

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی

**کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس سطوه، جنوب دامغان**

نگارنده:

**نسیم نوروزی**

استاد راهنما:

**دکتر فرج‌ا... فردوست**

استاد مشاور:

**دکتر مهدی رضایی کهخائی**

بهمن ۱۳۹۹

شماره: ۹۹.۱۳۲۵۸  
تاریخ: ۹۹، ۱۵، ۲۴

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

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

با نام و یاد خداوند متعال، ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد خانم نسیم نوروزی با شماره دانشجویی ۹۶۱۵۴۴۴ رشته زمین شناسی گرایش اقتصادی تحت عنوان "کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس سطوه، جنوب دامغان" که در تاریخ ۱۳۹۹/۱۱/۲۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input checked="" type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۲۰-۱۹	<input type="checkbox"/> ب) درجه خیلی خوب: نمره ۱۸/۹۹-۱۸
<input type="checkbox"/> چ) درجه خوب: نمره ۱۷/۹۹-۱۶	<input type="checkbox"/> د) درجه متوسط: نمره ۱۵/۹۹-۱۴
<input type="checkbox"/> ه) کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد	
نوع تحقیق: <input type="checkbox"/> نظری <input type="checkbox"/> عملی	

عضو هیأت داوران	نام و نام خانوادگی	مرتبه علمی	امضاء
۱- استاد راهنما	دکتر فرج... فردوست	استادیار	
۲- استاد مشاور	دکتر مهدی رضایی کهخانی	استادیار	
۳- نماینده تحصیلات تکمیلی	دکتر مریم شبیبی	استادیار	
۴- استاد ممتحن اول	دکتر مسعود علی پور اصل	استادیار	
۵- استاد ممتحن دوم	دکتر محمود صادقیان	دانشیار	

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده: دکتر رمضان رضایی اومالی

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:



۹۹، ۱۵، ۲۴

تقدیم به

پدرم و مادرم

آموزگارانی که برایم زندگی و انسان بودن را معنا کردند

و

تقدیم به همه کسانی که لحظه‌ای بعد انسانی و وجدانی خود را فراموش نمی‌کنند و انسان را با همه تفاوت‌هایش ارج می‌نهند.

## تشکر و قدردانی

سپاس بی‌کران خداوند عظیم را که همواره در طول تمام مراحل زندگی و از جمله در انجام این تحقیق یار و یاور من بوده است. در به‌شمر رسیدن این تحقیق ناخیز، که امیدوارم مفید واقع شود و مورد رضایت حق تعالی باشد، خود را مدیون زحمات و مساعدت‌های عزیزان بسیاری می‌دانم که بی‌تردید، بدون بھکاری و پشتیبانی ایشان، امکان به‌شمر رسیدن مطلوب آن وجود نمی‌داشت، لذا بر خود لازم می‌دانم بدینوسید زحمتشان را ارج نهاده و از همه آنها صمیمانه قدردانی و تشکر نمایم.

استاد راهنمای عزیز و بزرگوارم، جناب آقای دکتر فرج‌الله فردوست، که دلسوزانه برای این تحقیق زحمت بسیاری کشیدند. راهنمایی‌های ارزنده ایشان در انجام این تحقیق بسیار راحلشا و تعیین‌کننده بوده و برای بنده علاوه بر جنبه علمی، از جهت روحی، اخلاقی و معنوی نیز پشتوانه بزرگی بودند.

استاد مشاور محترم، جناب آقای دکتر مهدی رضایی کنجانی، که با قبول زحمت مشاوره این تحقیق، از هرگونه کوششی فروگذار نکردند و لذا سپاس فراوان خود را پیشکش ایشان می‌نمایم.

از اساتید شایسته؛ جناب آقای دکتر صادقیان، دکتر علی پوراصل و دکتر موسیوند که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ‌گلی در این عرصه بر من دریغ ننمودند؛ کمال تشکر و قدردانی را دارم.

سپاس بی‌کران از پدر و مادر عزیزم، دستان پر مهرشان را می‌بوسم که اگر محبت‌های ایشان نبود، من نیز به‌پایان این راه نمی‌رسیدم.

سپاس بی‌دریغ از دوست عزیزم راضیه نصیری که مرا صمیمانه و مشتاقانه در این راه یاری داده است.

در پایان، از بھکاری و حمایت مالی شرکت راه و ساختمان مس بلند طبقه و مرکز مطالعات مواد معدنی زرآرما تشکر می‌نمایم.

## تعهدنامه

اینجانب نسیم نوروزی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی، گرایش اقتصادی از دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با عنوان **کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانسار مس سطوح، جنوب دامغان** تحت راهنمایی آقای دکتر فرج‌ا... فردوست متعهد می‌شوم:

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

تاریخ:

امضای دانشجو:

### مالکیت نتایج و حق نشر

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

## فهرست مقالات مستخرج شده از پایان نامه:

- نوروزی ن.، فردوست ف.ا. و رضایی کهخایی م، (۱۳۹۸) "کانی شناسی و کانه نگاری کانسار مس سطوه، جنوب دامغان" بیست و هفتمین همایش بلورشناسی و کانی شناسی ایران، دانشگاه بیرجند.

## چکیده:

محدوده اکتشافی مس سطوه در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شهرستان دامغان در استان سمنان، بخشی از مجموعه آتشفشانی-رسوبی نوار تروود-چاه شیرین است که در حاشیه شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی قرار دارد. بررسی‌های انجام شده در خصوص سنگ میزبان در محدوده مورد نظر وجود رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های آذرآواری (لیتیک کریستال-توف) به سن ائوسن به همراه توده‌های نفوذی نیمه عمیق (کوآرتز مونوزودپوریت، گرانودیوریت و گرانیت) به سن ائوسن-الیگوسن است. این سنگ‌ها با انواع دگرسانی‌های آرژیلیتی، سریسیتی، سیلیسی، کربناتی، کلریتی و اکسیدهای آهن در اطراف رگه‌ها و در بخش‌هایی از منطقه همراه هستند. به علاوه، دارای ماهیت کالک‌آلکان غنی از پتاسیم می‌باشند. کانه‌زایی در محدوده اکتشافی سطوه، به صورت رگه‌ای در طول صفحات گسلی در توده‌های نفوذی نیمه عمیق تشکیل شده که شکستگی‌های حاصل از عملکرد این گسل‌ها در سنگ‌های منطقه، محل مناسبی را برای نفوذ محلول‌های گرمابی ایجاد کرده‌اند. در حقیقت این گسل‌ها و شکستگی‌ها کنترل‌کننده اصلی کانی‌سازی محسوب می‌شوند. براساس مشاهدات صحرایی و مطالعات کانه‌نگاری، کانه‌زایی در دو مرحله درونزاد (هیپوزن) و برونزاد (سوپرژن و هوازدگی) صورت گرفته که کانه‌های پهنه درونزاد (هیپوزن) را عموماً پیریت و کالکوپیریت تشکیل می‌دهند. به علاوه، بخش اعظم کانه‌های فاز اصلی کانه‌زایی به دلیل قرار گرفتن در پهنه اکسیدان-سوپرژن از بین رفته و کانی‌های ثانویه مس نظیر کالکوسیت، دیژنیت، مالاکیت و آزوریت به جای آنها تشکیل شده‌اند. بافت ماده معدنی نیز به صورت دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، جانیشینی، پرکننده فضاهای خالی و کلوفرمی دیده می‌شود. بررسی داده‌های زمین‌شیمیایی سنگ‌های منطقه، غنی‌شدگی قابل ملاحظه‌ای نسبت به عناصر K، Th، U، Sr و Pb و تهی‌شدگی از عناصر Nb و Ti نشان می‌دهند. بر این اساس می‌توان منشاء ماگمای آنها را به گوه گوشته‌ای مرتبط با پهنه فرورانش نسبت داد. داده‌های میانبارهای سیال نیز، دمای بین ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و شوری بین ۲/۰۲ تا ۶/۷۱ درصد وزنی معادل NaCl را نشان می‌دهند. قابل ذکر است که سیالات درگیر مطالعه شده از نوع دو فازی غنی از مایع (L+V) هستند. ترکیب داده‌های دمای همگن شدن، شوری سیال و مطالعات کانی‌شناسی بیانگر این مطلب است که مکانیسم اصلی ته‌نشینی کانه‌ها، مخلوط شدن دو سیال جوی و ماگمایی می‌باشد. در مجموع با توجه به بررسی کلیه خصوصیات سنگ‌شناسی، کنترل ساختاری کانی‌سازی، نوع دگرسانی و گسترش آن، کانی‌شناسی ساده، مطالعات زمین‌شیمیایی، سیالات درگیر و همچنین مقایسه آنها با کانسارهای مشابه اپی ترمال می‌توان محدوده اکتشافی مس سطوه را در دسته کانسارهای مس تیپ رگه‌ای گرمابی در نظر گرفت.

**کلید واژه‌ها:** کانی‌شناسی، زمین‌شیمی، مس، رگه‌ای گرمابی، ائوسن-الیگوسن، سطوه، تروود-چاه شیرین.

## فهرست مطالب

عنوان	صفحه
<b>فصل اول: کلیات</b>	
۱-۱- مقدمه.....	۲
۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه.....	۲
۳-۱- شرایط آب‌وهوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی.....	۳
۴-۱- زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی).....	۴
۵-۱- وضعیت اجتماعی و امکانات مورد نیاز.....	۶
۶-۱- مطالعات انجام شده قبلی در منطقه.....	۷
۷-۱- اهداف و طرح مسئله.....	۸
۸-۱- روش مطالعه.....	۹
<b>فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه مورد مطالعه</b>	
۱-۲- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- ویژگی‌های عمومی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی.....	۱۲
۳-۲- نوار ترود-چاه‌شیرین.....	۱۳
۱-۳-۲- زمین‌شناسی.....	۱۳
۲-۳-۲- ماگماتیسم.....	۱۶
۳-۳-۲- دگرگونی.....	۱۶
۴-۲- ویژگی‌های زمین‌ساختی نوار ترود-چاه‌شیرین.....	۱۷
۵-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه.....	۱۸
۱-۵-۲- سنوزوئیک.....	۱۹
۱-۱-۵-۲- مجموعه سنگی $E^{t,v}$ .....	۲۰
۲-۱-۵-۲- توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق اسیدی (واحد qd).....	۲۱
۳-۱-۵-۲- واحد da.....	۲۲
۴-۱-۵-۲- دایک‌ها.....	۲۲

۲۳	..... E <sup>al</sup> واحد ۵-۱-۵-۲
۲۳	..... نهشته‌های کواترنری ۶-۱-۵-۲
۲۴	..... ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه ۶-۲
۲۵	..... زمین‌شناسی اقتصادی و توان معدنی نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه‌شیرین ۷-۲
۲۶	..... ۱-۷-۲-کانی‌سازی عناصر فلزی ۱-۷-۲
۲۷	..... ۲-۷-۲-کانی‌سازی عناصر غیرفلزی ۲-۷-۲

### فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

۳۰	..... ۱-۳-مقدمه ۱-۳
۳۰	..... ۲-۳-چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده اکتشافی مورد مطالعه ۲-۳
۳۴	..... ۳-۳-تکتونیک محدوده مورد مطالعه ۳-۳

### فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

۳۸	..... ۱-۴-مقدمه ۱-۴
۳۸	..... ۲-۴-کانه‌زایی در توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ائوسن-الیگوسن ۲-۴
۳۹	..... ۳-۴-ویژگی‌های کانه‌زایی مس در محدوده اکتشافی سطوه ۳-۴
۴۰	..... ۱-۳-۴-کانه‌زایی رگه‌ای ۱-۳-۴
۴۱	..... ۲-۳-۴-کانه‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاها خالی ۲-۳-۴
۴۲	..... ۳-۴--کانه‌زایی دانه‌پراکنده ۳-۴
۴۳	..... ۴-۴-دگرسانی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه ۴-۴
۴۳	..... ۱-۴-۴-دگرسانی کربناتی ۱-۴-۴
۴۴	..... ۲-۴-۴-دگرسانی سیلیسی ۲-۴-۴
۴۵	..... ۳-۴-۴-دگرسانی کلریتی ۳-۴-۴
۴۶	..... ۴-۴-۴-دگرسانی سربسیتی ۴-۴-۴
۴۶	..... ۵-۴-۴-دگرسانی آرژیلیتی حدواسط ۵-۴-۴
۴۸	..... ۶-۴-۴-آغشتگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) ۶-۴-۴
۴۹	..... ۵-۴-۵-اهمیت و کاربرد مطالعات پهنه‌های دگرسانی ۵-۴-۵

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

۵۲	۱-۵-مقدمه .....
۵۲	۲-۵-کانی‌شناسی .....
۵۲	۱-۲-۵-کانی‌های سولفیدی .....
۵۶	۲-۲-۵-کانی‌های کربناته مس .....
۵۶	۳-۲-۵-کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی .....
۵۸	۴-۲-۵-کانی‌های باطله .....
۵۹	۳-۵-ساخت و بافت کانی‌ها .....
۶۰	۱-۳-۵-ساخت .....
۶۱	۲-۳-۵-بافت .....
۶۲	۴-۵-توالی پاراژنتیک کانی‌ها .....

## فصل ششم: مطالعات زمین‌شیمیایی

۶۶	۱-۶-مقدمه .....
۶۶	۲-۶-نمونه‌برداری و آنالیز نمونه‌ها .....
۶۷	۳-۶-ژئوشیمی سنگ میزبان .....
۶۷	۱-۳-۶-نامگذاری و طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه .....
۶۷	۲-۳-۶-تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه .....
۶۸	۳-۳-۶-جایگاه تکتونیکی سنگ‌های میزبان .....
۶۹	۴-۶-زمین‌شیمی عناصر کمیاب و کمیاب‌خاکی .....
۷۲	۵-۶-ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمی بین عناصر .....

## فصل هفتم: مطالعات سیالات درگیر

۷۶	۱-۷-مقدمه .....
۷۶	۲-۷-روش مطالعه .....
۷۷	۳-۷-طبقه‌بندی سیالات درگیر .....
۷۷	۱-۳-۷-رده‌بندی میانبارهای سیال برحسب زمان تشکیل .....

- ۷۸-۲-۳-۷- رده‌بندی میانبارهای سیال برحسب نسبت فازهای شرکت‌کننده.....
- ۷۸-۴-۷- پتروگرافی سیالات درگیر.....
- ۷۹-۵-۷- مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال.....
- ۸۰-۶-۷- تعیین شوری میانبارهای سیال.....
- ۸۱-۷-۷- تعیین چگالی و فشار بخار میانبارسیال.....
- ۸۲-۸-۷- تعیین عمق تشکیل سیالات با استفاده از میانبارهای سیال.....
- ۸۲-۹-۷- تعیین عوامل تنه‌نشست کانه‌ها و نوع لیگاندهای احتمالی برای حمل فلزات.....
- ۸۴-۱۰-۷- تعیین تیپ کانسار احتمالی.....

### فصل هشتم: تیپ کانه‌زایی، الگوی تشکیل، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

- ۸۶-۱-۸- مقدمه.....
- ۸۶-۲-۸- برخی از شواهد ژنتیکی مهم موجود در ارتباط با محدوده اکتشافی سطوه.....
- ۸۶-۱-۲-۸- جایگاه زمین‌شناسی و محیط تکتونیکی.....
- ۸۷-۲-۲-۸- سنگ میزبان و سنگ‌های همراه.....
- ۸۷-۳-۲-۸- شواهد کانی‌شناسی.....
- ۸۷-۴-۲-۸- شواهد کانه‌زایی و دگرسانی.....
- ۸۸-۵-۲-۸- شواهد زمین‌شیمیایی.....
- ۸۸-۶-۲-۸- شواهد حاصل از مطالعات سیالات درگیر.....
- ۸۹-۳-۸- مقایسه ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص جهان و ایران.....
- ۸۹-۱-۳-۸- مقایسه ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص جهان.....
- ۹۲-۱-۱-۳-۸- مقایسه ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای گرمایی رگه‌ای (اپی‌ترمال).....
- ۹۶-۲-۳-۸- مقایسه ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص اپی‌ترمال ایران در نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه‌شیرین.....
- ۹۹-۴-۸- عوامل مؤثر در تشکیل محدوده اکتشافی مس سطوه.....
- ۱۰۱-۵-۸- پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی.....

### منابع و مأخذ

### پیوست

## فهرست اشکال

صفحه

عنوان

### فصل اول: کلیات

- شکل ۱-۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده اکتشافی مس سطوه ..... ۳
- شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه ..... ۴
- شکل ۱-۳- تصویری صحرایی از زمین‌ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه ..... ۵
- شکل ۱-۴- تصویری از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصاویر ماهواره‌ای ..... ۵
- شکل ۱-۵- بخشی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود ..... ۶

### فصل دوم: زمین‌شناسی ناحیه‌ای و منطقه مورد مطالعه

- شکل ۲-۱- نقشه‌ی پهنه‌بندی ساختاری-رسوبی ایران ..... ۱۳
- شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های شمال منطقه ترود-معلمان ..... ۱۸
- شکل ۲-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه ..... ۱۹
- شکل ۲-۴- نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه ..... ۲۵

### فصل سوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

- شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس محدوده اکتشافی سطوه ..... ۳۱
- شکل ۳-۲- الف) نمایی از رخنمون واحد آذرآواری (توف) ..... ۳۲
- شکل ۳-۳- الف) تصویر نمونه‌دستی از سنگ‌های کوارتز مونوزودیوریت ..... ۳۳
- شکل ۳-۴- الف) تصویر نمونه‌دستی از سنگ‌های گرانیت ..... ۳۴
- شکل ۳-۵- نقشه تکتونیکی محدوده اکتشافی ..... ۳۵

### فصل چهارم: کانه‌زایی و دگرسانی

- شکل ۴-۱- نیم‌رخ عرضی محدوده اکتشافی و موقعیت کانه‌زایی رخ داده ..... ۳۹
- شکل ۴-۲- تصویری صحرایی از زون گسلی امتدادلغز به‌صورت قائم و کانه‌زایی رگه‌ای مس ..... ۴۰
- شکل ۴-۳- الف) و ب) تصویری صحرایی کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها ..... ۴۱

- شکل ۴-۴- الف) تصویر صحرایی کانه‌زایی به‌صورت پرکننده فضاهای خالی و پرکننده شکستگی‌ها در سنگ‌های کوارتز مونوزودیوریت ..... ۴۲
- شکل ۴-۵- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلسیتی به‌صورت رگه‌ای ..... ۴۴
- شکل ۴-۶- الف) تصویر نمونه‌دستی از رگه-رگچه‌های کوارتز ..... ۴۵
- شکل ۴-۷- الف) تصویر نمونه‌دستی از دگرسانی کلریتی ..... ۴۵
- شکل ۴-۸- الف) تصویر صحرایی دگرسانی سریسیتی و آرژیلیتی ..... ۴۶
- شکل ۴-۹- تصویر صحرایی از رخنمون دگرسانی آرژیلیتی حدواسط به‌همراه دگرسانی سریسیتی و اکسیدهای آهن ..... ۴۷
- شکل ۴-۱۰- داده‌های حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) که کوارتز، کلریت، آلبیت، موسکویت و ایلیت به‌همراه کانی اورتوکلاز در آن مشخص شده است ..... ۴۸
- شکل ۴-۱۱- الف) حضور اکسیدهای آهن در امتداد شکستگی‌ها و غسل‌های مجاور رگه‌های کانه‌دار ..... ۴۹
- شکل ۴-۱۲- تصویر صحرایی از پهنه‌بندی دگرسانی‌ها در مجاور رگه کانه‌دار ..... ۵۰

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

- شکل ۵-۱- الف) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت به‌صورت رگه‌ای ..... ۵۳
- شکل ۵-۲- الف) تصویر میکروسکوپی پیریت به‌صورت رگه‌ای ..... ۵۴
- شکل ۵-۳- الف) تصویر نمونه‌دستی از کانه کالکوسیت ..... ۵۵
- شکل ۵-۴- جانیشینی کالکوپیریت به‌وسیله دیزنیت و گوتیت ..... ۵۵
- شکل ۵-۵- الف) تصویر میکروسکوپی مالاکیت به‌صورت شکافه‌پرکن ..... ۵۶
- شکل ۵-۶- الف) پدیده مارتیتی شدن و تبدیل مگنتیت به هماتیت ..... ۵۸
- شکل ۵-۷- داده‌های حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) که کوارتز و کلسیت به‌همراه کانی‌های آلبیت، اورتوکلاز، ایلیت و کلریت در آن مشخص شده است ..... ۵۹
- شکل ۵-۸- الف) کانی‌سازی مالاکیت در امتداد غسل ..... ۶۱
- شکل ۵-۹- الف) تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی مالاکیت با بافت رگه-رگچه‌ای ..... ۶۲

#### فصل ششم: مطالعات زمین‌شیمیایی

- شکل ۶-۱- نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های ساب‌ولکانیک منطقه در نمودارهای نسبت  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  ..... ۶۷

شکل ۶-۲- الف) نمودار مثلثی تعیین سری ماگمایی AFM، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکان قرار گرفته‌اند..... ۶۸  
شکل ۶-۳- نمودارهای (Pearce et al., 1984) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده گرانیثوئیدهای قوس  
آتشفشانی (VAG)..... ۶۹

شکل ۶-۴- الف) نمودار عنکبوتی غلظت عناصر کمیاب به‌هنگار شده نسبت به ترکیب شخانه‌های کندریتی..... ۷۲

### فصل هفتم: مطالعات سیالات درگیر

شکل ۷-۱- تصویر نمونه‌دستی از نمونه کلسیت جهت مطالعات سیالات درگیر..... ۷۶

شکل ۷-۲- تصویر سیالات درگیر دو فاز (L+V) غنی از مایع..... ۷۹

شکل ۷-۳- الف) نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن میانبارهای سیال در محدوده مورد مطالعه..... ۸۱

شکل ۷-۴- الف) نمودار دما-شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های NaCl+H<sub>2</sub>O اشباع از بخار..... ۸۱

شکل ۷-۵- تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در محدوده مورد مطالعه..... ۸۲

شکل ۷-۶- الف) نمودار دمای همگن شدن-شوری جهت تعیین عوامل مؤثر در تکامل سیال و ته‌نشست موادمعدنی

..... ۸۳

شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شدن در برابر درجه شوری میانبارهای سیال و تعیین تیپ احتمالی..... ۸۴

### فصل هشتم: تیپ‌کانه‌زایی، الگوی تشکیل، نتیجه‌گیری و پیشنهادات اکتشافی

شکل ۸-۱- نمایی شماتیک از الگوی تشکیل و نحوه کانه‌زایی صورت گرفته در محدوده اکتشافی مس سطوه..... ۱۰۱

## فهرست جداول

عنوان	صفحه
جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی .....	۱۰
جدول ۱-۵- توالی پارازنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در محدوده اکتشافی سطوه .....	۶۴
جدول ۱-۶- ضریب همبستگی بین بعضی از عناصر به روش پیرسون (Pearson) در نمونه‌های محدوده اکتشافی سطوه .....	۷۳
جدول ۱-۸- مقایسه برخی ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای گرمایی رگه‌ای، مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان.....	۹۱
جدول ۲-۸- برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال موجود در دنیا.....	۹۳
جدول ۳-۸- تیپ کانه‌زایی محدوده اکتشافی مس سطوه در مقایسه با برخی از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال در سایر نقاط جهان.....	۹۵
جدول ۴-۸- تیپ کانه‌زایی محدوده اکتشافی مس سطوه در مقایسه با برخی از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال ایران در نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین.....	۹۷

فصل اول

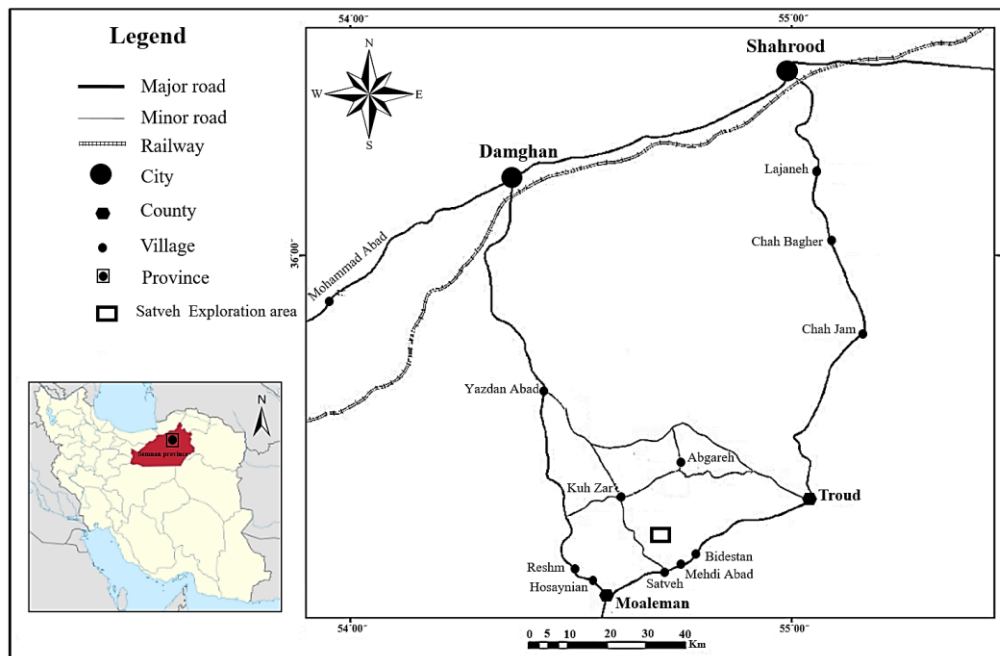
کلیات

## ۱-۱- مقدمه

محدوده اکتشافی مس سطوه بخشی از، رشته کوه آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین می باشد، که در شمال پهنه ایران مرکزی قرار گرفته است. وجود سنگ های آتشفشانی-رسوبی ائوسن و نیز وجود محیط تکتونیکی مناسب در این نوار آتشفشانی-رسوبی، شرایط زمین شناسی مناسبی را برای ایجاد فلزات پایه نظیر؛ مس، نقره، طلا، سرب، روی و سایر فلزات گرانبها به وجود آورده است. به علت وجود معادن، بالا بودن پتانسیل معدنی و همچنین وجود کانسارهای با ارزش فلزات پایه و گرانبها، مطالعات پترولوژی، زمین شناسی اقتصادی و تکتونیک وسیعی جهت پی جویی و اکتشاف عناصر مختلف در این رشته کوه انجام شده است. به دلیل این که یکی از ضروری ترین فلزات لازم برای جامعه بشری عنصر مس است، به همین علت پی جویی و اکتشاف آن از اهمیت بالایی برخوردار است، لذا در این تحقیق کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش محدوده اکتشافی مس سطوه مطالعه و بررسی می شود؛ چرا که اکتشاف و بهره برداری از معادن موجود علاوه بر ارزآوری و جلوگیری از خروج ارز از کشور، نقش بسیار مهمی در اشتغال زایی اهالی روستاهای مجاور دارد و می تواند از مهاجرت جوانان به شهرها جلوگیری نماید.

## ۱-۲- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به محدوده مورد مطالعه

محدوده اکتشافی مس سطوه در ۱۳۰ کیلومتری جنوب شهر دامغان در استان سمنان و بین طول های  $54^{\circ}40'$  و  $54^{\circ}41'$  شرقی و عرض های  $35^{\circ}22'$  و  $35^{\circ}24'$  شمالی واقع می باشد. نزدیک ترین آبادی ها به این ناحیه روستاهای سطوه، مهدی آباد و بیدستان می باشند. راه دسترسی به این ناحیه به صورت زیر مقدور می باشد: مسیر اول از جاده دامغان-معلمان است، به طوری که با عبور از جاده دامغان به معلمان رسیده و بعد از طی حدود ۳۰ کیلومتر جاده آسفالتی به سمت راست منشعب می گردد که به روستای سطوه می رسد. سپس وارد جاده خاکی روبروی روستا شده و با طی کردن ۱۴ کیلومتر به ابتدای محدوده می رسیم. مسیر دوم از شهر شاهرود و با عبور از جاده ترود میسر می باشد، به طوری که پس از طی حدود ۱۲۰ کیلومتر به ترود رسیده و پس از طی ۴۰ کیلومتر به روستای سطوه می رسیم (شکل ۱-۱).



شکل ۱-۱- نقشه موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به محدوده اکتشافی مس سطوه.

### ۱-۳- شرایط آب‌وهوایی، اقلیمی و پوشش گیاهی

منطقه مورد مطالعه، قسمت وسیعی از استان سمنان را شامل می‌شود که از نظر اقلیمی، به‌علت داشتن زمستان‌های سرد و تابستان‌های گرم و خشک، در گروه گرم و خشک بیابانی و نیمه بیابانی جای می‌گیرد. اختلاف درجه حرارت سالیانه در روزهای گرم تابستان به بالاتر از ۴۵ درجه سانتی‌گراد و در شب‌های سرد زمستان به زیر صفر می‌رسد (سالنامه هواشناسی، ۱۳۸۱). بیشینه بارندگی سالیانه در این منطقه به‌طور معمول از ۱۴۰ میلی‌متر فراتر نمی‌رود. این بارندگی‌ها معمولاً به‌شکل رگبارهای تند و پراکنده و نیز کوتاه‌مدت است، به‌صورتی که رودهای منطقه بیشتر فصل‌ها سیلابی هستند و بنابراین کم‌تر مورد بهره‌برداری مردم منطقه می‌باشند. میانگین رطوبت نسبی هوا بین ۳۰-۵۴ درصد در سال در تغییر است. پوشش گیاهی این ناحیه نیز بوته‌های خار پراکنده، گز و طاق می‌باشد (خرم‌تاش، ۱۳۹۷) (شکل ۱-۲).



شکل ۱-۲- تصویری از پوشش گیاهی منطقه (دید به سمت شمال غرب).

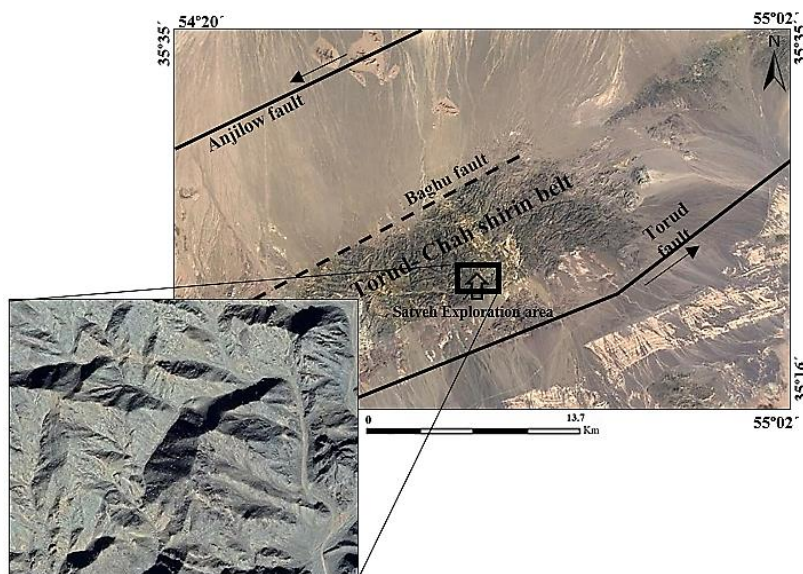
#### ۱-۴- زمین‌ریخت‌شناسی (ژئومورفولوژی)

دو گسل ترود (در جنوب) و انجیلو (در شمال) باعث به وجود آمدن یک نوار مرتفع (ترود-چاه شیرین)، با روند شمال شرقی-جنوب غربی در بین دو دشت شمالی (کویر حاج علی قلی) و جنوبی (کویر ترود-معلمان) شده است. واحدهای سنگی که ارتفاعات منطقه را تشکیل می‌دهند، شامل مجموعه گدازه (آندزیت، بازالت، آندزیت بازالت و تراکی آندزیت)، سنگ‌های آذرآواری (توف، کریستال توف، لیتیک توف و آگلومرا با ترکیب مشابه گدازه‌ها)، سنگ‌های رسوبی با ترکیب ماسه‌سنگ، شیل، مارن و کنگلومرا می‌باشند. غالباً دامنه‌های کم‌شیب و به سمت دشت متشکل از سنگ‌های رسوبی هستند. محدوده اکتشافی مس سطوح در دامنه جنوبی این نوار، قسمتی که کنگلومرا و توف گسترش بیشتری دارند قرار گرفته است، به طوری که بخشی از محدوده شامل دشت متشکل از مخروط‌های افکنه نیز می‌شود (شکل ۱-۳).

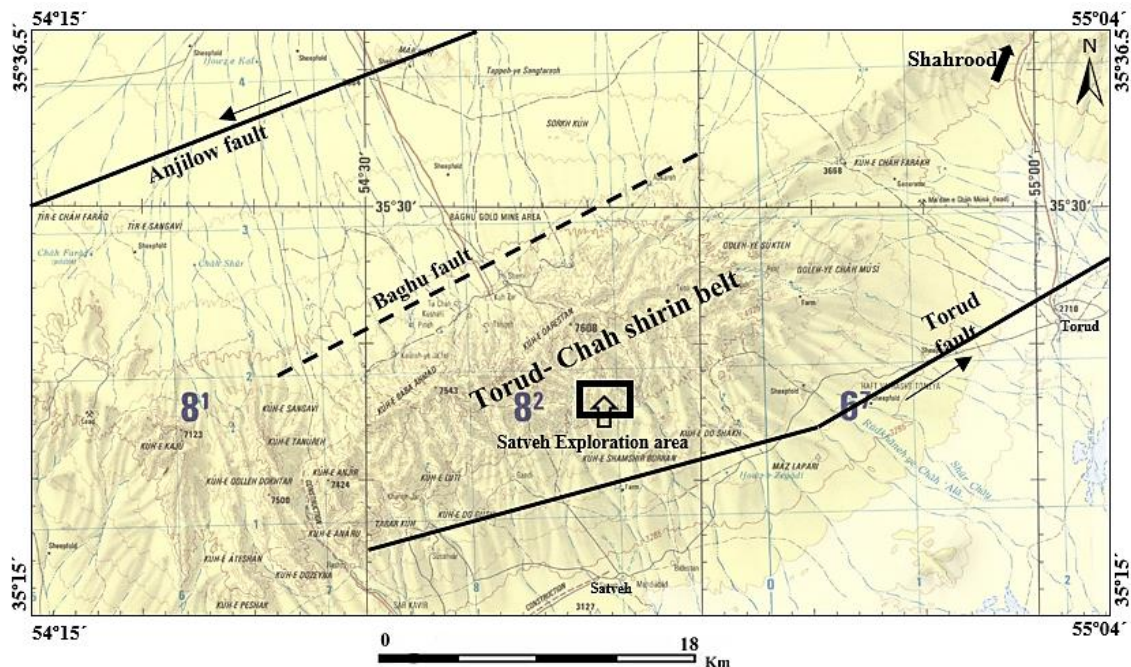


شکل ۱-۳- تصویر صحرایی از زمین ریخت‌شناسی منطقه مورد مطالعه (دید به سمت جنوب).

علاوه بر دو گسل اصلی ذکر شده، تعداد زیادی گسل‌های فرعی با روندهای شمال شرقی-جنوب غربی و نیز شمال غربی-جنوب شرقی در داخل این نوار آتشفشانی-رسوبی وجود دارند که سیستم‌های آبراهه‌ای و مسیل‌های اصلی را تحت کنترل قرار می‌دهند. سیستم آبراهه‌ها نیز به شکل شاخه‌درختی و موازی در محدوده مشاهده می‌شود که معمولاً از شمال غرب به جنوب شرق جریان داشته و باعث انتقال آب‌های سطحی حاصل از سیلاب به دشت تروند می‌شوند (شکل‌های ۱-۴ و ۱-۵).



شکل ۱-۴- تصویری از وضعیت توپوگرافی منطقه بر روی تصویر ماهواره‌ای (Google Earth) و موقعیت محدوده اکتشافی مس سطوه (□).



شکل ۱-۵- بخشی از نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود (سازمان جغرافیایی ارتش، ۱۳۳۵) و موقعیت محدوده اکتشافی مس سطوه (□).

### ۱-۵- وضعیت اجتماعی و امکانات مورد نیاز

در این ناحیه روستاهایی با تمرکز جمعیت کم وجود دارند، شامل؛ معلمان، حسینیان، سطوه، مهدی‌آباد، سینگ، مظفرآباد، حسین‌آباد، بیدستان، سوسن‌وار، باغو، شیمی، دهنو، سلم‌آباد، کوشاهی، علی‌خان، تنوره، جعفر، امروکلاته سیرعلی. چشمه‌ها و قنات‌ها معمولاً محل تأمین آب قابل شرب و کشاورزی اغلب روستاها می‌باشند، که برطبق وضعیت نزولات جوی میزان آبدهی آن‌ها تغییر می‌کند. معلمان از نظر امکانات مورد نیاز، دارای پمپ بنزین است و مابقی روستاها فاقد پمپ بنزین و خانه بهداشت هستند، بنابراین نزدیک‌ترین مرکز جهت تهیه اقلام مورد نیاز، روستاهای معلمان و ترود با فاصله ۴۰ کیلومتری می‌باشد. مردم در این روستا به پرورش شتر و به میزان کمتر گاو، گوسفند و ماکیان مشغول هستند که شغل اصلی آنها محسوب می‌شود. بیشتر زنان این روستا، خانه‌دار و به بافت قالی و قالیچه مشغول هستند. به‌علت کمبود آب و زمین‌های کشاورزی در این روستا، زراعت رونق زیادی ندارد و جمعیت روستا در حال کم شدن است.

## ۱-۶- مطالعات انجام شده قبلی در منطقه

مطالعات زمین‌شناسی و معدنی بسیاری بر روی نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین صورت گرفته است که به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

- اسدا... نژاد (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسارهای مس منطقه قله‌چیلی را مطالعه کرده، و کانی‌زایی‌های مس از نوع رگه‌ای گرمابی و نوع طبقات سرخ آتشفشانی (Volcanic Red Bed) را در این منطقه معرفی کرده است.

- اشراقی و جلالی (۱۳۸۵)، نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان را که مربوط به رشته‌کوه ولکانیکی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین می‌شود، تهیه کرده‌اند. در این نقشه واحدهای پالئوزوئیک تا کواترنری را می‌توان مشاهده کرد که میزبان انواع مختلف کانه‌زایی است.

- امام جمعه و همکاران (۱۳۸۵)، کانی‌سازی مس در منطقه چاه موسی را مطالعه کرده و تیپ کانی‌سازی را از نوع رگه‌ای گرمابی معرفی کردند.

- خادمی (۱۳۸۶)، در قالب رساله دکتری ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود را مورد بررسی قرار داده است.

- خرم‌تاش (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسار مس ساغری در جنوب شاهرود را مطالعه کرده و اظهار نمودند که کانه‌زایی در محدوده ساغری مربوط به سیالات گرمابی می‌باشد که سبب تشکیل کانه‌زایی رگه‌ای مس از نوع گرمابی رگه‌ای با سولفیداسیون پایین شده است.

- شمعانیان اصفهانی و همکاران (۲۰۰۴)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه گندی و ابوالحسنی را مطالعه کرد و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کردند.

- طالع ماسوله (۱۳۸۹)، در مطالعه خود تحت عنوان مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله شمال غرب ترود که خاستگاه این کانسار را محلول‌های گرمابی با درجه حرارت نه چندان زیاد فرض نموده که از سنگ‌های آتشفشانی نوع آندزیتی و تراکی آندزیتی منشاء گرفته است.

- عبداللّهی (۱۳۹۵)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسار مس و آهن رباعی را مطالعه کرده و این کانسار را یک کانسار گرمایی رگه‌ای معرفی نموده است.
- قربانی (۱۳۸۴)، ولکانیسم ائوسن در منطقه ترود، جنوب دامغان را مطالعه کرده و آنها را از نوع کالک آلکالن و آلکالن می‌داند.
- مهابادی (۱۳۹۷)، در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسار مس آبگاره در جنوب دامغان را مطالعه کرده و آن را به یک سامانه رگه‌ای در یک محیط اپی‌ترمال با سولفیداسیون پایین نسبت داده است.
- مهرابی و قاسمی‌سیانی (۲۰۱۲)، کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها در منطقه چشمه حافظ را مطالعه کردند و تیپ کانی‌سازی را اپی‌ترمال با درجه سولفیداسیون حدواسط معرفی کردند.
- ناهیدی فر (۱۳۹۳)، در پژوهشی تحت عنوان کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان در قالب پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد کانسار دیان را یک کانسار مس رگه‌ای معرفی نموده است.
- هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، ضمن تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ ترود، گزارشی را با عنوان تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود ارائه کرده‌اند. در این گزارش به‌طور کلی تمام ناحیه را از زمان پرکامبرین تا عهد حاضر، از نظر سنگ‌شناسی، چینه‌شناسی و ساختمانی مورد بررسی قرار داده‌اند.

## ۷-۱- اهداف و طرح مسئله

به دلیل نیاز روز افزون هر جامعه به مواد معدنی ضرورت دارد که پتانسیل‌های معدنی موجود در کشور و مخصوصاً در استان سمنان و شهرستان شاهرود مورد شناسایی و مطالعه دقیق قرار گیرد. یکی از مناطق بسیار با ارزش از نظر مواد معدنی، نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین است که در آن فعالیت‌های معدن‌کاری از زمان‌های قدیم به صورت شدادی انجام گرفته است. مواد معدنی مختلفی از جمله آهن، منگنز، مس، سرب، روی، طلا، باریت، سیلیس، فیروزه و ... در این نوار شناسایی و مورد بهره‌برداری قرار گرفته‌اند؛ اما ذخایر و کانسارهای مس به‌طور شاخص در این نوار پتانسیل بالایی نشان می‌دهد. از آنجایی که تاکنون مطالعه زمین‌شناسی اقتصادی بر روی محدوده اکتشافی مس سطوه صورت نگرفته است، لذا

در این تحقیق تلاش می‌شود خصوصیات پتروگرافی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی، دگرسانی و نحوه تشکیل آن مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

## ۸-۱- روش مطالعه

مراحل انجام تحقیق و مطالعات صورت گرفته در زیر شرح داده شده است:

### الف- جمع‌آوری اطلاعات

در این پایان‌نامه تلاش می‌شود تا رابطه بین کانه‌سازی، سنگ میزبان، ساخت و بافت ماده معدنی و پهنه‌های دگرسانی در محدوده اکتشافی به طریق جمع‌آوری اطلاعات شامل کتب، مقالات، نقشه‌ها و تصاویر ماهواره‌ای و نیز مطالعات کتابخانه‌ای در ارتباط با محدوده مورد مطالعه و موضوعات مشابه در ایران و سایر نقاط جهان انجام شود.

### ب- مطالعات صحرایی

پس از انجام مطالعات کتابخانه‌ای، مطالعات صحرایی در محدوده که شامل بررسی زمین‌شناسی منطقه، اصلاح نقشه‌های پیشین و یا تهیه نقشه‌های زمین‌شناسی بزرگ مقیاس تر (۱:۳۰۰۰) مورد نیاز و نمونه‌برداری از سنگ‌های محدوده جهت مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری و ژئوشیمیایی است، انجام گردید.

### ج- مطالعات آزمایشگاهی و دفتری

مطالعات آزمایشگاهی شامل مطالعات سنگ‌نگاری و کانه‌نگاری (۲۳ نمونه)، آماده‌سازی نمونه‌ها جهت آنالیزهای ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب (۲۵ نمونه)، به روش‌های ICP-MS<sup>۱</sup> و XRF<sup>۲</sup> و کانی‌شناسی به روش XRD<sup>۳</sup> (۱۴ نمونه) و همچنین انجام مطالعات سیالات درگیر بر روی کانی‌های مناسب (۱ نمونه) می‌باشد (جدول ۱-۱).

<sup>۱</sup> Inductively coupled plasma mass spectrometry

<sup>۲</sup> X-Ray Fluorescence

<sup>۳</sup> X-Ray Diffraction

جدول ۱-۱- مشخصات آزمایشات و آنالیزهای دستگاهی.

ردیف	روش کار یا نوع آنالیز	تعداد نمونه	هدف کار	محل انجام آنالیز
۱	تهیه مقاطع: الف) نازک	۱۱	الف) مطالعه پتروگرافی و دگرسانی‌ها در زیر میکروسکوپ با نور عبوری	شرکت زمین آذر شاهرار
	ب) صیقلی	۱۱	ب) مطالعه کانی‌های فلزی با نور انعکاسی	
	پ) نازک-صیقلی	۱	پ) مطالعه همزمان ماده معدنی با سنگ میزبان	دانشگاه دامغان
	ت) دو بر صیقلی	۱	ت) به جهت مطالعات سیال درگیر	
۲	XRD	۱۴	به جهت مشخص کردن کانی‌هایی که در زیر میکروسکوپ قابل تشخیص نمی‌باشند یا در میدان دید قرار نمی‌گیرند و نیز تعیین نوع دگرسانی‌ها	شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما
۳	XRF	۹	به جهت تعیین ترکیب شیمیایی سنگ-ها و نام‌گذاری آنها برطبق اکسیدهای اصلی و نیز تعیین سری ماگمایی	شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما
۴	ICP-MS	۱۶	به جهت تعیین دقیق عیار عناصر متفاوت و چگونگی تغییرات آن‌ها در کانسار و نیز نامگذاری سنگ‌های میزبان و تعیین محیط تکتونیکی آن‌ها برطبق عناصر نادر خاکی	شرکت مطالعات مواد معدنی زرآرما

مطالعات دفتری که شامل تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده از آنالیز نمونه‌های برداشت شده و تعبیر

و تفسیر داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS، SPSS، Excel، GCDKit، نتیجه-

گیری نهایی، تلفیق داده‌ها و ارائه پیشنهادات و در نهایت تدوین پایان‌نامه می‌باشد.

## فصل دوم

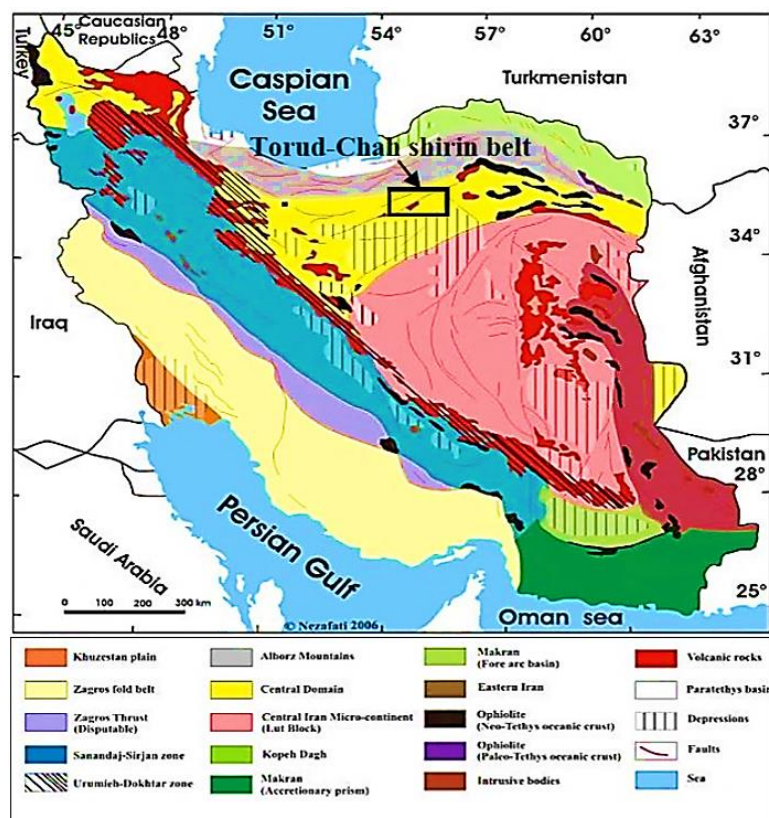
زمین شناسی ناحیه ای و منطقه مورد مطالعه

محدوده اکتشافی مس سطوه در حاشیه شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی قرار گرفته است. در این پهنه در دوران سنوزوئیک فعالیت‌های ماگمایی بسیاری اتفاق افتاده است که در نتیجه آن، نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی در منطقه ترود به‌وجود آمده است. فعالیت‌های ماگمایی در دوران اول و دوم در نوار ترود-چاه‌شیرین به‌علت رخداد‌های تکتونیکی کم‌کم شروع شده و در دوران سوم به اوج خود رسیده است که باعث به‌جای گذاشته شدن حجم بسیاری از سنگ‌های آذرین شده است. اغلب سنگ‌های تشکیل دهنده این نوار از نوع بازالت و آندزیت هستند که توسط سنگ‌های تراکیتی و ریولیتی پوشیده شده‌اند. از سویی توده‌های نفوذی متعددی به سن ائوسن پسین-الیگوسن باعث قطع این مجموعه سنگی شده‌اند که بیان می‌کند فاز زمین‌ساختی پیرینه بر روی این منطقه تأثیر داشته است (رشیدنژادعمران، ۱۳۷۱). در این فصل تلاش بر این است که ضمن شرح چینه‌شناسی، ماگماتیسم و تکتونیک نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین، ویژگی‌ها و خصوصیات بارز محدوده مورد مطالعه نیز به‌طور مختصر شرح داده شود.

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

پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی از واحدهای اصلی و عمده‌ای است که به شکل مثلث در مرکز ایران واقع شده و پیچیده‌ترین و بزرگترین واحد زمین‌شناسی ایران به شمار می‌رود. این پهنه از شرق به بلوک لوت، از شمال به رشته‌کوه‌های البرز و از غرب و جنوب‌غرب به پهنه سنندج-سیرجان محدود می‌شود و نه‌تنها یک واحد ساختاری مجزا به حساب می‌آید، بلکه از نظر تکتونیکی و متالوژنی حاوی تعدادی زیرمجموعه ساختاری است (شکل ۲-۱). در این واحد سنگ‌های با سن پرکامبرین پسین تا سنوزوئیک مشاهده می‌شود، که فازهای گوناگون کوهزایی، ماگماتیسم و دگرگونی در آن روی داده است (قربانی، ۱۳۸۶). پویایی ایران مرکزی در همه‌جا یکسان نیست و دارای بلوک‌های جدا شده از هم است که هر

کدام ویژگی‌های مختص به خود را دارند (آقائباتی، ۱۳۸۳). نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین در قسمت شمالی این پهنه قرار گرفته است.



شکل ۲-۱- نقشه پهنه‌بندی ساختاری-رسوبی ایران (آقائباتی، ۱۳۸۳) و موقعیت نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین بر روی آن.

### ۲-۳- نوار ترود-چاه‌شیرین

ناحیه ترود در شرق سمنان-جنوب دامغان و در قسمت شمالی پهنه ایران مرکزی واقع شده است که قدیمی‌ترین سنگ‌های این ناحیه متعلق به سنگ‌های دگرگونی پرکامبرین است (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).

### ۲-۳-۱- زمین‌شناسی

در ناحیه ترود سنگ‌های پرکامبرین تا عهد حاضر رخنمون دارند (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷)، که در زیر به‌طور مختصر شرح داده می‌شوند:

### - پرکامبرین

سنگ‌های ناحیه پرکامبرین مجموعه‌ای از گنیس، آمفیبولیت و شیست است که جای خود را به فیلیت و شیست می‌دهد. از لحاظ سنگ‌شناسی این مجموعه شباهتی به توالی‌های پالئوزوئیک پسین تا مزوزوئیک ندارد و درجه دگرگونی بالایی دارد.

### - پالئوزوئیک

سنگ‌های پالئوزوئیک پایینی تناوبی از طبقات دولومیت، شیل، ماسه‌سنگ همراه با آهک‌های توده‌ای و گدازه‌های آندزیتی است. طبق عقیده هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، در این ناحیه رسوبات کربونیفر دیده نمی‌شوند، اما رسوبات کربناتی و فسیل‌دار پرمین با ماهیت آواری که در محیط کم‌عمق نهشته شده‌اند، به صورت مستقیم بر روی سازند بهرام واقع می‌شوند.

### - ژوراسیک میانی - بالایی (دوگر)

به‌طور کلی دوگر متشکل از رسوبات آواری و خشکی‌زاد است که نشانگر خروج ناحیه از آب در اواخر ژوراسیک است. در ضمن دوگر در بخش پایین، از آهک‌های ماسه‌ای و کنگلومرایی شکل گرفته شده که با سازند بادامو قابل مقایسه است. قابل ذکر است که کامل‌ترین مقطع این سازند در شمال دهکده ویراب رخنمون دارد. تناوبی از شیل‌های آهکی ماسه‌ای در بخش بالای دوگر وجود دارد که معادل سازند بغمشاه در طبس می‌باشد.

### - کرتاسه

دریای کرتاسه بعد از جنبش‌های تکتونیکی شدید که در جنوب گسل انجیلو به یک دگرگونی پیشرفته می‌انجامد، پیشروی خود را با رسوب‌های آواری قرمز آغاز می‌کند و سپس با نشست کف آن و تغییر رژیم رسوب‌گذاری، تناوبی از آهک و شیل برجای می‌ماند. درنهایت با پسروی دوباره دریا، رسوبات آواری

قرمزرنگی به جا مانده که فرسایش‌های انجام گرفته در ترشیری، آثار آن را به جز در غرب معدن سرب خانجار، از بین برده است. از نظر چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی، سراسر ناحیه کرتاسه در این دوره زمانی وضعیت تقریباً یکسانی دارد که با یک دگرشیبی زاویه‌ای تمام سازندهای پیش از خود را می‌پوشاند.

### -پالئوسن

در ناحیه ترود، پالئوسن همراه با فعالیت‌های آتشفشانی آغاز می‌شود و این فعالیت‌ها احتمالاً به جنبش‌های کوهزایی لارامید مربوط باشد که دامنه وسیعی در ناحیه ترود را شامل می‌شود. زمان شروع این فعالیت به صورت دقیق مشخص نیست ولی زمان آغاز آن با ائوسن نباید فاصله چندانی داشته باشد، به دلیل اینکه رسوبات این دوره توسط توالی‌های ضخیمی از سنگ‌های آتشفشانی همراهی می‌شوند. نهشته‌های پالئوسن در سراسر ناحیه ترود کم و بیش یکسان هستند.

-**ائوسن:** مجموعه آتشفشانی-رسوبی ائوسن به شکل دگرشیب، واحدهای قدیمی‌تر را در برمی‌گیرد و گسترش زیادی در منطقه دارند. سنگ‌های تخریبی نظیر؛ ماسه‌سنگ، شیل، مارن، کنگلومرا و توفیت پی‌سنگ واحدهای ائوسن را تشکیل می‌دهند. واحدهای آتشفشانی ائوسن شامل گدازه، برش‌های آتشفشانی و توف‌های مختلف می‌باشد که بر روی پی‌سنگ به شکل هم‌شیب و بر روی سنگ‌های قدیمی‌تر به شکل دگرشیب واقع شده است. به علاوه، افق‌هایی از سنگ‌آهک‌های نومولیت‌دار و سنگ‌های تخریبی به صورت میان‌لایه در این مجموعه دیده می‌شوند.

-**الیگوسن-میوسن:** نهشته‌های این دوره بیشتر از نوع تخریبی-مارنی هستند که به صورت چین‌خورده باعث به وجود آمدن تاقدیس‌ها و ناودیس‌های متنوعی شده‌اند و یا این که با نفوذ گنبد‌های نمکی دچار به هم‌ریختگی شده‌اند. هم‌چنین، در این دوره لایه‌های اندکی از توف و توفیت در بین واحدهای رسوبی قرار دارد، که نشان از فعالیت‌های ماگمایی محدود در منطقه می‌باشد.

- پلیوسن-کواترنر: نهشته‌های جوان این دوره به شکل کنگلومرا و مارن، واحدهای قدیمی‌تر منطقه را به طور دگرشیب پوشش می‌دهند.

## ۲-۳-۲- ماگماتیسزم

در دوران پالئوزوئیک و مزوزوئیک فعالیت‌های ماگمایی کم‌کم شروع شده و در دوران سنوزوئیک به اوج خود رسیده است و باعث به جای گذاشته شدن حجمی از سنگ‌های آذرین شده است. فعالیت‌های ماگمایی ترشیری در لوتسین آغاز شده، در سرتاسر ائوسن میانی ادامه پیدا می‌کند و در ائوسن پسین فعالیتشان متوقف می‌شود و آنگاه در اواخر ائوسن پسین تا الیگوسن پیشین دوباره فعال می‌شوند؛ اما در مقایسه با دوران اول شدت آن کمتر بوده و به زودی به سمت خاموش شدن می‌روند. از لحاظ ترکیب سنگ‌شناسی شامل: بازالت، آندزیت و داسیت می‌باشند که در این بین غلبه آندزیت‌ها بیشتر است. باید بیان کرد که محدوده معدنی تروود-چاه‌شیرین بین دو گسل اصلی انجیلو و تروود قرار دارد که غالباً متشکل از سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی ائوسن می‌باشد. هم‌چنین ضخامت این واحدهای آتشفشانی-رسوبی در منطقه زیاد است و سنگ‌های آتشفشانی همراه با سنگ‌های آواری آمیخته شده‌اند. به‌علاوه، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق این سنگ‌ها را قطع کرده‌اند و به‌صورت گنبد، استوک و یا دایک در بین سنگ‌های آتشفشانی جای گرفته‌اند. به‌غیر از توده گندی، سنگ‌های نفوذی منطقه تماماً دارای بافت‌های میکروگرانولار و یا پورفیریتیک هستند و در شمار سنگ‌های نیمه‌عمیق قرار می‌گیرند. هم‌چنین قابل ذکر است که سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی ائوسن ناحیه تروود و توده‌های نفوذی همخوان با آنها، از لحاظ سری ماگمایی معمولاً ماهیت کالک‌آلکان پتاسیم بالا تا شوشونیتی دارند.

## ۲-۳-۳- دگرگونی

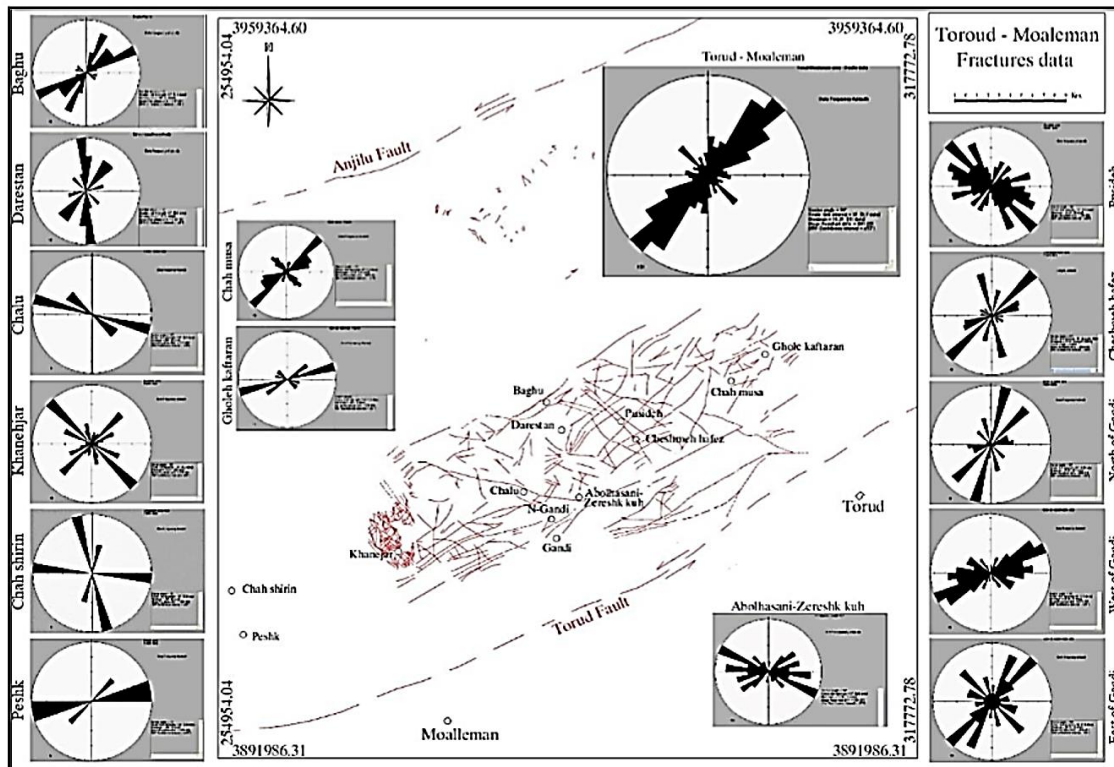
دو گروه سنگ‌های دگرگونه در ناحیه تروود وجود دارد که یک گروه به پرکامبرین تعلق دارد و دیگری دربرگیرنده سنگ‌های پالئوزوئیک تا مزوزوئیک است. سنگ‌های پرکامبرین مجموعه‌ای از شیست،

گنایس و آمفیبولیت می باشد که در شمال شرق ترود دیده می شوند که از لحاظ سنگ شناسی با توالی های پالئوزوئیک تا مزوزوئیک هیچ گونه شباهتی ندارد و درجه دگرگونی آن بالاتر است، اما درجه دگرگونی نهشته های دوران پالئوزوئیک و مزوزوئیک ضعیف است. در ناحیه بین چاه شیرین و رشم خصوصاً غرب کوه کله کجو استوک هایی از گرانیت و گرانودیوریت وجود دارند که دارای درجه دگرگونی بالایی هستند و بلورهای درشتی از میکای سفید، کلریتوئید و بیوتیت را در میان سنگ ها تشکیل داده اند. سنگ های دگرگونه رشته کوه های چاه شیرین-رشم نظیر کالک شایست، کوارتزیت و ماسه سنگ های دگرگونه کوارتزیتی، مرمها، سنگ های آذرین متوسط تا بازیگ دگرگونه (آمفیبولیت) و کوارتز شایست هستند.

## ۲-۴- ویژگی های زمین ساختی نوار ترود-چاه شیرین

### - مؤلفه های دینامیکی ناحیه

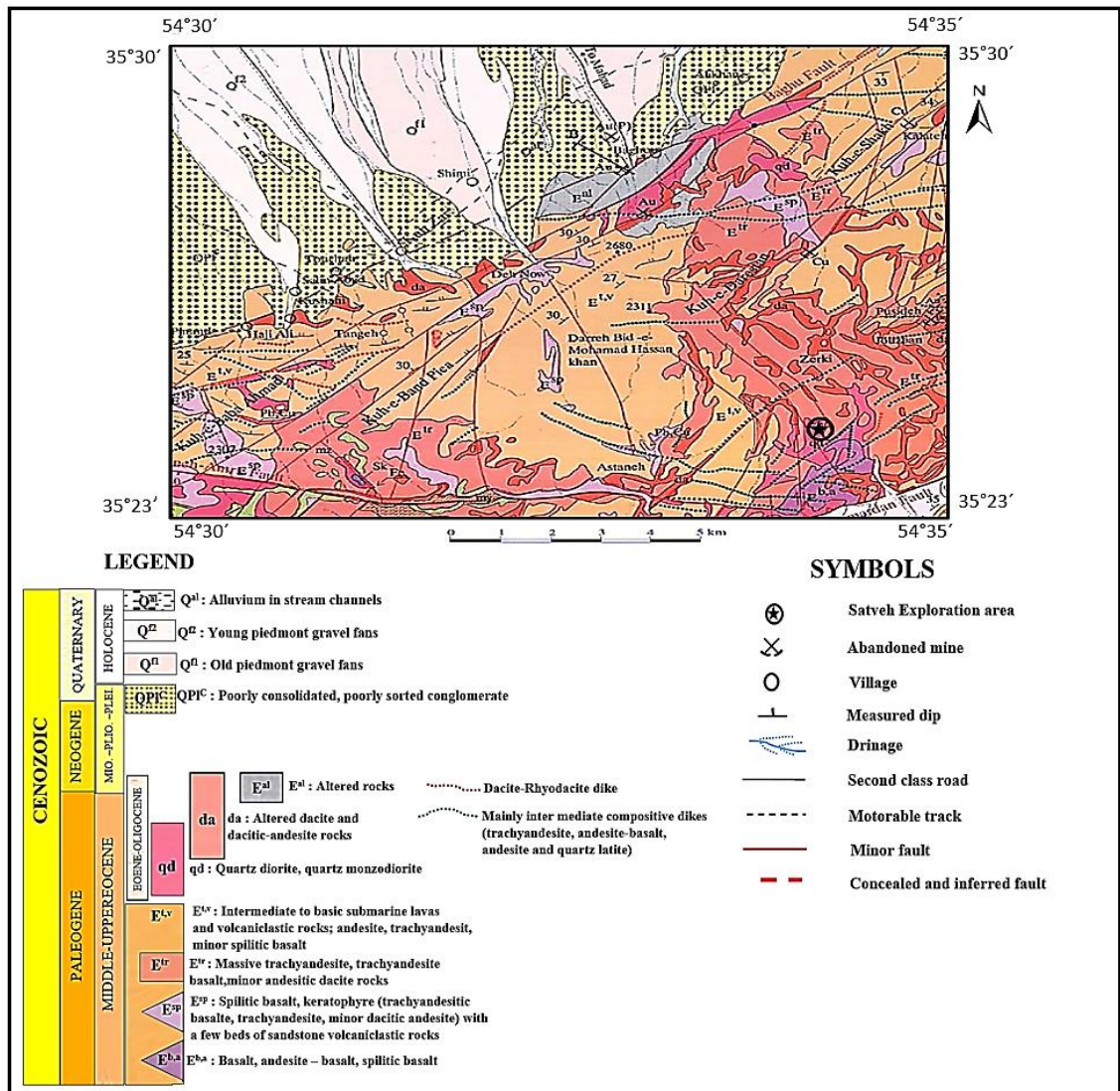
به دلیل همگرایی ورقه عربستان به سمت ورقه ایران، فشارهای وارد بر نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه شیرین، روند تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی دارند و محدوده آن بین گسل های درونه و میامی به گسل عطاری یا سمنان ممکن است پیوسته باشد. گسل عطاری جداکننده پهنه البرز از پهنه ایران مرکزی می باشد. محدوده معدنی ترود در بین دو گسل ترود در جنوب و گسل انجیلو در شمال قرار گرفته است (شکل ۲-۲). این گسل ها هر کدام یک دسته گسلی هستند که روند شمال شرقی-جنوب غربی (N60-70E) دارند و به دلیل اینکه در زمان های طولانی بارها فعالیت داشته اند؛ تعیین نوع حرکت آنها امکان پذیر نیست و فقط با استفاده از شواهد زمین شناسی و چین خوردگی هایی که مرتبط به آنها است می توان در این مورد نظر داد. همچنین باید بیان کرد که اسکلت بندی منطقه ترود با آغاز فعالیت این دو گسل شکل می گیرد (هوشمندزاده و همکاران، ۱۳۵۷).



شکل ۲-۲- نقشه گسل‌های شمال منطقه ترود-معلمان و وضعیت شکستگی‌های محلی در مناطق مختلف آن (کی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۹).

## ۲-۵- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه در حاشیه شمالی ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵) قرار گرفته است. واحدهای سنگی که در منطقه برطبق این نقشه برونزد دارند، دارای محدوده سنی ائوسن تا عهد حاضر هستند (شکل ۲-۳). در زیر به ترتیب از قدیم به جدید ویژگی‌های چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی واحدهای مختلف محدوده مورد مطالعه به اختصار شرح داده می‌شود:



شکل ۲-۳- نقشه زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه (برطبق نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵)). این نقشه نشان از واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه و موقعیت محدوده اکتشافی مس سطوه دارد.

## ۲-۵-۱- سنوزوئیک

آغاز نهشته‌های سنوزوئیک با فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن زیرین می‌باشد. در منطقه مورد مطالعه سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی این دوره به صورت واحدهای سنگی متفاوت ایجاد شده‌اند که در زیر به طور مختصر به شرح هر یک از آنها پرداخته می‌شود.

## ۲-۵-۱-۱- مجموعه سنگی $E^{t,v}$

بعد از فعالیت‌های آتشفشانی اسیدی که نهشته‌های مختلف واحد  $E^{t,s}$  را برجای گذاشته است، مرحله دوم از فعالیت‌های ماگمایی ائوسن-الیگوسن در منطقه با فوران‌های آتشفشانی زیردریایی که دارای ترکیب بازیک تا متوسط هستند همراه است. در طول این مرحله بسیاری از مواد آذرین به وسیله مجراهای آتشفشانی به کف دریا ریخته شده‌اند. در نتیجه این فعالیت‌های ماگمایی، واحد  $E^{t,v}$  از سنگ‌های گدازه‌ای برشی شده، گدازه‌های اسپیلیتی شده، هیالوکلاستیتی بازیک تا حدواسط، آذرآواری‌های زیردریایی و سنگ‌های آلبیتوفیری اسپیلیتی و کراتوفیری با ضخامت بسیار تشکیل شده است. این واحد در بردارنده سنگ‌های آندزیت، تراکی آندزیت، تراکی آندزیت بازال، بازالت‌های آکالن زیردریایی و آندزیت-داسیت‌های پورفیری می‌باشد. این واحد در بخش‌هایی به واحدهای کوچکتری بر طبق ترکیب سنگ‌های سازنده خود تقسیم می‌شود که در زیر به اختصار شرح داده می‌شود:

### - واحد $E^{b,a}$

این واحد شامل سنگ‌های گدازه‌ای بازالتی تا آندزیت بازالتی و سنگ‌های آتشفشانی برشی شده و شیشه‌ای هستند. ترکیب سنگ‌شناختی آنها بیشتر هیالوپیروکسن آندزیت، بازالتهای دگرسان شده، تراکی آندزیت بازال برشی شده و حفره‌دار، بازالتهای نیمه ژرفا با گرایش به سمت آکالی میکروگابرو، آندزیت بازالتهای اسپیلیتی-کربنات‌دار و مگاپورفیر تراکی آندزیتی است. این واحد از نظر ترکیب شباهت‌هایی به واحد  $E^{sp}$  دارد ولی به دلیل حجم بیشتر سنگ‌های بازالتی تحت اشباع از سیلیس و گدازه‌های بازالتی از واحد  $E^{sp}$  جدا می‌شود. در بررسی‌های میکروسکوپی این سنگ‌ها، ترکیب پیروکسن آندزیت‌ها، بیشتر بافت پورفیریتیک با زمینه هیالوپلیتیک دارند. سن این واحد ائوسن میانی تا پسین می‌باشد.

### - واحد $E^{sp}$

واحد  $E^{sp}$  اکثراً نشان‌دهنده موقعیت چینه‌ای بخش زیرین واحد  $E^{lv}$  می‌باشد. این واحد از لحاظ سنگ-شناسی شامل آندزیت‌های پیروکسن‌دار، آندزیت‌بازالت و بازالت آلکالن به‌صورت اسپیلیت و کراتوفیری، گدازه‌های آندزیتی تیره و داسیت‌آندزیت‌های تجزیه شده است که در بسیاری از نقاط رخنمون پیدا کرده است. این سنگ‌ها بیشتر در کف دره‌ها و مناطق دارای ارتفاع کم برونزد دارند. همچنین سنگ‌های اسپیلیتی-کراتوفیری تشکیل دهنده قسمت وسیعی از سنگ‌های واحد  $E^{sp}$  می‌باشند. سن این واحد نیز ائوسن میانی تا پسین است.

### - واحد $E^{tr}$

سازندهای این واحد را گدازه‌های پورفیری حدواسط تا بازیک می‌سازند. سنگ‌های این واحد عمدتاً سنگ‌هایی با ترکیب تراکی‌آندزیت، تراکی‌آندزیت-بازالت و آندزیت-داسیت‌های پورفیری است، که گاهی به همراه گدازه‌های تراکی‌آندزیت این واحد، ترکیب‌های آندزیت حفره‌دار، آندزیت‌های تمام‌بلورین، کریستال‌لیتیک‌توف‌های بلورین و شیشه‌ای دیده می‌شود؛ اما همچنان تراکی‌آندزیت‌ها بیشترین حجم این واحد را می‌سازند و قسمت‌های بالایی این واحد ترکیب داسیتی تا داسیت آندزیتی است که دگرسانی آنها بیشتر از نوع سیلیسی-سریسیتی می‌باشد. سن واحد  $E^{tr}$  نیز ائوسن میانی-بالایی است.

### ۲-۵-۱-۲- توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق اسیدی (واحد qd)

شمار زیادی از برونزدهای نفوذی منطقه را سنگ‌های کوارتز دیوریتی تا کوارتز مونوزودیوریتی پدید آورده‌اند. بافت این سنگ‌ها، دانه‌ای و پورفیری با زمینه میکروگرانولار است که متشکل از کانی‌های درشت‌بلور پلاژیوکلاز (با ترکیب آندزین)، کوارتز، کلینوپیکروکسن (اوژیت-دیوپسید)، فلدسپات آلکالن و بیوتیت می‌باشند. در زمینه این سنگ‌ها درزه و شکاف‌هایی دیده می‌شود که به‌وسیله اکسید آهن، کانی‌های کربناته و ... پر شده است. در این سنگ‌ها حضور کانی‌های کلریتی، میکا، کربنات و کانی‌های کدر و نیز در مواردی بلورهای پیریت و کالکوپیریت گویای این است که فرآیندهای تأخیری ماگمایی (سیالات

گرماپی) بر روی آنها تأثیرگذار بوده‌اند. همچنین، دگرسانی سریسیتی، دگرسانی غالب این سنگ‌ها می‌باشد. به‌علاوه، سن این واحد ائوسن پسین-لیگوسن پیشین است.

## ۲-۵-۱-۳- واحد da

فعالیت‌های آتشفشانی ائوسن پسین که پدید آورنده مجموعه سنگی  $E^{t,v}$  بوده است، توسط ماگماهای اسیدی قطع شده‌اند. این ماگماهای اسیدی به‌وجود آورنده رخنمون‌های کوچکی به‌شکل توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق گنبدی‌شکل، استوک و دایک می‌باشد. در حقیقت این سنگ‌ها از ماگماهای داسیتی-میکروگرانیتی با گرانروی بالا سرچشمه گرفته‌اند. در نقاط بسیاری از جمله باغو، کوه‌زر، جوزبان، شمال پوسیده و ...، توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق داسیتی به‌صورت میکروگرانیت‌های تورمالین‌دار و داسیت‌های پورفیروئیدی تورمالین‌دار نمایان می‌شوند. قابل ذکر است که گاهی قطعاتی از سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و یا توده‌های نفوذی کوارتزیدیوریتی و کوارتزومونزودیوریتی در واحد da دیده می‌شود. سن این واحد، ائوسن پسین-لیگوسن پیشین می‌باشد.

## ۲-۵-۱-۴- دایک‌ها

در محدوده مورد مطالعه تعداد بسیاری دایک برونزد دارند که آنها را در دو گروه زیر می‌توان تقسیم‌بندی کرد:

### -دایک‌های حدواسط تا بازیک

در منطقه این گروه دایک‌ها با ترکیب سنگ‌شناختی آندزیت، تراکی‌آندزیت، کوارتزلاتیت-آندزیت، تراکی‌آندزیت‌بازالت، میکروکوارتزیدیوریت، میکرومونزودیوریت و به‌ندرت میکرومونزوسینیتی و آلکالی‌گابرو تا دولریتی برونزد دارند. از سویی، ویژگی‌های سنگ‌شناختی این دایک‌ها یکسان با توده‌های آتشفشانی نیمه‌عمیق است.

### -دایک‌های اسیدی (داسیتی)

تعداد دایک‌های اسیدی خیلی کمتر از دایک‌های حدواسط تا بازیگ می‌باشد، که این سنگ‌ها ترکیبی شبیه واحد da دارند و به مقدار زیاد دگرسان شده‌اند. سن این دایک‌ها الیگوسن پیشین می‌باشد.

#### ۲-۵-۱-۵- واحد $E^{al}$

این واحد در بردارنده سنگ‌هایی است که به شدت دگرسان شده‌اند که سنگ‌های آتشفشانی واحد  $E^{lv}$  و توده‌های نفوذی نیمه عمیق qd و da مجموعه آن را می‌سازند، که رگه‌های کوارتز-تورمالین طلا دار در بخش‌هایی در آنها تشکیل شده است و خاستگاه آنها مربوط به داسیت‌های پورفیری منطقه است. همچنین باید بیان کرد که سیالات گرمابی در شکل‌گیری این رگه‌ها نقش به‌سزایی داشته‌اند، که کانی‌هایی شامل پیریت، کالکوپیریت، کوپریت، مالاکیت و غیره به مقدار اندکی در این رگه‌ها تمرکز دارد.

#### ۲-۵-۱-۶- نهشته‌های کواترنری

#### - واحد $QPL^C$

این واحد کوهپایه‌های بلند و قدیمی را به وجود آورده‌اند که دارای مجموعه کنگلومرایی با کمی سیمان ماسه‌ای و سخت نشده می‌باشد.

#### - واحد $Q^{f1}$

این واحد پادگانه‌های آبرفتی بلند را پدید آورده است که در دارای گسترش بسیاری در منطقه می‌باشد.

#### - واحد $Q^{f2}$

پادگانه‌های آبرفتی مسطح و جوان‌اند که سازنده‌های آن از واحد  $Q^{f1}$  دانه‌ریزتر می‌باشد و باعث قطع آن شده‌اند.

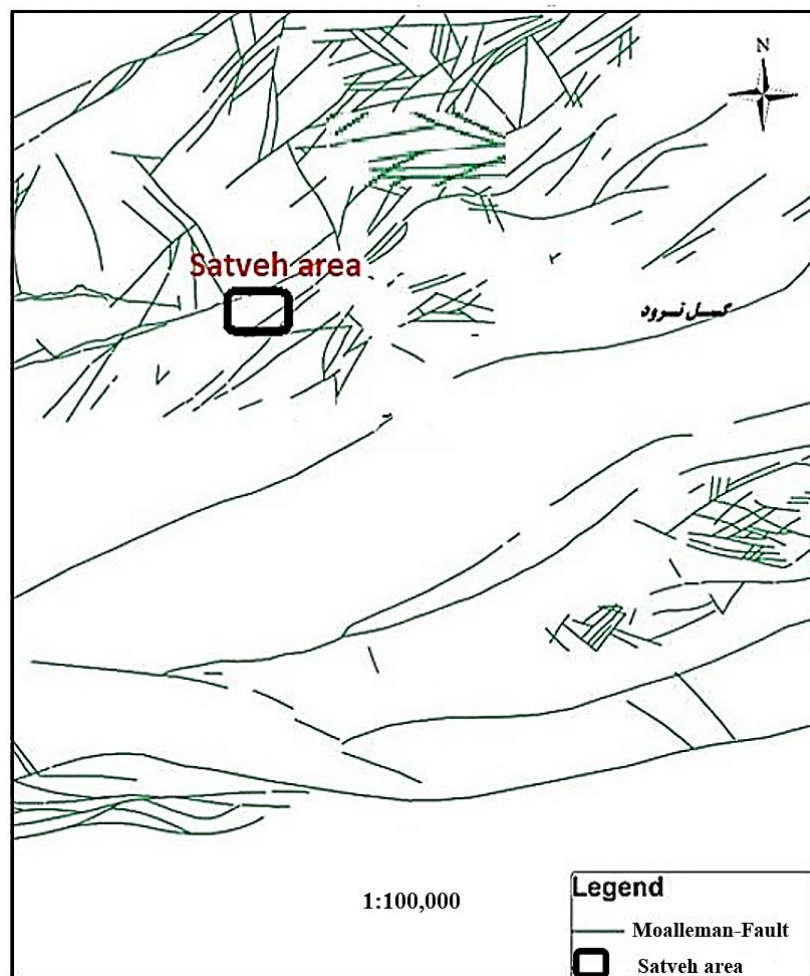
#### - واحد $Q^{al}$

این واحد انباشته‌های بستر رودخانه‌ها و آبراهه‌های بزرگ زمان حاضر است که بیشتر متشکل از قلوه-سنگ، ریگ، شن، ماسه‌سنگ و رس می‌باشد.

## ۲-۶- ویژگی‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه

ناحیه در زمان ائوسن زیرین-میانی، در شرایط کششی قرار داشته که باعث فراهم کردن شرایط بالا آمدن ماگمای بازالتی از گوشته بالایی به سمت پوسته شده است. ماگمای بازالتی در قسمت‌های بالایی پوسته در زمان بالا آمدن قرار گرفته است، که در این زمان بخارات و گازها در قسمت‌های بالایی آن جمع شده و باعث ایجاد فعالیت‌های آتشفشانی انفجاری شده است. در مرحله بعد ماگمای بازالتی به سطح زمین آمده و وارد کف دریا شده‌اند. این مواد در ابتدا دارای ترکیب بازالتی بوده که به علت جدا شدن کانی‌های مافیک به سمت ماگمای آندزیتی تمایل پیدا کرده‌اند، که در این دوره واحد  $E^{t,v}$  ایجاد شده است. در پایان ائوسن پسروری دریا انجام گرفته و مواد آذرآواری مجدداً ایجاد شده‌اند. در پایان ائوسن تا آغاز الیگوسن در منطقه وضعیت فشارشی وجود داشته و فعالیت‌های ماگمایی به شکل دایک و توده‌های نفوذی نیمه عمیق (qd و da) با ترکیب سنگ‌ساختی حدواسط تا اسیدی ایجاد شده‌اند. بیشترین فعالیت‌های دینامیکی و ماگمایی در دوره پالئوژن (ائوسن-الیگوسن) اتفاق افتاده است و فعالیت دینامیکی پس از ائوسن باعث شده است زیرپهنه‌های ناهمسانی در منطقه به وجود آید. این فاز بر روی سنگ‌ها تأثیر گذاشته و باعث چین‌خوردگی و گسلش شده که واحد  $E^{al}$  نمونه این فعالیت است. بالا آمدن کف دریا در الیگوسن میانی، باعث ایجاد یک چین‌خوردگی ضعیف در نهشته‌ها و نیز بالا آمدن حوضه شده است. پیشروی دوباره دریا، باعث شده است که توالی ضخیمی از نهشته‌های دریای کم عمق با سن الیگوسن پسین تا پلیوسن به جای گذاشته شود. در نهایت نهشته‌های کوهپایه‌ای پلیوسن پسین-پلیستوسن (واحد  $QPL^C$ ) با دگرشیبی زاویه دار روی واحدهای کهن تر را پوشانیده است. فعالیت‌های دینامیکی، پس از پلیستوسن، تراس‌های کهن و مخروط‌افکنه‌های بلند، نهشته‌های پلیستوسن را به طور ناپیوسته دگرشیب پوشانیده‌اند. همچنین، فعالیت‌های تکتونیک در منطقه تا زمان حال ادامه داشته

است. به علت ناهمگن بودن نهشته‌های ائوسن و نیز نفوذ توده‌های کم‌عمق و دایک‌های فراوان، منطقه معدنی شکستگی‌های زیادی را متحمل شده که باعث گسستگی‌های بسیاری در لایه‌ها و در نهایت تشکیل چین‌ها شده است (شکل ۲-۴). گسل باغو از پارامترهای تکتونیکی در این منطقه با راستای N70-90E و شیب نزدیک به قائم می‌باشد، که پس از ائوسن به وجود آمده است. به غیر از راستای N70-90E که با گسل اصلی تروود همسو می‌باشد، گسل‌های دیگری با راستای N40-50E و N40-50W به شکل دو سری شکستگی مشاهده می‌شوند که به‌طور مزدوج عمل کرده‌اند. پس از آن نیز تعدادی از شکستگی‌ها دارای امتداد کلی نزدیک به شمالی-جنوبی می‌باشند که در آنها کانه‌زایی اتفاق افتاده است.



شکل ۲-۴- نقشه پراکندگی گسل‌های منطقه مورد مطالعه (با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان).

## ۲-۷- زمین‌شناسی اقتصادی و توان معدنی نوار آتشفشانی-رسوبی تروود-چاه‌شیرین

نوار معدنی ترود-چاه‌شیرین توالی ضخیمی از گدازه‌ها و توف‌های زمان ائوسن است، که توده‌های گرانیتوئیدی ائوسن-الیگوسن آنها را قطع کرده و باعث ایجاد دگرسانی گرمایی وسیعی در آنها شده است که در کانی‌سازی نقش مهمی داشته‌اند؛ به‌شکلی که بیشتر کانسارهای منطقه در حاشیه یا نزدیک توده‌های نفوذی شکل گرفته‌اند. روی هم رفته از نگاه زمین‌شناسی اقتصادی، کانی‌زایی در محدوده مورد مطالعه به‌صورت زیر تفکیک می‌شود:

## ۲-۷-۱- کانی‌سازی عناصر فلزی

آثار معدنی، معادن قدیمی و متروکه و در حال کاری را می‌توان در منطقه نام برد که کانه‌های فلزی نظیر مس، طلا، سرب و روی در آنها تمرکز یافته است.

### -کانی‌سازی سرب و روی

این نوع کانسارها از نوع چند فلزی<sup>۱</sup> و گرمایی می‌باشند که افزون بر سرب و روی، شناسایی ناهنجاری‌های عناصری نظیر طلا، نقره، مس، آهن، کادمیوم، جیوه و باریوم در آنها انجام گرفته است. همچنین از کانی‌های شناخته شده در این کانسنگ‌ها می‌توان گالن، سروزیت، پیریت، کالکوپیریت، آنگلیزیت، کلسیت و باریت را نام برد.

### -کانی‌سازی مس

در منطقه در بسیاری از نقاط آغشتگی‌های کانه‌های مس‌دار مشاهده می‌شود، که گاهی کانه‌های مس‌دار همراه با طلا، آهن، سرب و روی است. همچنین، معدن فیروزه باغو که اکنون نیمه‌فعال می‌باشد، دارای رگه-رگچه‌های فیروزه است که در سنگ‌های داسیتی واحد da پدید آمده است.

### -کانی‌سازی طلا

---

<sup>۱</sup> Polymetal

از کانی‌سازی طلا در نواحی باغو-کوه‌زر، دارستان و پوسیده نشانه‌هایی وجود دارد که ویژگی‌های آنها بیشتر همخوان با تیپ کانسارهای گرمابی چندفازه، خصوصاً اپی‌ترمال با سنگ میزبان آتشفشانی می‌باشد، که متشکل از سیالات مشتق شده از ماگماتیسم ائوسن-الیگوسن است. همچنین وجود دگرسانی آرژیلیتی که در بعضی از رخنمون‌های سنگ‌های آتشفشانی و در مرز توده‌های آتشفشانی نیمه‌عمیق یا دایک‌ها است، می‌تواند راهنمایی برای اکتشاف طلا باشد.

## ۲-۷-۲- کانی‌سازی عناصر غیر فلزی

از نمونه کانی‌سازی غیر فلزی در منطقه مورد مطالعه، خاک صنعتی فلدسپات-کائولینیت‌دار پوسیده (معدن کائولن غیرفعال) است.



فصل سوم

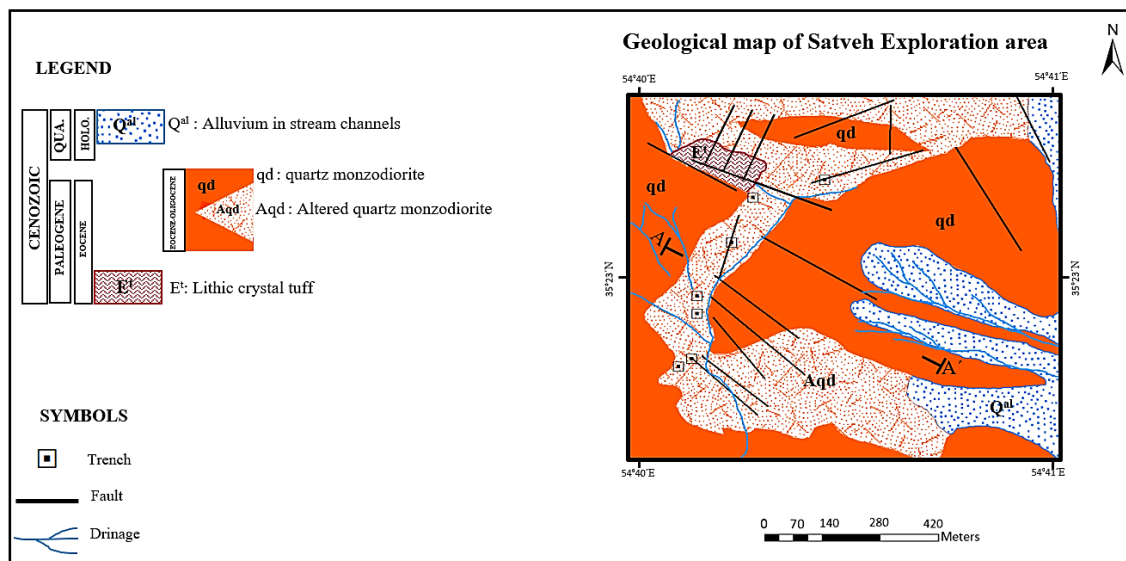
زمین شناسی و سنگ شناسی محدوده معدنی

بررسی پدیده‌ها و فرآیندهای زمین‌شناسی مؤثر در تشکیل محدوده اکتشافی سطوه، نظیر مطالعه واحد-های سنگی، روابط بین آنها، زمین‌ساخت و ارتباط هر کدام از این پدیده‌ها و فرآیندها با کانی‌سازی می‌تواند کمک شایانی به شناخت موقعیت مکانی و زمانی کانه‌زایی و پی‌جویی آن در دیگر مناطق مشابه کند. همچنین مطالعات پتروگرافی به منظور بررسی، ساخت و بافت و نیز ترکیب کانیایی سنگ‌ها به جهت شناخت این واحدهای سنگی و مشخص کردن منشاء و نحوه تحول ماگما انجام گرفته است. محدوده اکتشافی سطوه، از نظر موقعیت زمین‌شناسی در قسمت شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و در ورقه ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵) قرار دارد که در واقع قسمت کوچکی از ناحیه فلززایی تروود به حساب می‌آید. لذا سعی بر آن شد تا با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم (اشراقی و جلالی، ۱۳۸۵)، تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و عملیات و بررسی‌های صحرایی و نیز مطالعات آزمایشگاهی انجام شده، نقشه زمین‌شناسی و ساختاری و ستون چینه‌شناسی از منطقه مورد مطالعه ترسیم گردد. بنابراین با توجه به اطلاعات حاصله از محدوده اکتشافی سطوه، خصوصیات هر کدام از واحدهای سنگی که در محدوده ذکر شده، برونزد دارند در زیر شرح داده می‌شود.

### ۳-۲- چینه‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده اکتشافی مورد مطالعه

محدوده اکتشافی سطوه از منظر سنگ‌شناسی جوان بوده و گستره‌ای از توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با طیف ترکیبی حدواسط (کوارتزمونزدیوریت) تا اسیدی (گرانودیوریت و گرانیت) به سن ائوسن-الیگوسن همراه با افق‌های کوچکی از سنگ‌های آذرآواری (لیتیک کریستال توف) به سن ائوسن را شامل می‌شود، که این سن برطبق تشابه وقایع زمین‌شناسی انجام شده در این محدوده با مناطق همجوار آن و همچنین بنابر نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلم، برای آنها در نظر گرفته می‌شود. دربخش‌های هموار نیز رسوبات عهد حاضر این سنگ‌ها را می‌پوشانند. بنابراین، نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاسی از محدوده

اکتشافی سطوح به جهت مطالعه واحدها و نیز بررسی ارتباط آنها با کانه‌زایی و شناسایی رگه‌های معدنی،  
 رسم گردید (شکل ۳-۱).



شکل ۳-۱- نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس محدوده اکتشافی سطوح (براساس تصاویر ماهواره‌ای Google Earth و بررسی‌های صحرایی).

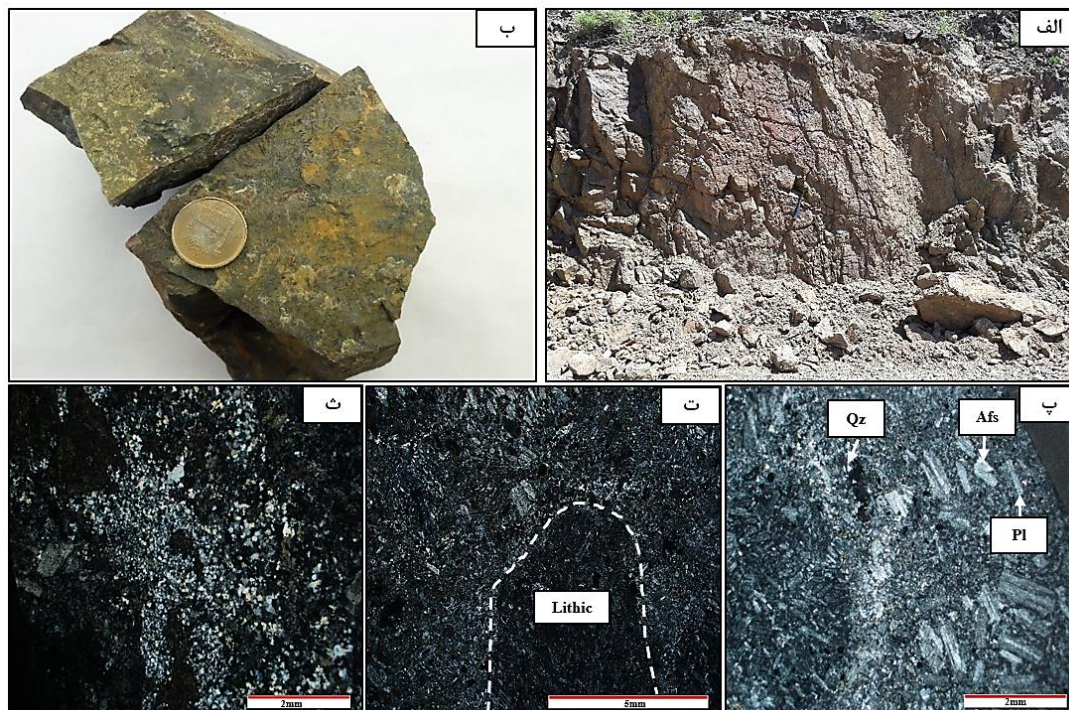
برطبق جایگاه چینه‌شناسی و تغییرات ترکیب سنگ‌شناسی، سنگ‌های رخنمون یافته در محدوده از پایین به بالا به دو بخش (E' و qd) تفکیک شده‌اند. قسمت اعظم کانه‌زایی مس منطقه در زیربخش Aqd با ریخت‌شناسی برجسته از بخش اصلی qd که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق نام دارد و شامل سنگ‌های کوارتزمونزودیوریت، گرانیت و گرانودیوریت می‌باشد، رخ داده است که به شدت تحت تأثیر دگرسانی گرمایی قرار گرفته است. در ادامه به جهت درک بیشتر هر یک از این واحدها، ویژگی‌های سنگ‌شناسی و کانی‌شناسی هر کدام از آنها بررسی می‌شود.

### –سنگ‌های آذرآواری (E')

برطبق اندازه ذرات (خاکستر، لایلی، بمب یا بلوک)، سنگ‌های آذرآواری به پنج گروه؛ توف، لایلی توف، لایلی، لایلی توف برشی و آگلومرا تقسیم‌بندی می‌شوند. توف‌ها سنگ‌های ولکانو کلاستیکی می‌باشند،

که از خاکستر و قطعات آتشفشانی به وجود آمده‌اند (Tuker, 2009). بر طبق اجزاء شیشه، بلور و خرده-های سنگی، توف‌ها به سه گروه؛ توف‌شیشه‌ای، کریستال‌توف و لیتیک‌توف دسته‌بندی می‌شوند (Pettijohn, 1975). توف‌ها که سنگ‌های آذرین خروجی دارای بافت آواری هستند، از خاکسترهای آتشفشانی با ترکیبی از قطعه‌های کوچک و بزرگ قطعات سنگی دیگر (آندزیت، داسیت و ...) شکل گرفته‌اند (Damerson, 1990). لیتیک‌کریستال‌توف واحد آذرآواری محدوده مورد مطالعه می‌باشد.

**واحد لیتیک کریستال توف:** در مشاهدات صحرایی این واحد قسمت کمی از محدوده مورد مطالعه را شامل می‌شود که در مجاورت توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق رخنمون دارد و به رنگ‌های قهوه‌ای تا قرمز و نیز خاکستری مایل به سبز تا زرد دیده می‌شوند که دگرسانی شدیدی دارند. کریستال‌های تشکیل-دهنده آن شامل: پلاژیوکلاز، کوارتز و فلدسپات‌آلکان است که در زمینه‌ای شیشه‌ای و میکرولیتی قرار دارند و دگرسانی سیلیسی شدیدی را نشان می‌دهد (شکل ۳-۲، الف، ب، پ، ت و ث).

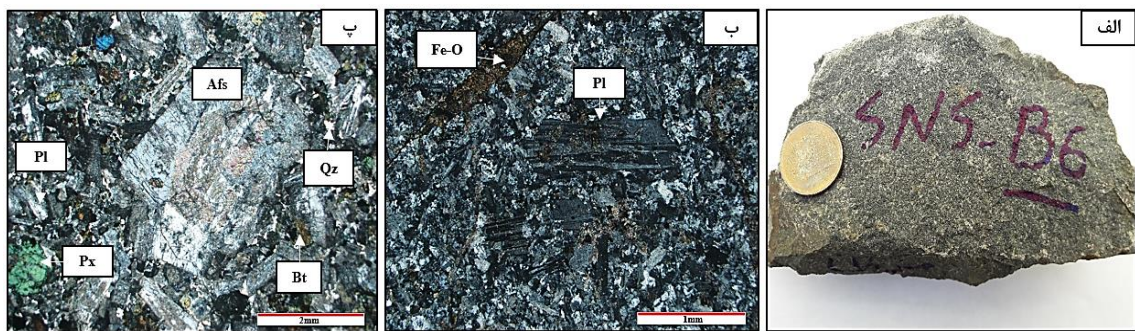


شکل ۳-۲- الف) نمایی از رخنمون واحد آذرآواری (توف)، ب) تصویر نمونه‌دستی از توف، پ) تصویر میکروسکوپی لیتیک‌کریستال‌توف دارای بلورهای پلاژیوکلاز (Pl)، کوارتز (Qz) و فلدسپات‌آلکان (Afs) که کریستال‌های سنگ را تشکیل می‌دهند (XPL)، ت) تصویر میکروسکوپی لیتیک‌کریستال‌توف که قطعه لیتیک (Lithic) که قطعه‌ای آتشفشانی

است درون سیمانی از جنس سیلیس قرار گرفته است (XPL، ث) تصویر میکروسکوپی لیتیک کریستال توف دگرسان شده (XPL).

### - توده‌های نفوذی نیمه عمیق یا ساب‌ولکان‌های منطقه (Aqd)

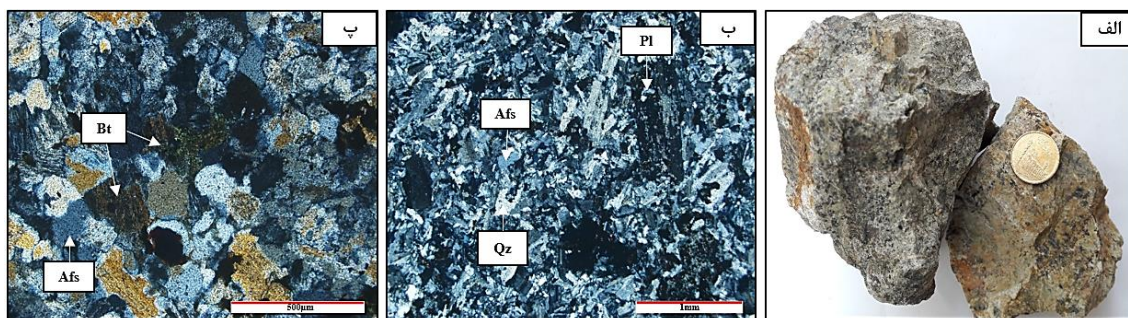
**کوارتز موزودیوریت:** در گستره وسیعی از محدوده، توالی‌هایی از سنگ‌های کوارتز موزودیوریت با ریخت‌شناسی برجسته، بخش اعظم سنگ‌های منطقه را به خود اختصاص داده است که در سطح هوازده شده‌اند، که این سنگ‌ها به رنگ خاکستری روشن تا خاکستری و سبز-خاکستری مشاهده می‌شوند. این سنگ‌ها در مطالعه میکروسکوپی بافت‌های دانه‌ای، پورفیری با زمینه میکروگرانولار دارند و کانی‌های پلاژیوکلاز، فلدسپات‌آلکان، کوارتز، پیروکسن و بیوتیت تشکیل دهنده این سنگ‌ها هستند. بلورهای درشت پلاژیوکلاز به‌طور شکل‌دار، منشوری پهن و بلند هستند. فلدسپات‌های آلکان با منشورهای پهن و ماکل کارلسباد مشاهده می‌شوند و در زمینه این سنگ‌ها کانی‌های فلدسپات‌آلکان همراه با کوارتز حجم اصلی سنگ را تشکیل می‌دهد. همچنین، این سنگ‌ها دارای دگرسانی شدید، بیشتر از نوع سریسیتی هستند و در زمینه آنها درز و شکاف‌هایی دیده می‌شود که با اکسید آهن، کلسیت و کربنات (مالاکیت) پر شده است (شکل ۳-۳، الف، ب و پ).



شکل ۳-۳ الف) تصویر نمونه دستی از سنگ‌های کوارتز موزودیوریت، ب) تصویر میکروسکوپی نمونه کوارتز موزودیوریت با بافت پورفیری در زمینه میکروگرانولار (XPL، پ) تصویر میکروسکوپی نمونه کوارتز موزودیوریت (XPL) و دارای کانی‌های پلاژیوکلاز (Pl)، کوارتز (Qz)، پیروکسن (Px)، بیوتیت (Bt) و فلدسپات‌آلکان (Afs) سریسیتی شده.

**گرانیت-گرانودیوریت:** سنگ‌های گرانودیوریتی و گرانیتی در محدوده به رنگ سفید متمایل به سبز یا خاکستری روشن مشاهده می‌شوند. بافت این نمونه سنگ‌ها در مقاطع میکروسکوپی میکروگرانولار و

میکروپورفیری است. بلورهای درشت تر آن را پلاژیوکلاز شکل دار تا نیمه شکل دار و کوارتز درشت بلور و شکل دار و همچنین فلدسپات آلکالن نیمه شکل دار در بخش درشت بلورها شکل می دهند. پلاژیوکلازها ماکل پلی سنتتیک دارند و در بعضی موارد به سریسیت دگرسان شده اند. بیوتیت تنها کانی مافیک است که به کانی های کلریت تجزیه شده است و درصد کمی از حجم سنگ را شامل می شود. کلریت، کلسیت و سریسیت از کانی های ثانویه حاصل از دگرسانی می باشند که در این سنگ ها پیدا می شوند (شکل ۳-۴، الف، ب، پ).



شکل ۳-۴- الف) تصویر نمونه دستی از سنگ های گرانیت، ب) تصویر میکروسکوپی از کانی های پلاژیوکلاز (Pl)، آلکالی فلدسپار (Afs) و کوارتز (Qz) در زمینه میکروگرانولار (XPL)، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی بیوتیت (Bt) کلریتی شده در نمونه گرانیتی (XPL).

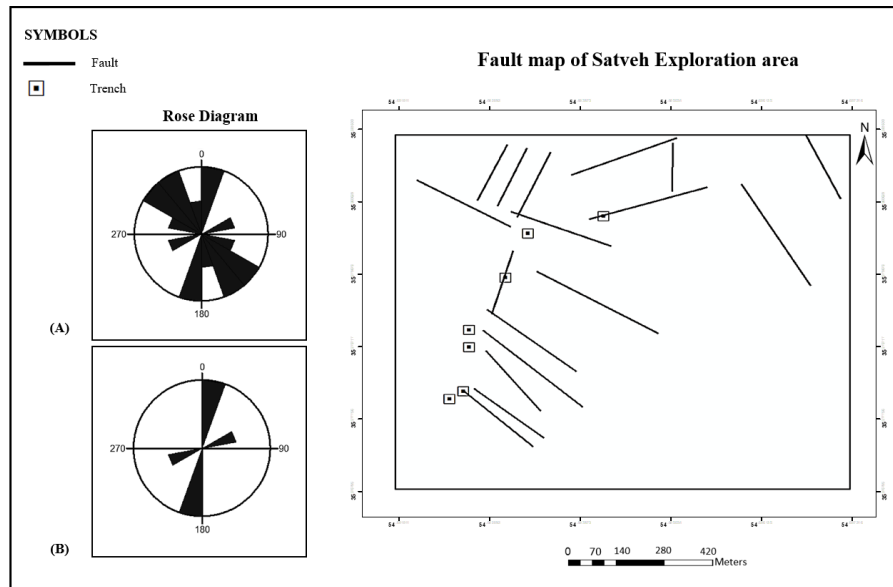
### ۳-۳- تکتونیک محدوده مورد مطالعه

گسل ها و شکستگی ها از مهم ترین شاخص های ساختاری در زمین شناسی منطقه به حساب می آیند که محل انتقال و خروج ماگما در اثر حرکات زمین ساختی به سطح را فراهم کرده اند. در محدوده مورد مطالعه تعدادی گسل های اصلی و فرعی وابسته به آنها وجود دارد که کانه زایی در امتداد گسل ها رخ داده است. در واقع این شکستگی ها و گسل ها مسیری جهت چرخش سیالات گرمایی ایجاد کرده و کانه زایی و دگرسانی در امتداد و حواشی آنها اتفاق افتاده است. بنابراین با استفاده از نقشه زمین شناسی تهیه شده، نمودار گل سرخی و همچنین برداشت های انجام گرفته در امتداد و حواشی گسل ها و شکستگی ها دو سیستم گسلی اصلی در محدوده مشخص شده است (شکل ۳-۵).

الف) گسل‌های با روند شمال شرقی-جنوب غربی است که با روند گسل‌های اصلی نوار ترود-چاه شیرین (گسل ترود و انجیلو) منطبق می‌باشد و نقش مهمی در کنترل رگه‌های کانه‌دار مس و کانه‌زایی در محدوده دارند. راستای این سیستم گسلی که با گسل باغو هم‌روند است در نمودار گل‌سرخ دیده می‌شود (شکل ۳-۵ و پیوست ۱).

ب) روند شمال غربی-جنوب شرقی است که بر سیستم گسلی (الف) به صورت عمود قرار دارد. به علاوه، این سیستم گسلی در ایجاد برخی شکستگی‌های سنگ‌های رخنمون یافته تأثیر به‌سزایی دارد، که در محدوده قابل مشاهده است.

گسل‌های دیگری علاوه بر این گسل‌ها، در منطقه مشاهده می‌شوند که عملکردشان به حالت مزدوج می‌باشد. از سویی، شکستگی‌ها، ریزگسل‌ها و درزه‌هایی که در سنگ‌های منطقه مورد مطالعه وجود دارند معمولاً در جهت این دو سیستم گسلی شکل گرفته‌اند.



شکل ۳-۵، نقشه نکتونیکي محدوده اکتشافی (برطبق مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای Google Earth)، (A) نمودار گل‌سرخ فراوانی گسل‌ها و (B) نمودار گل‌سرخ رگه‌های کانه‌دار در محدوده اکتشافی سطوه.



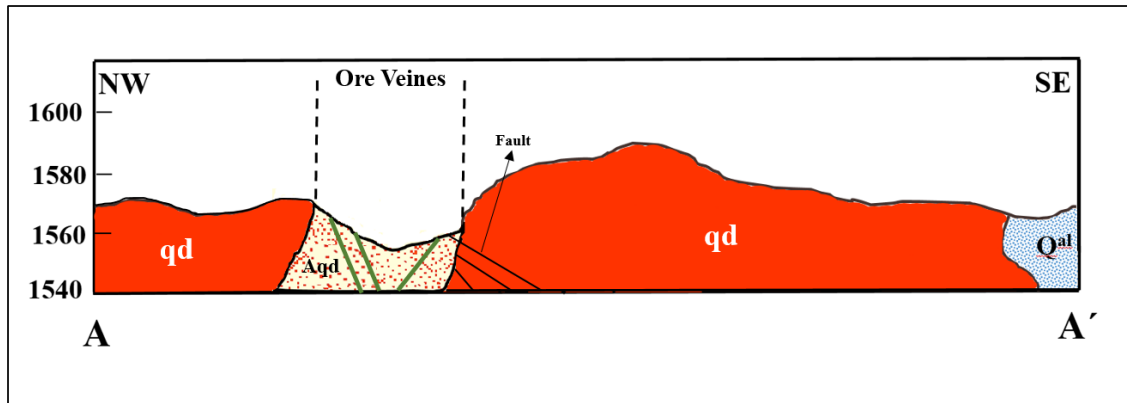
فصل چہارم

کانہ زایی و دگرسانی

همان‌گونه که در فصل‌های قبل گفته شد، محدوده اکتشافی سطوه، قسمتی از ناحیه معدنی و فلززایی نوار ترود-چاه‌شیرین است که در شمال پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی واقع شده است که این نوار دارای پتانسیل کانه‌زایی بالایی نظیر مس، سرب و روی، طلا و نقره می‌باشد که گویای اهمیت اقتصادی آن است. پدیده‌های زمین‌شناسی نظیر شکستگی‌ها، گسل‌ها و درزه و شکاف‌ها نقش مهمی را در قرارگیری ماگما و نیز گسترش مناطق دگرسانی گرمابی و کانه‌زایی ایفا می‌کنند. هم‌چنین، به‌نظر می‌آید که یک رابطه مستحکمی بین کانه‌زایی‌های انجام شده در محدوده با گسل‌ها و شکستگی‌های به‌وجود آمده، وجود داشته باشد. بنابراین در این فصل تلاش شده است، علاوه بر توصیف کانه‌زایی و انواع دگرسانی‌های به‌وجود آمده در محدوده اکتشافی نیز به ارتباط کانه‌زایی با دگرسانی‌های موجود پرداخته شود.

#### ۴-۲- کانه‌زایی در توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق ائوسن-الیگوسن

در محدوده اکتشافی مس سطوه کانه‌زایی مس در برونزدهایی از توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق که دارای ترکیب کوارتز-مونزودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت است روی داده است (شکل ۴-۱). بنا به عقیده (Haldar (2012)، ساختارهای گسلی نقش مهمی برای سیالات گرمابی از جهت چرخش سیالات کانه‌دار، جمع‌آوری و متمرکز شدن ماده معدنی در مکانی مناسب در طی زمان‌های زمین‌شناسی دارند. بنابراین، به‌نظر می‌آید که بین ساختارهای گسلی، سنگ‌های دربرگیرنده و کانه‌زایی ارتباطی وجود دارد.



شکل ۴-۱- نیم‌رخ عرضی محدوده اکتشافی و موقعیت کانه‌زایی رخ داده (اقتباس از نقشه زمین‌شناسی سطوح در فصل سوم).

مطالعات انجام شده در محدوده، نشان‌دهنده این است که قسمت اعظم افق‌های کانه‌زایی به‌طور رگه-رگچه‌ای و همچنین پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی در توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق شکل گرفته‌اند. ساختارهایی نظیر شکستگی‌ها، گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها از عوامل کنترل‌کننده ماده معدنی می‌باشند که با قطع کردن سنگ میزبان در جهت‌های متفاوت باعث ایجاد فضاهایی برای ورود محلول‌های کانی‌ساز شده‌اند. طبیعتاً، این شکستگی‌ها، گسل‌ها و درزه و شکاف‌ها، مکان‌های مناسبی برای نفوذ و حرکت سیالات کانی‌ساز و نیز تجمع ماده معدنی به حساب می‌آیند (Baker, 1978). همچنین، گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌هایی تهی از هر نوع نهشت سیالات گرمابی دیده می‌شود و شکستگی‌ها و گسل‌هایی نیز وجود دارد که با کلسیت و کوارتز پر شده‌اند و مرتبط با کانه‌زایی نیستند.

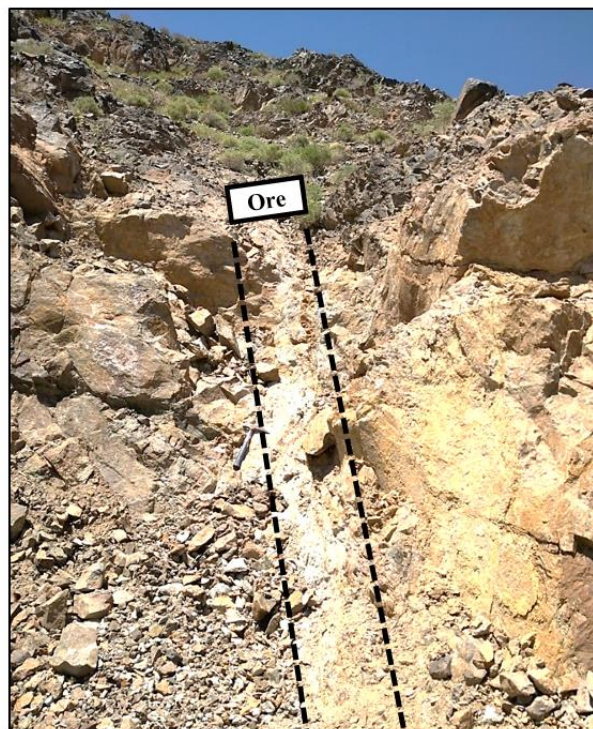
#### ۴-۳- ویژگی‌های کانه‌زایی مس در محدوده اکتشافی سطوح

کانه‌زایی در محدوده برطبق کانی‌شناسی، ساخت و بافت ماده معدنی، شکل و نوع ارتباط با سنگ میزبان به سه شکل رگه‌ای، پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی و دانه‌پراکنده تقسیم‌بندی می‌شوند که کانه‌زایی در محدوده اکتشافی سطوح در توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق به‌همراه شکستگی‌ها، گسل‌ها و درزه و شکاف‌ها اتفاق افتاده است. همچنین این کانه‌زایی‌ها برطبق مشاهدات صحرایی، مطالعات نمونه‌دستی و

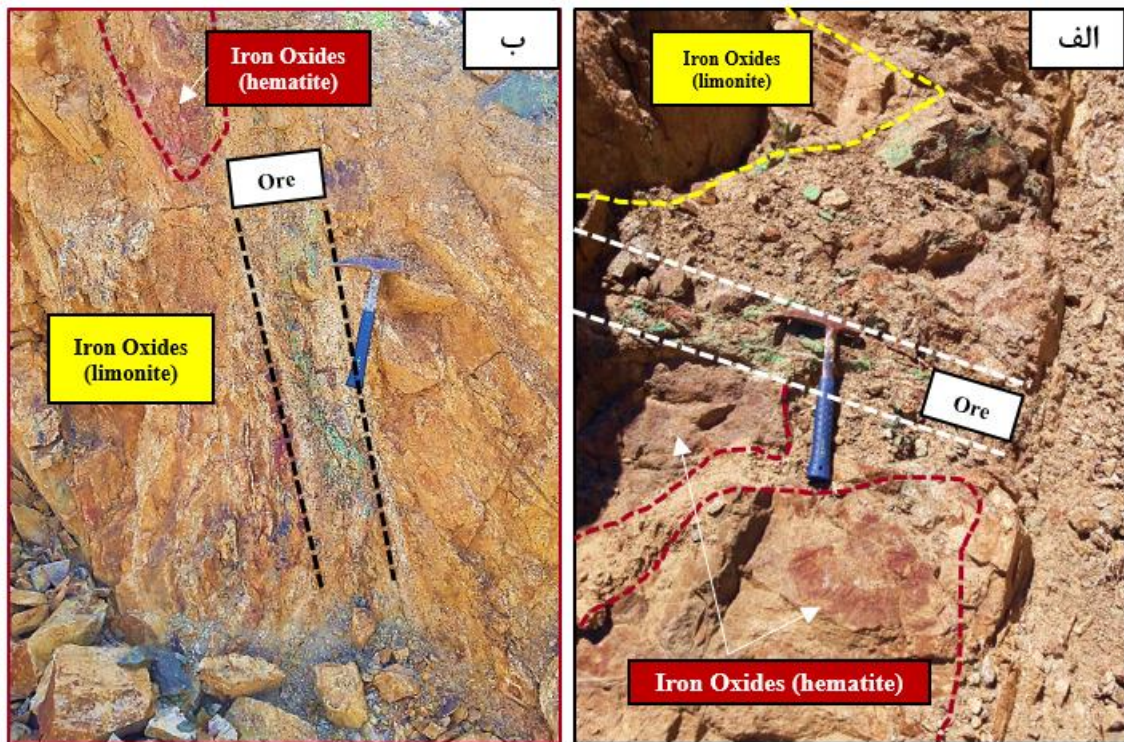
نیز مطالعات میکروسکوپی انجام شده است که در ادامه به خصوصیات هر کدام از این کان‌زایی‌ها پرداخته می‌شود.

#### ۴-۳-۱- کان‌زایی رگه‌ای

کان‌زایی گرمابی به شکل رگه‌ای در راستای گسل‌ها و شکستگی‌های توده‌های نفوذی نیمه عمیق رخ داده است؛ همچنین این گسل‌ها و شکستگی‌ها در قسمت‌های نزدیک به این کان‌زایی، فضاهای بسیاری برای نفوذ محلول‌های گرمابی به وجود آورده‌اند که باعث شده است فرآیندهای کان‌زایی و دگرسانی در این قسمت افزایش پیدا کند. با استفاده از مشاهدات صحرایی می‌شود بیان کرد که این کان‌زایی عمدتاً به طور شبکه‌های نامنظم از رگه-رگچه‌های کانی مالاکیت بوده که باعث قطع سنگ میزبان در جهت‌های متفاوت شده‌اند (شکل ۴-۲ و ۴-۳). همان‌گونه که در فصل سوم بیان شد، گسل‌های محدوده سطوح دارای روند NW-SE و NE-SW است؛ اما رگه کان‌دار اصلی در امتداد گسل با روند NE-SW شکل گرفته است که از روند عمومی منطقه نیز پیروی می‌کند.



شکل ۴-۲- تصویر صحرایی از زون گسلی امتدادلغز به صورت قائم و کان‌زایی رگه‌ای مس، Ore = ماده معدنی.



شکل ۳-۴- الف) و ب) تصویر صحرایی کانه‌زایی رگه-رگچه‌ای در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌ها به صورت وسیعی ادامه یافته و خلل و فرج سنگ‌ها، درزه و شکاف‌ها را پر کرده است، Ore = ماده معدنی.

همچنین باید بیان کرد که در محدوده اکتشافی سطوح بیشتری وسعت به این کانه‌زایی اختصاص دارد که بالاترین میزان ماده معدنی به آن مربوط است، پس در نتیجه قابلیت استخراج و بهره‌برداری را دارد. این کانه‌زایی از لحاظ منشاء نیز با نفوذ سیالات جوی و تأثیر آن بر سنگ‌های منطقه مرتبط است که باعث می‌شود قسمت‌هایی از افق کانه‌دار اکسیداسیون شود.

#### ۴-۳-۲- کانه‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی

کانه‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی در سنگ میزبان به علت رابطه تنگاتنگ کانه‌زایی با فعالیت‌های ساختاری در محل حفره‌ها و شکستگی‌ها به وجود آمده است. این حفره‌ها و فضاهای خالی در جریان محلول‌های کانی‌ساز در توده‌های نفوذی نیمه عمیق نقش تأثیرگذاری داشته و قسمت اعظم ماده معدنی را در خود قرار داده‌اند (شکل ۴-۴، الف). سیالات گرمابی کانه‌دار در زمان حرکت از حفره‌ها و فضاهای

خالی، مواد همراه خود را در حالتی که شرایط مناسب باشد، در طول حفره‌ها و فضاهای خالی باقی گذاشته‌اند (شکل ۴-۴، ب و پ).



شکل ۴-۴- الف) تصویر صحرایی کانه‌زایی به صورت پرکننده فضاهای خالی و پرکننده شکستگی‌ها در سنگ‌های کوارتزمونوزودیوریت، ب) تصویر نمونه‌دستی از نمونه سنگ کوارتزمونوزودیوریت که حفرات آن توسط ملاکیت پر شده است، پ) تصویر میکروسکوپی از ساخت پرکننده حفرات و شکستگی‌ها توسط ملاکیت، گوتیت و لیمونیت، =Mlc= ملاکیت، =Gth= گوتیت، =Lm= لیمونیت.

#### ۴-۳-۳- کانه‌زایی دانه‌پراکنده

کانه‌زایی دانه‌پراکنده در قسمت‌های مختلف محدوده اکتشافی به طور پراکنده وجود دارد. این کانه‌زایی در مقایسه با کانه‌زایی رگه‌ای و نیز کانه‌زایی پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی در سطح رخنمون‌ها دارای

گسترش کمتری می‌باشد. این کانه‌زایی بیشتر به صورت کانه‌های پیریت و کالکوپیریت در متن توده‌های نفوذی محدوده قابل دیدن است.

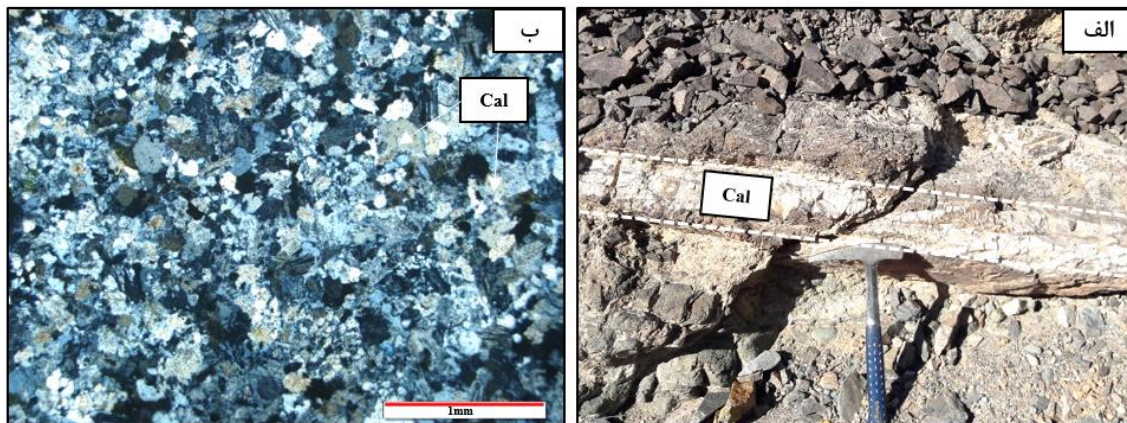
#### ۴-۴- دگرسانی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه

هر نوع تغییر ترکیب کانی‌شناسی، فیزیکی و شیمیایی که به‌وسیله فرآیندهای گرمایی، در سنگ به وجود می‌آیند را دگرسانی یا آلتراسیون می‌نامند (گیلبرت و پارک، ۱۳۷۸). برطبق منشاء سیالات، دگرسانی‌ها به دو قسمت تقسیم می‌شوند: دگرسانی‌های درونزاد و دگرسانی‌های برونزاد که دگرسانی درونزاد به‌وسیله سیالات گرمایی بالارونده به وجود می‌آید، اما دگرسانی برونزاد از واکنش آب‌های فرورو با سنگ‌های کانی‌سازی شده قبلی تشکیل می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۸۲). عواملی مانند؛ عمق شکل‌گیری سیالات کانسارساز، شرایط Eh و Ph محلول، درجه حرارت، ترکیب شیمیایی محلول گرمایی و یا ماگمایی و نیز ترکیب شیمیایی و کانی‌شناسی سنگ میزبان، از تأثیرگذارترین عوامل کنترل‌کننده واکنش‌های دگرسانی می‌باشند. بنابراین، ۶ نوع دگرسانی مجزا، از جمله دگرسانی کربناتی، سیلیسی، کلریتی، سریسیتی، آرژیلیتی حدواسط و نیز آغستگی اکسیدهای آهن در محدوده اکتشافی سطوح و به‌خصوص در اطراف رگه‌ها مشخص شد. این دگرسانی‌ها همه واحدهای سنگی محدوده را تحت تأثیر خود قرار داده و تغییرات کانی‌شناسی و شیمیایی گسترده‌ای را در آنها ایجاد کرده‌اند، که در حاشیه رگه‌ها این دگرسانی‌ها از شدت بیشتری برخوردارند و به سمت اطراف از مقدار آن کم می‌شود. بنابراین، در ادامه ویژگی‌های هر کدام از این دگرسانی‌ها را بررسی می‌نماییم.

#### ۴-۴-۱- دگرسانی کربناتی

این دگرسانی عموماً در دمای کم، وجود سیال با شوری پایین و غنی از  $CO_2$  در سنگ میزبان اتفاق می‌افتد (Robb, 2004). کربناتی شدن در محدوده مورد مطالعه معمولاً به‌شکل کلسیت رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضای خالی دیده می‌شود (شکل ۴-۵، الف و ب). کلسیت از لحاظ منشاء، می‌تواند هم از سیالات گرمایی و هم از تجزیه پلاژیوکلاز سنگ به‌وجود آید (Simmons et al., 2000). به‌نظر می‌آید

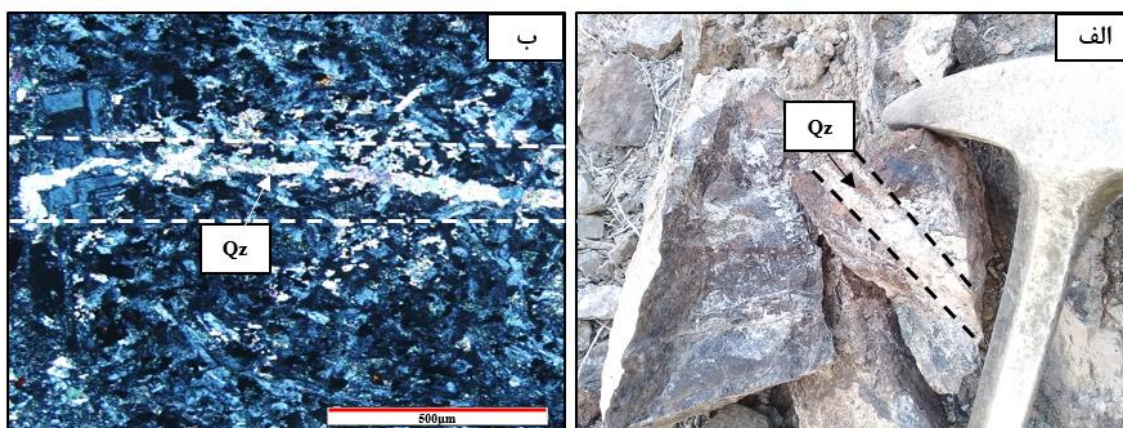
که پلاژیوکلاز مهم‌ترین کانی باشد که تحت تأثیر این دگرسانی می‌باشد به دلیل اینکه پلاژیوکلازها دارای مقدار زیادی کلسیم می‌باشند که با برخورد سیالات گرمایی، متلاشی شده‌اند و کلسیم حاصل از آنها نخست به صورت بی‌کربنات و در مرحله بعد به صورت کلسیت در حفرات و شکافها ته‌نشین می‌شود. کلسیت نیز به خاطر آغشتگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)، رنگ زرد مایل به نارنجی و یا قهوه‌ای روشن به خود می‌گیرد.



شکل ۴-۵- الف) تصویر صحرایی از دگرسانی کلسیتی به صورت رگه‌ای، ب) تصویر میکروسکوپی از حضور کلسیت به صورت پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی (XPL)، Cal = کلسیت.

#### ۴-۴-۲- دگرسانی سیلیسی

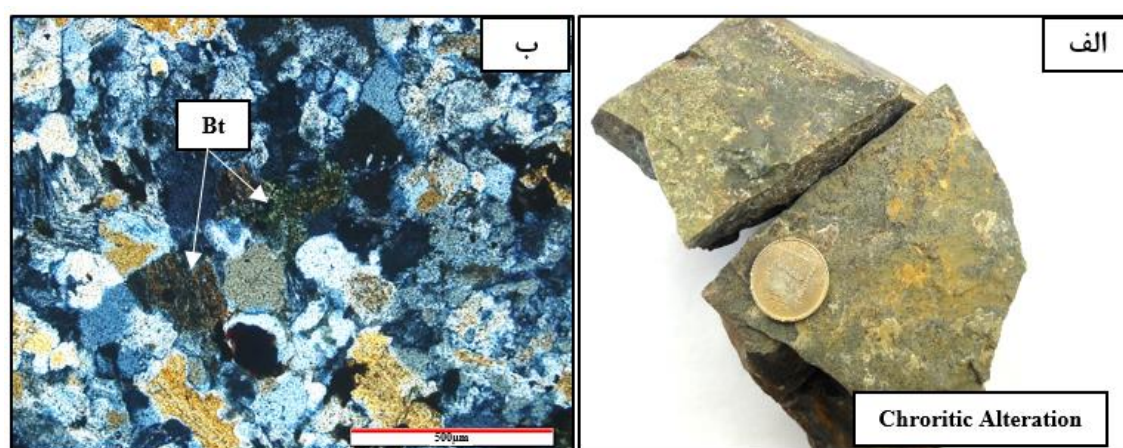
سیلیسی شدن یکی دیگر از انواع دگرسانی‌های گرمایی می‌باشد که با افزایش مقدار کوارتز و نیز دیگر اشکال سیلیس (اوپال، چرت و کلسدون) در سنگ همراه است (Piranjo, 1992). این دگرسانی در محدوده اکتشافی سطوح به شکل رگه-رگچه‌ای، سیلیسی شدن زمینه سنگ و پرکننده حفره‌ها و فضاهای خالی دیده می‌شود (شکل ۴-۶). این دگرسانی در آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) نمونه‌ها، به شکل کانی کوارتز مشخص شده است.



شکل ۴-۶- الف) تصویر نمونه‌دستی از رگه-رگچه‌های کوارتز، ب) تصویر میکروسکوپی از رگه سیلیسی (XPL)، Qz= کوارتز.

#### ۴-۴-۳- دگرسانی کلریتی

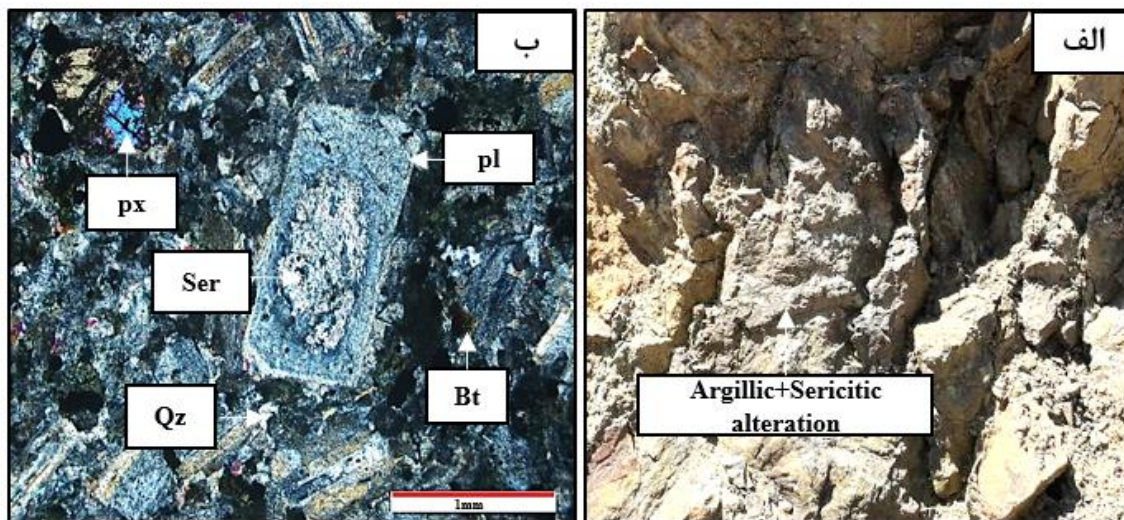
دگرسانی کلریتی نوعی دگرسانی پروپلیتی می‌باشد که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می‌شود و در پی این فرآیند سنگ ظاهری سبز رنگ به خود می‌گیرد (Gally, 2007). (شکل ۴-۸، الف) تصویر نمونه‌دستی این نوع دگرسانی است. طبق مطالعات میکروسکوپی، بر اثر دگرسانی کانی‌های مافیک نظیر کلینوپیروکسن و بیوتیت، که در حال تبدیل شدن به کلریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن می‌باشند، ایجاد شده‌اند. کلریت نیز به‌طور پراکنده در متن سنگ دیده می‌شود (شکل ۴-۷، ب).



شکل ۴-۷- الف) تصویر نمونه‌دستی از دگرسانی کلریتی، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی کانی بیوتیت به کلریت (XPL)، Bt= بیوتیت.

#### ۴-۴-۴- دگرسانی سریسیتی

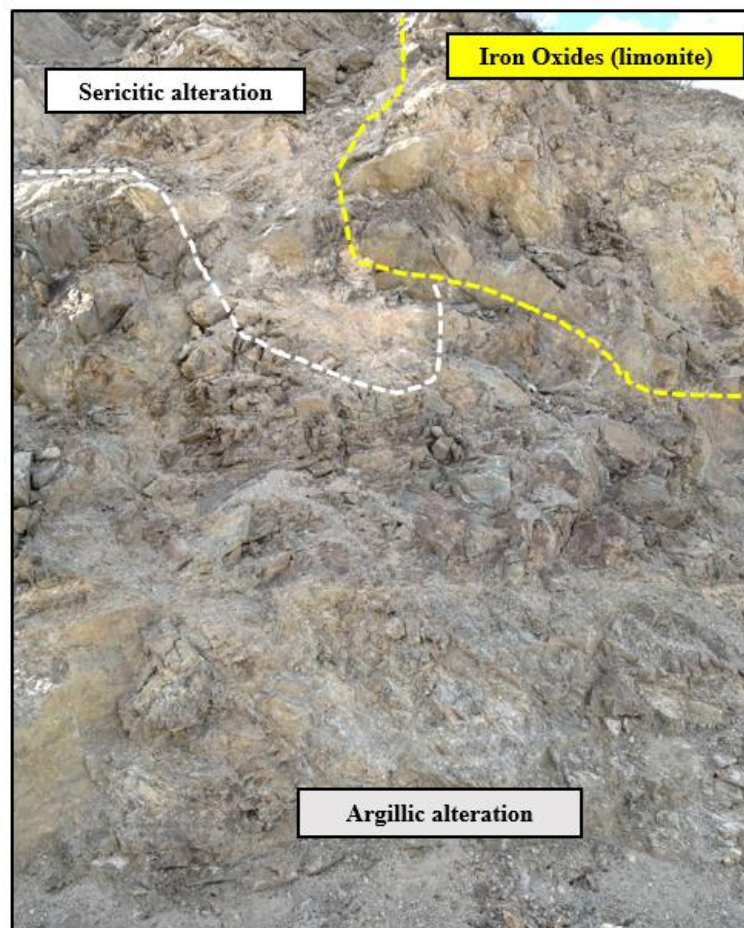
دگرسانی‌های سریسیتی در محدوده به رنگ سفید تا خاکستری مشاهده می‌شود (شکل ۴-۸، الف). این دگرسانی در نتیجه هجوم سیال گرمایی باعث بیرون رفتن کاتیون‌های Na، Ca و Mg و به‌جا ماندن کاتیون  $K^+$  در سامانه و در نهایت از بین رفتن بافت سنگ و شکل گرفتن سریسیت، کوارتز و سولفیدهایی مانند پیریت می‌شود که اعضای دانه‌ریز کانی مسکویت را سریسیت می‌نامند. رشد سریسیت نیاز به افزایش آب و  $K^+$  است و در حالتی گسترش پیدا می‌کند که محلول‌های سرشار از  $K^+$  موجود باشند. بدون تردید از منابع مهم  $K^+$ ، فرآیند کلریتی شدن بیوتیت است که در پی این فرآیند،  $K^+$  با سازنده آنورتیتی پلاژیوکلاز واکنش می‌دهد و  $Ca^{2+}$  آزاد می‌کند. بنابراین، بخش‌های غنی از An در پلاژیوکلازها به آسانی سریسیتی می‌شوند (شکل ۴-۸، ب). با پیشرفت دگرسانی گرمایی، سریسیت در کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات‌های آلکالن و نیز در قسمت شکستگی‌های آن تمرکز پیدا می‌کند (Pirajno, 1987).



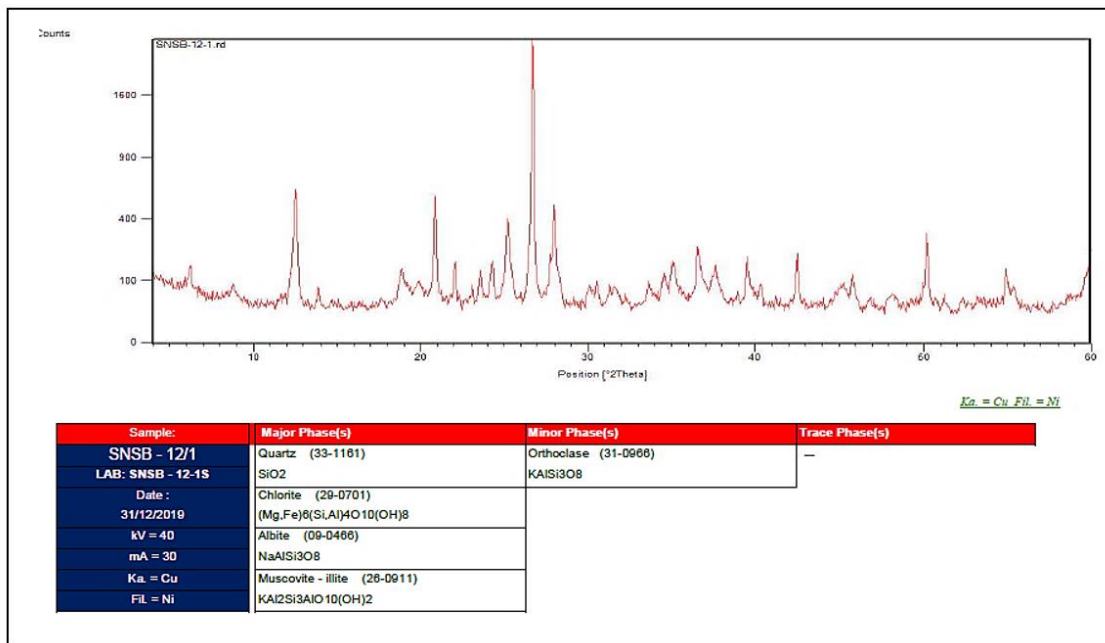
شکل ۴-۸- الف) تصویر صحرایی دگرسانی سریسیتی و آرژیلیتی، ب) تصویر میکروسکوپی از سریسیتی شدن پلاژیوکلازها (XPL)، Pl = پلاژیوکلاز، Bt = بیوتیت، Ser = سریسیت، Qz = کوارتز، Px = پیروکسن.

#### ۴-۴-۵- دگرسانی آرژیلیتی حدواسط

دگرسانی آرژیلیتی در شرایط اسیدی و با وجود آب بسیار در محیط تشکیل می‌شود. در این نوع دگرسانی کانی‌های سیلیکاته آلومینیم‌دار (پلاژیوکلاز و فلدسپات‌آلکالن) در محیط اسیدی هیدرولیز شده و کانی‌های رسی را به وجود می‌آورند. شکل (۴-۹)، تصویر صحرایی از دگرسانی آرژیلیتی در محدوده می‌باشد. برطبق نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) فاز اصلی این نوع دگرسانی مجموعه‌ای از کانی‌های کوارتز، مسکویت و ایلیت است که کانی‌های آلبیت، کلسیت، هماتیت و کلریت نیز کم‌وبیش همراه با آنها وجود دارند (شکل ۴-۱۰). وجود کانی‌های آلبیت و اورتوکلاز در نمونه‌های آنالیز شده بر شدت کم این نوع دگرسانی دلالت دارد. کانی مسکویت نیز بیشتر در اثر دگرسانی درشت‌بلورهای پلاژیوکلاز و فلدسپات‌آلکالن به وجود می‌آید که نشان از ورود پتاسیم به وسیله محلول‌های گرمایی به محیط است.



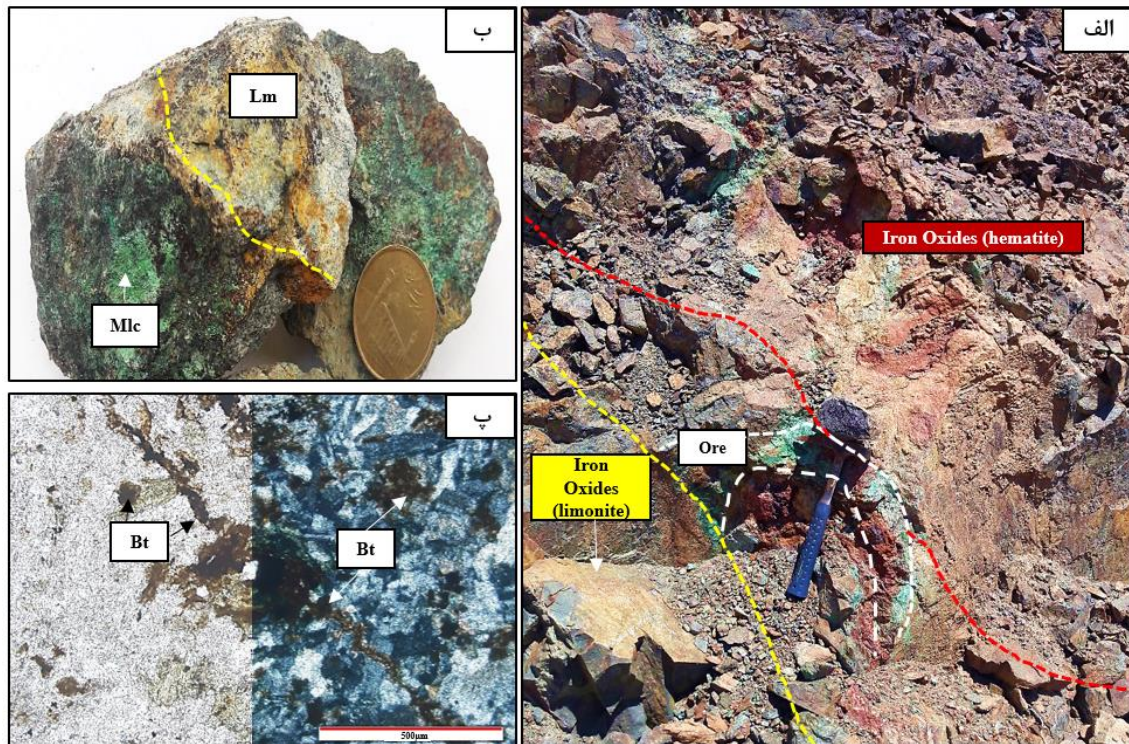
شکل ۴-۹- تصویر صحرایی از رخنمون دگرسانی آرژیلیتی حدواسط به همراه دگرسانی سریسیتی و اکسیدهای آهن (دید به سمت شمال غرب).



شکل ۴-۱۰- داده‌های حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) که کوارتز، کلریت، آلبیت، موسکویت و ایلیت به همراه کانی اورتوکلاز در آن مشخص شده است.

#### ۴-۴-۶- آغستگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)

آغستگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) به صورت گسترده در طول گسل‌ها و شکستگی‌های نزدیک رگه‌های کانال دار و ترانشه‌ها دیده می‌شود (شکل ۴-۱۱، الف و ب). در جاهایی که تراکم شکستگی‌ها و ساختارهای تکتونیکی در محدوده بالا بوده، آغستگی به اکسیدهای آهن نیز بیشتر اتفاق افتاده است و این به علت وجود جریان سیالی است که کانی‌های سولفیدی اولیه (به خصوص پیریت و کالکوپیریت) را تجزیه کرده و ترکیبات اکسید آهن را درون درزه و شکاف‌های سنگ‌ها به جای گذاشته است (شکل ۴-۱۱، پ).

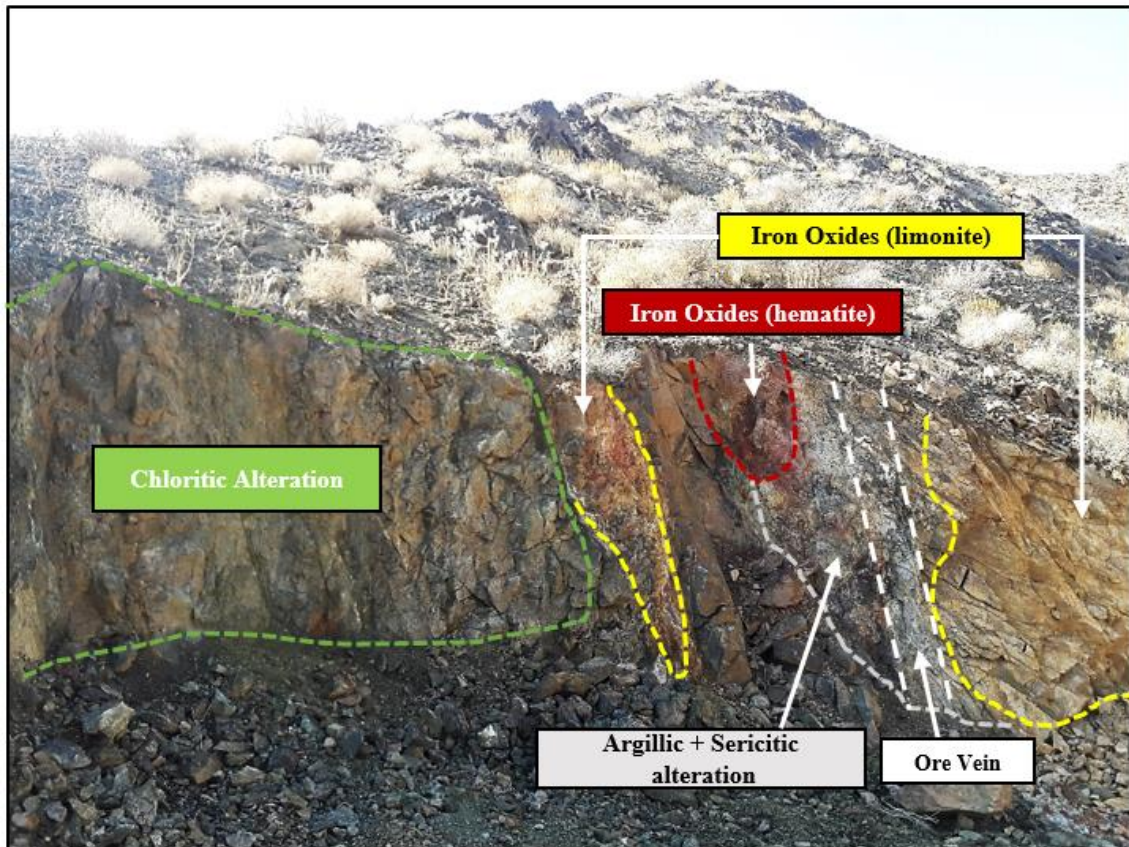


شکل ۴-۱۱- الف) حضور اکسیدهای آهن در امتداد شکستگی‌ها و گسل‌های مجاور رگه‌های کانهدار، ب) آغستگی به اکسیدهای آهن در نمونه‌دستی گرانودیوریتی، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی بیوتیت که به اکسید آهن تبدیل شده است (تصویر سمت راست XPL و تصویر سمت چپ PPL)، Bt= بیوتیت.

#### ۴-۵- اهمیت و کاربرد مطالعات پهنه‌های دگرسانی

از راه‌های شناسایی فرآیندهای مرتبط با نحوه تشکیل کانسار که موجب پیشرفت در تکنیک‌های اکتشافی می‌شود، فرآیندهای دگرسانی است که همراه با کانهازایی هستند (Lentz, 1994). مناسب‌ترین، ساده‌ترین و ارزان‌ترین وسیله در اکتشاف مواد معدنی دگرسانی می‌باشد. با اشاره به مطالب بیان شده در قسمت‌های پیشین، گسترش و شدت دگرسانی‌های سریسیتی، آرژیلیتی حد واسط و اکسیدهای آهن با نزدیک شدن به رگه‌ها در ارتباط با گسل‌ها، شکستگی‌ها و فضاها خالی افزایش قابل توجه‌ای داشته است. با توجه به این‌که، حضور گسل‌های متعدد با روندهای متفاوت در منطقه، فضا را برای حرکت محلول‌های گرمابی و تشکیل دگرسانی و همچنین کانهازایی به‌وجود آورده‌اند. باید اشاره کرد که این دگرسانی‌ها، معمول‌ترین دگرسانی‌های مربوط با کانهازایی در اطراف رگه معدنی هستند. با ادامه فرآیند دگرسانی، کربناتی شدن (با چیرگی کلسیت) و سیلیسی شدن که به‌صورت رگه-رگچه‌ای، پرکننده

فضاهای خالی و در زمینه سنگ دیده می‌شود. با فاصله گرفتن از رگه‌های کانهدار، دگرسانی کلریتی دگرسانی غالب خواهد بود (شکل ۴-۱۲).



شکل ۴-۱۲- تصویر صحرایی از پهنه‌بندی دگرسانی‌ها در مجاور رگه کانهدار (دید به سمت شمال غرب).

## فصل پنجم

کافی شناسی، ساخت، بافت و توالی پارازیتیک کافی ها

## ۵-۱- مقدمه

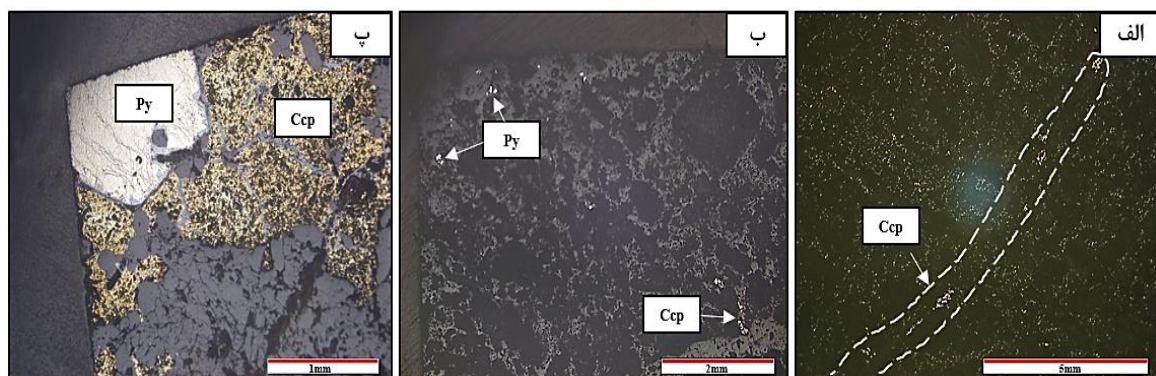
هدف از شناسایی کانی‌های تشکیل‌دهنده یک ذخیره معدنی و نیز مطالعات ساختی و بافتی آنها، بررسی شرایط و نحوه تشکیل کانسار، تغییرات پاراژنز در مراحل تبلور و همچنین تعیین تعداد مراحل کانی‌سازی در هر منطقه می‌باشد. علاوه بر این، مطالعه کانی‌های تشکیل‌دهنده یک کانسار و رابطه بافتی بین آنها اهمیت به‌سزایی در اکتشاف، استخراج و فرآوری ماده معدنی دارد. بنابراین، طی بازدیدهای صحرائی، نمونه‌هایی از قسمت‌های مختلف کانه‌زایی و سنگ دربرگیرنده آنها همراه با مختصات جغرافیایی و براساس تنوع سنگ‌شناسی جمع‌آوری شد که در نتیجه، ۱۱ مقطع نازک و ۱۱ مقطع صیقلی تهیه و مطالعه شد. همچنین، به‌دلیل قابل تشخیص نبودن یا در میدان دید قرار نگرفتن برخی از کانی‌ها در زیر میکروسکوپ ۱۵ نمونه نیز برای آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) در آزمایشگاه شرکت مواد معدنی زرازا انجام گرفت. در این فصل ابتدا کانی‌شناسی و در ادامه انواع ساخت و بافت‌های کانسنگ مس و نیز توالی پاراژنتیک آن‌ها شرح داده می‌شود.

## ۵-۲- کانی‌شناسی

مطالعه کانی‌شناسی و پاراژنز کانی‌ها، اطلاعات مفیدی در رابطه با خصوصیات محیط تشکیل هر کانسار در اختیار قرار می‌دهد و رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار نشان‌دهنده ویژگی‌های تشکیل‌دهنده آن کانسار می‌باشد (Graig and Vaughan, 1994). بنابراین برطبق مطالعه مقاطع صیقلی و نیز نتایج آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD)، کانی‌های مشخص شده در محدوده اکتشافی سطوه، در چهار مجموعه کانیایی از جمله کانی‌های سولفیدی (کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت و کالکوسیت)، کربناتی (مالاکیت و آزوریت)، اکسیدی و هیدروکسیدی (هماتیت، مگنتیت، گوتیت و لیمونیت) و کانی‌های باطله (کوارتز، کلسیت) قرار می‌گیرند که که به‌طور اولیه (هیپوژن)، ثانویه (سوپرژن) و یا در اثر فرآیند هوازدگی ایجاد شده‌اند، که در ادامه ویژگی‌های کانی‌های موجود در محدوده مورد مطالعه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۵-۲-۱- کانی‌های سولفیدی

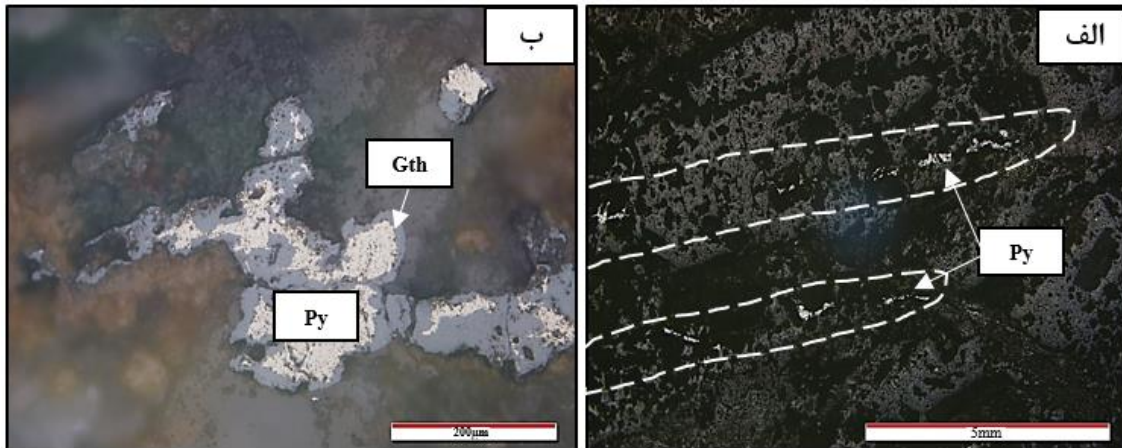
- **کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ ):** کالکوپیریت از مهم‌ترین و فراوان‌ترین کانه‌های اولیه مس می‌باشد، که رنگ آن به طلا بسیار شبیه است، اما کالکوپیریت سخت‌تر، دارای چگالی کم و نیز خط اثر سیاه مایل به سبز تیره می‌باشد، که در مقاطع صیقلی به رنگ زرد برنجی با انعکاس بالا و آنیزوتروپی ضعیف مشخص می‌شود. این کانه در بعضی مقاطع میکروسکوپی به صورت رگچه‌ای دیده می‌شود. همچنین این کانه به همراه پیریت به‌طور اولیه و به شکل دانه‌پراکنده رشد پیدا کرده است. در بعضی نمونه‌ها نیز کانی کالکوپیریت همراه با پیریت دیده می‌شود که گویای رشد همزمان این کانی‌ها از سیال است (شکل ۵-۱، الف، ب و پ). علاوه بر این، کالکوپیریت در بخش سطحی محدوده اکتشافی سطوح خیلی کم یافت می‌شود و به کانی‌های ثانویه مس شامل کالکوسیت، مالاکیت و اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت) بر اثر هوازدگی و نیز فرآیندهای برونزاد (سوپرژن) بعدی، در طول شکستگی‌ها تبدیل شده است که نشان دهنده تغییر شرایط محیط از احیایی به اکسیدان است.



شکل ۵-۱- الف) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت به صورت رگه‌ای (PPL)، ب) تصویر میکروسکوپی کالکوپیریت و پیریت به صورت دانه‌پراکنده (PPL)، پ) تصویری از کالکوپیریت همراه با پیریت (PPL)، Ccp = کالکوپیریت، Py = پیریت.

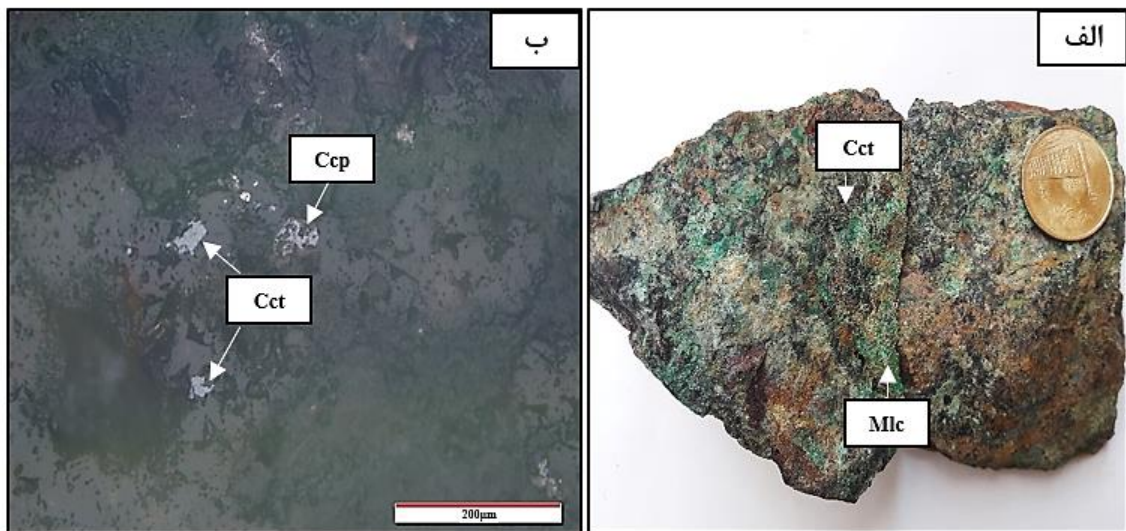
- **پیریت ( $\text{FeS}_2$ ):** پیریت گسترده‌ترین و فراوان‌ترین کانی سولفیدی در پوسته زمین می‌باشد، که در مقاطع صیقلی به رنگ سفید متمایل به زرد است و نیز انعکاس بسیار بالایی دارد. این کانی در مقاطع میکروسکوپی، به شکل بلورهای شکل‌دار تا نیمه‌شکل‌دار، پراکنده و دانه‌ریز و نیز به صورت رگچه‌ای مشاهده می‌شود (شکل ۵-۲، الف). با اشاره به این که پیریت از فراوان‌ترین کانی‌ها در بیشتر مراحل کانه‌زایی می‌باشد، در بعضی مقاطع این کانی را می‌توان به‌طور هم‌رشد با کالکوپیریت مشاهده کرد (شکل ۵-۲).

۱، پ). همچنین پیریت بر اثر فرآیندهای برونزاد، از حاشیه‌ها بلورها و محل شکستگی‌ها به اکسید و هیدروکسیدهای آهن (گوتیت) تبدیل شده است (شکل ۵-۲، ب). حضور گوتیت و هماتیت نشان‌دهنده این سولفید و نیز راهنمای مشخصی برای کانسنگ‌ها می‌باشد.



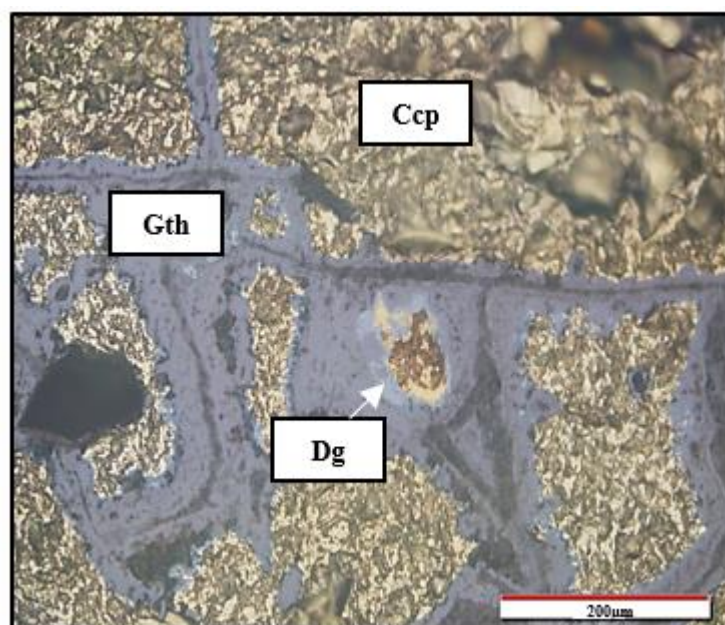
شکل ۵-۲- الف) تصویر میکروسکوپی پیریت به صورت رگه‌ای (PPL)، ب) جانشینی پیریت به وسیله گوتیت (PPL)،  
Py = پیریت، Gth = گوتیت.

**کالکوسیت ( $\text{Cu}_2\text{S}$ ):** کالکوسیت در نمونه‌دستی به رنگ خاکستری مایل به سیاه تا سیاه مشاهده می‌شود (شکل ۵-۳، الف). این کانه در زیر میکروسکوپ غالباً به صورت بی‌شکل و به رنگ سفید خاکستری مایل به آبی مشاهده می‌شود. کالکوسیت در نتیجه فرآیندهای برونزاد (سوپرژن) از جانشینی کانی‌های سولفیدی اولیه نظیر کالکوپیریت، شکل گرفته است (شکل ۵-۳، ب). این کانه بیشتر در کانسارهای اپی‌ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن به وجود می‌آید (Mashal et al, 2004).



شکل ۳-۵- الف) تصویر نمونه دستی از کانه کالکوسیت، ب) تصویر میکروسکوپی از جانشینی کانه کالکوپیریت به وسیله کالکوسیت (PPL). Cct = کالکوسیت، Ccp = کالکوپیریت، Mlc = ملاکیت.

دیژنیت ( $Cu_9S_5$ ): در مقاطع صیقلی این کانه دارای رنگ مایل به آبی با انعکاس پایین است که در محدوده مورد مطالعه فراوانی کمی دارد و به صورت جانشینی در اطراف کالکوپیریت دیده می شود (شکل ۴-۵).

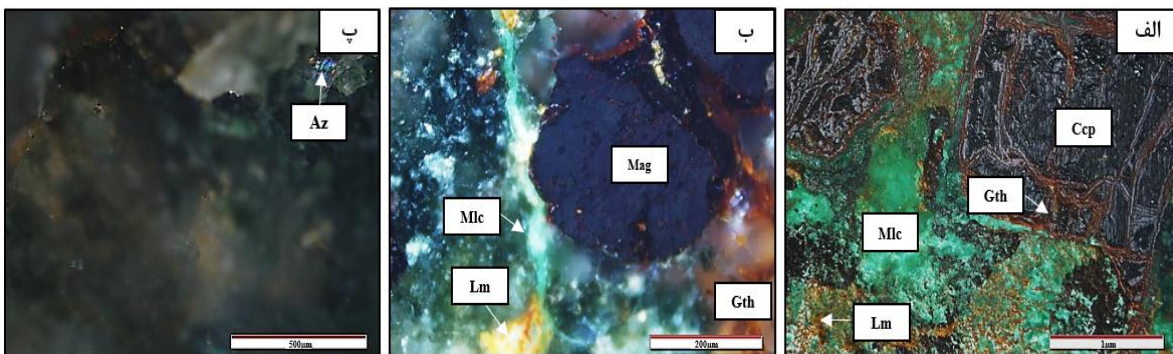


شکل ۴-۵- جانشینی کالکوپیریت به وسیله دیژنیت و گوتیت (PPL)، Ccp = کالکوپیریت، Dg = دیژنیت، Gth = گوتیت.

## ۵-۲-۲- کانی‌های کربناته مس

**مالاکیت** ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ): مالاکیت فراوانترین و مهم‌ترین کانی کربناته مس در محدوده می‌باشد و از کانی‌های ثانویه منطقه است که در اثر اکسیداسیون کانی‌های اولیه و سولفیدی مس تشکیل شده است و به همراه اکسیدهای آهن دیده می‌شود. این کانه در مقاطع صیقلی (PPL) به رنگ سبز تیره و در نور (XPL) با انعکاس داخلی سبز مشاهده می‌شود (شکل ۵-۵، الف). پیدایش ثانویه مالاکیت به احتمال زیاد ناشی از نفوذ سیالات جوی و اکسید شدن کانی‌های سولفیدی است که به همراه اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن به صورت رگه-رگچه‌ای و شکافه پرکن تشکیل شده است (شکل ۵-۵، ب).

**آزوریت** ( $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$ ): از دیگر کانی‌های کربناته مس آزوریت می‌باشد که به همراه مالاکیت از کانی‌های حاصل شده از تغییر ترکیبات اولیه مس در بخش اکسیداسیون می‌باشد و فراوانی کمی دارد (شکل ۵-۵، پ). آزوریت رنگ آبی لاجوردی و خط اثر آبی و روشن و نیز آنیزوتروپی قوی دارد.



شکل ۵-۵- الف) تصویر میکروسکوپی مالاکیت به صورت شکافه‌پرکن (PPL)، ب) تصویر میکروسکوپی مالاکیت با بافت رگه-رگچه‌ای (XPL)، پ) تصویر میکروسکوپی مقطع صیقلی از کانی آزوریت (XPL).  $\text{Mlc}$  = مالاکیت،  $\text{Ccp}$  = کالکوپیریت،  $\text{Gth}$  = گوتیت،  $\text{Lm}$  = لیمونیت،  $\text{Mag}$  = مگنتیت،  $\text{Az}$  = آزوریت.

## ۵-۲-۳- کانی‌های اکسیدی و هیدروکسیدی

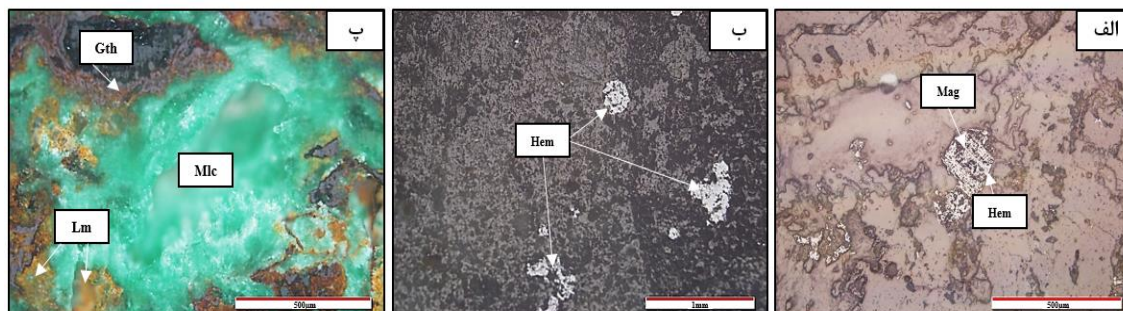
**مگنتیت** ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ): مگنتیت از کانه‌های اکسیدی و هیدروکسیدی موجود در محدوده مورد مطالعه است که در مقطع صیقلی به طور شکل دار تا نیمه شکل دار و به رنگ خاکستری مایل به قهوه‌ای تا سیاه دیده

می‌شود و بازتابش داخلی ندارد. هم‌چنین، مگنتیت به‌طور دانه‌پراکنده در واحدهای سنگی محدوده تشکیل شده است. علاوه بر این، در بعضی نمونه‌ها، کانی‌های مگنتیت از حاشیه در حال تبدیل شدن به کانی هماتیت است، که با این وجود در بعضی مقاطع لکه‌هایی از کانی مگنتیت در مرکز باقی مانده و یا این‌که به‌صورت کامل تبدیل به هماتیت شده است (مارتیتی شدن؛ شکل ۵-۶، الف)، که این پدیده نشان‌دهنده کانه‌زایی غیرهمزاد (اپی‌ژنتیک) در شرایط اکسیداسیون و هوازدگی است که کانه‌های اکسیدی آبدار، در پی نفوذ آب‌های سطحی و زیرزمینی به‌وجود می‌آیند (شیرنورد شیرازی و همکاران، ۱۳۸۹).

**هماتیت ( $Fe_2O_3$ ):** کانی هماتیت از فراوان‌ترین کانی‌های اکسیدی است که وجود اکسیژن برای تشکیل آن لازم است و این اکسیژن از طریق چرخش آب‌های جوی در قسمت اکسیدان کانسار فراهم می‌شود. کانی هماتیت معمولاً بر اثر اکسیداسیون و هم‌چنین تحت تأثیر محلول‌ها، از جانشینی کانی‌هایی مانند پیریت، کالکوپیریت و مگنتیت ایجاد شده است؛ به‌طوری که اکثراً این کانی‌ها به‌صورت کامل تبدیل به هماتیت شده‌اند. علاوه‌براین، هماتیت به‌شکل دانه‌پراکنده و پرکننده فضاهای خالی در محدوده معدنی نیز مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶، ب).

**گوتیت ( $FeO.OH$ ):** این کانی از پایدارترین و فراوان‌ترین کانی‌های هیدروکسیدی آهن در قسمت‌های سطحی و اکسیدان است که از هوازدگی یا دگرسانی کانی‌های آهن‌دار نظیر مگنتیت، پیریت، کالکوپیریت و هماتیت به‌وجود می‌آید. پدیده انحلال و اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی در بخش سطحی کانسار باعث خروج یون گوگرد آنها از محیط و برجای گذاشتن هیدرواکسیدهای آهن می‌شود. به‌علاوه، آهنی که در پیریت وجود دارد به‌طبع در ایجاد گوتیت نقش بالایی دارد (McCarroll et al, 2014؛ شکل ۵-۶، پ). وجود گوتیت نشان از نسبت اندک پیریت به کالکوپیریت، اسیدیتته پایین و نیز میزان سولفید کل پایین دارد (Sillitoe and Perello, 2005).

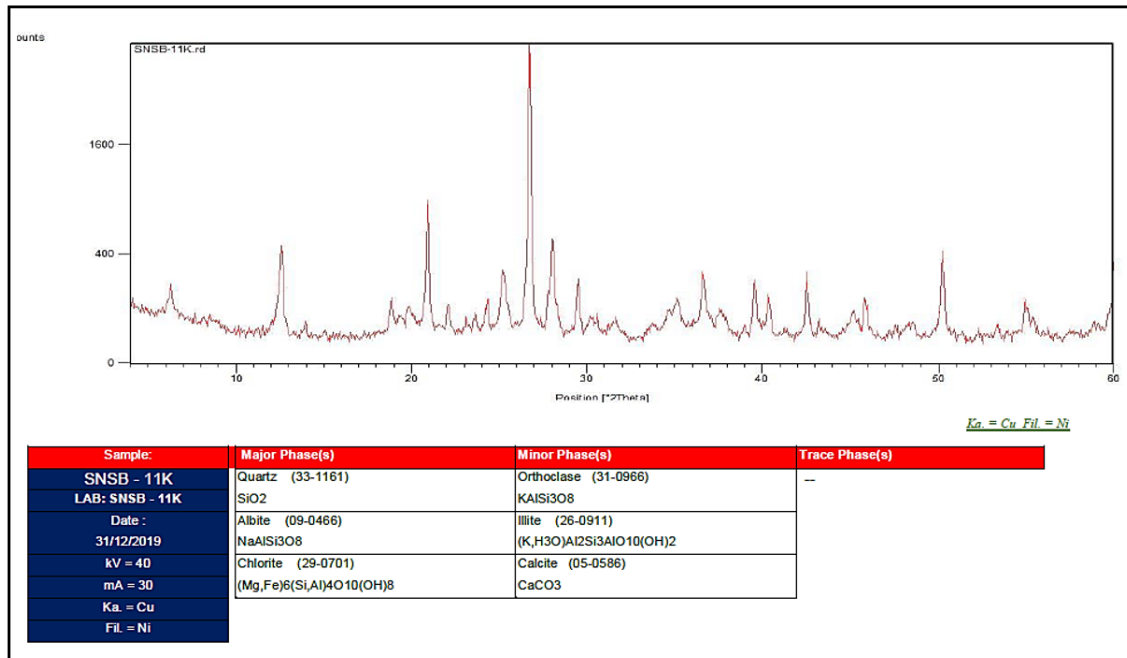
لیمونیت ( $\text{FeO.OH.nH}_2\text{O}$ ): لیمونیت کانی اکسید آهن آبدار و دارای رنگ زرد متمایل به قهوه‌ای می‌باشد، که بیشتر در بخش‌های اکسیدان و در قسمت‌های سطحی محدوده اکتشافی مس سطوح مشاهده می‌شود (شکل ۵-۶، پ). لیمونیت محصول پایانی دگرسانی و هوازدگی اکسیدها و سولفیدهای آهن از جمله هماتیت، مگنتیت و پیریت است.



شکل ۵-۶- الف) پدیده مارتیتی شدن و تبدیل مگنتیت به هماتیت (PPL)، ب) هماتیت به صورت دانه‌پراکنده (PPL)، پ) تصویر میکروسکوپی از کانی مالاکیت به همراه گوتیت و لیمونیت (PPL)، Mag = مگنتیت، Hem = هماتیت، Gth = گوتیت، Mlc = مالاکیت، Lm = لیمونیت.

#### ۵-۲-۴- کانی‌های باطله

کانی‌های باطله بخش بی‌ارزش یک کانسنگ می‌باشند که فاقد ارزش اقتصادی هستند اما لزوماً استخراج شده ولی سپس جدا و دور ریخته می‌شوند. در سال‌های گذشته به کانی‌های باطله در کنسارهای سولفیدی توجه بیشتری شده است، به دلیل اینکه زمین‌شناسان اقتصادی بر این باورند که بین کانه‌ها و کانی‌های باطله، رابطه زایشی وجود دارد (علیرضایی، ۱۳۸۹). در محدوده سطوح فراوان‌ترین کانی‌های باطله شامل؛ کوارتز، کلسیت و کانی‌های رسی می‌باشد که بر طبق نمونه‌های دستی، مقاطع میکروسکوپی و نیز آنالیزهای پراش پرتو ایکس (XRD) مشخص شده‌اند (شکل ۵-۷).



شکل ۵-۷- داده‌های حاصل از آنالیز پراش پرتو ایکس (XRD) که کوارتز و کلسیت به همراه کانی‌های آلپیت، ارتوکلاز، ایلپیت و کلریت در آن مشخص شده است.

**کوارتز (SiO<sub>2</sub>):** یکی از فراوان‌ترین کانی‌های غیرفلزی و کانی اصلی سیلیس است که در بیشتر کانسارها (به‌خصوص کانسارهای رگه‌ای) به مقدار زیاد دیده می‌شود. کوارتز در محدوده اکتشافی سطوح ندرتاً به شکل رگه‌ای دیده شده اما در بعضی قسمت‌ها به‌صورت توف سیلیسی شده گسترش دارد.

**کلسیت (CaCO<sub>3</sub>):** یکی از فراوان‌ترین کانی‌های باطله در محدوده می‌باشد که از دگرسانی پلاژیوکلازها و کانی‌های فرومنیزین کلسیم‌دار تشکیل شده است که به‌طور رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی دیده می‌شود.

### ۵-۳- ساخت و بافت کانی‌ها

بررسی ویژگی‌های ساخت و بافت در جهت تعیین ارتباط بین کانه‌های معدنی و سنگ میزبان و الگوی کانه‌زایی آنها در طول زمان اهمیت به‌سزایی دارد (کریم‌پور، ۱۳۸۱). بنابراین، از ساخت‌های موجود در محدوده می‌توان ساخت رگه‌ای، رگه-رگچه‌ای و پرکننده فضاهای خالی و همچنین از رایج‌ترین بافت‌ها

به بافت دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، جانشینی و کلوفرمی نام برد، که در ادامه به شرح ساخت و بافت‌های موجود در محدوده اکتشافی مس سطوح پرداخته می‌شود.

### ۵-۳-۱- ساخت<sup>۱</sup>

- **ساخت رگه‌ای و رگه-رگچه‌ای:** ساخت رگه‌ای و رگه-رگچه‌ای اصلی‌ترین ساخت دیده شده در محدوده مورد مطالعه است. این نوع ساخت، بعد از تشکیل سنگ میزبان و کانی‌سازی دانه‌پراکنده در محدوده تشکیل شده است که یک ساخت غیرهمزاد می‌باشد و گسل‌ها، درزه‌ها و شکستگی‌های موجود مهم‌ترین عوامل کنترل‌کننده این نوع ساخت هستند (شکل ۵-۸، الف). به عبارتی سیال کانه‌دار به وسیله این گسل‌ها و شکستگی‌ها به سمت بالا جریان یافته و اگر شرایط مناسب کانه‌زایی هم فراهم باشد، کانی‌هایی شامل؛ اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) و نیز کانی‌های کربناته مس (مالاکیت و آزوریت) را در امتداد آنها به وجود آورده است (شکل ۵-۸، ب). همچنین وجود رگه-رگچه‌های مالاکیت و آزوریت نشان از تحرک مس در محدوده دارد که بر اثر محلول‌های گرمایی ایجاد شده‌اند.

- **ساخت و بافت پرکننده فضاهای خالی<sup>۲</sup>:** محلول‌های ماگمایی یا گرمایی کانه‌دار حین عبور از گسل‌ها، درز و شکاف‌ها و یا فضاهای موجود در بین قطعات سنگ‌ها، کانه‌های خود را در صورت وجود شرایط مناسب برجای می‌گذارند و ساخ و بافت پرکننده فضاهای خالی را به وجود می‌آورند (Craig & Vaughan, 1981). این ساخت در محدوده اکتشافی مس سطوح در کانی‌هایی از قبیل کالکوپیریت، پیریت و مالاکیت، اکسید و هیدروکسیدهای آهن و کانی‌های باطله دیده می‌شود (شکل ۵-۸، پ و ۵-۹، ب).

<sup>1</sup> Structure

<sup>2</sup> Open space filling



شکل ۵-۸- الف) کانی سازی مالاکیت در امتداد گسل ، ب) تصویر نمونه دستی از ساخت رگه-رگچه ای، پ) تصویر نمونه دستی از حضور کانی مالاکیت به صورت پرکننده فضای خالی، Mlc = مالاکیت.

### ۵-۳-۲- بافت<sup>۱</sup>

- بافت رگه-رگچه ای<sup>۲</sup>: این بافت از رایج ترین بافت های دیده شده در محدوده اکتشافی سطوح است که در اثر حرکت سیال در امتداد گسل ها، درزه و شکستگی ها ایجاد شده است در نمونه های مطالعه شده کانی هایی که با این نوع بافت مشاهده شده اند شامل؛ پیریت، کالکوپیریت، مالاکیت، و نیز کوارتز، کلسیت و اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) می باشند (شکل ۵-۹، الف).

- بافت دانه پراکنده<sup>۳</sup>: این بافت در کانسارهای گرمابی به صورت کانی های پیریت و کالکوپیریت دیده می شود و نشان از تشکیل همزمان کانی ها در حین تشکیل سنگ میزبان (سین ژنتیک) دارد (شکل ۵-۹، پ).

- بافت جانشینی<sup>۴</sup>: جانشینی فرآیندی است که در طی واکنش های شیمیایی سطحی (دگرسانی و هوازدگی) یک کانی توسط کانی دیگر به وجود می آید، که جزء بافت های ثانویه می باشد. بدین سان رخ ها، شکستگی ها و حاشیه ذرات و مرز بین دانه ها از مکان های مناسب جهت آغاز این فرآیند به حساب می آیند. این بافت امکان دارد در طی فرآیندهایی شامل؛ انحلال و رسوب گذاری دوباره، اکسیداسیون و انتشار

<sup>1</sup> Texture

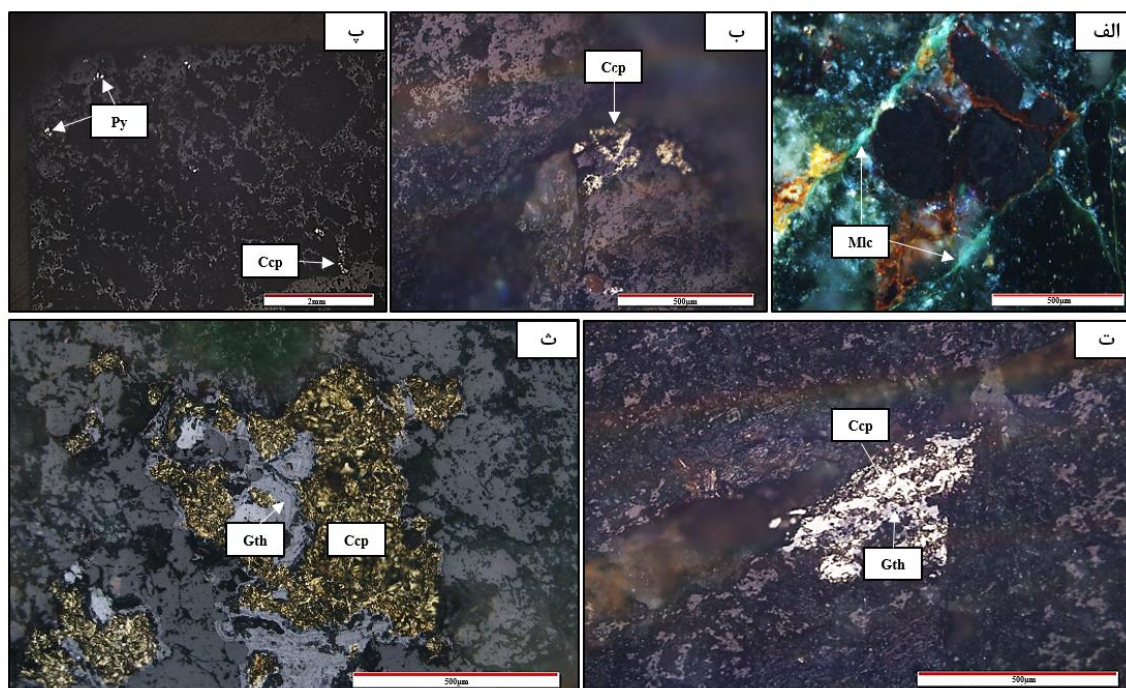
<sup>2</sup> Vein-Veinlet

<sup>3</sup> Disseminated

<sup>4</sup> Replacement

در حالت جامد ایجاد شود. در محدوده اکتشافی مس سطوح سولفیدهای فلزی از جمله پیریت و کالکوپیریت به اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده است (شکل ۵-۹، ت).

- **بافت کلورمی<sup>۱</sup>**: این بافت در قسمت سطحی محدوده اکتشافی مس سطوح که بر اثر اکسیداسیون کانی‌های سولفیدی نظیر پیریت و کالکوپیریت به گوتیت تبدیل شده‌اند تنها در یک نمونه مطالعه شده در محدوده اکتشافی سطوح مشاهده می‌شود (شکل ۵-۹، ت).



شکل ۵-۹- الف) تصویر میکروسکوپی از کانه‌زایی مالاکیت با بافت رگه-رگچه‌ای (XPL)، ب) تشکیل کالکوپیریت در حفره‌ها و فضاها خالی (PPL)، پ) تصویر میکروسکوپی از بافت دانه‌پراکنده (PPL)، ت) تصویر میکروسکوپی جانشینی گوتیت به جای کالکوپیریت (PPL)، ث) تصویر میکروسکوپی از بافت کلورمی گوتیت (PPL). علائم اختصاری عبارتند از: Malachite = Mlc، Calcopirite = Ccp، Pyrite = Py، گوتیت = Gth.

#### ۵-۴- توالی پاراژنتیک کانی‌ها

<sup>1</sup> Colloform

مجموعه‌ای از کانی‌ها و باطله‌های همراه، که با یکدیگر و در حال تعادل نسبت به همدیگر به وجود می‌آیند را پاراژنز<sup>۱</sup> می‌نامند و ترتیب مکانی و زمانی در تشکیل کانه‌ها را توالی پاراژنتیکی<sup>۲</sup> گویند. توالی پاراژنتیک گویای ترتیب یا تقدم و تأخر نهشته شدن کانی‌ها به شکل فازهای جدا از هم یا مجموعه کانی‌ها در یک کانسار می‌باشد (Bates and Jackson, 1980). بنابراین با مطالعه کانی‌شناسی، ساخت و بافت‌های دیده شده، می‌توان به دخالت چند مرحله‌ای سیال گرمابی در کانه‌زایی اشاره کرد. (۱) مرحله درونزاد (هیپوژن): نفوذ سیالات داغ کانه‌دار در داخل درزه و شکستگی‌ها و ته‌نشست کانی‌هایی شامل پیریت و کالکوپیریت، (۲) مرحله برونزاد (سوپرژن و هوازدگی): نفوذ آب‌های سرد جوی و ایجاد کانی‌های ثانویه شامل کالکوسیت، دیژنیت، مالاکیت، آزوریت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، لیمونیت و گوتیت). در توالی پاراژنتیک کانی‌سازی سولفیدی، پیریت اولین کانی ایجاد شده به‌سیله محلول‌های گرمابی در برخورد با کانی‌های مافیک (نظیر بیوتیت و پیروکسن) می‌باشد. در ادامه با افزایش غلظت مس، کانی کالکوپیریت تشکیل می‌شود. از سویی طی فرآیندهای سطحی نظیر فرآیندهای برونزاد (هوازدگی و سوپرژن) در محدوده بیشتر کانه‌زایی مس به‌صورت کربنات مس دیده می‌شود که گویای میزان تأثیر سیالات گرمابی بر روی کانه‌زایی است. فرآیندهای برونزاد در محدوده معدنی را می‌توان در دو مرحله سولفیدی و اکسیدی مورد بررسی قرار داد. در شرایط احیایی، برخورد سیالات جوی با کانی سولفیدی نظیر کالکوپیریت باعث تشکیل سولفیدهای ثانویه مس نظیر کالکوسیت و دیژنیت می‌شود. تخریب پیریت تحت شرایط اکسیدان در مجاورت با سیال جوی نقش مؤثری در شکل‌گیری سیال اسیدی و نیز گسترش زون اکسیدان در محدوده دارد. این سیال اسیدی باعث انحلال بیشتر پیریت و تشکیل کانی‌هایی نظیر مالاکیت و آزوریت به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) در درون درزه و شکاف‌های سنگ میزبان می‌شود. به‌عبارتی وجود اکسید و هیدروکسیدهای آهن در شرایط سطحی، گویای شرایط اکسیدی سیالات گرمابی می‌باشد (Tristá-Aguilera et al., 2006).

---

<sup>1</sup> Paragenesis

<sup>2</sup> Paragenetic sequence

این قسمت با توجه به مطالعات سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی و فرآیندهای مؤثر در تشکیل آنها در محدوده اکتشافی، محتمل‌ترین توالی پاراژنتیکی به قرار زیر می‌باشد (جدول ۵-۱).

جدول ۵-۱- توالی پاراژنتیک، ساخت و بافت کانی‌ها در محدوده اکتشافی سطوح.

Stages Minerals		Pre-mineralization	Hypogene	Supergene and Weathering	
				Reduction	Oxidation
Mineralization	Magnetite	_____			
	Pyrite		_____		
	Chalcopyrite		_____		
	Chalcocite			_____	
	Digenite			_____	
	Hematite				_____
	Malachite				_____
	Azurite				_____
	Goethite				_____
	Limonite				_____
					_____
Gangues	Quartz	_____	_____		
	Calcite		_____		_____
Textures	Vein-veinlets		_____		
	Disseminated		_____		
	Open space filling		_____	_____	
	Replacement		_____		_____
	Colloform			_____	_____

# فصل ششم

## مطالعات زمین شیمیایی

بررسی زمین‌شیمی سنگ‌ها، می‌تواند استانداردهای زمین‌شیمیایی معینی را به جهت مشخص کردن توده‌های مولد و عقیم ارائه دهد. هر سنگ را می‌توان به صورت یک سامانه شیمیایی در نظر گرفت، که در آن تغییرات شیمیایی توسط عوامل مختلفی روی می‌دهند. نشان دادن نحوه استفاده از داده‌های زمین‌شیمیایی برای تشخیص فرآیندهای زمین‌شناختی از هدف‌های اصلی این فصل می‌باشد. از آنجایی که تبلور و انجماد ماگما و ترکیب عناصر اصلی و جزئی یک مذاب از پدیده‌هایی تأثیر می‌پذیرد که صرفاً به کمک شواهد سنگ‌شناسی قابل درک نمی‌باشند، لذا استفاده از ترکیب شیمیایی سنگ‌هایی که بیشترین شباهت را به ماگمای والد خود دارند، ضروری به نظر می‌آید. در نتیجه برای شناخت تأثیرات شیمیایی این فرآیندها و به جهت درک فرآیندهای مؤثر در تغییر و تحول ماگما و نیز توزیع و پراکندگی عناصر در واحدهای سنگی منطقه و ارتباط و همبستگی این عناصر با یکدیگر، لازم است تا مطالعات زمین‌شیمیایی بر روی آنها انجام گیرد. از داده‌های ژئوشیمیایی برای تعیین نام سنگ‌های میزبان، سنگ منشاء و نیز ارتباط ژئوشیمیایی عناصر کانه‌ساز با یکدیگر و با سنگ منشاء استفاده می‌شود، که در ادامه به تفسیر نتیجه آنالیزهای صورت گرفته پرداخته می‌شود.

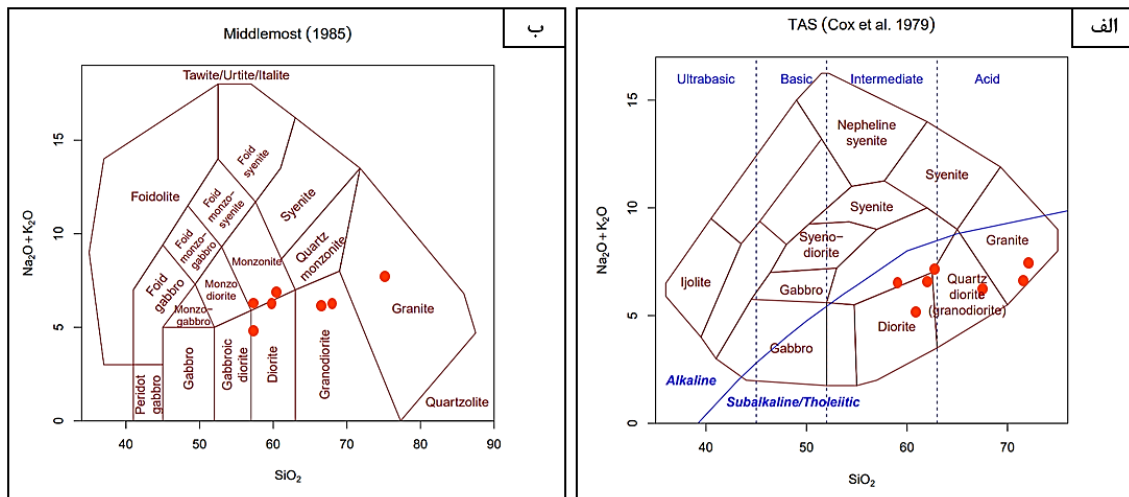
## ۶-۲- نمونه برداری و آنالیز نمونه‌ها

برای شناخت عناصر اصلی سنگ میزبان و نیز نحوه رخداد فرآیند کانه‌زایی در محدوده اکتشافی مس سطوه، طی چند مرحله بازدید صحرایی تعدادی نمونه از سنگ‌های دربرگیرنده و کانسنگ ماده معدنی با مختصات جغرافیایی و برطبق تنوع و تغییرات لیتولوژیکی انتخاب و برداشت شد. پس از مطالعات میکروسکوپی، تعداد ۷ نمونه جهت آنالیز XRF و ۱۶ نمونه آنالیز ICP-MS در آزمایشگاه مطالعات مواد معدنی زرآما مورد تجزیه شیمیایی قرار گرفتند. برای مشاهده جدول آنالیزها به پیوست شماره ۲ و ۳ مراجعه شود.

## ۳-۶- ژئوشیمی سنگ میزبان

### ۳-۶-۱- نامگذاری و طبقه‌بندی ژئوشیمیایی سنگ‌های منطقه

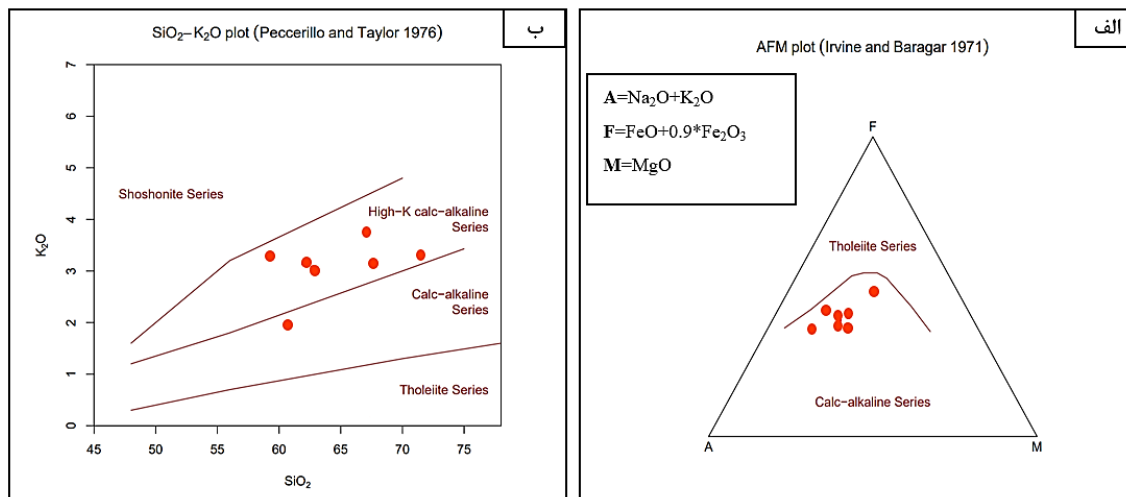
در طبقه‌بندی ژئوشیمیایی، درصد تعدادی از اکسیدها که نقش مهمی در ساخت کانی‌های اصلی سنگ دارند، مورد توجه می‌باشند، که از نمودار رده‌بندی ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) در مقابل  $\text{SiO}_2$  که یکی از انواع مهم این نمودارها می‌باشد استفاده می‌شود (Cox et al., 1979; Middlemost, 1985). قابل ذکر است که، محدوده‌های تعریف شده برای سنگ‌ها، امکان دارد اندکی تفاوت داشته باشند. در هر دو طبقه‌بندی نمونه‌های منطقه در محدوده ترکیبی دیوریت، کوارتز مونزونودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند. به‌علاوه، از ویژگی آشکار این نمودار، خط جداکننده‌ی محدوده آلکالن از ساب‌آلکالن/تولئیتی است که نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده ساب‌آلکالن/تولئیتی واقع شده‌اند (شکل ۳-۶-۱).



شکل ۳-۶-۱- نام‌گذاری شیمیایی سنگ‌های ساب‌ولکانیک منطقه در نمودارهای نسبت  $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}/\text{SiO}_2$  (الف) موقعیت نمونه‌های سنگی بر روی نمودار (Cox et al., 1979) که در محدوده دیوریت، کوارتز مونزونودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت می‌باشند. (ب) موقعیت نمونه‌های سنگی بر روی نمودار (Middlemost, 1985) که نمونه‌ها در محدوده دیوریت، کوارتز مونزونودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت قرار گرفته‌اند.

### ۳-۶-۲- تعیین سری ماگمایی سنگ‌های منطقه

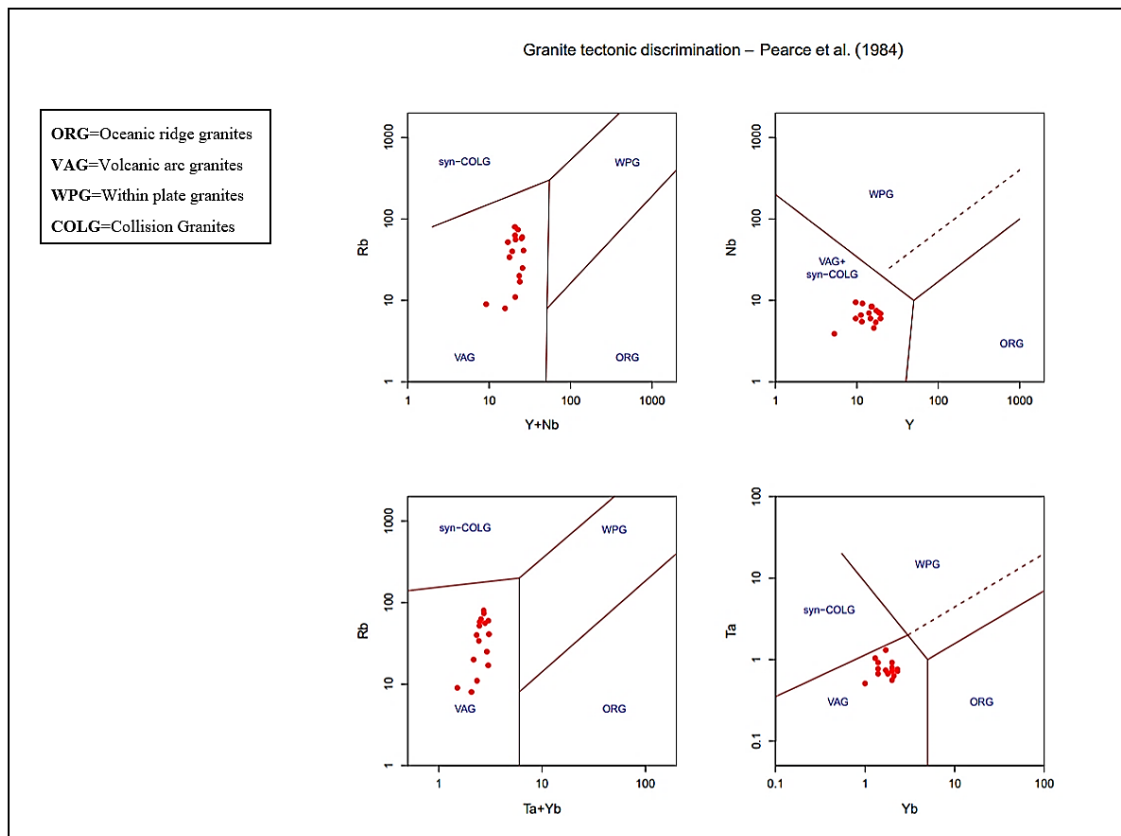
سنگ‌های مورد مطالعه برطبق نمودار (Irvine and Baragar, 1971) و همچنین نمودار  $K_2O$  در برابر  $SiO_2$  (Peccerillo and Taylor, 1976) در سری کالک‌آلکالن و و کالک‌آلکالن پتاسیم بالا قرار می‌گیرند (شکل ۲-۶).



شکل ۲-۶ الف) نمودار مثلثی تعیین سری ماگمایی AFM، که نمونه‌ها در سری کالک‌آلکالن قرار گرفته‌اند (Irvine and Baragar, 1971)، ب) نمودار تعیین سری ماگمایی در نمودار  $K_2O$  در برابر  $SiO_2$ ، که نمونه‌های مورد مطالعه بیشتر در سری کالک‌آلکالن پتاسیم بالا نمایان می‌باشند (Peccerillo and Taylor, 1976).

### ۳-۳-۶- جایگاه تکتونیکی سنگ‌های میزبان

محیط تکتونیکی، نوع ماگما را معین می‌کند و خود ماگما نیز تعیین کننده نوع کانه‌زایی می‌باشد. برای تعیین موقعیت تکتونیکی محدوده معدنی از نمودارهای (Pearce et al. 1984)، که بر اساس عناصر  $Rb-(Y+Nb)$ ،  $Nb-Y$ ،  $Rb-(Ta+Yb)$  و  $Ta-Yb$  می‌باشد، استفاده شده است. بنابراین بر طبق این نمودار سنگ‌های محدوده سطوه (کوارتز مونزودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) با ترکیب حدواسط تا اسیدی متعلق به قوس آتشفشانی (VAG) می‌باشند (شکل ۳-۶).



شکل ۶-۳- نمودارهای (Pearce et al., 1984) و موقعیت نمونه‌های مورد مطالعه در محدوده گرانیتوئیدهای قوس آتشفشانی (VAG).

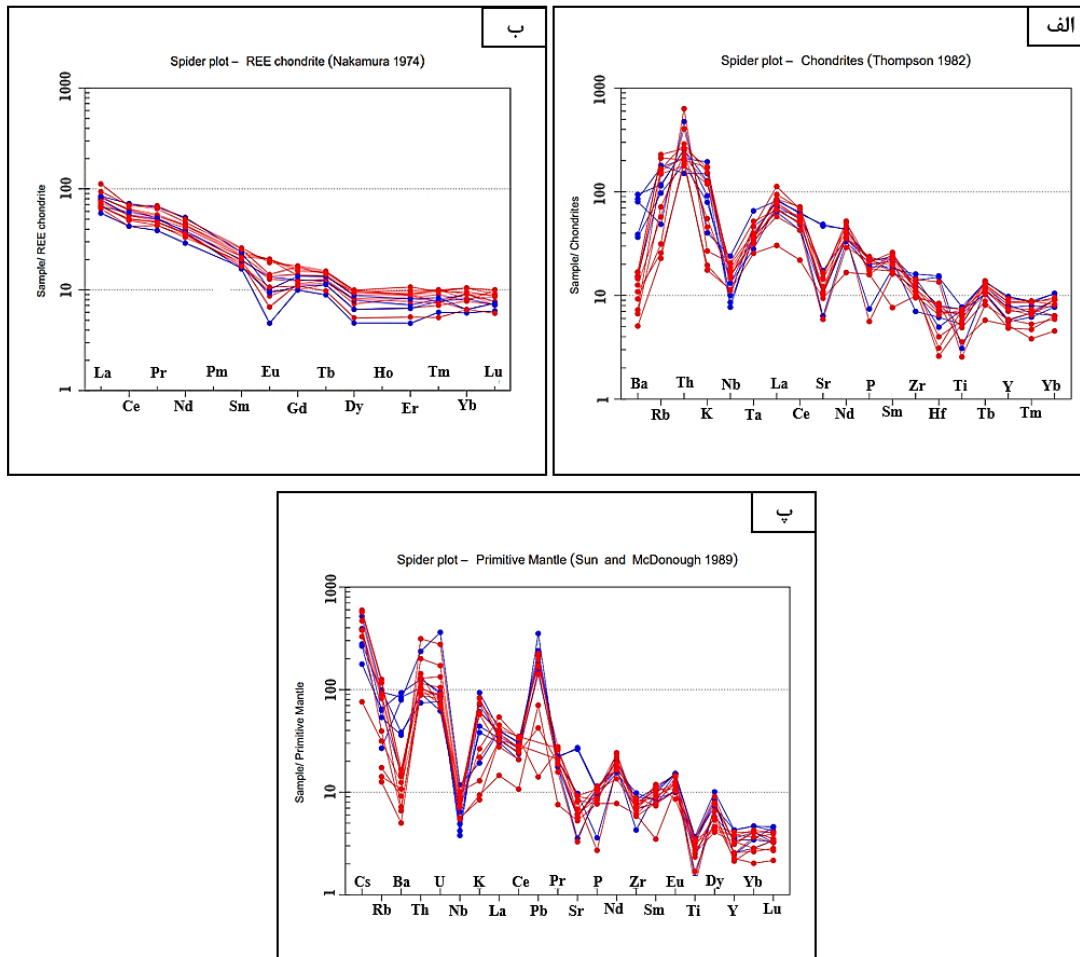
#### ۶-۴- زمین‌شیمی عناصر کمیاب و کمیاب‌خاکی

کانسارهایی که به‌وسیله سامانه‌های گرمایی ایجاد می‌شوند دارای ترکیباتی از عناصر کمیاب بوده که منعکس‌کننده شرایط حمل و ته‌نشینی توسط محلول‌های گرمایی هستند. این عناصر کمیاب به دو گروه تقسیم می‌شوند؛ LILE (عناصر لیتوفیل بزرگ‌یون، مانند Pb, Rb, Cs, Sr, Ba, K, Eu<sup>2+</sup> و Pb<sup>2+</sup>) و HFSE (عناصر با شدت میدان قوی، مانند U, Ta, Nb, Th, Zr, Ce و Ti)، (منصوری، ۱۳۹۰). عناصر نادرخاکی (REE) تحرک پایینی در طی فرآیندهای هوازدگی، دگرگونی درجه پایین و دگرسانی گرمایی دارند. بنابراین کاربرد بسیاری به‌جهت تعیین منشأ کانسارهای آذرین، دگرگونی و رسوبی دارند (Rollinson, 2014). کانسارهایی که به‌وسیله سامانه‌های گرمایی ایجاد می‌شوند شامل ترکیباتی از عناصر کمیاب می‌باشند که منعکس‌کننده شرایط حمل و ته‌نشینی توسط محلول‌های گرمایی هستند.

عناصر نادرخاکی (REE) شامل؛ عناصر نادرخاکی سبک (LREE) با عدد اتمی پایین، عناصر نادر خاکی متوسط (MREE) با عدد اتمی متوسط و عناصر نادرخاکی سنگین (HREE) با عدد اتمی بالا می‌باشند. برای مطالعه تغییرات زمین‌شیمی عناصر نادرخاکی در محدوده، تعداد ۱۶ نمونه از سنگ درونگیر و کانسنگ ماده معدنی به روش ICP-MS آنالیز شد که در ادامه توضیح داده می‌شود.

الگوی پراکندگی عناصر نادرخاکی و کمیاب کاربرد بسیاری در تفسیر تاریخچه تشکیل و ژنز کانسارها دارد (Lottmoser, 1992). برای شناخت ویژگی‌های ژئوشیمیایی سنگ‌های محدوده اکتشافی سطوه، از نمودارهای به‌هنجار شده مربوط به عناصر نادرخاکی و نمودارهای عنکبوتی نسبت به کندریت و گوشته اولیه استفاده شد. از این رو، بر پایه داده‌های به‌هنجار شده نسبت به کندریت (Tampson, 1982)، عناصر Rb، K و Th غنی‌شدگی و عناصر Ti و Nb، تهی‌شدگی از خود نشان می‌دهند (شکل ۶-۴، الف). غنی‌شدگی عناصر Rb، K و Th نشان‌دهنده آغشتگی ماگمای اولیه با پوسته می‌باشد. عناصر Ti و Nb در ورقه پوسته‌ای به‌صورت محدود وجود دارند و آرایش مواد آتشفشانی با ورقه پوسته‌ای، این عناصر را در سطوح بالاتر آشکار می‌سازد. بدین ترتیب روند تغییرات این نمونه‌ها نشان‌دهنده محیط کمان ماگمایی است (Cabrul and beaudion, 2007; Mehrabi et al., 2012). با توجه به نمودار به‌هنجار شده عناصر نادر خاکی (REE) سنگ‌های منطقه نسبت به کندریت (Nakamura, 1974)، از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) به طرف عناصر نادر خاکی سنگین (HREE)، نسبت شیب عناصر رو به کاهش می‌باشد. قابل ذکر است که، این امر از ویژگی‌های ماگمای کالک‌آلکانل است (بهرام‌پور، ۱۳۹۳؛ شکل ۶-۴، ب). بی-هنجاری منفی Eu در سنگ‌های منطقه نیز بیانگر جدایش پلاژیوکلاز از مذاب در اعماق طی فرآیند تفریق و یا منشاء گرفتن از عمقی باشد که فلدسپار وجود ندارد و همچنین فوگاسیته اکسیژن در محیط تبلور ماگما بالا باشد (Weaver and Tarney, 1984). در نهایت پس از بررسی داده‌ها در نمودارهای به‌هنجار شده نسبت به کندریت، به‌منظور بررسی بیشتر انطباق کلیه داده‌ها در الگوی تغییرات عناصر کمیاب، نمودار به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) مورد استفاده قرار گرفت. در این نمودار عناصر REE، HFSE و LILE برطبق افزایش سازگاری با گوشته اولیه از چپ به

راست در عرض نمودار قرار گرفته‌اند. این نمودار نسبت به عناصری مانند K، Th، U، Sr، Cs و Pb غنی‌شدگی نشان می‌دهند که بنا به نظر Davidson (1996)، این غنی‌شدگی، ناشی از آلودگی گوه گوشته‌ای به رسوبات و مواد سطحی از طریق پوسته اقیانوسی فرورونده بوده است. چرا که در مناطق فرورانش سیالات آزاد شده از لیتوسفر فرورونده که از LILE غنی هستند، به گوه گوشته‌ای افزوده می‌شوند (یوسفی، ۱۳۹۶). قابل ذکر است که غنی‌شدگی از عناصر Sr، Pb و K حاکی از منشاء گرفتن از گوشته غنی‌شده در نرخ ذوب کم و دخالت پوسته قاره‌ای در تکوین ماگمای مولد سنگ‌های منطقه است. هم‌چنین، غنی‌شدگی این سنگ‌ها نسبت به Cs نشانه متاسوماتیسم منشاء در اثر سیال‌های آزاد شده از لیتوسفر اقیانوسی در حال فرورانش است. این نمودار نیز از عناصر Nb، P، Ti و Ba تهی‌شدگی قابل توجهی را نشان می‌دهد که با توجه به عدم شرکت Nb و Ti در فرآیندهای مربوط به ذوب‌بخشی، ماگمای تولید شده در گوه گوشته‌ای، نسبت به این عناصر تهی‌شدگی دیده می‌شود و از ویژگی‌های حاشیه قاره‌ای می‌باشد. معمولاً بلورهای هورنبلند، اکسیدهای آهن و مگنتیت و نیز آپاتیت این عناصر را در خود جای می‌دهند و جدایش آنها از مذاب، این تهی‌شدگی‌ها را به وجود می‌آورد (غفاری، ۱۳۸۹). در نهایت با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که منشاء ماگمای سازنده سنگ‌ها از ذوب‌بخشی گوه گوشته‌ای واقع در بالای ورقه اقیانوسی فرورونده و تا حدودی متاسوماتیسم شده تحت تأثیر محلول‌های آزاد شده از لیتوسفر فرورونده در پهنه‌های فرورانش است که ضمن تبلور تفریقی، با عبور از پوسته قاره‌ای تا حدودی متحمل آرایش پوسته‌ای شده است (شکل ۴-۶، پ).



شکل ۶-۴-الف) نمودار عنکبوتی غلظت عناصر کمیاب به‌هنگار شده نسبت به ترکیب شکنه‌های کندریتی (Thompson, 1982)، ب) نمودار عنکبوتی غلظت عناصر نادر خاکی به‌هنگار شده نسبت به کندریت‌ها (Nakamura, 1974) که نشان‌دهنده غنی‌شدگی LREE و الگوی تقریباً مسطح HREE. پ) نمودار عنکبوتی غلظت عناصر کمیاب به‌هنگار شده نسبت به ترکیب گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989).

### ۶-۵- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمی بین عناصر

از ضریب همبستگی برای شناخت ارتباط بین عناصر مختلف به‌جهت تفسیر درست داده‌های زمین-شیمیایی و نیز درک بهتر شرایط محیطی و کانه‌زایی استفاده می‌شود. بدین جهت ضریب همبستگی پیرسون برای تعیین همبستگی بین عناصر در محدوده به‌کار می‌رود. مقادیر این ضریب بین ۱ تا -۱ تغییر می‌کند. اعداد  $+0/5$  تا صفر و  $-0/5$  تا صفر نشان از همبستگی‌های ضعیف و نیز عدم همبستگی بین عناصر دارد. بنابراین، ضریب همبستگی پیرسون با استفاده از نرم‌افزار SPSS در نمونه‌های معدنی محدوده اکتشافی مس سطوح انجام گرفت که نتایج آن در جدول (۶-۱) بیان شده است.

جدول ۶-۱- ضریب همبستگی بین بعضی از عناصر به روش پیرسون (Pearson) در نمونه‌های محدوده اکتشافی سطوح.

Ag	1												
As	-0.037	1											
Co	-0.092	0.123	1										
Cu	0.675	-0.146	-0.305	1									
Fe	-0.045	-0.225	0.619	-0.053	1								
Li	0.162	0.041	0.591	0.101	0.667	1							
Mn	-0.031	0.209	0.513	-0.097	0.752	0.694	1						
Ni	-0.017	-0.197	0.815	-0.137	0.894	0.683	0.533	1					
Pb	-0.212	0.082	0.671	-0.241	0.230	0.430	0.463	0.459	1				
S	0.048	-0.232	0.542	0.030	0.204	0.383	0.130	0.433	0.560	1			
Sb	-0.238	0.481	0.041	-0.062	0.161	-0.038	0.136	0.031	-0.064	-0.128	1		
Ti	-0.398	0.071	0.806	-0.360	0.701	0.596	0.507	0.872	0.488	0.442	0.122	1	
Zn	-0.151	0.012	0.771	-0.036	0.809	0.723	0.707	0.759	0.502	0.695	0.051	0.619	1
	Ag	As	Co	Cu	Fe	Li	Mn	Ni	Pb	S	Sb	Ti	Zn

با توجه به این که محدوده اکتشافی سطوح بیشتر به عنوان یک کانسار مس شناخته شده است، اما این عنصر همبستگی بالایی با فلزاتی نظیر Ag ( $r=0/675$ ) دارد. از آنجایی که Ag به تنهایی کانی خاصی را تشکیل نداده است؛ بنابراین انتظار می‌رود که در شبکه کانی‌های دیگر از جمله کالکوپریت و کالکوسیت قرار بگیرد، به دلیل این که میزان خوبی برای این عنصر به‌شمار می‌روند. ذکر این نکته ضروری است که همراه بودن مس با نقره نشان‌دهنده پایین بودن فشار مؤثر گوگرد است. مطالعه توزیع و پراکندگی و نیز محاسبه ضریب همبستگی عناصر نشان می‌دهد که مس همبستگی منفی با عناصر Zn، Fe، Pb و Ti دارد. از سویی Fe با Zn ( $r=0/809$ )، Mn ( $r=0/752$ )، Li ( $r=0/667$ )، Ti ( $r=0/701$ )، Ni ( $r=0/894$ ) و Co ( $r=0/667$ ) دارای همبستگی مثبت بالایی است. افزایش Mn نشان‌دهنده این است که این عنصر به جهت تشابه خواص زمین‌شیمیایی با آهن، در ترکیبات اسیدی جانشین آهن می‌شود. همچنین همبستگی ضعیف Fe با S نیز می‌تواند به دلیل تبدیل کانی‌های سولفیدی به اکسید آهن باشد. همبستگی منفی Fe و Cu ( $r=-0/053$ ) به تغییرات pH و Eh در محیط دارد، زیرا مس در شرایط اکسیدان و pH متوسط تا پایین، قابلیت انحلال بسیاری دارد، در صورتی که آهن در این شرایط قابلیت انحلال کمتری دارد. همبستگی مثبت Mn و Ni نیز می‌تواند به دلیل جانشین شدن این عناصر به جای آهن در کانی‌های سولفیدی آهن‌دار مانند پیریت شود. همبستگی منفی Cu با Zn مرتبط با

حلالیت بالای Zn و مهاجرت آن در محدوده مورد مطالعه است. همچنین، همبستگی منفی Cu با Pb دلالت بر تحرک بالای Pb نسبت به Cu دارد. به عبارتی در جاهایی که مس ته نشین می شود، Zn و Pb تمایل به مهاجرت دارند.

فصل ہفتم

مطالعات سیالات در کیر

## ۷-۱- مقدمه

مطالعه سیالات درگیر، یکی از روش‌های مطالعه منشاء و همچنین تعیین دمای کانه‌زایی می‌باشد (Sorby, 1980). سیالی که درون یک جامد (به‌عنوان مثال کانی) قرار بگیرد را سیال درگیر<sup>۱</sup> یا میانبار سیال می‌نامند. این سیال می‌تواند مایع، گاز و یا نیز سیال فوق‌بحرانی باشد. بنابراین ۱ نمونه از کانی شفاف (رگه کلسیتی) در محدوده اکتشافی برداشت شد که ۴ نمونه میانبار سیال در آن مشخص گردید. در این فصل به جهت معین کردن نوع کانسار، منشاء و نیز فرآیندهای تأثیرگذار در ته‌نشست کانسار به تعیین دما، شوری، چگالی، فشار و عمق شکل‌گیری میانبار سیال می‌پردازیم، که نتایج به‌دست آمده در زیر شرح داده می‌شود.

## ۷-۲- روش مطالعه

جهت کامل کردن مطالعات زمین‌شناسی و نیز معین کردن دما، شوری، چگالی و همچنین نوع سیال مسئول کانی‌زایی و دگرسانی در سنگ‌های محدوده مورد مطالعه، ۱ نمونه از رگه کلسیتی، جهت تهیه مقطع دوبرصیقل انتخاب شد (شکل ۷-۱).



شکل ۷-۱- تصویر نمونه‌دستی از نمونه کلسیت جهت مطالعات سیالات درگیر.

<sup>1</sup> Fluid inclusions

پس از تهیه مقطع نازک دوبرصیقل از نمونه، مطالعه آن در آزمایشگاه تحقیقاتی زمین‌شناسی اقتصادی و میانبارهای سیال دانشگاه صنعتی شاهرود انجام گرفت. نتایج به دست آمده از این مطالعات در (پیوست ۳) ارائه گردیده است. اندازه‌گیری پارامترهای دمایی بر روی مقطع مورد نظر با استفاده از Stage گرمایش-انجماد مدل MDSG600 ساخت شرکت Linkam، انجام گرفت. همچنین، دامنه حرارتی دستگاه از ۱۹۶- تا ۶۰۰+ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و مجهز به دو کنترلگر، گرمایش (TMS94/2) و سرمایش (LNP94/2)، مخزن ازت (جهت پمپ نیتروژن برای انجماد) و مخزن آب (جهت خنک کردن دستگاه در دمای بالا) است. جهت کالیبراسیون دستگاه از استانداردهای زیر استفاده گردیده است:

کالیبراسیون دستگاه با تلورانس:

Heating:  $\pm 0.6$ , Freezing:  $\pm 0.2$

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

Freezing: n-Hexane, melting point:  $-94.3^{\circ}\text{C}$

کالیبراسیون Stage در گرمایش با دقت  $\pm 0.6$  درجه بوده که با نیترات سزیم (Cesium nitrate) و با نقطه ذوب  $414^{\circ}\text{C}$  انجام گرفت و در انجماد با دقت  $\pm 0.2$  درجه و با ماده استاندارد n-Hexane با نقطه ذوب  $94.3^{\circ}\text{C}$  صورت پذیرفت.

### ۷-۳- طبقه‌بندی سیالات درگیر

### ۷-۳-۱- رده‌بندی میانبارهای سیال بر حسب زمان تشکیل

بر طبق مطالعات (Shepherd et al. 1985)، از نظر زمان شکل‌گیری، میانبارهای سیال به سه گروه اولیه (P)<sup>۱</sup>؛ ثانویه (S)<sup>۲</sup> و ثانویه کاذب (PS)<sup>۳</sup> دسته‌بندی می‌شوند. میانبارهای سیال اولیه (P)، همزمان با

<sup>1</sup> Primary fluid Inclusions

<sup>2</sup> Secondary fluid Inclusions

<sup>3</sup> Pseudosecondary fluid Inclusions

رشد بلور ایجاد می‌شوند و پراکندگی این گروه در داخل کانی نامنظم است که از این میانبارها در مطالعات حرارت‌سنجی و هم‌چنین تعیین ترکیب محلول‌های کانه‌ساز استفاده می‌شود. میانبارهای سیال ثانویه (S)، هم‌زمان با رشد بلور نبوده و با شکستگی‌ها همراه می‌باشد که این گروه برای مطالعات معدنی مناسب نیستند. میانبارهای سیال ثانویه کاذب (PS) حدواسط گروه اولیه و ثانویه می‌باشند، که این میانبارها مانند میانبارهای سیال نوع ثانویه، درون شکستگی‌ها مشاهده می‌شوند اما تنها تفاوتی که با گروه ثانویه دارند در این است که در میانبارهای سیال ثانویه کاذب شکستگی‌ها محدود به سطوح رشد بلور می‌باشند که در مرحله‌های بعدی رشد پوشیده می‌شوند (مه‌بادی، ۱۳۹۷).

### ۷-۳-۲- رده‌بندی میانبارهای سیال بر حسب نسبت فازهای شرکت‌کننده

براساس تقسیم‌بندی (Shepherd et al. (1985)، میانبارهای سیال بر طبق فازهای داخلی، در ۶ دسته شامل؛ میانبارهای سیال تک فاز مایع (L)، میانبارهای دوفازی غنی از مایع (L+V)، میانبارهای دو فاز غنی از بخار (V+L)، میانبارهای تک فاز بخار (V)، میانبارهای چندفازی جامد و چند جامدی (S+L±V) و میانبارهای حاوی مایع نامیژاک ( $L_1+L_2±V$ ) قرار می‌گیرند.

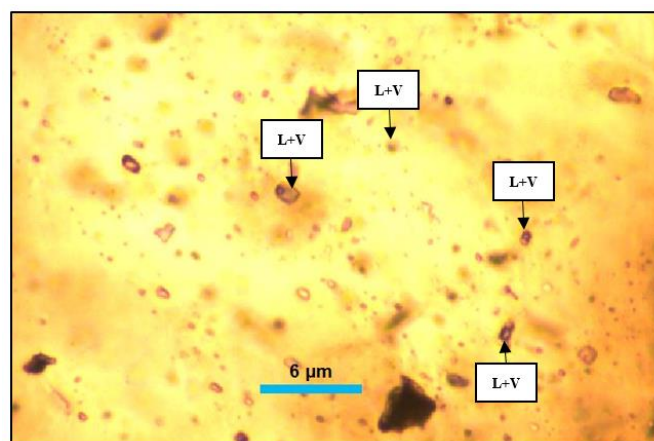
### ۷-۴- پتروگرافی سیالات درگیر

اولین قدم در مطالعات میانبارهای سیال، مطالعه پتروگرافی آنها می‌باشد که اطلاعات با ارزشی از شرایط به دام افتادن سیال و نیز تشکیل بلور از آن بدست می‌آید. در مطالعه پتروگرافی، ویژگی‌های نوری شامل؛ شکل و اندازه میانبارهای سیال، رده‌بندی ژنتیکی میانبارهای سیال (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، ترکیبات آنها (S+V+L) و نسبت V/L بررسی می‌شود. ۱۰ کانی اصلی که میانبارهای سیال در آنها گزارش شده‌اند شامل؛ کوارتز، کلسیت، هالیت، آپاتیت، فلوریت، دولومیت، توپاز، باریت، اسفالریت و کاسیتريت هستند.

ویژگی مهم کانی‌هایی که میانبارهای سیال به وضوح در آنها مشاهده می‌شود، شفافیت و رنگین نبودن آنها است که اصلی‌ترین امر در مطالعه نوری روی میانبارهای سیال می‌باشد (Shepherd et al., 1985).

**شکل ظاهری سیالات درگیر:** میانبارهای سیال دارای شکل‌های متنوعی می‌باشند که تا اندازه‌ای به وسیله شکل بلوری کانی میزبان کنترل می‌شوند (Shepherd et al., 1985). شکل ظاهری میانبارهای سیال مشاهده شده از نوع چندوجهی نامنظم می‌باشد.

**اندازه و نوع سیالات درگیر:** میانبارهای سیال اکثراً اندازه‌ای کوچک‌تر از ۱۰۰ میکرون دارند و اندازه معمول این سیالات برای مطالعات میکروسکوپی بین ۲۰-۲ میکرون است، اما اطلاعات سیالات درگیری که اندازه آنها از ۴ میکرون کمتر باشد ارزشی ندارد (Shepherd et al., 1985). اندازه سیالات درگیر در محدوده اکتشافی مس سطوح ۶ میکرون می‌باشد و فازهای دیده شده در آنها به‌طور دوفازی غنی از مایع (L+V) است (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲- تصویر سیالات درگیر دوفازی (L+V) غنی از مایع.

## ۷-۵- مطالعات ریزدماسنجی میانبارهای سیال

مطالعه ریزدماسنجی میانبارهای سیال برای تعیین منشأ و نیز ماهیت سیالات کانه‌دار انجام می‌گیرد که معمولاً برای معین کردن دمای تشکیل و ذوب قطعه یخ، همگن شدن، مقدار شوری و همچنین ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آنها تشکیل شده است، به‌وسیله عملیات سرمایش (Freezing) و گرمایش

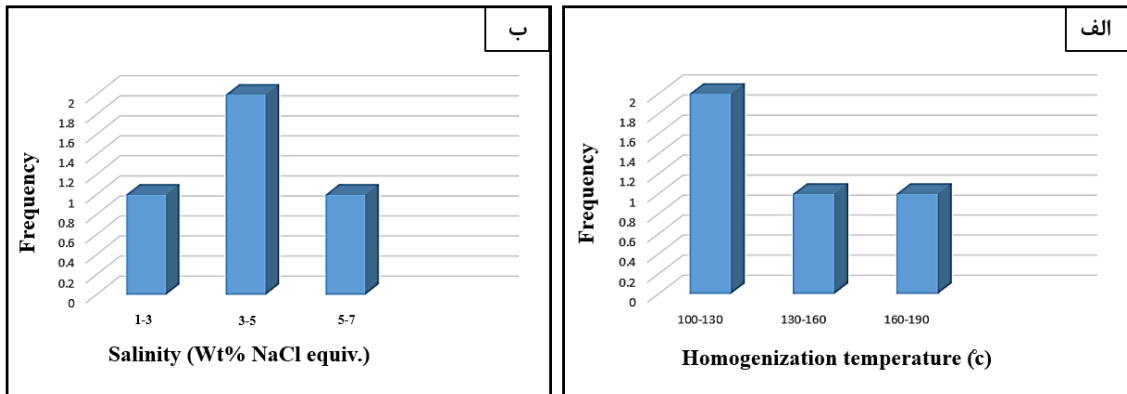
(Heating) انجام می‌گیرند. هدف از سرد کردن میانبارهای سیال، به‌دست آوردن درجه شوری سیال مورد نظر است. برای آغاز این کار، ابتدا سیال را تا ۱۲۰- درجه سانتی‌گراد سرد کرده تا همه فازهای آن انجماد پیدا کنند. در ادامه عملیات سرمایش را متوقف می‌کنیم و دما را تا رسیدن به دمای اتاق (۲۵ درجه سانتی‌گراد) بالا می‌بریم. بعد از مدتی، سیال از حالت انجماد بیرون آمده و یخ به سمت ذوب شدن می‌رود. اولین قطره مایعی که مشاهده می‌شود دمای یوتکتیک ( $T_E$ ) می‌باشد که میزان آن ارتباط مستقیمی با نوع نمک‌ها و کاتیون‌های حل شده در مایع دارد. با ادامه بالا زیاد شدن دما قطعه‌های یخ همگی ذوب شده و به دمایی که آخرین قطعه یخ ذوب می‌شود، دمای نهایی ذوب یخ ( $T_m$ ) گفته می‌شود. میزان شوری سیال براساس این دما به دست می‌آید. بعد از این مرحله، عملیات گرمایش انجام گرفت که هدف از حرارت دادن میانبارهای سیال، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده آن می‌باشد. دمای همگن شدن ( $T_H$ ) در محدوده اکتشافی سطوح ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد اندازه‌گیری شد.

#### ۷-۶- تعیین شوری میانبارهای سیال

رابطه بین دمای همگن شدن و شوری سیال در سامانه‌های گرمایی اهمیت بسیاری دارد، به‌طوری‌که وجود هر یک مکمل وجود دیگری است و باعث می‌شود که در کنار یکدیگر در ایجاد ویژگی‌های ذخایر معدنی نقش به‌سزایی داشته باشند. با توجه به اینکه نقطه انجماد آب خالص، صفر درجه سانتی‌گراد می‌باشد. از طریق میزان افت نقطه انجماد یا ذوب، درجه شوری سیال حساب می‌شود (Rodder, 1976). با استفاده از دمای ذوب آخرین قطعه یخ ( $T_m$ ) و دیاگرام مربوطه یا معادله زیر، درجه شوری برطبق معادل درصد وزنی کلرید سدیم (NaCl) محاسبه می‌شود.

$$\text{Salinity (Wt\%NaCl)} = 1.76958T_m - 4.2384 \cdot 10^{-2}T_m^2 + 5.2778 \cdot 10^{-4}T_m^3 + 0.28$$

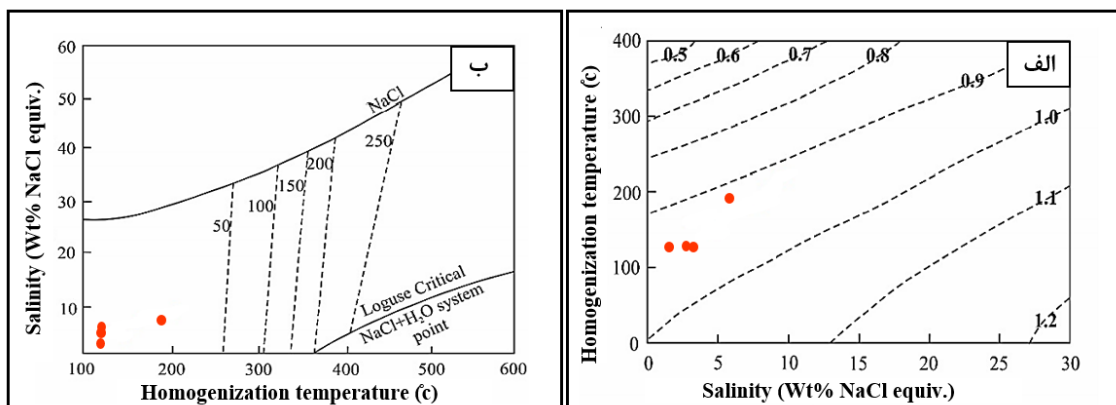
بنابراین، نمودارهای توزیع فراوانی دمای همگن شدن و میزان شوری میانبارهای سیال، به ترتیب میزان ۱۳۰-۱۰۰ درجه سانتی‌گراد و ۶-۳ درصد وزنی معادل NaCl می‌باشد (شکل ۷-۳، الف و ب).



شکل ۷-۳- الف) نمودار توزیع فراوانی دمای همگن شدن میانبره‌های سیال در محدوده مورد مطالعه، ب) نمودار توزیع فراوانی میزان شوری میانبره‌های سیال در محدوده مورد مطالعه.

## ۷-۷- تعیین چگالی و فشار بخار میانبر سیال

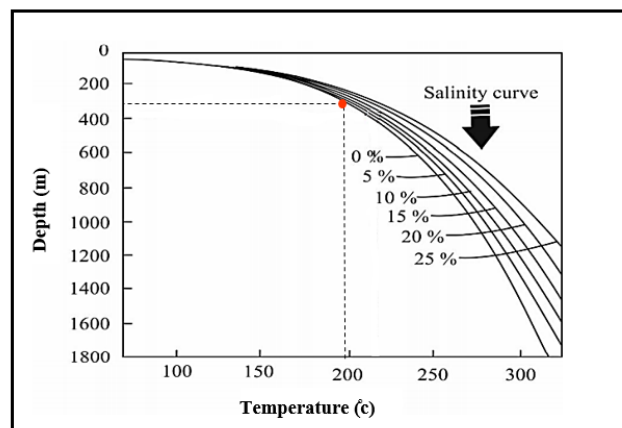
برطبق نمودار ارائه شده بر پایه دمای همگن شدن و شوری، می‌توان چگالی سیالات تأثیرگذار در سامانه‌های کانه‌زایی را معین کرد (Bodnar, 1983؛ شکل ۷-۴، الف). بنابراین، چگالی میانبره‌های سیال مطالعه شده در محدوده بین ۰/۹ تا ۱ gr/cm<sup>3</sup> است. همچنین، با در دست داشتن شوری و دمای همگن شدگی میزان فشار نیز محاسبه می‌شود، که برای تعیین میزان فشار از نمودار (Ramdohr (1980) استفاده شد (شکل ۷-۴، ب). برطبق این نمودار، فشار موجود در طی تشکیل کانسنگ در محدوده اکتشافی مس سطوح کمتر از ۵۰ بار است. همچنین باید بیان کرد که میزان فشار محیط با عمق شکل‌گیری میانبره‌های سیال رابطه مستقیمی دارد.



شکل ۷-۴-الف) نمودار دما-شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های  $\text{NaCl}+\text{H}_2\text{O}$  اشباع از بخار (Bodnar, 1983)، ب) نمودار تعیین فشار بخار محلول براساس دمای همگن شدن و میزان شوری (Ramdohr, 1980).

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

برای تعیین عمق تشکیل سیالات و کانی‌سازی از نمودار (Hass, 1971)، استفاده شده است (شکل ۷-۵) برطبق این نمودار عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در محدوده اکتشافی سطوح ۳۱۰ متر است. اگر سیال در حین جوشش به دام افتاده باشد، دمای همگن شدن با دمای به دام افتادن سیال برابر است که از نشانه‌های مهم جوشش، می‌توان به وجود میان‌بارهای غنی از مایع و نیز غنی از بخار اشاره کرد که در دمای یکسانی به حالت بخار همگن می‌شوند (Roedder, 1984). با توجه به مطالعات صورت گرفته در محدوده اکتشافی سطوح پدیده جوشش دیده نشده است، بنابراین دمای همگن شدن با دمای تشکیل کانسار برابر نیست.



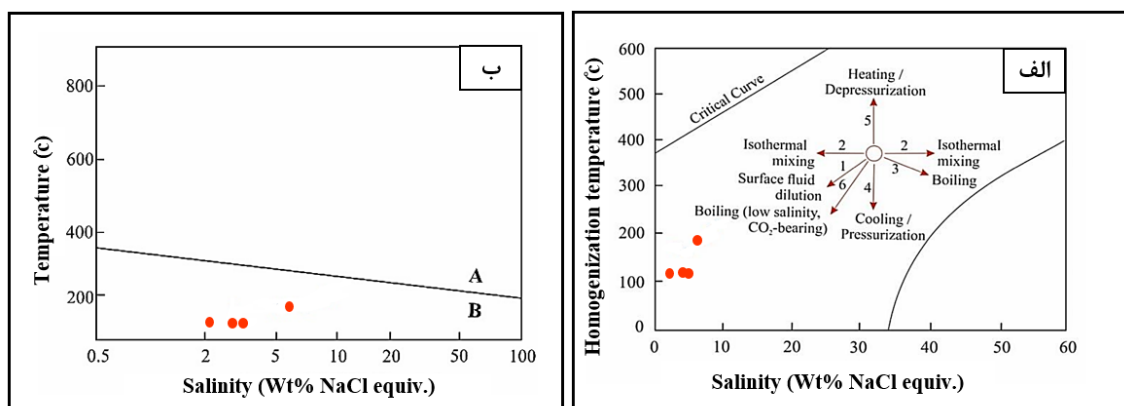
شکل ۷-۵- تعیین عمق به دام افتادن میانبارهای سیال در محدوده مورد مطالعه (Hass, 1971).

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

در این قسمت، از نمودار (Wilkinson, 2001)، برای تعیین سیر تکاملی سیالات مسبب کانی‌سازی، استفاده شده است. این نمودار با توجه به روند میانبارهای مطالعه شده، دمای همگن شدن در مقابل شوری را به نمایش می‌گذارد (شکل ۷-۸، الف).

روند ۱: گوبای آمیخته شدن سیال با سیالات سردتر و شوری پایین می‌باشد. روند ۲: آمیخته شدن سیال ایزوترمال با سیالاتی که دارای شوری متفاوتی می‌باشند را نشان می‌دهد. به علاوه، سیالات جوی با نفوذ به قسمت‌های عمیق پوسته‌ای داغ شده و بعد از بالا آمدن به سمت بخش‌های سطحی با سیالات گرمابی قسمت‌های کم‌عمق‌تر آمیخته می‌شوند، که سرد شدن ساده روند ۴ را به وجود می‌آورد. روند ۳: جوشش سیال باعث افزایش شوری فاز مایع باقی‌مانده می‌شود که در محدوده سطوح جوششی رخ نداده است. روند ۵: نشان‌دهنده نشت میانبارها در طول گرم شدن است. با در نظر داشتن روند ۱ برای میانبارهای سیال مطالعه شده، مخلوط شدن با سیال‌های سطحی و رقیق شدن باعث به وجود آمدن تحول در سیال شده است.

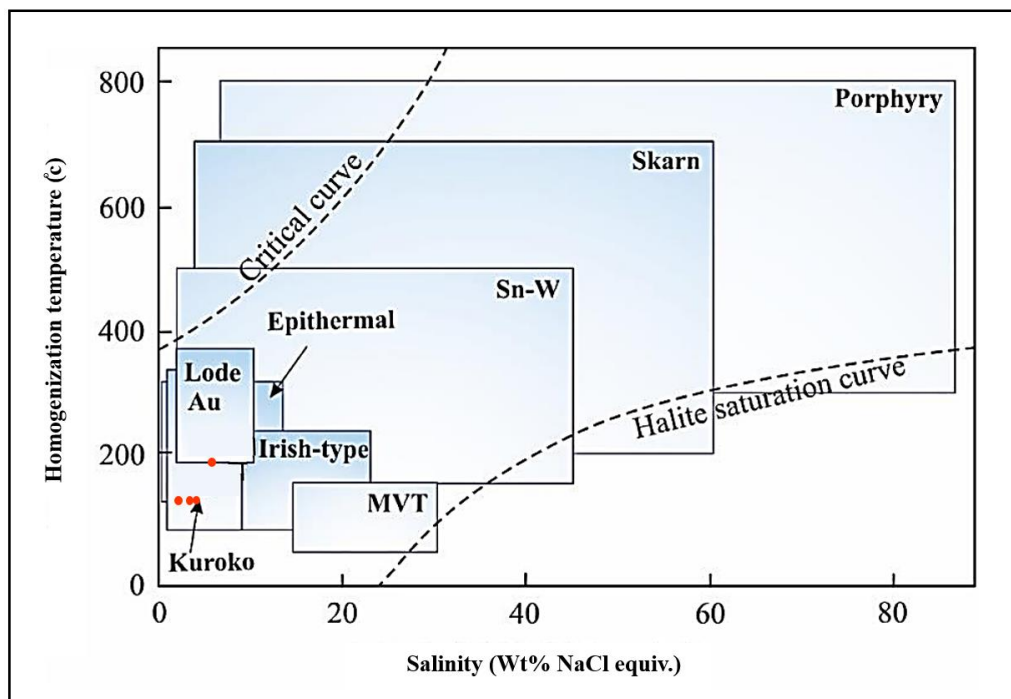
از سویی، برای تعیین نوع لیگاندهای تأثیرگذار در حمل فلزات، از نمودار (Larg et al. (1988) استفاده شده است (شکل ۷-۸، ب). در این نمودار سیال‌های گرمابی با شوری و دماهای بالا، لیگاندهای کلریدی و در شوری و دماهای پایین، لیگاندهای سولفیدی نقش مهمی در حمل فلزات دارند. با اشاره به این که نمونه‌های مطالعه شده دما و شوری پایینی دارند، در نمودار (Larg et al. (1988) تمامی نمونه‌ها در قسمت لیگاندهای سولفیدی قرار گرفته‌اند. که می‌توان بیان کرد لیگاندهای سولفیدی نقش تأثیرگذاری در حمل فلزات داشته‌اند.



شکل ۷-۶-الف) نمودار دمای همگن شدن-شوری جهت تعیین عوامل مؤثر در تکامل سیال و ته‌نشست مواد معدنی (Wilkinson, 2001)، ب) نمودار (Larg et al. (1988) جهت تعیین لیگاندهای احتمالی حمل فلزات در کانسار مورد مطالعه، A: لیگاندهای کلریدی، B: لیگاندهای سولفیدی.

## ۱۰-۷- تعیین تیپ کانسار احتمالی

برطبق درصد شوری و دمای همگن شدن میانبارهای سیال در نمونه‌های مورد مطالعه و نیز براساس نمودار ارائه شده توسط (Wilkinson, 2001)، میانبارهای سیال مورد مطالعه در محدوده اکتشافی مس سطوح، در بخش کانسارهای اپی‌ترمال واقع می‌شوند (شکل ۷-۹).



شکل ۷-۷- نمودار دمای همگن شدن در برابر درجه شوری میانبارهای سیال و تعیین تیپ احتمالی (Wilkinson, 2001)

## فصل ہشتم

تیپ کا زاپی، الگوی سسکیل، تیچہ گیری و پیشہدات اکتشافی

در این فصل بنا بر مطالعات صحرایی و نیز مطالعات آزمایشگاهی نظیر سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ساخت، بافت، ژئوشیمی و مطالعات دفتری انجام شده، به یک پایان‌بندی در رابطه با نحوه تشکیل کانه‌زایی مس سطوه می‌پردازیم. همچنین مقایسه‌ای در جهت تیپ کانه‌زایی انجام گرفته در محدوده اکتشافی با کنسارهای مشابه در ایران و جهان انجام شده که در پایان تیپ احتمالی محدوده اکتشافی معرفی و پیشنهادات لازم برای انجام ادامه کار ارائه می‌شود.

## ۸-۲- برخی از شواهد ژنتیکی مهم موجود در ارتباط با محدوده اکتشافی سطوه

### ۸-۲-۱- جایگاه زمین‌شناسی و محیط تکتونیکی

محدوده اکتشافی سطوه، قسمتی از مجموعه آتشفشانی-رسوبی نوار ترود-چاه‌شیرین است که در حاشیه شمالی پهنه ساختاری-رسوبی ایران مرکزی و در قسمت شرقی کمان ماگمایی البرز برونزد دارد. این نوار متشکل از سنگ‌های آذرین مزوزوئیک پسین تا ترشیری است که بنا بر مطالعات هوشمندزاده و همکاران (۱۳۵۷)، اوج فعالیت ماگمایی در این مجموعه طی ائوسن میانی تا احتمالاً بالایی روی داده است، که تشکیل دهنده ارتفاعات حد فاصل ترود-چاه‌شیرین می‌باشد (رشیدنژادعمران، ۱۳۷۱). دو گسل اصلی امتدادلغز انجیلو در شمال و ترود در جنوب با روند شمال‌شرقی-جنوب‌غربی، کنترل‌کننده الگوی ساختاری این ناحیه می‌باشند (مهرابی و همکاران، ۱۳۹۳). توالی‌هایی از سنگ‌های رسوبی، آتشفشانی و آتشفشانی-تخریبی، سنگ‌های رخنمون‌یافته در نوار ترود-چاه‌شیرین است (مهرابی و قاسمی‌سیانی، ۱۳۸۹). همچنین توده‌های نفوذی بسیاری به سن احتمالی ائوسن پسین-الیگوسن در درون این مجموعه نفوذ کرده و آنها را تحت تأثیر قرار است. سنگ‌های این ناحیه نیز متعلق به سری ماگمایی کالک‌آلکالین پتاسیم بالا است و از دید زمین‌ساختی، در موقعیت کمان ماگمایی و نیز مرتبط با پهنه فرورانش قاره‌ای جای می‌گیرند.

#### ۸-۲-۲- سنگ میزبان و سنگ‌های همراه

واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده شامل توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق (کوارتز مونوزودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت) به سن ائوسن-الیگوسن همراه با رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های آذرآواری (لیتیک کریستال توف) به سن ائوسن است. رسوبات عهد حاضر نیز در مناطق هموار این سنگ‌ها را می‌پوشاند. بیشترین گسترش کانه‌زایی مس در محدوده اکتشافی سطوه، در توده‌های نفوذی نیمه عمیق می‌باشد. ماده معدنی نیز به شکل رگه-رگچه‌ای درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ میزبان را پر کرده است که گسل‌ها و شکستگی‌ها نقش مهمی در کانه‌زایی داشته‌اند.

#### ۸-۲-۳- شواهد کانی‌شناسی

از کانی‌های اولیه موجود در محدوده می‌توان پیریت و کالکوپیریت را نام برد که به وسیله سیالات کانه‌ساز اکسیدان غنی از مس به کانی‌های کالکوسیت، دیژنیت، مالاکیت و مقدار جزئی آزوریت و همچنین اکسید و هیدروکسیدهای آهن (هماتیت، گوتیت و لیمونیت) تبدیل شده‌اند. هوازگی سطحی و نیز وجود آنیون بی‌کربنات سولفیدهای مس بیشتر به شکل کانی مالاکیت با ساخت رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی گسترش داشته که نشانگر فاز ثانویه کانه‌زایی است. کانی‌های کوارتز و کلسیت را نیز می‌توان از کانی‌های باطله نام برد.

#### ۸-۲-۴- شواهد کانه‌زایی و دگرسانی

کانه‌زایی در محدوده اکتشافی سطوه در درون توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق با روند شمال شرقی-جنوب-غربی در داخل درزه و شکستگی‌ها روی داده که گویای زایش غیرهمزاد (اپی ژنتیک) است. عوامل ساختاری (گسل، درزه و شکستگی‌ها)، سنگ منشاء، نفوذپذیری و نیز وجود توده‌های نفوذی از مهم‌ترین عوامل کانه‌زایی می‌باشند. وجود گسل‌ها، شکستگی‌ها و درزه‌ها فضای مناسبی را برای نفوذ آب‌های سطحی، چرخش سیالات و همچنین ته‌نشینی ماده معدنی به وجود آورده‌اند. موتور حرارتی جهت گرم

کردن آب‌های نفوذی و نیز به وجود آوردن چرخه گرمایی توده‌های نفوذی نیمه عمیق می‌باشند. برطبق مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی دگرسانی‌های محدوده شامل دگرسانی آرژیلیتی حدواسط، سریسیتی، سیلیسی، کلریتی، کربناتی و آغشتگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) می‌باشند. این دگرسانی‌ها باعث تحت تأثیر قرار دادن سنگ‌های محدوده شده و تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی در این سنگ‌ها به وجود آورده‌اند که شدت این دگرسانی‌ها با دور شدن از محل کانه‌زایی کم می‌شود. دگرسانی‌های آرژیلیتی حدواسط، سریسیتی، کلریتی و آغشتگی به اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت) بیشترین نوع دگرسانی می‌باشند که وجود دگرسانی اکسیدهای آهن ناشی از عبور سیالی می‌باشد که کانی‌های اولیه کالکوپیریت و پیریت را شسته و ترکیبات اکسید آهن را باقی گذاشته است.

#### ۸-۲-۵- شواهد زمین‌شیمیایی

نمودارهای عناصر اصلی و کمیاب به خوبی می‌توانند منشاء عناصر تشکیل دهنده کانسار و محیط تشکیل آن را روشن سازند. با توجه به توضیحات ارائه شده در فصل ششم، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه، در محدوده دیوریت، کوارتز مونوزودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت قرار می‌گیرند و از نوع کالک‌آلکانل می‌باشند و اغلب در محدوده سنگ‌های حدواسط تا اسیدی قرار می‌گیرند. توده‌های نفوذی سطوح از لحاظ ژئوشیمیایی به سنگ‌های سری کالک‌آلکانل محیط‌های فرورانش حاشیه فعال قاره‌ای شباهت دارد. نمودار فراوانی عناصر نادر خاکی بهنجار شده نسبت به کندریت، در عناصر LREE نسبت به HREE غنی شده‌اند که ویژگی شاخص ماگمایی مرزهای همگرا و از ویژگی‌های توده‌های نفوذی کالک‌آلکانل حاشیه قاره است و می‌توان گفت در طی تفریق ماگمایی به علت ناسازگاری عناصر نادر خاکی سبک نسبت به عناصر نادر خاکی سنگین، این عناصر در مذاب باقی مانده، غنی‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهند.

#### ۸-۲-۶- شواهد حاصل از مطالعات سیالات درگیر

با توجه به مطالعات سیالات درگیر، میانگین درجه همگن شدن سیالات درگیر در محدوده اکتشافی مس سطوح  $190^{\circ}\text{C}$  -  $130^{\circ}\text{C}$  و دامنه تغییرات شوری  $2/02-6/71 \text{ Wt\%NaCl}$  به دست آمده است. براساس

نمودار ارائه توسط (Willkinson, 2001)، این سیالات در محدوده کانسارهای اپی ترمال قرار می گیرند که در واقع شرایط دما-شوری احراز شده با شرایط تشکیل کانسارهای اپی ترمال همخوانی دارد. همچنین، با توجه به روند تغییرات شوری نسبت به دمای همگن شدن، عمق تشکیل سیال ها و کانی سازی ۳۱۰m تخمین زده شد. بدون شک کاهش دما و شوری در طی صعود سیال و اختلاط سیالات ماگمایی با آب های کم شور و سرد جوی، باعث تشکیل رگه های کانه دار در عمق ۳۱۰m شده است.

### ۸-۳- مقایسه ویژگی های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص جهان و ایران

#### ۸-۳-۱- مقایسه ویژگی های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص جهان

طبقه بندی کانسارهای مختلف براساس خصوصیات مشابه (آرایش، مکان، عوامل تشکیل و غیره) توانایی ما را در پی جویی و اکتشاف بالا می برد. تقسیم بندی نهشته های کانسار می تواند مبتنی بر گروه های کانساری (اپی ترمال، پورفیری و غیره) و یا براساس لیتولوژی های میزبان (کانسارهای وابسته به توده های نفوذی فلسیک و کانسارهای وابسته به توده های پورفیروآفانتیک) باشد (Kejima et al, 2009). با توجه به فصول گذشته و تمامی اطلاعات به دست آمده در این تحقیق، محدوده اکتشافی مس سطوه با ۴ تیپ کانه زایی مس قابل مقایسه می باشد:

(۱) کانسارهای رگه ای گرمابی (اپی ترمال)<sup>۱</sup>

(۲) کانسارهای مس مانتو<sup>۲</sup>

(۳) کانسارهای مس لایه های سرخ آتشفشانی<sup>۳</sup>

(۴) کانسارهای مس نوع میشیگان<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> Hydrothermal vein-type (Epithermal)

<sup>۲</sup> Manto-type Copper

<sup>۳</sup> Volcanic red bed Copper

<sup>۴</sup> Michigan (Keweenaw) Type

از آنجایی که تعیین تیپ کانه‌زایی در اکتشاف نواحی معدنی بسیار حائز اهمیت می‌باشد. بدین جهت به مقایسه خصوصیات کلی محدوده اکتشافی سطوه و تیپ‌های نام‌برده با استناد به موقعیت جغرافیایی، محیط تکتونیکی، سری ماگمایی، سنگ میزبان و همراه، سن، کانی‌شناسی، باطله، دگرسانی، ساخت، بافت و عوامل کنترل‌کننده پرداخته شده است. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته در مورد خصوصیات نظیر سنگ میزبان، محیط زمین‌ساختی، شکل هندسی، نوع ساخت و بافت، توالی پاراژنتیک و نوع دگرسانی، تفاوت‌های آشکار بین کانسارهای تیپ مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان با کانسار مورد مطالعه بیشتر مشخص می‌شود. در نتیجه نمی‌توان محدوده اکتشافی سطوه را در رده این تیپ کانسارها قرار داد. لذا با استناد به جدول (۸-۱) و مقایسه کانسارها با یکدیگر، اذهان به سمت کانسارهای گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال) معطوف می‌شود و به نظر می‌رسد که مشابهت زیادی از نظر شاخص‌های اصلی (منشاء و مدل تشکیل، محیط تکتونیکی، شکل هندسی، ساخت و بافت، کانی‌شناسی و دگرسانی) بین کانسارهای گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال) و کانسار مورد مطالعه وجود داشته باشد. هر چند که این قبیل کانسارها از لحاظ گسترش، بزرگی ذخیره و ارزش اقتصادی در مقایسه با سه دسته قبلی موقعیت و جایگاه مناسبی ندارند. بنابراین در ادامه جهت روشن‌تر شدن بیشتر این شباهت‌ها، مشخصات محدوده اکتشافی سطوه با ویژگی‌های اساسی این تیپ کانسارها مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به شاخص‌های اصلی که مورد بررسی قرار گرفته است، محدوده اکتشافی سطوه بیشترین شباهت را به کانسارهای رگه‌ای گرمابی (اپی‌ترمال) از خود نشان می‌دهد. در ادامه جهت آشکار شدن بیشتر این شباهت‌ها، به بررسی تیپ کانسارهای رگه‌ای گرمابی پرداخته شده است.

جدول ۸-۱- مقایسه برخی ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کنسارهای گرمایی رگه‌ای، مانتو، لایه‌های سرخ آتشفشانی و میشیگان (علامت - به معنای عدم وجود اطلاعات کافی می‌باشد).

ویژگی‌های شاخص	سطوه	Manto-type Copper	Volcanic redbed copper	Michigan Type	Hydrothermal vein-type (Epithermal)
موقعیت جغرافیایی	ایران (جنوب‌دامغان)	شیلی (کانسار بونا اسپرانز)	کانادا (کانسار مات الکساندر)	جزیره کوینا، ایالات متحده (کانسار میشیگان)	شمال غرب چین (Tuola/Gongliu)
محیط تکنونیک	حاشیه فعال قاره‌ای	محیط کشتی مرتبط با فرورانش‌اند و حوضه‌های پشت کمائی	کافت درون قاره‌ای و نزدیک به حواشی صفحات	کافت نیمه قاره‌ای	فرورانش (در ارتباط با کمان‌های آتشفشانی)
سری ماگمایی	کالک‌آلکان	-	-	تولنییتی	کالک‌آلکان
سنگ میزبان و همراه	کوارتز موزودپوریت، گرانودیوریت، گرانیت و توف	گدازه‌های آندزیتی و بازالتی	گدازه‌های آتشفشانی مافیک تا فلسیک، توف و سنگ‌های رسوبی وابسته	بازالت آمیگدالوئیدال با میان لایه‌های کنگلومرایی	توف و آندزیت
سن	ائوسن - الیگوسن	ژوراسیک	ژوراسیک	پرکامبرین	کربونیفر پیشین
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوپیریت، پیریت، دی‌زنیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوسیت، بورنیت، کالکوپیریت، مس طبیعی، مالاکیت و کریزوکولا	کالکوسیت، بورنیت، مس طبیعی، دی‌زنیت و کوولیت	مس طبیعی، کوپریت، مالاکیت، آزوریت، کریزوکولا، نقره طبیعی، دی‌زنیت و کالکوسیت	پیریت، طلا، کالکوپیریت، گالن، اسفالریت، کوولیت و لیمونیت
کانی‌های باطله	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلریت، اپیدوت، کلسیت و ژئولیت	هماتیت، مگنتیت، کلسیت، اپیدوت، کوارتز، کلریت و ژئولیت	هماتیت، مگنتیت، کلسیت، اپیدوت، کوارتز، کلریت و ژئولیت	کوارتز، سریسیت، کلریت، کلسدوئن و کلسیت
دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی	کربناتی، سیلیسی، کلریتی، سریسیتی، آرژیلیتی حدواسط و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)	عموماً بدون دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی و اغلب با دگرگونی پرهنیت پومپله‌ایت	عموماً بدون دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی	عموماً بدون دگرسانی مرتبط با کانه‌زایی	سیلیسی، آرژیلیتی، سریسیتی و پروپیلیتی
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده، جانشین و کلوفرمی	رگه‌ای و پرکننده فضاهای خالی	رگه‌ای و پرکننده فضاهای خالی	رگه‌ای و پرکننده فضاهای خالی	پرکننده فضاهای خالی، برشی، کلوفرم نواری، شانه‌ای، رگه‌ای، استوک‌ورک و دانه‌پراکنده
شکل هندسی	رگه‌ای	چینه‌کران	چینه‌کران و تخت	چینه‌کران و تخت	رگه‌ای
منبع	تحقیق حاضر	Oliveros et al., 2008	Cabral and Beaudoin, 2007	Sillitoe, 1997	Chen et al., 2012

(اپی‌ترمال)

در کشور ایران و در سایر کشورهای دنیا شاهد کانسارهای گرمابی رگه‌ای (اپی‌ترمال) با کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها از جمله مس، سرب، روی، طلا و نقره هستیم. ذکر این نکته ضروری است که بهره‌برداری از این کانسارها از اواخر سال ۱۹۷۰ به بعد، بنا به افزایش ارزش طلا و نقره افزایش چشمگیری پیدا کرد (Zhong et al., 2017). امروزه اصطلاح کانسارهای اپی‌ترمال اشاره به طیف وسیعی از درجه حرارت در برابر عمق (فشار) تشکیل آنها دارد. همان‌طور که می‌دانیم، این کانسارها محصول فرآیندهای گرمابی فعالیت‌های آتشفشانی از سطح تا عمق ۱ تا ۲ کیلومتر و در دماهای بین ۱۰۰ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشند، اگرچه دماهای بیشتر (تا ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) نیز در بعضی از آنها تشخیص داده شده است (White and Hedenquist, 1995; Simmons et al., 2005). لازم به یادآوری است که این پارامترها، تنها محیط تشکیل کانسارهای اپی‌ترمال را تعریف می‌کند و شکل‌گیری این کانسارها به ترکیب محلول-های گرمابی جهت انتقال فلزات بستگی دارد. همچنین از نقطه نظر محیط تکتونیکی تشکیل، اغلب این کانسارها به موازات پهنه‌های فرورانش حاشیه قاره‌ها و جزایر قوسی قرار دارند (Sillitoe and Hedenquist, 2003). طبقه‌بندی‌های مختلفی برای کانسارهای اپی‌ترمال وجود دارد که در حال حاضر براساس کانی‌شناسی، دگرسانی، pH، سولفیداسیون و اکسیداسیون، دو نوع کانی‌سازی با عنوان سولفیداسیون بالا و سولفیداسیون پایین به رسمیت شناخته شده است (Robb, 2004; Nadeau, 2011; Zhong et al., 2017). لازم به ذکر است که جداسازی این دو نوع کانی‌سازی برای اکتشاف ضروری است. با این حال (Simmons et al., 2005) و همچنین (Sillitoe and Hedenquist (2003)، تقسیم‌بندی دیگری را براساس حالت سولفید شدن ترکیبات سولفیدهای درونزاد (هیپوژن) ارائه کردند که بر مبنای آن کانسارهای اپی‌ترمال به سه دسته سولفیداسیون بالا، سولفیداسیون حدواسط و سولفیداسیون پایین

متمایز می‌شوند. برای درک بیشتر این تقسیم‌بندی، مثال‌هایی از این سه نوع کانی‌سازی در جدول (۸-۸) ارائه شده است.

جدول ۸-۲- برخی از مشخصات مهم کانسارهای اپی‌ترمال موجود در دنیا (Sillitoe and Hedenquist., 2003).

Epithermal Types	High sulfidation		Intermediate sulfidation	Low sulfidation	
	Oxidized magma	Reduced magma		Subalkaline magma	Alkaline magma
Magma Types	Oxidized magma	Reduced magma	-	Subalkaline magma	Alkaline magma
Key proximal alteration minerals	Quartz-alunite/APS; quartz-pyrophyllite/dickite at depth	Quartz-alunite/APS; quartz-dickite at depth	Sericite; adularia generally uncommon	Illite/smectite-adularia	Roscoelite illite-adularia
Genetically related volcanic rocks	Mainly Andesite to rhyodacite	Rhyodacite	Principally andesite to rhyodacite but locally rhyolite	Basalt to rhyolite	Alkali basalt to trachyte
Sulfide abundance	10-90 vol %		5-20 vol %	Typically <1-2 vol %	2-10 vol %
Key sulfide species	Enargite, luzonite, famatinite, covellite	Acanthite, stibnite	Sphalerite, galena, tetrahedrite-tennantite, chalcocopyrite	Minor to very minor arsenopyrite ± pyrrhotite; minor sphalerite, galena, tetrahedrite tennantite, chalcocopyrite	
Main metals	Au-Ag, Cu, As-Sb	Ag, Sb, Sn	Ag-Au, Zn, Pb, Cu	Au ± Ag	
Minor metals	Zn, Pb, Bi, W, Mo, Sn, Hg	Bi, W	Mo, As, Sb	Zn, Pb, Cu, Mo, As, Sb, Hg	
Gangue	Carbonate, Quartz, Barite		Carbonate, Quartz, Barite, manganiferous silicates	Carbonate, fluorite	Carbonate, Celestite, Barite, Fluorite
Type example	El Indio, Chile, Yanacocha, peru	Potosi, Bolivia, Fresnillo, Mexico	Baguio, Philippines	Midas, Nevada	Emperor, Fiji
APS= aluminum-phosphate-sulfate minerals					

جهت دستیابی به تیپ احتمالی کانه‌زایی مس و عناصر همراه در منطقه مورد مطالعه، به‌طور کلی در جدول (۸-۳) مقایسه‌ای در خصوص ویژگی‌های کانی‌سازی محدوده معدنی با برخی از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال شاخص در سایر نقاط جهان صورت پذیرفت. با در نظر گرفتن تمام شواهد موجود از جمله محیط تکتونیکی تشکیل، سنگ میزبان، کانی‌های معدنی و باطله، درجه حرارت کم، شوری پایین، دگرسانی‌های مشاهده شده و همچنین نسبت پایین گوگرد به فلز، حاکی از آن است که محدوده اکتشافی سطوح یک کانسار اپی‌ترمال است که بیشترین شباهت را با کانسار آرزولار (شمال شرق ترکیه)،

منطقه لاگو فونتانا (جنوب غرب آرژانتین) و کانسار یوئی یانگ (جنوب شرق چین) دارد. اما علی‌رغم وجود شباهت‌هایی، تفاوت‌هایی نیز به چشم می‌خورد. به هر حال در یک جمع‌بندی اجمالی می‌توان محدوده اکتشافی سطوح را تا حدود زیادی با این کانسارها مقایسه نمود و مدل و شرایط تشکیل آنها را برای تشکیل کانسار مورد مطالعه مد نظر قرار داد. در ادامه مبحث به شباهت‌ها و تفاوت‌های آنها با محدوده اکتشافی مورد مطالعه بیشتر پرداخته می‌شود.

جدول ۸-۳- تیپ کانه‌زایی محدوده اکتشافی مس سطوه در مقایسه با برخی از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال در سایر نقاط جهان (علامت - به معنای عدم وجود اطلاعات کافی می‌باشد).

ویژگی‌های شاخص	سطوه	Zijinshan	mazarr'on	Sahinli/Tespil Dere	Lago Fontana	Yueyang	Arzular	Wadi Abu Khushayb
موقعیت جغرافیایی	ایران (جنوب دامغان)	جنوب شرق چین	جنوب شرق اسپانیا	غرب ترکیه	جنوب غرب آرژانتین	جنوب شرق چین	شمال شرق ترکیه	جنوب غرب جوردن (جنوب عمان)
محیط تکتونیکی	حاشیه فعال قاره‌ای	-	فرورانش	فرورانش	کمان آتشفشانی	-	فرورانش	کمان آتشفشانی
سری ماگمایی	کالک‌آلکان	-	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	-	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان
سنگ میزبان و همراه	کوارتزموژودپوریت، گرانودیوریت، گرانیت و توف	بیوتیت گرانیت دانه متوسط تا ریز	سنگ‌های آتشفشانی داسیتی و آندزیتی	آندزیت-داسیت	آندزیت، آندزیت‌بازالتی، بازالت، توف و سنگ‌های رسوبی (ماسه-سنگ و کنگلومرا)	باتولیت گرانیتی	بازالت-آندزیت	توف ریولیتی و داسیت
سن	ائوسن-الیگوسن	ژوراسیک میانی	میوسن	الیگومیوسن-میوسن پیشین	ژوراسیک زیرین-کرتاسه	ژوراسیک زیرین-میانی	ائوسن	نئوپروتروزوئیک (۵۹۵Ma)
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت	کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت، پیریت، کوولیت، دیژنیت، مالاکیت، طلای طبیعی، گالن، انارزیت، و سولفید قلع	پیریت، اسفالریت، گالن، مگنتیت، مارکاسیت، کالکوپیریت، آرسنوپیریت، پیروتیت، تتراهدریت و تنانتیت	پیریت، اسفالریت، گالن، کالکوپیریت، تتراهدریت، مولیبدنیت، بورنیت، دیژنیت، کالکوسیت، کوولیت و سروزیت	پیریت، گالن، کالکوپیریت، همتایت، آرسنوپیریت، روتیل، کالکوسیت، کوولیت، سروزیت، طلا و نقره طبیعی	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، گالن، اسفالریت، کالکوسیت، الکتروم، نقره و طلای طبیعی	گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، تتراهدریت، طلای طبیعی، سینابر، آرسنوپیریت و استینیت	پیریت، کالکوپیریت و طلای طبیعی
کانی‌های باطله	کوارتز و کلسیت	دیکیت، آلونیت و کوارتز	کربنات(دولومیت و سیدریت)، باریت و کوارتز	کوارتز، ایلیت، سریسیت، باریت و کلسیت	کوارتز و کلسیت	کلسیت، کوارتز-آدولاریا و آپاتیت	کوارتز، کلسیت و ژپس	کوارتز
دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی	کربناتی، سیلیسی، کلریتی، سریسیتی، آرژیلیتی حدواسط و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)	سیلیسی، آرژیلیتی پیشرفته، سریسیتی و آلونیتی	آرژیلیتی و آرژیلیتی پیشرفته پروپیلیتی	آرژیلیتی و آرژیلیتی پیشرفته پروپیلیتی	سیلیسی، سریسیتی، آرژیلیتی و پروپیلیتی	سریسیتی و آدولاریا-کربنات	آرژیلیتی، سیلیسی و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)	پتاسیک و سیلیسی
ساخت و بافت کانی-سازی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده، جانشین و کلوفرمی	رگه‌ای، دانه‌پراکنده و جانشین	پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده، رگه‌ای، نواری و کلوفرم	رگه-رگچه‌ای و جانشین	رگه‌ای، دانه‌پراکنده، پرکننده فضاهای خالی، برشی، جانشین، نواری و شانه‌ای	دانه‌پراکنده، رگه-رگچه‌ای، استوک‌ورک، توده‌ای، برشی و کلوفرم	رگه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، نواری، دانه‌پراکنده، برشی، جانشین و اکسلوشن	پرکننده فضاهای خالی، رگه‌ای، برشی و دانه‌پراکنده
عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی	گسل‌ها و درزه و شکستگی‌ها	گسل‌های با روند NW و درزه و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها	گسل‌های با روند NW	گسل‌های با روند NW	گسل‌های با روند NE-SW و E-W	گسل‌ها
دما (°C) و شوری (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 130-190°C Salinity= 2.02-6.71 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 260-280°C Salinity= 10 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 190-260°C Salinity= 12-18 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 220-322°C Salinity= 4.3-6.9 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 180-325°C Salinity= 1.7-4.2 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 184-379°C Salinity= 0.4-7.6 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 130-295°C Salinity= 4.3-12.4 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 350-380°C Salinity= 1.5-7 (Wt% NaCl)
عمق کانی‌سازی (m)	۲۱۰m	۱۴۰-۲۱۰۰m	۶۵۰m	۴۰۰-۱۰۰۰m	۶۰۰m	۴۴۸-۵۲۷m	۵۰۰-۱۵۰۰m	۲۵۰۰m
عناصر معدنی	Cu	Cu-Au	Zn-Pb-Cu-Ag-Fe	Au-Cu-Pb-Zn	Ag-Au-Pb-Cu-Zn	Ag-Au-Cu	Au	Au
تیپ کانه‌زایی	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال	اپی‌ترمال
منبع	تحقیق حاضر	Zhong et al., 2018	Esteban-Arispe et al., 2016	Yilmaz et al., 2010	Lanfranchini et al., 2013	Zhong et al., 2017	Akaryali and Tüysüz., 2013	Al-Hwaiti et al., 2010

## ۸-۳-۲- مقایسه ویژگی‌های محدوده اکتشافی مس سطوه با کانسارهای شاخص اپی‌ترمال

### ایران در نوار آتشفشانی-رسوبی ترود-چاه‌شیرین

در سنگ‌های آتشفشانی ترشیری ایران و بسیاری از کشورهای دیگر شاهد سامانه رگه‌ای با کانی‌سازی فلزات پایه و گرانبها هستیم. لذا، مطالعه و اکتشاف این تیپ کانه‌زایی‌ها می‌تواند بسیار جدی باشد، چرا که مطالعات انجام گرفته تاکنون نشان داده‌اند که کشور ما از پتانسیل بالایی برای تشکیل کانسار گرمابی رگه‌ای برخوردار است. لازم به ذکر است که این ذخایر در موقعیت کمان ماگمایی مرتبط با پهنه فرورانش قاره‌ای قرار می‌گیرند. در جدول‌های (۸-۴)، ضمن بیان برخی ویژگی‌های کانسارها و اندیس‌ها اپی‌ترمال در ایران، سعی در مقایسه محدوده اکتشافی سطوه با چندین مثال از این تیپ کانسارها در سایر نقاط ایران و نوار ترود-چاه‌شیرین شده است.

جدول ۸-۴- تیپ کانه‌زایی محدوده اکتشافی مس سطوه در مقایسه با برخی از ویژگی‌های کانسارهای اپی‌ترمال در نوار آتشفشانی-رسوبی ترو-چاه‌شیرین.

ویژگی‌های شاخص	سطوه	چشمه حافظ	گندی	ابوالحسنی	دارستان	چاه‌موسی	چالو
موقعیت جغرافیایی	جنوب دامغان	شمال غرب طرود	شمال معلمان	شمال معلمان	جنوب-جنوب شرقی دامغان	شمال غرب طرود	جنوب شاهرود
محیط تکتونیکی	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای	حاشیه فعال قاره‌ای
سری ماگمایی	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان	کالک‌آلکان
سنگ میزبان و همراه	کوارتز موزودپوریت، گرانیت، گرانودپوریت و توف	آندزیت، آندزیت‌بازالتی، تراکی آندزیت و ریوداسیت	ریولیت، ریوداسیت، سیلستون و ماسه‌سنگ، لاپیلی توف و برش آتشفشانی	آندزیت، تراکی آندزیت، ماسه‌سنگ	آندزیت و توف‌برش آندزیتی و داسیتی	ساب‌ولکانیک بیوتیت-هورنبلند آندزیت پورفیری و داسیت	تراکی آندزیت-تراکی-آندزیت‌بازالتی، بازالت اسپیلیتی برشی
سن	ائوسن-الیگوسن	ائوسن	ائوسن میانی	ائوسن میانی-بالایی	ائوسن میانی	ائوسن‌پسین-الیگوسن	ائوسن
کانی‌شناسی کانسنگ	کالکوپیریت، پیریت، دیژنیت، کالکوسیت، مالاکیت و آزوریت	گالن، اسفالریت، کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، کالکوسیت، دیژنیت، تتراهدریت، سروزیت، کوولیت، مگنتیت، هماتیت (اسپیکولاریت)، گوئیت و لیمونیت	طلا، پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، اسفالریت، نقره، گالن، تتراهدریت، تنانتیت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، سروزیت، اسمیت‌زونیت و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	گالن، اسفالریت، پیریت، کالکوپیریت، کوولیت، مالاکیت، سروزیت و اسمیت‌زونیت	کالکوپیریت، پیریت، طلا، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، آزوریت، اسپیکولاریت و هیدروکسیدهای آهن	پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، دیژنیت، کالکوسیت، کوولیت، نئوتوسیت و مالاکیت	مگنتیت، پیریت، گالن، تتراهدریت، طلا، بورنیت، کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت، کریزوکولا و هماتیت تیغه‌ای
کانی‌های باطله	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلسیت، باریت و اکسیدهای آهن و منگنز	کوارتز، کلسیت، باریت، اپیدوت و کلریت	کوارتز، کلسیت، باریت، اپیدوت و کلریت	کوارتز و کلسیت	کوارتز، کلسیت و باریت	کلسیت، کوارتز باریت، فلدسپار پتاسیم، کلریت و اکسیدهای آهن و منگنز
دگرسانی‌های مرتبط با کانه‌زایی	کربناتی، سیلیسی، کلریتی، سربستی، آرژیلیتی حدواسط و اکسیدهای آهن (هماتیت و لیمونیت)	سیلیسی، آرژیلیتی، سربستی، کائولینیتی و پروپیلیتی	سیلیسی، آرژیلیتی، پیشرفته، کائولینیتی، پیریتی و کربناتی	کائولینیتی، کربناتی و اپیدوتی	سیلیسی، آرژیلیتی و کلریتی-پروپیلیتی	سربستی و پروپیلیتی	سیلیسی-سولفیدی، سربستی و پتاسیک
ساخت و بافت کانی‌سازی	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده، جانشیننی و کلوفرمی	رگه-رگچه‌ای، انتشاری، برشی، شکافه پرکن و نواری نامتقارن	رگه-رگچه‌ای، برشی، پرکننده فضاهای خالی، نواری، شانه‌ای و دانه پراکنده	برشی، نواری، شانه‌ای، کلوفرم، پرکننده فضاهای خالی، دانه‌پراکنده و رگه‌ای	رگه-رگچه‌ای، پرکننده فضاهای خالی، شانه‌ای و دانه‌پراکنده	رگچه‌ای و افشان	رگه-رگچه‌ای، شکافه پرکن، برشی و انتشاری
عوامل کنترل‌کننده کانه‌زایی	گسل‌ها و درزه و شکستگی‌ها	گسل‌ها و درزه و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌ها و شکستگی‌ها	گسل‌های نرمال، سنگ میزبان و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق	گسل‌ها	گسل‌ها
دما (°C) و شوری (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 130-190°C Salinity= 2.02-6.71 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 140-276°C Salinity= 2.02-6.71 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 139-345°C Salinity= 7.9-16 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 234-340°C Salinity= 6.7-18.7 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 252-375°C Salinity= 9.5-24.3 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 396-420°C Salinity= 5-12.5 (Wt% NaCl)	T <sub>H</sub> = 290-356°C Salinity= 3-11 (Wt% NaCl)

عمق کانی سازی (m)	۳۱۰m	۳۸۰m	۴۳۰m	۶۰۰m	-	۶۰۰-۲۲۵۰m	≥۷۰۰m
عناصر معدنی	Cu	Pb-Zn-Cu-Ag-Au	Au-Ag-Pb-Cu-Zn	Pb-Zn-Cu-Ag-Au	Cu-Au	Cu-Ag	Cu-Au
تیپ کانه‌زایی	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال	ابی‌ترمال
منبع	تحقیق حاضر	مه‌رایی و قاسم‌سیانی، ۱۳۸۹؛ حقیقی و همکاران، ۱۳۹۲؛ مه‌رایی و همکاران، Mehrabi et al., ۱۳۹۳ al., 2015	Shamanian et al., 2004; Fard et al., 2006; Mehrabi et al., 2015	Shamanian et al., 2004; Mehrabi et al., 2015	تاج‌الدین، ۱۳۷۷؛ راستاد و همکاران، ۱۳۷۷، ۱۳۷۹؛ Mehrabi et al., 2015	امام‌جمعه، ۱۳۸۵؛ امام- جمعه و همکاران، ۱۳۸۷؛ Mehrabi et al., 2015	مه‌رایی و همکاران، ۱۳۹۳؛ Mehrabi et al., 2015

#### ۸-۴- عوامل مؤثر در تشکیل محدوده اکتشافی مس سطوح

شناخت عوامل مؤثر در تشکیل و تمرکز ماده معدنی با شناخت کامل تمام ویژگی‌های ژنتیکی کانسار امکان‌پذیر می‌باشد. بعضی از این عوامل در کانه‌زایی محدوده مورد مطالعه شناخته شده است که در ادامه به توضیح مختصری از هر یک از این عوامل پرداخته می‌شود.

**موقعیت تکتونیکی منطقه:** با توجه به این که کمان‌های ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای و جزایر قوسی آتشفشانی، محیط‌های مناسبی برای تشکیل کانسار رگه‌ای گرمایی (اپی‌ترمال) هستند؛ می‌توان بیان کرد که محدوده مورد مطالعه به علت قرارگیری بر روی کمان ماگمایی حاشیه فعال قاره‌ای مکان مناسبی برای تشکیل این نوع کانسار است.

**سنگ میزبان:** یکی از پارامترهای مهم برای ایجاد کانی‌سازی بعد از محیط تکتونیکی سنگ میزبان به حساب می‌آید. قابل ذکر است که محیط تکتونیکی در تعیین نوع ماگما نقش دارد و در نهایت ماگمای تشکیل شده نوع کانه‌زایی را مشخص می‌کند. بررسی‌های انجام گرفته در رابطه با سنگ‌شناسی محدوده نشان از وجود توده‌های نفوذی کوارتزموئودیوریت، گرانودیوریت و گرانیت به همراه رخنمون‌های کوچکی از سنگ‌های آذرآواری (کریستال‌لیتیک‌توف) است که طی فعالیت آتشفشانی ائوسن-الیگوسن ایجاد شده‌اند. بدیهی است که این سنگ‌ها علاوه بر ماهیت مناسب، به علت وجود گسل‌ها و درزه و شکستگی‌های فراوان و نیز تخلخل، محیط مناسبی را برای تمرکز ماده معدنی به وجود آورده‌اند.

**ساختارهای زمین‌شناسی منطقه:** گسل‌های ناحیه‌ای به عنوان کنترل‌کننده مهم در شکل‌گیری ذخایر اپی‌ترمال محسوب می‌شوند. مطالعات ساختاری و کانه‌زایی در محدوده نشان می‌دهد که جایگیری سیالات و شکل‌گیری رگه‌ها در ارتباط مستقیم با شکستگی‌های اولیه است. در واقع حضور گسل‌ها و شکستگی‌های فراوان موجود از قبل در منطقه، زمینه را برای نفوذ آب‌های جوی فراهم کرده که در نتیجه اختلاط با آب‌های ماگمایی، سیالات گرمایی شکل گرفته‌اند. طی واکنش متقابل این سیالات با سنگ‌های میزبان، محلول‌های غنی از عناصر فلزی (مس، سرب و روی و ...) تشکیل شده‌اند. قابل ذکر

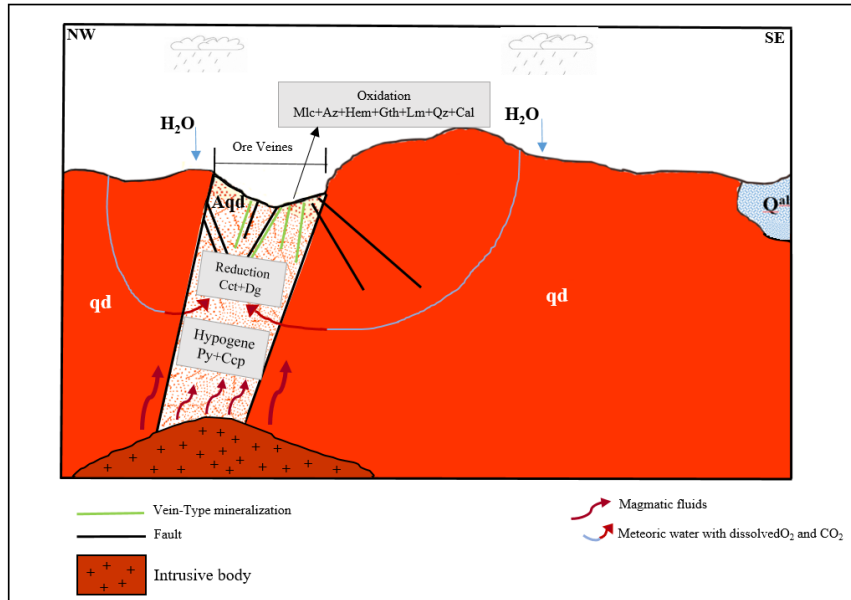
است که کانه‌زایی دارای روند و جایگاه خاصی نیست و عمدتاً از روند گسل‌ها و شکستگی‌ها تبعیت می‌کند. همان‌طور که در فصل‌های گذشته بیان شد، روند غالب کانه‌زایی در محدوده شمال شرقی- جنوب غربی و نیز تقریباً هم‌روند با گسل‌های اصلی تروود و انجیلو است.

**منبع حرارتی:** وجود توده‌های نفوذی در عمق، گرمای لازم را جهت تشکیل این کانسار فراهم کرده است.

**منشأ و ماهیت سیالات:** در سیستم‌های رگه‌ای گرمابی آب‌های جوی نقش اساسی دارند. به‌علت وجود توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق، کانسارهای رگه‌ای گرمابی در اثر اختلاط آب‌های جوی و ماگمایی تشکیل می‌شوند. در محدوده اکتشافی مس سطوه دمای همگن شدن بین ۱۳۰ تا ۱۹۰ درجه سانتی‌گراد و شوری حدود ۲/۰۲ تا ۶/۷۱ درصد وزنی نمک طعام است که بیشتر فرآیند رقیق‌شدگی با آب‌های جوی را نشان می‌دهد. نوع کانی‌های تشکیل‌دهنده و دگرسانی اطراف آن و نیز پایین بودن شوری سیال نشان از ماهیت کمی قلیایی تا نزدیک به خنثی سیال کانه‌ساز می‌باشد.

**منشأ عناصر کانه‌ساز:** میزان تکامل سیال گرمابی و درصد اختلاط با آب‌های جوی، در نوع فلزات و کانه‌های موجود می‌تواند تأثیر مستقیم داشته باشد. در مورد منشاء احتمالی مس و فلزات همراه در منطقه معدنی، باید گفت که توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق و توف‌ها در منطقه می‌توانند منشاء مهمی برای مس و دیگر فلزات محسوب شوند. این سنگ‌ها حاوی مقادیر فراوانی کانی‌های سیلیکاته ناپایدار مانند پلاژیوکلاز، بیوتیت و پیروکسن هستند که همه آنها مقادیری مس و دیگر فلزات غیر آهنی درون شبکه خود دارند. مس و دیگر فلزات موجود در این کانی‌ها توسط سیالات گرمابی، از شبکه آنها آزاد و در سیال کانه‌ساز به صورت محلول وارد و حمل می‌گردند. قابل ذکر است که میزان فلزات در این سیالات وابسته به درجه حرارت و pH سیال می‌باشد؛ به‌گونه‌ای که با افزایش میزان دما و کاهش pH میزان فلزات در سیال زیاد می‌شود. نوع فلزات هم وابسته به ترکیب شیمیایی سنگ دیواره (سنگ‌های حدواسط و مافیک) می‌باشد. همچنین از عوامل دیگری که بر میزان فلزات در سیال می‌تواند تأثیر گذارد، نسبت

سیال به سنگ است. هرچه نسبت سیال به سنگ بالا باشد، میزان فلزات در سیال هم بالاست. سیالات حاوی فلزات ممکن است به طور مستقیم از ماگما هم نشأت بگیرند که سهم این سیالات ماگمایی غنی از فلز بسیار پایین می باشد.



شکل ۸-۱- نمایی شماتیک از الگوی تشکیل و نحوه کانه‌زایی صورت گرفته در محدوده اکتشافی مس سطوه.

## ۸-۵- پیشنهادات اکتشافی و تحقیقاتی

در راستای تکمیل اطلاعات به دست آمده در محدوده سطوه و با توجه به نتایج اولیه حاصل شده از این محدوده، توجه به نکات زیر جهت تحقیقات بعدی و فعالیت‌های اکتشافی لازم به نظر می‌رسد.

- اطلاعات جمع‌آوری شده در این تحقیق همگی با استفاده از مشخصات سطحی و حداکثر عمق چند متری کانسار بوده است. از این رو پیشنهاد می‌گردد جهت دستیابی به اطلاعات بیشتر در مورد خصوصیات کمی و کیفی ماده معدنی (به ویژه بخش سولفیدی) در اعماق، گمانه‌های عمیق در منطقه حفر گردد.

- مطالعه و تفسیر دقیق تغییرات دگرسانی، زمین‌شیمیایی و پهنه‌بندی کانیایی در گمانه‌ها.

- با توجه به ارتباط کانه‌زایی با توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق به همراه دگرسانی‌های مرتبط با آن و هم‌چنین ارتباط کانه‌زایی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، پیشنهاد می‌شود پی‌جویی مس در مقیاس ناحیه‌ای با استفاده از تکنیک دورسنجی و ژئوفیزیک هوابردی انجام پذیرد.

- به دلیل محدودیت‌های مالی و زمانی در این تحقیق بررسی کافی برای تعیین فراوانی طلا صورت نگرفت. با توجه به شباهت‌های محدوده اکتشافی مس سطوح با کانسارهای اپی‌ترمال و بنا به حضور طلا و نقره در اندیس‌ها و کانسارهای پیرامون منطقه مطالعاتی، بررسی‌های بیشتر به منظور اکتشاف طلا و نقره بر روی این کانسار پیشنهاد می‌گردد.

منابع و مأخذ

## منابع فارسی

- اسدا... نژاد ا، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس قله‌چیلی، جنوب دامغان"، دانشکده علوم‌زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- اشراقی ص.ع. و جلالی ا، (۱۳۸۵) " نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ معلمان " سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران.
- آقنابتی س.ع، (۱۳۸۳) " زمین‌شناسی ایران " چاپ اول، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، ص ۶۰۸.
- امام‌جمعه ا، (۱۳۸۵)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و ژنز کانسار مس چاه موسی (شمال‌غرب طرود، استان سمنان)"، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- امام‌جمعه ا، راستاد ا، بوذری ف. و رشیدنژادعمران ن.ا، (۱۳۸۷)" معرفی سامانه واحد کانه‌زایی افشان - رگچه‌ای و رگه‌ای مس (سرب، روی) در محدوده معدنی چاه‌موسی -قله‌کفتران، بخش خاوری کمان ماگمایی طرود-چاه‌شیرین " فصلنامه علوم زمین، دوره ۱۸، شماره ۷۰، ص ۱۱۲-۱۲۵.
- بهرام‌پور م، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد: "پتروژنز، ژئوشیمی و نقش توده‌های ساب‌ولکانیک در زایش مس محدوده چاه مورا، شمال ترود"، پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- تاج‌الدین ح.ع، (۱۳۷۷)، پایان‌نامه ارشد: "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، زمین‌شیمی و ژنز اثر معدنی طلای دارستان (جنوب دامغان) "، دانشکده علوم پایه، دانشگاه تربیت مدرس.
- حقیقی ا، علیرضایی س. و اشرف‌پور ا، (۱۳۹۲) "کانه‌زایی، دگرسانی و ویژگی‌های سیال کانه‌زا در کانسار فلزات پایه و گرانبه‌های چشمه‌حافظ، رشته‌کوه طرود-چاه‌شیرین، شمال ایران مرکزی " فصلنامه علوم زمین، دوره ۲۲، شماره ۸۸، ص ۹۹-۱۱۰.

- خادمی م، (۱۳۸۶)، رساله دکتری، "ویژگی‌های ساختاری و وضعیت زمین‌شناسی منطقه ترود"، دانشگاه شهید بهشتی، ۲۰۰ ص.
- خرم‌تاش ی، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و نحوه تشکیل کانسار مس ساغری، جنوب شاهرود، استان سمنان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- خواجه‌زاده م.ح، (۱۳۸۸)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "پترولوژی و زمین‌شیمی توده‌های آذرین نفوذی شمال مغلان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- راستاد ا، رشیدنژاد عمران ن.ا. و تاج‌الدین، ح.ع، (۱۳۷۷) "زمین‌شیمی و عوامل کنترل‌کننده کانه‌سازی طلا-مس در اثر معدنی دارستان (جنوب دامغان)" دومین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، انجمن زمین‌شناسی ایران.
- راستاد ا، تاج‌الدین ح.ع، رشیدنژاد عمران ن.الف. و باباخانی، ع.ر، (۱۳۷۹) "خاستگاه و پتانسیل طلا (مس) در محدوده معدنی دارستان - باغو (جنوب دامغان)" **فصلنامه علوم زمین**، شماره ۳۶-۳۵، ص ۶۰-۷۰.
- رشیدنژاد عمران ن، (۱۳۷۱)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "بررسی تحولات سنگ‌شناسی و ماگمایی و ارتباط آن با کانه‌سازی طلا در منطقه باغو (جنوب دامغان)"، دانشگاه تربیت معلم.
- سلطانی ا، (۱۳۹۵)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس ابری، رهبری و چشمه‌مرضیه، شمال غرب درونه"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- شهاب‌پور ج، (۱۳۸۲ و ۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- شیرنورد شیرازی م، مقتدری ا. و حاج‌علیلو ب، (۱۳۸۹) "بررسی زمین‌شناسی و کانی‌سازی در کانسار گلگهر سیرجان" نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، مشهد.

- صالحی نسب س، (۱۳۹۴)، پایان نامه ارشد: "کانی شناسی، زمین شیمی و الگوی پیدایش کانسار مس - سلسیت بند قیچی منطقه طرود، جنوب شاهرود"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- طالع ماسوله س، قربانی م، حکیمی آسیابر، س، (۱۳۸۹)، "مطالعه زمین شناسی اقتصادی کانسار مس چاه گله سمنان شمال غرب ترود"، فصلنامه علمی پژوهشی زمین و منابع واحد لاهیجان، سال سوم، شماره اول.
- کریم پور، م ح، (۱۳۸۱)، "تصویر پردازش داده های ماهواره استر برای شناسایی کانی های معرف دگرسانی در محدوده اکتشافی رباعی"، برگرفته از گزارش پایان عملیات اکتشاف مس رباعی.
- گیلبرت و پارک، (۱۳۷۸)، "زمین شناسی کانسارها"، ترجمه سعید علی رضایی، نشر دانش امروز موسسه انتشارات امیر کبیر تهران.
- عبداللهی حیدر باغی ا، (۱۳۹۵)، پایان نامه ارشد: "زمین شناسی، کانی شناسی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس و آهن رباعی، جنوب دامغان"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- علوی م، هوشمندزاده ع، اطمینان ه. و حقی پور ع، (۱۳۵۵) "نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ طرود" سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران، نقشه شماره H5.
- علی رضایی س، (۱۳۸۹) "زمین شناسی کانسارها" چاپ دوم، امیر کبیر، تهران، ص ۹۸۳.
- غفاری م، (۱۳۸۹)، پایان نامه ارشد: "پترولوژی و ژئوشیمی توده گرانیتوئیدی ظفرقند (جنوب شرق اردستان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- قربانی ق، (۱۳۸۴)، رساله دکتری، "پترولوژی سنگ های ماگمایی جنوب دامغان، دانشگاه شهید بهشتی.

- قربانی م، (۱۳۸۶) "زمین‌شناسی اقتصادی ذخایر معدنی و طبیعی ایران" چاپ اول، انتشارات آریز زمین، ص ۴۹۲.
- منصوری، س، (۱۳۹۰)، پایان‌نامه ارشد: "پتروگرافی و ژئوشیمی گرانیتوئیدهای شمال کبود هنگ و اسکارن مرتبط"، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، دانشکده علوم زمین، دانشگاه ابوعلی سینا.
- مهابادی ر، (۱۳۹۷)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس آبگاره"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- مهرابی ب. و قاسم‌سیانی م، (۱۳۸۹) "کانی‌شناسی و زمین‌شناسی اقتصادی کانسار پلی‌متال چشمه-حافظ، استان سمنان، ایران" **مجله زمین‌شناسی اقتصادی**، دوره ۲، شماره ۱، ص ۲۰-۱.
- مهرابی ب، قاسم‌سیانی م. و طالع‌فاضل ا، (۱۳۹۳) "بررسی سامانه کانه‌زایی فلزات پایه و گرانبها در محدوده‌های معدنی چشمه‌حافظ و چالو کمان ماگمایی طرود-چاه‌شیرین" **فصلنامه علوم زمین**، دوره ۲۴، شماره ۹۳، ص ۱۱۸-۱۰۵.
- ناهیدی‌فر ا، (۱۳۹۳)، پایان‌نامه ارشد: "کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار مس دیان (جنوب دامغان)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- هوشمندزاده ع، علوی نائینی م و حقی‌پور ع، (۱۳۵۷)، "تحول پدیده‌های زمین‌شناسی ناحیه ترود، از پرکامبرین تا عهد حاضر"، سازمان تحقیقات زمین‌شناسی و معدنی کشور، ص ۱۳۸.
- یوسفی ف، (۱۳۹۶)، رساله‌ی دکتری: "پتروژنز و زمین‌شناسی ایزوتوپی سنگهای آذرین نفوذی پس از ائوسن نوار ماگمایی طرود-احمدآباد (جنوب‌شرق شاهرود)"، دانشکده علوم زمین، دانشگاه صنعتی شاهرود.

- Agangi A. and Reddy S.M. (2016) "Open-system behaviour of magmatic fluid phase and transport of copper in arc magmas at Krakatau and Batur volcanoes, Indonesia" **Journal of Volcanology and Geothermal Research**, 327, pp 669-686.
- Akaryalı E. and Tüysüz, N. (2013) "The genesis of the slab window-related Arzular low-sulfidation epithermal gold mineralization (eastern Pontides, NE Turkey)" **Geoscience Frontiers**, 4(4), pp 409-421.
- Al-Hwaiti M. Zoheir B. Lehmann B. and Rabba I. (2010) "Epithermal gold mineralization at Wadi Abu Khushayba, southwestern Jordan" **Ore Geology Reviews**, 38(1-2), pp 101-112.
- Baker W.E. (1978) "The role of humic acid in the transport of gold" **Geochimica et Cosmochimica Acta**, 42(6), pp 645-649.
- Barnes H. L. (1997) "**Geochemistry of hydrothermal ore deposits**" (Vol. 1). John Wiley & Sons
- Bates R.L Jackson., J. A. (1980), "**Glossary of geology. American Geological Institute**", Falls church, Virginia, 751p.
- Bodnar R.J. (1983) "A method of calculating fluid inclusion volumes based on vapor bubble diameters and PVTX properties of inclusion fluids" **Economic Geology**, 78(3), pp 535-542.
- Cabral A.R. and Beaudoin G. (2007) "Volcanic red-bed copper mineralisation related to submarine basalt alteration, Mont Alexandre" **Quebec Appalachians**, Canada. *Mineralium Deposita*, 42(8), pp 901-912.
- Chen Y.J. Pirajno F. Wu G. Qi J.P. and Xiong X.L. (2012) "Epithermal deposits in north 214 Xinjiang, NW China" **International Journal of Earth Sciences**, 101(4), pp 889-917.
- Cox K.G. Bell J.D. and Pankhurst R.J. (1979) "The interpretation of igneous rocks" **George Allen and Unwin**, pp 450.

- Craig G.R. and Vaughan, P. (1994), “**Ore Microscopy and Ore Petrography**”. John Wiley and Sons, 434p. Institute, Falls Church, Virginia, 751p.
- Craig J.R. and Vokes F.M., (1993), “The metamorphism of pyrite and pyritic ores” **an overview**, *Mineralogical Magazine*, v. 57, p. 3-18.
- Craig J.R., Vaughan D.J. and Hagni R.D. (1981), “**Ore microscopy and ore petrography**” (Vol. 406). New York: Wiley.
- Damerson L. M., (1990) “**The petrology and geochemistry of tuffs and tuff breccias of the Thirtyone Mile Mountain area, Central Colorado**”. Department of Geology, The college of Wooster, OH 44691.
- Davidson J.P. (1996) “Deciphering mantle and crustal signatures in subduction zone magmatism” *Subduction top to bottom*, pp. 251-262.
- Esteban-Arispe I. Velasco F. Boyce A. J. Morales-Ruano S. Yusta, I. and CarrilloRosúa, J. (2016) “Unconventional non-magmatic sulfur source for the Mazarrón Zn–Pb– Cu– Ag–Fe epithermal deposit (SE Spain)” *Ore Geology Reviews*, 72, pp 1102-1115.
- Fard M. Rastad E. and Ghaderi M. (2006) “Epithermal gold and base metal mineralization at Gandy deposit, north of Central Iran and the role of rhyolitic intrusions” *Islamic Republic of Iran*, 17(4), pp 327-335.
- Haldar S. K. (2012), “**Mineral exploration: principles and applications**”, Newnes, pp. 334.
- Haas J.L. (1971) “The effect of salinity on the maximum thermal gradient of a hydrothermal system at hydrostatic pressure” *Economic Geology*, 66(6), pp 940-946.
- Irvin T.N.J, Baragar W.R.A.F. (1971) “**A guide to the chemical classification of the common volcanic rocks**”, *Canadian journal of earth sciences*, 8(5), pp. 523-548.
- Kojima S. Trista-Aguilera D. and Hayashi K.I. (2009) “Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits” *Resource geology*, 59(1), pp 87-98.
- Lanfranchini M.E. Etcheverry R.O. de Barrio R.E. and Hernández C.R. (2013) “Precious metal-bearing epithermal deposits in western Patagonia (NE Lago Fontana region), Argentina” *Journal of South American Earth Sciences*, 43, pp 86-100.

- Lentz D.R. (1994) "Alteration and alteration processes Associated with oreforming system". **Geological Association of Canada Short Course Notes**, v. 11.
- Marshal D., (Lyn) Anglin C. D., Mumin H. (2004), "**Ore Mineral Atlas**", 107 Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaze.
- McCarroll R.J. Graham I.T. Fountain R. Privat K. and Woodhead J. (2014) "The Ojolali region, Sumatra, Indonesia: Epithermal gold–silver mineralisation within the Sunda Arc" **Gondwana Research**, 26(1), pp 218-240.
- Mehrabi B. Ghasemi S.M. (2012) "**Intermediate Sulfidation Epithermal Pb-Zn-Cu ( $\pm$ AgAu) Mineralization at Cheshmeh Hafez Deposit, Semnan Province, Iran**", Journal of the Geological Society of India, 80(4), pp.563-578.
- Mehrabi B. Ghasemi S.M. and Tale F.E. (2015) "Structural control on epithermal mineralization in the Troud-Chah Shirin belt using point pattern and Fry analyses, north of Iran" **Geotectonics**, 49(4), pp 320-331.
- Nadeau O. (2011), "**The Behaviour of Base Metals in Arc-Type MagmaticHydrothermal Systems–Insights from Merapi Volcano, Indonesia**" McGill University (Canada), pp.195.
- Nakamura N. (1974). "**Determination of REE, Ba, Fe, Mg, Na and K in carbonaceous and ordinary chondrites**", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 38(5), pp. 757-775.
- Peccerillo, A., Taylor, S. R. (1976). "**Geochemistry of Eocen calc-alkaline volcanic rocks from the Kastamonu area, Northern Turkey**", *Contributions to Mineralogy and Petrology* 58, p.63-81.
- Pettijohn F.J. (1975) "Sedimentary rocks" **3rd edition, Harper and Row, New York**, 628 pp.
- Pirajno F.J. (1992) "**Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and fundamental concepts for the Exploration Geologist**" Springer, verlag, p. 706.
- Ramdohr P. (1980) "The ore minerals and their intergrowths, 2nd end" Vol. 2, **International Series in Earth Sciences**, pp 1075.
- Robb L. (2004), "**Introduction to Ore-Forming Processes**", Blackwell Publishing, pp.386.

- Rodder E. (1976). “**Fluid inclusions: Reviews in mineralogy**”. v.12, miner. Soc. Am. Reston, Virginia.
- Shamanian G.H. Hedenquist J.W. Hattori K.H. and Hassanzadeh J. (2004) “The Gandy and Abolhassani epithermal prospects in the Alborz magmatic arc, Semnan province, Northern Iran” **Economic Geology**, 99(4), pp 691-712.
- Shepherd T.J. Rankin A.H. and Alderton D.H. (1985) “A practical guide to fluid inclusion studies” **Blackie**.
- Sillitoe R.H. and Hedenquist J.W. (2003) “Linkages between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits” **Special Publication Society of Economic Geologists**, 10, pp 315-343.
- Sillitoe R.H., Perelló, J. (2005) “Andean copper province: Tectonomagmatic settings, deposit types, metallogeny, exploration, and discovery” **Economic Geology 100th Anniversary Volume**, pp.845-890.
- Simmons S.F. Arehart G. Simpson M.P. and Mauk J.L. (2000) “Origin of massive calcite veins in the Golden Cross low-sulfidation, epithermal Au-Ag deposit, New Zealand” **Economic Geology**, 95(1), pp 99-112.
- Simmons S.F. White N.C. and John D.A. (2005) “Geological characteristics of epithermal precious and base metal deposits” **Economic Geology 100th anniversary volume**, 29, pp 485-522.
- Sorby. H. C. (1980). “**On microscopic structure of crystals indicating the origin of minerals and rocks**”, Journal of Geological Society, London.
- Sun S. S., McDonough W. S. (1989). “**Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes**”. Geological Society, London, Special Publications, 42(1), pp. 313-345.
- Tristá-Aguilera D. Barra F. Ruiz J. Morata D. Talavera-Mendoza O. Kojima S. and Ferraris F. (2006) “Re–Os isotope systematics for the Lince–Estefanía deposit: constraints on the timing and source of copper mineralization in a stratabound copper deposit, Coastal Cordillera of Northern Chile” **Mineralium Deposita**, 41(1), pp 99.

- Tucker M.E. (2009) “Sedimentary petrology: an introduction to the origin of sedimentary rocks” **John Wiley & Sons**.
- Weaver B.L. and Tarney J. (1984) “Major and trace element composition of the continental lithosphere” **Physics and Chemistry of the Earth**, 15, pp 39-68.
- White N.C. and Hedenquist J.W. (1995) “Epithermal gold deposits: styles, characteristics and exploration” **SEG newsletter**, 23(1), pp 9-13.
- Whitney, D. L., Evans, B. W. (2010) “**Abbreviations for names of rock-forming minerals**” *American mineralogist*, 95 (1), pp 185-187.
- Wilkinson J.J. (2001) “Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits” **Lithos**, 55(1-4), pp 229-272.
- Yilmaz H. Oyman T. Sonmez F.N. Arehart G.B. and Billor Z. (2010) “Intermediate sulfidation epithermal gold-base metal deposits in Tertiary subaerial volcanic rocks, Sahinli/Tespil Dere (Lapseki/Western Turkey)” **Ore Geology Reviews**, 37(3-4), pp 236-258.
- Zhong J. Chen Y.J. Qi J.P. Chen J. Dai M.C. and Li J. (2017) “Geology, fluid inclusion and stable isotope study of the Yueyang Ag-Au-Cu deposit, Zijinshan orefield, Fujian Province, China” **Ore Geology Reviews**, 86, pp 254-270.
- Zhong J. Chen Y.J. Chen J. Qi J.P. Dai M.C. (2018) “Geology and fluid inclusion geochemistry of the Zijinshan high-sulfidation epithermal Cu-Au deposit, Fujian Province, SE China: Implication for deep exploration targeting” **Journal of Geochemical Exploration**, 184, pp 49-65.

پوست

پیوست ۱- مختصات و مشخصات گسل‌های برداشت شده در محدوده اکتشافی سطوه.

شماره گسل	مختصات جغرافیایی			امتداد
	Z	X	Y	
F1	1550	54° 40' 59.2"	35° 22' 41.2"	130
F2	1554	54° 40' 59.3"	35° 22' 41.5"	160
F3	1559	54° 40' 59.7"	35° 22' 43"	145
F4	1557	54° 40' 59.6"	35° 22' 43.8"	125
F5	1573	54° 40' 59.9"	35° 22' 44.4"	15
F6	1573	54° 40' 59.6"	35° 22' 44.4"	105
F7	1574	54° 41' 1.50"	35° 22' 46.2"	120
F8	1594	54° 41' 0.8"	35° 22' 48.4"	10
F9	1594	54° 41' 0.8"	35° 22' 48.4"	115
F10	1594	54° 41' 0.1"	35° 22' 48.9"	10
F11	1597	54° 40' 59.4"	35° 22' 49.1"	10
F12	1601	54° 40' 58"	35° 22' 49.3"	120
F13	1595	54° 41' 3.4"	35° 22' 48.3"	70
F14	1586	54° 41' 5.2"	35° 22' 51"	75
F15	1578	54° 41' 6.3"	35° 22' 51.2"	160
F16	1560	54° 41' 8.8"	35° 22' 49.8"	150
F17	1550	54° 41' 11.6"	35° 22' 50.4"	150

پیوست ۲- نمونه‌های تجزیه شده از سنگ‌های دارای رخنمون و کانسنگ در محدوده اکتشافی (اکسیدهای اصلی به روش XRF (Wt%)).

sample	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	BaO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO	MnO	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	LOI	Sr
SNSB-2	57.91	16.22	0.10	4.32	6.49	2.82	3.30	0.15	3.75	0.24	0.11	0.72	3.87	<
SNSB-3	57.68	16.27	0.06	5.61	6.47	2.92	3.03	0.18	3.21	0.25	0.09	0.71	3.52	<
SNSB-6	55.04	16.93	0.06	6.16	7.26	3.04	3.65	0.20	3.02	0.27	0.12	0.76	3.50	<
SNSB-8/2	53.29	16.21	<	3.72	9.61	1.73	4.61	0.18	2.75	0.26	<	0.72	6.93	<
SNSB-10/2	76.66	13.05	<	0.15	2.05	0.17	0.47	<	6.21	0.05	<	0.24	0.95	<

<b>SNSB-11/2</b>	64.88	15.59	<	0.47	6.13	0.23	3.53	0.10	5.66	0.22	<	0.50	2.70	<
<b>SNSB-12</b>	64.85	16.84	<	3.23	2.56	2.11	1.04	0.10	2.98	0.18	<	0.72	5.40	<

پیوست ۳- نمونه‌های تجزیه شده از سنگ‌های دارای رخنمون و کانسنگ در محدوده اکتشافی (عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب خاکی به روش ICP-MS (ppm)).

sample	SNSB-1	SNSB-2	SNSB-3	SNSB-3/2	SNSB-5	SNSB-6/1	SNSB-7/1	SNSB-7/2	SNSB-8	SNSB-8/2	SNSB-10	SNSB-10/2	SNSB-11/1	SNSB-11/2	SNSB-12	SNSB-12/1
Ag	0.3	0.2	0.3	0.3	1.3	1.9	0.7	4.6	0.5	<0.1	<0.1	0.2	0.2	<0.1	0.1	0.1
Al	70941	85809	86736	82542	69005	68218	83936	67473	88640	85869	79519	68330	71157	75912	83428	73700
As	41.3	5.1	3.7	5.5	7.8	3.6	9	11.9	13.4	2.5	4.6	17.3	10.3	13.4	4.4	5.8
Ba	27	651	590	252	268	106	66	29	116	116	31	20	14	12	105	31
Be	1.6	1.5	1.4	1.4	1.5	1.5	1.3	1.3	1.9	1.5	1.2	1.1	0.8	0.8	1.8	1.4
Bi	0.7	<0.1	<0.1	1.4	2.6	0.9	0.5	6.6	0.7	0.2	0.1	0.2	0.4	0.2	<0.1	0.5
Ca	16126	37419	46652	3764	50254	4649	20468	13625	8941	29429	3439	8905	2827	3367	28958	23883
Cd	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
Ce	54	55	53	37	47	42	48	37	44	48	62	51	19	43	60	59
Co	14.6	18.1	17.9	55.8	33.4	26.7	22.3	27.4	41.3	20	9.8	8.1	79.5	44.5	12.2	63.4
Cr	15	43	40	51	37	77	45	47	46	40	38	14	33	34	52	50
Cs	<0.5	1.4	2.2	2.1	4.1	3.1	3	2.6	4.7	4.5	0.6	<0.5	<0.5	<0.5	3.7	3
Cu	362	88	100	7326	23154	12968	476	21273	12513	127	16396	326	2771	42	105	2663
Dy	2.48	3.42	3.31	2.19	3.24	2.84	2.7	2.2	2.78	3.09	3.01	1.61	0.95	1.81	3.23	3.41
Er	1.88	2.4	2.21	1.48	2	1.86	1.59	1.47	1.72	1.96	1.83	1.05	0.62	1.21	2.08	2.02
Eu	0.52	1.55	1.55	0.75	1.54	0.67	1.03	0.72	0.98	1.05	0.78	0.36	0.21	0.82	1.09	1.44
Fe	8740	40421	41477	71752	55238	59703	58557	70121	58537	50306	26367	9945	44675	40066	27523	59463
Gd	3.17	4.22	4.46	2.77	3.8	3.08	3.45	2.98	3.37	3.91	3.75	2.75	1.31	3.01	4.68	4.77
Hf	3.09	3	1.6	0.99	1.23	1.41	1.55	1.52	1.3	1.37	0.52	2.7	1.61	1.68	0.62	0.8
In	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
K	4819	15269	23326	9537	17943	10995	15015	14314	20832	20542	5482	3228	2345	2111	18362	6625
La	27	27	28	21	24	23	26	19	22	25	28	22	10	22	31	37
Li	4	17	13	29	22	34	23	28	26	27	23	5	44	30	22	41
Lu	0.34	0.34	0.31	0.24	0.24	0.25	0.26	0.24	0.26	0.3	0.25	0.21	0.16	0.2	0.29	0.3
Mg	1029	15939	14008	>2%	10335	19178	19416	14609	15608	16787	5886	973	15908	17433	9319	>2%
Mn	355	1005	1245	1011	2273	1166	2161	2610	2055	1392	854	216	777	664	866	1483

Mo	6	1	1	11	44	6	4	14	5	1	5	8	6	1	1	8
Na	48182	28119	25514	28514	10713	14572	24747	12088	19904	22188	47245	49429	34462	43778	23043	23086
Nb	8.4	6.9	6	6.6	4.6	9.5	7	5.5	6	5.4	8.4	9.2	3.9	6	7.5	7.1
Nd	22.4	27.7	27.1	22.1	23.3	20.9	24.4	18.3	22.6	25.9	32.8	23.6	10.5	22.9	29.4	31.8
Ni	18	17	16	24	14	34	35	18	24	17	13	10	26	20	26	29
P	341	985	1030	1045	914	868	1000	995	1092	1016	730	258	736	828	794	965
Pb	13	17	15	25	15	11	15	16	10	14	<1	<1	5	3	1	12
Pr	5.74	6.22	6	4.85	5.3	4.91	5.54	4.35	5.21	5.65	7.39	5.77	2.09	5.25	7.15	7.65
Rb	17	41	60	34	63	40	56	52	80	74	20	11	9	8	58	25
S	342	170	287	320	3914	1073	932	13659	145	112	141	166	197	54	100	240
Sb	2.1	0.8	5.3	6	5.2	4.9	4.7	6	2.9	3.1	2.7	0.8	2.3	1.7	0.7	6.3
Sc	5.7	19.1	18.4	19	16.4	14.5	19.2	15.8	18	17.8	11	4.1	8	12	16.1	14.3
Se	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
Sm	3.67	4.84	4.6	3.5	4.36	3.86	3.96	3.4	4.08	4.44	4.78	3.27	1.55	3.48	5.12	5.27
Sn	1.2	1.2	1.3	1.3	1.1	0.8	1.1	1	1.2	1.1	0.9	0.9	0.7	0.8	1.2	1.1
Sr	205	552	573	121	128	74.9	119	69.4	144	195	176	170	111	128	192	128
Ta	1.31	0.76	0.72	0.74	0.56	0.92	0.8	0.67	0.72	0.63	0.77	1.04	0.51	0.67	0.68	0.92
Tb	0.58	0.7	0.7	0.53	0.63	0.55	0.58	0.53	0.6	0.65	0.64	0.42	0.3	0.46	0.67	0.72
Te	0.45	0.22	0.15	0.3	0.46	0.3	0.15	0.3	0.61	<0.1	0.15	0.93	0.14	0.46	0.23	0.14
Th	20.03	10.7	8.82	7.8	6.31	10.88	8.97	7.51	10.98	8.59	17.03	26.62	7.73	8.54	12.16	9.79
Ti	1912	4803	4553	4498	3269	4130	4557	3858	4476	4231	3327	1586	2205	3034	4517	3543
Tl	0.14	0.5	0.54	0.37	0.8	0.57	0.53	0.66	0.73	0.69	0.31	0.12	0.12	<0.1	0.59	0.33
Tm	0.27	0.29	0.3	0.21	0.23	0.23	0.24	0.23	0.22	0.29	0.25	0.18	0.13	0.16	0.3	0.3
U	7.6	2	1.8	1.3	1.6	1.9	1.7	1.7	2.8	1.5	3.6	5.8	1.9	1.9	1.4	2.2
V	39	174	166	177	161	134	175	149	172	165	89	28	105	134	134	144
W	<1	1.1	<1	2.2	<1	2.6	1.4	1.4	2.2	<1	<1	<1	<1	3.3	<1	3.6
Y	15.4	19.5	19.5	11.2	16.2	9.7	14.1	11.5	14.7	17.1	15	11.7	5.3	9.7	17.4	18.6
Yb	1.7	2.3	2.3	1.7	2	1.4	2	1.8	2	2.1	1.4	1.3	1	1.4	1.8	2
Zn	10	92	78	139	107	56	95	116	179	110	73	7	81	56	61	129
Zr	110	96	55	29	43	56	50	50	33	35	14	83	54	56	21	27

پیوست ۴- نتایج مطالعات ریزدماسنجی (میکروترمومتری) سیالات درگیر بر روی نمونه‌های کلسیت در محدوده اکتشافی سطوح، N: شماره میانبارها، Te: دمای یوتکتیک، Tm: دمای ذوب نهایی یخ، TH: دمای همگن شدن سیال.

N	Size (μm)	Type	Origin	Tm (°C)	Te (°C)	TH (°C)	Salinity (Wt % NaCl)
1	6	L+V	P	+2	-35	130	3.09
2	6	L+V	P	+1	-33	130	2.02
3	6	L+V	P	+4	-33	130	6.71
4	6	L+V	P	-2.2	-32	190	3.43

## **Abstract**

Satveh copper exploration area, 130 km south of Damghan city in Semnan province, is part of a Torud-Chah shirin volcanic-sedimentary belt that has facies in the northern edge Structural-sedimentary zones of Central Iran. Investigations on host rocks in the desired area Existence of small outcrops of pyroclastic rocks (lithic crystal tuff) to Eocene age with semi-deep intrusions (quartz monzodiorite, granodiorite and granite) it is of Eocene-Oligocene age. These rocks are associated with a variety of argillic, sericitic, silicic, carbonatic, chloritic, and iron oxides alterations around the veins and in parts of the area. In addition, they are high-K, calc-alkaline in nature. Mineralization in Satveh exploration area occurred as veins along the fault planes in a semi deep intrusions Fractures resulting from operation of faults in the rocks of the region have created a favorable location for the influence of hydrothermal solution and it is considered as the main controller of mineralization. According to the field observations and mineralogical studies, the mineralization in the region was carried out in two stages: hypogene and supergene and weathering. Hypogen zone minerals are generally pyrite and chalcopyrite. Because of existence in oxidizing-supergene environment, nearly almost Cu bearing minerals of the main stage of mineralization have been replaced by secondary Cu minerals such as chalcocite, digenite, malachite and azurite. The most textures observed in the occurrence of mineralization include vein-veinlets, open space filling, colloform, replacement and disseminated. According to the geochemical data, the area rocks have significant enrichment in LREE and LILE and depletion in HREE and HFSE and negative anomalies in Ti and Nb elements. Fluid inclusion data shows in the temperature range from 130 to 190 °C and salinity between 2.02 and 6.71Wt %NaCl. Most of the studied fluid inclusions are from liquid rich two phases (L+V) type. On the base of a forementioned evidences, the principle deposition mechanism of ore minerals was mixing of two meteoric and magmatic fluids. finally, regarding our research the petrography, struactical control of mineralization, alteration type and its extention, simple mineralogy, geochemical, fluid inclusion properties of the study area and comparison with similar epithelial deposits, Satveh copper exploration area can be classified as vein type copper deposits.

**Keywords:** Mineralogy, Geochemistry, Cu, Epitermal Vein, Eocene-Oligocene, Satveh, Torud-Chah shirin.



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

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Satveh copper  
deposit, South of Damghan**

By:

**Nasim Norouzi**

Supervisor:

**Dr. Farajollah Fardoost**

Advisor:

**Dr. Mehdi Rezaei Kahkhaei**

February 2021