

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده علوم زمین

گروه پترولوژی و زمین‌شناسی اقتصادی

پایان نامه کارشناسی ارشد

کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانه‌زایی پلی‌متال هجیب، جنوب بوئین

زهران، استان قزوین

نگارنده: سمیرا مددی

استاد راهنما:

دکتر مسعود علی‌پور اصل

استاد مشاور:

دکتر سید احمد مشکانی

شهریور ۱۳۹۸

تقدیم به پدر و مادر عزیزم

خدای را بسی شاکرم که از روی کرم پدر و مادری فداکار نصیم ساخته تا در سایه

درخت پر بار وجودشان میسایم و از ریشه آنها شاخ و برگ گیرم و از سایه وجودشان

در راه کسب علم و دانش تلاش نمایم. والدینی که بودنشان تاج افتخاری است بر سرم و نشان دلیلی است بر بودنم چرا

که این دو وجود پس از پروردگار مایه هستی ام بوده اند دستم را گرفتند و راه رفتن

را در این وادی زندگی پر از فراز و نشیب آموختند.

آموزگاری که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند

حال این برگ سبزی است تخم درویش تقدیم آمان... به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگان

به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگار ان. بهترین پشتیبان است

به پاس قلب های بزرگشان که فریاد رس است و سرکردانی و ترس در پناهندگان به شجاعت می گراید

و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند.

این مجموعه را به پدر و مادر عزیزم تقدیم می کنم.

## سپاس و قدردانی

سپاس و ستایش مخصوص خداوندی است که نعمت بزرگ تعقل و انسانیت را به آدمی ارزانی داشت و همواره انسان را از خوان نعمت‌های بی‌دینش بهره‌مند ساخت. اینجانب در طول تحصیل از رهنمودهای ارزنده و بی‌دینغ افراد بزرگوار و برخوردار بودم که برخورد لازم میدانم از زحمات بی‌شائبه ایشان بازبانی قاصر قدردانی نمایم.

در ابتدا از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر معود علی‌پور اصل که با سعه صدر و بزرگواری، اینجانب را مشمول الطاف خود ساختند و تمامی موانع موجود را برایم هموار نمودند تشکر و قدردانی مینمایم. همچنین سپاس از ارشادات ارزشمند استاد بزرگوار مشاور جناب آقای سید احمد مشکاتی که مراد این راه همراهی نمودند.

در آخر از زحمات دلسوزانه اساتید بزرگوار و محترم گروه زمین‌شناسی به ویژه جناب آقایان دکتر فردوست و دکتر موسوند که همواره از راهنمایی‌های بی‌دینشان بهره‌برده‌ام نهایت تشکر و قدردانی را دارم.

سمیرا مددی

شهریور ۱۳۹۸

## تعهد نامه

اینجانب سمیرا مددی دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده علوم زمین دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه کانی‌شناسی، ژئوشیمی و الگوی پیدایش کانه‌زایی پلی‌متال هجیب، جنوب بوئین زهرا، استان قزوین تحت راهنمایی دکتر مسعود علی‌پور اصل 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 اخلاقی 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 است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود. استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

## چکیده

کانسار هجیب در استان قزوین و در ۲۳ کیلومتری جنوب شرق شهر بوئین زهرا واقع شده است. این منطقه جزئی از واحد ساختمانی ایران مرکزی است که بطور ویژه در قسمت شمالی کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه دختر قرار دارد. توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن رخنمون‌های سنگی این محدوده را تشکیل می‌دهد، که شامل سنگ‌های آذرآواری با ترکیب توف‌آندزیتی و لیتیک توف، گدازه‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی، ماسه‌سنگ توفی و ماسه‌سنگ می‌باشد. گدازه و توف‌های آندزیتی و ماسه‌سنگ‌های توفی میزبان رگه‌های سیلیسی کانه‌دار هستند. کانه‌زایی مس و عناصر همراه در منطقه هجیب عمدتاً به صورت رگه‌های سیلیسی فلزدار است، و به طور کلی ۹ رگه سیلیسی، سیلیسی-سولفیدی و سیلیسی-اکسید آهنی در این منطقه مشاهده شده است که تعداد ۴ عدد از این رگه‌ها از نظر طول، عرض و عیار در مقایسه با دیگر رگه‌ها مهم هستند. دگرسانی‌ها شامل پروپیلیتیک (کلریتی-اپیدوتی)، آرژیلیک، سریسیتی، سیلیسی-کربناتی و اکسید-هیدروکسیدهای آهن است. کانی‌های اصلی سازنده کانسار شامل: سولفیدها (کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، و پیریت)، کربنات‌ها (مالاکیت، آزوریت و سروزیت)، اکسیدهای آهن و منگنز (هماتیت، اولیژیست، گوتیت، لیمونیت و پیرولوسیت) و کانی‌های باطله (کلسیت، کوارتز و باریت) می‌باشند. بافت‌های غالب از نوع رگه-رگچه‌ای و کلوفرمی است، همچنین ساخت‌های منطقه شامل نواری، رگه-رگچه‌ای و برشی می‌باشد. مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای مادر سنگ‌های آذرین منطقه، ترکیب کالک آلکالن، متآلومین و پراآلومین دارد، و از نظر موقعیت زمین‌ساختی در محیط‌های مربوط به کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرد. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی می‌باشد. مقادیر غلظت عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره در رگه‌های سیلیسی هجیب در حد کانه‌زایی اقتصادی اندازه‌گیری شده است. براساس مطالعات میانبارهای سیال در کوارتز، دمای همگن‌شدگی ۱۴۷ تا ۲۵۰ (میانگین ۲۳۴) درجه سانتی‌گراد و میزان شوری نیز از ۰/۸۷ تا ۱۳/۰۶ (میانگین ۶/۰۷) درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. براساس دمای همگن-شدگی و شوری، کانه‌زایی در فشار ۱۰ تا ۱۰۰ بار و چگالی بین ۱ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب رخ داده

است. با توجه به شواهد زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمیایی و میانبارهای سیال، کانه‌زایی هجیب به عنوان یک کانسار رگه‌ای چندفلزی معرفی می‌گردد.

**کلمات کلیدی:** کانی‌شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی، میانبار سیال، رگه‌ای چندفلزی، هجیب.

## مقالات مستخرج از این پایان نامه:

-ویژگی های زمین شناسی و دگرسانی کانه زائی رگه ای چندفلزی هجیب، جنوب قزوین، بیست و یکمین

همایش زمین شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه پیام نور قم، آبان ۱۳۹۷.



## فهرست

### فصل اول: کلیات

- ۱-۱- مقدمه ..... ۲
- ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مورد مطالعه ..... ۳
- ۳-۱- شرایط آب و هوایی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه ..... ۴
- ۴-۱- مردم‌شناسی و وضعیت اجتماعی منطقه ..... ۶
- ۵-۱- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی ..... ۸
- ۶-۱- طرح مسئله و هدف از مطالعه ..... ۱۰
- ۷-۱- ضرورت انجام تحقیق ..... ۱۲
- ۸-۱- روش مطالعات ..... ۱۲
- ۱-۸-۱- مطالعات صحرایی ..... ۱۳
- ۲-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی و دفتری ..... ۱۳
- ۹-۱- انواع کانسارهای مس ..... ۱۴
- ۱-۹-۱- کانسارهای مس پورفیری: ..... ۱۴
- ۲-۹-۱- کانسارهای اسکارن مس‌دار ..... ۱۵
- ۳-۹-۱- کانسارهای سولفید تود ای مس ..... ۱۶
- ۴-۹-۱- کانسارهای مس رسوبی (استراتی‌باند و استراتی‌فرم) ..... ۱۶
- ۵-۹-۱- کانسارهای مس گرمایی رگه‌ای ..... ۱۷
- ۶-۹-۱- کانسارهای کربناتیسی مس ..... ۱۷

### فصل دوم: زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

- ۱-۲- مقدمه ..... ۲۲
- ۲-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای ..... ۲۳
- ۱-۲-۲- زمین‌شناسی کمربند ارومیه-دختر ..... ۲۳
- ۲-۲-۲- ارومیه- دختر جنوبی: محور دهج - سارودئیه- جبال بارز ..... ۲۴
- ۳-۲-۲- ارومیه - دختر میانی: تفت - کاشان - قم ..... ۲۴
- ۴-۲-۲- ارومیه - دختر شمالی: محور تفرش - رزن - تکاب - سهند ..... ۲۵
- ۳-۲- ژئودینامیک و تکتونیک زون ارومیه - دختر ..... ۲۵
- ۴-۲- چینه‌شناسی ناحیه‌ای ..... ۲۶
- ۵-۲- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی ..... ۳۰

۳۳	..... ۱-۵-۲- سنگ‌های رسوبی
۳۴	..... ۲-۵-۲- واحدهای آذرآواری
۳۷	..... ۳-۵-۲- گدازه‌های آتشفشانی

### فصل سوم: کانزایی و دگرسانی

۴۲	..... ۱-۳- مقدمه
۴۳	..... ۲-۳- عوامل مؤثر در کانزایی
۴۵	..... ۳-۳- کانزایی در منطقه مورد مطالعه
۵۰	..... ۴-۳- دگرسانی
۵۱	..... ۵-۳- دگرسانی‌های موجود در منطقه
۵۳	..... ۱-۵-۳- دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوتی - کلریتی)
۵۴	..... ۲-۵-۳- دگرسانی آرژیلیک
۵۶	..... ۳-۵-۳- دگرسانی سریسیتی
۵۸	..... ۴-۵-۳- دگرسانی سیلیسی-کربناته
۵۹	..... ۵-۵-۳- دگرسانی اکسید آهنی (هماتیتی-گوتیتی)

### فصل چهارم: کانی‌شناسی، ساخت، بافت و توالی پاراژنمیک

۶۲	..... ۱-۴- مقدمه
۶۲	..... ۲-۴- کانی‌های سولفیدی منطقه مورد مطالعه
۶۲	..... ۱-۲-۴- کالکوپیریت ( $CuFeS_2$ )
۶۳	..... ۲-۲-۴- پیریت ( $FeS_2$ )
۶۴	..... ۳-۲-۴- گالن ( $PbS$ )
۶۵	..... ۴-۲-۴- بورنیت ( $Cu_5FeS_4$ )
۶۵	..... ۵-۲-۴- کوولیت ( $CuS$ )
۶۵	..... ۶-۲-۴- کالکوسیت ( $CuS_2$ )
۶۶	..... ۳-۴- کانی‌های اکسیدی منطقه مورد مطالعه
۶۶	..... ۱-۳-۴- هماتیت ( $Fe_2O_3$ ) و اولیژیست
۶۷	..... ۲-۳-۴- گوتیت ( $FeOOH$ ) و لیمونیت ( $Fe_2O_3 \cdot H_2O$ )
۶۷	..... ۳-۳-۴- پیرولووزیت ( $\beta (MnO_2)$ )
۶۹	..... ۴-۴- کانی‌های کربناتی مس
۶۹	..... ۱-۴-۴- مالاکیت ( $Cu_2 CO_3(OH)_2$ )
۶۹	..... ۲-۴-۴- آزوریت ( $Cu_3(OH)_2(CO_3)_2$ )
۷۰	..... ۵-۴- کانیهای باطله در منطقه مورد مطالعه

۷۰	..... ۴-۵-۱- کوارتز
۷۱	..... ۴-۵-۲- کلسیت
۷۲	..... ۴-۵-۳- باریت
۷۳	..... ۴-۶-۱- ساخت و بافت
۷۳	..... ۴-۶-۱- ساخت و بافت رگه-رگچه‌های
۷۴	..... ۴-۶-۲- ساخت و بافت برشی
۷۵	..... ۴-۶-۳- ساخت و بافت نواری
۷۵	..... ۴-۶-۴- بافت کلوفرمی
۷۶	..... ۴-۶-۵- بافت جانشینی
۷۷	..... ۴-۶-۶- بافت دانه‌پراکنده
۷۷	..... ۴-۶-۷- بافت اسکلتی
۷۸	..... ۴-۷-۱- توالی پاراژنتیکی

### فصل نهم: ژئوشیمی

۸۲	..... ۵-۱- مقدمه
۸۲	..... ۵-۲- ژئوشیمی محیط سنگ
۸۲	..... ۵-۲-۱- نمونه‌برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ
۸۵	..... ۵-۲-۲- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین
۹۶	..... ۵-۳- ژئوشیمی محیط کانسنگ
۹۹	..... ۵-۳-۱- تحلیل‌های ژئوشیمیایی تک متغیره
۱۰۴	..... ۵-۳-۲- تحلیل‌های ژئوشیمیایی چند متغیره
۱۰۷	..... ۵-۳-۳- ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی کانسنگ‌های منطقه هجیب

### فصل ششم: مطالعه میانبارهای سیال

۱۱۴	..... ۶-۱- مقدمه
۱۱۴	..... ۶-۲- کلیاتی در مورد میانبارهای سیال
۱۱۷	..... ۶-۳- کاربرد مطالعات میانبارهای سیال
۱۱۸	..... ۶-۴- انتخاب و آماده‌سازی نمونه برای مطالعه میانبارهای سیال
۱۱۹	..... ۶-۵- پتروگرافی میانبارهای سیال
۱۲۱	..... ۶-۶- مطالعات میکروترمومتري میانبارهای سیال
۱۲۲	..... ۶-۶-۱- دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات
۱۲۳	..... ۶-۶-۲- چگالی و فشار سیال
۱۲۵	..... ۶-۶-۳- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی برای حمل فلزات

۶-۶-۴- تعیین تیپ کانه‌زایی و منشأ سیالات براساس داده‌های میانبارهای سیال ..... ۱۲۵

## فصل هفتم: تیپ و الگوی تشکیل کانسار، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

۱-۷- مقدمه ..... ۱۲۸

۲-۷- خلاصه‌ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه‌زایی ..... ۱۲۸

۳-۷- طبقه‌بندی و ویژگی‌های عمومی کانسارهای مس ..... ۱۳۰

۴-۷- مقایسه ویژگی‌های کانسار هجیب با انواع کانسارهای پلی‌متال ..... ۱۳۲

۵-۷- الگوی تشکیل کانسار چندفلزی رگهای هجیب ..... ۱۳۵

۶-۷- نتیجه‌گیری کلی ..... ۱۳۹

۷-۷- پیشنهادها: ..... ۱۴۰

منابع ..... ۱۴۱

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۱-۱. الف) نقشه راه‌های استان قزوین. ب) نقشه راه‌های دسترسی به محدوده ..... ۴
- شکل ۱-۲: تصویر ماهواره‌ای از ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه هجیب ..... ۵
- شکل ۱-۳-الف) دورنمایی از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه. ب) دورنمای از ژئومورفولوژی محدوده‌ی هجیب ..... ۶
- شکل ۱-۴-الف) تصویری از روستای هجیب. ب) نقشه پراکندگی و تراکم جمعیت استان قزوین ..... ۷
- شکل ۱-۵. کاروان سرای باستانی هجیب ..... ۷
- شکل ۱-۲. موقعیت کانسار هجیب بر روی کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر در نقشه زمین‌شناسی ساختاری-رسوبی ایران ..... ۲۲
- شکل ۲-۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد اقتباس شده است ..... ۲۷
- شکل ۲-۳. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۰۰۰۰ منطقه ی هجیب ..... ۳۲
- شکل ۲-۴. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحد ماسه سنگ در محدوده ..... ۳۴
- شکل ۲-۵. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحد لیتیک کریستال توف در محدوده ..... ۳۵
- شکل ۲-۶. دورنمایی از واحد توف آندزیتی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه و تصاویر میکروسکوپی ..... ۳۶
- شکل ۲-۷. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحد گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه ..... ۳۸
- شکل ۲-۸. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه ..... ۳۹
- شکل ۲-۹. تصاویر صحرایی و میکروسکوپی از واحد آندزیت پورفیری رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه ..... ۴۰
- شکل ۳-۱. ساختارهای تفسیر شده بر روی تصویر ماهواره‌ای محدوده هجیب ..... ۴۴
- شکل ۳-۲-الف) کانه‌زایی برشی لیمونیت در منطقه. ب) سیلیسی که توسط اکسید آهن به هم جوش خورده است ..... ۴۵
- شکل ۳-۳. دورنمایی از رگه‌های اول، دوم و سوم در منطقه هجیب ..... ۴۵
- شکل ۳-۴. الف) اولین رگه کانه‌زایی با میزبان ماسه‌سنگ توفی، ب) نمونه‌برداری شیاری از رگه پ) وجود اکسید آهن در رگه، ت) کانه‌زایی در رگه ..... ۴۶
- شکل ۳-۵. الف) دومین رگه کانه‌زایی با میزبان کریستال توف که توسط گسل جابه‌جا شده است، ب) پ) سیلیسی شدن در سطح گسل خورده‌ی کریستال لیتیک توف ..... ۴۷
- شکل ۳-۶. نمونه‌هایی از رگه شماره ۲. الف) مالاکیت و اکسید آهن. ب) آزوریت- مالاکیت ..... ۴۸
- شکل ۳-۷-الف) رگه سوم با سنگ میزبان آندزیت توفی. ب، پ و ت) نمونه‌های دستی از رگه شامل سیلیس و باریت ..... ۴۸

- شکل ۳-۸- الف و ب) رگه چهارم با میزبان آندزیت بازالتی، ج) نمونه برداری شیاری از رگه..... ۴۹
- شکل ۳-۹. نمایی از رگه سیلیسی محتوی کانه های سولفیدی و اکسیدی مس، سرب و روی در محدوده معدنی هجیب ..... ۵۰
- شکل ۳-۱۰. نقشه دگرسانی از محدوده اکتشافی هجیب..... ۵۲
- شکل ۳-۱۱- الف) رخنمون دگرسانی پروپیلیتیک (کلریتی - اپیدوتی) در منطقه مورد مطالعه هجیب، ب) کانی دگرسانی کلریت (Chl) به همراه اپیدوت در سنگ میزبان توف آندزیتی و پ) کانی دگرسانی اپیدوت (Ep) در سنگ میزبان آندزیت-بازالت. کانی های کدر (Opq)..... ۵۴
- شکل ۳-۱۲- نمودار پراش پرتو ایکس که نشان دهنده دگرسانی آرژیلیک و میزان بالای از کانی های مسکوویت، ارتوکلاز، کوارتز، کائولینیت، مالاکیت است..... ۵۵
- شکل ۳-۱۳- الف) نمایی از رخنمون دگرسانی آرژیلیک، ب) دگرسانی آرژیلیک در نمونه سنگ میزبان، پ) مقطع میکروسکوپی از نمونه سنگی که دچار دگرسانی آرژیلیکی شده است..... ۵۶
- شکل ۳-۱۴. نمایی از گسترش دگرسانی سرسیتی در صحرا (دید به سمت شمال)..... ۵۷
- شکل ۳-۱۵- الف) رخنمون دگرسانی سرسیتی در منطقه ب) دگرسانی سرسیتی در سنگ میزبان لیتیک توف، پ) مقطع میکروسکوپی که کانی های سرسیتی به صورت واضح در آن قابل مشاهده است، ت) تصویر میکروسکوپی از کانی های پلاژیوکلاز و فلدسپات که دچار دگرسانی سرسیتی شده است..... ۵۸
- شکل ۳-۱۶- الف) دگرسانی سیلیسی-کربناته که به صورت کانی کلسیت در منطقه قابل مشاهده است، ب) رگه سیلیسی کربناته در منطقه، پ و ت) رگه هایی که دچار دگرسانی سیلیسی شده غنی از کانی کوارتز و در اطراف کانی کلسیت است..... ۵۹
- شکل ۳-۱۷- الف) نمونه های موجود در منطقه که دچار دگرسانی شدید اکسید-هیدروکسیدهای آهن شده است، ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسیدهای آهن به صورت کانی های لیمونیت و گوتیت پ) رگه اکسید آهن در منطقه..... ۶۰
- شکل ۴-۱. الف) تصویر نمونه دستی از کانی کالکوپیریت ب و پ) کالکوپیریت که از حاشیه در حال تبدیل به کالکوسیت، کوولیت و گوتیت است..... ۶۳
- شکل ۴-۲. تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کانی پیریت: الف) کریستال منفرد پیریت شکل دار که اکسیده شده است، و ب) پیریت نیمه شکل دار که در حال تبدیل به گوتیت می باشد..... ۶۴
- شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی کانی گالن که از حاشیه در حال جانمایی به : الف) کانی کوولیت و ب) کانی سروسیت می باشد..... ۶۴
- شکل ۴-۴. تصاویر میکروسکوپی از کانی های سولفیدی موجود در منطقه..... ۶۶
- شکل ۴-۵. الف) تصویر نمونه دستی از حضور کانی لیمونیت و گوتیت ب) تصویر میکروسکوپی از هماتیت، لیمونیت و گوتیت. پ) بلورهای تیغه ای اولیژیست. ت) حضور کانی کربناته مالاکیت در کنار لیمونیت و گوتیت. ث) کالکوپیریت در حال تجزیه شدن به گوتیت می باشد. ج) هم یافتی کانی های کربناته شامل مالاکیت و آزوریت را با کانی اکسیدی لیمونیت نشان می دهد..... ۶۸
- شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کانی پیرولوویت..... ۶۹

- شکل ۴-۷. الف) تصویر نمونه دستی از کانی مالاکیت و آزوریت در سنگ میزبان. ب) رگه مالاکیت همراه با دانه‌های ریز کالکوپیریت. پ) همیافتی کانه‌های کربناته آزوریت و مالاکیت با اکسیدهای آهن شامل گوتیت و لیمونیت و کانی سولفیدی کالکوپیریت. ت) درهم‌رشدی آزوریت، مالاکیت و گوتیت را نشان می‌دهد..... ۷۰
- شکل ۴-۸. الف) تصویر نمونه دستی از حضور سیلیس در سنگ که بافت نواری نشان می‌دهد. ب) ابتدا کوارتزهای درشت‌بلور تشکیل شده‌اند و سپس کوارتزهای ریزبلور در اطراف آن‌ها رشد کرده‌اند. پ) تناوبی از شکل‌گیری رگه‌های کوارتز درشت دانه و ریزدانه به همراه رگه کلسیتی. ت) کلسیت و کوارتز فضاهای خالی را پر کرده‌اند..... ۷۱
- شکل ۴-۹. الف) تصویر نمونه دستی از کلسیت. ب) پرشدگی حفرات توسط کانی کوارتز و کلسیت..... ۷۲
- شکل ۴-۱۰. الف) تصویر صحرایی از تیغه‌های باریتی که بصورت هم‌رشد با رگه‌های سیلیسی در منطقه وجود دارند. پرشدن فضاهای خالی توسط ب) دانه‌های کوارتز و تیغه‌های باریت. پ) تیغه‌های باریت و کلسیت..... ۷۲
- شکل ۴-۱۱. تصاویر صحرایی از ساخت رگه‌ای. الف) رگه کوارتز. ب) رگه-رگچه‌های اکسید آهن که همدیگر را قطع کرده‌اند. پ) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی که حاوی کانی‌سازی مس هستند..... ۷۴
- شکل ۴-۱۲. نمونه‌هایی از ساخت برشی موجود در منطقه: الف) پرشدگی فضای بین قطعات برش توسط رگه-رگچه‌های سیلیسی و اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) را در یک سنگ میزبان ماسه‌سنگ ی نشان می‌دهد. ب) فضای بین قطعات برش توسط اکسید آهن و سیلیس پر شده است..... ۷۴
- شکل ۴-۱۳. تصاویری از ساخت و بافت نواری و لامینه در منطقه مورد مطالعه: الف) کلسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن بصورت نواری باهم قرار گرفته‌اند. ب) تناوبی از کوارتز و اکسید آهن. پ) تناوبی از شکل‌گیری رگه‌های کوارتز درشت دانه و ریزدانه را نشان می‌دهد..... ۷۵
- شکل ۴-۱۴. تصاویر میکروسکوپی از بافت کلوفرمی کانی گوتیت..... ۷۶
- شکل ۴-۱۵. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانشینی. الف) کالکوپیریت از حاشیه تبدیل به گوتیت و کالکوسیت شده است. ب) گالن از حاشیه تبدیل به کوولیت و سروسیت شده است. پ) جانشینی کالکوپیریت از حاشیه به کالکوسیت و کوولیت و گوتیت..... ۷۷
- شکل ۴-۱۶. الف) تصویر میکروسکوپی از بافت دانه‌پراکنده پیرولوزیت. ب) بافت اسکلتی گالن..... ۷۸
- شکل ۵-۱. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994)..... ۸۵
- شکل ۵-۲. طبقه‌بندی سنگ‌های منطقه با استفاده از نمودار (Winchester and Floyd, 1977)..... ۸۷
- شکل ۵-۳. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی با از نمودار (Hastie et al, 2007)..... ۸۸
- شکل ۵-۴. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از نمودار AFM..... ۸۹
- شکل ۵-۵. موقعیت قرارگیری نمونه‌های سنگی منطقه بر روی دیاگرام سه‌تایی  $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$  برای تعیین درجه اشباع‌شدگی ماگما از آلومینیوم..... ۹۰
- شکل ۵-۶. تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه با استفاده از نمودار (Pearce, 2008)..... ۹۱
- شکل ۵-۷. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که الف) نسبت به گوشته اولیه (McDonough

- شکل ۵-۸. الگوی به‌هنگار شده عناصر کمیاب خاکی به کندریت (Boynnton, 1984)..... ۹۳
- شکل ۵-۹. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر طلا (ppb)..... ۹۹
- شکل ۵-۱۰. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر نقره (ppm)..... ۱۰۰
- شکل ۵-۱۱. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر مس (ppm)..... ۱۰۱
- شکل ۵-۱۲. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر آهن (ppm)..... ۱۰۲
- شکل ۵-۱۳. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر مولیبدن (ppm)..... ۱۰۳
- شکل ۵-۱۴. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عناصر سرب و روی (ppm)..... ۱۰۴
- شکل ۵-۱۵. نمودار ساختار درختی برپایه‌ی داده‌های لگاریتمی ۲۸ نمونه هجیب به روش آنالیز خوشه‌ای..... ۱۰۷
- شکل ۵-۱۶. نمودار به‌هنگار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995)..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱۷. الگوی به‌هنگار شده عناصر کمیاب خاکی کانسارهای چندفلزی نسبت به کندریت (Boynnton, 1984) (الف). کانسار پلی متال NM در چین (Jia et al., 2010). (ب) کانسار چاه‌نالی در جنوب شرق ایران (Sholeh et al., 2016). (پ) کانسار هجیب..... ۱۱۲
- شکل ۶-۱. طبقه‌بندی شماتیک میانبارهای سیال براساس فازهای مشاهده شده در دمای اتاق (Shepherd et al., 1985)..... ۱۱۶
- شکل ۶-۲. میانبار سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) درکانی کوارتز از منطقه‌ی هجیب. (الف، پ، ت) میانبارهای سیال دو فازی به شکل‌های کروی و بیضی، (ب) میانبارهای سیال دوفازی به شکل میله‌ای..... ۱۲۰
- شکل ۶-۳. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال نسبت به فراوانی آنها در کوارتز منطقه‌ی هجیب..... ۱۲۲
- شکل ۶-۴. نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های اشباع از بخار (Wilkinson, 2001)..... ۱۲۴
- شکل ۶-۵. نمودار تعیین فشار بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری (Driesner and Heinrich, 2007)..... ۱۲۴
- شکل ۶-۶. نمودار دمای همگن‌شدگی - شوری سیالات به منظور تعیین کمپلکس (آنیون) مؤثر در حمل عناصر کانسار ساز..... ۱۲۵
- شکل ۶-۷. نمودار محدوده دما و شوری میان‌بارهای سیال در کانسار چندفلزی هجیب و تعیین تیپ احتمالی کانسارها (Wilkinson, 2001)..... ۱۲۶
- شکل ۷-۱. مقطع عرضی که نشان‌دهنده چگونگی تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر می‌باشد..... ۱۳۶



شکل ۷-۲. نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی هجیب..... ۱۳۸

### فهرست جداول

- جدول ۱-۱: مشخصات واحدهای زمین‌شناسی محدوده هجیب در مقیاس ۱:۲۰,۰۰۰..... ۳
- جدول ۴-۱. توالی پاراژنزی کانی‌های تشکیل دهنده کانسار هجیب..... ۷۹
- جدول ۵-۱: علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌ها در تمامی شکل‌ها..... ۸۲
- جدول ۵-۲- مقادیر اکسید عناصر اصلی (%)، عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۵ نمونه‌ی سنگ..... ۸۲
- جدول ۵-۳. داده‌های گرفته شده از شرکت زرمش که شامل مقادیر عناصر اصلی و کمیاب مربوط به ۲۸ نمونه کانسنگ است..... ۹۳
- جدول ۵-۴. مقادیر عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی در ۴ نمونه کانسنگ..... ۹۶
- جدول ۵-۵: علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های کانسنگ..... ۹۷
- جدول ۵-۶. پارامترهای آماری عناصر بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی ۲۸ نمونه کانسنگ..... ۹۸
- جدول ۵-۷. مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسون بر پایه‌ی لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی در ۲۸ نمونه محدوده هجیب..... ۱۰۶
- جدول ۶-۱. نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبرهای سیال کوارتز در منطقه هجیب..... ۱۲۱
- جدول ۷-۱. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار هجیب با برخی کانسارهای مس..... ۱۳۱
- جدول ۷-۲- مقایسه برخی خصوصیات کانسار چندفلزی هجیب با چند کانسار پلی‌متال در ایران..... ۱۳۲
- جدول ۷-۳. مقایسه برخی خصوصیات کانسار چندفلزی هجیب با چند کانسار پلی‌متال در جهان..... ۱۳۴



فصل اول

کلیات

از مهم‌ترین زیرساخت‌های اقتصادی هر کشوری، می‌توان به منابع و ذخایر معدنی آن اشاره کرد. بهره‌برداری و استفاده اصولی از این منابع بدون داشتن دانش زمین‌شناسی اگر غیرممکن نباشد به سختی ممکن است. از نظر زمین‌شناسی، کمربند ارومیه - دختر مستعد شکل‌گیری کانه‌سازی‌هایی بصورت‌های پورفیری، اسکارن، رگه‌ای چند فلزی، رگه‌ای اپی‌ترمال و ... می‌باشد. وجود معادن که کانسارها و اندیس‌های شناخته شده مس، طلا، مولیبدن، سرب، روی، آهن، منگنز، باریت و ... مؤید آن است. تیپ‌های کانه‌سازی پلی‌متال به نوبه خود در کنار سایر تیپ‌های کانه‌سازی سهم خوبی در تولید جهانی فلزات را دارا می‌باشند. این تیپ از کانه‌سازی را می‌توان از دیدگاه‌های نوع عناصر و عیار آنها، توالی پاراژنز، ژنز، پراکندگی، گسترش و ... مورد بحث و بررسی قرار داد. بخش عمده‌ای از این کانی‌سازی‌ها در کمربند ماگمایی ارومیه- دختر شکل گرفته‌اند. به عنوان مثال از کانه‌سازی‌های پلی‌متال در این کمربند می‌توان به کانی‌سازی اندیس پلی‌متال آفتابرو (عرفان و همکاران، ۱۳۹۳)، کانسار پلی‌متال سنج در شمال غرب کرج (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹)، کانسار پلی‌متال گلوچه شمال- غرب زنجان (مهرابی و همکاران، ۱۳۸۹)، مس خلیفه‌لو خرمدره در استان زنجان (حسین‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴)، مس پلی‌متال لک در استان قزوین (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱) و اندیس معدنی پلی‌متال در شمال غرب ساوه (آیتی، ۱۳۹۶) اشاره کرد. اثر معدنی چندفلزی رگه‌ای هجیب که طی سال‌های اخیر شناسایی شده است، در بخش شمالی کمربند ارومیه- دختر قرار گرفته است، و توسط گروه معدنی زرمش مورد پی‌جویی و اکتشافات مقدماتی قرار گرفته است. بر اساس گزارش طرح اکتشاف پلی‌متال در محدوده هجیب توسط شرکت معدنی زرمش (رسولی نوری، ۱۳۹۵)، در محدوده اکتشافی هجیب شواهد متعددی مبنی بر وجود کانه‌زایی مس، سرب و روی در منطقه دیده می‌شود. همچنین آثاری از وجود طلا به طور ضعیف در محدوده وجود دارد. در این محدوده اکتشافی در چندین نقطه آثار معدن‌کاری قدیمی مشاهده می‌گردد. در قسمت شمالی محدوده رگه‌های سیلیسی دارای آثار کانه‌زایی با امتداد تقریبی N60E و ضخامت میانگین حدود ۲ متر رخمون دارند. این رگه‌ها با طولی حدود ۵۰۰ متر امتداد دارند. همچنین در قسمت‌های جنوبی، شرقی و غربی منطقه شواهد کانه‌زایی مشاهده می‌شود. پایان‌نامه حاضر جهت مطالعات زمین‌شناسی اقتصادی محدوده چندفلزی رگه‌ای

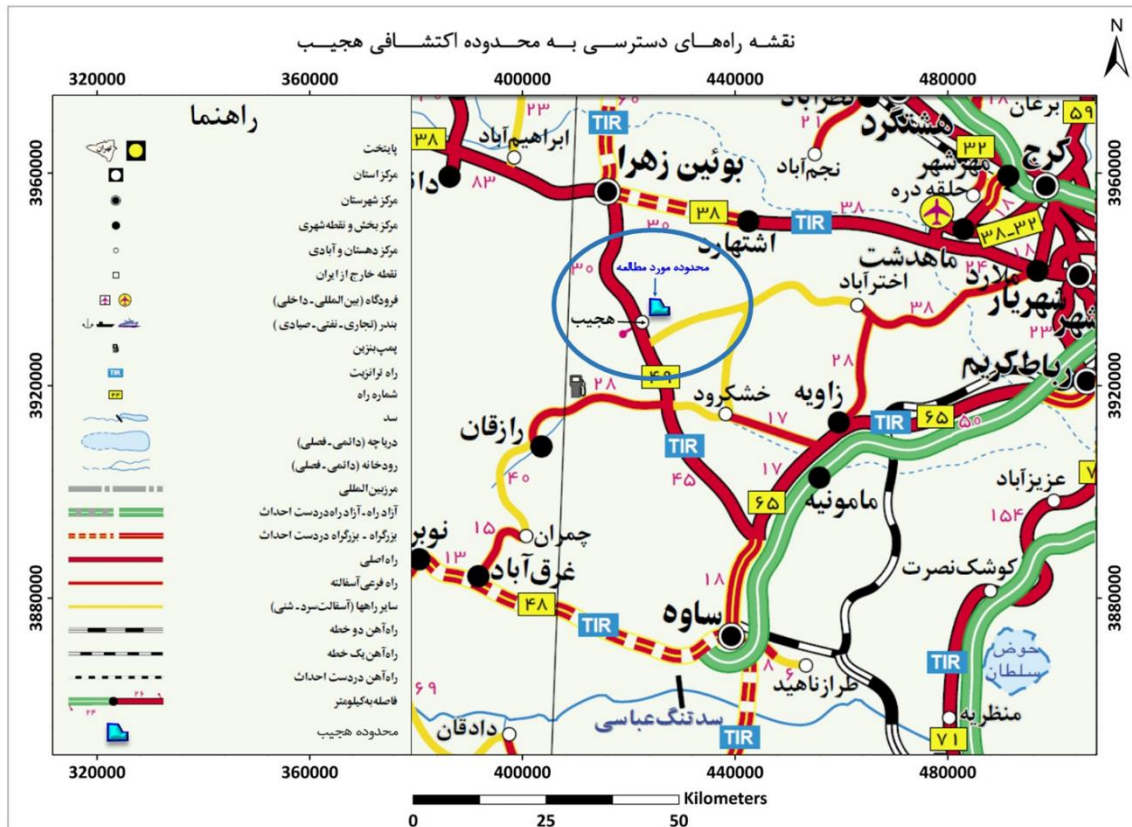
هجیب تعریف شده است. در این تحقیق، از داده‌های زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و اکتشافی سطحی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است.

## ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به کانسار مورد مطالعه

محدوده هجیب در استان قزوین و حدود ۲۳ کیلومتری جنوب شرق شهر بوئین زهرا قرار دارد. مختصات جغرافیایی رئوس محدوده‌ی اکتشافی هجیب در سیستم UTM در جدول (۱-۱) ارائه گردیده است. این محدوده در منطقه‌ای تپه‌ماهوری در چهارگوش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه و در برکه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهاورد واقع شده است. دسترسی به محدوده معدنی از طریق کیلومتر ۴۸ بزرگراه بوئین‌زهرا ساوه و از روستای هجیب امکان‌پذیر می‌باشد. بعد از ورود به این روستا و طی حدود ۱/۵ کیلومتر از جاده خاکی فرعی می‌توان از جنوب غرب وارد محدوده مورد نظر شد (شکل ۱-۱).

جدول ۱-۱. مختصات جغرافیایی رئوس محدوده مورد مطالعه (U.T.M)

رأس	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	رأس	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی
A	۳۹۳۷۳۱۹	۴۲۴۴۷۹	E	۳۹۳۶۰۱۷	۴۲۷۷۶۰
B	۳۹۳۷۲۶۹	۴۲۶۳۱۷	F	۳۹۳۵۶۷۲	۴۲۸۱۱۵
C	۳۹۳۵۵۸۰	۴۲۷۶۳۸	G	۳۹۳۴۳۳۰	۴۲۸۱۰۴
D	۳۹۳۶۰۱۸	۴۲۷۶۳۵	H	۳۹۳۴۳۶۳	۴۲۴۵۰۸

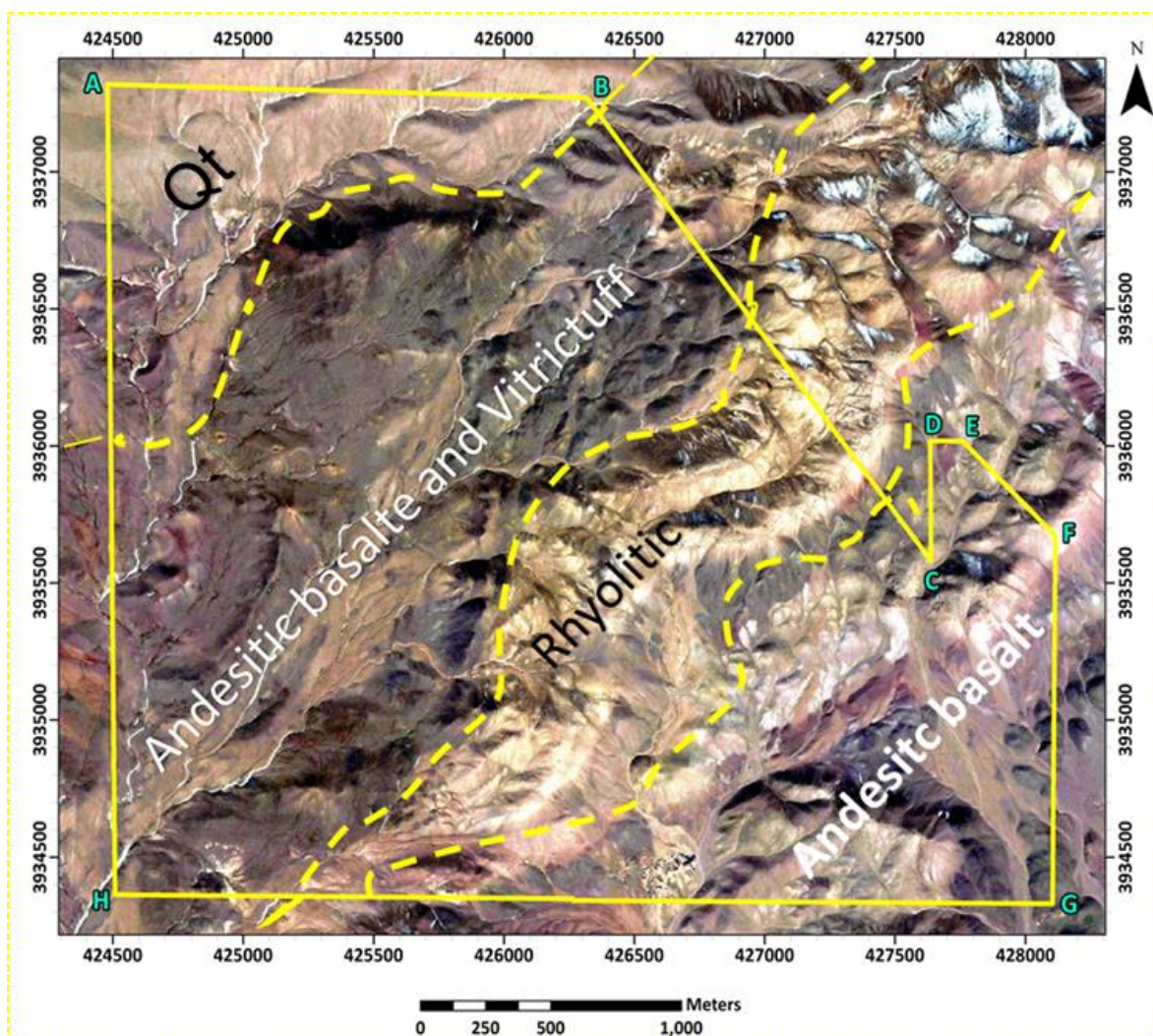


شکل ۱-۱. نقشه راه‌های دسترسی به محدوده مورد مطالعه برگرفته از نقشه راه‌های کشور ۱۳۹۴.

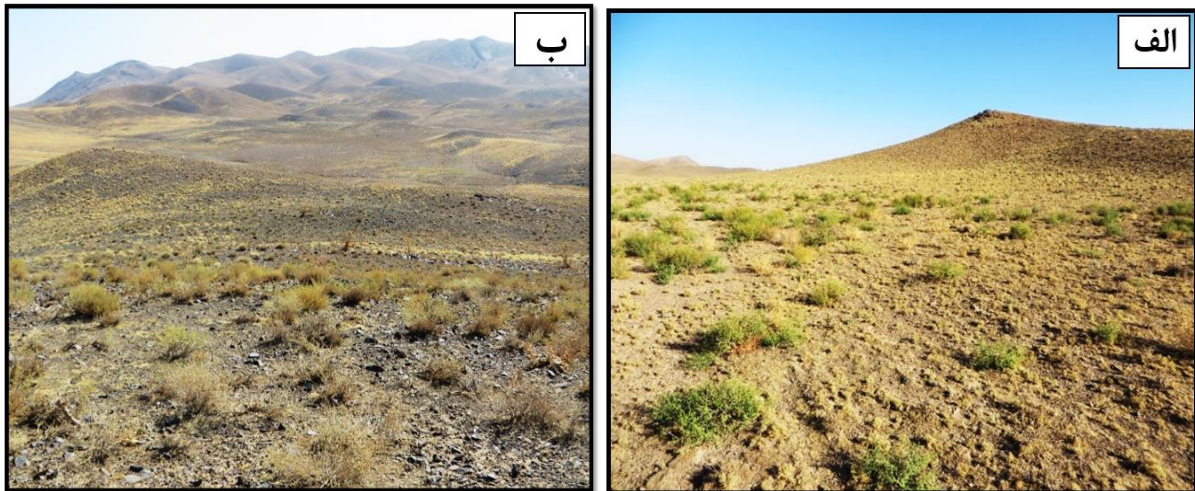
### ۱-۳- شرایط آب و هوایی و زمین‌ریخت‌شناسی منطقه

محدوده مورد مطالعه در بخش مرتفع شهرستان قزوین، نیمه کوهستانی جنوب‌شرق شهر بوئین‌زهرا، در منطقه خشک استان قزوین قرار گرفته است. منطقه دارای زمستان‌های سرد همراه با بارندگی و گاه برف و تابستان‌های خشک تا نیمه گرم می‌باشد. میانگین کمترین درجه حرارت در زمستان به ۱۰- درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر درجه حرارت در تابستان به ۴۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. در سال میانگین میزان بارش به ۲۲۷ میلی‌متر می‌رسد که قسمت اعظم آن در بهار و زمستان می‌بارد. بیشتر منطقه دارای اکوسیستم نیمه بیابانی و تا حدی بیابانی است. این منطقه دارای شرایط خاص مناطق بیابانی، کویر و شنزارهای مرکزی ایران را دارا نمی‌باشد ولی می‌توان گفت این اکوسیستم، حاشیه بیابان‌ها و شورزارهای قم و کویر مرکزی ایران است. از نظر پوشش گیاهی منطقه فقیر بوده و بیشترین گونه‌های گیاهی مربوط به خار و گون و بوته می‌باشد (شکل ۱-۳-الف). محدوده‌ی مورد مطالعه در منطقه‌ی دشتی تا نیمه‌کوهستانی قرار گرفته است و از دیدگاه

ژئومورفولوژیکی و با در نظر داشتن مسائل لیتولوژیکی و تکتونیک می‌توان دو مورفولوژی متفاوت را در منطقه متمایز ساخت. قسمت عمده منطقه از بخش‌های تپه ماهوری تشکیل شده و به جز بخشی که دارای ارتفاعات نسبتاً بلندی است و تا ارتفاع ۱۷۶۴ متر از سطح دریای آزاد می‌رسد (شکل ۱-۲)، مابقی محدوده حالت نیمه-دشت داشته و دسترسی به تمامی قسمت‌های آن به آسانی امکان‌پذیر است (شکل ۱-۳-ب). از لحاظ ناحیه‌ای عمده سنگ‌هایی که باعث ایجاد این مورفولوژی در منطقه شده‌اند شامل سنگ‌های آتشفشانی ائوسن و الیگومیوسن می‌باشد، که از نوع آندزیت، تراکی‌آندزیت، آندزیت-بازالت، بازالت، داسیت، ریولیت و لیتیک توف می‌باشد.



شکل ۱-۲: تصویر ماهواره‌ای از ژئومورفولوژی منطقه مورد مطالعه هجیب



شکل ۱-۳-الف) دورنمایی از پوشش گیاهی منطقه مورد مطالعه. ب) دورنمای از ژئومورفولوژی محدوده‌ی هجیب.

#### ۱-۴- مردم‌شناسی و وضعیت اجتماعی منطقه

اهالی این منطقه به زبان فارسی تکلم می‌کنند. دین رسمی آنها اسلام و مذهب شیعه دوازده امامی است. بسیاری از مردم منطقه به کار کشاورزی اشتغال دارند و اقتصاد منطقه برپایه کشاورزی و دامداری استوار است. سیستم کشاورزی منطقه در سال‌های اخیر حالت سنتی و بصورت نیمه مکانیزه درآمدی بطوریکه حدود ۸۰٪ درآمد مردم از راه کشاورزی و ۲۰٪ از طریق فعالیت‌های صنعتی تأمین می‌گردد. دامداری براساس روش سنتی شامل پرورش گاو، گوسفند و طیور می‌باشد که بیشتر نیازهای داخلی مردم این شهر را تأمین می‌کند. صنایع دستی این شهرستان، قالی‌بافی، گلیم‌بافی، جاجیم‌بافی و گیوه‌دوزی است. مردم منطقه اکثراً کم درآمد هستند و در صورت انجام عملیات معدن‌کاری از لحاظ تأمین نیروی کاری بومی هیچ گونه مشکلی وجود ندارد. این محدوده براساس اطلاعات حاصل از آمار برداری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۲، در مناطق با پراکندگی کم تا متوسط قرار می‌گیرد (شکل ۱-۴). در روستای هجیب کاروان‌سرای زیبا و باستانی وجود دارد. هجیب کاروانسرای است که در دوران صفوی و به گزارش شاردن توسط زینب بیگم؛ مادر شاه عباس اول، با هزینه‌ای معادل چهار هزار تومان ساخته شده و دارای دو باغ، دو آب انبار، یک گرمابه و یک جویبار می‌باشد. کاروانسرای هجیب با مساحتی حدود ۵۸۵۰ مترمربع و ۳۶ حجره از جمله بهترین کاروانسراهای ایران است (شکل ۱-۵).





شکل ۱-۴-الف) تصویری از روستای هجیب (دید به سمت شمال. ب) نقشه پراکندگی و تراکم جمعیت استان قزوین (سالنامه آماری قزوین، ۱۳۹۲) محدوده مورد مطالعه با علامت ★ مشخص شده است.



شکل ۱-۵. کاروان سرای باستانی هجیب. (دید به سمت شرق)

## ۱-۵- مطالعات و کارهای انجام شده قبلی

در خارج از محدوده هجیب، در بخش میانی کمربند ارومیه-دختر کارهای زیادی از نظر اکتشافی و تحقیقاتی انجام شده است که حتماً در این مطالعات مورد توجه قرار خواهد گرفت، برای مثال:

- آیتی (۱۳۹۶)، گزارشی تحت عنوان گزارش مقدماتی از اکتشاف اندیس معدنی پلی‌متال در شمال غرب ساوه، مطالعات انجام شده بر روی این محدوده نشان می‌دهد که محتمل‌ترین تیپ کانی‌سازی منطقه مس-طلای پلی‌متال از نوع IOCG می‌باشد.

- طبخ شعبانی و مسعودی (۱۳۸۹)، مقاله‌ای تحت عنوان بحثی پیرامون فعالیت‌های ماگمایی در منطقه جنوب بوئین‌زهرا، براساس مطالعات چینه‌شناسی، پترولوژی و توده‌های آذرین نوشته‌اند.

- حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۴)، مطالعه مقاله تحت عنوان کانسار خلیفه‌لو: کانه‌زایی مس-طلای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا (High-Sulfidation) در پهنه ماگمایی طارم، شمال خرمدره، به این نتیجه رسیده‌اند که نتایج مطالعات و همچنین مقایسه ویژگی‌های اصلی کانسار خلیفه‌لو با کانسارهای طلای اپی‌ترمال گویای آن است که کانسار خلیفه‌لو از دید ویژگی‌های زمین‌شناسی، دگرسانی و کانی‌زایی بیشترین همانندی را با کانسارهای اپی‌ترمال نوع سولفیداسیون بالا دارد.

- رجب پور (۱۳۹۵)، با مطالعه کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی کانسار مس ولکانیک کوه‌پلنگ ساوه تیپ کانی‌سازی را مشابه با کانسارهای تیپ ماتو معرفی کرده است.

- شرکت معدنی زرمش (۱۳۹۵)، به صورت اکتشافات مقدماتی در منطقه‌ی هجیب کار کرده و شواهد متعددی مبنی بر وجود کانه‌زایی مس، سرب و روی را تشخیص داده‌اند.

- صالحی و همکاران (۱۳۹۳)، با مطالعه ژئوشیمیایی و کانی‌زایی در توده ماگمایی نارباغی شمال شرق ساوه، بیان کرده است که غنی‌شدگی LREE نسبت به HREE نشان‌دهنده‌ی آرایش ماگمای تشکیل‌دهنده‌ی سنگ‌ها با مواد و سیالات پوسته قاره‌ای می‌باشد.

- طبخ شعبانی (۱۳۶۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان "پتروگرافی و پترولوژی توده‌های آذرین نفوذی جنوب بوئین زهرا" نوشته است که به بررسی پلوتونیزم و توده‌های نفوذی پرداخته است.

- عرفان و همکاران (۱۳۹۳)، مقاله‌ای تحت عنوان ویژگی‌های ژئوشیمیایی اندیس پلی‌متال آفتابرو به این نتیجه دست یافتند که با توجه به دامنه تغییرات عناصر، حضور رگه‌های سیلیسی همراه با اکسید آهن، ضریب همبستگی و نحوه ته‌نشست مواد، محتمل‌ترین تیپ کانی‌سازی در منطقه مس-طلای پلی‌متال از نوع IOCG (Iron-Oxides Cu-Au) می‌باشد. همچنین نتایج آنالیز فاکتوری نشان می‌دهد که فاکتور دو بیانگر غنی‌شدگی عناصر مس، طلا و آهن می‌باشد.

- عزتی و همکاران (۱۳۹۵)، با استفاده از روش‌های دورسنجی برای شناسایی رخساره‌های دگرسانی، کانی‌سازی در منطقه رامند استان قزوین را مورد مطالعه قرار داده و تأیید کرده است که دگرسانی رسی اکسید آهن و سیلیسی شدن سنگ دیواره برای پی‌جویی فلزات پایه و گرانبها حائز اهمیت است.

- عمیدی (۱۹۸۴)، نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه را تهیه کرده، و رخنمون جریان‌های گدازه‌ای با ترکیب آندزیتی (ائوسن) و توده‌های نفوذی گرانیتی و گرانودیوریتی به سن بعد از ائوسن را در محدوده هجیب ترسیم نموده است.

- گزارش تحت عنوان زمین‌شناسی شمال ساوه "Geology of the area north of saveh" که توسط "Pierre. A.Soder" در سال ۱۹۵۹ میلادی تهیه و توسط شرکت ملی نفت ایران انتشار یافت. این گزارش محدوده‌ای که از شمال به وسیله حوضه قزوین و از جنوب به وسیله حوضه ساوه محدود می‌شود را در بر می‌گیرد.

- گزارشی تحت عنوان بازدید مقدماتی زمین‌شناسی نواحی قزوین-سلوه، همدان-کرمانشاه که توسط E-Frei تهیه و توسط شرکت ملی نفت ایران در سال ۱۹۵۳ منتشر گردید. هدف عمده این نوشتار بررسی واحدهای چینه‌شناسی مناطق فوق‌الذکر در چارچوب اکتشاف مواد هیدروکربنی بوده است. گزارش مزبور به انضمام نقشه‌ای با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در کتابخانه سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات مواد معدنی کشور موجود است.

- گودرزی (۱۳۹۱)، در پایان نامه خود تحت عنوان مطالعه کانی سازی، دگرسانی و نحوه تکامل سیالات کانی ساز در منطقه کانی سازی پلی متال لک، جنوب غرب بوئین زهرا، استان قزوین، با مطالعات انجام داده و مقایسه با تیپ کانسارهای مختلف به این نتیجه می رسد که کانسار مورد نظر از نوع اپی ترمال نوع سولفیداسیون پایین می باشد.

- مسعودی (۱۳۶۹)، پایان نامه کارشناسی ارشد تحت عنوان " مطالعه چینه شناسی و پتروگرافی و پترولوژی سنگ های آتشفشانی جنوب بوئین زهرا" که ولکانیسم و سنگ های آتشفشانی منطقه بوئین زهرا از نقطه نظرهای پتروگرافی، ژئوشیمی و چینه شناسی بررسی شده است.

- مهرابی و همکاران (۱۳۸۹)، مقاله ای تحت عنوان مطالعات زمین شناسی، کانی شناسی و ژئوشیمی کانسار پلی متال سنج (شمال غرب کرج)، کانسار مورد مطالعه را از نوع پلی متال مس-مولیبدن-طلا بشمار آورده است.

- مهرابی و همکاران (۱۳۸۹)، در مقاله ای تحت عنوان مطالعات پترولوژی، کانی شناسی و دگرسانی آنومالی ۴ کانسار پلی متال گلوچه در شمال غرب زنجان، این کانسار را از نوع اپی ترمال معرفی کرده اند.

- یوسفی (۱۳۸۹)، نقشه زمین شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد را تهیه کرده، رخنمون سنگ ها با ترکیب ایگنیمبریت داسیتی تا آندزیتی، کریستال توف و تا کوارتزلاتیت و تراکی آندزیت و گدازه بازالتی، پیروکسن- آندزیت، کوارتز لاتیت و بازالت به سن ائوسن میانی و بالایی و واحدهای جوان کنگلومرایی سخت نشده به سن کواترنری را ترسیم نموده اند.

## ۱-۶- طرح مسئله و هدف از مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات کشوری در استان قزوین و حدود ۲۳ کیلومتری جنوب شرق شهر بوئین زهرا قرار دارد. دسترسی به محدوده معدنی از کیلومتر ۴۸ بزرگراه بوئین زهرا- ساوه و از روستای هجیب امکان پذیر می باشد. بعد از ورود به این روستا و طی حدود ۱/۵ کیلومتر از جاده خاکی فرعی می توان از جنوب غرب وارد محدوده مورد نظر شد. منطقه مورد بررسی بخش کوچکی از کمربند ماگمایی ارومیه-دختر

محسوب می‌شود. این محدوده در چهارگوش زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه (عمیدی و همکاران، ۱۳۶۳) و در ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹) واقع شده است.

سنگ‌های منطقه متعلق به ائوسن میانی - بالایی می‌باشد، توالی سنگی محدوده معدنی مورد مطالعه براساس اطلاعات ورقه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهارد از قدیم به جدید شامل واحدهای زیر می‌باشد:

۱- ایگنمبریت داسیتی تا آندزیتی، کریستال توف و کریستال لیتیک توف.

۲- کریستال توف، ویتریک توف، ریولیت تا کوارتز لاتیت و تراکی آندزیت.

۳- گدازه آندزیتی، لاتیتی و بازالتی.

۴- ویتریک توف و کریستال توف.

۵- پیروکسن آندزیت، کوارتز لاتیت، ویتریک کریستال توف، کریستال توف و بازالت.

در این منطقه سنگ‌های نفوذی مشاهده نمی‌گردد، ولی در مقیاس منطقه‌ای توده‌های نفوذی قابل مشاهده هستند. همچنین واحدهای جوان شامل کنگلومرای سخت نشده با میان‌لایه‌های ماسه‌سنگ، سیلت و رس به سن پلیو-کواترنر بخش شمال و شمال باختر محدوده اکتشافی را پوشش می‌دهند.

براساس کارهای اکتشافی مقدماتی شرکت معدنی زرمش در محدوده اکتشافی هجیب شواهد متعددی مبنی بر وجود کانه‌زایی مس، سرب و روی دیده می‌شود (رسولی‌نوری، ۱۳۹۵). همچنین آثاری از وجود طلا به طور ضعیف در محدوده وجود دارد و آثار معدن‌کاری قدیمی و آثار استخراج‌های قدیمی و سطحی بر روی رگه‌ها مؤید رخداد کانه‌دار در این منطقه است. آثار معدن‌کاری قدیمی ضعیفی در محدوده معدنی مشاهده می‌شود و با توجه به این که در این منطقه از لحاظ تحقیقاتی کار نشده و کارها بیشتر جنبه اکتشافی داشته است از این‌رو کانه‌زایی چندفلزی هجیب برای تحقیق انتخاب شده.

سوالات بنیادی قابل طرح در مورد کانه‌زایی چندفلزی رگه‌ای در محدوده هجیب که در این تحقیق سعی شده به آن‌ها پاسخ داده شود به شرح زیر است:

۱- کانی‌شناسی، ساخت و بافت کانه‌زایی و توالی پاراژنتیک کانی‌های مورد نظر

۲- ارتباط کانی‌زایی با سنگ‌های میزبان

۳- وضعیت پهنه‌ی دگرسانی در کانه‌زایی

۴- ویژگی‌های ژئوشیمیایی کانی‌سازی و سنگ میزبان

۵- عوامل کنترل کننده‌ی ماده معدنی

۶- الگوی رخداد کانه‌زایی و تیپ کانی‌سازی در منطقه با تیپ‌های کانه‌زایی معروف ایران و جهان

۷- ارائه پیشنهاداتی جهت ادامه اکتشاف چیست؟

۸- ارائه کلیدهای اکتشافی برای یافتن کانسارهای مشابه از این نوع در پهنه ارومیه-دختر و سایر مناطق مشابه

در ایران

## ۱-۷- ضرورت انجام تحقیق

منطقه مورد بررسی بخش کوچکی از کمربند ارومیه- دختر است. این کمربند مستعد شکل‌گیری کانی‌سازی- های پورفیری، اسکارن، رگه‌ای چند فلزی، رگه‌ای اپی‌ترمال و ... است که وجود معادن، کانسارها و اندیس‌های شناخته شده مس، طلا، مولیبدن، سرب، روی، آهن، منگنز، باریت و ... مؤید آن است. اهمیت بالای مطالعات زمین‌شناسی و اکتشافی در پهنه ارومیه - دختر و وجود آثار کانی‌سازی مس، سرب، روی و وجود طلا به طور ضعیف در محدوده هجیب به انجام تحقیق حاضر ضرورت می‌بخشد. اثبات وجود یک ذخیره معدنی با ارزش سبب ایجاد ثروت ملی، اشتغال‌زایی، فقرزدایی، تولید مواد خام اولیه با ارزش شده، و تأثیرات مهمی در رشد اقتصادی منطقه خواهد داشت.

## ۱-۸- روش مطالعات

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

ب) گردآوری اطلاعات مربوط به محدوده مورد مطالعه از جمله تهیه و مطالعه نقشه‌های زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه و ۱/۱۰۰۰۰۰۰ اشتهارد، تصاویر ماهواره‌ای و گزارش‌های پیرامون این منطقه.

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

### ۱-۸-۱- مطالعات صحرایی

به منظور بازدید و مطالعه منطقه مورد نظر اقدام به انجام یک بازدید شش روزه از منطقه مورد نظر کرده و این سفر دارای اهدافی مشخص بود که در زیر به طور خلاصه بیان می‌شود.

الف: بررسی منطقه برای شناسایی توده‌های آذرین، پهنه‌های دگرسانی، وضعیت دگرریختی، و ...

ب: انجام نمونه‌برداری از سنگ‌هایی که دارای رخنمون سطحی در منطقه، به منظور تهیه: مقاطع نازک (مطالعات سنگ‌شناسی، نام‌گذاری)، نمونه‌های ژئوشیمیایی (نام‌گذاری سنگ و مطالعه دگرسانی‌ها).

پ: نمونه‌برداری از رخنمون ماده معدنی به منظور تهیه مقاطع صیقلی (مطالعه بافت و نوع کانی‌سازی)، مقاطع نازک صیقلی (به منظور مطالعه رابطه میان کانی‌سازی با سنگ میزبان)، مقاطع دوبر صیقلی (مطالعات مربوط به میانبارهای سیال) و نمونه‌هایی برای انجام آنالیزهای ژئوشیمیایی انتخاب شدند.

### ۱-۸-۲- مطالعات آزمایشگاهی و دفتری

پیش از انجام مطالعات و بررسی نمونه‌ها و پس از نمونه‌برداری، مرحله میانی وجود دارد که در آن نمونه بر حسب هدفی که انتخاب و به آزمایشگاه آورده شده‌اند، آماده‌سازی می‌شوند و در این تحقیق، این کار در گارگاه مقطع و آزمایشگاه زمین‌شناسی اقتصادی دانشکده زمین‌شناسی دانشگاه صنعتی شاهرود انجام شده و تعداد ۳۶ نمونه که برای مطالعات سنگ‌های دارای رخنمون سطحی برداشت شده، ۱۹ مقطع نازک تهیه شد، که تعداد ۴ نمونه به منظور مطالعه کانی‌شناسی بلوک صیقلی تهیه شد. و تعداد ۱ نمونه به منظور انجام آنالیز XRD از منطقه برداشت شده بود، برای این کار به آزمایشگاه توسعه معادن ایران (زر آزما) فرستاده شد. و تعداد ۴ نمونه برای مطالعات میانبارهای سیال انتخاب شد. پس از مطالعه مقاطع نازک، نازک-صیقلی، صیقلی، مقاطع دوبرصیقلی و تحلیل داده‌های حاصل از آنالیزهای شیمیایی، پاسخ‌های مناسب برای سوالات بدست آمد و در نهایت به نتیجه‌گیری و تدوین پایان نامه اقدام شده است.

## ۱-۹- انواع کانسارهای مس

کانسارهای مس را می‌توان براساس خاستگاه آن‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم کرد. گیلبرت و پارک این کانسارها را براساس ویژگی‌های سنگ‌میزبان و موقعیت تکتونیکی (Guilbert and Park, 1997) بصورت زیر طبقه‌بندی نموده‌اند:

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

۲- کانسارهای مس همراه با توده‌های آذرین مافیک

۳- کانسارهای مس رسوبی (استراتیفرم)

۴- کانسارهای مس اسکارنی

۵- کانسارهای مس همراه با ولکانیسم زیردریایی (ماسیوسولفید)

۶- کانسارهای مس همراه با ولکانیسم خشکی

۷- کانسارهای رگه‌ای کردیلرایی

۸- کانسارهای مس گرمابی (اپی‌ترمال)

۹- کانسارهای مس همراه با کربناتیت‌ها

در زیر برخی از کانسارهای مس مختصراً شرح داده می‌شود.

### ۱-۹-۱- کانسارهای مس پورفیری:

کانسارهای پورفیری از جمله شناخته شده‌ترین ذخایر هیدروترمال هستند که به واسطه همراهی با توده‌های آذرین درونی دارای بافت پورفیری به این نام معروف شده‌اند. ذخایر پورفیری دارای بافت دانه پراکنده و یا استوک‌ورکی هستند. اگر سنگ‌های اطراف دارای نفوذپذیری اولیه‌ی بالا باشند طبق معمول تمرکزی از سیالات ماگمایی ایجاد نمی‌گردد و تنها امکان رخداد کانی‌سازی رگه‌ای مرتبط با توده در فضاهای بزرگ اطراف آن می‌شود. در صورتی که سیستم در نزدیکی سطح زمین متبلور شود و به شرط آنکه حجم محلول‌های ماگمایی زیاد باشد، فشار بخار آب موجب انفجار و برشی شدن سنگ‌ها خواهد گردید. این پدیده باعث تسهیل عبور سیالات از متن سنگ شده که خود باعث ته‌نشینی کانی‌ها در فضای بین قطعات برشی می‌شود. کانی اولیه‌ی



مس در این کانسارها کالکوپیریت و بورنیت هستند. پیریت و بعضاً مولیبدنیت نیز در این کانسارها دیده می‌شوند. ذخیره‌ی نمونه‌هایی از این کانسارها به چند میلیارد تن می‌رسد، اما این ذخایر دارای عیار پایین بوده و شکل، بافت، عیار و میزان ذخیره این ذخایر به تعداد توده‌های نفوذی عامل کانی‌سازی و یا توده‌های عقیم پس از آن ارتباط دارند. نحوه تداخل توده‌ها، حجم محلول‌های ماگمایی، عمق تبلور و جایگزینی و همچنین میزان تخلخل و شکستگی سنگ‌های منطقه از دیگر عوامل تاثیرگذار در شکل کانسار هستند شکل ذخایر مس پورفیری به صورت چتری، عدسی محدب، صفحه‌ای و استوانه‌ای می‌باشد.

کانسارهای مس پورفیری به واسطه محل رخداد خود به دو گروه اصلی تقسیم می‌شوند:

الف- نوع مونزونیتی

ب- نوع دیوریتی

#### ۱-۹-۲- کانسارهای اسکارن مس‌دار

اسکارن یک واژه سوئدی است که معدنچیان سوئدی برای نامیدن مخلوطی از سیلیکات‌های کلسیم درشت بلور که همراه کانه‌های آهن که در معادن آهن این کشور یافت می‌شد، به کار می‌بردند. دانشمندان در اوایل قرن گذشته این واژه را به صورت علمی وارد تعاریف زمین‌شناسی اقتصادی نمودند. محلول‌های کانی‌سازی که از ماگما منشأ می‌گیرند، در دما و فشار بالای حاکم بر اعماق از توده آذرین در حال سرد شدن به سمت هاله دگرگونی کربناته حرکت نموده و به شدت با آن واکنش می‌دهند. این واکنش‌ها دو گروه از کانی‌های جدید را در هاله دگرگونی پدید می‌آورد. یک گروه کانی‌های سیلیکات کلسیم نظیر گارنت‌های کلسیم‌دار، اپیدوت، آکتینولیت، هدربرژیت و زوئیزیت. این گروه از کانی‌ها که اصطلاحاً کانی‌های کالک-سیلیکات نامیده می‌شوند، کلسیم را از سنگ‌های رسوبی کربناته (آهک یا دولومیت‌ها) گرفته و عناصری چون Fe, Mg, Si, Na, Al را از محلول‌های ماگمایی کسب می‌کنند. گروه دوم گروه کانی‌های اکسیدی و سولفیدی که مستقیماً از محلول‌های ماگمایی متبلور شده و ماده معدنی اصلی کانسار را تشکیل می‌دهند. این کانی‌ها شامل پیریت، کالکوپیریت، بورنیت، مگنتیت و هماتیت هستند که ترکیب و مقدار هر کدام به ترکیب محلول‌های ماگمایی بستگی دارد. از ویژگی‌های مهم اسکارن‌ها ابعاد نسبتاً درشت بلورها و مخلوط بودن کانه‌های مس و آهن و

کانی‌های کالک سیلیکات است. کانی‌های اصلی اسکارن‌ها را کالکوپیریت، پیروتیت، پیریت و مگنتیت و کانی‌های باطله را گارنت، پیروکسن، اپیدوت، کلریت، کوارتز و کربنات‌ها می‌سازند. کانسارهای اسکارن در اعصار مختلف زمین‌شناسی از پرکامبرین تا دوران سوم تشکیل شده‌اند.

اسکارن‌های مس در مجاورت توده‌های نفوذی کالک آلکالن با ترکیب گرانودیوریت تا مونزونیت با سنگ‌های کربناته یافت می‌شوند. این اسکارن‌ها غالباً متعلق به دوران دوم و سوم زمین‌شناسی هستند. عیار مس این کانسارها بین ۰/۸ تا ۳/۵ درصد و ذخیره آن‌ها بین ۷۵ تا ۱۳۵۰ میلیون تن در کانسنگ مس متغیر است. ذخیره مس در زون غنی از گارنت واقع گردیده است و مقدار کل سولفید در این زون به ۱۵ درصد می‌رسد. نسبت کالکوپیریت به پیریت در این زون بین ۲/۱ تا ۱/۱ است. این کانسارها به اشکال لایه‌ای، در فصل مشترک توده نفوذی و سنگ‌های آهکی و یا به شکل داربستی دیده می‌شود. کانی‌اقتصادی مهم آن کالکوپیریت می‌باشد. عیار معدن کاری در آن ۸ تا ۰/۲ درصد می‌باشد. از جمله این ذخایر می‌توان به کانسار مزرعه و داقرداغ در آذربایجان شرقی اشاره کرد.

#### ۱-۹-۳ - کانسارهای سولفید توده ای مس

این کانسارها به شکل توده‌ای و یا داربستی بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوپیریت، اسفالریت، گالن می‌باشد. عیار معدن کاری در این کانسارها ۴-۰/۶ می‌باشد. انواع مختلف این کانسار در زیر به اختصار تشریح شده‌اند.

#### ۱-۹-۴ - کانسارهای مس رسوبی (استراتی باند و استراتی فرم)

کانسارهای مس با میزبان رسوبی پس از کانسارهای مس پورفیری مهمترین منابع تامین مس در دنیا بوده و بیش از ۲۳٪ تولید جهانی مس را تشکیل می‌دهد. این کانسارها اغلب از دو میلیارد سال قبل تا میوسن تشکیل شده‌اند. در سال‌های اخیر مس رسوبی در ایران نیز مورد توجه قرار گرفته و در این رابطه تعداد زیادی کانسار و نشانه معدنی مس با میزبان رسوبی در ادوار مختلف زمین‌شناسی از اواخر پرکامبرین تا اواخر ترشیری شناسایی شده‌است. کانسارهای مس با میزبان رسوبی عمدتاً چینه‌سان یا چینه‌کران بوده و همراه با رسوبات آواری یا آواری کربناته تشکیل شده و منشا ولکانیکی یا اگزالتیو ندارند. سه عنصر مس، کربن و گوگرد از مواد

اصلی تشکیل دهنده این کانسارها هستند که عنصر مس عمدتاً از کانی‌های بیوتیت، آمفیبول و پیروکسن موجود در قطعات سنگی تخریبی در افق‌های ماسه سنگی و کنگلومرایبی تامین می‌شود. کمر بند مس زامبیا، مس کوپرشیفر در اروپا، وایت پاین در امریکا، ادوکان در شوروی سابق، دریاچه اسپار در آمریکا و کروکرو در بولیوی مهمترین کانسارهای مس استراتی باند - استراتی فرم رسوبی دنیا می‌باشند. این کانسارها به شکل لایه‌ای بوده و کانی‌های اقتصادی مهم آن کالکوسیت، می‌باشد. در ایران نیز نشانه‌ها و کانسارهای مس با میزبان رسوبی در توالی‌های مختلف چینه‌ای از پرکامبرین تا الیگو-میوسن شناسایی شده‌اند. به جز کانسارهای مس خونگه و ده معدن در حوضه زاگرس که دارای سنگ میزبان کربناته سازند میلا و باروت هستند بقیه ذخایر شناخته شده از نوع طبقات آواری قرمز پرکامبرین فوقانی (سری هرمز) کامبرین زیرین (سازند زاگون) کرتاسه زیرین (سازند گردو در حوضه کرمان - طبس و سازند شوریجه در حوضه کپه‌داغ) و الیگومیوسن (رسوبات قرمز فوقانی در ایران مرکزی و آذربایجان) است.

#### ۱-۹-۵ - کانسارهای مس گرمابی رگه‌ای

این کانسارها به صورت ذخایری با طول زیاد و عرض کم در شکاف‌ها و بریدگی طبقات جا گرفته و رگه معمولاً شیب زیادی دارند. از نظر طولی تا حداکثر ۱۰ کیلومتر امتداد دارند ولی از نظر عرض حداکثر ۱۰ متر و تا عمق ۵۰۰ الی ۶۰۰ متر گسترش یافته‌اند. کانسارهای رگه‌ای اغلب در متن گرانیتوئیدها و به مقدار کمتر سازندهای آتشفشانی و رسوبی و دگرگونی از دوره‌های مختلف قابل رؤیت و اکتشاف هستند. کانی‌های اصلی نیز شامل کالکوپیریت و انارژیت شده و کانی‌های باطله را کوارتز و کربنات‌ها می‌سازند. کانی‌های فرعی از مگنتیت، هماتیت، پیریت، مولیبدنیت، کالکوسیت، بونیت، کانی‌های خاکستری مس، اسفالریت و گالن تشکیل شده‌اند. کانسارهای رگه‌ای گرمابی بر اساس میزان عیار عناصر مس، سرب، روی و طلا به انواع کانسارهای رگه‌ای و رگه‌ای چند فلزی (مس، سرب، روی، طلا و ...) تقسیم می‌شود.

#### ۱-۹-۶ - کانسارهای کربناتی مس

کمپلکس‌های کربناتی از کربنات‌های ماگمایی نفوذی و سنگ‌های قلیایی همراه تشکیل یافته و از نظر سن از پروتروزوئیک تا زمان حال گسترش دارند. اکثر کربناتیت‌ها در بخش‌های حاشیه‌ای مناطق کراتونی پایدار

رخ داده و یا با ساختارهای ریفتی بزرگ مقیاس در ارتباطند. تاکنون تنها یک کمپلکس کربناتیت به عنوان تولید کننده اصلی مس به شمار می‌رود و آن کمپلکس پالابورا در آفریقای جنوبی است. کانه‌زایی ناچیز مس در مانتین پاس ایالات متحده و خلیج کالاندار در کانادا شناخته شده است.

### الف - کانسار مس نوع کویناوی

کانسارهای مس نوع کویناوی که به کانسارهای مس نوع میشیگان، بازالتی نیز معروف می‌باشند، در شبه جزیره کویناوی (میشیگان شمالی) به وفور یافت می‌شوند. در این کانسارها مس طبیعی کانی اصلی است و به طور فرعی کالکوسیت  $Cu_2S$  و دیژنیت  $Cu_{1.8}S$  نیز حضور دارند که در هر دو نسبت فلز به گوگرد بالا است. ذخیره مس با مقادیری نقره است که این موضوع نشان‌گر پائین بودن فشار مؤثر گوگرد می‌باشد. در این کانسار ماده معدنی در درون سنگ‌های بازالتی تولییتی حفره‌دار و در زمینه لایه‌های کنگومرا که در بین فوران‌های بازالتی قرار دارند، پراکنده است. ماده معدنی همچنین به صورت رگه‌هایی هر دو سنگ را قطع می‌نماید. هر چند که اندازه دانه‌های مس طبیعی معمولاً در حد میلی‌متر می‌باشد و لیکن توده‌های مس به وزن صدها کیلوگرم نیز مشاهده شده‌اند. نوع خاصی از کانسار کویناوی که دارای مس طبیعی همراه با نقره طبیعی، کالکوسیت، بورنیت و ندرتاً کالکوپیریت هستند و به صورت رگچه‌ای، رگه‌ای، پر کننده حفرات و انتشاری در آندزیت‌های کالک آلکالن یافت می‌شوند را کانسارهای مس نوع آندزیتی می‌نامند. این کانسارها را عده‌ای معادل بیرونی کانسارهای مس پورفیری می‌دانند.

### ب- کانسارهای ماگمایی مس

عیار مس این گروه در حدود ۱ تا ۲ درصد است. از این گروه کانسارها می‌توان کانسارهای تفریقی مس نیکل سولفیدی مرتبط با سنگ‌های نفوذی اولترابازیک تا بازیک را نام برد که عناصر کبالت، طلا، پلاتین و عناصر کمیاب به صورت محصول فرعی با آن استخراج می‌شود. از این نوع معادن سولفیدی در کشورهای روسیه، فنلاند، سوئد، کانادا، ایالات متحده، آفریقای جنوبی و استرالیا شناخته شده است. طبقات سنگ‌های نفوذی در سپرهای آتشفشانی مرکب از پریدوتیت، پیروکسنیت، گابرونوریت، گابرودیوریت و رخساره گابرو دولریتی و دولریت پیکریتی می‌باشد. طول رگه‌ها بین ۱۰۰ تا ۱۵۰۰ متر متغیر و عمق آن بین ۸۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در

امتداد شیب و ضخامت می‌شود. همانطور که گفته شد عناصر Rh- Pd- Pt- Te- Co- Ru به صورت همراه حضور دارند. در این آن بین ۱ تا ۲ و گاهی تا ۴۰ یا ۵۰ متر می‌رسد. ماده معدنی هم به صورت سین‌ژنتیک و اپی‌ژنتیک دیده کانسارها پیرویت، کالکوپیریت و پنتلاندیت کانی‌های اصلی هستند. کانی‌های فرعی نیز شامل مگنتیت، پیریت، بورنیت، نیکولیت، میلریت، ویولاریت، اسپریلیت و کوپریت می‌باشند. اولیون، پلاژیورکلاز و پیروکسن به همراه گارنت، اپیدوت، سرپانتین، اکتینولیت، تالک، کلریت و کربنات‌ها کانی‌های غیرفلزی این کانسارها را می‌سازند.

### ج - کانسارهای مس نوع مانتو

واژه نوع مانتو (Manto type) واژه‌ای است که اولین بار در شیلی (Ruiz et., 1971) و برای ذخایر مس چینه‌کران با میزبان آتشفشانی استفاده شده است. این ذخایر در ناحیه کردیلرای ساحلی (Coastal Cordillera) و کردیلرای مرکز (نواحی Uchumi Talcuna) شیلی، کمربند فلززائی مهمی را ایجاد می‌کنند (Kojima et., 2006; Wilson & Zentilli, 2009). این نوع ذخایر مس پس از کانسارهای مس پورفیری و کانسارهای IOCG، سومین ذخایر بزرگ مس در شیلی به‌شمار می‌آیند (Trista- Aguilera et., 2006). بیشتر این ذخایر دارای سن ژوراسیک تا کرتاسه هستند. در کانادا و شمال آمریکا نیز کانسارهای مس در سنگ‌های میزبان بازالتی یا آندزیتی، با عناوین کانسارهای مس بازالتی، مس کویناوی (Keweenaw) میشیگان (Michigan) و مس طبقات سرخ آتشفشانی (Volcanic Red bed Cu) شناخته می‌شوند (Lefebure and Church, 1996). البته تفاوت‌هایی میان ذخایر کانادا و آمریکا با ذخایر نوع مانتوی شیلی وجود دارد. ذخایر مانتو دارای عیار بالای مس (۱/۵ تا ۲ درصد) و محتوای نقره‌ی پایین (۵ تا ۲۰ گرم بر تن) و در بیشتر موارد بدون طلا هستند (Boric et al., 2002). بیشتر این ذخایر کوچک‌اند و تناژ پایینی دارند. بزرگترین ذخایر شناخته شده در شیلی، ال‌سولدادو (Elsoldado) با حجم ۲۰۰ میلیون تن و مانتوی بلانکو (Manto Blanco) با حجم ۱۲۰ میلیون تن (Maksaev and Zentilli, 2002). سنگ درونگیر این ذخایر، سنگ‌های آتشفشانی آندزیتی و بازالتی با ماهیت کالک‌آلکالن پتاسیم بالا تا تولیت به رنگ خاکستری تیره تا سبز است. این سنگ در محیط کشتی مرتبط با فرورانش آند و حوضه‌های پشت کمانی تشکیل شده‌اند (Trista-Aguilera et al., 2006; Oliveros et al., 2006). بافت

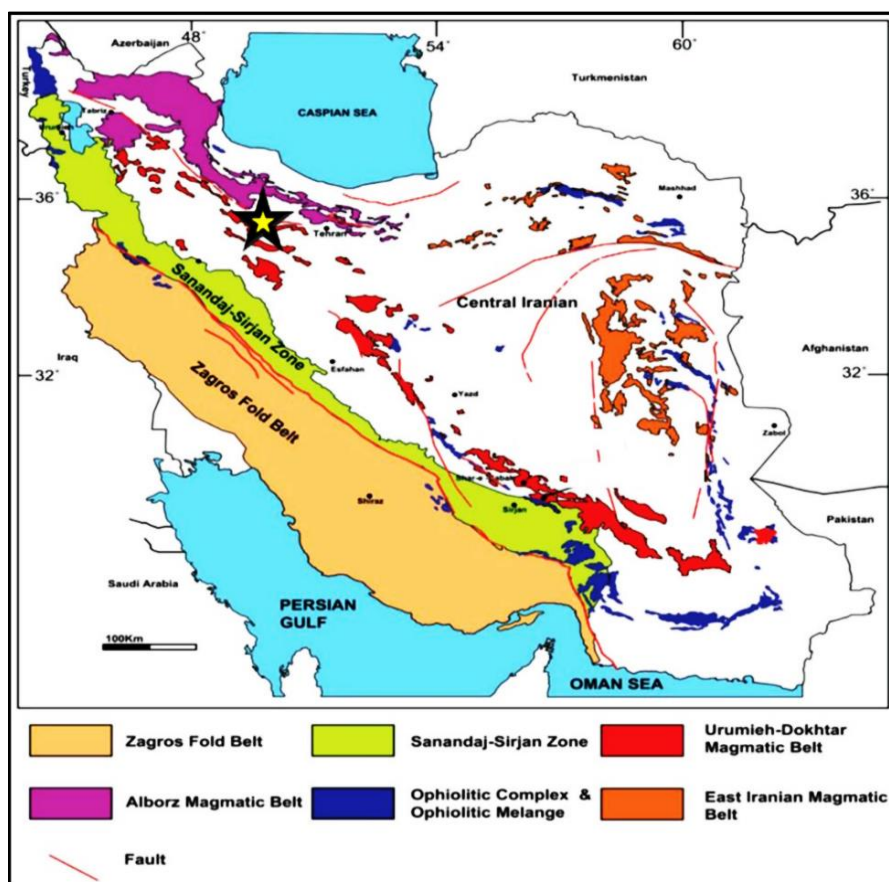
غالب این سنگ‌ها بافت پورفیریک، آفانتیک، بادامکی و برشی است (Oliveros et al., 2006). میانگین دامنه‌ی تغییرات دمایی تشکیل این کانسارها از ۱۵۰ تا ۳۶۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و دارای شرایط فشار پایین و نزدیک به منحنی جوشش است (Kojima et al., 2008). دامنه‌ی تغییرات شوری این کانسارها متغیر و از ۱/۵ (Kojima et al., 2008) تا ۶۲ درصد وزنی نمک طعام (Ramirez et al., 2006) گزارش شده است.

# فصل دوم

## زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی

## ۱-۲- مقدمه

از لحاظ تقسیم‌بندی‌های زمین‌ساختی منطقه مورد مطالعه، جزئی از واحد ساختمانی ایران مرکزی است، به‌طور ویژه در بخش شمالی کمربند ماگمایی ارومیه-دختر قرار می‌گیرد (شکل ۱-۲). همچنین محدوده مورد مطالعه بخشی از نقشه زمین‌شناسی ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه (عمیدی و همکاران، ۱۳۶۳) و نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهاورد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹) را در برمی‌گیرد. با توجه به قرارگیری محدوده‌ی مورد مطالعه در کمربند ارومیه-دختر، در این فصل ابتدا به شرح مختصری از خصوصیات زمین‌شناسی و ماگماتیسم این کمربند پرداخته می‌شود و در ادامه به شرح زمین‌شناسی ناحیه‌ای و همچنین شرح چینه‌شناسی، زمین‌شناسی اقتصادی منطقه مورد مطالعه پرداخته خواهد شد و در انتها ویژگی‌های زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی کانسار هجیب توصیف خواهد شد.



شکل ۱-۲. موقعیت کانسار هجیب (★) بر روی کمربند آتشفشانی-نفوذی ارومیه-دختر در نقشه پهنا‌بندی ساختاری-رسوبی ایران (آقنابتی، ۱۳۸۳).



## ۲-۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

### ۲-۲-۱- زمین‌شناسی کمربند ارومیه-دختر

کمربند تکتونو ماگمایی ارومیه-دختر با امتداد شمال غربی-جنوب شرقی در حدود ۲۰۰۰ کیلومتر طول و ۷۵ کیلومتر پهنا دارد و ضخامت توالی‌های آتشفشانی - رسوبی آن تا ۴ کیلومتر تخمین زده شده است (Berberian et al., 1982). ردیف‌های آتشفشانی به صورت انواع گدازه‌ها و انواع آذرآواری‌ها که ترکیبی از بازالت تا ریولیت داشته که با ردیف‌های رسوبی در تناوب بود، که حجم عظیم آنها را آواری‌ها تشکیل می‌دهند و توده‌های نفوذی بسیاری با ترکیب گابرو تا گرانیت و با طیف سنی ائوسن تا پلیوسن این کمربند را قطع می‌کنند. کمربند ماگمایی ارومیه- دختر براساس نظر علوی (۱۹۹۴) و بربریان و همکاران (۱۹۸۲)، از نوع آندی و اوج فعالیت آتشفشانی آن در زمان ائوسن بوده است. براساس نظر بربریان (۱۹۸۱) و شهاب پور (۲۰۰۵)، این نوار ماگمایی حاصل فرورانش است. نوار ماگمایی ارومیه- دختر از یک سری گسترده از سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری‌های وابسته به آن تشکیل شده که از سه‌ه‌تا بزمان کشیده شده است. جهانگیری (۲۰۰۷)، حضور گنبد‌های سابولکانیک پورفیریتیک داسیتی تا ریولیتی در شمال غرب ایران (شمالی‌ترین قسمت کمان ماگمایی ارومیه - دختر) را نتیجه‌ی تشکیل و صعود ماگما در امتداد زمین ساخت‌های امتداد لغز همراه با رژیم کششی محلی می‌داند. با توجه به اهمیت ماگماتیسیم ترشیری، این موضوع در کمربند ارومیه - دختر در نقاط مختلف مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته و حاصل این مطالعات نشان می‌دهد که سنگ‌های ولکانیکی بیشتر آندزیت، آندزیت بازالت، بازالت آندزیتی، بازالت، ریولیت، داسیت و ریوداسیت‌ها می‌باشد. در میان این سنگ‌ها گاهی لاتیت آندزیت، لاتیت تراکیت، لوسیت، فنولیت نیز یافت می‌شود (قربانی و همکاران، ۱۳۹۳). فوران‌های اولیه، از نوع زیردریایی و ماهیت کالکوالکالن دارند. در ائوسن فوقانی، ترکیب گدازه‌ها به طرف آلکالن و پراآلکالن میل می‌کند (Amidi, 1975). در اواخر ترشیری، گدازه‌های کالکوالکالن به انواع ساب آلکالن و آلکالن تغییر و تحول یافته‌اند و در نتیجه گدازه‌های آلکان غنی از پتاسیم تشکیل شده‌اند (Amidi, 1975). در طول ترشیری شدت ولکانیسم یکسان نبوده و در مراحل مانند ائوسن میانی، ائوسن پیشین، الیگوسن پسین-میوسن پیشین و میوسن پسین- پلیوسن افزایش فعالیت وجود داشته‌است. طبق نظر قربانی و همکاران (۱۳۹۳) زون ارومیه- دختر را بر اساس

ماگماتیسم ترشیری به سه قسمت به ترتیب زیر تقسیم کرده‌اند.

- ارومیه- دختر جنوبی : محور دهج- ساردوئیه- جبال بارز

- ارومیه- دختر میانی: تفت- کاشان- قم.

- ارومیه- دختر شمالی: محور تفرش رزن- تکاب- سهند

### ۲-۲-۲- ارومیه- دختر جنوبی: محور دهج - ساردوئیه- جبال بارز

این بخش از کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر طولی حدود ۴۵۰ کیلومتر و عرضی در حدود ۸۰ کیلومتر داشته، از شمال به کفه رفسنجان، کرمان و بم، و از جنوب به کفه میدوک- سیرجان محدود می‌شود. این کمر بند، توسط گسل‌های شمالی- جنوبی از جمله گسل انار، گسل‌های سبزواران از جنوب و گودک از شمال قطع شده و همچنین سنگ‌های این کمر بند، تحت‌تأثیر گسل‌هایی با روند شمال‌خاوری- جنوب‌باختری قرار گرفته‌اند. فعالیت ماگمایی در کمر بند کرمان گسترش زیادی داشته و از ائوسن پیشین تا کواترنر ادامه داشته و عمده فعالیت‌های آتشفشانی منطقه، متعلق به ائوسن بوده که حجم اصلی سنگ‌های ماگمایی را در بر گرفته است.

### ۳-۲-۲- ارومیه - دختر میانی: تفت - کاشان- قم

ارومیه - دختر میانی از ناحیه تفت آغاز و تا قم ادامه می‌یابد. بنا بر نظر قربانی (۱۳۹۳)، در این منطقه ولکانیسم و پیشروی دریا در زمان ائوسن افزایش یافته و توالی‌های هم‌ارز سری سبز (رسوبی - ولکانیکی) نهشته شده است. این فعالیت بیشتر اسیدی، از نوع فراتوماگماتیک و به شدت انفجاری بوده است. ردیف‌های ولکانیکی این منطقه به ترتیب پالئوسن پسین - ائوسن پیشین، ائوسن میانی، ائوسن پسین، الیگوسن، الیگو- میوسن، میوسن میانی، میوسن پسین - پلیوسن می‌باشد. بر طبق نظر عمیدی (Amidi, 1977) و قربانی (۱۳۹۳) مراحل مختلف فعالیت‌های ماگمایی بسیار گسترده در ناحیه نطنز - نایین و مراحل آتشفشانی ائوسن که با تشکیل ستبرای زیادی از رسوبات آذرآواری مشخص می‌شود و موجب نمایان شدن سنگ‌های آندزیتی، ریوداسیتی و شوشونیتی شده است. بنا به نظر امامی و همکاران (۱۳۷۱)، در بین ردیف‌های ائوسن میانی- ائوسن پسین، واحدهای ریولیت از واحدهای آندزیتی و تراکی‌بازالتی، تراکی‌آندزیتی قدیمی‌تر و جوان‌ترین واحدها، واحدهای

ایگنمبریتی و تراکیتی است و فعالیت‌ها به طور عمد در محیط قاره‌ای یا کم‌عمق ساحلی صورت گرفته‌اند.

## ۲-۲-۴ - ارومیه - دختر شمالی: محور تفرش - رزن - تکاب - سهند

این محور از ناحیه تفرش آغاز و تا رزن و از آنجا به جنوب زنجان و سرانجام از ناحیه تکاب به شاهین‌دژ و ارومیه و در نهایت به کشور ترکیه ختم می‌شود. در این قسمت از کمر بند ارومیه-دختر بر خلاف دو قسمت قبل، نمود ماگماتیسیم ترشیری بخصوص ولکانیسم ائوسن و توده‌های نفوذی ائوسن الیگوسن کمتر است. در ائوسن، سنگ‌ها از نظر حجم و ستبراً (کمتر و پراکنده‌تر) و از نظر ترکیب (اسیدی و حجم بارز آن پیروکلاستیک و توف) با سنگ‌های آتشفشانی ائوسن در نواحی دیگر متفاوت است. در ائوسن-الیگوسن، تاکنون توده نفوذی قابل توجهی و یا یک باتولیت نسبتاً بزرگ در این کمر بند برونزد نیافته است. اگرچه سنگ‌های آتشفشانی و نفوذی‌های کوچک با ترکیب بازیگ تا متوسط به طور پراکنده در مناطق شمالی به چشم می‌خورد. در زمان الیگوسن پسین - میوسن، توف‌های اسیدی نمود بارزی از خود نشان داده و بخش‌های پایینی سازند قم را در این محور در برمی‌گیرند. بطور کلی در محور ارومیه- دختر شمالی ماگماتیسیم ائوسن و ائوسن-الیگوسن پسین کم رنگ و ناچیز می‌باشد، ولی فعالیت‌های الیگومیوسن قابل توجه‌تر هستند و منطقه هجیب در ارومیه دختر شمالی واقع است.

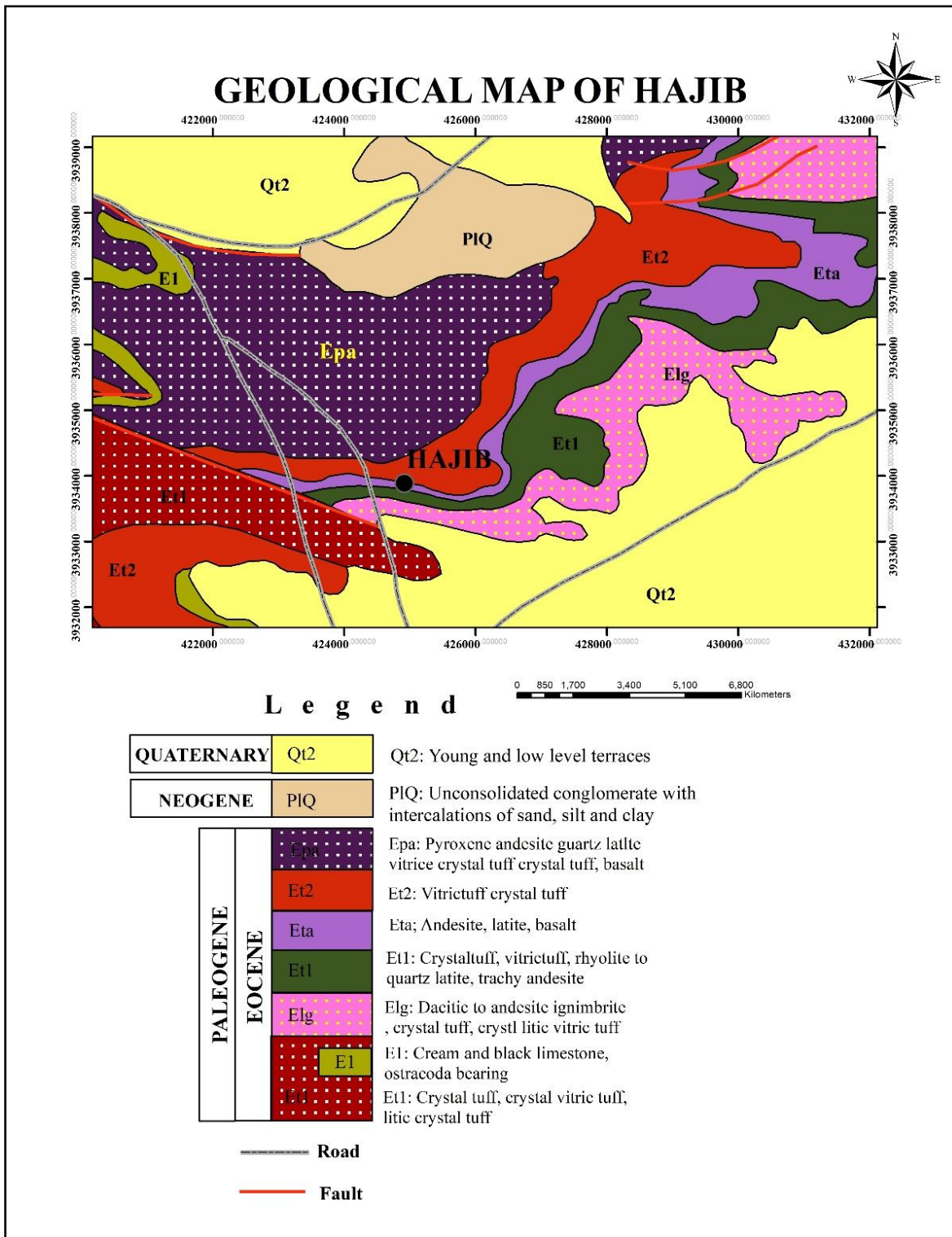
## ۲-۳ - ژئودینامیک و تکتونیک زون ارومیه - دختر

بنا به نظر قربانی (۱۳۹۳)، نئوتتیس از آغاز ژوراسیک شروع به فرورانش و از آغاز کرتاسه شروع به کوچک شدن و بسته شدن می‌کند، به گونه‌ای که در کرتاسه پسین تا پالئوژن، برخورد قاره-قاره رخ می‌دهد. فرورانش پوسته اقیانوسی نئوتتیس که از زمان ژوراسیک شروع شده، در طول کرتاسه نیز ادامه داشته و منجر به فعالیت ماگمایی در پوسته بالایی (محل فرورانش) شده است. وجود توده‌های باتولیتی و سنگ‌های آتشفشانی (به ویژه آندزیت و بازالت) در پهنه سندرچ- سیرجان را می‌توان حاصل این عمل دانست. در زمان ترشیری، پشت منطقه در نوار شمالی پهنه سندرچ- سیرجان و باختر ایران مرکزی بین محور ارومیه- دختر فرورانش ادامه داشته است و ماگماتیسیم حاصل از این فرورانش به این منطقه کشیده شده و به طوری که در میوسن و پلیوسن ادامه

داشته، فرورانش در زمان ترشیری منجر به تشکیل انواع سنگ‌های ماگمایی در کمر بند ارومیه- دختر شده است. عمرانی (۲۰۰۷) معتقد است که ماگماتیسم سنندج سیرجان در مزوزوئیک و پی آمد آن ماگماتیسم ارومیه - دختر در ترشیری در نتیجه فرورانش رخ داده‌اند و بین این دو یک انقطاع زمانی- مکانی وجود دارد و بدین صورت حدود ۲۰ میلیون سال یعنی زمان پالئوسن و پیرامون آن ماگماتیسم حاصل از فرورانش خفیف می‌گردد. پس از این برهه زمانی، با تغییر مکانی از زون سنندج - سیرجان به باختر ایران مرکزی یعنی ارومیه - دختر منتقل می‌شود. مغشوش بودن سنگ‌های ماگمایی ترشیری در پهنه ارومیه- دختر، از نظر سرشت ماگمایی و محیط زمین ساختی میتواند حاصل این پدیده باشد، که صفحه سنگ کره فرورونده در نوار شمالی سنندج سیرجان و جنوب و جنوب باختری ایران مرکزی (یعنی در محل ارومیه- دختر)، به هنگام فرورانش شکسته شده باشد. این شکسته شدن می‌تواند همراه با کشش موضعی و ایجاد کافت نامنظم باشد. این فرضیه را می‌توان با انجام آزمایش‌های لرزه نگاری در چند نیمرخ عمود بر کمر بند ارومیه- دختر اثبات کرد. اگر چنین شکستی در سنگ کره اقیانوسی وجود داشته باشد، به علت سرد و سلب بود آن توسط امواج لرزه ای از محیط پیرامون قابل تشخیص می‌باشد.

## ۲-۴- چینه‌شناسی ناحیه‌ای

ناحیه مورد مطالعه در چهارگوش نقشه ۱/۲۵۰۰۰۰ ساوه (عمیدی و همکاران، ۱۳۶۳)، جنوب شرق نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰۰ اشتهارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹) و در بخش شمالی کمر بند ماگمایی ارومیه - دختر قرار دارد (شکل ۲-۲). این منطقه شامل واحدهای سنگی جوان و متعلق به دوره ترشیری و نسبتاً جوان و عمدتاً شامل واحدهای آتشفشانی با ترکیب حدواسط تا اسیدی بوده، توالی سنگ‌شناسی و مشخصات این توالی در منطقه مورد مطالعه به صورت زیر است:



شکل ۲-۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه که از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ اشتهاارد اقتباس شده است (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹).

در محدوده مورد مطالعه واحدهای قدیمی‌تر از ائوسن بالایی فاقد رخنمون می‌باشد. واحدهای سنگی ائوسن بالایی با رنگ تیره‌شان به آسانی از سری سبز ائوسن میانی قابل تشخیص است. این مجموعه که به گونه‌ای هم

شیب بر روی سری سبز ائوسن میانی جای می‌گیرد، در بر گیرنده گدازه‌های آندزیتی و لاتیتی با بافت غالب پورفیریک و گاهاً مگاپورفیریک، در بخش‌هایی به گونه‌ای متناوب با لاپیلی توف قرار می‌گیرد. بطور تقریبی در همه افق‌ها، پهنه‌ها و لایه‌های ایگنیمبریتی را می‌توان دید. گدازه و گنبد‌های ریولیتی گسترش کمتر دارند. ولکانسیم در ائوسن بالایی نشان دهنده ولکانسیم قاره‌ای تا دریایی کم ژرف (ساحلی) است. ائوسن بالایی خود به سه قسمت بخش پائینی، بخش میانی و بخش بالایی تقسیم می‌شود یوسفی و همکاران (۱۳۸۹). بخش پایینی ائوسن بالایی، در برگیرنده تناوبی از لایه‌های گدازه‌ای و ایگنیمبریت با توف و لاپیلی توف که نشان دهنده زمان میان دو فوران انفجاری در دو محیط دریایی و فوران آرام در محیط قاره‌ای تا ساحلی است، لایه‌های سنگی به ترتیب زمان تشکیل از قدیم به جدید در ادامه توصیف می‌شود (شکل ۲-۲).

**واحد  $E^{ig}_2$** : این واحد بطور عمده از ایگنیمبریت، گدازه قهوه‌ای رنگ با ترکیب اسیدی پدید آمده است. در این واحد لایه‌های آندزیتی و تراکیتی نیز دیده می‌شود. افزون بر این، در این واحد چندین لایه توفی و لاپیلی توف نازک لایه دیده می‌شود، که قابل ترسیم در نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰ بصورت واحدهای مجزا نمی‌باشد. این واحد بر روی واحد  $E^{t1}_1$  و یا  $E^{t2}_1$  و در زیر واحد  $E^{t1}_2$  قرار دارد. در بررسی‌های میکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده از این واحد، انواع سنگ‌ها نظیر کریستال لیتیک، ویتریک توف، آندزیت و تراکیت و همچنین دایک‌های از نوع الیوین گابروپورفیری مشاهده می‌شود. از دیدگاه پتروگرافی، ایگنیمبریت گدازه‌های یاد شده به رنگ قرمز تا قهوه‌ای تیره و دارای بافت جریان‌ی، بافت ولکانوکلاستیک با زمینه شیشه‌ای و قطعات بلوری این واحد شامل پلاژیوکلاز که بعضاً دچار دگرسانی سریسیتی و آلبیتی و کانی‌های فرو منیزین در اثر دگرسانی به کانی‌های کلریت، اکسید آهن تبدیل شده است، دیده می‌شوند. در این واحد قطعات سنگی دیده نمی‌شود.

**واحد  $E^{t1}_2$** : این واحد به طور عمده از توف‌های با ترکیب ریولیتی پدید آمده که در آن گدازه ریولیتی نیز مشاهده می‌شود. رنگ این واحد سفید و در بخش‌هایی اندک به رنگ خاکستری می‌گراید. این واحد به سمت شرق به لاپیلی توف حاوی ریز بالشت‌های گدازه‌ای با ترکیب بازیک در زمینه اسیدی تبدیل می‌شود. این توف‌ها همچنین بصورت میان‌لایه حاوی یک لایه نازک با ترکیب تراکیتی تا لاتیتی می‌باشد. در بررسی‌های

میکروسکوپی نمونه‌های برداشت شده از این واحد، سنگ‌های کریستال لیتیک، ویتریک توف، ریولیت تا کوارتزلاتیت و تراکیت تا لاتیت مشاهده می‌شود. از دیدگاه پتروگرافی، کریستال توف‌ها به رنگ خاکستری تیره مایل به آبی، دارای بافت ولکانوکلاستیک با زمینه میکروکریستال تا کریپتوکریستال، قطعات بلوری عمدتاً شامل فلدسپات‌های آلکالن و به مقدار کم بلورهای بیوتیت و کانی فرومنیزین (احتمالاً پیروکسن) و دارای قطعات سنگی به مقدار کم، زمینه (ماتریکس) این واحد در برگیرنده بلورهای ریز فلدسپات و مقداری شیشه تبلور دوباره یافته و کانی اوپک می‌باشد.

**واحد  $E^{ta}_2$** : این واحد به رنگ قهوه‌ای تیره تا سیاه و شامل گدازه‌های آندزیتی، لاتیتی و بازالتی می‌باشد. این واحد بر روی واحد  $E^{t1}_2$  و در زیر واحد  $E^{t2}_2$  قرار گرفته است. از دیدگاه پتروگرافی، آندزیت‌ها به رنگ قهوه‌ای، بافت پورفیریک با خمیره میکروولیتی تا کریپتوکریستال، دارای فنوکریست‌ها پلاژیوکلاز (عمدتاً سالم)، پیروکسن (تعداد کمی به طور کامل کربناتیز شده) می‌باشند. خمیره یا مزوستازی حاوی میکروولیت‌های پلاژیوکلاز (بیشترین حجم خمیره)، بلورهای کانی فرومنیزین، کلریت و اکسید آهن (احتمالاً در اثر دگرسانی پیروکسن ها)، شیشه اکسیدشده و کانی‌های اوپک می‌باشد.

**واحد  $E^{t2}_2$** : این واحد شامل توف و لاپیلی توف و حاوی ریز بالش‌های گدازه‌ای بازیگ تیره و همسان برش‌های آتشفشانی می‌باشد. از دیدگاه پتروگرافی، ویتریک توف‌ها به رنگ کرم و تا اندازه‌ای دچار دگرسانی رسی (کانولینیزه)، دارای بافت ولکانوکلاستیک، فاقد قطعات تک بلوری، قطعات سنگی چند بلوری فلدسپات و دارای زمینه حاوی شیشه دوباره متبلور شده به کانی‌های فلسیک (کوارتز و فلدسپات) که تا اندازه‌ای کلریتیزه شده، می‌باشند. در زمینه شیشه‌ای لکه‌های کربنات، کانی‌های اوپک و میکرو پیلوهای بازیگ دیده می‌شود.

**واحد  $E^{pa1}_2$** : این واحد گدازه‌ای با ترکیب حدواسط، به طور عمده از نوع آندزیت تا پیروکسن آندزیت، دارای افق‌های ایگنمبریتی (قرمز رنگ و دارای ترکیب حدواسط) به صورت میان‌لایه می‌باشد. در افق‌های بالایی این واحد، چند لایه بازیگ جای گرفته است. در این واحد یک لایه ناپیوسته (عدسی‌شکل) توف برشی به عنوان زیر واحد  $E^{t3}_2$  به صورت میان‌لایه دیده می‌شود. این واحد در حقیقت بخش‌های زیرین واحد  $E^{pa2}_2$  را شامل

می‌شود، با این تفاوت در این واحد اندازه‌ها دارای بافت آفانتیک (بیشتر) و به مقدار کمتر بافت پورفیریک، دارای چندین لایه رسوبی ماسه سنگی در بخش باختری (بیانگر محیط ساحلی در هنگام پیدایش) می‌باشد. این واحد در قسمت زیر واحد  $E^{pa}_2$  و بر روی واحد  $E^{t2}_2$  قرار دارد. از بررسی نمونه‌های برداشت شده از این واحد می‌توان نتیجه گرفت که سنگ‌ها این واحد شامل انواع پیروکسن آندزیت، پیروکسن لاتیت، کوارتز لاتیت، بازالت، ویتریک کریستال توف، کریستال ویتریک توف، کریستال توف است. از دیدگاه پتروگرافی سنگ‌های پیروکسن آندزیتی به رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای تا قهوه‌ای، دارای بافت پورفیریک با خمیره کریپتوکریستال تا میکرولیتی، دارای فنوکریست‌ها در برگیرنده بلورهای اتومورف پلاژیوکلاز (آثاری از دگرسانی آژریلیک و آلبیتی شدن در آن دیده می‌شود)، بلورهای کانی فرومنیزین هشت وجهی (احتمالاً پیروکسن) و بلورهای به نسبت درشت کانی‌های اوپک، می‌باشد. خمیره یا مزوستازی در برگیرنده بلورهای فلدسپات و بیشتر از نوع پلاژیوکلاز است که در برخی پدیده کلریتی و سرسیتی و آلبیتی شدن دیده می‌شود.

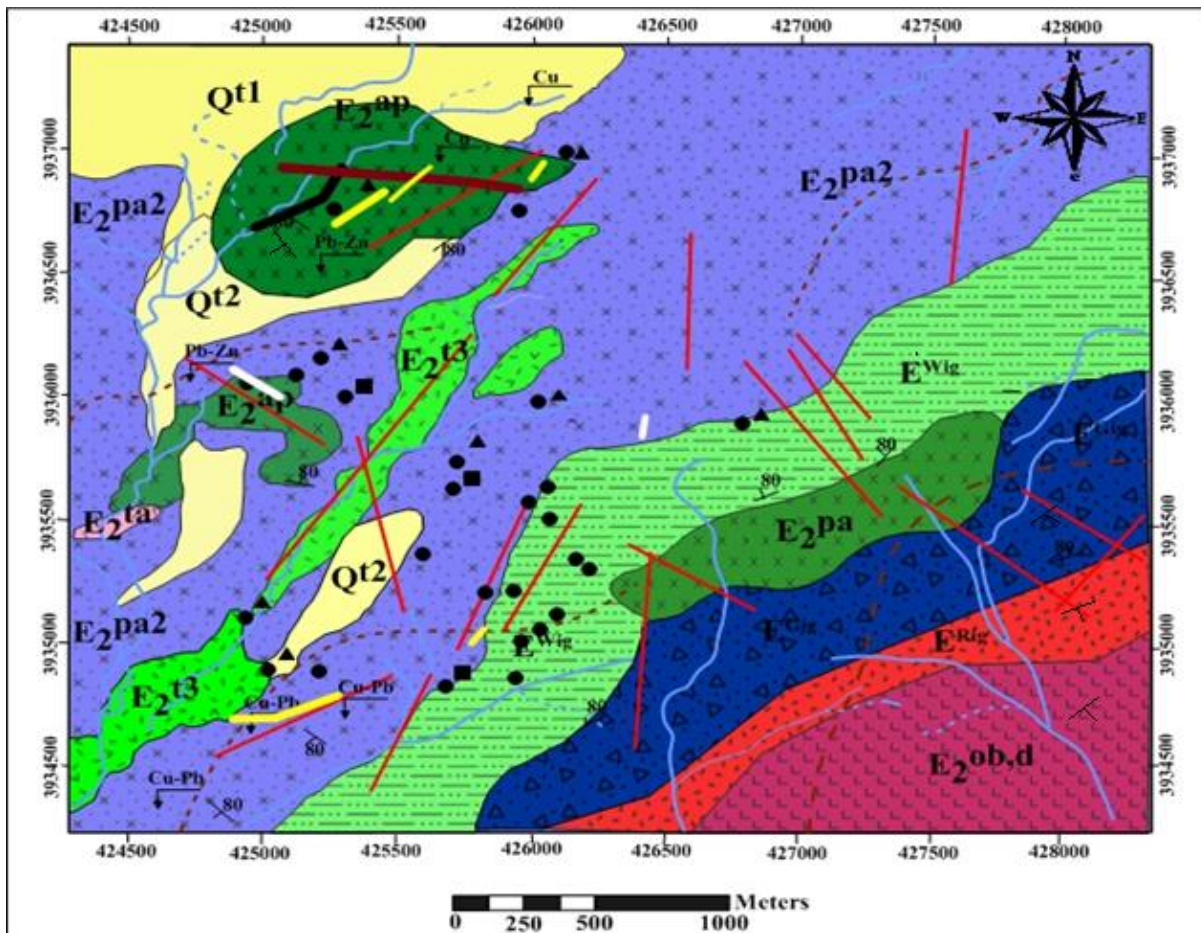
**واحد  $PLQ^c$ :** این واحد با دگرشیبی به نسبت زیاد بر روی نهشته‌های رسوبی نئوژن جای گرفته است و بطور عمده در برگیرنده کنگلومرای سخت نشده تا کمی سیمانی شده است. جنس قلوه‌های این کنگومرا بطور عمده سنگ‌های ولکانیک ائوسن و نیز سنگ‌های گرانیتی الیگوسن است که میان لایه‌هایی از ماسه، سیلت و رس در آن دیده می‌شود، که بیانگر زمان‌هایی است که تکاپوهای کوهزایی آرامتر شده بوده‌اند. زمینه یا ماتریکس آن ماسه و سیلت و تا اندازه‌ای سیمان است.

## ۲-۵- زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی محدوده معدنی

توالی سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه گستره‌ای از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی می‌باشد. سنگ‌های رسوبی رخنمون یافته در این محدوده دارای ماهیت ماسه‌سنگی و سنگ‌های آتشفشان با ترکیب فلسیک تا مافیک را در برمی‌گیرد. واحدهای سنگی منطقه بدلیل تأثیر محلول‌های گرمابی، دچار دگرسانی و تغییر در ترکیب و بافت شده‌اند. در مطالعات سنگ‌شناسی، سه مجموعه کانی‌شناسی شامل کانی‌های اصلی، فرعی و دگرسانی مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه بیشترین رخنمون واحدهای سنگی در محدوده مورد



نظر از جنس واحد سنگ‌های آذرآواری است، لذا مطالعه این واحدها با دقت و تمرکز بیشتر انجام شده است. سنگ‌های آذرآواری از نظر منشأ ماهیت دوگانه دارند (آتشفشانی- رسوبی) بنابراین نحوه مطالعه و نام‌گذاری این سنگ‌ها، با نحوه مطالعه و نام‌گذاری سایر سنگ‌های منطقه متفاوت بوده و این سنگ‌ها براساس درصد، جنس و اندازه اجزاء اصلی (شیشه، قطعه‌سنگ، بلور) بررسی شده است. در این مطالعه سنگ‌های آذرآواری براساس سه فاکتور بالا و استفاده از نمودارهای اشمیت (۱۹۸۱) براساس اجزاء اصلی سنگ و فیشر (۱۹۷۹) براساس اندازه اجزاء اصلی در مطالعه مقاطع نازک مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه و مشخص کردن جنس و توالی سنگ‌شناسی در این منطقه، ۳۲ نمونه سطحی که براساس مطالعه صحرایی و به منظور تهیه مقاطع نازک جهت مطالعات سنگ‌شناسی انتخاب شد، براساس تصویر ماهواره‌ای، شواهد زمین‌شناسی صحرایی و مطالعه مقاطع نازک و نازک-صیقلی نقشه زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ در محدوده اکتشافی هجیب، در مساحتی حدود ۷/۸۸ کیلومتر مربع تهیه شده است (شکل ۲-۳). براساس اطلاعات نقشه زمین‌شناسی، واحدهای سنگی که در سطح رخنمون دارند شامل سنگ‌های آتشفشانی (گدازه و توف)، سنگ‌های نیمه عمیق می‌باشد. ترکیب واحدهای سنگی رخنمون یافته در محدوده از ریولیت تا بازالت متغیر است. در ادامه ابتدا واحدهای سنگی رسوبی و سپس واحدهای آذرآواری و در انتها واحدهای آتشفشانی (گدازه‌ها) مورد توصیف قرار می‌گیرد. واحدهای زیر در نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵،۰۰۰ محدوده اکتشافی مشخص شده است. همچنین مشخصات کلی واحدهای مذکور ارائه شده است.



### LEGEND

CENOZOIC	QUATERNARY	
		Qt2
	Qt1	Old and high level terraces.
EOCENE	E <sub>2</sub> <sup>ap</sup>	Meta andesite, porphyric to megapophyric andesite.
	E <sub>2</sub> <sup>ta</sup>	Andesite, latite, basalt.
	E <sub>2</sub> <sup>t3</sup>	litic vitric tuff.
	E <sub>2</sub> <sup>pa2</sup>	Pyroxene andesite, trachy andesite, andesite to andesitic basalt and vitric tuff.
	E <sub>2</sub> <sup>wig</sup>	White rhyolitic breccia ignimbrite.
	E <sub>2</sub> <sup>pa</sup>	Porphyritic trachytic to andesitic, ignimbrite, basalt to andesite basalt.
	E <sub>2</sub> <sup>ob,d</sup>	Olivine basalt, andesite basalt, dacitic ignimbrite lava.

### SYMBOLS

	Fault		Quartz and barite veins		Copper and Lead indications
	Road		Cu bearing quartz and calcite veins		Copper indications
	Drainage		Iron oxid veins		
	Geological boundary		Cu bearing quartz veins		
	Dip		Lead and Zinc indications		
					Petrography
					Lithogeochemistry
					X-Ray Diffraction

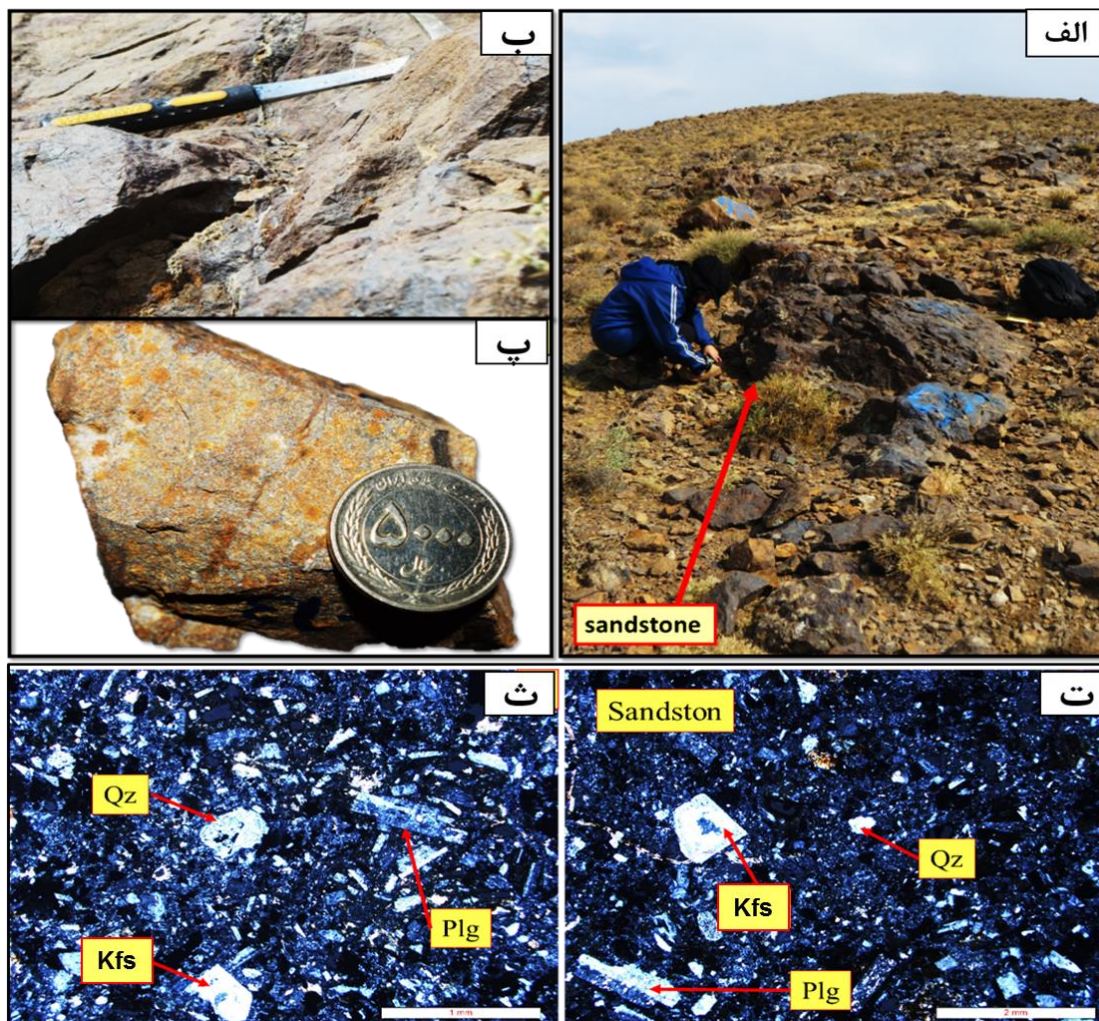
شکل ۲-۳. نقشه زمین شناسی ۱:۲۵۰۰۰ منطقه ی هجیب.

## ۲-۵-۱- سنگ‌های رسوبی

بر پایه مشاهدات صحرایی و بررسی مقاطع نازک و نازک-صیقلی سنگ‌های دارای رخنمون در منطقه، سنگ-های رسوبی در محدوده مورد مطالعه از جنس ماسه‌سنگ می‌باشد.

### - واحد ماسه سنگی

این واحد در قسمت شمال و شمال غربی محدوده مورد مطالعه، با توپوگرافی برجسته در کنار واحدهای توفی دارای رخنمون می‌باشد (شکل ۲-۴-الف). رنگ این واحد در محل رخنمون در صحرا خاکستری تیره است (شکل ۲-۴-ب). رنگ این واحد در سطح تازه شکسته شده، خاکستری مایل به خاکستری تیره می‌باشد (شکل ۲-۴-پ). در بررسی مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، بیشترین حجم مقاطع از کانی فلدسپات اولیه و به مقدار کمتر کانه‌های ثانویه (اکسید آهن)، کلسیت، کوارتز، سرسیت و کانی‌های رسی می‌باشد (شکل ۲-۴-ت). میزان جورشدگی در مقاطع تهیه شده از این واحد، بد تا متوسط، دارای بلوغ بافتی ضعیف تا متوسط (دارای ماتریکس متوسط تا زیاد) است (شکل ۲-۴-ث). براساس بررسی انجام شده در مقاطع می‌توان این واحد را ماسه‌سنگ و به صورت دقیق‌تر می‌توان گری وک نام‌گذاری کرد، در مقاطع آثاری از دگرسانی آرژیلیک و کانه‌سازی دید می‌شود، که در فصول بعد به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد.



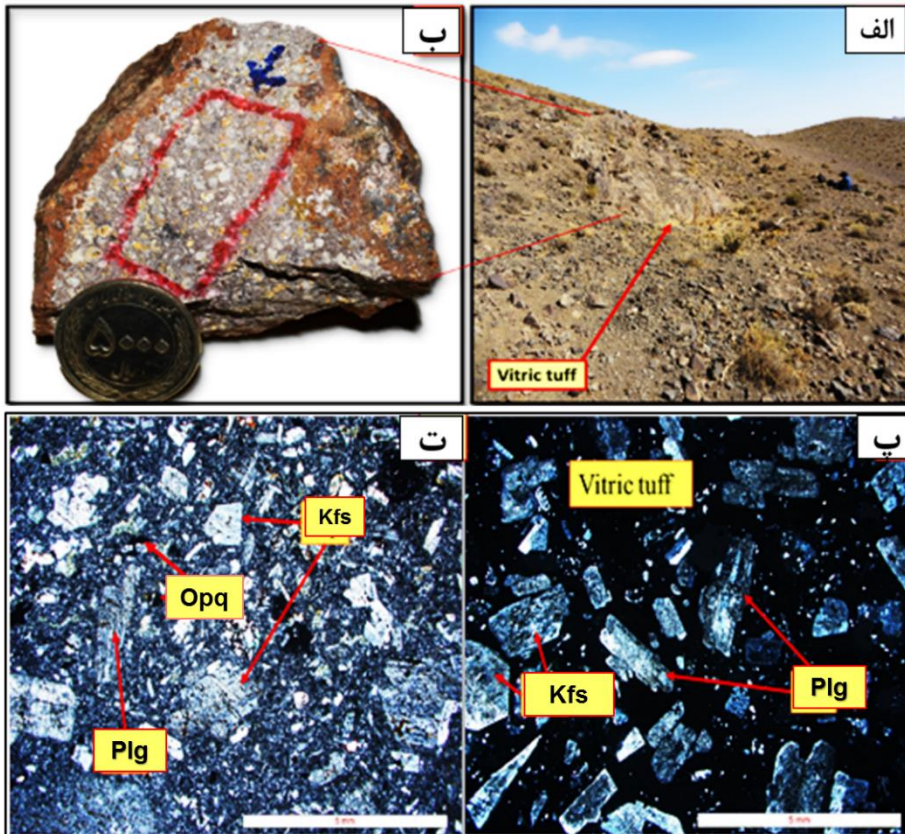
شکل ۲-۴. الف) دورنمایی از واحد ماسه‌سنگی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه. ب) نمایی از واحد ماسه سنگ از نمایی نزدیک، پ) نمایی از نمونه دستی واحد ماسه سنگی شامل کانه‌های اکسید آهن. ت و ث) تصویر میکروسکوپی نورعبوری از ماسه‌سنگ که دارای کانی‌های فلدسپار (Fsp) و به مقدار کمتر کانی کوارتز (Qz) است.

## ۲-۵-۲- واحدهای آذرآواری

این واحد در واقع حد مابین دو گروه سنگی رسوبی و آذرین می‌باشد. مواد آذرآواری، در نتیجه فعالیت آتشفشانی همراه با انفجار ماگمای گازدار، به وجود می‌آیند و در خشکی‌ها، دریا و یا دریاچه رسوب می‌کنند. در منطقه مورد مطالعه حجم قابل توجهی از واحدها به این گروه از سنگ‌ها اختصاص یافته است. این واحد سنگی در این محدوده شامل واحدهای لیتیک کریستال توف و توف می‌باشد که در ادامه به توصیف این واحدها پرداخته می‌شود. که عمدتاً شامل توف با ترکیب آندزیتی و آندزیت‌بازالتی می‌باشند.

## -لیتیک کریستال توف

این واحد در جنوب غرب محدوده است (۲-۵-الف). رنگ این واحد در نمونه دستی خاکستری مایل به سفید می باشد (شکل ۲-۵-ب و پ). این واحد علاوه بر این نقطه در چند نقطه دیگر دارای رخنمون است. براساس مطالعات صحرایی و مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، جنس این واحد از نوع لیتیک کریستال توف می باشد.

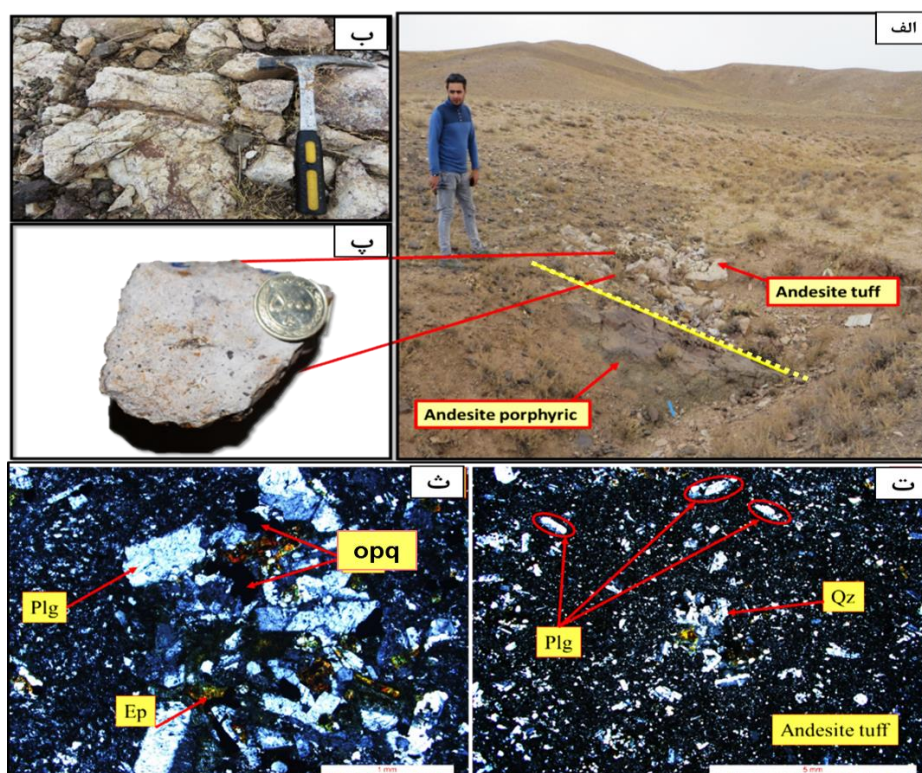


شکل ۲-۵. الف) دورنمایی از واحد لیتیک کریستال توف رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه، ب) نمایی از واحد لیتیک کریستال توف از نمایی نزدیک، پ) تصویر میکروسکوپی از واحد لیتیک کریستال توف که شامل کانه های پلاژیوکلاز، فلدسپات.

در بررسی مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، بیشترین حجم مقاطع از قطعات سنگی و به مقدار کمتر از بلور کانی های پلاژیوکلاز، تشکیل شده است (شکل ۲-۵-پ). کانی های پلاژیوکلاز و فلدسپار در اثر عوامل ثانویه به کانی های سرسیت و کوارتز ثانویه تبدیل شده اند (شکل ۲-۵-ت). براساس بررسی انجام شده در مقاطع، می توان این واحد را لیتیک کریستال توف نام گذاری کرد، در مقاطع آثاری از دگرسانی فیلیک و کانه سازی دید می شود، که در فصول بعد به تفصیل مورد بررسی قرار می گیرد.

## -واحد توف آندزیتی

این واحد در غرب محدوده مشخص شده است. توف آندزیتی در محدوده مورد مطالعه در کنار واحدهای لیتیک توف و به رنگ خاکستری روشن در محل آبراهه موجود دارای رخنمون گسترده‌ای می‌باشد (شکل ۲-۶-الف)، و این واحد سنگی در محل رخنمون دار بر اثر عوامل ثانویه دچار شکستگی شده است (شکل ۲-۶-ب). رنگ این واحد در نمونه دستی خاکستری روشن می‌باشد (شکل ۲-۶-ب و پ). این واحد علاوه بر این نقطه در چند نقطه دیگر دارای رخنمون است. براساس مطالعات صحرایی و مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، جنس این واحد از نوع توف آندزیتی می‌باشد. برپایه مطالعه مقاطع نازک و صیقلی تهیه شده از این واحد، بیشترین حجم این مقاطع از بلور کانی‌های کوارتز، سرسیت و به مقدار کمتر قطعات سنگی تشکیل شده است (شکل ۲-۶-ت). این واحد تحت تأثیر فرایندهای ثانویه دچار دگرسانی کوارتز+ سرسیت و کانی‌های رسی شده است، که این امر در نمونه های دستی هم به خوبی مشخص گردیده است (شکل ۲-۶-ت و ث).



شکل ۲-۶. الف) دورنمایی از واحد توف آندزیتی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه. ب) نمایی با بزرگنمایی بیشتر از واحد توف آندزیتی، پ) تصویر نمونه دستی برداشت شده از واحد توف آندزیتی شامل قطعات سنگی که دارای ساخت تخریبی می‌باشد. تصاویر میکروسکوپی نور عبوری از واحد توف آندزیتی که ت) شامل کانی‌های کوارتز، کلسیت، کلریت (Chl)، پلاژیوکلاز (ث) شامل کانی‌های کوارتز و سرسیت، پلاژیوکلاز (Plg)، کانی‌های دگرسانی اپیدوت.

## ۲-۵-۳ - گدازه‌های آتشفشانی

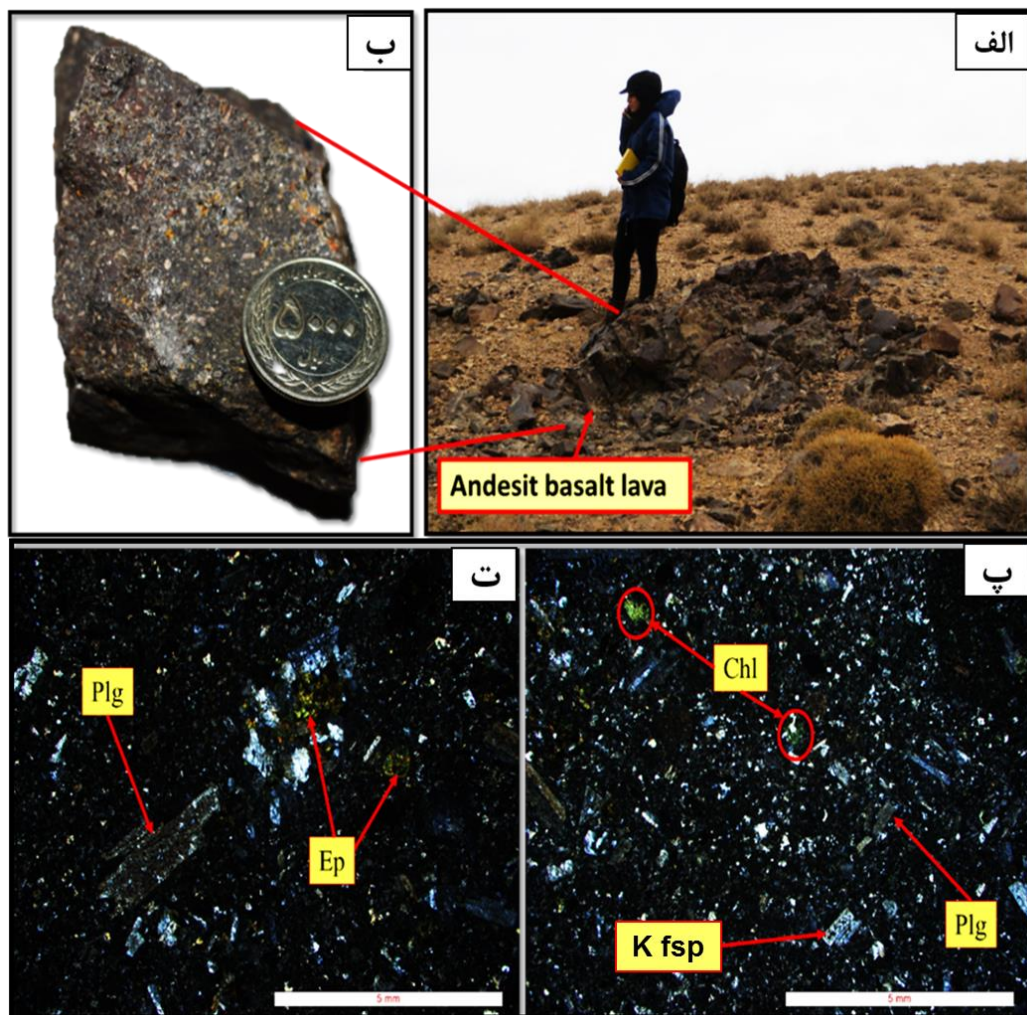
این واحد در منطقه مورد مطالعه شامل دو گروه سنگ‌شناسی آندزیت-آندزیت بازالت و تراکی آندزیت می‌باشد که در ادامه به بیان و توصیف این دو گروه پرداخته می‌شود.

### - واحد گدازه آندزیت تا آندزیت بازالتی

واحد ( $E_2^{ob,d}$ ) به سن ائوسن: شامل واحدهای الیوین بازالت، آندزیت بازالت تا ایگنیمبریت داسیتی که رنگ قهوه‌ای روشن داشته و جنوب شرق محدوده را پوشش داده است و پیرترین واحد محدوده محسوب می‌شود. آندزیت‌ها، گروه مهمی از سنگ‌های آذرین هستند که معادل بیرونی دیوریت‌ها می‌باشند و از نظر ترکیب شیمیایی در گروه سنگ‌های حدواسط قرار می‌گیرند. این واحدها، فراوانترین و متنوع‌ترین سنگ‌های ولکانیکی را در جزایر قوسی و حاشیه‌های فعال قاره‌ای تشکیل می‌دهند. آندزیت‌ها عموماً از پلاژیوکلاز و آمفیبول تشکیل شده‌اند و مانند بسیاری از سنگ‌های آتشفشانی به صورت گدازه‌های آتشفشانی و نیز به شکل سیل و دایک دیده می‌شوند. بافت غالب آندزیت‌ها پورفیری با زمینه ریزبلور است، که فنوکریست‌های آن عمدتاً پلاژیوکلاز، آمفیبول و در برخی موارد بیوتیت و پیروکسن می‌باشند و گاه توسط میکروولیت‌های کوچک پلاژیوکلاز احاطه شده‌اند. معمولاً در آندزیت‌ها حفره‌هایی دیده می‌شود که به وسیله کانی‌های مختلف، بخصوص کلسیت، کلریت، کوارتز، اوپال، کریستوبالیت و فلدسپات‌های سدیک پر می‌شوند.

بر پایه مشاهدات صحرائی، آندزیت در محدوده مورد مطالعه بدلیل دارا بودن خواص سنگ‌شناسی مابین دو گروه آندزیت و آندزیت بازالت در سنگ‌های رخنمون یافته در محدوده قسمت جنوب شرقی محدوده برونزد دارند. این واحد در محدوده مورد مطالعه دارای رخنمون گسترده‌ای است (۲-۷-الف). رنگ این واحد در نمونه دستی خاکستری مایل به سفید می‌باشد. براساس مطالعات صحرائی و مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، جنس این واحد از نوع گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی است. در تعدادی از مقاطع این واحد شاهد حضور کانی‌های اولیه پیروکسن، هورنبلند کانی‌های اوپک مشاهده شده بافت در این مقاطع از نوع بافت پورفیریک و

میکرولیتی و بافت جریان‌ی ضعیفی می‌باشد (شکل ۲-۷-ب). در تعدادی از مقاطع این واحد شاهد حضور کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپار به همراه کانه‌های کلریت هستیم (شکل ۲-۷-پ). در تعدادی از مقاطع این واحد حضور کانی‌های اپیدوت، کانی‌های اوپک، کوارتز و سرسیت مشاهده می‌شود (شکل ۲-۷-ت). همچنین این واحد به سن ائوسن: شامل واحدهای الیوین بازالت، آندزیت بازالت تا ایگنیمبریت داسیتی که رنگ قهوه‌ای روشن داشته و جنوب شرق محدوده را پوشش داده است و پیرترین واحد محدوده محسوب می‌شود.

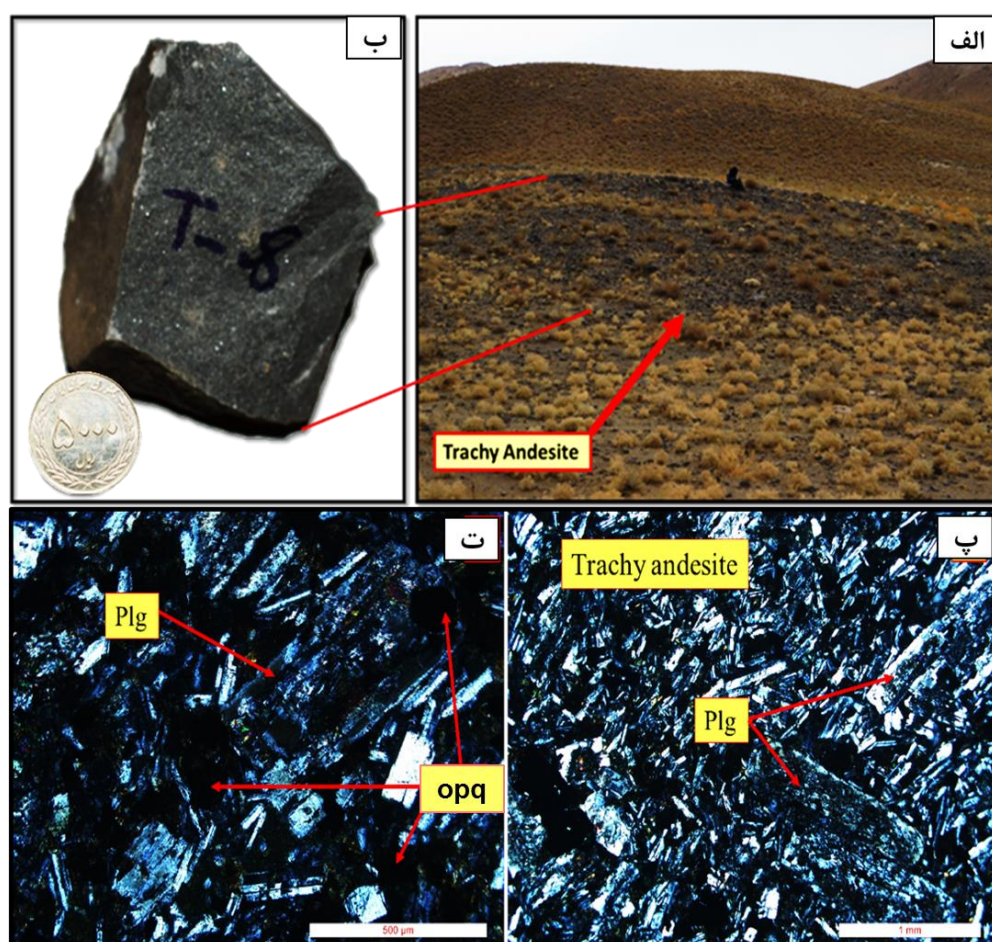


شکل ۲-۷. الف) دورنمایی از واحد گدازه‌های آندزیتی تا آندزیت بازالتی رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه. ب) مقطع تهیه شده از واحد مورد مطالعه، شامل کانه‌های پیروکسن، هورنبلند، کانی‌های اوپک. پ) مقطع تهیه شده از واحد مورد مطالعه، نشان دهنده کانی‌های پلاژیوکلاز و فلدسپات که همراه با کانی‌های کلریت می‌باشد. ت) نمایی از مقطع که شامل کانی‌های کوارتز، سرسیت، اپیدوت (Ep) کانه‌های اوپک.



## واحد گدازه تراکی - آندزیت

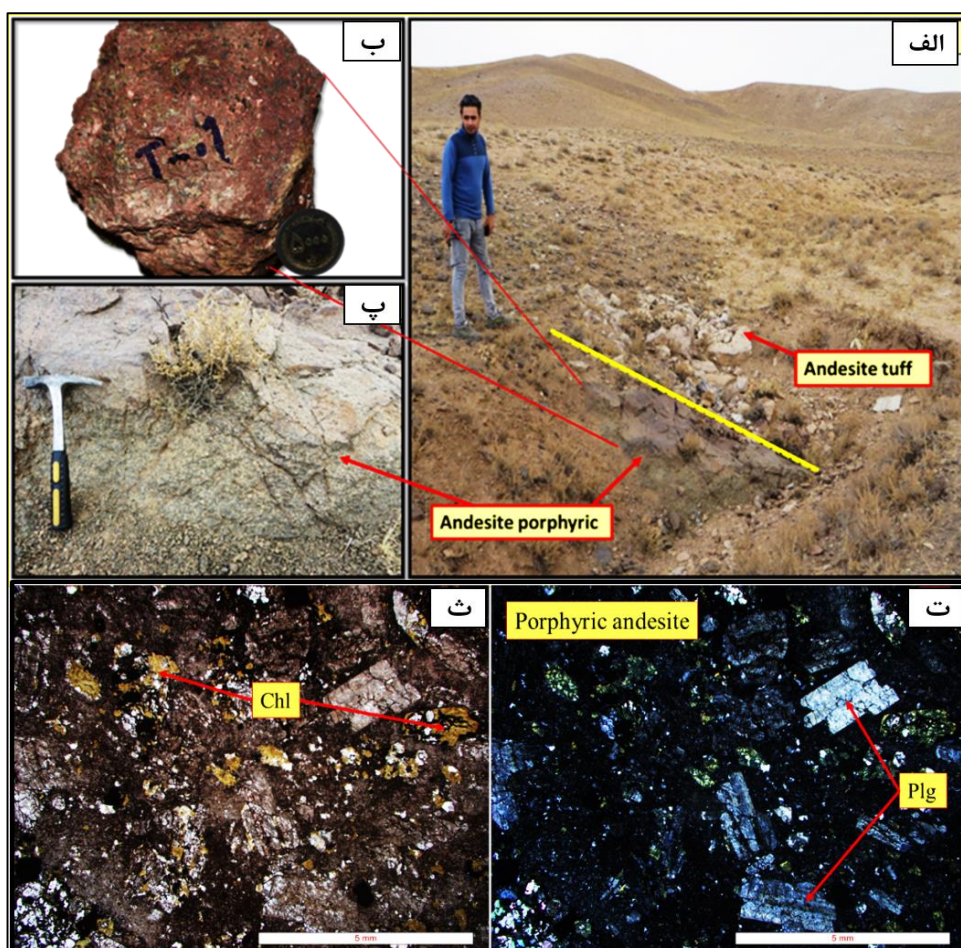
این واحد شامل پیروکسن آندزیت، تراکی آندزیت، آندزیت تا آندزیت بازالت و کریستال ویتریک توف به رنگ خاکستری که در تمام محدوده اکتشافی یافت می‌شوند. تراکی آندزیت در محدوده مورد مطالعه دارای رخنمون کم است (۲-۸-الف). رنگ این واحد در نمونه دستی تیره مایل به سبز می‌باشد (شکل ۲-۸-ب). براساس مطالعات صحرایی و مقاطع نازک تهیه شده از این واحد، جنس این واحد از نوع گدازه تراکی آندزیت می‌باشد. در مطالعات میکروسکوپی این واحد شاهد حضور کانی‌های پلاژیوکلاز با بافت جریان‌ی، همه پلاژیوکلازهای این مقطع تقریباً سالم هستند، در مقاطع همراهی بسیار نزدیکی بین کلریت و کانی‌های اوپک دیده می‌شود (شکل ۲-۸-ت).



شکل ۲-۸-الف) دورنمایی از واحد تراکی آندزیت رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه. ب) نمایی با بزرگ نمایی بیشتر از واحد تراکی آندزیت، پ) نمونه میکروسکوپی برداشت شده از واحد تراکی آندزیت دارای رنگ تیره مایل به سبز در سطح تازه شکسته شده. ت) تصویر میکروسکوپی از واحد تراکی آندزیت، شامل کانی‌های پلاژیوکلاز ( تقریباً همه بلورها سالم هستند)، همراهی کانی‌های اوپک با کلریت، دارای بافت جریان‌ی.

## واحد آندزیت پورفیری

رنگ این واحد در نمونه دستی قهوه‌ای تیره است (شکل ۲-۹-ب). براساس مطالعه مقاطع تهیه شده از این واحد، در تعدادی از مقاطع شاهد حضور کانی‌های اولیه پلاژیوکلاز، هورنبلند کانی‌های اوپک و کانی‌های ثانویه سرسیت، کوارتز و کلریت و اپیدوت می‌باشیم، که دارای بافت پورفیری است (شکل ۲-۹-ت). اندازه فنوکریستال‌های که غالباً از جنس پلاژیوکلازند در حدود ۰/۲ تا ۲ میلیمتر است که در زمینه ریز بلور قرار دارد (شکل ۲-۹-ث و و). بلورهای هورنبلند در حال تبدیل شدن به کانی‌های ثانویه اپیدوت و کلریت می‌باشند (شکل ۲-۹-ث). بلورهای پلاژیوکلاز غالباً سالم‌اند ولی در مواردی این بلورها در حال تبدیل به کانی‌های ثانویه سرسیت و کوارتز هستند (شکل ۲-۹-ث).



شکل ۲-۹. الف) دورنمایی از واحد آندزیت پورفیری رخنمون یافته در محدوده مورد مطالعه. ب) نمونه دستی برداشت شده از واحد آندزیت پورفیری که دارای رنگ قهوه‌ای تیره (پ) نمایی نزدیک از سطح واحد آندزیت پورفیری، ت، ث) نمایی از مقطع نازک تهیه شده از واحد آندزیت، شامل کانی‌های پلاژیوکلاز، هورنبلند و کانی‌های ثانویه سرسیت، کوارتز، اپیدوت و کلریت، کانی اوپک با بافت پورفیری،

فصل سوم

کانه زاپی و دکرسانی

یکی از نکات مهم در مطالعه‌ی هر کانساری، توجه به عوامل کنترل‌کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می‌باشد. کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی شامل انواع ساختاری، چینه‌شناسی، فرایندهای ماگمایی و گرمایی هستند. شکل کانسارها ارتباط مستقیمی با کنترل‌کننده‌های کانی‌سازی دارد و شامل انواع دانه‌پراکنده، توده‌ای، نواری، برشی، رگه-رگچه‌ای و پرکننده‌ی فضاهای ناشی از انحلال و غیره هستند. در تحقیق حاضر برپایه‌ی مشاهدات زمین‌شناسی صحرایی و مطالعه نمونه‌های دستی به بررسی ساختار کانی‌سازی در کانسار هجیب پرداخته شده است. شکل غالب کانی‌سازی در این کانسار از نوع رگه-رگچه‌ای و گاهی برشی می‌باشد.

شناخت محصولات و فرایندهای دگرسانی که همراه با کانی‌زایی دیده می‌شوند، بنیان شناسایی فرایندهای مربوط به تشکیل کانسار است و موجب پیشرفت در روش‌های اکتشافی می‌شود (Lentz, 1994). مجموعه کانی‌هایی که در دگرسانی‌های مختلف وجود دارند در نتیجه‌ی تغییرات فشار، درجه حرارت و ترکیب شیمیایی به وجود می‌آیند (Evans, 1997)، لیکن عامل تعیین‌کننده در تشکیل انواع دگرسانی و شدت آن‌ها، شیمیایی و حرارتی می‌باشد. در این میان انواع کانه‌سازی، صرف نظر از نوع آن، همیشه با یک سری نشانه‌ها و شاخص‌ها همراه است که شناسایی و تفکیک آن‌ها را با دقت و سرعت بیشتر ممکن می‌سازد. یکی از این نشانه‌ها و شاخص‌ها، هاله‌های دگرسانی است، به راستی دگرسانی چیست و چه مشخصاتی دارد؟ و مطالعه و درک مکانیسم تشکیل دگرسانی چه اهمیتی دارد؟ رابطه آن با انواع کانی‌سازی‌ها در چیست؟ در یک تعریف ساده و فراگیر دگرسانی یعنی، به کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی گویند. به عبارتی دیگر سنگ‌های دربرگیرنده (سنگ‌های دیواره) و سنگ‌های مجاور کانسارهایی که خاستگاه گرمایی دارند معمولاً به وسیله سیال کانه‌دار پر حرارتی که از میان آن‌ها می‌گذرد، دگرسان می‌شود (Park and MacDiarmid, 1975). دگرسانی‌ها بر حسب ترکیب شیمیایی و کانی‌های شاخص خود دارای اسامی مختلف هستند. براساس این کانی‌ها شناسایی انواع دگرسانی در هر منطقه ممکن می‌شود. اما اهمیت مطالعه دگرسانی پیدا کردن رابطه یک یا چند نوع دگرسانی خاص با تیپ‌های مختلف کانی‌سازی است. دگرسانی‌ها به علت داشتن وسعت فراوان‌تر نسبت به مناطق کانی‌سازی شده، شناسایی این مناطق را

آسان تر کرده است. در اکتشافات هدفمند و سیستماتیک در سراسر دنیا از دگرسانی‌ها برای تشخیص مناطق کانی‌سازی شده به طور گسترده‌ای استفاده می‌شود که این امر خود موجب کاهش هزینه و زمان لازم برای امر اکتشاف شده و این امر را سودمند می‌کند. مطالعه و درک مکانیسم تشکیل دگرسانی که بر اساس تعریفی که از دگرسانی ارائه شد، مربوط به تغییرات شیمیایی است، در این فصل با توجه به اینکه دگرسانی خود محصول جانبی کانی‌سازی و تغییر در ترکیب سنگ اولیه است، به رابطه دگرسانی با کانی‌سازی در منطقه مورد مطالعه پرداخته می‌شود.

بنابراین در مطالعه دگرسانی‌های منطقه از اطلاعات حاصل از شواهد صحرایی، مطالعه ۳۷ نمونه سطحی، و داده‌ها و گزارش داده‌های ماهواره‌ای شرکت زرمش استفاده شده است. براساس کانی‌های شاخص دگرسانی‌ها و فراوانی آنها، نام دگرسانی و براساس محل نمونه‌برداری، وسعت پهنه‌های دگرسانی از همدیگر تفکیک گردیده است. در نهایت، نقشه پهنه‌بندی دگرسانی تهیه و ترسیم شده است.

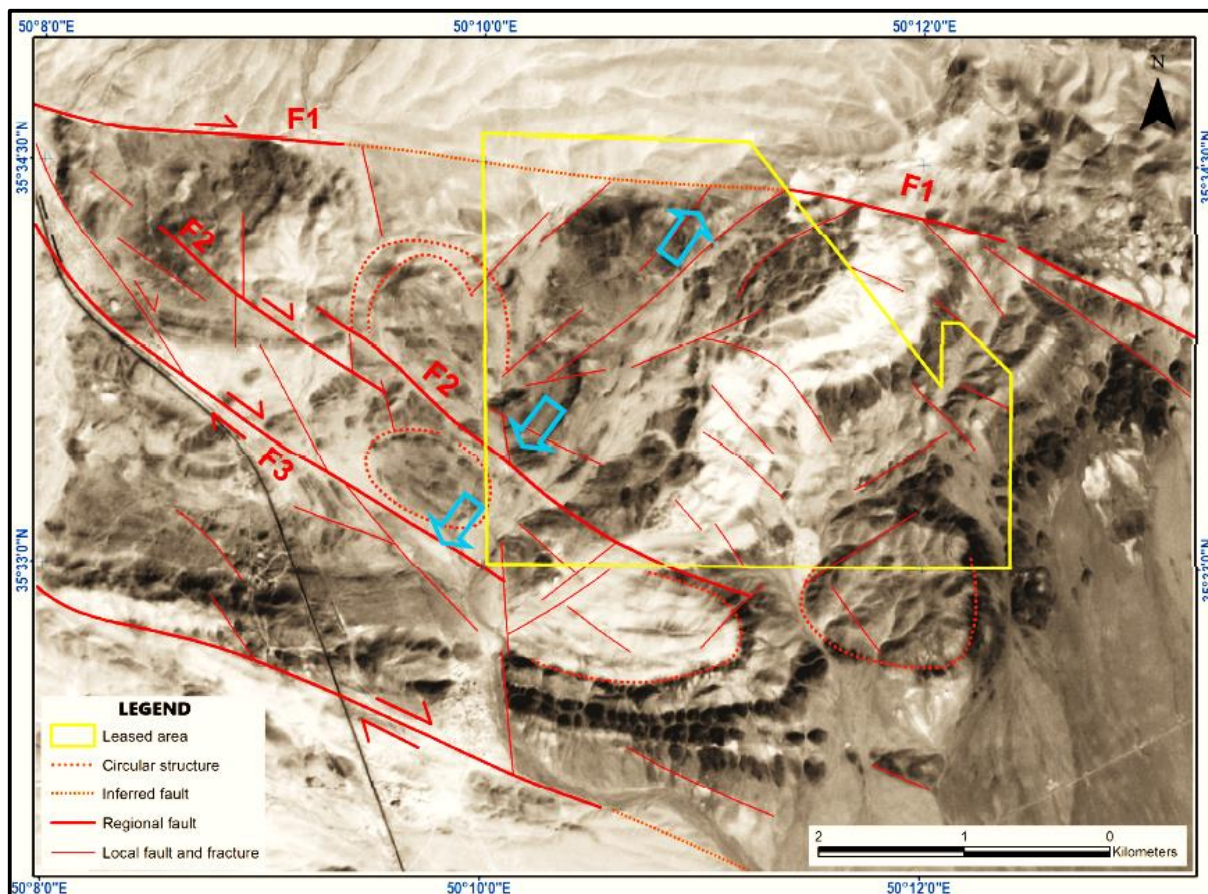
برای بررسی دگرسانی‌ها در محدوده‌ی مورد مطالعه از شواهد صحرایی، نتایج مطالعات سنگ‌نگاری و XRD استفاده شده است. براساس نتایج این مطالعات پنج منطقه‌ی دگرسانی اصلی تشخیص داده شده است، که عبارتند از: پروپلیتیک (کلریتی - اپیدوتی)، آرژیلیک، سرسیتیک، سیلیسی - کربناته و اکسید - هیدروکسید های آهن می‌باشد. هدف از این بخش شناخت مناطق دگرسانی و ارتباط آن با فرایندهای تشکیل کانسار می‌باشد.

### ۳-۲- عوامل مؤثر در کانه‌زایی

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

**کنترل‌کننده‌های ساختاری:** عملکرد شدید نیروهای تکتونیکی به خصوص گسل‌ها موجب به وجود آمدن شکستگی‌ها و فضاهای مناسب جهت حرکت سیالات گرمابی می‌شوند. ارتباط تنگاتنگ تمرکزهای اقتصادی

ماده معدنی با گسل‌ها و شکستگی‌ها، فرضیه ایجاد فضای خالی توسط گسل‌ها و شکستگی‌ها را تقویت می‌کند (شکل ۳-۱).



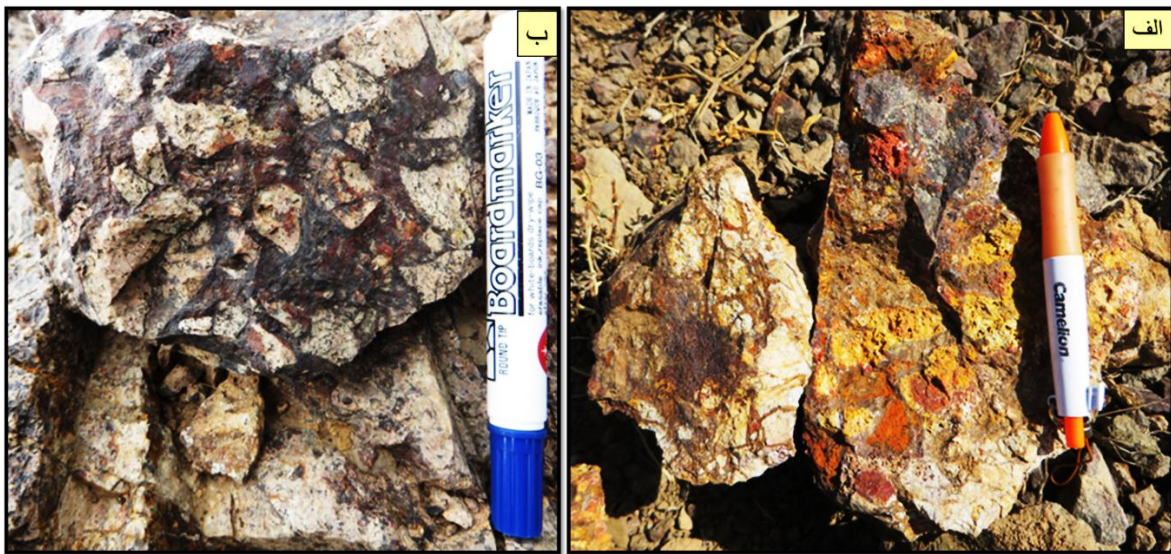
شکل ۳-۱. ساختارهای تفسیر شده بر روی تصویر ماهواره‌ای محدوده هجیب (شرکت معدنی زرمش، ۱۳۹۶) (زرد) به همراه جهت کشش در محدوده (پیکان آبی).

در منطقه هجیب به نظر می‌رسد دسته گسل‌های امتداد لغز با امتداد NW-SE موجب شکل‌گیری یک زون کششی در شمال گسل عباس‌آباد شده است. این زون به طور خاص بین گسل‌های F1.F2.F3 فعال بوده است و در مواردی که سنگ میزبان مناسب و محلول‌های گرمابی فراهم بوده موجب کانه‌زایی شده است.

**کنترل‌کننده‌های فیزیکوشیمیایی:** تغییر درجه حرارت (سرد شدن)، افت فشار، واکنش بین سیال و سنگ دیواره، اختلاط با آب‌های جوی، جوشش سیالات، تغییر pH و Eh باعث تغییر شرایط فیزیکوشیمیایی محلول شده و نهشت مواد معدنی را سبب می‌گردد (Guilbert and Park, 1997). اصولاً تأثیر این عوامل در نهشت کانه‌زایی به صورت دسته‌جمعی می‌باشد.

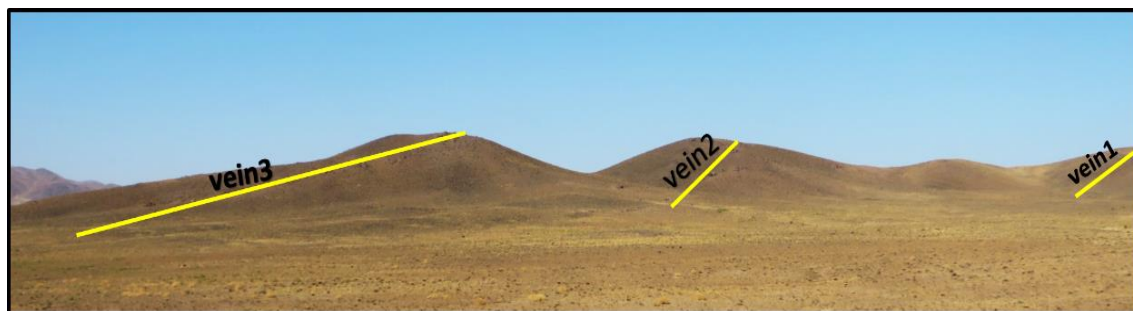
### ۳-۳- کانه‌زایی در منطقه مورد مطالعه

مشاهدات صحرایی و مطالعات سنگ‌شناسی براساس مقاطع نازک و نازک-صیقلی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در منطقه هجیب به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی و اکسید آهنی و گاهی کانه‌زایی برشی است که برش‌ها بیشتر در اثر فرایندهای تکتونیکی می‌باشد، به این صورت که کوارتزها خرد شده و بین آن‌ها را گوتیت، لیمونیت و هماتیت پر کرده است (شکل ۳-۲).



شکل ۳-۲- الف) کانه‌زایی برشی لیمونیت در منطقه. ب) سیلیسی که توسط اکسید آهن به هم جوش خورده است.

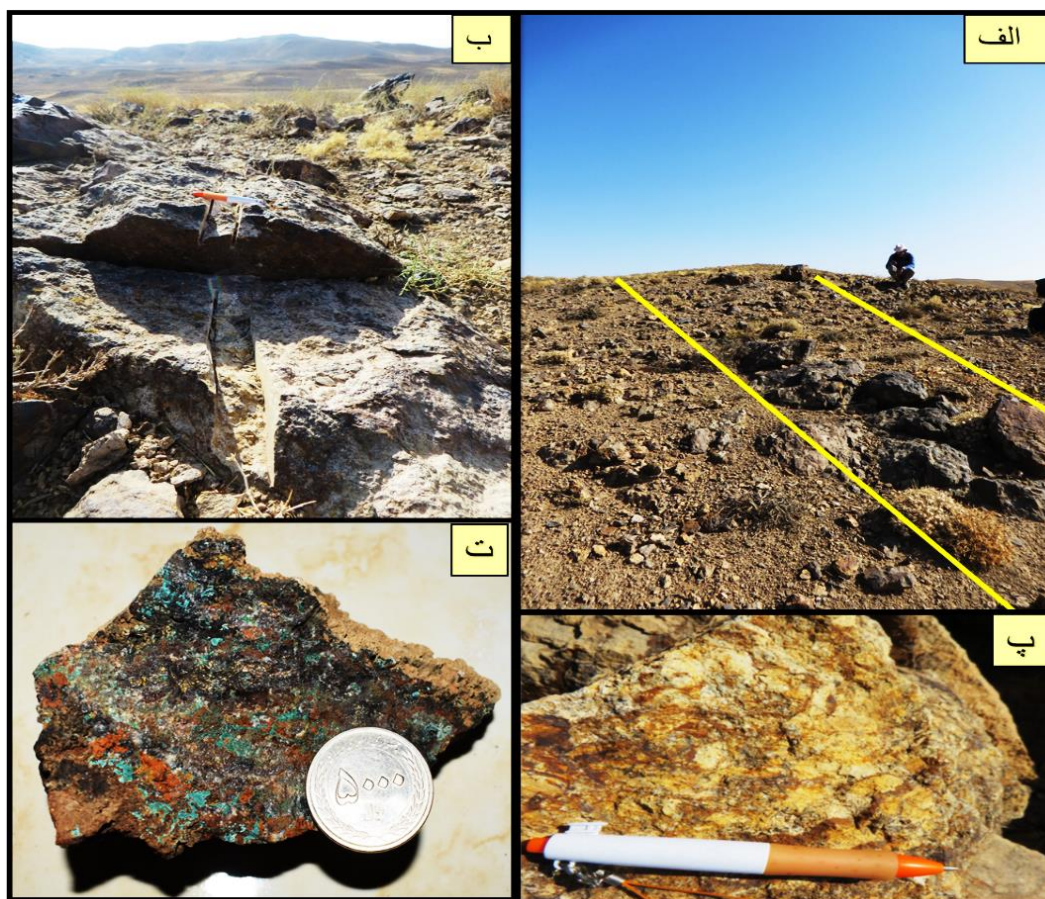
کانه‌زایی‌های رگه‌ای با سنگ میزبان توف‌های آندزیتی، آندزیت بازالتی، لیتیک توف و ماسه‌سنگ‌های توفی می‌باشد. به طور کلی ۹ رگه سیلیسی و سیلیسی-اکسید آهنی کانه‌دار در این منطقه مشاهده شده است که تعداد ۴ عدد از این رگه‌ها از نظر طول و عرض در مقایسه با دیگر رگه‌ها ارجعیت دارد، در ادامه به توصیف این ۴ رگه پرداخته می‌شود:



شکل ۳-۳. دور نمایی از رگه‌های اول، دوم و سوم در منطقه هجیب (نگاه عکس به سمت شمال غربی منطقه).

## رگه شماره ۱:

رگه شماره ۱ در شمال غرب منطقه واقع است. این رگه دارای طول حدود ۵ متر و ضخامت ۵۰ سانتی متر می‌باشد که امتداد آن N25E و شیب ۸۵ درجه به سمت شمال غرب می‌باشد (شکل ۳-۳). سنگ‌میزبان آن ماسه‌سنگ توفی است و از نظر کانی‌شناسی ترکیب سیلسی-کربناته-اکسید آهنی دارد. در مقیاس نمونه‌های دستی بر پایه مطالعات صحرایی و مطالعه نمونه‌ها در مقیاس میکروسکوپی (نمونه‌های دستی) کوارتز، کلسیت، هماتیت، گوتیت، لیمونیت، کالکوپیریت، مالاکیت، کالکوسیت ترکیب اصلی این رگه را تشکیل می‌دهد.

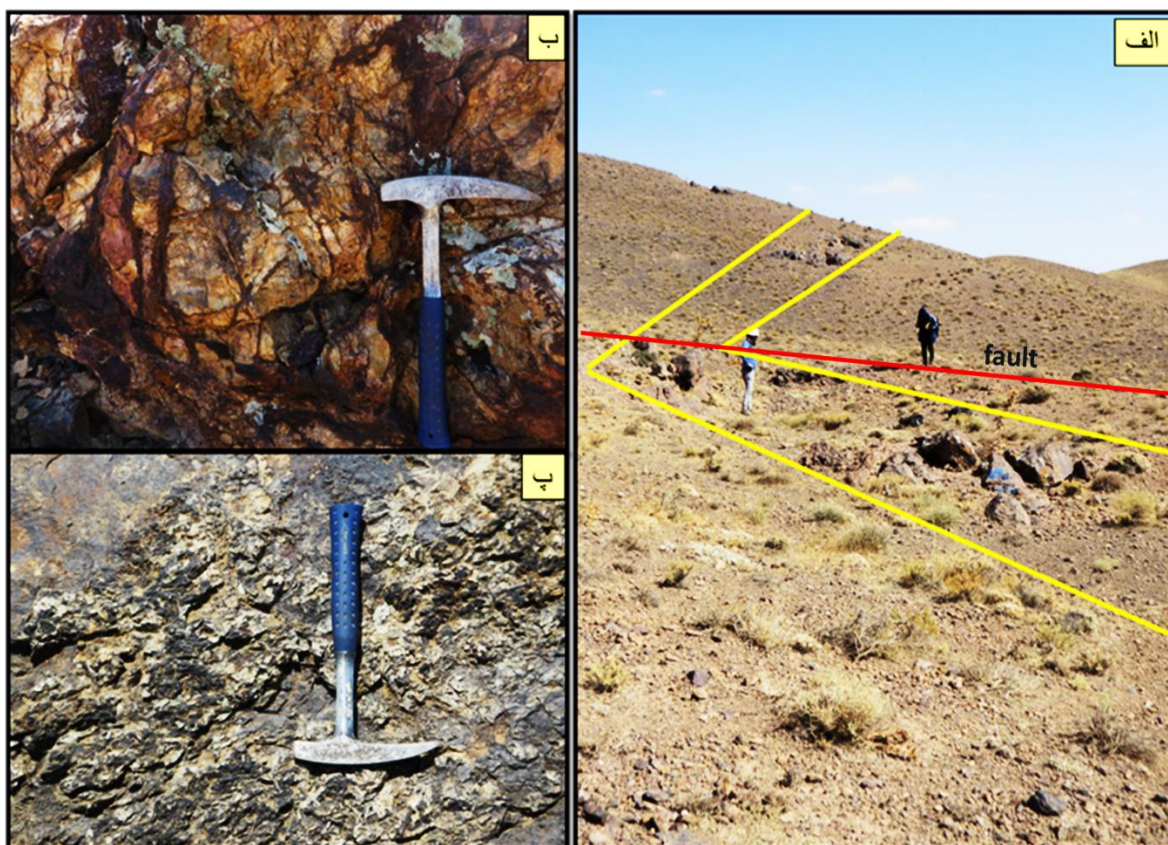


شکل ۳-۴. الف) اولین رگه کانه‌زایی با میزبان ماسه‌سنگ توفی، ب) نمونه‌برداری شیاری از رگه پ) وجود اکسید آهن در رگه، ت) کانه‌زایی در رگه.

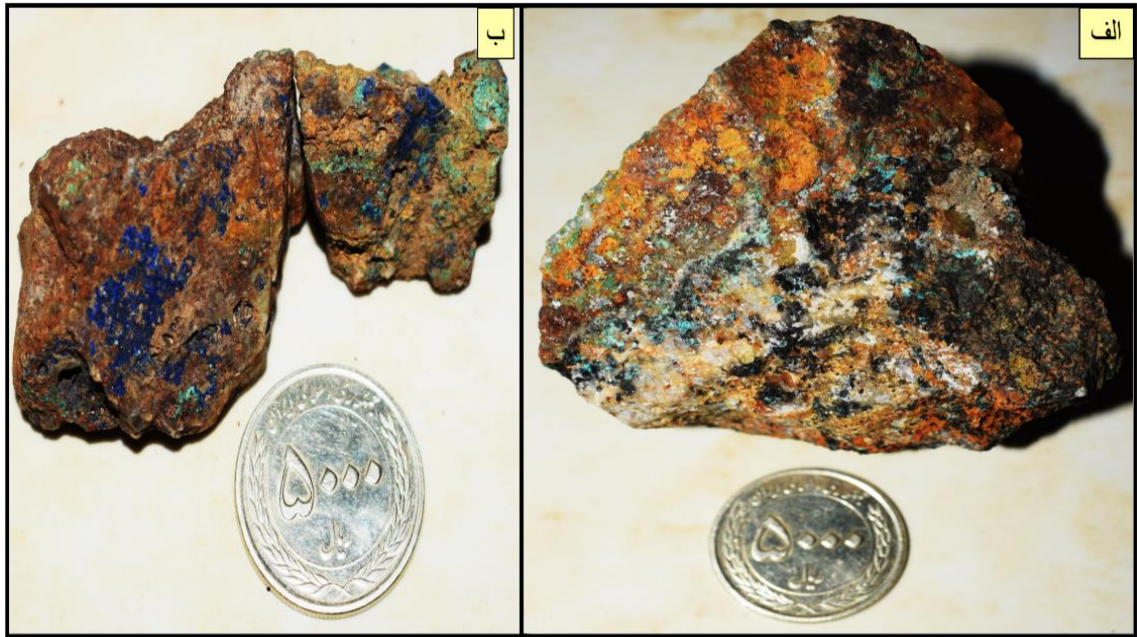


## رگه شماره ۲:

رگه شماره ۲ در شمال غرب منطقه واقع است که توسط یک گسل چپ‌گرد حدود ۶ متر جابه‌جا شده است، طول رگه حدود ۴۰۰ متر و ضخامت آن ۲ متر می‌باشد که سنگ میزبان آن کریستال توف است. امتداد این رگه N15E و شیب ۷۰ درجه جنوب‌شرق می‌باشد.



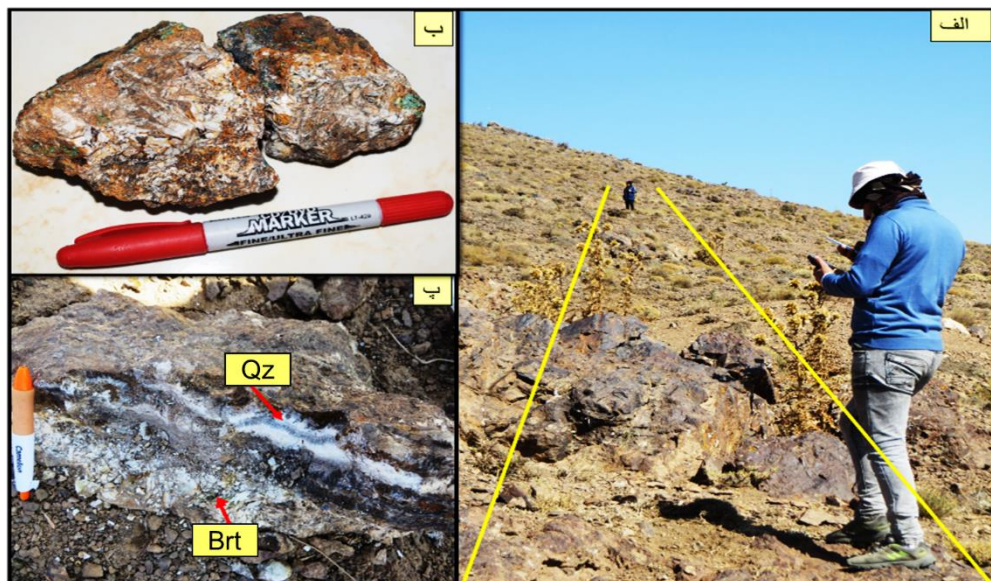
شکل ۳-۵. الف) دومین رگه کانه زایی با میزبان کریستال توف که توسط گسل جابه‌جا شده است، ب) اکسید آهن در رگه دوم پ) سیلیسی شدن در سطح گسل خورده‌ی کریستال لیتیک توف.



شکل ۳-۶. نمونه‌هایی از رگه شماره ۲. الف) مالاکیت و اکسید آهن. ب) آزوریت- مالاکیت.

### رگه شماره ۳:

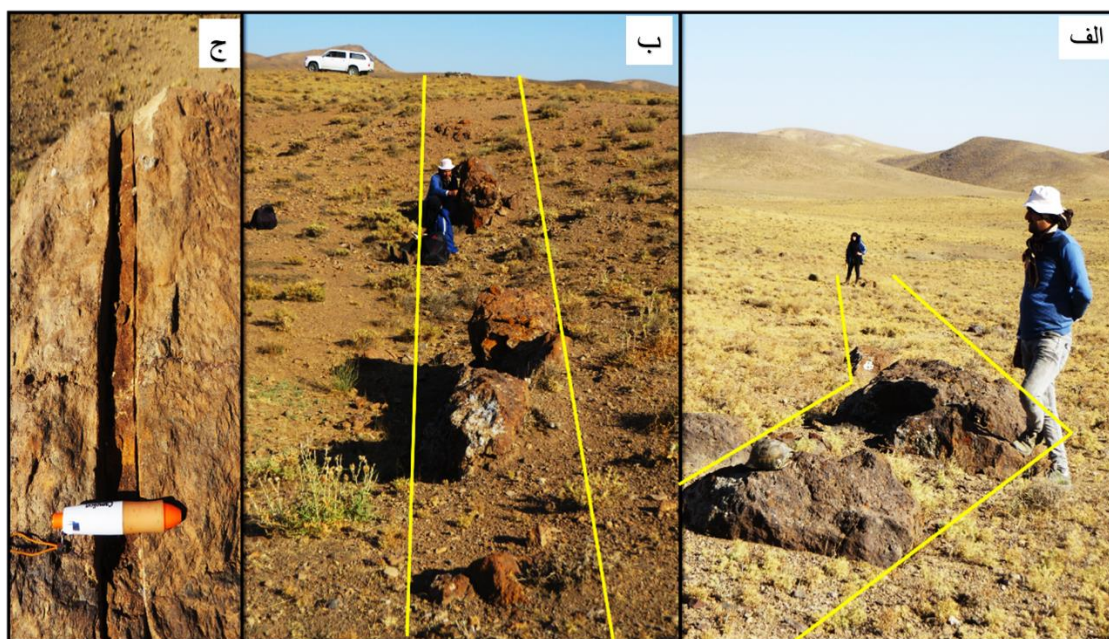
رگه شماره ۳ در شمال غرب منطقه است که یک رگه سیلیسی و نواری بوده که سنگ میزبان آن توف آندزیتی می‌باشد و دارای کانه‌زایی بورنیت، گالن، کالکوپیریت، کوولیت، منگنز، باریت، اولیژیست، گوتیت و کمی پیریت است. دارای طول ۲۵ متر و ضخامت ۴ متر و امتداد N35E و شیب ۷۵ درجه جنوب شرق می‌باشد.



شکل ۳-۷- الف) رگه سوم با سنگ میزبان آندزیت توفی. ب، پ و ت) نمونه‌های دستی از رگه شامل سیلیس و باریت.

## رگه شماره ۴:

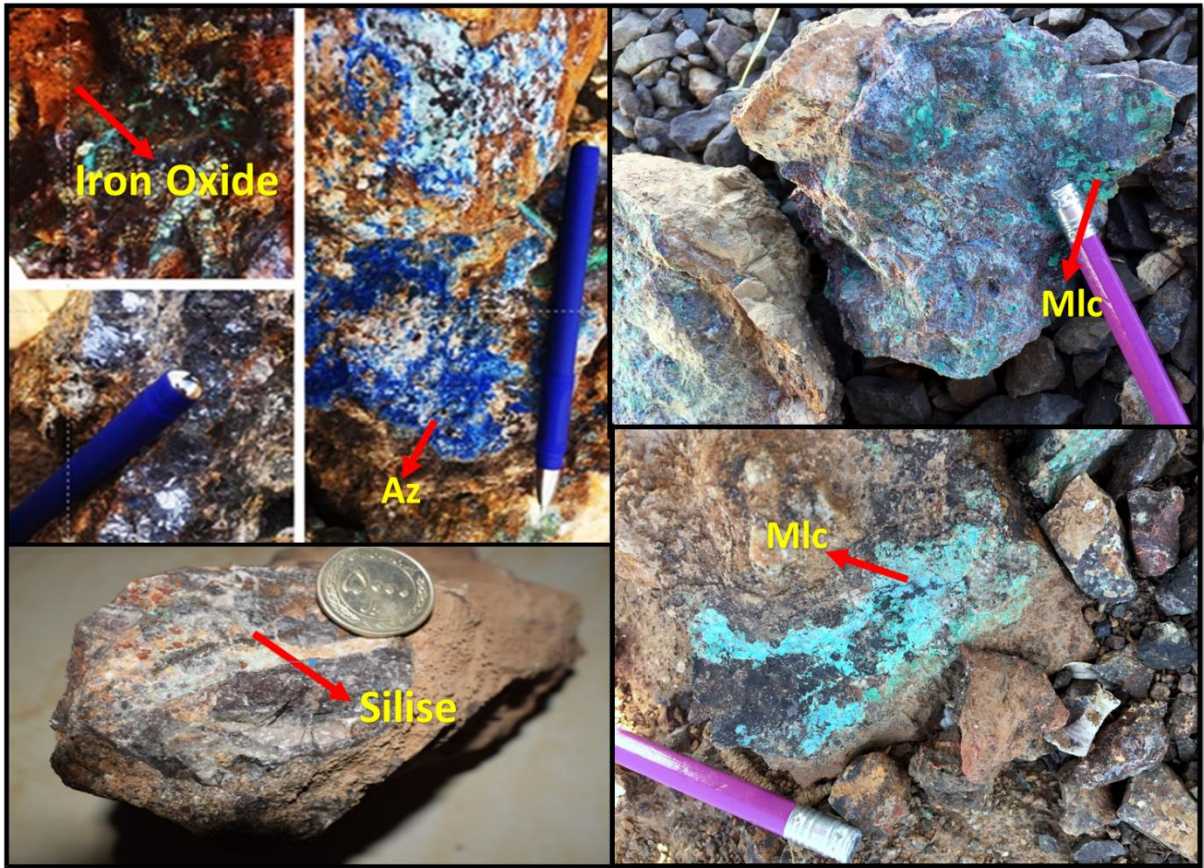
رگه چهارم در غرب منطقه واقع شده که سنگ‌میزبان آن آندزیت بازالت است و دارای اکسید آهن، گوتیت، لیمونیت، اولیژیست، کلسیت، و کانی‌های کربناته می‌باشد و طول رگه ۱۲۰ متر و ضخامت آن ۱ متر است. این رگه دارای امتداد N100E و شیب ۸۰ درجه شمال-شمال غرب می‌باشد.



شکل ۳-۸- الف و ب) رگه چهارم با میزبان آندزیت بازالتی، ج) نمونه برداری شیاری از رگه.

کانه‌زایی در رگه‌ها به طور کلی به فرم‌های رگه-رگچه‌ای و پرشدگی فضاهای خالی و گاهی برشی در سنگ‌های میزبان مشاهده می‌گردد. مقادیر متوسط غلظت عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره در رگه‌های سیلیسی کانهدار به ترتیب ۱۳۹۴۰، ۸۲۹۷، ۵۲۴۸، ۰/۴۴ و ۳۸/۸۵ گرم در تن می‌باشد که در فصل بعد بیشتر به توصیف کانها می‌پردازیم.

بیشتر ذخایر گرمابی عمدتاً دارای غلظت‌های مختلفی از طلا می‌باشد (McFarlane et al., 2011; Helt et al., 2014; de Souza et al., 2015). برخی از رگه‌های سیلیسی دارای فلزات پایه و گرانبها با ذخایر پورفیری و هیدروترمال مرتبط هستند (Kissin and mango, 2014). به‌عنوان مثال بعضی ذخایر هیدروترمال در کشور چین دارای رگه‌های کانهدار Ag-Pb- Zn می‌باشند (Gao et al., 2017; chen et al., 2017).



شکل ۳-۹. نمایی از رگه سیلیسی محتوی کانه‌های سولفیدی و اکسیدی مس، سرب و روی در محدوده معدنی هجیب (لازم به ذکر است که در نمونه‌های دستی تنها کانی‌های مالاکیت، آزوریت و اکسیدهای آهن قابل تشخیص است ولی نمونه‌های میکروسکوپی وجود کالکوپیریت، پیریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت و کولیت را نیز نشان میدهد).

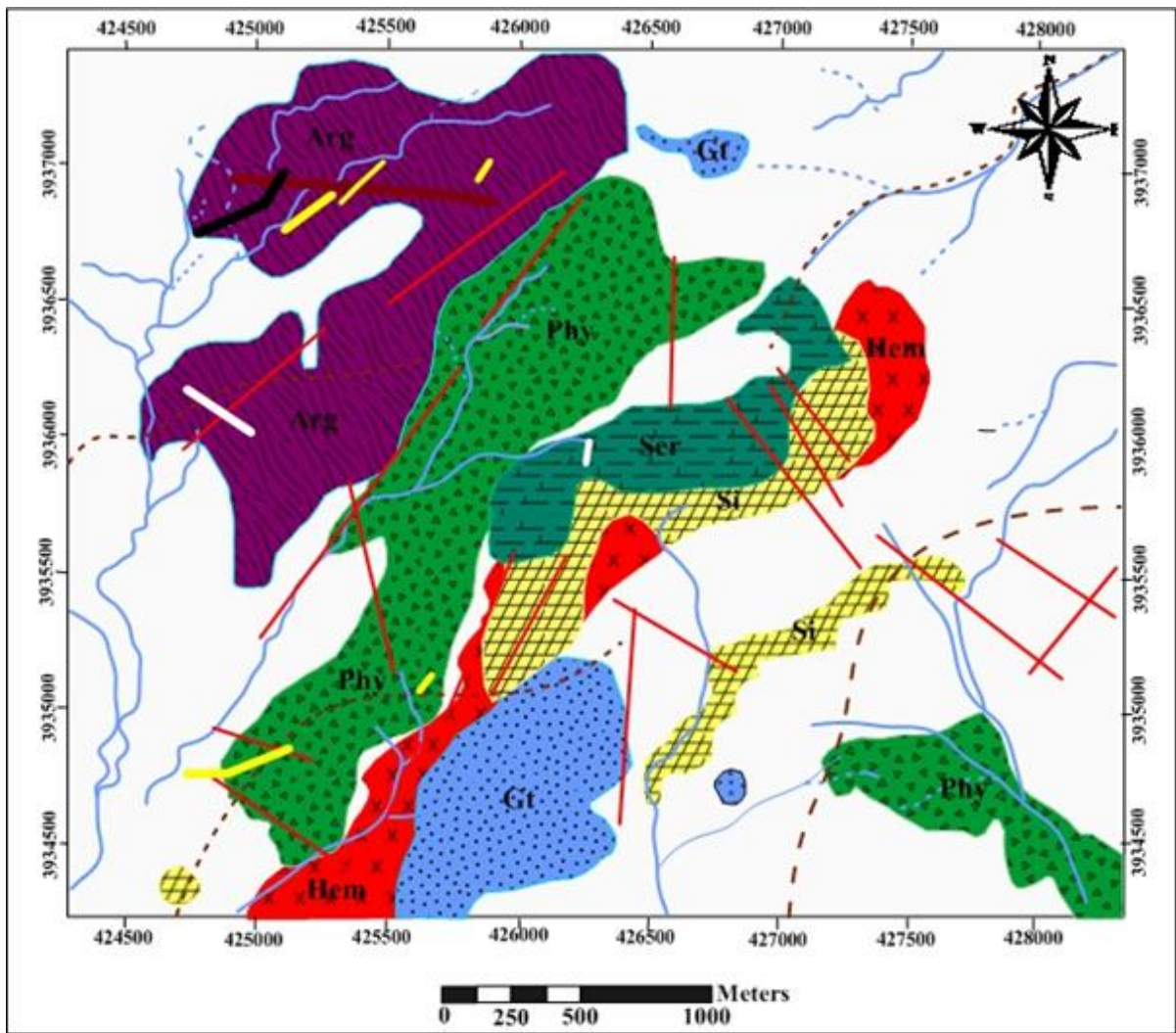
### ۳-۴- دگرسانی

دگرسانی فرآیند پیچیده‌ای است که شامل تغییرات کانی‌شناسی، شیمیایی و بافتی ناشی از واکنش سیالات گرمابی داغ با سنگ‌هایی است که سیالات از آن‌ها عبور می‌کنند و منجر به تحولات فیزیکوشیمیایی در آن‌ها می‌شود (Guilbert and Park, 1997; Pirajno, 1992, 1997). چرخش این محلول‌های هیدروترمالی، تغییرات فیزیکوشیمیایی در سنگ ایجاد می‌کنند. این همان چیزی است که از آن به عنوان دگرسانی هیدروترمالی یاد می‌شود. هنگامی که این سیالات در میان سنگ‌ها نفوذ کرده، باعث واکنش‌های شیمیایی شده و تمایل به رسیدن به تعادل، از طریق انحلال و ته‌نشست مجموعه‌ای از کانی‌های جدید را ایجاد می‌کنند (Pirajno, 2009). نوع دگرسانی، ارتباط مستقیمی با عمق جایگزینی توده و ماهیت سیالات دارد (Meinert et al., 2005). انواع

دگرسانی، به عواملی مانند طبیعت، شیمی، دما و فشار سیالات در حال چرخش و به همین ترتیب، به طبیعت و ترکیب سنگ‌هایی که سیالات از میان آن‌ها چرخش می‌کنند بستگی دارد. غلظت و پتانسیل شیمیایی اجزای تشکیل‌دهنده سیالات، مانند  $H^+$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ ,  $K^+$ ,  $H_2S$ ,  $SO_2$  و غیره، در نوع دگرسانی-کانی‌زایی مرتبط با فرآیندهای هیدروترمال و متاسوماتیک مؤثر است (Meinert, 1992).

### ۳-۵- دگرسانی‌های موجود در منطقه

به استناد بررسی‌های صحرایی، آزمایشگاهی، دگرسانی‌ها در منطقه هجیب از شدت، گسترش و تنوع خوبی برخوردار می‌باشند. مشاهدات صحرایی و مطالعات پتروگرافی و کانی‌شناسی و ماهواره‌ای هجیب نشان‌دهنده دگرسانی گرمایی به دو صورت جانشینی کانی‌های قبلی و نهشت مستقیم در فضاهای خالی و شکستگی‌ها است. انواع دگرسانی‌های موجود در منطقه متناسب با نوع و ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌ها می‌باشند. بطور کلی دگرسانی‌ها در منطقه هجیب شامل پروپیلیتیک (کلریتی- اپیدوتی)، آرژیلیک، سربیتیک، سیلیسی- کربناته و اکسید- هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. در ادامه به توصیف دگرسانی‌های منطقه پرداخته می‌شود:



### LEGEND

	Argillic
	Hematite
	Goethite
	Propylitic
	Sericitic
	Silicification

### SYMBOLS

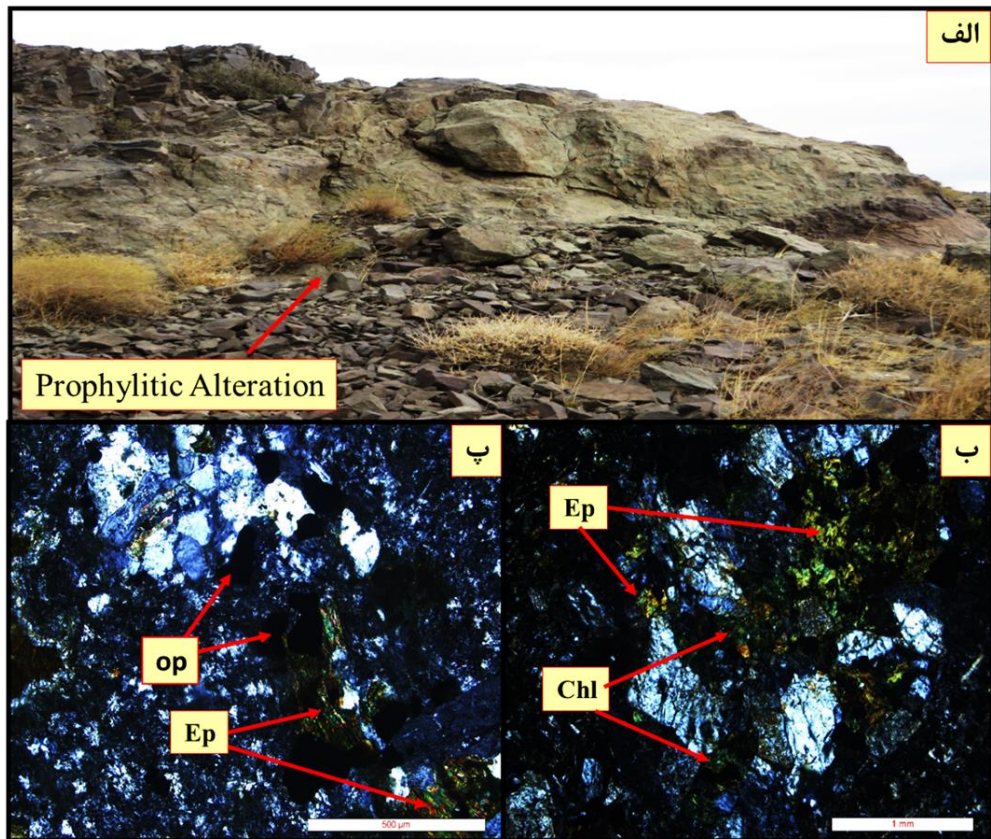
	Fault
	Road
	Drainage
	Quartz and barite veins
	Cu bearing quartz and calcite veins
	Iron oxid veins
	Cu bearing quartz veins

شکل ۳-۱۰. نقشه دگرسانی ۱/۲۵۰۰۰۰ از محدوده اکتشافی هجیب.

### ۳-۵-۱- دگرسانی پروپیلیتیک (اپیدوتی - کلریتی)

کانی‌های اصلی این دگرسانی کلریت، آلبیت، اپیدوت و کلسیت هستند که حاصل دگرسانی کانی‌های مافیک و جزء آنورتیتی پلاژیوکلاز و تزریق مقادیری  $H^+$  و  $CO_2$  می‌باشند. پتاسیم حاصل از کلریتی‌شدن بیوتیت، به صورت سریسیت درآمده و جز آلبیتی پلاژیوکلازها ثابت باقی می‌ماند. سولفیدهایی که همراه با این دگرسانی ممکن است یافت شوند، شامل مقادیر ناچیزی پیریت و کالکوپیریت هستند. کلریتی و اپیدوتی شدن یکی از مهمترین پدیده‌هایی است که در اثر محلول‌های گرمابی غنی از Fe و Mg ایجاد می‌شود و در اثر این فرآیند سنگ ظاهری سبز رنگ پیدا می‌کنند (Gally et al, 2007).

بر اساس مشاهدات صحرائی و مطالعه مقاطع نازک و نازک-صیقلی، دگرسانی پروپیلیتیک در قسمت شمال-شرقی منطقه مورد مطالعه گسترش دارد. واحدهای سنگی منطقه به دلیل این آلتراسیون رنگ سبز مایل به تیره دارند (شکل ۳-۱۱- الف). دگرسانی پروپیلیتیک (کلریتی-اپیدوتی) در واحدهای سنگی گدازه و توف - آندزیتی تا آندزیت-بازالت، قابل مشاهده است. کانی‌های مافیک در این سنگ‌ها غالباً از نوع هورنبلند است که در اثر دگرسانی به کلریت، اپیدوت و به ندرت کلسیت تبدیل شده است. کانی‌های حاصل از دگرسانی به صورت کانی‌های ریز بخش قابل توجهی از خمیره سنگ و بخش تبدیل‌شده‌ی کانی‌های درشت بلور (هورنبلند، پیروکسن، پلاژیوکلاز) را تشکیل می‌دهند، کانی‌های شاخص این نوع دگرسانی شامل کلریت، اپیدوت (زوئیزیت و کلینوزوئیزیت) و کربنات‌ها (نظیر کلسیت-دولومیت-آنکرایت) است (شکل ۳-۱۱). گاهاً در کنار کلریت‌ها کانی‌های پیریت، کالکوپیریت به صورت دانه پراکنده قرار دارد. در صورت بالا رفتن درصد فراوانی هر یک از کانی‌های اصلی این دگرسانی، به جای استفاده از واژه پروپیلیتیک از واژه‌هایی نظیر دگرسانی کلریتی، اپیدوتی و کربناتی استفاده می‌شود. این دگرسانی در بخش‌های دیگر محدوده اکتشافی هجیب هم مشاهده می‌گردد. کلریتی شدن سنگ‌های آتشفشانی حد واسط تا مافیک در منطقه هجیب به اپیدوتی شدن غالب است.



شکل ۳-۱۱-الف) رخنمون دگرسانی پروپیلیتیک (کلریتی - اپیدوتی) در منطقه مورد مطالعه هجیب، ب) کانی دگرسانی کلریت (Chl) به همراه اپیدوت در سنگ میزبان توف آندزیتی و پ) کانی دگرسانی اپیدوت (Ep) در سنگ میزبان آندزیت-بازالت. کانی های کدر (Opq)

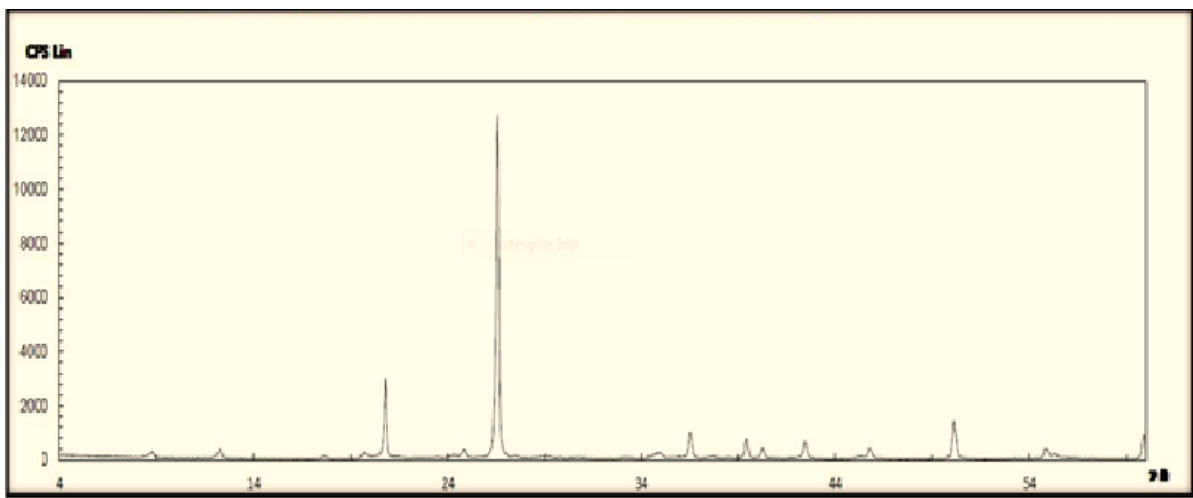
### ۳-۵-۲- دگرسانی آرژیلیک

در زمان تشکیل دگرسانی آرژیلیک، شرایط اسیدی حاکم بوده و تمام کاتیون‌های قلیایی به طور ناقص از سنگ خارج می‌شوند که به ترتیب حدواسط و پیشرفته نامیده می‌شوند. کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک حدواسط عبارت از دیکیت، کائولینیت، هالوئیزیت، آلفان، مونت‌موریلونیت و مقادیر جزئی سریسیت و کانی‌های شاخص دگرسانی آرژیلیک پیشرفته شامل کائولینیت، دیکیت، دیاسپور، پیروفیلیت و در موارد سریسیت، کوارتز، آلونیت، پیریت، تورمالین و توپاز است. دگرسانی آرژیلیک به عنوان وقایع هیدروترمال اولیه رایج نیست بلکه اغلب حاصل فرایندهای سوپرژن می‌باشد (Bean & Bodnar, 1995). در محدوده مورد مطالعه این دگرسانی بعد از دگرسانی پروپیلیتیک دارای بیشترین گسترش است، و از دور با داشتن رنگ سفید تا کرم قابل تشخیص است. این نوع دگرسانی در پلاژیوکلازها دیده شده که در حال تبدیل شدن به کانی‌های رسی هستند. کانی‌های سریسیت و کوارتز به صورت هم‌یافت با کانی‌های رسی در نمونه‌ها دیده شده‌اند. از آنجایی که تشخیص و



تفکیک نوع کانی‌های رسی در مقاطع نازک ممکن نیست یک نمونه منطقه دگرسانی آرژیلیک برای آنالیز به روش پراش اشعه ایکس (XRD) انتخاب شد.

تعداد ۱ نمونه از سنگ‌های دگرسان شده منطقه هجیب جهت آنالیز XRD به آزمایشگاه مرکز تحقیقات فراوری زرآما ارسال گردید که نتایج آن در شکل (۳-۱۲) ارائه شده است. از زون‌های دگرسانی‌های دیگر به علت سهولت تشخیص این دگرسانی نمونه XRD انتخاب نشده و نمونه XRD تنها از زون‌های مشکوک به آرژیلیک برداشته شده‌اند.

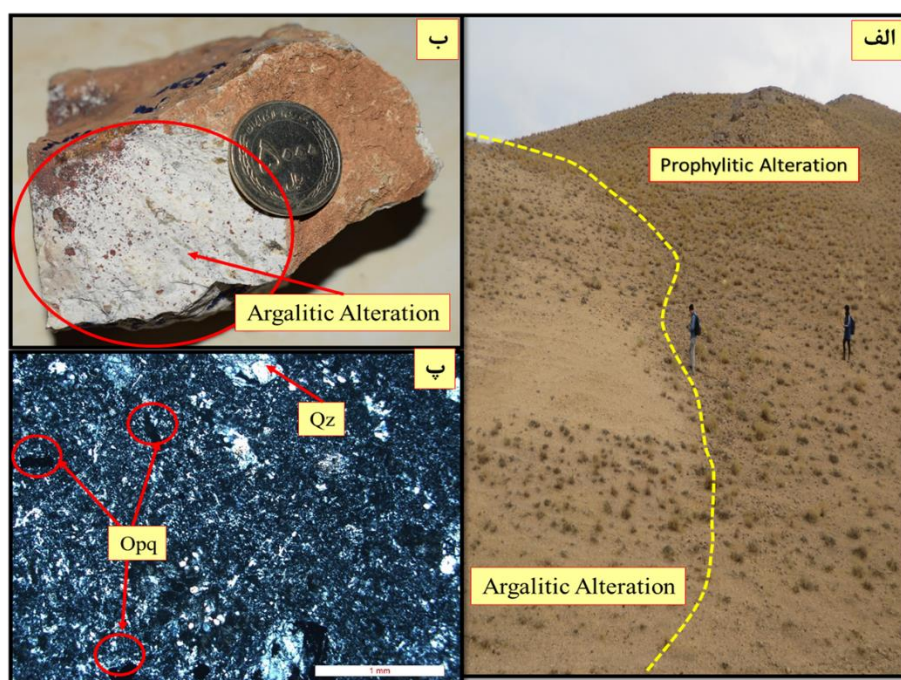


شماره نمونه	موقعیت نمونه	کانی‌های شناسایی شده	نوع دگرسانی
HB_X_01	X= 426062 Y=3935377	مسکوویت، ارتوکلاز، کواتز، کائولینیت، مالاکیت	آرژیلیک

شکل ۳-۱۲- نمودار پراش پرتو ایکس که نشان‌دهنده دگرسانی آرژیلیک و میزان بالایی از کانی‌های مسکوویت، ارتوکلاز، کواتز، کائولینیت، مالاکیت است.

آب‌های زیرزمینی تحت تأثیر حرارت توده‌های نفوذی گرم و اختلاط با آب‌های ماگمایی گرم شد، و به چرخش در می‌آیند. این آب‌ها سولفیدها و بطور ویژه پیریت را در خود حل می‌کند و باعث افزایش خاصیت اسیدی آنها می‌شود و این موجب هیدرولیز سیلیکات‌ها به ویژه فلدسپارها می‌گردد (کریم‌پور، ۱۳۸۱). دگرسانی آرژیلیکی در شمال و جنوب منطقه مورد مطالعه قابل مشاهده است. واحدهای سنگی منطقه به دلیل این آلتراسیون رنگ روشن و ظاهری تپه ماهوری دارند (شکل ۳-۱۳- الف). این واحد علاوه بر این نقطه در چند نقطه دیگر دارای رخنمون می‌باشد. کانی‌های اصلی این دگرسانی شامل کانی‌های رسی، سرسیت و کانی‌های کوارتز ثانویه

است (شکل ۳-۱۳-پ). دگرسانی آرژیلیک در اثر فعالیت سیال گرمابی ایجاد می‌گردد. این سیال در حین عبور از فلدسپارهای موجود در سنگ‌ها باعث از بین رفتن و شسته‌شدن عناصر قلیایی و قلیایی خاکی می‌شود (گیلبرت و پارک، ۱۹۸۶). این نوع دگرسانی با فراوانی کائولینیت به جای پلاژیوکلاز، مونتموریلونیت به جای آمفیبول‌ها و پلاژیوکلاز مشخص می‌شود. این نوع دگرسانی در محدوده مورد مطالعه با توجه به آنالیز XRD نمونه‌های مختلف شناسایی شده است.



شکل ۳-۱۳- الف) نمایی از رخنمون دگرسانی آرژیلیک، ب) دگرسانی آرژیلیک در نمونه سنگ میزبان، پ) مقطع میکروسکوپی از نمونه سنگی که دچار دگرسانی آرژیلیکی شده است.

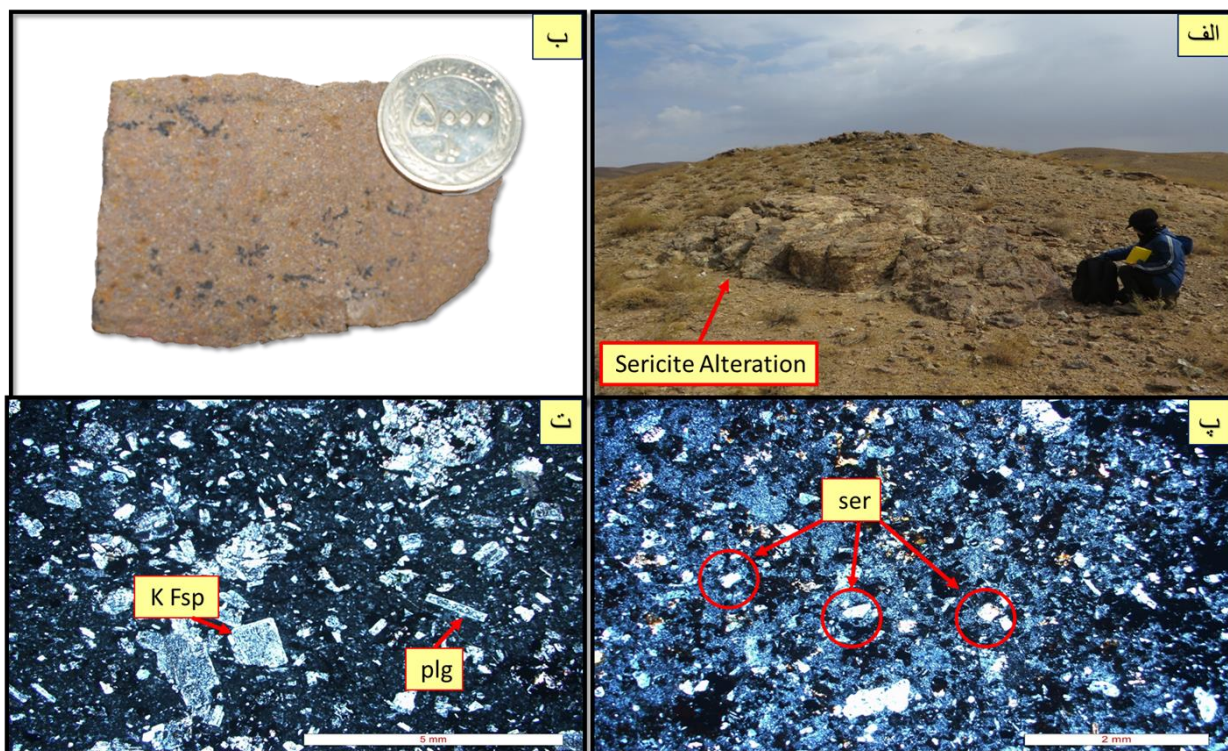
### ۳-۵-۳- دگرسانی سریسیتی

دگرسانی سریسیتی با انحلال کامل و خارج شدن کاتیون‌های Na، Ca، Mg و باقی‌ماندن کاتیون K در سیستم، تشکیل می‌شود. مجموعه‌ی کانی‌های اصلی مربوط به این دگرسانی سریسیت، کوارتز و پیریت می‌باشد که کانی‌های دیکیت، پیروفیلیت، کائولینیت و آندالوزیت نیز گاهی آن‌ها را همراهی می‌کنند (کریم پور، ۱۳۸۱). این دگرسانی طی مراحل اولیه دگرسانی هیدروترمال، تحت شرایط عموماً اسیدی توسط هیدرولیز سیلیکات‌ها توسعه یافته و شدت آن بستگی به ترکیب سنگ‌شناسی سنگ دیواره دارد. در طی فرآیند دگرسانی کانی‌هایی نظیر پلاژیوکلاز، بیوتیت، مسکوویت و عناصر  $H_2O$  و  $K^+$  افزایش یافته و Ca، Fe کاهش پیدا می‌کند و کانی‌های

نوظهور مانند مسکویت، سریسیت و کوارتز حاصل می‌شود (Zhou & Wang, 1999). براساس مطالعات میکروسکوپی سریسیت در مقاطعی دیده می‌شود که پلاژیوکلازها و فلدسپات‌ها مهمترین کانی‌هایی هستند که تحت تأثیر این دگرسانی قرار گرفته‌اند (شکل ۳-۱۵-پ و ت) همانطو که مشاهده می‌شود، بسیاری از پلاژیوکلازهای موجود در سنگ به سریسیت تبدیل شده‌اند. دگرسانی سریسیتی در حد قابل توجهی در واحدهای سنگی لیتیک توف قابل مشاهده است (شکل ۳-۱۵-الف و ب). کانی اصلی این دگرسانی سریسیت بوده و این دگرسانی محصول تجزیه پلاژیوکلازها است و بیشتر در این کانی دیده می‌شود. سنگ‌هایی که متحمل دگرسانی سریسیتی شده‌اند میزبان رگه-رگچه‌های سیلیسی کانه‌دار حاوی پیریت، کالکوپیریت، اسفالریت، مالاکیت و آزوریت هستند.



شکل ۳-۱۴. نمایی از گسترش دگرسانی سریسیتی در صحرا (دید به سمت شمال).

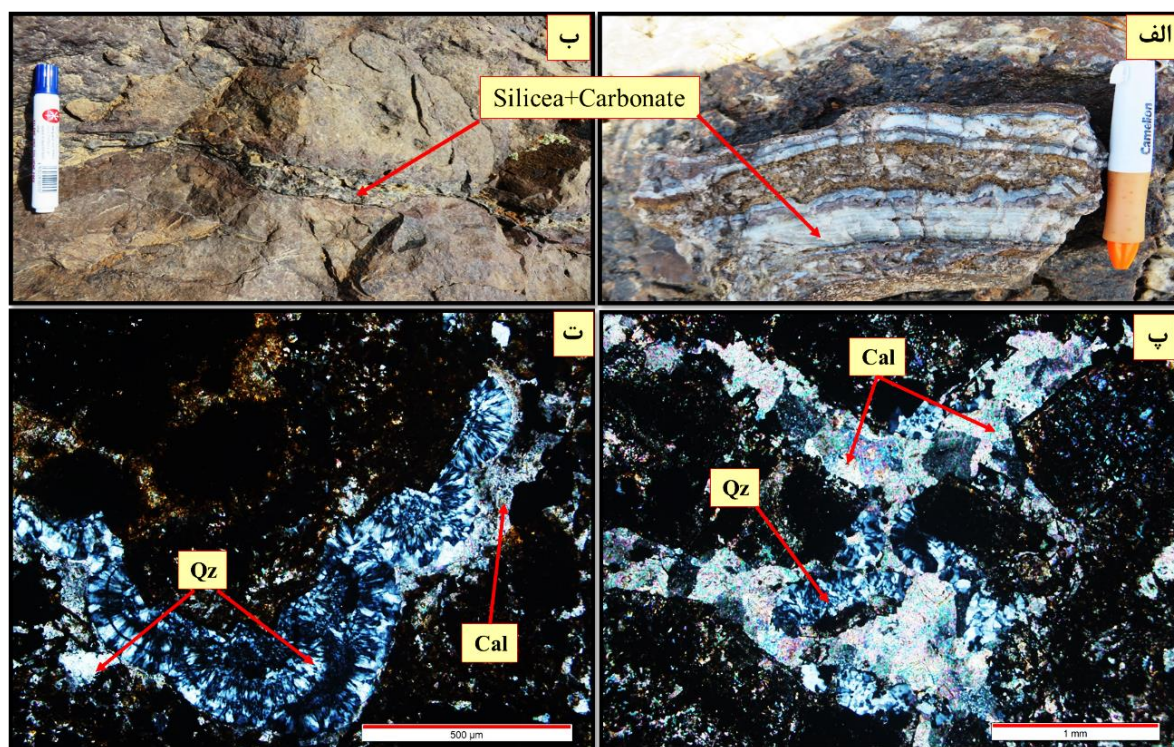


شکل ۳-۱۵- الف) رخنمون دگرسانی سرسیتی در منطقه مورد مطالعه، ب) دگرسانی سرسیتی در سنگ میزبان لیتیک توف، پ) مقطع میکروسکوپی که کانی‌های سرسیتی (Ser) به صورت واضح در آن قابل مشاهده است، ت) تصویر میکروسکوپی از کانی‌های پلاژیوکلاز (Plg) و فلدسپات (k Fsp) که دچار دگرسانی سرسیتی شده است.

### ۳-۵-۴- دگرسانی سیلیسی-کربناته

رخنمون‌های این دگرسانی عمدتاً برجسته هستند و تشکیل کمربندهای ساختاری خطی را می‌دهند. هسته‌ی توده‌ای دگرسان اکثراً سیلیس (بیشتر از ۸۵ درصد وزنی  $\text{SiO}_2$ ) نهان بلورین است. منیزیت ( $\text{MgCO}_3$ ) در این دگرسانی در حاشیه و به صورت جانیشینی توده‌ای و یا رگچه‌ای متقاطع تشکیل می‌شود (شکل ۳-۱۶). این دگرسانی از نوع حرارت پایین است که به وسیله چشمه‌های غنی از  $\text{CO}_2$  شکل می‌گیرد. این نوع دگرسانی در اکثر زون‌های دگرسانی اصلی دیده می‌شود. البته در نزدیکی مناطق کانی‌سازی شده شدت آن بیشتر است. لازم به ذکر می‌باشد که رگه‌های سیلیسی همراه با کانی‌سازی بوده است. بطور کلی دگرسانی سیلیسی توسط هجوم سیالات غنی از سیلیس به وجود می‌آید، که این سیلیس یا از طریق اضافه شدن  $\text{SiO}_2$  توسط محلول‌های ماگمایی- هیدروترمال و یا از انحلال مواد دیگر سنگ‌ها تأمین می‌شود. دگرسانی سیلیسی-سولفیدی شامل افزایش نسبت سیلیس (به شکل کانی‌های کوارتز، کریستوبالیت، کلسدون و اپال) در سنگ‌های دگرسان شده به واسطه ته‌نشینی از محلول‌های گرمابی که در هاله‌های دگرسانی انواع معدنی توسعه می‌یابد. سنگ‌ها

این دگرسانی بین واحد سنگی واحدهای گدازه‌های آندزیتی می‌باشد که میزبان رگه‌های کانه‌دار است. در این دگرسانی بیشترین کانی که به چشم می‌خورد کوارتز بوده که گاهی با گالن، کوولیت، کالکوسیت، مالاکیت و اولیژیست همراه می‌شود.

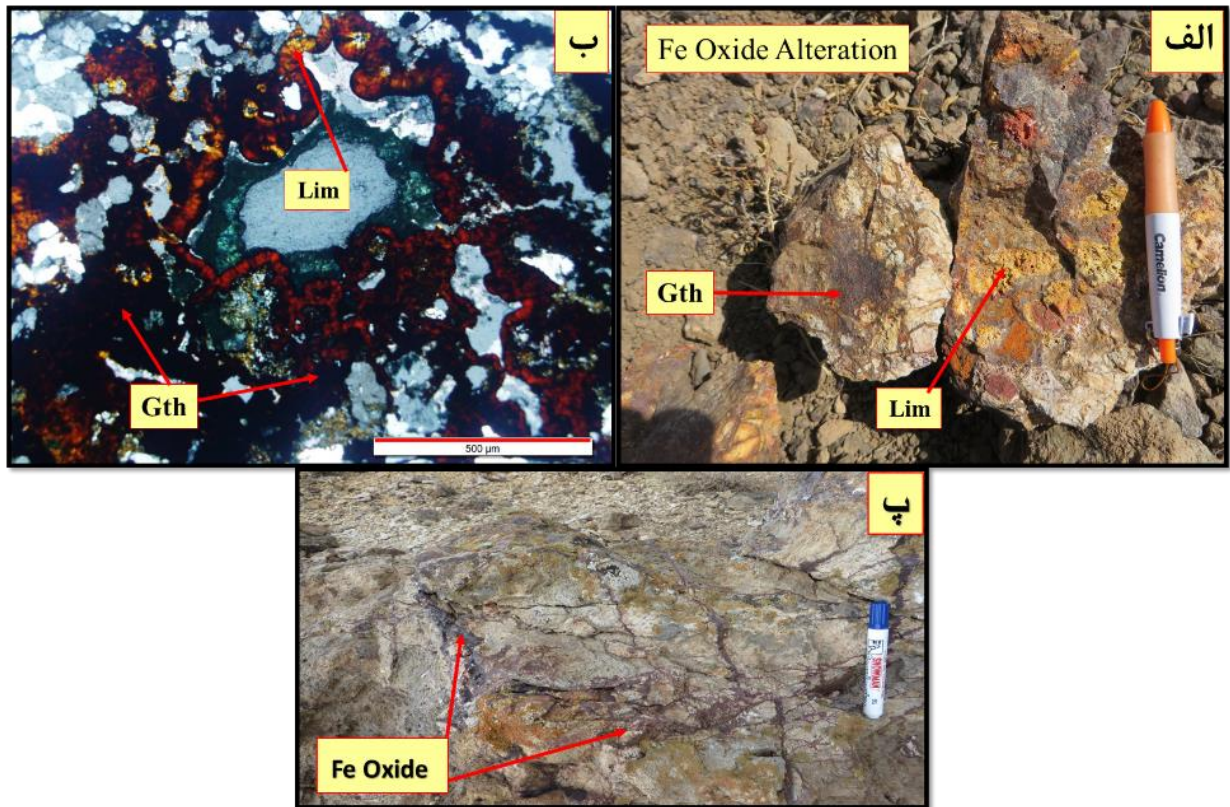


شکل ۳-۱۶- الف) دگرسانی سیلیسی-کربناته که به صورت کانی کلسیت (Cal) در منطقه قابل مشاهده است، ب) رگه سیلیسی کربناته در منطقه، پ و ت) رگه‌هایی که دچار دگرسانی سیلیسی شده غنی از کانی کوارتز (Qz) و در اطراف کانی کلسیت (Cal) است.

### ۳-۵-۵- دگرسانی آکسید آهنی (هماتیتی-گوتیتی)

از دگرسانی‌های دیگر منطقه، دگرسانی اکسیدهای آهنی است این زون حاصل تأثیر عوامل سطحی بر روی سنگ‌های منطقه است، که فرآیند اکسیداسیون در آن بیشترین نقش را دارا است. اکسیداسیون، فرآیند تشکیل هر نوع از کانی‌های اکسیدی است. معمول‌ترین این کانی‌های اکسیدی، هماتیت و لیمونیت‌اند براساس یک تعریف جامع و فراگیر کلیه تغییرات شیمیایی و کانی‌شناسی که تحت تأثیر آب‌های ماگمایی و یا گرمایی در سنگ‌ها ایجاد می‌شود دگرسانی گویند. به عبارتی دیگر سنگ‌های دربرگیرنده (سنگ‌های دیواره) و سنگ‌های مجاور کانسارهایی که خاستگاه گرمایی دارند معمولاً به وسیله سیال کانه‌دار پرحرارتی که از میان آنها می‌گذرد، دگرسان می‌شوند (Park and MacDiarmid, 1975).

دگرسانی اکسید آهن به صورت فرایند درون زاد و برون زاد در منطقه هجیب شکل گرفته است که وجود اولیژیست بیانگر دگرسانی درون زاد است که در اثر فرایندهای گرمایی رو به بالا انجام شده است که اولیژیست با کانی‌های کوارتز، کالکوپیریت هم یافت‌اند. فرایند اکسید سطحی (لیمونیتی، هماتیتی شدن و گوتیتی شدن)، که در بخشی از منطقه دیده می‌شود بیانگر دگرسانی برون زاد است (شکل ۳-۱۷-الف). واکنش‌های اکسیداسیون و احیا، ترکیبات آهن را تحت تاثیر قرار داده و منجر به رخداد دگرسانی لیمونیتی، هماتیتی و گوتیتی در منطقه شده است (شکل ب). این بخش از دگرسانی در بخش ماسه‌سنگی و ماسه‌سنگ توفی قابل رویت است. اکثراً شامل کانی‌سازی گوتیت، لیمونیت، می‌باشد.



شکل ۳-۱۷-الف) نمونه‌های موجود در منطقه که دچار دگرسانی شدید اکسید-هیدروکسیدهای آهن شده است، (ب) تصویر میکروسکوپی از دگرسانی اکسیدهای آهن به صورت کانی‌های لیمونیت (Lim) و گوتیت (Gt). (ب) رگه اکسید آهن در منطقه.

فصل چهارم

کافی‌شناسی، ساخت، بافت و

توالی پارازیتیک

#### ۴-۱- مقدمه

مطالعات کانی‌شناسی، ساخت و بافت ساده‌ترین، ابتدایی‌ترین، کم‌هزینه‌ترین و در دسترس‌ترین نوع مطالعه بر روی کانسار بوده و تشکیل یا ناپایدار شدن کانی‌ها و تغییرات در ساخت و بافت گویای شرایط تشکیل سنگ‌ها و کانی‌ها است. رفتار کانی‌های تشکیل‌دهنده هر کانسار، بازتاب ویژگی‌های شکل‌دهنده آن کانسار است (Craig and Vaughan, 1994). مطالعه کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار و رابطه بافتی آنها با یکدیگر اهمیت قابل توجهی در اکتشاف، استخراج و فرآوری ماده معدنی دارد. برای دستیابی به این اهداف در یک مطالعه تحقیقی، بررسی‌های میکروسکوپی اهمیت بیشتری می‌یابد. در این پژوهش، تعداد ۱۹ عدد مقطع نازک، ۴ عدد مقطع صیقلی و ۱۳ عدد مقطع نازک-صیقلی از نمونه‌های مربوط به بخش‌های مختلف کانسار تهیه و مورد مطالعه قرار گرفت. در این فصل ابتدا به کانی‌شناسی و سپس مطالعات ساخت، بافت و توالی پاراژنزی کانی‌ها پرداخته می‌شود.

#### ۴-۲- کانی‌های سولفیدی منطقه مورد مطالعه

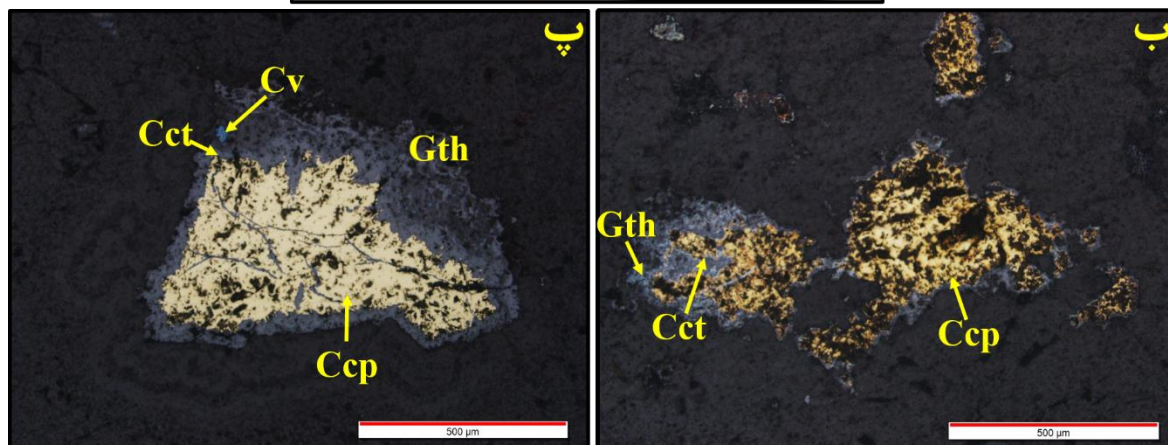
کانی‌های سولفیدی موجود در کانسار هجیب شامل کالکوپیریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و به میزان کم پیریت می‌باشد. کانی‌های سولفیدی اغلب در شرایط سطحی اکسید شده و کانی‌های ثانویه مس و اکسید و هیدروکسیدهای آهن را به وجود آورده است.

#### ۴-۲-۱- کالکوپیریت ( $\text{CuFeS}_2$ )

کالکوپیریت در نمونه دستی به رنگ زرد متمایل به سبز دیده می‌شود و رنگ آن بسیار شبیه به طلا است با این تفاوت که کالکوپیریت دارای رنگ زردتر، چگالی کم و خط اثر سیاه مایل به سبز تیره می‌باشد. این کانی در مقطع فلزی رنگ زرد برنجی با انعکاس بالا و آنیزوتروپی ضعیف نشان می‌دهد که به صورت کاملاً بی‌شکل است. هوازدگی کالکوپیریت یا بورنیت معمولاً نتیجه‌ی حذف آهن قبل از مس است در نتیجه، حاشیه بیرونی کالکوپیریت یا بورنیت به کالکوسیت، دیژنیت یا کوولیت تبدیل می‌شود (Craig and Vaughan, 1994). براساس مطالعات کانه‌نگاری کالکوپیریت از جمله اصلی‌ترین کانی سولفیدی موجود در منطقه مورد مطالعه



است که از حاشیه در حال تبدیل به بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و گوتیت می‌باشد (شکل ۴-۱-ب و پ). این کانی اغلب بصورت بلورهای نیمه‌شکل‌دار تا بی‌شکل دیده می‌شود. کالکوپیریت در اثر هوازدگی و اکسیداسیون به اکسیدهای آهن از جمله گوتیت تبدیل شده است و مس آزاد شده از آن تشکیل کالکوسیت، کوولیت و مالاکیت را می‌دهد.

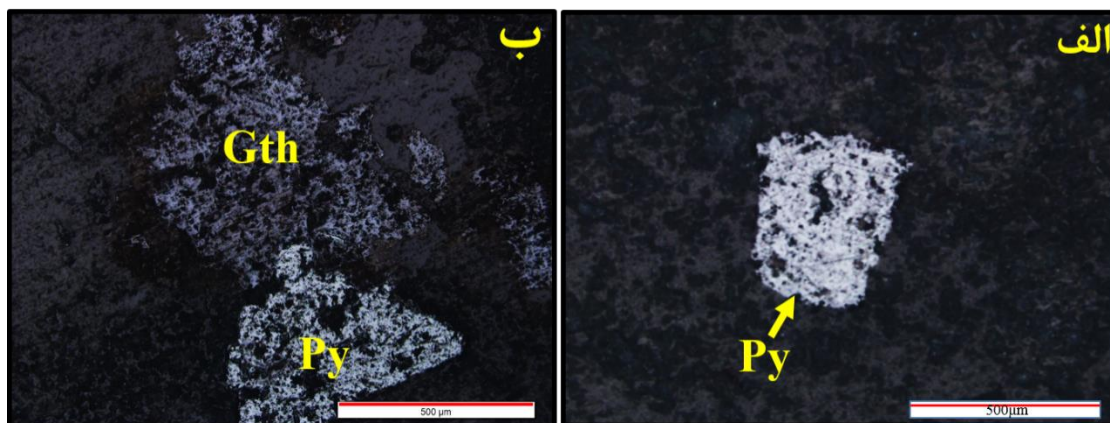


شکل ۴-۱-الف) تصویر نمونه دستی از کانی کالکوپیریت ب و پ) کالکوپیریت که از حاشیه در حال تبدیل به کالکوسیت، کوولیت و گوتیت است. کالکوپیریت: Ccp، کالکوسیت: Cct، گوتیت: Gth، کوولیت: Cv.

#### ۴-۲-۲- پیریت ( $FeS_2$ )

پیریت دارای سیستم تبلور مکعبی می‌باشد و فراوانترین کانی سولفیدی در پوسته زمین است که در محیط‌های زمین‌شناسی بسیار متفاوتی یافت می‌شود. در طی فرآیند رشد و تبلور این کانی عناصر متفاوتی می‌توانند در ساختمان آن وارد شوند. عموماً به دلیل حضور پیریت همراه با بسیاری از انواع کانه‌زایی، ترکیب عناصر فرعی آن، برای نشان دادن منشاء و شرایط فیزیکوشیمیایی سیالات کانه‌ساز به کار برده شده است (Beralia et al., 1979). این کانی در مقاطع میکروسکوپی مورد مطالعه اندک بوده و عمدتاً به صورت دانه‌های شکل‌دار تا

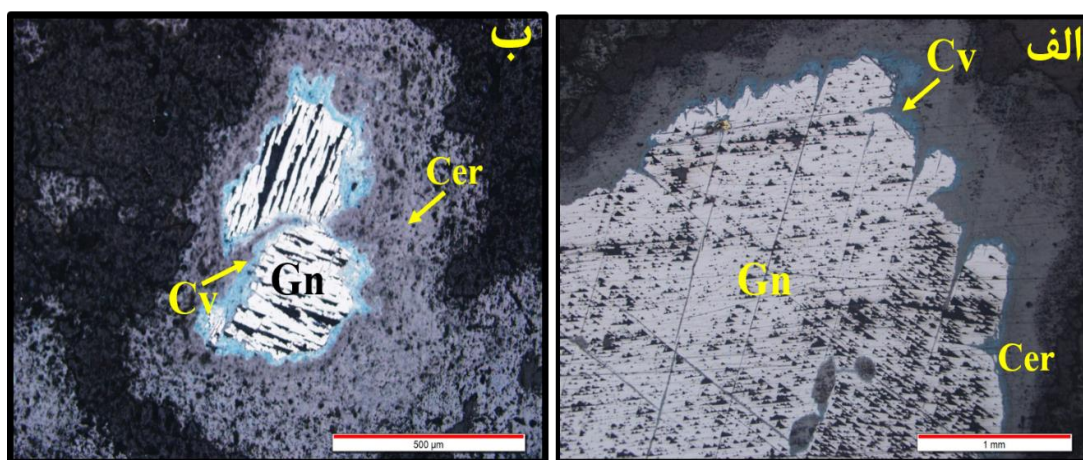
نیمه‌شکل‌دار و بی‌شکل، پراکنده و دانه‌ریز به همراه کانی‌های سولفیدی مثل کالکوپیریت و گالن موجود است. پیریت اغلب در اثر هوازدگی سطحی و دگرسانی گسترده به اکسید و هیدروکسیدهای آهن تبدیل شده است. شکل (۴-۲-الف) تصاویری از پیریت اکسیده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲. تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کانی پیریت: الف) کریستال منفرد پیریت شکل‌دار که اکسیده شده است، و ب) پیریت نیمه‌شکل‌دار که در حال تبدیل به گوتیت می‌باشد. پیریت: Py.

#### ۴-۲-۳ - گالن (PbS)

گالن یکی از کانی‌های سولفیدی اولیه است که دارای رنگ سفید و رخ مثلثی می‌باشد. در مقاطع میکروسکوپی این کانی از فراوانی خوبی برخوردار است که به رنگ سفید روشن، بی‌شکل تا نیمه‌شکل‌دار و همیافت با کالکوپیریت، پیریت، بورنیت و کوولیت دیده می‌شود. این کانی از حاشیه در حال تبدیل به کوولیت و سروسیت است (شکل ۴-۳).



شکل ۴-۳. تصاویر میکروسکوپی نور انعکاسی کانی گالن که از حاشیه در حال جانمایی به: الف) کانی کوولیت و ب) کانی سروسیت می‌باشد. گالن: Gn، سروسیت: cer.

#### ۴-۲-۴ - بورنیت ( $\text{Cu}_5\text{FeS}_4$ )

بورنیت در مقاطع صیقلی به رنگ صورتی متمایل به ارغوانی دیده می‌شود. طی فرآیند اکسیداسیون اولیه پیریت و کالکوپیریت، آهن آزاد شده از آنها در محیط آبدار واکنش انجام می‌دهد و موجب ته‌نشست بورنیت می‌گردد. می‌توان گفت که در کانسار هجیب بورنیت حاصل جانشینی کالکوپیریت می‌باشد که در پاراژنز کانه‌زایی به مقدار خیلی کم مشاهده می‌شود و می‌تواند نشان‌دهنده پایین بودن دمای سیستم کانه‌زایی باشد. این کانی سولفیدی فرعی مس، همچون کالکوسیت و کوولیت در مقادیر کم، در همراهی مستقیم با کالکوپیریت و به صورت جانشینی این کانی مشاهده می‌شود و بصورت دانه‌پراکنده و بی‌شکل در متن سنگ، در حاشیه‌ی کالکوپیریت قابل مشاهده است. شکل (۴-۴-الف و ب) همیافتی بورنیت با کانی کالکوپیریت را نشان می‌دهد.

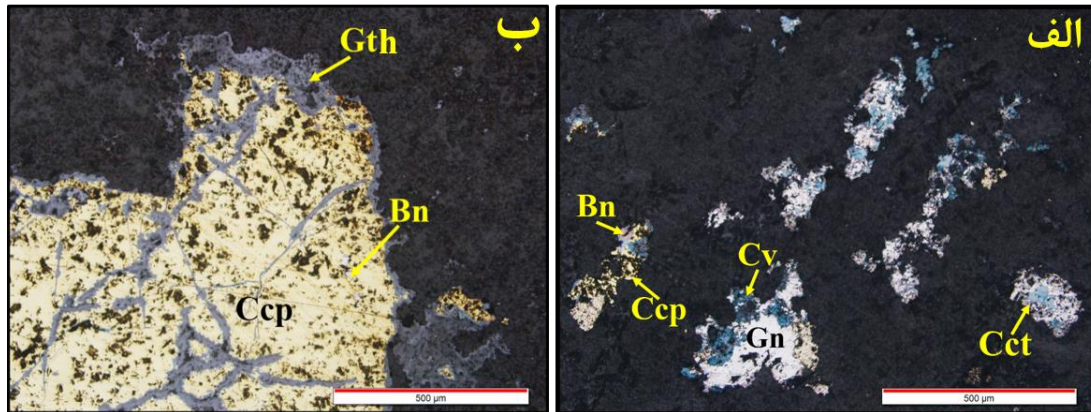
#### ۴-۲-۵ - کوولیت ( $\text{CuS}$ )

کوولیت در طی مراحل سوپرژن و در اثر جانشینی سولفیدهای مس قبلی ایجاد می‌شود و به عنوان محصول اکسایش کالکوپیریت، کالکوسیت و گالن می‌باشد. حضور کوولیت می‌تواند نشانه‌ای از تأثیر آبگون‌های اکسیدی و آبشویی مس در منطقه باشد. این کانی در منطقه مورد مطالعه از تجزیه سولفیدهایی مانند کالکوپیریت، کالکوسیت و گالن تشکیل شده است (شکل ۴-۴-الف)، بیشترین گسترش این کانی در بخش‌های هوازده است. کوولیت در مقاطع صیقلی دارای رنگ آبی، طیفی از آبی تیره و آبی نیلی تا سفید متمایل به آبی، چند رنگی قوی و آنیزوتروپی بالایی دارد و به صورت جانشینی در حاشیه کانی‌های کالکوپیریت، کالکوسیت و گالن مشاهده می‌شود.

#### ۴-۲-۶ - کالکوسیت ( $\text{CuS}_2$ )

کالکوسیت یکی از مهمترین کانه‌های مس می‌باشد که ممکن است به صورت یک کانه‌ی اولیه در رگه‌ها به همراه بورنیت، کالکوپیریت و پیریت رخ دهد. اما رخداد اصلی آن به عنوان یک کانی سوپرژن در زون‌های غنی‌شده‌ی کانسارهای سولفیدی می‌باشد. تحت شرایط سطحی سولفیدهای اولیه مس اکسید می‌شوند و سولفات‌های قابل حل تشکیل شده، و به طرف پایین حرکت می‌کنند که با کانی‌های اولیه سولفیدی برای تشکیل کالکوسیت واکنش انجام داده و کانه از مس غنی شود. از لحاظ محیط تشکیل این کانی بیشتر در

کانسارهای اپی ترمال، پورفیری و رگه‌ای سوپرژن شکل می‌گیرد (Marshall et al, 2004). در کانسار هجیب نیز این کانی به همراه کوولیت و کمتر بورنیت به صورت سولفید ثانویه حاصل از تبدیل کالکوپیریت و در حاشیه‌ی این کانی رخ داده است (شکل ۴-۴-الف). کالکوسیت تنها در چند مقطع قابل مشاهده می‌باشد و در نمونه‌های سطحی دیده نمی‌شود.



شکل ۴-۴. تصاویر میکروسکوپی از کانی‌های سولفیدی موجود در منطقه: الف) همیافتی کالکوپیریت با بورنیت و کالکوسیت و همینطور جانیشینی کانی گالن از حاشیه به کوولیت را نشان می‌دهد. ب) دانه‌های ریز بورنیت که درون کانی کالکوپیریت دیده می‌شود. بورنیت: Bn.

#### ۴-۳- کانی‌های اکسیدی منطقه مورد مطالعه

از جمله کانی‌های اکسیدی منطقه می‌توان به هماتیت، اولیژیست، گوتیت و لیمونیت اشاره کرد که در ادامه به بررسی ویژگی‌های هر کدام از آنها پرداخته شده است.

##### ۴-۳-۱- هماتیت ( $Fe_2O_3$ ) و اولیژیست

هماتیت رنگ متغیری دارد که این امر به نحوه رشد آن بستگی دارد، این کانی گستره‌ای از جلای فلزی تا خاکستری، نقره‌ای و سیاه را نشان می‌دهد. کانی هماتیت می‌تواند به صورت اولیه از سیالات گرمابی تشکیل شود و نیز تحت شرایط دگرسانی و اکسیدی از کانی‌های مگنتیت و سولفیدها حاصل بشود. این کانی در مقاطع صیقلی به صورت سفید تا خاکستری با انیزوتروپی مشخص، قابل تشخیص می‌باشد. هماتیت اغلب از واپاشی کانی‌های سولفیدی آهن‌دار، محدوده مورد مطالعه به ویژه پیریت تشکیل شده است که به مقدار

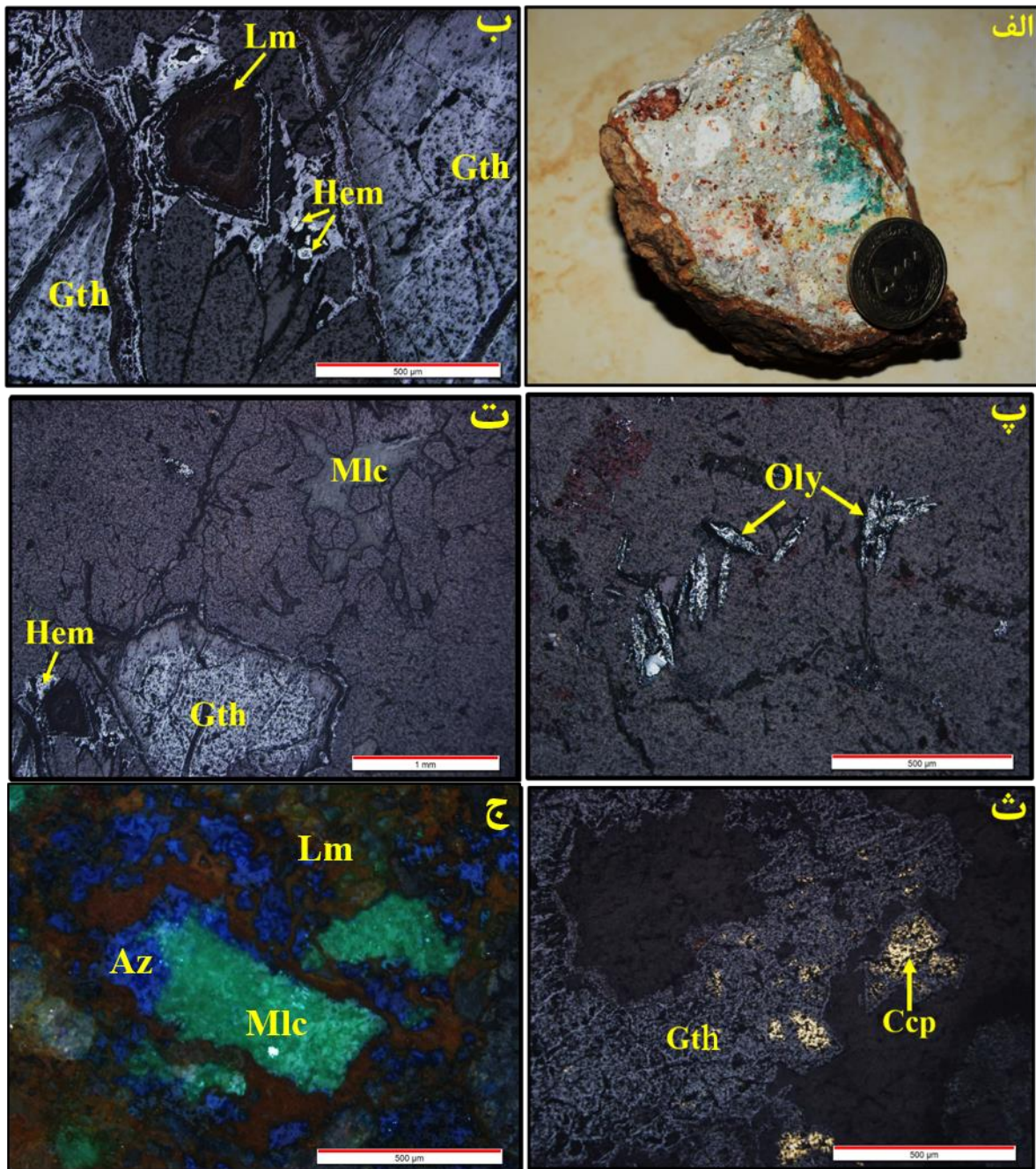
کم و به صورت پرکننده فضای خالی دیده شده است (شکل ۴-۵-ب و ت) و (شکل ۴-۲-الف). در این مقاطع علاوه بر هماتیت، کانی اولیژیست هم دیده می‌شود که تحت شرایط گرمایی تشکیل می‌شوند. اولیژیست معمولاً به صورت بلورهای تیغه‌ای قابل مشاهده است (شکل ۴-۵-پ).

#### ۴-۳-۲- گوتیت (FeOOH) و لیمونیت (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>H<sub>2</sub>O)

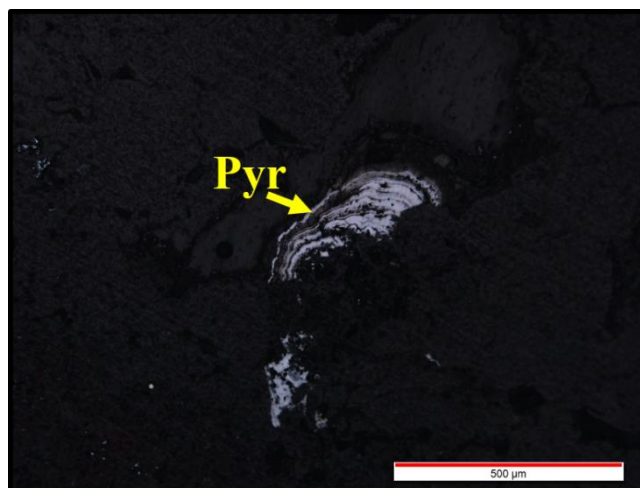
این اکسید و هیدروکسیدهای آهن به عنوان کانی ثانویه فلزی در منطقه مورد مطالعه می‌باشند. گوتیت با رنگ خاکستری متمایل به قرمز تا قهوه‌ای (شکل ۴-۵-ب، ت و ث)، (شکل ۴-۲-ب) و لیمونیت به رنگ نارنجی تا زرد در اطراف رگه‌های کانه‌زایی قابل مشاهده هستند (۴-۵-ب و ج). گوتیت و لیمونیت بیشتر به صورت دانه ریز، پراکنده، رگچه‌های ثانویه، و حاشیه‌ی جانشینی کانی‌های اولیه مشاهده می‌شوند. این کانی‌ها محصول اکسیداسیون کالکوپیریت و پیریت هستند. در مطالعه مقاطع میکروسکوپی کانی گوتیت و لیمونیت فراوانی زیادی نشان می‌دهند (شکل ۴-۶-ب، ت، ث و ج). گوتیت‌ها اغلب دارای بافت کلوفرمی هستند و یا در حاشیه کانی‌های سولفیدی مانند کالکوپیریت و پیریت دیده می‌شود.

#### ۴-۳-۳- پیرولولوزیت (β (MnO<sub>2</sub>))

پیرولولوزیت با رنگ سفید-کرمی، چند رنگی ضعیف و ناهمسانگردی قوی (زرد) در زیر میکروسکوپ پلاریزان نور انعکاسی قابل تشخیص است (Ramdor, 1980). در مقاطع میکروسکوپی این کانی با بافت کلوفرمی به مقدار خیلی کم در منطقه‌ی هجیب دیده می‌شود که تحت شرایط سطحی در منطقه اکسیدان به همراه اکسید و هیدروکسیدهای آهن تشکیل شده است (شکل ۴-۶).



شکل ۴-۵. الف) تصویر نمونه‌دستی از حضور کانی لیمونیت و گوتیت (ب) تصویر میکروسکوپی از هماتیت، لیمونیت و گوتیت. پ) بلورهای تیغه‌ای اولیژیست. ت) حضور کانی کربناته مالاکیت در کنار لیمونیت و گوتیت. ث) کالکوپیریت در حال تجزیه شدن به گوتیت می‌باشد. ج) هم‌یافتی کانی‌های کربناته شامل مالاکیت و آزوریت را با کانی اکسیدی لیمونیت نشان می‌دهد. هماتیت: Hem، لیمونیت: Lm، اولیژیست: Oly، مالاکیت: Mlc، آزوریت: Az.



شکل ۴-۶. تصویر میکروسکوپی نور انعکاسی از کانی پیرولولوزیت (Pyr).

#### ۴-۴-۴ کانی‌های کربناتی مس

از جمله کانی‌های کربناتی در منطقه مورد مطالعه می‌توان به مالاکیت، آزوریت اشاره نمود که در اثر هوازدگی کانی‌های سولفیدی مس در زون اکسیدان تشکیل شده‌اند. این کانی‌ها به رنگ سبز (مالاکیت) و آبی (آزوریت) بر روی سطح هوازدگی تشکیل گردیده‌اند. در ادامه به بررسی هریک از آنها پرداخته شده است.

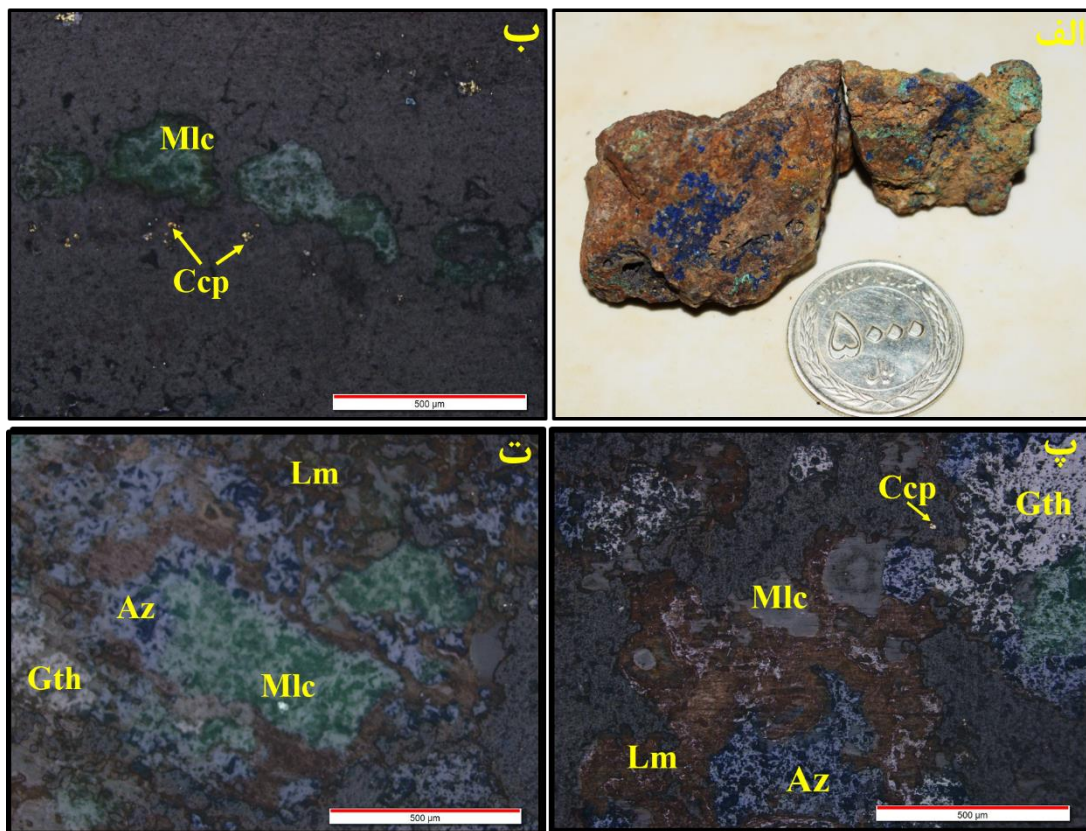
##### ۴-۴-۴-۱ مالاکیت ( $\text{Cu}_2\text{Co}_3(\text{OH})_2$ )

یکی از فراوان‌ترین کانی‌های کربناتی مس در منطقه مورد مطالعه است که در نمونه دستی به رنگ سبزآبی دیده می‌شود و در مقاطع نازک رنگ خاکستری تا سبز دارد. این کانی در مقطع صیقلی دارای رنگ سبز، انعکاس کم و آنیزوتروپی قوی دارد، که معمولاً بصورت رگه-رگچه‌ای و دانه‌پراکنده جانشینی همراه با کالکوپیریت و آزوریت و سایر کانه‌های مس‌دار مشاهده می‌شود (شکل ۴-۷). کانی مالاکیت، بطور معمول در پهنه اکسیدان کانسارهای مس یافت می‌شود.

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

آزوریت یکی دیگر از کانی‌های کربناتی مس می‌باشد که همراه مالاکیت مشاهده می‌شود و فراوانی خوبی دارد. رنگ آبی لاجوردی و خط اثر آبی و روشن از مشخصات کانه‌ی آزوریت است، در مقطع صیقلی دارای رنگ خاکستری است و آنیزوتروپی قوی دارد. از دیگر مشخصات آزوریت انعکاس داخلی آبی پررنگ است. در نور

عبوری چند رنگی قوی از بنفش تا آبی دارد. شکل (۴-۷-پ و ت) همیافتی آزوریت را با مالاکیت، کالکوپیریت و کانی‌های اکسیدی نشان می‌دهد.



شکل ۴-۷. الف) تصویر نمونه‌دستی از کانی مالاکیت و آزوریت در سنگ میزبان. ب) رگه مالاکیت همراه با دانه‌های ریز کالکوپیریت. پ) همیافتی کانه‌های کربناته آزوریت و مالاکیت با اکسیدهای آهن شامل گوتیت و لیمونیت و کانی سولفیدی کالکوپیریت. ت) درهم‌رشدی آزوریت، مالاکیت و گوتیت را نشان می‌دهد.

#### ۴-۵- کانی‌های باطله در منطقه مورد مطالعه

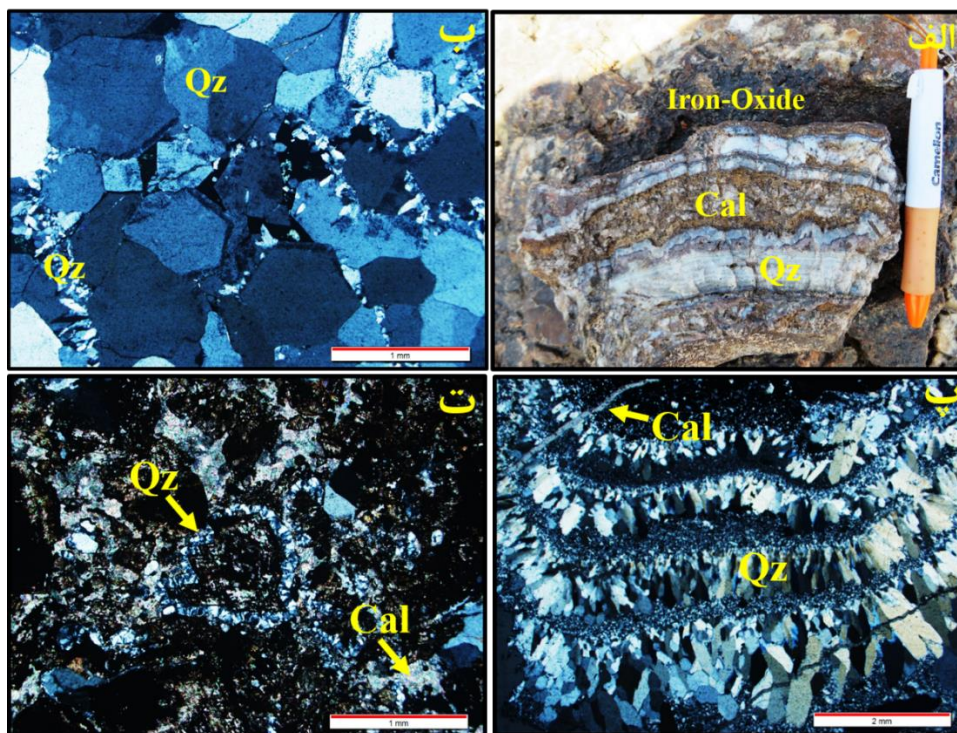
از جمله مهم‌ترین کانی‌های باطله در کانسار چندفلزی هجیب شامل کوارتز، کلسیت، و باریت می‌باشند.

##### ۴-۵-۱- کوارتز

بر پایه اندازه بلورها، کوارتزهای موجود را می‌توان در دو دسته ریزبلور و درشت بلور تقسیم‌بندی کرد. کوارتزها معمولاً به صورت بلورهای نیمه‌خود شکل تا بی‌شکل روشن، سفید و یا خاکستری رنگ و به صورت ریز بلور در بین کانی‌ها دیده می‌شوند. کوارتزهای ریزدانه در متن سنگ و در نتیجه‌ی دگرسانی کانی‌های سیلیکاتی اولیه‌ی سنگ شکل گرفته‌اند (شکل ۴-۸-الف). کریستال‌های درشت کوارتز توسط عمل سیالات گرمابی،



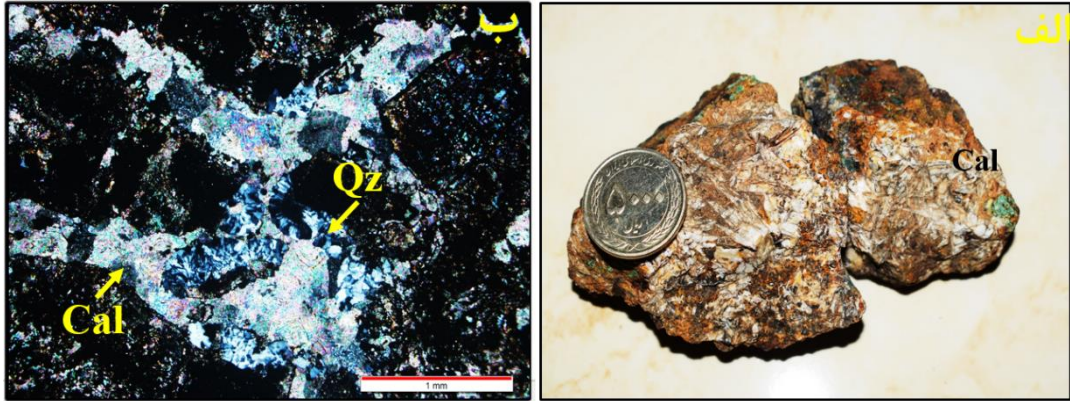
شکستگی‌ها و حفرات سنگ را پر کرده‌اند (شکل ۴-۸-الف). علاوه بر این کوارتزهای رگه‌ای که هم به صورت رگه‌های نابارور و هم رگه‌های حاوی سولفید بصورت متبلور و یا بی‌شکل در سنگ‌های منطقه نفوذ کرده‌اند. شکل (۴-۸-ب) تناوبی از شکل‌گیری رگه‌های کوارتز درشت دانه و ریزدانه را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۸. الف) تصویر نمونه‌دستی از حضور سیلیس در سنگ که بافت نواری نشان می‌دهد. ب) ابتدا کوارتزهای درشت‌بلور تشکیل شده‌اند و سپس کوارتزهای ریزبلور در اطراف آن‌ها رشد کرده‌اند. پ) تناوبی از شکل‌گیری رگه‌های کوارتز درشت دانه و ریزدانه به همراه رگه کلسیتی. ت) کلسیت و کوارتز فضاهای خالی را پر کرده‌اند. کوارتز: Qz، کلسیت: Cal، اکسید آهن: Iron-Oxide.

#### ۴-۵-۲ - کلسیت

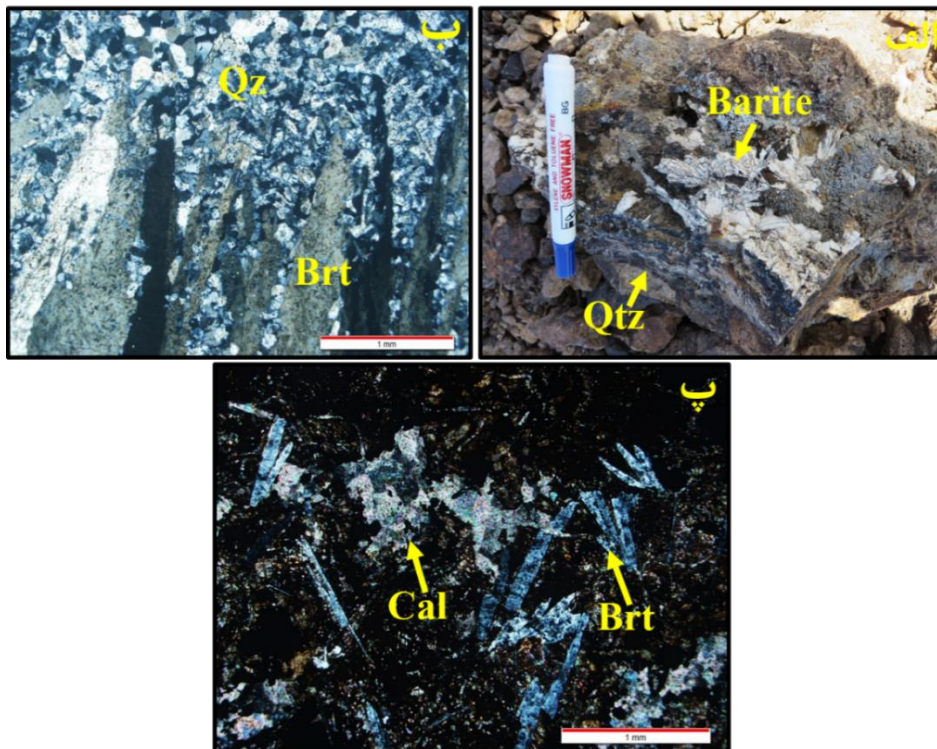
کلسیت یا کربنات کلسیم با فرمول  $\text{CaCO}_3$  در نمونه‌ها به صورت رگچه‌های تأخیری (شکستگی‌های بعد کانه‌زایی) قابل مشاهده است. این کانی در مشاهدات صحرایی و نمونه‌های دستی فراوانی کمتری دارد و به آسانی قابل تشخیص نیست ولی در مقاطع میکروسکوپی به همراه کوارتز، باریت، اکسیدهای آهن و کانی‌های سولفیدی قابل رویت است که بصورت دانه‌های بی‌شکل، پراکنده و رگچه‌ای همراه با کوارتز و باریت ظاهر می‌شود (شکل ۴-۸-الف)، (شکل ۴-۹-الف و ب) و (شکل ۴-۱۰-پ).



شکل ۴-۹. الف) تصویر نمونه‌دستی از کانی کلسیت. ب) پرشدگی حفرات توسط کانی کوارتز و کلسیت.

#### ۴-۵-۳- باریت

باریت در کانسار هجیب همراه با سیلیس و کلسیت بصورت پرشدگی حفرات و فضاهای خالی درون واحد سنگی توف آندزیتی دیده می‌شوند. به عقیده‌ی پیراجنو (Pirajno, 2009) باریت عمدتاً در محدوده دمایی پایین حضور دارد. در شکل (۴-۱۰-الف) تیغه‌های باریت به همراه دانه‌های کوارتز فضاهای خالی سنگ را پر کرده‌اند.



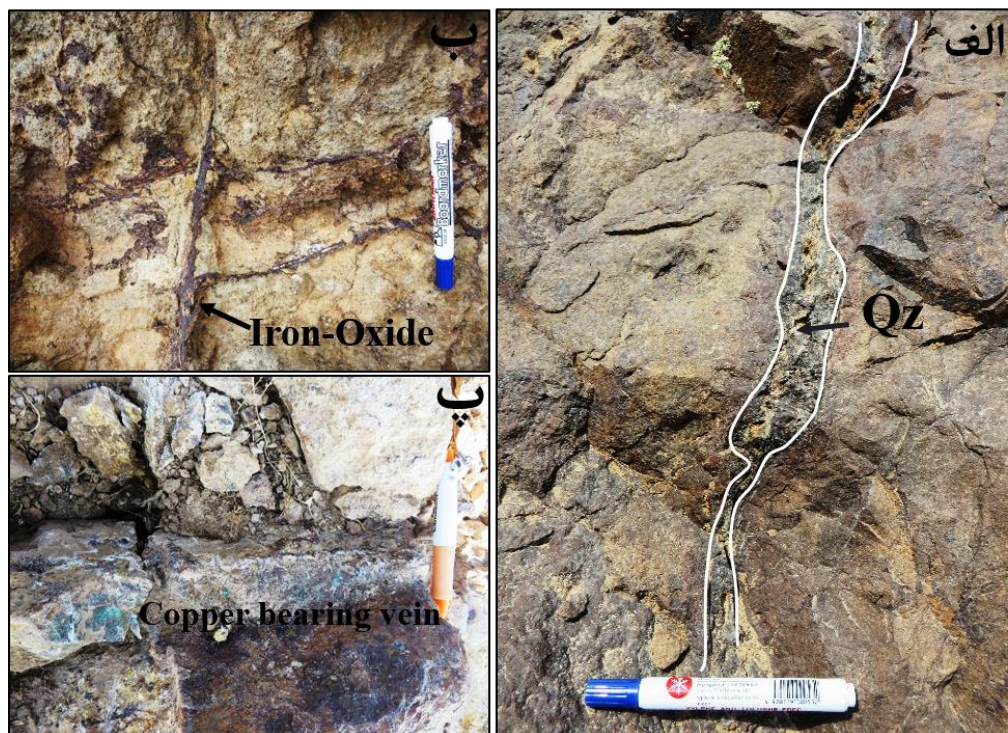
شکل ۴-۱۰-الف) تصویر صحرایی از تیغه‌های باریتی که بصورت هم‌رشد با رگه‌های سیلیسی در منطقه وجود دارند. پرشدن فضاهای خالی توسط ب) دانه‌های کوارتز و تیغه‌های باریت. پ) تیغه‌های باریت و کلسیت. باریت: Brt.

#### ۴-۶- ساخت و بافت

ساخت از روی شکل، اندازه و حالت تک تک دانه‌ها تعیین می‌گردد که در زیر میکروسکوپ، بیرون‌زدگی‌ها و حتی در نمونه‌های دستی قابل مشاهده است، بافت نیز از روی نحوه قرارگرفتن کانی‌هایی که از نظر شکل، اندازه و حتی ترکیب با هم متفاوتند، مشخص می‌شود (شهاب‌پور، ۱۳۹۰). عوامل مؤثر در بافت ذخایر ماگمایی و گرمایی عبارتند از: دما، عمق تبلور، مدت زمان تبلور، ترکیب شیمیایی ماگما و محلول‌ماگمایی و گرمایی می‌باشد (کریم‌پور و سعادت، ۱۳۸۸). ساخت و بافت مواد معدنی که دارای منشأهای متفاوتی هستند با یکدیگر تفاوت دارد و این به ماهیت سیال‌های کانه‌سازی، مشخصات فیزیکی و شیمیایی سنگ‌میزبان و شیوه جایگزینی کانسنگ بستگی دارد. در زیر به توصیف هر یک از ساخت و بافت‌های مشاهده شده طی مشاهدات صحرایی و مطالعات میکروسکوپی پرداخته می‌شود

#### ۴-۶-۱- ساخت و بافت رگه-رگچه‌ای

محلول‌های ماگمایی یا گرمایی در صورتی که به هنگام عبور از گسل‌ها، درزه و شکاف‌ها بار خود را برجای گذارند، ساخت و بافت حاصله از نوع رگه-رگچه‌ای خواهد بود. با توجه به اینکه ساختمان‌های مناسب اولیه و ثانویه محدود به سطح تا عمق کم می‌شوند، اپی‌ژنتیک هستند. این ساخت و بافت در کانسار هجیب از گسترش خوبی برخوردار است. شکل (۴-۱۱-الف و ب) ساخت رگه-رگچه‌ای را در کانی‌های کوارتز و اکسید آهن نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۱. تصاویر صحرایی از ساخت رگه‌ای. الف) رگه کوارتز. ب) رگه- رگچه‌های اکسید آهن که همدیگر را قطع کرده‌اند. پ) تصویر صحرایی از رگچه‌های سیلیسی که حاوی کانی‌سازی مس هستند.

#### ۴-۶-۲ ساخت و بافت برشی

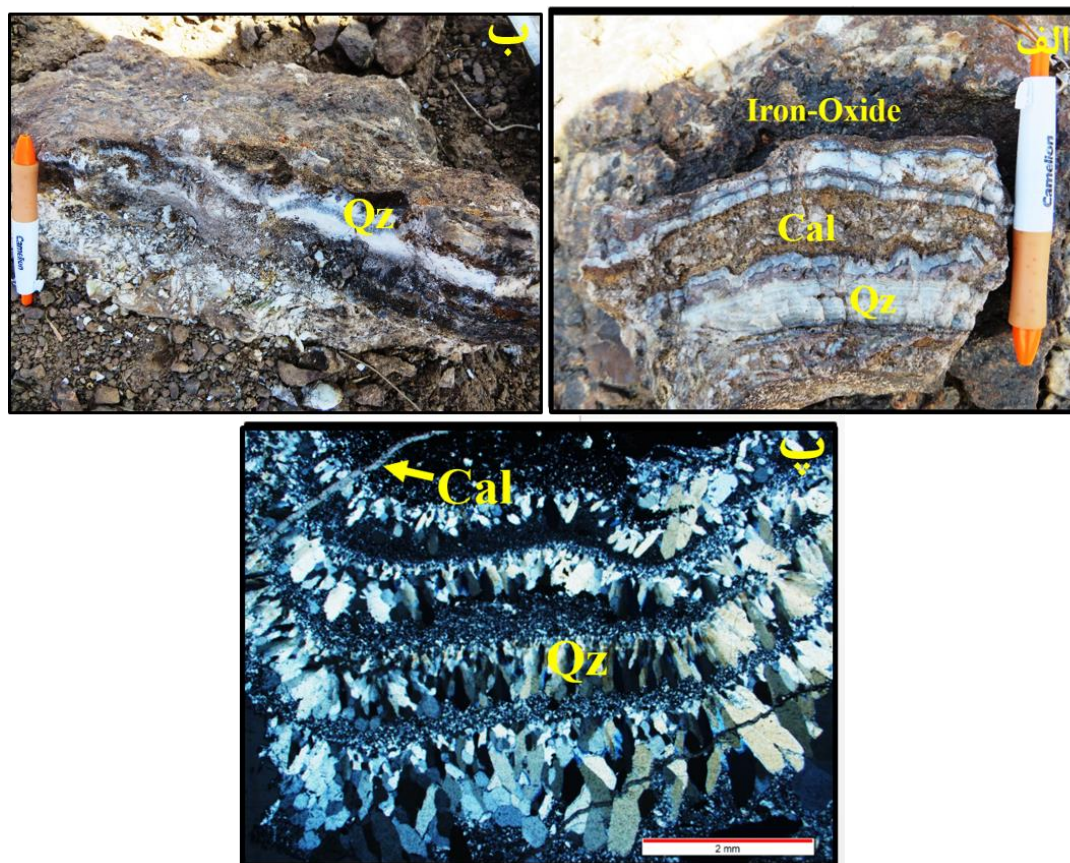
در منطقه مورد مطالعه این بافت توسط سیالات با دما و حرارت بالا شکل گرفته است. در واقع سیالات با دما و حرارت بالا سبب خرد شدن و برشی شدن سنگ شده و فضای بین قطعات برش عمدتاً توسط سیلیس و اکسیدهای آهن شامل لیمونیت و گوتیت پر شده است.



شکل ۴-۱۲. نمونه‌هایی از ساخت برشی موجود در منطقه: الف) پرشدگی فضای بین قطعات برش توسط رگه-رگچه‌های سیلیسی و اکسیدهای آهن (گوتیت و لیمونیت) را در یک سنگ میزبان ماسه‌سنگی نشان می‌دهد. ب) فضای بین قطعات برش توسط اکسید آهن و سیلیس پر شده است.

#### ۴-۶-۳ - ساخت و بافت نواری

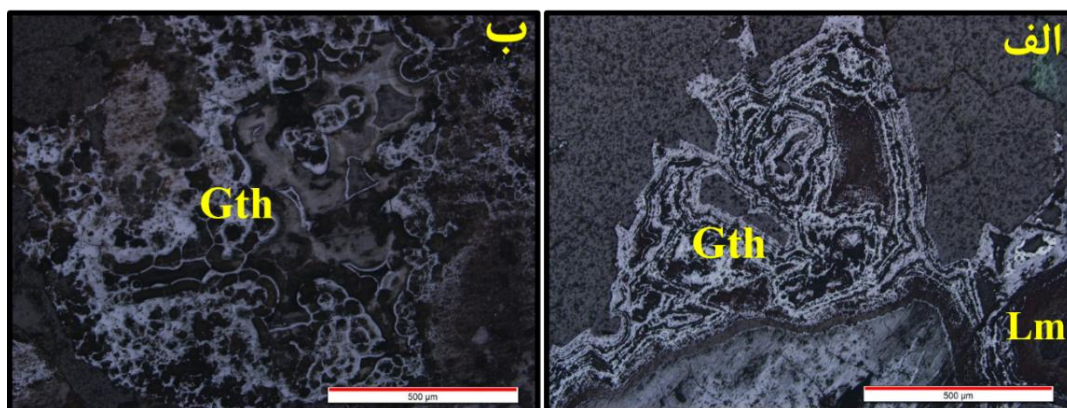
یکی دیگر از ساخت و بافت‌های مشاهده شده در کانسار هجیب ساخت و بافت نواری و لامینه می‌باشد. این نوع ساخت و بافت از گسترش نسبتاً خوبی در منطقه برخوردار است. همانطور که در شکل (۴-۱۳) مشاهده می‌شود کانی‌های کوارتز، کلسیت و اکسیدهای آهن بصورت نواری قرار گرفته‌اند.



شکل ۴-۱۳- تصاویری از ساخت و بافت نواری و لامینه در منطقه مورد مطالعه: الف) کلسیت، کوارتز و اکسیدهای آهن بصورت نواری باهم قرار گرفته‌اند. ب) تناوبی از کوارتز و اکسید آهن. پ) تناوبی از شکل‌گیری رگه‌های کوارتز درشت دانه و ریزدانه را نشان می‌دهد.

#### ۴-۶-۴ - بافت کلوفرمی

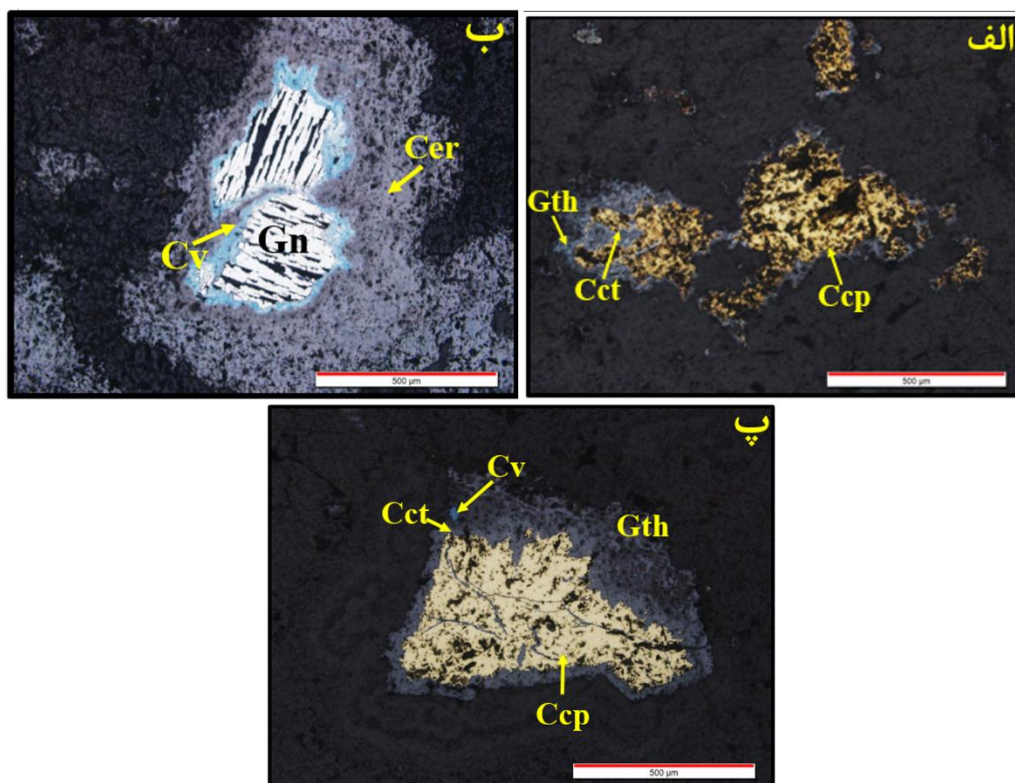
بافت کلوفرمی به خصوص در کانی‌های اکسید آهن معمول است. وجود بافت کلوفرمی گوتیت، نشان‌دهنده ته‌نشست این کانی در شرایط حرارت پایین در فضای خالی بین سایر کانی‌ها می‌باشد. شکل (۴-۱۴) بافت کلوفرمی کانی گوتیت را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴. تصاویر میکروسکوپی از بافت کلوفرمی کانی گوتیت.

#### ۴-۶-۵ - بافت جانشینی

اکسید شدن سولفیدها به اکسیدهای آهن و ترکیبات دیگر، از نوع جانشینی محسوب می‌گردد. سولفیدهای مس در سطح زمین اکسید شده و در شرایط اسیدی املاح مس توسط آب‌های فرورو حمل می‌شوند. در عمق در ناحیه احیایی، املاح مس با سولفیدهای اولیه (پیریت و کالکوپیریت) واکنش می‌دهند و ضمن جانشینی، به صورت کالکوسیت، کوولیت، دیژنیت و گوتیت بر جای گذاشته می‌شوند و از سطح تا عمق محدودی را در برمی‌گیرند. مطالعات میکروسکوپی وجود بافت جانشینی را در برخی از نمونه‌ها نشان می‌دهد. کانی‌های سولفیدی مس، بر اساس تفاوت در میزان گوگرد و مس موجود در سیال کانه‌دار، از مرکز قسمت کانه‌زایی به سمت حاشیه تغییر ترکیب می‌دهند و حالت منطقه‌بندی را ایجاد می‌کنند. همانطور که در شکل (۴-۱۵-الف و پ) مشاهده می‌شود کالکوپیریت از حاشیه به کانی‌های گوتیت، کالکوسیت و کوولیت تبدیل شده است.



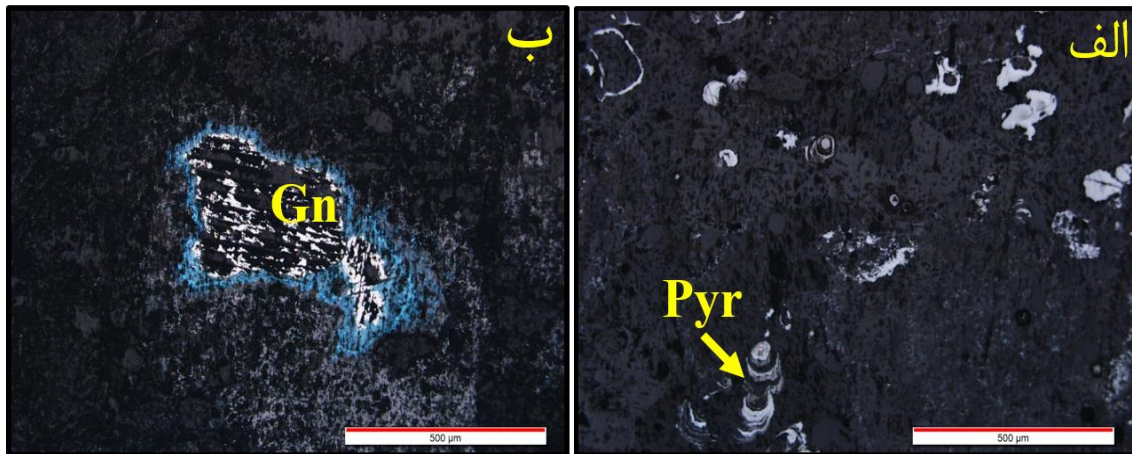
شکل ۴-۱۵. تصاویر میکروسکوپی از بافت جانیشینی. الف) کالکوپیریت از حاشیه تبدیل به گوتیت و کالکوسیت شده است. ب) گالن از حاشیه تبدیل به کوولیت و سروسیت شده است. پ) جانیشینی کالکوپیریت از حاشیه به کالکوسیت و کوولیت و گوتیت.

#### ۴-۶-۶- بافت دانه پراکنده

این بافت نشان دهنده ته‌نشست اولیه ماده معدنی در حین تشکیل سنگ در برگیرنده و همراه با سایر ذرات تشکیل‌دهنده آن است. کانی‌های کالکوپیریت، پیریت، پیرولووزیت و مالاکیت بافت دانه پراکنده را در خود نشان می‌دهند (شکل ۴-۱۶-الف).

#### ۴-۶-۷- بافت اسکلتی

رشد سریع بلورها در دمای پایین و غلظت بالا می‌تواند سبب به وجود آمدن این بافت شود. این بافت را گاهی در جاهایی که کانی‌های سولفیدی در حال اکسید شدن هستند می‌توان دید. شکل (۴-۱۶-ب) بافت اسکلتی کانی گالن را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۶. الف) تصویر میکروسکوپی از بافت دانه پراکنده کانی پیرولولوزیت. ب) بافت اسکلتی گالن.

#### ۴-۷- توالی پاراژنتیکی

به کانی‌هایی که به طور همزمان از یک منشاء واحد که تحت شرایط ترمودینامیکی معینی باهم در حال تعادل هستند، بوجود می‌آیند اصطلاحاً پاراژنز گفته می‌شود. این اصطلاح توسط زمین‌شناسان آمریکایی به صورت تقدم و تأخر تبلور کانی‌ها نسبت به یکدیگر تعریف شده که در این حالت توالی پاراژنزی گفته می‌شود. یک توالی پاراژنزی، باید شرایطی را شرح دهد که هر فاز بر اثر آن پدیده آمده یا به تعادل دوباره رسیده است. افزون بر کانه‌ها، توالی پاراژنزی باید زمان آغاز نهشته شدن کانی‌های باطله و مدت نهشته شدن آن‌ها را نیز مشخص نماید. در توالی پاراژنزی، پیشامدها بیشتر به صورت یک نمودار خطی یا نمودار جریان ارائه می‌شود. همچنین می‌توان گفت از مهم‌ترین مشخصات و ویژگی‌های محیط تشکیل در هر کانسار، کانی‌شناسی و تشخیص پاراژنز کانه‌ها و همچنین مطالعات ساخت و بافت کانی‌ها می‌باشد. در جدول (۴-۱) توالی پاراژنتیکی از کانی‌های منطقه آورده شده است.



جدول ۴-۱. توالی پاراژنزی کانی‌های تشکیل‌دهنده کانسار هجیب.

Stage Mineral		Hypogene	Supergene	
			(-Eh)	(+Eh)
Ore	Pyrite	—————		
	Chalcopyrite	—————		
	Bornite	—————		
	Galena	—————		
	Chalcocite		—————	
	Covelite		—————	
	Malachite			—————
	Azorite			—————
	Olygiste	—————		
	Hematite			- - - - -
	Pyrolusite			- - - - -
	Goethite			—————
	Limonite			—————
Gangue	Quartz	—————		
	Barite	—————		
	Calcite	—————	- - - - -	- - - - -
Texture	Vein and veinlet	—————	—————	—————
	Banded	—————		
	Brecciation	- - - - -	—————	
	Disseminated	- - - - -		
	Replacment	- - - - -	—————	—————
	Open space filling	- - - - -	- - - - -	—————
Colloform			—————	



# فصل پنجم

## ژئوسمی

## ۵-۱- مقدمه

پس از تحلیل روابط صحرایی، کانی‌شناسی و سنگ‌نگاری، مطالعه ویژگی‌های زمین‌شیمیایی از اهمیت زیادی برخوردار است. بطور کلی تاریخچه تکوین سنگ‌ها را می‌توان به دو مرحله اصلی تقسیم نمود. مرحله اولیه، که شامل تشکیل مذاب از سنگ یا سنگ‌های منشأ بوده و مرحله دوم که به فرآیندهایی مربوط می‌گردد که در طی صعود ماگما از محل تشکیل مذاب تا سطح زمین، ماگما را تحت تأثیر قرار می‌دهند (Hall, 1996). اصلی‌ترین متغیرهای مرحله اول ترکیب سنگ منشأ، حرارت و فشار حاکم، درجه ذوب‌بخشی سنگ منشأ و شرایط تکتونیکی حاکم، و متغیرهای مرحله دوم مشتمل بر فرآیندهای تفریق از طریق تبلوربخشی، اختلاط، هضم، آلیش، سرعت صعود ماگما و ویژگی‌های تکتونوماگمایی حاکم بر محیط نفوذ یا فوران این مواد در سطح زمین هستند. هرکدام از این عوامل و فرآیندها باعث تغییراتی در خواص فیزیکوشیمیایی ماگمای پدیدآورنده‌ی سنگ‌ها می‌گردند که اطلاعاتی را در مورد تاریخچه تشکیل سنگ در اختیار قرار می‌دهند. در این فصل جهت بررسی چگونگی تشکیل سنگ‌ها و کانسنگ‌ها و مطالعه روند توزیع و پراکندگی و همچنین تغییرات عناصر اصلی و کمیاب در ماده معدنی و سنگ درونگیر، به مطالعات زمین‌شیمیایی و نتایج حاصل از آن‌ها پرداخته می‌شود. برای این منظور، بحث زمین‌شیمی در دو بخش سنگ‌میزبان و کانسنگ به طور جداگانه مورد توجه قرار گرفته است. بر این اساس ابتدا خصوصیات سنگ‌های میزبان و سپس خصوصیات زمین‌شیمیایی کانه‌زایی‌ها مورد بحث قرار می‌گیرد.






## ۵-۲- ژئوشیمی محیط سنگ

### ۵-۲-۱- نمونه‌برداری و روش آنالیز نمونه‌های سنگ

به‌منظور بررسی ژئوشیمی و پترولوژی واحدهای سنگی دربرگیرنده کانسار هجیب، از بخش‌های غیردگرسان و یا دگرسانی کم رخنمون‌های سنگی نمونه‌برداری گردید. تعداد ۵ نمونه‌سنگ به روش XRF برای اکسید عناصر اصلی و ICP-OES/MS برای عناصر اصلی، فرعی و کمیاب مورد آنالیز قرار گرفت که نتایج آن در جدول (۵-۲) ارائه شده است. لازم به ذکر است که مقادیر غلظت عناصری که از حد حساسیت دستگاه پایین‌تر بوده‌اند از

جدول داده‌های ژئوشیمیایی و روند پردازش حذف شده‌اند. در این بخش سعی شده است که با استفاده از تجزیه‌های شیمیایی و نمودارهای مختلف، شرایط تشکیل سنگ‌های منطقه بررسی شود. نام و علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های سنگ در جدول (۱-۵) آورده شده است:

جدول ۱-۵: علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌ها در تمامی شکل‌ها.

HB-GR-5	HB-GR-4	HB-GR-3	HB-GR-2	HB-GR-1	شماره نمونه
					علامت
آندزیت	آندزیت- بازالت	آندزیت- بازالت	توف آندزیتی	تراکی آندزیت	نام سنگ

جدول ۲-۵- مقادیر اکسید عناصر اصلی (%)، عناصر فرعی و کمیاب (ppm) در ۵ نمونه‌ی سنگ به روش XRF و ICP-OES/MS.

Element	Unit	HB-GR-1	HB-GR-2	HB-GR-3	HB-GR-4	HB-GR-5
SiO <sub>2</sub>	%	51.54	61.42	48.36	47.73	67.94
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	17.53	16.08	13.72	16.6	11.5
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	9.33	5.65	8.7	11.02	8.02
MgO	%	4.35	1.6	1.06	5.41	0.22
CaO	%	8.57	4.51	7.53	2.27	0.9
Na <sub>2</sub> O	%	3.35	4.05	1.37	0.55	0.22
K <sub>2</sub> O	%	1.2	2.44	8.85	8.35	7.66
TiO <sub>2</sub>	%	1.25	0.75	0.88	0.98	0.71
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	%	0.23	0.19	0.14	0.16	0.18
MnO	%	0.27	0.18	1.21	0.96	0.44
BaO	%	0.05	0.08	0.17	0.13	0.13
SO <sub>3</sub>	%	0.16	<0.01	0.12	<0.01	<0.01
LOI	%	2.03	3.05	6.81	5.72	2.09
Ag	ppm	0.1	0.3	12.6	0.7	0.5
Al	ppm	94955	86200	73220	88241	62080
As	ppm	42.7	3.9	35.4	19.4	10.1
Ba	ppm	421	759	1574	1177	1259
Be	ppm	0.9	1.5	1.1	0.9	0.9
Bi	ppm	0.4	0.3	0.3	0.6	0.3

<b>Ca</b>	ppm	55915	29382	49000	15575	6135
<b>Cd</b>	ppm	0.3	0.1	14.4	3.8	0.1
<b>Co</b>	ppm	25.6	11	16.9	35.2	12.8
<b>Cr</b>	ppm	38	18	14	54	22
<b>Cs</b>	ppm	1	1.6	3.6	2.4	1.6
<b>Cu</b>	ppm	26	17	334	13	13
<b>Fe</b>	ppm	58427	37806	55524	68501	54010
<b>Hf</b>	ppm	1.9	3.74	1.9	1.28	2.45
<b>In</b>	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<b>K</b>	ppm	10323	20921	76076	69863	63796
<b>Li</b>	ppm	11	14	11	32	22
<b>Mg</b>	ppm	>2%	9414	6130	>2%	1378
<b>Mn</b>	ppm	1733	1140	7277	5810	2893
<b>Mo</b>	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Na</b>	ppm	23452	28594	9582	3846	1469
<b>Nb</b>	ppm	6	8	3.5	6.1	4.1
<b>Ni</b>	ppm	15	5	5	24	3
<b>P</b>	ppm	1118	894	688	829	892
<b>Pb</b>	ppm	14	38	8652	109	45
<b>Rb</b>	ppm	23	47	233	207	213
<b>S</b>	ppm	72	60	292	<50	158
<b>Sb</b>	ppm	2.1	1.1	13.3	1.5	5.7
<b>Sc</b>	ppm	27.9	12.1	20.2	24.9	11.7
<b>Se</b>	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
<b>Sn</b>	ppm	0.9	1.5	1	0.9	2.4
<b>Sr</b>	ppm	374	345.8	218.1	97	98.5
<b>Ta</b>	ppm	0.36	0.46	0.26	0.57	0.26
<b>Te</b>	ppm	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
<b>Th</b>	ppm	1.23	4.06	1.03	0.73	2.62
<b>Ti</b>	ppm	7480	4595	5211	5783	4301
<b>Tl</b>	ppm	<0.1	0.32	3.73	2.36	1.8
<b>U</b>	ppm	0.3	1.07	0.6	0.4	0.6

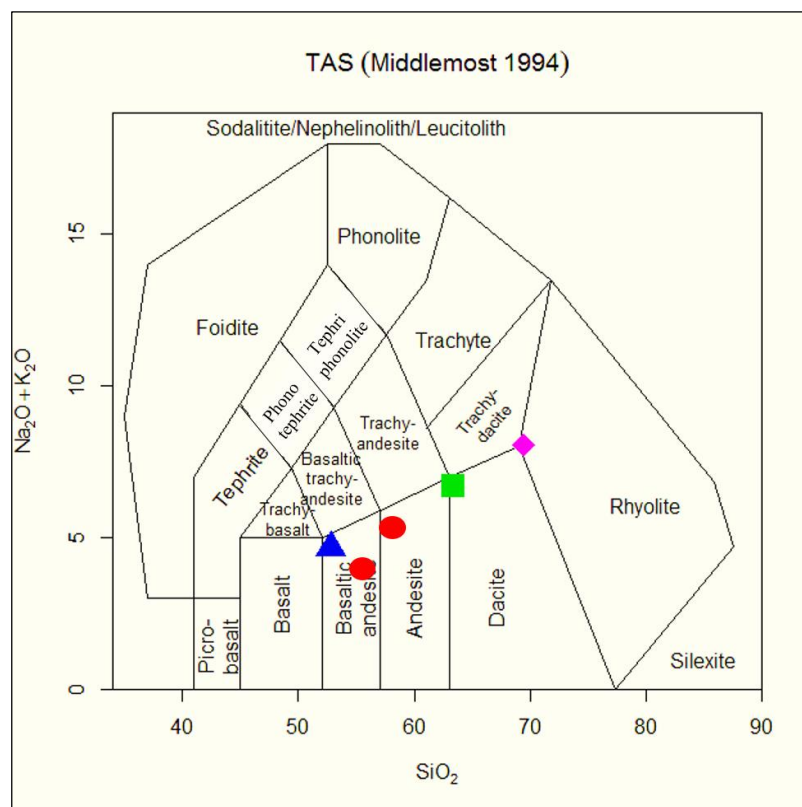
V	ppm	231	127	228	205	43
Zr	ppm	81	149	64	65	102
La	ppm	12	21	11	10	10
Ce	ppm	28	45	23	22	22
Pr	ppm	3.44	4.47	2.92	2.5	2.65
Nd	ppm	15.8	18	13.4	10.9	11.5
Sm	ppm	3.93	3.86	3.58	2.48	2.8
Eu	ppm	1.32	1.13	1.32	0.92	0.76
Gd	ppm	4.09	3.72	3.96	2.26	2.88
Tb	ppm	0.71	0.65	0.7	0.44	0.57
Dy	ppm	4.48	4.25	4.69	2.73	4.05
Er	ppm	2.43	2.68	2.85	1.55	2.7
Tm	ppm	0.37	0.43	0.43	0.26	0.43
Yb	ppm	2.9	2.8	2.8	2.2	2.6
W	ppm	<1	<1	3.1	2.5	11.3
Y	ppm	22.6	23.2	24.6	14.2	23.4
Zn	ppm	72	102	2278	1673	303
Lu	ppm	0.3	0.42	0.4	0.19	0.41

#### ۵-۲-۲- ژئوشیمی سنگ‌های آذرین

در این پژوهش از عناصر اصلی و کمیاب برای طبقه‌بندی و تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین، درجه اشباع از آلومین و نیز تعیین محیط تکتونیکی آنها استفاده شده است. مهمترین واحدهای سنگ‌شناختی موجود در محدوده‌ی مورد مطالعه مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین بیرونی و توده‌های نفوذی نیمه‌عمیق تا عمیق می‌باشند که انجام مطالعات ژئوشیمیایی بر روی این سنگ‌ها، اطلاعات مهمی را در رابطه با منشاء و ترکیب سنگ‌های منطقه در اختیار قرار خواهد داد.

## ۵-۲-۱- نامگذاری سنگ‌های آذرین منطقه براساس عناصر اصلی و کمیاب

سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی همواره با استفاده از روش‌های مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک نامگذاری می‌گردند. در برخی موارد، تغییرات بافت و دانه بندی، دگرسانی و حضور حفرات زیاد در سنگ مانع از تعیین نام صحیح سنگ می‌شود. لذا نامگذاری پتروگرافی از طریق مقایسه با تجزیه شیمیایی سنگ‌ها باعث افزایش دقت و جلوگیری از خطای احتمالی خواهد بود و در بسیاری موارد، نامگذاری پتروگرافی و شیمیایی با یکدیگر مطابقت دارند. یکی از مفیدترین روش‌های طبقه‌بندی سنگ‌ها، نمودار میدل‌موست (Middlemost, 1994) براساس تغییرات میزان سیلیس ( $\text{SiO}_2$ ) درمقابل مجموعه آلکالی ( $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ ) است که براساس این رده-بندی، سنگ‌های آتشفشانی در برگزیده کانسار هجیب در محدوده آندزیت‌بازالتی، ریولیت و داسیت-تراکی داسیت قرار می‌گیرند (شکل ۵-۱-الف).

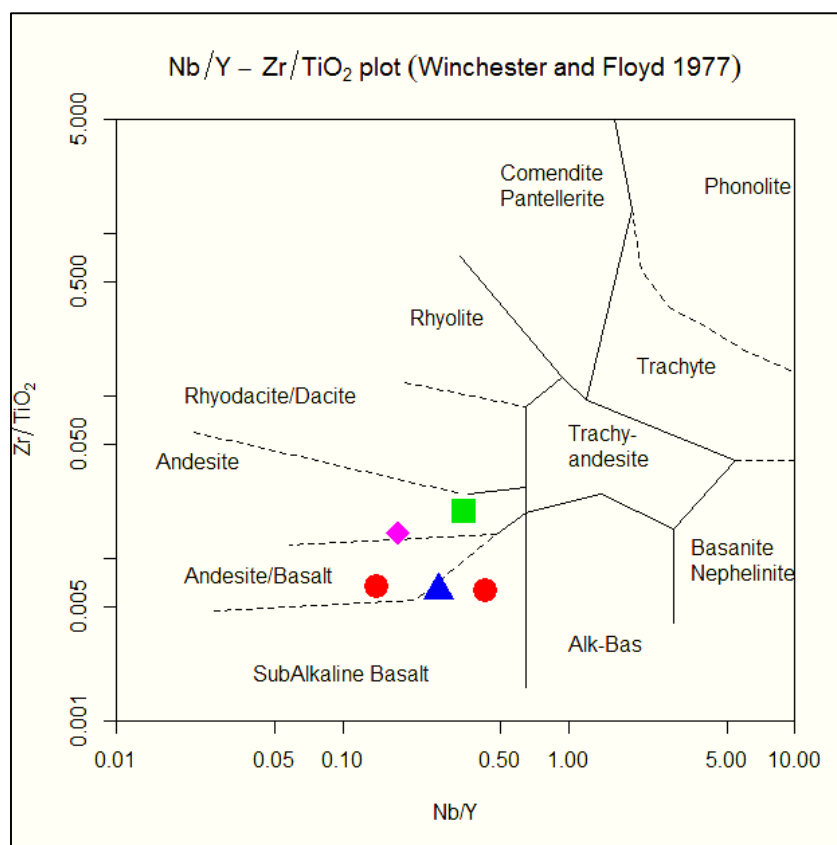


شکل ۵-۱. طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین منطقه با استفاده از نمودار (Middlemost, 1994).

این رده‌بندی برای سنگ‌های غنی از پتاسیم و سنگ‌های پرمیزیم که دگرسان شده یا متحمل دگرگونی شده اند مناسب نیست زیرا این فرآیندها باعث تحرک قلیایی‌ها می‌شود (Rollinson et al., 2005). اگرچه سعی



شد نمونه‌های دارای کمترین دگرسانی برداشت شود ولی با توجه به گسترش دگرسانی در منطقه به منظور تعیین ترکیب و ماهیت سنگ‌های مورد نظر از نمودارهای دیگر نیز استفاده شد. نمودار وینچستر و فلوید (Winchester and Floyd, 1977) بر مبنای میزان تغییرات Nb/Y در مقابل  $Zr/TiO_2$  نامگذاری سنگ‌ها را انجام می‌دهد (شکل ۲-۵). در این نمودار سنگ‌های آتشفشانی منطقه ترکیبی از سنگ‌های آندزیت، بازالت و بازالت‌های ساب آلكالن را شامل می‌شوند (شکل ۲-۵).

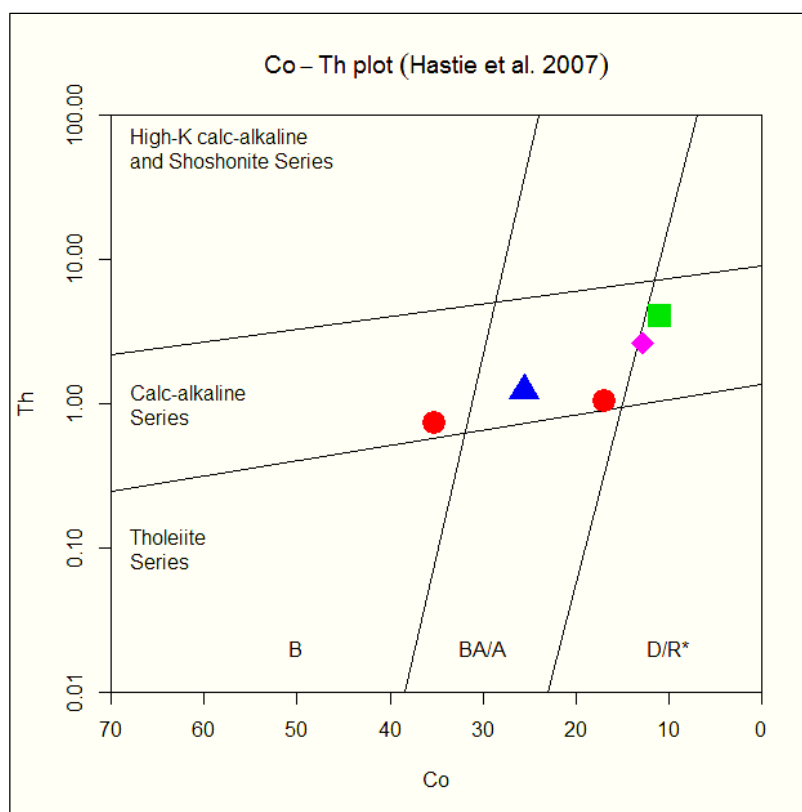


شکل ۲-۵. طبقه‌بندی سنگ‌های خروجی منطقه با استفاده از نمودارهای (Winchester and Floyd, 1977).

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

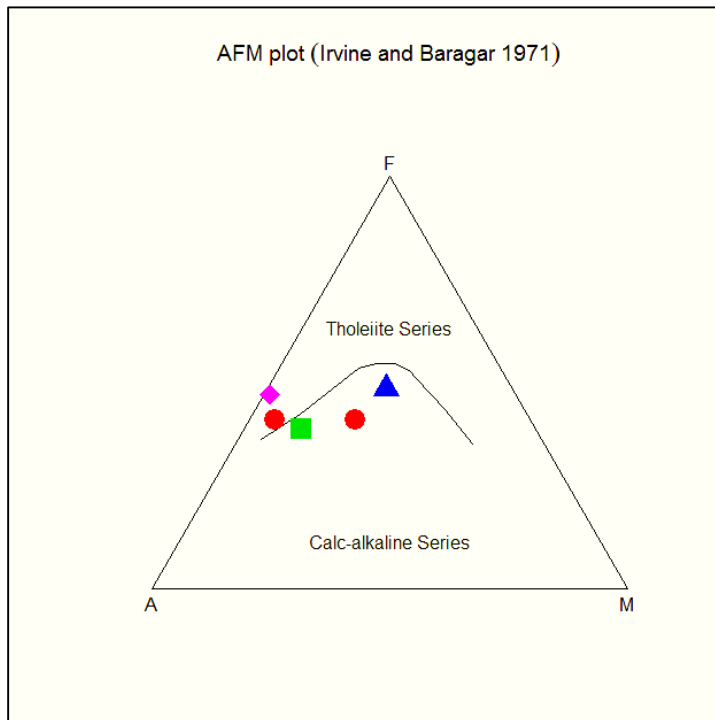
به طور کلی سنگ‌های آذرین با توجه به منشأ و شرایط تشکیل به سری‌های ماگمایی مختلفی تعلق دارند و مؤلفین مختلف بر اساس ویژگی‌های زمین‌شیمیایی، نام‌های متفاوتی را به آن‌ها اختصاص داده‌اند. در این مبحث با استفاده از نمودارهای رایج سعی می‌شود سری‌های ماگمایی نمونه‌های مورد مطالعه مشخص شود.

برای تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آذرین منطقه از نمودار دو متغیره هاستی و همکاران (Hastie et al., 2007) که براساس مقادیر Co و Th ارائه شده است، استفاده شده است. از نظر ماهیت زمین‌شیمیایی سنگ‌های منطقه در محدوده کالک‌آلکان قرار می‌گیرند (شکل ۳-۵). ماگماهای کالک‌آلکان حاصل اختلاط ماگماهای منشاء گرفته از گوشته و پوسته هستند (Tatsumi and Takahashi, 2006).



شکل ۳-۵. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی منطقه با استفاده از نمودار (Hastie et al, 2007).

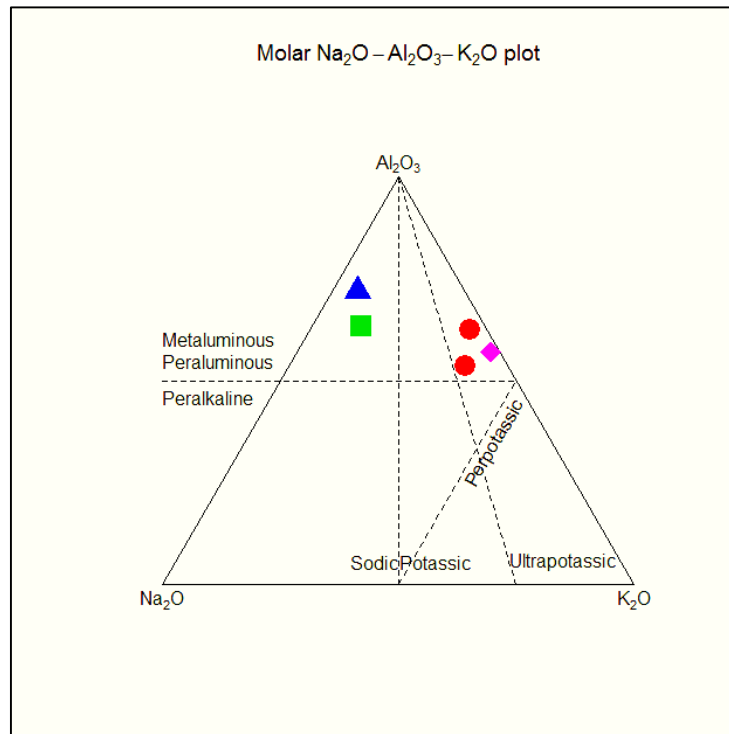
همچنین برای تعیین میزان آلکالینیته نمونه‌ها از نمودار ایروین و باراگار (Irvine and Baragar, 1971) یا نمودار AFM استفاده شده است. این نمودار برای جدایش سری کالک‌آلکان از سری تولئیتی کاربرد دارد. براساس نتایج حاصل از این نمودار، نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه در محدوده ماگماهای کالک‌آلکان و تولئیتی قرار می‌گیرند (شکل ۴-۵ الف).



شکل ۵-۴. تعیین سری ماگمایی سنگ‌های آتشفشانی با استفاده از نمودار AFM (Irvin and Baragar, 1971).

### ۵-۲-۲-۳- بررسی میزان آلومینیم در تعیین نوع سنگ‌های آذرین

درجه‌ی اشباع‌شدگی از آلومینیم در تعیین نوع سنگ‌های آذرین، با استفاده از نسبت‌های مولکولی  $K_2O$ ،  $Al_2O_3$  و  $Na_2O$  امکان‌پذیر می‌باشد. بر این اساس، سنگ‌های آذرین به گروه‌های پرآلومینیوم  $Al_2O_3 > Na_2O + K_2O + CaO$ ، کم‌آلومینیوم و پرآلکالن  $Al_2O_3 < Na_2O + K_2O + CaO$ ، آلومینیم متوسط  $Al_2O_3 < Na_2O + K_2O + CaO$  تقسیم می‌شوند. با توجه به نمودار  $K_2O - Na_2O - Al_2O_3$  سنگ‌های آذرین محدوده کانسار هجیب در محدوده متآلومین تا پرآلومین قرار می‌گیرند (شکل ۵-۵).

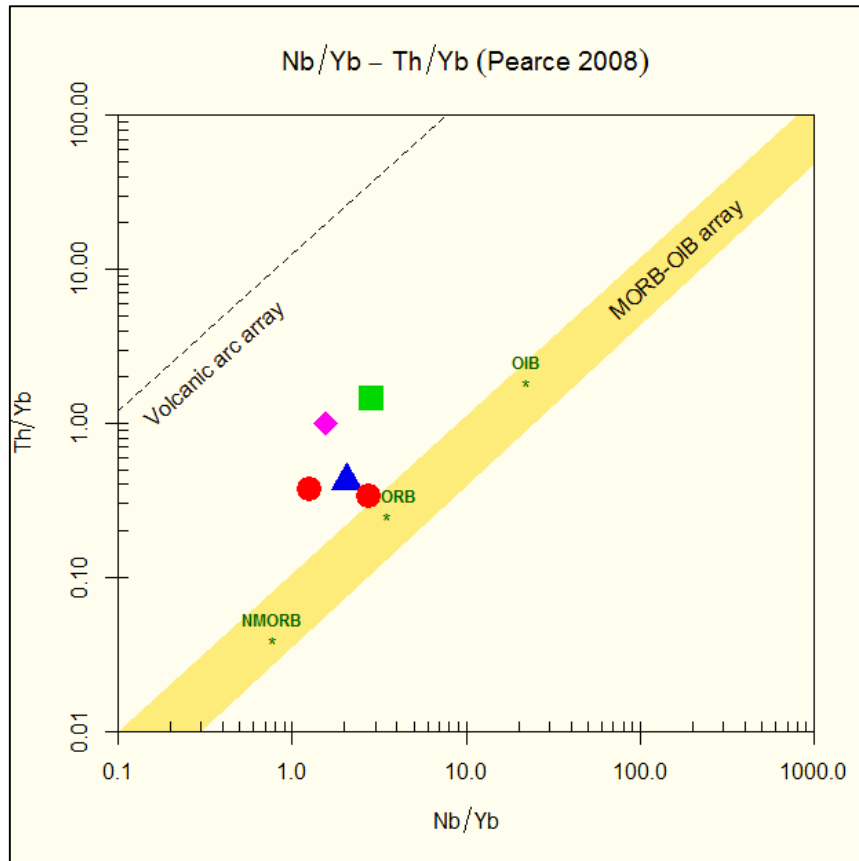


شکل ۵-۵. موقعیت قرارگیری نمونه‌های سنگی منطقه بر روی دیاگرام سه تایی  $Al_2O_3-Na_2O-K_2O$  برای تعیین درجه اشباع-شستگی ماگما از آلومینیوم.

#### ۵-۲-۲-۴- تقسیم‌بندی ژنتیکی و موقعیت تکتونیکی

یکی از عواملی که در تعیین انواع مختلف تیپ‌های کانساری از اهمیت خاصی برخوردار است، سری‌های ماگمایی می‌باشد و با توجه به اینکه موقعیت تکتونیکی در تعیین نوع و سری ماگمایی دخالت ویژه‌ای دارد، لذا شناخت و شناسایی نوع محیط تکتونیکی، یکی از اهداف اصلی در هر منطقه به شمار می‌رود. پژوهشگران بر اساس عناصر اصلی، فرعی و کمیاب مدل‌های مختلفی را برای درک موقعیت تشکیل سنگ‌های آذرین ارائه کرده‌اند. انواع مختلف پشته‌های میان‌اقیانوسی، با استفاده از شیمی بازالت، بهتر تشخیص داده می‌شوند، در حالی که تمایز میان انواع مختلف زون‌های برخوردی، با استفاده از زمین‌شیمی گرانیت بهتر انجام می‌گیرد. حاشیه‌های غیرفعال قاره‌ای توسط نبود فعالیت آذرین شناخته می‌شود و فقط با استفاده از شیمی سنگ‌های رسوبی می‌توان آن‌ها را تشخیص داد. جایگاه درون صفحه‌ای را می‌توان از روی شیمی بازالت‌ها و گرانیت‌ها هر دو تشخیص داد و جزایر کمانی را با استفاده از هر سه نوع تحلیل متمایز کننده‌ها می‌توان شناسایی کرد.

همچنین براساس نمودار  $Th/Yb$  نسبت به  $Nb/Yb$  که برای تعیین ویژگی‌های محل منشأ طراحی شده است، نمونه‌های مورد مطالعه دارای نسبت بالایی از  $Th/Yb$  می‌باشند و در محدوده کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرند (شکل ۵-۶). معمولاً نسبت‌های  $Th/Yb$  و  $Nb/Yb$  تحت تأثیر تبلور تفریقی یا ذوب بخشی قرار نمی‌گیرند. بنابراین فراوانی این عناصر می‌تواند نشان‌دهنده‌ی ترکیب سنگ منشأ ماگما و یا هضم سنگ‌های پوسته به وسیله‌ی ماگما باشد.

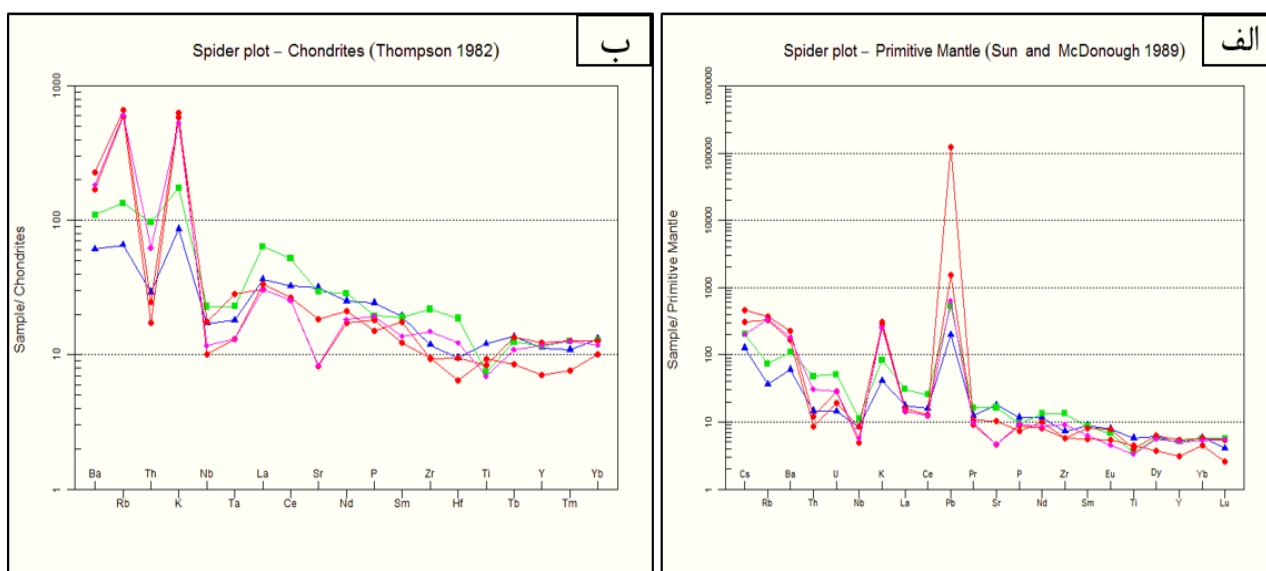


شکل ۵-۶. تعیین جایگاه تکتونیکی سنگ‌های منطقه مورد مطالعه با استفاده از نمودار (Pearce, 2008).

### ۵-۲-۲-۵- نمودارهای عنکبوتی

این نمودارها براساس مقادیر عناصر کمیاب نسبت به ترکیب گوشته اولیه یا شهاب‌سنگ کندریتی تعدیل می‌شوند و براساس آنها می‌توان درجه تفریق یا ذوب بخشی هر سنگ را از یک الگوی توزیع اولیه (یا نرم اولیه) مطرح کرد. به طور کلی جهت به‌هنجار کردن داده‌های عناصر کمیاب از ترکیب تخمینی گوشته اولیه و متئوریت-های کندریتی استفاده می‌شوند (Rollinson, 1993). در این نمودارها از به‌هنجارسازی فراوانی عناصر خاکی

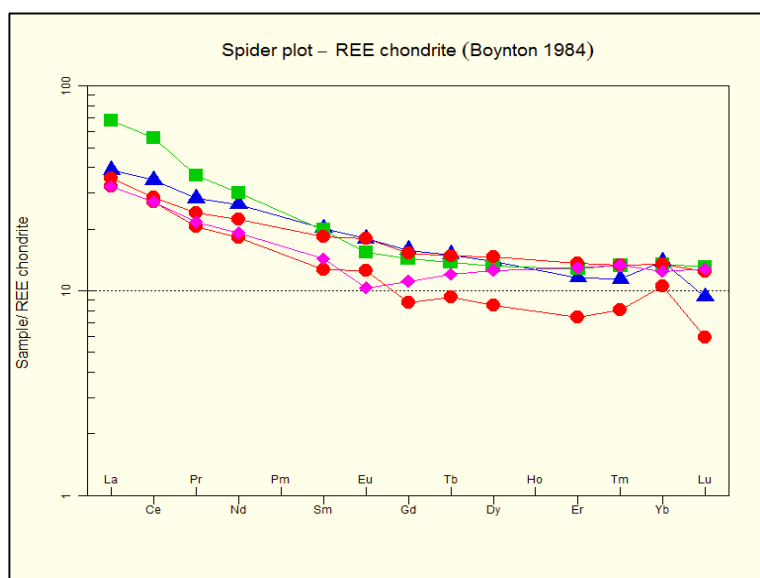
کمیاب نسبت به فراوانی این عناصر در یک سری نمونه‌های استاندارد خاص استفاده می‌شود (Rollinson, 1993). به منظور بررسی الگوی تغییرات عناصر خاکی کمیاب، نمونه‌های سنگی منطقه مورد مطالعه نسبت به کندریت (Thompson, 1982) و گوشته اولیه (Sun and McDonough, 1989) به‌هنجار شده‌اند (شکل ۵-۷). در هر دو نمودار الگوی عناصر خاکی کمیاب آن‌ها با یکدیگر موازی و هماهنگ می‌باشند. در نتیجه باید مقادیر عناصر خاکی کمیاب و نسبت‌های آن‌ها در یک سری سنگی، به طور ثابت و پیوسته تغییر کند. موازی بودن الگوی عناصر در سنگ‌های منطقه و نتایج بدست آمده از بخش‌های قبلی نیز تاییدکننده این امر بوده و بر منشأ واحد این سنگ‌ها دلالت دارند. برطبق این نمودارها (شکل‌های ۵-۷ الف و ب)، سنگ‌های منطقه مورد مطالعه از عناصر Pb، Cs، K و U غنی‌شدگی و از Nb، Ce، Ti و Hf تهی‌شدگی نشان می‌دهند. غنی‌شدگی از عناصر Sr، K و Pb شاهد خوبی برای آلیش پوسته‌ای ماگمای سازنده است. افزایش قابل‌ملاحظه در عنصر سرب و نیز کاهش نئوبوم که از ویژگی‌های سنگ‌های قاره‌ای و شاخص‌های محیط‌های فرورانش پوسته قاره‌ای است، ممکن است معرف آلیش ماگمایی توسط سنگ‌های پوسته‌ای (بخش زیرین پوسته قاره‌ای) باشد (Rollinson, 1993). تهی‌شدگی Ti و Nb از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای داخل صفحات لیتوسفری می‌باشد.



شکل ۵-۷. الگوی عناصر کمیاب نمونه‌های مورد مطالعه که الف) نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun, 1995). ب) نسبت به کندریت (Thompson, 1982) نرمالیزه شده‌اند.

## ۵-۲-۲-۱- الگوی به‌هنجار شده عناصر خاکی کمیاب به کندریت

رفتار عناصر کمیاب خاکی بدلیل تغییرات بسیار کم شعاع یونی بیانگر فرایندهای مختلف آذرین از جمله تفریق ماگمایی می‌باشند. بررسی الگوی به‌هنجار شده‌ی عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها به طور نسبی از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) غنی و از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) تهی می‌باشند (شکل ۵-۸). یکی از ویژگی‌های مهم نمونه‌های منطقه، روند تدریجی تهی‌شدگی از سمت عناصر کمیاب خاکی سبک به انواع سنگین و عدم وجود تغییرات ناگهانی در شیب نمودارها است، که ویژگی شاخص ماگماهای مرزهای صفحات همگرا (Gue et al., 2006) و از ویژگی‌های سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکان کم‌ان حاشیه قاره‌ها است. در طی تفریق ماگمایی بعلت ناسازگاری عناصر کمیاب خاکی سبک نسبت به انواع سنگین، این عناصر در مذاب باقیمانده، غنی‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهند. در این نمودار عنصر Yb تا حدودی نسبت به سایر عناصر کمیاب خاکی سنگین تهی‌شدگی نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ناشی از خطای آنالیز است برای اینکه عناصر کمیاب خاکی سنگین عمدتاً رفتار همسانی در طول فرایندهای زمین-شناسی دارا هستند.



شکل ۵-۸. الگوی به‌هنجار شده عناصر کمیاب خاکی به کندریت (Boynton, 1984).

جدول ۵-۳. داده‌های گرفته شده از شرکت زرمش که شامل مقادیر عناصر اصلی و کمیاب (ppm) مربوط به ۲۸ نمونه کانسنگ است.

Element	X	Y	Au	Ag	Al	As	Ca	Cd	Ce	Co	Cr
HAB-01	425559	3936706	330	27.3	2418	519.8	1655	25.7	2	40	20
HAB-02	425559	3936706	1176	77.1	2035	308.7	2979	59.9	2	65	13
HAB-03	425652	3936822	771	4.4	1725	528.7	38154	11.4	5	143	17
HAB-04	426673	3936838	793	0.54	6191	58.1	3514	2.4	4	35	14
HAB-05	425423	3936724	427	10.4	3448	368.4	8182	46.9	4	61	19
HAB-06	425240	3936638	29	19.9	4120	60.9	3272	95.3	13	47	21
HAB-07	424949	3936037	3.75	19.3	1935	153.8	4036	80.7	4	13	26
HAB-08	425137	3935985	3.75	9.3	4042	224.1	68985	194.4	22	31	13
HAB-09	425534	3934831	150	11.4	3896	109.2	34002	4.9	13	15	30
HAB-10	426888	3935690	1609	1.8	2221	32.4	16600	0.74	5	16	11
HAB-11	426585	3936430	274	3.9	7743	75	11661	0.72	27	51	13
HAB-12	424739	3934468	10	35.7	1403	44.5	20276	7.3	10	19	13
HAB-13	425071	3936522	27	82.1	11859	99	35918	163.3	17	38	15
HAB-14	425392	3934793	341	36.1	2551	109.6	17421	3.9	5	17	17
HAB-15	425415	3934755	229	1.2	1423	151.9	23263	5	5	10	11
HAB-16	425372.19	3934836.2	44	24	5379	78	72435	3.5	8	9	16
HAB-17	424584.37	3934399.6	59	33.5	1703	405.8	23207	72.8	15	49	11
HAB-18	425316.66	3934666.3	554	12.4	3585	89.2	18328	35.7	4	74	17
HAB-19	425537.85	3934734.4	655	41.6	1798	58.1	13842	2.2	3	22	16
HAB-20	425885.36	3934995.1	1433	0.9	5290	145.6	3660	0.88	5	22	17
HAB-21	425516.16	3936904.1	8	39.4	2330	173.7	17585	48.2	4	26	9
HAB-22	425499.1	3936835.5	619	6.8	3318	50.4	25447	8.4	4	24	15
HAB-23	425542.74	3936842.2	541	21.6	1764	179.4	37505	64.2	5	59	11
HAB-24	425596.15	3936824.8	859	10.2	1641	720.9	40784	10	4	85	7
HAB-25	425605.85	3936824.4	1226	2.9	3047	108.1	38480	3.1	3	58	18
HAB-26	425666.1	3936844.4	2484	3.6	1510	223.3	57081	22	4	59	5
HAB-27	425720.36	3936830.9	130	2.3	6339	411	15187	3.1	2	148	16
HAB-28	425653.62	3936837.4	560	2.3	4176	134.7	67047	10.8	6	63	4
Element	X	Y	Cu	Fe	La	Li	Mg	Mn	Mo	Ni	P
HAB-01	425559	3936706	25759	56802	2	2	258	1283	33.9	6	285
HAB-02	425559	3936706	41610	63363	2	1	205	1867	36.7	5	307
HAB-03	425652	3936822	5970	31322	2	2	392	1905	3.32	5	95
HAB-04	426673	3936838	46224	133300	3	4	448	1225	39.3	6	583
HAB-05	425423	3936724	13707	46581	2	2	321	1408	5.82	6	176
HAB-06	425240	3936638	1112	38469	6	3	262	2489	2.48	7	143
HAB-07	424949	3936037	252	25343	2	1	405	2351	17.9	4	124
HAB-08	425137	3935985	177	64040	14	2	1870	10137	44.3	13	286
HAB-09	425534	3934831	4538	33515	6	3	1051	2442	39.1	4	200
HAB-10	426888	3935690	3254	46692	5	1	245	2084	2.13	6	82
HAB-11	426585	3936430	16561	86281	16	3	451	1729	172.3	9	546
HAB-12	424739	3934468	381	12839	5	1	657	1972	18.5	7	118
HAB-13	425071	3936522	1047	45932	8	6	7053	6827	3.48	12	535



<b>HAB-14</b>	425392	3934793	6739	39191	3	2	251	2069	10.6	7	137
<b>HAB-15</b>	425415	3934755	6436	37634	3	1	348	2041	2.03	4	159
<b>HAB-16</b>	425372.19	3934836.2	2034	42508	4	3	1014	2020	2	4	157
<b>HAB-17</b>	424584.37	3934399.6	22351	52535	9	1	376	4852	76.5	9	375
<b>HAB-18</b>	425316.66	3934666.3	24134	73825	3	2	394	15935	43.2	7	290
<b>HAB-19</b>	425537.85	3934734.4	14445	34191	2	1	300	2066	20.6	4	229
<b>HAB-20</b>	425885.36	3934995.1	29552	87151	4	3	460	2247	11.3	4	487
<b>HAB-21</b>	425516.16	3936904.1	10027	18563	2	1	290	1213	57.2	2	309
<b>HAB-22</b>	425499.1	3936835.5	7873	44653	2	3	410	2065	2.87	4	170
<b>HAB-23</b>	425542.74	3936842.2	4512	39745	3	1	445	2486	3.66	4	148
<b>HAB-24</b>	425596.15	3936824.8	20225	43950	2	1	1301	2088	2.97	3	352
<b>HAB-25</b>	425605.85	3936824.4	2176	42789	2	2	1691	2677	1.93	5	88
<b>HAB-26</b>	425666.1	3936844.4	4410	34011	2	1	399	2467	3.2	3	123
<b>HAB-27</b>	425720.36	3936830.9	18196	84514	2	5	647	3762	90.4	12	555
<b>HAB-28</b>	425653.62	3936837.4	3822	43008	3	2	598	4872	4.06	5	95
<b>Element</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>Pb</b>	<b>S</b>	<b>Sb</b>	<b>Sc</b>	<b>Th</b>	<b>V</b>	<b>Y</b>	<b>Yb</b>	<b>Zn</b>
<b>HAB-01</b>	425559	3936706	16507	1441	182.4	2.9	2.6	23	4	0.5	14451
<b>HAB-02</b>	425559	3936706	10647	3380	126.6	2.7	3.2	16	10	0.6	41758
<b>HAB-03</b>	425652	3936822	1371	1596	72.9	2.4	78	20	6	0.4	1225
<b>HAB-04</b>	426673	3936838	228	425	2.54	9.9	4.6	102	5	1.2	525
<b>HAB-05</b>	425423	3936724	5703	1030	42.8	2.5	35.1	19	8	0.5	11672
<b>HAB-06</b>	425240	3936638	34060	1300	3.49	4.2	11.2	52	8	0.5	41722
<b>HAB-07</b>	424949	3936037	16262	6375	3.44	2	11.5	24	2	0.3	39876
<b>HAB-08</b>	425137	3935985	7401	4348	5.16	14.4	26.8	145	17	1.5	37478
<b>HAB-09</b>	425534	3934831	9116	1329	17.5	3.5	45.6	456	6	1.2	1779
<b>HAB-10</b>	426888	3935690	959	1616	14.5	1.4	83.1	95	2	0.5	792
<b>HAB-11</b>	426585	3936430	525	3654	1.88	8.2	38.7	180	11	1.3	852
<b>HAB-12</b>	424739	3934468	40526	1815	30.7	2.3	2.3	13	4	0.3	1212
<b>HAB-13</b>	425071	3936522	25228	24644	74.4	14.9	8.5	144	13	1.3	60741
<b>HAB-14</b>	425392	3934793	20953	3910	21.1	3.4	39.5	87	4	0.6	945
<b>HAB-15</b>	425415	3934755	1420	2015	26.3	2.5	99.9	124	5	0.6	560
<b>HAB-16</b>	425372.19	3934836.2	53062	4335	2.77	3.6	3.9	78	6	0.7	1000
<b>HAB-17</b>	424584.37	3934399.6	33890	8799	159.8	6	17.4	77	14	1	11592
<b>HAB-18</b>	425316.66	3934666.3	16845	2348	3.2	4.2	71.3	70	7	0.9	18837
<b>HAB-19</b>	425537.85	3934734.4	6.4	8591	3.43	1.9	17.1	34	4	0.4	658
<b>HAB-20</b>	425885.36	3934995.1	656	1733	1.87	5.3	102.7	97	6	1	675
<b>HAB-21</b>	425516.16	3936904.1	61000	3819	82.7	2.1	40.6	18	4	0.3	8089
<b>HAB-22</b>	425499.1	3936835.5	2286	1736	25.5	3.3	91.9	30	4	0.5	1090
<b>HAB-23</b>	425542.74	3936842.2	7716	1540	32.6	3.4	111	26	7	0.5	11068
<b>HAB-24</b>	425596.15	3936824.8	3979	2221	53.7	2.9	77.7	23	5	0.5	1431
<b>HAB-25</b>	425605.85	3936824.4	2082	819	21.9	1.6	50.2	20	4	0.4	840

<b>HAB-26</b>	425666.1	3936844.4	1449	1346	43.4	3.1	114.9	22	6	0.5	941
<b>HAB-27</b>	425720.36	3936830.9	472	595	37.1	7.7	13.3	103	4	0.9	1144
<b>HAB-28</b>	425653.62	3936837.4	2118	1850	30.1	5.9	88.3	39	10	0.7	1354

### ۵-۳- ژئوشیمی محیط کانسنگ

هدف از اکتشافات ژئوشیمیایی به‌طور کلی، بررسی هاله‌های ژئوشیمی است. این امر در شناخت پتانسیل کانه‌زایی، تعیین مناسب‌ترین مکان‌ها برای عملیات حفاری، شناسایی و مشخص کردن نحوه‌ی پراکندگی عناصر در سطح و عمق، بررسی میزان همبستگی عناصر با هم و ... بسیار سودمند است. در این بخش، چگونگی پراکندگی، ارتباط و همبستگی ژئوشیمیایی عناصر بررسی می‌شود. با اطلاعات حاصل از نتایج ژئوشیمی کانسنگ می‌توان دید بهتر و صحیح‌تری نسبت به کانسار پیدا کرد. در محدوده هجیب بررسی‌های ژئوشیمیایی کانسنگ بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی ۲۸ نمونه‌ی کانسنگ از شرکت بازرگانی معدنی زرمش (جدول ۵-۳)، و همچنین تجزیه تعداد ۴ نمونه از رگه‌های حاوی کانه‌زایی، برای عناصر اصلی، کمیاب و کمیاب‌خاکی به روش ICP-OES و ICP-MS و برای طلا به روش Fire Assay استوار بوده است (جدول ۵-۴). برای این کانسار پارامترهای آماری (شامل مقادیر کمینه، بیشینه، میانگین و ...) عناصر طلا، نقره، آرسنیک، کادمیم، مس، آهن، منگنز، مولیبدن، سرب، گوگرد، آنتیموان و روی بر پایه داده‌های ژئوشیمیایی ۲۸ نمونه سنگ محاسبه شده و در جدول (۵-۵) داده شده است.

جدول ۵-۴. مقادیر عناصر اصلی، کمیاب و نادرخاکی (ppm) در ۴ نمونه کانسنگ به روش ICP-OES و ICP-MS و طلا (ppb) به روش Fire Assay.

Element	HB-GO-1	HB-GO-2	HB-GO-3	HB-GO-4	Element	HB-GO-1	HB-GO-2	HB-GO-3	HB-GO-4
Ag	12.2	7.7	73.6	61.9	Nb	0.75	1.8	0.75	0.75
Al	1.64%	2.66%	0.69	0.26	Nd	4.2	5.2	1.1	1.6
As	78	17.4	257	801	Ni	9	10	5	5
Au	77	414	917	362	P	277	138	162	171
Ba	0.41%	0.54%	0.09%	0.27%	Pb	4568	822	2.11%	2.57%
Be	7.4	1	1.6	3	Pr	0.95	1.47	0.22	0.33
Bi	25.4	45.3	92.7	79.9	Rb	47	30	6	5
Ca	2.08	2.15	0.42	0.95	S	2238	1422	4531	2800
Cd	11.2	3.6	10.5	21.8	Sb	100	13.4	181	274

Ce	7	13	۰.۷۵	۰.۷۵	Sc	5.4	3.1	1.6	0.7
Co	21.9	18.6	53.9	139.1	Se	10.27	7.37	23.03	5.39
Cr	62	28	37	33	Si	37.12	34.68	37.08	40.69
Cs	1.2	0.8	0.7	0.6	Sm	1.48	1.61	0.33	0.73
Cu	9627	2132	36923	7078	Sn	0.6	1.5	0.5	0.5
Dy	1.66	1.28	1.09	1.05	Sr	332.2	127.2	106	120
Er	0.89	0.69	0.51	0.43	Ta	0.075	0.12	0.13	0.075
Eu	0.73	0.66	0.16	0.36	Tb	0.27	0.21	0.17	0.18
Fe	3.87	8.31	5.32	2.52	Te	0.11	0.075	0.075	0.075
Gd	0.87	0.53	0.11	0.22	Th	0.28	3.75	0.075	0.075
Hf	0.4	0.83	0.4	0.4	Ti	838	399	9	9
In	0.4	0.4	0.51	0.4	Tl	0.59	0.18	0.2	0.21
K	11439	9292	304	162	Tm	0.17	0.16	0.12	0.12
La	4	9	1	1	U	3.4	1.8	1.8	0.66
Li	20	29	32	24	V	109	53	26	18
Lu	0.075	0.11	0.075	0.075	W	9.3	140.8	11.1	3.9
Mg	468	423	235	223	Y	8.7	6.3	7	5.6
Mn	6791	3923	693	930	Yb	0.3	0.3	0.2	0.15
Mo	8.3	5.1	23.3	8.9	Zn	2266	1051	8271	9407
Na	424	424	250	269	Zr	21	28	4	4

نام و علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های کانسنگ در جدول زیر آورده شده است:

جدول ۵-۵. علائم به کار رفته برای هر کدام از نمونه‌های کانسنگ.

HB-GO-4	HB-GO-3	HB-GO-2	HB-GO-1	شماره نمونه
				علامت
آندزیت	لیتیک توف	توف آندزیتی	ماسه سنگ توفی	نام سنگ

جدول ۵-۶. پارامترهای آماری عناصر بر پایه داده های ژئوشیمیایی ۲۸ نمونه کانسنگ.

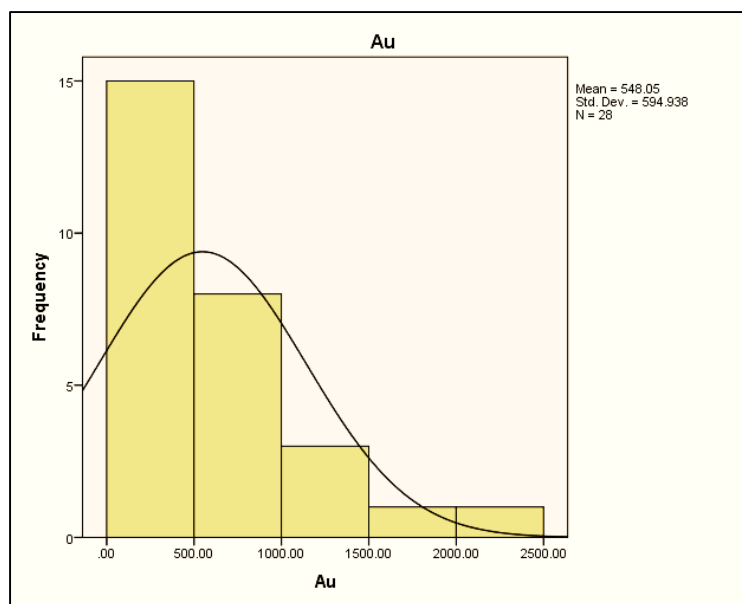
Statistics	Au	Ag	As	Cd	Cu	Fe	Mn	Mo	Pb	S	Sb	Zn	
	N	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Mean	548.05	19.36	200.80	35.27	12054.43	50098.11	3234.96	26.85	13445.26	3521.79	40.14	11225.25	
Median	384.00	10.90	140.15	10.40	6587.50	43479.00	2086.00	10.95	6552.00	1832.50	25.90	1289.50	
Mode	3.75	2.30	58.10	3.10	177.0 <sup>a</sup>	12839.0 <sup>a</sup>	1213.0 <sup>a</sup>	1.93 <sup>b</sup>	6.4 <sup>b</sup>	425.0 <sup>a</sup>	1.87 <sup>b</sup>	525.0 <sup>b</sup>	
Variance	353951.19	460.58	30915.34	2435.55	155972209.14	618334072.62	9786112.70	1394.90	285299376.00	21801442.99	2266.05	284499263.38	
Skewness	1.59	1.68	1.49	2.01	1.32	1.58	3.10	2.54	1.53	3.74	1.81	1.68	
Kurtosis	2.91	2.77	1.66	4.01	1.25	3.53	10.43	7.94	1.63	16.20	2.89	1.83	
Minimum	3.75	0.54	32.40	0.72	177.00	12839.00	1213.00	1.93	6.40	425.00	1.87	525.00	
Maximum	2484.00	82.10	720.90	194.40	46224.00	133300.00	15935.00	172.30	61000.00	24644.00	182.40	60741.00	
Percentiles	25	47.75	3.08	75.75	3.20	2445.50	35051.75	1921.75	3.03	1383.25	1369.75	3.45	874.25
	50	384.00	10.90	140.15	10.40	6587.50	43479.00	2086.00	10.95	6552.00	1832.50	25.90	1289.50
	75	787.50	31.95	287.55	56.98	19717.75	61722.75	2630.00	39.25	19926.00	3887.25	51.13	13756.25

### ۵-۳-۱- تحلیل های ژئوشیمیایی تک متغیره

در این بخش به توصیف جداگانه ویژگی های ژئوشیمیایی عناصر مهم طلا، نقره، مس، آهن، مولیبدن، سرب، و روی بر پایه داده های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه پرداخته خواهد شد.

#### ➤ عنصر طلا (Au)

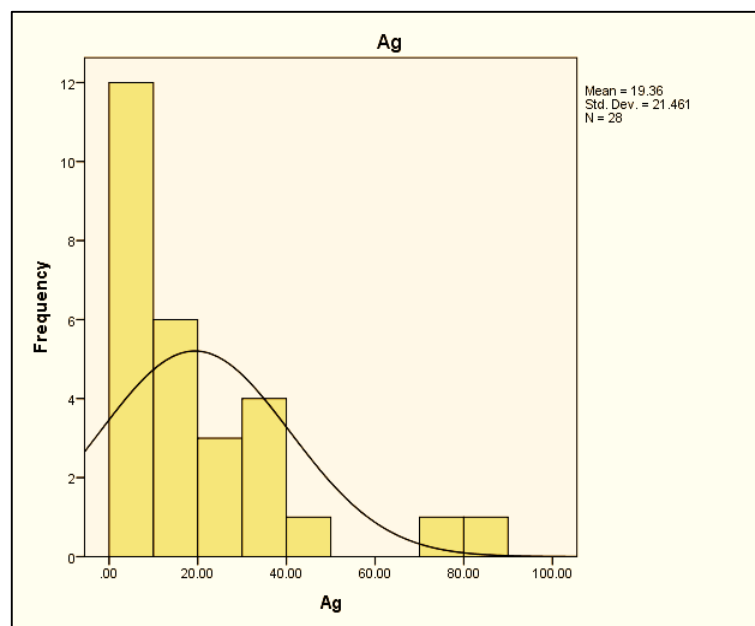
بررسی آماری عنصر طلا به عنوان عنصر با ارزش در کانسارهای پلی متال حائز اهمیت می باشد. فراوانی پوسته ای طلا ۴ ppb و حداکثر تمرکز این عنصر در کانسارهای رگه ای ۱۰۰۰ ppb می باشد. در کانسار هجیب، پارامترهای آماری عنصر طلا برای ۲۸ نمونه محاسبه شده، و در قالب جدول (۵-۶) ارائه شده است. بر اساس داده های لیتوژئوشیمیایی حاصل از این نمونه ها مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه طلا به ترتیب ۳/۷۵، ۵۴۸/۰۵ و ۲۴۸۴ میلی گرم در تن است. مقادیر غلظت های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۴۷/۷۵، ۳۸۴ و ۷۸۷/۵۰ میلی گرم در تن می باشد. نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت طلا بر پایه ی داده های ژئوشیمیایی مربوط به این ۲۸ نمونه در شکل (۵-۹) نشان داده شده است. توزیع فراوانی عیار طلا در این نمودار ماهیت لاگ نرمال با چولگی مثبت دارد که بیان از نمونه های عیار بالا با فراوانی اندک می باشد این به این مفهوم است که در تعداد محدودی از نمونه ها کانه زایی طلا عیار بالا صورت گرفته است.



شکل ۵-۹. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده های عنصر طلا (ppb).

## ➤ عنصر نقره (Ag)

بررسی آماری عنصر نقره به عنوان عنصر جانبی در کانسارهای پلی متال حائز اهمیت می باشد. فراوانی پوسته‌ای عنصر نقره ۰/۰۷۵ ppm و حداکثر تمرکز این عنصر در کانسارهای رگه‌ای ۲۰ gr/ton می باشد. در کانسار هجیب، پارامترهای آماری نقره برای ۲۸ نمونه محاسبه شده، و در قالب جدول (۵-۶) ارائه شده است. بر اساس داده های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه نقره به ترتیب ۰/۵۴، ۱۹/۳۶ و ۸۲/۱۰ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۳/۰۸، ۱۰/۹۰ و ۳۱/۹۵ گرم در تن می باشد. نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت جیوه بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به این ۲۸ نمونه در شکل (۵-۱۰) نشان داده شده است. توزیع فراوانی عیار نقره در این نمودار ماهیت لاگ نرمال با چولگی مثبت دارد که بیان از نمونه‌های عیار بالا با فراوانی اندک می باشد این به این مفهوم است که در تعداد محدودی از نمونه‌ها کانه‌زایی نقره عیار بالا صورت گرفته است.

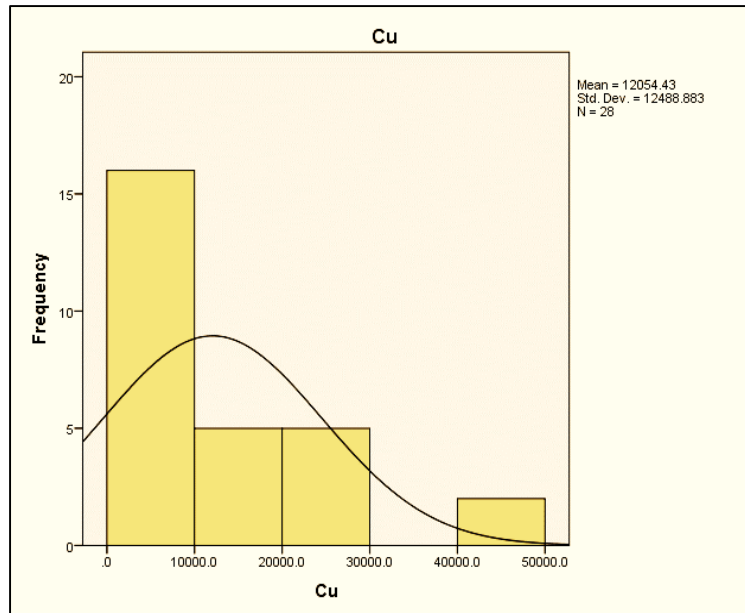


شکل ۵-۱۰. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر نقره (ppm).

## ➤ عنصر مس (Cu)

بررسی آماری عنصر مس به عنوان عنصر اصلی در کانسارهای پلی متال حائز اهمیت می باشد. فراوانی پوسته‌ای مس ۶۰ ppm و حداکثر تمرکز این عنصر در کانسارهای رگه‌ای ۶۰۰۰ ppm می باشد. در کانسار هجیب مس

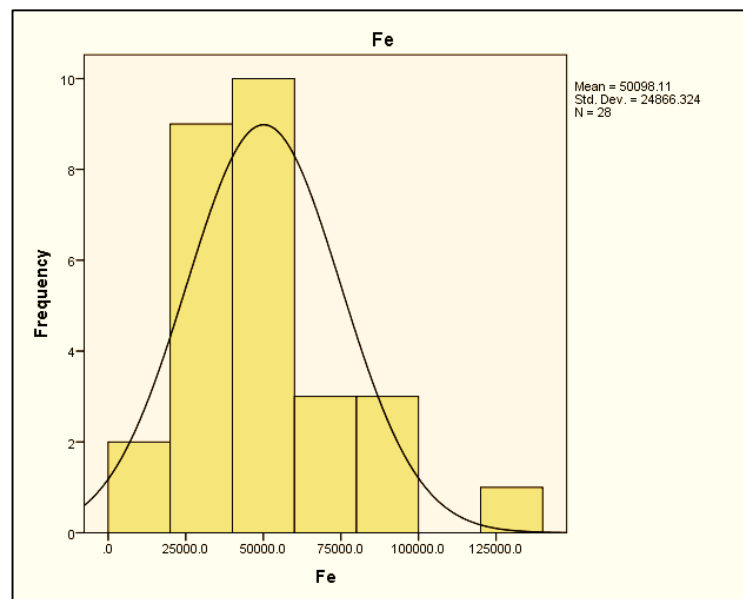
مهمترین عنصر کانسارساز است که به صورت کانه‌های کالکوپیریت، کالکوسیت، کوولیت، مالاکیت و آزوریت دیده می‌شود. برای محدوده مورد مطالعه پارامترهای آماری عنصر مس برای ۲۸ نمونه محاسبه شده، و در قالب جدول (۵-۶) ارائه شده است. بر اساس داده‌های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه مس به ترتیب ۱۷۷، ۱۲۰۵۴/۴۲ و ۴۶۲۲۴ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۲۴۴۵/۵، ۶۵۸۷/۵۰ و ۱۹۷۱۷/۷۵ گرم در تن می‌باشد. نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت مس بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی مربوط به این ۲۸ نمونه در شکل (۵-۱۱) نشان داده شده است. توزیع فراوانی عیار مس در این نمودار حالت دو جامعه‌ای دارد که بیان از وجود از رگه‌های کانه‌زایی با ترکیب کانی‌شناسی و عیار مس متفاوت می‌باشد. به طوریکه در فصل کانه‌زایی نیز اشاره گردید، رگه‌های کانه‌دار در منطقه هجیب شامل رگه‌های کوارتز-باریت، کوارتز مس‌دار، کوارتز-کلسیت مس‌دار و اکسیدهای آهن می‌باشد که دارای مقادیر مختلفی از مس هستند و همین مسئله سبب چند جامعه‌ای شدن عنصر مس شده است.



شکل ۵-۱۱. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر مس (ppm).

## ➤ عنصر آهن (Fe)

فراوانی پوسته‌ای آهن ۵/۶٪ و حداکثر تمرکز این عنصر در کانسارهای رگه‌ای ۵۰٪ می‌باشد. در کانسار هجیب آهن از جمله عناصر همراه و مهم است که به صورت کانه‌های هماتیت، اولیژیست، گوتیت، لیمونیت و پیرولوژیت دیده می‌شود. پارامترهای آماری آهن در محدوده هجیب برای نمونه‌ها محاسبه شده و در قالب جدول (۵-۶) ارائه شده است. براساس داده‌های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه گرفته شده از ترانشه‌ها مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه آهن به ترتیب ۱۲۸۳۹، ۵۰۰۹۸/۱۰ و ۱۳۳۳۰۰ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۳۵۰۵۱/۷۵، ۴۳۴۷۹ و ۶۱۷۲۹ گرم در تن می‌باشد. نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت آهن بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی نمونه‌ها در شکل (۵-۱۲) نشان داده شده است. توزیع فراوانی عیار آهن در این نمودار ماهیت تقریباً نرمال دارد که بیان از عدم کانه‌زایی آهن در منطقه می‌باشد.



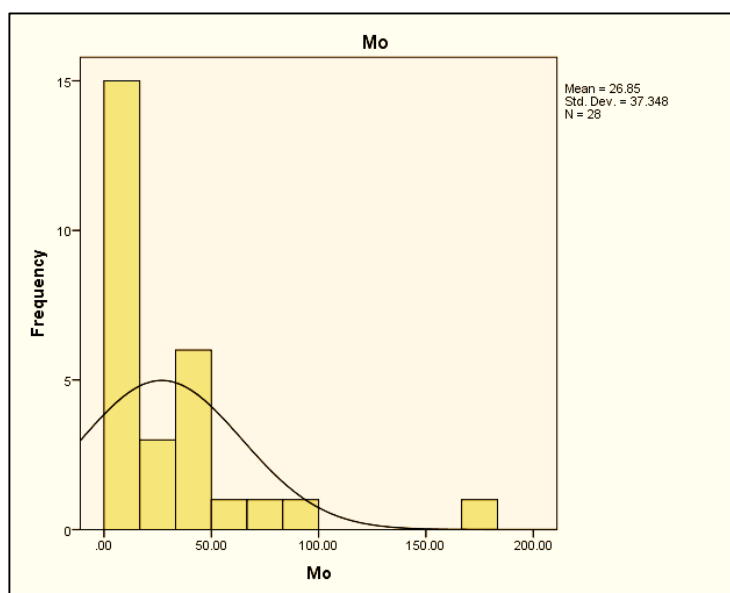
شکل ۵-۱۲. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر آهن (ppm).

## ➤ عنصر مولیبدن (Mo)

مولیبدن یکی دیگر از عناصر نشانه و مهم در کانسارهای پلی‌متال است. فراوانی پوسته‌ای مولیبدن ۱/۲ ppm و حداکثر تمرکز این عنصر در کانسارهای رگه‌ای ۵۰۰ ppm می‌باشد. پارامترهای آماری مولیبدن در محدوده



هجیب بر روی داده‌های گرفته‌شده از شرکت محاسبه شده، و در قالب جدول (۵-۵) ارائه شده است. براساس داده‌های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه از ترانسه‌های موجود در منطقه مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه مولیبدن به ترتیب ۱/۹۳، ۲۶/۸۵ و ۱۷۲/۳۰ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۳/۳، ۱۰/۹۵ و ۳۹/۲۵ گرم در تن می‌باشد (جدول ۵-۶). نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت مولیبدن بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی ترانسه‌ها در شکل (۵-۱۳) نشان داده شده است. توزیع فراوانی عیار مولیبدن در این نمودار ماهیت لاگ نرمال با چولگی مثبت دارد که بیان از نمونه‌های عیار بالا با فراوانی اندک می‌باشد این به این مفهوم است که در تعداد محدودی از نمونه‌ها عنصر مولیبدن غنی شدگی دارد.

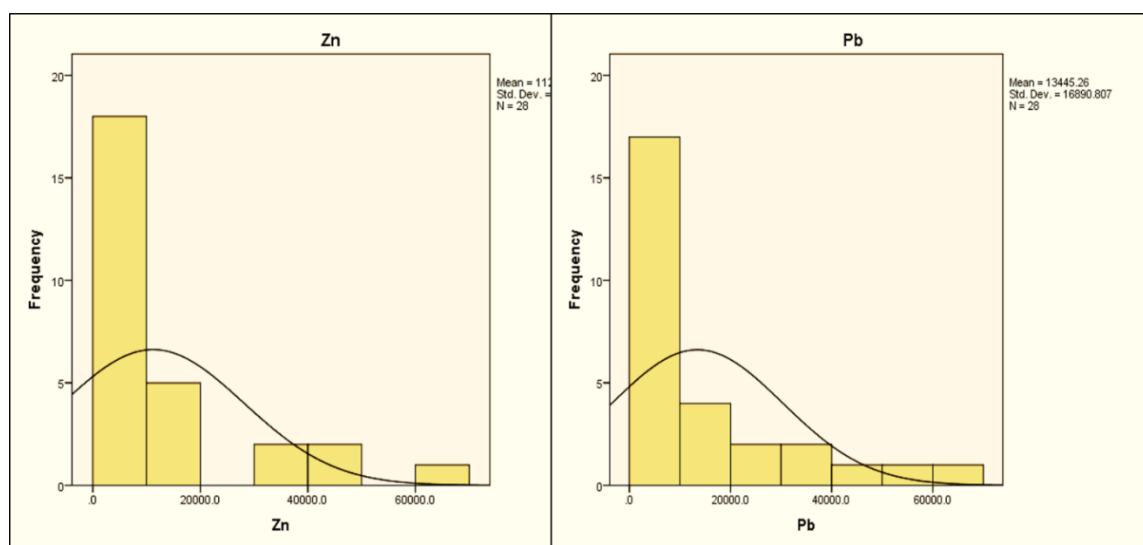


شکل ۵-۱۳. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عنصر مولیبدن (ppm).

### ➤ عنصر سرب (pb) و روی (Zn)

سرب و روی از عناصر نشانه و ردیاب در کانسارهای پلی‌متال هستند. فراوانی پوسته‌ای سرب ۱۴ ppm و فراوانی پوسته‌ای عنصر روی برابر با ۷۰ ppm است همچنین حداکثر تمرکز این عناصر در کانسارهای رگه‌ای به ترتیب برابر با ۳۰,۰۰۰ ppm و ۵۰,۰۰۰ ppm می‌باشد. پارامترهای آماری این دو عنصر در محدوده هجیب در قالب جدول (۵-۶) ارائه شده است. براساس داده‌های لیتوژئوشیمیایی ۲۸ نمونه از ترانسه‌های موجود در منطقه

مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه سرب به ترتیب ۶/۴۰، ۱۳۴۴۵/۲ و ۶۱۰۰۰ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۱۳۸۳/۲، ۶۵۵۲ و ۱۹۹۲۶ گرم در تن می‌باشد. همچنین مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه روی به ترتیب ۵۲۵، ۱۱۲۲۵ و ۶۰۷۴۱ گرم در تن است. مقادیر غلظت‌های معادل ۲۵، ۵۰ و ۷۵ درصد فراوانی تجمعی این عنصر به ترتیب ۸۷۴/۲۵، ۱۲۸۹/۵ و ۱۳۷۵۶/۲ می‌باشد. نمودار هیستوگرام فراوانی مقادیر غلظت سرب و روی بر پایه‌ی داده‌های ژئوشیمیایی ترانسه‌ها در شکل (۱۴-۵) نشان داده شده است.



شکل ۵-۱۴. نمودارهای توزیع فراوانی مقادیر مطلق داده‌های عناصر سرب و روی (ppm).

### ۵-۳-۲- تحلیل‌های ژئوشیمیایی چند متغیره

روش‌های چند متغیره، امکان آنالیز آماری همزمان چندین متغیر را فراهم می‌کند. از پارامترهای آماری چند متغیره می‌توان به بررسی‌های دو متغیره (ضریب همبستگی)، گروه‌بندی خوشه‌ای، تحلیل عاملی، تحلیل ویژگی، آنالیز تمایز و ... اشاره کرد. در این پژوهش، به بررسی ضریب همبستگی بین عناصر و تحلیل خوشه ای داده‌های ژئوشیمی ۲۸ نمونه کانسنگ (جدول ۵-۳) پرداخته می‌شود.

## ۵-۳-۲-۱- ضریب همبستگی و ارتباط ژئوشیمیایی بین عناصر

وضعیت توزیع و پراکندگی عناصر مختلف در واحدهای سنگی یک کانسار و بررسی ارتباط و وابستگی این عناصر با یکدیگر، از مهمترین موارد در بررسی‌های ژئوشیمیایی جهت تشخیص فرایندهای مؤثر در تشکیل کانسار است (Barnes, 1997). شناخت ارتباط متقابل بین عناصر می‌تواند در درک شرایط محیطی، تفسیر دقیق از محیط‌های ژئوشیمیایی، شناخت بهتر کانه‌زایی منطقه و حتی در معرفی مناطق امید بخش معدنی کمک شایانی بنماید. به منظور بررسی همبستگی آماری بین متغیرهای کانه‌ساز با یکدیگر در منطقه مورد مطالعه از ماتریس همبستگی رتبه‌ای- پیرسون در محیط نرم‌افزار SPSS-21 استفاده شده است که نتایج آن به صورت ماتریس ضرایب همبستگی در جدول (۵-۷) آورده شده است. ضریب همبستگی بین دو عدد ۱- و ۱+ متغیر است. وجود همبستگی مثبت بیشتر از ۰/۵+ نشان‌دهنده خروج یا ورود دو عنصر از یک محیط و یا معرف منشاء یکسان دو عنصر است. همبستگی منفیکمتر از ۰/۵- نشان‌دهنده ارتباط معکوس دو عنصر با یکدیگر می‌باشد. به این معنی که ورود یک عنصر به یک محیط، همزمان با خروج دیگری صورت می‌پذیرد و یا دو عنصر از دو منبع جدا از یکدیگر مشتق شده‌اند. اعداد ۰/۵+ تا صفر و ۰/۵- تا صفر نشان از همبستگی ضعیف یا عدم همبستگی بین زوج عناصر دارد. همان‌گونه که از داده‌های جدول پیدا است مس با آهن، سرب با روی، آرسنیک با آنتیموان و کادمیم با روی همبستگی مثبت متوسط نشان می‌دهند. همچنین طلا با مس و آهن همبستگی مثبت متوسط و با عنصر کادمیم و سرب همبستگی منفی متوسط دارد. عنصر نقره نیز همبستگی خوبی با عناصر سرب، روی، گوگرد و کادمیم از خود نشان می‌دهد.

جدول ۵-۷. مقادیر ضرایب همبستگی به روش پیرسون بر پایه‌ی لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی در ۲۸ نمونه محدودده هجیب.

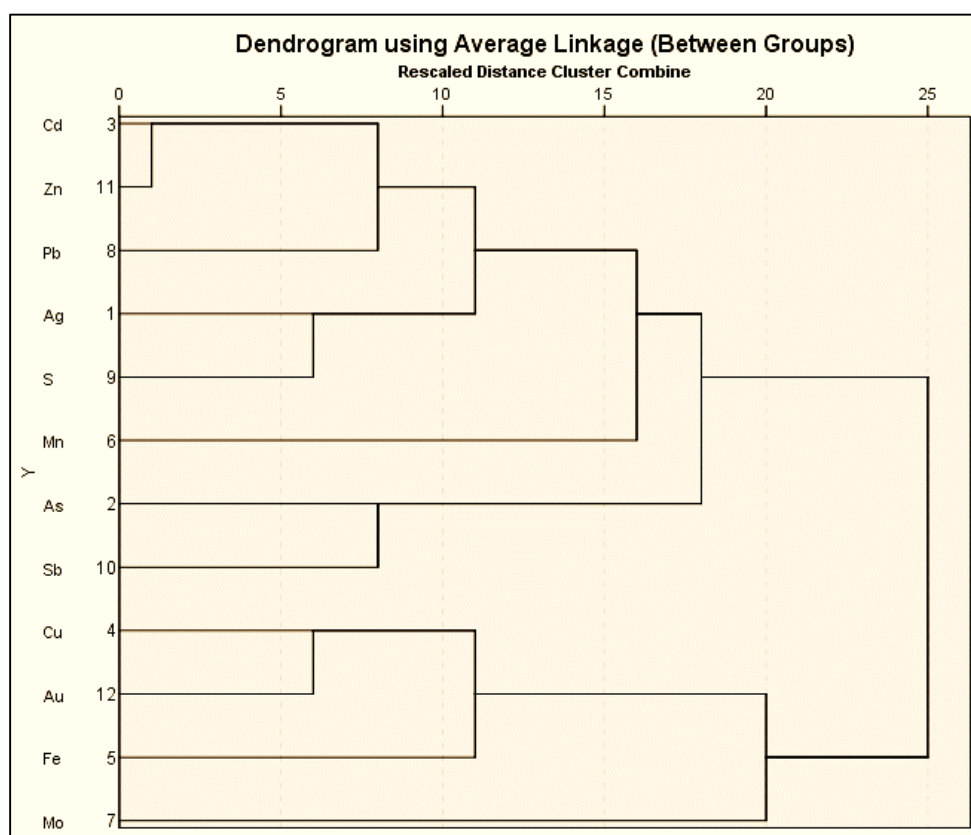
<b>Au</b>	1											
<b>Ag</b>	-0.45	1										
<b>As</b>	0.06	0.09	1									
<b>Cd</b>	<b>-0.50</b>	<b>0.58</b>	0.38	1								
<b>Cu</b>	<b>0.66</b>	-0.20	0.29	-0.33	1							
<b>Fe</b>	0.40	-0.46	0.10	-0.23	<b>0.54</b>	1						
<b>Mn</b>	-0.21	0.09	-0.01	0.38	-0.28	0.21	1					
<b>Mo</b>	-0.28	0.15	0.14	0.03	0.30	0.30	0.10	1				
<b>Pb</b>	<b>-0.55</b>	<b>0.55</b>	0.14	<b>0.60</b>	-0.36	-0.36	0.17	-0.03	1			
<b>S</b>	-0.44	<b>0.65</b>	-0.04	0.36	-0.27	-0.24	0.32	0.10	0.24	1		
<b>Sb</b>	0.08	0.33	0.59	0.38	0.17	-0.30	-0.12	-0.08	0.32	0.04	1	
<b>Zn</b>	-0.51	<b>0.62</b>	0.26	<b>0.89</b>	-0.27	-0.04	0.39	0.19	<b>0.59</b>	0.41	0.20	1
<b>Element</b>	<b>Au</b>	<b>Ag</b>	<b>As</b>	<b>Cd</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Pb</b>	<b>S</b>	<b>Sb</b>	<b>Zn</b>

### ۵-۳-۲- تجزیه و تحلیل خوشه‌ای

در تحلیل خوشه‌ای، هدف دست یافتن به ملاکی برای طبقه‌بندی هرچه مناسب‌تر متغیرها و یا نمونه‌ها براساس تشابه هر چه بیشتر درون گروهی و اختلاف هر چه بیشتر بین گروهی است. به منظور بررسی هم‌زمان ارتباط میان تمامی متغیرها در نمونه‌های کانسنگ محدودده‌ی هجیب، تحلیل خوشه‌ای براساس لگاریتم داده‌های ژئوشیمیایی انجام شده است در این تکنیک آماری چند متغیره عناصر بر اساس میزان همبستگی آماری به خوشه‌ها و شاخه‌هایی تقسیم می‌شوند که بیانگر میزان ارتباط آنها با یکدیگر است.

براساس نمودار خوشه‌ای شکل (۵-۱۵)، در کانه‌زایی محدودده هجیب عناصر بر پایه‌ی ضریب همبستگی ژئوشیمیایی به دو گروه اصلی تقسیم شده‌اند. گروه اول شامل همیافتی ژئوشیمیایی عناصر کادمیم، روی، سرب، نقره، گوگرد، منگنز، آرسنیک و آنتیموان است که به نوبه خود به دو زیر گروه (کادمیم، روی، سرب، نقره، و گوگرد) و (منگنز، آرسنیک و آنتیموان) قابل تقسیم است. گروه دوم شامل همیافتی ژئوشیمیایی عناصر مس، طلا، آهن و مولیبدن است که به نوبه خود به دو زیر گروه (مس، طلا و آهن) و (مولیبدن) قابل تقسیم است. برپایه مشاهدات زمین‌شناسی صحرائی و مطالعات کانی‌شناسی وجود رگه‌های سیلیسی کانه‌دار سبب پیدایش چنین همیافتی ژئوشیمیایی شده است. مقایسه‌ی همیافتی عنصری در کانه‌زایی محدودده‌ی هجیب با

کانسارهای از تیپ‌های مختلف (حسنى پاک و شجاعت، ۱۳۷۹) قرابت و مشابهت آن را با کانسارهای چند فلزی گرمابی مرتبط با سیستم های مس (طلا) پورفیری ثابت می‌نماید. در این تیپ کانسارها عناصر کادمیوم، روی، سرب، نقره، گوگرد، منگنز، آرسنیک و آنتیموان به عنوان عناصر فوق کانساری (دمای پایین) و عناصر مس، طلا، آهن و مولیبدن به عنوان عناصر تحت کانساری (دمای بالا) مطرح هستند. با توجه به همیافتی‌های ژئوشیمیایی عنصری در کانه‌زایی هجیب احتمال اینکه این کانه‌زایی بخش حاشیه‌ای یک سیستم پورفیری باشد دور از انتظار نیست.



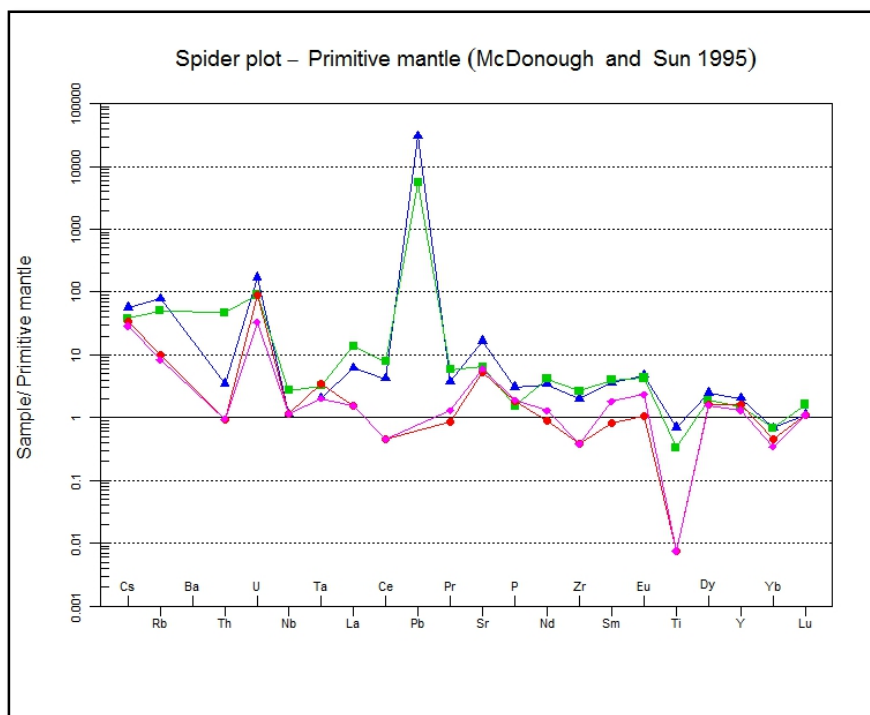
شکل ۵-۱۵. نمودار ساختار درختی برپایه‌ی داده‌های لگاریتمی ۲۸ نمونه هجیب به روش آنالیز خوشه‌ای.

### ۵-۳-۳- ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی کانسنگ‌های منطقه هجیب

در این پژوهش بررسی ویژگی‌های ژئوشیمیایی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی بر روی تعداد ۴ نمونه کانسنگ که از رگه‌های کانه‌دار منطقه‌ی هجیب برداشت شده است، صورت گرفته است (جدول ۵-۴). در ادامه ژئوشیمی عناصر کمیاب و کمیاب خاکی کانسنگ‌های هجیب به طور جداگانه توصیف می‌گردد.

### ۵-۳-۱- ژئوشیمی عناصر کمیاب

عنصر کمیاب عنصری است که غلظت آن در سنگ کمتر از ۰/۱٪ یا کمتر از ۱۰۰۰ ppm باشد. گاهی اوقات عناصر کمیاب کانی مخصوص به خود را می‌سازند ولی اغلب موارد جایگزین عناصر اصلی در ساختار کانی‌ها می‌شوند. از مهمترین عناصر کمیاب می‌توان به Bi، Rb، Sb، Ni، V، Nb، Zr، Cs، Th، U، Ta، Hf و ... اشاره کرد. رفتار ژئوشیمی عناصر کمیاب اغلب به صورت گروهی مطالعه می‌شود و تغییرات اعضای گروه و یا تغییرات سیستماتیک در رفتار عناصر یک گروه به عنوان شاخص فرآیندهای پترولوژیکی به کار می‌رود. این گروه عناصر کاربردهای زیادی در بحث ژنز سنگ‌ها و کانسنگ‌ها دارند. در پژوهش حاضر مقادیر غلظت عناصر کمیاب در کانسنگ‌های منطقه هجیب به ترکیب گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995) به‌هنجار شده است. شکل (۵-۱۶). آنومالی منفی Nb به شکل بارزی در همه نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده ماگماهای مربوط به محیط‌های حاشیه فعال قاره‌ای بوده و می‌تواند در اثر آلودگی پوسته و سیالات آزادشده از لیتوسفر فرورونده بوجود آمده باشد (Aldanmaz et al., 2000). تهی‌شدگی Ti و Nb از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکان مرتبط با کمان‌های آتشفشانی در مقایسه با ماگماهای داخل صفحات لیتوسفری می‌باشد. آنومالی مثبت Pb در نمونه‌های مورد مطالعه مشاهده می‌شود که می‌تواند به متاسوماتیسم گوه گوشته‌ای توسط سیالات ناشی از پوسته اقیانوسی فرورونده و یا آرایش ماگما با سنگ‌های پوسته قاره‌ای ارتباط داشته باشد (Kamber et al., 2002). همراه بودن آنومالی مثبت Pb و آنومالی منفی Nb، نشانه ماگماهای کمان‌های حاشیه‌قاره‌ای و ماگماهای متأثر از پوسته قاره‌ای است (Hofmann, 1986). غنی‌شدگی شاخص در عنصر Pb، همچنین عنصر U مشاهده می‌شود که بخاطر آلودگی سنگ‌ها با پوسته‌ی قاره‌ای بالایی است. تهی‌شدگی Ti، نشانگر تبلور بخشی اکسیدهای Ti-Fe و یا کلینوپیروکسن در مراحل اولیه‌ی تفریق می‌باشد (شکل ۵-۱۶).



شکل ۵-۱۶. نمودار به‌هنجار شده نسبت به گوشته اولیه (McDonough and Sun., 1995).

### ۵-۳-۲- ژئوشیمی عناصر کمیاب خاکی

عناصر کمیاب خاکی (REE)، از مفیدترین عناصر کمیاب بوده و مطالعه آن‌ها کاربردهای مهمی در پتروژئولوژی آذرین، رسوبی و دگرگونی دارد. REEها شامل یکسری از عناصر (لانتانیوم تا لوتسیوم) با عدد اتمی ۵۷ تا ۷۱ می‌باشند. عنصر Y نیز بدلیل شباهت‌های ژئوشیمیایی با REEها طبقه‌بندی می‌شود. به طور معمول، اعضای با عدد اتمی پایین در این سری LREE و عناصر با عدد اتمی بالاتر HREE نامیده می‌شوند. عناصر کمیاب خاکی دارای خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خیلی نزدیک به هم هستند که به دلیل تشکیل یون‌های ۳+ پایدار با اندازه برابر است. تفاوت‌های مشاهده شده در رفتار شیمیایی این عناصر ناشی از کاهش کم ولی پیوسته اعضای یونی با افزایش عدد اتمی است. این تفاوت‌های کوچک باعث تفریق سری عناصر REE نسبت به یکدیگر می‌شود. از این پدیده در ژئوشیمی به منظور بررسی منشاء مجموعه‌های سنگی و تعیین فرایندهای پتروژئولوژیکی استفاده می‌گردد (Rollinson, 1993). REEها از جمله عناصر ردیاب با حداقل حلالیت‌اند که طی دگرگونی‌های درجه پایین، هوازگی و دگرسانی هیدروترمالی، به نسبت غیرمتحرک هستند (Michard, 1989). با این وجود، مطالعات بعدی نشان داده که این عناصر تحت تأثیر سیالات هیدروترمال غنی از  $\text{CO}_2$ ، F، Cl و واکنش

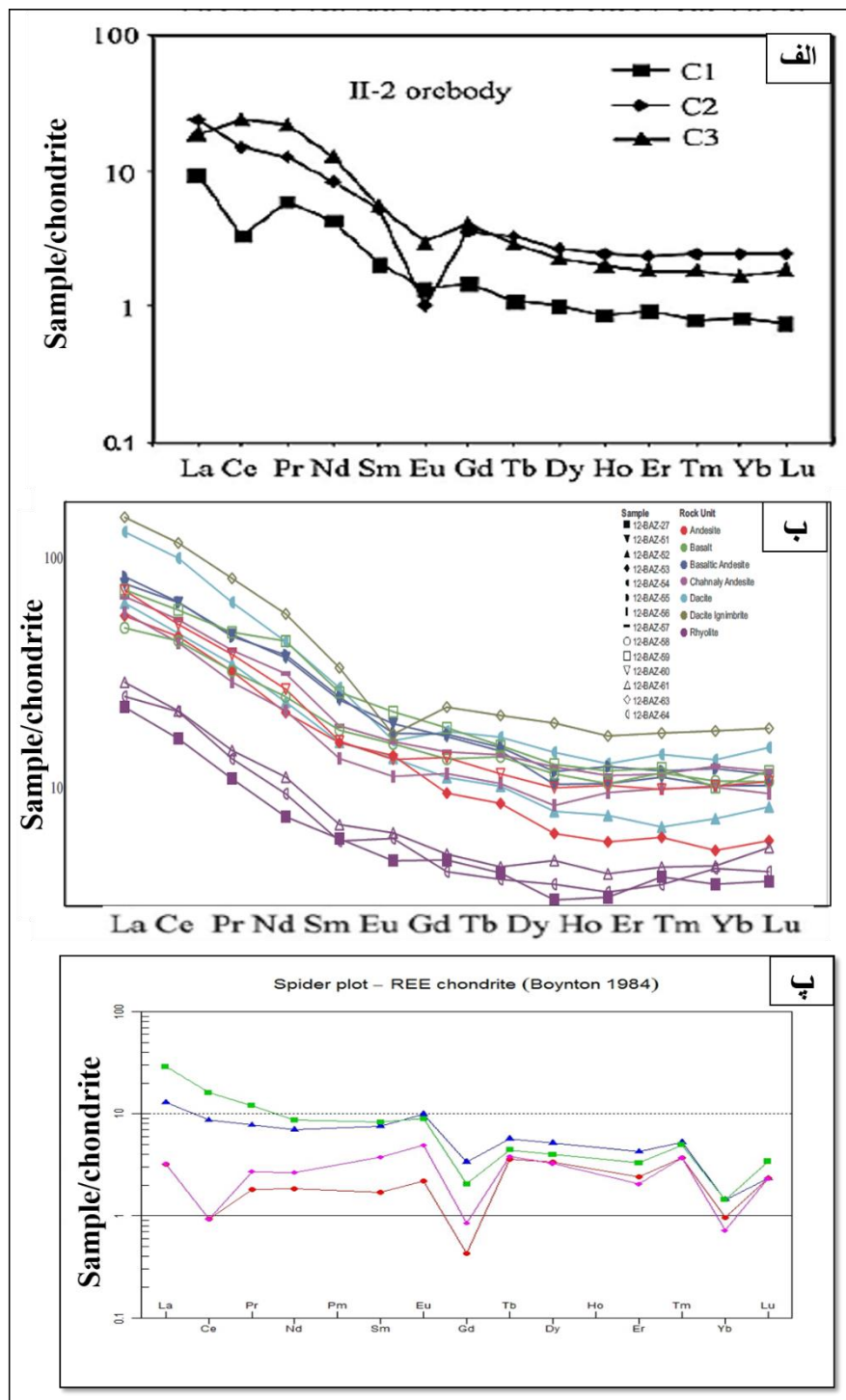
با سنگ میزبان، تمرکز یافته و انتقال مجدد می‌یابد (Lottermoser, 1992). در این میان، عناصر کمیاب خاکی سبک یا LREE نسبت به انواع سنگین یا HREE در مقابل دگرسانی هیدروترمال ثانویه حساسیت بیشتری نشان می‌دهد (Kerich and Wyman, 1996). تمرکز عناصر کمیاب خاکی در سنگ‌ها معمولاً با استانداردهای مرجع به‌هنجارسازی می‌شوند. از معمول‌ترین این استانداردها متئوریت کندریتی است. REEها با عدد اتمی زوج، پایدارتر و در نتیجه فراوانتر از REEها با عدد اتمی فردتر هستند که منجر به تشکیل الگوی زیگزاگی در دیاگرام فراوانی ترکیب می‌شوند. به‌هنجارسازی نسبت به کندریت دو نقش ایفا می‌کند. اول اینکه تغییرات فراوانی بین عناصر با عدد اتمی زوج و فرد را کاهش می‌دهد و دوم اینکه هرگونه تفریق نسبت به شخانه کندریتی را آشکار می‌سازد (Rollinson, 1993).

#### ۵-۳-۲-۱- به‌هنجارسازی عناصر کمیاب خاکی کانسنگ‌های هجیب به کندریت

در شکل (۵-۱۷) الگوی ژئوشیمیایی به‌هنجار شده‌ی عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های کانسنگ هجیب به کندریت (Boynton, 1984) (۵-۱۷-پ) با کانسارهای چندفلزی مانند کانسار پلی متال NM در چین (Jia et al., 2010)، (شکل ۵-۱۷-الف) و کانسار چاه‌نالی در جنوب شرق ایران (Sholeh et al., 2016) (۵-۱۷-ب) مقایسه شده‌است که تا حدودی بیانگر روند مشابه الگوی REE این کانسار با کانسارهای مذکور است. و تفاوت‌های بین این نمودارها به احتمال زیاد ناشی از خطای آنالیز است. بررسی الگوی به‌هنجار شده‌ی عناصر کمیاب خاکی نمونه‌های مورد مطالعه نشان می‌دهد که همه نمونه‌ها به‌طور نسبی از عناصر نادر خاکی سبک (LREE) غنی و از عناصر نادر خاکی سنگین (HREE) تهی می‌باشند. یکی از ویژگی‌های مهم نمونه‌های منطقه، روند تدریجی تهی‌شدگی از سمت عناصر کمیاب خاکی سبک به انواع سنگین و عدم وجود تغییرات ناگهانی در شیب نمودارها است، که ویژگی شاخص ماگماهای مرزهای صفحات همگرا (Gue et al., 2006) و از ویژگی‌های سنگ‌های آتشفشانی کالک‌آلکالن کمان حاشیه قاره‌ها است. در طی تفریق ماگمایی بعلت ناسازگاری عناصر کمیاب خاکی سبک نسبت به انواع سنگین، این عناصر در مذاب باقیمانده، غنی‌شدگی بیشتری را نشان می‌دهند. در این نمودار عنصر Gd تا حدودی نسبت به سایر عناصر کمیاب خاکی سنگین تهی‌شدگی نشان می‌دهد که به احتمال زیاد ناشی از خطای آنالیز است، برای اینکه عناصر کمیاب خاکی سنگین عمدتاً رفتار



همسانی در طول فرایندهای زمین‌شناسی دارا هستند. همچنین همه نمونه‌ها آنومالی مثبت Eu را نشان می‌دهند. آنومالی Eu توسط پلاژیوکلاز کنترل می‌شود و به فوگاسیته اکسیژن وابسته است. فراوانی فلدسپات در این سنگ‌ها، بیانگر این است که پلاژیوکلاز به عنوان یک کانی نگهدارنده عناصر فوق نتوانسته در فرآیند ذوب بخشی ناحیه منبع تشکیل دهنده ماگمای سنگ‌های منطقه پایدار بماند و در نتیجه ذوب آن، مقادیر زیادی از Eu وارد ماگمای نهایی و باعث ایجاد آنومالی مثبت این عنصر در نمودار عنکبوتی شده است.



شکل ۵-۱۷. الگوی به‌هنجار شده عناصر کمیاب خاکی کانسارهای چندفلزی نسبت به کندریت (Boynton, 1984). الف) کانسار پلی متال NM در چین (Jia et al., 2010). ب) کانسار چاه‌نالی در جنوب شرق ایران (Sholeh et al., 2016). پ) کانسار هجیب.

# فصل هشتم:

## مطالعه میانبارهای سیال

یکی از متداول‌ترین روش‌های مطالعه و شناخت وضعیت و شرایط حاکم بر چگونگی حمل و تهنشست کانه‌ها، مطالعات میانبارهای سیال است. به سیالی که درون یک جامد (مثلاً کانی) قرار گرفته باشد، سیال درگیر یا میانبار سیال اطلاق می‌شود. سیال به دام افتاده می‌تواند مایع، گاز و یا سیال فوق-بحرانی باشد. سیالات درگیر حجم‌های کوچکی از سیال در داخل یک بلور هستند که ممکن است در طول زون‌های رشد یا هر گونه نقص بلورین در طی رشد بلور به دام افتاده باشند (Wiesheu et al., 1998). واژه سیال، دلالت و تأکیدی بر سیال بودن در هنگام به دام افتادن دارد و نه الزاماً سیال ماندن پس از گیرافتادن. این سیالات در کانسارهای گرمابی بسیار فراوان بوده و گاه تا یک میلیارد یا بیشتر در یک سانتیمتر مکعب از بلور یافت می‌شوند (Craig et al., 1981). دانش مطالعات سیال درگیر به عنوان پیشرو اصلی در بررسی کانسارهای گرمابی از ۴۰ سال پیش رشد چشمگیری نموده است و این مطالعات به عنوان راهی مستقیم جهت بررسی وضعیت سیالات کانسارساز و فرآیندهای مؤثر در تشکیل کانسارها مورد توجه قرار گرفته و اطلاعات مهمی در مورد منشاء سیالات و فلزات و اهمیت نسبی آب‌های ماگمایی، جوی و فسیل از این مطالعات حاصل شده است (Wilkinson, 2001). اهمیت مطالعه میانبارهای سیال به عنوان کلید ارزشمندی در درک مسائل گذشته زمین‌شناسی از قبیل دما، فشار، شوری، چگالی، ترکیب سیالات کانسارساز و همچنین ترکیب سیالاتی که تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و کانی‌ها بوده و یا طی فرآیندهای بعدی از داخل آن‌ها عبور کرده‌اند می‌باشد (Roedder, 1984). براین اساس، برای مطالعه سیالات درگیر در کانسار هجیب، ۳ عدد مقطع دوبر صیقل پس از آماده‌سازی در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران مطالعه گردید.

## ۶-۲- کلیاتی در مورد میانبارهای سیال







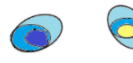
میانبارهای سیال معمولاً از طریق به دام افتادن و حفظ شدن یک سیال همگن در دمای بالا تشکیل شده و تغییرات متنوع فازی در طول سرد شدن تا دمای آزمایشگاه در آنها رخ می‌دهد. معمول‌ترین این تغییرات شامل تشکیل حباب بخار، تبلور بلورهای نوزاد و در مواردی، تبلور کل سیال است. فازهای نوزاد زمانی متبلور

می‌شوند که سیال درگیر در طی سرد شدن، فوق اشباع گردد. این فاز پس از تشکیل در هر دمایی زیر دمای انحلال، در حال تعادل با سیال اشباع می‌باشد (Vanden Kerkhof and Hein, 2001). اکثر میانبارهای سیال کوچکتر از ۰/۱ میلی‌متر (۱۰۰ میکرون) بوده و تنها در زیر میکروسکوپ قابل شناسایی هستند. اندازه معمول آنها ۵۲۰- میکرون بوده، اما میانبارهای سیال کوچکتر از یک میکرون هم وجود دارد (Vanden Kerkhof and Hein, 2001). کانی‌هایی که سیالات درگیر در آنها معمول است عبارتند از: کوارتز، فلوریت، هالیت، کلسیت، آپاتیت، دولومیت، اسفالریت، باریت، توپاز، کاسیتريت، گارنت، الیوین، پیروکسن، کوردیریت، فلدسپار و اسکاپولیت (Shepherd et al., 1985; Vanden Kerkhof and Hein, 2001). تمامی این کانی‌ها شفاف و روشن بوده، اما کانی‌های تیره نیز حاوی سیال درگیر هستند. اشکال سیال درگیر بسیار متنوع بوده و تا حدی توسط سیستم بلوری کانی میزبان کنترل می‌شود. شکل بلور منفی در بسیاری از کانی‌ها رایج است. اشکال بی قاعده و پهن، کروی، لوله‌ای، تخت و منشوری از دیگر اشکال قابل مشاهده در سیالات درگیر هستند (Shepherd et al., 1985). سیالات درگیر را میتوان براساس پارامترهایی نظیر اندازه سیال، شکل سیال، رنگ سیال، ضریب انکساری سیال و به‌ویژه به‌وسیله فازهای موجود در داخل سیال در درجه حرارت معمولی توصیف نمود. سیال درگیر ممکن است در دمای معمولی حاوی بیش از یک فاز باشد نظیر مایع، گاز و احتمالاً همراه با یک یا چند فاز جامد که ممکن است به‌طور تصادفی در داخل سیال به دام افتاده و یا به عنوان فاز نوزاد در طی سرد شدن تشکیل شده باشد (Vanden Kerkhof and Hein, 2001).

میانبارهای سیال براساس زمان تشکیل آنها نسبت به مرحله رشد بلور میزبان و یا براساس فازهای موجود در آنها طبقه‌بندی می‌شوند. در صورتی که سیال درگیر همزمان با رشد بلور ایجاد شده و با ادامه رشد بلور بسته شود، سیال به دام افتاده را اولیه گویند. چنانچه همزمان با رشد بلور در آن شکستگی ایجاد شود و بخشی از محلولی که بلور از آن رشد یافته در این شکستگی در حین رشد به دام افتد، سیال به دام افتاده را ثانویه کاذب گویند. چنانچه پس از رشد بلور، به دلایلی در آن شکستگی ایجاد شود و محلول بعدی در این شکستگی قرار گیرد، سیال درگیر ایجاد شده را ثانویه گویند. تشکیل میانبارسیال ثانویه در مرحله جوش خوردن و ترمیم شکستگی‌ها صورت می‌گیرد که ممکن است این فرآیند چندین بار تکرار شده و نسل‌های مختلفی

از این سیال شکل گیرد. بنابراین سیالات درگیر اولیه و ثانویه کاذب، انعکاسی از سیالات کانسارساز در حین رشد بلور بوده و سیالات درگیر ثانویه فقط معرف سیالات بعدی هستند و بی‌ارتباط با رشد بلور اولیه بوده و اطلاعاتی درباره مراحل پسین فعالیت هیدروترمالی در اختیار می‌گذارند. طبقه‌بندی جامعی براساس محتویات سیال درگیر ارائه کردند که به شرح زیر است (شکل ۶-۱):

- تک‌فاز مایع (L): ساده‌ترین نوع سیال درگیر بوده و تماماً از مایع تشکیل شده است.
- دوفازی غنی از مایع (L+V): فاز مایع غالب بوده و دارای حباب بخار کوچک است.
- دوفازی غنی از بخار (V+L): فاز بخار غالب بوده (< ۵۰٪) و حاشیه باریکی از مایع دیده می‌شود.
- تکفاز بخار (V): تماماً توسط یک فاز بخار کم‌چگال بدون فاز مایع اشغال شده است.
- چندفازی (multi-phase solid) و چندجامدی (multi-solid): دارای یک یا چند فاز بلورین جامد به همراه مایع و بخار هستند. اگر فاز جامد بیشتر از ۵۰٪ سیال را اشغال کرده باشد، به آن چندجامدی گویند.
- مایع ناآمیخته ( $L_1+L_2\pm V$ ): دارای دو مایع ناآمیخته که یکی آبگین بوده و دیگری غنی از  $CO_2$  یا مواد آلی است.
- شیشه: سیال به دام افتاده از مذاب سیلیکاته در صورتی که سریعاً سرد شود تبدیل به شیشه می‌گردد.

Inclusion type	Essential phase	Typical example	Abbreviation
Monophase liquid	L=100%		L
Liquid-rich Two phases	L>50%		L + V
Vapour-rich Two phases	V=50 to 80%		V + L
Monophase vapour	V=100%		V
Multiphase solid	L=variable S<50%		S + L ± V
Multisolid	S>50% L,V variable		S + L ± V
Immiscible liquid	$L_1, L_2$		$L_1 + L_2 \pm V$
Glass	GL>50%	-----	GL ± V ± S

شکل ۶-۱- طبقه‌بندی شماتیک میانبرهای سیال براساس فازهای مشاهده شده در دمای اتاق (Shepherd et al., 1985).

## ۳-۶- کاربرد مطالعات میانبارهای سیال

میانبارهای سیال در درون اکثر کانی‌های که در یک محیط سیال (بخار، مایع و گاز) تشکیل شده‌اند وجود دارد و همین نکته این امکان را فراهم می‌آورد تا بتوان از آن‌ها در شاخه‌های مهمی از علوم از جمله در زمین‌شناسی به صورت گسترده‌ای استفاده نمود. با استفاده از مطالعه میانبارهای سیال میتوان اطلاعات زیادی در مورد درجه حرارت تشکیل کانی‌ها، فشار حاکم بر محیط تشکیل آن‌ها، چگالی سیال تشکیل‌دهنده کانی‌ها و نیز ترکیب شیمیایی سیال‌های کانی‌ساز بدست آورد.

(۱) اکتشافات نفتی: از میانبارهای سیال دارای مواد هیدروکربوری هستند که می‌توانند اطلاعات مفیدی در مورد تکتونیک، شرایط فشار، حرارت و تکامل حوضه‌های نفتی، در زمان قبل و پس از مهاجرت مواد هیدروکربوری به آن حوضه‌ها، در اختیار ما بگذارند.

(۲) ماه‌شناسی: با مطالعه میانبارهای سیال موجود در شهاب سنگ‌ها و نمونه‌های بدست آمده از کره ماه میتوان اطلاعات قابل توجهی برای الگوسازی فرآیندهای فرازمینی کسب نمود.

(۳) چینه‌شناسی و رسوب‌شناسی: برای شناخت ماهیت ذرات آواری در ماسه سنگ‌ها و کنگلومرا میتوان از میانبارهای سیال موجود در آنها استفاده نمود.

(۴) گوهرشناسی: برای تشخیص گوهرهای طبیعی از مصنوعی، شرایط تشکیل و منشأ گوهرها، کیفیت گوهرها از نظر شفافیت و پاکی و نیز شناخت نوع خاصی از یک گوهر (مثلاً تشخیص یاقوت تایلند از یاقوت برمه‌ای) میتوان از مطالعات میانبارهای سیال بهره جست.

(۵) سنگ‌شناسی دگرگونی: به منظور بررسی و شناخت شرایط فشار و حرارت حاکم بر محیط‌های دگرگونی می‌توان میانبارهای سیال استفاده نمود.

(۶) پترولوژی سنگ‌های آذرین: شناخت ترکیب اولیه ماگمای تشکیل‌دهنده کانی‌ها به همراه درجه حرارت و فشار حاکم بر محفظه ماگمایی در هنگام تبلور کانی‌های آذرین، از جمله مواردی است که میتوان با مطالعات میانبارهای سیال به آن‌ها دست یافت.

۷) دیرینه اقلیم شناسی: مطالعه میانبارهای سیال در درون یخ‌های قطبی، امکان شناخت میزان دما و ترکیب اتمسفر یه ویژه از نظر مقدار  $CO_2$  در ایام گذشته زمین را فراهم می‌آورد. همچنین با مطالعه میانبارهای سیال موجود در لایه‌های نمکی نهشته شده در حوضه‌های رسوبی، می‌توان اطلاعاتی در خصوص مقدار گازهای هلیم، نئون، آرگون و گزنون در ترکیب اتمسفر گذشته زمین به دست آورد.

۸) شیمی محلول‌ها: میانبارهای سیال مثل اتوکلاوهای کوچک و شفافی هستند که اجازه می‌دهند رفتار فازها را در فشار و حرارت بالا مشاهده نمود در حالی که طراحی چنین سیستم‌هایی برای انجام مطالعات تجربی در آزمایشگاه بسیار مشکل می‌باشد.

۹) سیستم‌های زمین گرمایی: برای تشخیص مراکز پرحرارت سیستم‌های زمین گرمایی به منظور حفاری جهت به دست آوردن بخار داغ و کافی برای استفاده از انرژی زمین گرمایی، مطالعه میانبارهای سیال بسیار مفید و کارآمد می‌باشد.

۱۰) شناخت گوشته: مطالعه ادخال‌های جامد موجود در داخل نودل‌های اولترامافیک درون بازالت‌ها و کیمبرلیت‌ها از جمله الماس این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم اطلاعات خوبی در مورد ترکیب شیمیایی و مواد فرار موجود در گوشته بدست آوریم.

۱۱) فعالیت‌های هسته‌ای: به منظور پیدا نمودن مکان‌های مناسب غیرفعال از نظرتکتونیک برای ساخت رآکتورهای هسته‌ای و نیز دفن پسماندهای اتمی، میتوان از مطالعات میانبارهای سیال استفاده نمود.

۱۲) بررسی چگونگی تشکیل و اکتشاف کانسارها: بدون شک مهمترین کاربرد میانبارهای سیال در حوزه علوم زمین، در شاخه زمین‌شناسی اقتصادی و به ویژه بررسی نحوه تشکیل و اکتشاف کانسارهای گرمایی می‌باشد.

## ۴-۶- انتخاب و آماده‌سازی نمونه برای مطالعه میانبارهای سیال

با توجه به بررسی‌های انجام شده در محدوده کانسار هجیب، کانی‌شفاف و مناسب برای مطالعه میکروترموتری میانبارهای سیال، کوارتز می‌باشد. بنابراین پس از مطالعه کانی‌شناسی تعداد ۳ عدد نمونه از رگه‌های سیلیسی

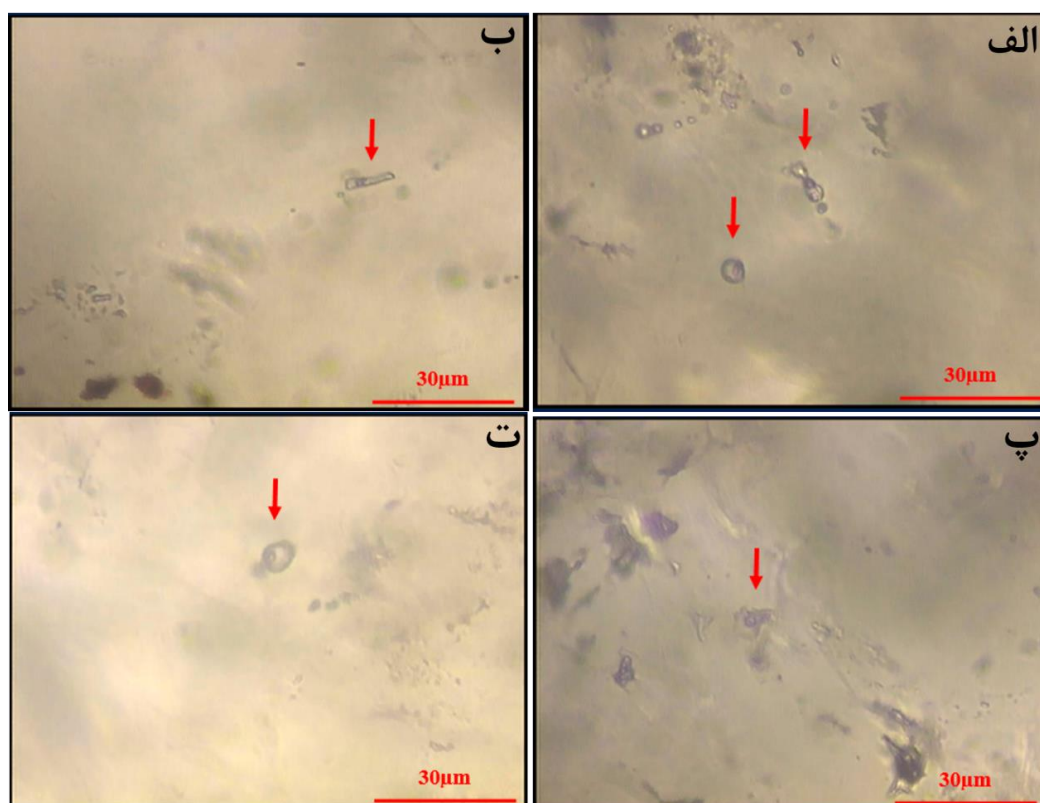


سطحی جهت مطالعه میانبارهای سیال انتخاب شد. در این مطالعه نمونه‌ها تا ضخامت ۲۰۰ میکرون نازک شده و سپس دو بر صیقل شده‌اند. پس از جدا کردن نمونه‌ها از روی لام و شستشوی آن‌ها، مورد مطالعه قرار گرفتند. مطالعات حرارت سنجی میانبارهای سیال بر روی ۳ نمونه دو بر صیقل (HP-F1-1، HP-F1-2، HP-F1-3) در آزمایشگاه کانی‌شناسی مرکز تحقیقات فراوری مواد معدنی ایران با استفاده از یک دستگاه میکروسکوپ ZEISS, Axioplan2, imaging و به وسیله دستگاه Linkam مدل THMSG600 با کنترل‌کننده‌های گرمایش TP94 و سرمایش LNP که بر روی میکروسکوپ نصب شده است انجام پذیرفت. مطالعات حرارت-سنجی براساس مشاهده دقیق و تشخیص تغییرات فازی میانبارهای سیال، طی مراحل سرمایش (Freezing) و گرمایش (Heating) بنا شده است.

## ۶-۵- پتروگرافی میانبارهای سیال

مطالعات پتروگرافی اولین و مهمترین بخش مطالعه میانبارهای سیال می‌باشد زیرا که در این مرحله، علاوه بر تعیین انواع و مشخصات هر یک از آن‌ها، میانبارهای سیال مناسب از نظر اندازه و نوع (اولیه، ثانویه و ثانویه-کاذب) برای مرحله بعدی (مطالعات میکروترمومتری) انتخاب می‌شوند. همچنین با دقت و مطالعه دقیق در این مرحله می‌توان اطلاعات مهمی در رابطه با ویژگی‌های سیال کانه‌دار، سیر تکاملی آن‌ها و نیز فرآیندهای ژئوشیمیایی مؤثر در ته‌نشست میانبارهای سیال، مانند پدیده‌های جوشش، اختلاط و جدایش فازی را تا حدودی شناسایی نمود. به طور کلی در مطالعات پتروگرافی میانبارهای سیال، مشخصات نوری از قبیل شکل و اندازه میانبارهای سیال (شکل میانبارهای سیال تا حدودی به وسیله ساختمان بلوری کانی میزبان کنترل می‌شود)، تعیین و تفکیک میانبارهای سیال از نظر ژنتیکی (اولیه، ثانویه و ثانویه کاذب)، تعیین نوع و فازهای موجود (S, V, L)، تعیین پاراژنز میانبارهای سیال براساس تعیین روابط بافتی میان آن‌ها، نوع کانی دختر (براساس شکل کریستالی و مورفولوژی ظاهری)، تعیین درصد فاز غالب در هر سیال، اندازه‌گیری درجه پرشدگی، نشان‌دهنده‌ی حجم نسبی فاز مایع نسبت به حجم کل سیال درگیر است و پدیده‌هایی مانند شکست و دم‌بریدگی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در منطقه هجیب مطالعات میانبارهای سیال بر روی کانی‌کوارتز که از

رگه های سیلیسی برداشت گردیده بود انجام شد. نبود رخ، شفافیت کانی و توانایی تبلور مجدد آسان، کانی کوارتز را به یک میزبان مناسب برای میانبرهای سیال تبدیل کرده است (Walshe and Hobbs, 1999). به طور کلی از لحاظ شکل ظاهری، میانبرهای سیال در نمونه های منطقه بیشتر به صورت نامنظم و به شکل های کروی، بیضی و میله ای می باشند. لازم به ذکر است که نبود شکل خاص در میانبرها می تواند نشان دهنده این باشد که فضاهای بین سطوح بلوری که باعث به تله افتادن میانبرها شده اند، دارای شکل مشخصی نبوده اند. میانبرهای سیال کانسار هجیب از لحاظ اندازه، ابعادی از حداقل ۶ تا حداکثر ۱۸ میکرون هستند. کوچک بودن اندازه این میانبرهای سیال یکی از مشکلات مطالعه آنها است. از نظر رده بندی ژنتیکی، توزیع میانبرهای سیال در نمونه های هجیب اغلب به صورت اولیه مشاهده می شود. براساس تعداد فازهای موجود در دمای اتاق، میانبرهای سیال در این منطقه تنها بصورت انکلوزیون های دوفازی غنی از مایع (L+V) می باشد که از یک فاز مایع به همراه فاز بخار تشکیل شده است. حباب بخار در این انکلوزیون ها بین ۵ تا ۴۵ درصد حجم انکلوزیون را در بر گرفته است.



شکل ۶-۲. میانبر سیال دوفازی غنی از مایع (L+V) در کانی کوارتز از منطقه ی هجیب. الف، پ، ت) میانبرهای سیال دوفازی به شکل های کروی و بیضی، ب) میانبرهای سیال دوفازی به شکل میله ای.

## ۶-۶- مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال

بررسی میکروترمومتری عبارت است از مطالعه غیرمخرب مقطع مورد نظر برای تعیین دما، میزان شوری، وزن مخصوص (چگالی) و ترکیب سیالاتی که کانی میزبان از آنها ساخته شده است، که توسط عملیات سرد کردن (Freezing) و گرم کردن (Heating) انجام می‌پذیرد. در حقیقت، مبنای کار دماسنجی بر سرمایش و گرمایش میانبارهای سیال استوار است. هدف از سردکردن و منجمدکردن میانبارها، پی بردن به میزان املاح یا اصطلاحاً درجه شوری محلول می‌باشد. هدف از حرارت دادن آنها، همگن کردن فازهای تشکیل‌دهنده یک میانبار سیال می‌باشد. دمای همگن‌شدن، یعنی دمایی که تمامی فازهای جامد و مایع نمونه به صورت محلولی همگن درآید. این دما معرف حداقل درجه حرارت تشکیل کانسار خواهد بود. اصطلاح سردکردن (Freezing) به عملیاتی اطلاق می‌شود که در آن یک سیال درگیر سرد می‌شود تا تغییر فاز مایع به جامد مشاهده شود. جهت انجام عملیات انجماد، ابتدا سیال درگیر را تا دمای ۱۰۰- درجه سانتی‌گراد منجمد می‌کنیم، سپس با یک روند آهسته حرارت اتاقک حاوی نمونه را افزایش می‌دهیم و سیال درگیر منجمد شده را زیر نظر می‌گیریم. پس از مدتی، سیال از حالت جامد خارج شده و یخ شروع به ذوب‌شدن می‌نماید. اولین قطره مایعی که ظاهر می‌شود یا به عبارت دیگر، اولین دمای ذوبی که در آن یخ به آب تبدیل می‌شود، دمای یوتکتیک (TE) نامیده می‌شود و مقدار آن با نوع کاتیون‌های حل شده در مایع ارتباط دارد. با ادامه گرم کردن، بلورهای یخ بیشتر ذوب می‌شوند تا جایی که آخرین بلور یخ نیز از بین برود. دمایی که در آن آخرین بلور یخ ذوب می‌شود، دمای ذوب نهایی (T<sub>mice</sub>) اطلاق می‌شود.

جدول ۶-۱. نتایج مطالعات میکروترمومتری میانبارهای سیال کوارتز در منطقه هجیب.

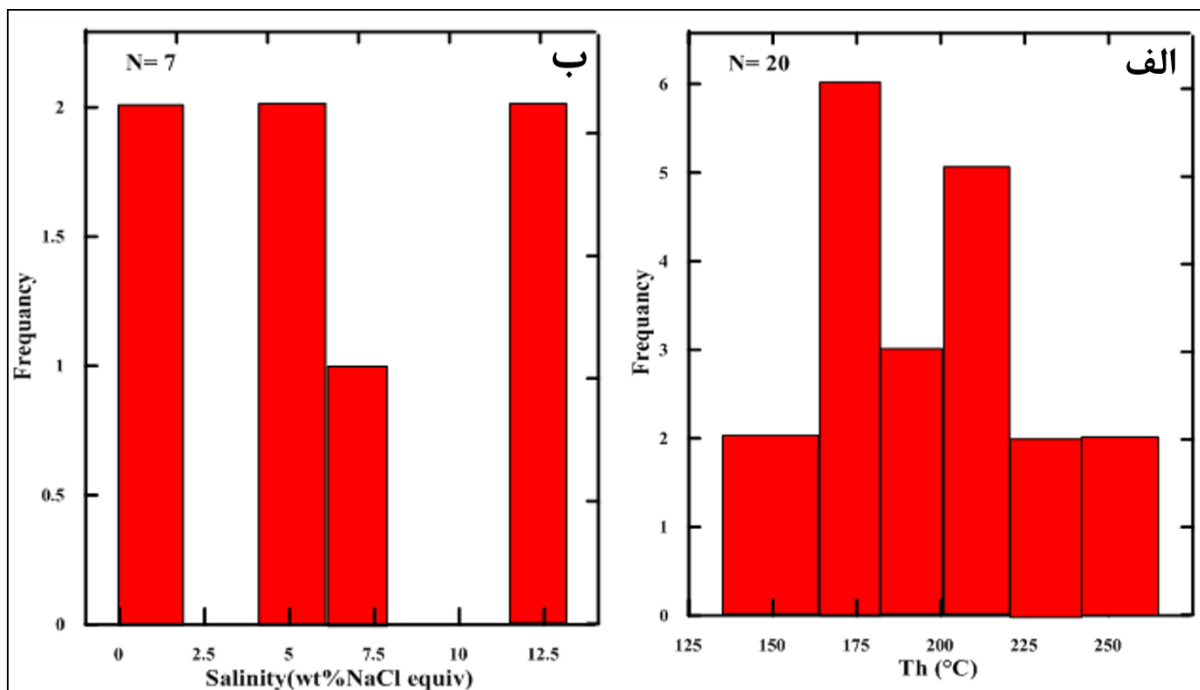
Sample	Type	Size(μm)	Host mineral	Shape	Phases	T <sub>m</sub> ice (C°)	Salinity (wt% NaCl)	Th (C°)
HB-F1-1	P	9	Quartz	کروی	L+V	-	-	191
HB-F1-1	P	9	Quartz	کروی	L+V	-	-	188
HB-F1-1	P	18	Quartz	بیضوی	L+V	-	-	208
HB-F1-1	P	7	Quartz	کروی	L+V	-9.2	13.6	178
HB-F1-1	P	10	Quartz	بیضوی	L+V	-9	12.84	167

HB-F1-1	P	8	Quartz	بیضوی	L+V	-	-	166
HB-F1-1	P	6	Quartz	میله‌ای	L+V	-	-	165
HB-F1-1	P	15	Quartz	میله‌ای	L+V	-	-	160
HB-F1-1	P	16	Quartz	بیضوی	L+V	-	-	224
HB-F1-1	P	11	Quartz	میله‌ای	L+V	-	-	180
HB-F1-1	P	12	Quartz	میله‌ای	L+V	-	-	147
HB-F1-2	P	6	Quartz	بیضوی	L+V	-	-	147
HB-F1-2	P	10	Quartz	کروی	L+V	-	-	200
HB-F1-2	P	17	Quartz	کروی	L+V	-	-	210
HB-F1-2	P	15	Quartz	کروی	L+V	-	-	207
HB-F1-3	P	12	Quartz	بیضوی	L+V	-14	6.72	247
HB-F1-3	P	10	Quartz	میله‌ای	L+V	-11	4.53	211
HB-F1-3	P	15	Quartz	بیضوی	L+V	-19.4	4.97	170
HB-F1-3	P	7	Quartz	بیضوی	L+V	-0.5	0.87	250
HB-F1-3	P	15	Quartz	بیضوی	L+V	-0.5	0.87	230

#### ۶-۶-۱- دمای همگن‌شدگی و شوری سیالات

نتایج به دست آمده از اندازه‌گیری میزان دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال منطقه مورد مطالعه در جدول (۱-۶) آورده شده است. مقدار دما در محدوده بین ۱۴۷ تا ۲۵۰ (میانگین ۱۹۲/۳) درجه سانتیگراد و مقدار شوری ۰/۸۷ تا ۱۳/۰۶ (میانگین ۶/۹۶) درصد وزنی معادل نمک‌طعام تغییر می‌کند که حاکی از شوری پایین است.

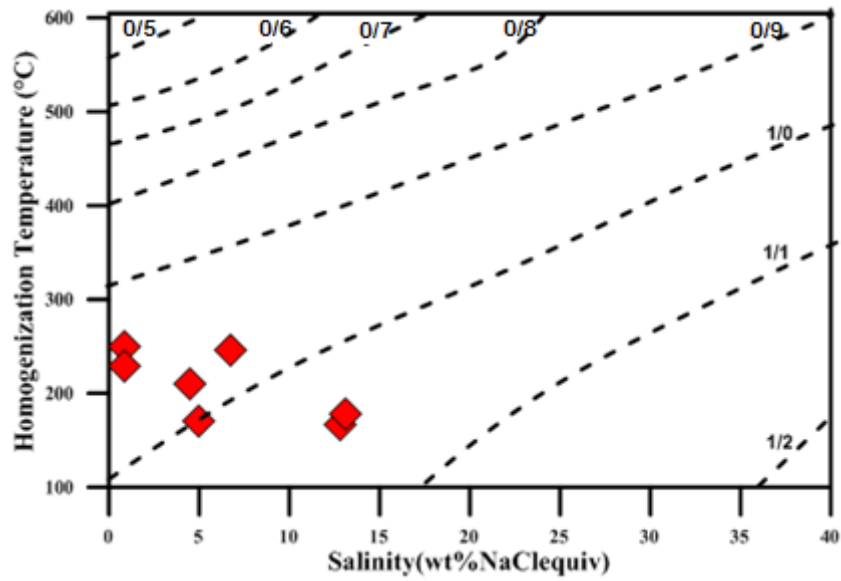
در شکل (۶-۳-الف و ب) نمودار مربوط به شوری و دمای همگن‌شدن فراوانی منطقه نشان داده شده است. نمودار (الف) نتایج مطالعات گرمایش سیالات را نشان می‌دهد که تغییرات دمای همگن‌شدن میانبارها به فاز مایع، در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (L+V) در میزان کوارتز بین ۱۴۷ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین ۲۳۴ °C) می‌باشد (شکل ۶-۳-الف). نمودار (ب) نتایج مطالعات سرمایش را نشان می‌دهد که تغییرات درجه شوری میانبارهای سیال در میزان کوارتز در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (L+V) بین ۰/۸۷ تا ۱۳/۰۶ (میانگین ۶/۰۷) درصد وزنی معادل نمک‌طعام، در تغییر است (شکل ۶-۳-ب).



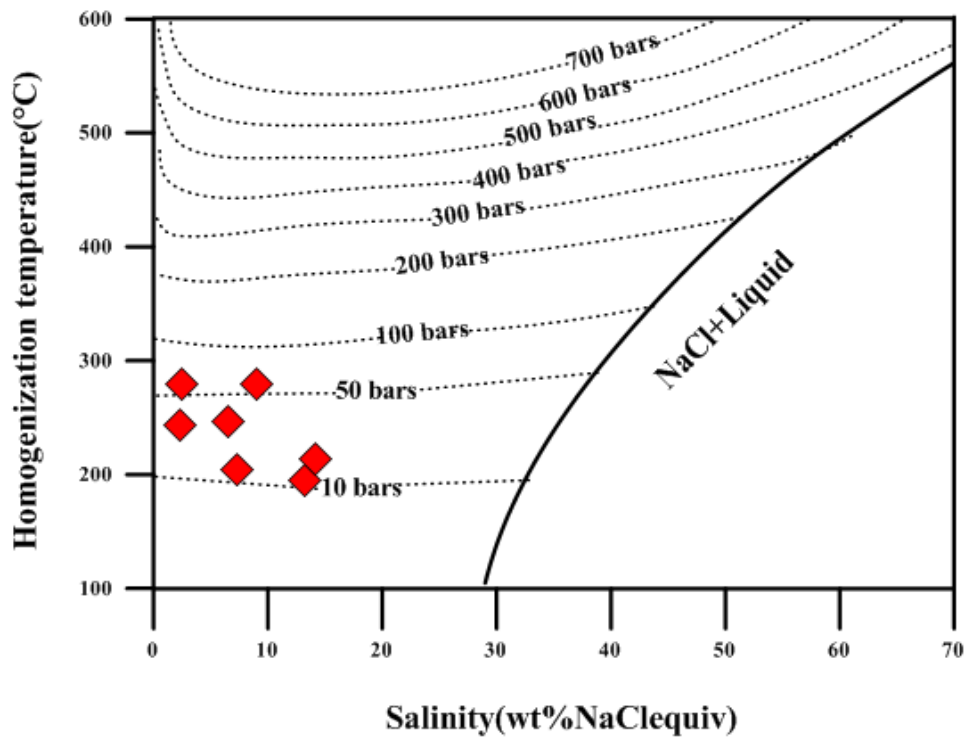
شکل ۶-۳. نمودار هیستوگرام درجه حرارت همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال نسبت به فراوانی آنها در کوارتز منطقه‌ی هجیب.

#### ۶-۶-۲- چگالی و فشار سیال

زمانی که اطلاعات بدست آمده در مورد دماهای همگن‌شدن میانبارهای سیال با اطلاعات داده‌های شوری ترکیب می‌شوند، می‌توانند چگالی سیال را بدون توجه به شرایط به تله افتادن آن معین کرد. تغییرات چگالی به‌ویژه با توجه به مکانیسم‌های جریان سیال و تکامل تغییرات ویژه در چگالی سیال، بخصوص در سیستم‌هایی که می‌توانند وقفه‌هایی در فرآیند جریان سیال ایجاد کنند، مهم است. با استفاده از نمودار (Wilkinson, 2001) که براساس دمای همگن شدن در برابر شوری سیال طراحی شده است، می‌توان چگالی را محاسبه کرد. چگالی سیال در نمونه‌های کانسار هجیب بین ۱-۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $\text{g/cm}^3$ ) قرار می‌گیرند (شکل ۶-۴). در این نمودار با افزایش شوری میانبارهای سیال، چگالی افزایش می‌یابد. علاوه بر این فشار سیالات را نیز می‌توان براساس دمای همگن‌شدگی در برابر شوری سیال محاسبه کرد که برپایه نمودار شکل (۶-۵) فشار بخار در بازه کمتر از ۱۰ تا حداکثر ۱۰۰ بار قرار می‌گیرد.



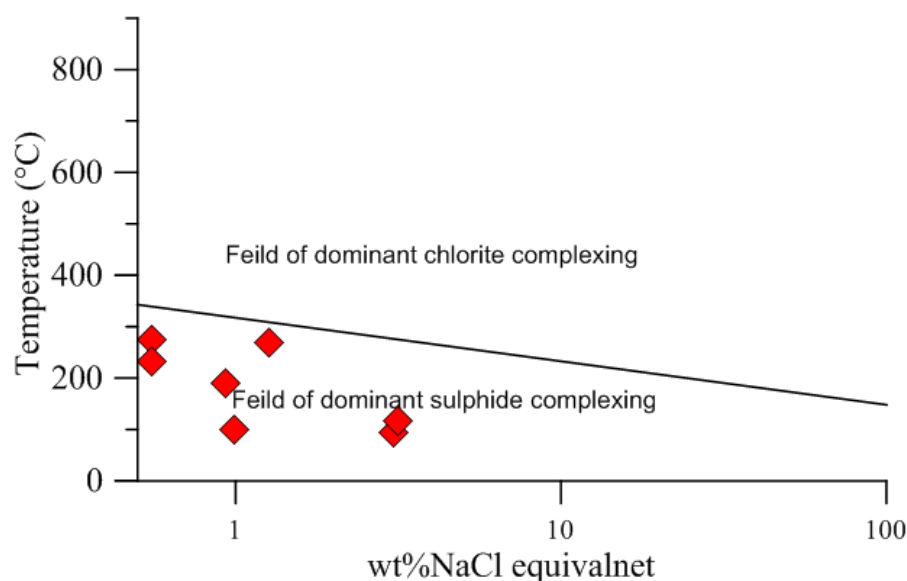
شکل ۴-۶. نمودار دما - شوری جهت تعیین چگالی محلول‌های NaCl-H<sub>2</sub>O اشباع از بخار (Wilkinson, 2001).



شکل ۵-۶. نمودار تعیین فشار بخار محلول بر حسب دمای همگن شدن و شوری (Driesner and Heinrich, 2007).

### ۳-۶-۶- تعیین نوع کمپلکس‌های احتمالی برای حمل فلزات

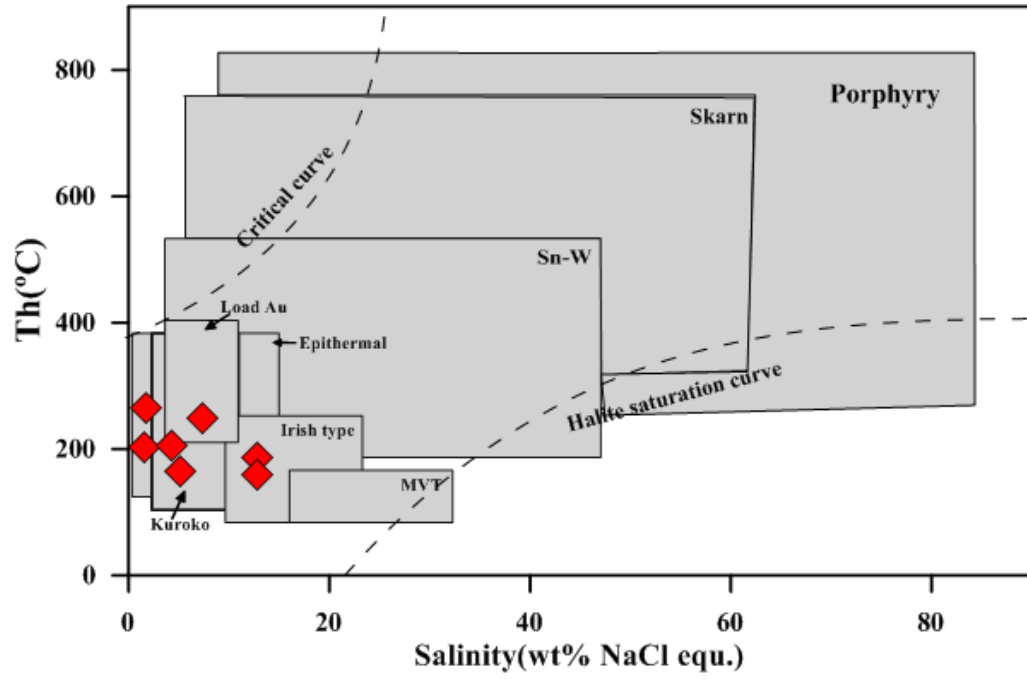
با استفاده از نمودار پیراجنو (Pirajno, 2009) که براساس دمای همگن‌شدگی و درصدوزنی نمک‌طعام در میانبارهای سیال ارائه شده است می‌توان به کمپلکس مؤثر در حمل فلزات کانسار هجیب پی برد. براساس مطالعات (Barens, 1997) در سیال‌های گرمایی با شوری بالا و دماهای بالا، کمپلکس‌های کلروری، و در دماهای پایین و شوری کم، کمپلکس‌های سولفیدی فلزات پدیدارند. همانطور که در شکل (۶-۶) مشاهده می‌شود میانبارهای سیال مورد مطالعه در محدوده‌ی مربوط به کمپلکس‌های نوع بی‌سولفیدی می‌باشد.



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

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

بر اساس نمودار شکل (۶-۷) که برپایه دمای همگن‌شدگی و شوری میانبارهای سیال کانسارهای مختلف طراحی شده است (Willkinson, 2001) میانبارهای سیال مورد مطالعه در کانسار چندفلزی هجیب در بخش اپی‌ترمال قرار می‌گیرند (شکل ۶-۷).



شکل ۶-۷. نمودار محدوده دما و شوری میان بارهای سیال در کانسار چندفلزی هجیب و تعیین تیپ احتمالی کانسارها (Wilkinson, 2001).



# فصل ہفتم:

تیپ و الگوی تشکیل کانسار، تیجہ گیری

ویشنہادہ

یکی از نکات مهم در مطالعه هر کانساری، توجه به عوامل کنترل کننده تشکیل و تمرکز ماده معدنی آن کانسار می باشد، بنابراین، بررسی و تحلیل فاکتورهایی که در تشکیل و تمرکز ماده معدنی نقش داشته اند، جهت شناسایی فرآیندهای مؤثر در کانه زایی، حائز اهمیت می باشد، در این رابطه، نوع و ماهیت سنگ میزبان، ماهیت فیزیکوشیمیایی سیالات کانه ساز، تأثیر متقابل سیالات کانه ساز و سنگ های دیواره، دگرسانی، ماگماتیسم، ساختارهای تکتونیکی و همچنین نحوه پراکندگی و توزیع ژئوشیمیایی عناصر اصلی و کمیاب، از جمله فاکتورهای اساسی هستند. در این فصل، ابتدا خلاصه ای از شواهد مهم زمین شناسی، سنگ شناسی، کانی-شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و میانبارهای سیال مرتبط با کانه زایی منطقه هجیب آورده شده است، سپس بر مبنای اطلاعات و شواهد موجود، ویژگی های کانه زایی هجیب با تیپ های کانه زایی مشابه در ایران و دنیا پرداخته شده و در پایان مدل احتمالی برای کانه زایی در محدوده هجیب ارائه می گردد.

## ۷-۲- خلاصه ای از شواهد ژنتیکی موجود در ارتباط با کانه زایی

نتایج حاصل از مشاهدات صحرایی، بررسی های میکروسکوپی (پتروگرافی و کانه نگاری)، نتایج و شواهد به دست آمده از آنالیزها و مطالعات ژئوشیمیایی و همچنین نتایج حاصل از مطالعات میانبارهای سیال در کانسار هجیب را می توان به صورت زیر خلاصه نمود:

**زمین شناسی:** کانی سازی چندفلزی هجیب در استان قزوین و در حدود ۲۳ کیلومتری جنوب شرق شهر بوئین زهرا قرار دارد. از لحاظ تقسیم بندی های زمین ساختی منطقه مورد مطالعه، جزئی از واحد ساختمانی ایران مرکزی است، که به طور ویژه در بخش شمالی کمر بند ماگمایی ارومیه-دختر قرار می گیرد. در محدوده مورد مطالعه واحدهای قدیمی تر از ائوسن بالایی فاقد رخنمون می باشد. واحدهای سنگی ائوسن بالایی با رنگ تیره-شان به گونه ای هم شیب بر روی سری سبز ائوسن میانی جای می گیرند که در برگیرنده گدازه های آندزیتی و لاتیتی با بافت غالب پورفیریک و و گاهاً مگاپورفیریک هستند، و در بخش هایی به گونه ای متناوب با لاپیلی

توف، ماسه‌سنگ توفی و ماسه‌سنگ قرار می‌گیرد. بطور کلی توالی سنگ‌شناسی در منطقه مورد مطالعه گستره- ای از سنگ‌های رسوبی و آتشفشانی است. سنگ‌های رسوبی رخنمون یافته در این محدوده دارای ماهیت ماسه‌سنگی می‌باشند. واحدهای سنگی که در سطح رخنمون دارند شامل سنگ‌های آتشفشانی (گدازه و توف)، ماسه‌سنگ و رگه‌های سیلیسی کانه‌دار می‌باشد. ترکیب واحدهای گدازه موجود در محدوده شامل آندزیت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت است. واحد آذرآواری در واقع حد مابین دو گروه سنگی رسوبی و آذرین می‌باشد که شامل واحدهای لیتیک کریستال توف، لاپیلی توف و ماسه‌سنگ توفی است.

**دگرسانی و کانه‌زایی:** با توجه به مطالعات میکروسکوپی و نتایج آنالیز XRD دگرسانی‌های موجود در هجیب شامل پروپیلیتیک (کلریتی- اپیدوتی)، آرژیلیک، سریسیتیک، سیلیسی- کربناته و اکسید- هیدروکسیدهای آهن می‌باشد. علاوه بر این مشاهدات صحرایی و مطالعات سنگ‌شناسی براساس مقاطع نازک و نازک صیقلی نشان می‌دهد که کانه‌زایی در منطقه هجیب به صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی است، که سنگ میزبان آن‌ها توف‌های آندزیتی، لیتیک توف و ماسه‌سنگ‌های توفی می‌باشد. به طور کلی ۹ رگه سیلیسی و سیلیسی- اکسید آهنی کانه‌دار در این منطقه مشاهده شده است که تعداد ۴ عدد از این رگه‌ها از نظر طول و عرض در مقایسه با دیگر رگه‌ها ارجحیت دارد.

**کانی‌شناسی و ساخت و بافت:** کانی‌های اصلی سازنده کانسار شامل: سولفیدها (کالکوپیریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت و میزان کمتر بورنیت)، کربنات‌ها (مالاکیت و آزوریت)، اکسیدهای آهن (هماتیت، اولیژیست، لیمونیت، گوتیت و پیرولولوزیت) و کانی‌های باطله (کلسیت، کوارتز و باریت) می‌باشند. بافت‌های رگه- رگچه‌ای، برشی، نواری، کلورمی، جانشین، اسکلتی و دانه‌پراکنده وجود دارد، که انواع رگه- رگچه‌ای و کلورمی غالب هستند. ساخت‌های منطقه شامل نواری، رگه- رگچه‌ای و برشی می‌باشد.

**ژئوشیمی سنگ‌های دربرگیرنده کانسار:** مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای سازنده واحدهای اصلی منطقه در قلمرو ماگماهای کالک‌آلکان و تولئیتی و همچنین از نظر درجه اشباع آلومینیم، در محدوده متآلومین و پرآلومین قرار می‌گیرند. همچنین از نظر موقعیت زمین‌ساختی اغلب در محیط‌های مربوط به

کمان‌های آتشفشانی می‌باشند. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای کالک‌آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی می‌باشد.

**ژئوشیمی کانسنگ:** بر پایه‌ی تجزیه‌های شیمیایی ۲۸ نمونه سنگ از شرکت بازرگانی معدنی زرمش مقدیر کمینه، متوسط و بیشینه عناصر طلا، نقره، مس، آهن، مولیبدن، سرب و روی محاسبه شده است. که از این میان مقدار کمینه، متوسط و بیشینه عنصر طلا به ترتیب برابر با ۳/۷۵، ۵۴۸/۰۵ و ۲۴۸۴ میلی‌گرم در تن و همچنین مقادیر کمینه، متوسط و بیشینه برای عنصر مس به ترتیب ۱۷۷، ۱۲۰۵۴/۴۲ و ۴۶۲۲۴ گرم در تن است، که این عیارها از نظر زمین‌شناسی اقتصادی حائز اهمیت هستند و بیان از کانه‌زایی طلا، مس و عناصر همراه در این منطقه دارد.

**میانبارهای سیال:** برای مطالعه میانبارهای سیال در کانسار هجیب تعداد ۳ نمونه انتخاب گردید. فراوانی میانبارهای سیال در مقاطع مورد مطالعه نسبتاً خوب بوده است. تنها میانبارهای سیال مشاهده شده در این منطقه بصورت انکلوزیون‌های دوفازی غنی از مایع (L+V) می‌باشد که از یک فاز مایع به همراه فاز بخار تشکیل شده است. تغییرات دمای همگن شدن میانبارها به فاز مایع، در میانبارهای دو فازی مایع و بخار (L+V) در میزبان کوارتز بین ۱۴۷ تا ۲۵۰ درجه سانتی‌گراد (میانگین °C ۲۳۴) می‌باشد و میزان درجه شوری میانبارهای سیال بین ۰/۸۷ تا ۱۳/۰۶ (میانگین ۶/۰۷) درصد وزنی معادل نمک طعام، در تغییر است. چگالی سیال در نمونه‌های کانسار هجیب بین ۱- ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب ( $g/cm^3$ ) و فشار بخار در بازه کمتر از ۱۰ تا حداکثر ۱۰۰ بار قرار می‌گیرد.

### ۷-۳- طبقه‌بندی و ویژگی‌های عمومی کانسارهای مس

براساس خصوصیات کانسارهای مس ذکر شده در جدول (۷-۱) و مقایسه این ویژگی‌ها با کانسار هجیب مشاهده می‌شود که منطقه ما بیشترین شباهت را به کانسارهای پلی‌متالیک رگه‌ای دارد در نتیجه کانه‌زایی منطقه از نوع چندفلزی می‌باشد.

جدول ۷-۱. مقایسه ویژگی‌های زمین‌شناسی و کانه‌زایی کانسار هجیب با برخی کانسارهای مس.

مشخصات	کانسارهای مس پورفیری	کانسارهای پلی-متالیک رگه‌ای	کانسارهای اپی‌ترمال سولفید بالا	کانسارهای اپی‌ترمال سولفید پایین	کانسار هجیب
جنس و سنگ-میزبان کانه‌زایی	گرانودیوریت، تونالیت، کوارتزومونزونیت تا دیوریت	سنگ‌های رسوبی- دگرگونه تخریبی با سنگ‌های آتشفشانی فلسیک تا حدواسط	بیشتر آندزیت تا ریوداسیت	بازالت-ریولیت-آلکالی بازالت تا تراکیت	سنگ‌های رسوبی-توف- آندزیت-آندزیت بازالتی-تراکی آندزیت
محیط تکتونیکی	حاشیه قاره‌ای فعال و جزایر قوسی	حاشیه قاره‌ای، جزایر کمانی، سکانس‌های کراتونی و سنگ‌های آتشفشانی ثاره‌ای	-	-	کمان حاشیه قاره
نوع دگرسانی و محصولات	پتاسیک، فیلیک، رسی، پروپیلیتیک	سیلیسی، سرسیتی، کلریتی، آرژیلیک، پیریتی شدن	کوارتز آلونیت کانی‌های آلومینیوم- فسفات-سولفات؛ کوارتز پروفیلیت دیکی‌ت در عمق	ایلیت-روسکولیت آدولاریا-اسمکتیت	پروپیلیتیک، سرسیتیک- سیلیسی-کربناته آرژیلیک، اکسیدهای آهن
پاراژنز کانیایی	کالکوپیریت، پیریت، بورنیت، مگنتیت، کالکوسیت، کولیت و مولیدنیت	گالن، اسفالریت، تتراهدردیت، تنانتیت، کالکوپیریت، پیریت، آرسنوپیریت، اسفالریت و ...	کربنات-کوارتز- باریت	باریت، سلسیت و فلوریت رایج و یا بطور محلی حضور دارند.	گالن-کالکوپیریت- بورنیت-کولیت- کالکوسیت-پیرولوزیت- هماتیت-اولیژیست
بافت	انتشاری و رگچه‌ای	نواربندی، رگه‌ای، برشی، پوسته‌ای شدن	پرکننده فضای خالی، برشی، رگه‌ای، پراکنده-نواری، جانشیننی،	پرکننده فضای خالی، برشی، رگه‌ای، پراکنده- نواری، جانشیننی،	نواری-رگه رگچه‌ای- کلوفرمی-جانشیننی= اسکلتی دانه‌پراکنده

مطالعات این پایانه	(Sillitoe et al., 2003)	(Sillitoe et al., 2003)	حسنی پاک و همکاران، ۱۳۷۹	(McMillan and Panteleyev., 1988)	منابع
--------------------	-------------------------	-------------------------	--------------------------	----------------------------------	-------

#### ۷-۴- مقایسه ویژگی‌های کانسار هجیب با انواع کانسارهای پلی‌متال

ویژگی‌های زمین‌شناسی و معدنی کانسار هجیب با تعدادی کانسار پلی‌متال شناخته شده در ایران از قبیل کانسار لک، ندوشن یزد، حوض رئیس، چشمه‌حافظ، گله‌چاه- شوراب و کانسار زرنديه مقایسه شده است. اگرچه اختلافات جزئی میان کانسار چندفلزی رگه‌ای هجیب با کانسارهای نام برده شده وجود دارد ولی کانسار هجیب بیشترین تشابه را با این کانسارها دارا می‌باشد.

جدول ۷-۲- مقایسه برخی خصوصیات کانسار هجیب با چند کانسار چندفلزی رگه‌ای در ایران.

موارد مقایسه	ندوشن یزد	حوض رئیس	کانسار لک	چشمه‌حافظ	گله‌چاه- شوراب	زرنديه	هجیب
موقعیت تکتونیکی	-	زون فرورانش	کمان حاشیه قاره	زون فرورانش	کمان ماگمایی زون‌های فرورانش	کمان آتشفشانی مرتبط با مناطق فرورانش و حوضه‌های کششی پس از تصادم	کمان حاشیه قاره
موقعیت زمین ساختاری	زون ایران مرکزی	غرب بلوک لوت	کمر بند آتشفشانی ارومیه دختر	کمر بند آتشفشانی تروند- چاه شیرین	مجموعه ماگمایی شرق ایران- شمال بلوک لوت	بخش میانی کمر بند ماگمایی ارومیه- دختر	بخش شمالی کمر بند ارومیه- دختر
جنس و سنگ- میزبان کانه‌زایی	ویتریک توف- کریستال ویتریک توف با ترکیب آندزیتی و داسیتی	لاتیت آندزیت	گدازه آندزیتی- آندزیت بازالتی- داسیت- تراکی آندزیت- ایگمیریت	گدازه‌های آندزیتی- آندزیت بازالت توف و سنگ‌های رسوبی	داسیت ریوداسیت- توف و ایگمیریت	بیشتر گابرو و دیوریت، در خارج از محدوده اکتشافی، کانه‌زایی در سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشان-رسوبی	سنگ‌های رسوبی- توف- آندزیت- تراکی آندزیت
سری ماگمایی	-	شوشونیتی	کالک آلکان	کالک آلکان و شوشونیتی	کالک آلکان غنی از پتاسیم	کالک آلکان	کالک آلکان

زون های دگرسانی	سیلیسی - کربناتی - آرژلیک - پروپیلیتیک - اکسید و هیدروکسید آهن	سیلیسی - آرژلیک - کائولینیتی - سیلیسی - پروپیلیتیک	سرسیستی - آرژلیک - کائولینیتی - سیلیسی - پروپیلیتیک	پروپیلیتیک، آرژلیک حدواسط، سیلیسی، سرسیستی، آلبیتی، کربناته و اکسید و هیدروکسیدهای آهن	کربناتی و سیلیسی	پروپیلیتیک - سرسیستی آرژلیک و سیلیسی	Ag- -Cu-Au Fe-Pb- Zn	Cu	Pb- Zn-Cu Sb-Ag	Cu-Au -Ag- Pb- Zn	-	Cu -Pb - Zn	Au-Cu -Pb - Zn	عناصر مهم فلزی
پاراژنز کانایی	اسفالریت - گالن کالکوپیریت پیریت کولیت کالکوسیت دیژنیت مالاکیت آزوریت	گالن - اسفالریت پیریت کالکوپیریت مگنتیت سروزیت کالکوسیت	گالن - پیریت کالکوپیریت - بورنیت تتراهدریت دیژنیت - سروزیت مالاکیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، بورنیت، کالکوسیت، پیرولوزیت، هماتیت، اولیژیست	گالن - پیریت کالکوپیریت - بورنیت تتراهدریت دیژنیت - سروزیت مالاکیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت	گالن - کالکوپیریت، کولیت، مالاکیت، آزوریت، هماتیت، گوتیت و لیمونیت
بافت	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای	پرکننده فضای خالی - رگه ای - جانشین - توده ای
عیار عناصر	Au= 548 ppb Cu= 12054ppm	Cu= 0.1-3.2 % 10-340 =Au ppm	Pb= 7.8% Zn= 1.4% Cu= 0.8% Sb= 1200ppm Ag=50ppm	Au= 0/15 ppm Cu= 2/64%	-	Pb= 9.5% Zn= 7.5% Cu= 0.63% Ag=60ppm	Au= 760 ppb Cu= 1512ppm							
منابع	مطالعات این پایانه	یوسفی، ۱۳۹۶	مهرایی، ۱۳۹۰	مهرایی، ۱۳۸۹	گودرزی، ۱۳۹۱	ملک زاده و کریم پور، ۱۳۹۲	امامی، ۱۳۹۰							

علاوه بر این ویژگی های زمین شناسی و معدنی کانسار هجیب با تعدادی کانسار چندفلزی رگه ای شناخته شده در جهان از قبیل کانسارهای چندفلزی رگه ای Weilasituo، کانسار NM و کانسار (Cu-Au-Zn-Pb)

Yindonggou مقایسه شده است (جدول ۷-۳)، و کانسار هجیب بیشترین تشابه را با کانسار چندفلزی رگه ای Yindonggou واقع در مرکز چین دارد.

جدول ۷-۳. مقایسه برخی خصوصیات کانسار چندفلزی هجیب با چند کانسار چندفلزی رگه‌ای در جهان.

موارد مقایسه	کانسار چندفلزی رگه ای Weilasituo	کانسار چندفلزی رگه ای NM	کانسار Cu-Au-Zn-Pb Yindonggou	کانسار Cu هجیب
موقعیت جغرافیایی	شمال شرق چین	جنوب چین	واقع در مرکز چین	استان قزوین
پهنه ساختاری	کمر بند کوهزایی Asian مرکزی	در مرکز کمر بند متالوژنی Truong Son	جنوب شرق کوهزایی Qinling	بخش شمالی کمر بند ارومیه- دختر
سنگ میزبان	کوارتز دیوریت- تراکی آندزیت- آندزیت بازالتی	ریولیت- بیوتیت گرانیت آدزیت- داسیت	سنگ رسوبی- داسیت- تراکی آندزیت	سنگ‌های رسوبی- توف- آندزیت- آندزیت بازالتی- تراکی آندزیت
فلزات اصلی	Cu- Sn	Cu	-	Cu-Au -Ag- Pb- Zn-Fe
کانی های اصلی	کاسیت- ولفرامیت- اسفالریت- کالکوپیریت- تتراهیدریت- آرسنوپیریت	پیروتیت- کالکوپیریت- اسفالریت- پیریت- مار کاسیت- گالن- کولیت	کالکوپیریت- پیریت- گالن- بورنیت- کالکوپیریت	گالن- کالکوپیریت- بورنیت- کولیت- کالکوسیت- پیرولولوزیت- هماتیت- اولیژیت



ساخت و بافت	رگه-رگچه ای-دانه- پراکنده-توده ای- برشی	رگه-رگچه ای - پراکنده	نواری- رگه رگچه‌ای- کلوفرمی- جانشینی- اسکلتی- دانه‌پراکنده
دگرسانی	سیلیسی- آرژلیک- پروپیلیتیک	پروپیلیتیک آرژلیک	پروپیلیتیک، سربیسیتیک- سیلیسی- کربناته آرژلیک، اکسیدهای آهن
ژنز	چندفلزی رگه ای	چندفلزی رگه ای	چندفلزی رگه ای
منابع	Wang et al., 2017	Jia et al., 2010	Yue et al., 2014
			تحقیق حاضر

## ۷-۵- الگوی تشکیل کانسار چندفلزی رگه‌ای هجیب

براساس نتایج بدست آمده از مشاهدات صحرایی، مطالعات سنگ‌شناسی و کانه‌نگاری، روابط پاراژنتیکی کانی‌ها و کانه‌ها، دگرسانی‌ها و بررسی‌های ژئوشیمیایی مراحل تکوین و تکامل کانسار چندفلزی هجیب به شرح زیر است:

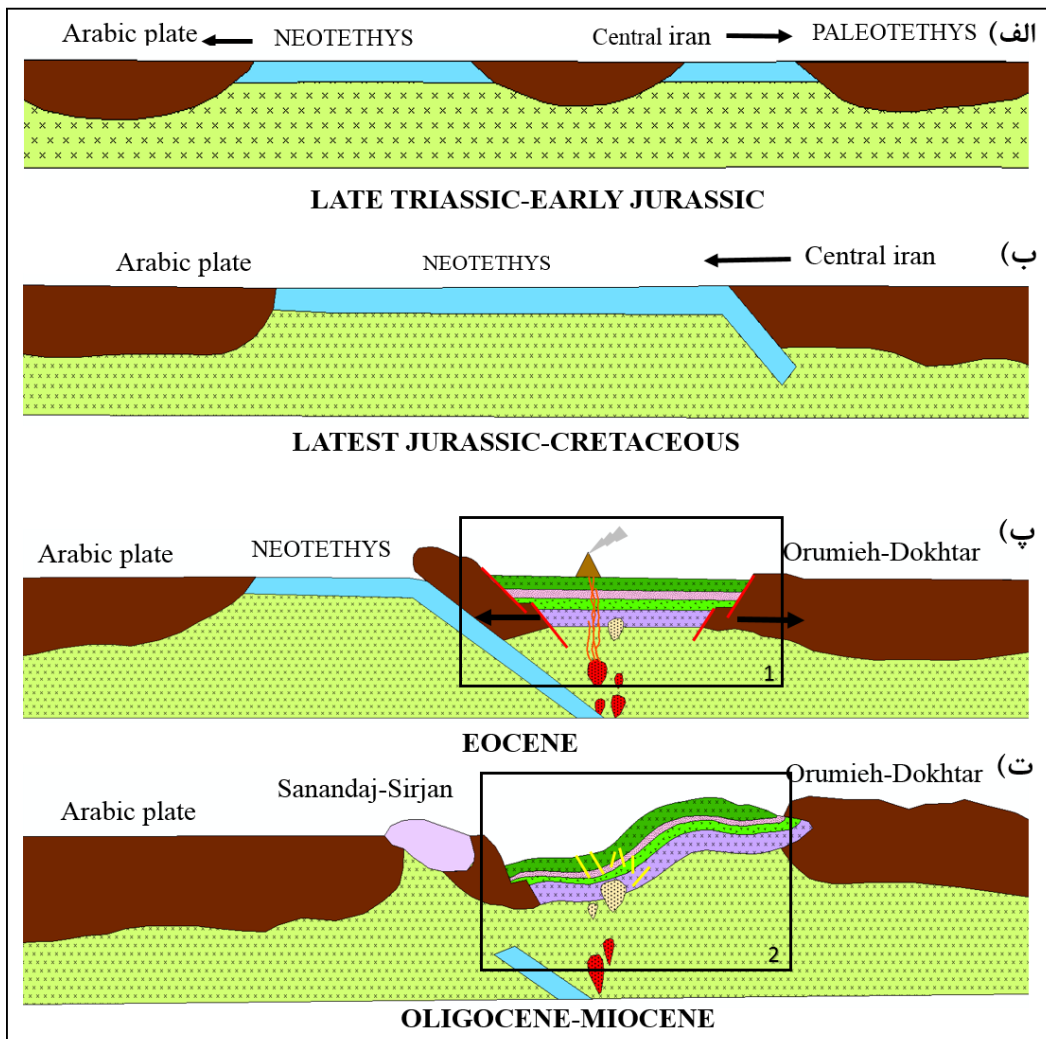
(۱) همزمان یا کمی پس از بسته شدن دریای پالئوتتیس (در اواخر پالئوزوئیک یا تریاس) زمینه برای جدایی ایران از گندوانا فراهم می‌شود. پوسته ایران تحت تأثیر نیروهای کششی مهم در این زمان بوده است، با این حرکت، شکستگی‌های عمیقی در پوسته ایران بوجود آمده که علاوه بر خروج مواد آتشفشانی فراوان از آن‌ها، پلاتفرم ایران به خرد قاره‌هایی تقسیم شده و رفته‌رفته از هم فاصله گرفته‌اند. شکاف عمیقی در امتداد رورانگی اصلی زاگرس در پلاتفرم و پوشش آن در جنوب پدید آمد که با گسترش آن زاگرس و بخشی از عربستان به زیر آب فرو رفت، اقیانوسی که بر اثر جدایی ایران از عربستان در تریاس به وجود آمد نئوتتیس نامیده شد. در اواخر تریاس نئوتتیس به حداکثر گسترش خود رسید (شکل ۷-۱- الف).

(۲) در خلال دوره ژوراسیک با حرکت رو به شمال صفحه‌هند، مرکز و مشرق ایران تحت تأثیر حرکات فشاری قرار می‌گیرند، با این حرکات موقعیت زمین‌ساختی ایران تغییر می‌کند و به صورت مرز همگرایی در می‌آید. از یک سو فعالیت آتشفشانی گسترش می‌یابد و از سوی دیگر نئوتتیس شروع به بسته شدن می‌کند. فعالیت‌های دگرگونی در پوسته ایران از نتایج دیگر این حرکت بوده است. مثلاً دگرگونی سنگ‌های سنندج-سیرجان نتیجه

این حرکت بوده است. در اواخر کرتاسه- اوایل پالئوسن اقیانوس نئوتتیس کاملاً بسته شد و خرد قاره ایران به صفحه عربستان می پیوندد. گسل اصلی زاگرس در محل این جوش خوردگی قرار دارد. مجموعه افیولیتی و رادیولاریتی اطراف این گسل از شواهد این جوش خوردگی می باشد. در این مرحله پوسته ایران یکپارچه شده و رسوب های سنندج-سیرجان مجدداً دگرگون می شوند (شکل ۷-۱-ب).

۳) در ائوسن تا میوسن، با حرکت هرچه بیشتر پلاتفرم عربستان به سوی ایران فرورانش پوسته اقیانوس عربی به زیر پوسته قاره ای ایران ادامه می یابد و پوسته ای قاره ای ایران در موقعیت کمان ارومیه- دختر دچار بالا آمدگی شده و فرایندهای کشش پوسته ای زمینه را برای پیدایش محیطها و حوضه های کششی مرتبط با کمان های آتشفشانی فراهم می نماید. در زمان ائوسن- الیگوسن در این حوضه های کششی تناوبی از سنگ های رسوبی- آذر آواری ها، گدازه، شیل، ماسه سنگ و سنگ آهک نهشته شده است (شکل ۷-۱-پ).

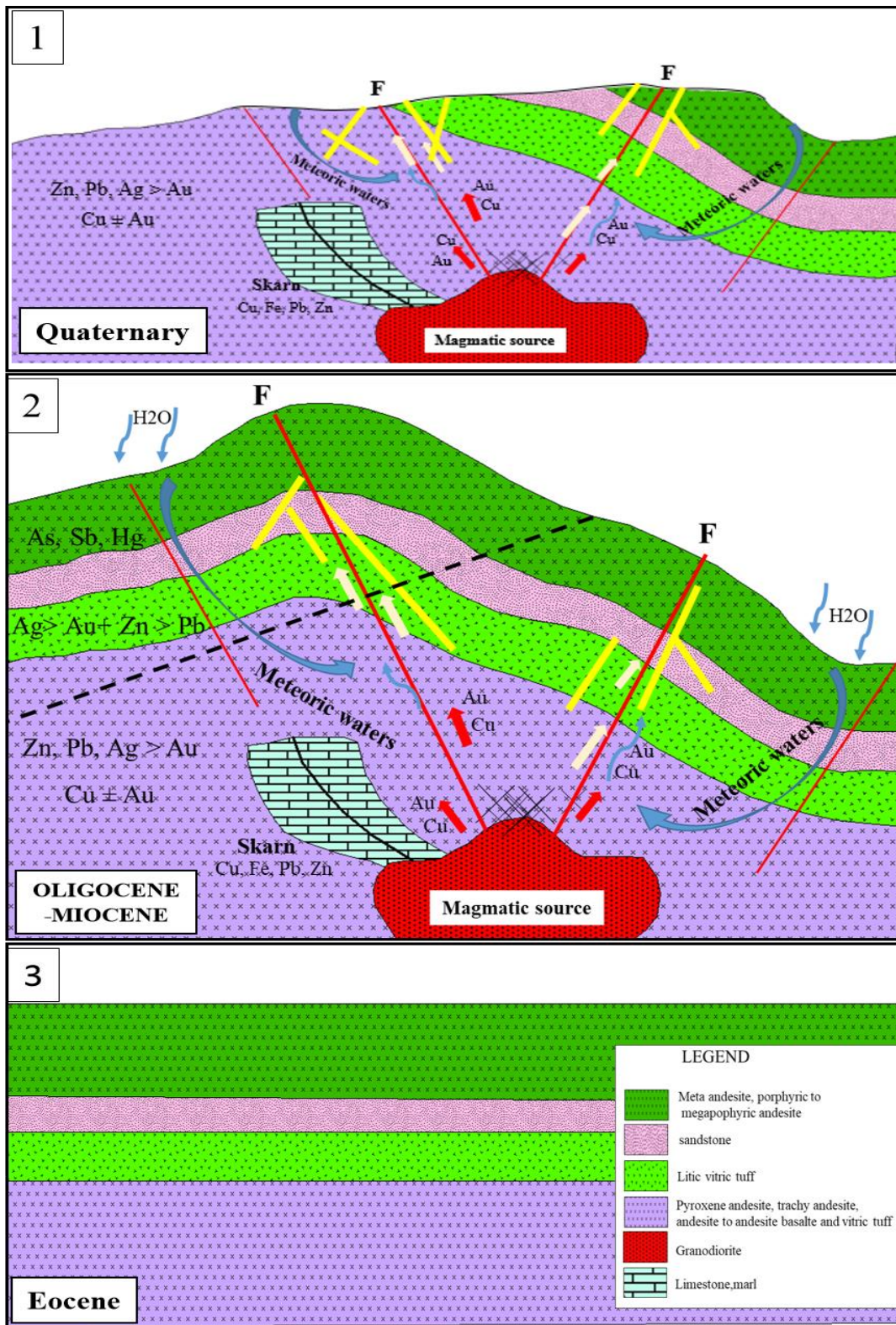
۴) در زمان الیگوسن- میوسن سری آتشفشانی- رسوبی بوسیله ی نفوذ توده های آذرین با ترکیب فلسیک تا حدواسط مورد تهاجم قرار گرفته و فعالیت ماگمایی- هیدروترمالی توده های نفوذی مذکور سبب تشکیل کانسارهای پورفیری، اسکارن، پلی متال و رگه ای در این کمربند شده است (Golonka, 2004)، که کانسار چندفلزی هجیب از جمله کانسارهای چندفلزی رگه ای در کمان ماگمایی ارومیه- دختر می باشد که در طول این تحولات زمین شناسی تشکیل شده است (شکل ۷-۱-ت).



شکل ۷-۱. مقطع عرضی که نشان دهنده چگونگی تشکیل کمان ماگمایی ارومیه-دختر می باشد (Golonka, 2002): الف) گسترش نئوتتیس در اواخر تریاس. ب) فروانش نئوتتیس به زیر ورقه ایران در طی کرتاسه پسین. پ) بسته شدن نئوتتیس در اواخر کرتاسه تا پالئوسن. ت) شکل گیری کمان ماگمایی ارومیه-دختر در زمان الیگوسن - میوسن.

کمان ماگمایی ارومیه-دختر متشکل از سنگ‌های آتشفشانی - رسوبی، سنگ‌های نفوذی عمیق و نیمه عمیق و دایک به سن ائوسن-کواترنری می باشد. در منطقه‌ی هجیب سنگ‌های آتشفشانی مانند آندزیت، آندزیت بازالتی و تراکی آندزیت به همراه سنگ‌های آذرآواری و رسوبی در یک محیط مربوط به محیط‌های کمان‌های حاشیه‌ی قاره‌ای تشکیل شده است. در این مرحله احتمال تشکیل شکل پراکنده‌ای از کانی سازی مس (پیریت، کالکوپیریت، بورنیت و گالن) به همراه سنگ‌های آتشفشانی و آذرآواری وجود دارد. بالابودن مقدار زمینه‌ی مس نسبت به کلارک جهانی آن در سنگ‌های آتشفشانی ائوسن گویای این مسئله می باشد به طوریکه دیاژنز و دگرگونی دفنی درجه پایین سنگ‌های آتشفشانی ائوسن زمینه را برای تشکیل کنسارهای مس تیپ بازالتی،

مانتو و مس به همراه طبقات قرمز آتشفشانی فراهم می‌نماید. سنگ‌های نفوذی گرانیتوئیدی شامل گرانیت، دیوریت، آپلیت و دایک‌های بازی (نقشه زمین‌شناسی یکصد هزار اشتهارد (یوسفی و همکاران، ۱۳۸۹) به داخل سنگ‌های آتشفشانی تشکیل شده در مرحله‌ی قبل نفوذ کرده‌اند. در جای‌گیری توده‌های نفوذی ساختارهای تکتونیکی مثل خطواره‌ها، گسل‌ها و بویژه مکان‌هایی که خطواره‌ها و گسل‌های عمیق همدیگر را قطع می‌کنند، نقش اساسی دارند. (در منطقه هجیب توده نفوذی در سطح رخنمون ندارد). جایگیری توده‌های نفوذی به نوبه خود سبب فعال شدن گسل‌های قبلی و نیز پیدایش گسل‌های جدید می‌گردد. سیالات گرمابی با منشأ ماگمایی در امتداد گسل‌ها و شکستگی‌ها شروع به حرکت کرده و با آب‌های جوی مخلوط شده‌اند. چرخش این سیالات باعث توسعه دگرسانی‌ها و شسته‌شدن مس از سنگ‌های مسیر و تمرکز مجدد آنها در امتداد شکستگی‌ها (گسل‌ها و درزها) فضاهای خالی برش‌ها و فضاهای خالی ناشی از انحلال سنگ‌ها و کانی‌ها به‌صورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی کانه‌دار درون سنگ‌های آتشفشانی شده است. پس از آن هوازدگی فیزیکی و شیمیایی سبب فرسایش سنگ‌های آتشفشانی-رسوبی شده و در نهایت ریخت‌شناسی کنونی حاصل اثرات متقابل اتمسفر، هیدروسفر و بیوسفر با سنگ‌های منطقه در منطقه هجیب کانی‌سازی بصورت رگه‌های سیلیسی-سولفیدی است، که سنگ میزبان آن‌ها توف‌های آندزیتی، لیتیک‌توف و ماسه‌سنگ‌های توفی می‌باشد (شکل ۷-۲).



شکل ۷-۲. نمایی شماتیک از مراحل تکوین و تکامل کانه‌زایی هجیب.

## ۶-۷- نتیجه‌گیری کلی

- توالی آتشفشانی-رسوبی ائوسن رخنمون‌های سنگی این محدوده را تشکیل می‌دهد، که شامل سنگ‌های آذرآواری با ترکیب توف‌اندزیتی و لیتیک توف، گدازه‌های آندزیتی و آندزیت-بازالتی، ماسه‌سنگ توفی و ماسه‌سنگ می‌باشد. گدازه و توف‌های آندزیتی و ماسه‌سنگ‌های توفی میزبان رگه‌های سیلیسی کانه‌دار هستند.
- دگرسانی‌ها موجود در محدوده هجیب شامل پروپیلیتیک (کلریتی - اپیدوتی)، آرژلیک، سریسیتی، سیلیسی - کربناتی و اکسید-هیدروکسیدهای آهن است.
- کانی‌های اصلی سازنده کانسار شامل: سولفیدها (کالکوپیریت، اسفالریت، گالن، بورنیت، کالکوسیت، کوولیت، و پیریت)، کربنات‌ها (مالاکیت، آزوریت و سروزیت)، اکسیدهای آهن و منگنز (هماتیت، اولیژیست، گوتیت، لیمونیت و پیرولوسیت) و کانی‌های باطله (کلسیت، کوارتز و باریت) می‌باشند.
- مطالعات ژئوشیمی نشان می‌دهد که ماگمای مادر سنگ‌های آذرین منطقه، ترکیب کالک آلکالن، متآلومین و پرآلومین دارد، و از نظر موقعیت زمین‌ساختی در محیط‌های مربوط به کمان‌های آتشفشانی قرار می‌گیرد. نمودارهای عنکبوتی چندعنصری بی‌هنجاری منفی Ti و Nb را نشان می‌دهند که از ویژگی‌های ماگماهای کالک آلکالن مرتبط با کمان‌های آتشفشانی می‌باشد. مقادیر غلظت عناصر مس، سرب، روی، طلا و نقره در رگه‌های سیلیسی هجیب در حد کانه‌زائی اقتصادی اندازه‌گیری شده است.
- براساس مطالعات میانبارهای سیال در کوارتز، دمای همگن‌شدگی ۱۴۷ تا ۲۵۰ (میانگین ۲۳۴) درجه سانتی‌گراد و میزان شوری نیز از ۰/۸۷ تا ۱۳/۰۶ (میانگین ۶/۰۷) درصد وزنی معادل نمک طعام تغییر می‌کند. براساس دمای همگن‌شدگی و شوری، کانه‌زائی در فشار ۱۰ تا ۱۰۰ بار و چگالی بین ۱ تا ۱/۱ گرم بر سانتی‌متر مکعب رخ داده است.
- براساس مشاهدات صحرایی، مطالعات زمین‌شناسی، پتروگرافی، دگرسانی و کانه‌زایی، کانه‌نگاری، ژئوشیمی، مطالعات میانبارهای سیال و همچنین پس از مقایسه کانه‌زایی هجیب با تعدادی کانسارهای

مختلف در ایران و سایر نفاط جهان، کانه‌زایی هجیب به عنوان یک کانسار رگه‌ای چندفلزی معرفی می‌گردد.

## ۷-۷- پیشنهادها:

- ۱- تهیه نقشه زمین‌شناسی-معدنی در مقیاس ۱/۱۰۰۰، بطوریکه تمامی واحدهای سنگی، مناطق دگرسانی، ساختارهای تکتونیکی (گسل‌ها، چین‌ها، و درزه‌ها) و آثار کانه‌زایی بر روی این نقشه تفکیک شده باشد.
- ۲- طراحی و برداشت‌های ژئوفیزیکی با استفاده از روش‌های مقاومت ویژه الکتریکی (RS) و پلاریزاسیون القائی (IP) برای تعیین شکل و گسترش کانه‌زایی در عمق (لازم به ذکر است که امتداد پروفیل‌های ژئوفیزیکی عمود بر امتداد رگه‌های سیلیسی کانه‌دار در نظر گرفته شود).
- ۳- طراحی و حفر گمانه‌های اکتشافی آزمایشی بر پایه تلفیق یافته‌های زمین‌شناسی، دگرسانی، اکتشافات ژئوشیمیایی سطحی و اکتشافات ژئوفیزیکی.
- ۴- نمونه‌برداری از مغزه‌های حفاری آزمایشی برای مطالعات سنگ‌نگاری، کانه‌نگاری، دگرسانی، ژئوشیمی و ...
- ۵- انتخاب نمونه‌های معرف کانه‌زایی از مغزه‌های حفاری برای انجام آزمایش‌های تخصصی زمین‌شناسی از قبیل میانبارهای سیال، تجزیه میکروپروب الکترونی بر روی کانی‌های مهم، و مطالعه ایزوتوپ‌های پایدار گوگرد بر روی کانی‌های سولفیدی (پیریت، کالکوپیریت، و گالن)، برای تعیین تیپ دقیق کانه‌زایی، و در صورت نیاز ارائه پیشنهادها برای انجام اکتشافات تفصیلی.

## منابع فارسی:

- آیتی ف، (۱۳۹۶)، "گزارش مقدماتی از اکتشاف اندیس معدنی پلی‌متال در شمال غرب ساوه"، دهمین همایش ملی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور تبریز.
- آقائباتی س ع، (۱۳۸۳)، "زمین‌شناسی ایران"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۷۰۸ صفحه.
- امامی م ه، خلعت‌بری جعفری م و وثوقی‌عابدینی م، (۱۳۷۱)، "پلوتونیزم ترشیاری منطقه اردستان و ایران مرکزی". فصل‌نامه ۴، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- حسنی‌پاک ا، شجاعت ب، (۱۳۷۹)، "مدل‌سازی کانسارهای فلزی و غیرفلزی و کاربرد اکتشافی آن"، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ اول، شماره ۲۴۹۰.
- حسین‌زاده م، مغفوری س، مؤید م، رحمانی ا، (۱۳۹۵)، "کانسار خلیفه‌لو، کانی‌زایی مس-طلای اپی‌ترمال سولفیداسیون بالا در پهنه ماگمایی طارم، شمال خرمدره"، فصل‌نامه علوم‌زمین، شماره ۹۹، ص: ۱۷۹-۱۹۴.
- رجب‌پور ش، بهزادی م، رساء ا، (۱۳۹۵)، "مطالعه کانی‌شناسی، دگرسانی و ژئوشیمی کانسار مس ولکانیک کوه‌پنگ ساوه، بخش میانی پهنه فرورانش ارومیه-دختر"، مجله پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲۵، ۱۰۹ تا ۱۲۸ ص.
- رسولی‌نوری م، (۱۳۹۵)، "گزارش مقدماتی شرکت معدنی زرمش، طرح اکتشاف چندفلزی رگه ای در محدوده هجیب"، صفحات ۲-۱۲.
- شهاب‌پور ج، (۱۳۹۰)، "زمین‌شناسی اقتصادی"، انتشارات دانشگاه شهید باهنر کرمان، ویرایش اول، ص ۵۴۷.
- عزتی ا، مهرنیا ر، عجایی ک، (۱۳۹۵)، "استفاده از روش‌های دورسنجی برای شناسایی رخساره های دگرسانی -کانه زایی در منطقه رامند، استان قزوین"، مجله زمین‌شناسی اقتصادی، جلد ۸، شماره ۱، ص ۲۲۳ تا ۲۳۸.
- طبخ‌شعبانی ع، (۱۳۶۹)، "پتروگرافی و پترولوژی توده‌های آذرین نفوذی جنوب بوئین‌زهره"، تهران: دانشگاه تربیت معلم تهران، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی.
- عرفان ا، طباطبایی س ح، منصوری م، اسدی ه، (۱۳۹۳)، "ویژگی‌های ژئوشیمیایی اندیس پلی‌متال آفتابرو"، ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی اقتصادی ایران، دانشگاه باهنر کرمان.
- علی‌صالحی ف، محمدی ر، (۱۳۹۳)، "مطالعه ژئوشیمیایی و کانی‌زایی در توده ماگمایی نارباغی شمال شرق ساوه"، هشتمین همایش ملی تخصصی زمین‌شناسی دانشگاه پیام‌نور، ۹ ص.



- عمیدی و همکاران، (۱۳۶۳)، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش پاریز"، سری ۱/۲۵۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- قربانی م، (۱۳۹۳)، "زمین‌شناسی ساختاری و تکتونیک ایران"، انتشارات آرین زمین، چاپ اول.
- کریم پور م ح، سعادت س، (۱۳۸۸)، "زمین‌شناسی اقتصادی کاربردی"، انتشارات نشر مشهد، چاپ چهارم.
- گزارش پروژه اکتشاف و پتانسیل یابی عناصر فلزی در ناحیه جنوب بوئین زهرا، (۱۳۸۱)، تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- گزارش نهایی عملیات اکتشافی تکمیلی جهت تهیه شناسنامه معدن (۱۳۸۲)، تهران: انتشارات سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- گودرزی ز، مقدسی ج، برزگر ح، (۱۳۹۱)، پایان‌نامه "مطالعه کانی‌سازی، دگرسانی و نحوه تکامل سیالات کانی‌ساز در منطقه کانی‌سازی پلی‌متال لک، جنوب‌غرب بوئین‌زهرا، استان قزوین"، گروه زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه پیام نور مرکز تهران.
- مسعودی، ف (۱۳۶۹)، "چینه‌شناسی، پتروگرافی، ژئوشیمی و پترولوژی سنگ‌های آتشفشانی جنوب بوئین زهرا"، تهران: دانشگاه تربیت معلم، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی.
- ملک‌زاده شفاهرودی آ، کریم‌پور م ح، (۱۳۹۲)، "زمین‌شناسی، کانی‌سازی و سیالات‌درگیر کانسار سرب-روی-مس حوض رئیس، شرق ایران"، مجله زمین‌شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۶.
- مهربابی ب، قاسمی سرانی م، (۱۳۸۹)، "زمین‌شناسی، کانی‌شناسی، ژئوشیمی و ژنز کانسار پلی‌متال سرب، روی، مس، نقره و طلا، چشمه حافظ سمنان"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- مهربابی ب، چقانه ن، طالع‌فاضل ا، (۱۳۸۹)، "مطالعات پترولوژی، کانی‌شناسی و دگرسانی آنومالی ۴ کانسار پلی‌متال گلوچه، شمال‌غرب زنجان"، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مهربابی ب، حیوایه الغیبی م، طالع‌فاضل ا، (۱۳۸۹)، "مطالعات زمین‌شناسی، کانی‌شناسی و ژئوشیمی کانسار پلی‌متال سنج، شمال‌غرب کرج"، نخستین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران، دانشگاه فردوسی مشهد.
- مهربابی ب، طالع‌فضل ا، (۱۳۹۰)، "بررسی ژئوشیمی، سیالات‌درگیر و ژنز کانسار پلی‌متال شوراب جنوب فردوس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد زمین‌شناسی اقتصادی، دانشگاه تربیت معلم تهران.
- هوشمندزاده ا، نوگل سادات ف، لطفی م (۱۳۶۳)، "نقشه زمین‌شناسی چهارگوش ۱:۲۵۰۰۰۰ ساوه"، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

-یوسفی س، علی پور اصل م، (۱۳۹۶)، "کانی شناسی، دگرسانی، ژئوشیمی و الگوی تشکیل کانسار مس زرنديه، شمال شرق ساوه"، دانشگاه صنعتی شاهرود، پایان نامه کارشناسی ارشد زمین شناسی اقتصادی.

-یوسفی م، امامی م ه، علوی م، و عروج نیا پ، (۱۳۷۹)، "نقشه زمین شناسی اشتهارد، سری ۱/۱۰۰۰۰۰، شماره ۶۰۶۱، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

## References:

- Alavi M. (1994). "Tectonic of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretation", *Tectonophysics*, v. 229, p. 211-238.
- Aldanmaz E., Pearce J. A., Thirlwall M and Mitchell J. G. (2000). "Petrogenetic evolution late Cenozoic, post-collision volcanism in western Anatolia, Turkey" *Journal of Volcanology and Geothermal Research.*, 102, pp. 67-95.
- Amidi S.M. (1975). "Étude géologique de la région de Natanz-Surk (Iran, Central) ", Thèse Ph.D., Univ. Grenoble, France, 316pp.
- Barnes H. L. (1979). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits", John Wiley & Sons, pp.420-583.
- Barnes H.L. (1997). "Geochemistry of hydrothermal ore deposits". John Wiley & Sons, New York, 972 p.
- Bean R.E., Bodnar R.J., (1995). "Hydrothermal fluids and hydrothermal alteration in porphyry copper deposits". In: Pierce, F.W., and Bohm, J.G. (Eds), *Porphyry copper deposits of the American Cordillera*, Arizona Geological Society Digest 20, Tuscon, AZ: pp.235-269.
- Berberian F and Berberian M. (1981). "Tectono-plutonic episodes in Iran. In: Gupta, H.K., Delany, F.M. (Eds.), *Zagros Hindukosh, Himalaya Geodynamic Evolution*", American Geophysical Union, Washington, DC: 5-32.
- Berberian F., Muir I.D., Pankhurst R. J., Berberian M. (1982). "Late Cretaceous and early Miocene Andean type plutonic activity in northern Makran and central Iran". *J Geol Soc Lond.*, v. 139, pp. 605–614.
- Boric, R., Holmgren, C., Wilson, N. S. F. and Zentilli, M, (2002), "The geology of the El Soldado manto type Cu (Ag) deposit, central Chile. In Porter, T. M. (ed.) *Hydrothermal iron oxide copper-gold and related deposits*", A global perspective. Vol. 2. PGC Publications, Adelaide, 1 – 22.
- Boynton, W.V. (1984), "Geochemistry of Rare Earth Elements: Meteorite Studies. In: Henderson, P., Ed., *Rare Earth Element Geochemistry*", Elsevier, New York, 63-114.

- Chen H, Liu Z, S. Li, SuC, X. Qiu, H. Zhong, Z, (2017), "Fabrication of graphene and AuNP core polyaniline shell nanocomposites as multifunctional theranostics platforms for SERS real-time monitoring and chemo-photothermal therapy", *Theranostics*, , pp. 1096-1104.
  
- Craig J. R., Vaughan D. J., Hagni R. D. (1981). "Ore microscopy and ore petrography". (Vol. 406). New York: Wiley.
  
- De Souza S, Dubé B, McNicoll V J, Dupuis C, (2016), "Geology, hydrothermal alteration, and genesis of the world-class Canadian Malartic stockwork-disseminated Archean gold deposit, Abitibi, Quebec", *Geological Survey of Canada, Open File 7852*, p. 113–126.
  
- Driesner T and Heinrich C.A. (2007). "The System H<sub>2</sub>O-NaCl. I. Correlation Formulae for Phase Relations in Temperature-Pressure-Composition Space from 0 to 1000°C, 0 to 5000 bar, and 0 to 1 X<sub>NaCl</sub>". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 71.pp. 4880-4901.
  
- Evans A. M. (1997) "An Introduction to Economic Geology and Its Environmental Impacts" Black well Science, p. 364.
  
- Fisher R.V.(1979), "Rocks composed of volcanic fragments and their classification". *Earth Science Reviews*" 1(4), pp.287-298.
  
- Galley A.G., Hannington M.D., Jonasson I., (2007). "Volcanogenic massive sulphide deposits", *Journal of Mineral Deposits of Canada*, 5,pp 141-161.
  
- Gao D. (2017). "Drug designing: open access drug design for cancer: gold nanoparticle-liposome hybrids for drug delivery and monitoring". *Drug Des.* 2 10–11.
- Guilbert H. M. and Park. C. F. (1997) "The geology of ore deposits", W. H. Freeman., pp. 983.
  
- Golonka j. (2004). "Plate tectonic evolution of the southern margin of Eurasia in the Mesozoic and Cenozoic", *Tectonophysics* 381, pp. 235– 273.
  
- Guo F., Fan W., Li C. (2006). "Geochemistry of late Mesozoic adakites from the Sulu belt", eastern China: Magma genesis and implications for crustal recycling beneath continental collisional orogens. *Geological Magazine*143, pp. 1–13.
  
- Hastie A. R., Kerr A. C., Pearce J. A. & Mitchell S. F. (2007). "Classification of altered volcanic island arc rocks using immobile trace elements": development of the ThCo discrimination diagram. *Journal of Petrology*. 48 pp, 2341-2357.
  
- Helt et al., K.M. Helt, A.E. Williams-Jones, J.R. Clark, B.A. Wing, R.P, (2014). "WaresConstraints on the genesis of the Archean oxidized, intrusion-related Canadian Malartic gold deposit, Quebec, Canada", *Economic Geology*, 109 (2014), pp. 713-735.
  
- Hofmann A.W., Jochum K.P., Seufert M., White W.M. (1986). "Nb and Pb in oceanic basalts": new constrains on mantle evolution. *Earth Planet. Sci. Lett.* 79, pp. 33–45.
  
- Irvine 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.

- Jahangiri A. (2007). "Post-collisional Miocene adakitic volcanism in NW Iran: geochemical and geodynamic implications". *Journal of Asian Earth Sciences* 30: 433–447.
- Kamber B.S. Ewart A. Collerson K.D. Bruce M.C. McDonald G.D. (2002) "Fluid-mobile trace element constraints on the role of slab melting and implications for Archaean crustal growth models" *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 144, pp 38- 56.
- Kerrick R. and Wyman D.A. (1996). "The trace element systematics of igneous rocks in mineral exploration": an overview, in Wyman, D.A., ed., *Trace Element Geochemistry of Volcanic Rocks: Applications for Massive Sulphide Exploration: Geological Association of Canada, Short Course Notes*, v. 12, pp. 1-50.
- Kissin, S. A., and Mango, H., 2014. Silver vein deposits. In Holland, H. D., and Turekian, K. K. (eds.), *Treatise on Geochemistry*, 2nd edn. Oxford: Elsevier-Pergamon, Vol. 13, pp. 425–432.
- McFarlane HG, Kusek GK, Yang M, Phoenix JL, Bolivar VJ, Crawley JN, (2011). "Autism-like behavioral phenotypes in BTBR T+ tf/J mice". *Genes Brain Behav.* 7:152–163.
- Kojima, S., Trista, D., Guilera, A. & Ken-ichiro ayashi, H., (2009), "Genetic Aspects of the Manto-type Copper Deposits Based on Geochemical Studies of North Chilean Deposits", *Resource Geology* Vol. 59, No. 1: 87 – 98.
- Lefebure, D. V. and Church, B. N. (1996), "Volcanic redbed .In Lefebure, D. V. and Hoy, T. (eds) *Selected British Columbia mineral deposit profiles "* Vol. 2 – metallic deposits. British Columbia Ministry of Employment and Investment, Energy and Minerals Division, Geological Survey Branch, XXX, Open File 1996-13, 5- 7.
- Lentz D. R. (1994) "Exchange reactions in hydrothermally altered rocks: examples from biotite- bearing assemblages" In Lentz, D.R., ed., *Alteration and Alteration Processes* *Hydrothermal Alteration Notes*, 11, pp. 69-99.
- Lottermoser B.G. (1992), "Rare earth elements and hydrothermal ore formation processes": *Ore geology Reviews*, pp. 24-41.
- McMillan W.J. Panteleyev A. (1988) "Porphyry copper deposits, in Roberts, R.G., and Sheahan, P.A., eds., *Ore deposit models*" *Geoscience Canada, Reprint Series.*, 3, pp 45-58.
- Makshev, V. & Zentilli, M., (2002), "Chilean strata-bound Cu–(Ag) deposits: an overview. In: Porter, T.M. (Ed.), *Hydrothermal Iron Oxide Copper–Gold and Related Deposits: A Global Perspective*", vol. 2. PGC Publishing, Adelaide, pp. 163–184.
- Marshal D., (Lyn)Anglin C. D., and Mumin H. (2004), "Ore Mineral Atlas".107 Page, Translated by: Zarasvandi A, Shahid Chamran University of Ahvaze.
- Meinert L.D. (1992). "Skarns and skarn deposits", *Geosciences Canada*, 19(4), pp. 145-162.
- Meinert L., Dipple G and Nicolescu S. (2005). "World skarn deposits, in Hedenquist", J.W., et al., eds., *Economic Geology 100th Anniversary Volume: Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists*, pp. 299-336.

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

Michard A. (1989). "Rare earth element systematic in hydrothermal fluid". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 53, 745.

-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.

- Oliveros , V. , Féraud , G. , Aguirre , L. , Fornari , M. and Morata , D . (2006), "The Early Andean Magmatic Province (EAMP):  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  dating on Mesozoic volcanic and plutonic rocks from the Coastal Cordillera, northern Chile". *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 157 , 311 – 330 .

Park, C., Jr., and MacDiarmid, R. (1975), "Ore Deposits", 3rd ed., Freeman, San Francisco.

-Pearec J.A. Harris N.B.W. Tindle A.G. (1984) "Trace element discrimination diagrams for the tectonic interpretation of granitic rocks" *Journal of petrology*, 25, pp. 956- 983.

-Pirajno F.J. (1992) "Hydrothermal Mineral Deposits. Principles and fundamental concepts for the Exploration Geologist" Springer, verlag, p. 706.

- Pirajno F. (2009) "Hydrothermal Mineral Deposits, Principle and Fundamental Concept for the Exploration Geologist», Springer pp.706.

- Ramdohr P. (1980), "The ore minerals and their intergrowths", 2nd edn. International Series in Earth Sciences 35.

-Ramírez , L. E. , Palacios , C. , Townley , B. , Parada , M. A. , Sial , A. N. , Fernandez-Turiel ,J. L. , Gimeno , D. , Garcia-Valles , M. and Lehmann , B . (2006) The Mantos Blancos copper deposit: An upper Jurassic breccia-style hydrothermal system in the coastal range of northern Chile. *Mineral. Deposita*, 41, 246 – 258.

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

-Rollinson H. R. (2005), "Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Routledge.

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

-Runxing J, Weixuan F, Riuzhong H, (2010 ),"Geochemical characteristics and significance of major elements, trace elements and REE of NM copper polymetal deposit in Laos" , *JOURNAL OF RARE EARTHS*, Vol. 28, p. 305.

- Ruiz , C. , Aguilar , A. , Egert , E. , Espinoza , W. , Puebles , F. , Quezada , R. and Serrano , M . (1971), "Strata-bound copper sulphide deposits of Chile". Soc. Min. Geol. Jpn. Spec. Issue, 3, 252 – 260.
- Schmid, M.W., Dardon, A., Chazot, G., Vannucci, R., (2004). The dependence of Nb and Ta rutile-melt partitioning on melt composition and Nb/Ta fractionation during subduction processes. *Earth and Planetary Science Letters*, 226:415–432.
- Shahabpour, J. (2005), "Tectonic evolution of the orogenic belt in the region located between Kerman and Neyriz", *J Asian Earth Sci.* 24:405–417.
- Shepherd T., Rankin A. H and Alderton D. H. M. (1985). "A Practical guide to fluid inclusion studies. Blackie", USA Chapman and Hall New York, 239 p.
- Sholeh A., Rastad E., Haston D., Gemmell B., Taylor R. (2016). "The Chahnaly Low-Sulfidation Epithermal Gold Deposit, Western Makran Volcanic Arc, Southeast Iran", *Economic Geology*, v. 111, pp. 619–639.
- Sillitoe R. H. (2003), "Iron oxide-copper-gold deposits: an Andean view.*Mineralium Deposita.* 38(7), pp. 787-812.
- Sun S.S., McDonough W.F. (1989). "Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts": implications for mantle composition and processes. In: Saunders AD, Norry MJ (eds) *Magmatism in ocean basins: Geol Soc Lond Spec Pub.*, v. 42, pp. 313–345.
- Taylor, S.R. and McLennan, S.M. (1995). "The geochemical evolution of the continental crust". *Reviews in Geophysics* 33: 241-265.
- Thompson R. N. (1982). "Magmatism of the British Tertiary volcanic province. *Scottish Journal of Geology*", 18(1), pp. 49-107.
- Tatsumi Y., Takahashi T. (2006). "Operation of subduction factory and production of andesite". *Journal of Mineralogical and Petrological Sciences*, 101(3), pp. 145-153.
- Tristá-Aguilera, D., Barra, F., Ruiz, J., Morata, D., Talavera-Mendoza, O., Kojima, S. & 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", *Miner Deposita* 41: 99–105.
- Van den Kerkhof, A.M., Hein, U.F. (2001) "Fluid inclusion petrography". *Lithos*, 55(1), pp.27-47.
- Walshe J.L., and Hobbs B. E. (1999). "Hydrothermal systems, giant ore deposits and a new paradigm for predictive mineral exploration". *CSIRO Exploration and Mining Research Reviews*, pp. 30-31
- Wang f, Bagas L, Jiang S, Liu Y, (2017), " Geological, geochemical, and geochronological characteristics of Weilasituo Sn-polymetal deposit, Inner Mongolia, China", *Ore Geology Reviews* 80, 1206–1229.

- Wiesheu, R., Grundmann, G., (1998). "Fluid inclusion studies of anhydrites from the Permo-Skythian beds of the haselgebirge formation (Northern Calcareous Alps, Austria/Germany) "International Mineralogical Association, 16th generalmeeting; Abstracts, 439
- Wilkinson J.J. (2001). "Fluid inclusions in hydrothermal ore deposits": *Lithos*, 55, pp. 229-272.
- Wilson, N. S. F. & Zentilli, M., 2006- Association of pyrobitumen with copper mineralization from the Uchumi and Talcuna districts, central Chile, *International Journal of Coal Geology* 65: 158.
- Winchester J. A. & Floyd P. A. (1977) "Geochemical discrimination of different magma series and their differentiation products using immobile elements", *Chemical geology*, 20, pp .249-284.
- Yue S, Deng X, Bagas S, (2014), " Geology, isotope geochemistry, and ore genesis of the Yindonggou Ag–Au (–Pb–Zn) deposit, Hubei Province, China", *GEOLOGICAL JOURNAL*, *Geol. J.* 49: 442–462.
- Zhou Y, Wang Z. (1999). "Altered ductile shear zone host type of gold deposits from south China" a case study. *J. Geoscience of China*, 1, pp 23-38.

## Abstract

Hajib mineral deposit is located in Qazvin province and 23 km southeast of Bueinzahra city. This area is a part of the central Iran, in particular is situated in the northern part of the Orumieh-Dokhtar magmatic belt. Eocene volcanic-sedimentary sequences cropped out in this area, and including pyroclastic rocks with andesite tuff and lithic tuff in composition, andesite and basaltic andesite lava, tuffaceous sandstone and sandstone. Andesite tuff and tuffaceous sandstone hosting ore-bearing silicic veins. Copper and associated elements mineralization in Hajib area is mainly metal-bearing silica veins and In general, 9 silicic, silicic-sulfide and silicic-iron oxides veins have been observed in this area, that the number of 4 veins are important in length, width and grade in comparison with other veins .The alterations include propylitic (chloritization and epidotization), argillic, sericite, silicic, and iron oxides-hydroxides. The ore-forming minerals include sulfides (chalcopyrite, galena, bornite, chalcocite, covellite and pyrite), carbonates (malachite and azurite), iron-manganese oxides (hematite, oligiste, goethite, limonite and pyrolusite) and gangue minerals (calcite, quartz and barite). The main textures of mineralization are vein-veinlets and colloform, also structures include banded, vein-veinlets and brecciation. Geochemical studies show that parent magma of igneous rocks have calc-alkaline, metaalumin and peralumin in composition, and also related to continental magmatic arcs. The multielements spider diagrams display that negative anomaly of Nb and Ti, which is main characteristics of continental arc- related calcalkaline magma. The contents of Cu, Pb, Zn, Au, and Ag are measured about economic grade occurrence in the Hajib silicic veins. Based on fluid inclusion studies, the homogenization temperature vary from 147°C to 250°C (average 234°C) and the salinity range from 0.87 to 13.06 wt%NaCl (average 6.07 wt%NaCl). Based on homogenization temperature and salinity, mineralization occurred at a pressure 10-100 bars and a density of 1 to 1.1 gr/cm<sup>3</sup>. According to the geological, mineralogical, alteration, geochemical, and fluids inclusion features, the Hajib mineralization introduce a polymetallic vein-type deposit.

**Keywords:** Mineralogy, Alteration, Geochemistry, Fluid inclusion, Polymetallic vein, Hajib.





Shahrood University of Technology  
Faculty of Earth Sciences  
Department of Petrology and Economic Geology  
MS thesis

**Mineralogy, geochemistry and genesis of the Hajib polymetal  
mineralization, Southeast of Bueinzahra, Qazvin province.**

By: Samira Madadi

Supervisor:

Masood Alipour-Asll

Advisor:

Seyed Ahmad Meshkani

September 2019