اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس زرنديه، شمال شرق ساوه تحت راهنمایی آقای دکتر علیپور اصل

. متعهد می شوم:

- تحقیقات در این پایان نامه توسط این جانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهش های محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیر گذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافت های آن ها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

منطقه مس زرنديه در استان مرکزی، شمال شرق ساوه و در فاصله ۸ کیلومتری جنوب شرق شهر مأمونیه واقع شده است. از نظر زمین‌ساختی، این محدوده در بخش میانی کمان ماگمایی ارومیه-دختر قرار دارد. قدیمی‌ترین واحدهای سنگ‌شناختی ریولیت، ریوداسیت، آندزیت، تراکی آندزیت و سنگ‌های آذرآواری ائوسن-اولیگوسن است. توده‌های نفوذی و نیمه عمیق دیوریت، مونزودیوریت و گابرو به سن پس از ائوسن (احتمالاً میوسن) به درون سنگ‌های آتشفشانی تزریق شده است. کانه‌زایی مس در منطقه زرنديه عمدتاً به صورت رگه و رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضاهای خالی در سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی (بویژه سنگ‌های نفوذی) مشاهده می‌شود. دگرسانی‌ها عبارت از پروپیلی‌تیک، آرژیلیک، سربسیتی، سیلیسی، کربناتی، اکسید آهنی و آلبیتی. کانی‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت (کانه اصلی)، بورنیت، الیزبیت و انواع ثانویه شامل کالکوسیت، کولیت، ملاکیت، آزوریت، مس خالص، همتیت، گوتیت و لیمونیت می‌باشد. مهم‌ترین بافت‌های منطقه از نوع دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، برشی، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی است. همچنین ساخت‌های منطقه شامل رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی می‌باشد. براساس مطالعات ژئوشیمیایی، سنگ‌های آذرین نفوذی ماهیت کالک‌آلکان و از نوع مت‌آلومین بوده و در زمره گرانیتهای نوع I طبقه‌بندی می‌شوند. همچنین از نظر موقعیت زمین‌ساختی، کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و برخوردی هستند. بررسی ضرایب همبستگی نشان می‌دهد که Cu بیشترین همبستگی را به ترتیب با عناصر Ag, As, Zn, Cd, Pb و تا حدودی Mn و Fe دارد. میزان همبستگی Cu با Mo و Au بسیار ناچیز است. بر پایه مطالعه سیالات درگیر، دمای همگن‌شدگی از ۱۵۲/۷ تا ۲۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۹۵ °C) و میزان شوری از ۲۰/۸۹ تا ۲۵/۶۴ درصد وزنی معادل نمک طعام (متوسط ۲۳٪) تغییر می‌کند، که به اختلاط آب‌های ماگمایی و جوی (بویژه آب‌های ماگمایی) بعنوان حجم اصلی سیال‌های کانه‌ساز اشاره دارد، که در عمق کم جای

گرفته‌اند. براساس مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری، کانی‌سازی مس در فشار کمتر از ۵۰ بار و عمق کمتر از ۵۰۰ متری رخ داده است.

شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمیایی و حرارت‌سنجی میانبارهای سیال کانی‌سازی در مس زرنديه را از نوع رگه‌ای گرمابی مرتبط با سنگ‌های گرانیتوئیدی معرفی می‌نماید.

کلمات کلیدی: کانی‌شناسی، ژئوشیمی، سیال درگیر، نفوذی‌های دیوریت-گابرو، مس رگه‌ای، زرنديه

فهرست مقالات

- زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی کانسار مس زرنديه، شمال شرق ساوه، سی و چهارمین
گردهمایی علوم زمین، تهران، اسفند ۹۴.

- مطالعه ژنز کانسار مس زرنديه بر پایه یافته‌های زمین شناسی و میانبارهای سیال، شمال شرق ساوه،
هشتمین همایش انجمن زمین شناسی اقتصادی ایران، زنجان، شهریور ۹۵.

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
فصل اول: کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه.....	۲
۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه.....	۳
۱-۳- شرایط آب و هوایی و پوشش گیاهی منطقه.....	۴
۱-۴- وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه.....	۵
۱-۵- ریخت شناسی منطقه.....	۵
۱-۶- مطالعات انجام شده ی قبلی.....	۷
۱-۷- تعریف مسئله.....	۹
۱-۸- هدف و روش کار.....	۱۰
۱-۸-۱- هدف.....	۱۰
۱-۸-۲- روش کار.....	۱۰
۱-۹- رده بندی کانسارهای مس.....	۱۱
۱-۱۰- خصوصیات و فازهای کانه سازی مس در ایران.....	۱۲
۱-۱۰-۱- پرکامبرین پسین-کامبرین پیشین.....	۱۲
۱-۱۰-۲- پالئوزوییک پسین.....	۱۲
۱-۱۰-۳- کرتاسه-پالئوسن.....	۱۳
۱-۱۰-۴- ترشیاری.....	۱۳
فصل دوم: زمین شناسی ناحیه ای و محدوده معدنی.....	۱۵
۲-۱- مقدمه.....	۱۶
۲-۲- موقعیت تکتونیکی و ویژگیهای عمومی کمر بند ارومیه- دختر.....	۱۶
۲-۳- زمین شناسی ناحیه ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰.....	۱۹
۲-۳-۱- چینه شناسی.....	۱۹
۲-۳-۲- زمین شناسی ساختمانی.....	۲۴

۲۴	..... ۱-۲-۳-۲- چین ها
۲۵	..... ۲-۲-۳-۲- گسل ها
۲۵	..... ۳-۳-۲- زمین شناسی اقتصادی
۲۶	..... ۱-۳-۳-۲- کانسارهای فلزی
۲۶	..... ۲-۳-۳-۲- کانسارهای غیرفلزی
۲۷	..... ۴-۲- زمینشناسی و سنگشناسی محدوده معدنی
۲۷	..... ۱-۴-۲- مقدمه
۲۸	..... ۲-۴-۲- واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه
۳۰	..... ۱-۲-۴-۲- Eac : سنگهای آذرین فلسیک ریوداسیت و ریولیت:
۳۲	..... ۲-۲-۴-۲- Ean : سنگهای آذرین حدواسط آندزیت- تراکی آندزیت:
۳۳	..... ۳-۲-۴-۲- Di : دیوریت، مونزودیوریت:
۳۴	..... ۴-۲-۴-۲- Gb : گابرو و گابرودیوریت:
۳۶	..... ۵-۲-۴-۲- دایک ریوداسیتی:
۳۶	..... ۶-۲-۴-۲- Qal : رسوبات آبرفتی عهد حاضر:
۳۷	..... ۳-۴-۲- زمین شناسی ساختمانی منطقه:
۳۹	..... فصل سوم: کان هزایی و دگرسانی
۴۰	..... ۱-۳- مقدمه
۴۰	..... ۲-۳- عوامل مؤثر در کانه زایی
۴۱	..... ۳-۳- کانهزایی در منطقه مورد مطالعه
۴۲	..... ۱-۳-۳- کانه زایی رگه-رگچه ای:
۴۳	..... ۲-۳-۳- کانه زایی پرکننده فضاهای بین برشها:
۴۴	..... ۳-۳-۳- کانه زایی پرکننده فضاهای خالی:
۴۵	..... ۴-۳- دگرسانی های کانی سازی تیپ رگهای
۴۶	..... ۵-۳- دگرسانی های موجود در منطقه
۴۶	..... ۱-۵-۳- دگرسانی پروپیلیتیک
۴۸	..... ۲-۵-۳- دگرسانی آرژیلیکی
۵۰	..... ۳-۵-۳- دگرسانی سربستی
۵۱	..... ۴-۵-۳- دگرسانی سیلیسی

۵۳	..... ۳-۵-۵- دگرسانی کربناتی
۵۳	..... ۳-۵-۶- دگرسانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن
۵۴	..... ۳-۵-۷- دگرسانی آلپیتی
۵۷	..... فصل چهارم : کانی شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنتیکی
۵۸	..... ۴-۱-۱- مقدمه:
۵۸	..... ۴-۲-۲- کانی شناسی مواد معدنی و باطله:
۵۸	..... ۴-۲-۱- کالکوپیریت
۶۰	..... ۴-۲-۲- بورنیت:
۶۰	..... ۴-۲-۳- پیریت:
۶۱	..... ۴-۲-۴- کالکوسیت:
۶۱	..... ۴-۲-۵- کوولیت:
۶۲	..... ۴-۲-۶- مس طبیعی:
۶۳	..... ۴-۲-۷- ملاکیت و آزوریت:
۶۴	..... ۴-۲-۸- اولیژیست و هماتیت:
۶۴	..... ۴-۲-۹- گوتیت و لیمونیت:
۶۵	..... ۴-۲-۱۰- کوارتز:
۶۶	..... ۴-۲-۱۱- پلاژیوکلاز و پیروکسن:
۶۷	..... ۴-۳- ساخت و بافت مواد معدنی
۶۷	..... ۴-۳-۱- بافت دانه پراکنده
۶۸	..... ۴-۳-۲- ساخت و بافت رگه-رگجهای:
۶۹	..... ۴-۳-۳- ساخت و بافت پرکننده فضاهای بین برشها:
۶۹	..... ۴-۳-۴- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی:
۷۰	..... ۴-۳-۵- بافت اسکلتی:
۷۰	..... ۴-۳-۶- بافت جانشینی:
۷۱	..... ۴-۳-۷- بافت باقیمانده:
۷۲	..... ۴-۴- توالی پاراژنتیکی:
۷۵	..... فصل پنجم : مطالعات ژئوشیمیایی
۷۶	..... ۵-۱- مقدمه:

- ۷۷-۲-۵ ژئوشیمی محیط سنگ..... ۷۷
- ۷۷-۱-۲-۵ نمونه برداری و روش آنالیز نمونه های سنگ:..... ۷۷
- ۸۰-۲-۲-۵ ژئوشیمی سنگ های آذرین..... ۸۰
- ۸۰-۱-۲-۲-۵ نام گذاری سنگ های آذرین منطقه براساس عناصر اصلی..... ۸۰
- ۸۲-۲-۲-۵ تعیین سری ماگمایی براساس عناصر اصلی..... ۸۲
- ۸۳-۳-۲-۲-۵ درجه ی اشباع از آلومین براساس عناصر اصلی..... ۸۳
- ۸۴-۴-۲-۲-۵ تعیین محیط تکتونیکی سنگهای آذرین براساس عناصر اصلی و فرعی..... ۸۴
- ۸۹-۵-۲-۲-۵ طبقه بندی گرانیتوئیدها براساس تقسیم بندی (Barba n 1999ri)..... ۸۹
- ۸۹-۶-۲-۲-۵ شناسایی منشأ توده های نفوذی منطقه..... ۸۹
- ۹۰-۳-۲-۵ نمودارهای عنکبوتی..... ۹۰
- ۹۰-۱-۳-۲-۵ نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به کندریت..... ۹۰
- ۹۲-۲-۳-۲-۵ نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به گوشته ی اولیه..... ۹۲
- ۹۳-۳-۳-۲-۵ نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به MORB..... ۹۳
- ۹۴-۳-۵ ژئوشیمی محیط کانسنگ..... ۹۴
- ۹۴-۱-۳-۵ نمونه برداری و روش آنالیز نمونه های سنگ:..... ۹۴
- ۹۴-۱-۱-۳-۵ نمونه برداری از ترانسه ها..... ۹۴
- ۹۹-۲-۱-۳-۵ نمونه برداری از گمانه ها..... ۹۹
- ۱۰۴-۲-۳-۵ بررسی های آماری چند متغیره..... ۱۰۴
- ۱۰۴-۱-۲-۳-۵ تعیین ضریب همبستگی عناصر..... ۱۰۴
- ۱۰۶-۲-۲-۳-۵ تجزیه و تحلیل خوشه ای..... ۱۰۶
- ۱۰۸-۳-۲-۳-۵ تجزیه و تحلیل عاملی..... ۱۰۸
- ۱۱۵..... فصل ششم : مطالعه ی سیالات درگیر..... ۱۱۵
- ۱۱۶-۱-۶ مقدمه..... ۱۱۶
- ۱۱۶-۲-۶ نحوه ی انتخاب نمونه ها برای میانبارهای سیال..... ۱۱۶
- ۱۱۷-۳-۶ پتروگرافی سیالات درگیر..... ۱۱۷
- ۱۲۰-۴-۶ مطالعات میکروترموتری میانبارهای سیال..... ۱۲۰
- ۱۲۱-۱-۴-۶ دمای همگن شدگی و شوری سیالات..... ۱۲۱
- ۱۲۳-۲-۴-۶ فشار، چگالی و عمق سیالات درگیر..... ۱۲۳

- ۱۲۵.....۳-۴-۶- دمای به تله افتادن و کمپلکس مؤثر در حمل عناصر کانسار ساز
- ۱۲۷.....۴-۴-۶- تعیین تیپ کانه زایی و منشأ سیالات براساس داده های میانبارهای سیال
- ۱۲۸.....۵-۴-۶- تعیین منشأ سیالات
- ۱۳۱..... فصل هفتم : بحث، نتیجه گیری و ارائه مدل زایشی
- ۱۳۲.....۱-۷- مقدمه
- ۱۳۲.....۲-۷- خلاصه ای از خصوصیات کانه زایی مس در محدوده مورد مطالعه
- ۱۳۵.....۳-۷- طبقه بندی و ویژگی های عمومی کانسارهای مس
- ۱۳۶.....۴-۷- مقایسه ی کانسار مس زرنديه با پارهای از کانسارهای مس رگهای از پهنه های مختلف زمین ساختی ایران
- ۱۴۰.....۵-۷- الگوی تشکیل رخداد معدنی مس زرنديه
- ۱۴۴.....۶-۷- پیشنهادها
- ۱۴۵..... منابع فارسی

فهرست اشکال

- شکل ۱-۱. محل قرارگیری محدوده ی مورد مطالعه و راه های دسترسی به آن..... ۳
- شکل ۱-۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره ای..... ۴
- شکل ۱-۳. نمایی از پوشش گیاهی مرتعی و ضعیف و مورفولوژی محدوده مورد مطالعه..... ۵
- شکل ۱-۴. موقعیت منطقه ی زرنديه (۱) در تصویر ماهواره ای که با رنگ قرمز مشخص شده است..... ۶
- شکل ۱-۵. موقعیت منطقه ی زرنديه (۲) در تصویر ماهواره ای که با رنگ زرد مشخص شده است..... ۶
- شکل ۲-۱. جایگاه زمین ساختی کمر بند ارومیه- دختر در کوهزاد زاگرس و موقعیت منطقه مورد مطالعه..... ۱۹
- شکل ۲-۲. نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه..... ۲۰
- شکل ۲-۳. ستون چینه شناسی ناحیه ای از واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه زرنديه..... ۲۱
- نقشه ۲-۴. نقشه و نیمرخ زمین شناسی محدوده معدنی زرنديه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰..... ۳۰
- شکل ۲-۵. نمایی از توالی قرار گیری واحدهای زمین شناسی دیوریت گابرو..... ۳۱
- شکل ۲-۶. الف) نمایی از گسترش واحد داسیت- ریوداسیتی (دید به سمت شمال- شمال غرب)..... ۳۲
- شکل ۲-۷. الف) گسترش صحرایی واحد آندزیت- تراکی آندزیت (دید به سمت جنوب)..... ۳۳
- شکل ۲-۸. الف) گسترش صحرایی واحد دیوریت- مونزودیوریت (دید به سمت شمال منطقه)..... ۳۴
- شکل ۲-۹. نمایی از گسترش واحد گابرو دیوریت (دید به سمت شمال منطقه)..... ۳۵
- شکل ۲-۱۰. الف) گسترش صحرایی واحد گابرویی..... ۳۵
- شکل ۲-۱۱. الف) دایک ریوداسیتی آغشته به ملاکیت که در سنگ های گابرویی تزریق شده است..... ۳۶
- شکل ۲-۱۲. نمایی از گسترش صحرایی رسوبات آبرفتی عهد حاضر (دید به سمت جنوب)..... ۳۷
- شکل ۲-۱۳. نمایی از گسل موجود در منطقه که رگه ی سیلیسی مسدار در امتداد گسل می باشد..... ۳۸
- شکل ۲-۱۴. گسل های منطقه مورد مطالعه..... ۳۸
- شکل ۳-۱. الف) تصویر صحرایی از رگه های سیلیسی که حاوی کانی سازی مس می باشند..... ۴۳
- شکل ۳-۲. الف) تصویر نمونه دستی که فضاهای بین برش ها توسط ملاکیت پر شده اند..... ۴۴
- شکل ۳-۳. کانه زایی به صورت پرکننده فضاهای خالی..... ۴۵
- شکل ۳-۴. تصاویری از دگرسانی پروپیلیتیک..... ۴۷
- شکل ۳-۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی های تشخیص داده شده..... ۴۸
- شکل ۳-۶. الف) نمایی از گسترش آلتراسیون آرژیلیک در منطقه..... ۴۹
- شکل ۳-۷. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آرژیلیک می باشد..... ۴۹
- شکل ۳-۸. تصاویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلازها به سرسیت. PI: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت..... ۵۰

- شکل ۳-۹. نمایی از دگرسانی سیلیسی در منطقه (دید به سمت شمال - شمال غرب)..... ۵۱
- شکل ۳-۱۰. الف) تصویر نمونه ی دستی از رگهی سیلیسی..... ۵۲
- شکل ۳-۱۱. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی سیلیسی می باشد..... ۵۲
- شکل ۳-۱۲. تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی کربناتی..... ۵۳
- شکل ۳-۱۳. الف) صحرایی (دید به سمت جنوب - جنوب شرق)..... ۵۴
- شکل ۳-۱۴. الف) تصویر صحرایی از دگرسانی آلبیتی و گمانه حفر شده در آن (دید به سمت شمال - شمال غرب)..... ۵۵
- شکل ۳-۱۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آلبیتی می باشد..... ۵۵
- شکل ۴-۱. الف) تصویر کانی کالکوپیریت در مغزه حفاری..... ۵۹
- شکل ۴-۲. تصاویر میکروسکوپی از کانی بورنیت..... ۶۰
- شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی از کانی پیریت..... ۶۱
- شکل ۴-۴. تصاویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت..... ۶۱
- شکل ۴-۵. تصویر میکروسکوپی از کانی کوولیت..... ۶۲
- شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی از مس خالص. Cu: مس خالص، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کوولیت..... ۶۲
- شکل ۴-۷. الف) تصویر نمونه دستی از مالاکیت..... ۶۴
- شکل ۴-۸. تصاویر میکروسکوپی از کانی های الیژیست و هماتیت..... ۶۴
- شکل ۴-۹. تصاویر میکروسکوپی از کانی های گوتیت و لیمونیت..... ۶۵
- شکل ۴-۱۰. تصاویر میکروسکوپی از کانی کوارتز..... ۶۶
- شکل ۴-۱۱. تصاویر میکروسکوپی از کانی های پلاژیوکلاز و پیروکسن. Pl: پلاژیوکلاز، Px: پیروکسن..... ۶۶
- شکل ۴-۱۴. الف) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت به صورت پراکنده..... ۶۸
- شکل ۴-۱۵. نمونه هایی از بافت رگهر گچه ای..... ۶۸
- شکل ۴-۱۶. الف) تصویر نمونه دستی از پرشدگی فضاها ناشی از برشی شدن..... ۶۹
- شکل ۴-۱۷. الف) تصویر نمونه دستی که کالکوپیریت و مالاکیت فضای خالی موجود در سنگ را پر کرده اند..... ۶۹
- شکل ۴-۱۸. تصاویر میکروسکوپی از بافت اسکلتی. Py: پیریت، Cct: کالکوسیت، Bn: بورنیت..... ۷۰
- شکل ۴-۱۹. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی..... ۷۱
- شکل ۴-۲۰. هوازدگی کالکوپیریت به کوولیت گوتیت از حاشیه ها و تشکیل بافت جانشینی و باقیمانده..... ۷۱
- شکل ۵-۱. موقعیت نمونه های منطقه بر روی نمودار (Winchester and Floyd (1977)..... ۸۱
- شکل ۵-۲. موقعیت سنگ های نفوذی منطقه بر روی نمودار (Middlemost (۱۹۹۴)..... ۸۲
- شکل ۵-۳. موقعیت نمونه های منطقه بر روی نمودار (AFM (Irvin and Baragar, 1971)..... ۸۳

- شکل ۴-۵. موقعیت سنگ های منطقه بر روی الف) دیاگرام سه تایی..... ۸۴
- شکل ۵-۵. موقعیت نمونه ها در نمودار سه تایی $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ (Pearce et al, 1977)..... ۸۵
- شکل ۶-۵. موقعیت تکتونیکی نمونه های منطقه بر روی نمودار دوتایی Zr در برابر T (Pearce and Cann, 1973)..... ۸۶
- شکل ۷-۵. موقعیت نمونه های منطقه بر روی نمودار دوتایی Zr در برابر Ti (Pearce 1982)..... ۸۶
- شکل ۸-۵. نمودارهای تفکیک موقعیت تکتونیکی (Pearce et al, 1984)..... ۸۷
- شکل ۹-۵. روابط بین انواع گرانیتوئیدها، منشأ و محیط ژئودینامیکی آنها در تقسیم بندی (Barbarin ۱۹۹۹)..... ۸۸
- شکل ۱۰-۵. مدل شماتیک تشکیل گرانیتوئیدهای نوع ACG در حواشی فعال قاره ها. توده های سیاه رنگ گرانیتوئیدها هستند (Barbarin, 1999)..... ۸۸
- شکل ۱۱-۵. مدل شماتیک نشان دهنده انواع گرانیتوئیدها..... ۹۰
- شکل ۱۲-۵. الگوی عناصر کمیاب نمونه های مورد مطالعه..... ۹۱
- شکل ۱۳-۵. الگوی عناصر کمیاب نمونه های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, ۱۹۹۵) نرمالیزه شده اند..... ۹۳
- شکل ۱۴-۵. الگوی عناصر کمیاب نمونه های مورد مطالعه که نسبت به MORB (Pearce 1983) نرمالیزه شده اند..... ۹۴
- شکل ۱۵-۵. نمایی از ترانسه شماره ۵ (دید به سمت جنوب)..... ۹۶
- شکل ۱۶-۵. مقطع ترانسه ی شماره ۵..... ۹۶
- شکل ۱۷-۵. نمایی از ترانسه شماره ۱۶ (دید به سمت جنوب-جنوب شرق)..... ۹۷
- شکل ۱۸-۵. مقطع ترانسه ی شماره ۱۶..... ۹۷
- شکل ۱۹-۵. نمایی از ترانسه شماره ۴۱ (دید به سمت شمال-شمال غرب)..... ۹۸
- شکل ۲۰-۵. مقطع ترانسه ی شماره ۴۱..... ۹۸
- شکل ۲۲-۵. کانی سازی کالکوپیریت در زون برشی در گمانه ی ۱..... ۱۰۰
- شکل ۲۲-۵. مقطع گمانه شماره ۱..... ۱۰۰
- شکل ۲۳-۵. نمایی از کانی سازی کالکوپیریت به صورت رگچه/ای و پراکنده در گمانه ۷..... ۱۰۱
- شکل ۲۴-۵. مقطع گمانه شماره ۷..... ۱۰۲
- شکل ۲۵-۵. نمایی از کانی سازی مس (کالکوپیریت) به صورت افشان و توده های در گمانه ۱۰..... ۱۰۳
- شکل ۲۶-۵. مقطع گمانه شماره ۱۰..... ۱۰۳
- شکل ۲۷-۵. نمودار ساختار درختی برپایه ی داده های لگاریتمی ۲۹ نمونه زرنده به روش آنالیز خوشه ای..... ۱۰۷
- شکل ۲۸-۶. نمودار صخره ای جهت جداسازی فاکتورهای معتبر تجزیه عاملی..... ۱۱۱

- شکل ۶-۱. الف) سیالات درگیر مقطع BH1- 22.5 دارای دوفاز مایع (L) و فاز گاز (V).....۱۲۰
- شکل ۶-۲. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن شدگی و شوری میانبارهای سیال نسبت به فراوانی آنها.....۱۲۳
- شکل ۶-۳. نمودار دمای همگن شدگی - چگالی به منظور تعیین فشار با توجه به شوری سیالات درگیر.....۱۲۴
- شکل ۶-۴. نمودار دما- فشار- عمق جهت تعیین عمق.....۱۲۵
- شکل ۶-۵. تعیین دمای به تله افتادن میانبارهای سیال.....۱۲۶
- شکل ۶-۶. نمودار دمای همگن شدگی - شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس.....۱۲۷
- شکل ۶-۷. نمودار تعیین تیپ کانه زایی براساس شوری و دمای همگن شدن.....۱۲۸
- شکل ۶-۸. نمودار درجه حرارت- شوری برای سیالات با منشأهای متفاوت (Beane, 1983).....۱۲۹
- شکل ۷-۱- مقطع عرضی که نشان دهنده چگونگی تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر می باشد.....۱۴۱
- شکل ۷-۲- نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه زایی در منطقه ی زرنديه.....۱۴۳

فهرست جداول

- جدول ۴-۱. توالی پاراژنری کانی های تشکیل دهنده ی منطقه..... ۷۳
- جدول ۵-۱. خصوصیات نمونه های برداشت شده..... ۷۸
- جدول ۵-۲. مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (%/.) و عناصر کمیاب (ppm) در ۶ نمونهی سنگ به روش XRF..... ۷۹
- جدول ۵-۳. علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه ها در تمامی شکل ها..... ۸۰
- جدول ۵-۴. خصوصیات نمونه های برداشت شده از ترانشه ها..... ۹۵
- جدول ۵-۵. خصوصیات نمونه های برداشت شده از گمانه ها..... ۹۹
- جدول ۵-۶. مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسون..... ۱۰۷
- جدول ۵-۷. جدول آزمون KMO و بارتلت..... ۱۰۸
- جدول ۵-۸. جدول مشارکت عناصر در تحلیل عاملی برای نمونه های منطقه..... ۱۰۸
- جدول ۵-۹. جدول میزان تغییرپذیری کل، درصد تغییرپذیری و درصد تغییرپذیری تجمعی برای عاملهای مختلف . ۱۱۰
- جدول ۵-۱۰. جدول مقادیر مؤلفه های چرخش یافته براساس تحلیل عاملی در محدوده زرنديه..... ۱۱۳
- جدول ۶-۱. ویژگی های نمونه های انتخاب شده برای مطالعهی میانبارهای سیال..... ۱۱۷
- جدول ۶-۲. خصوصیات پتروگرافی میانبارهای سیال نمونه ی BH1-22.5..... ۱۱۸
- جدول ۶-۳. خصوصیات پتروگرافی نمونه ی BH7-75.3..... ۱۱۹
- جدول ۶-۴. خصوصیات پتروگرافی نمونه ی BH10-22..... ۱۱۹
- جدول ۶-۵. نتایج آنالیزهای دماسنجی و تعیین شوری در میانبارهای سیال نمونه های منطقه..... ۱۲۲
- جدول ۶-۶. خصوصیات سیالات درگیر در کانسارهای هیدروترمال (Wilkinson, 200)..... ۱۲۸
- جدول ۷-۱. ویژگی های زمین شناسی و معدنی کانسار مس زرنديه..... ۱۳۴
- جدول ۷-۲. مقایسه ویژگی های زمین شناسی و کانه زایی مس زرنديه با برخی کانسارهای مس..... ۱۳۵
- جدول ۷-۳. مقایسه ویژگی های زمین شناسی و کانه زایی کانسار زرنديه با چند کانسار مس..... ۱۳۷

فصل اول

کلیات

۱-۱- مقدمه

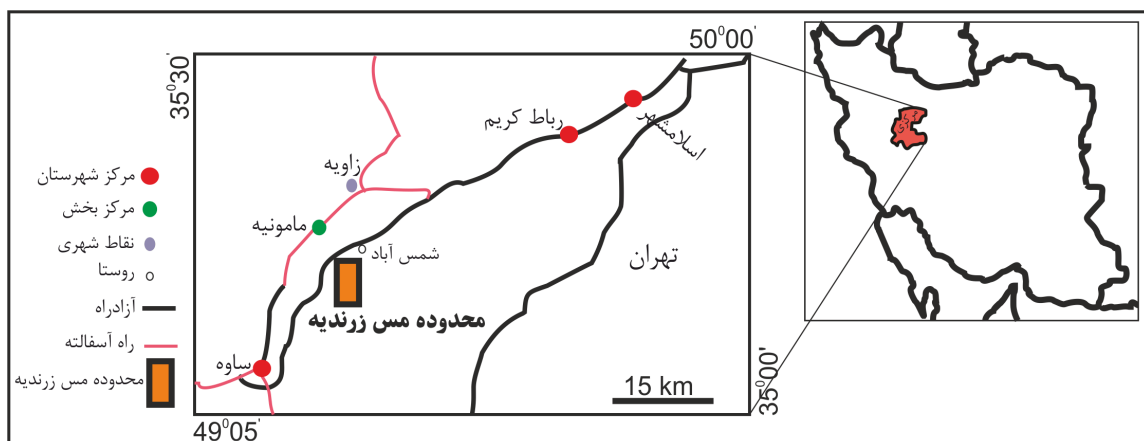
مسائل مربوط به تحولات زمین‌شناسی ایران و پدیده‌های متنوع فعالیت‌های ماگمایی، دگرگونی و کانی‌زایی همواره مورد توجه زمین‌شناسان و دیگر محققین علوم زمین بوده است. تنوع مواد معدنی کشف‌شده در گذشته، شاهدهی بر این مدعی است. بنابراین با توجه به ویژگی‌های فعالیت ماگمایی و زمین‌ساخت ایران، پرداختن به امر اکتشاف مواد معدنی فلزی و غیرفلزی امری لازم است.

مس به دلیل خواص ویژه، از مهم‌ترین فلزات مصرفی در جهان محسوب شده و در مصارف گسترده‌ای از صنایع الکترونیکی، ساخت و ساز و صنایع الکتریکی به کار برده می‌شود. میزان مصرف این فلز به دلیل ارتباط مستقیم آن با فعالیت‌های صنعتی و اقتصادی یکی از شاخص‌های اصلی رشد اقتصادی محسوب می‌گردد. این ارتباط سبب شده تا میزان و روند مصرف این فلز در جهان و کشور با دقت بیشتری دنبال گردد.

مس به عنوان یکی از فلزات استراتژیک و کاربردی در جهان به شمار می‌آید به گونه‌ای که برای برخی از کشورها به عنوان یک منبع مهم و تأثیرگذار برای تأمین درآمدهای ملی شناخته شده و به همین دلیل سرمایه‌گذاری‌های کلانی برای استخراج و فرآوری و همچنین تولید محصول نهایی انجام می‌دهند. از مهم‌ترین ایالات کانه‌زایی، کمربند ماگمایی ارومیه-دختر است که بیشترین ذخایر فلزی ایران از جمله مس بر روی آن قرار دارد. کانی‌سازی مس زرنده در شرق و شمال‌شرق ساوه نیز در بخش میانی این کمربند واقع شده که نیازمند مطالعات زمین‌شناسی و زایشی بر روی اندیس‌های معدنی شناخته شده می‌باشد تا با استفاده از نتایج حاصل از این بررسی‌ها بتوان کلید اکتشافی قوی برای تداوم عملیات اکتشافی بر روی مناطق شناخته شده و نیز مناطق مجهول به دست آورد.

۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه

محدوده‌ی اکتشافی زرنديه با مساحت ۵/۳ کیلومتر مربع از توابع استان مرکزی، در شمال شرق ساوه، به فاصله ۸ کیلومتری جنوب شرق شهر مأمونیه و با مختصات $30^{\circ} 50'$ تا $37^{\circ} 50'$ طول شرقی و $08' 35^{\circ}$ تا $15' 35^{\circ}$ عرض شمالی واقع شده است. راه دسترسی به این محدوده از طریق بزرگراه تهران- ساوه (تا خروجی شهرک صنعتی مأمونیه) و پس از آن با طی مسافتی در حدود ۱ کیلومتر جاده آسفالتی درجه سه (به سمت شرق) و سپس با طی مسافتی در حدود ۱۰۰ متر جاده خاکی قابل دسترسی است. در شکل (۱-۱) جایگاه قرارگیری منطقه و راه‌های دسترسی به آن نشان داده شده است.



شکل ۱-۱. محل قرارگیری محدوده‌ی مورد مطالعه و راه‌های دسترسی به آن.



شکل ۱-۲. موقعیت محدوده مورد مطالعه بر روی تصویر ماهواره‌ای.

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

میانگین دمای سالانه منطقه ۱۸/۲ درجه سانتی گراد بوده است. میزان بارندگی کم و بیشتر بارش بصورت باران است. در تقسیم بندی اقلیمی منطقه مورد مطالعه دارای اقلیم نیمه خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های کمی سرد نام‌گذاری شده است. متوسط رطوبت منطقه ۳۹٪ می‌باشد که ماه‌های دی با میانگین ۵۸٪ مرطوب‌ترین ماه و ماه تیر و مرداد با میانگین ۲۶٪ خشک‌ترین ماه سال می‌باشد. منطقه‌ی مورد مطالعه به لحاظ پوشش گیاهی جزو مراتع استان مرکزی بوده و عمده‌ترین گونه‌های گیاهی آن عبارتند از: درسنه، گون، کاروان‌کش، شیرین‌بیان، ورک، پونه، گل‌مار، کنگر، ریواس، جاجوغ و قاسنی. اگر چه بخش بزرگی از منطقه به ویژه نواحی کوهستانی عریان است، اما کم و بیش در دره‌ها و آبراهه‌ها، پوشش مرتعی ناچیزی به چشم می‌خورد. نمایی از پوشش گیاهی منطقه‌ی مورد مطالعه در شکل (۱-۳) نشان داده شده است.



شکل ۱-۳. نمایی از پوشش گیاهی مرتعی و ضعیف و مورفولوژی محدوده مورد مطالعه.

۱-۴- وضعیت اجتماعی و اقتصادی منطقه

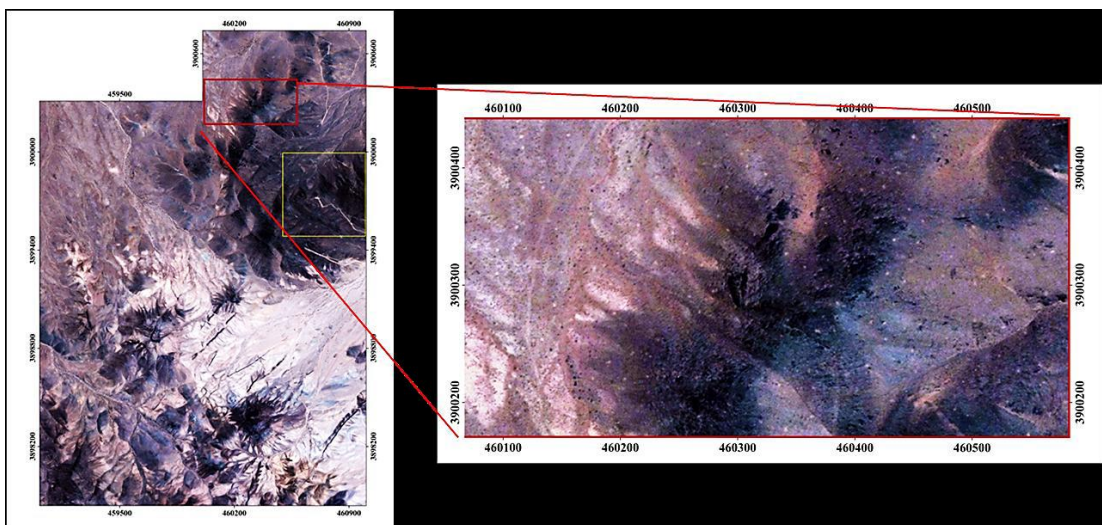
بسیاری از مردم منطقه به کار کشاورزی اشتغال دارند و اقتصاد منطقه بر پایه کشاورزی و دامداری استوار است. سیستم کشاورزی منطقه در سال‌های اخیر حالت سنتی و بصورت نیمه مکانیزه در آمده بطوریکه حدود ۸۰٪ درآمد مردم از راه کشاورزی و ۲۰٪ از راه صنعت تأمین می‌گردد. دامداری بر اساس روش سنتی و پرواری انجام می‌شود که شامل پرورش گاو، گوسفند و طیور می‌باشد که بیشتر نیازهای داخلی مردم این شهر را تأمین می‌کند. صنایع دستی این شهرستان قالی بافی، گلیم بافی، جاجیم بافی و گیوه‌دوزی است. مردم منطقه اکثراً فقیر هستند و در صورت انجام عملیات معدن کاری از لحاظ تأمین کارگر هیچ گونه مشکلی وجود ندارد.

۱-۵- ریخت شناسی منطقه

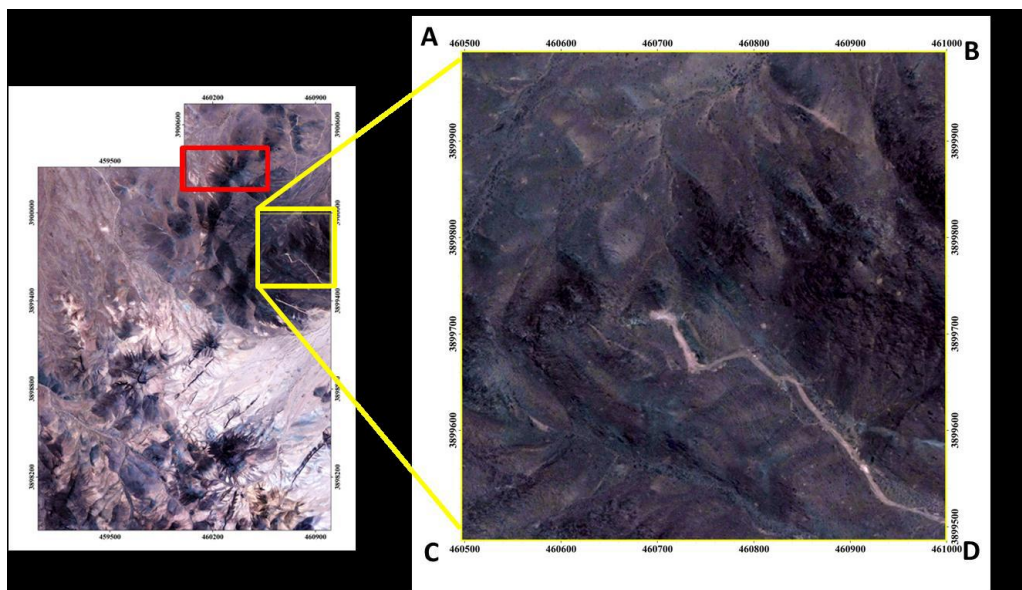
محدوده‌ی مورد مطالعه در منطقه‌ی دشتی تا نیمه کوهستانی قرار گرفته و کوه قابل ذکری در نزدیکی آن وجود ندارد. از دیدگاه ژئومورفولوژیکی و با در نظر داشتن مسائل لیتولوژیکی و تکتونیک می‌توان دو مورفولوژی متفاوت را در منطقه متمایز ساخت. قسمت عمده منطقه از بخش‌های تپه ماهوری تشکیل شده و به جز بخش شمالی، که دارای ارتفاعات نسبتاً بلندی است و تا ارتفاع ۱۴۷۰ متر از سطح دریای

آزاد می‌رسد؛ مابقی محدوده حالت نیمه دشت داشته و دسترسی به تمامی قسمت‌های آن به آسانی امکان‌پذیر است. لیتولوژی منطقه شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی است. عمده‌ی محدوده از سنگ‌های آذرین با جنس آندزیت تا بازالت و داسیت تشکیل شده‌اند و مناطق صخره‌ای را ساخته‌اند. در کنار این ارتفاعات آبراهه‌های جوان زیادی دیده می‌شود که در شکل (۳-۱) قابل مشاهده است.

شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق (۱۳۹۲)، تصاویر ماهواره‌ای از محدوده‌ی اکتشافی زرنديه در دو منطقه ۱ و ۲ تهیه کرده است (شکل ۱-۴ و ۵-۱).



شکل ۱-۴. موقعیت منطقه ی زرنديه (۱) در تصویر ماهواره ای که با رنگ قرمز مشخص شده است.



شکل ۱-۵. موقعیت منطقه ی زرنديه (۲) در تصویر ماهواره ای که با رنگ زرد مشخص شده است.

۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی

در محدوده‌ی مورد مطالعه و مناطق همجوار مطالعات زمین‌شناسی و معدنی متعددی انجام شده است که در زیر به مهمترین آنها اشاره می‌گردد:

- نوگل سادات و همکاران (۱۳۶۳)، نقشه و گزارش زمین‌شناسی ساوه را در مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰ در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و ارائه کرده‌اند، که محدوده مورد مطالعه بخشی از این نقشه می‌باشد. در این محدوده سنگ‌های آندزیتی پیروکسن‌دار و دایک و توده‌های کوچک ریولیت به سن احتمالی اولیگوسن گزارش شده است.

- دلاوری کوشان و همکاران (۱۳۸۴)، در مقاله‌ای در نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران ویژگی‌های ایگنمبریت‌های ترشیری منطقه زرنند (شمال شرق ساوه) را شرح داده است.

- سازمان زمین‌شناسی کشور (۱۳۸۸)، نقشه و گزارش زمین‌شناسی زاویه را در مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ تهیه و ارائه کرده است، که محدوده مورد مطالعه قسمتی از بخش غربی این نقشه می‌باشد. سنگ‌ها و سازندهای موجود در محدوده ورقه زاویه مربوط به زمان سنوزویک بوده و سنگ‌های قدیمی‌تر از آنها در منطقه برونزد ندارند. مجموعه واحدهای سنگی و رسوبی موجود در ناحیه شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی، نهشته‌های مارنی گچ‌دار با میان لایه‌های ماسه سنگ و کنگلومرایی و بالاخره نهشته‌های آبرفتی و غیر آبرفتی (تبخیری) کواترنر می‌باشد.

- سعیدی و غلامی (۱۳۹۰)، گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی-کانی سنگین در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه را در سازمان زمین‌شناسی کشور تهیه و ارائه کرده‌اند. نتایج این گزارش ناهنجاری‌های ژئوشیمیایی مس و برخی از عناصر دیگر را در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد.

- شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق (۱۳۹۲)، اکتشافات معدنی و مقدماتی در مقیاس‌های ۱/۲۰۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰ را انجام داده که در بررسی‌های اخیر محدوده مس زرنديه با حفر ترانشه و گمانه‌های اکتشافی ارزیابی شده است.

- کاظمی و عسگری (۱۳۹۲)، در سی و دومین گردهمایی علوم زمین در مقاله‌ای خصوصیات سیالات درگیر کانسار مس خانکیشی (شهرستان زرنديه - شمال شرق استان مرکزی) را بررسی و در نهایت تیپ اپی‌ترمال را برای این کانسار معرفی کرده‌اند.

- فضلی و همکاران (۱۳۹۳)، در سی و سومین گردهمایی علوم زمین مقاله‌ای تحت عنوان کانه‌زایی مس چینه‌کران در منطقه‌ی نارباغی شرقی در توالی آتشفشانی-رسوبی (شمال شرق ساوه) ارائه و در آن کانه‌زایی را تیپ مانتو معرفی کرده‌اند.

- علی‌صالحی و محمدی (۱۳۹۳)، در هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور در مقاله‌ای به مطالعات ژئوشیمیایی و کانه‌زایی در توده ماگمایی نارباغی پرداختند و جنس غالب این توده را سنگ‌های آندزیتی معرفی کردند. همچنین در بررسی‌های ژئوشیمیایی صورت گرفته نمونه‌ها در محدوده کالک آلکالن، پرآلومین قرار گرفته‌اند.

- حق پرست و همکاران (۱۳۹۳) در سی و سومین گردهمایی علوم زمین مقاله‌ای ارائه کردند و در آن الگوی آماری و آلتراسیونی نمونه‌های معدنی مس کوشک بهرام (زرنديه) بررسی کرده و سنگ مادر بیشتر واحدهای منطقه را نیز سنگ‌های آندزیتی تشکیل داده و بیشترین کانه‌زایی در آلتراسیون‌های سیلیسیک+ آرژیلیک، سیلیسیک و اکسید آهن دیده می‌شود.

- حق پرست و همکاران (۱۳۹۳)، در هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور در مقاله‌ای زمین‌شناسی، پتروگرافی و کانه‌زایی محدوده‌ی معدنی مس کوشک بهرام را بررسی کرده که سنگ‌های ولکانیکی و آتشفشانی- رسوبی بخش عمده‌ی سنگ‌شناسی منطقه را تشکیل می‌دهند و بیشترین گسترش کانی‌زایی در این منطقه در واحدهای آندزیتی به وقوع پیوسته است.

- آهوران و غلامی (۱۳۹۳)، در مقاله‌ای به مطالعه‌ی انکلوزیون‌های سیال کانسار مس نظرآباد (زرنديه) پرداختند و نوع کانسار را اپی ترمال بیان کردند.

- رجب پور و همکاران (۱۳۹۵)، در مقاله‌ای تحت عنوان کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی کانسار مس ولکانیکی کوه پنگ ساوه، بخش میانی پهنه فرورانش ارومیه-دختر ژنز کانسار را تیپ مانتو معرفی کرده‌اند.

۱-۷- تعریف مسئله

این منطقه بخشی از نوار ماگمایی ارومیه-دختر می‌باشد. علیرغم استعداد معدنی نوار ارومیه-دختر برای مس و عناصر همراه تابحال در بخش میانی این نوار کانی‌سازی‌های بزرگی گزارش نشده است و این مسئله انجام تحقیقات زمین‌شناسی و اکتشافی را در این ناحیه توجیه می‌سازد. سازمان زمین‌شناسی کشور جهت پتانسیل‌یابی مواد معدنی در سراسر کشور اکتشافات ژئوشیمیایی سیستماتیک را در اولویت-های اکتشافی در چند دهه گذشته قرار داد. ورقه‌ی ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه در بخش شرقی و شمال شرقی ساوه از جمله ورقه‌هایی است که تحت مطالعات سیستماتیک ژئوشیمیایی قرار گرفته است. نتیجه‌ی این بررسی‌ها سبب معرفی ناهنجاری‌هایی از مس، طلا و سایر عناصر شده است که مس زرنديه یکی از این مناطق ناهنجاری است (سعیدی و غلامی، ۱۳۹۰). شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق بر روی کانسار مس زرنديه برخی از کارهای اکتشافی انجام داده است ولی بر روی ژئوشیمی، کانی‌سازی و نحوه پیدایش مس زرنديه هیچ گونه مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی صورت نگرفته چرا که این محدوده در مراحل اولیه‌ی اکتشاف قرار دارد، بر این اساس مس زرنديه برای موضوع پایان نامه انتخاب شده است.

۱-۸- هدف و روش کار

۱-۸-۱- هدف

هدف از این مطالعه، بررسی کمی و کیفی کانسار و مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت، دگرسانی، میانبارهای سیال، ژئوشیمی و تعیین تیپ کانی‌سازی مس بوده که می‌تواند برای اهداف اکتشافی این تیپ از کانسارها که زمین‌شناسی مشابه دارند، مفید واقع شود.

۱-۸-۲- روش کار

انجام این تحقیق طی چند مرحله به صورت زیر است:

الف) گردآوری اطلاعات و مطالعه منابع:

- تهیه و مطالعه کتاب‌ها و مقاله‌های مطرح در زمینه موضوع پایان‌نامه.

- اطلاعات مربوط به منطقه مورد مطالعه شامل تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی و توپوگرافی و ژئوشیمیایی، عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای منطقه و کلیه گزارش‌ها و مقاله‌های مربوط به منطقه مورد مطالعه و نواحی اطراف آن.

ب) مطالعات صحرایی:

- بازدید مقدماتی به منظور آشنایی با محدوده مورد مطالعه

- نمونه برداری از کانی‌سازی‌ها و سنگ‌های میزبان آنها از رخنمون‌های سطحی، ترانشه‌ها و مغزه‌های حفاری جهت تهیه مقاطع و آنالیزهای شیمیایی.

ج) مطالعات آزمایشگاهی و دفتری:

از نمونه‌های برداشت شده تعداد ۲۸ عدد مقطع نازک، ۷ عدد مقطع نازک- صیقلی، ۲۷ عدد مقطع صیقلی و ۳ نمونه مقطع دوبر صیقلی برای مطالعات سنگ‌شناسی، کانه‌نگاری و سیال درگیر تهیه شد.

همچنین تعداد ۴ نمونه به روش XRD، ۸ نمونه سنگ غیرآلتره به روش فلورسانس اشعه ایکس (XRF)، ۲۸ نمونه کانسنگ نیز برای تجزیه چند عنصری و طلا به ترتیب به روش‌های طیف سنجی پلاسمای جفتیده القایی- نشر نوری (ICP-OES) و آذر محک (Fire Assay) آنالیز گردید.

- تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از همه‌ی روش‌ها.

(د) نتیجه‌گیری و نگارش پایان‌نامه:

نتایج حاصل از مراحل قبلی، با مطالعه کتاب‌های مرجع، مقالات و نیز استفاده از نرم افزارهای کامپیوتری، دسته‌بندی، پردازش و تلفیق گردیده و در نگارش پایان‌نامه و ارائه مقاله مورد استفاده قرار گرفته است.

۹-۱- رده‌بندی کانسارهای مس

کانسارهای مس را می‌توان بر اساس خاستگاه آنها به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. گیلبرت و پارک این کانسارها را بر اساس ویژگی‌های سنگ میزبان و موقعیت تکتونیکی (Guilbert and Park, ۱۹۹۷) بصورت زیر طبقه‌بندی نموده‌اند:

۱. کانسارهای مس پورفیری همراه با توده‌های نفوذی حدواسط تا فلسیک

۲. کانسارهای مس همراه با توده‌های آذرین مافیک

۳. کانسارهای مس رسوبی (استراتیفرم)

۴. کانسارهای مس اسکارنی

۵. کانسارهای مس همراه با ولکانیسم زیردریایی (ماسیوسولفید)

۶. کانسارهای مس همراه با ولکانیسم خشکی

۷. کانسارهای رگه‌ای کردیلرایی

۸. کانسارهای مس گرمابی (اپی‌ترمال)

۹. کانسارهای مس همراه با کربناتیت‌ها

۱-۱۰- خصوصیات و فازهای کانه‌سازی مس در ایران

کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران، وابستگی تنگاتنگی با سیستم ماگمایی جوان‌تر از کرتاسه دارند.

ویژگی‌های کلی این کانسارها عبارتند از:

۱. بیشتر کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران متعلق به ترشیری‌اند.
۲. کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در پیوند با سنگ‌های کرتاسه و یا قدیمی‌تر، بسیار نادرند.
۳. وابستگی مشخص بین کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در ایران و سنگ‌های ماگمایی به ویژه سنگ‌های ولکانیک و نیمه‌عمیق با سن ائوسن تا میوسن، با ترکیبی حدواسط تا اسیدی دیده می‌شود.
۴. تنوع کانی‌سازی و دمای تشکیل کانی‌های مس بسیار گسترده است.
۵. کانی‌سازی در سنگ‌های میزبان به صورت رگه‌ای، رگه‌ای فشرده، افشان و اسکارنی است (خوبی، ۱۳۸۷).

در ایران، آثار و نشانه‌های معدنی مس را از پروتروزویک پسین تا پلیوسن می‌توان ردیابی کرد، اما

بیشتر ذخایر مس در ترشیری و به ویژه الیگومیوسن تشکیل شده‌اند. (قربانی، ۱۳۸۱).

فازهای کانی‌سازی مس ایران به شرح زیر است (قربانی، ۱۳۸۱):

۱-۱۰-۱- پرکامبرین پسین- کامبرین پیشین

در این برهه زمانی، هیچ کانسار مسی شناخته نشده است، ولی چند اثر معدنی (مانند ناحیه یاسوج و شهرکرد) در سنگ‌های کامبرین پیشین دیده شده که از نظر اقتصادی دارای اهمیت نبوده‌اند. اصولاً سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی-آتشفشانی و همچنین سنگ‌های دگرگونی که دارای منشأ آذرین هستند (مانند سنگ‌های ناحیه تکاب، انارک، بافق و ...) فراوانی کمی از مس را نشان می‌دهند.

۱-۱۰-۲- پالئوزویک پسین

همراه با برخی از سنگ‌های دگرگونی پالئوزویک پسین مانند سری تکنار، که منشأ آذرین یا آذرآواری دارند، آثار و شواهدی از مس شناخته شده است (کانسار سولفید توده ای تکنار). کانسار سرب و روی و مس چاه گز نیز متعلق به این زمان است.

۱-۱۰-۳- کرتاسه-پالئوسن

همراه با مجموعه افیولیتی کرتاسه-پالئوسن، شواهدی از ذخایر سولفید توده‌ای در ایران شناخته شده است. نمونه‌وار می‌توان به نشانه‌های معدنی مس در ناحیه حاجی آباد بندرعباس، و خوی یا نشانه‌های معدنی مس در جنوب جازموریان را اشاره کرد.

۱-۱۰-۴- ترشیاری

بیشتر ذخایر مس ایران در ترشیاری تشکیل شده‌اند. این ذخایر وابستگی تنگاتنگی با سنگ‌های ماگمایی ترشیاری دارند. فازهای ماگمایی و کانی سازی مهم ترشیاری عبارتند از:

الف) ائوسن میانی:

در این فاز، بیشتر سنگ‌های آتشفشانی مطرح هستند و همان گونه که گفته شد، این سنگ‌ها معمولاً دارای زمینه بالایی از مس هستند و از سوئی، تعدادی از کانسارها و نشانه‌های معدنی مس در آنجا جای دارند.

ب) ائوسن پسین-الیگوسن پیشین:

بیشتر توده‌های نفوذی، گرانیتی، گرانودیوریتی هستند و بیشتر تشکیل ذخایر مس رگه‌ای را داده‌اند.

ج) الیگوسن پسین-میوسن پیشین:

دارای سنگ‌های نفوذی و آتشفشانی است. اوج دوباره سنگ‌های آتشفشانی پس از ائوسن میانی، در این زمان بوده و پاره‌ای از ذخایر مس پورفیری و رگه‌ای، در این دوره زمانی تشکیل شده است.

(د) میوسن پسین- پلیوسن:

بیشتر نفوذی‌های کوچک کم ژرفا می‌باشند وابستگی ذخایر مس پورفیری با این توده‌های نفوذی کم ژرفا، به درستی شناخته نشده است، اما تصور می‌شود که بیشتر ذخایر مس پورفیری به این توده‌ها وابسته باشد.

فصل دوم

زمین‌شناسی ناحیه‌ای و

محدوده معدنی

۲-۱- مقدمه

بر اساس عقیده برخی محققین چون درویش‌زاده (۱۳۷۰) و اشتوکلین (۱۹۶۸)، این ناحیه جزئی از نوار ماگماتیسم ارومیه- دختر می‌باشد. همچنین بخش کوچکی از ورقه‌ی زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه (نوگل سادات و همکاران، ۱۳۶۳) و ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸) را به خود اختصاص می‌دهد. با توجه به قرارگیری محدوده‌ی مورد مطالعه در این کمربند، در ابتدا به شرح مختصری از خصوصیات زمین‌شناسی و ماگماتیسم این کمربند پرداخته می‌شود و در ادامه به زمین‌شناسی ناحیه‌ای، منطقه‌ای و مطالعه‌ی دقیق‌تر واحدهای زمین‌شناسی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

۲-۲- موقعیت تکتونیکی و ویژگی‌های عمومی کمربند ارومیه- دختر

کمربند کوهزایی زاگرس از چهار پهنه تکتونیکی (Alavi, 1994). تشکیل شده و روند عمومی آنها شمال باختری- جنوب خاوری است (شکل ۱-۲). این چهار پهنه به ترتیب از شمال خاوری به سمت جنوب باختری عبارتند از:

۱. قوس ماگمایی ارومیه- دختر.

۲. پهنه سنندج- سیرجان.

۳. کمربند چین‌خورده- تراستی زاگرس.

۴. حوضه جبهه‌ای بین‌النهرین- خلیج فارس.

نوار ماگمایی ارومیه- دختر از یک سری گسترده ستبر از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های وابسته به آن تشکیل شده که از سهند تا بزمان کشیده شده است. این نوار آتشفشانی منحصر به خاک ایران نیست بلکه از صربستان آغاز شده و تا پاکستان ادامه می‌یابد. این نوار از دیدگاه زمین‌شناسی عمومی (دست کم در خاک ایران) دارای ویژگی‌های زیر می‌باشد:

۱) روند کلی آن شمال باختری-جنوب خاوری است.

۲) از ردیف‌های آتشفشانی و آتشفشانی-رسوبی تشکیل شده که ردیف‌های آتشفشانی به صورت انواع گدازه‌ها و انواع آوری‌ها با ترکیبی از بازالت تا ریولیت است و ردیف‌های رسوبی با ردیف‌های آتشفشانی در تناوب هستند و حجم عظیم آنها را آواری‌ها تشکیل می‌دهد.

۳) توده‌های نفوذی بسیاری با ترکیب گابرو تا گرانیت با طیف سنی پالئوسن تا پلیوسن، سنگ‌های قدیمی‌تر این کمربند را قطع می‌کنند.

۴) در قسمت جنوبی آن پی‌سنگ قدیمی (پرکامبرین-کامبرین) کمتر دیده می‌شود و در پایانه شمالی آن پی‌سنگ قدیمی برونزد بیشتری دارد.

۵) در طول ترشیاری شدت آتشفشانی یکسان نبوده و در زمان‌هایی مانند ائوسن میانی، ائوسن بالایی-الیگوسن پایینی، الیگوسن بالایی-میوسن پایینی و میوپلیوسن، فعالیت شدیدی داشته است.

۶) سنگ‌های نفوذی زون ارومیه-دختر، به گونه‌ای مشخص، ترکیبی از دیوریت تا گرانیت و سنگ‌های آتشفشانی آن ترکیبی از بازالت تا ریولیت دارند. سن این سنگ‌ها از ائوسن تا پلیوسن متغیر است و گاه به کواترنر هم می‌رسد. در مورد خاستگاه این سنگ‌ها، اتفاق نظر وجود ندارد. گروهی آنها را کمان ماگمایی می‌دانند و برخی نیز آنها را حاصل کافت دانسته و دسته‌ای نیز آنها را کمان جزیره‌ای می‌پندارند.

در مورد فعالیت آتشفشانی - پلوتونیک ارومیه-دختر می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

الف) در این نوار، نظم و ترتیبی خاص در محیط‌های فرورانش و مناطق کافتی دیده نمی‌شود. به عبارتی، سن گدازه‌ها و در جهت شمال خاور باید جوان‌تر شده و ترکیب آنها از کالک آلکالن تا انواع شوشونیتی

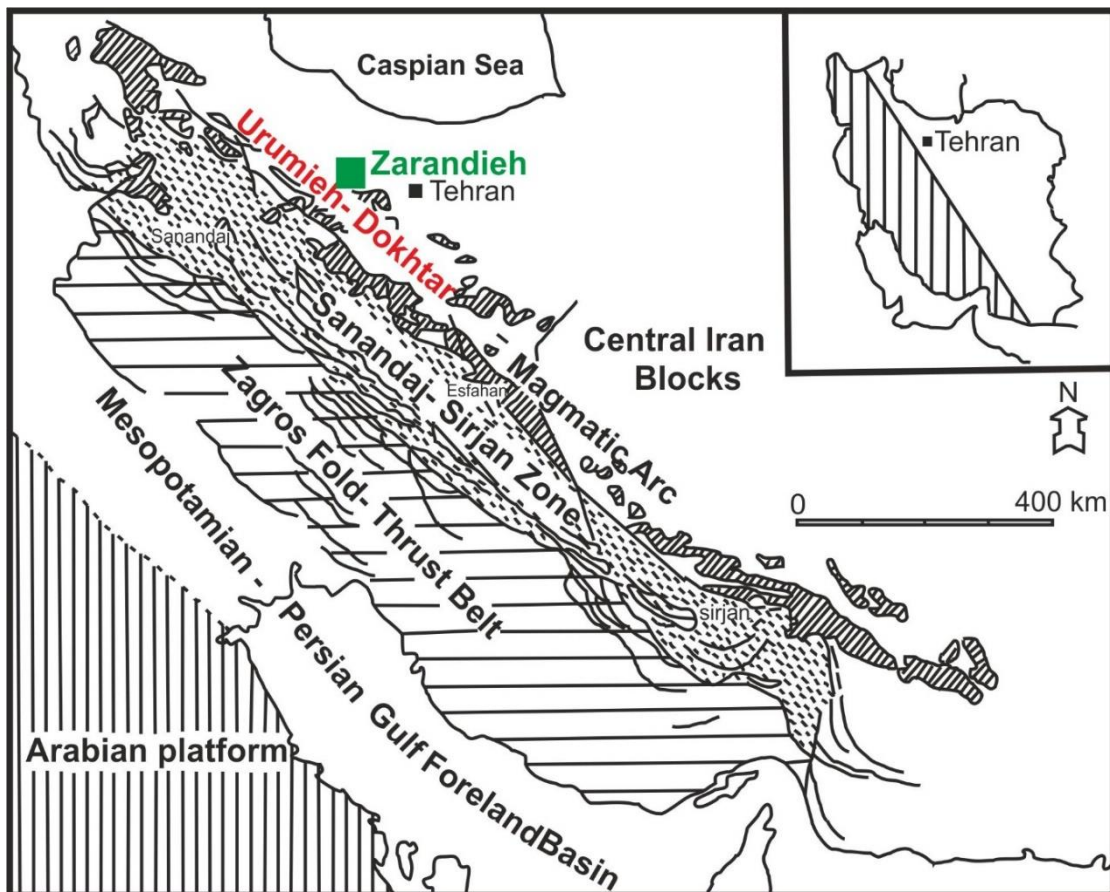
تغییر کند که در عمل چنین نیست و در مدل کافتی نیز با گذشت زمان باید گرایش محسوس از آلکانل به تولیت داشته باشد که بررسی‌های انجام شده تا کنون، از این اندیشه حمایت نمی‌کند.

ب) بسته شدن نوتتیس و به هم رسیدن قاره ایران و عربستان، در کرتاسه پسین انجام شده و غیرمعقول است که فعالیت‌های فاز پیرنه و جوان‌تر را که حدود ۴۰ تا ۶۰ میلیون سال بعد صورت گرفته‌اند، به فرورانش فعال پوسته اقیانوسی نئوتتیس نسبت داد.

پ) با توجه به خویشاوندی ترکیبی و سنی نوار ماگمایی ائوسن-الیگوسن البرز باختری-آذربایجان و ارومیه-دختر و واقع شدن هر دو نوار بر روی پوسته قاره‌ای، انتساب هر کدام از این نوارها به کمان جزیره‌ای مورد سوال است.

ت) به نظر می‌رسد پس از پایان فرورانش نئوتتیس و در برخورد صفحه‌های ایران و عربستان در کرتاسه بالایی و پس از آن قطع ارتباط سنگ‌کره اقیانوسی فرورونده (نئوتتیس)، پدیده برخاست در حاشیه قاره ایران و ایران مرکزی و البرز رخ داده است و حرکات پیرنه در ابتدا از نوع کششی و در ائوسن پسین-الیگوسن، از نوع فشارشی بوده است. این ویژگی باعث خروج گدازه‌های بازی، حدواسط و اسیدی و توف‌های وابسته در امتداد زون‌های کششی شده و با توسعه حرکات فشارشی، خروج گدازه‌ها به زحمت انجام شده و بر اهمیت پدیده‌های آلاشی، هضم و اختلاف ماگمایی در حرکات پایانی پیرنه افزوده شده است. این امر باعث شده که گرایش به سمت ترکیب‌های اسیدی‌تر صورت گرفته و جایگزینی توده‌های نفوذی ترکیب‌های فاز پیرنه که با سنگ‌های آتشفشانی هم منشأ بوده‌اند، صورت پذیرد.

ه) در این صورت، باید نوار مذکور را یک نوار ماگمایی پس برخوردی در نظر گرفته که ویژگی‌های مناطق کافتی و فرورانش را به صورت توأم بازتاب می‌سازد. (قربانی ۱۳۸۱).

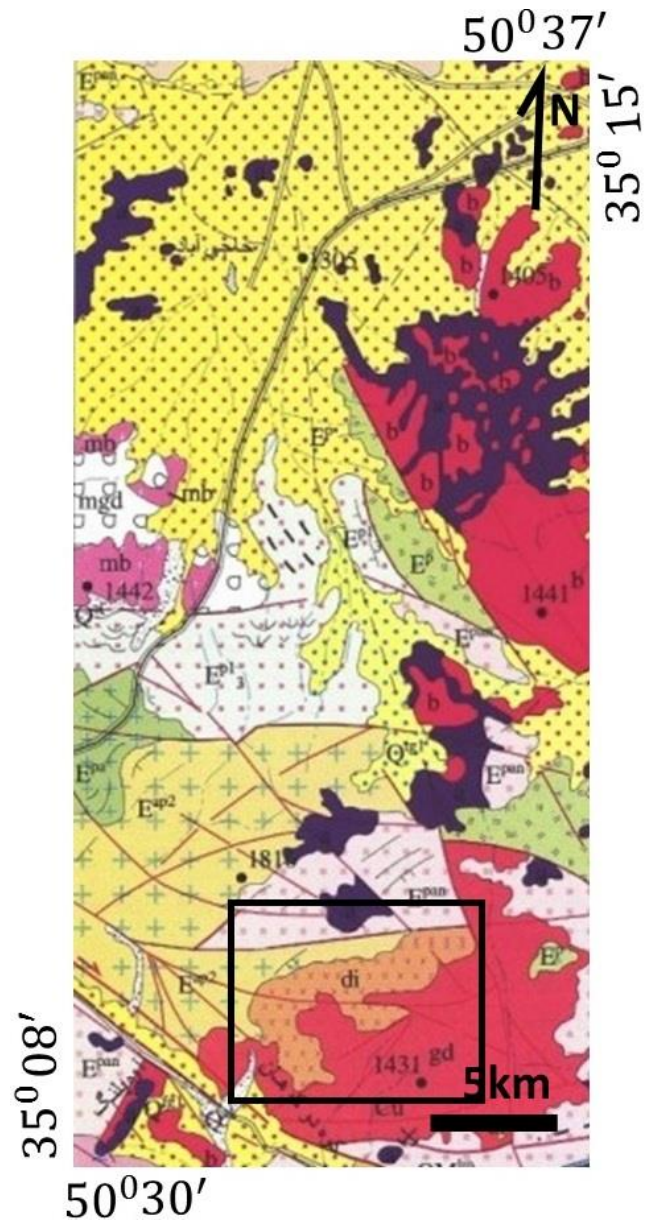


شکل ۱-۲. جایگاه زمین‌ساختی کمربند ارومیه- دختر در کوهزاد زاگرس و موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی آن (Mohajjel, 1997).

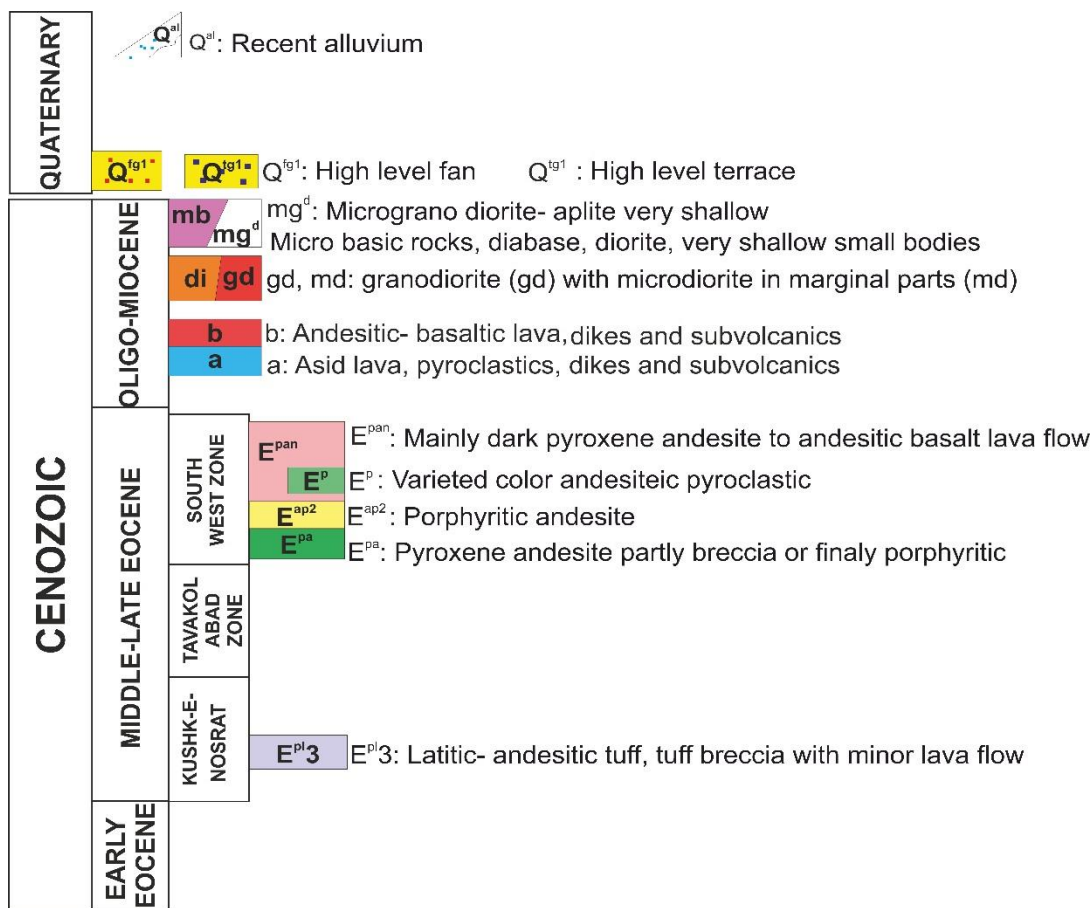
۲-۳- زمین‌شناسی ناحیه‌ای در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

۲-۳-۱- چینه‌شناسی

محدوده مورد مطالعه بخشی از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸) (شکل ۲-۲) می‌باشد. براین اساس به شرح واحدهای چینه‌شناسی رخنمون یافته در نقشه براساس ستون چینه‌شناسی (شکل ۲-۳) می‌پردازیم:



شکل ۲-۲. نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه برگرفته از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸).



شکل ۲-۳. ستون چینه شناسی ناحیه‌ای از واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه زرنندیه براساس نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه (سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۸۸).

الف) سنگ‌های آتشفشانی ائوسن

واحد لاتیتی - آندزیتی (E^{pl3}): این واحد به طرف شمال به وسیله تناوبی از گدازه‌های لاتیتی تا آندزیتی همراه با توف‌های آندزیتی با دانه‌بندی متغیر از ریز تا لاپیلی پوشیده می‌شوند. رنگ عمومی این واحد در روی زمین خاکستری تیره تا سبز است. درصد گدازه در این واحد به مراتب بیشتر از سنگ‌های آذرآواری است.

واحد پیروکسن - آندزیت (E^{pa}): در جنوب غربی گستره ورقه زاویه و در امتداد آزاد راه تهران- ساوه این واحد که شامل انواع توف‌های بلورین، سنگی و برشی با ترکیب اسید تا متوسط است، رخنمون دارد. این واحد در امتداد آزاد راه با یک زیر واحد از نوع برش گدازه‌ای که از نوع آندزیت پورفیری است همراه می‌باشد.

واحد آندزیت پورفیری (E^{ap2}): این واحد از ضخامت زیادی از آندزیت پورفیری تشکیل شده است. گدازه‌ای ضخیم از آندزیت بوسیله لایه‌های نازکی از توف‌های آندزیتی به رنگ ارغوانی تیره تا قرمز از یکدیگر جدا می‌شوند. این واحد بیشتر در شمال منطقه گسل تخت چمن یافت می‌شود و در جنوب منطقه چندان رخنمون ندارد.

واحد توف آندزیتی (E^P): این واحد در کوه‌های خیرورمز و محک لی و شرق عباس آباد نار بلاغی دیده می‌شوند که ارتباط تنگاتنگ با واحدهای آندزیتی دارد. این واحد از نوع توف‌های آندزیتی با دانه بندی متفاوت تشکیل شده است.

واحد پیروکسن آندزیت (E^{pan}): در جنوب غربی گستره ورقه زاویه، سنگ‌های آتشفشانی با ترکیب متوسط تا بازیک چیره هستند. در این مجموعه انواع سنگ‌های تیره آندزیتی تا آندزیت بازالتی یا به صورت گدازه و یا در قالب انواع توف گسترش دارند که بوسیله دایک‌های اسیدی و آندزیتی و آندزیت بازالتی قطع می‌شوند.

ب) سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی جوان تر از ائوسن

مجموعه سنگ‌های اسیدی (a) و آندزیت- بازالت (b): در بسیاری از نقاط جنوب غربی ورقه سنگ‌های ائوسن بوسیله سنگ‌های اسید و بازیک پوشیده یا قطع می‌شوند که در حالت عادی سنگ‌های اسید سفید به صورت افقی در زیر سنگ‌های تیره بازیک قرار می‌گیرند. سن این سنگ‌ها از ائوسن جوان تر می‌باشد. بهترین نمونه‌های تناوب این دو نوع سنگ را می‌توان در کوه دواز در جنوب غرب تخت چمن دید. این مجموعه به صورت دایک‌های فراوان از نوع آندزیت- بازالتی ظاهر می‌گردند.

سنگ‌های آذرین درونی (gd) و (mdi): این نوع سنگ‌ها در گستره این ورقه چندان رخنمون ندارند و بیشترین رخنمون‌های آن به صورت توده‌هایی در شرق تخت چمن برونزد دارد. رخنمون دیگر آن در جنوب کوه زیره است که به نظر می‌رسد در امتداد گسل جهت یافته باشد. این توده تخت

چمن در حاشیه به میکرودیوریت ریز بافت تبدیل می‌شود. ترکیب سنگ‌شناسی این توده‌ها بین کوارتز دیوریت - گرانودیوریت تا تونالیت متغیر است.

توده‌های کوچک و نیمه عمیق اسیدی و بازیک (md), (mg^d): بهترین نمونه از این نوع سنگ های اسید و بازیک که به صورت توده‌های بسیار کوچک و کم عمق می‌باشند را می‌توان در جنوب حاجی آباد و در غرب آزادراه تهران - ساوه دید. ریخت‌شناسی تپه ماهوری، پراکندگی غیرمنظم آن‌ها در یکدیگر، نبود لایه‌بندی و ویژگی‌های میکروسکوپی آن‌ها شواهدی هستند که این سنگ‌ها آتشفشانی نبوده، بلکه توده‌های کوچک و کم عمق هستند.

ج) کواترنری

بخش قابل توجهی از محدوده زیر پوشش رسوبات آبرفتی قرار دارد. علاوه بر این به دلیل زود فرسا بودن نهشته‌هایی همچون مارن و ماسه، خاک‌های برجا نیز بخش قابل توجهی از رخنمون‌های نئوژن را در خود مدفون ساخته‌اند و این در حالیست که در گوشه جنوب شرقی ورقه و پیرامون دریاچه حوض سلطان می‌توان نهشته‌های تبخیری را مشاهده کرد. همگی این نهشته‌های به کواترنری پسین تعلق دارند و شامل واحدهای زیر می‌باشند:

بادزن‌های آبرفتی کهن (Q^{fg1}): بادزن‌های آبرفتی سطح تراز بالا در مرز کوهستان با دشت‌ها در بالاترین سطح شکل گرفته‌اند و کج‌شدگی آن بدلیل شرایط توپوگرافی است.

بادزن‌های آبرفتی سطح تراز پایین (Q^{fg1}): بیشترین واحد آبرفتی در سطح منطقه مورد مطالعه، نهشته‌های بادزن‌های آبرفتی سطح تراز پایین می‌باشد. مهم‌ترین ویژگی‌های دیداری آن شکل بادزنی است.

آبرفت‌های رودخانه ای (Q^{al}): در ورقه زاویه جوان‌ترین نهشته‌های آبرفتی در بستر رودخانه‌ها و سیلاب گذرها تشکیل شده و یادر حال تشکیل هستند.

۲-۳-۲- زمین‌شناسی ساختمانی

در این مبحث به چند ساختار زمین به صورت تاقدیس و ناودیس و گسل‌های موجود در منطقه اشاره می‌شود. مطالبی که در این بخش آورده شده از کتاب زمین‌شناسی ایران (آقاباتی، ۱۳۸۳) و گزارش نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه و ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه استفاده شده است:

۲-۳-۲-۱- چین‌ها

۱) **تاقدیس کوشک نصرت:** این تاقدیس نامتقارن ساختار بسیار پیچیده‌ای دارد که گسل‌های متعددی از انواع مختلف یال‌های آن را جابجا و قطع نموده است. چنین به نظر می‌رسد که در بخش شرقی آسه این تاقدیس جنوب شرقی- شمال غربی باشد که در قسمت شمالی تغییر جهت داده و شرقی- غربی می‌شود. احتمالاً بخش عمده‌ای از واحدهای سنگی تشکیل‌دهنده پهلو جنوبی این تاقدیس در اثر گسلش و یا پوشیده شدن بوسیله رسوبات جوان رخنمون ندارند. در این ساختمان واحدهایی از سنگ‌های آئوسن رخنمون دارند.

۲) **تاقدیس توکل آباد:** تاقدیس توکل آباد در شمال غربی ورقه زاویه واقع شده است. این تاقدیس دارای روند شمال غربی- جنوب شرقی است که بوسیله گسل‌های متعددی با همان روند بریده شده است. یکی از مشخصات ساختمانی این تاقدیس ظهور چین‌های بسیار باریک و برگشته‌ای است که در آن مجموعه سنگ‌های آندزیتی پورفیری و آندزیت بازالتی بصورت تاقدیس و ناودیس چین خورده- اند. سنگ‌های موجود در این تاقدیس دارای ترکیبی متغیر بین ریولیت تا بازالیت بوده و از نظر ژئوشیمی تا حدودی آکالن می‌باشند.

۳) **ناودیس پیک:** ناودیس پیک تقریباً در بخش میانی ورقه زاویه و در شرق روستای پیک قرار گرفته است. یال‌های این ناودیس از واحدهای سنگی قرمز بالای تشکیل شده و هسته آن زیر پوشش نهشته‌های کواترنر قرار گرفته است.

۴) **تاقدیس پرندک:** این تاقدیس در مجاورت بلافصل و شمال ناودیس پیک قرار دارد و روند آن که در سازند قرمز بالایی تشکیل شده تقریباً غربی- شرقی است و دارای خمشی به سمت شمال می‌باشد.

۲-۳-۲- گسل‌ها

۱) **گسل راندگی کوه قرمز شمالی:** این گسل در گستره ورقه زاویه به طول ۲۵ کیلومتر قابل پیگیری است.

۲) **گسل راندگی کوه قرمز جنوبی:** این گسل به موازات گسل کوه قرمز شمالی و دارای ویژگی‌هایی شبیه آن می‌باشد. این گسل در گستره ورقه زاویه به طول ۱۵ کیلومتر رخنمون دارد.

۳) **گسل پرندک:** این گسل دارای روند غربی- شرقی است که طول آن در حدود ۲۰ کیلومتر است.

۴) **گسل‌های راندگی اسماعیل آباد:** این گسل‌ها در واقع دسته‌ای از گسل‌های راندگی موازی است که دارای روند شرقی- غربی تا شمال غربی- جنوب شرقی می‌باشند.

۵) **گسل رنگ زرد:** گسل رنگ زرد یکی از گسل‌های اصلی است که دارای روند غربی- شرقی است که به سمت شرق به تدریج به شمال غربی- جنوب شرقی تغییر جهت داده است. این گسل به طول ۲۰ کیلومتر رخنمون دارد.

۶) **گسل عباس آباد:** بخشی از این گسل موازی گسل رنگ زرد می‌باشد و ساز و کاری تقریباً مشابه آن را دارد.

۷) **گسل شمالی- جنوبی کوشک نصرت:** این گسل در شرق روستای کوشک نصرت از جنوب به شمال این منطقه آتشفشانی کشیده شده و جابجایی‌هایی نیز در آن ایجاد نموده است.

۲-۳-۳- زمین‌شناسی اقتصادی

در گستره ورقه زاویه سنگ‌های آتشفشانی در ائوسن، ائوسن-الیگوسن و میوسن گسترش فراوان دارند. به این جهت چندین نشانه‌ی معدنی از فلزی و غیر فلزی در آن دیده شده که به اختصار در زیر آمده است (قربانی، ۱۳۸۱):

۲-۳-۳-۱- کانسارهای فلزی

کانسارهای فلزی در این ورقه شامل منگنز، مس، آهن هستند که محل جغرافیایی آنها به شرح زیر است:

(۱) **منگنز:** معدن منگنز رباط کریم که در سنگ‌های آتشفشانی واحد پیروکسن آندزیتی- بازالتی ائوسن میانی- پسین تشکیل شده است و ترکیب شیمیایی این کانی بیشتر پیرولوویت است.

(۲) **مس:** کانسارهای مس در این ورقه دارای نشانه‌هایی به شرح زیر است:

الف) کانسارهای مس تخت چمن، بیشتر ترکیب آن مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت است.

ب) کانسارهای مس زالی بولاغی در کوه پنک با ترکیب مالاکیت و آزوریت.

ج) کانسارهای مس نارباغی در شمال و شمال غرب روستای عباس آباد.

(۳) **آهن:** کانسارهای آهن شناخته شده در این ورقه در واحدهای آتشفشانی پیروکسن آندزیتی- بازالتی ائوسن میانی- پسین تشکیل شده و از نوع هماتیت می‌باشند و به همین جهت به نام معدن ضد زنگ شناخته شده‌اند. این معدن فعال بوده و دارای استخراج سالانه ۱۵۰ هزار تن در سال می‌باشد.

۲-۳-۳-۲- کانسارهای غیرفلزی

کانسارهای غیرفلزی در ورقه زاویه شامل معدن کائولن و رس‌های نسوز، سولفات سدیم و سنگ‌های ساختمانی است که در نقاط زیر وجود دارند.

(۱) **سولفات سدیم:** بخشی از دریاچه نمک حوض سلطان که در محدوده این ورقه قرار گرفته محل استخراج نمک‌های مختلف از جمله سولفات سدیم است.

(۲) **کائولن و رس‌های نسوز:** در ورقه زاویه به دلیل حاکمیت سنگ‌های ولکانیکی و توف‌های اسیدی نشانه‌های معدنی چندی از کائولن و رس‌های نسوز وجود دارند که عبارتند از:

الف) کانسار کائولن و رس‌های نسوز کوشک نصرت با ذخیره تقریبی ۲۵۰ هزار تن در شمال روستای کوشک نصرت.

ب) کانسار کائولن ایلیتی پرنده که در حدود ۱۰ کیلومتری شمال رحیم آباد واقع شده است.

ج) کانسار کائولن توکل آباد.

د) کانسار کائولن شیرین کوه.

۳) **معدن سنگ ساختمانی:** در محدوده ورقه زاویه به دلیل وجود گسترش انواع سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی تعدادی معدن فعال و غیر فعال سنگ ساختمانی وجود دارند که از آن جمله می‌توان به معدن سنگ نظرآباد در ۱۵ کیلومتری شمال کوشک نصرت و معدن سنگ شمال رحیم آباد اشاره کرد.

۲-۴- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۲-۴-۱- مقدمه

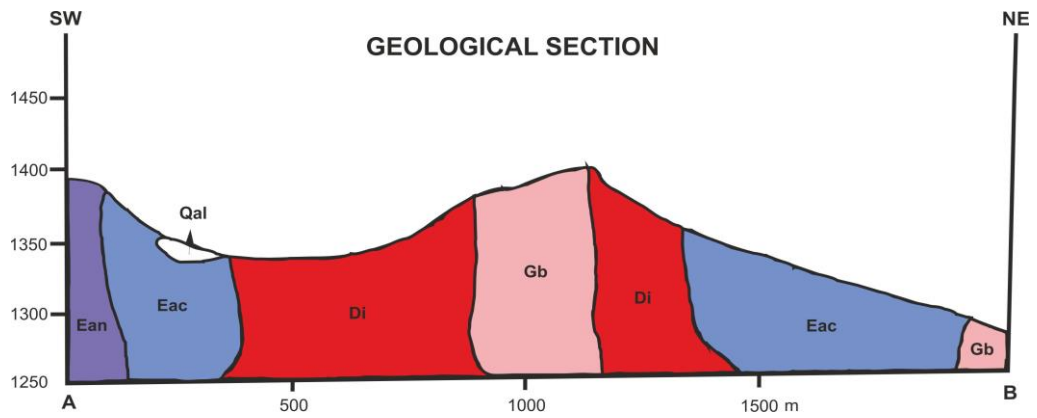
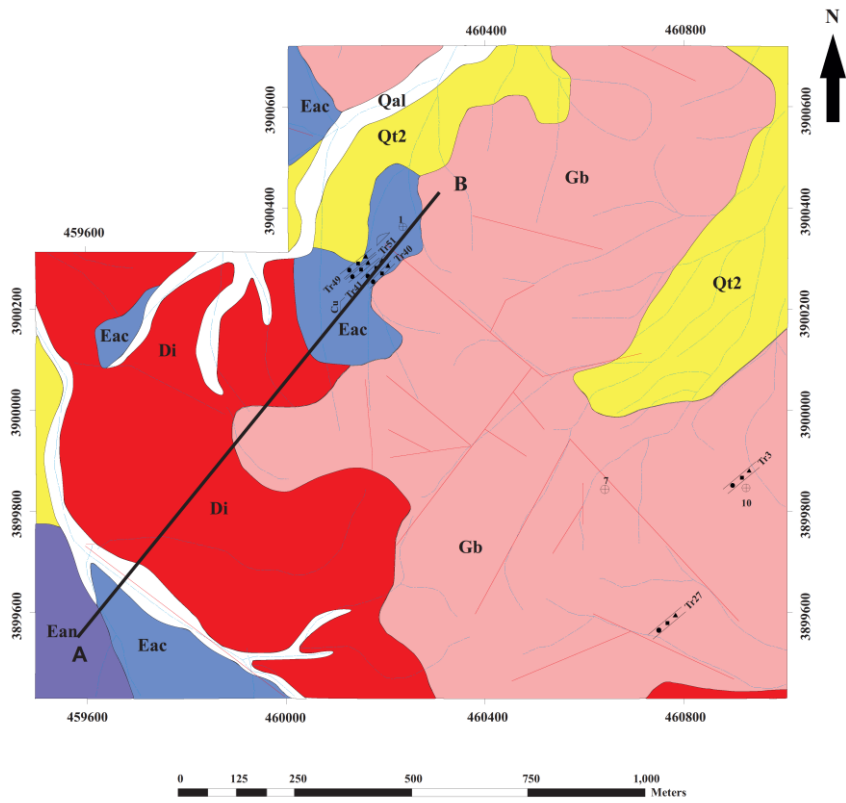
محدوده معدنی زرنديه از نظر زمین‌ساختی در بخش میانی نوار ماگمایی ارومیه-دختر و بخش کوچکی از ورقه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ زاویه را پوشش می‌دهد. براساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی زاویه در این محدوده سنگ‌ها و سازندهای موجود در محدوده ورقه زاویه مربوط به زمان سنوزویک بوده و سنگ‌های قدیمی‌تر از آنها در منطقه برونزد ندارند. مجموعه واحدهای سنگی و رسوبی موجود در ناحیه شامل سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی، نهشته‌های مارنی گچ‌دار با میان لایه‌های ماسه سنگ و کنگلومرای و بالاخره نهشته‌های آبرفتی و غیر آبرفتی (تبخیری) کواترنر می‌باشد.

در چارچوب انجام عملیات صحرایی تحقیق حاضر، برداشت‌های زمین‌شناسی- معدنی برای تهیه نقشه زمین‌شناسی در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ از محدوده معدنی مس زرنديه اقدام گردیده است. نقشه‌های مبنا برای برداشت‌های زمین‌شناسی صحرایی، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ و عکس‌های هوایی ۱:۲۰۰۰۰ بوده است.

۲-۴-۲- واحدهای سنگی محدوده مورد مطالعه

بر پایه‌ی نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ تهیه شده (شکل ۲-۴) ، واحدهای سنگی موجود در محدوده

زرنديه به شرح زیر می‌باشد:




LEGEND

QUATERNARY	Qal	Recent alluvium
	Qt2	Low level terrace
PALEOGENE	Ean	Andesite- trachyandesite. Gray and dark gray porphyritic and andesite- trachyandesite lava composed of mainly plagioclase and amphibole with calcite, chlorite and sericite as alteration minerals.
	Ean	Acidic rock (rhyodacite, rhyolite). Light gray porphyritic rhyodacite- thylolite composed of mainly plagioclase and quartz with minor calcite, iron oxide and sericite as alteration minerals.











INTRUSIVE ROCKS

Di	Diorite, monzodiorite. Green, dark gray granular to porphyritic diorite and monzodiorite composed of mainly plagioclase, amphibole, epidote, calcite and chlorite. Propylitization is main alteration in this rocks.	POST EOCENE (OLIGO-MIOCENE?)
Gb	Gabbro and diorite gabbro. Dark and greenish gray gabbro and diorite gabbro with granular, ophitic, sub-ophitic, poiclitic and intersearal texture. Plagioclase and pyroxene are main minerals, chlorite, epidote, calcite, iron- oxide and sericite are alteration minerals.	

SUB VOLCANIC ROCKS

 **Dike rhyodacitic (MIOCENE?)**

SYMBOLS

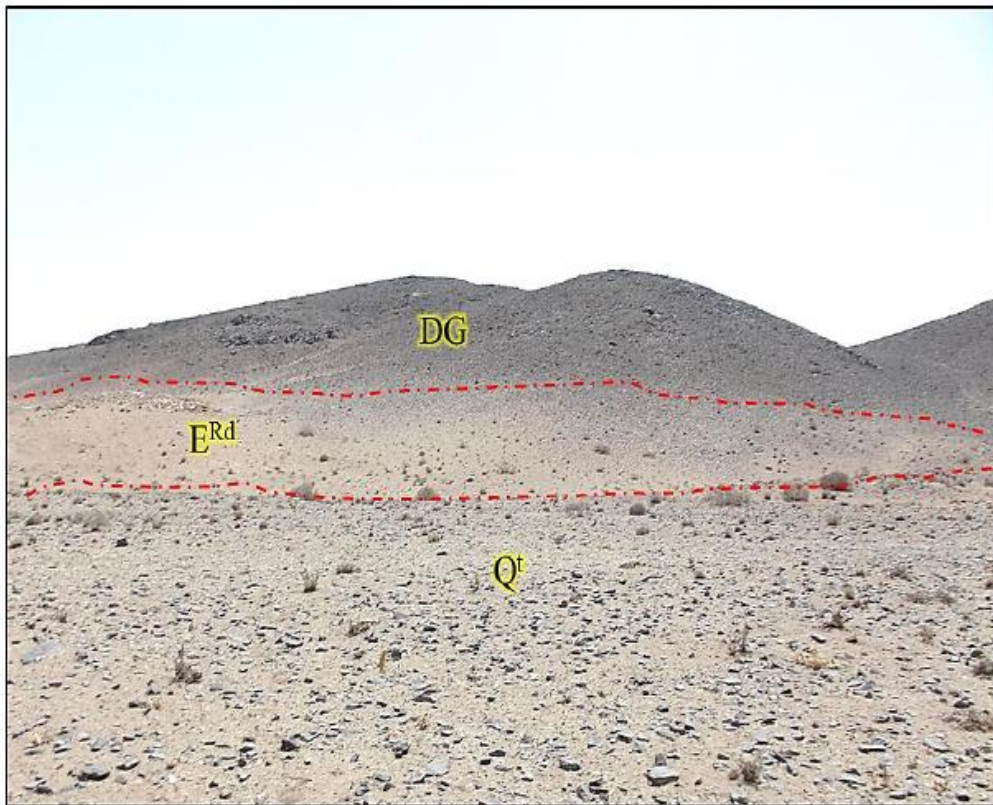
	Geological boundaries		Ore indication
	Fault		Boreholes
	Drainage	SAMPLE LOCATION	
	Geological cross section		Mineralography (Polished section)
	Ore indication		Petrography (Thin section)
			Lithogeochemical

نقشه ۲-۴. نقشه و نیمرخ زمین شناسی محدوده معدنی زرنديه در مقیاس ۱:۲۰۰۰۰ (برگرفته از شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، ۱۳۹۲) با تغییرات.

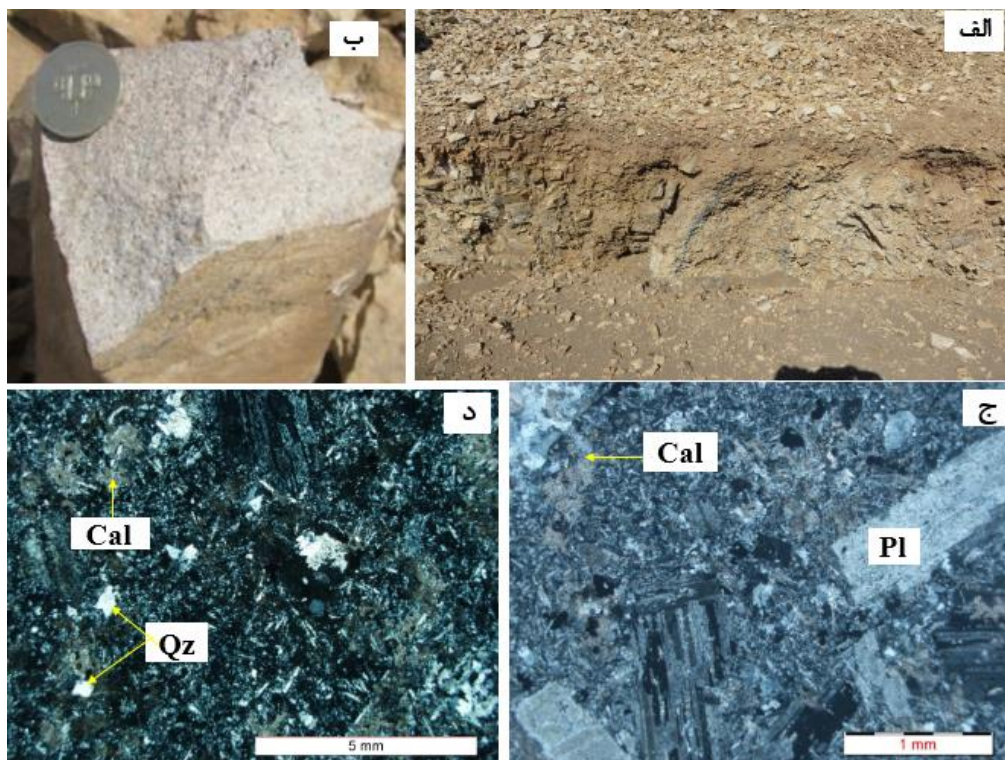
E^{ac} - ۱ - ۲ - ۴ - ۲: سنگ‌های آذرین فلسیک ریوداسیت و ریولیت:

این واحد گسترده‌ترین واحد سنگی است که عموماً نقاط پست و کم ارتفاع و تپه ماهوری را تشکیل می‌دهد. و معمولاً توسط پوشش نازکی از رسوبات آبرفتی پوشیده شده‌اند. رنگ سفید و خاکستری روشن این واحد در صحرا به خوبی آن را از دیگر واحدهای سنگ شناختی متمایز می‌سازد (شکل ۲-۲).

۵). این سنگ‌ها در واقع محصول آغازین فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن در منطقه‌ی مورد مطالعه می‌باشند. کانی‌های تشکیل‌دهنده‌ی این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به دلیل بافت دانه‌ریز آن به سختی قابل تشخیص است (شکل ۲-۶-ب) و در مطالعات میکروسکوپی کانی‌های اصلی سنگ شامل بلورهای پلاژیوکلاز، اورتوکلاز و کوارتز می‌باشد، سنگ‌های فوق حاوی ۲۱ تا ۶۱ درصد کوارتز هستند. بافت غالب در این سنگ‌ها پورفیری است به طوری که بلورهای درشت پلاژیوکلاز و کوارتز (بویژه پلاژیوکلاز) در یک زمینه‌ی دانه ریز دربرگرفته شده‌اند. حفرات سنگ با کلسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن پر شده‌اند. (شکل ۲-۶-ج و د). کانی‌های فرومنیزین اغلب به کانی‌های لیمونیت و اکسیدهای آهن تبدیل شده‌اند. این واحد سنگی در مکان‌هایی از محدوده معدنی زرننده میزبان رگه و رگچه‌های سیلیسی مس‌دار می‌باشد.



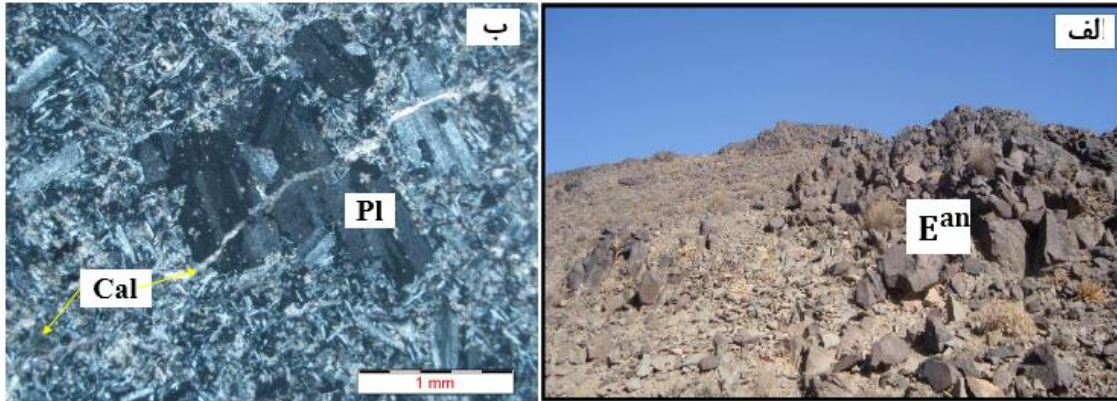
شکل ۲-۵. نمایی از توالی قرار گیری واحدهای زمین‌شناسی دیوریت گابرو (DG)، ریوداسیت (E^{Rd}) و کواترنری (Q^t) بادید به سمت جنوب منطقه.



شکل ۲-۶. الف) نمایی از گسترش واحد داسیت- ریوداسیتی (دید به سمت شمال - شمال غرب). ب) تصویر نمونه‌ی دستی واحد ریوداسیت. ج) تصویر میکروسکوپی واحد داسیتی با بافت پورفیری با زمینه‌ی میکروکریستالین. د) تصویر میکروسکوپی واحد ریوداسیتی با بافت پورفیری. Pl: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت، Qz: کوارتز.

۲-۴-۲-۲-۲-۲. سنگ‌های آذرین حدواسط آندزیت - تراکی آندزیت:

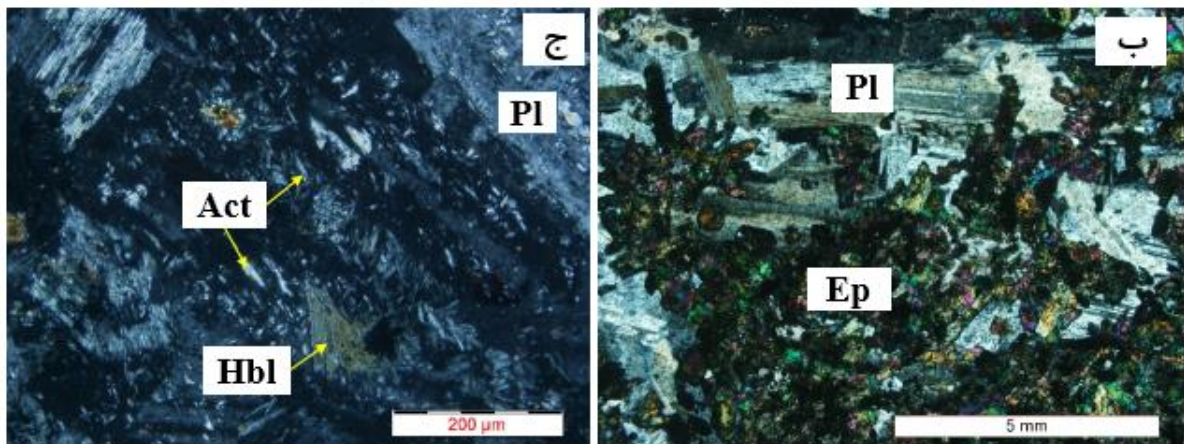
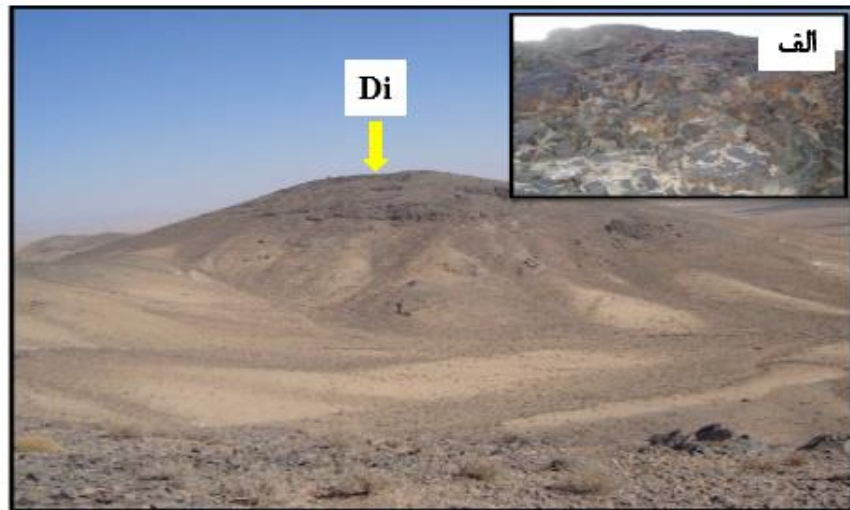
این واحد بر روی واحدهای ریولیت تا ریوداسیتی منطقه می‌نشیند و عموماً در جنوب محدوده مورد مطالعه گسترش دارد. نقاط نسبتاً مرتفعی را تشکیل می‌دهد و در نمونه‌ی دستی به رنگ خاکستری، خاکستری متمایل به سبز و قرمز با زمینه‌ی دانه‌ریز و فنوکریست‌های پلاژیوکلاز دیده می‌شود و در واقع ترکیب آن بیشتر به سمت سنگ‌های حدواسط گرایش دارد. براساس مطالعات میکروسکوپی دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند، کلسیت فراوان و اکسیدهای آهن ثانویه بوده که دارای بافت پورفیری با زمینه‌ی میکروکریستالین و نیز جریان‌ی می‌باشد. کانی کلسیت به صورت رگه رگچه‌ای و نیز در متن سنگ وجود دارد (شکل ۲-۷-ب). این واحد سنگی از نظر سنی منصوب به ائوسن می‌باشد.



شکل ۲-۷. الف) گسترش صحرائی واحد آندزیت- تراکی آندزیت (دید به سمت جنوب). ب) تصویر میکروسکوپی نمونه‌ای از واحد آندزیتی. Pl: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت.

۲-۴-۲-۳: دیوریت، مونزودیوریت:

ارتفاعات منطقه‌ی مورد مطالعه عموماً از این سنگ‌ها تشکیل شده و توپوگرافی نسبتاً خشنی را به نمایش می‌گذارند. این واحد سنگی به واسطه رنگ تیره‌ی خود به راحتی از سنگ‌های اسیدی و حدواسط که رنگی روشن دارند، قابل تفکیک می‌باشند (شکل ۲-۸-الف). این سنگ‌ها در نمونه‌ی دستی به رنگ سبز و یا خاکستری تیره بوده و دارای بافت دانه‌ریز می‌باشند. این واحد حاصل تفریق ماگمای گابرویی بوده و طیف ترکیبی آن از مونزوگابرو دیوریت تا مونزودیوریت تغییر می‌یابد. این واحد در برخی نقاط حاوی کانی‌سازی کالکوپیریت است و آثار معدنکاری قدیمی نیز در این واحد به چشم می‌خورد. در مطالعات میکروسکوپی، این سنگ‌ها دارای دگرسانی پروپیلی تیک بوده و از نظر کانی‌شناسی حاوی اپیدوت، اکتینولیت، هورنبلند و پلاژیوکلاز می‌باشد. بافت سنگ نیز گرانولار دانه متوسط است (شکل ۲-۸-ب و ج). این سنگ‌های دیوریتی و مونزودیوریتی در این محدوده میزبان رگه و رگچه‌های سیلیسی مس‌دار هستند.

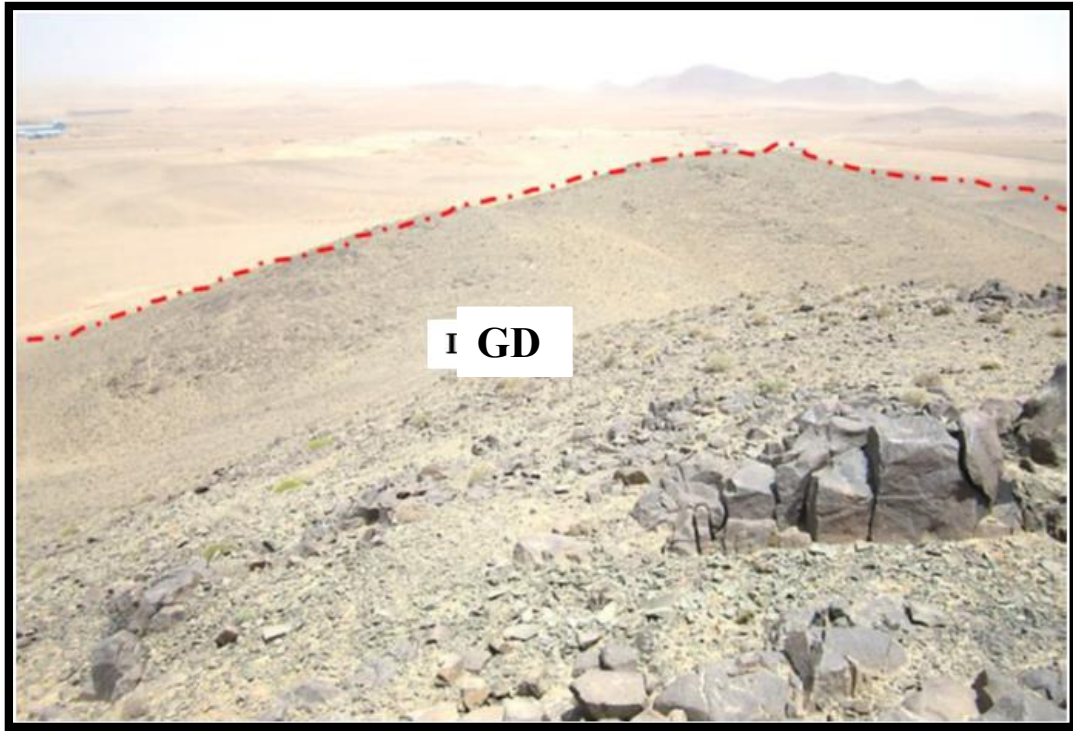


شکل ۲-۸. الف) گسترش صحرایی واحد دیوریت- مونزودیوریت (دید به سمت شمال منطقه).
 ب) تصویر میکروسکوپی واحد دیوریت که اپیدوتی شده. ج) تصویر میکروسکوپی واحد دیوریت حاوی
 اکتینولیت‌های ریز سوزنی و هورنبلند. Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت، Act: اکتینولیت، Hbl:
 هورنبلند.

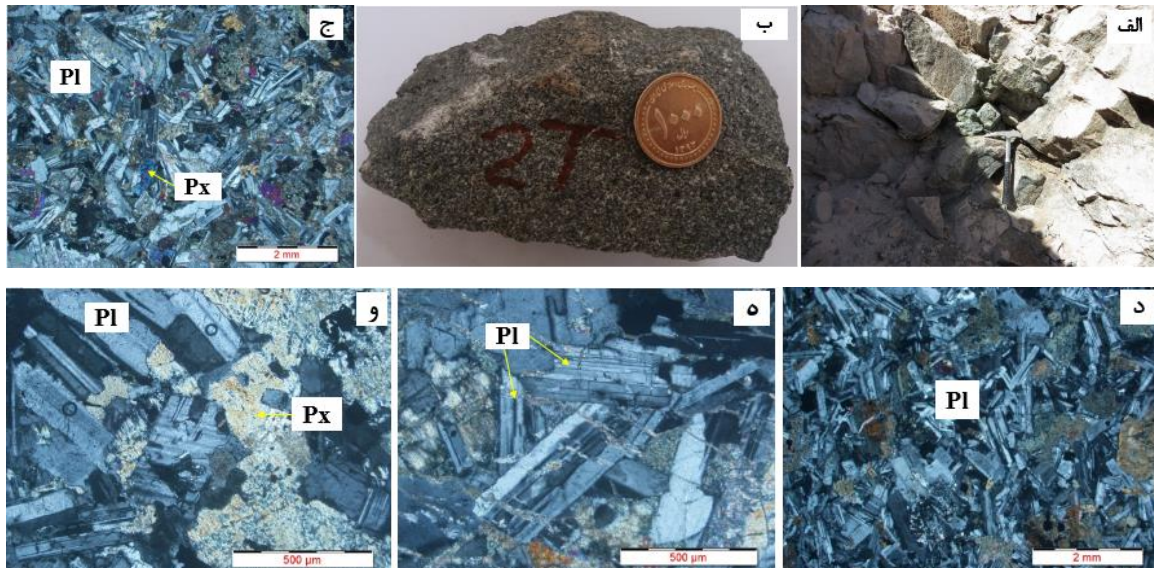
۲-۴-۲-۴-۲: Gb - گابرو و گابرو دیوریت:

این واحد سنگ شناختی در شمال محدوده‌ی مورد مطالعه گسترش دارد و شامل یک توده‌ی نیمه عمیق گابرویی است که توسط توده‌ی دیوریتی احاطه شده است و در تراز ارتفاعی پایین‌تری نسبت به آن قرار دارد. این سنگ‌ها دارای رنگ سبز تا خاکستری تیره با زمینه‌ای گرانولار هستند. حضور رگچه‌های سیلیسی پراکنده با تراکم کم و کانی‌سازی مس از دیگر مشخصات این واحد می‌باشد به طوریکه بخش عمده‌ای از رگه‌های سیلیسی مس‌دار در این سنگ‌ها دربرگرفته شده‌اند. در مطالعات میکروسکوپی

حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز فراوان، پیروکسن (اوزییت)، کلسیت، اسفن و هورنبلند و بافت‌های افیتیک، پویی کلیتیک، گرانولار و اینترسرتال می‌باشد (شکل ۲-۱۰-ج تا و).



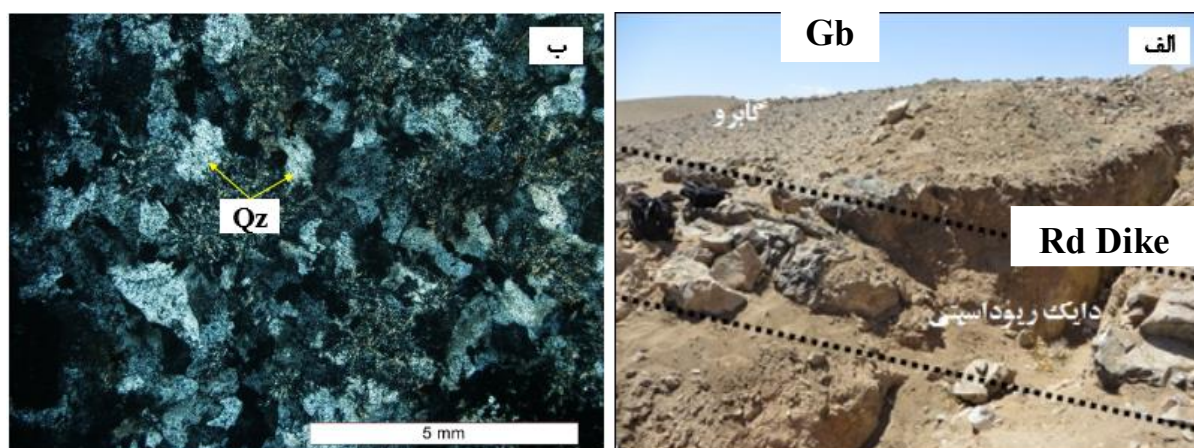
شکل ۲-۹. نمایی از گسترش واحد گابرو دیوریت (دید به سمت شمال منطقه).



شکل ۲-۱۰. الف) گسترش صحرایی واحد گابرویی (دید به سمت جنوب-جنوب غرب). ب) تصویر نمونه‌ی دستی از گابرو. ج) تصویر میکروسکوپی واحد گابرو. د) تصویر میکروسکوپی واحد گابردیوریت. ه) بافت اینترسرتال در گابردیوریت. و) بافت افیتیک و پویی کلیتیک در گابردیوریت. Pl: پلاژیوکلاز، Px: پیروکسن.

۲-۴-۲-۵- دایک ریوداسیتی:

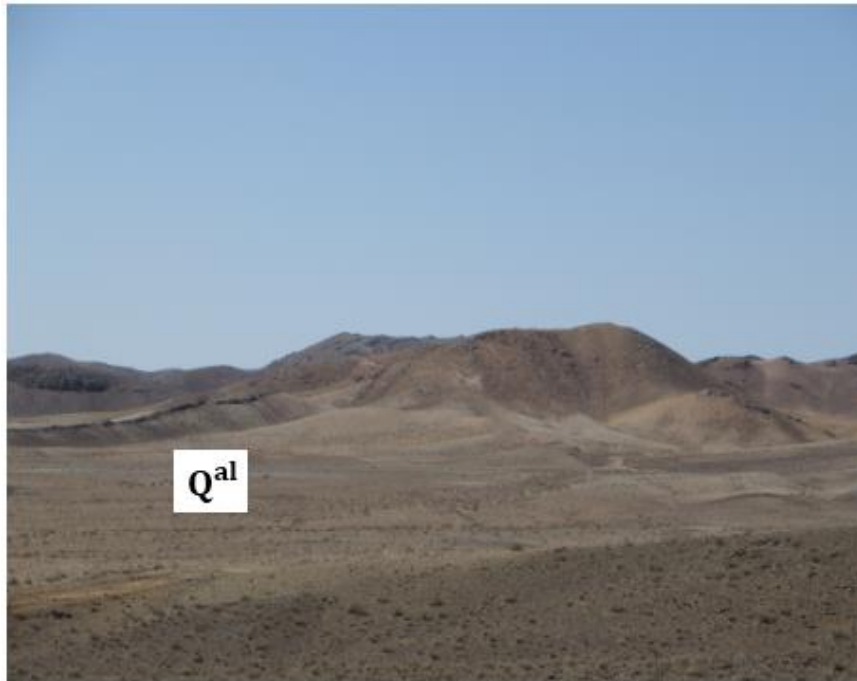
این دایک‌ها بصورت کوچک و آغشته به ملاکیت در سطح رخنمون دارند که در سنگ‌های گابرویی تزریق شده‌اند (شکل ۲-۱۱-الف). احتمالاً این دایک‌های ریوداسیتی عامل کانه‌زایی مس در منطقه می‌باشند. در مطالعات میکروسکوپی، نمونه به شدت دچار دگرسانی سیلیسی شده است (شکل ۲-۱۱-ب).



شکل ۲-۱۱. الف) دایک ریوداسیتی آغشته به ملاکیت که در سنگ‌های گابرویی تزریق شده است (دید به سمت شمال). ب) تصویر میکروسکوپی از دایک ریوداسیتی که به شدت دگرسان شده است. Gb: گابرو، Rd Dike: دایک ریوداسیتی.

۲-۴-۲-۶- Q^{al}: رسوبات آبرفتی عهد حاضر:

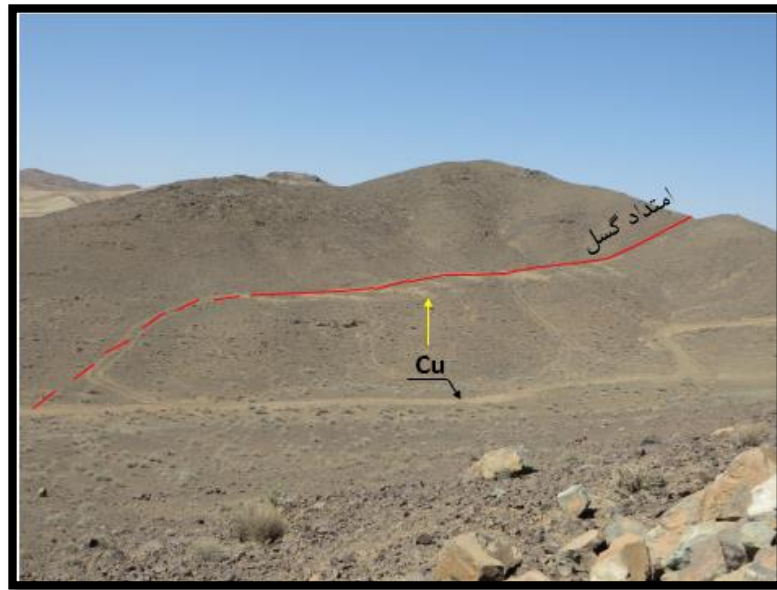
این رسوبات به صورت مخروط افکنه‌های جوان مرز کوهستان و دشت را پوشانده است. در ترازهای ارتفاعی بالا قطعات تشکیل‌دهنده‌ی آن شامل قلوه سنگ و شن بوده و در ترازهای ارتفاعی پایین‌تر به سیلت و رس تبدیل می‌شود و معمولاً به صورت قشری نازک واحدهای آذرین منطقه را پوشانده‌اند. رسوبات رودخانه‌ای جوان‌ترین نهشته‌های آبرفتی در محدوده‌ی مورد مطالعه به شمار می‌روند که متشکل از شن و ماسه و سیلت و رس می‌باشند. نمایی از این رسوبات آبرفتی در شکل ۲-۱۲ نمایش داده شده است.



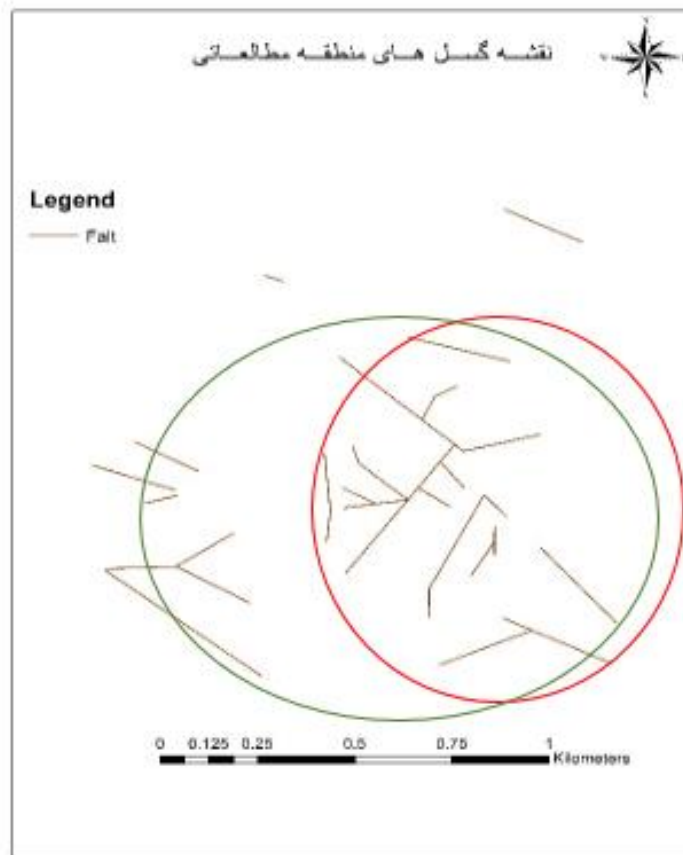
شکل ۲-۱۲. نمایی از گسترش صحرایی رسوبات آبرفتی عهد حاضر (دید به سمت جنوب).

۲-۴-۳- زمین‌شناسی ساختمانی منطقه:

گسل‌ها مهم‌ترین عناصر ساختاری در محدوده‌ی مورد مطالعه به شمار می‌روند و بخش عمده‌ای از رگه رگچه‌های سیلیسی مس‌دار در امتداد ساختار تکتونیکی مانند گسل‌ها و درزه‌ها جای گرفته‌اند (شکل ۱۳-۲). روند عمومی گسل‌ها در این محدوده شمال غرب- جنوب شرق و هم‌روند با دایک‌های منطقه است. این گسل‌ها که در واقع متأثر از فعالیت‌های کششی بوده و دارای ساز و کار نرمال مورب لغز می‌باشند. علاوه بر گسل‌های فوق تعدادی ساختار حلقوی نیز در محدوده‌ی نقشه‌ی ۱:۲۰۰۰۰ مشاهده می‌شوند که ناشی از بالا آمدن استوک گابرو دیوریتی می‌باشد. این گسل‌ها محل‌های مناسبی برای کانی‌سازی به شمار می‌روند و جانمایی آنها در شکل ۲-۱۴ قابل مشاهده است.



شکل ۲-۱۳. نمایی از گسل موجود در منطقه که رگه‌ی سیلیسی مس‌دار در امتداد گسل می‌باشد (دید به سمت غرب).



شکل ۲-۱۴. گسل‌های منطقه مورد مطالعه.

فصل سوم

کانه‌زایی و دگرسانی

یکی از نکات مهم در مطالعه‌ی هر کانساری، توجه به عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می‌باشد چرا که این ساختارها عامل مهمی در تشکیل کانه‌زایی در منطقه می‌باشند. در این فصل، زون‌های کانه‌زایی مس منطقه زرنديه که بیشتر به صورت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای بین برش‌ها می‌باشد، براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری شرح داده شده است. مجموعه‌های دگرسانی گرمابی پیرامون پهنه‌های برشی، گسلی و سیستم‌های شکستگی، نتیجه واکنش‌های متاسوماتیکی سیالات و سنگ دیواره برای رسیدن به تعادل شیمیایی، ایزوتوپی و حرارتی است (McCuaig & Kerrich, 1998). بنابراین، دگرسانی را می‌توان حاصل واکنش سیالات هیدروترمالی با سنگ‌های دیواره و تشکیل کانی‌های جدید از طریق واکنش سنگ-سیال دانست (Mikucki, 1998). شناخت محصولات و فرایندهای دگرسانی، که همراه با کانی‌زایی دیده می‌شوند، بنیان شناسایی فرایندهای مربوط به تشکیل کانسار است و موجب پیشرفت در روش‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1994). مجموعه کانی‌هایی که در دگرسانی‌های مختلف وجود دارند در نتیجه‌ی تغییرات فشار، درجه حرارت و ترکیب شیمیایی به وجود می‌آیند (Evans, 1997)؛ لیکن عامل تعیین‌کننده در تشکیل انواع دگرسانی و شدت آن‌ها، شیمیایی و حرارتی می‌باشد. مطالعات صحرایی و بررسی‌های پتروگرافی و کانی‌شناسی در محدوده مورد بررسی نشان داده است که دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل دگرسانی پروپیلی تیک، آرژیلیک، سرسیتی، سیلیسی، کربناتی، اکسید و هیدروکسیدهای آهن است.

۳-۲- عوامل مؤثر در کانه‌زایی

نهشت ماده معدنی در کانسارهای گرمابی عموماً توسط دو عامل اساسی شیمیایی و ساختاری کنترل می‌شود. این دو عامل نقش مهمی در توزیع و نهشت کانه‌ها به عهده دارند. عوامل ساختاری در توزیع و تمرکز سیالات کانی‌ساز مؤثر بوده و عوامل شیمیایی حمل و ته نشست ماده معدنی را کنترل می‌کنند.

کنترل کننده‌های ساختاری: عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی به خصوص گسل‌ها موجب به وجود آمدن شکستگی‌ها و فضاهای مناسب جهت حرکت سیالات گرمابی می‌شوند. ارتباط تنگاتنگ تمرکزهای اقتصادی ماده معدنی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، فرضیه ایجاد فضای خالی توسط گسلها و شکستگی‌ها را تقویت می‌کند. در محدوده مورد مطالعه گسل‌هایی با روندهای متفاوت وجود دارند اما تمامی آنها حاوی کانه‌سازی نیستند.

کنترل کننده‌های فیزیکوشیمیایی: تغییر درجه حرارت (سرد شدن)، افت فشار، واکنش بین سیال و سنگ دیواره، اختلاط با آب‌های جوی، جوشش سیالات، تغییر PH و Eh باعث تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محلول شده و نهشت مواد معدنی را سبب می‌گردد (گیلبرت و پارک ۱۹۹۷). اصولاً تأثیر این عوامل در نهشت کانه‌زایی به صورت دسته جمعی می‌باشد.

سیال: عملکرد گسل‌ها و نفوذ سیالات غنی در CO_2 و SiO_2 سبب ایجاد رگه‌های مس‌دار و گسترش زون‌های دگرسانی منطقه شده است. این سیالات از طریق درزه و گسل‌ها عناصر فلزی را به سمت بالا حمل کرده‌اند و تحت شرایط مناسب موجب ته‌نشست مس شده‌اند.

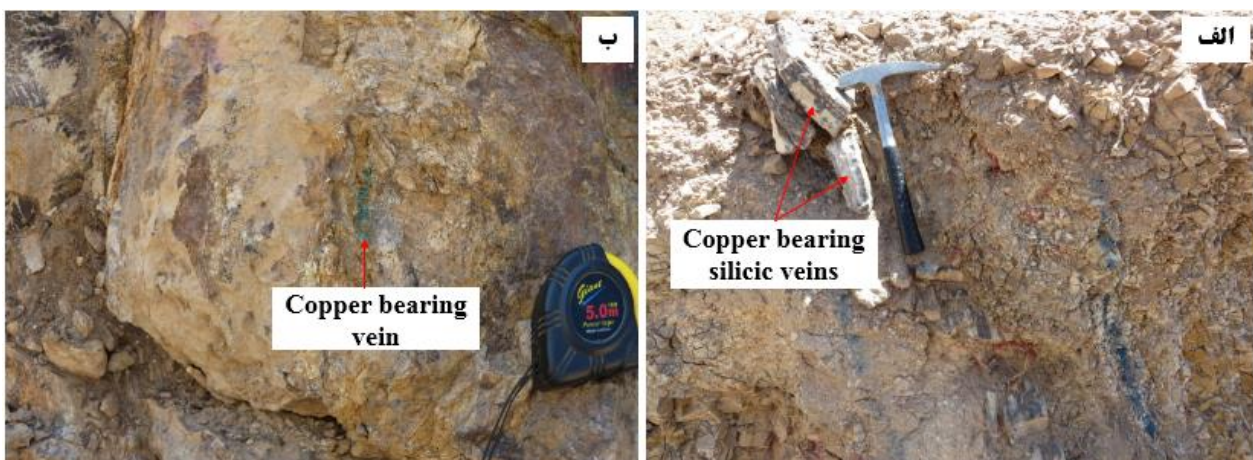
۳-۳- کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه

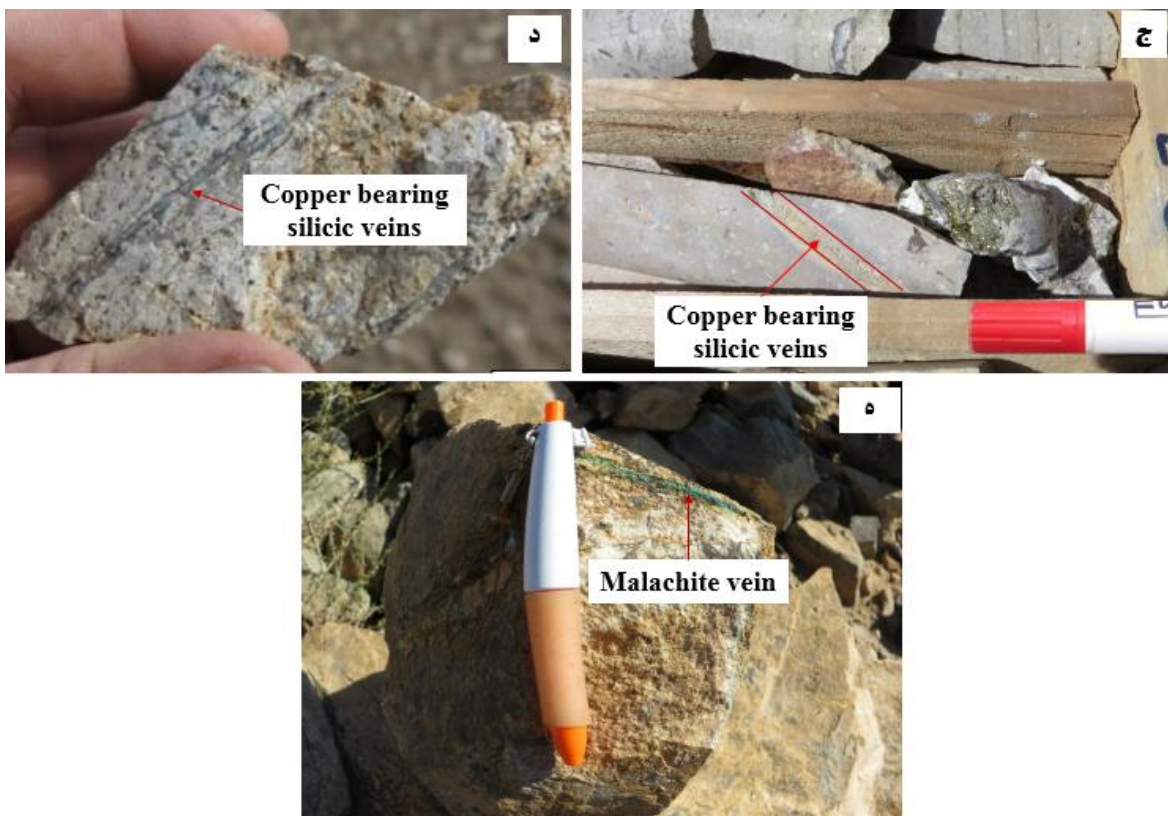
مجموعه سنگ‌های رخنمون یافته در محدوده مورد بررسی شامل واحد ولکانیک با ترکیب آندزیت و ریولیت-ریوداسیت است که به طور وسیعی در بخش‌های مختلف محدوده گسترده شده‌اند. در میان این واحدهای ولکانیکی در قسمت شمال شرق محدوده، یک توده نفوذی احتمالی با ترکیب گابرو، دیوریت و مونزودیوریت تزریق شده است که می‌توان وجود این توده نفوذی را عامل مهم در کانه‌زایی در نظر گرفت.

براساس مطالعات صحرائی، کانه‌زایی مس در منطقه زرنديه عمدتاً به صورت رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای بین برش‌ها و پرکننده فضاهای خالی درون واحدهای آتشفشانی و نفوذی ائوسن همراه است.

۳-۳-۱- کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای:

کانه‌زایی رگه‌ای در ارتباط با زون‌های گسله و درزه و شکستگی‌ها دیده می‌شود. به طور کلی دو سیستم گسل عمده در منطقه وجود دارد که شامل سیستم گسل‌های با روند شمال باختری-جنوب خاوری و سیستم گسل با روند شمال خاوری-جنوب باختری است. گسل‌های دارای روند شمال باختری-جنوب خاوری دارای گسترش طول چند ده متر و بعضاً تا چند صد متر می‌باشند. شیب عمده این گسل‌ها حدود ۱۰-۴۰ درجه به سمت جنوب باختری است. بخش عمده کانه‌سازی مس در امتداد این شکستگی‌ها تشکیل شده است. انواع رگه و رگچه‌های مشاهده شده در منطقه شامل رگه‌های سیلیسی کالکوپیریت و کالکوسیت‌دار و نیز رگه‌های حاوی مالاکیت می‌باشد. به طور کلی این شکل از کانه‌زایی در واحدهای سنگی گابرو-گابرودیوریت (شکل ۳-۱-الف و ب)، دیوریت (شکل ۳-۱-ج) و ریوداسیت به چشم می‌خورد.

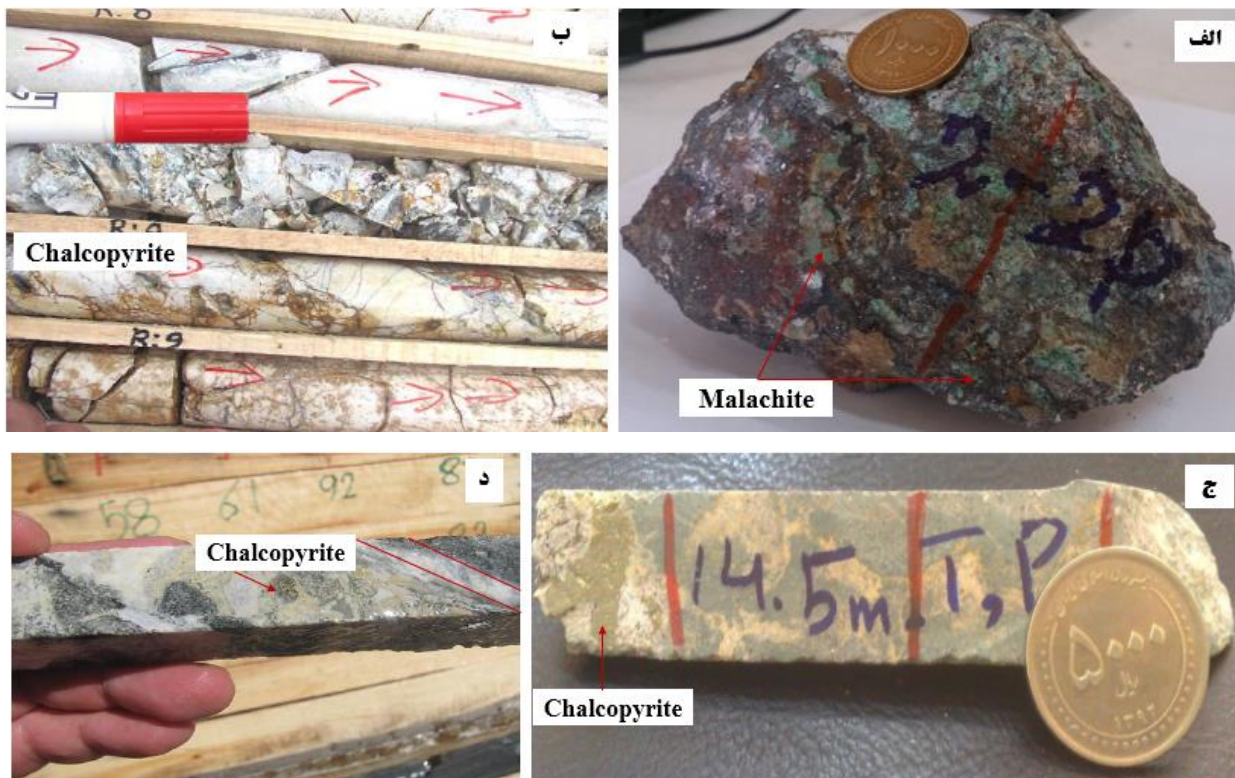




شکل ۳-۱. الف) تصویر صحرایی از رگه‌های سیلیسی که حاوی کانی‌سازی مس می‌باشند (دید به سمت شمال-شمال غرب). ب) نمایی نزدیکتر از ترانشه که حاوی کانی‌سازی مس به صورت مالاکیت می‌باشد (دید به سمت جنوب-جنوب شرق). ج) نمونه‌ای از مغزه حفاری شده که رگه و رگچه سیلیسی دارای کالکوپیریت در آن نمایان است. تصویر نمونه دستی از د) رگه‌ی سیلیسی مس‌دار و ه) مالاکیت به شکل رگچه‌ای.

۳-۲-۳- کانه‌زایی پرکننده فضاهای بین برش‌ها:

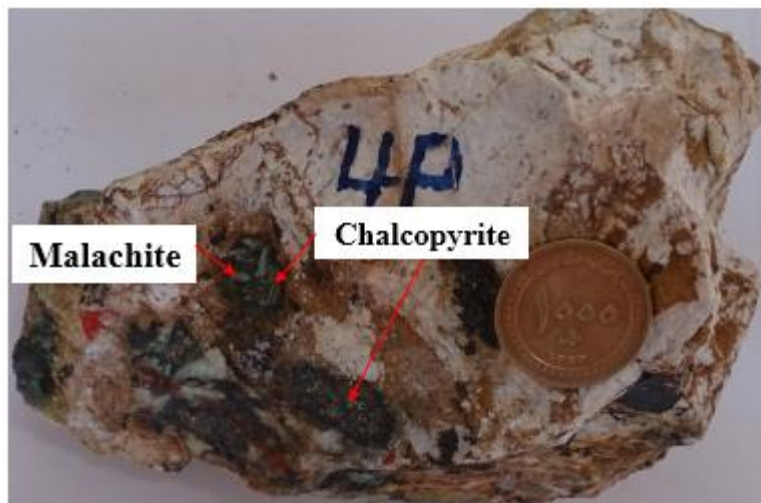
در بررسی‌های سطحی و مغزه‌های حفاری، رخنمون برش‌های مختلف همراه با کانی‌سازی مشاهده می‌شود. به طور کلی این برش‌ها در سطح تنوع چندانی ندارند ولی در عمق از گسترش و تنوع بیشتری برخوردارند. قطعات سازنده سنگ‌های برشی با ترکیب آندزیتی اندازه‌ای بین ۱ تا ۲۰ سانتی‌متر داشته و آثار ضعیفی از کانی‌سازی در این واحد دیده می‌شود. اما این شکل کانه‌زایی در دیگر واحدهای منطقه با ترکیب ریوداسیت (شکل ۳-۲-ب)، دیوریت (شکل ۳-۲-ج) و گابرو (شکل ۳-۲-د و ه) دیده شده که دارای کانی‌سازی می‌باشند. ساختارهای گمانه‌های نشان داده شده در شکل ۳-۲ در بخش‌هایی سالم و در بخش‌هایی گسله و برشی شده می‌باشد.



شکل ۳-۲. الف) تصویر نمونه دستی که فضاهای بین برش‌ها توسط مالاکیت پر شده‌اند. ب) نمایی از کانی‌سازی کالکوپیریت در زون برشی. ج) نمونه‌ای از گمانه حفر شده با ساختار برشی همراه با کانی‌سازی کالکوپیریت. د) کانی‌سازی کالکوپیریت در رگچه سیلیسی و ساختار برشی در گمانه.

۳-۳-۳- کانه‌زایی پرکننده فضاهای خالی:

طبق شواهد صحرایی و مطالعات میکروسکوپی، این نوع کانه‌زایی در سنگ‌های ریوداسیتی گسترش دارد. کانه‌زایی به وسیله محلول کانه‌دار با پرکردن فضاها و حفره‌های خالی داخل سنگ‌ها به صورت اپی‌ژنتیک صورت می‌گیرد. در شکل ۳-۳ مشاهده می‌شود که کالکوپیریت و مالاکیت فضاهای خالی داخل سنگ را پر نموده‌اند. این نوع کانه‌زایی در منطقه زرن‌دیه از گسترش چندانی برخوردار نیست.



شکل ۳-۳. کانه‌زایی به صورت پرکننده فضاهای خالی.

۳-۴- دگرسانی‌های کانی‌سازی تیپ رگه‌ای

به طور کلی دگرسانی‌های رایج در کانسارهای تیپ رگه‌ای شامل دگرسانی آرژیلیتی، پروپیلی تیک، سیلیسی، کربناتی، سربستی و اکسیدهای آهن می‌باشند. مثال‌هایی از انواع دگرسانی‌ها در کانسارهای رگه‌ای در زیر آورده شده است:

- در تیپ‌های رگه‌ای کردیلرایی سربست، متداول‌ترین و فراوان‌ترین کانی دگرسانی در اطراف این کانسارها است، کانی‌های کربناتی به ویژه کلسیت و دولومیت نیز متداول‌اند. کلریت نیز در اطراف این کانسارها ممکن است تشکیل شود این کانی معمولاً در خارج پوشه‌های سربستی و دورتر از کانسنگ ظاهر می‌شود. سیلیس عموماً حضور دارد و در بسیاری جاها به مقدار فراوان افزوده می‌شود (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷).

- در کانسار مس رگه‌ای Jinman، انواع دگرسانی شامل سیلیسی شدن، کربناتی شدن و کربنی شدن می‌باشد (Hongbing & Chaoyang, 1996).

- در کانسار مس قلعه‌زری انواع رایج دگرسانی‌ها شامل پروپیلی تیک (اپیدوتی و کلریتی شدن)، آرژیلیتی به طور محلی و سیلیسی در زونی نزدیک به رگه‌ها می‌باشند (Karimpour, Zaw & Huston, 2005).

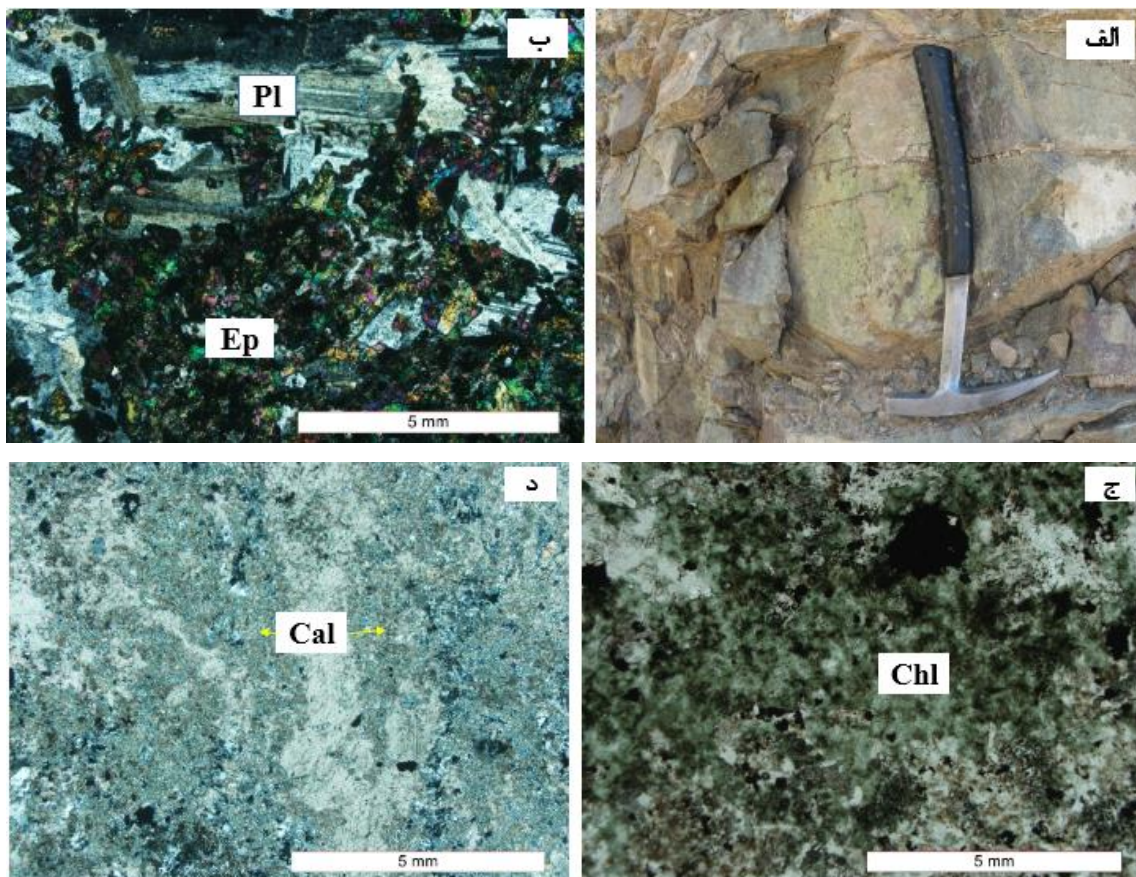
- دگرسانی‌های موجود در کانسار رگه‌ای اپی ترمال گلوجه شامل سیلیسی، پروپیلی تیک، آرژیلیت و سریسیتی می‌باشند (Mehrabi et al., 2016).

- در کانسار شکسته‌سبز (بیرجند) دگرسانی‌های اصلی شامل پروپیلی تیک، آرژیلیک و سیلیسی - کربناته می‌باشند (جاویدی مقدم، ۱۳۹۳).

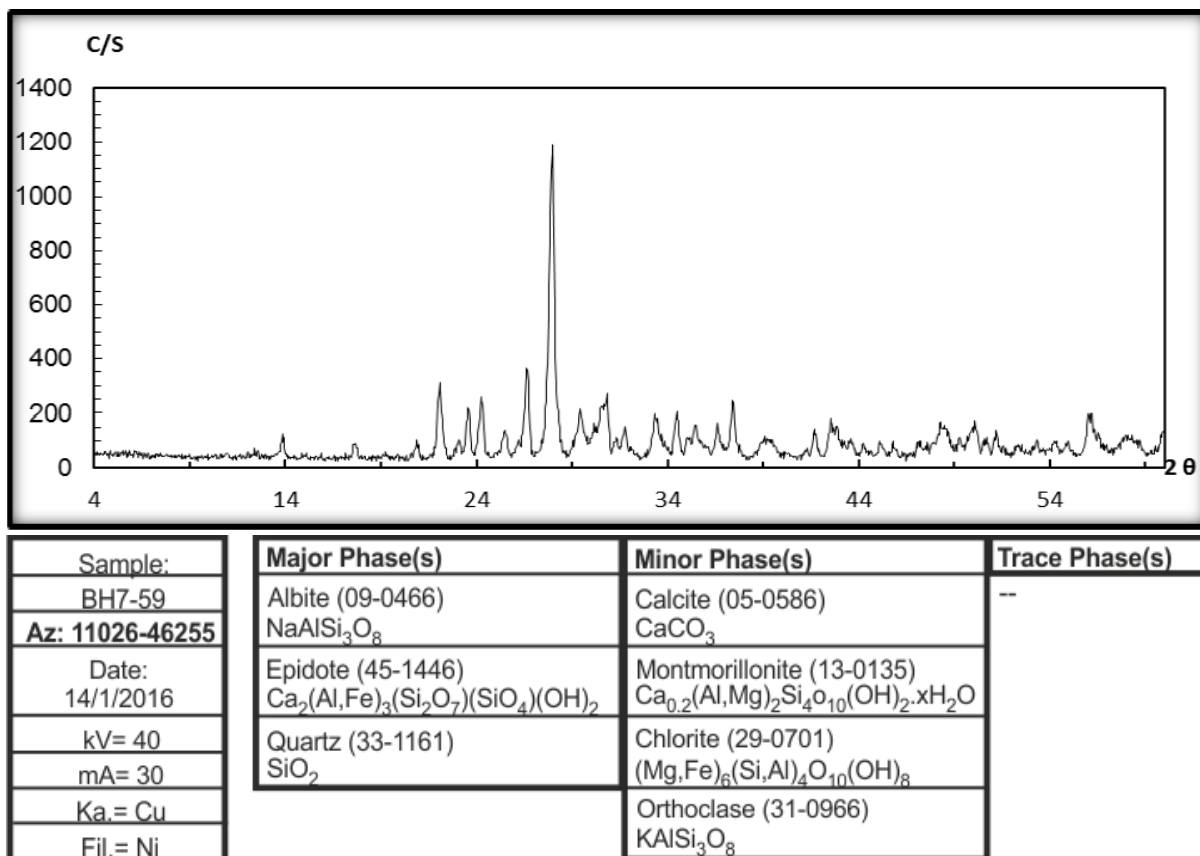
۳-۵- دگرسانی‌های موجود در منطقه

۳-۵-۱- دگرسانی پروپیلی تیک

دگرسانی پروپیلی تیک از واکنش سیال‌های ماگمایی یا گرمابی غنی از منیزیم، آهن، کلسیم، سدیم و یا بی‌کربنات با سنگ‌های آذرین ایجاد می‌شود (Giggenbach, 1997). این دگرسانی در منطقه شامل مجموعه‌ای از کانی‌های کلریت، اپیدوت و کلسیت می‌باشد که در سنگ‌های دیوریت- گابرو از گسترش قابل توجهی برخوردار است. اپیدوتی شدن در صحرا با چشم غیرمسلح قابل رؤیت بوده (شکل ۳-۴- الف) و همانطور که در شکل ۳-۴- ب دیده می‌شود بر اثر تجزیه شدن پلاژیوکلازها، کانی‌های فرومنیزیم- دار مانند آمفیبول و پیروکسن ایجاد شده است. کلریت محصول دگرسانی کانی‌های مافیک سنگ و یا ورود آهن و منیزیم به سنگ توسط محلول‌های گرمابی و یا وقوع همزمان این دو پدیده است (Evans, ۱۹۹۲). کانی‌هایی که از آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD) مشخص شده‌اند شامل کانی‌های آلبیت، اپیدوت، کوارتز، کلسیت، مونتموریلونیت، کلریت و اورتوکلاز می‌باشند (شکل ۳-۵).



شکل ۳-۴. تصاویری از دگرسانی پروپیلی تیک. الف) تصویر نمونه‌ی دستی از پدیده‌ی اپیدوتی شدن در واحد دیوریت-گابرو (دید به سمت جنوب- جنوب شرق). ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اپیدوتی ناشی از تجزیه شده پلاژیوکلازها. ج) دگرسانی کلریتی. د) دگرسانی کلسیتی. Pl: پلاژیوکلاز، Ep: اپیدوت، Chl: کلریت، Cal: کلسیت.

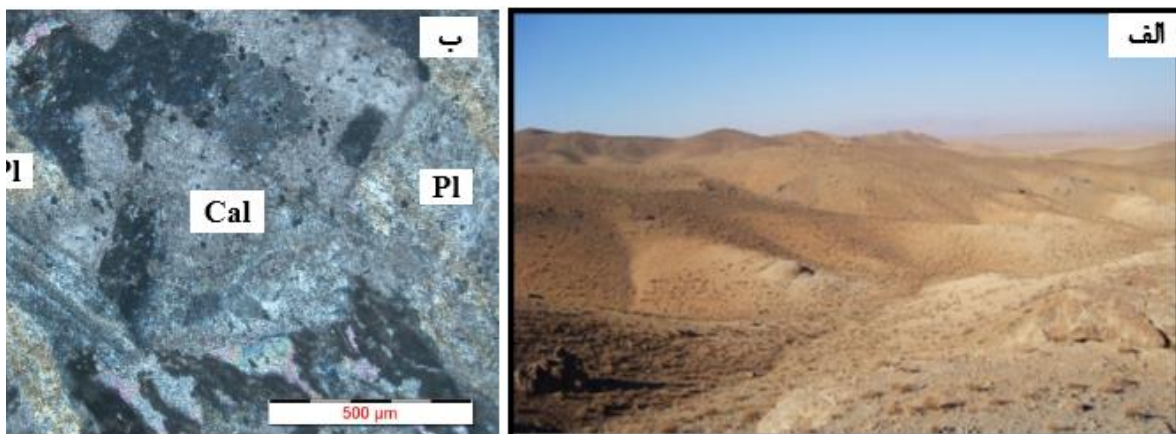


شکل ۳-۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی پروپیلی تیک می باشد.

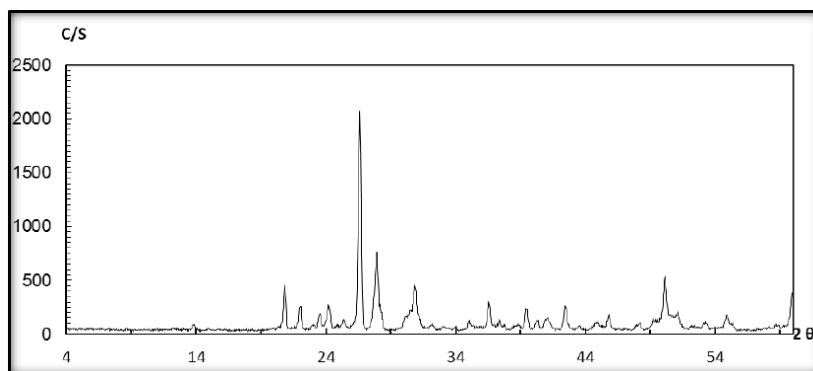
۳-۵-۲- دگرسانی آرژیلیکی

دگرسانی آرژیلیک توسط کانی‌های رسی مشخص می‌شود. هیدرولیز شدید سیلیکات‌های آلومینیوم دار در نتیجه‌ی هجوم سیالات اسیدی موجب تشکیل کائولینیت- دیکیت و در بعضی شرایط پیروفیلیت می‌شود. از جمله کانی‌های سولفیدی که با دگرسانی رسی یافت می‌شود، پیریت است (یعقوب پور ۱۳۶۶، کریم پور ۱۳۶۸ و شهاب‌پور، ۱۳۹۰). این نوع دگرسانی، ویژه کانسارهای گرمابی است (Pirajno, 2009) و بیشتر تحت تأثیر سیال‌های ماگمایی- گرمابی، بخارات اسیدی حاصل از سرد شدن سریع و یا آب‌های جوی، در دمای میان ۱۰۰ و ۳۰۰ درجه‌ی سانتی‌گراد ایجاد می‌شود (Sillitoe, ۱۹۹۳). زون آرژیلیک در منطقه به رنگ سفید تا کرم شامل ترکیبی از کانی‌های رسی می‌باشد (که مهم‌ترین آن کائولینیت است) و در واحد سنگی ریولیت- ریوداسیت از گسترش قابل توجهی برخوردار است (شکل ۳-۶- الف). دگرسانی آرژیلیک منطقه از نوع آرژیلیک متوسط بوده که مخصوص کانسارهای

رگه‌ای است (کریم‌پور، ۱۳۸۹). در مطالعات میکروسکوپی نیز این دگرسانی در پلاژیوکلازها دیده شده که به کانی‌های رسی تبدیل شده‌اند (شکل ۳-۶-ب). نتایج پراش پرتو ایکس (XRD) کانی‌شناسی این زون را مجموعه کوارتز، آلبیت، دولومیت، کائولینیت، مونتموریلونیت و هماتیت نشان می‌دهد (شکل ۳-۷).



شکل ۳-۶. الف) نمایی از گسترش آلتراسیون آرژیلیک در منطقه (دید به سمت شمال غربی). ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی آرژیلیکی. پلاژیوکلازها به شدت آرژیلیکی و سریسیتی شده‌اند. Pl: پلاژیوکلاز و Cal: کلسیت.

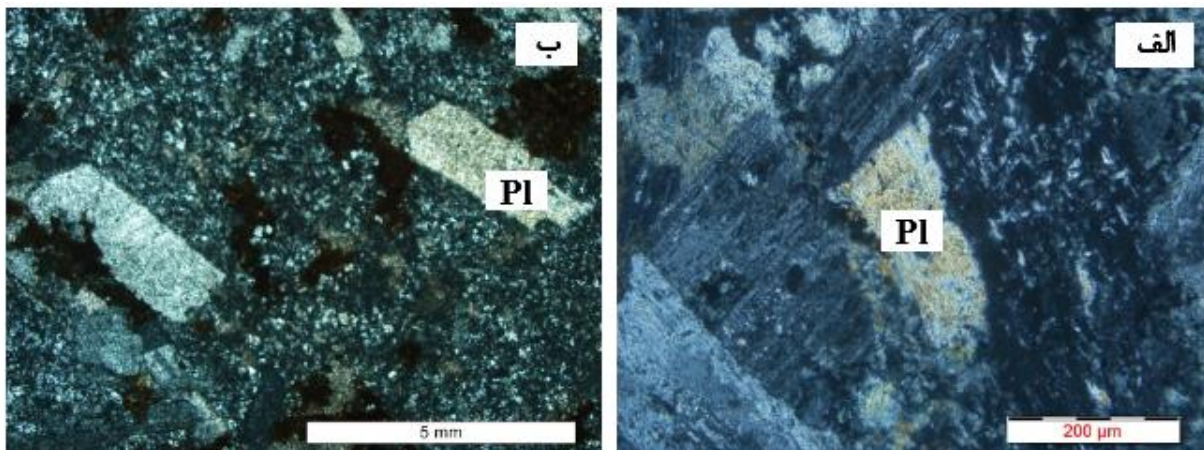


Sample:	Major Phase(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
BH10-20.5	Quartz (33-1161) SiO ₂	Kaolinite (29-1488) Al ₂ Si ₂ O ₅ (OH) ₄	-
Az: 11026-46257	Albite (09-0466) NaAlSi ₃ O ₈	Montmorillonite (13-0135) Ca _{0.2} (Al,Mg) ₂ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂ .xH ₂ O	
Date: 14/1/2016	Dolomite (36-0426) CaMg(CO ₃) ₂	Hematite (33-0664) Fe ₂ O ₃	
kV= 40			
mA= 30			
Ka.= Cu			
Fil.= Ni			

شکل ۳-۷. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آرژیلیک می‌باشد.

۳-۵-۳- دگرسانی سربستی

کانی‌های سرشار از آلومینیم و پتاسیم (مانند فلدسپات‌ها) در سنگ‌های آذرین و دگرگونی وقتی مورد هجوم سیالات اسیدی قرار می‌گیرند، هیدرولیز شده و به جای آنها مسکوویت ریزبلور (سربست) می‌نشیند که ممکن است به صورت لکه لکه و یا کامل باشد (Shelley, 1993). این دگرسانی طی مراحل اولیه دگرسانی هیدروترمال، تحت شرایط عموماً اسیدی توسط هیدراسیون سیلیکات‌ها توسعه یافته و شدت آن بستگی به ترکیب سنگ‌شناسی سنگ دیواره دارد. در طی فرآیند دگرسانی کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز، بیوتیت و مسکوویت H_2O و K^+ افزایش و آهن و کلسیم کاهش یافته و کانی‌های نوظهور مانند مسکوویت، سربست و کوارتز حاصل می‌شود (Zhou & Wang, ۱۹۹۹). براساس مطالعات میکروسکوپی سربستی شدن گسترش زیادی در منطقه داشته و پلاژیوکلازها مهم‌ترین کانی‌هایی هستند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند. همانطور که در شکل ۳-۸ مشاهده می‌شود بسیاری از پلاژیوکلازهای موجود در سنگ به سربست تبدیل شده‌اند.



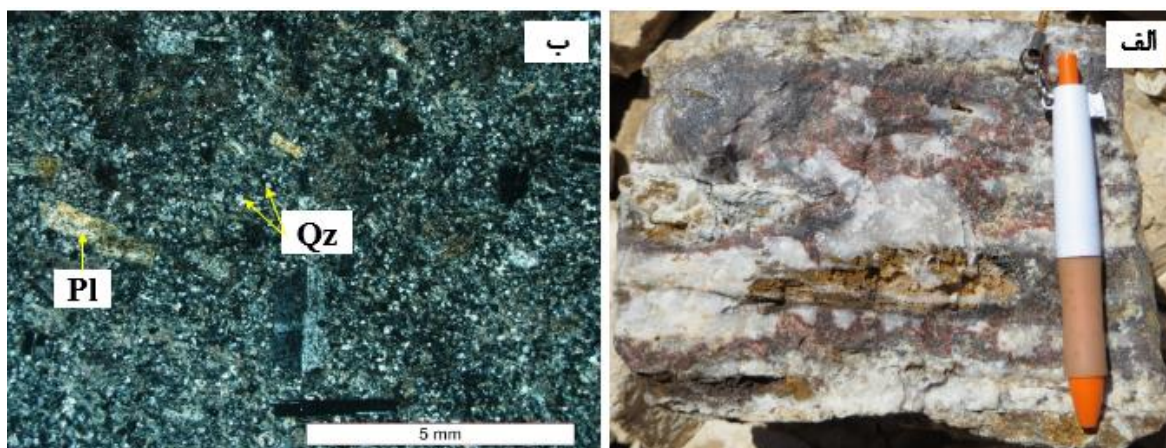
شکل ۳-۸. تصاویر میکروسکوپی از دگرسان شدن پلاژیوکلازها به سربست. Pl: پلاژیوکلاز، Cal: کلسیت.

۳-۵-۴- دگرسانی سیلیسی

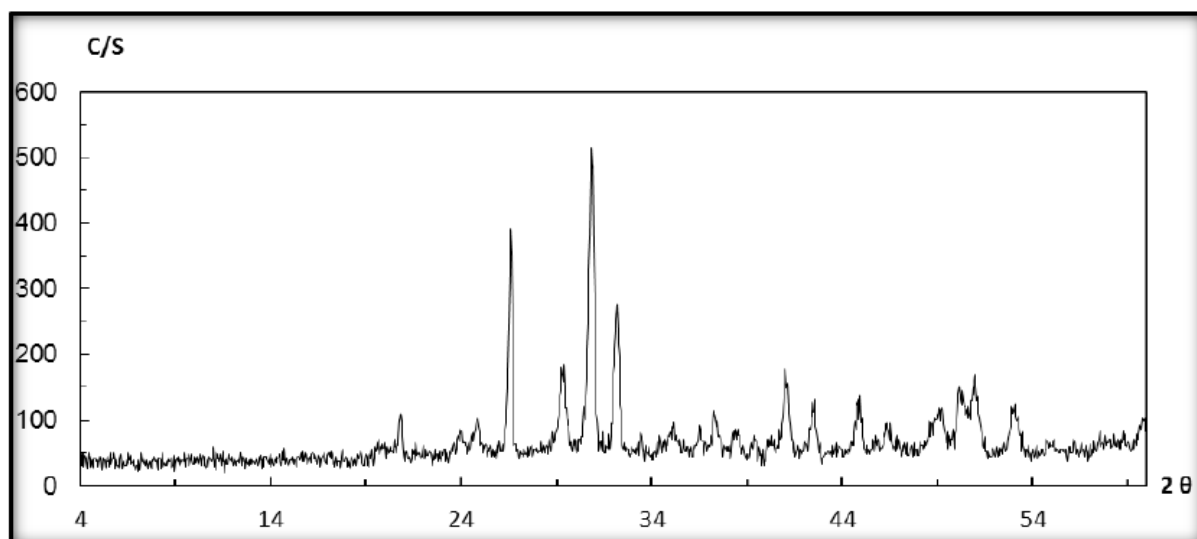
دگرسانی سیلیسی، متداول‌ترین و مهم‌ترین نوع دگرسانی گرمایی است که با افزایش مقدار درصد کوارتز و یا اکسیدهای سیلیس در سنگ همراه است (Pirajno, 1992). این دگرسانی به طور گسترده رگه‌ها و یا فضاهای خالی نظیر حفره‌ها و شکستگی‌های بین قطعات یک سنگ را پر می‌کند و یا به طور کامل جانشین یک کانی می‌شود. این دگرسانی در گستره وسیعی از دما رخ می‌دهد (Lagast, ۲۰۰۹). محصولات اصلی دگرسانی سیلیسی شامل کوارتز بصورت توده‌ای، دانه پراکنده تا رگه‌ای و نیز به صورت سیلیس مخفی بلور می‌باشد (Ferkus & Leblanc, 1995). این دگرسانی در منطقه به شکل رگه و رگچه و انتشاری به شکل ذرات پراکنده و ریز در متن سنگ‌ها قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۰). براساس نتایج آنالیز پراش پرتوی ایکس (XRD) نمونه‌های گرفته شده از منطقه، کانی‌های دولومیت، کوارتز، سیدریت، مونتموریلونیت و کالکوپیریت شناسایی شده‌اند (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۹. نمایی از دگرسانی سیلیسی در منطقه (دید به سمت شمال - شمال غرب).



شکل ۳-۱۰. الف) تصویر نمونه‌ی دستی از رگه‌ی سیلیسی (ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی سیلیسی. ذرات کوارتز به صورت پراکنده. QZ: کوارتز و Pl: پلاژیوکلاز.

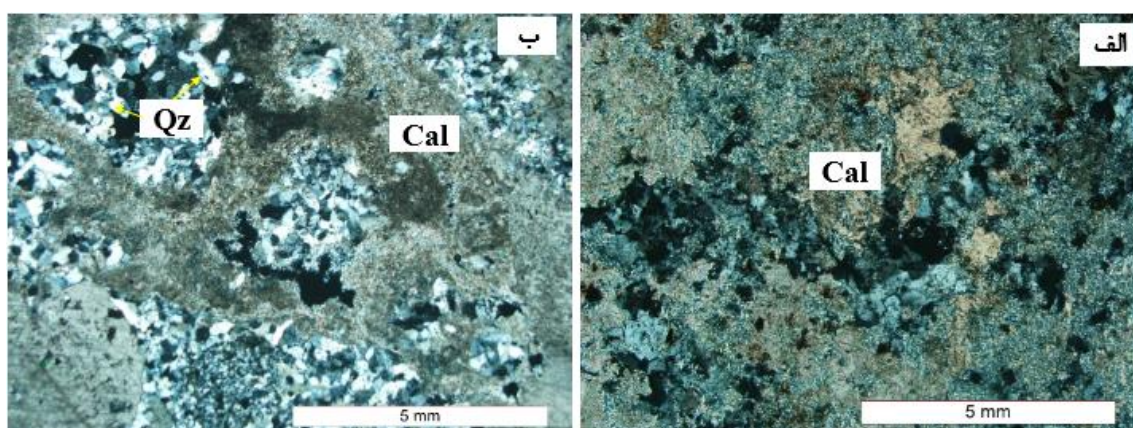


Sample:	Major Phse(s)	Minor Phase(s)	Trace Phase(s)
BH10-26.5	Dolomite (36-0426) $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Montmorillonite (13-0135) $\text{Ca}_{0.2}(\text{Al,Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot x\text{H}_2\text{O}$	-
Az: 11026-46256	Quartz (33-1161) SiO_2		
Date: 14/1/2016	Siderite (29-0696) FeCO_3		
kV= 40	Chalcopyrite (37-0471) CuFeS_2		
mA= 30			
Ka.= Cu			
Fil.= Ni			

شکل ۳-۱۱. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی سیلیسی می‌باشد.

۳-۵-۵- دگرسانی کربناتی

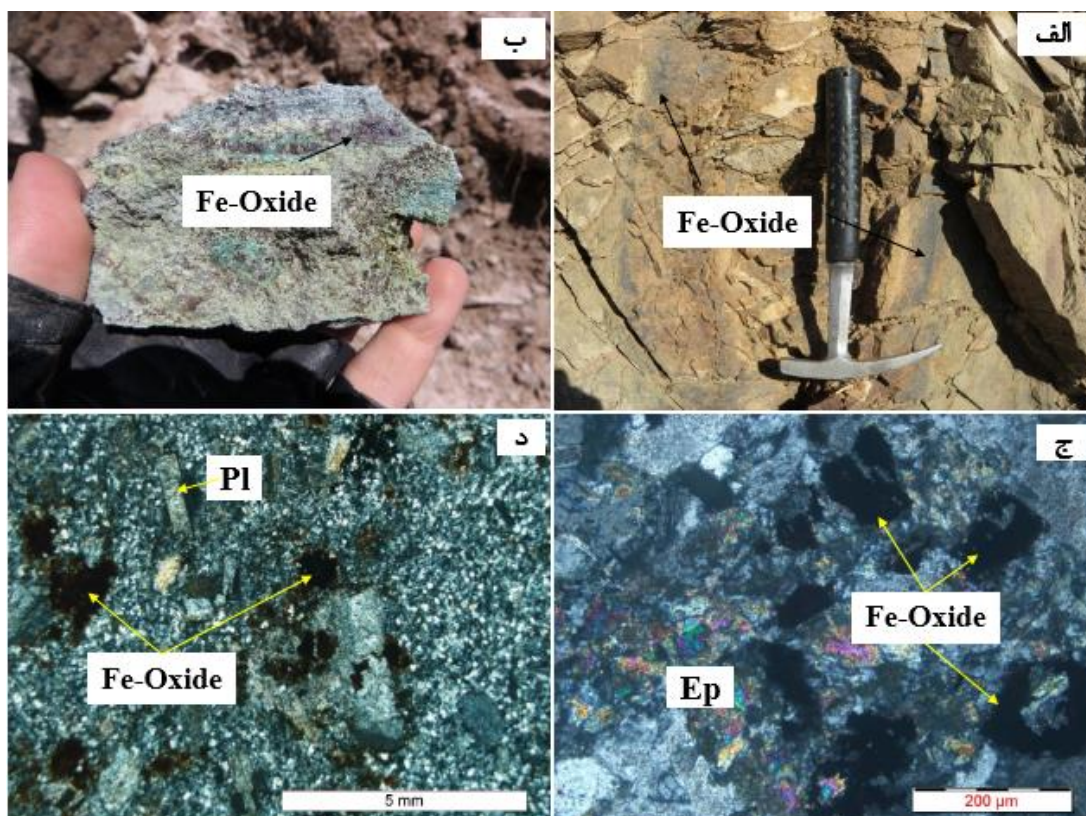
محصولات اصلی کربناتی شدن، کلسیت، دولومیت و آنکرایت هستند. همچنین می‌تواند به همراه کانی-های دیگر مانند تالک، کلریت، سربیسیت و آلپیت باشد. رخداد دگرسانی کربناتی، نتیجه واکنش میان سیال هیدروترمال غنی از CO_2 و سنگ دیواره است (Reed, 1997). این دگرسانی در منطقه به صورت دگرسان شدن کلسیت‌ها (به صورت بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار در بین بلورهای کوارتز) دیده می‌شود (شکل ۳-۱۲). انجام آنالیز XRD نیز وجود این دگرسانی در منطقه را نشان می‌دهد (شکل ۳-۱۱).



شکل ۳-۱۲. تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی کربناتی. الف و ب) دگرسان شدن کلسیت‌ها. Cal: کلسیت، Qz: کوارتز.

۳-۵-۶- دگرسانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن

از دگرسانی‌های دیگر منطقه، دگرسانی اکسیدهای آهنی است که در قسمت‌های میانی و مرکزی منطقه مورد مطالعه و به خصوص در نواحی زون‌های کانی‌سازی که به صورت رگه و رگچه‌های سیلیسی حاوی اکسید و هیدروکسیدهای آهن است، قابل مشاهده می‌باشد. اگر اکسیدهای آهن توسط سیال کانه‌ساز یا هیپوژن ایجاد شده باشند و کانی‌هایی نظیر هماتیت تشکیل شوند دگرسانی ایجاد می‌شود ولی اگر اکسیدهای آهن توسط فرآیندهای سطحی ایجاد شده باشند و کانی‌هایی نظیر لیمونیت و گوتیت تشکیل شوند دگرسانی نیست و فرآیندی سوپرژن و مربوط به سیالات سوپرژن است. نمونه‌هایی از این دگرسانی در شکل (۳-۱۳) نشان داده شده است.



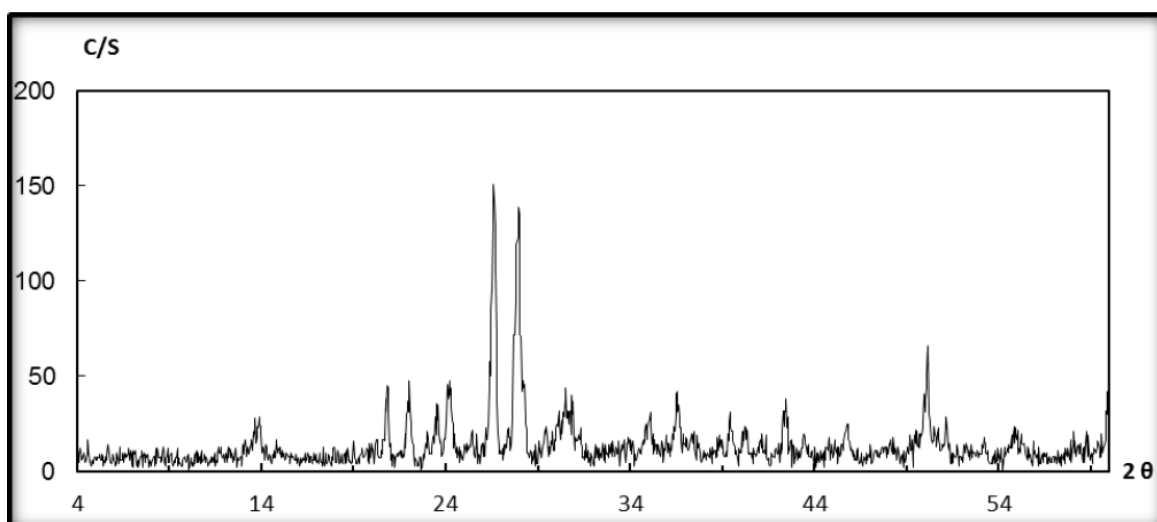
شکل ۳-۱۳. تصاویر الف) صحرایی (دید به سمت جنوب- جنوب شرق) و ب) نمونه دستی از دگرسانی هیدروکسیدهای آهن موجود در منطقه. ج و د) تصاویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسید و هیدروکسیدهای آهن. Fe-Oxide: اکسیدهای آهن. Ep: اپیدوت، Pl: پلاژیوکلاز.

۳-۵-۷- دگرسانی آلبیتی

این دگرسانی که به نوع سدیم متاسوماتیزم نیز معروف است، اکثراً به دلیل اضافه شدن سدیم از طریق محلول‌های ماگمایی یا گرمایی حاصل می‌شود. این نوع دگرسانی با جانشینی کوارتز و فلدسپار با آلبیت همراه بوده و در برخی موارد با مسکوویت شدن بیوتیت‌ها همراه است (Van middelar & Keith, ۱۹۹۰). کانی‌های مهم زون آلبیتی عبارت‌اند از: آلبیت، پاراگونیت، کلریت و کوارتز. تصاویر صحرایی این دگرسانی در شکل (۳-۱۴) به همراه گمانه حفر شده در آن آورده شده است. براساس نتایج حاصل از آنالیز XRD نیز وجود این دگرسانی در منطقه شناسایی شده و کانی‌های آلبیت، کوارتز، کلسیت و به مقدار کم روتیل ارائه شده‌اند (شکل ۳-۱۵).



شکل ۳-۱۴. الف) تصویر صحرایی از دگرسانی آلبیتی و گمانه حفر شده در آن (دید به سمت شمال - شمال غرب). ب) نمونه مغزه‌های برداشت از دگرسانی آلبیتی در عمق ۱۸-۲۴ متری.



Sample: ZR-X ₂ Az: 11026-46254	Major Phase(s) Albite (09-0466) NaAlSi ₃ O ₈ Quartz (33-1161) SiO ₂	Minor Phase(s) Calcite (05-0586) CaCO ₃	Trace Phase(s) Rutile (21-1276) TiO ₂
Date: 14/1/2016			
Kv= 40			
mA= 30			
Ka.= Cu			
Fil.= Ni			

شکل ۳-۱۵. نمودار پراش پرتو ایکس به همراه کانی‌های تشخیص داده شده که بیانگر دگرسانی آلبیتی می‌باشد.

فصل چہارم

کانی شناسی، ساخت، ہافت

و توالی پاراژنتیکی

۴-۱-مقدمه:

بررسی کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی و تشخیص دقیق پاراژنز کانی‌های تشکیل‌دهنده ماده معدنی

و روابط پاراژنتیکی و بافتی میان کانی‌ها و کانه‌ها، از مبانی اساسی در مطالعه چگونگی تشکیل یک کانسار می‌باشد. در واقع، مطالعه دقیق رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده یک کانسار، می‌تواند اطلاعات سودمندی درباره

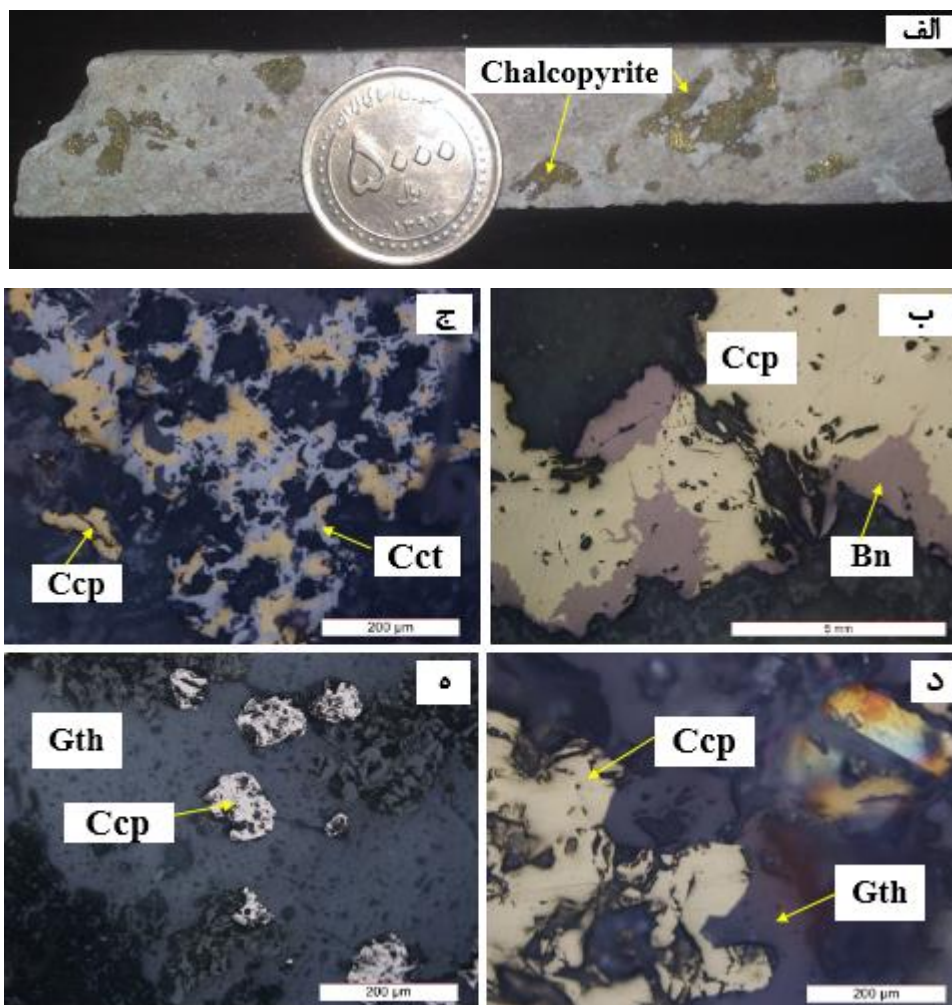
ویژگی‌های محیط تشکیل آن در برداشته باشد. برای دستیابی به این اهداف در یک مطالعه تحقیقی، بررسی‌های میکروسکوپی اهمیت بیشتری می‌یابد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب، تعداد ۲۸ عدد مقطع نازک، ۲۷ عدد مقطع صیقلی و ۷ عدد مقطع نازک-صیقلی از نمونه‌های مربوط به بخش‌های مختلف کانسار، شامل رخنمون‌های سطحی و مغزه‌های حفاری تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج این بررسی‌ها در زیر آورده شده است.

۴-۲-کانی‌شناسی مواد معدنی و باطله:

۴-۲-۱-کالکوپیریت

کالکوپیریت در منطقه زرنديه به همراه کوارتز به صورت رگه‌ای، رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضای بین قطعات برش و دانه‌پراکنده در سنگ‌های میزبان مشاهده می‌گردد. کالکوپیریت اصلی‌ترین و فراوان‌ترین کانه موجود در منطقه می‌باشد که از حاشیه در حال تبدیل شدن به کوولیت و کالکوسیت است (شکل ۴-۱-ب و ج). هوازگی کالکوپیریت یا بورنیت معمولاً نتیجه‌ی حذف آهن قبل از مس است در نتیجه، حاشیه بیرونی کالکوپیریت یا بورنیت به کالکوسیت، دیژنیت یا کوولین تبدیل می‌شود (Craig and Vaughan, ۱۹۹۴). این کانی اغلب به صورت بلورهای دانه‌درشت خودشکل تا نیمه‌خودشکل و بعضاً بی‌شکل دیده شده است (شکل ۴-۱-ب تا ه). در مس زرنديه، کالکوپیریت با کانی‌های پیریت، بورنیت،

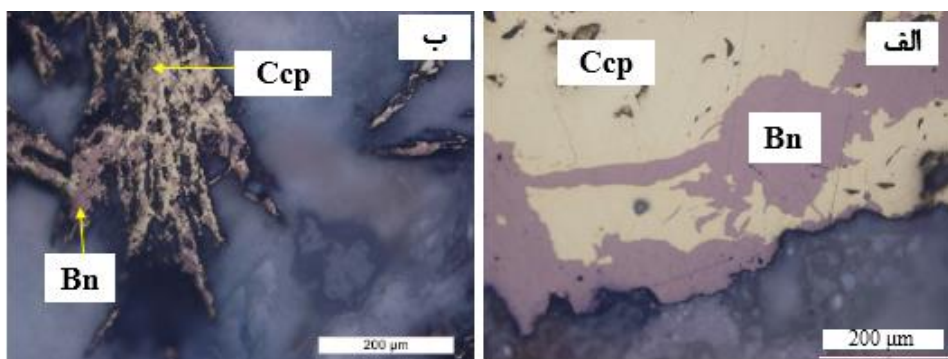
کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، گوتیت، الیژیست و هماتیت همیافتی نشان می‌دهد. هوازدهی کالکوپیریت به گوتیت سبب پیدایش بافت جزیره‌ای تیپیک در منطقه شده است. همچنین گذر کالکوپیریت به کالکوسیت، کوولیت و گوتیت از کانی‌های اکسید و هیدروکسید آهن، منگنز مس‌دار (مثل نئوتوسیت و دلافاسید) می‌باشد. تشخیص این کانی‌ها مستلزم آنالیز میکروپروپ نقطه‌ای از کالکوپیریت به سمت گوتیت می‌باشد.



شکل ۴-۱. الف) تصویر کانی کالکوپیریت در مغزه حفاری. ب) هم‌رشدی کالکوپیریت و بورنیت. ج) تبدیل شدن کالکوپیریت از حاشیه به کالکوسیت. د) کالکوپیریت در حال تبدیل شدن به گوتیت. ه) بلورهای خودشکل کالکوپیریت به صورت پراکنده. Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Bn: بورنیت، Gth: گوتیت.

۴-۲-۲- بورنیت:

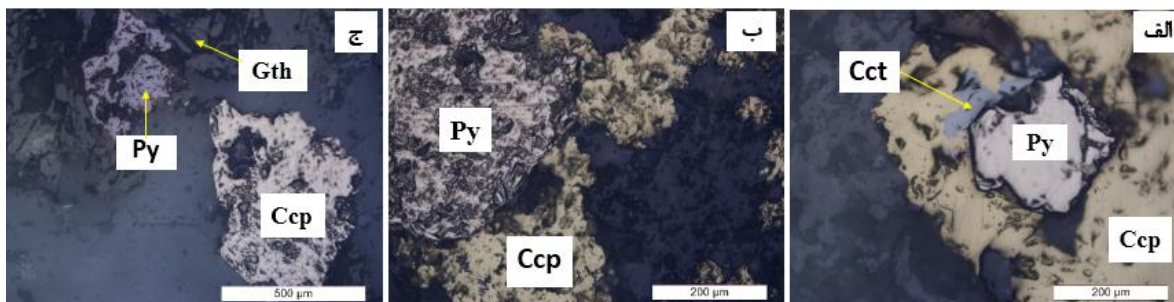
بورنیت در این منطقه بیشتر با کالکوپیریت همیافت می‌باشد. در اکثر مقاطع این کانی به صورت هم‌رشد با کالکوپیریت دیده شده است (شکل ۴-۲- الف و ب).



شکل ۴-۲. تصاویر میکروسکوپی از کانی بورنیت. الف) هم‌رشدی کانی‌های کالکوپیریت و بورنیت. ب) شکل دندریتی از کالکوپیریت و بورنیت به صورت هم‌رشد. Ccp: کالکوپیریت، Bn: بورنیت.

۴-۲-۳- پیریت:

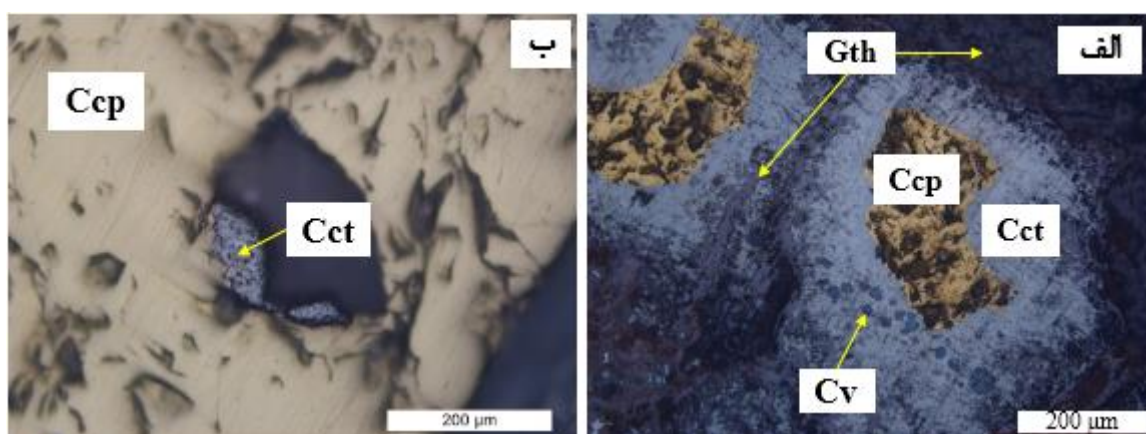
پیریت به صورت بلورهای درشت خودشکل و بی‌شکل دیده می‌شود و اغلب در همراهی با کالکوپیریت حضور داشته (شکل ۴-۳- الف و ب) ولی نسبت به آن از فراوانی کمتری برخوردار است. به طور کلی پیریت در این کانسنگ‌ها به صورت تکه‌های جدا شده می‌باشد، و به ندرت به صورت هشت‌وجهی یا مجموعه بلورهای تداخلی در طول دیواره‌های شکستگی‌ها وجود دارد (Craig and Vaughan, 1994). تأثیر فرآیندهای هوازدگی و سوپرژن بر روی پیریت موجب تجزیه شدن آن به گوتیت و هماتیت شده است (شکل ۴-۳- ج). پیریت به صورت‌های دانه‌پراکنده، رگه و رگچه‌ای و برشی حضور دارد.



شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی از کانی پیریت. الف) بلور خودشکل پیریت. ب) بلور درشت و بی-شکل پیریت. ج) پیریت تجزیه شده به گوتیت. Py: پیریت، Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Gth: گوتیت.

۴-۲-۴ - کالکوسیت:

این کانی هنگامی تشکیل می‌شود که سولفیدهای مس مانند کالکوپیریت در معرض شرایط اکسیدی و هوازدگی قرار بگیرند و آهن موجود در ساختمان آنها شسته شود و در نتیجه کالکوسیت جانشین کالکوپیریت می‌شود (شکل ۴-۴ الف و ب).

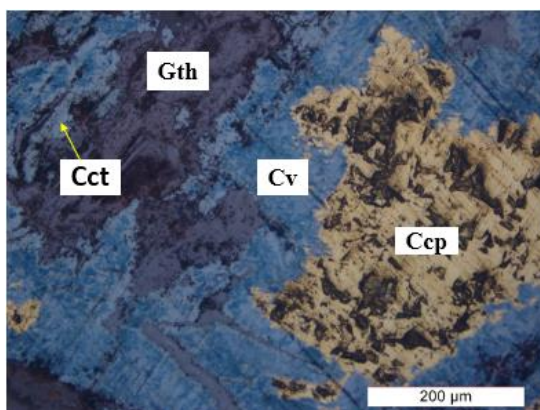


شکل ۴-۴. تصاویر میکروسکوپی از کانی کالکوسیت. الف) تبدیل شدن کالکوپیریت، کوولیت و گوتیت به کالکوسیت. ج) جانشینی کالکوسیت توسط کالکوپیریت. Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cv: کوولیت، Gth: گوتیت.

۴-۲-۵ - کوولیت:

در نمونه‌های مورد مطالعه، پدیده کدر شدگی یا تارنیش (Tarnish) در امتداد شکستگی‌ها، درزه‌ها و مرز بین کالکوپیریت و کوولیت قابل مشاهده است (شکاری‌فرد، ۱۳۸۴). تارنیش با تشکیل هاله‌ای از کوولیت در اطراف کالکوپیریت همراه با هیدروکسیدهای آهن شروع شده است. در مقاطع بیشترین

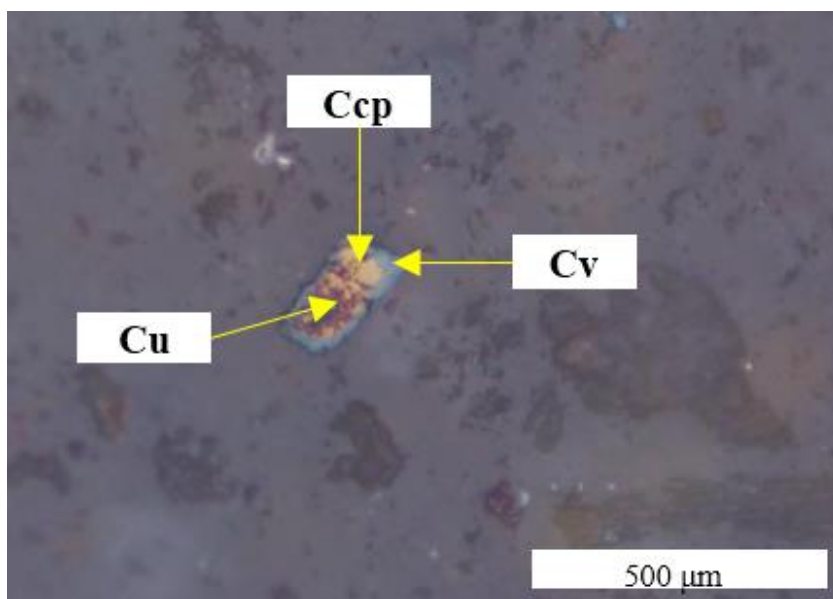
حجم کولیت حاصل فرآیندهای دگرسانی کالکوپیریت بوده و اغلب در حاشیه‌های دگرسان شده‌ی این کانی دیده می‌شود. همچنین کولیت به صورت هم‌رشد با کالکوسیت مشاهده می‌شود (شکل ۴-۵). در مراحل اولیه‌ی فرآیند جانشینی، ممکن است جانشینی به راحتی شناسایی شود زیرا بسیاری از بقایای فاز اصلی و مرزهای دانه‌ی اصلی یا کلیواژها هنوز قابل مشاهده هستند (Craig and Vaughan, 1994).



شکل ۴-۵. تصویر میکروسکوپی از کانی کولیت. کولیت جایگزین کالکوپیریت می‌شود (دگرسانی کالکوپیریت به کانی‌های ثانویه مس (کولیت و کالکوسیت) در اثر عبور سیالات حاصل از فرایندهای سوپرژن). Ccp: کالکوپیریت، Cct: کالکوسیت، Cv: کولیت، Gth: گوتیت.

۴-۲-۶- مس طبیعی:

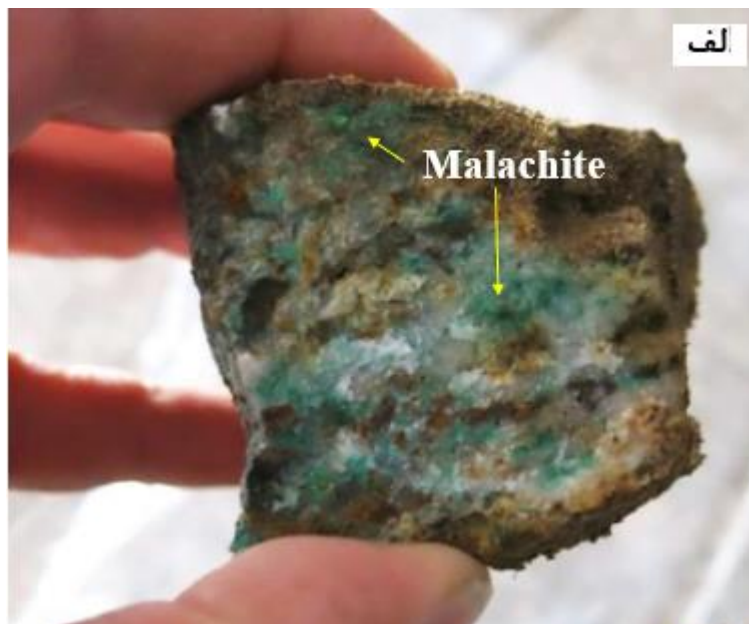
مس طبیعی به مقدار ناچیزی وجود دارد (شکل ۴-۶).

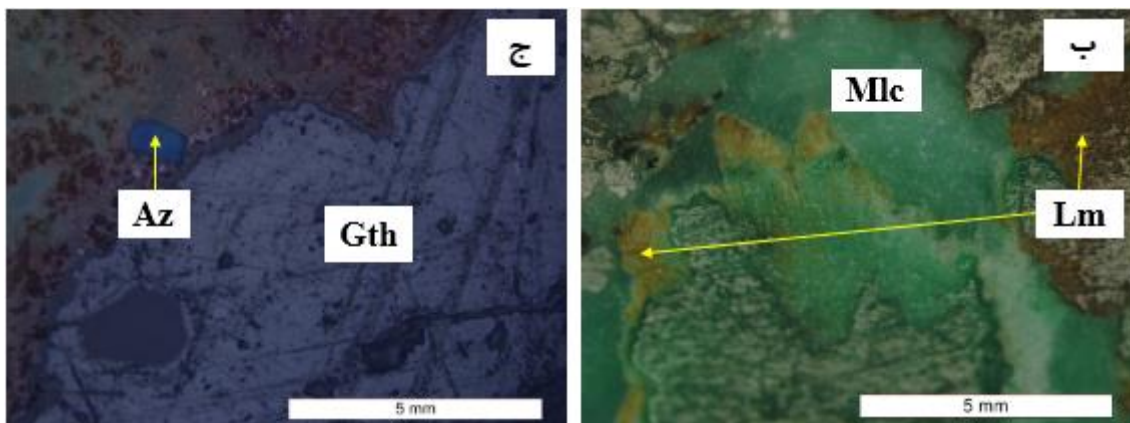


شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی از مس خالص. Cu: مس خالص، Ccp: کالکوپیریت، Cv: کولیت.

۷-۲-۴- مالاکیت و آزوریت:

مالاکیت و به مقدار کمتر آزوریت، آخرین محصول هوازدگی کانی‌های مس‌دار بویژه کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت و کوولیت در سطح رخنمون‌ها و نمونه‌های مغزه‌های حفاری هستند. در منطقه، مالاکیت نسبت به آزوریت از فراوانی بیشتری برخوردار است، این به دلیل پایدارتر بودن مالاکیت و نیز تمایل تبدیل آزوریت به این کانی می‌باشد. مالاکیت به صورت رگه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و فضای بین برش‌ها مشاهده می‌شود. آزوریت در بخش‌های اکسیدی کنسارهای مس‌دار، کانه بسیار مهمی در ذخایر هوازده سوپرژن می‌باشد (Dan Marshal., 2004). آزوریت به صورت پراکنده وجود دارد. در مناطق هوازده، مالاکیت و آزوریت با اکسید و هیدروکسیدهای آهن (بویژه گوتیت و لیمونیت) همراهی می‌شود (شکل ۷-۴-الف-ب-ج).

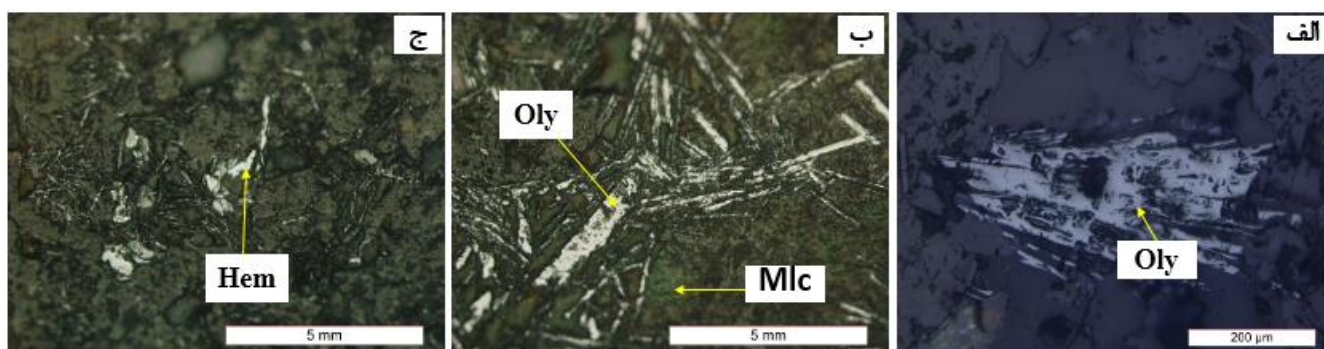




شکل ۴-۷. الف) تصویر نمونه دستی از مالاکیت. ب) تصویر میکروسکوپی مالاکیت به همراه لیمونیت. ج) تصویر میکروسکوپی آزوریت به صورت پراکنده. Mlc: مالاکیت. Az: آزوریت. Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت.

۴-۲-۸- اولیژیست و هماتیت:

اولیژیست معمولاً به صورت بلورهای تیغه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۴-۸-الف و ب). هماتیت اغلب از واپاشی کانی‌های سولفیدی آهن‌دار محدوده مورد مطالعه به ویژه پیریت تشکیل شده است که به مقدار کم و به صورت پرکننده فضای باز دیده شده است (شکل ۴-۸-ج).

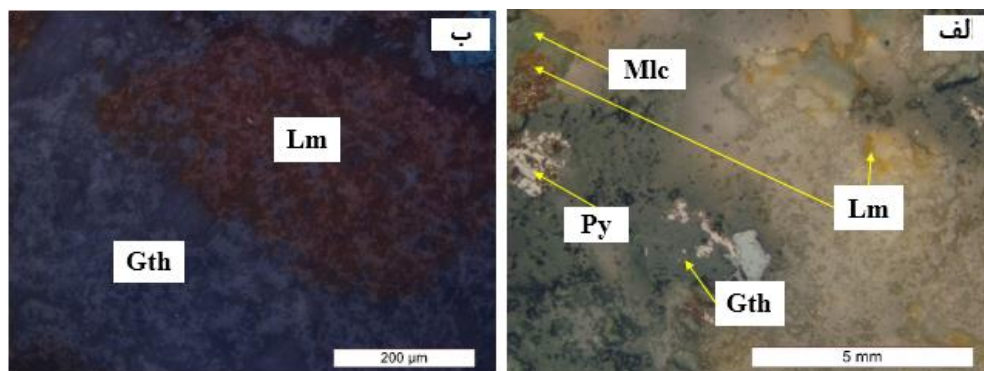


شکل ۴-۸. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های الیژیست و هماتیت. الف و ب) بلورهای تیغه‌ای الیژیست با بافت شعاعی. ج) بلورهای شکل‌دار هماتیت. Oly: الیژیست، Hem: هماتیت. Mlc: مالاکیت.

۴-۲-۹- گوتیت و لیمونیت:

این کانی‌ها، حاصل هوازدگی کانی‌های سولفیدی آهن‌دار (و مس) هستند. تأثیر فرآیندهای هوازدگی و سوپرژن، بر روی کانی‌های سولفیدی (بیشتر پیریت)، موجب تشکیل کانه‌های اکسیدی و هیدروکسیدی آهن می‌شود. این کانی‌ها، از حاشیه‌ها و مرز شکستگی‌ها به طور بخشی و گاه کامل جانشین کانی‌های

سولفیدی شده‌اند. همانطور که در شکل (۹-۴-الف) مشاهده می‌شود پیریت در اثر دگرسانی به گوتیت تبدیل شده و بعضاً تنها بقایایی از آن باقی مانده است. اکسیدهای آهن آبدار در این منطقه در سطوح شکستگی و نیز رگچه‌های سیلیسی وجود دارند. این کانی‌ها گاهی همراه با مالاکیت و آزوریت دیده می‌شوند.

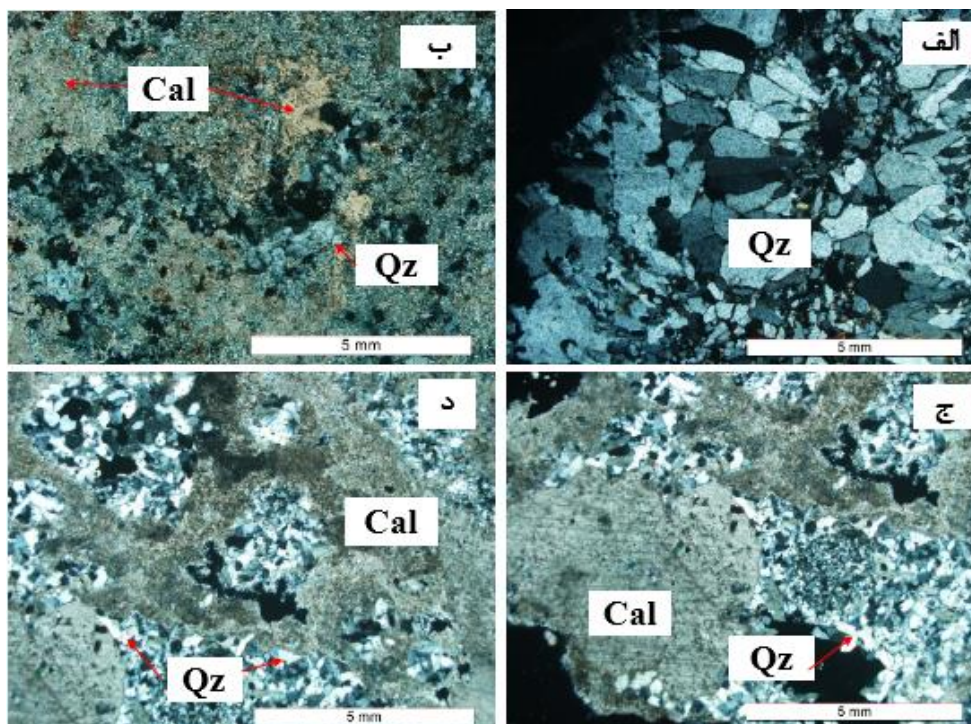


شکل ۴-۹. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های گوتیت و لیمونیت. الف) پیریت در حال تجزیه شدن به گوتیت می‌باشد. ب) گوتیت و لیمونیت. Gth: گوتیت. Lm: لیمونیت.

کانی‌های باطله:

۴-۲-۱۰-کوارتز:

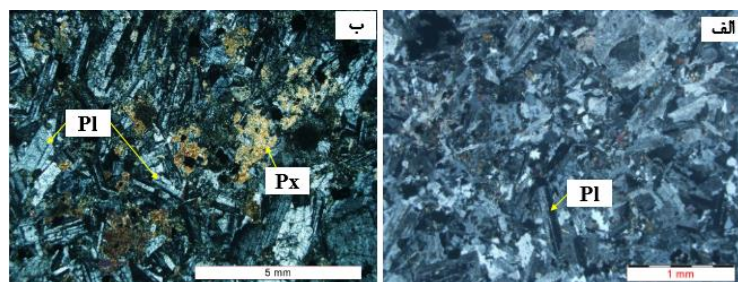
بر پایه اندازه بلورها، کوارتزهای موجود را می‌توان در دو دسته ریزبلور و درشت بلور Kouhestani et al., ۲۰۱۲؛ (Dong et al., 1995) تقسیم‌بندی کرد. کوارتزها معمولاً به صورت بلورهای نیمه‌خودشکل تا بی‌شکل روشن، سفید و یا خاکستری رنگ و به صورت ریز بلور در بین کانی‌ها دیده می‌شوند. کوارتزهای ریزدانه در متن سنگ و در نتیجه‌ی دگرسانی کانی‌های سیلیکاتی اولیه‌ی سنگ شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۱۰-ب). کریستال‌های درشت کوارتز توسط عمل سیالات گرمابی، شکستگی‌ها و حفرات سنگ را پر کرده‌اند (شکل ۴-۱۰-الف).



شکل ۴-۱۰. تصاویر میکروسکوپی از کانی کوارتز. الف) کوارتزهای درشت بلور. ب) قطع شدگی کلسیت توسط رگه‌ی کوارتز. ج و د) کریستال‌های درشت کلسیت که کوارتزها را قطع کرده‌اند. Qz: کوارتز. Cal: کلسیت.

۴-۲-۱۱- پلاژیوکلاز و پیروکسن:

پلاژیوکلاز فراوان‌ترین کانی است که به صورت بلورهای شکل‌دار و نیمه شکل‌دار مشاهده می‌شود. دگرسانی پلاژیوکلاز به کانی‌های رسی، اپیدوت و کلریت در بسیاری از نمونه‌ها دیده شده است. پیروکسن در تعداد محدودی از نمونه‌ها دیده شده است (شکل ۴-۱۱). با توجه به اینکه سنگ‌های دیوریتی و گابرو دیوریتی میزبان اصلی کانی‌سازی مس در منطقه هستند بنابراین این کانی‌ها نیز باطله‌های کانسار به شمار می‌روند.



شکل ۴-۱۱. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های پلاژیوکلاز و پیروکسن. Pl: پلاژیوکلاز، Px: پیروکسن.

۳-۴- ساخت و بافت مواد معدنی

در بررسی میکروسکوپی نور انعکاسی، به ویژه مطالعه کانه‌ها، شناسایی و تفسیر روابط بین دانه‌ها (بافت)، به همان اندازه مهم است که شناسایی کانه‌ها اهمیت دارد. شناسایی بافت کانه‌ها در موارد زیر

کاربرد دارند (Liaghat and Jami, 1999):

(۱) تقدم و تأخر تشکیل کانه‌ها و باطله‌ها

(۲) رابطه‌ی دانه‌ها با یکدیگر و با باطله‌ها

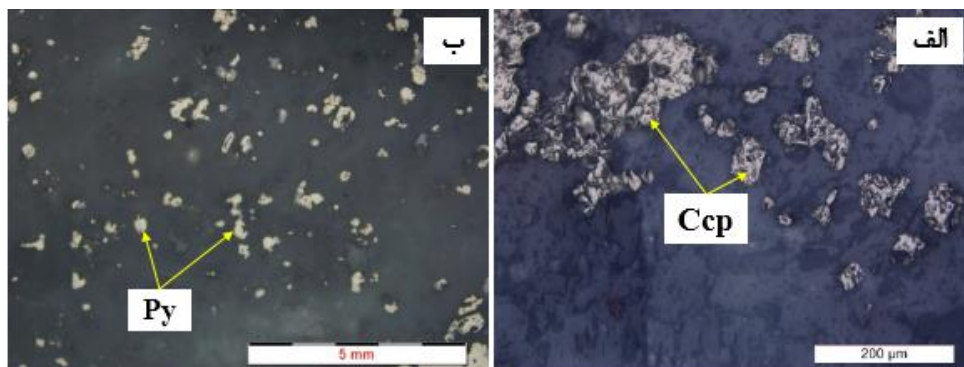
(۳) درجه آزادی دانه‌ها

(۴) مشخص کردن ماهیت فرآیندهای درگیر در نهشته شدن کانه‌ها.

(۵) مشخص کردن رخداد‌های ثانویه مانند برقراری تعادل دوباره، هوازگی، اکسایش و سیمانی شدن. مطالعات انجام شده نشان می‌دهند که بافت‌های ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه از نوع دانه‌پراکنده، رگه- رگچه‌ای، برشی، پُرکننده فضای خالی، اسکلتی و جانشینی و ساختارهای کانی‌سازی به صورت رگه و رگچه‌ای، برشی و پراکنده دیده می‌شود.

۳-۴-۱- بافت دانه پراکنده

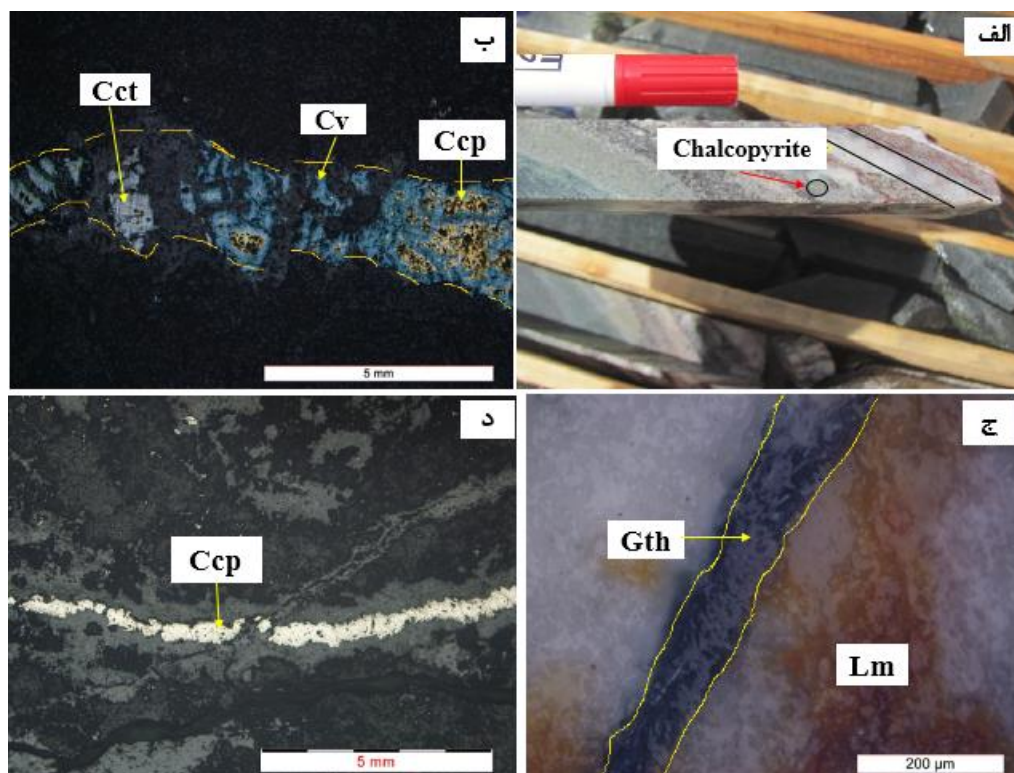
بلورهای کالکوپیریت و پیریت به صورت دانه‌پراکنده در مقاطع مشاهده شده‌اند (شکل ۴-۱۴) و تشکیل این کانه‌ها می‌تواند نشان‌دهنده عملکرد سیالات گرمابی در مرحله اول کانی‌زایی و تراوش این سیالات به داخل سنگ میزبان باشد.



شکل ۴-۱۴. الف) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت به صورت پراکنده. ب) تصویر میکروسکوپی پیریت‌های پراکنده. Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Mlc: ملاکیت.

۴-۳-۲- ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای:

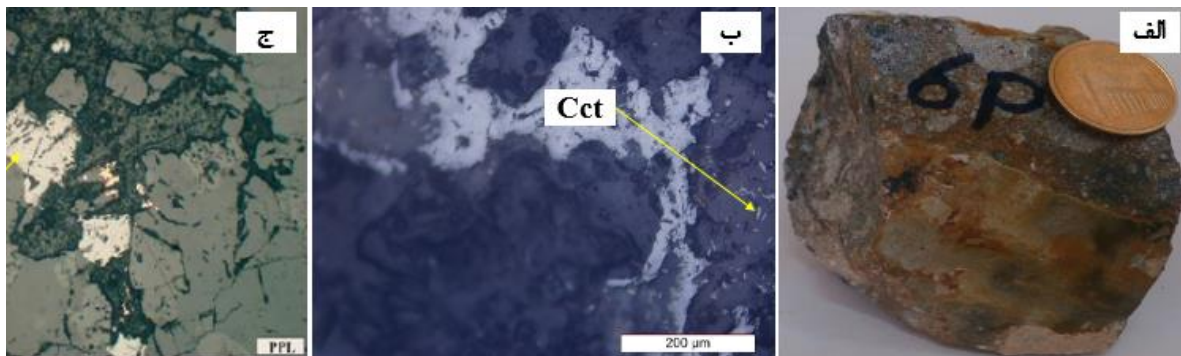
ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای از گسترش بالایی در بخش‌های کانه‌دار برخوردار بوده و دارای ترکیب سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی و ملاکیتی می‌باشند (شکل ۴-۱۵).



شکل ۴-۱۵. نمونه‌هایی از بافت رگه-رگچه‌ای. الف) تصویر نمونه دستی از کانی‌سازی کالکوپیریت در رگچه سیلیسی. ب) رگه‌ای که توسط کانی‌های کالکوپیریت، کولیت و کالکوسیت پر شده است. ج) رگه‌ی پر شده توسط گوتیت. د) رگه‌ی کالکوپیریت. Ccp: کالکوپیریت، Mlc: ملاکیت. Cct: کالکوسیت، Cv: کولیت، Gth: گوتیت، Lm: لیمونیت.

۴-۳-۳- ساخت و بافت پرکننده فضاهای بین برش‌ها:

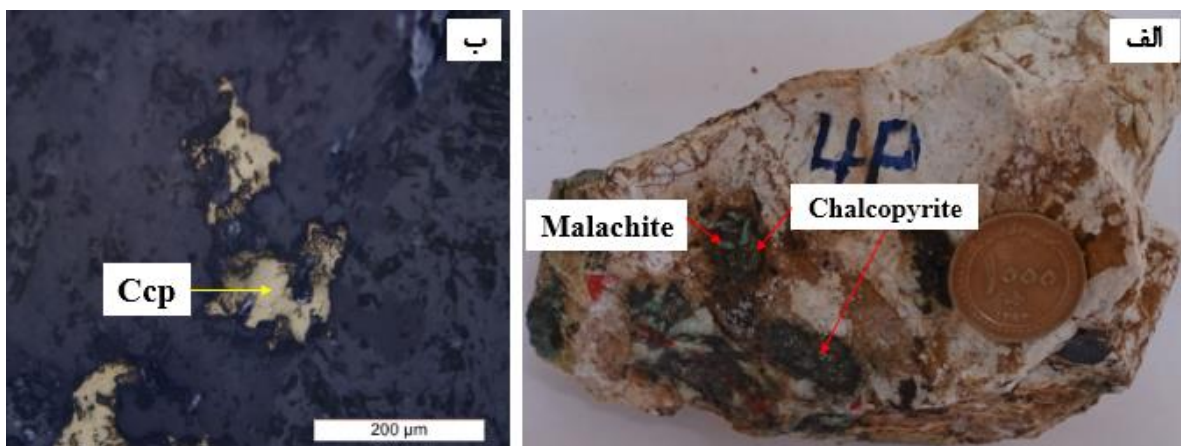
در تصاویر صحرایی و نمونه‌های دستی کانی‌های مالاکیت و کالکوپیریت فضاهای بین برش‌ها را پر کرده‌اند. در مقاطع میکروسکوپی نیز بلورهای کالکوسیت و پیریت فضاهای ناشی از برشی شدن سنگ را پر کرده‌اند (شکل ۴-۱۶).



شکل ۴-۱۶. الف) تصویر نمونه دستی از پرشدگی فضاهای ناشی از برشی شدن. ب) کالکوسیت و ج) پیریت فضاهای ناشی از برشی شدن را پر کرده‌اند. Cct: کالکوسیت، Py: پیریت.

۴-۳-۴- ساخت و بافت پرکننده فضای خالی:

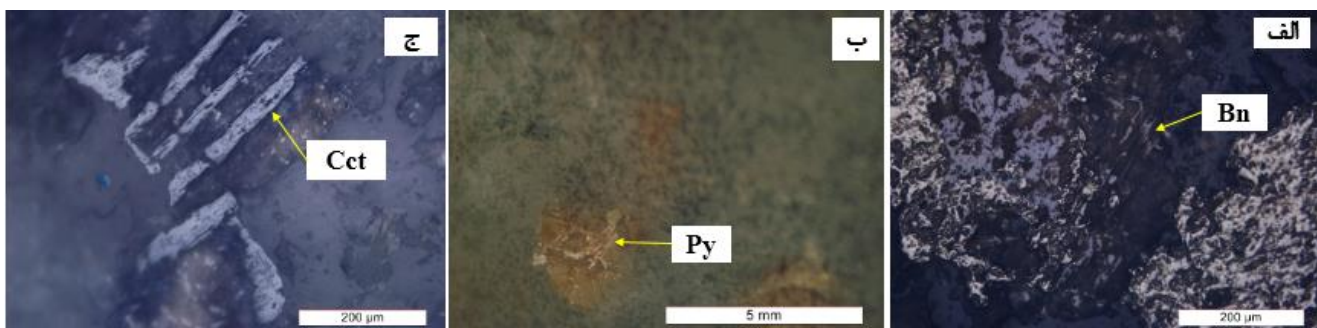
کانی‌های سولفیدی مس، در مکان‌هایی که نفوذپذیری سنگ بالا بوده است (در اثر وجود خلل و فرج موجود در سنگ)، در اثر ورود سیال کانه‌دار به صورت بافت پرکننده فضای خالی، ته نشست نموده‌اند (Kirkham, 1996) (شکل ۴-۱۷). مالاکیت و کالکوپیریت فضاهای ناشی از انحلال را پر کرده‌اند.



شکل ۴-۱۷. الف) تصویر نمونه دستی که کالکوپیریت و مالاکیت فضای خالی موجود در سنگ را پر کرده‌اند. ب) کالکوپیریت فضاهای خالی را پر کرده است. Ccp: کالکوپیریت.

۴-۳-۵- بافت اسکلتی:

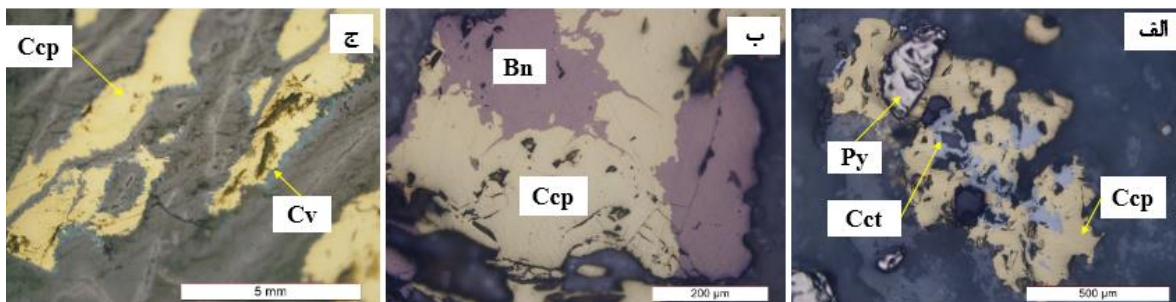
رشد سریع بلورها در دمای پایین و غلظت بالا می‌تواند سبب به‌وجود آمدن این بافت شود. همانطور که در شکل (۴-۱۸) مشاهده می‌شود برخی از کانی‌های پیریت، کالکوسیت و بورنیت در منطقه رشدی ناقص داشته و دیواره‌های بلوری آنها به طرز ناموزونی تکامل یافته و حالتی اسکلتی و استخوانی به این کانی‌ها داده است. این بافت بیشتر در بلورهای پیریت و به مقدار کمتر در کالکوسیت و بورنیت دیده شده است.



شکل ۴-۱۸. تصاویر میکروسکوپی از بافت اسکلتی. Py: پیریت، Cct: کالکوسیت، Bn: بورنیت.

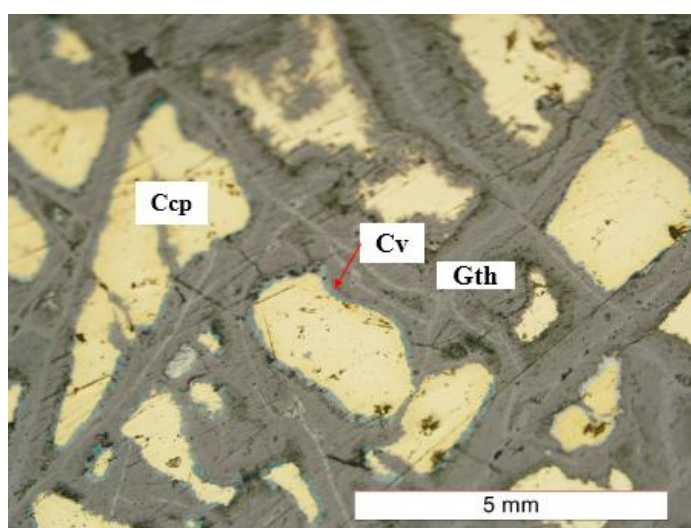
۴-۳-۶- بافت جانشینی:

جانشینی ممکن است نتیجه‌ی یکی یا بیشتر از فرآیندهای (۱) انحلال و ته‌نشینی مجدد (پسین ۲) اکسیداسیون (۳) انتشار حالت جامد باشد (Craig and Vaughan, 1994). ادوارد (۱۹۴۷)، باستین (۱۹۵۹) و رامدور (۱۹۶۹) انواع گسترده‌ای از جانشینی - حاشیه‌ای، ناحیه‌ای و frontal و ... را توصیف کرده‌اند اما به نظر می‌رسد همه‌ی آنها نشان‌دهنده‌ی تغییرات فرآیند یکسانی هستند. کانی‌های سولفیدی مس، بر اساس تفاوت در میزان گوگرد و مس موجود در سیال کانه‌دار، از مرکز قسمت کانه‌زایی به سمت حاشیه تغییر ترکیب می‌دهند و حالت منطقه‌بندی را ایجاد می‌کنند. همانطور که در شکل (۴-۱۹) مشاهده می‌شود کالکوپیریت از حاشیه به کانی‌های کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است.



شکل ۴-۱۹. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانیشینی. الف) کالکوپیریت از حاشیه تبدیل به کالکوسیت شده است. ب) کالکوپیریت از حاشیه تبدیل به بورنیت شده است. ج) کالکوپیریت از حاشیه تبدیل به کوولیت شده است. Ccp: کالکوپیریت، Py: پیریت، Cct: کالکوسیت، Bn: بورنیت، Cv: کوولیت.
۴-۳-۷- بافت باقیمانده:

کالکوپیریت در برخی موارد ابتدا به کوولیت و سپس گوتیت تجزیه شده است شدت هوازدگی بعضاً به حدی است که این کانی به طور کامل به گوتیت تبدیل شده و یا تنها بقایایی از آن به صورت بافت بازماندی یا جزیره‌ای (Ineson, 1989) باقی مانده است (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰. هوازدگی کالکوپیریت به کوولیت گوتیت از حاشیه‌ها و تشکیل بافت جانیشینی و باقیمانده.

۴-۴- توالی پاراژنتیکی:

توالی پاراژنتزی، ترتیب تشکیل کانی‌ها (کانه و باطله) و تقدم و تأخر زمانی حوادثی را ارائه می‌دهد که کانسار و یا منطقه کانه‌زایی را تحت تأثیر قرار داده است (Craig and Vaughan, 1994). یک توالی پاراژنتزی می‌بایست شرایطی که فازها بر اساس آنها پدید آمده یا به تعادل دوباره رسیده‌اند را شرح دهد. توالی پاراژنتیکی معمولاً به صورت نمودارهای خطی ترسیم شده و در آن ارتباط زمانی مواد معدنی و باطله، فراوانی نسبی کانی‌ها و توالی تشکیل مجموعه کانی‌های دگرسانی در حین تکامل سیستم کانه-زایی خلاصه می‌شود (Barker, 1991). اگرچه با بررسی رخنمون‌ها و مغزه‌های حفاری به اطلاعات زیادی می‌توان رسید، اما مطالعه‌ی توالی کانی‌ها عملاً به میکروسکوپ محدود است. برای تعیین ترتیب نهشت کانی‌ها از آنالیز دقیق بافت‌ها و ساخت‌های میکروسکوپی استفاده می‌شود (گیلبرت و پارک، ۱۹۹۷).

جدول ۴-۱. توالی پاراژنزی کانی‌های تشکیل دهنده‌ی منطقه.

		Stages	Hypogene		Supergene	
			Pre – ore stage	Ore stage	Post – ore stage	
			1	2	3 (-Eh)	4 (+Eh)
Ore	Pyrite	-----		////		
	Chalcopyrite			////		
	Bornite			////		
	Chalcocite				////	
	Covellite				////	
	Malachite					////
	Azurite					////
	Cu-native				-----	
	Oligiste			////		////
	Hematite					////
	Goethite					////
	Limonite					////
	Gangue	Quartz			////	
Calcite				////		
Texture	Disseminated	-----		////		
	Vein and Veinlet			////	////	////
	Open space-brecciation			////		
	Open space-filling			////	////	////
	Replacement				////	////
	Skeletal				////	////
	Residual				////	////

فصل پنجم

مطالعات

ژئوشیمیایی

۵-۱- مقدمه:

یکی از مباحث اصلی در شناخت دقیق و کامل هر کانساری، انجام مطالعات ژئوشیمیایی است. انتخاب روش مطالعاتی سنجیده، و به تبع آن تعبیر و تفسیر مناسب داده‌های ژئوشیمیایی، کمک بزرگی به درک بهتر خصوصیات هر ماده معدنی خواهد کرد. هر ماده معدنی و عناصر همراه آن با توجه به خصوصیات ساختاری و فراوانی، روش خاصی را برای بررسی‌های ژئوشیمیایی می‌طلبد. بنابراین استفاده از روشی که در تعیین مقادیر عنصری، از دقت و صحت مناسب و کافی برخوردار باشد، ضروری است. پس در قدم اول با شناخت درست از ماهیت ماده معدنی، خواهیم توانست روش آنالیز مناسب و دقیقی انتخاب کنیم. بدین منظور می‌بایست پس از انتخاب محل مناسب نمونه برداری ژئوشیمیایی، با اعمال روش‌های دقیق نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه، کار آنالیز شیمیایی را انجام دهیم.

بررسی‌های ژئوشیمیایی در کانسارهای مختلف، علاوه بر آن که راهنمای بسیار خوبی در فهم نحوه و مراحل تشکیل یک کانسار است، به‌عنوان یک ابزار اکتشافی قدرتمند (البته به همراه سایر لایه‌های اطلاعاتی) در پی‌جویی کانسارهای مشابه نقش بسزایی داشته است.

در مطالعات ژئوشیمیایی، عناصر تشکیل‌دهنده کره زمین در سنگ‌های آذرین به سه گروه عناصر اصلی، جزئی و کمیاب تقسیم می‌شوند (کریم‌پور، ۱۳۸۸). در این تقسیم‌بندی، عناصر اصلی در مطالعات سنگ‌های آذرین برای محاسبه کانی‌های سنگ به روش نورم (CIPW) و سایر روش‌ها، بررسی تفریق و اختلاط ماگمایی، نامگذاری‌ها براساس نمودارهای استاندارد، تعیین سری سنگ‌ها و مطالعه دگرسانی کاربرد دارند. نقش عناصر جزئی و کمیاب نیز در سنگ‌های آذرین شامل نامگذاری سنگ‌های آتشفشانی، تعیین سری ماگمایی، بررسی تفریق ماگمایی، بررسی منشأ از دیدگاه نوع کانی‌ها و درصد ذوب‌بخشی مذاب اولیه سنگ‌ها می‌باشد.

مطالعات ژئوشیمی در این تحقیق به دو بخش تقسیم شده است: (۱) ژئوشیمی محیط سنگ و (۲) ژئوشیمی محیط کانسنگ.

۵-۲- ژئوشیمی محیط سنگ

۵-۲-۱- نمونه برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ:

به منظور مطالعات ژئوشیمیایی واحدهای سنگی، نمونه برداری از بخش‌های سطحی و گمانه‌ها به صورت chip sample و از بخش‌های غیردگرساکن انجام شد. تعداد ۸ نمونه به روش XRF برای مطالعه ژئوشیمی سنگ به آزمایشگاه کانسارن بینالود ارسال شد که برای اندازه‌گیری غلظت عناصر توسط این روش، نمونه‌ها ابتدا خردایش، بعد نرمایش شده و سپس قرص‌های پرسی از آن‌ها ساخته شده و در نهایت برای ۱۰ اکسید اصلی به صورت درصد وزنی به همراه ۲۲ عنصر فرعی برحسب قسمت در میلیون (ppm) آنالیز شده‌اند. نتایج مربوط به این آنالیز در جدول (۵-۲) آورده شده است. دستگاه XRF بکار گرفته شده در این آزمایشگاه ساخت کمپانی PHILIPS مدل PW1480 می‌باشد. نام و خصوصیات نمونه‌های برداشت شده در جدول ۵-۱ آورده شده است:

جدول ۵-۱. خصوصیات نمونه‌های برداشت شده.

ردیف	شماره نمونه‌ها	محل برداشت نمونه	مختصات UTM	توصیف سنگ‌شناسی
1	BH7-59	گمانه	X=460640 Y=3899844	لوکودیوریت (دارای بافت پورفیری و حاوی کانی‌های اپیدوت، پلاژیوکلاز و هورنبلند)
2	BH10-20.5	گمانه	X=460911 Y=3899856	ریوداسیت پورفیری (دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، سریسیت، کوارتز و کلسیت)
3	ZR2-1G	ترانشه	X=460915 Y=3899872	لوکوگابرو (دارای بافت گرانولار و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، کلسیت و کلریت)
4	ZR2-2G	ترانشه	X=460767 Y=3899585	گابرو (دارای بافت گرانولار و افیتیک و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز، پیروکسن و الیوین)
5	ZR1-3G	ترانشه	X=460204 Y=3900297	داسیت پورفیری (دارای کانی‌های پلاژیوکلاز، کلسیت و اکسیدهای آهن)
6	ZR1-4G	ترانشه	X=460194 Y=3900348	ریوداسیت (دارای بافت پورفیری و حاوی کانی کوارتز و پلاژیوکلاز)
7	ZR1-5G	ترانشه	X=460143 Y=3900809	گابرو (دارای بافت گرانولار و حاوی کانی‌های پلاژیوکلاز و کوارتز)
8	ZR1-6G	ترانشه	X=460182 Y=3900808	دایک ریوداسیتی (دارای کانی‌های کوارتز و سریسیت)

جدول ۵-۲. مقادیر غلظت اکسید عناصر اصلی (%) و عناصر کمیاب (ppm) در ۶ نمونه‌ی سنگ به روش XRF.









نمونه‌ها	BH7- 59	BH10- 20.5	ZR2- 1G	ZR2- 2G	ZR1- 3G	ZR1- 4G	ZR1- 5G	ZR1- 6G
SiO ₂ %	48.36	62.52	49.68	51.32	68.44	68.55	53.26	73.22
Al ₂ O ₃	16.56	11.78	18.32	18.06	15.99	15.96	17.32	16.26
Fe ₂ O ₃	7.72	4.18	10.46	9.51	1.42	1.32	8.68	1.38
CaO	13.05	5.39	8.62	9.22	2.19	1.98	8.39	0.89
Na ₂ O ₃	5.09	4.22	2.68	3.42	7.99	8.14	3.34	0.72
K ₂ O ₃	0.23	0.08	0.33	0.91	0.37	0.39	0.35	0.03
MgO	1.40	2.43	4.81	5.10	0.12	0.16	4.90	3.57
TiO ₂	0.675	0.581	0.716	0.735	0.325	0.330	0.800	0.783
MnO	0.103	0.075	0.148	0.214	0.033	0.048	0.151	0.012
P ₂ O ₅	0.146	0.169	0.190	0.161	0.101	0.098	0.206	0.126
S	0.021	0.008	0.012	0.021	0.008	0.015	0.011	0.013
L.O.I	6.37	8.36	3.73	1.08	2.73	2.73	2.30	2.62
Cl(ppm)	129	134	84	145	104	112	169	175
Ba	100	242	200	382	172	332	188	125
Sr	438	198	474	1120	289	1220	601	272
Cu	27	14	387	100	310	20	140	508
Zn	23	12	48	62	13	9	47	36
Pb	10	7	11	13	8	16	14	37
Ni	21	15	22	23	14	23	21	31
Cr	105	5	14	32	7	5	22	23
V	182	82	148	176	25	27	167	188
Ce	15	40	27	43	72	85	8	27
La	10	18	15	24	33	56	5	15
W	4	2	1	2	3	14	9	2
Zr	107	207	112	214	249	381	156	146
Y	13	42	10	14	32	42	17	17
Rb	21	15	19	23	23	21	17	16
Co	23	5	36	37	4	5	29	2
As	35	18	9	41	39	8	15	524
U	1	1	1	1	1	2	2	3
Th	3	4	3	3	2	3	4	5

Mo	4	2	3	4	2	2	3	2
Ga	15	14	14	14	21	21	15	20
Nb	4	2	2	4	2	3	2	2

۵-۲-۲- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

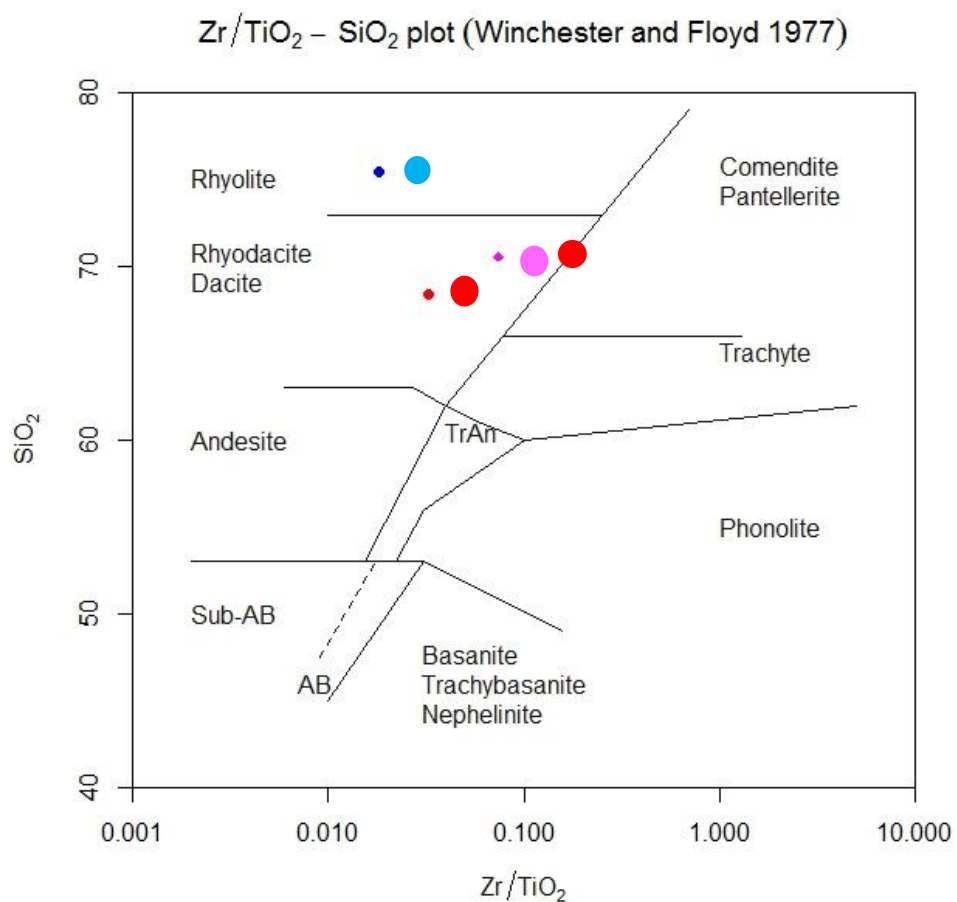
ژئوشیمی محیط سنگ دارای ۲ بخش (۱) ژئوشیمی عناصر اصلی و (۲) ژئوشیمی عناصر فرعی و کمیاب می‌باشد. از عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین، درجه اشباع از آلومین و نیز تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها استفاده شده است. مهم‌ترین واحدهای سنگ شناختی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین بیرونی، نیمه‌عمیق و توده‌ی نفوذی می‌باشند که مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها اطلاعات مهمی را در رابطه با منشأ و ترکیب سنگ‌های منطقه در اختیار قرار خواهد داد.

جدول ۵-۳. علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌ها در تمامی شکل‌ها.

شماره نمونه	BH7-59	BH10-20.5	ZR2-1G	ZR2-2G	ZR1-3G	ZR1-4G	ZR1-5G	ZR1-6G
علامت								

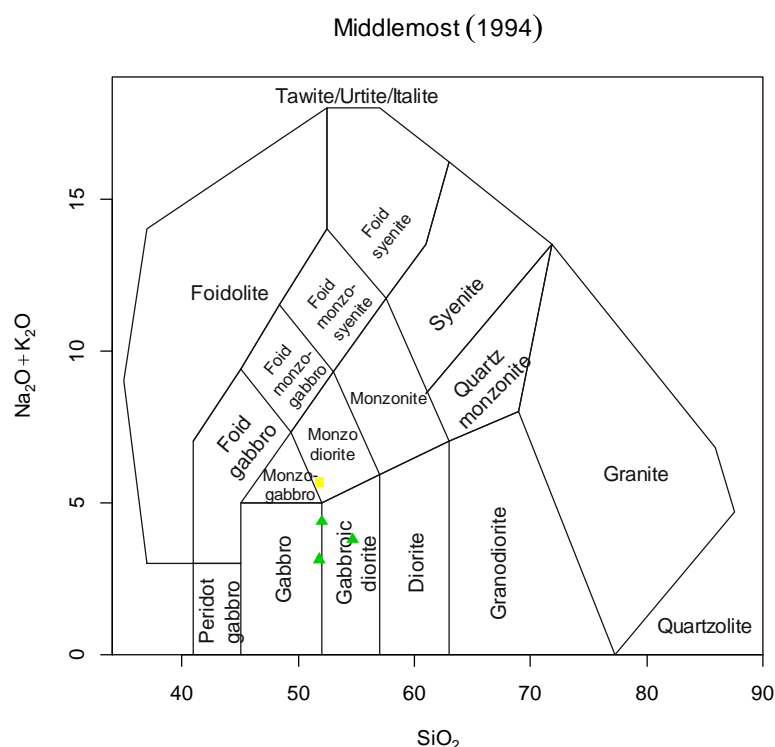
۵-۲-۲-۱- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس عناصر اصلی

(۱) نامگذاری براساس نمودار (Winchester and Floyd (1977): این نمودار برای سنگ‌های آتشفشانی می‌باشد، در نتیجه با توجه به شکل ۵-۱ سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از جنس ریولیت، ریوداسیت و داسیت می‌باشند.



شکل ۵-۱. موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار (Winchester and Floyd 1977).

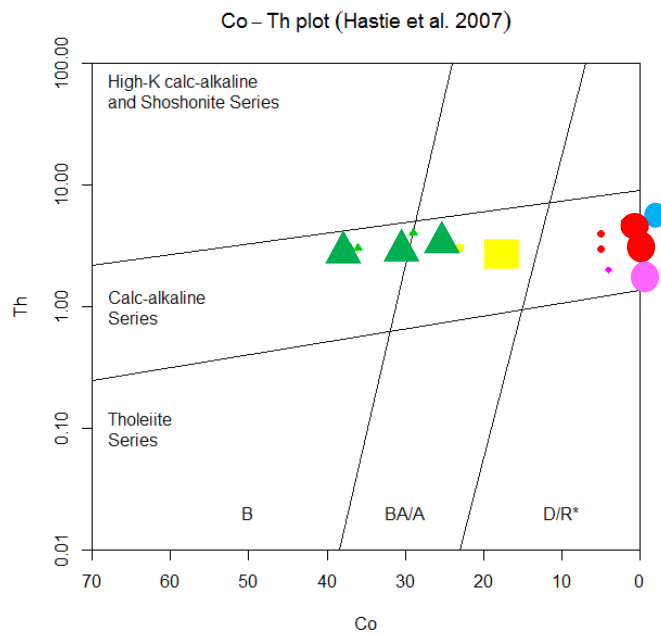
۲) نامگذاری براساس نمودار (Middlemost (۱۹۹۴): این نمودار یک روش طبقه‌بندی برای سنگ‌های نفوذی می‌باشد. همانطور که در شکل ۵-۲ مشاهده می‌شود، سنگ‌های نفوذی منطقه از جنس گابرو، گابرودیوریت و مونزودیوریت می‌باشند.



شکل ۵-۲. موقعیت سنگ‌های نفوذی منطقه بر روی نمودار (Middlemost, 1994).

۵-۲-۲-۲- تعیین سری ماگمایی براساس عناصر اصلی

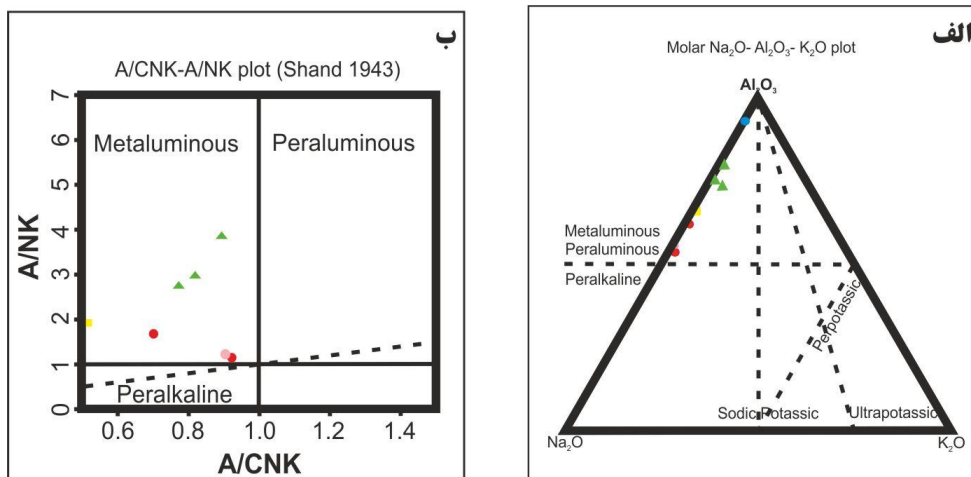
سری ماگمایی به مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین گفته می‌شود که دارای ترکیب شیمیایی متفاوت بوده، ولی نتیجه تفریق یک ماگمای مادر بازیک می‌باشند (Kuno, 1968). به طور کلی، تعداد ۵ سری ماگمایی مشخص شده است (Middlemost, 1975). سری‌های ماگمایی مزبور شامل سری تولییتی، آلكال، كالك آلكالن، شوشونیتی و تحولی می‌باشند. بررسی سری‌های ماگمایی، کمک مؤثری در شناخت تحولات ماگمایی و سنگ‌شناسی یک منطقه ایفا می‌نماید. در اینجا برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه از نمودار (Hastil et al, 2007) استفاده شده است. با استفاده از این دیاگرام می‌توان روند تفریق سنگ‌های ماگمایی را که ضمن تحول ماگمایی غنی‌شدگی از آهن نشان می‌دهند (تولییتی) را نسبت به انواعی که دارای مقادیر کمتری از آهن هستند (کالك آلكالن) مشخص نمود. همانطور که در شکل (۳-۵) مشاهده می‌شود نمونه‌ها در محدوده‌ی کالك آلكالن قرار می‌گیرند.



شکل ۵-۳. موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار AFM (Irvin and Baragar, 1971).

۵-۲-۳- درجه‌ی اشباع از آلومین براساس عناصر اصلی

درجه اشباع از آلومینیوم نشان دهنده ماهیت موادی است که سنگ‌های ماگمایی از آنها منشأ می‌گیرند (Chappell & White, 1974). سنگ‌های آذرین براساس شاخص اشباع از آلومینیوم به گروه‌های پرآلومین، متآلومین و پرآلکالن (Shand, 1951) و ساب آلومین (Hyndman, 1985) تقسیم شده‌اند. از نظر پرآلومین بودن گرانیتوئیدهای نوع S و I تقریباً مشابه (نوع S پرآلومین تر هستند) ولی گرانیتوئید نوع I مافیک متآلومین است بنابراین میزان آلومینیوم عاملی برای تفکیک گرانیتوئیدهاست (Sha and Shand, 1999). برای این منظور از دیاگرام نسبت مولی $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ و دیاگرام Shand (۱۹۴۳) استفاده شده که نمونه‌های منطقه در محدوده‌ی متآلومین قرار دارند.



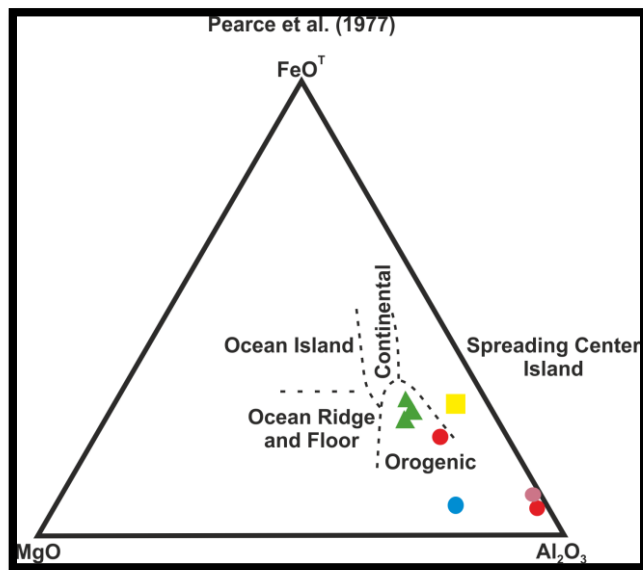
شکل ۴-۵. موقعیت سنگ‌های منطقه بر روی الف) دیاگرام سه‌تایی $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$ (ب) دیاگرام (Shand, 1943).

۵-۲-۴- تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های آذرین براساس عناصر اصلی و فرعی

نمودارهای جدا کننده محیط‌های تکتونوماگمایی، نمودارهای تغییرات ژئوشیمیایی هستند که براساس آنها، ماگماهای تولید شده در جایگاه‌های متفاوت تکتونیکی می‌توانند براساس ویژگی‌های شیمیایی از یکدیگر تفکیک شوند (Pearce and Cann, 1973; Rollinson, 1993). یک نمودار خوب متمایز کننده محیط زمین‌ساختی، باید با عناصری تشکیل شود که نسبت به فرایندهای ثانویه غیرحساس هستند و نیز اندازه‌گیری آنها، حتی در سطح غلظت پایین، به وسیله روش‌های تجزیه ساده و سریع، با دقت بالا امکان پذیر باشد (Rollinson, 1993). برای تعیین محیط تکتونیکی سنگ‌های منطقه از نمودارهای زیر استفاده شده است:

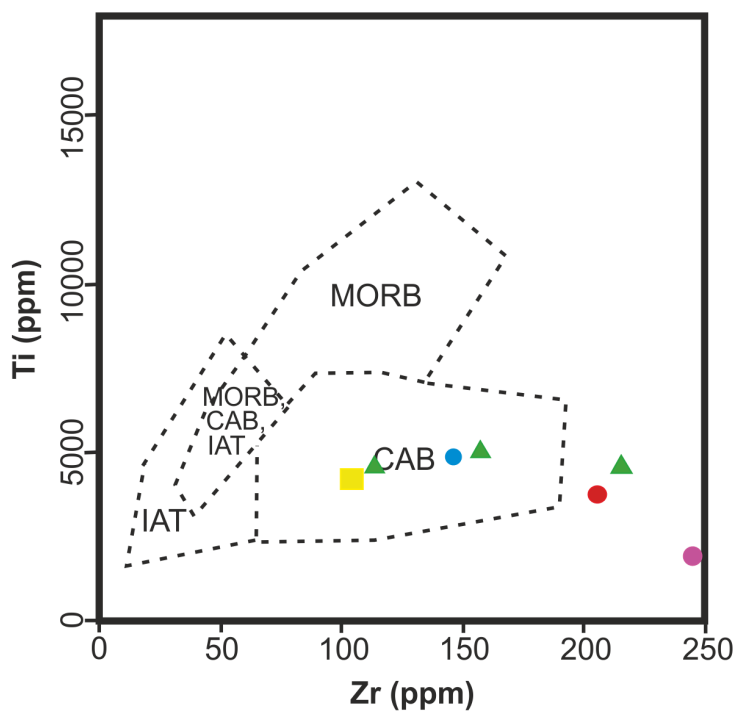
(۱) نمودار سه‌تایی $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ (Pearce et al, 1977): این نمودار برای تفکیک بازالت‌های قاره‌ای از اقیانوسی است. طبق این نمودار اکثر سنگ‌ها در محدوده کوهزایی قرار و تعداد اندکی در بخش محیط‌های زون گسترش جزایر قرار می‌گیرند.

(۲) نمودار دوتایی Zr در برابر Ti (Pearce and Cann, 1973): نمونه‌ها در این نمودار در بخش بازالت‌های کمان قاره‌ای قرار دارند (شکل ۴-۵). که احتمالاً به علت آلودگی پوسته‌ای یعنی افزایش Zr و کاهش Ti می‌باشد.



شکل ۵-۵. موقعیت نمونه‌ها در نمودار سه‌تایی $MgO-FeO^T-Al_2O_3$ (Pearce et al, 1977).

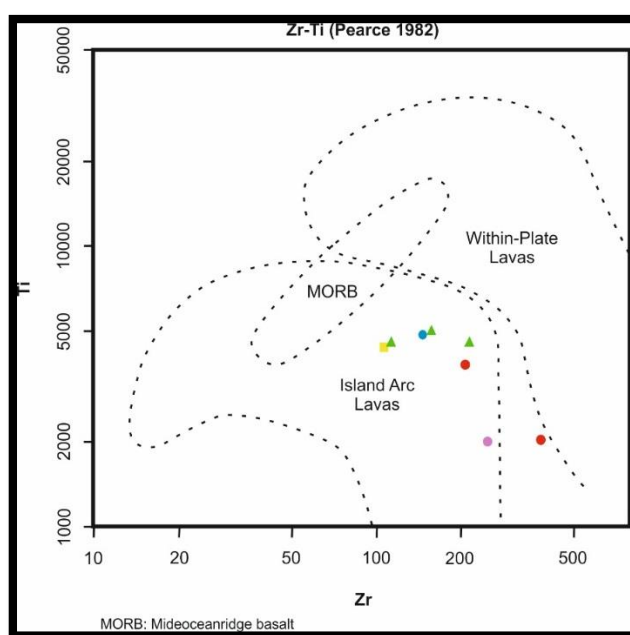
Basalt tectonic discrimination- Pearce and cann (1973)



CAB: Continental Arc Basalt
 IAT: Tholeiite island arc
 MORB: Mid oceanic ridge basalt

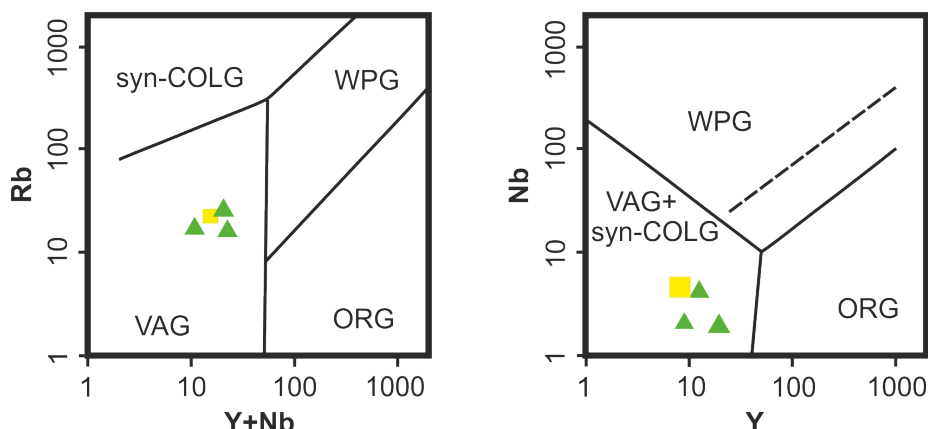
شکل ۵-۶. موقعیت تکتونیکی نمونه‌های منطقه بر روی نمودار دوتایی Zr در برابر T (Pearce and Cann, 1973).

۳) نمودار دوتایی Zr در برابر Ti (Pearce 1982): این نمودار برای تعیین موقعیت تکتونیکی بازالت‌های درون‌صفحه‌ای، بازالت‌های جزایر قوسی و بازالت‌های MORB است. براساس این نمودار سنگ‌های منطقه در محدوده‌ی بازالت‌های جزایر قوسی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷. موقعیت نمونه‌های منطقه بر روی نمودار دوتایی Zr در برابر Ti (Pearce 1982).

۴) تعیین موقعیت تکتونیکی سنگ‌های آذرین منطقه (Pearce et al, 1984): سنگ‌های گرانیتی در جایگاه‌های زمین‌ساختی مختلفی تشکیل می‌شوند. با مطالعه ژئوشیمی عناصر جزئی می‌توان موقعیت تکتونیکی را مشخص نمود. عناصر Y, Rb و Nb به عنوان نشانگرهای بسیار مؤثری برای انواع گرانیت‌های پشته‌های قوسی (ORG)، گرانیت‌های درون‌صفحه‌ای (WRG)، گرانیت‌های کمان آتشفشانی (VAG) و گرانیت‌های مناطق برخوردی (syn-COLG) برگزیده شده‌اند (Pearce et al, 1984). براساس این نمودارها، نمونه‌ها نشان‌دهنده‌ی موقعیت کمان آتشفشانی برای این منطقه می‌باشند (شکل ۸-۵).



شکل ۵-۸. نمودارهای تفکیک موقعیت تکتونیکی (Pearce et al, 1984).

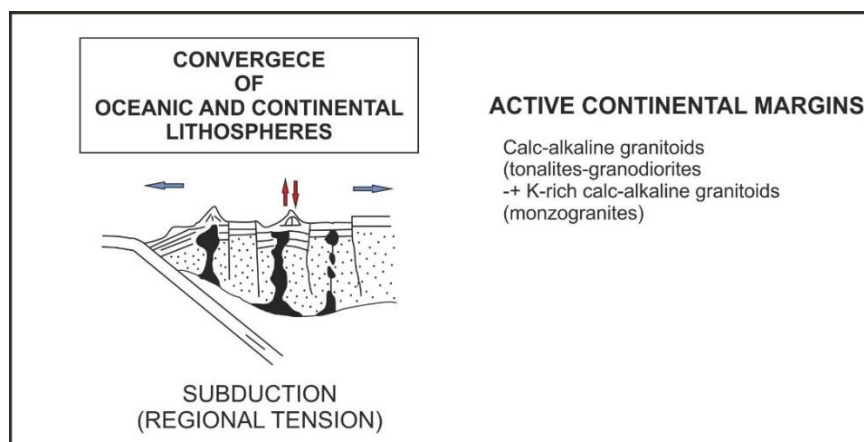
۵-۲-۲-۵- طبقه‌بندی گرانیتوئیدها براساس تقسیم‌بندی (Barbarin 1999)

(Barbarin 1999) گرانیتوئیدها را براساس مؤلفه‌های صحرایی نظیر پارامترهای کانی‌شناسی، پتروگرافی و شیمیایی به ۷ نوع MPG (گرانیتوئیدهای پرآلومینوس مسکویت‌دار)، CPG (گرانیتوئیدهای پرآلومینوس کردیریت‌دار)، KCG (گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان غنی از فلدسپات آلکان)، ACG (گرانیتوئیدهای کالک-آلکان غنی از آمفیبول)، PAG (گرانیتوئیدهای آلکان و پرآلکان)، RTG (گرانیتوئیدهای تولیتی پشته‌ای) و ATG (گرانیتوئیدهای تولیتی قوسی) تقسیم کرده است. بر اساس این طبقه‌بندی، گرانیتوئیدهای منطقه مورد مطالعه را می‌توان از نوع گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان غنی از آمفیبول (ACG) در نظر گرفت (شکل ۵-۹). این گرانیتوئیدها در مقایسه با گرانیتوئیدهای MPG و CPG شامل آمفیبول، پیروکسن و مقداری اسفن و مگنتیت بوده و فاقد کانی‌های آلومینوسیلیکاته نظیر کردیریت، سیلیمانیت و موسکویت هستند. زنولیت‌ها و آنکلاوهای میکروگرانولار فلسیک در نزدیک حاشیه توده‌های گرانیتوئیدی معمول هستند. آنکلاوهای ماگمایی مافیک، متداول بوده و گاه دسته آنکلاوهای با بزرگی چند متر را تشکیل می‌دهند (Barbarin 1991, 199). به اعتقاد او می‌توان از گرانیتوئیدها به‌عنوان نشانگر محیط ژئودینامیکی استفاده کرد به شرط آنکه نوع گرانیتوئید به درستی مشخص شده و دقیقاً سن‌یابی شود.

به اعتقاد Barbarin (۱۹۹۹) گرانیتوئیدهای کالک‌آلکان ACG در بالای زون فرورانش قرار دارند. در حواشی فعال قاره‌ها، گرانیتوئیدهای ATG کمیاب بوده و گرانیتوئیدهای ACG باتولیت‌های بزرگی به موازات گودال تشکیل می‌دهند. آتشفشان‌های آندزیتی بزرگ غالباً در قله این باتولیت‌ها دیده می‌شوند. بسیاری از زون‌های فرورانش بالغ حاوی مقادیر زیادتری از گرانیتوئیدهای ACG هستند. همگرایی پوسته قاره‌ای و اقیانوسی اغلب منجر به تولید فراوان تونالیت‌ها و گرانودیوریت‌های کالک‌آلکان (ACG) با پتاسیم کم و کلسیم بالا می‌گردد (شکل ۵-۱۰).

GRANITOID TYPE		ORIGIN	GEODYNAMIC ENVIRONMENT
Muscovite-bearing Peraluminous Granitoids	MPG	CRUSTAL ORIGIN PERALUMINOUS GRANITOIDS	CONTINENTAL COLLISION
Cordierite-bearing Peraluminous Granitoids	CPG		
K-rich Calc-alkaline Granitoids (High K - Low Ca)	KCG	MIXED ORIGIN (Crust + Mantle) METALUMINOUS AND CALC-ALKALINE GRANITOIDS	TRANSITIONAL REGIMES
Amphibole-bearing Calc-alkaline Granitoids (Low K - High Ca)	ACG		SUBDUCTION
Arc Tholeiitic Granitoids	ATG	MANTLE ORIGIN THOLEITIC ALKALINE AND PERALKALINE GRANITOIDS	OCEANIC SPREADING OR CONTINENTAL DOMING AND RIFTING
Mid-ocean Ridge Tholeiitic Granitoids	RTG		
Peralkaline and Alkaline Granitoids	PAG		

شکل ۵-۹. روابط بین انواع گرانیتوئیدها، منشأ و محیط ژئودینامیکی آنها در تقسیم‌بندی Barbarin (۱۹۹۹).



شکل ۵-۱۰. مدل شماتیک تشکیل گرانیتوئیدهای نوع ACG در حواشی فعال قاره‌ها. توده‌های سیاه-رنگ گرانیتوئیدها هستند (Barbarin, 1999).

۵-۲-۲-۶- شناسایی منشأ توده‌های نفوذی منطقه

بسیاری از پترولوژیست‌ها سه منشأ احتمالی برای گرانیتوئیدها در نظر می‌گیرند: منشأ پوسته‌ای، منشأ حاصل از گوشته و منشأ اختلاط که متشکل از مواد پوسته‌ای و گوشته‌ای است. از آنجا که مواد پوسته‌ای و گوشته‌ای حاوی ویژگی‌های ژئوشیمیایی متمایزی هستند، از این‌رو منشأ گرانیتوئیدها را می‌توان به کمک ویژگی‌های ژئوشیمیایی آنها تشخیص داد. همچنان‌که در مطالب بالا گفته شد، توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه براساس تقسیم‌بندی (۱۹۹۹) Barbarin از نوع گرانیتوئیدهای ACG هستند. نامبرده انواع گرانیتوئیدها را از نظر ترکیب و منشأ به گرانیتوئیدهای پرآلومین دارای منشأ پوسته‌ای، گرانیتوئیدهای آلکالن تا پرآلکالن دارای منشأ گوشته‌ای و گرانیتوئیدهای کالک‌آلکالن دارای ترکیبی از موادی با منشأ پوسته‌ای و گوشته‌ای تقسیم‌بندی نموده است (شکل ۵-۹ و ۵-۱۱). گرانیتوئیدهای KCG و ACG از نوع کالک‌آلکالن و ترکیبی از منشأ پوسته‌ای و گوشته‌ای هستند. گرانیتوئیدهای KCG مقادیر پایین CaO و به میزان بالایی K₂O (حدود ۰.۵٪) دارند. در مقابل، گرانیتوئیدهای ACG همواره برای مقدار ثابت SiO₂، از CaO غنی‌تر بوده و تنها زمانی از K₂O غنی می‌شوند که به میزان بالایی تفریق یابند. گرانیتوئیدهای KCG در اجزاء پوسته غنی از K₂O و فقیر از CaO هستند و در حالی که در گرانیتوئیدهای ACG، اجزاء گوشته غنی از CaO و فقیر از K₂O می‌باشند (DePaolo and Pitcher, 1993; Farmer, 1984). بر این اساس، علیرغم نبود داده‌های ایزوتوپی و با استناد به مطالعات صحرایی، پتروگرافی و شیمی عناصر اصلی و کمیاب و با استفاده از تقسیم‌بندی (۱۹۹۹) Barbarin، می‌توان گفت که توده‌های نفوذی منطقه مورد مطالعه دارای منشأ اختلاط (مواد گوشته‌ای و پوسته‌ای) بوده و با توجه به شکل ۵-۱۱، به نظر می‌رسد که سهم مواد گوشته‌ای بیشتر از پوسته‌ای بوده است.

GRANITOID TYPE WITH DISTINCTIVE MINERALS

MPG (muscovite-+ bt)	CPG (bt-rich-+ cordierite)	KCG (K-fd mc -+ Ca-amp)	ACG + ATG (Ca-amp-+ Ca-px)	RTG (amp+ px)	PAG (Na-amp-+ Na-px)
<div style="border: 1px dashed black; padding: 5px; text-align: center;"> CRUSTAL AND MANTLE CONTRIBUTIONS </div>					
CRUSTAL CONTRIBUTION			MANTLE CONTRIBUTION		

شکل ۵-۱۱. مدل شماتیک نشان دهنده انواع گرانیتوئیدها، مجموعه کانی‌شناسی AFM و سهم مواد گوشته‌ای و پوسته‌ای در هر کدام از آنها (Barbarin, 1999). علائم: bt: بیوتیت، K-fd: mc آلکالی فلدسپار درشت بلور، amp: آمفیبول، px: پیروکسن.

۵-۲-۳- نمودارهای عنکبوتی

از نمودارهای چندعنصری جهت شناخت منشأ مجموعه‌های سنگی و فرآیندهای مؤثر بر آن استفاده می‌شود (Siddiquiet et al., 2007). راه‌های مختلفی برای نرمالیز کردن داده‌های عناصر کمیاب و کمیاب خاکی جهت رسم در نمودارهای عنکبوتی وجود دارد. که در اینجا به تفسیر تعدادی از این نمودارها می‌پردازیم.

۵-۲-۳-۱- نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به کندریت

همانطور که در شکل (۵-۱۲) دیده می‌شود عناصر Nb و Ti دارای آنومالی منفی می‌باشند. به اعتقاد (Gill, 1981) و (Wilson, 1989)، آنومالی منفی Nb و Ti می‌تواند از ویژگی‌های سنگ‌های ماگماهای قوسی مناطق فرورانش باشد. به طور کلی، عوامل گوناگونی در ایجاد آنومالی منفی عناصر Nb و Ti مؤثر است:

(۱) مشخصه ماگماتیسم مرتبط با فرآیندهای فرورانش است (Wilson, 1989)؛ Kuster and Harms,

؛۱۹۸۸

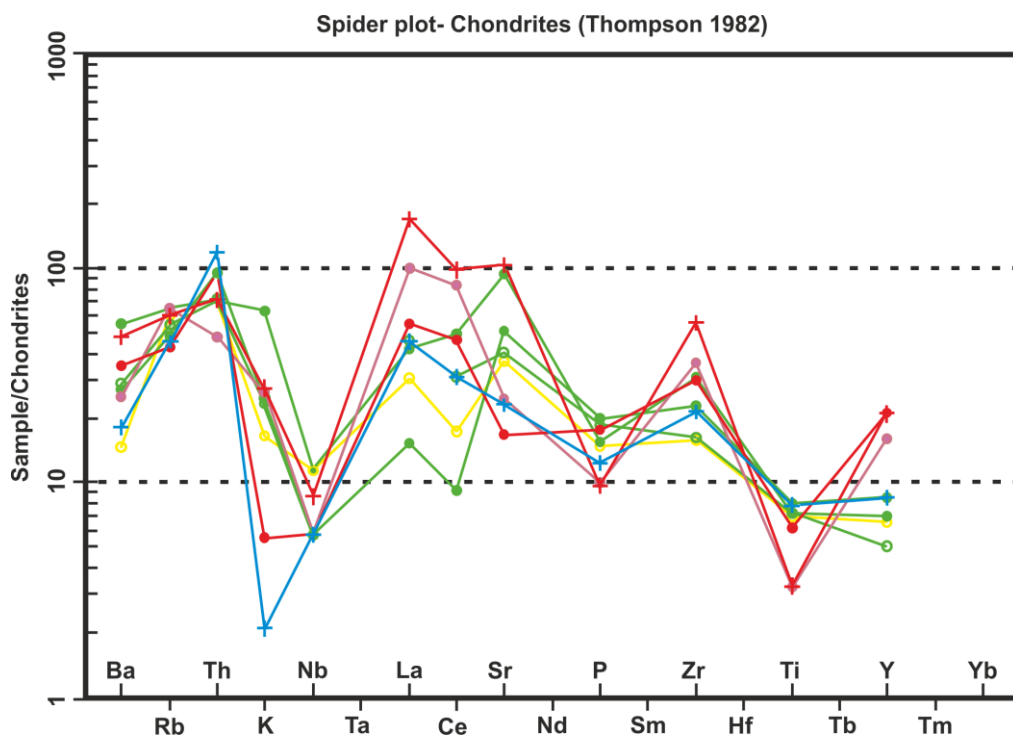
(Hongyan et al., 2009؛ Vetrin and Rodionov, 2008).

(۲) وجه مشخصه سنگ‌های پوسته قاره‌ای و شرکت پوسته در فرآیندهای ماگمایی است (Saunders et al., 1992; Kuster and Dostal et al., 2001; Lehmann and Sisson, 1996; Rollinson, 1993; al., 1992; Harms, 1998; Shang et al., 2004; Nagudi et al., 2003).

(۳) نشانه فقر این عناصر در منشأ، پایداری فازهای حاوی این عناصر در طی ذوب بخشی و یا جدایش آنها در طی فرآیند تفریق است (Wu et al., 2003). افت نسبی Nb و Ti از مشخصات توده‌های نفوذی در کمان‌های ماگمایی حاشیه قاره‌ای محسوب می‌شوند (Richards, Wang and Chung, 2004).

۲۰۰۱

پتاسیم به دلیل شعاع یونی بالا معمولاً در مراحل پایانی تفریق ماگمایی و در سنگ‌های فلسیک مثل گرانیت‌ها و سینیت‌ها متمرکز می‌گردد. سنگ‌های آذرین منطقه مورد مطالعه گرایش به سمت حدواسط تا بازی دارند و معمولاً فاقد کانی‌های پتاسیم‌دار مانند آلکالی فلدسپار هستند و در نتیجه تهی‌شدگی نسبت به پتاسیم مشاهده می‌شود. آنومالی مثبت Zr می‌تواند در ارتباط با حضور زیرکن باشد.

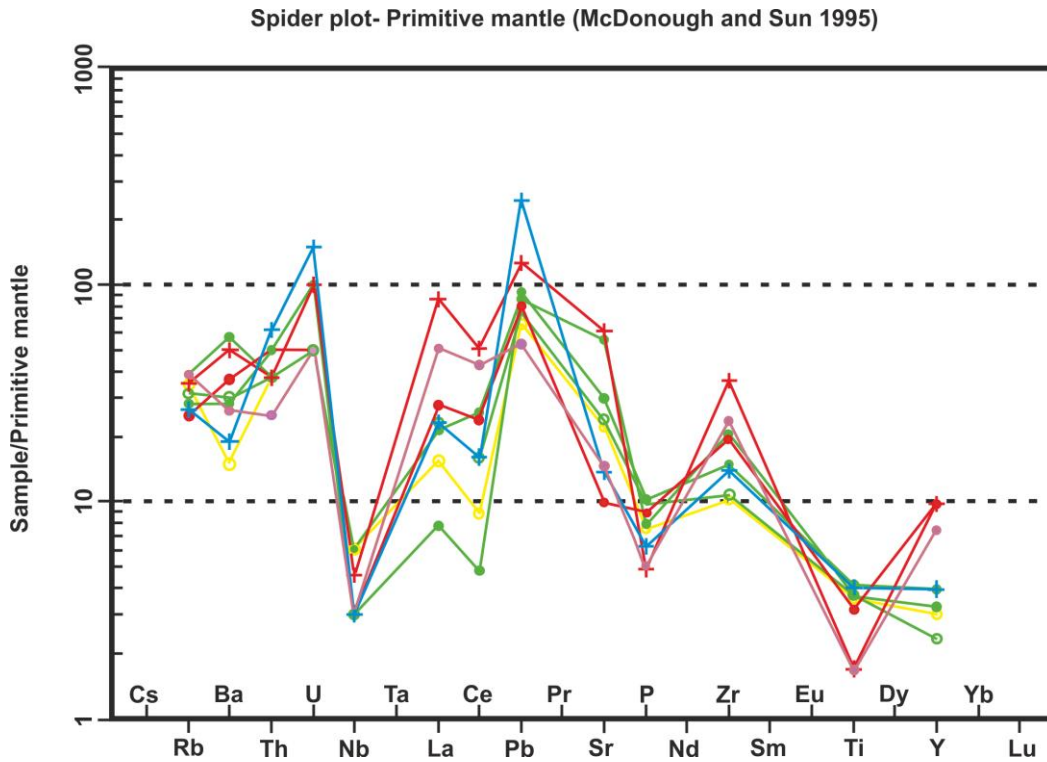


شکل ۵-۱۲. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به کندریت (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند.

۵-۲-۳-۲- نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به گوشته‌ی اولیه

آنومالی منفی Nb به شکل بارزی در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای بوده و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده بوجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). تهی‌شدگی Ti و Nb از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای داخل صفحات لیتوسفری می‌باشد. آنومالی مثبت Pb در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که می‌تواند به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورونده و یا آرایش ماگما با سنگ‌های پوسته قاره‌ای ارتباط داشته باشد (Kamber et al., 2002). همراه بودن آنومالی مثبت Pb و آنومالی منفی Nb، نشانه ماگماهای آتشفشانی جزایر قوسی و ماگماهای متأثر از پوسته قاره‌ای است (Hofmann, ۱۹۸۶, ۱۹۸۸). غنی‌شدگی شاخص در عنصر Pb، همچنین عناصر U و Th مشاهده می‌شود که بخاطر آلودگی سنگ‌ها با پوسته‌ی قاره‌ای بالایی است.

تهی‌شدگی P در این نمودار می‌تواند مشخصه‌ی جدایش آپاتیت در مراحل اولیه‌ی تفریق کریستالی باشد و از ویژگی‌های گرانیت‌های نوع I است (Chapple & White, 1992). تهی‌شدگی Ti نشانگر تبلور بخشی اکسیدهای Ti-Fe و یا کلینوپیروکسن در مراحل اولیه‌ی تفریق می‌باشد. گدازه‌های کالک آلکالن کمان-های آتشفشانی آنومالی منفی Sr را نشان می‌دهند (Jahangiri, 2007) (شکل ۵-۱۳).

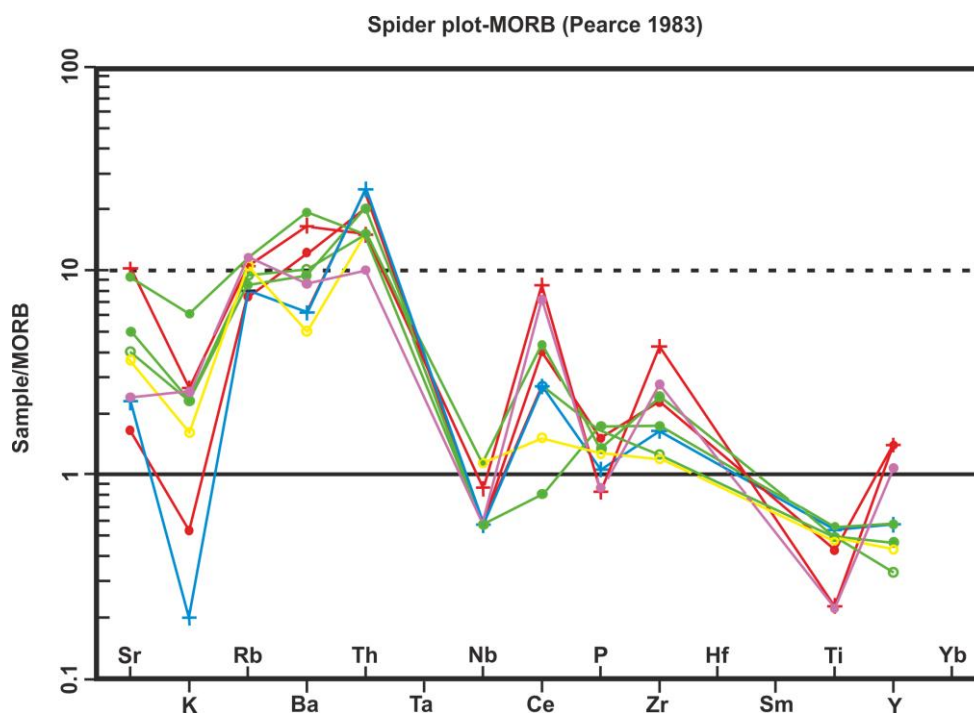


شکل ۵-۱۳. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995) نرمالیزه شده‌اند.

۵-۲-۳-۳- نمودارهای عنکبوتی نرمالیزه نسبت به MORB

براساس این نمودار همه‌ی نمونه‌های مورد مطالعه از عناصر Nb و Ti تهی‌شدگی نشان می‌دهند. مقادیر پایین این عناصر نشان دهنده باقیماندن آنها در منشأ در طی ذوب است و نشاندهنده حضور فازهای دیرگداز شامل این عناصر (نظیر روتیل، ایلمنیت و اسفن) در پوسته اقیانوسی فرورانده شده و یا گوه گوشته‌ای ذوب نشده است (Tatsumi et al, Keppler, 1996, ۱۹۸۶). تهی‌شدگی از عناصر با شدت میدان بالا (HFSE) مانند Ti و Nb و فراوانی عناصر واسطه با شدت میدان کم (LFSE) مانند Rb و Ba از ویژگی‌های بارز قوس‌های آتشفشانی است (Castillo et al, 2007؛ Hawkesworth et al, 19۹۱).

(شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که نسبت به MORB (Pearce 1983) نرمالیزه شده‌اند.

۵-۳- ژئوشیمی محیط کانسنگ

۵-۳-۱- نمونه برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ:

به منظور تعیین رفتار ژئوشیمیایی مس و عناصر همراه، نمونه برداری از ترانشه‌ها و گمانه‌های حفر شده در منطقه به صورت chip sample انجام شده است. کلیه‌ی نمونه‌های برداشت شده جهت آنالیز ICP و FIRE ASSAY به آزمایشگاه زرآما ارسال و مورد تجزیه دستگاهی قرار گرفتند. توضیحات مربوط به ترانشه‌ها و گمانه‌ها در زیر آورده شده است.

۵-۳-۱-۱- نمونه برداری از ترانشه‌ها

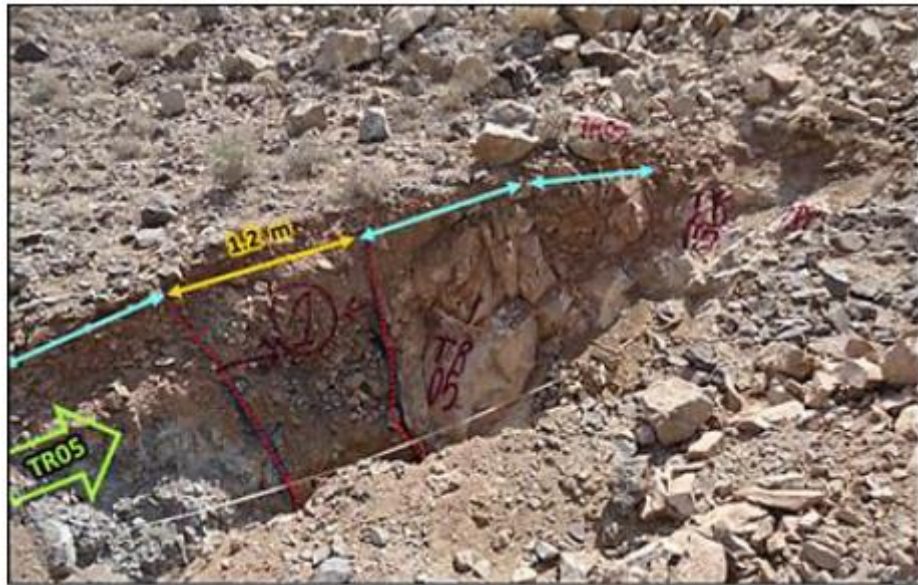
ترانشه‌ها در جهت عمود بر امتداد کانی‌سازی حفر شده و روند اصلی آن‌ها شمال خاوری- جنوب باختری می‌باشد. در محدوده‌ی مس زرنديه به منظور تکمیل داده‌های اکتشافی سطحی تعداد زیادی ترانشه حفر و برداشت شده است ولی در تحقیق حاضر از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوشیمی ۳ عدد

ترانشه برای بحث ژئوشیمی استفاده شده است، برای اینکه در مکان‌هایی که این ترانشه‌ها وجود دارند برای مطالعات زیرسطحی گمانه‌ی اکتشافی هم حفر شده است. در جدول (۵-۴) مشخصات این ۳ ترانشه آورده شده است. در مجموع تعداد ۷ نمونه از این ترانشه‌ها گرفته شده که تصاویر ترانشه‌ها به همراه مقاطع عرضی و آنالیز آن‌ها به ترتیب در اشکال (۵-۱۵) تا (۵-۲۰) آورده شده است.

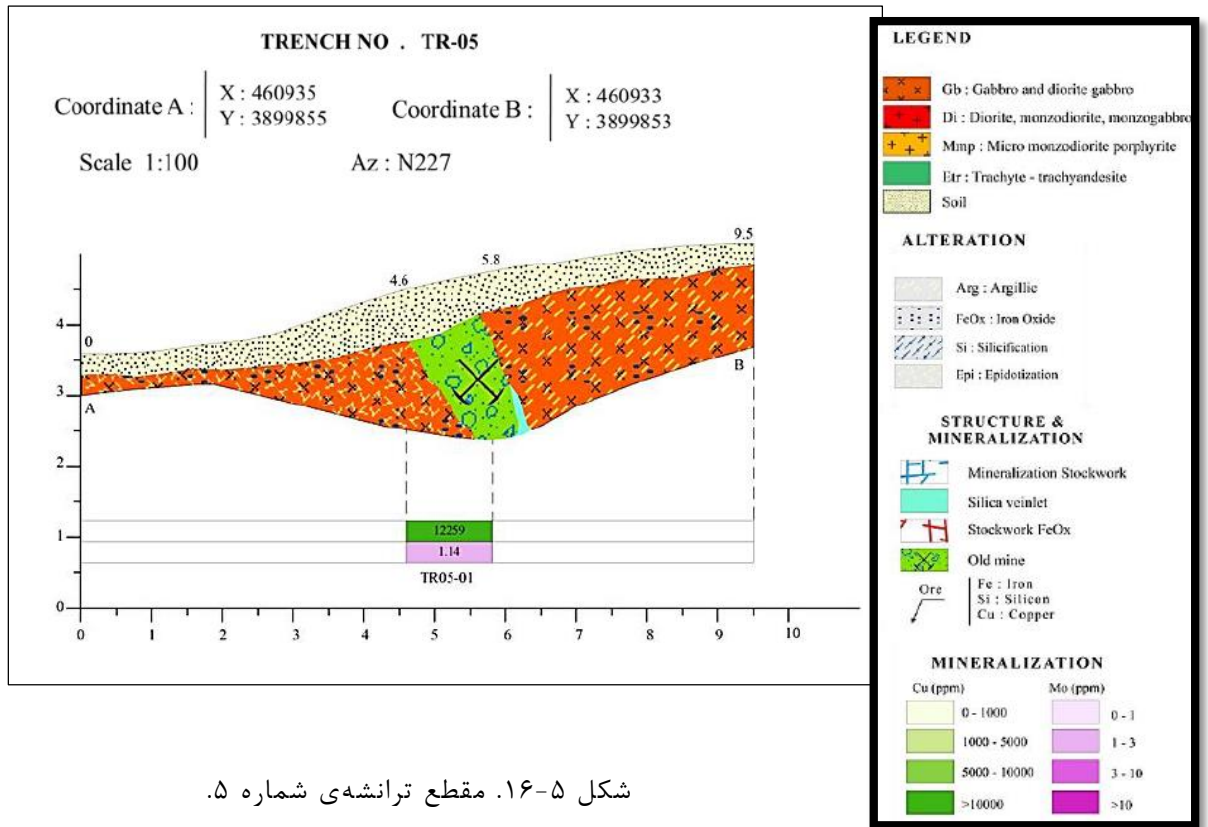
جدول ۵-۴. خصوصیات نمونه‌های برداشت شده از ترانشه‌ها.

ردیف	شماره نمونه‌ها	مختصات ابتدایی	مختصات انتهایی	آزیموت	حجم (m^3)	طول (m)	تعداد نمونه‌ها
1	TR5	X=460935 Y=3899855	X= 460933 Y=3899853	N227	21.375	9.5	1
2	TR16	X= 460662 Y= 3899856	X= 460655 Y= 3899844	N227	48	16	1
3	TR41	X= 460211 Y= 3900375	X= 460187 Y= 3900340	N212	237.5	47.5	5

ترانشه ۵: ترانشه ۵ بر روی واحد سنگی گابرو-گابرودیوریت به طور عمود بر روند کانی‌سازی حفر شده‌اند. این ترانشه در یک پهنه گسله قرار دارد و آثار معدن کاری قدیمی در مرکز ترانشه قابل مشاهده است. ضخامت رگه کانی‌سازی در حدود ۱/۲ متر همراه با کانی‌سازی مس از نوع مالاکیت و کالکوپیریت به صورت رگچه‌ای می باشد شکل (۵-۱۵). عیار مس و مولیبدن در این ترانشه به ترتیب ۱۲۲۵۹ و ۱/۱۴ ppm می‌باشد (شکل ۵-۱۶).

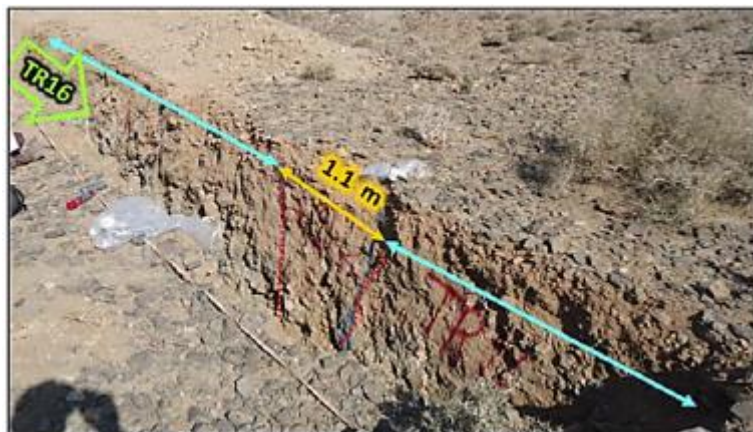


شکل ۵-۱۵. نمایی از ترانشه شماره ۵ (دید به سمت جنوب).

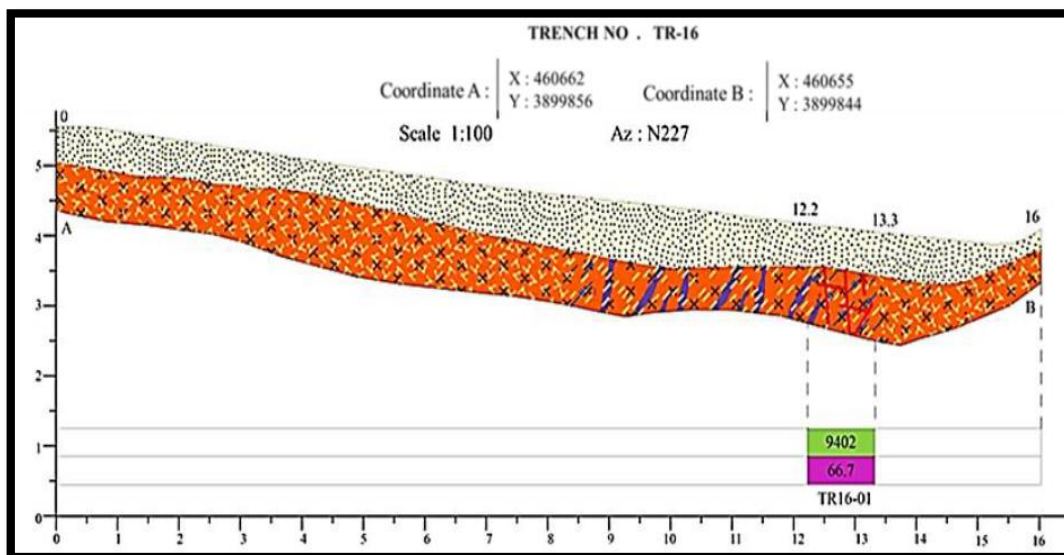


شکل ۵-۱۶. مقطع ترانشه‌ی شماره ۵.

ترانشه ۱۶: این ترانشه نیز بر روی واحد سنگی گابرو-گابرودیوریت به طور عمود بر روند کانی‌سازی حفر شده است. آثاری از دگرسانی سیلیسی شدن در دیواره‌ی ترانشه ۱۶ مشاهده می‌شود. این ترانشه دارای یک رگه کانی‌سازی مس در مرکز و انتهای ترانشه به ضخامت ۱/۱ متر به صورت ملاکیت و رگچه‌های کالکوپیریت می‌باشد (شکل ۵-۱۷). مس و مولیبدن در این ترانشه دارای عیارهای ۹۴۰۲ و ۶۶/۷ ppm است (شکل ۵-۱۸).



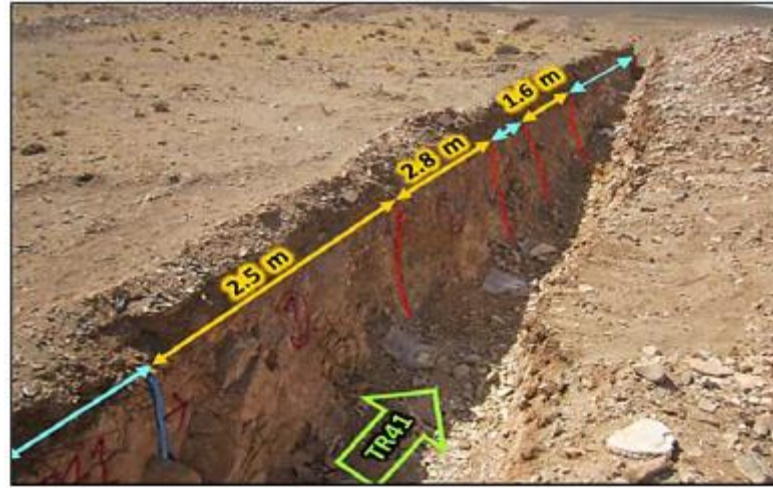
شکل ۵-۱۷. نمایی از ترانشه شماره ۱۶ (دید به سمت جنوب-جنوب شرق).



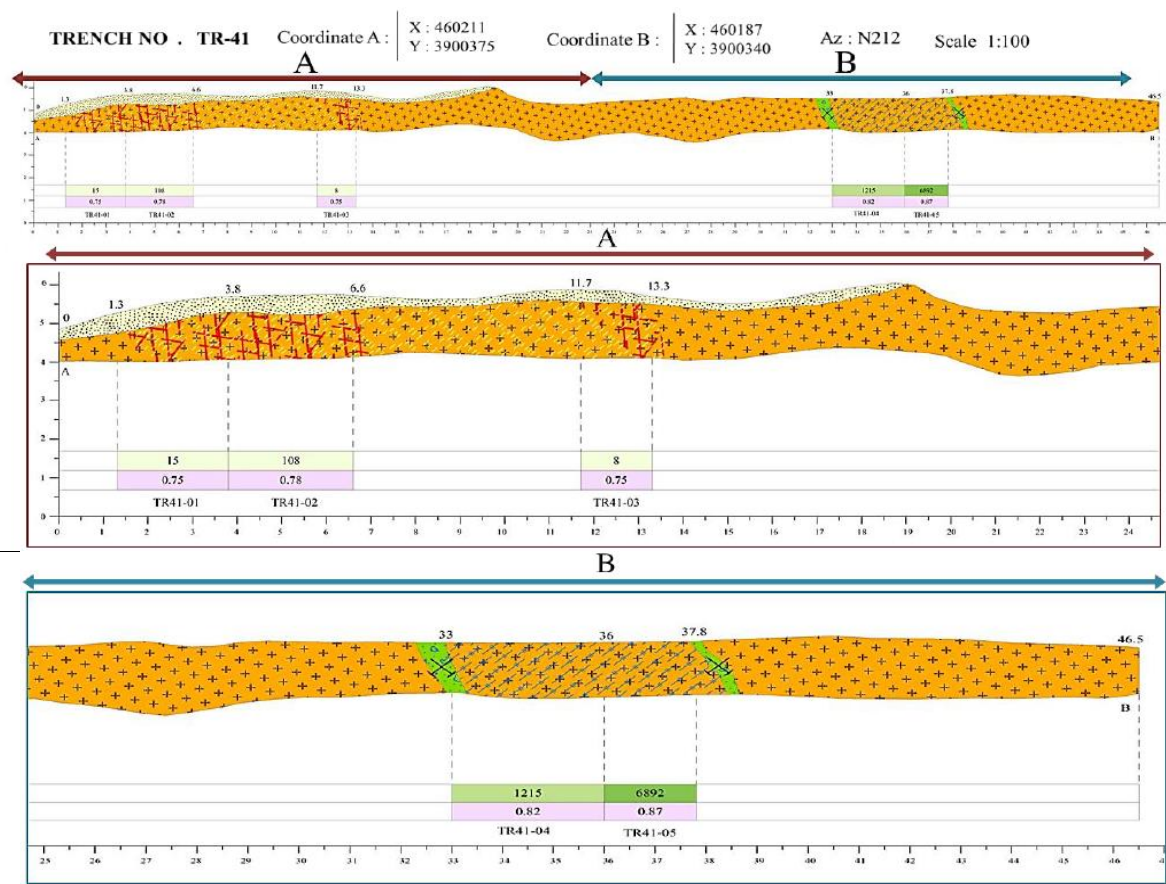
شکل ۵-۱۸. مقطع ترانشه‌ی شماره ۱۶.

ترانشه ۴۱: این ترانشه بر روی واحد سنگی میکرو مونزودیوریت پورفیری حفر شده است. این ترانشه در یک زون خرد شده قرار گرفته و رگچه‌های هماتیت در داخل شکستگی‌ها در طول ترانشه قابل مشاهده است. میانگین ضخامت رگه‌های کانی‌سازی مس ۲/۳۵ متر بوده که به صورت کالکوپیریت،

کالکوسیت در زمینه‌ی سنگ قابل مشاهده است. عیار مس در ۵ نمونه به ترتیب ۱۵، ۱۰۸، ۸، ۱۲۱۵ و ۶۸۹۲ ppm و عیار مولیبدن ۰/۷۵، ۰/۷۸، ۰/۷۵، ۰/۸۲ و ۰/۸۷ ppm می‌باشد (شکل ۲۰-۵).



شکل ۵-۱۹. نمایی از ترانشه شماره ۴۱ (دید به سمت شمال - شمال غرب).



شکل ۲۰-۵. مقطع ترانشه‌ی شماره ۴۱.

۵-۳-۱-۲- نمونه برداری از گمانه‌ها

در محدوده‌ی مس زرنديه جهت انجام مطالعات زیرسطحی، با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی سطحی و ترانسه‌های اکتشافی، تعدادی گمانه حفر شده است که در این میان از اطلاعات ۳ تا از گمانه‌های اکتشافی که در محدوده‌ی ترانسه‌های ۵، ۱۶ و ۴۱ حفر شده‌اند، آورده شده است. خصوصیات این گمانه‌ها در جدول ۵-۵ ارائه شده است. در مجموع تعداد ۳۲ نمونه از این گمانه‌ها گرفته شده که تصاویر گمانه‌ها به همراه مقاطع و آنالیز آن‌ها به ترتیب در اشکال (۵-۲۱) تا (۵-۲۶) آورده شده است.

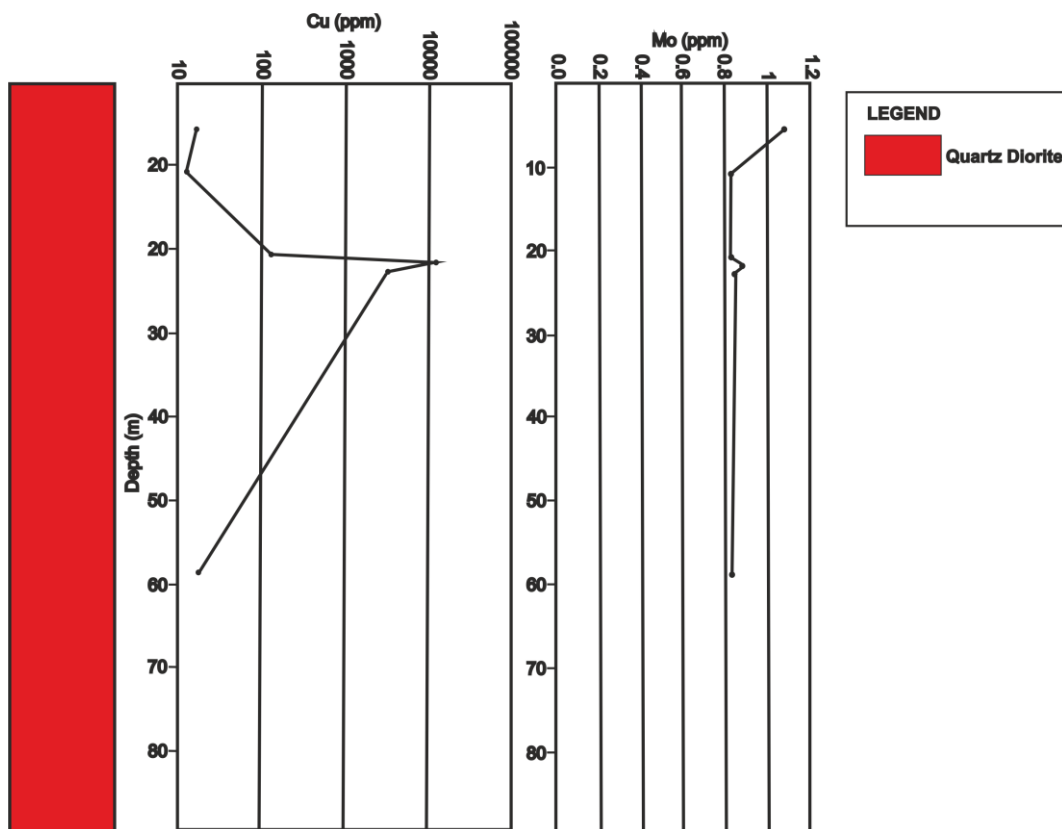
جدول ۵-۵. خصوصیات نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌ها.

ردیف	شماره نمونه‌ها	مختصات	امتداد	شیب نسبت به افق	متراژ (m)	تعداد نمونه‌ها
1	BH1	X= 460196 Y= 3900362 Z= 1321	N05	85	89.5	6
2	BH7	X= 460640 Y= 3899844 Z= 1329	N250	20	103.5	15
3	BH10	X= 460911 Y= 3899855 Z= 1344	N40	85	58	11

گمانه‌ی شماره ۱: سنگ میزبان گمانه ۱ از ابتدا تا انتها کوارتز دیوریت است. تنها دگرسانی مشاهده شده تا مترائز ۲۸ متر نیز اکسید آهن است. در این گمانه کانی‌سازی اکسیدهای آهن مس‌دار (گوتیت و نئوتوسیت) تا ۲۱ متری با شدت کم به صورت پراکنده مشاهده می‌شود. در مترائز ۲۰/۵ تا ۲۳/۲ کانی‌سازی کالکوپیریت، بورنیت و پیریت وجود دارد. این کانی‌سازی در یک ساختار برشی قرار گرفته است (شکل ۵-۲۱). اغلب قسمت‌های گمانه سالم و قسمت‌هایی نیز درزه‌دار می‌باشد. کانی‌های مشاهده شده شامل اکسید آهن، منگنز، سیلیس، اپیدوت و کلسیت هستند. مقدار متوسط مس ۳۸۰۳ و مولیبدن ۰/۸۶ ppm می‌باشد.



شکل ۵-۲۲. کانی‌سازی کالکوپیریت در زون برشی در گمانه‌ی ۱.

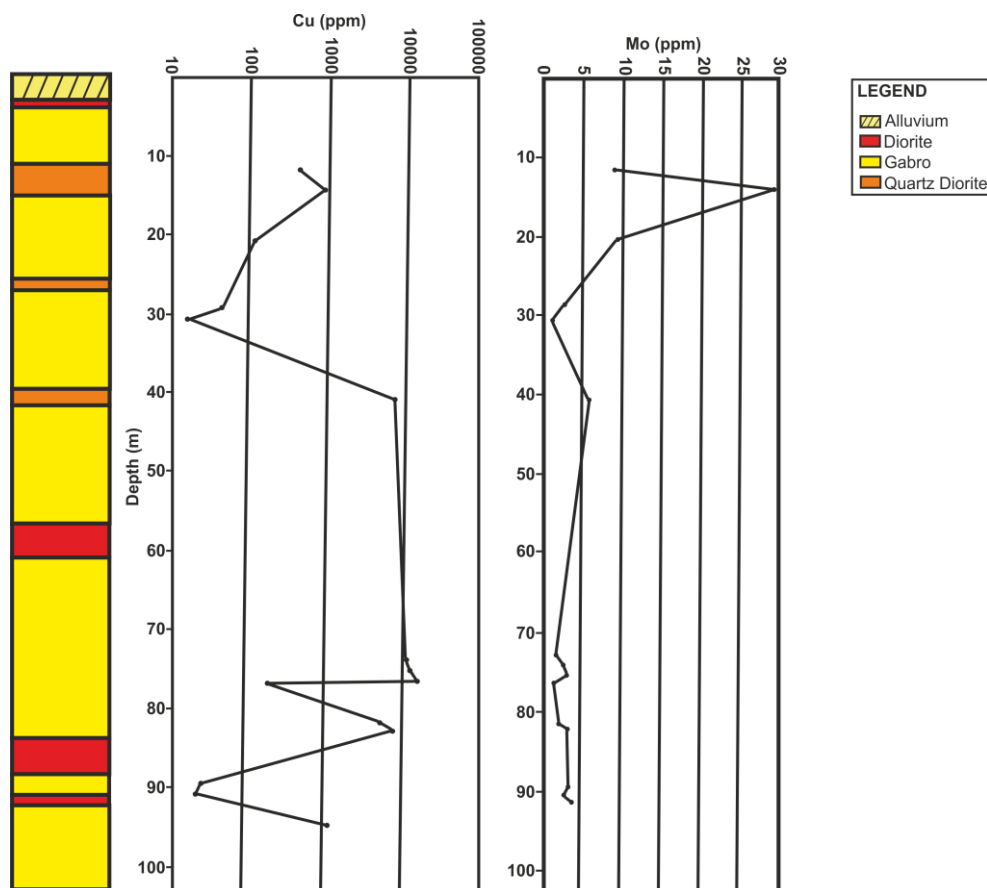


شکل ۵-۲۲. مقطع گمانه شماره ۱.

گمانه شماره ۷: واحد مشاهده شده در گمانه ۷، دیوریت-گابرو و کوارتز دیوریت است. دگرسانی‌های این گمانه عمدتاً پروپیلی‌تیک، آرژیلیک و کمی سیلیسی است. کانی‌سازی پیریت و کالکوپیریت به صورت افشان، توده و رگچه در سطوح شکستگی به چشم می‌خورد شکل (۲۳-۵). مقدار متوسط مس ۲۲/۵ و مولیبدن ۵/۰۲ ppm است.



شکل ۲۳-۵ نمایی از کانی‌سازی کالکوپیریت به صورت رگچه/ای و پراکنده در گمانه ۷.

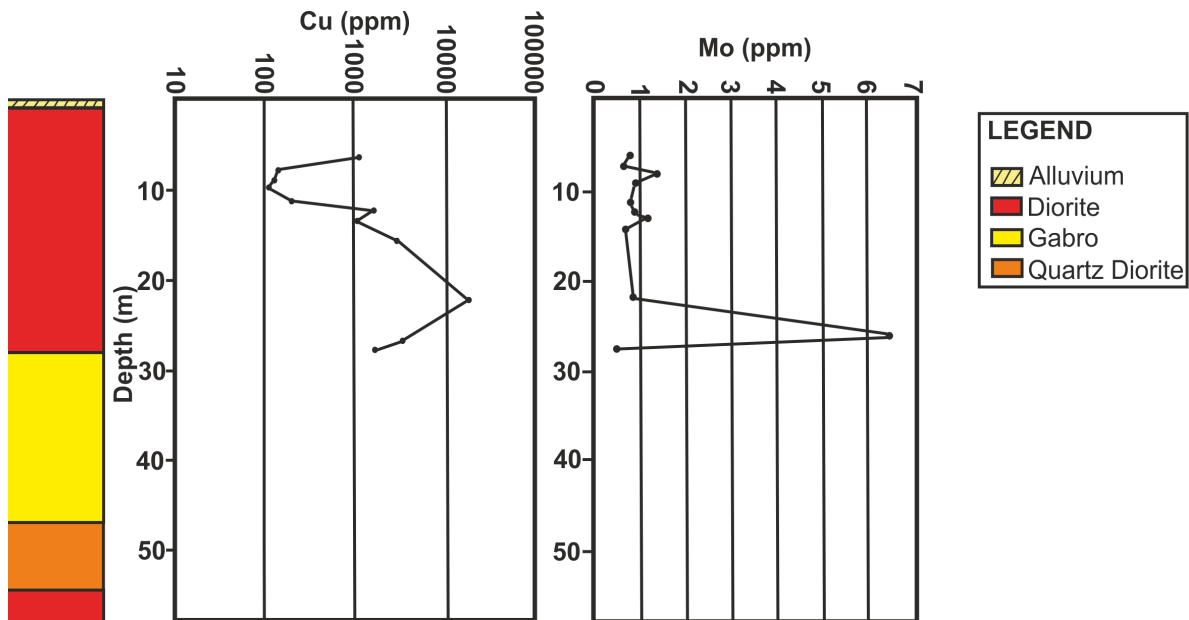


شکل ۵- ۲۴. مقطع گمانه شماره ۷.

گمانه شماره ۱۰: واحد مشاهده شده در گمانه ۱۰، گابرو دیوریت و داسیت است. در این گمانه دگرسانی - های پروپیلیتیک، آرژیلیک و کمی اکسید آهن دیده می شود. کانی سازی پیریت و کالکوپیریت به صورت افشان و توده به شدت کم تا متوسط در شکل (۵-۲۵). وجود دارد. سنگ ها در امتداد این گمانه سالم، گسله و برشی است. رگچه های اولیژیستی و کلریتی نیز در این گمانه قابل مشاهده است. مقدار متوسط مس ۴۹۰۱ و مولیبدن ۱/۴۲ ppm می باشد.



شکل ۵-۲۵. نمایی از کانی‌سازی مس (کالکوپیریت) به صورت افشان و توده‌ای در گمانه ۱۰.



شکل ۵-۲۶. مقطع گمانه شماره ۱۰.

۵-۳-۲- بررسی های آماری چند متغیره

روش های چند متغیره، امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می کند. از پارامترهای آماری چند متغیره می توان به بررسی های دو متغیره (ضریب همبستگی)، گروه بندی خوشه ای و نیز تجزیه و تحلیل عاملی اشاره کرد. در اینجا برخی از عناصر که مقدارشان کمتر از حد قابل ثبت دستگاه بودند (کمتر از ۵ ppm)، این مقادیر را با ۳/۴ حد قابل ثبت دستگاه جایگزین شده اند (۰/۷۵ × ۵). همچنین برای سایر عناصری که مقادیر آنها به صورت بیشتر از حد قابل ثبت دستگاه بودند (بیشتر از ۱۰۰۰۰ ppm)، این مقادیر را با ۴/۳ حد قابل ثبت دستگاه جایگزین شده اند (۱/۳ × ۱۰۰۰۰). مانند بسیاری از روش های آماری، تحلیل عاملی نسبت به داده های غیرنرمال حساس است. بنابراین باید طبیعت توزیع داده ها کنترل شود. در کل داده های ژئوشیمیایی به طور طبیعی فاقد خصلت نرمال هستند (Reimann & Filzmoser, 2000). از این رو ابتدا توزیع داده ها باید به حالت نرمال تبدیل شده و پس از آن با استفاده از روش های چند متغیره آماری تحلیل شوند. در این بررسی از تبدیل لگاریتمی در پایه ی ده برای انتقال داده ها به حالت نرمال استفاده شده است.

۵-۳-۱- تعیین ضریب همبستگی عناصر

همبستگی و بررسی تغییرات آن در مراحل اکتشافی و به ویژه در اکتشافات ژئوشیمیایی کاربرد گسترده ای دارد. شباهت در الگوهای همبستگی میان دو یا چند عنصر مشخص، نشان دهنده رفتار ژئوشیمیایی یکسان آنها در نتیجه فرایندهای ژئوشیمیایی است (Rollinson, 1993). (Cox & Clifford ۱۹۸۲) روشی را برای نمایش نموداری داده های ضریب همبستگی پیشنهاد کردند. روش آنها که کاملاً توصیفی است، شامل استفاده از ضریب همبستگی پیرسون و نمایش حجم زیادی از داده ها به صورت نمودار است. در محور X مجموعه عناصری که ضریب همبستگی آنها با عنصر قرار گرفته در محور Y مد نظر است، قرار می گیرد. ضریب همبستگی برای هر عنصر اختیاری در بازه -۱ تا +۱ قرار می گیرد. برای محاسبه ضرایب همبستگی در منطقه از تابع ضریب همبستگی پیرسون که تابع توزیع نرمال می باشد،

سولفیدی و اکسیدی سنگ‌های کانه‌دار منطقه است. میزان همبستگی مس با طلا و مولیبدن ناچیز است. چنین همیافتی عنصری بیان از رخداد کانی‌سازی رگه‌ای گرمایی حرارت پایین در منطقه می‌باشد.

۲. آرسنیک با کادمیوم، مولیبدن و مس دارای ضریب همبستگی مثبت و معنی‌داری است. با توجه به اینکه آرسنیک، کادمیوم و مولیبدن در محیط‌های قلیایی به صورت محلول حضور دارند، همبستگی بین عناصر مذکور نشان‌دهنده‌ی حمل این عناصر توسط محلول‌های گرمایی با ماهیت قلیایی است که با توجه به وجود پوشش سیلیسی وسیع بر روی منطقه مورد مطالعه و همچنین حضور رگه‌های سیلیسی، می‌توان گفت که عناصر آرسنیک، کادمیوم و مولیبدن در طی تغییر ماهیت محلول‌های گرمایی (در اثر تماس با سنگ‌های اسیدی و حواسط منطقه)، در رگه‌های سیلیسی منطقه ته‌نشین شده‌اند.

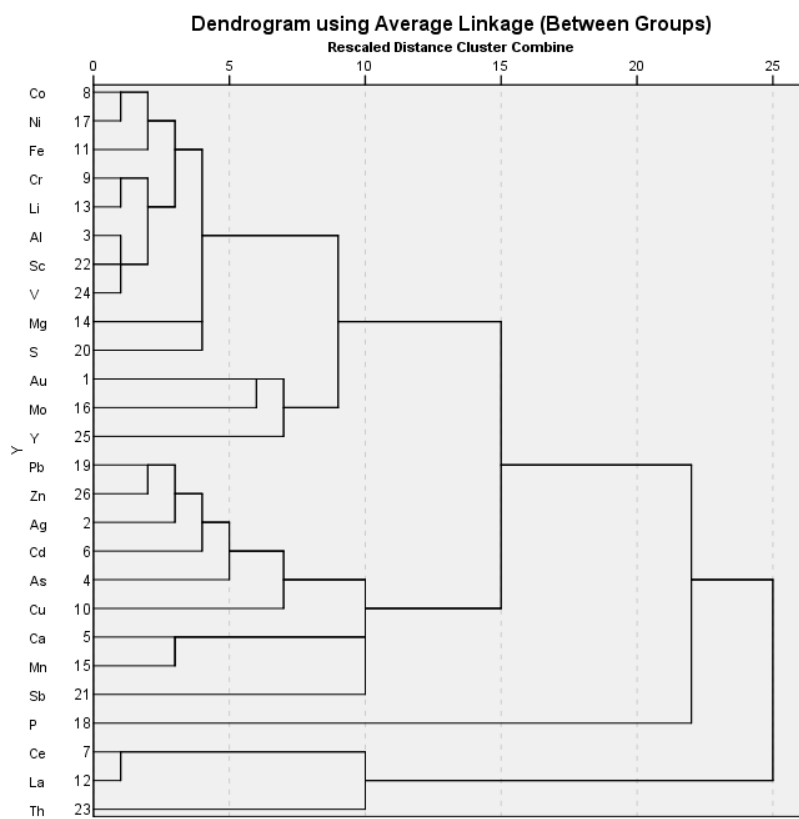
۳. آهن با کبالت، مولیبدن، روی، منگنز، نیکل، طلا و مس دارای همبستگی مثبت و معنی‌دار است. همبستگی مثبت نیکل و منگنز می‌تواند به دلیل جانشینی این عناصر به جای آهن در کانی‌های سولفیدی آهن‌دار نظیر پیریت باشد.

۴. عنصر مس با نقره و آرسنیک همبستگی بیشتری نسبت به سایر عناصر کانساز نشان می‌دهد. از آنجا که کانی‌های نقره و آرسنیک در مقاطع صیقلی مطالعه شده رؤیت نشده است، بنابراین این احتمال وجود دارد که این کانی‌ها درون ساختمان کانی‌های مس‌دار از جمله کالکوپیریت و کالکوسیت جای گرفته باشند و بهتر است که برای اطمینان بیشتر، نمونه‌ها مورد آنالیز ماکروپروب واقع شوند.

۵-۳-۲- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

در تحلیل خوشه‌ای، هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها بر اساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. به منظور بررسی دقیق نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی، آنالیز خوشه‌ای روی مقادیر عناصر در سنگ‌های کانه‌زا صورت گرفت (شکل ۵-۲۷). در آنالیز خوشه‌ای، عناصر و یا متغیرهای آماری بر اساس میزان همبستگی آماری به خوشه‌ها و شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آن‌ها با یکدیگر است. در این نمودار عناصر به ۳ گروه تقسیم شده‌اند. گروه اول که عناصر سنگ‌ساز منطقه هستند شامل Al, Li, Cr, Fe, Ni, Co

Sc، V، Mg، S و Y می‌باشند که چنین همیافتی عنصری با توجه به گسترش سنگ‌های آذرین مافیکی مانند گابرو و دیوریت گابرو امکان‌پذیر است. گروه دوم که مرتبط با کانی‌سازی منطقه می‌باشند شامل Zn، Pb، Ag، Cd، As، Cu، Ca، Mn و Sb هستند، و متأثر از وجود رگه‌های سیلیسی مس‌دار می‌باشد. گروه سوم مرتبط به مجموعه عناصر کمیاب مانند La، Ce و Th می‌باشند که بیشتر با سنگ‌های آذرین فلسیک همراهی می‌شوند. وجود سنگ‌های آذرین فلسیک مثل ریولیت و ریوداسیت چنین همیافتی را توجیه می‌کنند.



شکل ۵-۲۷. نمودار ساختار درختی برپایه‌ی داده‌های لگاریتمی ۲۹ نمونه زرنذیه به روش آنالیز خوشه‌ای

۵-۳-۲-۳- تجزیه و تحلیل عاملی

تجزیه عاملی تکنیکی آماری است که بین مجموعه‌ای فراوان از متغیرهایی که به ظاهر بی ارتباط هستند، رابطه خاصی را تحت یک مدل فرضی برقرار می‌کند. فرض اساسی در به کارگیری این روش، وجود الگوی زیر بنایی یا مدلی خاص در تعیین مفاهیم پیچیده ارتباطی بین متغیرها (در اینجا عناصر) است.

جدول آزمون KMO و بارتلت: این جدول مربوط به تست KMO است که جهت بررسی میزان اعتبار آنالیز فاکتوری صورت می‌گیرد. در واقع این جدول جهت تأیید یا رد آنالیز فاکتوری کاربرد دارد که اگر مقدار آن بیشتر از ۰/۵ باشد دارای سطح قابل اعتماد می‌باشد. مقدار KMO محاسبه شده برای داده‌های مربوط به این منطقه برابر ۰/۶۵ می‌باشد (جدول ۵-۷).

جدول ۵-۷. جدول آزمون KMO و بارتلت

KMO and Bartlett's Test		
Kaiser-Meyer-Olkin Measure of Sampling Adequacy.		0.657123748
Bartlett's Test of Sphericity	Approx. Chi-Square	804.8878028
	df	190
	Sig.	1.38633E-76

جدول مشارکت‌ها: این جدول بیانگر میزان مشارکت عناصرها در تحلیل عاملی است. همانطور که در جدول ۵-۸ مشاهده می‌شود اکثر عناصر با علاقه‌مندی بالا در این تحلیل نقش داشته‌اند. مقدار ۱ بیانگر مشارکت صد در صد آن عنصر در تحلیل آماری است.

جدول ۵-۸. جدول مشارکت عناصر در تحلیل عاملی برای نمونه‌های منطقه.

Variable	Au	Ag	As	Cd	Ce	Co	Cr	Cu	Fe	La
Communality	0.637	0.910	0.871	0.922	0.925	0.944	0.941	0.712	0.936	0.954
Variable	Li	Mn	Mo	Ni	Pb	S	Sb	Th	V	Zn
Communality	0.942	0.815	0.902	0.943	0.854	0.897	0.827	0.879	0.917	0.921

جدول توجیه تغییرپذیری کل: از این مرحله به بعد مرحله اصلی توصیف آنالیز فاکتوری آغاز می‌گردد. تفسیر صحیح این جدول نقش مهمی در تجزیه و تحلیل فاکتوری دارد، چرا که یکی از معیارهای اصلی انتخاب تعداد فاکتورها توجیه میزان تغییرپذیری داده‌ها است، به طوری که داده‌های جدید باید حداقل تعداد ابعاد را داشته باشند و بتوانند حداکثر میزان تغییرپذیری کل داده‌ها را توجیه کنند. تعداد ابعاد جدید با استفاده از این جدول تعیین می‌شود. در این جدول پارامترهای آماری شامل مقادیر ویژه واریانس و واریانس تجمعی هر مؤلفه همراه با مقادیر مشارکت هر مؤلفه محاسبه گردیده است. از آنجا که میزان واریانس مولفه‌های بعدی بسیار پایین است لذا ۴ فاکتور اول در نظر گرفته شده است. این تعداد فاکتور از روی نمودار صخره‌ای نیز قابل تأیید است (شکل ۵-۲۹). از بین ۴ فاکتور انتخاب شده، فاکتور اول بیشترین واریانس را دارا می‌باشد و بخش زیادی از تغییرپذیری (نیمی از تغییرپذیری) را به تنهایی توجیه می‌کند، به طوری که میزان واریانس فاکتور اول تقریباً ۴۷٪ کل تغییرپذیری می‌باشد. بعد از انتخاب ۴ مؤلفه اول، مقادیر خام هر مؤلفه نسبت به هر عنصر و مقادیر تبدیل یافته و ضریب امتیازی هر مؤلفه محاسبه شده است. مقادیر خام تحت بردار خاص VARIMAX قرار گرفته‌اند. این بردار در اثر چرخش محورها بیشترین واریانس را برای هر مؤلفه محاسبه می‌نماید. همانطور که ملاحظه می‌شود بعد از چرخش فاکتورها از میزان واریانس فاکتور ۱ کاسته شده و بر میزان واریانس فاکتورهای ۲، ۳ و ۴ افزوده شده و این نشان دهنده تأثیر بیشتر این فاکتورها در چرخش است.

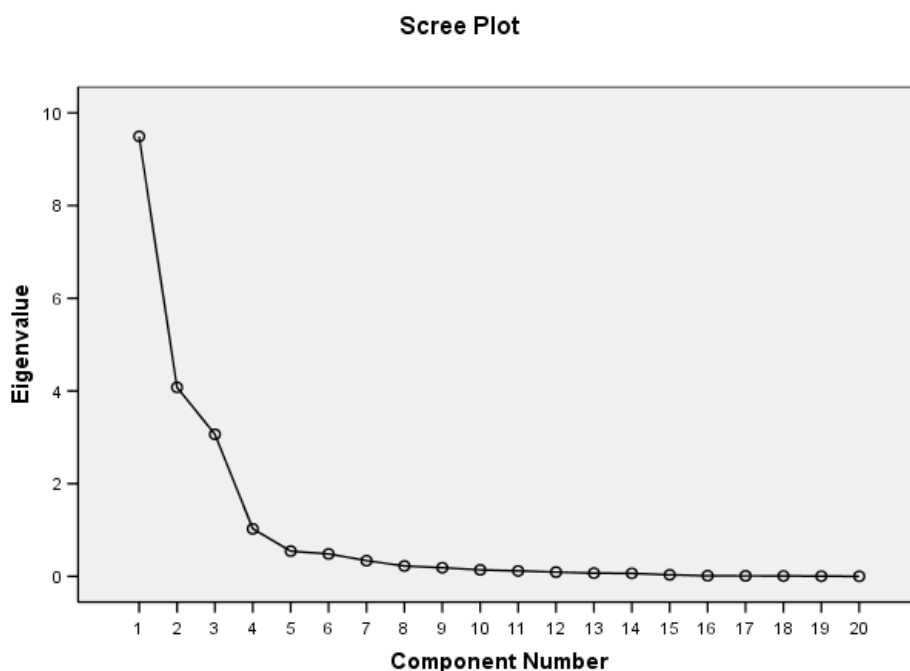
جدول ۵-۹. جدول میزان تغییرپذیری کل، درصد تغییرپذیری و درصد تغییرپذیری تجمعی برای عامل‌های مختلف.

Total Variance Explained									
Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	9.50	47.45	47.45	9.49	47.45	47.45	6.26	31.31	31.31
2	4.07	20.38	67.84	4.07	20.38	67.84	5.32	26.60	57.91
3	3.06	15.32	83.16	3.06	15.32	83.16	3.53	17.68	75.60
4	1.02	5.12	88.29	1.02	5.12	88.29	2.53	12.68	88.30
5	0.54	2.72	91.01						
6	0.48	2.42	93.43						
7	0.33	1.69	95.13						
8	0.22	1.12	96.25						
9	0.18	0.93	97.18						
10	0.14	0.70	97.89						
11	0.11	0.59	98.48						
12	0.09	0.46	98.94						
13	0.07	0.35	99.30						
14	0.06	0.32	99.63						
15	0.03	0.17	99.80						
16	0.01	0.06	99.87						
17	0.01	0.052	99.92						
18	0.008	0.043	99.96						
19	0.004	0.02	99.99						
20	0.001	0.009	100						
Extraction Method: Principal Component Analysis.									

نمودار صخره‌ای: (Scree Plot): در بررسی‌های آماری ژئوشیمیایی از این نمودار استفاده می‌شود که

مقادیر ویژه برحسب اهمیت آنها از بزرگترین تا کوچکترین مقدار ردیف شده‌اند. با توجه به شکل (۵-۵)

۲۸) چهار مقدار ویژه بالا به عنوان مؤلفه‌های معتبر انتخاب می‌گردد. حال با توجه به جدول ۵-۹ نیز مقادیر ویژه مؤلفه اول ۹/۴۹، مؤلفه دوم ۴/۰۷، مؤلفه سوم ۳/۰۶ و مؤلفه چهارم ۱/۰۲ می‌باشد.



شکل ۶-۲۸. نمودار صخره‌ای جهت جداسازی فاکتورهای معتبر تجزیه عاملی.

جدول مؤلفه‌های چرخش یافته: مؤلفه‌های خام (غیر چرخشی) نمی‌توانند تمام تغییرپذیری واقعی جامعه را نشان دهند. چون در بسیاری از موارد تعدادی از متغیرها به یک عامل ویژه یا حتی به تعدادی از عامل‌ها بستگی دارد و در نتیجه تعبیر عوامل را با مشکل روبه‌رو خواهد کرد. بنابراین مؤلفه‌های خام بایستی تحت تابع مشخصی چرخش داده شوند تا بهترین واریانس جامعه عمومی به دست آید (جدول ۱۰-۵). در اکتشافات ژئوشیمیایی فاکتورها ممکن است بیانگر آثار ترکیبی فرآیندهای ژئوشیمیایی متعددی مانند هوازدگی، توزیع ثانوی، جذب سطحی و یا حتی کانی‌سازی باشند. بنابراین فاکتور آنالیز می‌تواند منعکس کننده همراهی‌های ژئوشیمیایی، که در خلال فرآیندهای یاد شده ایجاد می‌شوند، باشد. در نتیجه فاکتور آنالیز یکی از بهترین روش‌ها جهت آشکارسازی روابط پنهانی بین نمونه‌ها، متغیرها و فاکتورها است. ملاک انتخاب عناصر در هر فاکتور، مقدار عددی بالای ± 0.5 می‌باشد، مقادیر

بیشتر از ۰/۵ بیانگر غنی‌شدگی عناصر و مقادیر کمتر از ۰/۵- بیانگر تهی‌شدگی عناصر در آن فاکتور می‌باشد (خواجه میری و همکاران، ۱۳۹۲). در جدول ۵-۱۰ عامل یک در برآوردهای ژئوشیمیایی، بیشتر ویژگی‌های زمین‌شناسی یک محدوده اکتشافی را به نمایش می‌گذارد به عبارتی فاکتور ۱ از سنگ‌شناسی منطقه تاثیر می‌پذیرد با توجه به گسترش سنگ‌های گابرو، دیوریت گابرو و ریولیت در منطقه زرنديه انتظار می‌رود که در این فاکتور عناصری از قبیل کروم، آهن، منیزیم و انادیم، کبالت، لیتیم و نیکل غنی‌شدگی نشان دهند داده‌های جدول ۵-۱۱ غنی‌شدگی عناصر مذکور را تایید می‌نماید. فاکتور ۲ کانی‌سازی‌های غالب و اصلی منطقه را شامل می‌شود، وجود رگه‌های سیلیسی مس‌دار همیافتی و غنی‌شدگی عناصر مس، نقره، آرسنیک، کادمیوم، منگنز، آنتیموان، سرب و روی را سبب شده است. چنین همیافتی نمادی از رخداد کانی‌سازی رگه‌ای هیدروترمال حرارت پایین را نوید می‌دهد. در فاکتور ۳ عناصر طلا، مولیبدنیوم و آنتیموان غنی‌شدگی دارند ولی داده‌های ژئوشیمیایی مقادیر بالایی از این عناصر را نشان نمی‌دهند و مقادیر ثبت شده برای این عناصر در محدوده‌ی زرنديه خیلی کمتر از حداقل اقتصادی آنها بوده است. در فاکتور ۴ عناصر لانتانیم، سریم و توریم غنی‌شدگی دارند و می‌توانند بیانگر سنگ‌های آذرین فلسیک مثل ریولیت‌ها و رگه‌های سیلیسی باشند. این عناصر به دلیل شعاع یونی بالا در طول تبلور ماگما در فازهای غنی از سیلیس متمرکز می‌شوند. فاکتورهای ۳ و ۴ بیانگر کانی‌سازی نیستند.

جدول ۵-۱۰. جدول مقادیر مؤلفه‌های چرخش یافته براساس تحلیل عاملی در محدوده زرنديه.

Rotated Component Matrix(a)				
	Component			
	1	2	3	4
Ag	0.192298	0.906608	0.183221	-0.13552
As	0.257035	0.761753	0.466608	-0.08878
Cd	-0.24728	0.909467	0.169204	-0.07295
Ce	-0.27145	-0.20496	0.000923	0.900082
Co	0.738546	0.325139	0.540782	-0.00239
Cr	0.905311	-0.01727	0.285482	-0.19955
Cu	0.139355	0.818178	0.110067	0.106177
Fe	0.772316	0.450068	0.358938	-0.09052
La	-0.05962	-0.17974	0.127464	0.949897
Li	0.943594	-0.03583	0.151875	-0.16532
Mn	0.250655	0.546828	0.594185	0.316519
Mo	0.283192	0.188528	0.881929	0.096185
Ni	0.715189	0.20847	0.62134	-0.05393
Pb	0.153645	0.823014	0.020035	-0.39093
S	0.922805	0.20741	-0.03211	0.047377
Sb	-0.15809	0.505632	0.737945	-0.05022
Th	-0.77747	0.044976	0.249438	0.458924
V	0.872814	0.132092	0.368304	-0.05251
Zn	0.210369	0.813497	0.049458	-0.46117
Au	0.430904	-0.03372	0.663299	0.105465
Extraction Method: Principal Component Analysis.				
Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.				
a	Rotation converged in 7 iterations.			

فصل ششم

مطالعه‌ی سیالات درگیر

همزمان با رشد بلورها، به علت ناهمسانی‌هایی که در رشد آن‌ها تحت تأثیر عوامل متعددی روی می‌دهد، فضاهایی در سطوح رشد بلور ایجاد شده و یا در ضمن رشد، درزه‌هایی در بلور ایجاد می‌شود که محلول‌های کانه‌دار می‌توانند در آن‌ها محبوس شوند، به این گونه فضاها و محتویات داخل آن‌ها انکلوزیون‌های سیال و یا سیالات درگیر گفته می‌شود. مطالعه سیالات درگیر به عنوان کلید ارزشمندی در درک مسائل گذشته‌ی زمین‌شناسی از قبیل دما، فشار، شوری، چگالی، ترکیب شیمیایی سیالات کانسار ساز و همچنین ترکیب سیالاتی که تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و یا طی فرآیندهای بعدی از داخل آنها عبور کرده‌اند، نقش دارد (Roedder, 1984). سیالات درگیر از فازهای جامد، مایع و گاز تشکیل می‌شوند. به لحاظ زمان تشکیل به گروه‌های اولیه، ثانویه و ثانویه‌ی کاذب تقسیم می‌شوند (Yermakon, 1965). کانی‌های مهمی که در آن‌ها سیالات درگیر مطالعه شده‌اند شامل کوارتز، فلوریت، نمک طعام، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز و کاسیتريت می‌باشند. برای این منظور، کانی باید بی‌رنگ و شفاف باشد. میانبارهای سیال ممکن است از سیال‌های ماگمایی، سیال‌های آبی و یا سایر سیال‌های حاصل از گازهای متراکم به‌وجود آمده باشند (حاج علیلو، ۱۳۸۷). ابعاد اغلب میانبارهای سیال در آن حدی نیست که بتوان با چشم غیر مسلح آن‌ها را دید اندازه بیشترین میانبارهای سیال مشاهده شده در نمونه‌ها بین ۱ تا ۰/۱ میکرون (۰/۰۰۱ تا ۰/۰۱ میلی‌متر) می‌باشد.

در این کانسار، مطالعات بر روی سیالات موجود در باطله‌ی کوارتز انجام شده است. مهم‌ترین کاربرد سیالات درگیر در این تحقیق، تعیین دما، تغییرات شوری، چگالی، فشار و عمق می‌باشد.

۶-۲- نحوه‌ی انتخاب نمونه‌ها برای میانبارهای سیال

جهت تکمیل مطالعات زمین‌شناسی و پتروژنز کانسار مس زرن‌دیه پس از تهیه‌ی مقاطع نازک و صیقلی و مطالعه‌ی آن‌ها، تعداد ۴ نمونه انتخاب و مقطع دوبر صیقل تهیه شد و پس از پتروگرافی میانبارهای سیال تعداد ۳ نمونه برای مطالعات میکروترمومتری انتخاب گردید و در شکل‌ها و جدول‌های زیر فقط

مشخصات ۳ نمونه آورده شده است. مطالعات ترمومتری سیالات درگیر در شرکت مطالعات و پژوهش آدین زمین پویا به کمک Stage:THMSG600 گرمایشی و سرمایشی با مدل Linkam صورت گرفته و دامنه‌ی حرارتی دستگاه $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$, $(-196^{\circ}\text{C} \text{ _} +600^{\circ}\text{C})$ می‌باشد. لنز شیئی ۵۰ و لنز چشمی ۲۰ بوده است. با توجه به اینکه کانه‌زایی مس به رگه‌های سیلیسی-سولفیدی مس‌دار محدود می‌باشد، کانی کوارتز که همزاد با کانه‌ی اصلی (کالکوپیریت) بود به عنوان کانی مهم جهت مطالعه سیالات درگیر انتخاب شد. نبود رخ، شفافیت کانی و توانایی تبلور مجدد آسان، کانی کوارتز را به یک میزبان مناسب برای سیالات درگیر تبدیل کرده است (Walshe and Hobbs, 1999).

جدول ۶-۱. ویژگی‌های نمونه‌های انتخاب شده برای مطالعه‌ی میانبرهای سیال.

شماره نمونه	محل برداشت نمونه	مختصات UTM	انواع کانی‌ها	انواع کانه‌های معدنی
BH1-22.5	گمانه	X=۴۶۰۲۳۴ Y=۳۹۰۰۳۶۲	کوارتز، کلسیت، پلاژیوکلاز	کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت
BH7-75.3	گمانه	X=۴۶۰۶۴۰ Y=۳۸۹۹۸۴۴	کوارتز و کلسیت	کالکوپیریت، کالکوسیت، پیریت، مالاکیت
BH10-22	گمانه	X=۴۶۰۹۱۱ Y=۳۸۹۹۸۵۶	کوارتز، پلاژیوکلاز	کالکوپیریت، کالکوسیت، بورنیت

۶-۳- پتروگرافی سیالات درگیر

شناسایی روابط پتروگرافی اولین و مهم‌ترین بخش مطالعه سیالات درگیر می‌باشد. تاریخچه سیالات در محیط زمین‌شناسی می‌تواند بسیار پیچیده باشد. شناسایی و تفکیک پدیده‌های سیال مورد نظر و تعیین زمان نسبی آن، هدف اصلی مطالعه پتروگرافی می‌باشد. در این مطالعات، پارامترهایی از قبیل شکل، اندازه، فراوانی سیالات درگیر، نوع سیالات درگیر (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، پدیده‌های تغییر سیالات درگیر بعد از به دام افتادن مانند تراوش و تعیین نوع سیالات از لحاظ ژنتیکی مورد بررسی قرار می‌گیرد. همانطور که ذکر شد کانی میزبان سیالات درگیر در نمونه‌های ما کوارتز می‌باشد و به طور کلی اندازه‌ی انکلوژیون‌های مطالعه شده در بلورهای موجود متفاوت بوده و از ۳ تا ۲۴ میکرون متغیر است. بر مبنای

نحوهی زایش یا زمان به تله افتادن سیال، میانبارها به صورت اولیه، ثانویه و شبه ثانویه بوده که بیشتر از نوع اولیه هستند. در نمونه‌های مطالعه شده، میانبارهای اولیه به صورت مجزا و درشت در زمینه‌ی کانی میزبان (کوارتز) پراکنده هستند (شکل ۶-۱). میانبارهای ثانویه و ثانویه کاذب نیز به صورت خطی دیده می‌شوند (شکل ۶-۱-الف، ج و د) با این تفاوت که میانبارهای ثانویه کاذب بر خلاف نوع ثانویه تا حاشیه بلور ادامه پیدا نمی‌کنند (شکل ۶-۱-ج). اشکال میانبارها به صورت بی‌شکل، بیضی، کشیده، شکل‌دار، نیمه شکل‌دار و کروی می‌باشند. براساس تعداد فازهای موجود در دمای اتاق، انکلوژیون‌های موجود در این نمونه‌ها در دو گروه متفاوت جای می‌گیرند: ۱. میانبارهای تک فازی غنی از مایع (۱۰ درصد) ۲. میانبارهای دو فازی غنی از مایع (مایع-بخار، با چیرگی فاز مایع) (۹۰ درصد). در پتروگرافی-های انجام شده از میانبارهای سیال اثری از فازهای جامد مثل هالیت و انیدریت مشاهده نگردید که این موضوع بیانگر این است که میزان شوری سیالات کانه‌ساز در این منطقه کم تا متوسط است. سیالات درگیر اولیه در همه‌ی رگه‌های کوارتز به طور ساده ۲ فاز با اجزای مایع-بخار هستند این اجزا حاوی مایع و بخار با کمی CO₂ و بدون کانی دختر می‌باشند (Karimpour, Zaw and Huston, 2005). خلاصه‌ای از خصوصیات پتروگرافی این نمونه‌ها در جداول (۲-۶) تا (۴-۶) زیر و نیز تصاویر انواع سیالات و فازها موجود در آن‌ها (شکل ۶-۱) در ادامه آورده شده است.

جدول ۶-۲. خصوصیات پتروگرافی میانبارهای سیال نمونه‌ی BH1-22.5.

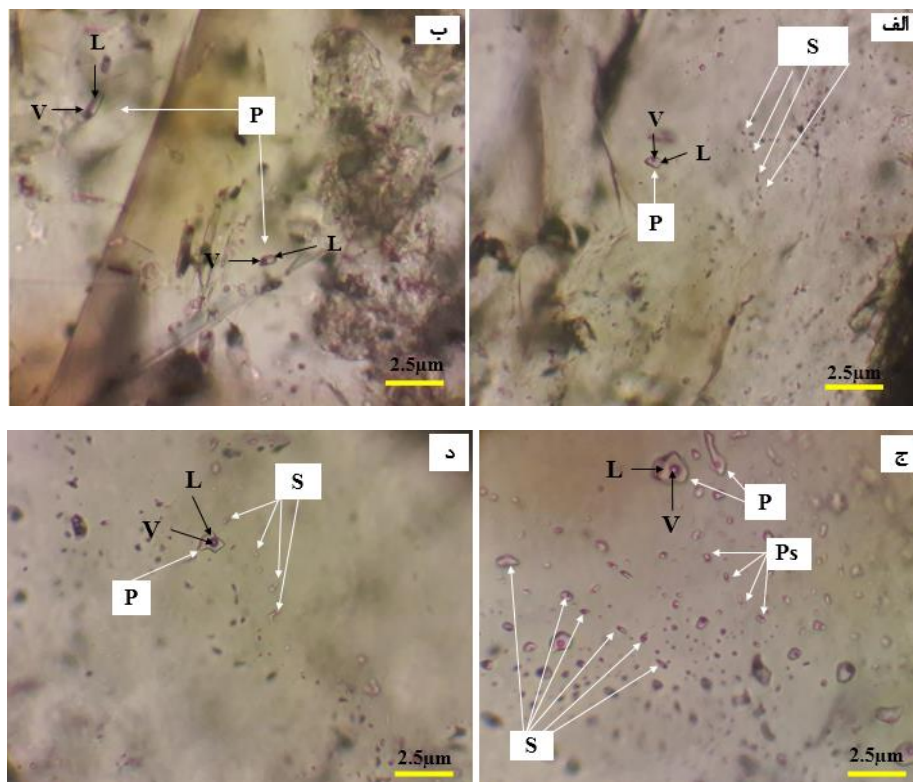
No.	Name	Type	Size (μm)	Shape	Phases (30 ⁰ C)	Liquid (%)	Vapor (%)
1	BH1-22.5-1	P	6	کشیده	L+V	80	20
2	BH1-22.5-2	P	10	کشیده	L+V	85	15
3	BH1-22.5-3	P	9	نیمه‌شکل‌دار	L+V	85	15
4	BH1-22.5-4	P	13	subhedral	L+V	90	10
5	BH1-22.5-5	P	10	کشیده	L+V	90	10
6	BH1-22.5-6	P	9	مثلثی	L+V	90	10
7	BH1-22.5-7	P	8	unshape	L+V	90	10

جدول ۳-۶. خصوصیات پتروگرافی نمونه‌ی BH7-75.3

No.	Name	Type	Size (μm)	Shape	Phases (30°C)	Liquid (%)	Vapor (%)
1	BH7-75.3-1	P	6	unshape	L+V	85	15
2	BH7-75.3-2	P	7	euhedral	L+V	65	35
3	BH7-75.3-3	P	7	euhedral	L+V	80	20
4	BH7-75.3-4	P	7	subhedral	L+V	70	30
5	BH7-75.3-5	P	10	subhedral	L+V	80	20
6	BH7-75.3-6	P	10	کشیده	L+V	80	20
7	BH7-75.3-7	P	14	کشیده	L+V	85	15

جدول ۴-۶. خصوصیات پتروگرافی نمونه‌ی BH10-22

No.	Name	Type	Size (μm)	Shape	Phases (30°C)	Liquid (%)	Vapor (%)
1	BH10-22-1	P	13	unshape	L+V	90	10
2	BH10-22-2	P	11	unshape	L+V	85	15
3	BH10-22-3	P	15	subhedral	L+V	90	10
4	BH10-22-4	P	8	subhedral	L+V	90	10
5	BH10-22-5	P	9	subhedral	L+V	95	5
6	BH10-22-6	P	12	subhedral	L+V	70	30
7	BH10-22-7	P	14	subhedral	L+V	85	15
8	BH10-22-8	P	8	unshape	L+V	90	10
9	BH10-22-9	P	9	unshape	L+V	90	10
10	BH10-22-10	P	10	subhedral	L+V	70	30



شکل ۶-۱. الف) سیالات درگیر مقطع BH1-22.5 دارای دو فاز مایع (L) و فاز گاز (V) و انواع اولیه (P) و ثانویه (S). ب) سیالات درگیر مقطع BH7-75.3 دارای دو فاز مایع (L) و فاز گاز (V) و نوع اولیه (P). ج و د) سیالات درگیر مقطع BH10-22 دارای دو فاز مایع (L) و فاز گاز (V) و انواع اولیه (P)، ثانویه (S) و ثانویه کاذب (Ps).

۶-۴- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال

بررسی میکروترمومتری عبارتست از مطالعه غیرمخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دما، میزان شوری،

وزن

مخصوص (چگالی) و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آنها ساخته شده است، که توسط عملیات سرد کردن (Freezing) و گرم کردن (Heating) انجام می‌پذیرد. در حقیقت، مبنای کار دماسنجی بر سرمایش و گرمایش میانبارهای سیال استوار است. هدف از سرد کردن و منجمد کردن میانبارها، پی بردن به میزان املاح یا اصطلاحاً درجه شوری محلول می‌باشد. هدف از حرارت‌دادن آن‌ها، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده یک میانبار سیال می‌باشد. دمای همگن شدن، یعنی دمایی که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه

بصورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. اصطلاح سرد کردن (Freezing) به عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن یک سیال درگیر سرد می‌شود تا تغییر فاز مایع به جامد مشاهده شود. جهت انجام عملیات انجماد، ابتدا سیال درگیر را تا دمای -100 - درجه سانتی-یگراد منجمد می‌کنیم. سپس با یک روند آهسته حرارت اتاقک حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم و سیال درگیر منجمد شده را زیر نظر می‌گیریم. پس از مدتی، سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارت دیگر، اولین دمای ذوبی که در آن یخ به آب تبدیل می‌شود، دمای یوتکتیک (T_E) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ بیشتر ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلور یخ نیز از بین برود. دمایی که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی (T_{mice}) اطلاق می‌شود.

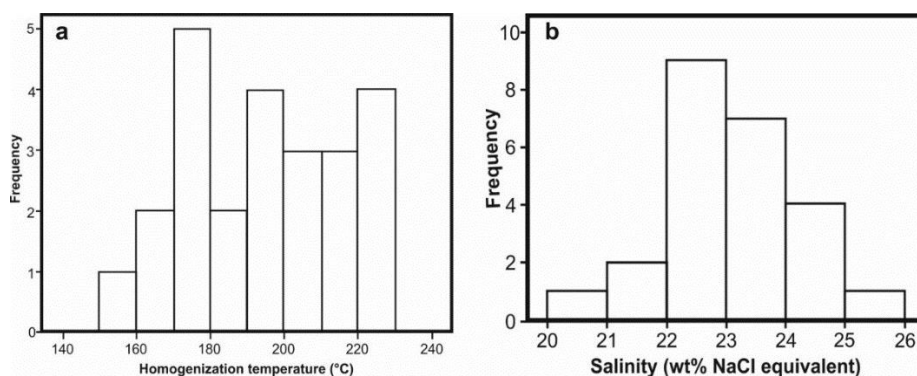
۶-۴-۱- دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات

نتایج بدست آمده از اندازه‌گیری میزان دمای همگن‌شدگی و شوری میانبرهای سیال در جدول (۵-۶) داده شده است. مقدار دما در محدوده بین $152/7$ تا $226/5$ درجه سانتی‌گراد و مقدار شوری از $20/89$ تا $25/64$ درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند که حاکی از شوری پایین تا متوسط است. نبود فاز دختر در این سیالات نیز تأکیدی بر شوری متوسط تا پایین است (Roedder, 1984) و می‌تواند ناشی از اختلاط با آب‌های جوی باشد (Barnes, 1979).

جدول ۵-۶. نتایج آنالیزهای دماسنجی و تعیین شوری در میانبارهای سیال نمونه‌های منطقه.

No.	Name	Salinity(wt% NaCl equiv.)	Th (V→ L)
1	BH1-22.5-1	22.58	178.8
2	BH1-22.5-2	22.91	216.7
3	BH1-22.5-3	23.05	161.3
4	BH1-22.5-4	20.89	179.0
5	BH1-22.5-5	24.65	198.7
6	BH1-22.5-6	25.64	208.7
7	BH1-22.5-7	23.70	175.1
8	BH7-75.3-1	24.21	215.8
9	BH7-75.3-2	21.75	189.9
10	BH7-75.3-3	22.85	201.2
11	BH7-75.3-4	22.58	225.3
12	BH7-75.3-5	23.76	194.4
13	BH7-75.3-6	24.15	226.5
14	BH7-75.3-7	24.59	213.1
15	BH10-22-1	23.95	178.3
16	BH10-22-2	22.38	226.0
17	BH10-22-3	22.38	197.8
18	BH10-22-4	21.61	178.2
19	BH10-22-5	22.44	152.7
20	BH10-22-6	22.51	225.4
21	BH10-22-7	23.24	167.7
22	BH10-22-8	23.24	190.8
23	BH10-22-9	23.76	188.1
24	BH10-22-10	22.38	201.2

در شکل (۲-۶-a,b) نمودار مربوط به شوری و دمای همگن شدن - فراوانی منطقه نشان داده شده است. نمودار a نشان دهنده‌ی این است که بیشترین فراوانی همگن‌شدگی دمایی نمونه‌های مطالعه شده، در محدوده دمایی ۱۷۰ تا ۲۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد بوده و فاز اصلی کانی‌سازی مس بین ۱۷۰ تا ۱۸۰ درجه‌ی سانتی‌گراد اتفاق افتاده است. بر اساس شکل b نیز می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین فراوانی درصد شوری در محدوده بین ۲۲ تا ۲۶ درصد وزنی معادل نمک طعام می‌باشد و سیال اصلی کانی‌سازی در منطقه، سیالی با شوری ۲۲ تا ۲۳ درصد بوده است.

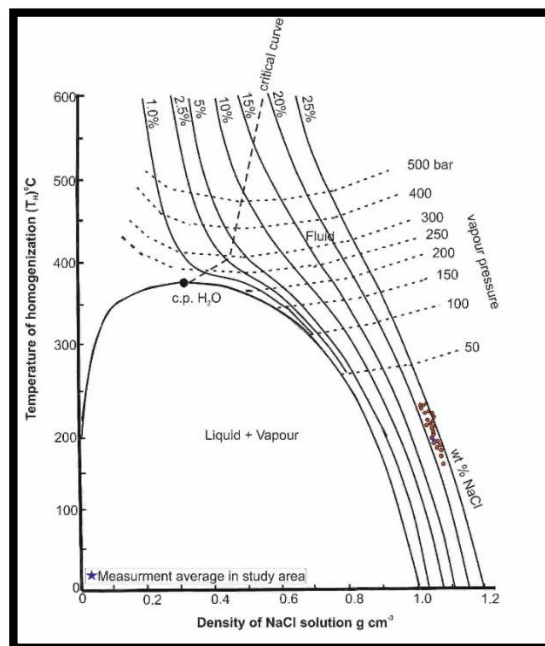


شکل ۲-۶. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال نسبت به فراوانی آنها.

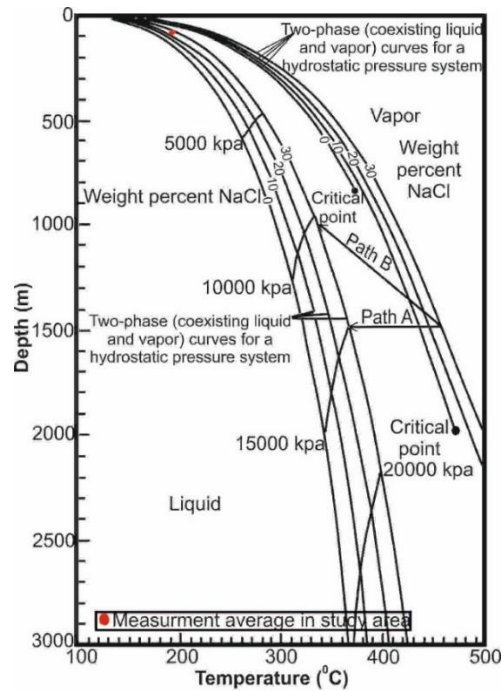
۲-۴-۶- فشار، چگالی و عمق سیالات درگیر

زمانی که اطلاعات بدست آمده در مورد دماهای همگن‌شدن میانبارهای سیال با اطلاعات داده‌های شوری ترکیب می‌شوند، می‌توانند چگالی سیال را بدون توجه به شرایط به تله افتادن آن معین کرد. تغییرات چگالی به‌ویژه با توجه به مکانیسم‌های جریان سیال و تکامل تغییرات ویژه در چگالی سیال، بخصوص در سیستم‌هایی که می‌توانند وقفه‌هایی در فرآیند جریان سیال ایجاد کنند، مهم است. بر اساس نمودار (shepherd et al (۱۹۸۵) شکل ۳-۶)، سیالات با میانگین شوری ۲۳ درصد و میانگین دمای همگن‌شدگی ۱۹۵ درجه سانتی‌گراد، دارای چگالی تقریبی $1/175 \text{ g/cm}^3$ و فشار کمتر از ۵۰ bar می‌باشند.

بر اساس نمودار دما-فشار-عمق (Sourirajan and Kennedy, 1962; ۱۹۷۶, Haas, 1۹۷۱) (شکل ۶-۴)، می‌توان عمق تقریبی کانی‌سازی را به دست آورد که کمتر از ۵۰۰ متر می‌باشد. از آنجا که محیط به تله افتادن میانبارهای سیال در منطقه ما، مرتبط با سطح زمین و در عمق کم می‌باشد، فشار حاکم بر محیط، فشار هیدرواستاتیک است. ولی اگر محیط به تله افتادن میانبارهای سیال در رابطه با ضخامت طبقات بالایی یا عمق تشکیل میانبارهای سیال باشد، فشار حاکم بر محیط، فشار لیتواستاتیک نامیده می‌شود.



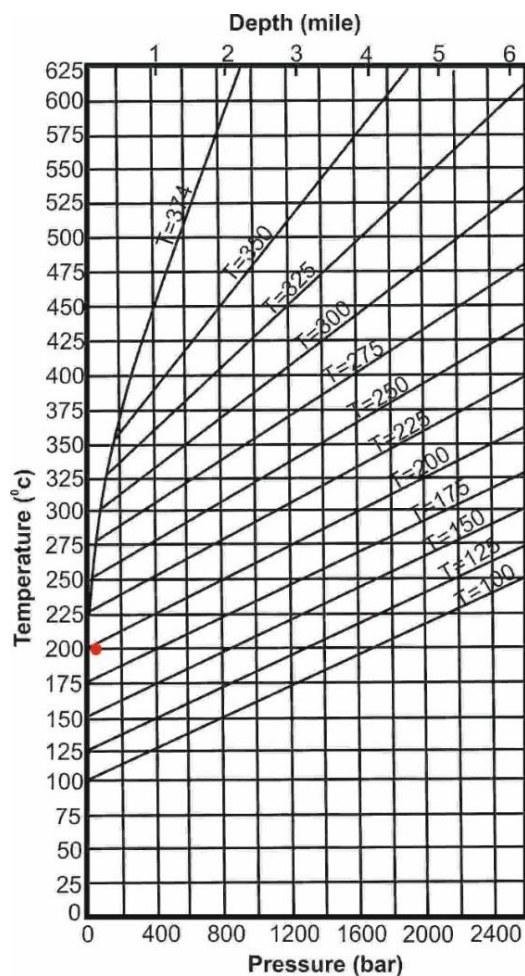
شکل ۶-۳. نمودار دمای همگن‌شدگی - چگالی به منظور تعیین فشار با توجه به شوری سیالات درگیر.



شکل ۶-۴. نمودار دما- فشار- عمق جهت تعیین عمق.

۶-۴-۳- دمای به تله افتادن و کمپلکس مؤثر در حمل عناصر کانسار ساز

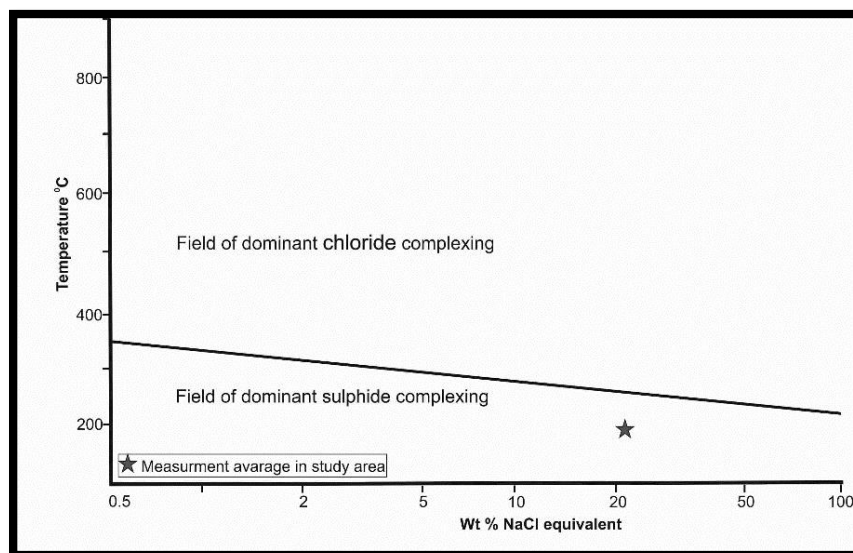
در صورتی که مقدار دمای همگن شدن و فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبار مشخص باشد می توان با استفاده از شکل (۵-۶) که توسط کندی (۱۹۷۵) ارائه شده است، دمای به تله افتادن میانبار را محاسبه نمود. با در نظر گرفتن میانگین دمای همگن شدن که برابر ۱۹۵ درجه سانتی گراد است و فشار کمتر از ۵۰ بار، دمای به تله افتادن میانبارهای سیال حدوداً ۲۰۰ درجه سانتی گراد خواهد بود.



شکل ۶۵۸. تعیین دمای به تله افتادن میانبارهای سیال با استفاده از دمای همگن شدن و فشار حاکم بر محیط تشکیل میانبار.

با استفاده از نمودار (Pirajno ۲۰۰۹) که براساس دمای همگن‌شدگی و درصد وزنی نمک طعام در سیالات درگیر ارائه شده است می‌توان به کمپلکس مؤثر در حمل فلزات کانسار زرنندیه پی برد. همانطور که در شکل (۶-۶) مشاهده می‌شود سیالات درگیر مورد مطالعه، در محدوده‌ی مربوط به کمپلکس‌های سولفیدی قرار می‌گیرند و می‌توان نتیجه گرفت که SO_4^{2-} یا HS^- مهم‌ترین آنیون‌های حمل‌کننده در کمپلکس سولفیدی بوده‌اند. مشاهده‌ی کانی‌های پیریت و کالکوپیریت در کانسار زرنندیه این مطلب را تأیید می‌کند. مس در درجه‌حرارت‌های پایین‌تر و محیط‌های غنی از H_2S به صورت کمپلکس‌های بی‌سولفیدی (HS^-) ولی در حرارت‌های بالا به صورت کمپلکس‌های کلریدی $CuCl_2^-$ و $CuCl_3^{2-}$ حمل

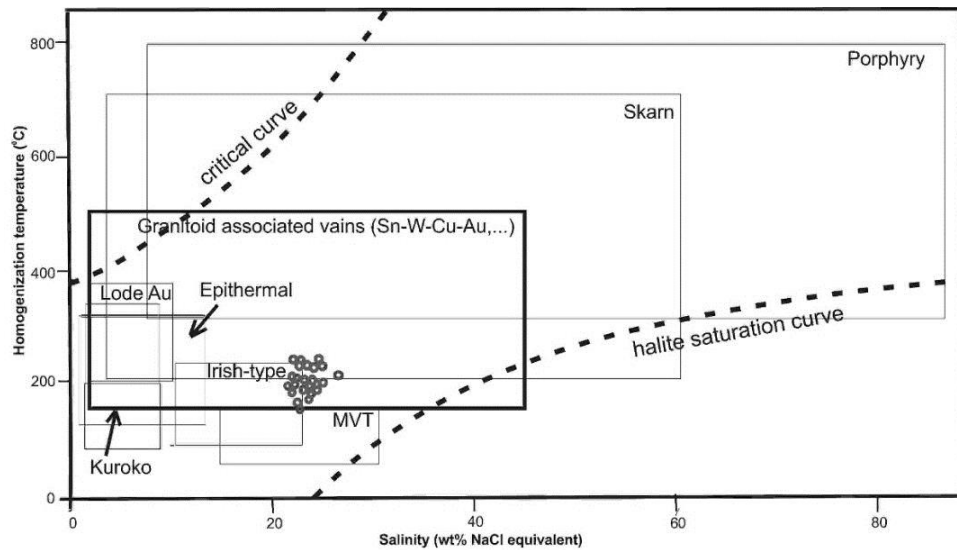
می‌گردد. در محدوده زرننده با توجه به حرارت پایین سیالات کانه‌ساز سهم کمپلکس‌های بی‌سولفیدی برجسته‌تر از نوع کلریدی می‌باشد.



شکل ۶-۶. نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) موثر در حمل عناصر کانسار ساز.

۶-۴-۶- تعیین تیپ کانه‌زایی و منشأ سیالات براساس داده‌های میانبارهای سیال

براساس نمودار ارائه شده بر پایه شوری و دمای همگن شدن که انواع سیستم‌های کانه‌زایی را از هم تفکیک نموده است، نمونه‌های بررسی شده از لحاظ دمایی و شوری در محدوده سیستم‌های رگه‌ای هیدروترمال مرتبط با توده‌های گرانیتوئیدی قرار می‌گیرند (Wilkinson, 2001).



شکل ۶-۷. نمودار تعیین تیپ کانه‌زایی براساس شوری و دمای همگن شدن که نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده کانیا‌های رگه‌ای مرتبط با گرانیتوئیدها قرار می‌گیرند. (Wilkinson, 2001) خصوصیات سیالات درگیر را در کانسارهای هیدرومال (جدول ۶-۶) آورده است که با توجه به این جدول، تیپ کانسار زرن‌دیه به رگه‌های مرتبط با توده‌های نفوذی نزدیک‌تر می‌باشد.

جدول ۶-۶. خصوصیات سیالات درگیر در کانسارهای هیدروترمال (Wilkinson, 2000).

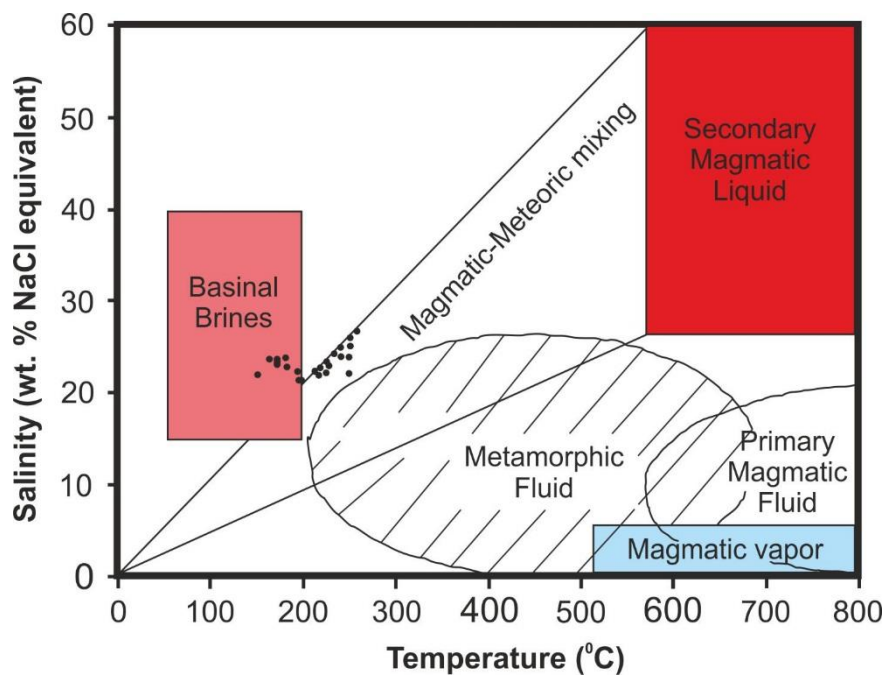
Typical characteristics of fluid inclusions in hydrothermal ore deposits

Deposit type	Host minerals	T_h range (°C)	Salinity range (wt.% NaCl equiv.)	Daughter minerals	Trapped phases	Comments
Mississippi Valley-type	cc, dol, fluor, ba, qz, sph	50–180	15–30	–	Petroleum	CH ₄ may be present
Irish-type	cc, dol, sph, qz, ba	150–240, 80–150	10–18, 20–25	–	Calcite, K-mica	Mixing of two fluids, high T fluid has low CO ₂
Volcanic-associated massive sulphide	qz, ba	80–340	1–8	–	–	Higher T_h and S in stockwork zones
Granitoid-associated veins	qz, wolf, fluor, cc	150–500	0–45	hal, syl, chlor, bor, anh, cc, hm, mt, sulph	Tourm, ksp	CO ₂ often present, common effervescence
Porphyry-copper	qz	200–700	0–70	hal, syl, chlor, cpy, hm	–	Effervescence common, CO ₂ in deep systems
Epithermal	qz, cc, sph	100–300	0–12	daw	–	Sometimes low CO ₂ , common effervescence
Mesothermal gold	qz, cc	200–400	2–10	daw	–	High CO ₂ + CH ₄ or N ₂

۶-۴-۵- تعیین منشأ سیالات

حضور کانی‌های کربناته مس از جمله مالاکیت، آزوریت و کلسیت می‌تواند به حضور آنیون CO_3^{2-} یا HCO_3^- در سیالات اشاره کند که دارای منشأ جوی یا سوپرژن می‌باشد و شاهدی مبنی بر حضور

سیالات جوی در کانه‌زایی اکسیدان-سوپرژن است. براساس مطالعات میکروترومتری میانبراهای سیال در نمونه‌های مربوط به این منطقه و نمودار (شکل ۶-۸)، به نظر می‌رسد که منشأ سیالات، آب‌های ماگمایی-گرماپی بوده که در اثر اختلاط با آب‌های جوی رقیق شده است.



شکل ۶-۸. نمودار درجه حرارت- شوری برای سیالات با منشأهای متفاوت (Beane, 1983).

فصل هفتم

بحث، نتیجه‌گیری و ارائه

مدل زایشی

۷-۱- مقدمه

یکی از نکات مهم در مطالعه هر کانساری، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می‌باشد. بنابراین، بررسی و تحلیل فاکتورهایی که در تشکیل و تمرکز ماده معدنی نقش داشته‌اند، جهت شناسایی فرآیندهای مؤثر در کانه‌زایی، حائز اهمیت می‌باشد. در این رابطه، نوع و ماهیت سنگ میزبان، ماهیت فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز، تأثیر متقابل سیالات کانه‌ساز و سنگ‌های دیواره، دگرسانی، ماگماتیسم، ساختارهای تکتونیکی و همچنین نحوه پراکندگی و توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، از جمله فاکتورهای اساسی هستند.

در این فصل، ابتدا خلاصه‌ای از شواهد مهم مرتبط با کانه‌زایی مس در کانسار زرنديه آورده شده سپس بر مبنای اطلاعات و شواهد موجود، به مقایسه‌ی کانه‌زایی مشابه در ایران و دنیا پرداخته و در پایان مدل احتمالی برای کانه‌زایی مس ارائه شده است.

۷-۲- خلاصه‌ای از خصوصیات کانه‌زایی مس در محدوده مورد مطالعه

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی، بررسی‌های میکروسکوپی (پتروگرافی و کانه‌نگاری)، آنالیزهای ژئوشیمیایی و همچنین نتایج و شواهد بدست آمده از مطالعات سیالات درگیر در کانسار مس زرنديه را می‌توان به صورت زیر خلاصه نمود:

۱- منطقه مورد مطالعه در بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر واقع شده است.

۲- سنگ میزبان کانی‌سازی مس عمدتاً گابرو و دیوریت می‌باشند اما در خارج از محدوده اکتشافی، کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان-رسوبی نیز وجود دارد. بافت‌های غالب در سنگ‌های آذرین پورفیری‌تیک، افیتیک، نیمه افیتیک، پویی کلیتیک، اینترسرتال و ساخت غالب برشی شدن، رگه و رگچه‌ای و به ندرت پر شدگی فضاهای خالی ناشی از انحلال می‌باشد.

۳- سن سنگ میزبان کانی‌سازی، مربوط به دوره‌ی میوسن و سن احتمالی کانی‌سازی پس از میوسن میانی می‌باشد.

۴- مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه از نوع I، کالک آلکالن و از نظر درجه اشباع از آلومینیم، متآلومین تا اندکی پرآلومین می‌باشد. همچنین از نظر موقعیت زمین‌ساختی، کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی می‌باشند. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای قوسی مناطق فرورانش می‌باشد.

۵- کانه‌های اولیه شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اولیژیست و انواع ثانویه شامل مس خالص، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت است.

۵- کانی‌های باطله شامل کوارتز، پلاژیوکلاز و پیروکسن می‌باشد.

۶- بافت‌های پرکننده فضاهای خالی، رگه و رگچه‌ای، دانه پراکنده، برشی، جانشینی، اسکلتی و جزیره‌ای وجود دارد، که انواع رگه و رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی و جانشینی غالب هستند. ساخت‌های منطقه شامل رگه و رگچه‌ای، برشی و پرکننده فضاهای خالی می‌باشد.

۷- با توجه به مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD دگرسانی‌های موجود در منطقه شامل پروپیلی تیک (اپیدوتی و کلریتی)، آرژیلیک حدواسط، سیلیسی، سریسیتی، آلبیتی، کربناته و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشد.

۸- براساس مطالعات سیال درگیر انجام شده بر روی نمونه‌ها، دمای همگن‌شدگی از ۱۵۲/۷ تا ۲۲۶/۵ درجه سانتی‌گراد (متوسط ۱۹۵ °C) و میزان شوری نیز از ۲۰/۸۹ تا ۲۵/۶۴ درصد وزنی معادل نمک طعام (متوسط ۰/۲۳) تغییر می‌کند، که به اختلاط آب‌های ماگمایی و جوی (ویژه آب‌های ماگمایی) بعنوان حجم اصلی سیال‌های کانه‌ساز اشاره دارد، که در عمق کم جای گرفته‌اند. براساس مقادیر دمای همگن‌شدگی و شوری، کانی‌سازی مس در فشار کمتر از ۵۰ bar و عمق کمتر از ۵۰۰ متری رخ داده است.

۹- عوامل کنترل‌کننده کانی‌زایی شامل کانسنگ‌های برشی عموماً در بخش مرکزی سیستم توسعه دارند در حالیکه نوع رگه‌ای از شکستگی‌ها و گسل‌ها تبعیت می‌کنند.

۱۰- هوازدهی در منطقه: کانی‌های سولفیدی در محیط‌های سطحی به وسیله عوامل جوی هوازده شده و به ترتیب به کانی‌های کالکوسیت، کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و مس‌دار (نتوتوسیت)، گوتیت، مالاکیت، آزوریت و لیمونیت تبدیل شده‌اند.

۱۱- راهنمایی‌های ژئوشیمیایی: آنومالی ژئوشیمیایی عناصر مس، نقره، آرسنیک، سرب، روی، کادمیوم، آهن و منگنز قابل ثبت است.

جدول ۷-۱. ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانسار مس زرنديه.

ردیف	مشخصات	توضیحات
۱	موقعیت جغرافیایی و زمین‌ساختی	بخش میانی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر، استان مرکزی
۲	سنگ میزبان	بیشتر گابرو و دیوریت، در خارج از محدوده اکتشافی، کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان-رسوبی نیز وجود دارد.
۳	سن احتمالی کانی-سازی	پس از میوسن میانی
۴	کانی‌ها	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، اولیژیست، مس خالص، کالکوسیت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت
۵	کانه‌های باطله	کوارتز، پلاژیوکلاز، کلسیت، کلریت، اپیدوت، سریسیت، پیروکسن، هورنبلند، اسفن
۶	عیار مس و مولیبدن	Cu: 0.38-1.2% (Av= 0.74%); Mo: 1-66 ppm (Av= 14 ppm)
۷	انواع بافت	پرکننده فضاهای خالی، رگه و رگچه‌ای، پراکنده، برشی، جانشینی، اسکلتی، جزیره-ای
۸	انواع دگرسانی	پروپیلی تیک (اپیدوتی و کلریتی)، آرژیلیت حدواسط، سیلیسی، سریسیتی، آلبیتی، کربناته و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
۹	سیال درگیر	متوسط دما ۱۹۵ °C، متوسط شوری ۲۳٪، فشار کمتر از ۵۰ bar، عمق کمتر از ۵۰۰ متر
۱۰	محیط تکتونیکی	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و مناطق برخوردی
۱۱	عوامل کنترل‌کننده	کانسنگ‌های برشی عموماً در بخش مرکزی سیستم توسعه دارند در حالیکه نوع رگه‌ای از شکستگی‌ها و گسل‌ها تبعیت می‌کنند.
۱۲	هوازدهی	کانی‌های سولفیدی در محیط‌های سطحی به وسیله عوامل جوی هوازده شده و به ترتیب به کانی‌های کالکوسیت، کولیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن، منگنز و مس‌دار (نتوتوسیت)، گوتیت، مالاکیت، آزوریت و لیمونیت تبدیل شده‌اند.
۱۳	راهنمایی‌های ژئوشیمیایی	آنومالی ژئوشیمیایی عناصر مس، نقره، آرسنیک، سرب، روی، کادمیوم، آهن و منگنز قابل ثبت است.

۳-۷- طبقه‌بندی و ویژگی‌های عمومی کانسارهای مس

جدول ۲-۷. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی مس زرنندیه با برخی کانسارهای مس.

مشخصات	کانسارهای مس پورفیری	کانسارهای مس در طبقات سرخ آتشفشانی	کانسارهای IOCG	کانسارهای مس رگه‌ای	منطقه زرنندیه
جنس و سنگ میزبان کانی‌سازی	گرانودیوریت، از تونالیت، تا کوارتز مونزونیت دیوریت	گدازه‌های آتشفشانی، مافیک تا فلسپیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	آندزیت بازالت و شیل	گرانیتوئیدها و به مقدار کمتر سازندهای آتشفشانی، رسوبی و دگرگونی	بیشتر گابرو و دیوریت، در خارج از محدوده اکتشافی، کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان-رسوبی نیز وجود دارد.
محیط تکنونیک	حاشیه قاره‌ای فعال و جزایر قوسی	کافت درون قاره-ای و نزدیک به حواشی صفحات	حوضه‌های کششی پشت کمر بند زون فرورانش، ریفتهای درون قاره‌ای، نقاط داغ داخل قاره‌ای و حوضه‌های کششی بعد از تصادم قاره‌ای	حوضه‌های کششی پشت کمر بند زون فرورانش، ریفتهای درون قاره-ای و حوضه‌های کششی بعد از تصادم قاره‌ای	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و حوضه‌های کششی پس از تصادم
سن تشکیل	پروتروزوییک تا ترشیری	پروتروزوییک تا ترشیری	پروتروزوییک تا ترشیری	پروتروزوییک تا ترشیری	پست ائوسن (میوسن؟)
نوع دگرسانی و محصولات	پتاسیک، فلیک، رسی، پروپیلیتیک	کلریت، اپیدوت، کلسیت، زئولیت، آلپیت	کلریت، اپیدوت	سیلیسی، کلریتی، سریسیتی، پروپیلیتیک، آرژیلیک	پروپیلی تیک، آرژیلیت، حدواسط، سیلیسی، سریسیتی، آلبیتی، کربناته و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
پاراژنز کانیایی	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت	کالکوسیت، بورنیت	اولیژنیت، پیریت	کالکوپیریت، انارژیت، مگنتیت، هماتیت	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت

اولیژیست، مس خالص، کالکوسیت، کولیت، ملاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	پیریت، کالکوسیت	کالکوپیریت، گالن، اسفالریت	مس طبیعی، دیزنیت و کولیت	مگنتیت، کالکوسیت، کولیت و مولیبدنیت	
رگه و رگچه‌ای، برشی، پراکنده، پرکننده فضاهای خالی	رگه‌ای	رگه‌ای	پراکنده، پرکننده فضاهای خالی، رگه- رگچه‌ای	انتشاری و رگچه‌ای	بافت
مطالعه حاضر	Sawkins (1972)	Karimpour (2001, 2005), Barton et al (2005)	Lefebure and Church (1996) Cabral and Beaudoin (2007)	McMillan and Panteleyev (1988)	منابع

براساس خصوصیات کانسارهای مس ذکر شده در بالا و مقایسه این ویژگی‌ها با مس زرنديه مشاهده می‌شود که منطقه ما بیشترین شباهت را به کانسارهای رگه‌ای دارد در نتیجه کانه‌زایی منطقه از نوع رگه‌ای می‌باشد.

۷-۴- مقایسه‌ی کانسار مس زرنديه با پاره‌ای از کانسارهای مس رگه‌ای از پهنه-

های مختلف زمین‌ساختی ایران

با توجه به مطالعات انجام شده در این تحقیق و همچنین مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی، کانی-شناسی و

ساخت و بافت ماده معدنی در منطقه مورد مطالعه با تیپ‌های مختلف کانسارهای مس، کانه‌زایی در منطقه زرنديه از نوع کانسارهای مس رگه‌ای هیدروترمال (مرتبط با توده‌های نفوذی) می‌باشد.

جدول ۷-۳. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار زرنندیه با چند کانسار مس (\pm عناصر همراه) از زون -

های زمین‌ساختی ایران.

مشخصات	کانسار علی‌آباد موسوی-خان‌چای	کانسار سه‌چنگی	کانسار چاه‌موسی	کانسار چاه‌مسی
موقعیت زمین‌ساختی	زون البرز-آذربایجان (زیر زون طارم-هشتجین)	زون خرده‌قاره ایران مرکزی (زیر زون بلوک لوت)	زون ایران مرکزی (زیر زون نوار آتشفشانی ماگمایی ترود-چاه شیرین)	زون ایران مرکزی (بخش شمالی ارومیه- دختر)
جنس و سنگ میزبان کانی‌سازی	توف، گدازه	مونزونیت پورفیری	بیوتیت-هورنبلند آندزیت پورفیری	آتشفشانی- رسوبی
محیط تکتونیکی	حاشیه قاره‌ای فعال و پس از برخورد	-----	کمان آتشفشانی مرتبط با زون فرورانش	
سن تشکیل	اوسن و بعد از آن	اوسن پسین	اوسن- الیگوسن	اوسن
نوع دگرسانی	سیلیسی، کلریتی، پروپیلیتیک	سیلیسی، آرژیلیک، کربناتی، فلوریتی شدن	فلیک، کلریتی-کلسیتی، اپیدوتی-کلریتی-کلسیتی	کربناتی، سیلیسی، سرسیستی، پروپیلی- تیک، آرژیلیک
شکل کانی- سازی	رگه‌ای	رگه‌ای	افشان-رگه‌ای	رگه‌ای
کانه‌ها	کالکوپیریت، پیریت، الیژیست، مالاکیت، آزوریت	گالن، اسفالریت، کمی کالکوپیریت و پیریت، سروسیت، آنگلیزیت، کوولیت، مالاکیت، هماتیت، گوتیت	کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، بورنیت، پیریت، کالکوپیریت، دیژنیت، نئوتسایت، هماتیت، گوتیت	کالکوپیریت، پیریت، اسفالریت، گالن و به مقدار بسیار کمتر انارژیت، تتراهدريت، تنانتیت
کانی‌های باطله	کوارتز، کلریت، پلاژیوکلاز، سرسیست، کلسیت،	کوارتز، فلوریت، کلسیت، کائولینیت، ابلیت	کوارتز، کلسیت، کلریت، اپیدوت، بیوتیت، هورنبلند	کربنات، کلریت، اپیدوت، کوارتز، سرسیست
بافت و ساخت	دانه‌پراکنده- رگه‌رگه‌ای- برشی- پرکننده فضای خالی- جانشینی	جانشینی، پرکننده فضای خالی، برشی، رگه‌رگه‌ای	افشان، رگه‌ای	اسکلتی، برشی، پوسته- گذاری
عیار عناصر			Cu: 0.05- 4% Zn: 50-250 ppm Ag: <1- 30 ppm Au?	Cu: 45.5 % Ag: 0.152 % Au: 0.095 %
نسبت عنصر Au به Ag				0.625 %

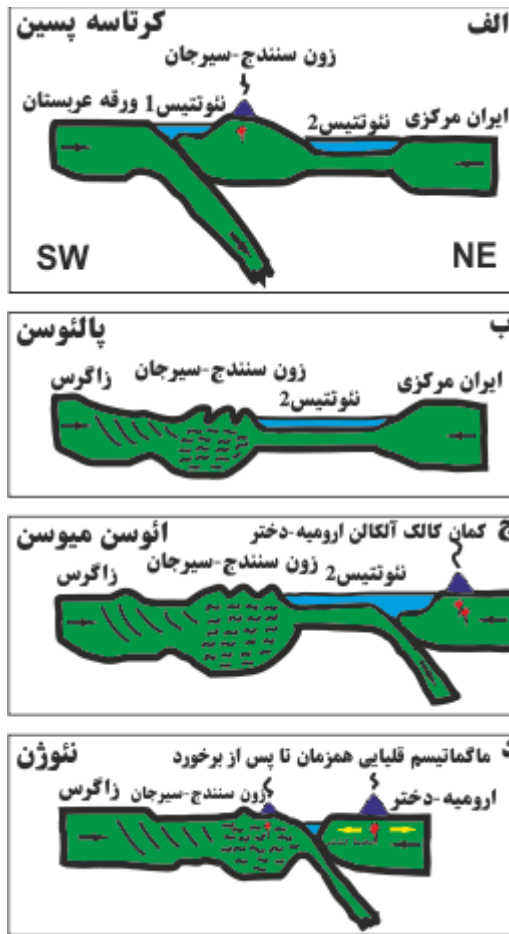
نقش عمده یک سامانه برشی، شکستگی‌های برشی، در جایگیری رگه‌های حاوی کانی-سازی. کانی‌سازی در امتداد رگه‌های سیلیسی رخ داده است.			ساختارهای تکتونیکی نظیر گسل ها، درزه ها و شکستگی‌ها، عامل مهمی در کنترل و حرکت سیالات هیدروترمالی کانه‌دار و تشکیل رگه‌های کانه‌دار در این منطقه بوده‌اند.	نقش کنترل کننده‌های چینه‌شناسی و ساختاری در تشکیل کانی‌سازی
دما: ۲۵۰-۳۰۰ °C	متوسط دما: ۴۲۱ °C متوسط شوری: ۱۲/۹ % wt عمق: ۲۸۸ تا ۱۰۶۵ متر.	در فلوریت: دما °C ۱۵۱-۳۵۲ و شوری wt % ۰/۵-۱۶/۵ در کوارتز: °C ۱۶۱-۲۱۵ و شوری wt % ۰-۹/۷ عمق: کمتر از ۱۰۰ متر.	-	سیال درگیر
رگه‌ای اپی‌ترمال (سولفیداسیون متوسط)	مس (سرب، روی) رگه‌ای	سرب- روی (مس) اپی-ترمال (رگه‌ای مرتبط با هیدروترمال ولکانیک-ساب ولکانیک)	مس رگه‌ای (کردیلر؟)	ژنز
حسینخانی و همکاران (۱۳۹۰)	امام جمعه (۱۳۸۵)	Malekzadeh Shafaroudi and Karimpour (2015)	سعیدی (۱۳۹۳)	منبع
کانسار مس زرنديه	کانسارهای مس-طلای Minto Williams Creek	کانسارهای مس رگه‌ای هیدروترمال Gyeongsang Basin، جمهوری کره	کانسار طلا-مس اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالا Cerro Quema	کانسارهای سرب- روی- مس ± طلا ± نقره اپی‌ترمال در مناطق Koru و Tesbihdere
بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر				
بیشتر گابرو و دیوریت، در خارج از محدوده اکتشافی، کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان-رسوبی نیز وجود دارد.	سنگ‌های نفوذی (دیوریت، کوارتز دیوریت)	سنگ‌های آتشفشانی (توف‌ها)	کمپلکس گنبدی داسیتی	توف‌های ریولیتی و لاوا-گنبد‌های ریولیتی
کمان آتشفشانی و همزمان با زمین‌ساخت			پیش کمان آتشفشانی	-----
ائوسن و پس از آن	تریاس پسین- ژوراسیک پایینی	کرتاسه بالایی	ائوسن	الیگوسن
پروپیلی تیک، آرژیلیت حدواسط، سیلیسی، سریسیتی، آلبیتی،	سرسیتی، همتیتی، رسی، کلریتی	سیلیسی، کلریتی	آرژلیک پیشرفته و حدواسط، پروپیلی-تیک، کربناتی	آرژیلیتی، پروپیلیتیک (شامل اپیدوت، کلریت، سریسیت و

کربنات، سیلیسی و سرب	رگه‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای	کربنات، سیلیسی و سرب
کربنات و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	رگه‌ای	رگه‌ای	رگه‌ای	کربنات و اکسید و هیدروکسیدهای آهن
کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت، سروسیت، مارکاسیت، تتراهدریت، انارژیت، آنگلزیت و کوبانیت	کالکوپیریت، بورنیت، پیروتیت، هماتیت، مگنتیت، پیریت	کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، آرسنوپیریت، الکتروم، تتراهدریت، انارژیت، مارکاسیت، پیروتیت، دیژنیت، بورنوتیت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت،	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، گوتیت، هماتیت، گالن، اسفالریت، انارژیت، تتانتیت	کالکوپیریت، پیریت، گالن، اسفالریت، بورنیت، کوولیت، کالکوسیت، تنانتیت، سروسیت، مارکاسیت، تتراهدریت، انارژیت، آنگلزیت و کوبانیت
اپیدوت، کلریت، سربسیت، کربنات، کوارتز، پیروکسن، آمفیبول، الیوین، بیوتیت	کوارتز، کلریت، اپیدوت، کانی‌های رسی، فلدسپار، بیوتیت، آمفیبول	کوارتز، کلریت، سربسیت، کلسیت، آمیتیت	کوارتز، کائولینیت، ایلیت، دیکیت، کلریت، آپاتیت، کربنات، آلونیت، هورنبلند، پلاژیوکلاز	اپیدوت، کلریت، سربسیت، کربنات، کوارتز، پیروکسن، آمفیبول، الیوین، بیوتیت
جانشینی، اکسلوشن، رگه‌رگه‌ای، پرکننده شکستگی‌ها و اسکلتی	دانه‌پراکنده، برشی، جانشینی	دانه‌پراکنده، رگه‌ای، برشی، جانشینی، پرکننده فضاهای خالی، درهم‌رشدی	دانه‌پراکنده، رگه-رگه‌ای، برشی، جانشینی، پرکننده فضاهای خالی	جانشینی، اکسلوشن، رگه‌رگه‌ای، پرکننده شکستگی‌ها و اسکلتی
Cu: 0.1-3.2 % Au: 10-340 ppm	Minto: Cu: 1.73 % Ag: 7.5 g/t Au: 0.48 g/t Williams creek: Cu: 1.01%	Sambong: Cu: 1.89 % Ag: 186 g/t Au: 0.94 g/t Samsan: Cu: 2.23% Ag: 194 g/t Au: g/t	Cu: 0.01-3.67 % Au: 30.86 Mt	Au: 3.14 g/t Ag: 300 g/t
-----	0.06	0.005	-----	0.01 g/t
گسل‌ها مهم‌ترین عناصر ساختاری در محدوده‌ی مورد مطالعه	شکل‌گیری کانه‌زایی قبل از تغییر شکل انعطاف‌پذیر	رگه‌های حاوی کانی-سازی توسط حوادث تکتونیکی مانند شکستگی و برشی شدن از هم جدا شده‌اند.	کانه‌زایی توسط یک سیستم گسلی ناحیه‌ای با روند شرق کنترل می‌شود.	مهم‌ترین ساختارهای کنترل‌کننده‌ی کانسنگ، گسل‌ها هستند.
دما: ۱۵۲-۲۲۶ °C شوری: ۲۰-۲۶% wt		دما: ۱۲۰-۳۵۰ °C شوری: ۳-۱۷ % wt عمق: ۵۰-۱۲۵۰ متر	-----	دما: ۱۴۶-۴۰۷ °C شوری: ۱۲-۵ % wt ۰/۲
مس رگه‌ای (مرتبط با توده‌های نفوذی)	رگه‌های مرتبط با توده-های نفوذی هیدروترمالی	رگه‌ای هیدروترمال مس-دار	طلا-مس اپی‌ترمال با سولفیداسیون بالا	سرب-روی-مس ± طلا ± نقره اپی‌ترمال
مطالعه حاضر	Mortensen and tafti (2002)	CHIL-SUP et al (1985)	Corral et al (2016)	Mustafa Çiçek, Tolga Oyman (2016)

۷-۵- الگوی تشکیل رخدادهای معدنی مس زرنديه

براساس نتایج بدست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و کانه‌ها، دگرسانی‌ها، بررسی‌های ژئوشیمیایی و میانبارهای سیال مراحل تکوین و تکامل رخداد معدنی مس زرنديه را می‌توان طی چند مرحله به شرح زیر خلاصه کرد:

همزمان یا کمی پس از بسته شدن دریای پالئوتتیس (در اواخر پالئوزویک یا تریاس) در شمال ایران، شکاف عمیقی در امتداد روراندهای اصلی زاگرس در پلاتفرم و پوشش آن در جنوب پدید آمد که با گسترش آن زاگرس و بخشی از عربستان به زیر آب فرو رفت، اقیانوسی را که بر اثر جدایی ایران از عربستان در تریاس به وجود آمد نئوتتیس نامیده شد. فرورانش به سمت شمال نئوتتیس در ژوراسیک پیشین باعث جدا شدن مجموعه جدیدی از مناطق با روند شمال غربی از حاشیه گندوانا از جمله سنندج-سیرجان شده است. رژیم زمین‌ساختی بین حاشیه عربستان و صفحه‌ی سنندج-سیرجان، در اواخر کرتاسه از حاشیه غیرفعال به رژیم همگرایی تبدیل شده است و فرورانش نئوتتیس ۱ به سمت شمال به زیر صفحه سنندج-سیرجان رخ داده است (شکل ۷-۱-الف). در نتیجه‌ی جایگیری افیولیت‌ها در امتداد پهنه زاگرس، نئوتتیس ۱ در اواخر کرتاسه یا در پالئوسن شروع به بسته شدن می‌کند (شکل ۷-۱-ب). در ائوسن تا میوسن، نئوتتیس ۲ شروع به فرورانش به زیر ایران مرکزی کرده و در نتیجه کمان کالک آلکالن ارومیه-دختر شکل گرفته است (شکل ۷-۱-ج) (فعالیت آتشفشانی در این کمربند از کرتاسه شروع شده و در ائوسن به نهایت شدت خود می‌رسد). در زمان نئوژن همزمان با شکل‌گیری دریای سرخ، اقیانوس نئوتتیس ۲ به سرانجام خود نزدیک شده است (شکل ۷-۱-د) (Richards et al., ۲۰۰۶).



شکل ۷-۱- مقطع عرضی که نشان دهنده چگونگی تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر می باشد. الف: فرورانش نئوتیس ۱ به زیر زون سنندج-سیرجان طی کرتاسه پسین. ب: بسته شدن نئوتیس ۱ در اواخر کرتاسه یا پالتوسن. ج: شروع فرورانش نئوتیس ۲ به زیر ایران مرکزی طی ائوسن-میوسن برای شکل گیری کمان ماگمایی ارومیه-دختر. د: فرورانش بین زون سنندج-سیرجان و ایران مرکزی طی نئوژن و ایجاد حرکات کششی در کمان ماگمایی ارومیه-دختر (Richards et al., 2006).

مرحله ۱: کمان ماگمایی ارومیه-دختر متشکل از سنگ‌های آتشفشانی- رسوبی، سنگ‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق و دایک به سن ائوسن-کواترنری می باشد. در منطقه‌ی زرنديه سنگ‌های آتشفشانی و رسوبی مانند آندزیت، بازالت، داسیت و ریولیت به همراه سنگ‌های آذرآواری و رسوبی در یک محیط مربوط به محیط‌های کمان‌های حاشیه‌ی قاره‌ای تشکیل شده است (شکل ۷-۲-الف). در این مرحله احتمال تشکیل شکل پراکنده‌ای از کانی‌سازی مس (پیریت، کالکوپیریت و بورنیت) به همراه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری وجود دارد. بالا بودن مقدار زمینه‌ی مس نسبت به کلارک جهانی آن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن گویای این مسئله می باشد به طوریکه دیاژنز و دگرگونی دفنی درجه پایین سنگ‌های

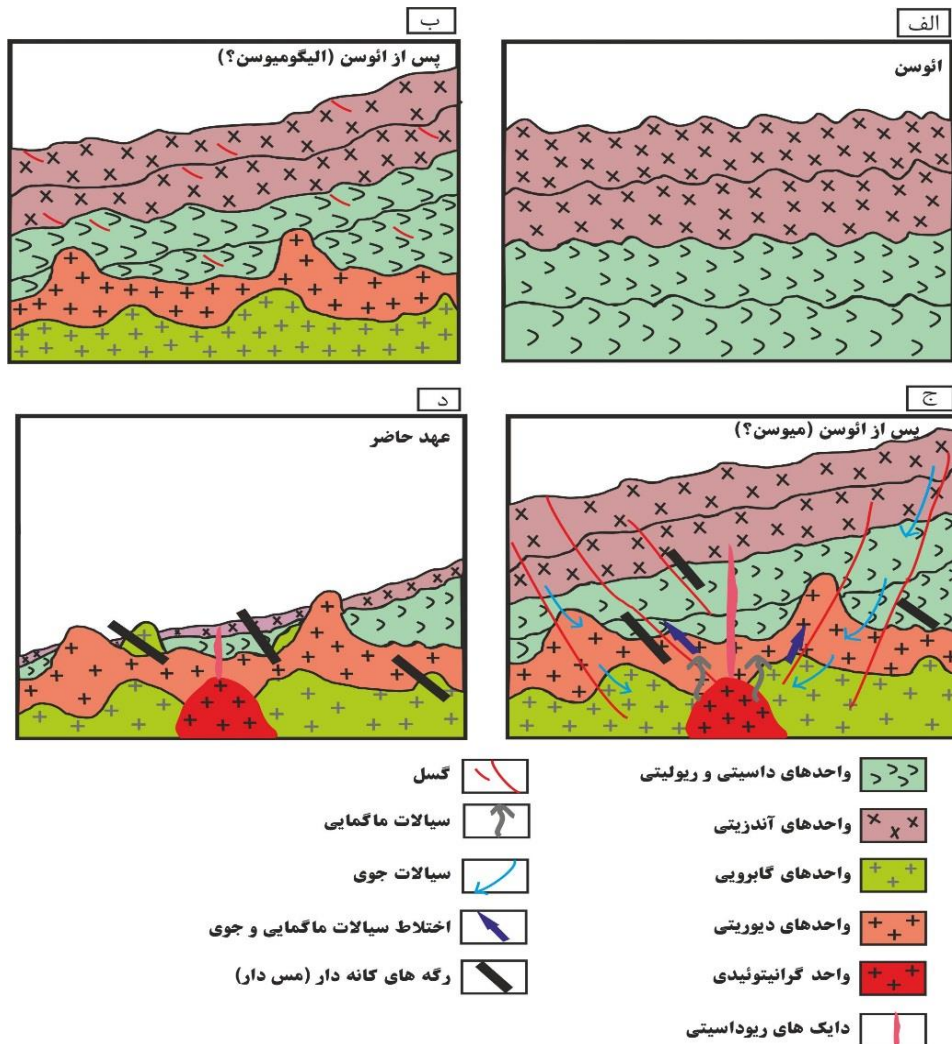
آتشفشانی ائوسن زمینه را برای تشکیل کانسارهای مس تیپ بازالتی، مانتو و مس به همراه طبقات قرمز آتشفشانی فراهم می‌نماید.

مرحله ۲: در مرحله ۲ سنگ‌های نفوذی گرانیتوئیدی (گابرو، دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) به داخل سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده در مرحله‌ی قبل نفوذ کرده‌اند. در جایگیری توده‌های نفوذی (بویژه باتولیت‌های بزرگ) ساختارهای تکتونیکی مثل خطواره‌ها، گسل‌ها و ... (بویژه مکان‌هایی که خطواره‌ها و گسل‌های عمیق همدیگر را قطع می‌کنند) نقش اساسی دارند. جایگیری توده‌های نفوذی به نوبه خود سبب فعال شدن گسل‌های قبلی و نیز پیدایش گسل‌های جدید می‌گردد. فرآیندهای پست ماگمایی توده‌های نفوذی در تشکیل دایک‌های ریوداسیتی، ریولیتی، آندزیتی، دیابازی و نیز سیالات ماگمایی و گرمایی مهم می‌باشد. وجود دایک‌های ریوداسیتی و رگه‌های سیلیسی مس‌دار را می‌توان به فعالیت‌های پست ماگمایی توده‌های نفوذی نسبت داد. (شکل ۷-۲-ب).

مرحله ۳: سیالات گرمایی با منشأ ماگمایی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها شروع به حرکت کرده و با آب‌های جوی مخلوط شده‌اند. چرخش این سیالات باعث توسعه دگرسانی‌ها و شسته‌شدن مس از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آن‌ها در امتداد شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزها) فضاهای خالی برش‌ها و فضاهای خالی ناشی از انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون سنگ‌های نفوذی دیوریت، گابرو و سنگ‌های آتشفشانی شده است (شکل ۷-۲-ج). بر روی سن توده‌ها در منطقه مطالعه‌ی دقیقی انجام نشده ولی به نظر می‌رسد سن توده‌ها و سن کانه‌زایی در منطقه بسیار نزدیک به هم می‌باشد و احتمالاً دارای سن میوسن می‌باشند.

مرحله ۴: در این مرحله هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سبب فرسایش سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی و نفوذی شده و در نهایت ریخت‌شناسی کنونی حاصل اثرات متقابل اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر با سنگ‌های منطقه می‌باشد و به طوریکه سنگ‌هایی که کیلومترها در عمق زمین بودند امروزه پس از گذشت میلیون‌ها سال در سطح کنونی ظاهر شده‌اند. در منطقه زرنديه آثار زیادی از کانی‌سازی سولفیدی مس در سطح مشاهده نمی‌گردد و علائم کانی‌سازی به صورت رگه‌های سیلیسی و سیلیسی-

اکسید آهنی آغشته به مالاکیت، به مقدار خیلی کمی پیریت و کالکوپیریت می‌باشد ولی در مغزه‌های حفاری کانی‌سازی سولفیدی نمود بهتری دارد (شکل ۷-۲-د).



شکل ۷-۲- نمای شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی در منطقه‌ی زرن‌دیه. الف: تشکیل توالی آتشفشانی ائوسن. همچنین کانه‌زایی اولیه مس به صورت دانه‌پراکنده و رگچه‌ای در این مرحله رخ داده است. ب: قطع شدن واحدهای آتشفشانی ائوسن توسط توده‌های نفوذی و تشکیل گسل و شکستگی‌ها. ج: نفوذ توده‌ها سبب ایجاد سیالات ماگمایی و دایک‌های ریوداسیتی شده‌اند. دایک‌ها به درون واحدهای نفوذی تزریق شده‌اند. اختلاط و چرخش سیالات ماگمایی و جوی و دیگر فرآیندها سبب تشکیل رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون سنگ‌های نفوذی شده است. د: بالآمدگی ناحیه و توسعه فرآیندهای هوازدگی و فرسایش.

۷-۶- پیشنهادها

- با توجه به نتایج بدست آمده از تحقیق حاضر، برای تکمیل اطلاعات و شناخت کامل تر منطقه بررسی - های اکتشافی و تحقیقاتی زیر پیشنهاد می گردد:
- ۱- تهیه نقشه زمین شناسی - معدنی ۱/۱۰۰۰ از محدوده کانسار.
 - ۲- با توجه به ماهیت رگه ای کانی سازی و نقش شکستگی ها (گسل ها و درزها) در شکل گیری کانسار، تهیه نقشه شکستگی ها، برداشت مشخصات تکتونیکی گسل ها و درزها و تحلیل زمین ساختی آنها لازم است.
 - ۳- طراحی گمانه های اکتشافی با تعداد و عمق بیشتر به منظور ارزیابی عیار و ذخیره قطعی کانسار و درک بهتر شرایط تشکیل کانی سازی.
 - ۴- تهیه نقشه های زمین شناسی و ژئوشیمیایی زیرسطحی سه بعدی کانسار با استفاده از مطالعه ی سنگ شناسی و ژئوشیمیایی نمونه های گمانه های اکتشافی.
 - ۵- تجزیه شیمیایی میانبارهای سیال موجود در کوارتز بر روی نمونه های مغزه های حفاری به روش اسپکتروسکوپی رامان و یا روش های پیشرفته دیگر برای ارزیابی منشأ کانی سازی و پتانسیل شیمیایی سیال گرمابی در تشکیل یک کانسار بارور و یا نابارور.
 - ۶- انجام مطالعات ایزوتوپی گوگرد بر روی جفت های پیریت و کالکوپیریت بر روی نمونه های مغزه های حفاری برای تعیین منشأ عناصر و شرایط تشکیل کانسار.
 - ۷- با توجه به وجود ابهامات در سن سنگ های نفوذی منطقه، مطالعات سن سنجی ایزوتوپی با استفاده از روش های $U-Pb$ ، $K-Ar$ ، $Ar-Ar$ و ... نیز مفید به نظر می رسد.

منابع فارسی:

امام جمعه ا، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی (شمال غرب ترود، استان سمنان)"، دانشکده زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس.

جاویدی‌مقدم م، کریم‌پور م، ح، شفارودی آ و حیدریان‌شهری م. ر، (۱۳۹۳) "زمین‌شناسی، دگرسانی کانی سازی و ژئوشیمی گستره پی‌جویی شکسته‌سبز، شمال غرب بیرجند"، **مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**، سال بیست و دوم، شماره ۳، ص ۱۴.

حاج علیو ب، (۱۳۸۷) "ژئوترمومتری میانبارهای سیال"، انتشارات پیام نور، ص ۳۰۶.

حسینخانی ا، عبادی ل و علوی ا، (۱۳۹۰) "کانسار رگه‌ای اپی‌ترمال چند فلزی چاه‌مسی، شمال شرق شهربابک: ماهیت سیال‌های کانه‌زا و ارتباط بین الگوهای شکستگی با جایگیری رگه‌های کانه‌دار". **فصلنامه زمین‌شناسی ایران**، سال پنجم، شماره ۲۰، ص ۱۵-۳.

حق‌پرست م، برزگر ح و کاظمی‌نیا ا، (۱۳۹۳) "زمین‌شناسی، پتروگرافی و کانه‌زایی محدوده‌ی معدنی مس کوشک بهرام (زرنديه)، استان مرکزی"، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.

حق‌پرست م، برزگر ح و کاظمی‌نیا ا، (۱۳۹۳) "الگوی آماری نمونه‌های محدوده معدنی مس کوشک بهرام (زرنديه)، استان مرکزی"، سی و سومین گردهمایی ملی علوم زمین.

خواجه میری ز، شایسته فر م ر و معین زاده ح ا، (۱۳۹۲) "پردازش داده‌های ژئوشیمیایی و تعیین مناطق آنومال با استفاده از روش تجزیه عامل‌ها"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، سی و دومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین.

خویی ن، قربانی م و تاجبخش پ، (۱۳۸۷) "کانسارهای مس در ایران"، سازمان زمین‌شناسی کشور، تهران، ص ۴۲۱.

درویش زاده ع، (۱۳۷۰) "زمین‌شناسی ایران"، نشر دانش امروز (وابسته به مؤسسه انتشارات امیر کبیر).

دلاوری کوشان م، درویش‌زاده ع و مسعودی ف، (۱۳۸۴) "ویژگی‌های ایگنمبریت‌های ترشیری منطقه زرنند (شمال شرق ساوه)"، نهمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران.

سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران، (۱۳۸۸) "نقشه زمین‌شناسی زاویه"، مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۱۶۰.

سعیدی ع. و غلامی ن، (۱۳۹۰) "گزارش اکتشافات ژئوشیمیایی-کانی سنگین در ورقه ۱/۱۰۰۰۰۰ زاویه"، سازمان زمین‌شناسی کشور، ص ۷۹.

سعیدی ع، (۱۳۹۳)، پایان نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی توده‌های نفوذی منطقه علی آباد موسوی- خان چای (منطقه طارم، استان زنجان) با نگرشی بر کانی‌سازی مس"، دانشکده زمین-شناسی، دانشگاه زنجان.

شرکت مهندسی و بازرگانی پارس گستران عقیق، (۱۳۹۲) "اکتشافات معدنی در مقیاس‌های ۱/۲۰۰۰۰ و ۱/۵۰۰۰ در محدوده اکتشافی مس زرننده".

شکاری فرد ع، پور بناب ر، سید امامی ک، (۱۳۸۴) "کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانیهای ثانوی مس در رگه‌های باریت-کالکوپیریت کانسار باریت اردکان"، **مجله بلورشناسی و کانی‌شناسی ایران**، شماره ۱۲، دوره ۲: ص ۱۴۳-۱۵۸.

شهاب پور ج، (۱۳۹۰) "**زمین‌شناسی اقتصادی**"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ویرایش اول، ص ۵۴۷.

قربانی م، (۱۳۸۱)، "دیباجه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. وزارت صنایع و معادن"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، پایگاه ملی داده‌های علوم زمین کشور، ص ۶۵۹.

علی صالحی ف و محمدی ر، (۱۳۹۳)، "مطالعات ژئوشیمیایی و کانه‌زایی در توده ماگمایی نارباغی (شمال شرق ساوه)"، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام نور.

کاظمی ح و عسگری ع. (۱۳۹۲)، "مطالعه سیالات درگیر و منشا آنها در کانسار مس خانکیشی (شهرستان زرننده - شمال شرق استان مرکزی)"، سی و دومین گردهمایی علوم زمین.

کریم پور م ح، (۱۳۶۸) "**زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی**"، انتشارات جاوید، ص ۴۰۴.

کریم پور م ح، (۱۳۸۶) "**زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی**"، انتشارات ارسلان، ص ۵۳۵.

کریم پور م ح، (۱۳۸۸) "ژئوشیمی پترولوژی سنگهای آذرین و کانسارهای ماگمایی"، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد، ص ۵۴۶.

مهرابی ب، طالع فاضل ا و قاسمی سیانی م، (۱۳۹۰) "مطالعات ژئوشیمیایی و فلزایی توده گرانیتوئیدی سرخ کوه (مجموعه آتشفشانی- نفوذی خاور ایران) و ارتباط آن با کانی سازی مس - طلا - آهن"، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال پنجم، شماره بیستم، ص ۲۹-۴۵.

مهرابی ب، قاسمی سیانی م و اقبال مهر ع، "مطالعات کانی شناسی و میکروترموتری کانسار پلی متال چشمه حافظ سمنان (جنوب شرق دامغان)"، شانزدهمین همایش انجمن بلورشناسی و کانی شناسی ایران.

مهرابی ب، قاسمی سیانی م و طالع فاضل ا، (۱۳۹۳) "بررسی سامانه کانهزایی فلزات پایه و گرانبها در محدوده های معدنی چشمه حافظ و چالو، کمان ماگمایی ترود- چاه شیرین"، مجله علوم زمین، سال بیست و چهارم، شماره ۹۳، ص ۱۱۸- ۱۰۵.

نوگل سادات ا. ا و هوشمند زاده ع، (۱۳۶۳) "نقشه و گزارش زمین شناسی ساوه"، مقیاس ۱/۲۵۰۰۰۰، شماره E5.

یعقوب پور ع م، (۱۳۶۶) "مبانی زمین شناسی اقتصادی"، مرکز نشر دانشگاهی، ص ۲۶۶.

References:

Alavi M. (1994) "Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: New data and interpretations" **Tectonophysics.**, 229, pp 211-238.

Aldanmaz E. Pearce J. A. Thirlwall M. F. and Mitchell J. G. (2000) "Petrogenetic evolution late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey" **Journal of Volcanology and Geothermal Research.**, 102, pp 67-95.

Barbarin B. (1991) "Enclaves of the Mesozoic calc-alkaline granitoids of the Sierra Nevada Batholith, California. Enclaves and Granite Petrology" In: Didier, J., Barbarin, B. (Eds.), Dev. Petrol., V.3, Elsevier, Amsterdam, pp135-153.

Barbarin B. (1995) "The enclave swarms in soma granitoids of the Sierra Nevada batholith, California: Indicators of magma interactions and evolution, Third Hutton Symp. On granites and related rocks, Maryland, USA, Abstr"., pp 13-14.

Barbarin B. (1999) "A reviw of the relationships between granitoid types, their origins and their geodynamic environments" **Lithos.**, 46, pp 605- 626.

Barker A.J., (1991), "An introduction to metamorphic textures and microstructures" Oxford University press, pp 209.

Barnes H. L. (1979) "Geochemistry of hydrothermal ore deposits" John Wiley & Sons.

Barton M.D. Jensen E.P. Ducea M. (2005) "Fluid sources for IOCG (Candelaria, Punta del Cobre) and porphyry Cu-style mineralization, Copiapó batholith, Chile: Geologic and Sr isotopic constraints" **Geol Soc Am Abst w Prog.**, 37, 7, pp 316.

Bastin E. S. (1959) "Interpretation of Ore Textures" **Geol. Soc. Am. Mem.**, 45, pp 101.

Beane R.E. (1983) "The Magmatic–Meteoric Transition" Geothermal Resources Council, Special Report 13, pp 245–253.

Bodnar R. (1983) "A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and P-V-T-X properties of inclusion fluid" **Econ. Geol.**, 78, pp 535-542.

Cabral A. R. and Beaudoin G. (2007) "Volcanic red-bed copper mineralization related to submarine basalt alteration, Mont Alexander, Quebec Appalachina".

Castillo P. R. Rigby S. J. Solidum R. U. (2007) "Origin of high field strength element enrichment in volcanic arcs: geochemical evidence from the Sulu Arc, Southern Philippines" **Lithos.**, 97, pp 271-288.

Chappell B. W. and White A. J. R. (1974) "Two contrasting granite types" **Pacific Geology.**, 8, pp 173-174.

Chappell B.W. White A.J.R. (1992) "I-type and S-type granites in the Lachlan Fold Belt Transactions of the Royal Society of Edinburgh" **Earth Sciences.**, 83, pp 1-26.

Chil-sup S. Se-jung Ch. Kevin L. Brain, J. (1985) "Copper-Bearing Hydrothermal Vein Deposits in the Gyeongsang Basin, Republic of Korea" **Economic Geology.**, 80, pp 43-56.

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

Corral I. Cardellach E. Corbella M. Canals A. Gomez-Gras D. Griera A. Cosca M. (2016) "Cerro Quema (Azuerro Peninsula, Panama): Geology, Alteration, Mineralization, and Geochronology of a Volcanic Dome-Hosted High-Sulfidation Au-Cu Deposit" **Economic Geology.**, 111, pp 287–310.

Cox K. G. and Clifford P. (1982) "Correlation coefficient patterns and their interpretation in three basaltic suites" **Contribution in Mineralogy and Petrology.**, 79, pp 268-278.

Dan Marshall, C.D. (Lyn) Anglin and Hamid Mumin, 2004., Ore minerals.

DePaolo D.J. Farmer G.L. (1984) "Isotopic data bearing on the origin of Mesozoic and Tertiary granitic rocks in the western United States" **Phil. Trans. R. Soc. London., A 310**, pp743–753.

Dong G. Morrison G.W. (1995) "Adularia in epithermal veins, Queensland; morphology, structural state and origin" **Mineralium Deposita., 30**, pp 11-19.

Dostal J. Church B.N. Reynolds P.H. Hopkinson L. (2001) "Eocene volcanism in the Buck Creek basin, Central British Columbia (Canada): Transition from arc to extensional volcanism. J. Volcano" **Geoth. Res., 107**, pp 149-17.

Edwards A B. (1947) "Textures of the Ore Minerals. Australian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, Australia"

Evans A. M. (1992) "Ore geology and industrial minerals" **Blackwell, Sci. Pub., pp. 389.**

Evans A. M. (1997) "An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impacts" **Black well Science., pp. 364.**

Ferkous K. Leblanc M. (1995) "Gold mineralization in the West Hoggar shear zone" **Algeria, Min. Dep., 30**, pp 211-224.

Giggenbach W. F. (1997) "The origin and evolution of fluids in magmatic-hydrothermal systems, in Barnes, H.L, Geochemistry of Hydrothermal Ore Deposits, 3rd ed., New York" **Wiley Interscience., pp 737-796.**

Gill J. B. (1981) "Orogenic andesites and plate tectonics. Springer -Verlag, Berlin".

Guilbert H. M. and Park. C. F. (1997) "The geology of ore deposits", **W. H. Freeman., pp. 983.**

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

Haas J. L. (1976) "Thermodynamic properties of the coexisting phases and thermodynamic properties of the NaCl component in boiling NaCl solutions" **U.S. Geol. Survey Bull., 1421-B**, pp 71.

Hawkesworth C. J. Hergt J. M. Ellam R. M. McDermott F. (1991) "Element fluxes associated with subduction related magmatism" **Philosophical Transactions of the Royal Society of London., 335**, pp 393-405.

Hofmann A. W. Jochum K. P. Seufert M. White W. M. (1986) "Nb and Pb in oceanic basalts: new constraints on mantle evolution" **Earth and Planetary Science Letters., 79**, pp 33–45.

Hofmann A.W. (1988) "Chemical differentiation of the earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust. Earth Planet" **Sci. Lett.**, **90**, pp 297– 314.

Hongbing J.I. Chaoyang. L.I. (1996) "Geochemistry of the Jinman Vein-Type Copper" pp. **13**.

Hongyan G. Min S. Chao Y., Xiao W. Zhao G. Zhang L. Wong K. Fuyuan Wu. (2009) "geochemical, Sr-Nd and Zircon U-Pb-Hf isotopic studies of Late".

Ineson P.R. (1989) "Introduction to Practical Ore Microscopy" **Longman Scientific and Technical**, pp. **181**.

Jahangiri A. (2007) " Post-collisional Miosen adakitic volcanism in. NW Iran: Geochemical and geodynamic implication" **J Asian. Earth Sci.**, **30**, pp 433-447.

Kamber B.S. Ewart A. Collerson K.D. Bruce M.C. McDonald G.D. (2002) "Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models" **Contributions to Mineralogy and Petrology.**, **144**, pp 38- 56.

Karimpour M. H. Zaw K. Atkinson W. W. (2001) "Fluid inclusion thermometry, stable isotope geochemistry and genesis of a specularite-rich Cu-Au-Ag deposit, QalehZari mine, Iran" **Geological Society of America Abstracts. Annual meeting November 5-8, Boston, US**.

Karimpour M. H. (2005) "Comparison of QalehZari Cu-Au-Ag deposit with other Iron Oxides Cu-Au (IOCG-Type) deposits & new classification, Iranian" **Journal of Crystallography and mineralogy.**, **13**, pp 165-184.

Karimpour M.H. Zaw k. Huston D.L. (2005) "S-C-O Isotopes, Fluid Inclusion Microthermometry, and the Genesis of Ore Bearing Fluids at Qaleh-Zari Fe-Oxide Cu-Au-Ag Mine, Iran" pp **153-168**.

Keppler H. (1996) "Constraints from partitioning experiments on the composition of subduction zone fluids" **Nature** **380.**, pp 237-240.

Kirkham R.V. (1996) "Volcanic redbed copper in geology of Canadian mineral deposit types O.Eskstrand, W.D.Sinclair and R.I.Thrope" **geological survey of Canada, Geology of Canada.**, **8**, pp 14-28.

Kouhestani H. Ghaderi M. Zaw K. Meffre S. Emami M.H. (2012) "Geological setting and timing of the Chah Zard breccia-hosted epithermal gold-silver deposit in the Tethyan belt of Iran" **Mineralium Deposita.**, **47**, pp 425 – 440.

Kuno H. (1968) "Differentiation of basalt magmas. In: Hess H. H. and Poldervaart A. (Eds.), Basalts: The Poldervaart treatise on rocks of basaltic composition" **Innerscience, New York.**, **2**, pp 623-688.

Kuster D. Harms U. (1988) "Post- collisional potassicgranitoids form the southern and northwestern parts of the Late Neoproterozoic East African Orogen" **a review. Lithous., 45**, pp 177- 195.

Lagast J. (2009) "Hydrothermal alteration mineralogy in geothermal fields with case examples from olkaria domes geothermal field, Kenya".

Lefebure D.V. Church B. N. (1996) "Volcanic Redbed Cu, in selected British Colombia Mineral Deposit Profiles".

Lehmmann W. P. Sisson V. B. (1996) "Geochemistry of boron and its implication for crustal and mantle processes. In: Anovitz, L.M. and Grew, E.S. (Eds.), Boron: Mineral petrolo. Geoche. In the earth's crust" **Mineral soci. American. Rev. In mineral, 33**, pp 645 –707.

Lentz D. R. (1994) "Exchange reactions in hydrothermally altered rocks: examples from biotite- bearing assemblages" **In Lentz, D.R., ed., Alteration and Alteration Processes Hvi hhhNotes., 11**, pp 69-99.

Liaghat S. Jami M. (1999) "The history of the ore microscopy applications" **Shiraz University Press, Shiraz**, pp 273.

Malekzadeh Shafaroudi A. Karimpour M.H. (2015) "Mineralogic, fluid inclusion, and sulfur isotope evidence for the genesis of Sechangi lead–zinc (–copper) deposit, Eastern Iran" **Journal of African Earth Sciences., 107**, pp 1-14.

McCuaig T. C. Kerrich R. (1998) "P-T-t-deformation-fluid characteristics of lode gold deposits: evidence from alteration systematics" **Ore Geol. Rev., 12**, pp 381-453.

McDonough W.F. Sun S.S. (1995) Composition of the Earth" **Chemical Geology., 120**, pp 223-253.

McMillan W.J. Panteleyev A. (1988) "Porphyry copper deposits, in Roberts, R.G., and Sheahan, P.A., eds., Ore deposit models" **Geoscience Canada, Reprint Series., 3**, pp 45-58.

Middlemost E. A. K. (1975) "The Basalt Clan" **Earth Science Reviews., 11**, pp 337-364.

Mikucki E. J. (1998) "Hydrothermal transport and depositional process in Archean lode gold systems" **a review. Ore Geol. Rev., 10**, pp 31-50.

Middlemost E.A. K. (1994) "Naming materials in the magma and igneous rock system" **Science Reviews., 37**, pp 215-224.

Mohajjel M. (1997) "Structure and tectonic evolution of Paleozoic-Mesozoic rocks, Sanandaj-Sirjan zone. Western Iran" **PhD thesis, Uni. of Wollongong, Australia.**

- Mortensen J.K. Tafti R. (2002) "Nature and origin of copper-gold mineralization at the Minto and Williams Creek deposits, west-central Yukon" **Preliminary investigations, Yukon exploration and geology.**
- Nagudi N. Koberl Ch. Kurat G. (2003) "Petrography and geochemistry of the Singo granite, Uganda .and implications for its origin" **Journal of African Earth Sciences., 36,** pp 1-14.
- Pearce A. Harris N.B. Tindle A. G. (1984) "Trace elements discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rock" **J. Petrol., 25,** pp 956-983.
- Pearce J.A. Cann J.R. (1973) "Tectonic setting of basic volcanic rocks determined using trace element analyses" **Earth Planet. Sci. Lett., 19, N. 2,** pp 290–300.
- Pearce J.A. (1982) "Trace element characteristics of lavas from destructive plate margins. In: R.S.Thorpe (Eds.), Andesites: Orogenic Andesites and Related Rocks" **Wiley, New York.,** pp 525-548.
- Pearce J.A. (1983) "The role of sub-continental lithosphere in magma genesis at destructive plate margins. In: Hawkesworth. C.J., Norry, M.J. (Eds.), Continental basalts and mantle xenoliths" **Shiva, Nantwhich.,** pp 230-249.
- Pearec J.A. Harris N.B.W. Tindle A.G. (1984) "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks" **Journal of petrology., 25,** pp 956- 983.
- Pirajno F. (1992) "Hydrothermal mineral deposits" **Springer-Verlag Berlin Heidelberg.,** pp. 709.
- Pirajno F. (2009) "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist», Springer" pp. 706.
- Pirajno F. (2009) "Hydrothermal processes and mineral systems" **Springer, New York.,** pp. 1273.
- Pitcher W.S. (1983) "Granite type and tectonic environmemt" **In: Hsu, K. (Eds), Mountain Building Processes, Academic Press, London.,** pp 19-40.
- Pitcher W. S. (1993) "The nature and origin of granite" **Chapman and Hall, London.**
- Ramdohr P. (1969). "The OreMinerals and TheirIntergrowths" **Pergamon, New York.**
- Reed M.H. (1997) "Hydrothermal alteration and it's relationship to ore fluid composition, In Barnes H.L. (Ed.), Geochemistry of hydrothermal ore deposits" **John Wiley & Sons.,** pp 303-368.
- Reimann C. Filzmoser P. (2000) "Normal and lognormal data distribution in geochemistry: dead of a myth. Consequences of geochemical and environmental data" **Environ. Geol., 39,** pp 1001–1014.

Richards J.P. Boyce A.J. (2001) "Geologic evolution of the Escondida area, northern Chile: A model for spatial and temporal localization of porphyry Cu mineralization" **Economic Geology.**, **96**, pp 271-305.

Richards J.P. Wilkinson D. Ullrich T. (2006) "Geology of the Sari Gunay Epithermal Gold Deposit, Northwest Iran" **Economic Geology.**, **101**, **8**, pp 1455-1496.

Roedder E. (1984) "Fluid inclusions" **Reviews in Mineralogy, Mineral Society of America.**, pp 12, 644.

Rollinson H.R. (1993) "Using geochemical data, evaluation, presentation, interpretation" **Longman Scientific and Technical**, pp 352.

Saunders A. D. Storey M. Kent R. Norry M. J. (1992) "Consequences of plum–lithosphere interactions. In: Storey, B.C., Alabaster, T., Pankhurst, R. J. (Eds.), *Magmatism and the Causes of Continental Break-up*" **Geological Society of London Special Publication.**, **68**, pp 41–60.

Sawkins F J. (1972) "Sulfide ore deposits in relation to plate tectonics" **Journal of Geology.**, **80**, pp 377-397.

Sha L. K. Chappell B. W. (1999) "Apatite chemical composition, determined by electron microprobe and laser-ablation inductively coupled plasma mass spectrometry, as a probe into granite petro genesis", **Geochimica et Cosmochimica Acta.**, **63**, pp 3861– 3881.

Shand S.J. (1943) "Eruptive rocks. Their genesis, composition, classification and their relation to ore-deposits with a chapter on meteorite" **New York: John Wiley and Sons.**

Shand, S.J. (1951) "Eruptive Rocks" **New York. J.Wiley.**

Shang C.K. Satir M. Sieble W. Nsifa E.N. Taubald H. Liegeoise J.P. Tchoua F.M. (2004) "Geochemistry, Rb-Sr and Sm-Nd systematic: Case of the Sangmelima region, Ntem Complex, southern Cameroon" **J. African. Earth Sci.**, **40**, 1-2, pp 61- 79.

Shelley D. (1993) "Igneous and metamorphic rocks under the microscope" **Chapman and Hall, London.**, pp 445.

Shepherd T Rankin, A.H. Alderton D.H.M. (1985) "A Practical Guide to Fluid Inclusion Studies" **Blackie, USA Chapman & Hall New York.**, pp. 239.

Siddiqui R.H. Asif Khan M. Qasim Jan M. (2007) "Geochemistry and petrogenesis of the Miocene alkaline and sub-alkaline volcanic rocks from the Chagai arc, Baluchistan, Pakistan: Implications for porphyry Cu-Mo-Au deposits" **Himalayan Earth Sciences.**, **40**, pp 1-23.

Sillitoe R. H. (1993) "Gold deposits in western Pacific island arcs: The magmatic connection" **Economic Geology Monograph.**, **6**, pp 274-291.

Sillitoe R.H. (1997) "Characteristics and controls of the largest porphyry copper–gold and epithermal gold deposits in the circum-Pacific region" **Australian Journal of Earth Sciences.**, **44**, pp 373–388.

Slovenec D. Lugović B. (2012) "Evidence of the spreading culmination in the Eastern Tethyan Repno oceanic domain, assessed by the petrology and geochemistry of N-MORB extrusive rocks from the Mt. Medvednica ophiolite mélangé (NW Croatia)" **Geologia Croatica.**, **65**, pp 435-446.

Sourirajan S. and Kennedy G. C. (1962) "The system H₂O-NaCl at elevated temperatures and pressures" **Am. Jour. Sci.**, **260**, pp 115-141.

Stocklin J. (1968) "Structural history and tectonic of Iran" **A Review. Amer. Assoc. Petrol. Geol. Bull.**, **52**, pp 1229-1258.

Tatsumi Y. Hamilton D. L. Nesbitt R. W. (1986) "Chemical Characteristics of fluid phase released from a subducted lithosphere and origin of arc magmas: evidence from high pressure experiments and natural rocks" **Journal of Volcanology and Geothermal Research.**, **29**, pp 293-310.

Van Middelaaar W. T. Keith J. D. (1990) "Mica chemistry as an indicator of oxygen and halogen fugacities in the Can Tung and other W-related granitoids in the North American cordillera" **Ore bearing granite system.**, pp 205-220.

Vetrin V. R. Rodionov N.V. (2008) "Sm-Nd Systematics and petrology of postorogenic Granitoids in the Northern Baltic Shield" **Geochemistry International.**, **46. 11**, pp 1090-1106.

Walshe J. L. Hobbs B. E. (1999) "Hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration" **CSIRO Exploration and Mining Research Reviews.**, pp. 30-31.

Wang K.L. Chung S.L. (2004) "Geochemical constraints for the genesis of post-collisional magmatism and the geodynamic evolution of the northern Taiwan region" **Journal of Petrology.**, **45**, pp 975-1011.

Whitney D.L. Evans B.W. (2010) " Abbreviations for names of rock-forming minerals" **American Mineralogist**, **95**, pp 185-187.

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

Wilson M. (1989) "Igneous Petrology: A global tectonic approach" **Unwin Hyman Ltd.**, pp. 466.

Winchester, J. A. & Floyd, P. A., (1977) "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", **Chemical geology**, **20**, pp . 249-284.

Wu F. Jahn B. Wildec S. A. Lod C. H. Yuie T.F. Lina Q. Gea W. Suna D. (2003) "(Highly fractionated I-type granites in NE China) II: (isotopic geochemistry and implications for crustal growth in the Phanerozoic" **Lithos.**, **67**, pp **191-204**.

Yermakov N.P. (1965) "Research on the nature of mineral-forming solutions, with special reference to data from fluid inclusion (in Russian)" **Translated by V.P. Sokoloff, and edited by E. Roedder, Pergamon press.**, pp.734.

Zhou Y. Wang Z. (1999) "Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China" **a case study. J. Geoscience of China.**, **1**, pp **23-38**.

Abstract

The Zarandieh copper district is situated in Markazi province, northeast of Saveh, 8 km southeast of Mamuniyeh city. In terms of tectonic, this region is located in the middle part of Urmia-Dokhtar magmatic belt. The oldest rocks units are rhyolite, rhyodacite, andesite, trachy andesite and Eocene-oligocene pyroclastic rocks. The plutonic and hypabyssal bodies of diorite, monzodiorite and gabbro with the age after the Eocene (probably miocene) injected into the volcanics rocks. Copper mineralization in zarandieh area is mainly observed as vein and veinlet, breccia and open space-filling in intrusive and volcanic rocks (especially intrusive rocks). The alterations are included propylitic, argillic, sericite, silica, carbonate, iron oxide and albite. Paragenesis of mineralogy consists of pyrite, chalcopyrite (main ore), bornite, chalcocite, covellit, malachite, azurite, native copper, oligist, hematite, goethite and limonite. The most important textures of the region are disseminated, vein-veinlet, brecciation, and open space-filling and replacement. According to the geochemical studies, igneous rocks are of the calc-alkaline nature and metaluminous and classified as I-type granitoid series. In terms of tectonically, volcanic arc related to with subduction and collision areas. Correlation coefficients show that Cu has the highest correlation Respectively with Ag, As, Zn, Cd, Pb and somewath Mn and Fe. The correlation between Cu and Mo and Au is insignificant. Based on the study of the fluids inclusion, the homogenization temperature vary from 152.7° to 226.6 °C (average 195°C) and salinity 20.89 to 25.64 Wt % NaCl

(23%), that refers to mixing magmatic and meteorice waters (especially magmatic water) as the main volume of ore-forming fluids, which are located at low depth. Based on homogenization temperature and salinity amounts, copper mineralization occurred at a pressure of less than 50 bar and a depth of less than 500 meters. Geological, mineralogical, geochemical, and fluids inclusion microthermometry evidence of mineralization in Zarandiyeh copper introduce a type of hydrothermal vein granitoid-related.

Keywords: Mineralogy, geochemistry, fluid inclusion, diorite-gabbro intrusives, vein-type copper, Zarandieh.



Shahrood University Technology
Faculty of Geosciences
M.Sc Thesis in Earth Sciences

**Mineralogy, alteration, geochemistry and Formation pattern of
Zarandieh copper deposit, Northeast Saveh**

By: seyran yousefi

Supervisor:

Dr. Masoud alipourasl

September 2017